



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 20801.1—2025

代替 GB/T 20801.1~20801.6—2020

## 压力管道规范 第 1 部分：工业管道

Pressure piping code—Part 1: Industrial piping

2025-10-31 发布

2026-05-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 前言 .....                                  | III |
| 引言 .....                                  | V   |
| 1 范围 .....                                | 1   |
| 2 规范性引用文件 .....                           | 2   |
| 3 术语和定义 .....                             | 8   |
| 4 压力管道分级 .....                            | 16  |
| 5 材料 .....                                | 17  |
| 6 设计和计算 .....                             | 31  |
| 7 制作与安装 .....                             | 79  |
| 8 检验与试验 .....                             | 109 |
| 9 安全防护 .....                              | 122 |
| 附录 A (规范性) 压力管道中介质毒性、易燃性和腐蚀性分类 .....      | 129 |
| 附录 B (规范性) 材料牌号和许用应力 .....                | 132 |
| 附录 C (资料性) 材料的物理性能 .....                  | 179 |
| 附录 D (资料性) 基于风险的材料设计和选用 .....             | 186 |
| 附录 E (资料性) 国内与国外近似材料标准及牌号对照表 .....        | 205 |
| 附录 F (资料性) 风荷载和地震荷载的计算 .....              | 216 |
| 附录 G (资料性) 管道布置 .....                     | 222 |
| 附录 H (资料性) 国际通用石油化工阀门标准 .....             | 230 |
| 附录 I (资料性) 低泄漏阀门阀杆型式试验及产品检验 .....         | 233 |
| 附录 J (资料性) 标准带颈对焊法兰考虑外加轴向力和弯矩时允许超压值 ..... | 235 |
| 附录 K (资料性) 支管直接焊于主管的补强计算示例 .....          | 238 |
| 附录 L (资料性) 压力面积法补强计算 .....                | 244 |
| 附录 M (规范性) 柔性系数和应力增大系数 .....              | 245 |
| 附录 N (资料性) 管系中阀门开、关时的动载分析 .....           | 258 |
| 附录 O (资料性) 静设备管口许用荷载 .....                | 261 |
| 附录 P (规范性) 金属波纹膨胀节 .....                  | 263 |
| 附录 Q (资料性) 位移载荷高循环作用下管道系统的疲劳分析 .....      | 267 |
| 附录 R (资料性) 局部焊后热处理的温度控制范围、热电偶设置及隔热 .....  | 270 |
| 附录 S (资料性) 管道封闭口装配错口偏差评估方法 .....          | 275 |
| 附录 T (资料性) 安全保护层分析 .....                  | 280 |
| 附录 U (资料性) 安全泄放装置的计算 .....                | 282 |
| 附录 V (资料性) 安全泄放装置选用 .....                 | 290 |

附录 W（资料性） 阻火器类别和选用 ..... 292

附录 X（资料性） 可燃气体和蒸气的 MESG 和爆炸级别 ..... 294

参考文献..... 297

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 20801《压力管道规范》的第1部分，GB/T 20801 已经发布了以下部分：

——第1部分：工业管道。

本文件代替并整合以下六项标准：

- GB/T 20801.1—2020《压力管道规范 工业管道 第1部分：总则》；
- GB/T 20801.2—2020《压力管道规范 工业管道 第2部分：材料》；
- GB/T 20801.3—2020《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》；
- GB/T 20801.4—2020《压力管道规范 工业管道 第4部分：制作与安装》；
- GB/T 20801.5—2020《压力管道规范 工业管道 第5部分：检验与试验》；
- GB/T 20801.6—2020《压力管道规范 工业管道 第6部分：安全防护》。

与 GB/T 20801.1—2020、GB/T 20801.2—2020、GB/T 20801.3—2020、GB/T 20801.4—2020、GB/T 20801.5—2020 和 GB/T 20801.6—2020 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了本文件的范围(见第1章，GB/T 20801.1—2020年版的第1章)；
- b) 增加了术语“压力管道元件”“泄漏危害性介质”“低危害性(无毒、不可燃、无腐蚀性)介质”“最大允许积聚压力”及其定义(见3.7、3.15、3.17、3.71)；
- c) 更改了术语“管道组成件”“低温低应力工况”“低温降应力工况”“定位焊缝”和“道间温度”的定义(见3.6、3.18、3.19、3.49、3.51，GB/T 20801.1—2020年版的3.5、GB/T 20801.2—2020年版的3.1、3.2、GB/T 20801.4—2020年版的3.10、3.17)；
- d) 更改了本文件的压力管道分级(见第4章，GB/T 20801.1—2020年版的第4章)；
- e) 更改了碳素结构钢的使用限制要求(见5.3.3，GB/T 20801.2—2020年版的6.2)；
- f) 更改了“碳钢(包括碳锰钢)免除冲击试验的最低使用温度”的图和表(见图1和表1，GB/T 20801.2—2020年版的图1和表1)；
- g) 更改了“碳钢、管线钢和奥氏体不锈钢钢管及其对焊管件的使用限制”的表(见表3，GB/T 20801.2—2020年版的表3)；
- h) 增加了高温蠕变工况使用时，焊接管道组成件的对接焊缝的无损检测要求(见5.4.2.5)；
- i) 更改了低温条件下的材料使用限制(见5.5，GB/T 20801.2—2020年版的第8章)；
- j) 更改了材料标记的内容(见5.6.1.2，GB/T 20801.2—2020年版的9.1.2)；
- k) 增加了不同流体工况的管道连接时，分隔阀额定值的要求(见6.1.1.1.4)；
- l) 更改了金属材料和螺栓材料的许用应力准则(见表13、表14，GB/T 20801.3—2020年版的表1、表2)；
- m) 更改了对 GC1 级和剧烈循环工况的对焊管件的要求(见6.3.2.4，GB/T 20801.3—2020年版的5.1.2.4)；
- n) 增加了直管连接采用半管接头时的要求(见6.3.7.5)；
- o) 更改了 GC1 级管道对法兰型式的选用要求(见6.3.8.3，GB/T 20801.3—2020年版的5.1.8.10)；
- p) 更改了平焊法兰和松套法兰的附加要求(见6.3.8.4，GB/T 20801.3—2020年版的5.1.8.3)；
- q) 更改了承口和凸缘尺寸(见表21，GB/T 20801.3—2020年版的表9、表10)；
- r) 更改了锥管螺纹(NPT)连接接头的相关要求(见6.4.5.2，GB/T 20801.3—2020年版的5.2.5.2)；



- s) 更改了持续力和力矩系数的选取方法(见 6.7.5.2, GB/T 20801.3—2020 年版的 7.5.2);
- t) 更改位移应力范围系数和当量循环次数的计算公式、应力范围系数与位移循环当量数之间的关系图(见 6.7.5.5.3、图 13, GB/T 20801.3—2020 年版的 7.5.5.3、图 12);
- u) 更改了管道工厂化预制产品的技术要求(见 7.1.5, GB/T 20801.4—2020 年版的 10.1.1);
- v) 更改了材质监察数量的要求(见 7.2.3, GB/T 20801.4—2020 年版的 5.3);
- w) 增加了卡套式管接头、锆及锆合金管道的安装要求[见 7.7.4.1 f)、7.8.6];
- x) 更改了爆破片、阻火器、紧急切断阀等安全防护装置的安装要求(见 7.7.10, GB/T 20801.4—2020 年版的 10.9.4、10.9.5);
- y) 更改了压力管道检查等级(见 8.3.1, GB/T 20801.5—2020 年版的 6.1);
- z) 增加了相控阵检测、X 射线计算机辅助成像检测的无损检测方法及相关技术要求(见 8.3.3.1);
- aa) 更改了表“焊接接头检查方法和比例”中关于“角焊缝”的描述以及“支管连接”的相关备注(见表 42, GB/T 20801.5—2020 年版的表 1);
- ab) 增加了设计压力大于 1.6 MPa 的气压试验、气密性试验需各方同意的要求[见 8.6.1.4 a)、8.6.2.3];
- ac) 更改了敏感性泄漏试验的技术要求(见 8.6.2.2, GB/T 20801.5—2020 年版的 9.2.1);
- ad) 增加了安全防护设计的基本原则要求(见 9.1);
- ae) 增加了安全泄放装置的设置原则(见 9.2.1.5);
- af) 更改了附录 A(规范性)“压力管道中介质毒性、易燃性和腐蚀性分类”(见附录 A, GB/T 20801.1—2020 年版的附录 A);
- ag) 更改了附录 B(规范性)“材料牌号和许用应力”(见附录 B, GB/T 20801.2—2020 年版的附录 A);
- ah) 更改了附录 M(规范性)“柔性系数和应力增大系数”(见附录 M, GB/T 20801.3—2020 年版的附录 G)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位:中石化上海工程有限公司、上海迅羽化工工程高技术中心、国家市场监督管理总局、中国特种设备检测研究院、中国天辰工程有限公司、中国化学工程第三建设有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院有限公司、华东理工大学、江苏省特种设备安全监督检验研究院、中国寰球工程有限公司北京分公司、中石化广州工程有限公司、华陆工程科技有限责任公司、中石化宁波工程有限公司、上海华谊工程有限公司、中石油华东设计院有限公司、山东省特种设备检验研究院集团有限公司、扬州市管件厂有限公司、上海飞艇管业制造有限公司。

本文件主要起草人:尤子涵、沙裕、黄正林、秦先勇、李军、杜顺学、徐锋、应道宴、姜万军、缪春生、刘建欣、李中央、夏节文、程国华、汤晓英、邢丽、惠虎、舒小芹、马红莲、白海波、张西平、安二强、樊春华、秦叔经、刘洪福、姚小静、陆恒平、徐辉、朱琦、肖仕锋。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

- GB/T 20801.1—2006、GB/T 20801.2—2006、GB/T 20801.3—2006、GB/T 20801.4—2006、GB/T 20801.5—2006 和 GB/T 20801.6—2006;
- GB/T 20801.1—2020、GB/T 20801.2—2020、GB/T 20801.3—2020、GB/T 20801.4—2020、GB/T 20801.5—2020 和 GB/T 20801.6—2020;
- 本次为第二次修订。

## 引 言

压力管道是涉及公共安全的特种设备之一,是石油化工、能源装备、生物医药等领域用于介质输送的重要设备。为了提高压力管道的安全性和经济性,2006年,发布了GB/T 20801.1~GB/T 20801.6《压力管道规范 工业管道》系列标准,规范了压力管道的总则、材料、设计和计算、制作与安装、检验与试验和安全防护六大建造环节的技术要求。2009年,我国发布了第一部压力管道技术规程TSG D0001,其配套引用了GB/T 20801.1~GB/T 20801.6系列标准。作为支撑工业管道安全技术规程的重要配套标准,2020年,GB/T 20801.1~GB/T 20801.6进行了全面修订。在该系列标准实施期间,我国印发了《国家标准化发展纲要》(以下简称“纲要”)。为贯彻落实纲要有关要求,以标准促进经济高质量发展,保障工业基础设施的安全使用,保护人民群众生命和财产安全,国家标准化管理委员会开展了国家标准体系优化试点工作(以下简称“体系优化”),确立将GB/T 20801.1~GB/T 20801.6列入“整合一批”清单,将六项国家标准整合修订为一项,拟定为GB/T 20801.1《压力管道规范 第1部分:工业管道》,同时,为形成、完善和统一我国压力管道规范系列标准(还包括长输管道、公用管道、动力管道、氢用管道、高压管道、非金属管道、制冷管道等),创造基础和条件。

本文件是工业管道建造方法综合性标准,用以规范在中国境内建造或使用的工业管道的材料、设计、制作、安装、检验、试验和安全防护的相关技术基础要求。本文件是第1部分,其他压力管道建造方法标准将陆续开展制修订,并成为GB/T 20801系列标准的其他部分。GB/T 20801拟由八个部分构成。

- 第1部分:工业管道。目的在于给出工业领域通用的压力管道建造的基本技术要求。
- 第2部分:长输管道。目的在于给出陆上长输领域专用的压力管道建造和运维的基本技术要求。
- 第3部分:公用管道。目的在于给出市政公用领域专用的压力管道建造和运维的基本技术要求。
- 第4部分:动力管道。目的在于给出火力发电厂用于输送蒸汽、汽水两相介质的压力管道建造的基本技术要求。
- 第5部分:氢用管道。目的在于给出用于输送氢介质专用的压力管道建造和运维的基本技术要求。
- 第6部分:高压管道。目的在于给出工业领域专用的最高工作压力大于或等于42 MPa的压力管道建造的基本技术要求。
- 第7部分:非金属管道。目的在于给出非金属材料专用的压力管道建造的基本技术要求。
- 第8部分:制冷管道。目的在于给出制冷领域专用的压力管道建造的基本技术要求。

本文件的技术条款包括了工业管道建造过程中需遵循的基本要求。

本文件没有必要,也不可能囊括适用范围内工业管道建造中的所有技术细节。

本文件不限制实际工程设计和建造中采用先进的技术方法,工程技术人员采用先进的技术方法时能够做出可靠的判断,确保其满足本文件规定,特别是关于强度或稳定性设计公式等设计规定。本文件既不要求也不限制设计人员使用计算机程序实现工业管道的分析或设计。

对于未经全国锅炉压力容器标准化技术委员会书面授权或认可的其他机构,对标准的宣贯或解释所产生的理解歧义以及由此产生的任何后果,全国锅炉压力容器标准化技术委员会不承担任何责任。

# 压力管道规范

## 第1部分：工业管道

### 1 范围

1.1 本文件规定了工业压力管道材料、设计、制作、安装、检验、试验和安全防护的基本要求。

1.2 本文件所指工业压力管道(以下简称“压力管道”)包括了工艺装置、辅助装置以及界区内公用工程所属的压力管道。

本文件适用于下列条件的压力管道。

a) 符合《特种设备目录》范围的工艺管道和制冷管道：

即最高工作压力大于或等于 0.1 MPa(表压),介质为气体、液化气体、蒸汽或者易燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或等于标准沸点的液体,且公称直径大于或等于 50 mm 的压力管道。公称直径小于 150 mm,且其最高工作压力小于 1.6 MPa(表压)的输送无毒、不可燃、无腐蚀性气体(不包括液化气体、蒸汽和氧气)的管道除外。

b) 符合下列条件的管道[除 1.3 a)、b)和 1.4 列出的管道]：

- 1) 输送低危害性(无毒、不可燃、无腐蚀性)液体的管道；
- 2) 公称直径小于 150 mm,且其最高工作压力小于 1.6 MPa(表压)的输送低危害性(无毒、不可燃、无腐蚀性)气体(不包括液化气体、蒸汽和氧气)的管道；
- 3) 公称直径小于 50 mm 的管道；
- 4) 最高工作压力大于大气压且小于 0.1 MPa(表压)的管道；
- 5) 真空管道。

注：1.2 b)所列属于《特种设备目录》范围以外的管道。

1.3 本文件不包括范围如下：

- a) 最高工作压力大于 42 MPa(表压)的管道；
- b) 非金属管道或其衬里层；
- c) 在役压力管道改造、检查、检验、试验、维护和修理等方面的专项要求。

1.4 本文件不适用范围如下：

- a) 军事装备和核设施的管道；
- b) 海上设施和矿井井下的管道；
- c) 石油、天然气、地热等勘探和采掘装置的管道；
- d) 移动设备(如铁道机车、汽车、船舶、航空航天器等)上的管道；
- e) GA类长输管道；
- f) GB类公用管道；
- g) GCD类动力管道；
- h) 锅炉、压力容器和加热炉的内部管道以及设备的外接管口；
- i) 设备本体所属管道。

注：设备本体所属管道指泵和压缩机(现场多级之间连接的管道除外)、汽轮机、燃气轮机、内燃机、制冷用机组撬块、速冻装置和其他输送或者加工流体设备的内部管道以及设备的外接管口。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 150(所有部分) 压力容器
- GB/T 150.3—2024 压力容器 第3部分:设计
- GB/T 196 普通螺纹 基本尺寸
- GB/T 197 普通螺纹 公差
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 567.1 爆破片安全装置 第1部分:基本要求
- GB/T 567.2 爆破片安全装置 第2部分:应用、选择与安装
- GB/T 567.3 爆破片安全装置 第3部分:分类及安装尺寸
- GB/T 567.4 爆破片安全装置 第4部分:型式试验
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
- GB/T 985.2 埋弧焊的推荐坡口
- GB/T 985.3 铝及铝合金气体保护焊的推荐坡口
- GB/T 985.4 复合钢的推荐坡口
- GB/T 1031 产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
- GB/T 1047 管道元件 公称尺寸的定义和选用
- GB/T 1048 管道元件 公称压力的定义和选用
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 1348 球墨铸铁件
- GB/T 2882 镍及镍合金管
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3087 低中压锅炉用无缝钢管
- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.6 紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3287 可锻铸铁管路连接件
- GB/T 3420 灰口铸铁管件
- GB/T 3422 连续铸铁管
- GB/T 3624 钛及钛合金无缝管
- GB/T 3733 卡套式端直通管接头
- GB/T 3734 卡套式锥螺纹直通管接头
- GB/T 3735 卡套式端直通长管接头
- GB/T 3736 卡套式锥螺纹长管接头
- GB/T 3737 卡套式直通管接头
- GB/T 3738 卡套式可调向端弯通管接头
- GB/T 3739 卡套式锥螺纹弯通管接头
- GB/T 3740 卡套式弯通管接头

- GB/T 3741 卡套式可调向端三通管接头
- GB/T 3742 卡套式锥螺纹三通管接头
- GB/T 3743 卡套式可调向端弯通三通管接头
- GB/T 3744 卡套式锥螺纹弯通三通管接头
- GB/T 3745 卡套式三通管接头
- GB/T 3746 卡套式四通管接头
- GB/T 3747 卡套式焊接管接头
- GB/T 3748 卡套式过板直通管接头
- GB/T 3749 卡套式过板弯通管接头
- GB/T 3750 卡套式铰接管接头
- GB/T 3751 卡套式压力表管接头
- GB/T 3752 卡套式组合弯通管接头
- GB/T 3753 卡套式组合三通管接头
- GB/T 3754 卡套式锥密封组合弯通管接头
- GB/T 3755 卡套式锥密封组合三通管接头
- GB/T 3756 卡套式锥密封组合直通管接头
- GB/T 3757 卡套式过板焊接管接头
- GB/T 3758 卡套式管接头用锥密封焊接接管
- GB/T 3759 卡套式管接头用连接螺母
- GB/T 3760 卡套式管接头用锥密封堵头
- GB/T 3763 管接头用六角薄螺母
- GB/T 3764 卡套
- GB/T 3765 卡套式管接头技术条件
- GB/T 4334 金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法
- GB/T 4437.1 铝及铝合金热挤压管 第1部分:无缝圆管
- GB/T 4622.1 管法兰用缠绕式垫片 第1部分:PN系列
- GB/T 4622.2 管法兰用缠绕式垫片 第2部分:Class系列
- GB/T 4732(所有部分) 压力容器分析设计
- GB/T 4732.3—2024 压力容器分析设计 第3部分:公式法
- GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
- GB/T 5625 扩口式端直通管接头
- GB/T 5626 扩口式锥螺纹直通管接头
- GB/T 5627 扩口式锥螺纹长管接头
- GB/T 5628 扩口式直通管接头
- GB/T 5629 扩口式锥螺纹弯通管接头
- GB/T 5630 扩口式弯通管接头
- GB/T 5631 扩口式可调向端弯通管接头
- GB/T 5632 扩口式组合弯通管接头
- GB/T 5633 扩口式可调向端三通管接头
- GB/T 5634 扩口式组合弯通三通管接头
- GB/T 5635 扩口式锥螺纹三通管接头
- GB/T 5637 扩口式可调向端弯通三通管接头
- GB/T 5638 扩口式组合三通管接头

- GB/T 5639 扩口式三通管接头
- GB/T 5641 扩口式四通管接头
- GB/T 5642 扩口式焊接管接头
- GB/T 5643 扩口式过板直通管接头
- GB/T 5644 扩口式过板弯通管接头
- GB/T 5645 扩口式压力表管接头
- GB/T 5646 扩口式管接头管套
- GB/T 5647 扩口式管接头用 A 型螺母
- GB/T 5648 扩口式管接头用 B 型螺母
- GB/T 5649 管接头用锁紧螺母和垫圈
- GB/T 5650 扩口式管接头用空心螺栓
- GB/T 5651 扩口式管接头用密合垫
- GB/T 5652 扩口式管接头扩口端尺寸
- GB/T 5653 扩口式管接头技术条件
- GB/T 5782 六角头螺栓
- GB 5908 阻火器
- GB/T 6170 1 型六角螺母
- GB/T 6175 2 型六角螺母
- GB/T 6479 高压化肥设备用无缝钢管
- GB/T 6614 钛及钛合金铸件
- GB/T 6893 铝及铝合金拉(轧)制管材
- GB/T 7306.1 55°密封管螺纹 第 1 部分:圆柱内螺纹与圆锥外螺纹
- GB/T 7306.2 55°密封管螺纹 第 2 部分:圆锥内螺纹与圆锥外螺纹
- GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- GB/T 8464 铁制、铜制和不锈钢制螺纹连接阀门
- GB/T 9065.1 液压软管接头 第 1 部分:O 形圈端面密封软管接头
- GB/T 9065.2 液压传动连接 软管接头 第 2 部分:24°锥形
- GB/T 9065.5 液压软管接头 第 5 部分:37°扩口端软管接头
- GB/T 9124.1 钢制管法兰 第 1 部分:PN 系列
- GB/T 9124.2 钢制管法兰 第 2 部分:Class 系列
- GB/T 9125.1 钢制管法兰连接用紧固件 第 1 部分:PN 系列
- GB/T 9125.2 钢制管法兰连接用紧固件 第 2 部分:Class 系列
- GB/T 9126.1 管法兰用非金属平垫片 第 1 部分:PN 系列
- GB/T 9126.2 管法兰用非金属平垫片 第 2 部分:Class 系列
- GB/T 9128.1 钢制管法兰用金属环垫 第 1 部分:PN 系列
- GB/T 9128.2 钢制管法兰用金属环垫 第 2 部分:Class 系列
- GB/T 9439 灰铸铁件
- GB/T 9440 可锻铸铁件
- GB/T 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管
- GB/T 9948 石化和化工装置用无缝钢管
- GB/T 12220 工业阀门 标志
- GB/T 12221 金属阀门 结构长度
- GB/T 12224 钢制阀门 一般要求

- GB/T 12228 通用阀门 碳素钢锻件技术规范
- GB/T 12229 通用阀门 碳素钢铸件技术规范
- GB/T 12230 通用阀门 不锈钢铸件技术条件
- GB/T 12232 通用阀门 法兰连接铁制闸阀
- GB/T 12233 通用阀门 铁制截止阀与升降式止回阀
- GB/T 12234 石油、天然气工业用螺柱连接阀盖的钢制闸阀
- GB/T 12235 石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀
- GB/T 12236 石油、化工及相关工业用的钢制旋启式止回阀
- GB/T 12237 石油、石化及相关工业用的钢制球阀
- GB/T 12238 法兰和对夹连接弹性密封蝶阀
- GB/T 12239 工业阀门 金属隔膜阀
- GB/T 12240 铁制旋塞阀
- GB/T 12241 安全阀 一般要求
- GB/T 12242 压力释放装置 性能试验方法
- GB/T 12243 弹簧直接载荷式安全阀
- GB/T 12246 先导式减压阀
- GB/T 12459 钢制对焊管件 类型与参数
- GB/T 12459—2017 钢制对焊管件 类型与参数
- GB/T 12716 60°密封管螺纹
- GB/T 12771 流体输送用不锈钢焊接钢管
- GB/T 12777 金属波纹管膨胀节通用技术条件
- GB/T 13295 水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件
- GB/T 13401 钢制对焊管件 技术规范
- GB/T 13402 大直径钢制管法兰
- GB/T 13403 大直径钢制管法兰用垫片
- GB/T 13793 直缝电焊钢管
- GB/T 13927 工业阀门 压力试验
- GB/T 13932 铁制旋启式止回阀
- GB/T 14382 管道用三通过滤器
- GB/T 14383 锻制承插焊和螺纹管件
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 15605 粉尘爆炸泄压规范
- GB/T 15706 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小
- GB/T 16253 承压钢铸件
- GB/T 17116.1 管道支吊架 第1部分:技术规范
- GB/T 17116.1—2018 管道支吊架 第1部分:技术规范
- GB/T 17116.2 管道支吊架 第2部分:管道连接部件
- GB/T 17116.3 管道支吊架 第3部分:中间连接件和建筑结构连接件
- GB/T 17185 钢制法兰管件
- GB/T 17186.1 管法兰连接计算方法 第1部分:基于强度和刚度的计算方法
- GB/T 17241.1 铸铁管法兰 第1部分:PN系列
- GB/T 17241.2 铸铁管法兰 第2部分:Class系列
- GB/T 17395 钢管尺寸、外形、重量及允许偏差

- GB/T 18615 波纹金属软管用非合金钢和不锈钢接头
- GB/T 18984 低温管道用无缝钢管
- GB/T 19326 锻制支管座
- GB/T 19675.1 管法兰用柔性石墨复合增强垫片 第1部分:PN系列
- GB/T 19675.2 管法兰用柔性石墨复合增强垫片 第2部分:Class系列
- GB/T 21832.2 奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊接钢管 第2部分:流体输送用管
- GB/T 21833.2 奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管 第2部分:流体输送用管
- GB/T 21833.2—2020 奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管 第2部分:流体输送用管
- GB/T 25137 钛及钛合金锻件
- GB/T 26030 镍及镍合金锻件
- GB/T 26057 钛及钛合金焊接管
- GB/T 26058 钛及钛合金挤压管
- GB/T 26120 低压不锈钢螺纹管件
- GB/T 26480 阀门的检验和试验
- GB/T 26481 工业阀门的逸散性试验
- GB/T 27684 钛及钛合金无缝和焊接管件
- GB/T 28708 管道工程用无缝及焊接钢管尺寸选用规定
- GB/T 29168.1 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第1部分:感应加热弯管
- GB/T 29168.2 石油天然气工业 管道输送系统用弯管、管件和法兰 第2部分:管件
- GB/T 29168.3 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第3部分:法兰
- GB 30000(所有部分) 化学品分类和标签规范
- GB/T 30059 热交换器用耐蚀合金无缝管
- GB/T 31032 钢质管道焊接及验收
- GB/T 32294 锻制承插焊和螺纹活接头
- GB/T 32964 液化天然气用不锈钢焊接钢管
- GB/T 32970 高温高压管道用直缝埋弧焊接钢管
- GB/T 38343 法兰接头安装技术规定
- GB/T 38512 压力容器用铝及铝合金管材
- GB/T 39245.1 管法兰用金属齿形组合垫片 第1部分:PN系列
- GB/T 39245.2 管法兰用金属齿形组合垫片 第2部分:Class系列
- GB/T 40079 阀门逸散性试验分类和鉴定程序
- GB/T 42594 承压设备介质危害分类导则
- GB/T 42594—2023 承压设备介质危害分类导则
- GB/T 43913 钢制异径短节
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工规范
- HG/T 3651 钛制对焊无缝管件
- HG/T 20537.3 化工装置用奥氏体不锈钢焊接钢管技术要求
- HG/T 20537.4 化工装置用奥氏体不锈钢大口径焊接钢管技术要求
- HG/T 20553 化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列
- HG/T 20592 钢制管法兰(PN系列)
- HG/T 20606 钢制管法兰用非金属平垫片(PN系列)



- HG/T 20607 钢制管法兰用聚四氟乙烯包覆垫片(PN 系列)  
 HG/T 20609 钢制管法兰用金属包覆垫片(PN 系列)  
 HG/T 20610 钢制管法兰用缠绕式垫片(PN 系列)  
 HG/T 20611 钢制管法兰用具有覆盖层的齿形组合垫(PN 系列)  
 HG/T 20612 钢制管法兰用金属环形垫(PN 系列)  
 HG/T 20613 钢制管法兰用紧固件(PN 系列)  
 HG/T 20614 钢制管法兰、垫片、紧固件选配规定(PN 系列)  
 HG/T 20615 钢制管法兰(Class 系列)  
 HG/T 20623 大直径钢制管法兰(Class 系列)  
 HG/T 20627 钢制管法兰用非金属平垫片(Class 系列)  
 HG/T 20628 钢制管法兰用聚四氟乙烯包覆垫片(Class 系列)  
 HG/T 20630 钢制管法兰用金属包覆垫片(Class 系列)  
 HG/T 20631 钢制管法兰用缠绕式垫片(Class 系列)  
 HG/T 20632 钢制管法兰用具有覆盖层的齿形组合垫(Class 系列)  
 HG/T 20633 钢制管法兰用金属环形垫(Class 系列)  
 HG/T 20634 钢制管法兰用紧固件(Class 系列)  
 HG/T 20635 钢制管法兰、垫片、紧固件选配规定(Class 系列)  
 HG/T 21547 管道用钢制插板、垫环、8 字盲板系列  
 JB/T 2768 阀门零部件 高压管子、管件和阀门端部尺寸  
 JB/T 2769 阀门零部件 高压螺纹法兰  
 JB/T 2772 阀门零部件 高压盲板  
 JB/T 2776 阀门零部件 高压透镜垫  
 JB/T 2778 阀门零部件 高压管件和紧固件温度标记  
 JB/T 3223 焊接材料质量管理规程  
 JB/T 6439 阀门受压件磁粉探伤检验  
 JB/T 6440 阀门受压铸钢件射线照相检验  
 JB/T 6899 阀门的耐火试验  
 JB/T 6902—2008 阀门液体渗透检查方法  
 JB/T 6903—2008 阀门锻钢件超声波检查方法  
 JB/T 7248 阀门用低温钢铸件技术规范  
 JB/T 7747 针形截止阀  
 JB/T 7927 阀门铸钢件外观质量要求  
 JB/T 7927—2014 阀门铸钢件外观质量要求  
 JB/T 8527 金属密封蝶阀  
 JB/T 8937 对夹、凸耳对夹和法兰连接止回阀  
 NB/T 11268 锅炉承压铸钢件技术条件  
 NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件  
 NB/T 47009 低温承压设备用合金钢锻件  
 NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件  
 NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第 1 部分:通用要求  
 NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第 2 部分:射线检测  
 NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测  
 NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第 4 部分:磁粉检测

- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分:渗透检测
- NB/T 47013.7 承压设备无损检测 第7部分:目视检测
- NB/T 47013.8—2012 承压设备无损检测 第8部分:泄漏检测
- NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第10部分:衍射时差法超声检测
- NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第11部分:射线数字成像检测
- NB/T 47013.14 承压设备无损检测 第14部分:射线计算机辅助成像检测
- NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第15部分:相控阵超声检测
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47028 压力容器用镍及镍合金锻件
- NB/T 47029 压力容器用铝及铝合金锻件
- NB/T 47047 承压设备用镍及镍合金无缝管
- SH/T 3405 石油化工钢管尺寸系列
- SH/T 3408 石油化工钢制对焊管件技术规范
- SH/T 3410 石油化工锻钢制承插焊和螺纹管件
- SH/T 3411 石油化工泵用过滤器选用、检验及验收规范
- SH/T 3412 石油化工管道用金属软管选用、检验及验收规范
- SH/T 3413 石油化工石油气管道阻火器选用、检验及验收标准
- SH/T 3419 石油化工钢制异径短节
- SH/T 3425 石油化工钢制管道用盲板
- SY/T 5037 普通流体输送管道用埋弧焊钢管
- TSG ZF001 安全阀安全技术监察规程
- TSG ZF003 爆破片装置安全技术监察规程
- TSG Z6002 特种设备焊接操作人员考核细则
- YB/T 4173 高温用锻造镗孔厚壁无缝钢管
- ISO 15848-1 工业阀门 散逸性介质泄漏的测量、试验和鉴定程序 第1部分:阀门的分类体系和型式试验鉴定程序(Industrial valves—Measurement, test and qualification procedures for fugitive emissions—Part 1: Classification system and qualification procedures for type testing of valves)
- ISO 23251 石油、石油化工和天然气工业 泄压和减压系统(Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Pressure-relieving and depressuring systems)
- ISO/IEC 80079-49 爆炸性环境 第49部分:阻火器 性能要求、试验方法和使用限制(Explosive atmospheres—Part 49: Flame arresters—Performance requirements, test methods and limits for use)

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### 管道 piping

由管道组成件装配而成,用于输送、分配、混合、分离、排放、计量或截止流体流动的系统。

注:除管道组成件外,还包括管道支承件,但不包括支承构筑物,如建筑框架、管廊和底座(管墩或基础)等。

#### 3.2

##### 公称压力 nominal pressure

由字母 PN 或 Class 和无因次数字组成,代表管道组成件压力等级的参数。

## 3.3

**公称直径 nominal diameter**

由字母 DN 和无因次整数数字组成,代表管道组成件规格的参数。

## 3.4

**管子 pipe; tube**

用以输送流体或传递流体压力的密封中空连续体。

## 3.5

**管件 fittings**

弯头、三通、四通、弯管、异径管、管帽、翻边短节和活接头等的总称。

## 3.6

**管道组成件 piping components**

用于连接或者装配成密闭的压力管道系统的部件。

注: 管道组成件包括压力管道元件、安全附件以及有色金属(有色金属合金)制管件、铸造管件、挠性接头、耐压软管、紧固件、低温绝热管、直埋夹套管、视镜和管路中的节流装置(如孔板)等。

## 3.7

**压力管道元件 pressure piping elements**

管子、管件、阀门、法兰、补偿器、密封元件以及特种元件的总称。

注 1: 元件组合装置指由管子、管件、阀门、法兰、补偿器、密封元件等压力管道元件组合(焊接、法兰连接等)在一起具备某种功能的装置,包括燃气调压装置、减温减压装置、阻火器、流量计(壳体)、工厂化预制管段。

注 2: 流量计(壳体)指管子、板卷管、铸件、锻件、法兰、管件等经机械加工或者焊接而成的承受流量计内部介质压力的壳体。

注 3: 工厂化预制管段指制造单位在工厂内根据施工设计图将压力管道元件焊接或者法兰连接组装整体出厂的管道元件产品,包括: 汇管、过滤器、分离器、凝气(水)缸、除污器、混合器、缓冲器、收发球筒、绝缘接头、鹤管等,不包括在施工现场进行的管道预制。

注 4: 特种元件包括防腐管道元件和元件组合装置。

## 3.8

**安全附件 safety accessories**

安全阀、爆破片装置、紧急切断阀的总称。

## 3.9

**连接接头 attachment joint**

管道组成件间的连接接头、管道与设备或者装置连接的第一道连接接头(焊缝、法兰、密封件以及紧固件等)、管道与非受压组件的连接接头。

## 3.10

**管道支承件 pipe-supporting elements**

用于将管道荷载,包括管道的自重、输送流体的重量、由于操作压力和温差所造成的荷载以及振动、风力、地震、雪载、冲击和位移应变引起的荷载等传递到结构上去的组件。

注 1: 管道支承件分为固定件和结构附件两类。

注 2: 固定件包括悬挂式固定件如吊杆、弹簧支吊架、斜拉杆、平衡锤、松紧螺栓、支撑杆、链条、导轨等,以及承载式固定件,如鞍座、底座、滚柱、托座和滑动支座等。

注 3: 结构附件指用焊接、螺栓连接或夹紧方法附装在管道上的组件,如吊耳、管吊、卡环、管夹、U 形夹和夹板等。

## 3.11

**管道支吊架 pipe supports and hangers**

用于承受管道荷载或约束管道位移的各种结构(不包括支撑构筑物)的总称。

3.12

**急性毒性 acute toxicity**

由一次性接触导致人体死亡的化学品(介质)毒性指标。

注：按其  $LD_{50}$  (经口,经皮)或  $LC_{50}$  (吸入 4 h)的半数致死量进行危害程度分类,详见附录 A。

3.13

**易燃气体 flammable gases**

在 20 °C 及 101.3 kPa 标准的压力下,与空气混合有一定爆炸(易燃)范围的气体。

注：压力管道涉及的易燃气体分类详见附录 A。

3.14

**易燃液体 flammable liquids**

具有一定闪点的液体(包括液化烃),按其闪点及沸点高低分类。

注：压力管道涉及的易燃液体分类详见附录 A。

3.15

**泄漏危害性介质 leakage hazardous medium**

本文件 4.1 a) 的 1) 和 2) 列入的毒性和易燃介质(还包括设计压力小于或等于 4.0 MPa)以及 GB/T 42594 规定的致癌类别 1 的介质。

3.16

**气体 gas**

除 3.13 的定义外,本文件范围内涉及的“气体”还包括蒸气、液化气体、最高工作温度高于或等于标准沸点的液体以及包括气相的两相或多相流体介质。

3.17

**低危害性(无毒、不可燃、无腐蚀性)介质 low hazardous medium**

毒性、易燃性、腐蚀性低于 A.2.2、A.2.3、A.2.4 以及 A.2.5.1 和 A.2.5.2 的流体介质。

注：为“无毒、不可燃、无腐蚀性”的流体介质,以下简称“低危害性介质”。

3.18

**低温低应力工况 low temperature and low stress service**

需同时满足下列各项条件的工况：

- a) 低温下的最大工作压力不大于常温下最大允许工作压力的 30%；
- b) 低温下的最大工作应力不大于材料常温许用应力的 30%，且不大于 50 MPa；
- c) 由冲击荷载、热(冷)冲击和异种金属线膨胀系数差异等导致的局部应力应小于设计条件下材料常温许用应力的 10%。

注 1：直管(一次总体薄膜拉应力决定)的最大工作应力为以下两者较大值：

- 1) 由压力产生的周向拉应力；
- 2) 由压力、管道持久载荷及位移(计算位移应力时,不计入应力增大系数)产生的轴向拉应力总和。

注 2：平盖、盲板、法兰、阀门、管件的最大工作压力或最大工作应力的确定取以下情况之一：

- 1) 管道组成件标准规定的压力-温度额定值；
- 2) 型式试验确定的最大允许工作压力；
- 3) 对应直管的或第 6 章公式计算的所得值。

3.19

**低温降应力工况 lower temperature and lower stress service**

需同时满足下列各项条件的工况：

- a) 低温下的最大工作压力不大于常温下最大允许工作压力的 80%；
- b) 低温下的最大工作应力不大于材料常温许用应力的 80%；
- c) 由冲击荷载、热(冷)冲击和异种金属线膨胀系数差异等导致的局部应力应小于设计条件下材

料常温许用应力的 10%。

注 1: 直管(一次总体薄膜拉应力决定)的最大工作应力取以下两者较大值:

- 1) 由压力产生的周向拉应力;
- 2) 由压力、管道持久载荷及位移(计算位移应力时,不计入应力增大系数)产生的轴向拉应力总和。

注 2: 平盖、盲板、法兰、阀门、管件的 maximum 工作压力或者最大工作应力的确定取以下情况之一:

- 1) 管道组成件标准规定的压力-温度额定值;
- 2) 型式试验确定的最大允许工作压力;
- 3) 对应直管的或第 6 章公式计算的所得值。

### 3.20

**电阻焊焊管 electric-resistance welded pipe; ERW**

以管子(带卷)本身作为电流回路,利用电阻加热、在压力作用下连续对接焊接的管子。

### 3.21

**电熔焊焊管 electric-fusion welded pipe; EFW**

采用自动电弧焊或焊条电弧焊,在预成型的坯料上纵向对接焊成的管子。

### 3.22

**板焊管 plate welded pipe**

以平板板材预成型为管状,带有一条或两条纵向直焊缝的电熔焊焊管。

### 3.23

**质量证明文件 inspection certificate**

材料质量证明(检验文件)的一种形式。由制造单位生产部门以外的独立授权部门或人员,按照标准及合同的规定,按批在交货产品上(或取样)进行检验和试验,并注明结果的检验文件。

注: 制造单位质量证明书由独立于生产部门的制造厂检验部门签署并批准生效。法律法规有规定的或建设单位(使用单位)要求的,由法定检验检测机构或第三方检验检测机构出具监督检验证明。

### 3.24

**剧烈循环工况 severe cyclic conditions**

发生下列情况之一的工况:

- a) 管道系统中的管子、管道组件或接头中的位移应力范围  $S_E$  [按公式(39)计算] 超过许用应力范围  $S_A$  [按公式(34)或公式(35)计算] 的 0.8 倍,同时当量循环次数  $N$  [按公式(37)计算] 超过 7 000;
- b) 设计人员根据经验判定的其他具有相同效应{位移应力范围  $S_E$  接近许用应力范围  $S_A$ ,且许用应力范围折减系数  $f$  [按公式(36)计算或通过图 13 查得] 接近 1.0} 的工况。

### 3.25

**普通碳素结构钢 general carbon structural steels**

GB/T 700 中产品质量等级不高于 A 级的碳素钢。

### 3.26

**管线钢 pipeline steels**

管线用高屈强比碳锰钢。

注: 包括 GB/T 9711、GB/T 29168.1、GB/T 29168.2、GB/T 29168.3 中的钢级不低于 L290/X42 的无缝钢管、电阻焊焊管、板焊管、感应弯管、对焊管件、法兰锻件等。

### 3.27

**产品质量等级 product specification level; PSL**

表征 GB/T 9711 中的管线钢产品质量级别,其缩略语后缀数字代表不同的质量等级。

3.28

**管道系统 piping system**

由同一设计条件确定且相互连接的管道。

3.29

**高温蠕变工况 elevated temperature fluid service**

材料的工作温度处于由材料长期强度决定许用应力温度范围的工况。

3.30

**流体工况 fluid service**

涉及管道系统应用的综合性术语,综合考虑流体性质、操作条件和其他因素,构成管道系统设计的基础。

3.31

**支管连接管件 branch connection fitting**

通过对焊连接、承插焊连接、螺纹连接等型式,将支管连接于主管的整体补强管件。

注:如支管座、半管接头等。

3.32

**额定值 rating value**

标准规定的管道组成件压力值。

3.33

**管标号 schedule number**

管子壁厚系列的数值代号。

3.34

**位移应变 displacement strain**

在管道组成件中,由管道约束点发生位移、端点附加位移所产生的应变以及因温度变化所产生的应变。

3.35

**位移应力 displacement stress**

管道组成件中由位移应变引起的应力。

3.36

**管部 structural attachments; attachment of support on piping**

采用焊接、螺栓连接或卡箍方式与管道或其绝缘层直接连接的支吊架零件的总称。

3.37

**最低设计温度 design minimum temperature**

预期工况中组成件的最低温度,按此温度确定特殊设计要求和材料评定要求。

3.38

**强韧型铁素体耐热钢 creep strength enhanced ferritic steels; CSEF**

通过析出强化和细晶粒化提高蠕变断裂强度的铬钼铁素体钢。

注:通常包括 2.25Cr-1.6W-V-Cb、9Cr-1Mo-V、9Cr-1Mo-1W-Cb、9Cr-2W 和 12Cr-2W 铬钼铁素体钢。

3.39

**挥发性有机物 volatile organic compounds; VOC**

参与大气光化学反应的有机化合物或者任何能向大气释放有机化合物且符合下列任一条件的有机液体:

- a) 20℃时,挥发性有机液体的真实蒸气压大于 0.3 kPa;
- b) 20℃时,空气与有机化合物的混合物中,真实蒸气压大于 0.3 kPa 的纯有机化合物的总质量分

数等于或大于 20%，见 GB 31570 和 GB 31571。

### 3.40

#### 制作 fabrication

管道装配前的准备工作。

注：包括切割、加工螺纹、开坡口、成型、弯曲、焊接和将部件连接成组件，可在车间或现场进行。

### 3.41

#### 装配 assembly

按照设计文件的规定，用螺栓、焊接、粘结、螺纹、硬钎焊、软钎焊或使用密封组件将两个或两个以上管道组成件连接在一起（包括管道预制）的过程。

### 3.42

#### 安装 erection

根据设计文件的规定，将一个管道系统完整地固定在指定位置和支架上的过程。

注：包括按规范要求对该系统所做的所有现场制作、装配、检查和试验等工作。

### 3.43

#### 轴测图 isometric drawing

按照轴测投影的绘制方法将每条管道画成以单线表示的管道空视图。

### 3.44

#### 管道工厂化预制 piping factory pre-fabrication

将各管道组成件或管道支撑件在工厂（车间）经过加工、制作、组装、焊接、热处理、检验、试验、标记、清理、油漆和防护等工序，制造出管道产品的过程。

注：包括工厂化预制管段、模块化结构的管道、撬装式设备系统的管道等的生产过程。

### 3.45

#### 热弯 hot bending

在温度高于金属临界点  $A_{Cl}$  时制作弯管的工艺。

### 3.46

#### 冷弯 cold bending

在温度低于金属临界点  $A_{Cl}$  时制作弯管的工艺。

### 3.47

#### 自由管段 pipe-segments to be prefabricated

在管道制作加工前，按照轴测图选择确定的可先行加工的管段。

### 3.48

#### 封闭管段 pipe-segments for dimension adjustment

在管道制作加工前，按照轴测图选择确定的、经实测安装尺寸后再行加工的管段。

### 3.49

#### 定位焊缝 tack weld cover fillet weld

在完成最终焊缝以前，为装配和固定焊件接头的位置而焊接的短焊缝。

### 3.50

#### 焊件 weldment

以焊接方法将构件各部件焊接成的组件。

注：焊件包括母材和焊接接头两部分。

### 3.51

#### 道间温度 interpass temperature

多层多道焊时，在施焊下一焊道之前其相邻焊道及母材需保持的温度。

3.52

**最终封闭口 final closure point**

在管道系统中两个固定位置之间进行装配的最后一个连接口。

注：管道最终封闭口的连接方式可为焊接(对接接头、承插焊接头)或法兰连接。

3.53

**最终封闭口错口偏差 misalignment at the final closure point**

管道最终封闭口在不受外力状态下装配时的偏差,可分解为横向( $X$ 、 $Y$ 轴)和轴向( $Z$ 轴)三个方向的错口偏差值。横向( $X$ 、 $Y$ 轴)偏差值是表示两个被连接管段的端面中心线的偏离程度;轴向( $Z$ 轴)偏差值表示两个被连接管段端部平行截面之间的间隙量。

3.54

**装配管道长度 length of assembly pipe**

某方向( $X$ 、 $Y$ 或 $Z$ 轴)上的装配管段长度。

注：表示管道系统中从封闭点向两端延伸到最近的两个固定位置之间的其他两个方向(横向或轴向)上的管段累积长度之和。

3.55

**检验 inspection**

由建设单位(使用单位)或独立于管道建造方的检验机构为证实产品或管道建造是否满足规范和工程设计要求而进行的符合性评审过程。

3.56

**检验人员 inspector**

建设单位(使用单位)方或检验机构从事检验工作的专职人员。

3.57

**检查 examination**

由制造厂、制作、施工、安装单位对材料、组成件以及加工、制作、安装等过程进行必需的检测和试验,证实产品或管道建造是否满足相关标准和工程设计要求而履行质量控制职责的过程。

3.58

**检查人员 examination personnel**

制造厂、制作、施工、安装单位从事检查工作的专职人员,由独立于制造、制作和安装部门的人员担任。

3.59

**安全保护装置 safety protection device**

按照安全保护层分析,在自控仪表和人工干预失效情况下起作用的机械(物理)保护装置。

注：安全保护装置是防止事故发生或减轻事故损失的最后一道屏障,包括安全泄放装置、阻火器、火灾紧急切断阀和机械联锁装置等。

3.60

**安全泄放装置 safety relief device**

在非火灾或火灾事故情况下,由进口静压力或进出口静压差的作用开启,泄放流体,以防止系统内压力超过预定安全值的装置。

注：包括安全阀、爆破片装置及爆破针阀等。

3.61

**安全阀 safety valve**

由弹簧作用或导阀控制的阀门。

注：当入口处的静压力(对于普通型阀门为进出口静压差)超过设定压力时,阀门开启,泄放流体,以防止系统内压力超过预定的安全值。当压力降至回座压力时,阀门可自动关闭。安全阀类型有普通型、平衡型和先导型。



## 3.62

**爆破片装置 rupture disk device**

由爆破片和夹持器组成的一种不重新闭合的安全泄放装置。

注：当爆破片两侧的压力差达到预定温度下的预定值时，爆破片发生破裂或脱落。爆破片类型有正拱型、反拱型、平板型和石墨等，形式有普通型、开缝型、带刀（槽）型、鳄齿型和脱落型等。

## 3.63

**爆破针阀 buckling pin relief valve**

由阀门和在阀体外装有爆破针的机盒组成的一种不重新闭合的安全泄放装置。

注：爆破针通过机械传动机构承载阀盘上的载荷。当阀门进口静压力达到弯折压力时，爆破针失稳弯曲，阀盘全开，泄放流体。爆破针阀有角型和直线型。

## 3.64

**基本安全泄放装置 first safety relief device**

当并联设置分级设定多个安全泄放装置时，设定压力最低，且首先开启的一个安全泄放装置。

## 3.65

**附加安全泄放装置 additional safety relief device**

当并联设置分级设定多个安全泄放装置时，对于非火灾情况，除了基本安全泄放装置以外的一个或几个安全泄放装置。

## 3.66

**辅助安全泄放装置 supplemental safety relief device**

当并联设置分级设定多个安全泄放装置时，对于火灾情况，除了基本安全泄放装置和附加安全泄放装置以外的一个或几个安全泄放装置。

## 3.67

**独立压力系统 independent pressure system**

由一个或多个设备采用管道连接，任意两设备间连接管道的总流通面积应大于或等于所需最小泄放面积，且中间无阀门隔断的或不会产生阻塞的压力系统，其两端设有可与其他系统隔断的阀门。

## 3.68

**系统设计压力 design pressure of system**

受保护的独立压力系统的设计压力，不大于系统内全部设备和管道的设计压力。

## 3.69

**安全泄放装置设定压力 set pressure of the safety relief device**

使安全泄放装置开始泄放的压力。

注：包括安全阀的开启压力、爆破片装置的设计爆破压力及爆破针装置的弯折压力。

## 3.70

**最大泄放压力 maximum relieving pressure**

泄压过程中超压泄放装置入口的最大压力（绝压），是确定超压泄放装置尺寸的压力。

## 3.71

**最大允许积聚压力 maximum allowable accumulation pressure**

受保护的独立压力系统的所允许达到的相对于设计压力（或最高允许工作压力）的超压。

注：通常用设计压力（或最高允许工作压力）的百分数表示。

## 3.72

**背压 back pressure**

排放系统内压力导致安全泄放装置出口处的压力。

注 1：为附加背压和积聚背压之和。

注 2：安全泄放装置开启前，在出口处由排放系统中其他压力源导致的静压，称为附加背压。附加背压可以是恒定

的,也可是变动的。

注 3: 安全泄放装置开启后,介质流动导致出口处的压力增加,称为积聚背压。积聚背压是变动的。

3.73

**安全泄放量 required relief capacity**

为了防止系统超压,管路或独立压力系统中需要泄放的量。

3.74

**所需最小泄放面积 required minimum relief area**

根据安全泄放量计算得到的需要最小泄放面积。

3.75

**切断阀 block valve or stop valve**

用于隔断或连通管内流体的阀门。

注: 包括闸阀、球阀、旋塞阀、蝶阀、隔膜阀等。

3.76

**阻火器 flame arrester**

允许介质流动,且能够阻止火焰和爆炸传播、蔓延的安全保护装置。

3.77

**爆燃 deflagration**

以亚音速传播的爆炸。

3.78

**爆轰 detonation**

以超音速传播的爆炸,冲击波是其特征。

3.79

**最大试验安全间隙 maximum experimental safe gap; MESG**

在规定试验条件下 $[(1.013 \pm 0.02) \text{ kPa}, (20 \pm 2) ^\circ\text{C}]$ ,内腔体内试验气体或蒸气与空气混合成的各种浓度混合物被点燃时,阻止火焰通过 25 mm 长的通道点燃外部气体混合物的内腔体两个部件之间最大间隙。

3.80

**爆炸级别 explosion group**

根据最大试验安全间隙(MESG)划分的可燃气体和蒸气的爆炸危险性级别。

3.81

**火灾紧急切断阀 fire emergency block valve; FEBV**

在火灾情况下,没有人工干预和外部动力(电、气、液)供应,能自动关断的具有耐火、防静电、高密封性和耐冲击等性能的切断阀。

## 4 压力管道分级

4.1 符合 1.2 a) 范围的工艺管道和制冷管道,按其危害程度和安全等级划分为 GC1 级、GC2 级。

a) 符合下列条件之一的压力管道应划分为 GC1 级:

- 1) 输送 GB/T 42594 规定的毒性程度为急性毒性危害类别 1 介质、急性毒性危害类别 2 气体介质和工作温度高于其标准沸点的急性毒性危害类别 2 液体介质的工艺管道;
- 2) 输送 GB/T 42594 规定的易燃气体类别 1 和类别 2(包括化学不稳定性气体类别 A 和类别 B)以及易燃液体类别 1 和类别 2,并且设计压力大于或等于 4.0 MPa 的工艺管道;
- 3) 输送流体介质,并且设计压力大于或等于 10.0 MPa,或者设计压力大于或等于 4.0 MPa

且设计温度高于或等于 400 ℃ 的工艺管道。

b) 符合下列条件之一的压力管道应划分为 GC2 级：

- 1) 除了 4.1 a) 以外且符合 1.2 a) 范围的工艺管道；
- 2) 符合 1.2 a) 范围的制冷管道。

4.2 符合 1.2 b) 范围的工艺管道和制冷管道，并同时满足下列条件的压力管道可划分为 GC3 级：

- a) 设计压力小于或等于 1.0 MPa(表压)；
- b) 设计温度高于 -20 ℃ 但不高于 185 ℃；
- c) 输送低危害性液体或者公称直径小于 150 mm 输送低危害性气体的管道。

4.3 符合 1.2 b) 范围的工艺管道和制冷管道，除 4.2 以外，可按其危害程度和安全等级划分管道级别，参照执行本文件相应的基本要求。

4.4 输送毒性、易燃性或腐蚀性危险和危害程度不同的混合介质时，应按附录 A 的规定，由建设单位(使用单位)或设计单位确定压力管道等级。

## 5 材料

### 5.1 一般规定

#### 5.1.1 材料选用

建设单位(使用单位)或设计单位应根据具体使用条件(包括制造、制作安装、介质、操作情况、工作环境和试验等)以及本章规定的材料使用要求和限制，考虑材料的损伤风险，选用合适的管道组成件材料。

焊接材料在第 7 章提出具体规定。

#### 5.1.2 材料基本技术规定

5.1.2.1 附录 B 的表 B.1 和表 B.2 规定了常用的管道组成件材料的牌号、母材类别号、许用应力和使用范围等要求，用于管道组成件的材料还应符合表 B.1 和表 B.2 所列材料标准的规定。

材料的物理性能参数见附录 C。常用管道材料的设计和选用、损伤风险以及对应材料的工程措施见附录 D。

5.1.2.2 除表 B.1 和表 B.2 所列的材料标准及牌号材料外，下列材料也可用于管道组成件，且应满足本章对相应材料的要求和使用限制：

- a) 表 B.1 和表 B.2 列入的材料标准中的其他牌号材料；
- b) 材料满足已发布材料标准的技术要求，包括化学成分、物理性能、力学性能、制造方法和工艺、热处理和质量控制等，并且不低于表 B.1 和表 B.2 列入的相应材料标准要求；
- c) 表 25 列入的管道组成件标准中适用的材料；
- d) 与表 B.1、表 B.2 所列材料近似对应的国外标准材料(见附录 E)。

5.1.2.3 牌号不明的材料不应用于制造管道组成件。

5.1.2.4 回收的材料(使用过)不应再用于制造管道组成件。

5.1.2.5 其他材料的选用应经过具有相应资质机构的技术鉴定及评审认可。

### 5.2 材料选用的基本要求

5.2.1 受压组件(螺栓除外)用材料需具有足够的强度、塑性和韧性，在最低使用温度下需具备足够的抗脆断能力。当采用断后伸长率低于 14% 的脆性材料时，应采取必要的安全防护措施。

5.2.2 选用的材料需具有足够的稳定性，包括化学性能、物理性能、力学性能、耐蚀和耐磨性能、抗疲劳

性能、抗蠕变性能和组织稳定性等。

5.2.3 选用材料时,需考虑材料在可能发生的明火、火灾和灭火条件下的适用性以及由此带来的材料性能变化和次生灾害影响。

5.2.4 选用的材料应适合相应的制造工艺、制作和安装,包括焊接、冷热加工及热处理等方面的要求。

5.2.5 当几种不同的材料组合使用时,需考虑可能产生的不利影响。

5.2.6 材料应具备可获得性和经济性。

### 5.3 材料的使用限制

#### 5.3.1 灰铸铁和可锻铸铁

5.3.1.1 表 B.1 所列的灰铸铁和可锻铸铁用于管道组成件时,符合下列规定:

- a) 灰铸铁的使用温度不应低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且不高于 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,压力额定值不应大于 $2.0\text{ MPa}$ ;
- b) 可锻铸铁的使用温度不应低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且不高于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,压力额定值不应大于 $2.0\text{ MPa}$ ;
- c) 不应用于 GC1 级管道或者剧烈循环工况;
- d) 当用于 GC2 级管道时,其使用温度不应高于 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高允许工作压力不应大于 $1.0\text{ MPa}$ ;
- e) 制造、制作和安装过程中不准许焊接;
- f) 应采取防止过热、急冷急热、振动以及误操作等安全防护措施。

5.3.1.2 除应符合 5.3.1.1 的规定外,灰铸铁和可锻铸铁管、管件、管法兰和阀门的适用压力-温度额定值还应符合表 25 相应标准的规定。

#### 5.3.2 球墨铸铁

5.3.2.1 表 B.1 所列的球墨铸铁用于管道组成件时,符合下列规定:

- a) 材料断后伸长率不应低于 $15\%$ ,使用温度应高于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且不高于 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- b) 不应用于 GC1 级管道或者剧烈循环工况;
- c) 当用于 GC2 级管道时,应满足 GB/T 1348 对冲击性能的要求,压力额定值不应大于 $5.0\text{ MPa}$ ;
- d) 制造、制作和安装过程中不准许焊接;
- e) 表 25 所列球墨铸铁管道组成件的其他使用限制还应符合 GB/T 13295 的相应规定。

5.3.2.2 除应符合 5.3.2.1 的规定外,球墨铸铁管、管件、附件、管法兰和阀门的适用压力-温度额定值还应符合表 25 相应标准的规定。

#### 5.3.3 碳素结构钢

##### 5.3.3.1 普通碳素结构钢(Q215A、Q235A)

普通碳素结构钢用于管道组成件时,符合下列规定:

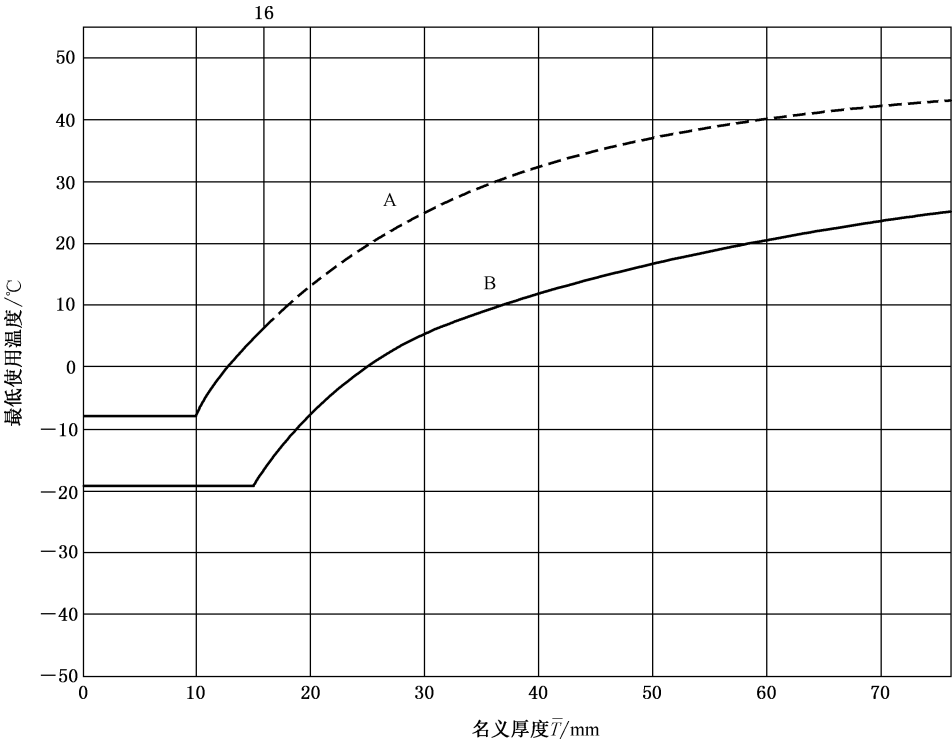
- a) 不应用于 GC1 级管道或者剧烈循环工况;
- b) 选用 Q215A、Q235A 等 A 级镇静钢时,设计压力不应大于 $1.6\text{ MPa}$ ,设计温度不应高于 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且不低于图 1 曲线 A(或表 1)所示温度,仅限于输送低危害性介质;
- c) 用于焊接的管道组成件时,含碳量不应大于 $0.30\%$ ;选用沸腾钢时,厚度不应大于 $12\text{ mm}$ ;选用 A 级镇静钢时,厚度不应大于 $16\text{ mm}$ 。

##### 5.3.3.2 碳素结构钢(Q215B、Q235B)

碳素结构钢(Q215B、Q235B)用于管道组成件时,符合下列规定:

- a) 不应用于 GC1 级管道;
- b) 选用 Q215B、Q235B 等 B 级镇静钢时,设计压力不应大于 $3.0\text{ MPa}$ ,设计温度不应高于 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$

- 且不低于图 1 曲线 B(或表 1)所示温度；
- c) 用于焊接的管道组成件时,含碳量不应大于 0.30%；选用沸腾钢时,厚度不应大于 12 mm；选用 B 级镇静钢时,厚度不应大于 20 mm；
- d) 除 5.5.1.1.1、5.5.1.3 中的相应规定外,当用于焊接的管道组成件时,在制造、制作和安装过程中的焊接工艺评定和焊接接头的冲击试验要求均不应低于本文件的有关要求。



除 5.5.1.3.1 的规定外,最低使用温度/厚度组合位于相应曲线或以上时,可免除冲击试验；位于曲线以下时,应进行冲击试验(低温低应力工况、低温降应力工况及“小截面”情况除外)。

用于 GC3 级管道时,可免除冲击试验。

注 1: 曲线 A、曲线 B 材料的分类见表 B.1。

注 2: 图示名义厚度指:对接焊按较小侧厚度；支管与主管的角接头按支管厚度；对焊法兰按锥颈小端厚度；非焊接部位按厚度的 1/4 计。

图 1 碳钢(包括碳锰钢)免除冲击试验的最低使用温度

表 1 碳钢(包括碳锰钢)免除冲击试验的最低使用温度

| 名义厚度<br>mm        | 6        | 8        | 10       | 12       | 14       | 15       | 16    | 18    | 20   | 22   | 24   | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38   | 40   |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 图 1<br>曲线 A<br>°C | -8       | -8       | -8       | -3.2     | 2.1      | 4.2      | 5.9   | —     | —    | —    | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    |
| 图 1<br>曲线 B<br>°C | ><br>-20 | ><br>-20 | ><br>-20 | ><br>-20 | ><br>-20 | ><br>-20 | -16.4 | -11.7 | -7.7 | -4.3 | -1.4 | 1.2 | 3.3 | 5.4 | 6.8 | 8.3 | 9.2 | 10.5 | 11.9 |
| 注：“—”表示暂无适用数据。    |          |          |          |          |          |          |       |       |      |      |      |     |     |     |     |     |     |      |      |

5.3.4 管线钢

5.3.4.1 工业管道常用的管线钢标准钢管、对焊管件以及法兰锻件的材料牌号见表 2 和表 B.1。

表 2 工业管道用管线钢材料标准钢管、对焊管件以及法兰锻件的材料牌号

| 材料标准              |       | 钢级(质量等级)                  |                         |
|-------------------|-------|---------------------------|-------------------------|
| GB/T 9711<br>钢管   | 电阻焊焊管 | L210/A(PSL1),L245/B(PSL1) | L290/X42~L450/X65(PSL2) |
|                   | 板焊管   | L245/B(PSL1),L245/B(PSL2) | L290/X42~L555/X80(PSL2) |
|                   | 无缝钢管  | L245/B(PSL1),L245/B(PSL2) | L290/X42~L555/X80(PSL2) |
| GB/T 29168.2 对焊管件 |       | —                         | L290/X42~L555/X80(PSL2) |
| GB/T 29168.3 法兰锻件 |       | —                         | L290/F42~L555/F80(PSL2) |
| 注：“—”表示暂不采用。      |       |                           |                         |

5.3.4.2 产品质量等级(PSL)满足如下要求：

- a) PSL2 的产品质量等级较高,且有韧性要求;采用 PSL2 时,需方应根据最低使用温度提出冲击试验温度要求,通常冲击试验温度为-30℃~0℃;低于-30℃时,供需双方应协商,若需方未提出冲击试验温度要求,供方按 0℃执行;
- b) GB/T 29168.1 的弯管、GB/T 29168.2 的对焊管件、GB/T 29168.3 的法兰锻件仅采用 PSL2 质量等级,其冲击试验要求与 GB/T 9711 钢管的 PSL2 质量等级相同;
- c) 表 2 所列 L290~L555 钢级材料的最高使用温度宜不高于 204℃,许用应力按表 B.1 的规定。

5.3.4.3 表 2 所列 PSL1 质量等级材料的最低使用温度按图 1 曲线 B 的规定;PSL2 质量等级材料的最低使用温度不应低于-30℃,并且满足相应温度下材料标准中的冲击试验要求。

5.3.4.4 L360 及以下钢级材料的焊接工艺评定应按 NB/T 47014 的规定执行;高于 L360 钢级材料的焊接工艺评定应按 NB/T 47014 或 GB/T 31032 的规定执行,但应按每个钢材生产厂的每个钢级与每个焊接材料生产厂的每个型号分别进行评定。

5.3.5 管子和对焊管件

5.3.5.1 碳钢、管线钢和奥氏体不锈钢钢管及其对焊管件的使用限制应符合表 3 的规定。

表 3 碳钢、管线钢和奥氏体不锈钢钢管及其对焊管件的使用限制

| 标准              | 材料(牌号)       | 制造工艺      | 使用限制                                                                          |
|-----------------|--------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| GB/T 3091       | 普通<br>碳素结构钢  | 电阻焊焊管     | a) 不准许用于 GC1 级管道;<br>b) 不准许用于剧烈循环工况;<br>c) 按 5.3.3.1 的规定,且设计压力<br>不高于 1.6 MPa |
|                 |              | 电熔焊焊管     |                                                                               |
| GB/T 13793      |              | 电阻焊焊管     |                                                                               |
| SY/T 5037       |              | 电熔焊焊管     |                                                                               |
| GB/T 13401      | CF3270       | 无缝及焊接对焊管件 |                                                                               |
| GB/T 9711(PSL1) | L210<br>L245 | 电阻焊焊管     | a) 不准许用于 GC1 级管道;<br>b) 不准许用于剧烈循环工况;<br>c) 设计压力不高于 4.0 MPa                    |
|                 |              | 板焊管       | 不准许用于 GC1 级管道                                                                 |

表 3 碳钢、管线钢和奥氏体不锈钢钢管及其对焊管件的使用限制 (续)

| 标准                                       | 材料(牌号)                | 制造工艺                         | 使用限制                                                         |
|------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| GB/T 9711(PSL2)                          | L290/X42~<br>L450/X65 | 电阻焊焊管                        | a) 不准许用于 GC1 级的毒性介质[4.1 a)1)规定的]管道或气体介质管道;<br>b) 不准许用于剧烈循环工况 |
| GB/T 3087<br>GB/T 8163                   | 碳钢                    | 无缝管                          | 不准许用于 GC1 级管道                                                |
| GB/T 9711(PSL1)                          | 全部                    |                              |                                                              |
| GB/T 13401                               | CF415<br>CF485        | 无缝及焊接对焊管件                    |                                                              |
| GB/T 12771<br>HG/T 20537.3<br>GB/T 13401 | 奥氏体不锈钢                | 电熔焊焊管(不添加填充金属)及其对焊管件         | a) 不准许用于 GC1 级管道;<br>b) 不准许用于剧烈循环工况                          |
| HG/T 20537.4                             |                       | 纵缝未作射线检测的电熔焊焊管(添加填充金属)及其对焊管件 |                                                              |

5.3.5.2 剧烈循环工况下使用的钢管、有色金属管、对焊管件以及铸件,应符合下列规定:

- a) 采用表 B.1 所列无缝管或者纵向焊接接头质量系数大于或等于 0.90 的电熔焊(EFW)焊管和板焊管,不准许采用电阻焊(ERW)焊管以及未经射线检测的电熔焊焊管;
- b) 采用无缝管件、纵向焊接接头质量系数不小于 0.90 的板制对焊管件以及铸件质量系数不小于 0.90 的铸件。

### 5.3.6 碳钢和铬钼合金钢

5.3.6.1 用于焊接的碳钢、铬钼合金钢,含碳量不应大于 0.30%。

5.3.6.2 使用温度高于 455 ℃的 2¼Cr-1Mo 钢,焊缝金属的含碳量不应小于 0.05%。

5.3.6.3 铬钼合金钢焊管和对焊管件的焊缝应当在焊后热处理工作完成后,进行 100%的射线检测或超声检测,并且符合 NB/T 47013.2 规定的 II 级要求(RT)或 NB/T 47013.3 规定的 I 级要求(UT)。

### 5.3.7 不锈钢

5.3.7.1 低碳(含碳量≤0.08%)非稳定化奥氏体不锈钢(如 06Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2)在非固溶状态下(包括固溶后经热加工或焊接)不宜用于可能发生晶间腐蚀的环境,见 D.6。

5.3.7.2 超低碳奥氏体不锈钢(含碳量≤0.03%)在 425 ℃以上的敏化温度区间内长期使用存在晶间腐蚀倾向,见 D.6.2。

5.3.7.3 低碳/超低碳奥氏体不锈钢等双牌号钢,其常温机械性能应满足两个牌号中机械性能的较高值,化学成分应满足超低碳级的要求。使用温度不高于 538 ℃时,许用应力按低碳级选取;使用温度高于 538 ℃时,许用应力按超低碳级选取。

5.3.7.4 根据设计文件要求,奥氏体不锈钢可按 GB/T 4334 进行晶间腐蚀试验,也可按相关标准进行应力腐蚀试验或点腐蚀试验,试验方法、试样状态、抽样比例和合格指标应在设计文件中明确。

5.3.7.5 根据设计文件要求,采用 GB/T 21833.2 的双相不锈钢无缝钢管时,应当进行点腐蚀试验,并且符合 GB/T 21833.2—2020 中表 4 的规定。

5.3.7.6 采用 GB/T 21832.2 的双相不锈钢焊接钢管时,应符合下列规定:

- a) 大于或等于 DN300;
- b) 采用双面焊或者内外表面质量相当于双面焊的单面焊;
- c) 热处理状态交货;
- d) 焊缝和热影响区的铁素体含量在 35%~65% 范围,不准许有第三相显示;
- e) 根据设计文件要求,包括焊缝在内的试板应当进行点蚀试验,并且符合 GB/T 21833.2—2020 中表 4 的规定。

### 5.3.8 板焊管

5.3.8.1 板焊管应采用钢板纵卷成型,带有 1 条或 2 条纵向直焊缝。受钢板宽度限制,更大直径的板焊管可采用钢板横卷成型。除 GB/T 3091 及 SY/T 5037 的规定外,板焊管的厚度负偏差不应大于 0.3 mm,板焊管的尺寸偏差按 GB/T 9711 等相关材料标准的要求。

5.3.8.2 钢管应采用电熔焊工艺制造。除 GB/T 3091 及 SY/T 5037 的规定外,板焊管应为全焊透结构。碳钢、管线钢、低温碳钢和镍钢、合金钢应采用双面埋弧焊或气体保护焊;不锈钢宜采用包括加丝或不加丝的双面气体保护焊。

5.3.8.3 焊缝的化学成分应与母材接近或相当,其性能不应低于母材的性能。对于要求进行冲击试验的钢管,冲击试验应包括母材、焊缝及热影响区。GB/T 9711 的 PSL2 级板焊管应进行不高于最低设计温度且不低于  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冲击试验。

5.3.8.4 除 GB/T 9711 的 PSL2 级板焊管外,要求进行低于或等于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  冲击试验的低温碳钢板焊管应采用正火状态的钢板。厚度大于或等于 20 mm 的碳钢和低温碳钢板焊管,应进行焊后消除应力热处理;所有铬钼合金钢板焊管应进行焊后消除应力热处理;除建设单位(使用单位)或设计单位另有规定外,奥氏体不锈钢和双相不锈钢板焊管应进行焊后固溶处理,含有稳定化元素的奥氏体不锈钢还应进行稳定化热处理。

5.3.8.5 除 GC3 级管道以及 GB/T 3091、SY/T 5037 的板焊管外,应对板焊管焊缝进行射线检测或超声检测,且符合 8.3.3.2 的相应规定。

5.3.8.6 剧烈循环工况下使用的板焊管应采用添加填充金属的焊接工艺,并进行射线检测或超声检测,且符合 8.3.3.2 的相应规定。

### 5.3.9 镍及镍合金

5.3.9.1 镍及镍合金的力学性能与加工、热处理状态有关,表 B.1 所列性能及许用应力仅适用于相应材料标准的规定范围。

5.3.9.2 镍及镍合金管件的性能及许用应力与坯料、制造工艺及热处理状态有关,可参照相同材料牌号无缝管、焊管、板、棒、锻件的性能及许用应力。表 B.1 所列性能及许用应力为典型示例。

5.3.9.3 NS3306(N06625)镍合金采用 ENiCrMo-3 或 ERNiCrMo-3 焊接的接头抗拉强度不应小于 758 MPa。

5.3.9.4 NS3306(N06625)镍合金经  $538\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 760\text{ }^{\circ}\text{C}$  热过程可能致使常温韧性的降低和焊接区域的应力松弛裂纹,见 D.6.7。

### 5.3.10 铝及铝合金

5.3.10.1 铝及铝合金的力学性能与厚度、交货状态有关,表 B.1 所列性能及许用应力仅适用于相应材料标准的规定范围。

5.3.10.2 材料标准未规定抗拉及屈服强度时,应在采购合同中补充。

5.3.10.3 加工硬化状态材料的焊接结构,应采用相应材料牌号退火状态的许用应力;析出硬化状态材料的焊接结构,应采用相应材料牌号焊接状态的许用应力。



5.3.10.4 铝及铝合金管件的性能及许用应力与坯料、制造工艺及热处理状态有关,可参照相同材料牌号无缝管、焊管、板、棒、锻件的性能及许用应力。表 B.1 所列性能及许用应力为典型示例。

#### 5.3.11 低熔点金属

5.3.11.1 铅、锌等低熔点金属及其合金不准许用于输送易燃介质的管道。

5.3.11.2 应防止铅、锌等低熔点金属在热处理、焊接或高温使用过程中对奥氏体不锈钢及镍合金的液体金属侵蚀,见 D.6.8。

#### 5.3.12 管道支承件材料

5.3.12.1 表 B.1 和表 B.2 所列标准、材料牌号及许用应力也适用于管道支承件。

5.3.12.2 管道支承件材料的其他要求应符合 6.8.2 的规定。

### 5.4 高温条件下的材料使用限制

#### 5.4.1 使用温度上限

5.4.1.1 表 B.1 和表 B.2 规定了一般情况下材料的使用温度上限。

5.4.1.2 确定材料使用温度上限时还考虑使用介质和环境的影响。

#### 5.4.2 高温条件下的材料选用原则

5.4.2.1 高温条件下长期使用的材料,考虑组织或性能变化对材料使用可靠性的影响。

5.4.2.2 高温条件下长期使用的材料,考虑蠕变引起的过度变形、过大位移、材料组织和性能劣化以及螺栓应力松弛的影响;典型金属材料的蠕变阈值温度见表 D.1。

5.4.2.3 高温条件下使用的材料,考虑高温及化学腐蚀引起的材料损伤。

5.4.2.4 通过热处理强化的材料,如果长期在接近或高于回火温度下使用时,考虑材料强度降低的因素。

5.4.2.5 高温蠕变工况使用的焊接管道组成件,其对接焊缝应进行 100% 的射线检测或超声检测,且符合 NB/T 47013.2 规定的 II 级要求(RT)或 NB/T 47013.3 规定的 I 级要求(UT)。

#### 5.4.3 高温条件下碳钢及铬钼合金钢的使用

5.4.3.1 高温蠕变工况使用的碳钢及铬钼合金钢焊接接头的高温强度降低系数(W)应按 6.2.7 的规定。

5.4.3.2 碳钢(碳锰钢)的高温石墨化倾向与铬钼合金钢的软化(球化)倾向可分别见 D.5.3 和 D.5.4。

5.4.3.3 铬钼合金钢的回火脆性与再热裂纹倾向见 D.5.9 和 D.6.7。

#### 5.4.4 高温条件下不锈钢的使用

5.4.4.1 高温蠕变工况使用的不锈钢焊接接头的高温强度降低系数(W)应按 6.2.7 的规定。

5.4.4.2 铁素体不锈钢、马氏体不锈钢和双相不锈钢的 475 °C 脆化见 D.3.2。

5.4.4.3 铬镍奥氏体不锈钢和双相不锈钢的  $\sigma$  相脆化见 D.6.9。

5.4.4.4 铝、铋、铈、镉、镓、铅、锰、锡、锌等低熔点金属及其化合物在高温下对奥氏体不锈钢的液体侵蚀(LME)见 D.6.8。

5.4.4.5 表 B.1 所列低碳级(含碳量 $\leq 0.08\%$ )奥氏体不锈钢在高温条件下使用时,应满足表 4 的附加要求。

表 4 低碳级(含碳量≤0.08%)奥氏体不锈钢高温使用的附加要求

| 低碳级奥氏体不锈钢代号                              | 使用温度<br>℃ | 附加要求    |             |              |
|------------------------------------------|-----------|---------|-------------|--------------|
|                                          |           | 母材含碳量/% | 固溶热处理状态     | 晶粒度          |
| CF8                                      | >425      | ≥0.04   | >1 040 ℃,快冷 | —            |
| CF8M,CF8C                                | >425      | ≥0.04   | >1 095 ℃,快冷 | —            |
| 06Cr18Ni11Ti<br>06Cr18Ni11Nb             | >538      | ≥0.04   | >1 095 ℃,快冷 | 平均晶粒度 7 级或更粗 |
| 06Cr19Ni10<br>06Cr17Ni12Mo2              | >538      | ≥0.04   | >1 040 ℃,快冷 | 平均晶粒度 7 级或更粗 |
| 06Cr23Ni13<br>06Cr25Ni20                 | >538      | ≥0.04   | >1 040 ℃,快冷 | 平均晶粒度 6 级或更粗 |
| 根据设计文件的要求,含有稳定化元素的奥氏体不锈钢在固溶热处理后可进行稳定化热处理 |           |         |             |              |
| 注:“—”表示暂无要求。                             |           |         |             |              |

5.4.5 高温条件下其他材料的使用

- 5.4.5.1 钛及钛合金、锆及锆合金不宜在 316 ℃以上的温度使用。
- 5.4.5.2 镍及镍合金的使用温度上限按表 5 的规定。
- 5.4.5.3 高温蠕变工况使用的镍合金焊接接头的高温强度降低系数(W)应按 6.2.7 的规定。

表 5 镍及镍合金的使用温度上限

单位为摄氏度

| 材料                       | 不含硫环境 |                   |       | 蒸汽  | 含硫环境 |     |
|--------------------------|-------|-------------------|-------|-----|------|-----|
|                          | 氧化    | H <sub>2</sub> 还原 | CO 还原 |     | 氧化   | 还原  |
| 镍<br>(N5、N7)             | 1 040 | 12 60             | 1 260 | 425 | 315  | 260 |
| 镍-铜<br>(NCu30)           | 540   | 1 100             | 815   | 370 | 315  | 260 |
| 镍-铬-铁<br>(NS3102)        | 1 100 | 1 150             | 1 150 | 815 | 815  | 540 |
| 镍-铁-铬<br>(NS1101、NS1102) | 1 100 | 1 260             | 1 150 | 980 | 815  | 540 |

5.5 低温条件下的材料使用限制

5.5.1 最低使用温度及免除冲击试验

5.5.1.1 一般规定(铸铁除外)

- 5.5.1.1.1 除 5.5.1.1.6、5.5.1.3~5.5.1.6 免除冲击试验的规定外,材料及其焊接接头应当进行冲击试验。
- 5.5.1.1.2 材料及其焊接接头的冲击试验应符合 5.5.2 的规定。

- 5.5.1.1.3 确定最低设计温度时,考虑流体节流效应及环境温度的影响。
- 5.5.1.1.4 使用温度不高于-20℃且厚度小于4 mm的铁素体钢管道组成件,不准许采用钢印之类具有尖锐缺口的标记。
- 5.5.1.1.5 除低温低应力工况外,使用温度低于-48℃的铁素体钢管道组成件,其所有承压焊接接头均应为全焊透结构,并且符合第8章的有关规定。
- 5.5.1.1.6 用于GC3级管道的碳钢材料可免除冲击试验。

5.5.1.2 铸铁

灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁的最低使用温度应符合5.3.1、5.3.2的规定。

5.5.1.3 碳钢、低温钢、铬钼合金钢、铁素体不锈钢和双相不锈钢

5.5.1.3.1 除5.5.1.3.3、5.5.1.3.4的规定外,碳钢、低温钢、铬钼合金钢、铁素体不锈钢和双相不锈钢的最低使用温度及免除冲击试验条件应符合表6和表B.1的规定。

表6 钢(奥氏体不锈钢除外)的最低使用温度和冲击试验

| 材料类别<br>(按低温性能<br>区分)       | 最低使<br>用温度<br>℃ | 免除冲击试验条件                                                                                   | 冲击试验要求                                                                       |                                                                 |
|-----------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                             |                 |                                                                                            | 材料                                                                           | 制作、安装中的焊接                                                       |
| 图1曲线A <sup>a</sup>          | -8              | 厚度小于或等于10 mm,或<br>厚度大于10 mm,但设计温<br>度高于或等于图1曲线A<br>所示值                                     | 厚度大于10 mm,且设计温<br>度低于图1曲线A所示值<br>时,应进行常温或设计温度<br>(取较低者)下的冲击试验                | a) 焊缝及热影响区的冲击<br>要求同“材料”栏要求;<br>b) 冲击试验要求应包括<br>在相应的焊接工艺评<br>定中 |
| 图1曲线B <sup>b</sup>          | -104            | 低温低应力工况                                                                                    | 免除                                                                           | 免除                                                              |
|                             | -48             | 小截面 <sup>c</sup>                                                                           |                                                                              |                                                                 |
|                             | -30             | 低温降应力工况:<br>厚度小于或等于15 mm,或<br>者厚度大于15 mm,且设计<br>温度提高11℃后高于或等<br>于图1曲线B所示值。非<br>焊接件按厚度的1/4计 | 厚度大于15 mm,且设计温<br>度提高11℃后仍低于图1<br>曲线B所示值时,应进行常<br>温或设计温度提高11℃<br>(取较低者)的冲击试验 | a) 焊缝及热影响区的冲击<br>要求同“材料”栏要求;<br>b) 冲击试验要求应包括<br>在相应的焊接工艺评<br>定中 |
|                             | >-20            | 厚度小于或等于15 mm,或<br>者厚度大于15 mm,且设计<br>温度高于或等于图1曲线<br>B所示值。非焊接件按厚度<br>的1/4计                   | 厚度大于15 mm,且设计温<br>度低于图1曲线B所示值<br>时,应进行常温或设计温度<br>(取较低者)的冲击试验                 | a) 焊缝及热影响区的冲击<br>要求同“材料”栏要求;<br>b) 冲击试验要求应包括<br>在相应的焊接工艺评<br>定中 |
| 锻件和铸件<br>(表B.1中<br>2.5和2.6) | 按表B.1           | 全部免除                                                                                       | 免除                                                                           | 如进行焊接,根据焊缝厚<br>度,焊缝及热影响区按图1<br>曲线B“制作、安装中的焊<br>接”栏要求            |
|                             | -30             | 低温降应力工况                                                                                    | 免除                                                                           | 如进行焊接,根据焊缝厚<br>度,焊缝及热影响区按图1<br>曲线B“制作、安装中的焊<br>接”栏要求            |
|                             | -104            | 低温低应力工况                                                                                    | 免除                                                                           | 免除                                                              |

表 6 钢(奥氏体不锈钢除外)的最低使用温度和冲击试验(续)

| 材料类别<br>(按低温性能<br>区分)                                                                                                                                                                                                                                                     | 最低使<br>用温度<br>℃                 | 免除冲击试验条件                                                                                                   | 冲击试验要求                                                                                                  |                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                 |                                                                                                            | 材料                                                                                                      | 制作、安装中的焊接                                                                                       |
| 低温钢<br>(表 B.1 中 3)                                                                                                                                                                                                                                                        | 按表 B.1                          | 全部免除                                                                                                       | a) 设计温度低于或等于<br>—20℃时,应进行设计温<br>度下的冲击试验(材料、<br>焊缝、热影响区);<br>b) 材料(包括焊接材料)<br>应符合相应低温钢材<br>料标准的全部要求      | a) 设计温度低于或等于<br>—20℃时,应进行设计<br>温度下的冲击试验(焊<br>缝、热影响区);<br>b) 材料(包括焊接材料)<br>应符合相应低温钢材<br>料标准的全部要求 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                           | 表 B.1<br>或<br>—48℃,<br>取较<br>低值 | 小截面 <sup>c</sup>                                                                                           | 免除                                                                                                      | 免除                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                           | —104                            | 低温低应力工况                                                                                                    |                                                                                                         |                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                           | 铬钼合金钢                           | —30                                                                                                        | a) 设计温度不低于—30℃<br>时,可免除冲击试验<br>要求;<br>b) 低温低应力工况可使<br>用至—104℃;<br>c) 小截面 <sup>c</sup> 可使用至左列<br>最低使用温度值 | 设计温度低于左列最低使用温度时,应进行设计温度下的<br>冲击试验(材料、焊缝、热影响区)                                                   |
| 铁素体不锈钢                                                                                                                                                                                                                                                                    | —30                             |                                                                                                            |                                                                                                         |                                                                                                 |
| 双相不锈钢                                                                                                                                                                                                                                                                     | —50                             | a) 设计温度低于—30℃但不低于左列最低使用温度<br>时,应进行设计温度下的冲击试验(焊缝、热影响区)。<br>b) 设计温度低于左列最低使用温度时,应进行设计温度<br>下的冲击试验(材料、焊缝、热影响区) |                                                                                                         |                                                                                                 |
| <sup>a</sup> 图 1 曲线 A 包括表 B.1 中下列碳钢:<br>——Q215A、Q235A 的板材以及板焊管、CF370 焊制管件;<br>——Q215A、Q235A 的 ERW 焊管。<br>用于 GC3 级管道时,见 5.5.1.1.6。<br><sup>b</sup> 图 1 曲线 B 包括除脚注 <sup>a</sup> 外的其他表 B.1 所列碳钢(包括碳锰钢)。<br><sup>c</sup> “小截面”指材料由于厚度及截面形状限制,无法制备 2.5 mm×10 mm×55 mm 冲击试样的状况。 |                                 |                                                                                                            |                                                                                                         |                                                                                                 |

5.5.1.3.2 材料的焊接工艺评定应符合表 8、表 11 和表 12 的规定。

5.5.1.3.3 符合下列条件之一的材料,最低使用温度可低于冲击试验温度或表 6 和表 B.1 所列的最低使用温度:

- 符合 5.5.1.3.4 的低温降应力工况或者低温低应力工况的使用条件;
- 除 c)、d) 和 e) 的情况外,材料的最低使用温度可低于材料标准规定的最低冲击试验温度,但材料的生产、制造、制作、安装和检验过程应当进行冲击试验,其冲击试验温度不应高于材料的最低使用温度,且三个冲击试样的冲击吸收能量均不应低于表 11 中规定的三个试样的平均值;
- 母材类别 Fe-1(见表 B.1,下同)的碳钢(包括碳锰钢、低温碳钢和管线钢)的最低使用温度可比材料(包括焊接接头)的冲击试验温度或表 B.1 所示最低使用温度低 3℃;
- 母材类别 Fe-1 的材料标准规定的冲击吸收能量合格值高于表 11 的规定值时,允许按每提高 1.5 J 冲击试验温度可降低 1℃进行折算,但折算的降低温度不应大于 17℃;

注:例如,冲击试验温度—20℃时的冲击吸收能量合格值为 47 J,折算相当于冲击试验温度—30℃时的冲击

吸收能量合格值 32 J,或者相当于冲击试验温度-33℃时的冲击吸收能量合格值 27 J。

- e) 母材类别 Fe-1-1、Fe-1-2(按 NB/T 47014—2023 表 1)且焊接厚度不大于 20 mm 的碳钢(包括碳锰钢、低温碳钢),如进行本文件未作要求的焊后热处理时,最低使用温度可降低 17℃,但不应低于-48℃。

5.5.1.3.4 当母材类别 Fe-1 材料符合低温低应力或者低温降应力工况时,其免除冲击试验的最低使用温度符合下列规定。

- a) 符合低温降应力工况的材料类别 Fe-1 材料免除冲击试验的最低使用温度降低量为 11℃,且最低使用温度不应低于-30℃,但应满足下列要求:
  - 1) 管道经过不低于 1.5 倍设计压力的水压试验;
  - 2) 除公称壁厚小于或等于 13 mm 外,管道系统对外加载荷[如维修载荷、冲击载荷、热(冷)冲击载荷等]需进行安全防护;
  - 3) GC2 级管道以及环境气温不高于-20℃但不低于-30℃地区的 GC3 级管道,且管道适用的碳钢材料中不包括普通碳素结构钢,管道系统中不准许有铁素体与奥氏体的异种金属焊接接头。

注:最低环境温度取历年来月平均最低气温的最低值。

- b) 符合低温低应力工况的 GC2 级管道,最低使用温度不低于-104℃,且管道适用的碳钢材料中不包括普通碳素结构钢,管道系统中不准许有铁素体与奥氏体的异种金属焊接接头。

5.5.1.4 奥氏体不锈钢

5.5.1.4.1 奥氏体不锈钢的最低使用温度应符合表 B.1 的规定。

5.5.1.4.2 当使用温度低于或等于-20℃时,奥氏体不锈钢应进行低温冲击试验。同时满足下列要求时,可免除低温冲击试验:

- a) 母材的最低使用温度不低于-196℃、焊缝金属的最低设计温度不低于-104℃和“小截面”的三个条件之一者;
- b) 材料含碳量不大于 0.10%且为固溶热处理状态;
- c) 焊缝填充金属含碳量不大于 0.10%。

5.5.1.5 镍及镍合金、钛及钛合金和铝及铝合金

镍、钛、铝及其合金的最低使用温度和免除冲击试验的条件应符合表 7 和表 B.1 的规定。

表 7 有色金属的最低使用温度

| 材料类别  | 最低使用温度<br>℃ | 冲击试验要求 |                                  | 更低使用温度                                                          |
|-------|-------------|--------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|       |             | 材料     | 焊接接头                             |                                                                 |
| 镍及镍合金 | -200        | 全部免除   | a) 如焊缝金属成分符合母材规定,无额外要求;          | 设计应对母材、焊缝金属和热影响区在设计温度下进行相应的试验(包括断后伸长率、缺口拉伸/常规拉伸比较、冲击试验等)来确定其适用性 |
| 钛及钛合金 | -60         |        | b) 如焊缝金属成分不符合母材规定,按右侧“更低使用温度”栏要求 |                                                                 |
| 铝及铝合金 | -270        |        |                                  |                                                                 |

5.5.1.6 螺栓材料

5.5.1.6.1 螺栓材料的最低使用温度应符合表 B.2 的规定,符合下列条件的可免除冲击试验:

- a) 碳钢、合金钢标准紧固件；
- b) 奥氏体不锈钢标准紧固件；
- c) 0Cr18Ni9、0Cr17Ni12Mo2 及其应变硬化不锈钢紧固件(B8-2、B8M-2)；
- d) 25Cr2MoV 钢紧固件；
- e) 上述紧固件配用螺母材料。

5.5.1.6.2 当 35CrMo、42CrMo(B7)螺栓的使用温度低于表 B.2 所示最低使用温度,但不低于-104 ℃ 时,应附加低温冲击试验,并且符合表 11 的规定。

5.5.2 冲击试验

5.5.2.1 母材的冲击试验

5.5.2.1.1 除符合 5.5.1 中免除冲击试验的规定外,母材均应按 5.5.2.3~5.5.2.5 的要求进行冲击试验。  
5.5.2.1.2 对于材料标准中的有关冲击试验的规定满足 5.5.2.1.1 的要求时,应按材料标准进行冲击试验;对于材料标准中对母材未规定冲击试验或者有关冲击试验的规定不满足 5.5.2.1.1 的要求时,应提出冲击试验的附加要求。

5.5.2.2 焊接接头的冲击试验

焊接接头的冲击试验应符合下列规定:

- a) 焊接接头的冲击试验在焊接工艺评定中进行;
- b) 焊接接头冲击试验的试件制备、试样位置及数量按照 NB/T 47014 进行,并且满足表 8 的要求;
- c) 表 6 所列材料(奥氏体不锈钢除外)的焊接接头冲击试验包括焊缝金属和热影响区,奥氏体不锈钢的焊接接头冲击试验仅包括焊缝金属。

表 8 焊接接头冲击试验(制造、制作、安装)

| 试件的要求            | 试验的覆盖范围                                                                                                               | 试样位置及数量                                                                                                                                                                                | 冲击试验进行者  |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 按 NB/T 47014 的要求 | a) 试件厚度为 $T$ ,则可覆盖的厚度范围为:<br>( $T/2\sim 2T$ ) mm;<br>b) 工艺评定试样的焊缝金属和热影响区,按 NB/T 47014 (包括补加因素)的要求,在低于或等于最低设计温度下进行冲击试验 | a) 焊缝金属(三个一组):<br>1) 试样横贯焊缝;<br>2) 缺口位于焊缝金属并垂直于接头表面;<br>3) 试样的一个表面尽可能接近接头表面(距离 1.5 mm 及以内)。<br>b) 热影响区(三个一组):<br>1) 试样横贯焊缝;<br>2) 缺口大致位于焊缝金属并垂直于接头表面;<br>3) 缺口根部及其后的断口尽可能多地位于焊接接头的热影响区 | 制造、制作、安装 |

5.5.2.3 冲击试验方法

冲击试验方法应符合下列规定:

- a) 冲击试验方法符合 GB/T 229 的规定；
- b) 标准冲击试样为 10 mm×10 mm×55 mm 尺寸的夏比缺口冲击试样；
- c) 若因截面尺寸限制无法制备标准试样时,也可采用厚度为 7.5 mm、5.0 mm、2.5 mm 的小尺寸试样或尽可能宽的小尺寸试样;小尺寸试样的缺口宽度一般不小于材料厚度的 80%；
- d) 试样缺口应沿厚度方向切取,3 个试样为一组。

5.5.2.4 冲击试验温度

冲击试验温度应符合下列规定：

- a) 标准试样的冲击试验温度不高于最低设计温度；
- b) 小尺寸试样的冲击试验温度降低值符合表 9 和表 10 的规定,并且仅适用于表 11 以冲击吸收能量作为合格标准的状况；
- c) 采用冲击断口侧向膨胀量作为合格标准的冲击试验温度符合表 12 的规定。

表 9 冲击试验温度降低值

| 材料厚度( <i>t</i> )<br>mm                                      | 冲击试样缺口宽度<br>mm | 冲击试验温度降低值( $\Delta T$ )<br>℃  |
|-------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------|
| $\geq 10$                                                   | $\geq 8$       | 0                             |
|                                                             | $< 8$          | $\Delta T_2^a$                |
| $< 10$                                                      | $\geq 0.8t$    | 0                             |
|                                                             | $< 0.8t$       | $ \Delta T_1^b - \Delta T_2 $ |
| <sup>a</sup> $\Delta T_2$ 为冲击试样缺口宽度小于 10 mm 时的温度降低值(按表 10)。 |                |                               |
| <sup>b</sup> $\Delta T_1$ 为材料厚度小于 10 mm 时的温度降低值(按表 10)。     |                |                               |

表 10  $\Delta T_1$ 和  $\Delta T_2$

| 材料厚度或试样缺口宽度<br>mm | $\Delta T_1, \Delta T_2$<br>℃ |
|-------------------|-------------------------------|
| 10(标准试样)          | 0                             |
| 9                 | 0                             |
| 8                 | 0                             |
| 7.5(7.5 mm 试样)    | 3                             |
| 7                 | 4                             |
| 6.67(2/3 宽试样)     | 5                             |
| 6                 | 8                             |
| 5(5 mm 试样)        | 11                            |
| 4                 | 17                            |
| 3.33(1/3 宽试样)     | 19                            |
| 3                 | 22                            |
| 2.5(2.5 mm 试样)    | 28                            |
| 中间值可采用内插法取值       |                               |



表 11 冲击试验的冲击吸收能量合格标准(母材、焊缝金属、热影响区)

| 材料类别                                               | 材料标准规定的最小抗拉强度值( $R_m$ )<br>MPa | 标准试样冲击吸收能量 <sup>a</sup><br>J |         |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------|
|                                                    |                                | 3 个试样平均值                     | 单个试样最低值 |
| a) 碳钢、合金钢、低温钢;<br>b) 碳钢、合金钢螺栓材料<br>(尺寸 $\leq$ M52) | $R_m \leq 450$                 | 18                           | 14      |
|                                                    | $450 < R_m \leq 515$           | 20                           | 16      |
|                                                    | $515 < R_m < 655$              | 27                           | 20      |
| 合金钢螺栓材料(尺寸 $\leq$ M52)                             | $R_m \geq 655$                 | 27                           | 20      |
| <sup>a</sup> 采用小尺寸试样时,冲击吸收能量合格标准按试样宽度的比例降低。        |                                |                              |         |

表 12 冲击试验的侧向膨胀量合格标准(母材、焊缝金属)

| 材料类别                                                | 最低使用温度<br>℃ | 冲击试验温度<br>℃ | 侧向膨胀量 <sup>a</sup><br>mm |
|-----------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------------------|
| a) 奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢、双相不锈钢;                             | $\geq -196$ | 最低设计温度      | 0.38                     |
| b) 尺寸 $>$ M52 且 $R_m \geq 655$ MPa 碳钢、合金钢螺栓材料       | $< -196$    | -196        | 0.46                     |
| <sup>a</sup> 采用小尺寸试样时,侧向膨胀量合格标准与标准试样相同,且 3 个试样均应合格。 |             |             |                          |

5.5.2.5 合格标准

冲击试验的合格标准按照下列有关要求确定:

- a) 材料标准规定的最小抗拉强度小于 655 MPa 的碳钢、合金钢、低温钢以及螺纹直径小于或等于 M52 的螺栓材料,其冲击吸收能量合格标准应符合表 11 的规定;
- b) 不锈钢以及螺纹直径大于 M52 且最小抗拉强度大于或等于 655 MPa 的螺栓材料,其冲击试样断口的侧向膨胀量合格标准应符合表 12 的规定。

5.6 材料标记和质量证明

5.6.1 材料标记

5.6.1.1 材料标记应符合相应标准与合同的规定。

5.6.1.2 标记内容至少应包括制造厂标记、产品标准、规格型号以及材料牌号,下列管道组成件的标记还应包括材料炉批号或代号:

- a) GC1 级管道用的管道组成件;
- b) 按本章要求进行冲击试验的管道组成件;
- c) 铬钼合金钢(螺栓材料除外)管道组成件;
- d) 用于高温条件下的奥氏体不锈钢(H 型)管道组成件;
- e) 镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金管道组成件。

5.6.1.3 材料应逐件标记,标记应清晰、牢固,公称尺寸小于或等于 DN40 的材料可采用标签或其他替代方法进行标记。



## 5.6.2 质量证明

材料的质量证明应符合下列规定：

- a) 材料具有相应的质量证明文件；
- b) 质量证明文件包括标准以及合同规定的检验和试验结果，且具有可追溯性。

## 6 设计和计算

### 6.1 设计条件

#### 6.1.1 设计压力

##### 6.1.1.1 一般规定

6.1.1.1.1 管道系统中每个管道组成件的设计压力，不应小于在操作中可能遇到的最苛刻的压力（含内压和外压）和温度组合工况下的压力，但 6.2.3 规定的情况除外。

6.1.1.1.2 最苛刻的工况导致管道组成件具有最大厚度和最高压力等级。

6.1.1.1.3 最苛刻的压力和温度组合工况应计及压力源（如泵、压缩机）、压力脉动、不稳定流体的分解、静压头、控制装置和阀门的失效或操作失误、环境影响等可能产生的运行条件。

6.1.1.1.4 不同流体工况的管道连接时，分隔阀门的压力额定值应当按最苛刻工况确定。当分隔的阀门为多个阀门时（如双切断带排放时），所有阀门的压力额定值应当按最苛刻工况确定。如果多个阀门操作温度不同，且连接的是主管或者设备并远程控制，多个阀门的选型可按不同的温度考虑。

##### 6.1.1.2 设计压力的确定原则

6.1.1.2.1 装有单个安全泄放装置的管道，其设计压力不应小于安全泄放装置的设定压力；装有多个安全泄放装置的管道，其设计压力不应小于基本安全泄放装置的设定压力。

6.1.1.2.2 未设置安全泄放装置或可能发生与安全泄放装置隔离、堵塞的管道，其设计压力不应小于可能因此而产生的最大压力。

6.1.1.2.3 当管道与设备直接连接作为一个压力系统时，管道的设计压力不应小于设备的设计压力。

6.1.1.2.4 离心泵出口管道的设计压力不应小于泵的关闭压力。

6.1.1.2.5 输送制冷剂、液化烃类低沸点介质的管道，其设计压力不应小于阀门切断时或介质不流动时介质可能达到的最大压力。

6.1.1.2.6 当管道被分隔件（包括夹套管、盲板等）分隔为几个单独的受压段时，该分隔件的设计压力不应小于在操作中两侧受压空间可能遇到的最苛刻的压差和温度组合工况的压力。

6.1.1.2.7 装有安全控制装置的真空管道，设计压力取最大压差的 1.25 倍和 0.1 MPa 的两者较小值，并按外压条件进行设计；对于没有安全控制装置的真空管道，设计压力取 0.1 MPa。

#### 6.1.2 设计温度

##### 6.1.2.1 一般规定

6.1.2.1.1 管道系统中每个管道组成件的设计温度应按操作中可能遇到的最苛刻的压力和温度组合工况下的温度确定。

6.1.2.1.2 同一管道中的不同管道组成件的设计温度可不相同。

6.1.2.1.3 确定设计温度时，考虑流体温度、环境温度、阳光辐射、加热或冷却介质的温度以及管道隔热、传热的影响。

### 6.1.2.2 设计温度的确定

6.1.2.2.1 对于无外隔热层的管道,当介质温度低于 65℃时,管道组成件的设计温度与介质温度相同,但需考虑阳光辐射或其他可能导致介质温度升高的因素;当介质温度高于或等于 65℃时,管道组成件的设计温度确定应符合下列规定:

- a) 对于管子、阀门、翻边短节、焊接管件和其他壁厚与管子相似的组成件,取介质温度的 95%;
- b) 对于除松套法兰以外的法兰(包括管件和阀门上的法兰),取介质温度的 90%;
- c) 对于松套法兰,取介质温度的 85%;
- d) 对于螺栓,取介质温度的 80%;
- e) 也可取实测的平均壁温或根据传热计算得到的平均壁温。

6.1.2.2.2 对于外部隔热的管道,管道组成件的设计温度一般取介质温度,但也可取实测的平均壁温或根据传热计算得到的平均壁温,采用伴管或夹套结构的管道需考虑加热或冷却对设计温度的影响。

6.1.2.2.3 对于内部隔热的管道,管道组成件的设计温度应按传热计算或试验确定。

### 6.1.2.3 最低设计温度

最低设计温度指管道组成件在运行过程中的最低温度,管道设计时需考虑最低设计温度对管道设计、材料选用和柔性分析(见 6.7.5.5)的影响。

## 6.1.3 荷载条件

### 6.1.3.1 持久荷载

持久荷载指持续长时间作用于管道的荷载,包括以下内容。

- a) 介质压力:管道内压、外压或最大压差(设计压力应与对应的设计温度一起作为荷载条件)。
- b) 重力荷载:管道设计应计入的重力荷载包括如下:
  - 1) 静荷载:管道组成件、隔热材料重量以及施加在管道上由管道支承的其他永久性荷载;
  - 2) 活荷载:输送介质的重量或者液压试验或清洗介质的重量以及由于环境和操作条件造成的冰、雪的重量。

### 6.1.3.2 偶然性荷载

偶然性荷载指偶发短时间作用于管道的荷载,包括:

- a) 风荷载:当设计室外管道时,应计算风荷载,其计算方法见附录 F;
- b) 地震荷载:当设计管道时,应计算由地震引起的水平力,其计算方法见附录 F;
- c) 流体排放反力:由于流体的减压或排放而产生的反作用力,管道的设计、布置、支承应能承受此反作用力。

### 6.1.3.3 温度及位移荷载

温度及位移荷载指管道系统由温度及位移而引起的荷载,包括:

- a) 约束产生的荷载:当温度变化时,因管道受约束使管道不能自由热胀冷缩而产生的荷载;
- b) 端点位移引起的荷载:管道支吊架或管道连接的设备发生位移引起的荷载;
- c) 膨胀特性不同产生的荷载:因材料热胀系数差异导致热膨胀的不同而产生的荷载,如双金属管道、夹套管道、非金属衬里管道等;
- d) 温度梯度形成的荷载:因温度剧变或分布不均匀而在管壁中产生的应力所形成的荷载,如高温流体通过厚壁管或流体分层流动而产生的管道弯曲。

#### 6.1.3.4 循环荷载

管道系统由压力循环、热循环以及其他循环引起的疲劳荷载。

#### 6.1.3.5 冲击

外部或内部条件引起的冲击力,包括介质流动导致的冲击、介质流速的变化、压力波动、液体闪蒸、水击、液体或固体的猛击、暴涨和喷发。

#### 6.1.3.6 振动

由冲击、压力脉动、紊流涡流、压缩机共振以及风荷载引起的振动。管道设计、布置、支承应能消除过度和有害的振动影响。

### 6.1.4 厚度附加量

#### 6.1.4.1 腐蚀裕量

管道设计需有足够的腐蚀裕量,腐蚀裕量应根据预期的使用寿命和介质对材料的腐蚀速率来确定,还需考虑冲蚀和局部腐蚀等因素。

#### 6.1.4.2 其他附加量

确定管道组成件最小厚度时,应包括腐蚀、冲蚀、螺纹深度或沟槽深度所需的裕量。为防止因支承、结冰、回填、运输和装卸等引起的超载应力和变形,从而可能产生的损坏、垮塌或失稳等现象,需考虑增加管壁厚度。

### 6.1.5 环境影响

#### 6.1.5.1 压力

对于被隔断管道中的流体,需考虑受环境加热产生膨胀所导致的压力升高或受环境冷却而导致管道的压力下降甚至真空的影响。

#### 6.1.5.2 温度

当管道系统的设计温度低于 0℃ 时,需考虑由表面结露、结冰而引起的阀门、泄压装置或排放管道故障以及低温对柔性分析和材料选用等的影响。

### 6.1.6 管道布置和特定管道系统的设计要求

管道布置和特定管道系统,如泄放管道、埋地管道、易燃易爆介质和有毒介质管道、蒸汽管道、低温管道、管道的防腐隔热和静电接地等设计要求,见附录 G。

## 6.2 设计准则

### 6.2.1 管道组成件压力-温度设计准则和方法

#### 6.2.1.1 压力-温度额定值方法

管道组成件的压力-温度额定值的确定应符合下列规定:

- a) 除本文件另有规定外,表 25 所列标准中规定压力-温度额定值的管道组成件,其设计温度下的

最大允许工作压力按相应标准规定的压力-温度额定值；

- b) 如设计温度高于表 25 中相应标准给出的温度额定值,但不高于第 5 章规定的材料使用温度上限,可根据相关温度下的材料许用应力折算取值；
- c) 对于表 25 所列标准中仅标明公称压力的管道组成件,设计温度下的最大允许工作压力可根据设计温度和常温下的材料许用应力折算取值；
- d) 对于表 25 中未列入的管道组成件,其适用的压力-温度值符合 6.5.3 的规定。

#### 6.2.1.2 压力设计方法

管道组成件的压力设计应符合下列规定：

- a) 直管、斜接弯头、弯管、盲板、法兰和对焊管件等非标管道组成件按 6.6 的规定进行设计；
- b) 对于表 25 中按壁厚系列规定的对焊管件、承插焊管件和螺纹管件,其设计温度下的最大允许工作压力不大于具有相同壁厚系列和相同许用应力的无缝直管按有效厚度确定的最大允许工作压力；
- c) 对于表 25 中未列入且按壁厚系列规定的管道组成件,其设计温度下的最大允许工作压力符合 6.5.3 的规定；
- d) 支管与主管直接连接的压力设计符合 6.6.6、6.6.7 的规定。

#### 6.2.1.3 验证性压力试验方法

管道组成件的验证性压力试验应符合下列规定：

- a) 对于表 25 中的对焊管件,可进行验证性压力试验,并在验证性压力试验的覆盖范围内按 6.2.1.2 b) 确定其设计温度下的最大允许工作压力；
- b) 其他的管道组成件也可根据验证性压力试验确定其最大允许工作压力。

#### 6.2.1.4 其他方法

除 6.2.1.1~6.2.1.3 规定的方法外,管道组成件的最大允许工作压力也可采用对比经验分析、应力分析或有限元分析方法确定。

### 6.2.2 管道系统压力-温度设计准则

除 6.2.3 的规定外,管道系统的设计压力不大于该系统中所有管道组成件按 6.2.1 确定的设计温度下的最大允许工作压力的最小值。

### 6.2.3 压力和温度的允许变动范围

6.2.3.1 确定设计压力和设计温度时,需考虑管道系统运行时发生的压力和温度的变动影响。

6.2.3.2 GC1 级管道的压力和温度不应超出设计范围。

6.2.3.3 除同时满足下列各项条件以及 6.2.3.4 的要求外,GC2 和 GC3 级管道应按压力和温度变动中的最苛刻组合确定设计条件：

- a) 管道系统中没有铸铁或其他脆性金属材料的管道组成件；
- b) 由介质压力产生且按有效厚度计算的管道应力不超过在相应温度下的材料屈服强度；
- c) 组合应力符合 6.7.5.5 的规定；
- d) 在管道系统预期寿命内,超过设计条件的压力-温度变化的总次数不大于 1 000 次；
- e) 压力变动的上限值不大于管道系统的试验压力；
- f) 持续和周期性变动不改变管道系统中所有管道组成件的操作安全性能；
- g) 温度变动的下限值不小于第 5 章规定的材料最低允许使用温度；

- h) 阀门密封组件的压力差不超过阀门制造商规定的最大额定压力差。
- 6.2.3.4 压力设计时超过设计条件的压力偶然变动应限制在下列任一范围内。
- a) 当压力超过相应温度下的压力额定值或者由介质压力产生的按管道有效厚度计算的应力超过材料许用应力时,其变动的幅度和频率满足以下条件之一:
- 1) 变动幅度不大于 33%,每次变动时间不超过 10 h,且每年累计变动时间不超过 100 h;
- 2) 变动幅度不大于 20%,每次变动时间不超过 50 h,且每年累计变动时间不超过 500 h。
- b) 当波动为自限时(例如压力泄放),在每次变动时间不超过 50 h 且每年累计变动时间不超过 500 h 的前提条件下,压力额定值的变动幅度不大于 20%,或者管道按有效厚度计算的应力超过材料许用应力值的变动幅度不大于 20%。

6.2.4 许用应力

6.2.4.1 金属材料许用应力和螺栓材料许用应力应分别符合表 B.1 和表 B.2 的规定。

注:表中许用应力值未包括材料的纵向焊接接头质量系数( $\Phi_w$ )、焊接接头高温强度降低系数(W)和铸件质量系数( $\Phi_c$ ),表中的温度为设计温度。

6.2.4.2 表 B.1 和表 B.2 以外的金属材料 and 螺栓材料应按表 13 和表 14 规定的准则确定各自的许用应力。

表 13 金属材料许用应力准则

| 材料                                                                | 许用应力不应大于下列各值中的最小值<br>MPa |                                 |                                       |                                                    |                                                   |                        |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|
|                                                                   | 抗拉强度<br>下限值<br>$R_m$     | 设计温度下<br>抗拉强度<br>下限值<br>$R_m^t$ | 屈服强度<br>下限值<br>$R_{eL}(R_{\rho 0.2})$ | 设计温度下<br>屈服强度<br>下限值<br>$R_{eL}^t(R_{\rho 0.2}^t)$ | 持久强度平均<br>值或持久强度<br>最低值<br>$R_D^t$ 或 $R_{Dmin}^t$ | 蠕变极限<br>平均值<br>$R_n^t$ |
| 灰铸铁                                                               | $\frac{R_m}{10}$         | $\frac{R_m^t}{10}$              | —                                     | —                                                  | —                                                 | —                      |
| 可锻铸铁                                                              | $\frac{R_m}{5}$          | $\frac{R_m^t}{5}$               | —                                     | —                                                  | —                                                 | —                      |
| 球墨铸铁,碳钢、合金钢、铁素<br>体不锈钢、断后伸长率<35%<br>的奥氏体不锈钢、双相不锈<br>钢、钛和钛合金、铝和铝合金 | $\frac{R_m}{3}$          | $\frac{R_m^t}{3}$               | $\frac{R_{eL}(R_{\rho 0.2})}{1.5}$    | $\frac{R_{eL}^t(R_{\rho 0.2}^t)}{1.5}$             | $\frac{R_D^t}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$      | $\frac{R_n^t}{1.0}$    |
| 断后伸长率≥35%的奥氏体<br>不锈钢和镍基合金                                         | $\frac{R_m}{3}$          | $\frac{R_m^t}{3}$               | $\frac{R_{eL}(R_{\rho 0.2})}{1.5}$    | $0.9 R_{eL}^t(R_{\rho 0.2}^t)^a$                   | $\frac{R_D^t}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$      | $\frac{R_n^t}{1.0}$    |
| 注:“—”表示暂无适用数据。                                                    |                          |                                 |                                       |                                                    |                                                   |                        |
| a 对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。                                  |                          |                                 |                                       |                                                    |                                                   |                        |

表 14 螺栓材料许用应力准则

| 材料                                                                                     | 许用应力不应大于下列各值中的最小值    |                                 |                                   |                                                |                                                   |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|
|                                                                                        | MPa                  |                                 |                                   |                                                |                                                   |                        |
|                                                                                        | 抗拉强度<br>下限值<br>$R_m$ | 设计温度下<br>抗拉强度<br>下限值<br>$R_m^t$ | 屈服强度<br>下限值<br>$R_{eL}(R_{p0.2})$ | 设计温度下<br>屈服强度<br>下限值<br>$R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)$ | 持久强度平均<br>值或持久强度<br>最低值<br>$R_D^t$ 或 $R_{Dmin}^t$ | 蠕变极限<br>平均值<br>$R_n^t$ |
| 非热处理强化或应变强化的<br>螺栓材料                                                                   | $\frac{R_m}{4}$      | $\frac{R_m^t}{4}$               | $\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$    | $\frac{R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)}{1.5}$             | $\frac{R_D^t}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$      | $\frac{R_n^t}{1.0}$    |
| 热处理强化或应变强化的螺<br>栓材料                                                                    | $\frac{R_m}{5}$      | $\frac{R_m^t}{4}$               | $\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{4}$      | $\frac{R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)}{1.5}$             | $\frac{R_D^t}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$      | $\frac{R_n^t}{1.0}$    |
| 注 1: 对于热处理强化或应变强化处理的螺栓材料,许用应力取表中最小值。若该许用应力小于材料退火状态下的许用应力,取非热处理强化或应变强化(即退火状态)螺栓材料的许用应力。 |                      |                                 |                                   |                                                |                                                   |                        |
| 注 2: 表列螺栓许用应力准则仅用于非标准法兰设计的螺栓强度要求。                                                      |                      |                                 |                                   |                                                |                                                   |                        |

- 6.2.4.3 拉伸许用应力按 6.2.4.1 和 6.2.4.2 的规定取值。
- 6.2.4.4 压缩许用应力应符合结构稳定性的要求,且不大于拉伸许用应力。
- 6.2.4.5 剪切许用应力取拉伸许用应力的 80%,接触许用应力取拉伸许用应力的 160%。
- 6.2.5 纵向焊接接头质量系数( $\Phi_w$ )

管子和对焊管件的纵向焊缝和螺旋焊缝的焊接接头质量系数( $\Phi_w$ )应按表 15 规定的准则或表 B.3 确定。

表 15 纵向焊接接头质量系数( $\Phi_w$ )

| 序号                                                  | 焊接型式                         |                     | 焊缝类型                | 检查                | $\Phi_w$ |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------|
| 1                                                   | 连续炉焊 <sup>a</sup>            |                     | 直缝                  | 按材料标准规定           | 0.60     |
| 2                                                   | 电阻焊(ERW) <sup>a</sup>        |                     | 直缝或螺旋缝              | 按材料标准规定           | 0.85     |
| 3                                                   | 电熔焊(EFW)                     | 单面对接焊<br>(带或不带填充金属) | 直缝或螺旋缝              | 按材料标准或本文件规定不作射线检测 | 0.80     |
|                                                     |                              |                     |                     | 局部(10%)射线检测       | 0.90     |
|                                                     |                              |                     |                     | 100%射线检测          | 1.00     |
|                                                     |                              | 双面对接焊<br>(带或不带填充金属) | 直缝或螺旋缝<br>(除序号 4 外) | 按材料标准或本文件规定不作射线检测 | 0.85     |
|                                                     |                              |                     |                     | 局部(10%)射线检测       | 0.90     |
|                                                     |                              |                     |                     | 100%射线检测          | 1.00     |
| 4                                                   | GB/T 9711 电熔焊(EFW),<br>双面对接焊 |                     | 直缝(1 条或<br>2 条)或螺旋缝 | 按 GB/T 9711 的规定   | 0.95     |
|                                                     |                              |                     |                     | 100%射线检测          | 1.00     |
| <sup>a</sup> 不应通过附加无损检测来提高连续炉焊和电阻焊(ERW)的纵向焊接接头质量系数。 |                              |                     |                     |                   |          |

- 6.2.6 铸件质量系数( $\Phi_c$ )
- 6.2.6.1 铸铁件(灰铸铁、可锻铸铁)的铸件质量系数( $\Phi_c$ )取 1.0。
- 6.2.6.2 除铸铁外,表 B.1 中金属静态铸件应按 JB/T 7927 的规定进行外观检查,且不低于 B 级要

求,铸件质量系数取 0.8。

6.2.6.3 对需要进行附加无损检测的铸件可取表 16 中的铸件质量系数。

表 16 铸件质量系数( $\Phi_c$ )及附加无损检测要求

| 序号 | 附加无损检测要求                                                    | $\Phi_c$ |
|----|-------------------------------------------------------------|----------|
| 1  | 铸件表面加工至 $Ra6.3$ ,提高目视检查的清晰度,并满足 JB/T 7927—2014 中 B 级的可接受要求  | 0.85     |
| 2  | 铸件表面按 JB/T 6902—2008(PT)中级别 4 级或 JB/T 6439(MT)进行着色渗透检测或磁粉检测 | 0.85     |
| 3  | 铸件按 JB/T 6440(RT)或 JB/T 6903—2008(UT)中等级 2 级进行射线照相或超声检测     | 0.95     |
| 4  | 同序号 1 和序号 2                                                 | 0.90     |
| 5  | 同序号 1 和序号 3                                                 | 1.00     |
| 6  | 同序号 2 和序号 3                                                 | 1.00     |

6.2.7 焊接接头高温强度降低系数( $W$ )

6.2.7.1 使用表 17 所列高温蠕变工况的碳钢、铬钼合金钢、强韧型铁素体耐热钢、300 系奥氏体不锈钢、800 系和 600 系镍基合金,其焊接接头的长期工作强度可能低于母材。

按 6.6 设计承受内压的焊接直管和弯管、弯头、斜接弯头、异径管等对焊管件,在计算壁厚时,许用应力与纵向焊接接头质量系数的乘积( $S\Phi_w$ )还应乘以  $W$ ;计算由持久荷载产生的轴向应力时,环焊缝的许用应力( $S_h$ )是否乘以  $W$  由设计者根据具体工况决定。

6.2.7.2 符合下列条件之一者,可不计焊缝接头高温强度降低系数( $W$ ):

- a) 评价偶然性荷载(如风荷载、地震荷载)时;
- b) 按 6.2.3 评价的压力和温度允许变动范围时;
- c) 按 a)或 b)条件的额定压力或许用应力;
- d) 按 6.7.5.3 计算柔性分析的许用应力范围  $S_A$ 时。

6.2.7.3 对于表 17 以外的材料,除 6.2.7.4 规定外,当温度不高于 510 ℃时, $W$  取 1.0;当温度为 815 ℃时, $W$  取 0.5,中间数值采用线性内插法计算;温度高于 815 ℃时,由设计者确定  $W$ 。

6.2.7.4 允许通过焊接接头蠕变断裂试验确定大于表 17 或 6.2.7.3 规定的  $W$ ,但应满足下列要求:

- a) 采用全厚度包括母材、焊缝及热影响区的横向焊接接头试样;
- b) 持久断裂时间不低于 1 000 h。

表 17 焊接接头高温强度降低系数( $W$ )<sup>a</sup>

| 材料                         | 温度<br>℃ |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                            | 427     | 454  | 482  | 510  | 538  | 566  | 593  | 621  | 649  | 677 | 704 | 732 | 760 | 788 | 816 |
| 碳钢                         | 1       | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | —    | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 铬钼钢 <sup>b~d</sup>         | 1       | 0.95 | 0.91 | 0.86 | 0.82 | 0.77 | 0.73 | 0.68 | 0.64 | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| CSEF(N+T) <sup>d~f</sup>   | —       | —    | —    | 1    | 0.95 | 0.91 | 0.86 | 0.82 | 0.77 | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| CSEF <sup>d,e</sup> (PWHT) | —       | —    | 1    | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | —   | —   | —   | —   | —   | —   |

表 17 焊接接头高温强度降低系数(W)<sup>a</sup>(续)

| 材料                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 温度<br>℃ |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 427     | 454 | 482 | 510 | 538  | 566  | 593  | 621  | 649  | 677  | 704  | 732  | 760  | 788  | 816 |
| 无填充金属的 300 系奥氏体不锈钢及 800 和 600 镍基合金自熔焊 <sup>g</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | —       | —   | —   | 1   | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1   |
| 带填充金属的 300 系奥氏体不锈钢及 800 镍基合金                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | —       | —   | —   | 1   | 0.95 | 0.91 | 0.86 | 0.82 | 0.77 | 0.73 | 0.68 | 0.64 | 0.59 | 0.55 | 0.5 |
| 注：“—”表示暂无适用数据。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| <p><sup>a</sup> 表列温度仅用于相应材料焊接接头高温强度降低系数(W),材料的使用温度上限按第 5 章的相应规定。</p> <p><sup>b</sup> CrMo 钢包括 0.5Cr-0.5Mo, 1Cr-0.5Mo, 1.25Cr-0.5Mo, 2.25Cr-1Mo, 3Cr-1Mo, 5Cr-0.5Mo, 9Cr-1Mo。直缝及螺旋缝应是正火、正火加回火或适当的相变温度以下的焊后热处理(PWHT)。</p> <p><sup>c</sup> 直缝及螺旋缝电熔焊结构不准许用于 454 ℃ 以上的 C-0.5Mo 钢。</p> <p><sup>d</sup> 焊缝填充金属的碳含量大于或等于 0.05%,埋弧焊焊剂的碱度大于或等于 1.0。</p> <p><sup>e</sup> CSEF(强韧型铁素体耐热钢)钢包括:2.25Cr-1.6W-V-Cb、9Cr-1Mo-V、9Cr-1Mo-1W-Cb、9Cr-2W 和 12Cr-2W。</p> <p><sup>f</sup> N+T:焊后正火+回火热处理。</p> <p><sup>g</sup> 无填充金属的自熔焊,焊后应进行固溶退火处理。</p> |         |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |

6.3 管道组成件的选用

6.3.1 一般规定

应根据流体的性质、各种可能出现的操作工况以及外部环境的要求和经济合理性选用管道组成件。

6.3.2 管子和对焊管件

- 6.3.2.1 按表 B.1 和表 25 选用的管子和对焊管件,其壁厚计算应符合 6.6 的相关规定。
- 6.3.2.2 按表 B.1 和表 25 选用的管子,还需考虑设计条件和各种可能出现的操作工况。
- 6.3.2.3 管子和对焊管件材料的使用限制应符合第 5 章的相关规定。
- 6.3.2.4 用于 GC1 级管道和/或剧烈循环工况的对焊管件应符合下列规定:
- a) 满足 GB/T 12459—2017 中附录 B 的最小壁厚要求,或者壁厚按照 6.6 的方法设计计算;
  - b) 采用带折边异径管,且半锥角不大于 30°;
  - c) 采用整体成型三通,且名义厚度与外径比大于 0.01。
- 6.3.2.5 采用 GB/T 9711 的 L290(X42)~L555(X80)的管道系统,对焊管件应符合 GB/T 29168.2 的相关规定。

6.3.3 弯管

- 6.3.3.1 非表 25 所列标准中的弯管的制作应符合第 7 章的相关规定。
- 6.3.3.2 非表 25 所列标准中的弯管最小壁厚应符合 6.6.2 的规定。
- 6.3.3.3 带褶皱和波浪的弯管(见图 15)不应用于 GC1 级管道和剧烈循环工况。



6.3.3.4 采用 GB/T 9711 的 L290(X42)~L555(X80) 的管道系统,弯管应符合 GB/T 29168.1 的相关规定。

#### 6.3.4 斜接弯头(虾米弯)

6.3.4.1 斜接弯头的选用应符合下列规定:

- 设计压力  $P \leq 2.0$  MPa,且设计温度低于材料的蠕变温度;
- 斜接弯头的变方向角  $\alpha$  大于  $45^\circ$  者,仅适用于 GC3 级管道;
- 斜接弯头的变方向角  $\alpha$  大于  $22.5^\circ$  者,不准用于 GC1 级管道和剧烈循环工况;
- 斜接弯头的变方向角  $\alpha$  小于或等于  $3^\circ$  者,可作为直管而不作为斜接弯头。

6.3.4.2 除满足 6.3.4.1 的规定外,斜接弯头应按 6.6 进行压力设计,其焊接和制作还应符合第 7 章的相关规定。

#### 6.3.5 短半径弯头

6.3.5.1 短半径弯头和短半径回弯头( $R=1.0D$ )应符合 GB/T 12459 的规定。

6.3.5.2 短半径弯头的最大允许工作压力应符合下列规定:

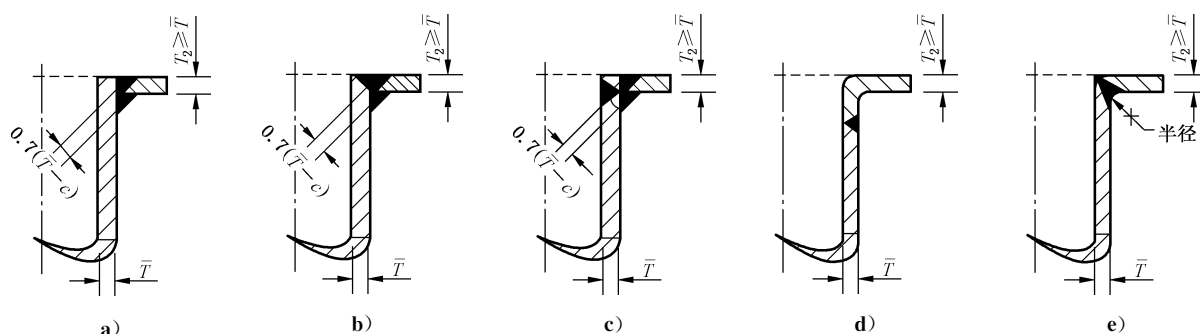
- 弯头中心线所在平面的内弧侧壁厚不小于管件设计厚度的 1.25 倍时,其最大允许工作压力与 6.2.1.3 a) 确定的最大允许工作压力相同;
- 弯头中心线所在平面的内弧侧壁厚小于管件设计厚度的 1.25 倍时,其最大允许工作压力不大于按 6.2.1.3 a) 确定的最大允许工作压力的 80%。

#### 6.3.6 翻边短节

6.3.6.1 翻边短节的选用应符合表 25 所列相应标准的规定。

6.3.6.2 现场制作的翻边短节应符合下列规定:

- 采用图 2 规定的基本型式;当用于剧烈循环工况时,采用图 2 d) 和图 2 e) 所示的圆角结构;
- 外径符合 GB/T 12459 的相关规定,其密封面按相应管法兰密封面的要求加工;
- 厚度不小于与其连接管子的公称壁厚;
- 许用应力不小于与其连接的管子的许用应力;
- 制作和检验符合第 7 章和第 8 章的有关规定。



标引符号说明:

$C$  —— 6.6.1.1 定义的厚度附加量;

$\bar{T}$  —— 6.6.1.1 定义的名义厚度;

$T_2$  —— 翻边的最小厚度。

图 2 现场制作的翻边短节基本型式示意图

6.3.6.3 扩口翻边短节应符合下列规定：

- a) 不准许用于剧烈循环工况；
- b) 扩口翻边用的管子符合表 B.1 相应材料标准的规定，且满足相应扩口翻边的加工工艺要求；
- c) 外径符合 GB/T 12459 的相关规定，其密封面按相应管法兰密封面的要求加工；
- d) 内圆角半径不大于 3 mm；
- e) 最小厚度不小于管子最小壁厚的 95% 乘以管子外径与此点所在位置处的直径的比值；
- f) 压力设计符合 6.2.1.2 的规定。

6.3.6.4 扩口翻边短节用于 GC1 级管道时，除符合 6.3.6.3 的规定外，还应满足下列要求：

- a) 公称直径不大于 DN100，且扩口翻边前管子壁厚大于 Sch10；
- b) 最高允许工作压力不大于 PN16(Class150) 法兰规定的相应额定值；
- c) 工作温度不高于 200 °C。

6.3.6.5 满足下列任一项要求的翻边短节可用于剧烈循环工况：

- a) 符合 GB/T 12459 规定的锻制翻边短节；
- b) 符合 6.3.6.2 且采用图 2 d) 和图 2 e) 所示的圆角结构。

6.3.7 支管连接及其管件

6.3.7.1 支管连接包括支管直接与主管进行焊接连接和支管通过连接管件与主管进行连接的两种形式，支管连接管件包括支管座、半管接头和三通等。用于 GC1 级管道的支管连接管件应符合 6.3.7.2 的规定。支管直接与主管的焊接连接应符合 6.3.7.3 的规定。

6.3.7.2 用于 GC1 级管道的支管连接管件应符合下列规定：

- a) 宜采用整体补强的支管连接管件或三通；
- b) 承插或螺纹支管座和半管接头的公称直径不应大于 DN50；
- c) 螺纹管件的选用应符合 6.4.5 的有关规定。

6.3.7.3 支管直接与主管的焊接连接应符合下列规定。

- a) 按 6.6.6、6.6.7 的规定进行压力设计，焊接应符合 6.4.2.1 的规定。
- b) 用于剧烈循环工况时，除符合 6.3.7.3 a) 的规定外，还应采用图 23 b)、图 23 d) 和图 23 f) 的结构。
- c) 支管直接与主管的焊接连接不宜在以下场合使用：
  - 1) 支管尺寸与主管相近；
  - 2) 连接部位存在振动、压力脉动、温度循环等荷载引起的循环应力。
- d) 支管与主管尺寸相差悬殊时，支管需具有足够的柔性，以补偿主管的热膨胀及其他位移（见 6.7.5.5）。

6.3.7.4 直接焊于主管，用于支管连接的螺纹或承插焊管接头或者半管接头，当同时满足下列要求时可免于补强计算：

- a) 符合 GB/T 14383 的规定，压力等级不低于 Class3000；
- b) 支管公称直径不大于 DN50，且不大于主管公称直径的四分之一；
- c) 管接头或半管接头的最小壁厚不小于支管的有效厚度；
- d) 支管与主管的焊接连接符合 7.4.8 的规定。

6.3.7.5 直接焊于管道组成件上的承插焊管接头或半管接头，应采用图 23 a) 和 b) 所示的安放式或插入式全焊透组合焊缝型式；若采用角焊缝的连接型式，其设计压力不应大于 4.0 MPa，设计温度为 -20 °C ~ 185 °C，且限于低危害性介质。

6.3.7.6 存在振动、压力脉动、温度循环等荷载引起的循环应力时，支管连接宜采用三通。

6.3.7.7 不满足 6.6.6.2.2 规定的支管连接宜采用整体补强管件。

6.3.8 法兰

- 6.3.8.1 法兰应按表 25 选取,宜选用 HG/T 20592、HG/T 20615 和 HG/T 20623 的标准法兰,且按相应标准规定的压力-温度额定值使用。
- 6.3.8.2 当选用表 25 以外的法兰时,应符合 6.2.1.2~6.2.1.4 的规定。
- 6.3.8.3 胀接法兰、平焊法兰和螺纹法兰(不包括高压用螺纹法兰—透镜垫密封型式以及附加密封焊型式)不应用于 GC1 级管道。
- 6.3.8.4 平焊法兰和松套法兰的附加要求如下:
- a) 平焊法兰与接管的焊接应为两道焊缝,并符合 7.4.7.2 的规定;
  - b) 平焊法兰不应用于温度频繁变化的工况,特别是法兰未作隔热的场合;
  - c) 选用带颈平焊法兰时,公称压力不应大于 PN40(Class300),工作温度为-46℃~200℃,且限于输送非易燃易爆介质;
  - d) 板式平焊法兰不应用于输送有毒、易燃易爆介质的管道;
  - e) 对焊环松套法兰的选用和翻边短节应符合 6.3.6 的规定;
  - f) 带颈平焊法兰与翻边短节配合的使用范围应符合表 18 的规定;
  - g) 松套法兰或带颈平焊法兰与翻边短节(包括现场制作的焊制翻边、扩口翻边等)配合使用时,需考虑法兰内孔与翻边转角的配合。

表 18 与翻边短节配合的带颈平焊法兰的使用范围

| 压力等级           | 最大法兰公称直径 |
|----------------|----------|
| PN16(Class150) | DN300    |
| PN40(Class300) | DN200    |

- 6.3.8.5 承插焊法兰的连接应符合 6.4.2.3 的规定。
- 6.3.8.6 螺纹法兰(锥管螺纹连接)的附加要求如下:
- a) 螺纹法兰的连接应符合 6.4.5 的规定;
  - b) 选用螺纹连接(NPT 或者  $R/R_p$ )的螺纹法兰时,工作压力应分别不大于 2.0 MPa(NPT)和 0.86 MPa( $R/R_p$ ),工作温度不高于 260℃,且限于低危害性介质;
  - c) 选用 DN65、DN125 和 DN150 螺纹法兰时,其钢管外径还应符合表 19 的规定;
  - d) 除 GC3 级管道外,不应采用管端伸出螺纹法兰作为密封面的结构型式,如图 3 所示(不包括高压用螺纹法兰—透镜垫密封型式)。

表 19 螺纹法兰的钢管外径

| 公称尺寸  | 钢管外径<br>mm                    |                     |
|-------|-------------------------------|---------------------|
|       | GB/T 7306.1(55°锥管螺纹 $R/R_p$ ) | GB/T 12716(60°锥管螺纹) |
| DN65  | 76.1                          | 73                  |
| DN125 | 139.7                         | 141.3               |
| DN150 | 165.1                         | 168.3               |

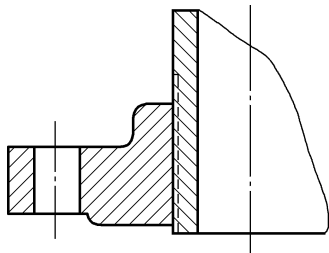


图 3 管端伸出螺纹法兰作为密封面的结构示意图

- 6.3.8.7 法兰型式的选用需考虑法兰的刚度对法兰接头密封性能的影响。
- 6.3.8.8 在剧烈循环工况下,应选用整体法兰或带颈对焊法兰。
- 6.3.8.9 确定法兰密封面型式及表面粗糙度时,需考虑流体性质、垫片和紧固件性能。

6.3.9 垫片

- 6.3.9.1 垫片的选用需考虑流体性质、工作温度、工作压力以及法兰密封面等因素,宜选用 HG/T 20606、HG/T 20607、HG/T 20609、HG/T 20610、HG/T 20611、HG/T 20612、HG/T 20627、HG/T 20628、HG/T 20630、HG/T 20631、HG/T 20632、HG/T 20633 的标准垫片。垫片的密封荷载应与法兰的压力等级、密封面型式、表面粗糙度和紧固件相匹配。
- 6.3.9.2 有冷流倾向的垫片,其密封面型式宜采用全平面、凹凸面或榫槽面。
- 6.3.9.3 采用缠绕式垫片、金属包覆垫等半金属垫或金属环垫且公称压力小于或等于 PN16(Class150)时,应选用带颈对焊等刚性较大结构型式的标准管法兰。
- 6.3.9.4 可燃材料(如橡胶)制成的垫片,不应用于输送强氧化性介质的管道。

6.3.10 紧固件

- 6.3.10.1 紧固件包括六角头螺栓、等长双头螺柱、全螺纹螺柱和螺母,宜选用 HG/T 20613、HG/T 20634 的标准紧固件,紧固件的强度按表 20 分类。

表 20 紧固件强度分类

| 螺栓材料<br>(HG/T 20613、HG/T 20634)                                                      |            |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------|
| 高强度                                                                                  | 中强度        | 低强度           |
| 8.8                                                                                  | A2-70      | 5.6           |
| 35CrMo                                                                               | A4-70      | A4-50         |
| 25Cr2MoV                                                                             | A193 B8-2  | A2-50         |
| 42CrMo(B7)                                                                           | A193 B8M-2 | 06Cr17Ni12Mo2 |
| A320 L7                                                                              | A453 660   | 06Cr18Ni10    |
| 除设计计算保证具有足够强度外,低强度紧固件不应用于 Class 600 及以上等级法兰接头和金属垫片密封的法兰接头;6.4.3.5 所列工况,应采用中强度或高强度紧固件 |            |               |

- 6.3.10.2 紧固件应满足预紧及操作条件下垫片的密封要求。
- 6.3.10.3 较高强度等级的紧固件可代用较低强度等级的紧固件。高温条件下使用的紧固件应与法兰材料具有相近的热膨胀系数。
- 6.3.10.4 在低温、温度循环以及振动、疲劳等条件下,应控制紧固件的紧固程序。

6.3.10.5 配对法兰中一侧为铸铁法兰或铜合金法兰时,应采用低强度紧固件,但下列场合除外:

- a) 两侧法兰的密封面均为全平面且采用全平面垫片的场合;
- b) 规定了螺栓紧固力矩和紧固程序的场合。

6.3.10.6 低强度紧固件不应用于剧烈循环工况下的法兰接头。

6.3.10.7 当采用螺栓连接的管道组成件的螺栓孔为盲孔时,螺栓孔深度应保证螺纹的有效啮合长度不小于 0.875 倍的螺栓公称直径。

### 6.3.11 阀门

6.3.11.1 应根据管道的设计压力、设计温度、介质性质和阀门用途来选用阀门,并且需考虑外部荷载对阀门操作性能和密封性能的影响。

6.3.11.2 阀门应按表 25 选取,也可参照附录 H 选取,且按相应标准规定的压力-温度额定值使用。当阀门内件采用非金属材料时,应根据非金属材料所能承受的压力-温度额定值确定阀门的压力-温度额定值。

6.3.11.3 阀盖与阀体的连接应符合下列规定:

- a) 采用螺纹阀盖的阀门需设有防止阀盖松动的安全装置,如锁紧装置等;
- b) 阀盖与阀体的连接螺栓个数少于 4 或者采用 U 形螺栓连接的阀门,仅限用于 GC3 级管道。

6.3.11.4 对于双密封阀座的阀门,应采取中腔泄压措施或者通过压力设计的措施防止介质因温度升高或相变导致中腔压力超出阀门的压力-温度额定值。

6.3.11.5 对于阀杆填料和管道内流体介质温差较大的工况以及阀门设计温度低于  $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$  的低温工况,应采用加长阀盖的结构型式。

6.3.11.6 阀门的阀杆和止回阀、蝶阀的轴应采用防飞出结构。当阀杆螺母与軛架分离或者填料压盖被拆去时,阀杆或轴不会因压力而飞出。

6.3.11.7 对于 GC1 级管道和/或剧烈循环工况,其阀门的选用符合下列规定。

- a) 除非另有规定外,宜选用重载阀门(见 GB/T 12234 或 GB/T 12235)。
- b) 阀帽或阀盖的密封结构应采用以下型式之一:
  - 1) 螺栓数量大于或等于 4 的法兰连接,且法兰接头及其螺栓紧固符合 6.4.3.5 的相应规定;
  - 2) 压力密封阀盖;
  - 3) 全焊透焊接结构。
- c) 不准许采用螺纹连接的阀盖密封结构。
- d) 用于剧烈循环工况的阀门铸件质量系数( $\Phi_c$ )应大于或等于 0.90。

6.3.11.8 采用非金属密封材料内件,且用于易燃易爆流体的阀门,应符合耐火试验要求,并应根据非金属材料所能承受的压力-温度额定值确定阀门的压力-温度额定值。

6.3.11.9 用于泄漏危害性介质、挥发性有机物(VOC)介质的阀门应采用低逸散结构,以控制阀杆填料处的泄漏,并符合 GB/T 40079 和 GB/T 26481 的相应规定,相关要求见附录 I。

6.3.11.10 暗杆阀门不宜用于腐蚀性介质和易结垢介质的工况。

6.3.11.11 对于 6.3.11.1~6.3.11.8 的规定同样适用于管道过滤器、疏水器及分离器等与阀门类似的管道组成件。

## 6.4 管道组成件连接形式的选用

### 6.4.1 一般规定

管道组成件连接形式的选用应与管道材料和流体工况相适应,且需考虑在预期的使用和试验工况下,压力、温度和外荷载对连接接头密封性能和机械强度的影响。

## 6.4.2 焊接接头

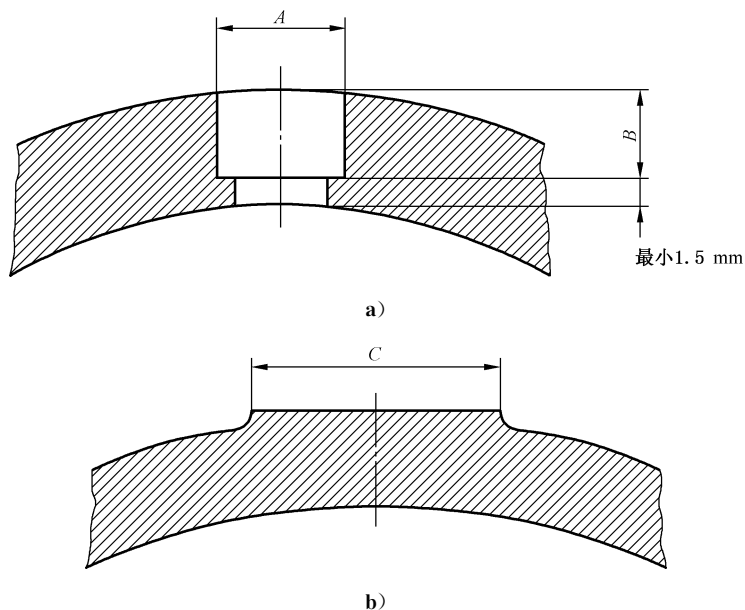
6.4.2.1 管道组成件的连接形式宜优先选用焊接接头。管道组成件在制作和安装过程中的焊接、预热和热处理应符合第7章的有关规定,其检查及检验应符合第8章的有关规定。

6.4.2.2 背面垫板 and 自耗嵌块的使用符合下列规定。

- a) 对于腐蚀、振动或剧烈循环工况,焊接时避免背面使用垫板,并使用背面不带垫板的焊接工艺;当不可避免采用垫板时,应满足以下要求:
  - 1) 在焊后去除垫板并打磨接头内表面;
  - 2) 当无法去除垫板时,使用自耗嵌块替代垫板或者使用焊后能去除的非金属垫板。
- b) 对于 GC1 级管道或剧烈循环工况,背面不应使用开口(不连续的)垫板。

6.4.2.3 采用承插焊的焊接接头应符合下列规定:

- a) 一般用于公称直径小于或等于 DN50。
- b) 承口尺寸符合相应法兰或管件标准的规定,承插焊焊角尺寸不小于图 21、图 22 所示尺寸。
- c) 以下场合不准许采用承插焊焊接:
  - 1) 可能产生缝隙腐蚀或严重冲蚀的场合;
  - 2) 要求焊接部位及管道内壁光滑过渡的场合;
  - 3) 剧烈循环工况、GC1 级管道且公称直径大于 DN50 的场合。
- d) 管道组成件上开设的旁通管和排放孔可采用承插焊连接,其承口尺寸符合图 4 a)以及表 21 的规定。
- e) 当管道组成件直接开承插焊的承口,如果管道组成件的壁厚不能满足表 21 的尺寸要求或需要开孔补强时,需增加凸缘[如图 4 b)所示],且凸缘的尺寸符合表 21 的规定;接出支管的公称尺寸不大于 DN25 且不大于主管公称尺寸的四分之一。
- f) 直接焊于管道组成件上的承插焊管接头或半管接头,需采用安放式或插入式全焊透的角接接头对接焊缝型式;若采用角焊缝的连接型式,其设计压力不大于 4.0 MPa,设计温度为  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 185\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且限于低危害性介质。



标引符号说明:

A——承口最小直径; B——承口最小深度; C——凸缘最小直径。

图 4 承口和凸缘示意图

表 21 承口和凸缘尺寸

单位为毫米

| 连接尺寸      |              | DN10 | DN15 | DN20 | DN25 | DN32 | DN40 | DN50 |
|-----------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 最小直径(A)   | 国际通用系列<br>钢管 | 17.7 | 21.8 | 27.4 | 34.2 | 42.9 | 48.8 | 61.1 |
|           | 国内沿用系列<br>钢管 | 14.5 | 18.5 | 25.5 | 32.5 | 38.5 | 45.5 | 57.8 |
| 最小深度(B)   |              | 5    | 5    | 6.5  | 6.5  | 6.5  | 6.5  | 8    |
| 凸缘最小直径(C) |              | 32   | 38   | 44.5 | 54   | 63.5 | 70   | 86   |

- 6.4.2.4 角焊缝符合下列规定：
- a) 符合图 20、图 21 和图 22 的角焊缝，可用于连接承插焊组件和平焊法兰的主要焊缝；
  - b) 角焊缝可用于连接补强组件和结构附件，以增加强度或降低应力集中。
- 6.4.2.5 密封焊焊缝仅用于防止螺纹连接接头的泄漏，而不考虑其对连接强度的影响。
- 6.4.2.6 用于剧烈循环工况的焊接接头除应符合 6.4.2.1～6.4.2.4 的规定外，其焊接接头的检查还应符合 8.3 的相关规定。
- 6.4.2.7 用于高温蠕变工况的焊接接头除应符合 6.2.7、6.4.2.1～6.4.2.4 的规定外，其焊接接头的检查还应符合 8.3 的相关规定。
- 6.4.3 法兰连接
- 6.4.3.1 法兰连接应根据设计条件、荷载、流体特性、泄漏率等因素来选用，同时还需综合考虑法兰、垫片和紧固件的选用与配合。
- 6.4.3.2 当金属法兰与非金属或铸铁法兰连接时，法兰的密封面应采用全平面型式，且一般选配全平面型式垫片。如果采用全平面型式以外的垫片，应控制螺栓拧紧力矩，防止非金属或铸铁法兰过载。
- 6.4.3.3 当配对的两个法兰如具有不同的压力额定值时，该连接接头的最高无冲击工作压力应按较低额定值确定，且应控制安装时的螺栓拧紧力矩，防止较低额定值法兰过载。
- 6.4.3.4 高温或承受较大温度梯度的法兰接头，除应符合 6.3.8～6.3.10 的规定外，还需考虑法兰的高温变形、温差和螺栓的应力松弛以及垫片蠕变的影响。
- 6.4.3.5 GC1 级(毒性、易燃性)管道以及高温或低温、剧烈循环以及振动、疲劳等工况条件下，满足下列各项要求。
- a) 采用表 20 所列的高强度或中强度的紧固件。
  - b) 法兰接头的螺栓安装载荷需保证法兰接头在安装、试验及运行过程中满足下列各项要求：
    - 1) 螺栓安装载荷应在法兰不变形、垫片不压溃或压碎、螺栓不屈服的条件下取最大值；螺栓安装目标应力(以螺栓根径截面积计)不大于 70%螺栓材料屈服强度；当采用高强度紧固件时，螺栓安装目标应力一般取 350 MPa；
    - 2) 考虑螺栓的应力松弛、垫片蠕变以及法兰偏转而致使螺栓安装载荷的衰减；
    - 3) 考虑安装偏差而导致螺栓安装载荷的损失；
    - 4) 考虑管道各种工作压力(包括试验压力)及外加载荷(包括温度及温差载荷)而导致垫片密封应力的降低；
    - 5) 在运行条件下，能够维持足够的垫片密封应力，以满足设计要求(连接紧密性)。
  - c) 采用 GB/T 38343 规定的最大螺栓安装载荷控制技术，法兰接头装配、紧固方法和紧固程序的要求符合 7.7.2 的相关规定。

6.4.4 胀接头

- 6.4.4.1 胀接头不应用于剧烈循环工况或 GC1 级管道。
- 6.4.4.2 应采取适当措施以防止胀接头的松动、分离。
- 6.4.4.3 用于有毒介质的胀接头,应采取安全防护措施。
- 6.4.4.4 对于承受温度循环、振动、不均匀(或局部)膨胀或收缩以及外部机械荷载的管道,当采用胀接头连接时,应保证胀接头的密封性能,并采取安全防护措施。

6.4.5 螺纹密封的管螺纹连接

- 6.4.5.1 螺纹密封的管螺纹型式应符合表 22 的规定。

表 22 螺纹牙型角

| 外螺纹     | 内螺纹                | 牙型角 | 标准          |
|---------|--------------------|-----|-------------|
| 圆锥形 NPT | 圆锥形 NPT            | 60° | GB/T 12716  |
| 圆锥形 R   | 圆锥形 R <sub>c</sub> | 55° | GB/T 7306.2 |
|         | 圆柱形 R <sub>p</sub> | 55° | GB/T 7306.1 |

- 6.4.5.2 锥管螺纹(NPT)连接接头符合下列规定：
  - a) 对于可能发生应力腐蚀、缝隙腐蚀、冲蚀或由于振动、压力脉动及温度变化等可能产生交变荷载的部位,不宜采用螺纹连接；
  - b) 输送急性毒性类别 1、类别 2 介质的管道和剧烈循环工况的管道不应采用螺纹连接,不承受弯矩的螺纹接头(管道末端的温度计套管的螺纹接头)可用于剧烈循环工况；
  - c) 采用螺纹接头的管道系统,需考虑减小螺纹接头上的应力,特别是由热膨胀和阀门(尤其是管道自由端阀门)操作产生的应力,并采取防止螺纹接头松动的措施；
  - d) 锥管螺纹(NPT)连接钢管的公称直径和最小壁厚应符合表 23 的规定；
  - e) 管道组成件上直接开锥管螺纹(NPT)接口时,螺纹长度不应小于表 24 的规定,管道组成件的壁厚不够或需要开孔补强时,应增加凸缘[如图 4 b)所示],且凸缘的尺寸应符合表 21 的规定；接出支管的公称尺寸不应大于 DN25 且不大于主管公称尺寸的四分之一。

表 23 锥管螺纹(NPT)连接钢管的最小壁厚

| 管道级别                                    | 材料         | 钢管公称直径     | 最小壁厚(管标号或壁厚) |
|-----------------------------------------|------------|------------|--------------|
| GC1                                     | 碳钢、合金钢     | DN8~DN25   | Sch80        |
|                                         | 不锈钢        |            | Sch40s       |
| GC2                                     | 碳钢、合金钢     | ≤DN40      | Sch80        |
|                                         |            | DN50~DN100 | Sch40        |
|                                         | 不锈钢        | ≤DN100     | Sch40s       |
| GC3                                     | 碳钢、合金钢、不锈钢 | ≤DN100     | 按 6.6.1 的规定  |
| 用于输送易燃易爆、有毒介质且大于 DN50 的螺纹连接接头,应采取安全防护措施 |            |            |              |



表 24 锥管螺纹(NPT)接头螺纹长度、凸缘尺寸和最高工作压力

| 连接尺寸              | DN10 | DN15 | DN20 | DN25 | DN32 | DN40 | DN50 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 凸缘最小直径 C<br>mm    | 32   | 38   | 44,5 | 54   | 63,5 | 70   | 86   |
| 锥管螺纹(NPT)长度<br>mm | 10,5 | 13   | 14   | 17,5 | 18,5 | 18,5 | 19,5 |
| 最高工作压力<br>MPa     | 10   | 10   | 10   | 8    | 7    | 6    | 4    |

- 6.4.5.3 锥/柱管螺纹( $R/R_p$ )符合下列规定：
- a) 圆锥外螺纹与圆柱内螺纹( $R/R_p$ )的配合使用,仅限用于输送低危害性介质的管道；
  - b) 用于输送低危害性介质的管道,可采用密封剂或密封带；
  - c) 应符合 6.4.5.1 的规定。

6.4.6 直螺纹连接

直螺纹连接接头可采用图 5 所示的垫片密封(非螺纹密封)结构,且仅限用于 GC3 级管道。

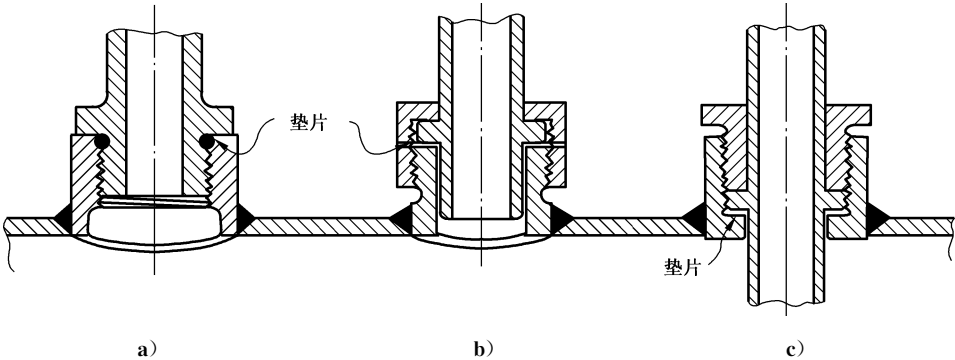


图 5 典型的非螺纹密封直螺纹接头示意图

6.4.7 扩口、非扩口压合型管件的连接

6.4.7.1 扩口、非扩口压合型管件(如图 6 所示)连接型式的选用,需考虑装拆、循环荷载、振动、冲击、热膨胀和收缩等因素可能产生的不利影响。



图 6 扩口、非扩口压合型管件连接结构示意图

- 6.4.7.2 表 25 所列扩口、非扩口压合型管件的连接应满足下列要求：
- a) 管件的最大及最小壁厚满足相连接管子的连接要求,且符合相应管件标准的规定；

- b) 扩口压合型管件仅限用于 GC3 级管道；当非扩口压合型管件用于剧烈循环工况时，需采取安全防护措施。

6.4.7.3 表 25 中未列入的扩口、非扩口压合型管件，如能满足压力和其他荷载要求，可按 6.4.7.2 的要求使用，且应符合 6.5.3 的相关规定。

#### 6.4.8 填函接头

填函接头符合下列规定：

- a) 在承口和插口的环形空间之间注入或压入填充物的填函接头，仅限用于 GC3 级管道；
- b) 使用温度不应高于 93 ℃；
- c) 应采取预防措施，以防止接头松动和管道变形，并能承受由于支管连接等原因引起的横向作用力。

#### 6.4.9 钎焊

6.4.9.1 软钎焊接头符合下列规定：

- a) 软钎焊接头仅限用于 GC3 级管道；
- b) 不准许采用填角式软钎焊接头；
- c) 在可能遇到明火或高温的场合，需考虑软钎料熔点的适应性。

6.4.9.2 硬钎焊和钎接焊接头符合下列规定：

- a) 用于易燃易爆、有毒或对人体有害的流体工况时，应采取安全防护措施；
- b) 不准许用于剧烈循环工况；
- c) 在可能遇到明火的场合，需考虑低熔点焊接合金的影响；
- d) 不准许采用填角式硬钎焊接头。

#### 6.4.10 特殊管接头

6.4.10.1 特殊管接头是指 6.4.1～6.4.9 不包括的管接头形式，如图 7 所示的承口式（钟形）、填函式等特殊管接头、机械连接接头等。

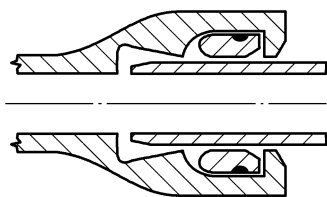


图 7 承口式管件连接结构示意图

6.4.10.2 表 25 所列特殊管接头不应用于 GC1 级管道。

6.4.10.3 表 25 未列入的特殊管接头应符合 6.5.3 的规定。

6.4.10.4 连接结构需具有足够的强度，并在预期的使用工况下，保证连接的完整性，以防止接头松动。

6.4.10.5 用于吸收热膨胀的填料接头，在承接口底部应留有适当的间隙以供膨胀时移动。

6.4.10.6 机械连接接头、承口-填料式连接接头不应用于剧烈循环工况。

#### 6.5 管道组成件的型式和尺寸标准

6.5.1 表 25 列出了符合本文件要求的管道组成件的型式和尺寸常用（典型）标准，表 26 列出了符合本

文件要求的管道组成件的常用(典型)基础标准及检验、试验标准。

6.5.2 表 25 所列标准规定的压力-温度额定值、公称压力、壁厚均符合 6.2.1 的规定,可作为管道组成件的  
压力-温度设计准则。

6.5.3 表 25 未列入的管道组成件标准的选用除满足第 6 章的相应要求外,还需满足下列各项要求。

- a) 表 25 未列入的管道组成件标准包括以下两类:
  - 1) 其他的管道组成件国家标准与行业标准;
  - 2) 制造商标准、工程标准及设计规定。
- b) 表 25 未列入的管道组成件国家标准与行业标准,在选用前,设计方或建设方(使用方)需确认  
该标准的设计、材料、制造、检验和质量保证符合本文件的相应规定。
- c) 制造商标准、工程标准和设计规定的其他的管道组成件标准选用,符合以下各项规定:
  - 1) 设计:采用 6.6 或应力分析的方法进行压力设计,或者采用与表 25 所列标准对比的方法  
来确定最大允许工作压力-温度值,对比时需注意型式、壁厚及通径的可比性;
  - 2) 材料:采用适用的材料,需考虑材料在设计温度上限、下限以及苛刻工况下对特定的管道  
组成件的适用性和可能出现的失效风险;
  - 3) 制造:其制造工艺符合第 6 章并满足管道组成件标准的要求;
  - 4) 检验和质量保证:其检验和质量保证符合第 6 章并满足管道组成件标准的要求;
  - 5) 经过设计方或建设方(使用方)的审核与同意。

表 25 典型管道组成件型式尺寸标准

| 分类 |       | 标准号                                                                 | 分类名称               |
|----|-------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 钢管 |       | GB/T 17395                                                          | 钢管尺寸、外形、重量及允许偏差    |
|    |       | GB/T 28708                                                          | 管道工程用无缝及焊接钢管尺寸选用规定 |
|    |       | HG/T 20553                                                          | 化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列 |
|    |       | SH/T 3405                                                           | 石油化工钢管尺寸系列         |
| 管件 | 对焊    | GB/T 12459                                                          | 钢制对焊管件 类型与参数       |
|    |       | HG/T 3651                                                           | 钛制对焊无缝管件           |
|    |       | SH/T 3408                                                           | 石油化工钢制对焊管件技术规范     |
|    | 承插和螺纹 | GB/T 14383                                                          | 锻制承插焊和螺纹管件         |
|    |       | GB/T 19326                                                          | 锻制支管座              |
|    |       | GB/T 26120                                                          | 低压不锈钢螺纹管件          |
|    |       | GB/T 32294                                                          | 锻制承插焊和螺纹活接头        |
|    |       | GB/T 43913                                                          | 钢制异径短节             |
|    |       | SH/T 3410                                                           | 石油化工锻钢制承插焊和螺纹管件    |
|    |       | SH/T 3419                                                           | 石油化工钢制异径短节         |
|    | 法兰    | GB/T 17185                                                          | 钢制法兰管件             |
|    | 其他    | GB/T 3733~GB/T 3760、<br>GB/T 3763~GB/T 3765                         | 卡套式管接头             |
|    |       | GB/T 5625~GB/T 5635、<br>GB/T 5637~GB/T 5639、<br>GB/T 5641~GB/T 5653 | 扩口式管接头             |

表 25 典型管道组成件型式尺寸标准（续）

| 分类     |    | 标准号                                         | 分类名称                                      |
|--------|----|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 管件     | 其他 | GB/T 9065.1                                 | 液压软管接头 第 1 部分:O 形圈端面密封软管接头                |
|        |    | GB/T 9065.2                                 | 液压传动连接 软管接头 第 2 部分:24°锥形                  |
|        |    | GB/T 9065.5                                 | 液压软管接头 第 5 部分:37°扩口端软管接头                  |
|        |    | GB/T 29168.1                                | 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第 1 部分:感应加热弯管 |
|        |    | GB/T 29168.2                                | 石油天然气工业 管道输送系统用弯管、管件和法兰 第 2 部分:管件         |
|        |    | GB/T 29168.3                                | 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第 3 部分:法兰     |
|        |    | HG/T 21547                                  | 管道用钢制插板、垫环、8 字盲板系列                        |
|        |    | SH/T 3425                                   | 石油化工钢制管道用盲板                               |
| 钢制法兰   |    | GB/T 9124.1、GB/T 9124.2                     | 钢制管法兰                                     |
|        |    | GB/T 13402                                  | 大直径钢制管法兰                                  |
|        |    | HG/T 20592                                  | 钢制管法兰(PN 系列)                              |
|        |    | HG/T 20615                                  | 钢制管法兰(Class 系列)                           |
|        |    | HG/T 20623                                  | 大直径钢制管法兰(Class 系列)                        |
|        |    | HG/T 20614                                  | 钢制管法兰、垫片、紧固件选配规定(PN 系列)                   |
|        |    | HG/T 20635                                  | 钢制管法兰、垫片、紧固件选配规定(Class 系列)                |
| 螺栓/螺母  |    | GB/T 5782                                   | 六角头螺栓                                     |
|        |    | GB/T 6170                                   | 1 型六角螺母                                   |
|        |    | GB/T 6175                                   | 2 型六角螺母                                   |
|        |    | GB/T 9125.1、GB/T 9125.2                     | 钢制管法兰连接用紧固件                               |
|        |    | HG/T 20613                                  | 钢制管法兰用紧固件(PN 系列)                          |
|        |    | HG/T 20634                                  | 钢制管法兰用紧固件(Class 系列)                       |
| 垫片     |    | GB/T 4622.1、GB/T 4622.2                     | 管法兰用缠绕式垫片                                 |
|        |    | GB/T 9126.1、GB/T 9126.2                     | 管法兰用非金属平垫片                                |
|        |    | GB/T 9128.1、GB/T 9128.2                     | 钢制管法兰用金属环垫                                |
|        |    | GB/T 13403                                  | 大直径钢制管法兰用垫片                               |
|        |    | GB/T 19675.1、GB/T 19675.2                   | 管法兰用柔性石墨复合增强垫片                            |
|        |    | GB/T 39245.1、GB/T 39245.2                   | 管法兰用金属齿形组合垫片                              |
|        |    | HG/T 20606、HG/T 20607、HG/T 20609~HG/T 20612 | 钢制管法兰用垫片(PN 系列)                           |
|        |    | HG/T 20627、HG/T 20628、HG/T 20630~HG/T 20633 | 钢制管法兰用垫片(Class 系列)                        |
| 波纹管膨胀节 |    | GB/T 12777                                  | 金属波纹管膨胀节通用技术条件                            |

表 25 典型管道组成件型式尺寸标准 (续)

| 分类    |            | 标准号                       | 分类名称                    |
|-------|------------|---------------------------|-------------------------|
| 支吊架   |            | GB/T 17116.1～GB/T 17116.3 | 管道支吊架                   |
| 软管    |            | SH/T 3412                 | 石油化工管道用金属软管选用、检验及验收规范   |
| 软管连接件 |            | GB/T 18615                | 波纹金属软管用非合金钢和不锈钢接头       |
| 铸铁管   |            | GB/T 3422                 | 连续铸铁管                   |
|       |            | GB/T 13295                | 水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件        |
| 铸铁管件  | 法兰、承插      | GB/T 3420                 | 灰口铸铁管件                  |
|       | 螺纹         | GB/T 3287                 | 可锻铸铁管路连接件               |
| 铸铁法兰  |            | GB/T 17241.1              | 铸铁管法兰 第1部分:PN系列         |
|       |            | GB/T 17241.2              | 铸铁管法兰 第2部分:Class系列      |
| 阀门    | 通用标准       | GB/T 12224                | 钢制阀门 一般要求               |
|       | 闸阀         | GB/T 12232                | 通用阀门 法兰连接铁制闸阀           |
|       |            | GB/T 12234                | 石油、天然气工业用螺柱连接阀盖的钢制闸阀    |
|       | 安全阀        | GB/T 12241                | 安全阀 一般要求                |
|       |            | GB/T 12243                | 弹簧直接载荷式安全阀              |
|       |            | GB/T 12246                | 先导式减压阀                  |
|       | 止回阀        | GB/T 12236                | 石油、化工及相关工业用的钢制旋启式止回阀    |
|       |            | GB/T 13932                | 铁制旋启式止回阀                |
|       |            | JB/T 8937                 | 对夹、凸耳对夹和法兰连接止回阀         |
|       |            | 阀门                        | 旋塞阀                     |
| 球阀    | GB/T 8464  |                           | 铁制、铜制和不锈钢制螺纹连接阀门        |
|       | GB/T 12237 |                           | 石油、石化及相关工业用的钢制球阀        |
| 蝶阀    | GB/T 12238 |                           | 法兰和对夹连接弹性密封蝶阀           |
|       | JB/T 8527  |                           | 金属密封蝶阀                  |
| 截止阀   | GB/T 12235 |                           | 石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀 |
|       | JB/T 7747  |                           | 针形截止阀                   |
|       | GB/T 12233 |                           | 通用阀门 铁制截止阀和升降式止回阀       |
| 隔膜阀   | GB/T 12239 | 工业阀门 金属隔膜阀                |                         |
| 爆破片   |            | GB/T 567.1～GB/T 567.4     | 爆破片安全装置                 |
| 过滤器   |            | GB/T 14382                | 管道用三通过滤器                |
|       |            | SH/T 3411                 | 石油化工泵用过滤器选用、检验及验收规范     |
| 阻火器   |            | GB 5908                   | 阻火器                     |
|       |            | SH/T 3413                 | 石油化工石油气管道阻火器选用、检验及验收标准  |

表 26 典型基础标准及检验、试验标准

| 标准号         | 标准名称                               |
|-------------|------------------------------------|
| GB/T 196    | 普通螺纹 基本尺寸                          |
| GB/T 197    | 普通螺纹 公差                            |
| GB/T 1031   | 产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值 |
| GB/T 1047   | 管道元件 公称尺寸的定義和選用                    |
| GB/T 1048   | 管道元件 公称压力的定义和选用                    |
| GB/T 7306.1 | 55°密封管螺纹 第 1 部分:圆柱内螺纹与圆锥外螺纹        |
| GB/T 7306.2 | 55°密封管螺纹 第 2 部分:圆锥内螺纹与圆锥外螺纹        |
| GB/T 12716  | 60°密封管螺纹                           |
| GB/T 12220  | 工业阀门 标志                            |
| GB/T 12221  | 金属阀门 结构长度                          |
| GB/T 13927  | 工业阀门 压力试验                          |
| GB/T 26480  | 阀门的检验与试验                           |
| GB/T 26481  | 阀门的逸散性试验                           |
| GB/T 40079  | 阀门逸散性试验分类和鉴定程序                     |
| JB/T 6899   | 阀门的耐火试验                            |

6.6 管道组成件的壓力設計

6.6.1 直管

6.6.1.1 符号

下列符号适用于本文件。

- $C$  ——厚度附加量,为腐蚀、冲蚀裕量和机械加工深度的总和,即  $C = C_2 + C_3$  (见图 8),单位为毫米(mm)。
- $C_1$  ——材料厚度负偏差,按材料标准规定(见图 8),单位为毫米(mm)。
- $C_2$  ——腐蚀、冲蚀裕量(见图 8),单位为毫米(mm)。
- $C_3$  ——机械加工深度(见图 8),单位为毫米(mm):
  - 对带螺纹的管道组成件,取公称螺纹深度;
  - 对未规定公差的机械加工表面或槽,取规定切削深度加 0.5 mm。
- $D$  ——管外径,取管子外径的名义值,单位为毫米(mm)。
- $d$  ——管内径,用于压力计算时,应是材料标准、工程标准和设计规定允许的最大值,单位为毫米(mm)。
- $E$  ——设计温度下材料的弹性模量,由表 C.2 确定,单位为兆帕(MPa)。
- $L$  ——外压(或真空)管道的计算长度,单位为毫米(mm):
  - a) 对于直管,取两相邻支撑线之间的距离,按 GB/T 150.3 的规定确定;
  - b) 当直管带有焊接相连的(即相接处不作为支撑线)弯头或弯管、斜接弯头时,取包括直管、弯头、弯管或斜接弯头的外弧线在内的两相邻支撑线之间的距离;

- c) 当直管带有异径管时,一般取包括异径管轴向长度在内,大端直管支撑线到小端直管支撑线之间的距离(见 GB/T 150.3—2024 中图 6-1)。
- $L_s$  ——一个加强圈对直管的加强长度,取加强圈中心线到相邻两侧加强圈中心线距离之和的一半,若直管与凸形封头相邻,则应计入封头曲面深度的 1/3,单位为毫米(mm)。
- $P$  ——设计压力,单位为兆帕(MPa)。
- $[P]$  ——许用外压,单位为兆帕(MPa)。
- $S$  ——设计温度下管道组成件金属材料的许用应力,由表 B.1 查取,单位为兆帕(MPa)。
- $T$  ——最小厚度,取名义厚度减去材料厚度负偏差  $C_1$ (见图 8),单位为毫米(mm)。
- $\overline{T}$  ——名义厚度,材料标准规定的厚度,单位为毫米(mm)。
- $T_e$  ——有效厚度,为名义厚度减去厚度附加量和材料厚度负偏差以后的厚度(见图 8),单位为毫米(mm)。
- $t$  ——计算厚度,按内压或外压(或真空),分别由公式计算而得的厚度(见图 8),单位为毫米(mm)。
- $t_d$  ——设计厚度,为计算厚度与厚度附加量之和(必要时可用  $T$  替代)(见图 8),单位为毫米(mm)。
- $Y$  ——计算系数,当  $t < D/6$  时,按表 27 查取,可采用内插法;当  $t \geq D/6$  时, $Y = \frac{d+2C}{D+d+2C}^\circ$ 。
- $W$  ——焊接接头高温强度降低系数,见 6.2.7。
- $\Delta$  ——厚度圆整值(见图 8),单位为毫米(mm)。
- $\Phi(\Phi_w、\Phi_c)$  ——质量系数(焊件的纵向焊接接头质量系数或铸件质量系数),按表 B.3、表 B.4 或表 15、表 16 查取。

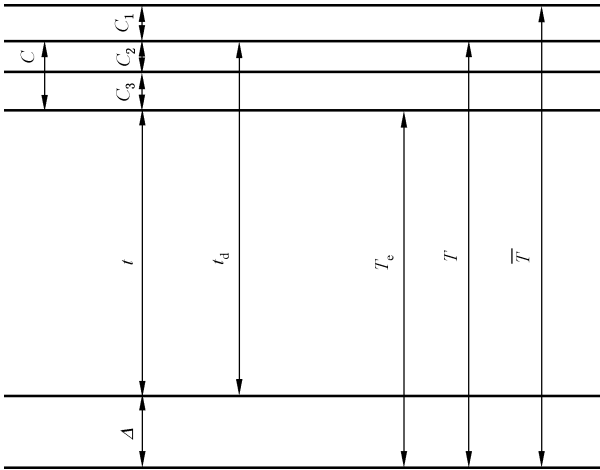


图 8 厚度、附加量和负偏差及其相互关系

表 27  $t < D/6$  时的  $Y$  值

| 材料               | 温度<br>℃ |     |     |     |     |     |     |      |
|------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                  | ≤482    | 510 | 538 | 566 | 593 | 621 | 649 | ≥677 |
| 铁素体钢             | 0.4     | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7  |
| 奥氏体钢             | 0.4     | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7  |
| 镍基合金<br>(800 系列) | 0.4     | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7  |
| 灰铸铁              | 0.0     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    |
| 其他延性材料           | 0.4     | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4  |
| 注：“—”表示暂无适用数据。   |         |     |     |     |     |     |     |      |

6.6.1.2 直管的内压设计

直管的内压设计应符合下列规定：

- a) 当  $t < D/6$  时,直管的计算厚度  $t$  按公式(1)计算；

$$t = \frac{PD}{2 \times (S\Phi W + PY)} \dots\dots\dots (1)$$

- b) 当  $t \geq D/6$  或  $P/S\Phi > 0.385$  时,计算时还需考虑失效机理、疲劳影响和温差应力等因素。

6.6.1.3 直管的外压(或真空)设计

直管的外压(或真空)设计应符合下列规定：

- a) 需根据  $D$ 、 $L$ 、 $T_c$  以及所用材料,按 GB/T 150.3 等有关标准,并按  $P \leq [P]$  的准则确定计算厚度；
- b) 对于  $L/D \geq 25$  且  $D/T_c \geq 65$  的碳钢、低合金钢、奥氏体不锈钢以及铸铁直管,当设计温度不超过 300 ℃ 时,可按公式(2)计算许用外压  $[P]$ ；

$$[P] = \frac{2.2}{3} E \left( \frac{T_c}{D} \right)^3 \dots\dots\dots (2)$$

- c) 加强圈的设置和设计应合 GB/T 150.3 的规定。

6.6.2 弯管或弯头

6.6.2.1 符号

下列符号适用于本文件：

- $I$  —— 计算系数；
- $R$  —— 弯管或弯头在管子中心线处的弯曲半径(对于弯管,一般取  $R \geq 3D$ ),单位为毫米(mm)；
- $t_w$  —— 弯管或弯头在内侧、外侧或弯管中心线处的计算厚度,单位为毫米(mm)；
- $\alpha$  —— 弯管或弯头的转角,单位为度(°)。

6.6.2.2 弯管或弯头的内压设计

弯管或弯头的计算厚度(位于  $\alpha/2$  处)应按公式(3)确定,其他各处厚度应符合下列规定：



$$t_w = \frac{PD}{2 \times \left[ \left( \frac{S\Phi W}{I} + PY \right) \right]} \dots\dots\dots (3)$$

a) 当计算弯管或弯头的内侧厚度时,按公式(4)计算;

$$I = \frac{4 \times \left( \frac{R}{D} \right) - 1}{4 \times \left( \frac{R}{D} \right) - 2} \dots\dots\dots (4)$$

b) 当计算弯管或弯头的外侧厚度时,按公式(5)计算;

$$I = \frac{4 \times \left( \frac{R}{D} \right) + 1}{4 \times \left( \frac{R}{D} \right) + 2} \dots\dots\dots (5)$$

c) 当计算弯管中心线侧壁处厚度时,按公式(6)计算;

$$I = 1.0 \dots\dots\dots (6)$$

d) 弯管在弯制成型后的端部最小厚度不小于直管设计厚度  $t_d$ ,弯管从内弧到外弧的壁厚变化以及沿长度方向的壁厚变化需均匀。

### 6.6.2.3 弯管或弯头的外压(或真空)设计

弯管或弯头的外压(或真空)设计应按 6.6.1.3 的规定进行,其计算长度  $L$  取包括直管段(若有)以及沿弯管或弯头外弧线在内的两相邻支撑线之间的距离。

## 6.6.3 斜接弯头

### 6.6.3.1 符号

下列符号适用于本文件:

$A$  ——与几何参数有关的外压(或真空)设计系数;

$P_m$  ——斜接弯头的最大许用内压,单位为兆帕(MPa);

$R_1$  ——斜接弯头的有效半径(见图 9),即斜接弯头弯曲中心到斜接管中心线的垂直距离,其值不应小于  $\frac{A}{\tan\theta} + \frac{D}{2}$ ,  $A$  按表 28 确定,单位为毫米(mm);

$r_2$  ——管子的平均半径(中径),单位为毫米(mm);

$\alpha$  ——斜接弯头的变方向角(见图 9),  $\alpha = 2\theta$ ,单位为度( $^\circ$ );

$\theta$  ——斜接处的切割角(见图 9),单位为度( $^\circ$ )。

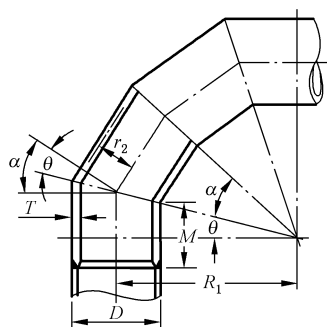


图 9 斜接弯头示意图

表 28 系数 A

单位为毫米

| 有效厚度( $T_e$ )   | A               |
|-----------------|-----------------|
| $T_e \leq 13$   | 25              |
| $13 < T_e < 22$ | $2T_e$          |
| $T_e \geq 22$   | $[2T_e/3] + 30$ |

## 6.6.3.2 斜接弯头的内压设计

斜接弯头的内压设计应符合下列规定：

- a) 变方向角  $\alpha$  不超过  $3^\circ$  的斜接弯头,按直管计算；  
b) 单弯斜接弯头的最大许用内压  $P_m$  分别按公式(7)和公式(8)计算；  
1) 当  $\theta \leq 22.5^\circ$  时：

$$P_m = \frac{S\Phi W T_e}{r_2} \left[ \frac{T_e}{T_e + 0.643 \tan \theta \sqrt{r_2 T_e}} \right] \dots\dots\dots (7)$$

- 2) 当  $\theta > 22.5^\circ$  时：

$$P_m = \frac{S\Phi W T_e}{r_2} \left[ \frac{T_e}{T_e + 1.25 \tan \theta \sqrt{r_2 T_e}} \right] \dots\dots\dots (8)$$

- c)  $\theta$  角不大于  $22.5^\circ$  的多弯斜接弯头的最大许用内压  $P_m$ ,取按公式(7)和公式(9)计算值的较小者；

$$P_m = \frac{S\Phi W T_e}{r_2} \left[ \frac{R_1 - r_2}{R_1 - 0.5 r_2} \right] \dots\dots\dots (9)$$

- d) 斜接弯头两端的直边段长度  $M$ (见图 9),不小于公式(10)和公式(11)中的较大值。

$$M = 2.5(r_2 T)^{0.5} \dots\dots\dots (10)$$

$$M = (R_1 - r_2) \tan \theta \dots\dots\dots (11)$$

其中,直边段的厚度不小于有效厚度和厚度附加量之和,直管段末端的削薄长度可计入  $M$ 。

## 6.6.3.3 斜接弯头的外压(或真空)设计

斜接弯头的外压(或真空)设计应按 6.6.1.3 的规定进行,但计算长度  $L$  应取包括直管、斜接弯头各段斜接管外轮廓线在内的两相邻支撑线之间的距离。

## 6.6.4 管法兰和法兰盖的压力设计与承受外载荷评估

## 6.6.4.1 符号

下列符号适用于本文件：

- $C$  —— 螺栓中心圆直径,单位为毫米(mm)；  
 $D_G$  —— 垫片中心圆直径,单位为毫米(mm)；  
 $F$  —— 外加轴向力(拉伸时计入,压缩时不计),单位为牛顿(N)；  
 $F_E$  —— 按公式(13)计算,由外加轴向力与外加弯矩产生的当量力,单位为牛顿(N)；  
 $H_D$  —— 内压引起的作用于法兰内径截面的轴向力,单位为毫米(mm)；  
 $h_D$  —— 螺栓中心圆至  $H_D$  作用圆的径向距离,单位为毫米(mm)；

- $I$  —— 法兰横截面弯曲惯性矩,单位为四次方毫米( $\text{mm}^4$ ),可按 GB/T 4732.3—2024 中 8.5.3;
- $I_F$  —— 法兰横截面极惯性矩,单位为四次方毫米( $\text{mm}^4$ ),可按 GB/T 4732.3—2024 中 8.5.3;
- $M$  —— 外加弯矩,单位为牛顿毫米( $\text{N} \cdot \text{mm}$ );
- $M_D$  —— 按泰勒方法,由  $H_D$ 产生的力矩分量, $M_D = H_D h_D$ ,单位为牛顿毫米( $\text{N} \cdot \text{mm}$ );
- $P$  —— 设计压力,单位为兆帕(MPa);
- $P_e$  —— 由外加轴向力与外加弯矩产生的当量压力,单位为兆帕(MPa)。

6.6.4.2 标准管法兰的压力-温度额定值

表 25 所列的标准管法兰和法兰盖按其标准规定的压力-温度额定值选用。

6.6.4.3 标准管法兰的压力设计核算

经设计者同意,也可按 6.6.4.4 所列非标法兰的设计方法确定标准管法兰的许用压力-温度值(最大允许工作压力)。

6.6.4.4 非标法兰的压力设计

非标法兰和法兰盖的压力设计(最大允许工作压力)应符合 GB/T 17186.1 规定的方法,但法兰及螺栓材料的许用应力应符合本文件的相关规定。当采用控制螺栓安装载荷的法兰上紧措施时,螺栓设计载荷和预紧状态的法兰力矩按需要的螺栓面积  $A_m$  计算,而不计及实际螺栓面积  $A_b$ 。

6.6.4.5 管法兰的外载荷评估

当管法兰承受外加轴向力或外加弯矩时,可按下列方法之一评估。

- a) 法兰压力-温度额定值-当量压力方法:  
按公式(12)计算其外加轴向力或外加弯矩的当量压力  $P_e$ ,设计压力与当量压力之和不应大于法兰的压力-温度额定值。  
注: 经设计者同意,设计压力也可采用相应工况下的最大工作压力。

$$P_e = \frac{16M}{\pi D_G^3} + \frac{4F}{\pi D_G^2} \dots\dots\dots (12)$$

- b) 泰勒方法-当量压力方法:
  - 1) 按公式(12)计算其外加轴向力或外加弯矩的当量压力  $P_e$ ,设计压力与当量压力之和不应大于按 6.6.4.4 方法所得的最大允许工作压力;
  - 2) HG/T 20615、HG/T 20623 中 Class 系列带颈对焊法兰、整体法兰、长高颈法兰,采用表 20 所列中、高强度螺栓,并按 GB/T 38343 最大螺栓预紧应力时,标准法兰允许超过其压力额定值,允许超出的系数见表 29;设计者也可参照附录 J 进行设计。

表 29 法兰承受外载荷的系数( $f_M$ )

| 标准               | 公称直径       | Class 系列法兰压力等级 |     |     |     |       |       |
|------------------|------------|----------------|-----|-----|-----|-------|-------|
|                  |            | 150            | 300 | 600 | 900 | 1 500 | 2 500 |
| HG/T 20615       | DN≤300     | 1.2            | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5   | 0.5   |
|                  | 350≤DN≤600 | 1.2            | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3   | —     |
| HG/T 20623, A 系列 | 所有尺寸       | 0.6            | 0.1 | 0.1 | 0.1 | —     | —     |

表 29 法兰承受外载荷的系数( $f_M$ ) (续)

| 标准                                                             | 公称直径     | Class 系列法兰压力等级 |              |      |      |       |       |
|----------------------------------------------------------------|----------|----------------|--------------|------|------|-------|-------|
|                                                                |          | 150            | 300          | 600  | 900  | 1 500 | 2 500 |
| HG/T 20623, B 系列                                               | DN<1 200 | <sup>a</sup>   | <sup>a</sup> | 0.13 | 0.13 | —     | —     |
|                                                                | DN≥1 200 | 0.1            | <sup>b</sup> | —    | —    | —     | —     |
| 如果承受的外载荷主要为持久载荷,并且螺栓法兰接头的工作温度会导致垫片发生显著的蠕变和/或松弛,则设计者需考虑降低系数     |          |                |              |      |      |       |       |
| 注:“—”表示暂无数据且不可使用。                                              |          |                |              |      |      |       |       |
| <sup>a</sup> $f_M=0.1+(1\,200-DN)/1\,400$ 。                    |          |                |              |      |      |       |       |
| <sup>b</sup> $f_M=0.1$ ,但当 DN1 500、Class 300 组合时, $f_M=0.03$ 。 |          |                |              |      |      |       |       |

c) 泰勒方法-当量力方法:

在按 6.6.4.4 方法进行法兰设计应力校核时,应满足以下要求:

- 1) 由内压引起的作用于法兰内径截面的轴向力  $H_D$  应叠加由外加轴向力  $F$  以及外加弯矩  $M$  产生的当量力  $F_E$ ,即  $(H_D+F_E)$ ;

$$F_E = F + \left( \frac{4M}{C - 2h_D} \right) \dots\dots\dots (13)$$

- 2) 计算法兰力矩  $M_D$  时,以  $M_D=(H_D+F_E)h_D$  代替  $H_Dh_D$ ;
- 3) 而  $H_T$  和  $H_G$  及相应的法兰力矩计算仅计入设计压力,而不计及外加轴向力或外加弯矩;
- 4) 按上述方法所得的法兰设计应力校核需符合 GB/T 17186.1 和 6.6.4.4 的规定。

d) 泰勒方法-修正当量力方法:

在按 c) 泰勒方法-当量力方法时,可按 GB/T 4732.3—2024 中公式(8-14),引入外加弯矩  $M$  的修正系数  $[I/(0.384\,6I_p+I)]$ ,以  $M[I/(0.384\,6I_p+I)]$  代替外加弯矩  $M$ 。

6.6.4.6 法兰刚度

必要时,可按 GB/T 17186.1 的规定校核法兰刚度。

6.6.5 盲板

6.6.5.1 符号

下列符号适用于本文件:

- $d_g$ ——对于突面、凹凸面或平面法兰,为垫片内径;对于环连接面和榫槽面法兰,为垫片的平均直径(见图 10),单位为毫米(mm);
- $t_m$ ——盲板计算厚度,单位为毫米(mm)。

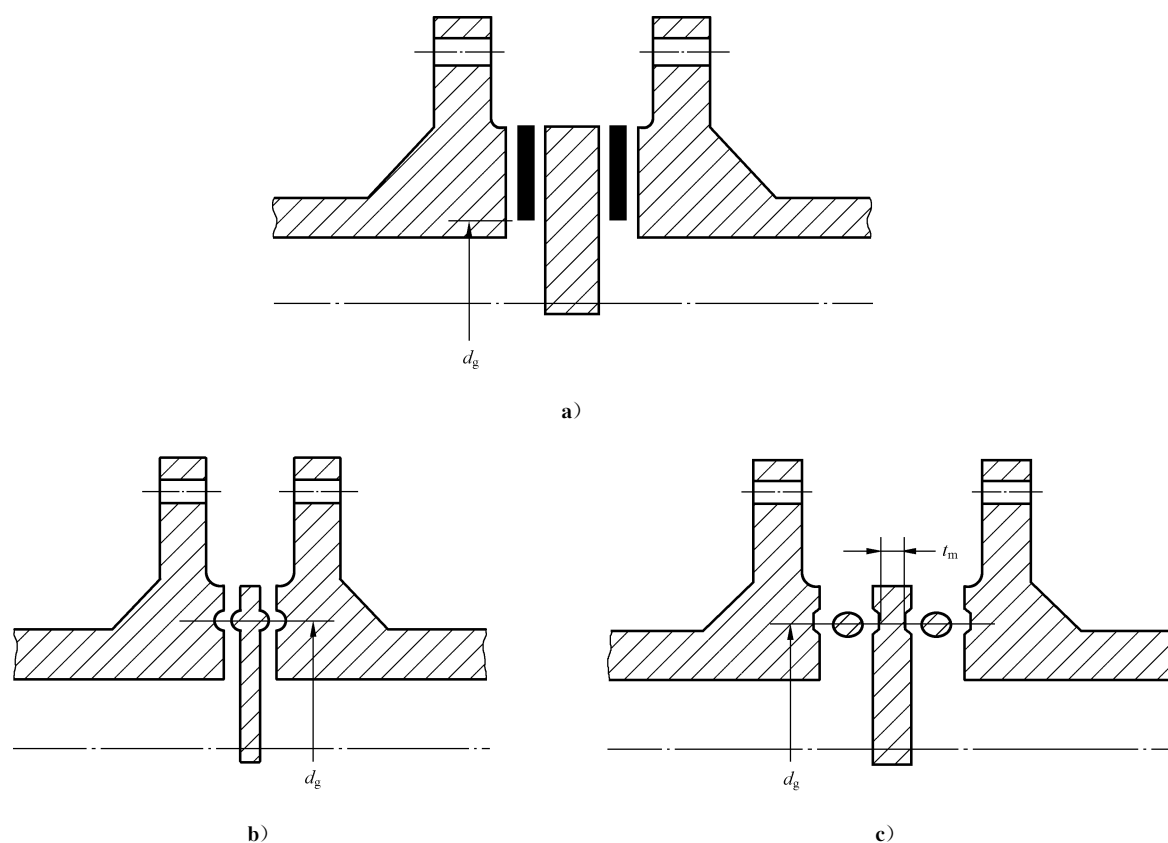


图 10 盲板结构示意图

### 6.6.5.2 盲板计算厚度

盲板计算厚度应按公式(14)计算。

$$t_m = d_g \sqrt{\frac{3P}{16S\Phi W}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

### 6.6.5.3 其他管道组成件

其他管道组成件如异径管、凸形封头和平封头等压力设计,应按相关标准进行。

## 6.6.6 支管连接的等面积补强法

### 6.6.6.1 符号

下列符号适用于本文件。

$A_1$ ——因开孔削弱而要求补强的截面积(见图 11),单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

$A_2$ ——补强范围内主管上除承受压力所需面积之外的多余截面积(见图 11 和图 12),单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

$A_3$ ——补强范围内支管上除承受压力所需面积之外的多余截面积(见图 11 和图 12),单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

$A_4$ ——补强范围内的补强圈截面积,或挤压成型接口端部除承受压力所需之外的多余截面积(见图 11 和图 12),单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

$A_5$ ——补强范围内的焊缝截面积(见图 11),单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

$D_b$ ——支管外直径(见图 11 和图 12),单位为毫米(mm)。

$D_h$ ——主管外直径(见图 11 和图 12),单位为毫米(mm)。

$D_r$ ——补强圈外直径,单位为毫米(mm)。

$d_b$ ——支管内直径(见图 12),单位为毫米(mm)。

$d_x$ ——挤压成型接口的设计内直径,取支管内直径与两倍的厚度附加量之和(见图 12),单位为毫米(mm)。

$d_1$ ——见图 11,  $d_1 \sin \beta = D_b - 2(T_b - C)$ ,单位为毫米(mm)。

$d_2$ ——补强范围宽度的一半,单位为毫米(mm):

对于焊接连接的支管(见图 11),  $d_2 = \max(d_1, T_{eb} + T_{eh} + d_1/2)$ , 且  $d_2 \leq D_h$ ;

对于挤压成型的接口(见图 12),  $d_2 = d_x$ 。

$h_x$ ——挤压成型接口的高度,且不应小于  $r_x$ (见图 12),单位为毫米(mm)。

$K$ ——主管开孔补强设计的系数:

当  $D_b/D_h > 0.60$  时:  $K = 1.0$ ;

当  $0.15 < D_b/D_h \leq 0.60$  时:  $K = 0.6 + \frac{2}{3}(D_b + D_h)$ ;

当  $D_b/D_h \leq 0.15$  时:  $K = 0.70$ 。

$L_4$ ——主管外侧的补强范围高度(见图 11),  $L_4 = \min(2.5T_{eh}, 2.5T_{eb} + T_r)$ ,单位为毫米(mm)。

$L_5$ ——主管外侧的补强范围高度(见图 12),  $L_5 = 0.7\sqrt{D_b T_x}$ ,单位为毫米(mm)。

$r_x$ ——挤压成型接口外轮廓部分的过渡半径,在支管和主管轴线相交的平面上测量(见图 12),单位为毫米(mm)。

$T_b$ ——支管最小厚度,取名义厚度减去材料厚度负偏差,单位为毫米(mm)。

$\overline{T_b}$ ——支管名义厚度,单位为毫米(mm)。

$T_{eb}$ ——支管有效厚度,支管名义厚度减去厚度附加量和厚度负偏差后的厚度,单位为毫米(mm)。

$T_{eh}$ ——主管有效厚度,主管名义厚度减去厚度附加量和厚度负偏差后的厚度,单位为毫米(mm)。

$T_h$ ——主管最小厚度,取名义厚度减去材料厚度负偏差,单位为毫米(mm)。

$\overline{T_h}$ ——主管名义厚度,单位为毫米(mm)。

$T_r$ ——补强圈或补强鞍板的名义厚度,由管切制时,则为最小厚度,单位为毫米(mm)。

$T_x$ ——挤压成型接口的厚度,从主管以上高度为  $r_x$  处测量,不包括腐蚀与冲蚀裕量(见图 12),单位为毫米(mm)。

$t_b$ ——支管计算厚度,应计入支管  $\Phi_w$  值,当支管为外压(或真空)时,  $t_b$  应将外压(或真空)作为内压,且  $\Phi_w = 1.0$ ,单位为毫米(mm)。

$t_h$ ——主管计算厚度,应计入支管  $\Phi_w$ ,当支管未和主管纵焊缝相遇或当为外压(或真空)时,  $t_h$  应将外压(或真空)作为内压,且  $\Phi_w = 1.0$ ,单位为毫米(mm)。

$\beta$ ——支管轴线和主管轴线间的夹角,不应大于  $90^\circ$ ,单位为度( $^\circ$ )。

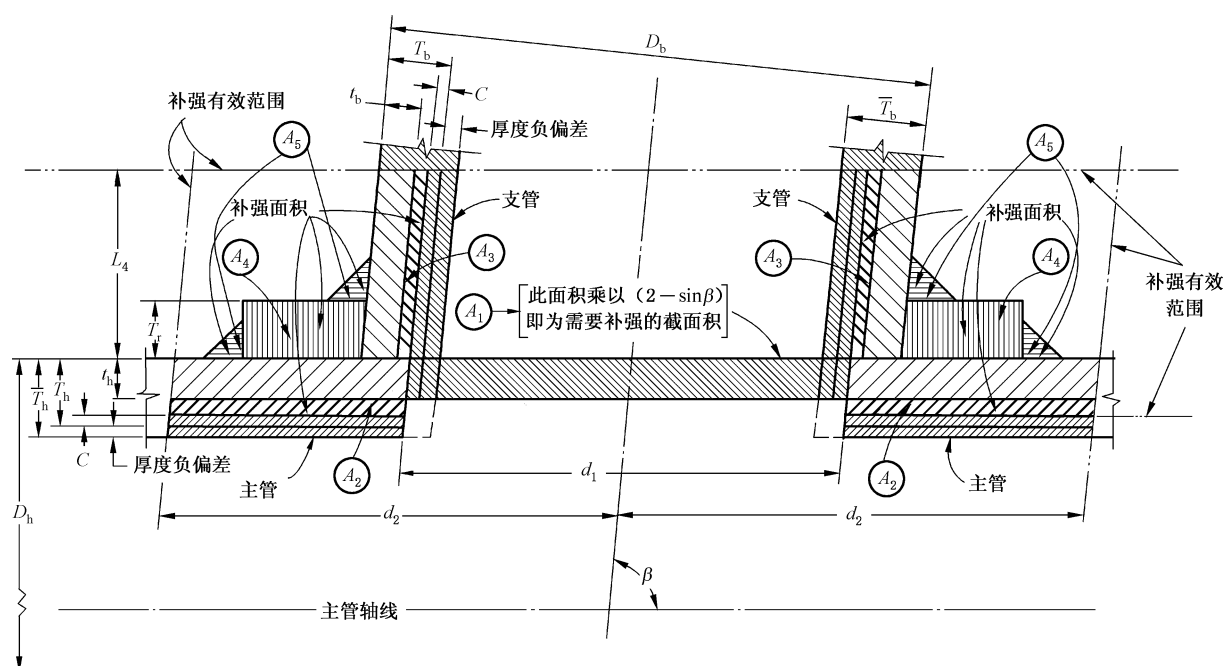


图 11 直主管上的支管连接

### 6.6.6.2 等面积补强法的适用范围

6.6.6.2.1 等面积补强法计算是支管连接的最低要求,6.6.6.3~6.6.6.5 规定的等面积补强法计算适用于下列支管连接结构:

- 图 23 a)~f)所示的焊接支管;
- 与 a)结构类似的焊接或锻造三通、四通、斜三通;
- 未列入表 25 的其他直接焊接于主管的支管连接管件。

6.6.6.2.2 等面积补强法的结构尺寸应符合下列规定:

- $D_h/T_h < 100$  时,  $D_b/D_h \leq 1.0$ ;  $D_h/T_h \geq 100$  时,  $D_b/D_h < 0.5$ ;
- $\beta \geq 45^\circ$ ;
- 支管轴线和主管轴线相交。

6.6.6.2.3 外加补强材料应符合下列规定:

- 外加补强材料可不同于主管材料,但与主管、支管材料需有相近的焊接性能、热处理要求、电位差和热膨胀系数等;
- 如外加补强材料的许用应力低于主管的许用应力,则用于补强的截面积  $A_4$  需乘以二者许用应力的比值后再进行校核;如补强材料的许用应力高于主管的许用应力,则其影响可不予考虑。

6.6.6.2.4 对于剧烈循环工况、高温蠕变工况以及设计压力大于或等于 10.0 MPa 的管道不宜采用补强圈作为补强措施。

### 6.6.6.3 不需要补强的条件

符合下列情况之一者,不需要进行补强计算,也不需要采取其他补强措施:

- 满足本文件 6.3.7.4,直接焊于主管的螺纹、承插焊半管接头(见 GB/T 14383)免于补强计算的条件;
- 直接焊于主管的支管座(见 GB/T 19326);

- c) 经验证性压力试验合格的三通、四通(见 GB/T 12459);
- d) 螺纹或承插焊三通、四通或斜三通(见 GB/T 14383);
- e) 满足 6.5.3 要求的支管连接管件;
- f) 主管厚度大于或等于表 21 的最小深度  $B$ , 且开孔孔径小于或等于表 21 的最小直径  $A$ , 免于补强计算的条件。

#### 6.6.6.4 支管直接焊于主管的补强计算

支管直接焊于主管的补强应按下列步骤进行计算。

- a) 补强结构:
  - 1) 所有截面上的补强圈宽度(通过补强圈中心度量)为恒值;
  - 2) 对于  $D_b/D_h > 0.80$  的焊接支管, 宜采用整体补强或支管补强结构, 如需采用外加补强圈补强, 则需采用套筒型补强圈。
- b) 补强有效范围:
 

补强有效范围(见图 11, 简称“补强范围”)为主管表面沿支管中心线两侧各为  $d_2$ 、垂直于主管表面距离为  $L_4$  的范围。
- c) 要求的补强面积( $A_1$ ):
  - 1) 对于承受内压的支管连接件,  $A_1$  按公式(15)计算;
 
$$A_1 = t_h d_1 (2 - \sin\beta) \quad \dots\dots\dots (15)$$
  - 2) 对于承受外压(或真空)的支管连接件,  $A_1$  需将外压(或真空)作为内压按公式(16)计算。
 
$$A_1 = t_h d_1 (2 - \sin\beta) \quad \dots\dots\dots (16)$$
- d) 补强范围内的补强面积:
  - 1) 除承受压力荷载所需计算厚度  $t_h$  之外, 主管上多余厚度构成的面积  $A_2$  按公式(17)计算, 但内压或者外压(或真空)的计算厚度  $t_h$  需予以区别;
 
$$A_2 = (2d_2 - d_1)(T_{eh} - t_h) \quad \dots\dots\dots (17)$$
  - 2) 除承受压力荷载所需计算厚度  $t_b$  之外, 支管上多余厚度所构成的面积  $A_3$  按公式(18)计算, 但内压或外压(或真空)的计算厚度  $t_b$  需予以区别;
 
$$A_3 = 2L_4(T_{eb} - t_b)/\sin\beta \quad \dots\dots\dots (18)$$
  - 3) 补强圈面积  $A_4$  取公式(19)和公式(20)中的较小值;
 
$$A_4 = \left(D_r - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) T_r \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$A_4 = \left(2d_2 - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) T_r \quad \dots\dots\dots (20)$$
  - 4) 焊缝面积  $A_5$  按实际焊缝尺寸计算, 焊缝的最小尺寸需符合图 23 的规定。
- e) 补强面积的校核要求:
  - 1) 补强面积应满足公式(21)的校核要求;
 
$$A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \geq A_1 \quad \dots\dots\dots (21)$$
  - 2) 支管直接焊于主管的补强计算示例见附录 K。
- f) 多个支管连接的补强设计:
  - 1) 如任意两相邻支管的中心距大于或等于该两支管平均直径的 2 倍, 则每个支管应分别符合 b)~e) 的规定;
  - 2) 如任意两相邻支管的中心距小于该两支管平均直径的 2 倍, 则两支管的补强设计按以下规定进行:
    - 任意两相邻支管的中心距不宜小于该两支管平均直径的 1.5 倍;



- 两支管补强范围内相互重叠的面积不重复计入,且两支管之间的补强面积不应小于该两支管所需补强面积总和的 50%;
- 相邻两支管应分别符合 b)~e)规定的补强计算要求。

6.6.6.5 带挤压成型接口的支管连接补强计算

带挤压成型接口的支管连接补强计算应按下列步骤进行计算。

- a) 补强结构:
- 1) 接口(包括支管)轴线和主管轴线相交,且垂直于主管轴线;
  - 2) 挤压成型接口在主管表面的凸出高度  $h_x$  大于或等于接口外侧的过渡半径  $r_x$ [见图 12 a)];
  - 3) 最小过渡半径  $r_x$  取  $0.05D_b$  或 38 mm 中较小者;
  - 4) 最大过渡半径  $r_x$  满足以下要求:
    - 当  $D_b < \text{DN}200$  时,  $r_x = 32 \text{ mm}$ ;
    - 当  $D_b \geq \text{DN}200$  时,  $r_x \leq 0.1D_b + 13 \text{ mm}$ 。
  - 5) 接口外轮廓由多个过渡半径组成时,取超过  $45^\circ$  弧线的最佳拟合半径为最大半径  $r_x$  值,且满足 3) 和 4) 的规定;
  - 6) 当  $r_x$  不满足上述要求时,不准许采用机加工的方法。

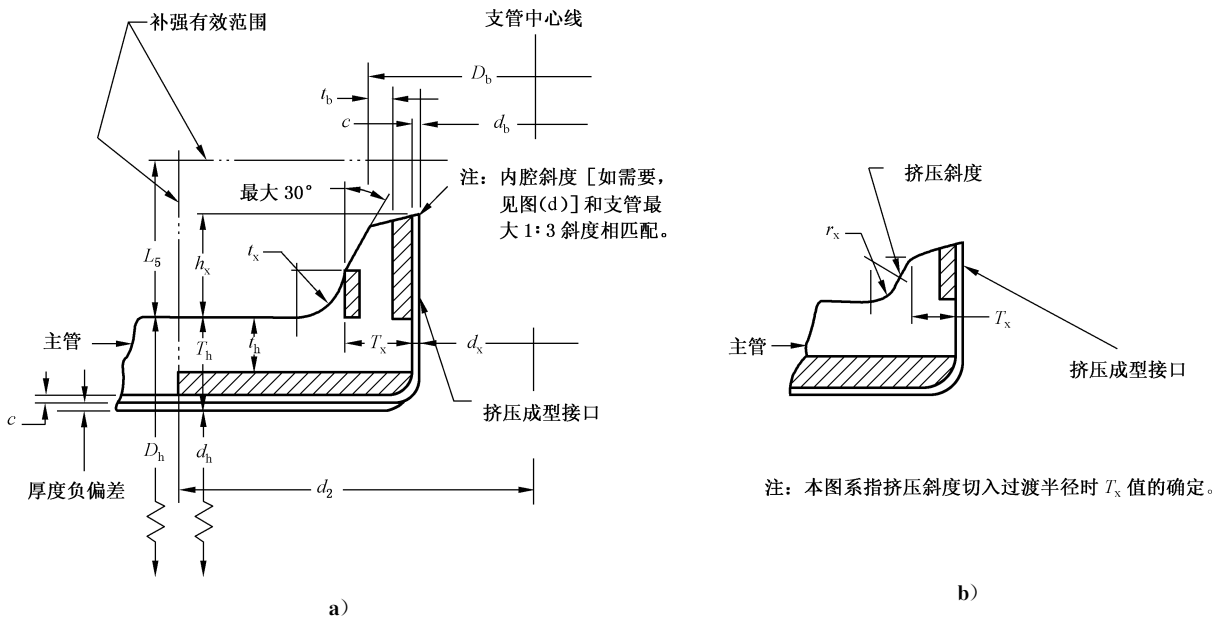
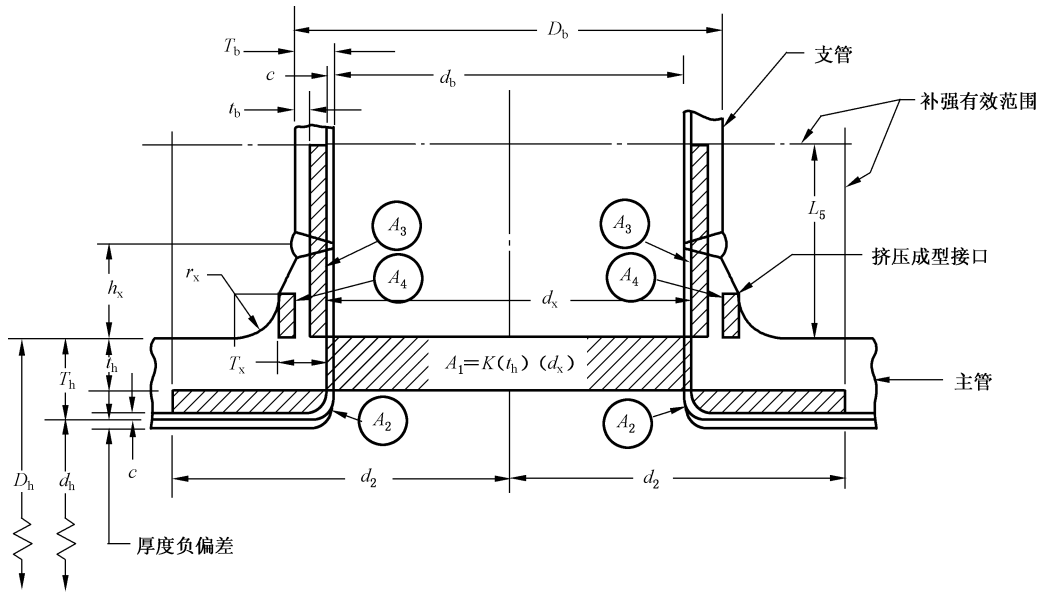
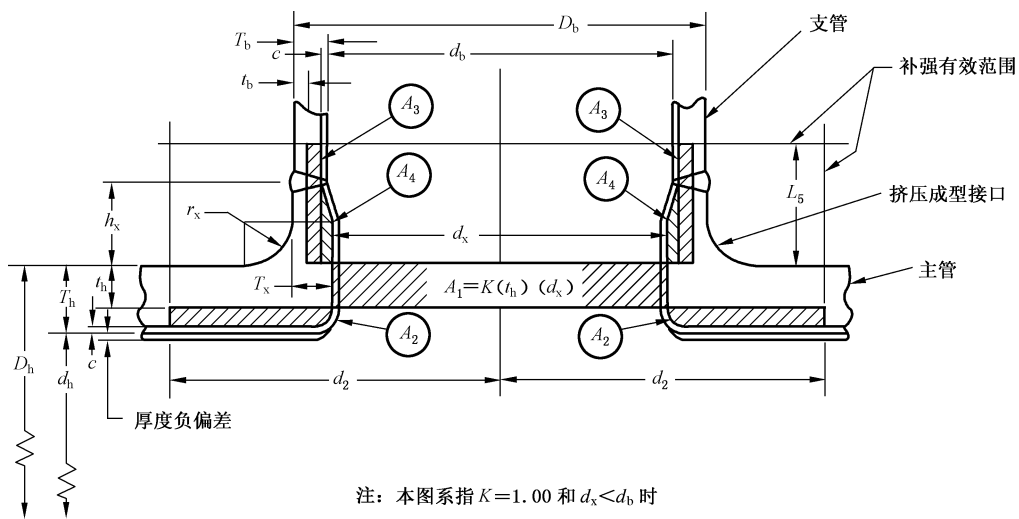


图 12 带挤压成型接口的支管连接



注：本图系指  $K=1.0$  时

c)



注：本图系指  $K=1.00$  和  $d_x < d_b$  时

d)

图 12 带挤压成型接口的支管连接 (续)

b) 补强有效范围：

补强有效范围(简称“补强范围”),见图 12,为主管表面沿支管中心线两侧各为  $d_2$ 、垂直于主管表面距离为  $L_5$  的范围。

c) 要求补强的面积( $A_1$ ):

1) 对于承受内压的主管上挤压成型的接口, $A_1$ 按公式(22)计算;

$$A_1 = K t_h d_x \quad \dots\dots\dots (22)$$

2) 对于承受外压(或真空)的主管上挤压成型的接口, $A_1$ 需将外压(或真空)作为内压按公式(23)计算。

$$A_1 = K t_h d_x \quad \dots\dots\dots (23)$$

d) 补强范围内的补强面积:

- 1) 除承受压力荷载所需计算厚度  $t_h$  之外,主管上多余厚度构成的面积  $A_2$  按公式(24)计算,但内压或外压(或真空)的计算厚度  $t_h$  需予以区别;

$$A_2 = (2d_2 - d_x)(T_{eh} - t_h) \quad \dots\dots\dots(24)$$

- 2) 除承受压力荷载所需计算厚度  $t_b$  之外,支管上多余厚度构成的面积  $A_3$  按公式(25)计算,但内压或外压(或真空)的计算厚度  $t_b$  需予以区别;

$$A_3 = 2L_5(T_{eb} - t_b) \quad \dots\dots\dots(25)$$

- 3) 对于挤压成型接口端部的多余厚度构成的面积  $A_4$  按公式(26)计算。

$$A_4 = 2r_x(T_x - T_{eb}) \quad \dots\dots\dots(26)$$

- e) 补强面积的校核要求:

补强面积应满足公式(27)的校核要求。

$$A_2 + A_3 + A_4 \geq A_1 \quad \dots\dots\dots(27)$$

- f) 多个支管连接的补强设计按 6.6.6.4 f) 的规定进行;其中,要求的补强面积及补强范围内的补强面积按 c) 和 d) 计算。

#### 6.6.6.6 封头上支管连接的补强设计

封头上支管连接的补强设计符合下列规定。

- a) 补强结构:

- 1) 开孔直径不应大于封头内径的 1/2;如超过此值,则宜采用异径管;
- 2) 在通过开孔中心轴垂直于封头表面的任意截面上,开孔每一侧的补强面积至少等于该截面上所需补强总面积的 1/2。

- b) 补强有效范围:

- 1) 焊接连接的支管或挤压成型的接口,其补强有效范围应分别按 6.6.6.4 b) 或 6.6.6.5 b) 的要求确定;
- 2) 凸形封头的补强有效范围在封头轮廓线之内。

- c) 要求补强的面积  $A_1$  按 GB/T 150(所有部分)等相关标准的规定计算。

- d) 焊接连接的支管连接或挤压成型的接口,其补强面积应分别按 6.6.6.4 d) 或 6.6.6.5 d) 的要求确定。

- e) 焊接连接的支管连接或挤压成型的接口,其补强面积的校核应分别符合 6.6.6.4 e) 或 6.6.6.5 e) 的要求。

- f) 对于多个支管连接的补强设计,其焊接连接的支管连接或挤压成型接口应分别按 6.6.6.4 f) 或 6.6.6.5 f) 的规定进行计算。

#### 6.6.7 整体成型三通及支管连接的压力面积法计算

6.6.7.1 表 25 所列整体成型对焊三通可按验证性压力试验或 GB/T 12459—2017 中附录 B 的最小壁厚确定其最大允许工作压力。

6.6.7.2 支管座、斜三通、非径向接管、Y 形管等需作开孔补强强度设计的异形管道组成件以及 6.6.6.2.2 规定以外的支管直接连接的补强计算也可采用附录 L 的压力面积法。

6.6.7.3 根据设计要求,GB/T 12459 中整体成型三通也可采用附录 L 的压力面积法进行压力设计。

### 6.7 管道应力分析

#### 6.7.1 一般规定

6.7.1.1 本章对各种可能存在的荷载,在管道组成件中产生的应力给出分析方法和评定准则。

如需考虑压力波动对管道组成件产生的疲劳效应,可参照 GB/T 4732(所有部分)给出的分析方法

和评定准则,并在 6.7.5.5 的柔性分析中,对公式(34)、公式(35)中许用应力范围的折减系数  $f$  取 1.0。

6.7.1.2 本章所述的柔性分析方法不适用于铸铁等脆性材料。

6.7.1.3 在进行管道系统应力分析时,应计及膨胀节和其他管道组件的刚度。各种管道组件的柔性系数和应力增大系数可按表 M.1 所列出的公式计算,设计者亦可采用由试验或其他方法得到的更为精确的值。

6.7.1.4 管道系统中支吊架的个数、位置和型式对管道系统的应力分布有很大影响。设计中,需慎重对待支吊架的布置,以减小管道的应力。管道系统设计需保证每个支吊架具有足够的强度和适当的刚度。

## 6.7.2 管道应力分析的范围及方法

6.7.2.1 所有管线均应做应力分析,工程设计中宜根据管道的温度、压力、口径及连接的设备类型确定分析方法和详细程度。

6.7.2.2 符合下列条件之一的管道系统,可使用目测或简化分析方法:

- a) 口径小于 DN50;
- b) 设计温度高于或等于  $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 低于  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- c) 设计温度高于或等于  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 低于  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 口径大于或等于 DN50, 小于或等于 DN400;
- d) 设计温度高于或等于  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 低于  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 口径大于或等于 DN50, 小于或等于 DN200;
- e) 符合 6.7.5.5.6 a)、b) 规定的管道。

6.7.2.3 符合下列条件之一的管道系统,宜按本章要求进行详细应力分析:

- a) 设备管口有特殊的荷载要求;  
注:有特殊荷载要求的设备,主要指与普通静设备相比对管口荷载敏感的设备,比如动设备、空冷器、加热炉、板式或板翅式换热器等。
- b) 预期寿命内温度循环次数超过 7 000 的管道;
- c) 设计温度高于或等于  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 或者低于  $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$  的管道;
- d) 利用简化分析方法后,表明需要进行详细分析的管道。

## 6.7.3 符号

如未特别注明,本条符号与 6.6 相同。

## 6.7.4 荷载及其组合工况

### 6.7.4.1 荷载分类

管道应力分析的荷载分类应符合下列规定:

- a) 管道应力分析需计入 6.1.3.1~6.1.3.3 等所列的管道荷载;
- b) 持久性荷载:持久作用于管道系统的荷载,如压力和重力等荷载;
- c) 偶然性荷载:短时间作用于管道系统的荷载,如风、地震以及阀门开、关时的反冲力和压力升高等荷载;
- d) 交变性荷载:大小和方向随时间发生变化的荷载,如温差、风力引起的端点位移(如高塔在风载作用下的摆动)、摩擦力等荷载。

### 6.7.4.2 荷载组合工况

管道应力分析的荷载组合工况应符合下列规定:

- a) 6.1.3.1 所述压力、重力(包括绝热层、管道组成件和管道中流体的重量)等持久性荷载同时作用;
- b) 以上 a) 所述持久性荷载与 6.1.3.2 a) 风荷载或 6.1.3.2 b) 地震荷载等偶然性荷载同时作用(当

计及地震荷载时,仅需计入地震所产生的水平力);必要时,还需计及阀门关闭引起的压力短时升高、泄放阀打开时对管道的反冲力等荷载的作用;

- c) 因温度引起 6.1.3.3 a)、c)、d)所述荷载及其他交变荷载;
- d) 必要时,需计入 6.1.3.3 b)所述端点或支吊架永久性位移引起的荷载,但在结构设计时需尽可能消除该荷载的影响。

### 6.7.4.3 偶然性荷载的条件和要求

6.7.4.3.1 同时满足下列条件时,应计及 6.1.3.2 b)地震荷载:

- a) GC1 级管道以及介质为有毒或易燃易爆的 GC2 类管道;
- b) 地震设防烈度大于或等于 6 度,且设计基本地震加速度大于或等于  $0.10g$ 。

6.7.4.3.2 如需计及 6.1.3.2 a)风荷载,则风荷载和地震荷载无需同时与其他偶然性荷载构成组合工况。

6.7.4.3.3 如需计及因阀门开、关产生的荷载,则该荷载与其他偶然性荷载(如地震荷载等)不耦合作用,即无需构成组合工况。

### 6.7.5 静态应力分析和强度条件

#### 6.7.5.1 一般规定

以下应力计算方法和评定准则按 6.7.4.2 所列荷载组合工况给出。6.7.5.2~6.7.5.4 规定的强度条件应同时满足。

#### 6.7.5.2 持续荷载的应力强度条件

对于 6.7.4.2 a)所述的持久性荷载组合工况,管道和管道组成件的应力  $S_L$  不应大于  $S_h$ ,即满足公式(28)和公式(29)的强度条件。

$$S_L \leq S_h \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + 4S_t^2} \quad \dots\dots\dots (29)$$

公式(29)中的  $S_b$ 、 $S_a$ 、 $S_t$  应分别按公式(30)、公式(31)和公式(32)计算。

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$S_a = \frac{I_a F_a}{A_p} \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$S_t = \frac{I_t M_t}{2Z} \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中:

$S_L$ ——由持续荷载产生的应力,单位为兆帕(MPa);

$S_a$ ——由持续纵向力产生的应力,单位为兆帕(MPa);

$S_b$ ——由持续弯矩产生的应力,单位为兆帕(MPa);

$S_t$ ——由持续扭矩产生的应力,单位为兆帕(MPa);

$Z$ ——名义壁厚减去壁厚裕量的管道截面模量,单位为立方毫米( $\text{mm}^3$ );

$M_i$ ——由持续荷载如压力和重力产生的平面内弯矩,单位为牛顿毫米( $\text{N} \cdot \text{mm}$ );

$M_o$ ——由持续荷载如压力和重力产生的平面外弯矩,单位为牛顿毫米( $\text{N} \cdot \text{mm}$ );

$I_i$ ——平面内持续弯矩系数,在缺少更适用数据时,可按表 M.1 注 7 的规定选取;

$I_o$ ——平面外持续弯矩系数,在缺少更适用数据时,可按表 M.1 注 7 的规定选取;

$I_a$ ——持续纵向力系数,在缺少更适用数据时,可按表 M.1 注 7 的规定选取;

$F_a$ ——由持久性荷载如压力和重力产生的纵向力,单位为牛顿(N);

$A_p$ ——名义壁厚减去壁厚裕量的管道横截面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>);

$I_t$ ——扭矩系数,在缺少更适用数据时,可按表 M.1 注 7 的规定选取;

$M_t$ ——由持久性荷载如压力和重力产生的扭矩,单位为牛顿毫米(N·mm);

$S_h$ ——表 B.1 中与计算条件相应的温度所对应的许用应力值,单位为兆帕(MPa);对于高温下工作的材料,还应满足 6.2.7 的规定。用于公式(34)和公式(35)时,对铸件应乘以相应的铸件质量系数  $\Phi_c$ ,对焊接件可不乘以纵向焊接接头质量系数  $\Phi_w$ ,且最大取 138 MPa。

注 1: 持续纵向力包括由压力产生的持续力  $P_j A_t$ ,  $P_j$  为内压力,  $A_t = \pi d^2 / 4$ ,  $d$  为管道厚度减去裕度后的内径。如果管系中安装有膨胀节,由设计确定内压力产生的持续纵向力。

注 2: 计算  $S_L$  时应计及管道支架脱空的工况,公式(28)和公式(35)中的  $S_L$  应采用各工况计算出的最大值。

### 6.7.5.3 厚度

计算  $S_L$  所用管壁厚度应为名义厚度减去加工、腐蚀和冲蚀等裕量后的厚度,用于计算应力的面积亦为名义尺寸减去其裕度计算出的面积。而计算重量引起的荷载宜基于整个系统组件的名义厚度,除非有经过更严格分析证明的其他方法。

### 6.7.5.4 持久性荷载与偶然性荷载组合工况的应力限制条件

6.7.5.4.1 对于 6.7.4.2 b) 规定的荷载组合工况,管道和管道组件的应力应满足公式(33)限制条件。

$$S_{L2} \leq 1.33S_h \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

$S_{L2}$ ——为 6.7.5.2 项的  $S_L$  与风或地震等偶然荷载所产生的应力之和。

6.7.5.4.2 设计时不宜同时计及风荷载和地震荷载。

6.7.5.4.3 如需考虑阀门关闭引起的压力短时升高,应将该升高值计入压力  $P$  中。如需计及泄放阀打开时的反冲力,应将其产生的应力计入偶然荷载产生的应力;阀门开、关对管道产生的反冲力和压力升高可参照附录 N 进行计算,或采用更精确的方法进行计算。

6.7.5.4.4 奥氏体不锈钢和镍基合金的最高工作温度下的材料许用应力  $S_h$  应符合 B.5 f) 的规定。

6.7.5.4.5 压力试验工况可不计及如风载、地震等偶然性荷载。

### 6.7.5.5 柔性分析

6.7.5.5.1 在 6.7.4.2 c) 所述的荷载组合工况的作用下,所有管道系统都需具有足够的柔性以避免出现如下情况:

- a) 由于应力超限或疲劳原因导致的管道或支吊架失效;
- b) 管道连接部位发生泄漏;
- c) 因存在过大的推力或弯矩,而导致管道支吊架、管道组成件或与管道连接的其他设备产生过大应力或荷载超限。

6.7.5.5.2 管道系统中任何一处由位移引起的应力范围不应超过 6.7.5.5.3 规定的许用应力范围。

6.7.5.5.3 柔性分析的许用应力范围应按照下列要求确定。

a) 许用位移应力范围  $S_A$  一般按公式(34)计算;

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad \dots\dots\dots (34)$$

b) 如果在 6.7.4.2 a) 规定的荷载组合工况下计算得到的管道组件的应力  $S_L$  小于材料在最高工作温度下的许用应力  $S_h$ , 则许用位移应力范围  $S_A$  可按公式(35)计算。

$$S_A = f[1.25(S_c + S_h) - S_L] \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中：

$S_c$  ——循环荷载作用下管道组件或管道材料在最低金属温度下的许用应力,最大取 138 MPa,单位为兆帕(MPa)。

$f$  ——位移应力范围系数,按公式(36)计算或通过图 13 查得：

$$f = 20(N)^{-0.333} \leq f_m \quad \dots\dots\dots (36)$$

$N$  ——预期工作寿命内,以最大应力范围为基准的当量循环次数,按公式(37)计算：

$$N = N_E + \sum (r_i^3 N_i), i = 1, 2, \dots, N \quad \dots\dots\dots (37)$$

$f_m$  ——应力范围系数的最大值。对于规定最小抗拉强度小于或等于 517 MPa 且循环条件下最高金属温度低于或等于 371 °C 时,铁基材料应力范围系数的最大值为 1.2;其他材料的应力范围系数的最大值为 1.0。

$N_E$  ——最大应力范围  $S_E$  的循环次数。

$r_i$  ——应力范围的比值,  $r_i = S_i / S_E$ 。

$S_E$  ——最大的计算位移应力范围,单位为兆帕(MPa)。

$S_i$  ——小于最大位移应力范围  $S_E$  的某一个第  $i$  次计算位移应力范围值,单位为兆帕(MPa)。

$N_i$  ——位移应力范围  $S_i$  的循环次数。

注：公式(36)或图 13 不适用于膨胀节本体的设计；当量循环次数  $N$  大于  $10^6$  时,公式(36)或图 13 不适用于确定位移应力范围系数  $f$ ,可根据附录 Q 或其他相应规范对管道进行疲劳分析。

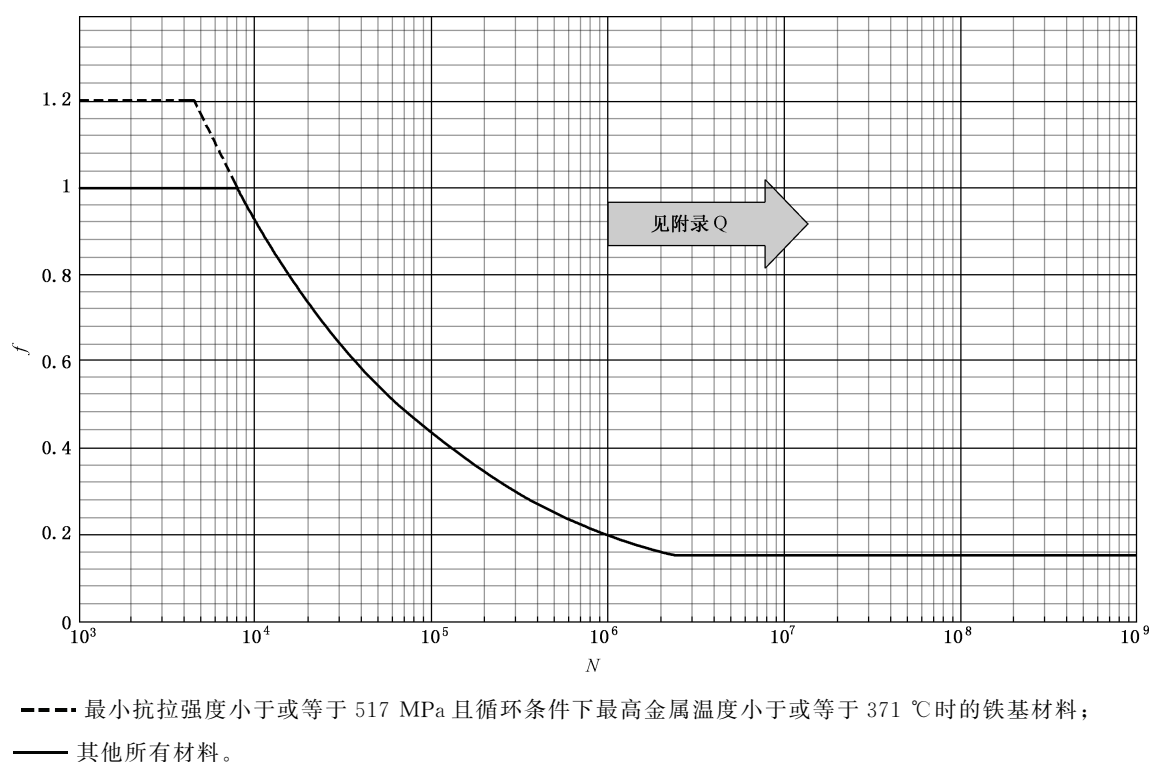


图 13 应力范围系数  $f$  与位移循环当量数  $N$  之间的关系

#### 6.7.5.5.4 材料的物理性能包括下列参数。

##### a) 线膨胀系数：

- 1) 计算应力范围时,应根据材料在温度循环中最高和最低工作温度下从表 C.1 查取相应的线膨胀系数；
- 2) 计算支承反力时,应根据材料在最高(或最低)工作温度和环境温度下从表 C.1 查取相应

的线膨胀系数。

b) 弹性模量:

- 1) 计算应力范围时,材料的弹性模量可按温度为 20 ℃ 时取值。当管道系统中的各管道组件的弹性模量对管道系统中的应力分布会产生很大影响时,则应按材料在温度循环中的最高和最低工作温度从表 C.2 查取相对应的弹性模量  $E_m$ 。
- 2) 计算支承反力时,应根据材料在最高(或最低)工作温度和环境温度下从表 C.2 查取最高或最低温度下材料的弹性模量  $E_m$  以及环境温度下的弹性模量  $E_a$ 。
- 3) 当弹性模量无法在表 C.2 中查到时,也可使用其他可靠资料或文献中的数据,但应经过国家认可的机构审查。

c) 泊桑比一般取 0.3,但也可取更为精确的值。

d) 柔性分析时应采用管道或管道组成件的名义厚度和外径值。

6.7.5.5.5 可采用附录 M 所给出的柔性系数  $k$  和应力增大系数值  $i$  进行柔性分析。对于附录 M 未列入的管道组成件,其应力增大系数和柔性系数可近似取附录 M 中结构形状相似的管道组成件的值。

6.7.5.5.6 符合下列 a)、b)和 c)条件之一时,管道系统可免除柔性分析。符合 d)的管道不适用于免除柔性分析。

- a) 设计的管道系统与一项已成功运行的管道系统的结构和布置一致,或者在结构和布置上仅有很少且不影响管道系统柔性要求的差异。
- b) 可容易地判定,所设计的管道系统的柔性不低于一项已经过柔性分析的管道系统。
- c) 设计的管道系统中,管子尺寸相同、固定点不超过两个、不存在中间约束,且满足公式(38)。

$$\frac{Dy}{(L-U)^2} \leq K_1 \quad \dots\dots\dots (38)$$

式中:

$D$  ——管道外径,单位为毫米(mm);

$y$  ——管道系统所需吸收的总的线位移,单位为毫米(mm);

$L$  ——管道在两固定点间的展开长度,单位为米(m);

$U$  ——两固定点之间的直线距离,单位为米(m);

$K_1$  —— $208\,000S_A/E_a$ ,单位为毫米每米的二次方 $[(\text{mm}/\text{m})^2]$ ;

$E_a$  ——管道材料在 20 ℃ 时的弹性模量,单位为兆帕(MPa);

$S_A$  ——由公式(34)计算出的许用位移应力范围,单位为兆帕(MPa)。

d) 下列管道不适用于免除柔性分析:

- 1) 剧烈循环工况的管道;
- 2) 含有不等长 U 形弯管( $L/U > 2.5$ )或近似直线的锯齿状管道;
- 3) 不在固定支承连接方向上的附加位移在总位移量中占了大部分的管道。

6.7.5.5.7 对于 6.7.4.2 c)规定的荷载组合工况,可按下列规定的方法进行应力计算和校核。此外,也可采用任何简化和近似的方法进行管道系统的柔性分析,只要该方法已被证明是偏安全的。在按下列方法进行详细的应力分析时,应对管道系统中所有的管道组成件进行应力计算和校核,而不仅限于直管中的应力。

a) 假定和要求:

在进行管道系统柔性分析时,应将管道系统作为一个整体,且应计算管道系统在各可能工况下的所有危险部位及其受力,包括管子和管道组成件中的应力、支吊架处所产生的摩擦力和所受的反力。管道系统柔性分析前,应首先确定所有管道支吊架及其他约束的位置和类型,并且假定支吊架和约束具有足够的强度和刚度,以承受管道或管道组成件对其施加的力和力矩。在分析中所采用的材料性能参数按 6.7.5.5.4 的规定。



## b) 应力范围的计算及其限制条件:

应首先按可能的工况,分别对管道系统中可能的危险部位计算其所受的轴向应力、弯曲应力和扭矩引起的剪应力,然后按公式(39)计算组合应力范围。

$$S_E = \sqrt{(|S'_a| + S'_b) + 4S'^2_t} \quad \dots\dots\dots (39)$$

计算得到的组合应力范围  $S_E$  应小于或等于 6.7.5.5.3 规定的许用应力范围,即:

$$S_E \leq S_A \quad \dots\dots\dots (40)$$

$$S'_t = \frac{i_t M'_t}{2Z} \quad \dots\dots\dots (41)$$

$$S'_a = \frac{i_a F'_a}{A_p} \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中:

$S_E$ ——最大的计算位移应力范围,单位为兆帕(MPa);

$S_a$ ——由位移应变产生的轴向应力范围,单位为兆帕(MPa);

$S_b$ ——由位移应变产生的弯曲应力范围,单位为兆帕(MPa);

$S_t$ ——由位移应变产生的扭转应力范围,单位为兆帕(MPa);

$M'_t$ ——要评估的两种工况之间,由位移应变产生的扭矩范围,单位为牛顿毫米(N·mm);

$Z$ ——管道截面模量,见 6.7.5.5.4 d),单位为三次方毫米(mm<sup>3</sup>);

$F'_a$ ——要评估的两种工况间,由位移应变产生的轴向力范围,单位为牛顿(N);

$A_p$ ——管道横截面积,见 6.7.5.5.4 d),单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>);

$i_a$ ——轴向应力增大系数,缺少更适用数据时,对弯管、弯头、斜接弯头(单斜接、宽间距、窄间距斜接弯头), $i_a$ 取 1,附录 M 中的其他管道组件, $i_a = i_o$ ,见 6.7.5.5.5;

$i_t$ ——扭转应力增大系数,缺少更适用数据时, $i_t$ 取 1,见 6.7.5.5.5。

## c) 弯头、斜接弯头、三通的主管端和支管端:

如图 14 所示,公式(39)中由位移应变产生的弯曲应力范围  $S_b$ 按公式(43)计算:

$$S'_b = \frac{\sqrt{(i_i M'_i)^2 + (i_o M'_o)^2}}{Z} \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中:

$i_i$ ——平面内应力增大系数,见附录 M;

$i_o$ ——平面外应力增大系数,见附录 M;

$M'_i$ ——要评估的两个工况间的平面内弯矩范围,单位为牛顿毫米(N·mm);

$M'_o$ ——要评估的两个工况间的平面外弯矩范围,单位为牛顿毫米(N·mm)。

## d) 弯矩方向:

图 14 所示的弯矩方向为该弯矩的矢量方向。在计算应力范围时,弯矩或扭矩都是指所需计算部位处的值。同时,抗弯截面模数也是指该计算部位处的对应值。

如果在焊缝处,交变应力范围值超过  $0.8S_A$ ,且荷载当量循环次数大于 7 000,则该焊缝应按 8.3.1 规定的检查等级 I 级要求进行检查。

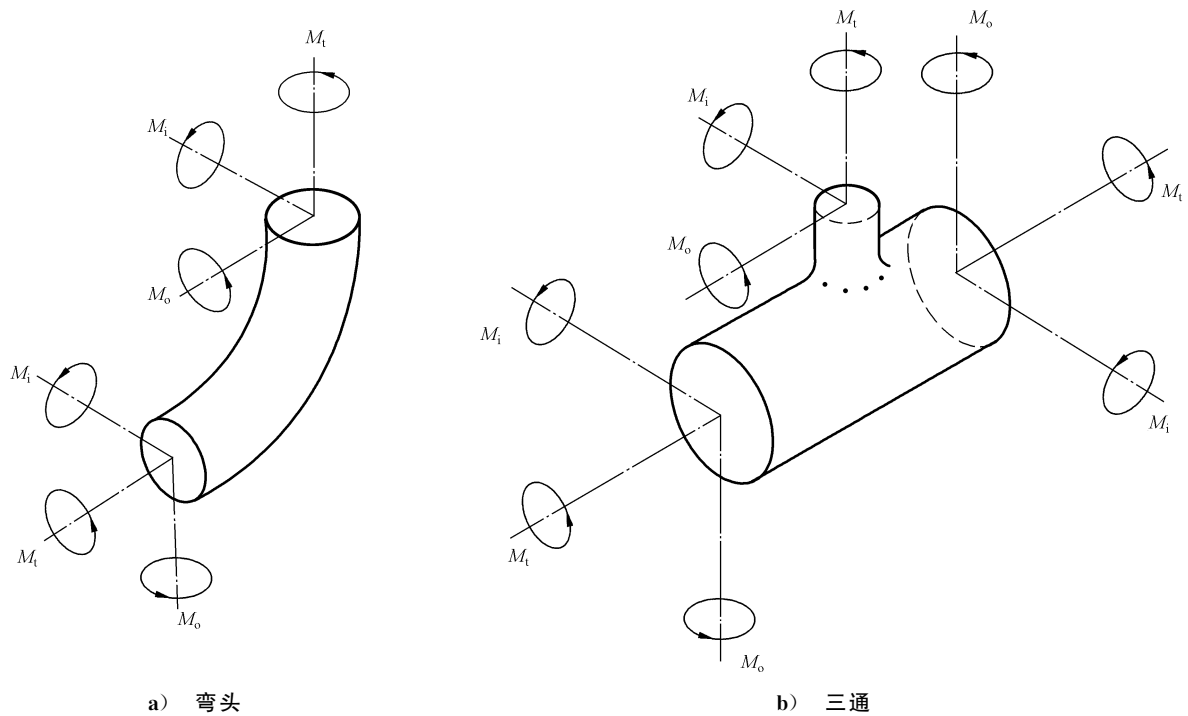


图 14 平面内和平面外弯矩和扭矩示意图

6.7.5.5.8 确定管道支吊架或与管道连接的设备所受到的最大支承反力时,宜按 6.7.4.2 b)、c)和 d)同时作用下的荷载工况进行计算,静设备管口许用荷载见附录 O。

#### 6.7.5.6 自补偿的管道

采用自补偿的管道,其柔性不能满足要求时,可采用下列措施改善管道的柔性:

- 调整支吊架的型式和位置;
- 改变管道走向;
- 当条件受限,可根据管道设计参数和类别选用补偿装置,对特殊管道,如口径大于或等于 DN400 的可燃气体排放总管宜选用金属波纹膨胀节进行补偿;排放总管选用的金属波纹膨胀节应满足 6.7.5.7 及附录 P 的要求。

#### 6.7.5.7 管道用金属波纹膨胀节

管道用金属波纹膨胀节符合下列规定:

- 膨胀节应按附录 P 的要求设计;
- 膨胀节的型式及安装位置应经过管道应力分析后予以确定;
- 膨胀节的额定补偿量宜是管道各种工况计算位移最大值的 1.15 倍~1.2 倍;
- 膨胀节波纹管的材料应按照设计温度、设计压力、介质属性以及外界环境等条件进行选用;
- 膨胀节中的端管、中间管、法兰接管等的材质不应低于安装膨胀节管道的材质;
- 膨胀节用的波纹管应采用液压成型;
- 宜给出波纹管的单层最小厚度;
- 整体膨胀节的压力试验宜与其所在的管道压力试验相匹配。

### 6.7.5.8 管道的动力分析

由冲击、压力脉动等引起振动的管道宜用动力分析方法进行管道应力分析。

## 6.8 管道支吊架

### 6.8.1 一般规定

6.8.1.1 管道支吊架布置和型式,应与管道布置、管道柔性、防振设计、支吊架承载大小和生根条件相适应,并应防止下列情况的发生:

- a) 管道应力超过 6.7 中的规定;
- b) 管道连接处产生泄漏;
- c) 作用在设备管口(如泵、汽轮机等)上的推力和力矩过大;
- d) 支吊架的应力过大;
- e) 管道受迫或流体自激产生共振;
- f) 热胀冷缩受约束致使管道柔性不足;
- g) 管道支吊架产生非预期脱空;
- h) 需通过一定坡度排净的管道挠度过大;
- i) 在反复热循环作用下产生蠕变的管道出现过量变形或松弛;
- j) 支吊架承受过度热传导,超出材料的设计温度。

6.8.1.2 管道支吊架结构和连接需具有足够的强度和适宜的刚度。

6.8.1.3 管道支吊架及其生根结构的设计需考虑同时作用在支吊架上的荷载,包括管道自重以及由介质压力和温度的耦合、振动、风、雪、地震、冲击和位移应变引起的载荷。此外,除非采取防止液体介质进入管道的措施,并且管道在现场安装期间或以后的检验不需进行水压试验,否则,对于输送气体或蒸汽的管道,还需考虑水压试验时的充水重量。

6.8.1.4 管道支吊架的位置和设计可采用简单计算或工程经验来确定。当需要精确分析时,应采用计算得到的应力、力矩和作用力设计管道支吊架。

6.8.1.5 操作中管道受振动和/或冲击可能产生共振时,应设置适宜的阻尼器、限位架或固定架等设施予以消除。

### 6.8.2 材料要求

6.8.2.1 管道支承件的许用应力(弹簧除外)的确定,应符合 GB/T 17116.1、GB/T 17116.2、GB/T 17116.3 的规定。管道支承件采用焊接管道制作时,其许用应力可不计纵向焊缝系数。

6.8.2.2 管道支吊架用材料应与其使用条件相匹配,选用时需考虑管道支承件的使用条件、材料的工艺性能和经济合理性。与管道直接接触的管道支承件,其材料应按管道设计温度选取。与管道直接焊接的管道支承件,其材料宜与管道材料相匹配。

6.8.2.3 采用金属制作的管道支吊架,其材料应符合 GB/T 17116(所有部分)的规定。当采用木材或其他非金属材料制作管道支吊架时,支吊架结构应设计合理,并需考虑温度、强度和寿命的影响。

6.8.2.4 灰铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁可用作滚柱、滚柱底板、固定架底板及其他承受压缩荷载的管道支承件,灰铸铁的使用温度不应低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且不应高于 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;球墨铸铁和可锻铸铁的使用温度不应低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且不应高于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于存在因振动或脉动而引起冲击荷载的场合,不应使用铸铁等脆性材料。球墨铸铁和可锻铸铁可用于制作管卡、吊挂法兰、托架和吊环等。用于承受动荷载的管道支承件不应采用沸腾钢,也不应采用常温冲击功小于 $20\text{ J}$ 的钢材。

6.8.2.5 技术要求明确且与承压管道组成件有兼容性的管道支承件材料可直接与压力管道焊接。技术

要求不确定的钢材,可用作不直接与承压管道焊接的管道支承件,该钢材的许用拉伸或压缩应力不应超过材料最低拉伸强度的 25%或 82 MPa 的较小值,使用温度应在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内。

6.8.2.6 许用剪切应力应取 GB/T 17116.1—2018 附录 A 规定的材料基本许用应力的 0.8 倍,许用接触应力应取 GB/T 17116.1—2018 附录 A 规定的材料基本许用应力的 1.5 倍。

6.8.2.7 螺纹吊杆、支吊架的焊缝以及管部材料,其许用应力应降低 25%。管道组成件和管部材料的许用应力值不同时,相连焊缝的许用应力应取两者的较小值。

6.8.2.8 支吊架用钢材冷成型后的弯曲半径小于其壁厚的 2 倍时,应进行成型后的退火或正火处理。

### 6.8.3 设计要求

#### 6.8.3.1 一般规定

6.8.3.1.1 管道支吊架的设计应符合 GB/T 17116(所有部分)的规定,应优先选用标准的及通用的管道支吊架;非标管道支吊架应采用可靠的方法进行强度或刚度校核。

6.8.3.1.2 管道支吊架的设计应保证其与管道连接处不会产生过大的局部弯曲应力,且不会使管子压扁或产生有害的热拱。有循环荷载的场合,尽可能减小连接处的应力集中。

6.8.3.1.3 管道支吊架需具备一定的生根条件,宜利用建构筑物梁柱、平台、设备本体、钢结构、地面等作为支吊架的生根点;也可生根在可承受荷载且不会产生不良影响的其他管道上,但不应借助高温管道、低温管道和有振动的管道作为支吊架的生根点。

6.8.3.1.4 管道支吊架的设计不应妨碍管道预期热位移。

6.8.3.1.5 与管道焊接连接的管部材料需具有良好的可焊性。预热、焊接和热处理应符合第 7 章和 GB/T 17116(所有部分)的规定。设计时需考虑管部与管道焊接处的局部应力以及它们之间温差对管道造成的影响。

6.8.3.1.6 支吊架用螺栓、螺纹吊杆及其他螺纹连接件的最大安全荷载应基于螺纹根径进行计算。

#### 6.8.3.2 结构

6.8.3.2.1 下列管道不宜在施工现场与管道支承件直接焊接:

- a) 管壁温度等于或高于  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  的高温管道;
- b) 低温管道;
- c) 需要热处理的管道;
- d) 生产中经常需要拆卸的管道;
- e) 现场焊接施工不便的管道;
- f) 其他不准许现场焊接的管道(如非金属衬里管道、镀锌管道等)。

6.8.3.2.2 用于 DN80 及以上管道的吊架,在承重状态下应可进行调节。螺纹应符合相应标准的规定。与松紧螺母和调节螺母配合的螺杆应为全通丝结构。除非采取其他锁紧措施,否则采用螺纹调节时应配备防松螺母。

6.8.3.2.3 如果垂直管道的重量借助管卡支撑,为防止管道下滑,管卡宜布置在法兰、管件或直接焊接在管道上的支耳等部件的下方。

6.8.3.2.4 对于合金钢管道,可采用整体补强、全封闭补强或者采用适当的合金材料作为中间垫板,以避免或降低合金管道受到侵蚀或产生非预期的热影响。

6.8.3.2.5 当管道和管道支承件之间存在相对运动可能使管道磨损且使管道壁厚减薄时,可在支撑点处使用垫板或采取其他防护措施。

#### 6.8.3.3 荷载

6.8.3.3.1 管道支吊架设计时,需考虑下列荷载:

- a) 管道组成件及绝热层的重力；
- b) 支承件的重力；
- c) 管道输送介质的重力；
- d) 水压试验或管道清洗时的介质重力；
- e) 管道柔性组件在内压下产生的内压推力(俗称“盲板力”)；
- f) 支吊架约束管道位移所承受的约束反力和力矩；
- g) 管道或管道绝热层外表面温度小于 20 ℃ 的室外管道受到的雪荷载；
- h) 室外管道受到的风荷载；
- i) 管内流体动量瞬时突变引起的瞬态作用力；
- j) 流体排放产生的反力；
- k) 地震引起的荷载。

6.8.3.3.2 蠕变温度下操作的管道,可根据与管道相连设备或设施的特点适当考虑应变自均衡后的位移约束反力。

6.8.3.3.3 带有变力弹簧支吊架的管道,需考虑在冷态和热态下变力弹簧支吊架荷载变化引起邻近管道支吊架的荷载转移。

6.8.3.3.4 水平方向限位的管道支吊架,在其约束方向的荷载还需考虑管道中滑动支吊架因摩擦力约束管道位移引起的荷载传递。

6.8.3.3.5 对于设置无约束型波纹管膨胀节或伸缩节的管道,固定架或限位架应能承受内压推力、滑动摩擦力、膨胀节弹性反力等载荷。

#### 6.8.3.4 强度和刚度

6.8.3.4.1 管道支吊架结构和连接应能承受管道和相关设备在可能出现的各种荷载组合工况下所施加的静荷载和动荷载。

6.8.3.4.2 与土建结构、基础或设备相连接的管道支吊架的钢结构的设计,需满足最大荷载时的强度要求,并满足下列刚度条件:

- a) 用于固定、限位和阻尼作用时,梁的最大挠度不应大于 0.002 倍梁的计算长度；
- b) 用于其他支架时,梁的最大挠度不应大于 0.004 倍梁的计算长度；
- c) 采用悬臂梁时,悬臂长度不宜大于 800 mm。

#### 6.8.3.5 限位架

限位架的设计符合下列规定:

- a) 固定架在任何工况下保证其初始安装位置,即保证其与管道、支承或设备的固定连接；
- b) 为保护设备或管道系统的薄弱部分,可设置固定架、限位架或导向架控制位移或将热膨胀引导到管道系统中可吸收热膨胀的管段；
- c) 设置膨胀节的管道,固定支吊架的布置应符合 P.2.3 的规定,其他支吊架的布置需避免膨胀节产生非预期的受力和变形；
- d) 除了要考虑其他热态受力和力矩外,在设计固定架和导向架时还需考虑系统中其他支架的摩擦力影响；
- e) 限位架用于抑制、导向或吸收管道位移时,需考虑内压和热膨胀在支吊架处产生的力和力矩。

#### 6.8.3.6 弹簧支吊架

6.8.3.6.1 弹簧支吊架承受的垂直荷载应为弹簧支吊架与管道连接点处通过力的平衡计算确定的荷载。设计弹簧支吊架时,需避免使弹簧受到偏心荷载或其他可能导致支吊架失稳的荷载,并应防止支撑

处意外脱载。一般应使用限位装置以防止弹性支吊架失稳,并应防止在外力作用下弹簧发生过量的变形而导致失效。弹簧的设计还应保证其能够承受外力作用下可能出现的最大变形。

6.8.3.6.2 在垂直位移较大的地方宜采用恒力弹簧支吊架。选择恒力弹簧支吊架时,其行程范围应大于预期的位移量。

6.8.3.6.3 应采取适当措施防止因过度位移引起弹簧支吊架应力过大。弹簧支吊架应配备位移指示器。

6.8.3.6.4 可变弹簧支吊架和恒力弹簧支吊架的荷载计算,应基于管道的操作条件,该荷载不包括液压试验时的介质重量。但弹簧支吊架应能承受液压试验时的总荷载,否则还应额外设置支吊架。

#### 6.8.3.7 其他支吊架

6.8.3.7.1 滑动支架(或管托)除应承受垂直荷载外,还应能承受摩擦力的作用。支架底板尺寸需考虑所支承管道的预期位移量。

6.8.3.7.2 导向架和滑动支架应保证管道仅沿设定的方向自由移动。

6.8.3.7.3 平衡锤型式的支承件应设置位移限位装置。用于将配重荷载连接到管道上的链条、缆绳、挂件、悬臂杆等应符合 6.8.2 的规定。

6.8.3.7.4 液压支架可提供恒定的支承力,设计时应配备安全设施和限位设施以便在液压支架故障时承担荷载。

### 6.8.4 管道支吊架设置和选用

#### 6.8.4.1 一般规定

6.8.4.1.1 管道支吊架的布置和结构不应妨碍操作人员的通行、设备和管道的安装或检修。

6.8.4.1.2 支承点水平位移较大时,可选用加长管托或采取偏装。

#### 6.8.4.2 管道的跨距

6.8.4.2.1 对于水平管道,支吊架与相邻设备或与支吊架之间的最大间距应符合 GB/T 17116 等相关标准的规定。确定水平管道支吊架间距时应保证管道不产生过大的挠度、弯曲应力和剪切应力,确定管道跨距时还需考虑管道上的阀门、法兰等集中荷载的作用。

6.8.4.2.2 水平直管道的支吊架间距应按强度条件、刚度条件进行计算,取其中较小值;对于可能产生振动的管道,必要时,应进行固有频率计算;对于大直径薄壁管道,必要时,还需进行局部应力校核,并满足下列要求:

- a) 强度条件:应控制管道自重产生的弯曲应力,使管道在持久性荷载作用下的应力满足 6.7.5.2 的要求;
- b) 刚度条件:应控制管道自重产生的弯曲挠度,使管道在安全范围内使用,并能满足疏水和介质排放的要求;敷设无坡度的蒸汽管道,其挠度不宜大于 10 mm;
- c) 固有频率条件:对于可能产生振动的管道,宜控制管道的固有频率在适当的范围内;
- d) 局部应力条件:对于大直径薄壁管道,考虑局部应力的影响,可按公式(44)进行局部应力核算,如不能满足要求,可设置加强板或采取其他加强措施,否则应减小管道的跨距。

$$\sigma = 1.17 \sqrt{R/t} \times \frac{f}{t} \leq 0.5[\sigma] \quad \dots\dots\dots (44)$$

式中:

$\sigma$  ——支撑点的局部应力,单位为兆帕(MPa);

$R$  ——管子外半径,单位为毫米(mm);

$t$  ——管子扣除腐蚀裕量后的壁厚,单位为毫米(mm);

$f$  ——支撑反力作用于管壁的线荷载,单位为牛顿每毫米(N/mm);  
 $[\sigma]$  ——管材在设计温度下的许用应力,单位为兆帕(MPa)。

#### 6.8.4.3 承重架

承重架的位置按下列原则设置:

- a) 宜靠近设备管口;
- b) 宜靠近集中荷载;
- c) 宜靠近弯管和大直径三通式分支管;
- d) 支承点处无垂直方向位移或位移较小时可采用刚性支吊架;有垂直位移时可采用变力弹簧支吊架,位移量较大时可采用恒力弹簧支吊架;
- e) 对于竖直管道,宜在靠近上端部位设置承重支吊架;
- f) 对于需要检修拆卸的管道组成件或相连设备需要拆卸移走时,需考虑相连管道的稳定性,必要时设置承重支吊架。

#### 6.8.4.4 固定支架

固定支架按下列原则设置:

- a) 对于复杂管道,可利用固定支架将其划分为几个形状较为简单的管段进行分析计算;
- b) 确定管道固定支架位置时,两固定点之间的管段能够自然补偿;
- c) 选用  $\pi$  型补偿器时,宜将其设置在两固定点的中部;
- d) 为减少主管对与其相连支管的影响,固定支架宜靠近分支管附近设置;
- e) 进出装置的工艺管道和公用工程管道,宜在装置分界处设置固定支架;
- f) 调节阀组的一侧宜设置固定支架或限位架。

#### 6.8.4.5 导向架

导向架按下列原则设置:

- a) 竖直管道较长时,应在中部设置若干个导向架,防止管道产生横向不稳定;
- b) 管道在拐弯处有较大位移,可能影响邻近管道或其他设施时,应在适当位置设置导向架;
- c) 在允许管道轴向位移,而不准许横向位移的位置需设置导向架;
- d)  $\pi$  型补偿器两侧应设置导向架;
- e) 自由型波纹管膨胀节两侧需设置导向架,第 1 组导向架距离膨胀节中心位置不应大于 4DN,第 2 组导向架距离第 1 组导向架不应大于 14DN;
- f) 不宜在靠近弯头和支管的连接处设置导向架。

#### 6.8.4.6 防振支架

防振支架按下列原则设置。

- a) 管道支吊架的布置需避免由于压缩机、泵等的运转而使管道发生共振;
- b) 对于有抗震要求的管道,支吊架布置时需使管道系统的固有频率控制在设计规定的范围内,以避免管道受到较大的地震力作用;
- c) 有机械振动的管道和可能存在两相流的管道,需在适当位置设置防振管卡;
- d) 防振支架需具有足够的刚度,宜沿地面设置独立基础,避免生根在厂房的梁柱上。

#### 6.8.4.7 限位架

为控制管道热胀冷缩的位移量或减轻管道对约束点(如设备管口、固定点等)的推力或力矩,可在适

当位置设置限位架。

#### 6.8.4.8 其他

带有膨胀节的管道,其布置、固定支架、限位架的设计应符合附录 P 的规定,其他类型管道支吊架的布置还应满足膨胀节产品说明的要求。

### 7 制作与安装

#### 7.1 一般规定

7.1.1 管道的制造、制作和安装单位应取得符合压力管道安全监察有关法规要求的行政许可。管道制作和安装单位应建立相应的质量保证体系,并应符合下列规定:

- a) 具有健全的质量管理制度以及制作、安装工艺文件;工艺文件(如施工组织设计、施工方案等)经过建设单位(使用单位或其委托方)批准后方可用于管道制作或安装工作;
- b) 参加管道制作或安装的人员具备相应的能力并履行各自的职责;
- c) 使用的计量器具需检定合格并在有效期内。

7.1.2 管道的制作和安装应按设计文件及本章的规定进行。当需要修改设计文件及工程材料代用时,应经原设计单位同意,并出具书面文件。

7.1.3 管道的制作和安装单位宜采用管道焊接信息化管理系统,及时输入并保存管道组成件、管道支承件及焊接、热处理、检查、检验与试验等相关数据。

7.1.4 管道的制作和安装单位应建立并妥善保存必要的施工记录及证明文件。管道安装工程竣工后,制作和安装单位应向建设单位(使用单位)至少提交下列技术文件和资料。

- a) 管道安装竣工图,除设计单位提供的设计文件外,还包含管道轴测图、设计修改文件和材料代用单等,设计修改和材料代用等变更内容应在竣工图上直接标注,管道轴测图至少包括管道组成件的材质、规格、型号和炉批号、管段的实际尺寸、焊缝位置、焊缝编号、焊工代号、无损检测方法、局部或抽样无损检测焊缝的位置、焊缝补焊位置、热处理焊缝位置、管道支吊架位置和类型、埋地管道埋深或者标高等。
- b) 管道组成件、支承件、材料和焊接材料的产品合格证、质量证明书或复验、试验报告。
- c) 管道制作、安装检查记录和检验、试验报告,管道制作、安装检查记录包含管道焊接检查记录、焊缝返修检查记录、管道隐蔽记录、管道热处理曲线记录及报告等内容。
- d) 管道安装质量证明书,内容至少包括管道编号、级别和数量,管道制作、安装质量符合标准,管道安装、制作单位的生产许可证编号、质量检验专用章以及质量负责人和检查人员签字等。
- e) 现场制作管道组成件或管道支承件,还应提交管道组成件和管道支承件的质量证明书。

7.1.5 管道工厂化预制产品(包括工厂化预制管段、模块化结构的管道、撬装式设备系统的管道等)应符合下列规定。

- a) 从事管道工厂化预制的制作单位符合 7.1.1、7.1.3 的规定。
- b) 管道工厂化预制前,制作单位需根据设计文件和管道工厂化预制技术协议的要求编制管道工厂化预制工艺文件,内容包括工厂化预制轴测图或制造图、工厂化预制工艺卡、工厂化预制清单、管件坡口加工清单、安装说明和技术要求。
- c) 除非设计另有规定,管道组成件和材料的检查验收、管件制作、坡口加工、组对、焊接、热处理、检验、试验、标记、清理和防护等要求符合本章和第 8 章的相关规定。
- d) 当设计文件有要求时,可在工厂(车间)进行压力试验。
- e) 在预制管段上标记公称尺寸、材质、预制管段号等内容,标记的位置在管道的侧面中心线附近,且易于观察的部位,标记区域用油漆框出。



- f) 管道的表面经清理合格后按设计文件要求及时喷涂防锈漆;坡口及坡口边缘 20 mm 以内不喷涂防锈漆;螺纹和管口密封面加工完毕,在加工表面涂上防锈油,并采取防护措施防止其受划伤和碰撞损伤。
- g) 预制管段需按不同材质分别包装,并有防潮、防污染等措施;管道装车时需可靠固定,防止运输途中互相碰撞和变形,不锈钢和有色金属材质与碳钢、低合金钢材质同车装运时需有隔离措施。
- h) 管道工厂化预制完成后,制造单位应提供产品质量证明文件、特种设备监督检验证书和分批装运的预制管段清单,产品质量证明文件至少包括:
  - 1) 满足 7.1.4 a)要求的管道轴测图;
  - 2) 管道组成件、支承件、材料和焊接材料的产品合格证、质量证明书或复验、试验报告;
  - 3) 管道工厂化预制检查记录和检验、试验报告;检查记录包含焊接检查记录、焊缝返修检查记录、热处理曲线记录及报告、防腐检查记录等内容。

## 7.2 管道组成件、支承件及材料的检查与验收

### 7.2.1 材料标记和质量证明文件的验收

管道组成件、支承件及材料的标记和质量证明文件除应按设计文件以及 5.6 的规定进行验收外,还应满足下列要求:

- a) 供货方(制造商)按设计文件和供货合同的规定提供各项性能数据或检验结果,且符合设计文件和产品标准的规定;
- b) 质量证明文件提供的性能数据或检验结果如不符合产品标准和设计文件的规定,或者接受方对其性能数据或检验结果有异议时,需进行必要的验证性试验或补充试验;
- c) 管道组成件、支承件及材料的标记清晰完整,并能够追溯到产品质量证明文件。

### 7.2.2 外观检查

管道组成件、支承件及材料应按设计文件和产品标准的规定核对其材质、规格、型号和数量,并逐个进行外观质量和几何尺寸的检查验收,其结果应符合设计文件和相应产品标准的规定。

### 7.2.3 材质检查

对于铬钼合金钢、含镍低温钢、不锈钢以及镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金材料的管道组成件,在使用前应采用光谱分析(PMI)或其他方法对主要合金元素含量进行检查,其数量应满足下列要求:

- a) 对于 GC1 级管道,检查数量按每个检验批的 100%;
- b) 其他管道为每个检验批抽查 10%,且不少于 1 个管道组成件。

注:本章中的每个检验批表示同炉批号、同型号规格、同时到货的一批管道组成件或材料。

### 7.2.4 阀门压力试验

7.2.4.1 阀门应进行压力试验,其数量应满足下列要求:

- a) 用于 GC1 级管道的阀门,逐个进行壳体压力试验和密封试验;
- b) 用于 GC2 级管道的阀门,按每个检验批抽查 10%进行壳体压力试验和密封试验,且不少于 1 个;
- c) 用于 GC3 级管道的阀门,按每个检验批抽查 5%进行壳体压力试验和密封试验,且不少于 1 个;

- d) 经建设单位(使用单位)同意,到制造厂逐件见证压力试验并有见证试验记录的阀门,可免除压力试验。

7.2.4.2 阀门的压力试验方法、程序与试验结果应符合设计文件和供货合同的规定。当无规定时,应符合 GB/T 13927 的规定。

7.2.4.3 经设计单位或建设单位(使用单位)同意,对于公称压力小于或等于 PN100(Class 600)且公称直径大于或等于 DN600 的闸阀,可随管道系统进行压力试验,密封试验可采用色印方法。

7.2.4.4 安全阀的校验应按 TSG ZF001 和设计文件的规定进行。

7.2.4.5 带夹套的阀门进行夹套压力试验时,其试验压力应为 1.5 倍的夹套设计压力。

### 7.2.5 其他检查

当设计文件对管道组成件、支承件和材料提出其他检查与验收要求时,应予以满足。检查方法、数量及检查结果应符合设计文件和相关标准的规定。

### 7.2.6 不合格品的处置

7.2.6.1 管道组成件、支承件及材料进行抽样检查、检测或试验时,若有 1 件不合格,则该抽样检查、检测或试验所代表的这一检验批应视为不合格,该批管道组成件、支承件及材料不准许使用,或对该批管道组成件、支承件及材料逐个进行检查、检测或试验,其中的合格者仍可使用。

7.2.6.2 管道组成件、支承件及材料进行抽样检查、检测或试验时,应做好记录和材料识别标记,并对不合格品进行隔离处理。

### 7.2.7 材料保管

管道组成件、支承件及材料在制作、安装过程中应妥善保管,不准许混淆或损坏。不锈钢和有色金属的管道组成件、支承件及材料在储存期间不应与碳钢、低合金钢接触。暂不安装的管子、阀门和管件,应封闭管口。

## 7.3 管道制作

### 7.3.1 切割与坡口加工

7.3.1.1 管道组成件、支承件及材料的切割加工可采用冷切割或热切割方法。如采用热切割方法,切割后应采用机械加工或打磨方法清除表面熔渣和影响管道焊接质量的表面层。

7.3.1.2 碳钢、碳锰钢可采用机械加工方法或火焰切割方法切割和制备坡口。低温镍钢和合金钢宜采用机械加工方法切割和制备坡口。

7.3.1.3 不锈钢、有色金属应采用机械加工或等离子切割方法切割和制备坡口。不锈钢、镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金采用砂轮切割或修磨时,应使用专用砂轮片。

7.3.1.4 管道组成件、支承件及材料在加工制作、安装过程中需避免材料表面的机械损伤。对有严重伤痕的部位应进行补焊或修磨,修磨处的壁厚不应小于设计壁厚。

### 7.3.2 标记移植

7.3.2.1 管道组成件在制作过程中,需核对并尽量保存材料的原始标记。当无法保存原始标记时,应采用移植方法重新进行材料标识,材料标识也可采用管道组成件的工程统一编码或色标。

7.3.2.2 标记方法应以对材料不构成损害或污染为原则,低温用钢、不锈钢及有色金属不准许使用硬印标记。当奥氏体不锈钢和有色金属材料采用色码标记时,印色不应含有对材料构成损害的物质,如硫、铅和氯等。

7.3.2.3 如采用硬印或雕刻之外的其他标记方法,应保证不同材料之间不会产生混淆,如采用分别处理(时间、地点)或区分色带等方法。

### 7.3.3 弯管

7.3.3.1 制作弯管时,应根据管子材料性能、输送流体工况和管子弯曲半径,采用适当的弯曲工艺和装备。GC1 级和剧烈循环工况的管道不应采用制作弯管。

7.3.3.2 制作弯管可采用热弯和冷弯两种方法。

7.3.3.3 当采用焊管制作弯管时,焊缝应避免受拉(压)区。

7.3.3.4 弯管的不圆度、褶皱和减薄满足下列要求。

a) 不圆度:

1) 弯管的不圆度  $u(\%)$  应按公式(45)计算;

$$u = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中:

$u$  —— 弯管的不圆度;

$D_{\max}$  —— 同一截面的最大实测外径,单位为毫米(mm);

$D_{\min}$  —— 同一截面的最小实测外径,单位为毫米(mm)。

2) 对于承受内压的弯管,不圆度不应大于 8%;对于承受外压的弯管,不圆度不应大于 3%。

b) 弯管内侧褶皱高度  $h_m$  不应大于管子外径  $D_1$  的 3%,且波浪间距  $a$  不应小于  $12h_m$ ,其中, $h_m$  按图 15 和公式(46)计算。

$$h_m = \frac{D_2 + D_4}{2} - D_3 \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

$h_m$  —— 相邻两个褶皱平均高度,单位为毫米(mm);

$D_2$  —— 褶皱凸出处外径,单位为毫米(mm);

$D_3$  —— 褶皱凹进处外径,单位为毫米(mm);

$D_4$  —— 相邻褶皱凸出处外径,单位为毫米(mm)。

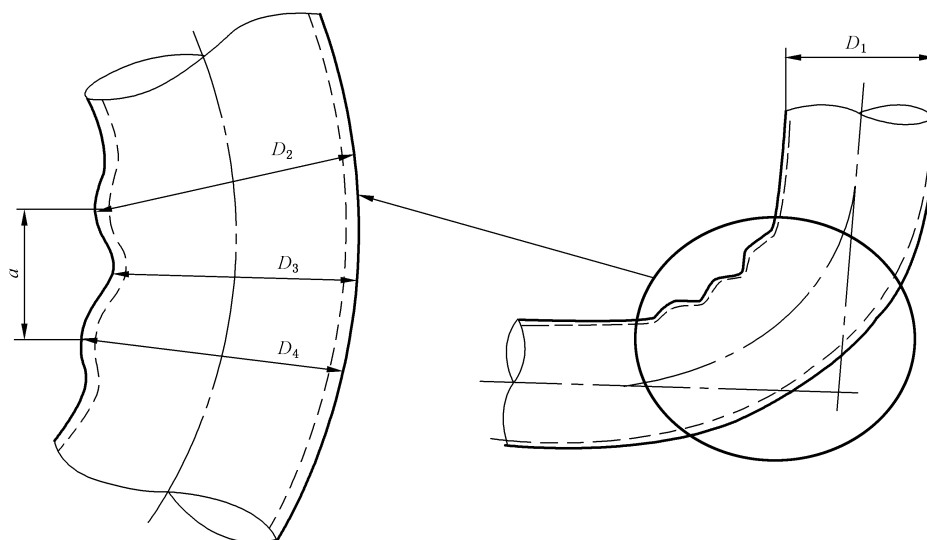


图 15 弯管的褶皱和波浪间距

c) 弯管制作前的管子壁厚宜符合表 30 的规定,弯管制作后的最小厚度不小于直管的设计厚度。

表 30 弯管制作前的管子壁厚

单位为毫米

| 弯曲半径( $R$ )                   | 弯管制作前壁厚   |
|-------------------------------|-----------|
| $R \geq 6D$                   | $1.06t_d$ |
| $5D \leq R < 6D$              | $1.08t_d$ |
| $4D \leq R < 5D$              | $1.14t_d$ |
| $3D \leq R < 4D$              | $1.25t_d$ |
| 注: $D$ 为管子外径, $t_d$ 为直管的设计厚度。 |           |

7.3.4 板焊管

7.3.4.1 板焊管的制作应符合设计文件和产品标准的规定。

7.3.4.2 制作和安装公称直径不小于 DN400 的板焊管时,符合下列规定:

- a) 单个筒节的长度不应小于 300 mm,相邻筒节纵缝应错开 100 mm 以上;支管外壁距焊缝不宜小于 50 mm;
- b) 同一筒节上的纵向焊缝不应大于两条,纵缝间距不应小于 200 mm;
- c) 对于有加固环的板焊管,加固环的对接焊缝应与管子纵向焊缝错开,其间距不应小于 100 mm,加固环距管子的环焊缝不应小于 50 mm;
- d) 板焊管的周长及管端直径应符合表 31 的规定;
- e) 纵向焊缝处的棱角度[图 16 a)](用弦长等于  $1/6D_i$  且不小于 300 mm 的样板分别在管内壁和外壁测量)和环向焊缝处的棱角度[图 16 b)](在管内壁和外壁用直尺检查), $E$  值不应大于壁厚的 10%加 2 mm,且不大于 5 mm。

表 31 板焊管的周长公差及直径公差

单位为毫米

| 公称直径                              | $\leq 800$ | $> 800 \sim 1\,200$ | $> 1\,200 \sim 1\,600$ | $> 1\,600 \sim 2\,400$ | $> 2\,400 \sim 3\,000$ | $> 3\,000$ |
|-----------------------------------|------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------|
| 周长公差                              | $\pm 5$    | $\pm 7$             | $\pm 9$                | $\pm 11$               | $\pm 13$               | $\pm 15$   |
| 直径公差                              | 4          | 4                   | 6                      | 8                      | 9                      | 10         |
| 注: 直径公差为管端(100 mm 以内)最大外径与最小外径之差。 |            |                     |                        |                        |                        |            |

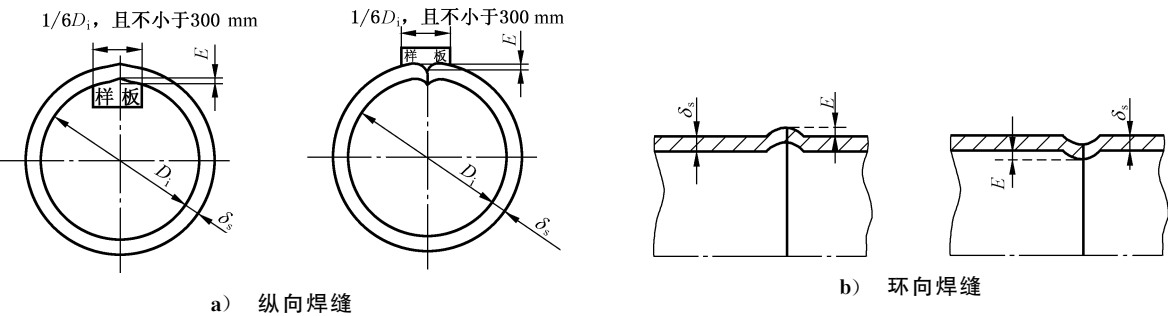


图 16 纵向与环向焊缝处的棱角度检查

- f) 对接焊缝的错边量应符合表 32 及下列规定：
- 1) 只能从单面焊接的纵向和环向焊缝，其内壁错边量不大于壁厚的 25%，且不大于 2 mm；
  - 2) 复合钢板组对时，以复层表面为基准，错边量不大于钢板复层厚度的 50%，且不大于 1 mm。
- g) 板焊管的直度允差不应大于其单根长度的 0.2%。
- h) 板焊管的焊接、焊后热处理、检查、检验和试验应符合本章及第 8 章的相关规定。

表 32 板焊管对接焊缝的错边量

单位为毫米

| 母材厚度(T)          | 错边量                           |                              |
|------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                  | 纵向焊缝                          | 环向焊缝                         |
| $T \leq 12$      | $\leq T/4$                    | $\leq T/4$                   |
| $12 < T \leq 20$ | $\leq 3$                      | $\leq T/4$                   |
| $20 < T \leq 40$ | $\leq 3$                      | $\leq 5$                     |
| $40 < T \leq 50$ | $\leq 3$                      | $\leq T/8$                   |
| $T > 50$         | $\leq T/16, \text{且} \leq 10$ | $\leq T/8, \text{且} \leq 20$ |

7.3.5 斜接弯头

- 7.3.5.1 除设计另有规定外，斜接弯头的制作、焊接、检查和检验应符合本章和第 8 章的相关规定。
- 7.3.5.2 可按图 17 所示的组成形式配制斜接弯头，且应符合 6.3.4.1 的规定。对于公称直径大于 DN400 的斜接弯头，可适当增加中节数量，但其内侧的最小宽度不应小于 50 mm。
- 7.3.5.3 斜接弯头的焊接接头应采用全焊透形式。公称直径大于或等于 DN600 的斜接弯头宜进行双面焊。
- 7.3.5.4 公称直径大于 DN1 000 时，斜接弯头的周长允许偏差应为  $\pm 6$  mm；公称直径小于或等于 DN1 000 时，斜接弯头的周长允许偏差应为  $\pm 4$  mm。

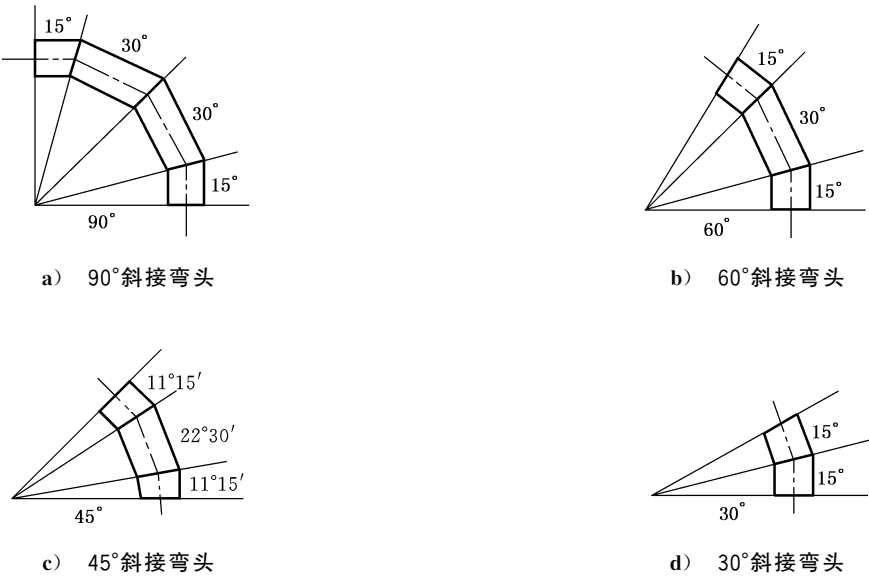


图 17 斜接弯头的组成形式

### 7.3.6 翻边短节

7.3.6.1 翻边短节宜采用符合相关标准的管件制造产品。翻边短节的制作应符合 6.3.6 和 7.3.6.2、7.3.6.3 的规定。翻边短节的检查和检验应符合第 8 章的有关规定。

7.3.6.2 焊制翻边短节焊接后应对翻边部位进行机械加工或整形。外侧焊缝应进行修磨,以不影响松套法兰内缘与翻边的装配为原则。

7.3.6.3 扩口翻边后的外径及转角半径应能保证螺栓及法兰的装配。翻边端面与管子中心线应垂直,垂直度允差不应大于 1 mm。

### 7.3.7 夹套管

7.3.7.1 夹套管及其部件的结构形式与制作应符合设计文件和相关标准的规定。

7.3.7.2 夹套管制作过程中应确保内管的焊缝裸露可见,在内管检验合格前不准许进行外管封闭焊接。

7.3.7.3 夹套弯管的外管组焊,应在内管制作完毕并经检验合格后进行。夹套弯管的外管和内管的同轴度偏差不应大于 3 mm。

7.3.7.4 外管与内管间的间隙应均匀,并按设计文件的规定安装定位板。定位板的安装不应妨碍夹套内介质流动和内管与外管的胀缩,其材质应与内管相同。定位板的几何尺寸、安装位置、间距等应符合设计文件和相关标准的规定。

7.3.7.5 夹套管的焊接、热处理、检查、检验与试验应符合本章及第 8 章的相关规定。

### 7.3.8 支吊架

7.3.8.1 管道支吊架的形式、材质、加工尺寸及精度应符合设计文件、相关标准和产品技术文件的规定。

7.3.8.2 管道支吊架的制作与焊接应符合本文件 7.4、GB/T 17116(所有部分)以及设计文件的规定。制作后应对焊缝进行目视检查,焊接变形应予以矫正。所有螺纹连接均应按设计要求予以锁紧。

7.3.8.3 支吊架中要求全焊透的焊缝应进行射线检测或超声检测,且应符合第 8 章的相关规定。检测数量不少于 20%,且焊缝长度不小于 200 mm。

7.3.8.4 制作合格的支吊架应进行防锈处理并应妥善分类保管。合金钢支吊架应有材质标记。

## 7.4 焊接

### 7.4.1 焊接工艺评定和焊工技能评定

7.4.1.1 管道承压件与承压件的焊接,承压件与非承压件的焊接,均应采用经评定合格的焊接工艺,并由合格焊工施焊。

7.4.1.2 焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 的规定,冲击试验要求还应符合 5.5 的规定。

7.4.1.3 当焊接工艺评定要求使用的材料无法满足 7.4.1.2 的规定时,经设计单位和建设单位(使用单位)同意,允许采用对预焊接工艺规程进行技术评审的方式代替焊接工艺评定,但应同时满足下列条件:

- a) 施焊单位已掌握该金属材料的特性(化学成分、力学性能和焊接性能);
- b) 施焊单位能够提供同类别(同组别)其他母材的焊接工艺评定,且具有其施焊经验(业绩);
- c) 焊工需按照 7.4.1.5 的规定取得相应资格;
- d) 能够提供其他单位完成的符合 7.4.1.2 要求的该材料焊接工艺评定;
- e) 技术评审工作由施焊单位以外的相关专业技术专家(不少于 3 人)完成。

7.4.1.4 管道施焊前,应根据焊接工艺评定报告(或已通过技术评审的预焊接工艺规程)编制焊接工艺规程,用于指导焊工施焊和焊后热处理工作。焊接工艺规程至少包括下列内容:

- a) 焊接方法及操作类型(手工、自动、半自动);

- b) 焊接接头的坡口形式、尺寸及加工要求；
- c) 焊接接头母材的标准号、型号、规格尺寸及相关要求；
- d) 焊接材料的标准号、型号、牌号、规格、烘烤要求；
- e) 焊接位置及焊接方向；
- f) 预热及道间温度控制要求(预热温度、道间温度范围、加热方式及范围、测量方法等)，必要时的后热要求(后热温度、时间、加热及缓冷方式等)；
- g) 焊后热处理要求(热处理温度、保温时间、升温速度、降温速度、加热及测量方式等)；
- h) 保护气体的种类(成分)、混合配比(纯度)、流量等要求；
- i) 焊接电特性及焊接工艺参数；
- j) 焊接操作要领与技术措施；
- k) 其他相关要求。

7.4.1.5 焊工技能评定应符合 TSG Z6002 的规定。

#### 7.4.2 焊接材料

7.4.2.1 焊接材料(包括焊条、焊丝、焊剂及焊接用气体)应符合设计文件和相关标准的规定，且通过焊接工艺评定验证。当设计无规定时，焊接材料的选用应按照母材的化学成分、力学性能、焊接性能、焊前预热、焊后热处理、使用条件及现场施工条件等因素综合确定，且符合下列规定：

- a) 焊缝金属的抗拉强度不应小于母材规定抗拉强度的下限值，对于两种不同强度的母材相互焊接，焊缝金属的抗拉强度不应低于规定抗拉强度较低母材的下限值；
- b) 焊缝金属的化学成分应与母材相近，对于两种不同化学成分的母材相互焊接，除奥氏体钢与铁素体钢相互焊接外，焊缝金属的化学成分应与其中任何一个母材一致或介于两者之间；
- c) 当奥氏体钢与铁素体钢相互焊接时，焊缝金属应有显著的奥氏体晶体结构，可选用 25Cr-13Ni 型或含镍量更高的焊接材料；
- d) 焊接材料的焊接工艺性能应良好。

7.4.2.2 焊接材料使用前应按设计文件和相关标准的规定进行检查和验收，且应具有质量证明文件和包装标记。

7.4.2.3 焊接材料的储存和使用中的管理应符合 JB/T 3223 的规定。

7.4.2.4 库存期超过规定期限的焊条、焊剂及药芯焊丝，应经复验合格后方可使用。焊接材料库存的规定期限应在焊接材料质量证明文件或说明书上注明。

7.4.2.5 应按焊接材料说明书的要求对焊条、焊剂和药芯焊丝进行烘干，焊丝使用前应按规定进行除油、除锈及清洗处理。

7.4.2.6 使用过程中应注意保持焊接材料的识别标记，以免错用。

#### 7.4.3 焊接环境

7.4.3.1 焊接环境温度应能保证焊件的焊接温度和焊工技能不受影响。

7.4.3.2 应采取防风措施保证焊接时的风速不大于下列规定值：

- a) 对于气体保护焊，规定风速为 2 m/s；
- b) 对于其他焊接方法，规定风速为 8 m/s。

7.4.3.3 焊接电弧周围 1 m 范围内的相对湿度应符合下列规定：

- a) 铝及铝合金的焊接，相对湿度不大于 80%；
- b) 其他材料的焊接，相对湿度不大于 90%。

7.4.3.4 在雨雪天气施焊时，应采取有效防护措施，否则不准许施焊。

7.4.4 焊前准备

7.4.4.1 坡口制备

7.4.4.1.1 坡口加工应符合 7.3.1 的规定。坡口表面应光滑并呈金属光泽,热切割产生的熔渣和影响焊接质量的表面层应清理干净。

7.4.4.1.2 坡口形式和尺寸应符合设计文件的规定。无规定时,可按照 GB/T 985.1~GB/T 985.4、GB 50236 或相关标准,并结合现场实际情况确定坡口形式和尺寸。

7.4.4.1.3 当设计文件和相关标准对坡口表面提出无损检测的要求时,无损检测及缺陷处理应在施焊前完成。

7.4.4.2 清理

7.4.4.2.1 对于焊件坡口及内外表面,应在焊接前去除油漆、油污、锈斑、熔渣、氧化皮以及有害的其他物质。

7.4.4.2.2 焊件坡口及内外表面的清理应满足表 33 的要求。

表 33 焊件坡口及其内外表面的清理

| 材料                          | 清理范围<br>mm | 清理对象                  | 清理方法                    |
|-----------------------------|------------|-----------------------|-------------------------|
| 碳素钢、低温钢、合金钢、不锈钢             | ≥20        | 油、漆、锈、毛刺等污物,<br>裂纹,夹层 | 手工或机械等方法                |
| 铝及铝合金、镍及镍合金、<br>钛及钛合金、锆及锆合金 | ≥50        | 油污、氧化膜等               | 有机溶剂除油污;化学或机械<br>方法除氧化膜 |
| 铜及铜合金                       | ≥20        |                       |                         |

7.4.4.3 组对

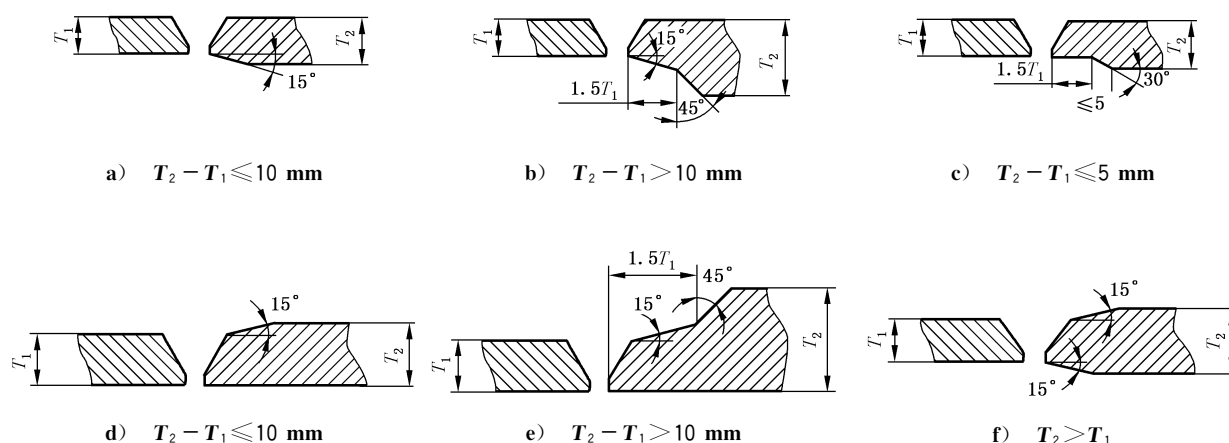
7.4.4.3.1 管道对接接头的组对应符合下列规定:

- a) 壁厚相同的管道组成件组对时需内壁齐平,内壁错边量符合设计文件和表 34 的规定;
- b) 不等壁厚的管道组成件组对时,薄件端面的内侧和外侧位于厚件端面范围之内;当内壁错边量不符合表 34 的规定或外壁错边量大于 3 mm 时,焊件端部需按图 18 的规定进行削薄修整;端部削薄修整后的壁厚不小于设计厚度  $t_d$ 。

表 34 管道组对内壁错边量

| 材料                      |              | 内壁错边量                  |
|-------------------------|--------------|------------------------|
| 碳素钢、低温钢、合金钢、不锈钢         |              | 不大于壁厚的 10%,且小于或等于 2 mm |
| 铝及铝合金                   | 壁厚小于或等于 5 mm | ≤0.5 mm                |
|                         | 壁厚大于 5 mm    | 不大于壁厚的 10%,且小于或等于 2 mm |
| 铜及铜合金、镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金 |              | 不大于壁厚的 10%,且小于或等于 1 mm |





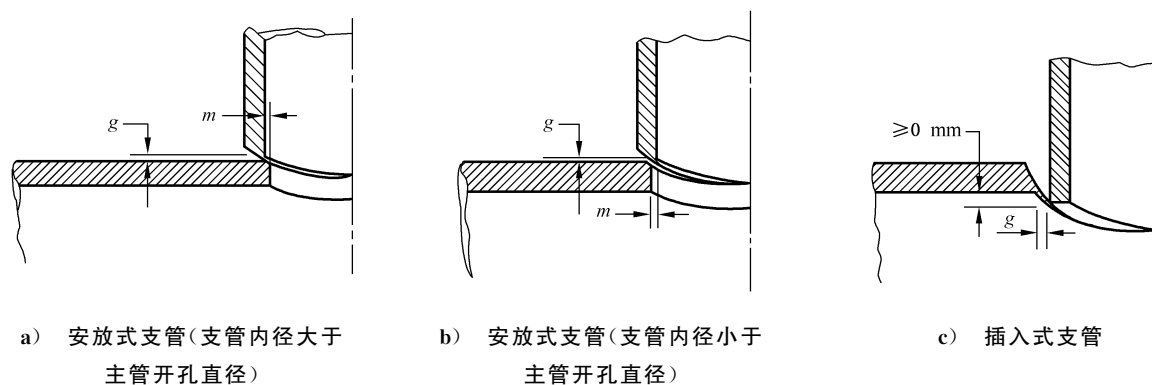
用于管件时,如受长度限制,a)、d)、f)中的  $15^\circ$  可改为  $30^\circ$ 。

注: a)、b)和 c)为外侧齐平,d)和 e)为内侧齐平,f)为内外侧均不齐平。

图 18 不等壁厚对接焊件的端部加工

#### 7.4.4.3.2 支管连接接头的组对应符合下列规定:

- 安放式支管的端部制备及组对符合图 19 a)和 b)的规定;
- 插入式支管的主管端部制备及组对符合图 19 c)的规定;
- 主管开孔与支管组对时的错边量不大于 3.2 mm 与支管名义厚度的 0.5 倍两者中的较小值[见图 19 a)和 b)],必要时可进行堆焊修整。



注 1:  $g$  为根部间隙。

注 2:  $m$  为错边量,其值不大于 3.2 mm 或  $0.5T_b$  (取较小者),其中  $T_b$  为支管名义厚度。

图 19 支管连接接头的组对

#### 7.4.4.3.3 组对间隙应控制在焊接工艺规程允许的范围内。

7.4.4.3.4 除设计文件规定的管道预拉伸或预压缩焊口外,不应强力组对。需预拉伸或预压缩的焊接接头,组对时所使用的工卡具应在整个焊接及热处理完毕并经检验合格后方可拆除。

7.4.4.3.5 组对时应垫置牢固,且应采取措施防止在焊接和热处理过程中产生附加应力和变形。

#### 7.4.4.4 定位焊缝

7.4.4.4.1 定位焊缝的焊接应采用与根部焊道相同的焊接材料和焊接工艺,且应由评定合格的焊工施焊。

7.4.4.4.2 定位焊缝需具有足够的长度、厚度和间距,以保证该焊缝在焊接过程中不致开裂。

7.4.4.4.3 根部焊接前,应对定位焊缝进行检查。如发现缺陷,应消除后方可施焊。

7.4.4.4.4 焊接的工卡具材质宜与母材相同或为 NB/T 47014 规定的同一类别号。拆除工卡具时不应损伤母材,拆除后应确认无裂纹并将残留焊疤打磨修整至与母材表面齐平。对于下列管道,应对工卡具拆除部位的全部表面进行无损检测,且符合第 8 章的有关规定:

- a) 铬钼合金钢管道;
- b) 标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 的合金钢管道。

#### 7.4.4.5 焊接设备

焊接设备及辅助装备等应能保证焊接工作的正常进行和安全可靠,仪表应定期校验。

#### 7.4.5 焊接的基本要求

7.4.5.1 应采用经评定合格的焊接工艺,由合格焊工按焊接工艺规程对焊缝(包括为组对而堆焊的焊缝金属)进行焊接。

7.4.5.2 焊接时应采取合理的焊接方法和施焊顺序:

- a) 碳素钢、合金钢焊接时,可采用焊条电弧焊、钨极惰性气体保护电弧焊、熔化极气体保护电弧焊、自保护药芯焊丝电弧焊、埋弧焊或气焊方法;
- b) 铝及铝合金焊接时,可采用钨极惰性气体保护电弧焊或熔化极惰性气体保护电弧焊方法;
- c) 铜及铜合金、钛及钛合金、锆及锆合金可采用钨极惰性气体保护电弧焊方法,黄铜也可采用氧乙炔焊(气焊)方法;
- d) 镍及镍合金可采用焊条电弧焊、钨极惰性气体保护电弧焊、熔化极惰性气体保护电弧焊或埋弧焊方法。

7.4.5.3 对含铬量大于或等于 3% 或合金元素总含量大于 5% 的管道焊缝,采用钨极惰性气体保护电弧焊或熔化极气体保护电弧焊进行根部焊道单面焊接时,焊缝背面应充氩气或其他保护气体,或应采取其他防止背面焊缝金属被氧化的措施。

7.4.5.4 除因工艺或检验要求需要分次焊接外,每条焊缝一般应一次连续焊接完成,当因故中断焊接时,应根据工艺要求采取保温缓冷或后热等措施以防止裂纹的产生。再次焊接前应检查焊层表面,确认无裂纹后,按原工艺要求继续施焊。

7.4.5.5 在根部焊道和盖面焊道上不宜采用锤击消除残余应力。

7.4.5.6 对焊接连接的阀门施焊时,所采用的焊接顺序、工艺以及焊后热处理,均应保证阀座的密封性能不受影响。

7.4.5.7 不应在焊件表面引弧或试验电流。对于设计温度不高于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  的管道、淬硬倾向较大的合金钢管道、不锈钢及有色金属管道,其表面均不应有电弧擦伤等缺陷。

7.4.5.8 当有下列情况之一时,管道的单面焊焊缝根部应采用钨极惰性气体保护电弧焊或能保证根部焊接质量的其他焊接工艺方法:

- a) 符合 8.3.1.2 的焊接接头检查等级 I 级的管道;
- b) 公称直径小于 DN500,且设计温度低于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  的管道;
- c) 内部清洁要求较高且焊接后不易清理的管道;
- d) 机器入口管道;
- e) 设计规定的其他管道。

7.4.5.9 公称直径大于或等于 DN500 的管道,宜在内侧进行根部双面焊。

7.4.5.10 多道焊每道焊完后,应立即进行清理和目视检查。如发现缺陷,应消除后方可进行下一层施焊。

7.4.5.11 规定进行焊道间无损检测的焊缝,无损检测应在目视检查合格后进行,表面无损检测应在射线检测及超声检测前进行,经检测的焊缝在评定合格后方可继续进行焊接。

7.4.5.12 焊接完毕后,应及时将焊缝表面的熔渣及附近的飞溅物清理干净。

7.4.5.13 每个焊工均应有指定的识别代号。除工程另有规定外,管道承压焊缝应标有焊工识别标记,标记方法应符合 7.3.2.2 的规定。如无法直接在管道承压件上作焊工标记,则应采取标签、挂牌或二维码等方式进行标记。

#### 7.4.6 焊缝设置

管道(夹套管除外)焊缝的设置应避免应力集中区,且符合下列规定。

- a) 直管段上两对接环焊缝中心面之间的距离,不应小于 3 倍管子的厚度,当需焊后热处理时,不应小于 6 倍管子的厚度,且应满足下列要求:
  - 1) 当公称直径大于或等于 DN150 时,不小于 150 mm;
  - 2) 当公称直径小于 DN150 时,不小于管子外径,且不小于 50 mm。
- b) 管道环焊缝距离弯管(不包括弯头)起弯点的距离不应小于管子外径,且不应小于 100 mm。
- c) 管道环焊缝与支吊架的净距离不宜小于 50 mm,需要热处理的焊缝与支吊架的净距离不应小于焊缝宽度的 5 倍,且不应小于 100 mm。
- d) 管道环焊缝距离支管或管接头的开孔边缘不应小于 50 mm,且不小于孔径。
- e) 不宜在焊缝及其边缘上开孔;当无法避免在焊缝上开孔或开孔补强时,应对以开孔中心为中心、在 1.5 倍开孔直径或补强板直径范围内的焊缝按第 8 章的规定进行无损检测,检测合格后方可进行开孔;补强板覆盖的焊缝应磨平,管孔边缘不应存在焊接缺陷。
- f) 当焊接管及焊接管件组对时,需避免十字焊缝;当无法避免十字焊缝或纵缝的错开距离小于或等于 100 mm 时,该部位焊缝应经过射线检测或超声检测合格。

#### 7.4.7 角焊缝

7.4.7.1 角焊缝(包括承插焊缝)可采用凹形和凸形,其焊缝尺寸应按图 20 确定。



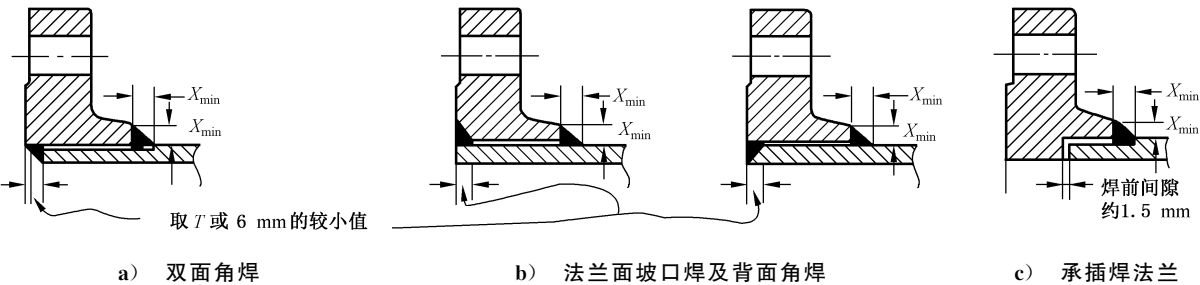
图 20 角焊缝的形式和尺寸



标引符号说明：  
 $X$ ——角焊缝焊脚尺寸；  
 $t_s$ ——角焊缝计算厚度。  
注：等边角焊缝的焊脚尺寸为焊缝最大内切等腰直角三角形的股长，焊缝厚度为 0.7 倍焊脚尺寸；不等边角焊缝的焊脚尺寸为内切于焊缝截面的最大直角三角形的股长。

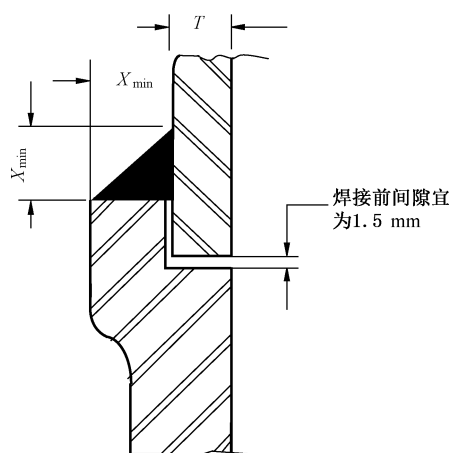
图 20 角焊缝的形式和尺寸（续）

- 7.4.7.2 平焊法兰、承插焊法兰及其他承插焊接头的焊缝尺寸(图 21、图 22)符合下列规定：
- a) 平焊法兰与管子焊接时[图 21 a)和 b)],其法兰内侧(法兰密封面侧)角焊缝的焊脚尺寸应为直管名义厚度与 6 mm 两者中的较小值；法兰外侧角焊缝的最小焊脚尺寸应为直管名义厚度的 1.4 倍与法兰颈部厚度两者中的较小值；
  - b) 承插焊法兰与管子焊接时[图 21 c)],角焊缝的最小焊脚尺寸应为直管名义厚度的 1.4 倍与法兰颈部厚度两者中的较小值,焊前承口与插口的轴向间隙宜为 1.5 mm；
  - c) 除法兰外的其他承插焊接头焊接时(图 22),角焊缝的最小焊脚尺寸应为直管名义厚度的 1.09 倍与承插件端部厚度两者中的较小者,焊前承口与插口的轴向间隙宜为 1.5 mm；
  - d) 机组的循环油、控制油、密封油管道,当采用承插焊接头时,承口与插口的轴向不宜留有间隙。



标引符号说明：  
 $T$  ——直管名义厚度；  
 $X_{min}$ ——角焊缝最小焊脚尺寸。

图 21 平焊法兰和承插焊法兰的角焊缝示意图



标引符号说明：

$T$  —— 直管名义厚度；

$X_{\min}$  —— 角焊缝最小焊脚尺寸。

图 22 除法兰外的其他承插焊接头的最小焊缝尺寸

#### 7.4.8 支管的焊接连接

7.4.8.1 支管与主管的焊接连接，当设计文件无规定时，应符合 7.4.8.2～7.4.8.7 和图 23 所示的支管连接焊缝形式和焊缝尺寸的规定。

7.4.8.2 安放式焊接支管或插入式焊接支管的接头，包括整体补强的支管座，应采用全焊透的坡口焊，并在焊缝上覆盖一厚度不小于  $t_c$  的角焊缝[见图 23 a)和图 23 b)]。

7.4.8.3 补强圈或鞍形补强件的焊接应符合下列规定：

- 补强圈与支管采用全焊透的坡口焊，并在焊缝上覆盖一厚度不小于  $t_c$  的角焊缝[见图 23 c)和图 23 d)]；
- 鞍形补强件与支管连接的角焊缝厚度不小于  $0.7t_{\min}$ [见图 23 e)]。

7.4.8.4 补强圈或鞍形补强件外缘与主管连接的角焊缝厚度应大于或等于  $0.5\overline{T_r}$ [见图 23 c)、图 23 d)和图 23 e)]。

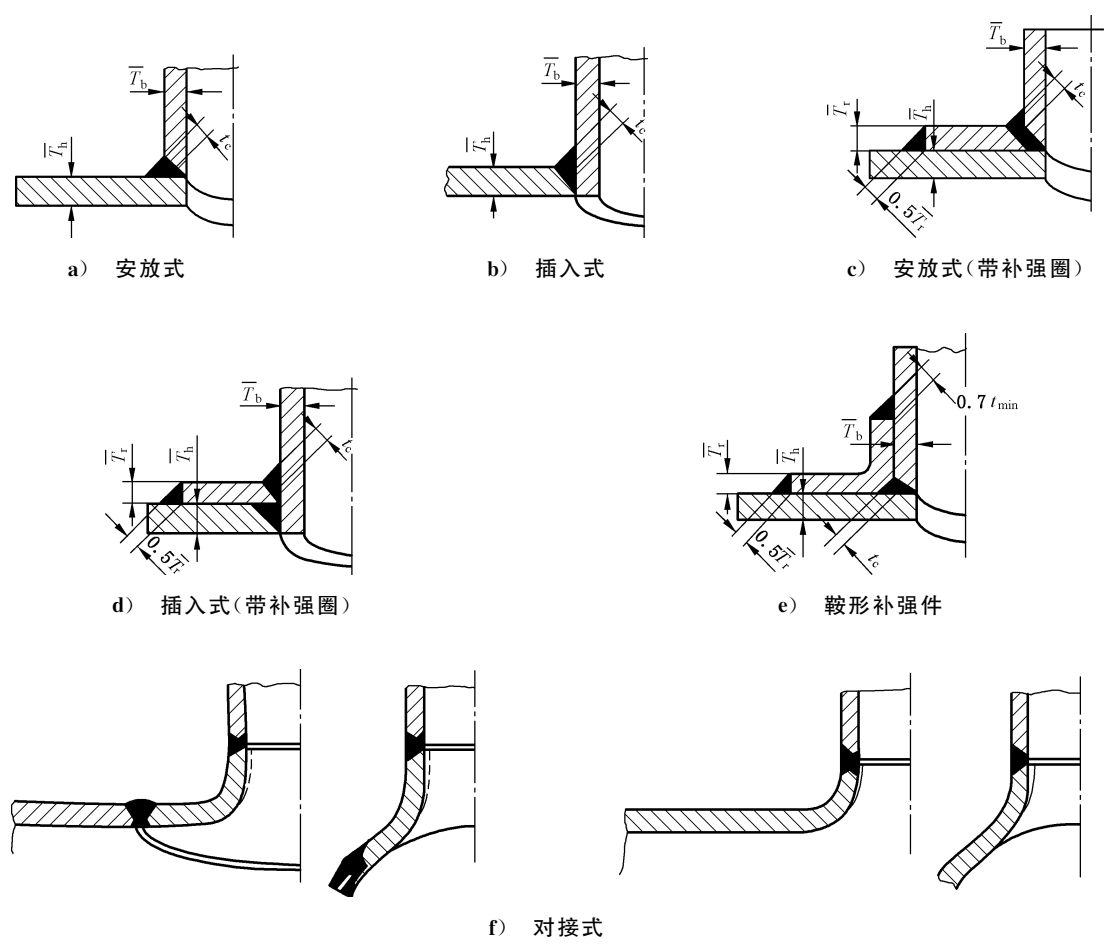
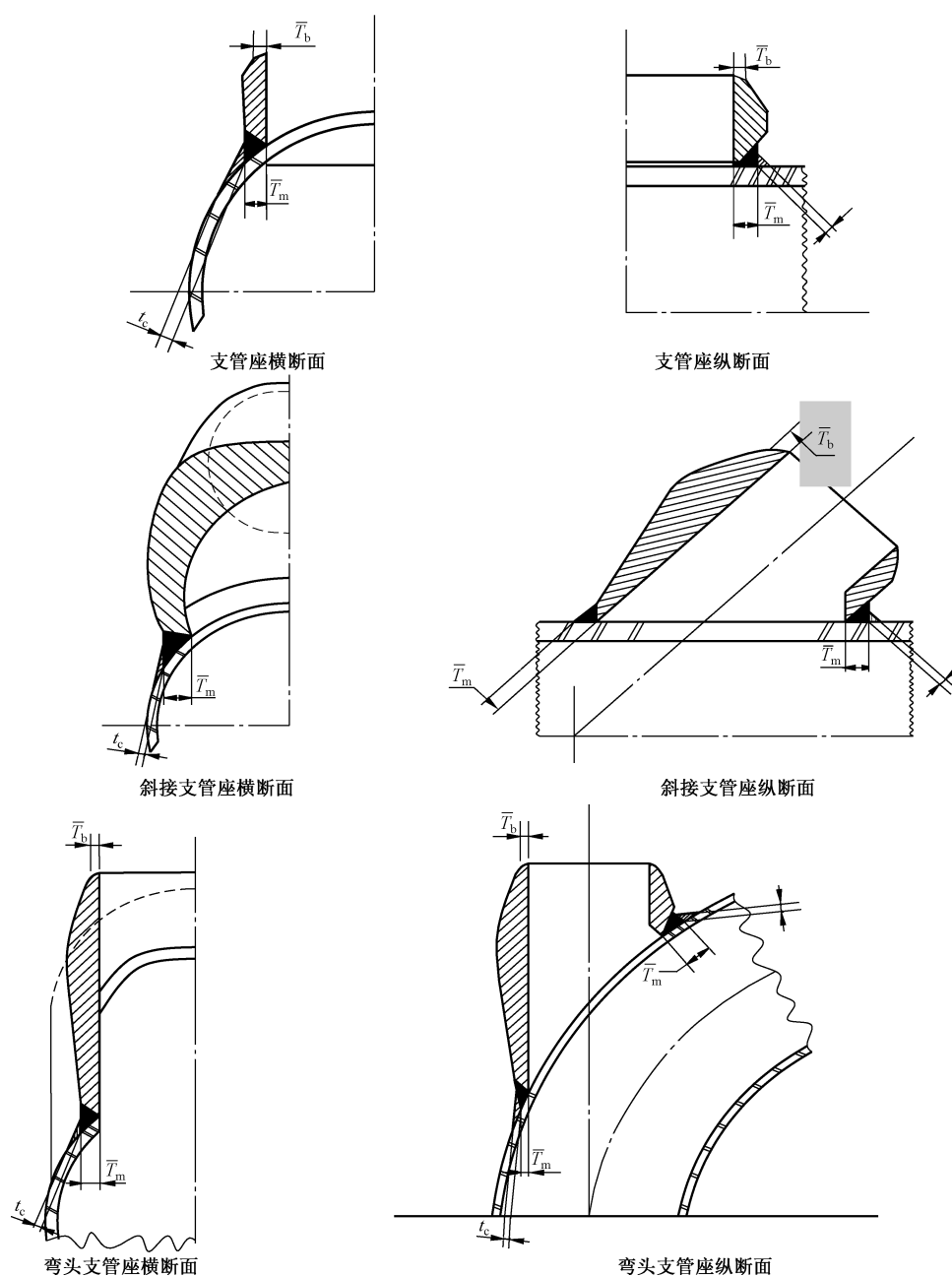


图 23 支管连接的焊接接头形式



g) 支管座与主管的连接

标引符号说明:

- $t_c$  —— 支管(支管座)与主管坡口焊时覆盖的角焊缝厚度,取  $0.7T_b$  或  $6.4\text{ mm}$  中的较小者;  
 $\overline{T}_b$  —— 支管名义厚度;  
 $\overline{T}_h$  —— 主管名义厚度;  
 $\overline{T}_r$  —— 补强圈或鞍形补强件的名义厚度;  
 $t_{\min}$  ——  $T_b$  或  $T_r$ ,取两者中的较小者;  
 $\overline{T}_m$  —— 支管座焊缝名义厚度。

对于支管座焊缝名义厚度  $\overline{T}_m$ ,当设计文件或支管连接件制造厂的说明书无要求时,其厚度按照组对后的组合焊缝坡口的最厚度;当设计文件或支管连接件制造厂的说明书注明坡口焊接线时,其厚度可小于坡口最厚度(即不焊满支管座坡口),但盖面填角焊缝仍应符合下述要求:

支管座与主管坡口焊时覆盖的角焊缝,在纵断面处为等边角焊缝,但在其他断面处,随着支管/主管口径比,尤其在横断面处,可能将转变为不等边角焊缝,但应保持与坡口焊缝及主管表面的平滑过渡。

图 23 支管连接的焊接接头形式(续)

7.4.8.5 补强圈和鞍形补强件应与主管和支管贴合良好。应在补强圈或鞍形补强件的高位(不在主管轴线处)开设一个焊缝焊接和检漏时使用的通气孔。补强圈或鞍形补强件可采用多块拼接组成,但拼接接头应与母材等的强度相同,且每块拼板均应开设通气孔。

7.4.8.6 应在支管与主管连接焊缝的检查和修补合格后,再进行补强圈或鞍形补强件的焊接。

7.4.8.7 支管座与主管应采用全焊透的坡口焊,并在焊缝上覆盖一厚度不小于 $t_c$ 的角焊缝[见图 23 g)],且角焊缝应平滑过渡到主管。

#### 7.4.9 附件的焊接

7.4.9.1 结构附件可采用全焊透、局部焊透和角焊缝的形式进行焊接。

7.4.9.2 对于碳钢和低合金钢材料,当进行临时附件(如热电偶)焊接时,可采用电容储能焊接方法,但应满足以下条件:

- a) 不要求进行焊接工艺评定和焊接技能评定,但需编制焊接工艺规程,焊工需有成熟的技能经验;
- b) 焊接过程的能量输出不超过  $125 \text{ W} \cdot \text{s}$ ;
- c) 点焊接头可不进行预热和焊后热处理;
- d) 临时附件拆除后,需检查焊点区域是否存在缺陷,必要时进行表面无损检测。

#### 7.4.10 密封焊

密封焊缝应由评定合格的焊工施焊。密封焊缝应覆盖全部露出的螺纹。

#### 7.4.11 焊缝返修

7.4.11.1 返修前应对缺陷产生的原因进行分析,提出相应的返修措施。应将缺陷消除干净,必要时可采用无损检测方法确认。

7.4.11.2 返修需要补焊时,应采用经评定合格的焊接工艺,并由合格的焊工施焊。补焊部位的坡口形状和尺寸应防止产生焊接缺陷并便于焊接操作。

7.4.11.3 同一部位(指焊补的填充金属重叠的部位)的返修次数超过两次时,应重新制定返修措施,经施焊单位技术负责人批准后方可进行返修。

7.4.11.4 返修后应按原方法重新检验,并连同返修及检验记录(明确返修次数、部位、返修后的无损检测结果)一并记入交工技术文件。

7.4.11.5 要求进行焊后热处理的管道,如在热处理后进行焊接修补,修补后应重新进行热处理。

### 7.5 预热

#### 7.5.1 一般规定

7.5.1.1 本章规定的预热要求适用于管道所有类型的焊接,包括定位焊、补焊和螺纹接头的密封焊。

7.5.1.2 预热温度等要求应在焊接工艺规程或设计文件中规定,并经焊接工艺评定验证。

7.5.1.3 当用热加工法切割、开坡口、清根、开槽或施焊临时焊缝时,也需考虑预热要求。

#### 7.5.2 预热温度

7.5.2.1 预热温度应符合设计文件的要求。当设计文件无规定时,各种材料的最低预热温度应符合表 35 的规定。



表 35 预热温度

| 母材类别                   | 较厚件的名义壁厚<br>mm | 附加限制条件           | 最低预热温度<br>℃ |
|------------------------|----------------|------------------|-------------|
| 碳钢、碳锰钢                 | ≤25            | 母材最小抗拉强度≤490 MPa | 10          |
|                        | >25            | 母材最小抗拉强度≤490 MPa | 95          |
|                        | 全部             | 母材最小抗拉强度>490 MPa | 95          |
| 合金钢<br>Cr 含量≤0.5%      | ≤13            | 母材最小抗拉强度≤450 MPa | 10          |
|                        | >13            | 母材最小抗拉强度≤450 MPa | 95          |
|                        | 全部             | 母材最小抗拉强度>450 MPa | 95          |
| 合金钢<br>0.5%<Cr 含量≤2%   | 全部             | 无                | 120         |
| 合金钢<br>2.25%≤Cr 含量≤10% | 全部             | 母材最小抗拉强度≤415 MPa | 150         |
|                        | 全部             | 母材最小抗拉强度>415 MPa | 200         |
|                        | >13            | Cr 含量>6%         | 200         |
| 马氏体不锈钢                 | 全部             | 无                | 200         |
| 低温镍钢(Ni 含量≤2.5%)       | 全部             | 无                | 120         |
| 3.5Ni 钢                | 全部             | 无                | 150         |
| 5Ni 钢                  | 全部             | 无                | 10          |
| 8Ni、9Ni 钢              | 全部             | 无                | 10          |
| 27Cr 钢                 | 全部             | 无                | 150         |
| 9Cr-1Mo-V 钢            | 全部             | 无                | 200         |
| 所有其他材料                 | 全部             | 无                | 10          |

- 7.5.2.2 对于预热温度要求不同的材料焊接时,应选用表 35 中较高的预热温度。
- 7.5.2.3 对于需要预热的多道焊焊件,其道间温度不应低于预热温度,但满足下列要求:
- a) 碳钢和低合金钢的道间温度不宜高于 315 ℃;
  - b) 奥氏体不锈钢和镍及镍合金的道间温度不宜高于 150 ℃;
  - c) 钛及钛合金的道间温度不宜高于 150 ℃;
  - d) 27Cr 钢的道间温度应保持在 150 ℃和 230 ℃之间;
  - e) 马氏体不锈钢的道间温度不应高于 315 ℃;
  - f) 双相不锈钢的道间温度不应高于 50 ℃(名义壁厚≤3 mm)、70 ℃(名义壁厚≤6 mm)、100 ℃(名义壁厚≤10 mm)、120 ℃(名义壁厚>10 mm)。
- 7.5.2.4 定位焊缝的母材温度不应低于表 35 规定的最低预热温度,预热范围应为距离定位焊缝两端不小于 25 mm。
- 7.5.2.5 对于返修补焊,其预热温度应比原焊缝适当提高。

7.5.3 预热温度的测量

7.5.3.1 应采用测温笔、热电偶或其他合适的方法测量预热温度并记录,以保证在焊前及焊接过程中达到和保持焊接工艺规程中规定的温度。采用的测量仪表应经计量检定合格。热电偶焊接应符合

合 7.4.9.2 的规定。

7.5.3.2 预热区域应以焊缝中心为基准,每侧距离不应小于焊件厚度的 3 倍,且不小于 100 mm。

#### 7.5.4 中断焊接

7.5.4.1 焊接中断时,应控制冷却速度或采取其他措施防止其对管道产生有害影响。

7.5.4.2 恢复焊接前,应对中断焊缝进行清理、检查确认,并按焊接工艺规程的规定重新进行预热。

7.5.4.3 铬钼合金钢、9Cr-1Mo-V 钢以及马氏体不锈钢施焊全过程,应始终保持焊缝区域不低于表 35 规定的预热温度。焊接中断时,如不能维持预热温度,应采取下列工艺措施:

- a) 焊缝已焊厚度不小于 20% 与 10 mm 的较小值,且焊道冷却前需打磨光滑,无尖锐缺口;焊件需受到良好支承、缓慢移动,并防止承载、碰撞;
- b) Cr 含量 $\leq 2\%$ 铬钼合金钢,焊缝需保温缓冷;
- c)  $2\% \leq \text{Cr 含量} \leq 10\%$ 铬钼合金钢、9Cr-1Mo-V 钢以及马氏体不锈钢按 7.6.3.1 i) 的规定立即进行后热处理并保温缓冷,否则需进行中间热处理并控制冷却速度,或采用最大扩散氢含量为 4 mL/100 g 的低氢焊接材料,防止氢致焊接裂纹产生;
- d) 焊缝冷却后和恢复焊接前,需目视检查确认无焊接裂纹;
- e) 恢复焊接前,需重新进行预热。

#### 7.6 热处理

##### 7.6.1 一般规定

7.6.1.1 本节规定了压力管道焊接、弯曲和成型后热处理的基本要求。

7.6.1.2 本节给出的热处理要求是基于材料本身的性能、冷热加工以及焊接性能而提出的,并未考虑介质和工况条件的适应性。设计者可根据具体的工况条件,如提高材料及其焊接接头的抗应力腐蚀破裂、抗应力松弛裂纹以及抗脆断能力、抗高温氢腐蚀能力或者高温长期强度,提出更高的或附加热处理要求。

7.6.1.3 本节并不限制采用较低的甚至免除热处理要求,但应符合 7.6.7 的要求。

##### 7.6.2 弯曲和成型后的热处理

7.6.2.1 所有厚度的铬钼合金钢、马氏体不锈钢材料在热弯和热成型后,应按表 36 的规定进行热处理。

7.6.2.2 管道制作采用冷弯和冷成型时,符合下列情况之一者应按表 36 的规定进行热处理。

- a) 对碳钢、碳锰钢、铬钼合金钢、马氏体不锈钢材料,冷弯和冷成型后,成型应变率(在最大变形方向)超过该材料标准所规定的最小断后伸长率的 50% 者;但如能证明所选用的管子材料及其弯曲或成型的方法在冷弯和冷成型后,其应变最大的材料断后伸长率至少为 10%,则可不进行热处理。
- b) 任何要求进行低于 0 °C 低温冲击试验的材料,弯曲或成型后其成型应变率超过 5% 者。
- c) 设计文件另有规定者。

表 36 焊后热处理和弯曲、成型后的热处理基本要求

| 母材类别                                | 较厚件的名义厚度<br>mm | 母材最小规定抗拉强度<br>MPa | 金属热处理温度<br>℃         | 热处理厚度的最少保温时间              |                                                                    | 布氏硬度 <sup>a</sup> ≤ |
|-------------------------------------|----------------|-------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                     |                |                   |                      | ≤50 mm                    | >50 mm                                                             |                     |
| 碳钢、碳锰钢                              | ≤25            | 全部                | 不要求热处理               | —                         | —                                                                  | —                   |
|                                     | >25            | 全部                | 595~650              | 1 h/25 mm,<br>最少 60 min   | 2 h+(15 min/<br>增加 25 mm)                                          | 200 <sup>a</sup>    |
| 合金钢<br>Cr 含量≤0.5%                   | ≤20            | ≤490              | 不要求热处理               | —                         | —                                                                  | —                   |
|                                     | >20            | 全部                | 595~650              | 1 h/25 mm,<br>最少 60 min   | 2 h+(15 min/<br>增加 25 mm)                                          | 225                 |
|                                     | 全部             | >490              |                      |                           |                                                                    |                     |
| 合金钢<br>0.5%<Cr 含量≤2%                | ≤13            | ≤490              | 不要求热处理               | —                         | —                                                                  | —                   |
|                                     | >13            | 全部                | 650~705              | 1 h/25 mm,<br>最少 60 min   | 2 h+(15 min/<br>增加 25 mm)                                          | 225                 |
|                                     | 全部             | >490              |                      |                           |                                                                    |                     |
| 合金钢 2%≤<br>Cr 含量≤3%<br>和 C 含量≤0.15% | ≤13            | 全部                | 不要求热处理               | —                         | —                                                                  | —                   |
|                                     | >13            | 全部                | 675~760              | 1 h/25 mm,<br>最少 2 h      | 2 h+(15 min/<br>增加 25 mm)                                          | 241                 |
| 合金钢 3%<Cr<br>含量≤10%<br>或 C 含量>0.15% | 全部             | 全部                | 675~760              | 1 h/25 mm,<br>最少 2 h      | 2 h+(15 min/<br>增加 25 mm)                                          | 241                 |
| 9Cr-1Mo-V 钢                         | 全部             | 全部                | 730~775 <sup>b</sup> | 1 h/25 mm,<br>最少 2 h      | ≤125 mm 时,<br>1 h/25 mm;<br>>125mm 时,<br>5 h+(15 min/<br>增加 25 mm) | 250 <sup>a</sup>    |
| 马氏体不锈钢                              | 全部             | 全部                | 760~800              | 1 h/25 mm,<br>最少 2 h      | 2 h+(15 min/<br>增加 25 mm)                                          | 241                 |
| 铁素体不锈钢                              | 全部             | 全部                | 不要求热处理               | —                         | —                                                                  | —                   |
| 奥氏体不锈钢和<br>镍基合金 <sup>c</sup>        | 全部             | 全部                | 不要求热处理               | —                         | —                                                                  | 187 <sup>a</sup>    |
| 低温镍钢(Ni 含量≤4%) <sup>d</sup>         | ≤20            | 全部                | 不要求热处理               | —                         | —                                                                  | —                   |
|                                     | >20            | 全部                | 595~650              | 0.5 h/25 mm,<br>最少 60 min | 2 h+(15 min/<br>增加 25 mm)                                          | —                   |

表 36 焊后热处理和弯曲、成型后的热处理基本要求（续）

| 母材类别                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 较厚件的名义厚度<br>mm | 母材最小规定抗拉强度<br>MPa | 金属热处理温度<br>℃ | 热处理厚度的最少保温时间         |                       | 布氏硬度 <sup>a</sup> ≤ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |                   |              | ≤50 mm               | >50 mm                |                     |
| 5Ni 钢 <sup>e</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ≤51            | 全部                | 不要求热处理       | —                    | —                     | —                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | >51            | 全部                | 550~585      | 1 h/25 mm, 最少 60 min | 2 h+(15 min/增加 25 mm) | —                   |
| 8Ni、9Ni 钢 <sup>e</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ≤51            | 全部                | 不要求热处理       | —                    | —                     | —                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | >51            | 全部                | 550~585      | 1 h/25 mm, 最少 60 min | 2 h+(15 min/增加 25 mm) | —                   |
| 双相不锈钢 <sup>f</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 全部             | 全部                | 不要求热处理       | —                    | —                     | —                   |
| 注：“—”表示暂无适用数据。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                |                   |              |                      |                       |                     |
| <p><sup>a</sup> 硬度要求应符合 7.6.6 的规定。碳钢、碳锰钢、奥氏体不锈钢和镍基合金的硬度检查仅适用于特定工况,设计有规定时,可按本表取值,9Cr-1Mo-V 钢焊缝的布氏硬度值不应低于 185 HBW。</p> <p><sup>b</sup> 除设计有规定外,填充金属 Ni+Mn 不应大于 1.20%,最高热处理温度应小于或等于 800℃。如果热处理温度高于 800℃,或者热处理温度虽不高于 800℃但高于填充金属的 A<sub>1</sub>(转变温度下限或临界温度下限),则应去除焊缝及热影响区金属后重新进行焊接及相应的焊后热处理。壁厚小于或等于 13 mm 的 9Cr-1Mo-V 钢最低热处理温度可为 675℃。采用 Cr 含量小于或等于 3.0%或镍基、奥氏体不锈钢焊接材料进行异种钢焊接时,最低热处理温度可为 720℃。</p> <p><sup>c</sup> 奥氏体不锈钢和镍基合金是否应进行焊后热处理不做具体规定。为防止应力松弛裂纹,壁厚大于 13 mm 且使用温度高于 540℃的含 Nb、Ti、Al 奥氏体不锈钢和镍基合金,可根据具体情况,选择固溶、稳定化或不完全退火等焊后热处理工艺。</p> <p><sup>d</sup> 按 7.6.3.1 d),焊后热处理的温度下限可不低于 550℃。</p> <p><sup>e</sup> 5Ni、8Ni、9Ni 钢材料,热处理保温后应以大于 170℃/h 的冷却速度至 300℃。</p> <p><sup>f</sup> 双相不锈钢是否应进行焊后热处理不做具体规定,如需热处理,应为固溶快冷。</p> |                |                   |              |                      |                       |                     |

7.6.2.3 高温及超低温使用的奥氏体不锈钢或镍基合金材料,在冷、热弯曲或成型后,应按表 37 的规定进行热处理。

表 37 高温及超低温使用的材料弯曲、成型后的热处理要求

| 材料类别及使用条件                                                                                                       | 成型应变率 <sup>a</sup> | 热处理要求             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|
| 设计温度高于 540℃,但低于 675℃的奥氏体不锈钢及镍合金(600、617、800、800H、800HT)                                                         | >15%               | 固溶处理              |
| 设计温度高于或等于 675℃的奥氏体不锈钢(H 级)及镍合金(600、617、800、800H、800HT)                                                          | >10%               | 固溶处理 <sup>b</sup> |
| 设计温度低于或等于 -100℃的奥氏体不锈钢                                                                                          | >10%               | 固溶处理 <sup>b</sup> |
| <p><sup>a</sup> 采用管子扩口、缩口、引伸、镦粗时,成型应变率为本表规定值的一半。</p> <p><sup>b</sup> 固溶处理的保温时间取 20 min/25 mm 或 10 min 的较大者。</p> |                    |                   |

## 7.6.2.4 成型应变率的计算应符合下列规定。

- a) 管子弯曲,按公式(47)、公式(48)计算,取应变率中的较大者。

$$\text{应变率}(\%) = \frac{50D}{R} \dots\dots\dots(47)$$

$$\text{应变率}(\%) = \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \times 100 \dots\dots\dots(48)$$

- b) 以板成型的圆筒、锥体或管子的应变率按公式(49)计算。

$$\text{应变率}(\%) = \frac{T}{R_f} \times 50 \dots\dots\dots(49)$$

- c) 以板成型的凸型封头、折边等双向变形的组件的应变率按公式(50)计算。

$$\text{应变率}(\%) = \frac{75T}{R_f} \dots\dots\dots(50)$$

- d) 管子扩口、缩口或引伸、镦粗,其应变率取下列公式计算绝对值中的最大者。

- 1) 环向应变:

$$\text{应变率}(\%) = \left( \frac{D - D_e}{D} \right) \times 100 \dots\dots\dots(51)$$

- 2) 轴向应变:

$$\text{应变率}(\%) = \left( \frac{L - L_e}{L} \right) \times 100 \dots\dots\dots(52)$$

- 3) 径向应变:

$$\text{应变率}(\%) = \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \times 100 \dots\dots\dots(53)$$

式中:

 $D$  ——管子外径,单位为毫米(mm); $R$  ——管子中心线弯曲半径,单位为毫米(mm); $T$  ——板材名义厚度,单位为毫米(mm); $T_1$  ——管子初始平均厚度,单位为毫米(mm); $T_2$  ——成型后管子最小厚度,单位为毫米(mm); $D_e$  ——成型后圆筒或管子的外径,单位为毫米(mm); $R_f$  ——成型后最小曲率半径(厚度中心处),单位为毫米(mm); $L$  ——管子变形区初始长度,单位为毫米(mm); $L_e$  ——成型后管子变形区的长度,单位为毫米(mm)。

7.6.2.5 对于有应力腐蚀倾向或对消除应力有较高要求的管道,在弯曲或成型加工后,应按设计文件的规定进行热处理。

## 7.6.3 焊后热处理

## 7.6.3.1 焊后热处理的基本要求

焊后热处理需满足下列基本要求。

- 应按设计文件的规定进行焊后热处理,当设计文件无规定时,焊后热处理应符合表 36 的规定。
- 表 36 所列焊后热处理的温度范围较宽,使用者或设计者可根据具体工况,制定焊后热处理温度,但不能超出表 36、表 38 及 7.6.3.1 规定的限值。
- 除下列 d) 的规定外,碳钢、碳锰钢、低温镍钢(Ni 含量 $\leq 4\%$ )可按表 38 所示降低焊后热处理温度,但应相应延长保温时间。

- d) 为改善焊接接头强度和低温韧性,经建设单位(使用单位)或设计单位同意以及相应焊接工艺评定证实,最小抗拉强度大于或等于 535 MPa 的碳锰钢、低温碳钢以及低温镍钢(Ni 含量 $\leq 4\%$ )的焊后热处理的温度下限可不低于 550  $^{\circ}\text{C}$ ,而无需延长保温时间。
- e) 正火加回火或调质钢的焊后热处理温度应比材料的回火温度降低至少 10  $^{\circ}\text{C}$ 。
- f) 表 36 所列铬钼合金钢可采用比材料回火温度或表列温度更高的焊后热处理温度,但应计及由此而引起的高温强度下降影响。
- g) 铁素体钢之间的异种钢焊接接头的焊后热处理,应按表 36 两者之中的较高热处理温度进行,但不应超过另一侧钢材的临界点  $A_{cl}$ 。
- h) 焊后热处理工艺应在焊接工艺规程中规定,并经焊接工艺评定验证;任何焊后热处理的温度控制都应满足焊接工艺评定的要求。
- i)  $2\% < \text{Cr 含量} \leq 10\%$  的铬钼合金钢、9Cr-1Mo-V 钢以及马氏体不锈钢管道,焊后应及时进行热处理;当不能及时进行焊后热处理时,应控制焊接速度,或者采用其他措施防止对管道的有害影响,并且符合以下规定:
  - 1) 对于  $2\% < \text{Cr 含量} \leq 10\%$  的铬钼合金钢和马氏体不锈钢,当不能及时进行焊后热处理时,应在焊后立即均匀加热至 200  $^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$  的后热处理,并保温缓冷;保温时间应根据后热温度和焊缝金属的厚度确定,一般不少于 30 min;
  - 2) 对于 9Cr-1Mo-V 钢,焊后热处理应在焊接完成后,焊件温度降至 80  $^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 、保温 1 h $\sim$ 2 h 后立即进行;9Cr-1Mo-V 钢焊后不宜采用后热,若采用后热,应在焊接完成后,将焊件温度降至 80  $^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$  并保温 1 h $\sim$ 2 h 后进行;后热温度 300  $^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ ,保温时间 2 h;
  - 3) 后热保温范围应与焊后热处理要求相同。

表 38 碳钢、碳锰钢、低温镍钢(Ni 含量 $\leq 4\%$ )焊后热处理降温延时要求

| 降低焊后热处理温度          | 热处理厚度的最少保温时间 |                    |
|--------------------|--------------|--------------------|
|                    | ≤25 mm       | >25 mm             |
| 30 ℃               | 2 h          | 增加 15 min/增加 25 mm |
| 55 ℃               | 4 h          |                    |
| 注：7.6.3.1 d)的规定除外。 |              |                    |

7.6.3.2 焊后热处理厚度

按表 36 及表 38 进行焊后热处理时,热处理厚度应为焊缝厚度与焊接接头处焊件厚度(当承压件与非承压件焊接时则为承压件的厚度)中的较小者。焊缝厚度应为下列厚度:

- a) 对接环缝、纵缝——坡口组对后两个对接端的较厚者;
- b) 角焊缝——角焊缝计算厚度(见图 20);
- c) 部分焊透焊缝——焊缝坡口深度;
- d) 焊补焊缝——补焊处开槽深度;
- e) 支管连接的焊缝厚度符合表 39 的规定;

表 39 支管连接结构的焊缝厚度

| 支管连接结构形式                 | 焊缝厚度                                              |
|--------------------------|---------------------------------------------------|
| 焊接支管(安放式),见图 23 a)       | $\overline{T}_b+t_c$                              |
| 焊接支管(插入式),见图 23 b)       | $\overline{T}_h+t_c$                              |
| 补强圈补强的焊接支管(安放式),见图 23 c) | $\overline{T}_b+t_c$ 或 $\overline{T}_r+t_c$ ,取较大值 |
| 补强圈补强的焊接支管(插入式),见图 23 d) | $\overline{T}_h+\overline{T}_r+t_c$               |
| 鞍形补强件补强的焊接支管,见图 23 e)    | $\overline{T}_b+t_c$                              |
| 支管座,见图 23 g)             | $\overline{T}_m+t_c$                              |

- f) 对用于平焊法兰、承插焊法兰、公称直径小于或等于 DN50 的管子连接角焊缝和螺纹接头的密封焊缝以及非承压件(如管道支承件、结构附件等)与管道的连接焊缝,以下情况可不要求焊后热处理:
- 1) 碳钢材料,当焊缝厚度小于或等于 16 mm 时,任意厚度的母材都不需进行焊后热处理;
  - 2) 铬钼合金钢材料(Cr 含量 $\leq 10\%$ ),当焊缝厚度小于或等于 13 mm 时,如果预热温度不低于表 35 的规定值,且母材规定的最小抗拉强度小于 490 MPa,则任意厚度的母材都不需进行焊后热处理;
  - 3) 铁素体钢材料,当焊缝采用奥氏体或镍基填充金属时,不需进行焊后热处理,但应保证操作条件(如高温下不同线膨胀系数或腐蚀等)对焊缝不产生有害影响。

7.6.4 加热和冷却

- 7.6.4.1 热处理时,应保证温度的均匀性和对温度的控制,可采用炉内加热、局部火焰加热、电阻或电感等加热方法,也可采用炉冷、空冷、局部加热、隔热或其他合适的方法来控制冷却速度。
- 7.6.4.2 除设计文件或其他标准另有规定外,热处理的加热和冷却速度应符合表 36 及下列规定:
- a) 当温度升至 400 °C 以上时,加热速度不大于  $205 \times (25/T)$  °C/h,且不大于 205 °C/h;
  - b) 保温后的冷却速度不大于  $260 \times (25/T)$  °C/h,且不大于 260 °C/h,400 °C 以下可自然冷却。
- 注:  $T$  为热处理部位的最大材料厚度,单位为毫米(mm)。

7.6.5 热处理温度的测量

- 7.6.5.1 热处理温度应采用热电偶或其他合适的方法进行测量,热电偶焊接应符合 7.4.9.2 的规定。
- 7.6.5.2 应采用自动测温记录仪在整个热处理过程中连续测量并记录热处理温度。测温记录仪在使用前应经校验合格。

7.6.6 硬度检验

- 7.6.6.1 要求焊后热处理的焊接接头、弯曲和成型加工的管道组件,热处理后应测量硬度值。焊接接头的硬度测定区域应包括焊缝和热影响区,热影响区的测定区域应紧邻熔合线。
- 7.6.6.2 炉内热处理的每一热处理炉次应至少抽查 10% 进行硬度值测定,局部热处理者应 100% 进行硬度值测定。
- 7.6.6.3 除设计另有规定外,焊接接头以及弯曲和成型加工的管道组成件在热处理后的硬度值应符合下列规定:
- a) 硬度值符合表 36 的规定;
  - b) 表 36 中未注明硬度值要求的材料,焊缝和热影响区的硬度值不大于母材硬度值的 125%;

- c) 异种金属材料焊接时,两侧母材和焊接接头均符合表 36 规定的相应硬度值。

#### 7.6.7 替代热处理

经设计者同意,正火、正火加回火或退火可代替焊接、弯曲或成型后的消除应力热处理,但焊接接头和母材的力学性能应符合相应标准的规定。

#### 7.6.8 热处理基本要求的变更

7.6.8.1 设计者可根据具体工况条件,变更或调整消除应力热处理的基本要求,包括规定更为严格的要求(如对厚度较薄材料的热处理和硬度限制),也可放宽或取消热处理和硬度检验要求,但应在设计文件中指明。

7.6.8.2 当放宽消除应力热处理和硬度检验要求时,应具备可供类比的成功使用经验,还要考虑工作温度及其影响、热循环频率及其强度、柔性分析的应力水平、脆性破坏及其他有关因素。此外,还应进行包括焊接工艺评定在内的有关试验。

#### 7.6.9 分段热处理

对于不能进行整体热处理的管道,允许分段热处理。分段处应有宽度大于或等于 300 mm 的搭接带。分段热处理时,炉外的部分应适当保温,且应防止产生较大的温度梯度。

#### 7.6.10 局部热处理

7.6.10.1 管道焊接接头可进行局部焊后热处理。局部焊后热处理时,加热范围应包括主管或支管的整个环形带,且均应达到规定的热处理温度,管内应隔断,防止空气流动散热。

7.6.10.2 局部焊后热处理的温度控制范围、热电偶设置及隔热要求,可参照附录 R 执行。

7.6.10.3 当加热的焊缝邻近阀门、连接件等大型散热件,或当连接不同厚度的管件时,设置热电偶应特别考虑散热因素。

7.6.10.4 除 7.6.7 规定外,不准许材料的任何部分承受超过下临界温度的热源。

#### 7.6.11 重新热处理

热处理后如进行附件焊接、焊接返修、弯曲、成型加工,或者硬度值超过规定要求的焊缝,应重新进行热处理。

### 7.7 装配和安装

#### 7.7.1 一般规定

7.7.1.1 管道装配(包括管道预制)和安装应按管道轴测图进行,可在工厂(车间)或现场分别完成。

7.7.1.2 管道制作前,应按照轴测图选择确定自由管段和封闭管段,并在管道轴测图上注明下列内容:

- a) 焊缝位置、焊缝编号,并区别现场安装的固定焊缝和预制焊缝、管支架与管道直接焊接的焊缝;
- b) 弯管弯曲半径;
- c) 预制管段的加工长度和尺寸偏差;
- d) 水平管道的坡度和坡向。

7.7.1.3 自由管段和封闭管段的加工制作尺寸允许偏差应符合表 40 的规定。



表 40 自由管段和封闭管段的加工尺寸允许偏差

单位为毫米

| 项目                 |                        | 允许偏差 |      |
|--------------------|------------------------|------|------|
|                    |                        | 自由管段 | 封闭管段 |
| 长度                 |                        | ±10  | ±1.5 |
| 凸台、支管座相对于管道中心线偏差   |                        | ±1.0 | ±1.0 |
| 相邻支管中心距(S)         | $S \leq 250$           | ±1.5 | ±1.5 |
|                    | $250 < S \leq 500$     | ±2.0 | ±2.0 |
|                    | $500 < S \leq 1\,000$  | ±2.5 | ±2.5 |
|                    | $S > 1\,000$           | ±3.0 | ±3.0 |
| 法兰密封面与管子<br>中心线垂直度 | $DN < 100$             | 0.5  | 0.5  |
|                    | $100 \leq DN \leq 300$ | 1.0  | 1.0  |
|                    | $DN > 300$             | 2.0  | 2.0  |
| 法兰螺栓孔对称水平度         |                        | ±1.6 | ±1.6 |

7.7.1.4 装配管段需具有足够的刚性,必要时可进行加固,以保证在存放、运输过程中不变形。装配完毕的管段,应将内部清理干净,及时封闭管口。

7.7.1.5 除设计有预拉伸或预压缩的要求外,管道装配和安装时,不准许强力对接、加热管子、加偏垫或加多层垫等方法来消除接头端面间的空隙、偏斜、错口或不同心等缺陷。也不应采用任何导致设备或管道组成件产生有害残余应变的扭曲方法进行组对。管道封闭口装配时的错口偏差可参照附录 S 进行评估。

7.7.1.6 管道穿越墙、道路或铁路时应设套管加以保护,套管内的管段不宜有环焊缝存在。如有环焊缝,应按第 8 章的规定进行 100%无损检测。

7.7.1.7 管道安装后,不应承受设计以外的附加荷载。

7.7.1.8 对于铬钼合金钢、含镍低温钢、不锈钢以及镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金材料的管道组成件,在安装完毕后应检查其材质标记。当发现无标记或标记不清晰时,应采用光谱分析(PMI)或其他方法对无标记或标记不清晰的管道、管道组成件的材质进行复查。对上述材料的管道焊缝也应进行材质复查,复查数量:每条管道(按管道编号)不应少于 2 道焊口。若出现 1 个焊口不合格,则该材质的所有焊缝均进行复查。

7.7.2 法兰连接

7.7.2.1 法兰连接前应检查、清理法兰密封面和垫片密封面,不应有影响密封性能的划痕、斑点、裂纹、磕伤等缺陷,否则应予修理或更换。通过焊接修补的法兰面应进行表面处理达到密封要求。垫片密封面应检查其平整度是否符合要求。螺母和垫圈支撑面不应有涂层、毛刺。

7.7.2.2 法兰接头装配时,垫片的尺寸应与法兰的尺寸相一致。每对法兰密封面间只允许使用 1 个垫片。垫片安装应保持与法兰同轴,防止垫片阻挡介质流道。

7.7.2.3 法兰接头装配应与管道同心,并应保证法兰螺栓孔跨中布置,法兰螺栓自由穿入。设计文件无规定时,法兰接头按下列要求进行对中:

- a) 在上紧螺栓前,垫片的接触面在任何直径方向测量,两个法兰的平行度(偏转)偏差不应大于 1 mm/200 mm;

- b) 不准许用强紧螺栓的方法消除法兰接头的偏转;
- c) 法兰接头上紧后,垫片接触表面的荷载应均匀分布;
- d) 法兰螺栓孔需对准,孔与孔之间的偏移不大于 3 mm;
- e) 管道最终封闭口采用法兰连接的装配要求见附录 S。

7.7.2.4 法兰接头装配应使用同一规格、同一材质的螺栓,安装方向应一致且螺栓对称紧固。螺栓紧固后应与法兰紧贴,不准许有楔缝。需加垫圈时,每个螺栓不应超过 1 个。所有螺母应全部拧入螺栓。任何情况下,螺母上的螺纹应完全啮合。

7.7.2.5 除建设单位(使用单位)或设计单位另有规定,GC1 级管道的法兰接头,应编制书面的安装程序文件,经安装单位技术负责人批准后方可进行装配操作,其安装应符合 GB/T 38343 的规定。

7.7.2.6 法兰接头装配时,如两个法兰的压力等级或力学性能有较大差别,需考虑压力等级较低或抗拉强度较低时法兰的承受能力。宜将螺栓拧紧至预定的扭矩。

### 7.7.3 螺纹连接

7.7.3.1 用于螺纹的保护剂或润滑剂应适用于工况条件,且对输送的流体和管道材料均不产生不良影响。

7.7.3.2 进行密封焊的螺纹接头不准许使用螺纹保护剂和密封材料。

7.7.3.3 采用垫片密封而非螺纹密封的直螺纹接头应符合第 6 章的规定。直螺纹接头与主管焊接时,应防止密封面变形。

7.7.3.4 螺纹接头采用密封焊时,外露螺纹应在整个周长密封焊接,且应符合 7.4.10 的规定。

7.7.3.5 应采取措施防止螺纹接头因热膨胀导致的螺纹松动。

### 7.7.4 其他形式的连接

#### 7.7.4.1 管接头

管接头的装配和安装应符合设计文件和下列规定。

- a) 管接头成套部件为配套厂家生产,材质与管道材质一致。
- b) 管接头连接处的管道表面无皱褶、扁平、凹陷、凸起、划痕等缺陷,端部需保证断面的水平,毛刺需清理干净。
- c) 管接头在拧紧前保证与管道对中。
- d) 扩口管接头装配前,对扩口的密封面进行检查,有缺陷的扩口需修理或者报废。
- e) 对于非扩口压合型管接头,如管接头制造厂的说明书中规定螺母拧紧圈数,需从用手将螺母拧紧后开始计算。
- f) 卡套式管接头的安装需在无额外作用力下进行;制造商需提供卡套式管接头的安装使用说明书且至少包含下列内容,必要时,提供专门培训。
  - 1) 被连接管材料和质量的详细要求。
  - 2) 被连接管的加工要求。
  - 3) 安装与拆卸要求,如安装扳拧圈数或安装力矩等。
  - 4) 推荐安装工具。

#### 7.7.4.2 填料函接头

用于吸收热膨胀的填料函接头,在承口底部应留有适当的膨胀间隙。

#### 7.7.4.3 其他形式接头

其他形式的接头连接,诸如铸铁管承插接头、卡箍式连接接头、钎焊接头、粘接接头、胀接接头等的

装配和安装应按相关标准、设计文件和制造厂的说明书要求进行。

7.7.5 管道预拉伸或预压缩

管道预拉伸或预压缩应符合设计文件规定。进行预拉伸或预压缩前应满足下列要求：

- a) 预拉伸或预压缩区域内固定支架间的所有焊缝(预拉伸或预压缩口除外)需焊接完毕并经检验合格;需要热处理的焊缝需完成热处理工作;
- b) 预拉伸或预压缩区域支吊架需安装完毕,管子与固定支架需安装牢固;预拉伸或预压缩口附近的支吊架需预留足够的调整裕量,支吊架弹簧需按设计值进行调整,并临时固定,不使弹簧承受管道载荷;
- c) 预拉伸或预压缩区域内的所有连接螺栓需拧紧。

7.7.6 连接设备的管道

7.7.6.1 管道与设备的连接应在设备安装定位并紧固地脚螺栓后进行。

7.7.6.2 对不准许承受附加外荷载的动设备,管道与动设备连接应符合下列规定：

- a) 管道与动设备连接前,需在自由状态下检验法兰的平行度和同心度,当设计文件或产品技术文件无规定时,其允许偏差符合表 41 的规定;

表 41 法兰平行度、同心度允许偏差

| 动设备转速<br>r/min | 平行度<br>mm | 同心度<br>mm |
|----------------|-----------|-----------|
| <3 000         | ≤0.40     | ≤0.80     |
| 3 000~6 000    | ≤0.15     | ≤0.50     |
| >6 000         | ≤0.10     | ≤0.20     |

- b) 管道系统与动设备最终连接时,需在联轴器上架设百分表监视动设备位移;当动设备额定转速大于 6 000 r/min 时,其位移值需小于 0.02 mm;当额定转速小于或等于 6 000 r/min 时,其位移值需小于 0.05 mm。

7.7.6.3 大型储罐的管道与泵或其他有独立基础的设备连接,或储罐底部管道沿地面敷设在支架上时,需注意储罐基础沉降的影响。此类管道应在储罐液压或充水试验后安装;或将储罐接口处法兰在液压试验且基础初阶段沉降后再连接。

7.7.6.4 管道试压、吹扫与清洗合格后,应对管道与动设备的接口进行复位检查,其偏差值应符合表 41 的规定。

7.7.7 埋地管道

7.7.7.1 埋地管道的防腐层应按设计要求在安装前完成。运输和安装时应采取保护措施防止防腐层损坏。埋地前应进行检查,被损坏的防腐层应及时进行修补。焊缝部位未经检验合格不准许作防腐层处理。

7.7.7.2 埋地管道安装应在支承地基或基础检验合格后进行。支承地基和基础的施工应符合设计文件和国家现行有关标准的规定。当有地下水或积水时,应采取排水措施。

7.7.7.3 必要时,应根据设计文件要求采取阴极保护措施。

7.7.7.4 埋地管道的回填应在耐压试验、泄漏试验和防腐层检测合格后进行,并按隐蔽工程验收。

7.7.8 夹套管

7.7.8.1 内管焊缝应按第 8 章的规定检验及试压合格后,方可装配外管。

7.7.8.2 除管道布置结构限制外,夹套管焊缝布置符合下列规定:

- a) 直管段环向焊缝的间距,内管不应小于 200 mm,外管不应小于 100 mm;
- b) 环向焊缝距支吊架的净距不应小于 100 mm,且不留在过墙或楼板处;
- c) 水平管段外管剖切的纵向焊缝应置于易检修的部位;
- d) 内管焊缝上不准许开孔或连接支管段;外管焊缝上需避免开孔或连接支管,否则应符合 7.4.6 d) 的规定。

7.7.8.3 夹套管的连通管安装应符合设计文件的规定。连通管应排放流畅,防止存液,避免堵塞通路。

#### 7.7.9 阀门

7.7.9.1 当阀门与管道以法兰或螺纹方式连接时,阀门应在关闭状态下安装。当阀门与管道以焊接方式连接时,阀门应在开启状态下安装。坡口对接焊缝的底层应采用钨极惰性气体保护电弧焊,且应对阀门采取防变形措施。

7.7.9.2 阀门不准许强行组对连接或承受外加重力负荷,以防止由于附加应力而损坏阀门。

7.7.9.3 阀门安装前应按介质流向确定安装方向,手轮位置应易于操作、检查和维修。

#### 7.7.10 安全保护装置

7.7.10.1 安全阀、爆破片、紧急切断阀、阻火器等应按设计文件规定的位号安装。

7.7.10.2 安全附件的安装除应符合 7.7.10.3~7.7.10.5 的规定外,还应符合设计文件、TSG ZF001 和产品技术文件的规定。

7.7.10.3 安全阀的安装应符合下列规定:

- a) 安全阀垂直安装;
- b) 安全阀的出口管道需接向安全地点;
- c) 当进出管道上设置切断阀时,需加铅封,且锁定在全开启状态;
- d) 管道试运行前,需及时调校安全阀;安全阀的调校符合 TSG ZF001 的规定,安全阀最终调校合格后需铅封并做好调校记录。

7.7.10.4 爆破片安装符合下列规定:

- a) 爆破片装置应在管道系统投料试车前安装,安装方向应与产品技术文件或铭牌上的箭头指示一致;
- b) 安装爆破片时宜采用力矩扳手,对称均匀地拧紧螺栓,防止爆破片在夹持器中松动和因法兰受力过大或不均匀而导致损坏。

7.7.10.5 紧急切断阀、阻火器应按产品技术文件或铭牌上的箭头指示方向安装。

#### 7.7.11 管道补偿装置

管道补偿装置的安装应符合设计文件、产品技术文件和相关标准的规定。金属波纹膨胀节的安装还应符合附录 P 的规定。

#### 7.7.12 支吊架

7.7.12.1 管道支吊架的安装除应符合 7.7.12.2~7.7.12.8 的规定外,还应符合设计文件和产品技术文件的规定。

7.7.12.2 管道安装时,应及时进行支吊架的固定和调整工作。支吊架位置应正确,管子和支承面接触应良好。

7.7.12.3 吊杆应垂直安装。当设计文件要求吊架偏置安装时,偏置量和偏置方向应符合设计文件的规定。

7.7.12.4 固定支架应按设计文件的规定安装,并应在补偿装置预拉伸或预压缩前固定。没有补偿装置的冷、热管道直管段上,不应同时安置两个或两个以上的固定支架。

7.7.12.5 弹簧支吊架的弹簧安装高度应按设计文件规定进行调整。弹簧支架的临时固定件应待系统安装、试压、隔热完毕后,在试车前方可拆除。

7.7.12.6 支吊架的焊接应由合格焊工施焊,并不应有漏焊、欠焊或焊接裂纹等缺陷。管道与支吊架焊接时,管道不应有咬边、烧穿等现象。

7.7.12.7 从有热位移的主管引出小直径的支管时,支管的支吊架类型和结构应符合设计要求,并不应限制主管的位移。

7.7.12.8 导向支架或滑动支架的滑动面应洁净平整,不应有歪斜和卡涩现象。不准许在滑动支架底板处临时点焊定位。仪表及电气的支撑件不应焊在滑动支架上。

### 7.7.13 静电接地

7.7.13.1 设计有静电接地要求的管道,当每对法兰接头、螺纹接头或其他接头间的跨接电阻不应大于  $0.03\ \Omega$ ,如不满足要求应设导线跨接。

7.7.13.2 管道系统的接地电阻值、接地位置及连接方式应符合设计文件的规定。接地引线宜采用焊接形式。除非设计另有规定,对地电阻值不应大于  $100\ \Omega$ 。

7.7.13.3 设计有静电接地要求的不锈钢管或有色金属管道,导线跨接或接地引线不应与管道直接连接,应采用同材质连接板过渡。

7.7.13.4 静电接地安装完毕后,应进行测试,电阻值超过规定时应进行调整。

## 7.8 不锈钢和有色金属管道

### 7.8.1 防护基本要求

7.8.1.1 不锈钢和有色金属管道组成件的制作和装配应有专门的场地和专用工装,不应与黑色金属制品或其他产品混杂。工作场所应保持清洁、干燥,严格控制灰尘。

7.8.1.2 管道吊装用的钢丝绳、卡扣不应与管道直接接触,应用木板或合适的非金属制品等进行隔离。制作、安装过程中需避免不锈钢和有色金属管材表面划伤与机械损伤。

7.8.1.3 现场交叉安装不锈钢和有色金属管道时,应采取可靠的遮挡防护措施避免不锈钢和有色金属管道表面的机械损伤以及其他管道切割、焊接时的飞溅物对其造成的污染。

7.8.1.4 不锈钢、镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金的管道安装时,应采取防止碳及铁污染的措施,安装工具应专用并保持清洁,不应使用可能造成铁污染的黑色金属工具。

### 7.8.2 不锈钢管道

7.8.2.1 不锈钢焊件坡口两侧各  $100\ \text{mm}$  范围内,在施焊前应采取防止焊接飞溅物沾污焊件表面的措施。

7.8.2.2 不锈钢管道焊缝或管道组成件应按设计文件要求进行酸洗、钝化处理。酸洗后的不锈钢表面不应有残留酸洗液,不应有颜色不均匀的斑痕。钝化后应用水冲洗,呈中性后擦干水迹。

### 7.8.3 铝及铝合金管道

7.8.3.1 可根据接头形式、焊接位置及工况条件,在焊缝背面加临时垫环或永久性垫环。加垫环的焊接接头应内壁齐平。

7.8.3.2 永久性垫环的材质应符合设计规定,垫环表面应清洁且无划伤、碰伤,装配时避免表面机械损伤。临时垫环应采用对焊缝质量无不良影响的材质。

#### 7.8.4 铜及铜合金管道

7.8.4.1 扩口翻边连接的铜管应保持同轴,当公称直径小于或等于 DN50 时,其允许偏差不应大于 1 mm;当公称直径大于 DN50 时,其允许偏差不应大于 2 mm。

7.8.4.2 螺纹连接的管子,螺纹部分应涂刷石墨甘油。

#### 7.8.5 镍及镍合金管道

7.8.5.1 管道制作、安装时,应使用不锈钢制工具和专用砂轮片。焊接时坡口两侧的防护应按照 7.8.2.1 的同等要求执行。

7.8.5.2 管道连接使用的卡具不宜直接焊在管道上,否则卡具材质应与管道成分相近。卡具的拆除应用砂轮磨削,不应采用敲打、掰扭等方法。

7.8.5.3 焊接时严格控制焊接热输入和道间温度,防止接头过热。对于小直径的管子,焊接中宜采取在焊缝两侧加装冷却铜块或用湿布擦拭焊缝两侧等措施,减少焊缝在高温的停留时间,增加焊缝的冷却速度。

#### 7.8.6 钛及钛合金、锆及锆合金管道

7.8.6.1 钛及钛合金扩口翻边需尽量加热到 300 °C~400 °C 时进行,翻边不应出现裂口、拉痕、划伤、缩颈等缺陷。

7.8.6.2 管道与支吊架、支座或钢结构之间应垫入合适的非金属制品或其他对钛、锆无害的材料。

7.8.6.3 施焊前和焊接过程中应防止坡口污染。每焊完一道焊缝都应进行焊道表面颜色检查。表面颜色不合格者,应立即除去,然后重焊。表面颜色检查参照相关标准执行。

7.8.6.4 焊接过程中焊接接头的内、外表面温度,在钛及钛合金高于 400 °C、锆及锆合金高于 180 °C 的所有受热区域,均应采取氩气保护或其他有效的气体保护措施。

### 7.9 管道清理、吹扫和清洗

#### 7.9.1 一般规定

7.9.1.1 管道清理、吹扫和清洗(以下简称“吹洗”)需考虑管道制作、装配、存放、安装和检验、检查、试验期间造成的污染和腐蚀产物对管道使用的影响。

7.9.1.2 对于强氧化性流体(如氧或氟)管道,应在管道装配后、安装前分段或单件进行脱脂,包括所有组成件与流体接触的表面均应脱脂,避免残存的脱脂介质与氧气形成危险的混合物。

7.9.1.3 低温使用的管道应吹扫清除系统中的油、脂、水气,避免阀门的冻结、管道或小孔的堵塞。

7.9.1.4 带控制点的工艺流程图和设计施工图上应标明吹扫、清洗管道的预留位置。吹扫、清洗方案应在管道安装之前提出。

7.9.1.5 吹洗方法应根据管道的使用要求、工作介质及管道内表面的脏污程度确定,并符合下列规定:

- a) 公称直径大于或等于 DN600 的液体或气体管道宜采用人工清理;
- b) 公称直径小于 DN600 的液体管道宜采用水冲洗;
- c) 公称直径小于 DN600 的气体管道宜采用空气吹扫;
- d) 蒸汽管道采用蒸汽吹扫,非热力管道不准许采用蒸汽吹扫;
- e) 有特殊要求的管道应按设计文件规定采用相应的吹洗方法。

7.9.1.6 管道吹洗前,不应安装孔板以及法兰或螺纹连接的调节阀、重要阀门、节流阀、安全阀、仪表等。焊接连接阀门和仪表应采取流经旁路或卸掉阀芯,并对阀座加保护套等保护措施。

7.9.1.7 对于不准许吹洗的设备及管道,应采取有效的隔离措施。

7.9.1.8 管道系统的吹洗应确保安全,建设单位(使用单位)和设计单位应提供吹洗工作所需要的安全环境和安全操作技术要求。清理、冲洗或吹扫所用的介质不宜采用易燃、有毒的流体,当不可避免时,应制定专门的预防措施,并应符合下列规定:

- a) 液体需排放到安全的收集点,气体排放选择安全的露天地点;
- b) 易燃气体、液体的排放远离火源和人员;
- c) 对吹洗工作区域进行隔离,并在其四周设置警戒标识,对进入人员进行管控。

7.9.1.9 已清理、吹扫或清洗干净的管道组成件、装配管段或整个管道系统,应及时采取封闭管口或充氮保护等措施防止再污染。

7.9.1.10 管道清理、吹扫和清洗的质量检验和验收应符合相关标准及设计文件的规定。

## 7.9.2 水冲洗

管道水冲洗时应使用洁净水。冲洗奥氏体不锈钢管道时,水中氯离子含量不应超过 50 mg/L。管道水冲洗后应及时将系统内的积水排放干净。

## 7.9.3 空气吹扫

空气的吹扫压力不应超过容器和管道的设计压力。

## 7.9.4 蒸汽吹扫

7.9.4.1 蒸汽吹扫前,应先行暖管、及时排水,并应检查管道热位移。蒸汽吹扫应按加热—冷却—再加热的顺序循环进行。吹扫时,管道附近不应放置易燃物。

7.9.4.2 蒸汽吹扫用的临时管道应按蒸汽管道的技术要求安装,排汽管管口应朝上倾斜并加装消音器。吹扫时,应设置禁区。

## 7.9.5 化学清洗

7.9.5.1 操作人员应穿专用防护服装,并应根据清洗液对人体的危害程度,佩戴护目镜、防毒面具等防护用具。

7.9.5.2 清洗液的配方应经过鉴定,且曾在生产装置中使用并经过实践证明其有效可靠。

7.9.5.3 化学清洗后的废液处理和排放应符合环境保护的规定。

# 8 检验与试验

## 8.1 检查要求

### 8.1.1 一般规定

8.1.1.1 本章对管道安装过程的各项检验以及试验进行了规定,包括每个管道组成件及其制作加工工艺进行检查的要求,任何工程设计要求的附加检查以及验收标准。表 B.1 中铬钼合金钢管道的检查应在全部热处理结束后进行,对于支管的焊接以及承压焊接接头的返修都应在补强圈或鞍形补强件焊接之前完成。

8.1.1.2 由工厂加工的管道组成件(或其组件)的检查与试验应符合相关产品标准和设计文件的要求。

### 8.1.2 验收准则

本章给出的检查与试验要求为基本安全要求,当设计文件有特殊要求时,应按设计文件的要求进行检查、试验和验收。

### 8.1.3 超标缺陷的处理

当发现受检件有超过本章验收准则的缺陷时,应予返修或更换。新件应按原件的要求用相同的方法、范围与验收准则进行检查。

### 8.1.4 累进检查

当局部或抽样检查发现有超标缺陷时,应按下列要求处理:

- a) 另取两个相同件(如为焊接接头,则为同一焊工所焊的同一批焊接接头)进行相同的检查;
- b) 如 a) 要求的两个被检件检查合格,则局部或抽样检查所代表的批视为合格,但有缺陷件需返修或更换并重新进行检查;
- c) 如 a) 要求的两个被检件中任何一件发现有超标缺陷,则针对每个缺陷项增加两个相同件进行检查;
- d) 如 c) 要求的两个被检件检查合格,则局部或抽样检查所代表的批应视为合格,但有缺陷件需返修或更换并重新进行检查;
- e) 如 c) 要求的两个被检件中任何一件发现有超标缺陷,则该批需全部进行检查,不合格者需返修或更换并重新进行检查;
- f) 如缺陷件经过返修或更换后进行重新检查时再次发现有超标缺陷,则针对在修复中发现的缺陷,不需按照 a)、c)、e) 继续进行累进检查,但是有超标缺陷件需返修或更换并重新进行检查,直到满足本章的可接受准则;如果可能的话,也可对其他未检查的焊接接头进行局部或抽样检查。

### 8.1.5 检查人员

对于现场制作、焊接的检查与试验,如果没有特殊指明,应由施工单位负责实施。

## 8.2 检查方法

### 8.2.1 一般规定

8.2.1.1 本节规定了工程设计中或检验人员要求的主要检查方法。如使用本章规定以外的方法,则应在工程设计中规定其验收标准。

8.2.1.2 检查的比例包括 100% 检查、抽样检查和局部检查,其内容分别如下:

- a) 100% 检查:在指定的一批管道中,对某一具体项目进行全部检查;
- b) 抽样检查:在指定的一批管道中,对某一具体项目的某一百分数进行全部检查;
- c) 局部检查:在指定的一批管道中,对某一具体项目的每一件进行规定的部分检查。

注:指定批是本章中用于检查要求考虑的管道数量。指定批数量和程度可由合同双方在工作开始前协议规定。指定批的确定原则如下:

- “批”的数量不宜过大;
- 相同管道级别、相同材质或者相同检测比例的被检件可组成同一“批”;
- 对于焊接接头焊接时间宜控制在 2 周以内;
- 对不同种类的管道制作、安装工作,可规定不同的“批”。

抽样检查或局部检查不能保证制造产品的质量水平。在被代表检查的一批管道中,未检查部分可能在进一步检查中会暴露缺陷。如果需对某一批管道,要求不能有按照射线检测规定的超标焊接缺陷时,则应进行 100% 射线检测检查。

### 8.2.2 目视检查

目视检查指对易于观察或能做外观检查的管道组成件、连接接头及其他管道组成件的部分在其制



造、制作、装配、安装、检查或试验之前、进行中或之后进行的检查方法。目视检查应包括核实材料、组件、尺寸、接头的制备、组对、焊接、粘接、钎焊、法兰连接、螺纹或其他连接方法、支承件、装配以及安装等的质量是否达到相关标准和工程设计的要求。目视检查应按 NB/T 47013.7 的规定进行。

### 8.2.3 无损检测

焊接接头的无损检测分为射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测、衍射时差法超声检测、相控阵超声检测、X 射线数字成像检测、X 射线计算机辅助成像检测,检测方法分别应按 NB/T 47013.1、NB/T 47013.2、NB/T 47013.3、NB/T 47013.4、NB/T 47013.5、NB/T 47013.10、NB/T 47013.11、NB/T 47013.14、NB/T 47013.15 的规定进行。

### 8.2.4 硬度检查

对焊接接头、热弯以及热成型组件应进行硬度检查,以检查热处理工艺的可靠性。硬度检查的数量和要求应符合第 7 章的有关规定。

## 8.3 检查范围和验收准则

### 8.3.1 检查等级

8.3.1.1 压力管道按管道级别、材料类别和公称压力等划分为 I、II、III、IV、V 五个检查等级,当压力管道按 8.3.1.2~8.3.1.6 划分为不同的检查等级时,应按较高等级确定其检查等级。当设计文件有特殊要求时,还应按设计文件的要求执行。

8.3.1.2 符合下列条件之一的压力管道,其检查等级为 I 级:

- a) 设计文件注明为剧烈循环工况的管道;
- b) GC1 级管道;
- c) 高温蠕变工况使用的管道;
- d) 设计温度低于 $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的铁素体钢管道;
- e) 镍及镍基合金、钛及钛合金、锆及锆基合金、铬镍钼合金含量高于 300 系的高耐蚀性能奥氏体不锈钢的管道;
- f) 公称压力大于 PN160 的管道;
- g) 夹套管的内管;
- h) 按 8.6.1.7 的规定可免除压力试验的管道;
- i) 设计要求进行焊接接头 100%无损检测的管道。

8.3.1.3 符合下列条件之一的压力管道,其检查等级为 II 级:

- a) 泄漏危害性介质的 GC2 级管道;
- b) 公称压力大于 PN50 的碳钢管道(本文件要求冲击试验的);
- c) 公称压力大于 PN110 的奥氏体不锈钢管道;
- d) 低温镍钢、铬钼合金钢、双相不锈钢、铝及铝合金管道;
- e) 设计要求进行焊接接头 20%无损检测的管道。

8.3.1.4 符合下列条件之一的压力管道,其检查等级为 III 级:

- a) 毒性程度为有毒介质的 GC2 级管道;
- b) 除 GC3 级管道外,公称压力不大于 PN50 的碳钢管道(本文件要求冲击试验的);
- c) 除 GC3 级管道外,公称压力不大于 PN110 的奥氏体不锈钢管道;
- d) 设计要求进行焊接接头 10%无损检测的管道。

8.3.1.5 符合下列条件之一的压力管道,其检查等级为 IV 级:

- a) 除 8.3.1.3 a)和 8.3.1.4 a)以外的 GC2 级管道；
- b) 除 GC3 级管道外,公称压力不大于 PN50 的碳钢管道(本文件无冲击试验要求的)；
- c) 设计要求进行焊接接头 5%无损检测的管道。

8.3.1.6 GC3 级管道的检查等级为 V 级。

8.3.2 目视检查

8.3.2.1 目视检查的内容符合下列规定。

- a) 对于 GC2、GC3 级管道,应符合 8.2.2 的规定,目视检查的项目如下：
  - 1) 随机选择足够数量的材料和管道组成件,并使检查人员认为其均符合技术要求且无缺陷；
  - 2) 100%的纵向焊接接头,但表 25 和表 B.1 中管道组成件产品所含的纵向焊接接头除外；
  - 3) 抽样检查螺纹、螺栓连接和其他接头的组件;当需进行气压试验时,对所有的螺纹、螺栓连接及其他接头均进行 100%检查；
  - 4) 管道安装时的抽样检查,包括组对、支撑件和冷紧的检查；
  - 5) 检查已安装管道,找出需返修或更换的缺陷以及不符合设计要求的明显偏差。
- b) 除符合 a)的规定外,GC1 级管道的目视检查还应符合下列规定：
  - 1) 对所有制作和安装的焊接接头进行 100%目视检查；
  - 2) 对所有螺纹、螺栓以及其他连接接头进行 100%目视检查。
- c) 剧烈循环工况管道以及高温蠕变工况的管道,其目视检查除符合 b)的规定外,还应校核所有安装管道的尺寸和偏差;支架、导向件和冷紧点都需检查以保证管道的位移能适应开车、操作和停车等所有的工况,而不能发生卡住和意外约束的现象。
- d) 焊接接头目视检查的比例应符合表 42 的要求,且对每一位焊工或焊接操作工的焊接接头进行目视检查。

表 42 焊接接头检查方法和比例<sup>a</sup>

| 检查等级 | 检查方法      | 焊接接头类型及检查比例/%    |                  |                   |
|------|-----------|------------------|------------------|-------------------|
|      |           | 环向对接接头           | 角焊缝 <sup>b</sup> | 支管连接 <sup>c</sup> |
| I    | 目视检查      | 100              | 100              | 100               |
|      | 磁粉/渗透检测   | 100 <sup>d</sup> | 100              | 100               |
|      | 射线检测/超声检测 | 100              | —                | 100 <sup>e</sup>  |
| II   | 目视检查      | 100              | 100              | 100               |
|      | 磁粉/渗透检测   | 20 <sup>d</sup>  | 20               | 20                |
|      | 射线检测/超声检测 | 20               | —                | 20 <sup>e</sup>   |
| III  | 目视检查      | 100              | 100              | 100               |
|      | 磁粉/渗透检测   | 10 <sup>d</sup>  | —                | 10                |
|      | 射线检测/超声检测 | 10               | —                | —                 |
| IV   | 目视检查      | 100              | 100              | 100               |
|      | 射线检测/超声检测 | 5                | —                | —                 |

表 42 焊接接头检查方法和比例<sup>a</sup>(续)

| 检查等级                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 检查方法 | 焊接接头类型及检查比例/% |                  |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      | 环向对接接头        | 角焊缝 <sup>b</sup> | 支管连接 <sup>c</sup> |
| V                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 目视检查 | 10            | 100              | 100               |
| 注：“—”表示不要求。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |               |                  |                   |
| <sup>a</sup> 根据建设单位(使用单位)或工程设计要求,可采用较表 42 更为严格检查的等级代替较低的检查等级。<br><sup>b</sup> 表中角焊缝包括平焊法兰和承插焊法兰(图 21)及其他承插焊接头(图 22)的角焊缝、补强圈或鞍形补强件外缘的角焊缝[图 23 c)、d)、e)]、密封焊缝以及非承压件(如管道支承件、结构附件等)与管道的连接焊缝。<br><sup>c</sup> 表中支管连接焊接接头应符合 7.4.8,也包括补强圈与支管连接的焊接接头。<br><sup>d</sup> 对碳钢、不锈钢及铝合金无此要求。<br><sup>e</sup> 适用于支管公称直径大于或等于 DN100 的焊接接头。 |      |               |                  |                   |

8.3.2.2 目视检查验收准则应符合下列规定：

- a) 焊接接头目视检查按照 NB/T 47013.7 的规定执行,检查内容与合格指标不低于表 43 的要求；
- b) 其他要求符合相关产品标准和工程设计的规定。

表 43 焊接接头目视检查质量验收标准<sup>a</sup>

| 检查等级                                                                                                                                                                     | I                         |                   |                  | II           |      |     | III          |      |     | IV           |      |     | V            |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------|--------------|------|-----|--------------|------|-----|--------------|------|-----|--------------|------|-----|
| 缺陷类型                                                                                                                                                                     | 环向、斜接坡口和支管连接 <sup>b</sup> | 纵向坡口 <sup>c</sup> | 角焊缝 <sup>d</sup> | 环向、斜接坡口和支管连接 | 纵向坡口 | 角焊缝 | 环向、斜接坡口和支管连接 | 纵向坡口 | 角焊缝 | 环向、斜接坡口和支管连接 | 纵向坡口 | 角焊缝 | 环向、斜接坡口和支管连接 | 纵向坡口 | 角焊缝 |
| 表面裂纹、未熔合                                                                                                                                                                 | A                         | A                 | A                | A            | A    | A   | A            | A    | A   | A            | A    | A   | A            | A    | A   |
| 表面未焊透                                                                                                                                                                    | A                         | A                 | N/A              | A            | A    | N/A | B            | A    | N/A | B            | A    | N/A | C            | A    | N/A |
| 表面气孔或暴露的夹渣 <sup>e</sup>                                                                                                                                                  | A                         | A                 | A                | A            | A    | A   | A            | A    | A   | A            | A    | A   | A            | A    | A   |
| 咬边                                                                                                                                                                       | A                         | A                 | A                | A            | A    | A   | D            | A    | D   | D            | A    | D   | E            | A    | D   |
| 根部表面凹陷                                                                                                                                                                   | F                         | F                 | N/A              | F            | F    | N/A | F            | F    | N/A | F            | F    | N/A | F            | F    | N/A |
| 焊缝余高或根部凸出                                                                                                                                                                | G                         | G                 | G                | G            | G    | G   | G            | G    | G   | G            | G    | G   | H            | H    | H   |
| 表中符号说明 <sup>f</sup> ：<br>A——缺陷范围：无明显缺陷；<br>B——未焊透累计长度：每 150 mm 长度范围内小于或等于 15 mm 和 10%焊缝总长度；<br>C——未焊透累计长度：每 150 mm 长度范围内小于或等于 20 mm 和 20%焊缝总长度；<br>D——咬边深度：≤1 mm 和 ≤T/4； |                           |                   |                  |              |      |     |              |      |     |              |      |     |              |      |     |

表 43 焊接接头目视检查质量验收标准<sup>a</sup>(续)

| 检查等级                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | I              | II | III | IV | V |                |                |            |            |                 |            |                  |            |          |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----|-----|----|---|----------------|----------------|------------|------------|-----------------|------------|------------------|------------|----------|------------|
| <p>E——咬边深度: <math>\leq 1.5 \text{ mm}</math> 和 <math>\leq (T/4 \text{ 或 } 1 \text{ mm})</math>;</p> <p>F——根部表面凹陷深度: 即接头总厚(包括焊缝补强) <math>\geq T^a</math>;</p> <p>G——焊缝余高或根部凸起的高度 <math>H</math>:</p> <table><tr><td><math>T(\text{mm})</math></td><td><math>H(\text{mm})</math></td></tr><tr><td><math>T \leq 6</math></td><td><math>\leq 1.5</math></td></tr><tr><td><math>6 &lt; T \leq 13</math></td><td><math>\leq 3.0</math></td></tr><tr><td><math>13 &lt; T \leq 25</math></td><td><math>\leq 4.0</math></td></tr><tr><td><math>T &gt; 25</math></td><td><math>\leq 5.0</math></td></tr></table> <p><math>H</math>——焊缝余高或根部凸起的高度, 范围为上述 <math>G</math> 相应值的 2 倍;</p> <p>N/A——表示对于这种类型的缺陷, 本章未规定验收准则或不要求评价。</p> |                |    |     |    |   | $T(\text{mm})$ | $H(\text{mm})$ | $T \leq 6$ | $\leq 1.5$ | $6 < T \leq 13$ | $\leq 3.0$ | $13 < T \leq 25$ | $\leq 4.0$ | $T > 25$ | $\leq 5.0$ |
| $T(\text{mm})$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $H(\text{mm})$ |    |     |    |   |                |                |            |            |                 |            |                  |            |          |            |
| $T \leq 6$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $\leq 1.5$     |    |     |    |   |                |                |            |            |                 |            |                  |            |          |            |
| $6 < T \leq 13$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\leq 3.0$     |    |     |    |   |                |                |            |            |                 |            |                  |            |          |            |
| $13 < T \leq 25$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\leq 4.0$     |    |     |    |   |                |                |            |            |                 |            |                  |            |          |            |
| $T > 25$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\leq 5.0$     |    |     |    |   |                |                |            |            |                 |            |                  |            |          |            |
| <p><sup>a</sup> 本表是针对所要求的检查, 工程设计也可规定更严格的要求。</p> <p><sup>b</sup> 表中支管连接焊接接头应符合 7.4.8, 也包括补强圈与支管连接的焊接接头。</p> <p><sup>c</sup> 纵向接头包括直缝接头和螺旋缝接头, 但表 25 和表 B.1 所列管道组成件材料和型式尺寸标准制造的产品中所含纵向焊接接头除外。</p> <p><sup>d</sup> “角焊缝”包括平焊法兰和承插焊法兰(图 21)及其他承插焊接头(图 22)的角焊缝、补强圈或鞍形补强件外缘的角焊缝[图 23 c)、d)、e)]、密封焊缝以及非承压件(如管道支承件、结构附件等)与管道的连接焊缝。</p> <p><sup>e</sup> 仅评价公称壁厚小于或等于 5 mm 焊接接头的缺陷。</p> <p><sup>f</sup> 两个极限数值用“和”分开时, 其中较小者为合格值, 两组数值用“或”分开时, 则较大者为合格值。 <math>T</math> 是对焊接头中两个连接件厚度较薄者的名义厚度。</p> <p><sup>g</sup> 对没有额外填充金属的坡口环向接头, 其外部凹陷深度不应大于 1 mm 或和 10% 接头名义厚度的两者较小值, 焊缝金属应当平滑过渡到连接件表面, 接头总厚度(包括焊缝补强)不应小于最小名义厚度。</p>                                                                                                     |                |    |     |    |   |                |                |            |            |                 |            |                  |            |          |            |

8.3.3 焊接接头的无损检测

8.3.3.1 无损检测方法

无损检测方法符合下列规定。

- a) 压力管道焊接接头的无损检测应采用 NB/T 47013.2、NB/T 47013.3、NB/T 47013.4、NB/T 47013.5、NB/T 47013.10、NB/T 47013.11、NB/T 47013.14、NB/T 47013.15 规定的方法,包括射线检测[包括胶片感光成像检测、X 射线数字成像检测(DR)以及 X 射线计算机辅助成像检测(CR)]、超声检测[包括可记录的脉冲反射法超声检测和不可记录的脉冲反射法超声检测、衍射时差法超声检测(TOFD)以及相控阵超声检测(PA)]、磁粉检测、渗透检测等;当采用不可记录且缺乏可追溯性的超声检测时,应采用射线检测、衍射时差法超声检测或者相控阵超声检测,作为附加局部检查或抽样检查。
- b) 管道的名义厚度小于或等于 30 mm 的对接接头,应优先采用射线检测。
- c) 采用不可记录且缺乏可追溯性的超声检测时,应经过建设单位(使用单位)和设计单位的同意。
- d) 有色金属压力管道的对接接头,应优先采用 X 射线检测。
- e) 焊接接头的表面裂纹,应优先采用表面无损检测。
- f) 铁磁性材料压力管道焊接接头的表面无损检测,应优先采用磁粉检测。

8.3.3.2 焊接接头的射线检测和超声检测

8.3.3.2.1 除设计文件另有规定外,现场焊接的管道及管道组成件的对接接头、支管连接接头应采用射线检测或超声检测。检查内容应符合下列规定。

- a) 管道的公称直径小于 DN500 时,可根据环向对接接头数量,按表 42 的检查比例进行抽样检查,且不少于 1 个环向对接接头;凡进行检测的环向对接接头,需包括其整个圆周长度;固定焊的环向对接接头抽样检查比例不少于检查数量的 40%。
- b) 管道的公称直径大于或等于 DN500 时,对每条环向对接接头按表 42 的检查比例进行局部检查,检查长度不小于 150 mm。
- c) 纵向对接接头按表 44 的检查比例执行,局部检查长度不小于 150 mm。
- d) 对高温蠕变工况使用的铬钼合金钢管子和管件的焊接接头,需进行 100% 的射线检测或超声检测。
- e) 选择被检焊接接头时需包括每个参加产品焊接的焊工或焊接操作工所焊的焊接接头,同时在最大范围内包括与纵向焊接接头的交叉点;当环向焊接接头与纵向焊接接头相交时,需包括检查长度不小于 38 mm 的相邻纵向焊接接头。

表 44 制作过程中纵向焊接接头检查方法和检查比例

| 纵向焊接接头系数( $\Phi_w$ )               | 目视检查比例/% | 射线检测/超声检测比例/% |
|------------------------------------|----------|---------------|
| $\leq 0.85$                        | 100      | —             |
| 0.90                               | 100      | 10            |
| 1.00                               | 100      | 100           |
| 注 1: 表 25 和表 B.1 所列产品中所含的纵向焊接接头除外。 |          |               |
| 注 2: “—”表示不要求。                     |          |               |

8.3.3.2.2 射线检测应按照 NB/T 47013.2、NB/T 47013.11、NB/T 47013.14 的规定执行,质量要求和合格级别如下:

- a) 100% 检查的焊接接头,射线检测技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 II 级;
- b) 局部或抽样检查的焊接接头,射线检测技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 III 级。

8.3.3.2.3 超声检测应按照 NB/T 47013.3、NB/T 47013.10、NB/T 47013.15 的规定执行,质量要求和合格级别如下:

- a) 100% 检查的焊接接头,脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级,合格级别为 I 级;
- b) 局部或抽样检查的焊接接头,脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级,合格级别不低于 II 级;
- c) 采用衍射时差法超声检测的焊接接头,检测技术等级原则上不低于 B 级,合格级别不低于 II 级;
- d) 采用相控阵超声检测的焊接接头,检测技术等级原则上不低于 B 级,合格级别不低于 II 级。

8.3.3.2.4 当采用射线检测、超声检测等方法进行组合无损检测时,质量要求和合格级别应按照各自执行的标准确定且均应合格。

8.3.3.3 焊接接头的表面无损检测

8.3.3.3.1 除设计文件另有规定外,现场焊接的管道及管道组成件的对接接头、支管连接接头和角焊缝应进行磁粉检测或渗透检测,检测比例不应低于表 42 的规定。

8.3.3.3.2 焊接接头的表面无损检测均应当按照 NB/T 47013.4、NB/T 47013.5 的规定执行,合格级别为 I 级。

8.3.3.3.3 具有延迟裂纹倾向材料的焊接接头应在焊接完成 24 h 后进行无损检测。

8.3.3.3.4 具有再热裂纹倾向材料的焊接接头应在焊接及热处理之后各进行一次表面无损检测。

#### 8.3.3.4 检测结果不合格处理

当焊接接头抽样检查或局部检查发现有不合格时,应按 8.1.4 的要求进行累进检查,不合格的焊接接头经返修后,应采用原规定的检测方法重新进行检查。

#### 8.3.3.5 其他

局部无损检测的焊接接头位置及检查点应由检查人员确定,并经建设单位(使用单位)或检验机构的检验人员批准。

#### 8.3.4 制作过程中的检查

8.3.4.1 制作过程中的检查应包括下列内容:

- a) 焊接接头的制备和清洗;
- b) 预热;
- c) 连接前的装配、连接间隙以及内侧对准;
- d) 焊接工艺规定的技术参数,包括填充材料、焊接位置等;
- e) 焊接清理后的根部焊道(包括外侧和可及内侧)状况,必要时,可辅之以磁粉检测或渗透检测;
- f) 焊渣的清除和焊道间的焊接情况;
- g) 完工后焊接接头的外观;
- h) 设计文件规定的其他要求。

8.3.4.2 检查要求和验收准则,除设计文件另有规定外,应按 8.3.2 进行目视检查。

#### 8.3.5 硬度检查

8.3.5.1 除设计文件另有规定外,压力管道硬度检查的数量和验收准则应符合 7.6.6 的规定。

8.3.5.2 焊接接头的硬度检查范围应包括焊缝及热影响区,热影响区的硬度检查尽可能紧邻熔合线。对母材的硬度检查尽可能在变形量较大的部位。

8.3.5.3 当管道组成件和焊接接头重新进行热处理时,应采用原规定的检查方法重新进行硬度检查。

8.3.5.4 对于抽样检查的管道组成件和焊接接头,当发现硬度值有不合格时,应按 8.1.4 的要求进行累进检查。

#### 8.4 检查工艺

检查应按 8.2 中规定的某一方法进行,检验人员应审定检查工艺的评定结果、日期和记录。

#### 8.5 检查合格证和记录

检查人员应通过审阅合格证、质量证明书、标记和其他证明文件,确信材料和管道组成件均为规定等级并已经过要求的热处理、检查和试验。检查人员应向检验人员提交一份说明规范和工程设计规定的全部质量控制要求已经执行的证明文件。

## 8.6 试验

### 8.6.1 压力试验

#### 8.6.1.1 一般要求

##### 8.6.1.1.1 基本规定

在按 8.3 要求完成检查后、初次运行前,每个管道系统应进行压力试验以保证其承压强度和密封性能。除 8.6.1.1.2 压力试验可替代的情况外,应按 8.6.1.3 的规定进行液压试验。

##### 8.6.1.1.2 压力试验的替代

压力试验的替代符合下列规定。

- a) 对 GC3 级管道,经建设单位(使用单位)或设计单位同意,可按 8.6.1.6 规定的初始运行压力试验代替液压试验。
- b) 当建设单位(使用单位)或设计单位认为液压试验不切实际时,可用 8.6.1.4 规定的气压试验来代替;如考虑到气压试验的危险性,也可用 8.6.1.5 规定的液压-气压试验来代替。
- c) 当建设单位(使用单位)或设计单位认为液压和气压试验都不切实际时,如果下列两种情况都存在,则可采用 8.6.1.7 规定的免除(或替代)办法。
  - 1) 液压试验会损害衬里或内部隔热层,或会污染生产过程(该过程会由于有湿气而产生危险、腐蚀或无法工作),或由于试验载而导致管道支撑结构过载,或在试验中由于低温而出现脆性断裂的危险。
  - 2) 气压试验具有比液压试验更大的风险,或在试验中由于低温而出现脆性断裂的危险。
- d) 排放且连通大气中的管线,如最后一个切断阀后的放空管线或排污管线,除非设计有特殊规定,否则不需做压力试验。

##### 8.6.1.1.3 试验压力的限制

试验压力的限制符合下列规定:

- a) 如果试验压力会产生管道周向应力或轴向应力超过试验温度下的屈服强度时,试验压力可降至在该温度下不会超过屈服强度的最大压力;
- b) 如果试验压力需要保持一段时间,且管道系统中的试验流体会受到热膨胀时,则需注意避免超压;
- c) 在液压试验前,可先用压力不大于 170 kPa 的空气进行试验以找出泄漏点。

##### 8.6.1.1.4 其他试验要求

其他试验要求符合下列规定:

- a) 压力试验的保压时间不应少于 10 min;保压后可降压至设计压力,并应检查所有接头和连接处有无泄漏和其他异常;
- b) 压力试验应在全部热处理完成后进行;
- c) 当压力试验在接近金属延性-脆性转变温度下进行,需考虑脆性破坏的可能性。

##### 8.6.1.1.5 压力试验的特殊规定

压力试验的特殊(免除)规定如下:

- a) 管道组成件或管道预制件可单独进行试验,也可装配在管道上与管道系统一起进行试验;

- b) 管道系统装配之前已经做过试验的法兰接头和压力试验时为隔离容器或其他管道而插入盲板的法兰接头,均不需要重新进行压力试验;
- c) 如果连接管道系统或管道组成件的最后一条焊接接头已按 8.3.4 的规定进行了制作过程中的检查,且经 100% 的射线检测或超声检测合格,同时,该管道系统或管道组成件已按本章的规定通过了压力试验,则此焊接接头不需要再进行压力试验;
- d) 管道系统压力试验后的仪表接头(螺纹和/或其他管接头)不需要再进行压力试验。

#### 8.6.1.1.6 真空或外压管道

真空或外压管道的压力试验符合下列规定:

- a) 真空或外压管道应以内外压力差的 1.5 倍,但不小于 105 kPa 进行内压压力试验;
- b) 经建设单位(使用单位)或设计单位同意,真空管道可采用真空度试验来代替 a) 所列内压压力试验,但应制定相应试验规程。

#### 8.6.1.1.7 夹套管

夹套管的压力试验符合下列规定:

- a) 内管试验压力应按内部或外部设计压力中的较大值确定,如需按照 8.6.1.2.1 的规定对内管接头作目视检查,此压力试验需在夹套管完成之前进行;
- b) 除设计另有规定外,外管应按 8.6.1 的规定进行压力试验。

#### 8.6.1.1.8 试验记录

应对每一管道系统做好试验记录,记录内容至少包括下列主要内容:

- a) 试验日期;
- b) 试验流体;
- c) 试验压力;
- d) 检查人员出具的检查结果合格证。

#### 8.6.1.2 准备工作

##### 8.6.1.2.1 接头外露

压力试验时的接头外露应符合下列规定:

- a) 除按本章预先进行过试验的接头可包覆隔热层或覆盖层外,所有接头均不准许包覆隔热层或覆盖层,以便在压力试验时进行检查;
- b) 按 8.6.1.7 c) 的规定进行泄漏试验时,所有接头均不准许上底漆和油漆;
- c) 对 GC3 级管道,经建设单位(使用单位)或设计单位同意,进行液压试验或初始运行压力试验时,接头可包覆隔热层或覆盖层,但需延长保压时间以观察有无泄漏和其他异常。

##### 8.6.1.2.2 临时支承件

输送蒸汽或气体的管道,必要时应加装临时支承件,以支承试验流体的重量。

##### 8.6.1.2.3 膨胀节

压力试验时,膨胀节应符合下列规定。

- a) 对于金属波纹膨胀节,如果按照本章的要求确定的试验压力大于制造厂(符合附录 P 的规定)的试验压力时,需按照制造厂的试验压力来进行。



- b) 除 a) 的情况外,依靠外部主固定架来约束端部压力荷载的非约束膨胀节,需在无临时约束的情况下,以 1.5 倍膨胀节设计压力在管道系统现场进行试验;如果系统要求的试验压力大于 1.5 倍的膨胀节设计压力,且主固定架无法承受此压力试验载荷,膨胀节需从管道系统移开,或采用临时约束以承受压力试验载荷。
- c) 除 a) 的情况外,带有约束构件来承受压力荷载的自约束金属波纹膨胀节(即复式、铰链式和压力平衡式等)及其管道系统需按照本章的要求进行压力试验;如已由制造厂进行过压力试验,则压力试验时可与系统隔离(但不包括敏感性泄漏试验);所有类型膨胀节的约束构件均需在设计上保证其能够承受试验压力下的载荷。

#### 8.6.1.2.4 管道压力试验的隔断

在管道系统压力试验进行期间,不拟进行试验的容器应与管道分离,或者用盲板或其他方法将它与管道隔开,也可采用适合试验压力的阀门(包括其闭合机构)予以切断。

#### 8.6.1.2.5 压力表

试验用压力表应经过校验。在校验有效期内,压力表的精度不应低于 1.6 级,压力表的满刻度值应为最大试验压力的 1.5 倍~2.0 倍。试验时使用的压力表不应少于 2 块,其中至少 1 块压力表安装于液位最高点,且以安装于液位最高点的压力表读数为准。

#### 8.6.1.3 液压试验

液压试验应符合下列规定。

- a) 试验流体一般使用洁净水;当对奥氏体不锈钢管道或者对连有奥氏体不锈钢组成件或容器的管道进行试验时,水中氯离子含量不超过 50 mg/L;如果水对管道或工艺有不良影响并有可能损坏管道时,可使用其他合适的无毒液体;当采用可燃液体进行试验时,其闪点不低于 49 °C,且需考虑到试验周围的环境;试验时流体的温度不低于 5 °C。
- b) 内压管道除 8.6.1.3 e) 规定外,系统中任何一点的液压试验压力均符合以下规定:
  - 1) 不低于 1.5 倍设计压力;
  - 2) 当设计温度高于试验温度时,试验压力不小于公式(54)的计算值。

$$p_T = 1.5pS_1/S_2 \quad \dots\dots\dots(54)$$

式中:

$p_T$ ——试验压力,单位为兆帕(MPa);

$p$ ——设计压力,单位为兆帕(MPa);

$S_1$ ——试验温度下,管子许用应力,单位为兆帕(MPa);

$S_2$ ——设计温度下,管子许用应力,单位为兆帕(MPa)。

- c) 如果管道系统中未包含管子,则可根据其他管道组成件(不包括管道支承件和连接螺栓)的许用应力来确定  $S_1/S_2$  的值;如果管道系统由多种材料组成,则可根据多种材料的  $S_1/S_2$  最小值来确定。
- d) 如果上述规定的试验压力,在试验温度下的周向应力或纵向应力(基于最小管壁厚度)会超过材料屈服强度,或在试验温度下的试验压力大于 1.5 倍管道组成件的额定值,则可将试验压力降低到试验温度下不致超过材料屈服强度或 1.5 倍管道组成件额定值的最大压力。
- e) 管道与容器作为一个系统时,液压试验符合以下规定:
  - 1) 当管道试验压力不大于容器的试验压力时,应按管道的试验压力进行试验;
  - 2) 当管道试验压力大于容器的试验压力,且无法将管道与容器隔开,且容器的试验压力不小于 77%按公式(54)计算所得的管道试验压力时,经建设单位(使用单位)或设计单位同

意,可按容器的试验压力进行试验。

#### 8.6.1.4 气压试验

气压试验应符合下列规定。

- a) 如果采用气压试验,需对管道系统的完整性进行风险评估和危害辨识,气压试验的安全操作程序需经过审核;试验压力大于 1.6 MPa 时,需取得建设单位(使用单位)、设计单位、安装单位同意。
- b) 气压试验时,需将脆性破坏的可能性减少至最小程度,并考虑试验温度的影响;气压试验温度至少要比管道系统材料的最低允许金属温度高 17 °C;材料的最低允许金属温度不明时,试验温度不低于 17 °C;试验系统中不准许包括铸铁等脆性材料。

注:气压试验的储存能量比液压试验增加 2 500 余倍。

- c) 气压试验时,需装有压力泄放装置,其设定压力不高于 1.1 倍的试验压力。
- d) 用作试验的介质需是干燥洁净的空气、氮气或其他不可燃和无毒的气体。
- e) 承受内压的金属管道,气压试验压力不低于 1.1 倍设计压力,同时不超过下列压力的较小者:
  - 1) 1.33 倍设计压力;
  - 2) 不超过管道屈服强度极限时的 90% 试验压力。

注:该管道屈服强度极限:在试验温度下,管道由于压力试验产生的周向应力或纵向应力(基于最小管壁厚度)不超过管道材料屈服强度时,承受的最大应力值极限。

- f) 按以下步骤进行气压试验:
  - 1) 试验前,需进行预试验,预试验的压力宜为 0.2 MPa;
  - 2) 试验时,需逐级缓慢增加压力;当压力升至试验压力的 50% 时,进行初始检查,如未发现异常或泄漏,继续按试验压力的 10% 逐级升压(每级需有足够的保压时间以平衡管道的应变),每级稳压 3 min 直至达到规定的试验压力;再将压力降至设计压力,应用发泡剂检查有无泄漏,停压时间根据查漏工作需要确定。

#### 8.6.1.5 液压-气压试验

如果使用液压-气压结合试验,则应满足 8.6.1.4 的要求,且被液体充填部分管道的压力不应大于 8.6.1.3 的规定。

#### 8.6.1.6 初始运行压力试验

初始运行压力试验应符合下列规定。

- a) 对于 GC3 级管道,经建设单位(使用单位)或设计单位同意,可结合试车,采用管道输送的流体进行压力试验;在管道初始运行时或运行前,压力分级逐渐增加至操作压力,每级需有足够的保压时间以平衡管道的应变;如果输送的流体是蒸汽或气体,则按 8.6.1.4 f) 1) 要求进行预试验。
- b) 在运行压力下,需按照 8.6.1.1.4 a) 的要求进行泄漏检查;对之前按照本章规定进行过试验的接头和连接处可不再进行泄漏检查。

#### 8.6.1.7 压力试验的免除

同时满足下列要求时,可免除压力试验。

- a) 按下述要求进行检查的焊接接头:
  - 1) 环向、纵向以及螺旋焊焊接接头均进行 100% 的射线检测或超声检测;
  - 2) 所有未包括在上述 1) 中的焊接接头,包括与附件连接的焊接接头,均进行 100% 的磁粉或

#### 渗透检测。

- b) 按第 6 章的有关规定,已通过柔性分析的管道系统。
- c) 按 8.6.2.2.3 a) 的要求,已经敏感性泄漏试验合格的管道系统。

### 8.6.1.8 补焊或增焊后的重新试验

8.6.1.8.1 压力试验完成后如需在管道补焊或增焊时应符合第 7 章的规定,相关检查工作应符合本章的规定。

8.6.1.8.2 补焊或增焊部位位于承压管道组成件上时,该组成件所在管段应重新进行压力试验。

8.6.1.8.3 在管道上补焊或增焊吊耳、支架、保温层支承件、铭牌或者其他非承压件时,如同时满足下列要求可不重新进行压力试验:

- a) 附件角焊缝厚度不大于 10 mm,或者采用全焊透焊缝时所连接材料不超过承压管道组成件公称厚度且不大于 12 mm;
- b) 焊接及焊后热处理符合第 7 章的规定;
- c) 焊接接头按照第 8 章要求检查合格。

### 8.6.2 泄漏试验

#### 8.6.2.1 一般要求

8.6.2.1.1 对于输送泄漏危害性介质的管道,压力试验后还应当进行泄漏试验。泄漏试验时,应重点检查阀门填料函、法兰或螺纹连接处、放空阀、排气阀和排水阀等部位。

8.6.2.1.2 泄漏试验包括敏感性泄漏试验和气密性试验,且应按设计文件规定的方法和要求进行。

8.6.2.1.3 按 8.6.1.4 的规定,经气压试验合格且在试验后未经拆卸过的管道系统可不进行泄漏试验。

#### 8.6.2.2 敏感性泄漏试验

8.6.2.2.1 输送 GB/T 42594—2023 中表 1 规定的毒性程度为急性毒性危害类别 1 介质、急性毒性危害类别 2 气体介质的工艺管道应优先采用试验灵敏度不低于  $10^{-5}(\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$  的泄漏检测方法。

8.6.2.2.2 经建设单位(使用单位)、设计单位以及安装单位同意,可采用 8.6.2.3 规定的气密性试验代替敏感性泄漏试验,且以无可察泄漏为合格。

8.6.2.2.3 敏感性泄漏试验的方法和要求包含如下。

- a) 按 NB/T 47013.8—2012 中附录 A 的规定,采用气泡泄漏检测——直接加压技术应满足以下要求:
  - 1) 根据建设单位(使用单位)或设计单位的要求,试验压力值不小于 25% 设计压力;
  - 2) 应将试验压力逐渐增加至 50% 试验压力,然后进行初检,再分级逐渐增加至试验压力,每级需有足够的保压时间以平衡管道的应变;
  - 3) 无重复或连续的气泡出现。
- b) 根据建设单位(使用单位)或设计单位的要求,可采用下列较 a) 检测灵敏度更高的泄漏检测方法:
  - 1) 按 NB/T 47013.8—2012 中附录 C 的要求,采用漏率型检漏仪进行的卤素泄漏检测试验,检测灵敏度不低于  $1 \times 10^{-5}(\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$ ;
  - 2) 按 NB/T 47013.8—2012 中附录 D 的要求,采用氮质谱仪泄漏检测——吸枪技术进行的氮泄漏检测试验,试验气体为氮气或者含 1% 或 10% 氮的混合气体,试验检测灵敏度不低于  $1 \times 10^{-6}(\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$ (如采用混合气体,应按氮的比例相应提高灵敏度);
  - 3) 按 NB/T 47013.8—2012 中附录 E 的要求,采用氮质谱仪泄漏检测——示踪探头技术进

行的氨泄漏检测试验,待检管道或组件内需抽真空,在待检部位外用氨气或者含 1% 或 10% 氨的混合气体吹扫,试验检测灵敏度不低于  $1 \times 10^{-6} (\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$  (如采用混合气体,应按氨的比例相应提高灵敏度);

- 4) 按 NB/T 47013.8—2012 中附录 G 的要求,采用充入 10%~30% 或 1% 氨气进行的氨泄漏检测试验,试验检测压力及方法具体按其标准的规定。
- c) 采用 8.6.2.2.3 b) 1) 和 2) 泄露检测方法时,试验压力应满足以下要求:
  - 1) 根据建设单位(使用单位)或设计单位的要求,试验压力值不小于 105 kPa 与 25% 设计压力的两者较小值;
  - 2) 将试验压力逐渐增加至 170 kPa 与 50% 试验压力的两者较小值,然后进行初检,再分级逐渐增加至试验压力,每级需有足够的保压时间以平衡管道的应变。

### 8.6.2.3 气密性试验

气密性试验压力应为设计压力,真空管道试验压力应为内压 0.1 MPa,试验介质可采用空气。除试验压力外,气密性试验按 8.6.1.4 气压试验的相关要求进行,试验压力大于 1.6 MPa 时,应取得设计单位、建设单位(使用单位)和安装单位的同意。经建设单位(使用单位)或设计单位同意,气密性试验可按最高工作压力或结合试车一并进行。

### 8.6.3 真空度试验

除 8.6.1.1.6 b) 的情况外,真空管道系统在压力试验合格后,还应按设计文件的规定进行 24 h 的真空度试验,增压率不应大于 5%。增压率应按公式(55)计算。

$$\Delta p = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中:

- $\Delta p$  —— 24 h 的增压率,以百分数(%)表示;
- $p_1$  —— 试验初始压力(绝压),单位为兆帕(MPa);
- $p_2$  —— 试验最终压力(绝压),单位为兆帕(MPa)。

## 8.7 记录

按本章和工程设计要求的记录,应由管道的设计单位、制造单位以及制作和安装单位分别负责准备和保存,保存年限应按政府有关规定执行。

## 9 安全防护

### 9.1 基本要求

#### 9.1.1 工业压力管道系统安全防护需考虑下列因素:

- a) 由流体性质以及操作压力和温度确定的流体危险性;
- b) 由管道材料、结构、连接形式及其安全运行经验确定的管道安全性;
- c) 管道一旦发生损坏或泄漏,导致流体的泄漏量及其对周围环境、设备造成的危害程度;
- d) 管道事故对操作人员、维修人员和一切可能接触人员的危害程度。

9.1.2 安全防护设施和措施的选用,宜运用安全保护层理念(见附录 T),综合评估系统本质安全水平、工厂选址和设施布局、系统自动控制及报警、安全联锁和隔离、物料泄漏及监测、火灾报警和消防、工厂安全运行管理等各类保护层对风险削减控制的有效性后确定,控制并降低工业管道及其附件失效引发的风险。

## 9.2 安全泄放装置

### 9.2.1 一般规定

9.2.1.1 安全泄放装置应防止独立压力系统中的任一部分发生超压事故。宜采用各种过程危险性分析(PHA)方法,研究具体工艺过程所有可能的超压场景。识别各种超压场景时,应遵循下列准则:

- a) 任何单个事件是可信的;
- b) 两个顺序发生的相关事件是可信的;
- c) 同时发生的两个或两个以上不相关的独立事件是不可信的。

9.2.1.2 自动控制仪表和报警联锁装置不应替代安全泄放装置作为系统的超压保护设施。当不允许排放或不能安装安全泄放装置时,可通过过程危险性分析方法识别所有的超压场景,采用系统设计方法,即本质安全设计或高完整性保护系统(HIPS),消除系统的超压原因或者进行系统超压保护。

9.2.1.3 符合下列情况的管道系统,应设置安全泄放装置:

- a) 设计压力小于压力源的压力,出口可能被关断或堵塞的设备和管道系统;
- b) 出口可能被关断的容积式泵和容积式压缩机出口管道系统;
- c) 冷却水或回流中断、再沸器输入热量过多而引起超压的蒸馏塔顶气相管道系统;
- d) 不凝气体聚集产生超压的设备和管道系统;
- e) 加热炉出口管道中,切断阀或调节阀的上游管道系统;
- f) 两端切断阀关闭后,受环境温度、阳光辐射或伴热影响,产生热膨胀或汽化的管道系统;
- g) 冷却或搅拌失效、有催化作用的杂质进入、反应抑制剂中断,导致放热反应失控的反应器出口处切断阀上游的管道系统;
- h) 凝汽式汽轮机的蒸汽出口管道系统;
- i) 蒸气发生器等产气设备的出口管道系统;
- j) 低沸点液体(液化气等)容器的出口管道系统;
- k) 管程破裂或泄漏可能导致超压的热交换器低压侧的出口管道系统;
- l) 风扇故障导致冷却负荷下降的空冷器管程的出口管道系统;
- m) 可能暴露于外部火灾的设备和容器的出口管道系统。

9.2.1.4 独立压力系统应在适当的位置设置一个或多个并联的安全泄放装置;安全泄放装置的泄放面积和安全泄放管路口径应满足安全泄放量所需最小泄放面积的要求。

9.2.1.5 安全泄放装置的设置应符合下列规定。

- a) 通过合理设定安全泄放装置的类型、动作压力以及泄放面积(泄放装置的泄放面积应满足系统安全泄放量的要求,详见 9.2.2),确保独立压力系统中积聚压力不超过最大允许积聚压力,并符合表 45、表 46 的限制规定。
  - 1) 当独立压力系统上采用单个泄放装置时,基本安全泄放装置的动作压力不大于系统设计压力或最大允许工作压力(MAWP);考虑非火灾情况下,其独立压力系统的最大允许积聚压力取系统设计压力或 MAWP 的 10% 和 20 kPa 的两者较大值;考虑火灾情况下,其独立压力系统的最大允许积聚压力为系统设计压力或 MAWP 的 21%。
  - 2) 当独立压力系统上采用多个并联泄放装置时,符合如下情况的限制规定:
    - 考虑非火灾情况下,其独立压力系统的最大允许积聚压力取系统设计压力或 MAWP 的 16% 和 30 kPa 的两者较大值;基本安全泄放装置的动作压力不大于系统设计压力或 MAWP,附加安全泄放装置的动作压力不大于系统设计压力或 MAWP 的 105%;
    - 考虑火灾或未知热源而引起超压的情况下,其独立压力系统的最大允许积聚压力为系统设计压力或 MAWP 的 21%;基本安全泄放装置的动作压力不大于系统设计压力

或 MAWP, 附加安全泄放装置的动作压力不大于系统设计压力或 MAWP 的 105%, 辅助安全泄放装置动作压力不大于系统设计压力或 MAWP 的 110%。

表 45 泄放装置动作压力与独立压力系统最大允许积聚压力的限制(采用单个泄放装置)

| 超压场景                  | 泄放装置动作压力 | 独立压力系统最大允许积聚压力                 |
|-----------------------|----------|--------------------------------|
| 非火灾                   | $\leq p$ | $\max[10\% p, 20 \text{ kPa}]$ |
| 火灾或未知热源               | $\leq p$ | $21\% p$                       |
| 注: $p$ 为系统设计压力或 MAWP。 |          |                                |

表 46 泄放装置动作压力与独立压力系统最大允许积聚压力的限制(采用多个并联泄放装置)

| 超压场景                  | 设置情况     | 泄放装置动作压力       | 独立压力系统最大允许积聚压力                 |
|-----------------------|----------|----------------|--------------------------------|
| 非火灾                   | 基本安全泄放装置 | $\leq p$       | $\max[16\% p, 30 \text{ kPa}]$ |
|                       | 附加安全泄放装置 | $\leq 105\% p$ | $\max[16\% p, 30 \text{ kPa}]$ |
| 火灾或未知热源               | 基本安全泄放装置 | $\leq p$       | $21\% p$                       |
|                       | 附加安全泄放装置 | $\leq 105\% p$ | $21\% p$                       |
|                       | 辅助安全泄放装置 | $\leq 110\% p$ | $21\% p$                       |
| 注: $p$ 为系统设计压力或 MAWP。 |          |                |                                |

- b) 单纯管道系统的超压保护, 除 c) 的规定外, 安全泄放装置的动作压力和管道系统中最大允许积聚压力需符合 a) 的规定。
- c) GC2 级和 GC3 级的单纯管道系统超压保护符合以下规定:
- 1) 防止两端关闭的液体管道系统受热膨胀的超压场景, 最大允许积聚压力不大于系统设计压力的 120% 和系统试验压力的两者较小值。
  - 2) 当满足 6.2.3.3 的条件时, 压力泄放导致的压力变动按 6.2.3.4 的规定, 并满足以下要求:
    - 每次不超过 10 h, 且每年累计不超过 100 h, 最大允许积聚压力不超过系统设计压力的 33%;
    - 次不超过 50 h, 且每年累计不超过 500 h, 最大允许积聚压力不超过系统设计压力的 20%。

9.2.1.6 背压限制应符合下列规定。

- a) 安全泄放装置的背压限制如下:
- 1) 普通型安全阀积聚背压不超过设定压力的 10%; 平衡型安全阀总背压不超过设定压力的 50%; 先导型安全阀的操作和泄放量不受背压影响;
  - 2) 爆破片装置通常不受积聚背压的影响, 但变动附加背压可能导致爆破片提前或滞后破裂, 需增设背压或真空支架, 或者在其下游串联爆破片装置或平衡型安全阀;
  - 3) 爆破针阀不受积聚背压的影响, 需设计成不受背压影响的平衡型结构, 以稳定操作。
- b) 安全泄放装置的背压都会提高泄放压力, 需防止背压引起的积聚压力超标造成超压事故。

9.2.2 安全泄放量和所需最小泄放面积的确定

9.2.2.1 典型超压场景下, 安全泄放量按表 47 准则确定:



- a) 当系统的某个部位存在几种超压场景时,应分别计算每种超压场景的安全泄放量,并取其中的最大值为该部位的安全泄放量;
- b) 安全泄放量的计算见附录 U,其中未涉及的其他超压场景的安全泄放量计算,则可参照 ISO 23251。

表 47 典型超压场景下确定安全泄放量准则

| 序号 | 超压原因                                                  | 液体泄放 <sup>a</sup>    | 蒸气泄放 <sup>a</sup>                               |
|----|-------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | 设备出口关闭                                                | 最大液体泵入流量             | 蒸气总进入量,加上泄放条件下产生的水蒸汽和蒸气                         |
| 2  | 冷却器冷却水故障                                              | —                    | 在泄放条件下进入冷凝器的蒸气总量                                |
| 3  | 塔顶回流故障                                                | —                    | 蒸气总进入量,加上泄放条件下产生的蒸气减去被侧线回流冷凝的蒸气                 |
| 4  | 侧线回流故障                                                | —                    | 泄放条件下进入蒸气和排出蒸气之差额                               |
| 5  | 至吸收塔的贫油故障                                             | —                    | 通常没有                                            |
| 6  | 不凝气体的积聚                                               | —                    | 在塔中产生的结果与本表序号 2 相同,在其他设备中产生的结果与本表序号 1 相同        |
| 7  | 高挥发物的进入:<br>a) 水进入热油<br>b) 轻烃进入热油                     | —                    | 采用替代防护方法避免这种情况。见本表序号 15 a)                      |
| 8  | 储罐或缓冲罐装料过满                                            | 最大液体泵入流量             | —                                               |
| 9  | 自动控制故障                                                | —                    | 逐个分析各种情况(如进口和出口控制装置、旁路、故障保持阀位的阀门或节流阀故障)         |
| 10 | 异常工艺热量或蒸气进入:<br>a) 异常工艺热量进入<br>b) 阀门误操作开启<br>c) 节流阀故障 | —                    | 估计因过热产生的最大的蒸气量和不凝气体量                            |
| 11 | 内部爆炸或瞬变压力冲击(如水锤、汽锤或冷凝液锤击)                             | 常规泄压装置不适用            | 常规泄压装置不适用。可燃气体或粉尘爆燃(不包括爆轰)泄放量计算按 GB/T 15605 的规定 |
| 12 | 化学反应                                                  | —                    | 从正常和失控两种条件来估算蒸气产生量,需考虑两相的影响                     |
| 13 | 液体膨胀:<br>a) 冷液体关闭在里面<br>b) 工艺装置区域外部管线液体关闭在里面          | 按被关闭的冷液体受热膨胀确定要求的泄放量 | —                                               |
| 14 | 外部火灾                                                  | —                    | 按暴露于外部池火中设备内液体浸润面积吸收的热量产生蒸气和气体量(按 ISO 23251)    |

表 47 典型超压场景下确定安全泄放量准则（续）

| 序号                                   | 超压原因                                     | 液体泄放 <sup>a</sup>                      | 蒸气泄放 <sup>a</sup>                        |
|--------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 15                                   | 传热设备故障：<br>a) 换热器管子破裂<br>b) 套管<br>c) 板和框 | 穿过破裂处的液体流量<br>等于 1 根管子内横截面<br>积 2 倍的流量 | 穿过破裂处的蒸气流量等于 1 根管子内横截<br>面积 2 倍的流量       |
| 16                                   | 动力故障(水蒸气、电或其他)：                          | —                                      | 分析装置情况，以确定动力故障的影响，按<br>可能出现的最坏情况来确定安全泄放量 |
|                                      | a) 蒸馏塔                                   | —                                      | 所有的泵失效，导致回流和冷却水故障                        |
|                                      | b) 反应器                                   | —                                      | 考虑搅拌或搅动、淬冷或抑制物流故障，按<br>失控反应产生的蒸气确定安全泄放量  |
|                                      | c) 空冷器                                   | —                                      | 风扇故障，按正常和紧急事故的负荷差额确<br>定安全泄放量            |
|                                      | d) 缓冲罐                                   | 最大液体进入流量                               | —                                        |
| 注：“—”表示暂不适用。                         |                                          |                                        |                                          |
| <sup>a</sup> 需考虑泄放压力高于操作压力而引起泄放量的减少。 |                                          |                                        |                                          |

9.2.2.2 所需最小泄放面积可参照附录 U 进行计算。

9.2.3 安全泄放装置进、出口阀门和管道的设置

9.2.3.1 安全泄放装置的进、出口不宜安装切断阀。确因安全泄放装置检测、维修需要安装时，应满足下列要求：

- a) 切断阀采用全通径结构，或压力降不影响安全泄放装置的正常工作和安全泄放量；
- b) 安全泄放装置正常工作时，切断阀需锁定或铅封在全开位置。

9.2.3.2 安全泄放装置入口管道满足下列要求：

- a) 管径不应小于安全泄放装置的进口尺寸，管道长度尽可能短；管道不可回收的总压力降不宜超过安全阀设定压力的 3%；
- b) 在容积式压缩机排出口管道上安装安全泄放装置时，阻尼器或孔板至安全泄放装置的直管段距离不应小于 10 倍管径。

9.2.3.3 安全泄放装置的出口管道满足下列要求：

- a) 泄放至大气的管道出口位于安全地点，安全泄放装置、泄放管道及其支承需有足够的强度承受泄放反力；
- b) 排放至密闭系统(排气筒、火炬系统、收集容器或其他处理系统)的出口管道和泄放总管背压不应超过安全泄放装置允许的最大背压；
- c) 需考虑液化气等低沸点液体降压闪蒸时产生骤冷对管道材料的低温脆断影响。

9.2.4 安全泄放装置的选用

9.2.4.1 安全泄放装置应计及泄放介质、过程超压场景以及安全泄放装置的性能，选用合适的安全泄放装置形式(见附录 V)。安全泄放装置的选用应符合相关标准的规定。

9.2.4.2 安全泄放装置产品应符合 TSG ZF001、TSG ZF003、GB/T 567.1~GB/T 567.4、GB/T 12242 等相关标准的规定。



9.3 阻火器

9.3.1 阻火器的应用

9.3.1.1 阻火器产品和应用应符合 ISO/IEC 80079-49、GB 5908 等相关标准的规定。

9.3.1.2 在工艺装置中,有大量潜在爆炸性环境的非电气设备以及管道系统。阻火器是非电气设备防爆的主要安全防护装置,具有防止爆炸、阻止爆炸通过管道蔓延以及防止爆燃发展成爆轰的作用。阻火器的类别和选用见附录 W。

9.3.2 阻火器设置

下列设备和管道系统,经设计评估无堵塞风险时,应设置阻火器:

- a) 可燃液体常压储罐,以及液态烃、LNG 等低温储罐的通气口和呼吸阀进、出口及其气相连通管;
- b) 火炬、焚烧炉、氧化炉等燃烧设备入口;
- c) 有持续点燃源和 0 区的风机、真空泵、压缩机等机械设备进、出口;
- d) 装卸可燃液体或气体终端站、槽船和槽罐车的呼吸阀,以及气体置换和平衡管线;
- e) 沼气系统、污水处理和垃圾填埋气系统中间气体储罐的呼吸阀以及气体总管;
- f) 加工可燃化学品的并联设备系统(如反应器)、可燃溶剂回收系统、可燃气体和蒸气回收系统、可燃尾气处理系统的单台设备或系统的气体 and 蒸气出口,以及集合总管进入火炬、焚烧炉、氧化炉、活性炭吸附槽等处理设备进口;
- g) 可能发生失控放热反应、自燃、自分解的反应器或容器至大气或不耐爆炸压力的容器的出口;
- h) 输送可能发生爆燃或爆轰的爆炸性气体和蒸气的管道系统;
- i) 可燃气体在线分析设备的放空总管;
- j) 进入爆炸性气体环境危险区域的内燃发动机的排气总管。

9.3.3 可燃气体和蒸气的 MESG 和爆炸级别

按 MESG 数值将可燃气体和蒸气分为七个爆炸级别,如表 48 所示。阻火器的间隙应小于可燃气体和蒸气的 MESG 值。纯组分与多组分可燃气体与蒸气的 MESG 和爆炸级别见附录 X。

表 48 爆炸级别和相对应的 MESG 及试验气体

| 爆炸级别  | MESG<br>mm | 空气中试验气体体积分数<br>% |
|-------|------------|------------------|
| II A1 | ≥1.14      | 甲烷 8.4±0.2       |
| II A  | >0.90      | 丙烷 4.2±0.2       |
| II B1 | ≥0.85      | 乙烯 5.2±0.2       |
| II B2 | ≥0.75      | 乙烯 5.7±0.2       |
| II B3 | ≥0.65      | 乙烯 6.6±0.3       |
| II B  | ≥0.5       | 氢 45.0±0.5       |
| II C  | <0.5       | 氢 28.5±2.0       |

## 9.4 其他安全保护装置

### 9.4.1 火灾紧急切断阀

9.4.1.1 火灾紧急切断阀应通过易熔塞实现阀门火灾场景下的切断,实现机械物理隔离,其密封等级、关断时间应满足工艺要求。

9.4.1.2 火灾紧急切断阀应满足现场防火、防爆、防雷、防静电、防腐蚀、防振动等要求。

### 9.4.2 机械联锁装置

9.4.2.1 机械联锁是防范因人为失误造成重大事故的高完整性安全保护装置。产品应符合 GB/T 15706 等相关标准的规定。

9.4.2.2 下列情况如在运行和维修时操作失误,可能会导致重大事故,宜设置机械联锁装置:

- a) 安全泄放装置进、出口切断阀运行和维修操作;
- b) 火炬系统气体排放和气体回收切换阀及放空阀运行与维修操作;
- c) 聚乙烯装置脱气仓与高压氮气罐之间切断阀运行和维修操作;
- d) 醋酸乙烯-乙烯共聚乳液(VAE)充氮阀运行和维护操作;
- e) 间歇和半间歇反应釜多种物料加料阀和分段程序加料阀操作。

## 9.5 其他安全防护措施

9.5.1 在脆性材料管道系统或法兰、接头、阀盖、仪表或视镜处应设置保护罩,以限制和减小泄漏的危害程度。

9.5.2 当充满液体的管道可能发生“水锤”现象,或者当可压缩性流体的管道可能发生“汽锤”的情况下,宜根据流体力学分析结果,采取适当的防护措施。

9.5.3 不应在可通行的管沟内布置 GC1 级管道。

9.5.4 当蒸汽、空气、氮气等公用工程管道与 GC1 级、GC2 级管道连接时,应符合下列规定:

- a) 连续使用的公用工程管道上需设止回阀,并在其根部设切断阀;
- b) 间歇使用的公用工程管道上需设两道切断阀,并在两阀间设检查阀。

附 录 A  
(规范性)

压力管道中介质毒性、易燃性和腐蚀性分类

A.1 一般规定

A.1.1 压力管道中介质的危害和危险程度、分类原则以及定义是以 GB/T 42594 和 GB 30000(所有部分)的规定为基础确定。管道中常见介质主要危害类别或等级按 GB/T 42594—2023 附录 A 确定,以急性毒性为分类结果的类别即表内“/”左侧的类别。

A.1.2 介质危害性指在生产和储存过程中因事故泄漏致使介质与人体接触、发生爆炸、燃烧、火灾引起的健康危害和安全危险程度,用介质的毒性以及易燃性表示,其危害和危险程度的划分分别按 A.2.2 和 A.2.3 的规定确定,介质的腐蚀性按 A.2.4 的规定确定。

A.1.3 一种化学介质可能存在多种危害和危险种类,应分别按照 GB 30000(所有部分)进行评估,确定其危害程度或危险性,以高者为基准。

A.1.4 A.2.2 列入的急性毒性介质(类别 1、类别 2、类别 3)视为有毒的危险性介质;A.2.3 列入的易燃气体(类别 1、类别 2、化学不稳定气体类别 A、类别 B)和易燃液体(类别 1、类别 2、类别 3 和工作温度高于其闪点的易燃液体类别 4)视为易燃的危险性介质;A.2.2 和 A.2.3 的混合物应视为有毒、易燃的危险性介质;A.2.4 列入的化学介质应视为腐蚀性介质。

A.1.5 介质危害类别应按 A.2.2、A.2.3、A.2.4 确定,当设计单位或者建设单位(使用单位)对于某类介质有长期使用和管理经验时,经设计单位技术负责人同意,建设单位(使用单位)技术负责人确认,可以调整该类介质的危害类别。

A.2 介质分类

A.2.1 毒性介质

A.2.1.1 有毒介质和急性毒性

按照 GB/T 42594 的规定,压力管道涉及的有毒介质应当根据其急性毒性进行分类,如表 A.1 所示。

表 A.1 介质急性毒性类别

| 接触途径                                                                                                                                                                                                                                                               |            | 类别 1  | 类别 2 | 类别 3   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|------|--------|
| 经口 LD <sub>50</sub>                                                                                                                                                                                                                                                | mg/kg(按体重) | ≤5    | ≤50  | ≤300   |
| 经皮 LD <sub>50</sub>                                                                                                                                                                                                                                                | mg/kg(按体重) | ≤50   | ≤200 | ≤1 000 |
| 吸入气体 LC <sub>50</sub>                                                                                                                                                                                                                                              | mmpV       | ≤100  | ≤500 | ≤2 500 |
| 吸入蒸汽 LC <sub>50</sub>                                                                                                                                                                                                                                              | mg/L       | ≤0.5  | ≤2.0 | ≤10    |
| 吸入粉尘和烟雾 LC <sub>50</sub>                                                                                                                                                                                                                                           | mg/L       | ≤0.05 | ≤0.5 | ≤1.0   |
| <p>注 1: LC<sub>50</sub>(50%致死浓度):化学品在空气中或水中造成一组试验动物 50%(一半)死亡的浓度。</p> <p>注 2: LD<sub>50</sub>:一次全部给予造成一组试验动物 50%(一半)死亡的化学品数量。</p> <p>注 3:表中的吸入临界值以 4 h 接触试验为基础,根据 1 h 接触产生的现有吸入毒性数据的换算:对于气体和蒸汽,除以因子 2,对于粉尘和烟雾,除以因子 4。</p> <p>注 4:《危险化学用品目录》中注明的剧毒介质视为急性毒性类别 1。</p> |            |       |      |        |

A.2.1.2 混合物的毒性

混合物(介质)的毒性应当按照 GB/T 42594 中规定的混合物分类标准进行评估。

A.2.2 易燃易爆介质

A.2.2.1 易燃气体

按照 GB/T 42594 的规定,压力管道涉及的易燃气体分类如表 A.2 所示。

表 A.2 易燃气体<sup>a</sup>

| 类别                         | 判据                                                                                                      |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                          | 在 20 ℃ 和标准大气压 101.3 kPa 下：<br>a) 在与空气的混合物中,体积分数为 13%或更少时可点燃的气体;或<br>b) 易燃性下限不限,与空气混合,可燃范围至少为 12 个百分点的气体 |
| 2                          | 在 20 ℃ 和标准大气压 101.3 kPa 时,除类别 1 中的气体之外,与空气混合时有易燃范围的气体                                                   |
| <sup>a</sup> 气溶胶不应分类为易燃气体。 |                                                                                                         |

A.2.2.2 化学不稳定性气体

按照 GB/T 42594 的规定,压力管道涉及的化学不稳定性气体分类如表 A.3 所示。

表 A.3 化学不稳定性气体

| 类别 | 判据                                          |
|----|---------------------------------------------|
| A  | 在 20 ℃ 和标准大气压 101.3 kPa 时化学性质不稳定性的易燃气体      |
| B  | 在温度超过 20 ℃ 和/或气压高于 101.3 kPa 时化学性质不稳定性的易燃气体 |

A.2.2.3 易爆介质

按照 GB/T 42594 的规定,压力管道中易燃气体或者液体的蒸气、薄雾与空气混合形成的爆炸混合物,且爆炸下限小于 10%,或者爆炸上限和爆炸下限的差值大于或者等于 20%时,为易爆介质。气体或者液体的蒸气、薄雾与空气或氧气形成的混合物遇火源发生爆炸,能使火焰蔓延的最低浓度,称作爆炸下限;能使火焰蔓延的最高浓度,称作爆炸上限。

A.2.2.4 易燃液体

按照 GB/T 42594 的规定,压力管道涉及的易燃液体分类如表 A.4 所示。

表 A.4 易燃液体<sup>a</sup>

| 类别 | 判据 <sup>b,c,d</sup>     |
|----|-------------------------|
| 1  | 闪点小于 23 ℃ 且初始沸点不大于 35 ℃ |
| 2  | 闪点小于 23 ℃ 且初始沸点大于 35 ℃  |
| 3  | 闪点大于或等于 23 ℃ 且不大于 60 ℃  |

表 A.4 易燃液体<sup>a</sup>(续)

| 类别                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 判据 <sup>b,c,d</sup>                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 闪点大于或等于 60 ℃且不大于 93 ℃(工作温度大于闪点的易燃液体) |
| <p><sup>a</sup> 气溶胶不属于易燃液体,工作温度大于其闪点的易燃液体类别 3 视为易燃液体类别 2。</p> <p><sup>b</sup> 为了某些管理目的,可将闪点范围在 55 ℃~75 ℃的瓦斯油、柴油和取暖用轻油视为特定组别。</p> <p><sup>c</sup> 为了某些管理目的(如运输),某些黏性易燃液体,如色漆、磁漆、喷漆、清漆、粘合剂和抛光剂等,可视为特定组别。根据有关法规标准,可以将其归类为非易燃液体。</p> <p><sup>d</sup> 对于闪点高于 35 ℃但不超过 60 ℃的液体,如果在联合国《关于危险货物运输的建议书 试验和标准手册》规定的持续燃烧试验中得到否定结果,为了某些管理目的可不视为易燃液体。</p> |                                      |

A.2.2.5 混合物的易燃性

混合物(介质)的易燃性按相应 GB/T 42594 的规定进行确定,GB/T 42594 未包含的其他易燃介质(见 A.2.5.2)按 GB 30000(所有部分)的相应标准规定进行确定。

A.2.3 腐蚀性介质

压力管道中的腐蚀性介质是指符合 GB 30000.17 中类别 1 的金属腐蚀物,即在试验温度 55 ℃下,钢或者铝表面的腐蚀速率超过每年 6.25 mm 的化学介质。如果对钢或铝进行的第一个试验表明,接受试验的物质或混合物具有腐蚀性,则无须再对另一金属作试验。

A.2.4 其他介质

A.2.4.1 其他有毒介质

指 GB/T 42594 未包含的皮肤腐蚀(见 GB 30000.19)、眼损伤(见 GB 30000.20)、呼吸道或者皮肤致敏(见 GB 30000.21)、生殖突变(见 GB 30000.22)、致癌性(见 GB 30000.23)、生殖毒性(见 GB 30000.24)、靶器官毒性(见 GB 30000.25 和 GB 30000.26)、吸入危害(见 GB 30000.27)、环境危害(见 GB 30000.28 和 GB 30000.29)以及未列入表 A.1 介质的急性毒性类别 4、类别 5 等具有健康或者环境危害的介质。

A.2.4.2 其他易燃介质

指 GB/T 42594 包含的爆炸物、自反应物、自燃液体、自燃固体、遇水放出易燃气体、氧化性气体、氧化性液体、有机过氧化物和加压气体以及 GB/T 42594 未包含的气溶胶(见 GB 30000.4)、易燃固体(见 GB 30000.8)、自热液体(见 GB 30000.12)、氧化性固体(见 GB 30000.15)等具有燃烧和爆炸危险性的介质。

A.2.4.3 无毒、不可燃、无腐蚀性介质

指毒性、易燃性和腐蚀性低于 A.2.2、A.2.3、A.2.4 以及 A.2.5.1 和 A.2.5.2 的流体介质(不包括液化气体、蒸汽和氧气)。

附 录 B  
(规范性)  
材料牌号和许用应力

### B.1 许用应力

表 B.1 给出了满足第 5 章要求的材料牌号和许用应力。

### B.2 螺栓许用应力

表 B.2 给出了满足第 5 章要求的螺栓材料牌号和许用应力。

### B.3 纵向焊接接头系数

表 B.3 给出了表 B.1 所列管子与对焊管件的纵向焊接接头质量系数  $\Phi_w$ , 管子与对焊管件的纵向焊接接头质量系数  $\Phi_w$  应符合 6.2.5 的规定。

### B.4 铸件质量系数

表 B.4 给出了表 B.1 所列铸件的铸件质量系数  $\Phi_c$ , 铸件质量系数  $\Phi_c$  应符合 6.2.6 的规定。

### B.5 表 B.1 许用应力的使用说明

表 B.1 许用应力表的使用符合下列规定。

- a) 表 B.1 中的许用应力未计入管子和对焊管件的纵向焊接接头质量系数  $\Phi_w$ 、焊接接头高温强度降低系数  $W$  以及铸件质量系数  $\Phi_c$ ; 焊接接头高温强度降低系数  $W$  应符合 6.2.7 的规定;
- b) 压缩、剪切、接触应力应符合 6.2.4.4 和 6.2.4.5 的规定;
- c) 表 B.1 未列温度的许用应力可采用内插法计算确定;
- d) 低于 40 °C 的许用应力取 40 °C 的值;
- e) 表列斜体许用应力值取决于抗拉强度; 黑体取决于长期(持久、蠕变)强度; 正体取决于屈服强度; 正体加下横线取决于 90% 中温屈服强度; 正体加灰底色表示许用应力值高于 2/3 中温屈服强度;
- f) 表列正体加下横线以及 正体加灰底色 许用应力值均适用于奥氏体不锈钢和镍及镍合金的设计计算, 但用于非标法兰或按 6.7.5.4.2 计算时应将该值乘以 75% (正体加下横线值) 或者适当降低(正体加灰底色值);
- g) 材料使用温度上限及对应的许用应力按表列所示(非表头所示温度), 超过表列使用温度上限时, 本文件暂未提供对应材料的许用应力值, 但需符合第 5 章的有关规定, 可参照附录 D 进行材料设计和选用;
- h) 材料最低使用温度按表列温度或图 1 所示曲线, 数字表示最低使用温度, 英文字母 A 或 B 表示图 1 中的对应曲线, 材料尚需满足 5.5 以及对应注解的要求。

### B.6 其他材料

表 B.1 和表 B.2 列举的是工业管道常用的典型材料标准及牌号(状态), 其他类似材料标准及牌号(状态)的使用应符合本文件 5.1.2.2 和 5.2 的规定。

表 B.1 材料许用应力表

| 标准           | 牌号等级      | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----------|-------------------|------|------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|              |           |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
|              |           |                   |      |                        |             |                             |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 |    | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 |
| 1 铸铁         |           |                   |      |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 1.1 灰铸铁      |           |                   |      |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
| GB/T 9439    | HT200     | —                 | —    | —10                    | 200         | —                           | 230         | 20                    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | a,c |
| GB/T 9439    | HT250     | —                 | —    | —10                    | 250         | —                           | 230         | 25                    | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | a,c |
| GB/T 9439    | HT300     | —                 | —    | —10                    | 300         | —                           | 230         | 30                    | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | a,c |
| GB/T 9439    | HT350     | —                 | —    | —10                    | 350         | —                           | 230         | 35                    | 35  | 35  | 35  | 35  | 35  | 35  | 35  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | a,c |
| 1.2 可锻铸铁(黑芯) |           |                   |      |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
| GB/T 9440    | KTH300-06 | —                 | —    | —20                    | 300         | —                           | 300         | 60                    | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | a,c |
| GB/T 9440    | KTH350-10 | —                 | —    | —20                    | 350         | 200                         | 300         | 70                    | 70  | 70  | 70  | 70  | 70  | 70  | 70  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | a,c |
| 1.3 球墨铸铁     |           |                   |      |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
| GB/T 1348    | QT400-18  | —                 | —    | 0                      | 400         | 250                         | 350         | 133                   | 133 | 129 | 124 | 118 | 113 | 106 | 100 | 95  | 91  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | b,c |
| GB/T 1348    | QT400-18L | —                 | —    | —20                    | 400         | 250                         | 350         | 133                   | 133 | 129 | 124 | 118 | 113 | 106 | 100 | 95  | 91  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | b,c |
| 2 碳钢(包括碳锰钢)  |           |                   |      |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 2.1 无缝管      |           |                   |      |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
| GB/T 3087    | 10        | ≤16               | Fe-1 | B                      | 335         | 205                         | 593         | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112 | 112 | 108 | 105 | 97  | 97  | 97  | 97  | 97  | 97  | 97  | 97  | 97  | 97  | 97  | 97 | 97  | 97  | 97  | 97  | 97  | d   |     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准        | 牌号等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |                |                |     | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|------|-----------------------|----------|--------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|----------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           |      |                       |          |                                | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |     |     |     |     |     |     |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |                |                |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|           |      |                       |          |                                |             |                             |                     | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325  | 350   | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575            | 600            | 625 |    | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 |
| GB/T 3087 | 10   | >16                   | Fe-1     | B                              | 335         | 195                         | 593                 | 112                   | 112 | 112 | 110 | 106 | 102 | 96  | 94   | 191.2 | 84.3 | 73.3 | 64.0 | 55.8 | 43.9 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40           | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d   |
| GB/T 6479 | 10   | ≤16                   | Fe-1     | B                              | 335         | 205                         | 593                 | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 108 | 105 | 97.0 | 84.3  | 73.3 | 64.0 | 55.8 | 43.9 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d.i |
| GB/T 6479 | 10   | >16<br>~40            | Fe-1     | B                              | 335         | 195                         | 593                 | 112                   | 112 | 112 | 110 | 106 | 102 | 96  | 94   | 191.2 | 84.3 | 73.3 | 64.0 | 55.8 | 43.9 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40           | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d.i |
| GB/T 6479 | 10   | >40                   | Fe-1     | B                              | 335         | 185                         | 593                 | 112                   | 112 | 112 | 110 | 106 | 102 | 96  | 94   | 191.2 | 84.3 | 73.3 | 64.0 | 55.8 | 43.9 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40           | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d.i |
| GB/T 8163 | 10   | 全部                    | Fe-1     | B                              | 335         | 205                         | 593                 | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 108 | 105 | 97.0 | 84.3  | 73.3 | 64.0 | 55.8 | 43.9 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d   |
| GB/T 9948 | 10   | 全部                    | Fe-1     | B                              | 335         | 205                         | 593                 | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 108 | 105 | 97.0 | 84.3  | 73.3 | 64.0 | 55.8 | 43.9 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d   |
| GB/T 3087 | 20   | ≤16                   | Fe-1     | B                              | 410         | 245                         | 593                 | 137                   | 137 | 137 | 137 | 137 | 132 | 126 | 122  | 118   | 113  | 95.1 | 79.5 | 62.6 | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40           | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d   |
| GB/T 3087 | 20   | >16                   | Fe-1     | B                              | 410         | 235                         | 593                 | 137                   | 137 | 137 | 137 | 137 | 132 | 126 | 122  | 118   | 113  | 95.1 | 79.5 | 62.6 | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40           | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d   |
| GB/T 5310 | 20G  | 全部                    | Fe-1     | B                              | 410         | 245                         | 593                 | 137                   | 137 | 137 | 137 | 137 | 132 | 126 | 122  | 118   | 113  | 95.1 | 79.5 | 62.6 | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40           | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d   |
| GB/T 6479 | 20   | ≤16                   | Fe-1     | B                              | 410         | 245                         | 593                 | 137                   | 137 | 137 | 137 | 137 | 132 | 126 | 122  | 118   | 113  | 95.1 | 79.5 | 62.6 | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40           | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d.i |



表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准        | 牌号等级             | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |                 |      |      |      |      |      |     |                 | 脚注              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |
|-----------|------------------|-------------------|------|------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----------------|------|------|------|------|------|-----|-----------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
|           |                  |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p}0.2}$ ) |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |                 |      |      |      |      |      |     |                 |                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |
|           |                  |                   |      |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |                 |      |      |      |      |      |     |                 |                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |
|           |                  |                   |      |                        |             |                                             |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400  | 425   | 450             | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600 | 625             |                 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875   | 900 |
| GB/T 6479 | 20               | >16<br>~40        | Fe-1 | B                      | 410         | 235                                         | 593         | 137                   | 137 | 137 | 137 | 137 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 179.5 | 62.6            | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 0   | 6.89<br>(593 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,i   |     |
| GB/T 6479 | 20               | >40               | Fe-1 | B                      | 410         | 225                                         | 593         | 137                   | 137 | 137 | 134 | 130 | 126 | 121 | 115 | 111 | 108 | 105  | 88.9  | 75.3            | 62.7 | 45.5 | 31.6 | 21.9 | 12.7 | 9.4 | 0               | 6.89<br>(593 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | d,i |
| GB/T 8163 | 20               | 全部                | Fe-1 | B                      | 410         | 245                                         | 593         | 137                   | 137 | 137 | 137 | 137 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 179.5 | 62.6            | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 0   | 6.89<br>(593 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d     |     |
| GB/T 9948 | 20               | 全部                | Fe-1 | B                      | 410         | 245                                         | 593         | 137                   | 137 | 137 | 137 | 137 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 179.5 | 62.6            | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 0   | 6.89<br>(593 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d     |     |
| YB/T 4173 | 20G              | 全部                | Fe-1 | B                      | 410         | 245                                         | 593         | 137                   | 137 | 137 | 137 | 137 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 179.5 | 62.6            | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 0   | 6.89<br>(593 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d     |     |
| GB/T 5310 | 20MnG            | 全部                | Fe-1 | B                      | 415         | 240                                         | 593         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 179.5 | 62.6            | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 0   | 6.89<br>(593 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d     |     |
| YB/T 4173 | 20MnG            | 全部                | Fe-1 | B                      | 415         | 240                                         | 593         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 179.5 | 62.6            | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 0   | 6.89<br>(593 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d     |     |
| GB/T 9711 | L245/B<br>(PSL1) | 全部                | Fe-1 | B                      | 415         | 245                                         | 593         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 179.5 | 62.6            | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 0   | 6.89<br>(593 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,g   |     |
| GB/T 9711 | L245/B<br>(PSL2) | 全部                | Fe-1 | —30                    | 415         | 245                                         | 593         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 179.5 | 62.6            | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 0   | 6.89<br>(593 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,g,i |     |
| GB/T 8163 | Q345A            | 全部                | Fe-1 | B                      | 470         | 345                                         | 427         | 157                   | 157 | 157 | 157 | 157 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101  | 83.8  | 82.7<br>(427 ℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —               | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     |     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准        | 牌号等级               | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |                 |     |     |     |     |     |     |     | 脚注  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|-----------|--------------------|-----------------------|----------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|           |                    |                       |          |                                 | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|           |                    |                       |          |                                 |             |                             |                     | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425  | 450             | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 |     | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |   |
| GB/T 5310 | 25MnG              | 全部                    | Fe-1     | B                               | 485         | 275                         | 427                 | 162                   | 162 | 162 | 162 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101 | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| YB/T 4173 | 25MnG              | 全部                    | Fe-1     | B                               | 485         | 275                         | 427                 | 162                   | 162 | 162 | 162 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101 | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 6479 | Q345B              | ≤16                   | Fe-1     | B                               | 490         | 345                         | 427                 | 163                   | 163 | 163 | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101 | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 6479 | Q345B              | >16<br>~40            | Fe-1     | B                               | 490         | 335                         | 427                 | 163                   | 163 | 163 | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101 | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 6479 | Q345B              | >40                   | Fe-1     | B                               | 490         | 325                         | 427                 | 163                   | 163 | 163 | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101 | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 6479 | Q345D              | ≤16                   | Fe-1     | —20                             | 490         | 345                         | 427                 | 163                   | 163 | 163 | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101 | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 6479 | Q345D              | >16<br>~40            | Fe-1     | —20                             | 490         | 335                         | 427                 | 163                   | 163 | 163 | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101 | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 6479 | Q345D              | >40                   | Fe-1     | —20                             | 490         | 325                         | 427                 | 163                   | 163 | 163 | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101 | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 9711 | L290/X42<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                             | 415         | 290                         | 204                 | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138  | 138             | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | g,h |     |   |
| GB/T 9711 | L360/X52<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                             | 460         | 360                         | 204                 | 153                   | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153  | 153             | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | g,h |     |   |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准          | 牌号等级               | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |               |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 脚注 |     |     |
|-------------|--------------------|-------------------|------|------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
|             |                    |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |             |                       |     |     |     |     |               |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |
|             |                    |                   |      |                        |             |                             |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250           | 300 | 325 | 350 | 375  | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 |    | 850 | 875 |
| GB/T 9711   | L415/X60<br>(PSL2) | 全部                | Fe-1 | -30                    | 520         | 415                         | 204         | 173                   | 173 | 173 | 173 | 173 | 173<br>(204℃) |     | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | g,h |     |
| GB/T 9711   | L450/X65<br>(PSL2) | 全部                | Fe-1 | -30                    | 535         | 450                         | 204         | 178                   | 178 | 178 | 178 | 178 | 178<br>(204℃) |     | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | g,h |     |
| GB/T 9711   | L485/X70<br>(PSL2) | 全部                | Fe-1 | -30                    | 570         | 485                         | 204         | 190                   | 190 | 190 | 190 | 190 | 190<br>(204℃) |     | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | g,h |     |
| GB/T 9711   | L555/X80<br>(PSL2) | 全部                | Fe-1 | -30                    | 625         | 555                         | 204         | 208                   | 208 | 208 | 208 | 208 | 208<br>(204℃) |     | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | g,h |     |
| 2.2 焊管(ERW) |                    |                   |      |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |               |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |
| GB/T 3091   | Q215A              | ≤16               | Fe-1 | A                      | 335         | 215                         | 350         | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112           | 112 | 108 | 105 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | f   |
| GB/T 3091   | Q215A              | >16               | Fe-1 | A                      | 335         | 205                         | 350         | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112           | 112 | 108 | 105 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | f   |
| GB/T 13793  | Q215A              | 全部                | Fe-1 | A                      | 335         | 215                         | 350         | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112           | 112 | 108 | 105 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | f   |
| GB/T 3091   | Q215B              | ≤16               | Fe-1 | B                      | 335         | 215                         | 350         | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112           | 112 | 108 | 105 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | f   |
| GB/T 3091   | Q215B              | >16               | Fe-1 | B                      | 335         | 205                         | 350         | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112           | 112 | 108 | 105 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | f   |
| GB/T 13793  | Q215B              | 全部                | Fe-1 | B                      | 335         | 215                         | 350         | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112           | 112 | 108 | 105 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | f   |
| GB/T 9711   | L210/A<br>(PSL1)   | 全部                | Fe-1 | B                      | 335         | 210                         | 350         | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112           | 112 | 108 | 105 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | g   |
| GB/T 3091   | Q235A              | ≤16               | Fe-1 | A                      | 370         | 235                         | 350         | 123                   | 123 | 123 | 123 | 123 | 123           | 123 | 118 | 115 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | f   |
| GB/T 3091   | Q235A              | >16               | Fe-1 | A                      | 370         | 225                         | 350         | 123                   | 123 | 123 | 123 | 123 | 123           | 123 | 118 | 115 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | f   |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准               | 牌号等级               | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |                |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|------------------|--------------------|-----------------------|----------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|                  |                    |                       |          |                                 | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300            | 325 | 350 | 375  | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 |    | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |   |
|                  |                    |                       |          |                                 |             |                             |                     |                       |     |     |     |     |     |                |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| GB/T 13793       | Q235A              | 全部                    | Fe-1     | A                               | 370         | 235                         | 350                 | 123                   | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 | 123            | 118 | 115 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | f |
| GB/T 3091        | Q235B              | ≤16                   | Fe-1     | B                               | 370         | 235                         | 350                 | 123                   | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 | 123            | 118 | 115 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | f |
| GB/T 3091        | Q235B              | >16                   | Fe-1     | B                               | 370         | 225                         | 350                 | 123                   | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 | 123            | 118 | 115 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | f |
| GB/T 13793       | Q235B              | 全部                    | Fe-1     | B                               | 370         | 235                         | 350                 | 123                   | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 | 123            | 118 | 115 | 97.0 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | f |
| GB/T 9711        | L245/B<br>(PSL1)   | 全部                    | Fe-1     | B                               | 415         | 245                         | 350                 | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 132            | 126 | 122 | 118  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g |
| GB/T 9711        | L290/X42<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                             | 415         | 290                         | 204                 | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138<br>(204 ℃) |     | —   | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| GB/T 9711        | L360/X52<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                             | 460         | 360                         | 204                 | 153                   | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153<br>(204 ℃) |     | —   | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| GB/T 9711        | L415/X60<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                             | 520         | 415                         | 204                 | 173                   | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173<br>(204 ℃) |     | —   | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| GB/T 9711        | L450/X65<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                             | 535         | 450                         | 204                 | 178                   | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178<br>(204 ℃) |     | —   | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| 2.3 板焊管(EFW/SAW) |                    |                       |          |                                 |             |                             |                     |                       |     |     |     |     |     |                |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| GB/T 3091        | Q215A              | ≤16                   | Fe-1     | A                               | 335         | 215                         | 350                 | 112                   | 112 | 112 | 112 | 112 | 112 | 112            | 108 | 105 | 101  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | f   |   |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准        | 牌号等级  | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 脚注  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-------|-------------------|------|------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           |       |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|           |       |                   |      |                        |             |                                             |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 |     | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| GB/T 3091 | Q215A | >16               | Fe-1 | A                      | 335         | 205                                         | 350         | I12                   | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 | I12 |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级               | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |                |     | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|--------------------|-----------------------|----------|--------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            |                    |                       |          |                                | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |                |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|            |                    |                       |          |                                |             |                             |                     | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600            | 625 |    | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |
| GB/T 32970 | Q345R              | ≤16                   | Fe-1     | B                              | 510         | 345                         | 593                 | 170                   | 170 | 159 | 154 | 150 | 144 | 136 | 132 | 128 | 122 | 101 | 83.8 | 67.1 | 51.0 | 33.6 | 21.3 | 12.9 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,j |
| GB/T 32970 | Q345R              | >16<br>~36            | Fe-1     | B                              | 500         | 325                         | 593                 | 167                   | 167 | 159 | 154 | 150 | 144 | 136 | 132 | 128 | 122 | 101 | 83.8 | 67.1 | 51.0 | 33.6 | 21.3 | 12.9 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,j |
| GB/T 32970 | Q345R              | >36<br>~60            | Fe-1     | B                              | 490         | 315                         | 593                 | 163                   | 163 | 159 | 154 | 150 | 144 | 136 | 132 | 128 | 122 | 101 | 83.8 | 67.1 | 51.0 | 33.6 | 21.3 | 12.9 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,j |
| GB/T 32970 | Q345R              | >60<br>~75            | Fe-1     | B                              | 490         | 305                         | 593                 | 163                   | 163 | 159 | 154 | 150 | 144 | 136 | 132 | 128 | 122 | 101 | 83.8 | 67.1 | 51.0 | 33.6 | 21.3 | 12.9 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,j |
| GB/T 9711  | L290/X42<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | -30                            | 415         | 290                         | 204                 | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |     |
| GB/T 9711  | L360/X52<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | -30                            | 460         | 360                         | 204                 | 153                   | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |     |
| GB/T 9711  | L415/X60<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | -30                            | 520         | 415                         | 204                 | 173                   | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |     |
| GB/T 9711  | L450/X65<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | -30                            | 535         | 450                         | 204                 | 178                   | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |     |
| GB/T 9711  | L485/X70<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | -30                            | 570         | 485                         | 204                 | 190                   | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |     |
| GB/T 9711  | L555/X80<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | -30                            | 625         | 555                         | 204                 | 208                   | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准              |        | 牌号等级  | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别   | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |             | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa       |          |     |     |     |     |     |     |      |     |      |      |                |      |      |      |      |      |                |     | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |       |       |
|-----------------|--------|-------|-------------------|--------|------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|----------------|------|------|------|------|------|----------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
|                 |        |       |                   |        |                        | 最小强度<br>MPa | 最高使用温度<br>℃ |                             |          |     |     |     |     |     |     |      |     |      |      |                |      |      |      |      |      |                |     |    |     |     |     |     |     |     |     |       |       |
|                 |        |       |                   |        |                        |             |             | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | $R_{eL}$ | 40  | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300  | 325 | 350  | 375  | 400            | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550            | 575 |    | 600 | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775   | 800   |
| —               | CC60   | Cl 22 | Fe-1              | B, -46 | 414                    | 221         | 538         | 138                         | 138      | 134 | 130 | 126 | 121 | 115 | 111 | 108  | 105 | 88.9 | 75.3 | 62.7           | 45.5 | 31.6 | 21.9 | 12.7 | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | d,j,k |
| —               | CC70   | Cl 22 | Fe-1              | B, -46 | 483                    | 262         | 538         | 161                         | 161      | 159 | 154 | 150 | 144 | 136 | 132 | 128  | 122 | 101  | 83.8 | 67.1           | 51.0 | 33.6 | 21.3 | 12.9 | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,j,k |       |
| 2.4 管件(包括对焊、锻制) |        |       |                   |        |                        |             |             |                             |          |     |     |     |     |     |     |      |     |      |      |                |      |      |      |      |      |                |     |    |     |     |     |     |     |     |     |       |       |
| GB/T 13401      | CF370  | 全部    | Fe-1              | A      | 370                    | 235         | 350         | 123                         | 123      | 123 | 123 | 123 | 123 | 118 | 115 | 97.0 | —   | —    | —    | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | f     |       |
| GB/T 14383      | CF370  | 全部    | Fe-1              | A      | 370                    | 235         | 350         | 123                         | 123      | 123 | 123 | 123 | 123 | 118 | 115 | 97.0 | —   | —    | —    | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | f     |       |
| GB/T 13401      | CF415  | 全部    | Fe-1              | B      | 415                    | 240         | 593         | 138                         | 138      | 138 | 138 | 138 | 132 | 126 | 122 | 118  | 113 | 95.1 | 79.5 | 62.6           | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,e   |       |
| GB/T 14383      | CF415  | 全部    | Fe-1              | B      | 415                    | 240         | 593         | 138                         | 138      | 138 | 138 | 138 | 132 | 126 | 122 | 118  | 113 | 95.1 | 79.5 | 62.6           | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,e   |       |
| GB/T 13401      | CF415K | 全部    | Fe-1              | B      | 415                    | 240         | 593         | 138                         | 138      | 138 | 138 | 138 | 132 | 126 | 122 | 118  | 113 | 95.1 | 79.5 | 62.6           | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,e   |       |
| GB/T 14383      | CF415K | 全部    | Fe-1              | B      | 415                    | 240         | 593         | 138                         | 138      | 138 | 138 | 138 | 132 | 126 | 122 | 118  | 113 | 95.1 | 79.5 | 62.6           | 45.0 | 31.7 | 21.4 | 14.2 | 9.40 | 6.89<br>(593℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d,e   |       |
| GB/T 13401      | CF485  | 全部    | Fe-1              | B      | 485                    | 275         | 427         | 162                         | 162      | 162 | 162 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135  | 122 | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     |       |
| GB/T 14383      | CF485  | 全部    | Fe-1              | B      | 485                    | 275         | 427         | 162                         | 162      | 162 | 162 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135  | 122 | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     |       |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准           | 牌号等级               | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |      |      |                 |      |      |      |      |                 |     | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|--------------|--------------------|-----------------------|----------|--------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----------------|------|------|------|------|-----------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|              |                    |                       |          |                                | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |      |      |                 |      |      |      |      |                 |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|              |                    |                       |          |                                |             |                             |                     | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250            | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425  | 450  | 475             | 500  | 525  | 550  | 575  | 600             | 625 |    | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |   |
| GB/T 13401   | CF485K             | 全部                    | Fe-1     | B                              | 485         | 275                         | 427                 | 162                   | 162 | 162 | 162 | 162 | 158            | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 14383   | CF485K             | 全部                    | Fe-1     | B                              | 485         | 275                         | 427                 | 162                   | 162 | 162 | 162 | 162 | 158            | 151 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |
| GB/T 29168.2 | L290/X42<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                            | 415         | 290                         | 204                 | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138<br>(204 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —               | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| GB/T 29168.2 | L360/X52<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                            | 460         | 360                         | 204                 | 153                   | 153 | 153 | 153 | 153 | 153<br>(204 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —               | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| GB/T 29168.2 | L415/X60<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                            | 520         | 415                         | 204                 | 173                   | 173 | 173 | 173 | 173 | 173<br>(204 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —               | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| GB/T 29168.2 | L450/X65<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                            | 535         | 450                         | 204                 | 178                   | 178 | 178 | 178 | 178 | 178<br>(204 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —               | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| GB/T 29168.2 | L485/X70<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                            | 570         | 485                         | 204                 | 190                   | 190 | 190 | 190 | 190 | 190<br>(204 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —               | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| GB/T 29168.2 | L555/X80<br>(PSL2) | 全部                    | Fe-1     | —30                            | 625         | 555                         | 204                 | 208                   | 208 | 208 | 208 | 208 | 208<br>(204 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —               | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | g,h |   |
| 2.5 锻件       |                    |                       |          |                                |             |                             |                     |                       |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |      |      |                 |      |      |      |      |                 |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| GB/T 12228   | 25                 | 全部                    | Fe-1     | —20                            | 450         | 275                         | 427                 | 150                   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150            | 150 | 144 | 139 | 135 | 122 | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | —    | —    | —    | —    | —               | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | c   |   |
| GB/T 12228   | A105               | 全部                    | Fe-1     | —30                            | 480         | 250                         | 593                 | 160                   | 156 | 151 | 146 | 142 | 136            | 129 | 125 | 122 | 118 | 101 | 83.8 | 66.8 | 50.3            | 33.2 | 21.4 | 14.2 | 9.40 | 6.89<br>(593 ℃) | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | c,d |   |



表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准           | 牌号等级 | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--------------|------|-------------------|------|------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|              |      |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|              |      |                   |      |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|              |      |                   |      |                        |             |                                             |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600  | 625  |      | 650  | 675  | 700  | 725  | 750  | 775  | 800  | 825  | 850  | 875  | 900   |       |
| GB/T 29168.3 | F290 | 全部                | Fe-1 | -30                    | 415         | 290                                         | 204         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | c,g,h |       |
| GB/T 29168.3 | F360 | 全部                | Fe-1 | -30                    | 460         | 360                                         | 204         | 153                   | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153  | 153   | c,g,h |
| GB/T 29168.3 | F415 | 全部                | Fe-1 | -30                    | 520         | 415                                         | 204         | 173                   | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173 | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173  | 173   | c,g,h |
| GB/T 29168.3 | F450 | 全部                | Fe-1 | -30                    | 535         | 450                                         | 204         | 178                   | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178 | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178  | 178   | c,g,h |
| GB/T 29168.3 | F485 | 全部                | Fe-1 | -30                    | 570         | 485                                         | 204         | 190                   | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190   | c,g,h |
| GB/T 29168.3 | F555 | 全部                | Fe-1 | -30                    | 625         | 555                                         | 204         | 208                   | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208  | 208   | c,g,h |
| 2.6 铸件       |      |                   |      |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| GB/T 12229   | WCA  | 全部                | Fe-1 | -30                    | 415         | 205                                         | 593         | 138                   | 130 | 126 | 122 | 118 | 113 | 108 | 105 | 101 | 98.3 | 95.1 | 91.7 | 88.3 | 85.0 | 81.7 | 78.4 | 75.1 | 71.8 | 68.5 | 65.2 | 61.9 | 58.6 | 55.3 | 52.0 | 48.7 | 45.4 | 42.1 | 38.8 | 35.5 | 32.2 | 28.9 | c,d   |       |
| GB/T 12229   | WCB  | 全部                | Fe-1 | -30                    | 485         | 250                                         | 593         | 162                   | 156 | 151 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118  | 101  | 83.8 | 66.8 | 50.3 | 33.2 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 6.9  | 4.4  | 1.9  | 0.7  | 0.3  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1   | c,d   |
| GB/T 12229   | WCC  | 全部                | Fe-1 | -30                    | 485         | 275                                         | 538         | 162                   | 162 | 162 | 162 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122  | 101  | 83.8 | 66.8 | 50.3 | 33.2 | 21.4 | 14.2 | 9.4  | 6.9  | 4.4  | 1.9  | 0.7  | 0.3  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1   | c,d   |
| 3 低温钢        |      |                   |      |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准                | 牌号等级      | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别   | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |               |     |     |     |     |     |     |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   | 脚注 |   |   |   |     |   |
|-------------------|-----------|-------------------|--------|------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----------------|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|-----|---|
|                   |           |                   |        |                        | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p}0.2}$ ) |             |                       |     |               |     |     |     |     |     |     |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |     |   |
|                   |           |                   |        |                        |             |                                             |             |                       |     |               |     |     |     |     |     |     |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |     |   |
| 3.1 低温无缝管         |           |                   |        |                        |             |                                             |             |                       |     |               |     |     |     |     |     |     |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |     |   |
| GB/T 6479         | Q345E     | ≤16               | Fe-1   | -40                    | 490         | 345                                         | 427         | 163                   | 163 | 163           | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122  | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | —   | — |
| GB/T 6479         | Q345E     | >16<br>~40        | Fe-1   | -40                    | 490         | 335                                         | 427         | 163                   | 163 | 163           | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122  | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | —   | — |
| GB/T 6479         | Q345E     | >40               | Fe-1   | -40                    | 490         | 325                                         | 427         | 163                   | 163 | 163           | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122  | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | —   | — |
| GB/T 18984        | 10MnDG    | 全部                | Fe-1   | -46                    | 400         | 240                                         | 450         | 133                   | 133 | 133           | 133 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 79.5 | 62.6 | —               | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | —   | d |
| GB/T 18984        | 16MnDG    | ≤16               | Fe-1   | -46                    | 490         | 325                                         | 427         | 163                   | 163 | 163           | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122  | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | —   | — |
| GB/T 18984        | 16MnDG    | >16               | Fe-1   | -46                    | 490         | 315                                         | 427         | 163                   | 163 | 163           | 163 | 158 | 151 | 144 | 139 | 135 | 122  | 101  | 83.8 | 82.7<br>(427 ℃) | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | —   | — |
| GB/T 18984        | 06Ni3MoDG | 全部                | Fe-9B  | -101                   | 455         | 250                                         | 450         | 152                   | 152 | 147           | 142 | 138 | 132 | 124 | 119 | 113 | 107  | 95.1 | 79.5 | 64.4            | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | d,l |   |
| GB/T 18984        | 06Ni9DG   | 全部                | Fe-11A | -196                   | 690         | 515                                         | 93          | 230                   | 230 | 230<br>(93 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —               | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | —   |   |
| 3.2 低温管件(包括对焊、锻制) |           |                   |        |                        |             |                                             |             |                       |     |               |     |     |     |     |     |     |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |     |   |
| GB/T 13401        | LF415K1   | 全部                | Fe-1   | -20                    | 415         | 240                                         | 450         | 138                   | 138 | 138           | 138 | 132 | 126 | 122 | 118 | 113 | 95.1 | 79.5 | 62.6 | —               | — | — | — | — | — | — | —  | — | — | — | —   | d |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级    | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别   | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |               |     |     |     |                |                    |     |                 |                 |     |     |     |     |     |     |     | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |   |
|------------|---------|-------------------|--------|------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|----------------|--------------------|-----|-----------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|
|            |         |                   |        |                        | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200           | 250 | 300 | 325 | 350            | 375                | 400 | 425             | 450             | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 |    | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |   |   |
|            |         |                   |        |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |               |     |     |     |                |                    |     |                 |                 |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |   |
| GB/T 14383 | LF415K1 | 全部                | Fe-1   | -20                    | 415         | 240                                         | 450         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138           | 132 | 126 | 122 | 118            | 113 95.1 79.5 62.6 |     | —               | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d |   |
| GB/T 13401 | LF415K2 | 全部                | Fe-1   | -46                    | 415         | 240                                         | 450         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138           | 132 | 126 | 122 | 118            | 113 95.1 79.5 62.6 |     | —               | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d |   |
| GB/T 14383 | LF415K2 | 全部                | Fe-1   | -46                    | 415         | 240                                         | 450         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138           | 132 | 126 | 122 | 118            | 113 95.1 79.5 62.6 |     | —               | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | d |   |
| GB/T 13401 | LF485K2 | 全部                | Fe-1   | -46                    | 485         | 275                                         | 427         | 162                   | 162 | 162 | 162 | 158           | 151 | 144 | 139 | 135            | 122                | 101 | 83.8            | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — |
| GB/T 14383 | LF485K2 | 全部                | Fe-1   | -46                    | 485         | 275                                         | 427         | 162                   | 162 | 162 | 162 | 158           | 151 | 144 | 139 | 135            | 122                | 101 | 83.8            | 82.7<br>(427 ℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | — |
| GB/T 13401 | LF450K3 | 全部                | Fe-9B  | -101                   | 450         | 240                                         | 343         | 150                   | 150 | 147 | 142 | 138           | 132 | 124 | 119 | 113<br>(343 ℃) |                    | —   | —               | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | l |
| GB/T 14383 | LF450K3 | 全部                | Fe-9B  | -101                   | 450         | 240                                         | 343         | 150                   | 150 | 147 | 142 | 138           | 132 | 124 | 119 | 113<br>(343 ℃) |                    | —   | —               | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | l |
| GB/T 13401 | LF680K4 | 全部                | Fe-11A | -196                   | 680         | 515                                         | 93          | 227                   | 227 | 227 | 227 | 227<br>(93 ℃) |     | —   | —   | —              | —                  | —   | —               | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |   |
| GB/T 14383 | LF680K4 | 全部                | Fe-11A | -196                   | 680         | 515                                         | 93          | 227                   | 227 | 227 | 227 | 227<br>(93 ℃) |     | —   | —   | —              | —                  | —   | —               | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — |   |
| 3.3 低温铸件   |         |                   |        |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |               |     |     |     |                |                    |     |                 |                 |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |   |
| JB/T 7248  | LCB     | 全部                | Fe-1   | -46                    | 450         | 240                                         | 427         | 150                   | 150 | 147 | 142 | 138           | 132 | 126 | 122 | 118            | 113 95.1 79.5      |     | 64.4<br>(427 ℃) | —               | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | c |   |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级    | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别   | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |                |     |                |     |     |     |     |      |       |      |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |     | 脚注 |  |  |
|------------|---------|-------------------|--------|------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|------|------|------|------|-----------------|---|---|---|---|---|---|-----|----|--|--|
|            |         |                   |        |                        | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |             |                       |     |     |     |     |     |     |                |     |                |     |     |     |     |      |       |      |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |     |    |  |  |
|            |         |                   |        |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |                |     |                |     |     |     |     |      |       |      |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |     |    |  |  |
|            |         |                   |        |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |                |     |                |     |     |     |     |      |       |      |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |     |    |  |  |
| JB/T 7248  | LCC     | 全部                | Fe-1   | -46                    | 485         | 275                         | 371         | 162                   | 162 | 161 | 161 | 158 | 151 | 139 | 137            | 136 | 132<br>(371 ℃) | —   | —   | —   | —   | —    | —     | —    | —    | —    | —    | —               | — | — | — | — | — | — | c   |    |  |  |
| JB/T 7248  | LC3     | 全部                | Fe-9B  | -101                   | 485         | 275                         | 343         | 162                   | 162 | 162 | 158 | 151 | 142 | 136 | 131<br>(343 ℃) | —   | —              | —   | —   | —   | —   | —    | —     | —    | —    | —    | —    | —               | — | — | — | — | — | — | c,l |    |  |  |
| JB/T 7248  | LC9     | 全部                | Fe-11A | -196                   | 585         | 515                         | 93          | 195                   | 195 | 195 | —   | —   | —   | —   | —              | —   | —              | —   | —   | —   | —   | —    | —     | —    | —    | —    | —    | —               | — | — | — | — | — | — | c   |    |  |  |
| 4 合金钢      |         |                   |        |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |                |     |                |     |     |     |     |      |       |      |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |     |    |  |  |
| 4.1 合金钢无缝管 |         |                   |        |                        |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |                |     |                |     |     |     |     |      |       |      |      |      |      |                 |   |   |   |   |   |   |     |    |  |  |
| GB/T 5310  | 15CrMoG | 全部                | Fe-4   | -30                    | 440         | 295                         | 649         | 147                   | 147 | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112            | 110 | 109            | 107 | 105 | 103 | 101 | 92.1 | 161.1 | 40.4 | 26.4 | 17.4 | 11.6 | 7.58<br>(649 ℃) | — | — | — | — | — | — | —   | m  |  |  |
| GB/T 6479  | 15CrMo  | ≤16               | Fe-4   | -30                    | 440         | 295                         | 649         | 147                   | 147 | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112            | 110 | 109            | 107 | 105 | 103 | 101 | 92.1 | 161.1 | 40.4 | 26.4 | 17.4 | 11.6 | 7.58<br>(649 ℃) | — | — | — | — | — | — | —   | m  |  |  |
| GB/T 6479  | 15CrMo  | >16<br>~40        | Fe-4   | -30                    | 440         | 285                         | 649         | 147                   | 147 | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112            | 110 | 109            | 107 | 105 | 103 | 101 | 92.1 | 161.1 | 40.4 | 26.4 | 17.4 | 11.6 | 7.58<br>(649 ℃) | — | — | — | — | — | — | —   | m  |  |  |
| GB/T 6479  | 15CrMo  | >40               | Fe-4   | -30                    | 440         | 275                         | 649         | 147                   | 147 | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112            | 110 | 109            | 107 | 105 | 103 | 101 | 92.1 | 161.1 | 40.4 | 26.4 | 17.4 | 11.6 | 7.58<br>(649 ℃) | — | — | — | — | — | — | —   | m  |  |  |
| GB/T 9948  | 15CrMo  | 全部                | Fe-4   | -30                    | 440         | 295                         | 649         | 147                   | 147 | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112            | 110 | 109            | 107 | 105 | 103 | 101 | 92.1 | 161.1 | 40.4 | 26.4 | 17.4 | 11.6 | 7.58<br>(649 ℃) | — | — | — | — | — | — | —   | m  |  |  |
| YB/T 4173  | 15CrMoG | 全部                | Fe-4   | -30                    | 440         | 295                         | 649         | 147                   | 147 | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112            | 110 | 109            | 107 | 105 | 103 | 101 | 92.1 | 161.1 | 40.4 | 26.4 | 17.4 | 11.6 | 7.58<br>(649 ℃) | — | — | — | — | — | — | —   | m  |  |  |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准        | 牌号等级      | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别  | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |                |      |                | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|-----------|-----------|-------------------|-------|------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|----------------|------|----------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|           |           |                   |       |                        | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |                |      |                |    |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|           |           |                   |       |                        |             |                             |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600            | 625  | 650            |    | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875  |
| GB/T 9948 | 12Cr1Mo   | 全部                | Fe-4  | -30                    | 415         | 205                         | 649         | 138                   | 131 | 126 | 121 | 116 | 113 | 109 | 107 | 106 | 104 | 102 | 99.6 | 97.2 | 94.5 | 73.7 | 52.0 | 36.3 | 25.2 | 17.6           | 12.3 | 8.27<br>(649℃) | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m    |
| GB/T 5310 | 12Cr2MoG  | 全部                | Fe-5A | -30                    | 450         | 280                         | 649         | 150                   | 132 | 128 | 125 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 123 | 122  | 121  | 99.6 | 80.9 | 63.3 | 47.5 | 34.2 | 23.5           | 15.3 | 9.65<br>(649℃) | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, n |
| GB/T 6479 | 12Cr2Mo   | 全部                | Fe-5A | -30                    | 450         | 280                         | 649         | 150                   | 132 | 128 | 125 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 123 | 122  | 121  | 99.6 | 80.9 | 63.3 | 47.5 | 34.2 | 23.5           | 15.3 | 9.65<br>(649℃) | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, n |
| GB/T 9948 | 12Cr2Mo   | 全部                | Fe-5A | -30                    | 450         | 280                         | 649         | 150                   | 132 | 128 | 125 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 123 | 122  | 121  | 99.6 | 80.9 | 63.3 | 47.5 | 34.2 | 23.5           | 15.3 | 9.65<br>(649℃) | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, n |
| YB/T 4173 | 12Cr2MoG  | 全部                | Fe-5A | -30                    | 450         | 280                         | 649         | 150                   | 132 | 128 | 125 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 123 | 122  | 121  | 99.6 | 80.9 | 63.3 | 47.5 | 34.2 | 23.5           | 15.3 | 9.65<br>(649℃) | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, n |
| GB/T 5310 | 12Cr1MoVG | 全部                | Fe-4  | -20                    | 470         | 255                         | 580         | 157                   | 157 | 157 | 157 | 157 | 156 | 151 | 147 | 143 | 139 | 135 | 131  | 128  | 124  | 118  | 83.5 | 65.0 | 49.0 | 46.0<br>(580℃) | —    | —              | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m    |
| GB/T 9948 | 12Cr1MoV  | 全部                | Fe-4  | -20                    | 470         | 255                         | 580         | 157                   | 157 | 157 | 157 | 157 | 156 | 151 | 147 | 143 | 139 | 135 | 131  | 128  | 124  | 118  | 83.5 | 65.0 | 49.0 | 46.0<br>(580℃) | —    | —              | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m    |
| YB/T 4173 | 12Cr1MoVG | 全部                | Fe-4  | -20                    | 470         | 255                         | 580         | 157                   | 157 | 157 | 157 | 157 | 156 | 151 | 147 | 143 | 139 | 135 | 131  | 128  | 124  | 118  | 83.5 | 65.0 | 49.0 | 46.0<br>(580℃) | —    | —              | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m    |
| GB/T 6479 | 10MoWVNb  | ≤16               | Fe-3  | -20                    | 470         | 295                         | 500         | 157                   | 157 | 157 | 157 | 156 | 153 | 147 | 144 | 141 | 138 | 135 | 130  | 126  | 121  | 97.0 | —    | —    | —    | —              | —    | —              | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m    |
| GB/T 6479 | 10MoWVNb  | >16<br>~40        | Fe-3  | -20                    | 470         | 285                         | 500         | 157                   | 157 | 157 | 156 | 150 | 147 | 141 | 138 | 135 | 132 | 129 | 124  | 119  | 111  | 97.0 | —    | —    | —    | —              | —    | —              | —  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m    |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准                  | 牌号等级         | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图1<br>的曲<br>线号 | 标准规定                           |             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa       |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      | 脚注   |                |     |     |     |     |     |     |       |     |     |
|---------------------|--------------|-----------------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|
|                     |              |                       |          |                                | 最低使<br>用温度<br>℃/图1<br>的曲<br>线号 | 最小强度<br>MPa |                     |                             |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |                |     |     |     |     |     |     |       |     |     |
|                     |              |                       |          |                                |                                |             |                     | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | $R_{el}$ | 40  | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  |      | 575            | 600 | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750   | 775 | 800 |
| GB/T 6479           | 10MoWVNb     | >40                   | Fe-3     | -20                            | 470                            | 275         | 500                 | 157                         | 157      | 157 | 155 | 147 | 144 | 138 | 135 | 132 | 129 | 126 | 121 | 116 | 106  | 97.0 | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | —   | m   |
| GB/T 9948           | 12Cr5MoI     | 全部                    | Fe-5B    | -30                            | 415                            | 205         | 649                 | 138                         | 129      | 124 | 120 | 119 | 118 | 117 | 116 | 114 | 112 | 110 | 106 | 103 | 80.6 | 61.7 | 46.4 | 34.7 | 25.5 | 17.8 | 11.4 | 6.89<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | m   |     |
| GB/T 9948           | 12Cr5MoNT    | 全部                    | Fe-5B    | -30                            | 480                            | 280         | 649                 | 160                         | 160      | 160 | 156 | 155 | 154 | 153 | 151 | 149 | 146 | 142 | 137 | 131 | 80.6 | 61.7 | 46.4 | 34.7 | 25.5 | 17.8 | 11.4 | 6.89<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | m   |     |
| GB/T 9948           | 12Cr9MoI     | 全部                    | Fe-5B    | -30                            | 460                            | 210         | 649                 | 153                         | 129      | 124 | 120 | 119 | 118 | 117 | 116 | 114 | 112 | 110 | 106 | 103 | 98.3 | 83.2 | 60.2 | 42.9 | 29.9 | 20.6 | 14.4 | 10.3<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | m   |     |
| GB/T 9948           | 12Cr9MoNT    | 全部                    | Fe-5B    | -30                            | 590                            | 390         | 649                 | 197                         | 197      | 194 | 189 | 188 | 187 | 186 | 184 | 181 | 177 | 172 | 166 | 159 | 151  | 83.2 | 60.2 | 42.9 | 29.9 | 20.6 | 14.4 | 10.3<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | m   |     |
| GB/T 5310           | 10Cr9Mo1VNbN | 全部                    | Fe-5B    | -30                            | 585                            | 415         | 649                 | 195                         | 195      | 195 | 195 | 195 | 194 | 192 | 190 | 187 | 183 | 178 | 172 | 165 | 156  | 147  | 137  | 115  | 87.0 | 64.7 | 45.1 | 29.6<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | m   |     |
| YB/T 4173           | 10Cr9Mo1VNbN | 全部                    | Fe-5B    | -30                            | 585                            | 415         | 649                 | 195                         | 195      | 195 | 195 | 195 | 194 | 192 | 190 | 187 | 183 | 178 | 172 | 165 | 156  | 147  | 137  | 115  | 87.0 | 64.7 | 45.1 | 29.6<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —     | m   |     |
| 4.2 合金钢板焊管(EFW/SAW) |              |                       |          |                                |                                |             |                     |                             |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |                |     |     |     |     |     |     |       |     |     |
| GB/T 32970          | 15CrMo       | ≤16                   | Fe-4     | -30                            | 450                            | 295         | 649                 | 150                         | 150      | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112 | 110 | 109 | 107 | 105 | 103 | 101  | 92.1 | 61.1 | 40.4 | 26.4 | 17.4 | 11.6 | 7.58<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | j-m-o |     |     |
| GB/T 32970          | 15CrMo       | >16<br>~75            | Fe-4     | -30                            | 450                            | 275         | 649                 | 150                         | 150      | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112 | 110 | 109 | 107 | 105 | 103 | 101  | 92.1 | 61.1 | 40.4 | 26.4 | 17.4 | 11.6 | 7.58<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | j-m-o |     |     |
| GB/T 32970          | 14Cr1Mo      | 全部                    | Fe-4     | -30                            | 520                            | 310         | 649                 | 173                         | 173      | 173 | 173 | 136 | 131 | 127 | 125 | 123 | 121 | 119 | 116 | 113 | 104  | 73.7 | 52.0 | 36.3 | 25.2 | 17.6 | 12.3 | 8.27<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | j-m-o |     |     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准                 | 牌号等级     | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别  | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |                |      |                | 脚注             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |     |       |
|--------------------|----------|-------------------|-------|------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|----------------|------|----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-------|
|                    |          |                   |       |                        | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575            | 600  | 625            |                | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875     | 900 |       |
|                    |          |                   |       |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |                |      |                |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |     |       |
| GB/T 32970         | 12Cr1MoV | ≤36               | Fe-4  | -20                    | 440         | 245                                         | 560         | 147                   | 147 | 147 | 147 | 133 | 126 | 117 | 113 | 111 | 107 | 104 | 101  | 100  | 96.0 | 94.0 | 83.5 | 65.0 | 58.0<br>(560℃) | —    | —              | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | —   | j,m,o |
| GB/T 32970         | 12Cr1MoV | >36<br>~75        | Fe-4  | -20                    | 430         | 235                                         | 560         | 143                   | 143 | 143 | 143 | 133 | 126 | 117 | 113 | 111 | 107 | 104 | 101  | 100  | 96.0 | 94.0 | 83.5 | 65.0 | 58.0<br>(560℃) | —    | —              | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | —   | j,m,o |
| GB/T 32970         | 12Cr2Mo1 | 全部                | Fe-5A | -30                    | 520         | 310                                         | 649         | 173                   | 132 | 128 | 125 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 123 | 122  | 121  | 99.6 | 80.9 | 63.3 | 47.5 | 34.2           | 23.5 | 15.3<br>(649℃) | 9.65<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | j,m,n,o |     |       |
| GB/T 32970         | 12Cr5Mo  | 全部                | Fe-5B | -30                    | 480         | 280                                         | 649         | 160                   | 129 | 124 | 120 | 119 | 118 | 117 | 116 | 114 | 112 | 110 | 106  | 103  | 80.6 | 61.7 | 46.4 | 34.7 | 25.5           | 17.8 | 11.4<br>(649℃) | 6.89<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | j,m,o   |     |       |
| 4.3 合金钢管件(包括对焊、锻制) |          |                   |       |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |                |      |                |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |     |       |
| GB/T 13401         | AF12     | 全部                | Fe-4  | -30                    | 415         | 220                                         | 649         | 138                   | 138 | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112 | 110 | 109 | 107 | 105  | 103  | 101  | 92.1 | 61.1 | 40.4 | 26.4           | 17.4 | 11.6<br>(649℃) | 7.58<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m,o |       |
| GB/T 14383         | AF12     | 全部                | Fe-4  | -30                    | 415         | 220                                         | 649         | 138                   | 138 | 132 | 125 | 120 | 116 | 113 | 112 | 110 | 109 | 107 | 105  | 103  | 101  | 92.1 | 61.1 | 40.4 | 26.4           | 17.4 | 11.6<br>(649℃) | 7.58<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m,o |       |
| GB/T 13401         | AF12G    | 全部                | Fe-4  | -30                    | 485         | 275                                         | 649         | 162                   | 162 | 162 | 162 | 150 | 145 | 141 | 139 | 138 | 136 | 134 | 132  | 129  | 126  | 92.1 | 61.1 | 40.4 | 26.4           | 17.4 | 11.6<br>(649℃) | 7.58<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m,o |       |
| GB/T 14383         | AF12G    | 全部                | Fe-4  | -30                    | 485         | 275                                         | 649         | 162                   | 162 | 162 | 162 | 150 | 145 | 141 | 139 | 138 | 136 | 134 | 132  | 129  | 126  | 92.1 | 61.1 | 40.4 | 26.4           | 17.4 | 11.6<br>(649℃) | 7.58<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m,o |       |
| GB/T 13401         | AF11     | 全部                | Fe-4  | -30                    | 415         | 205                                         | 649         | 138                   | 131 | 126 | 121 | 116 | 113 | 109 | 107 | 106 | 104 | 102 | 99.6 | 97.2 | 94.5 | 73.7 | 52.0 | 36.3 | 25.2           | 17.6 | 12.3<br>(649℃) | 8.27<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m,o |       |
| GB/T 14383         | AF11     | 全部                | Fe-4  | -30                    | 415         | 205                                         | 649         | 138                   | 131 | 126 | 121 | 116 | 113 | 109 | 107 | 106 | 104 | 102 | 99.6 | 97.2 | 94.5 | 73.7 | 52.0 | 36.3 | 25.2           | 17.6 | 12.3<br>(649℃) | 8.27<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m,o |       |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级  | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |                |      | 脚注             |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |      |
|------------|-------|-----------------------|----------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|----------------|------|----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|------|
|            |       |                       |          |                                 | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600            | 625  |                | 650            | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |         |      |
|            |       |                       |          |                                 |             |                             |                     |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |                |      |                |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |      |
| GB/T 13401 | AF11G | 全部                    | Fe-4     | -30                             | 485         | 275                         | 649                 | 162                   | 162 | 162 | 162 | 155 | 150 | 146 | 143 | 141 | 138 | 136 | 133 | 130 | 104  | 73.7 | 52.0 | 36.3 | 25.2 | 17.6           | 12.3 | 8.27<br>(649℃) | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m, o |
| GB/T 14383 | AF11G | 全部                    | Fe-4     | -30                             | 485         | 275                         | 649                 | 162                   | 162 | 162 | 162 | 155 | 150 | 146 | 143 | 141 | 138 | 136 | 133 | 130 | 104  | 73.7 | 52.0 | 36.3 | 25.2 | 17.6           | 12.3 | 8.27<br>(649℃) | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m, o |
| GB/T 13401 | AF14  | 全部                    | Fe-4     | -20                             | 470         | 255                         | 580                 | 157                   | 157 | 157 | 157 | 157 | 156 | 151 | 147 | 143 | 139 | 135 | 131 | 128 | 124  | 118  | 83.5 | 65.0 | 49.0 | 46.0<br>(580℃) | —    | —              | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m, o |
| GB/T 14383 | AF14  | 全部                    | Fe-4     | -20                             | 470         | 255                         | 580                 | 157                   | 157 | 157 | 157 | 157 | 156 | 151 | 147 | 143 | 139 | 135 | 131 | 128 | 124  | 118  | 83.5 | 65.0 | 49.0 | 46.0<br>(580℃) | —    | —              | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —       | m, o |
| GB/T 13401 | AF22  | 全部                    | Fe-5A    | -30                             | 450         | 280                         | 649                 | 150                   | 132 | 128 | 125 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 123 | 122 | 121 | 99.6 | 80.9 | 63.3 | 47.5 | 34.2 | 23.5           | 15.3 | 9.65<br>(649℃) | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, n, o |      |
| GB/T 14383 | AF22  | 全部                    | Fe-5A    | -30                             | 450         | 280                         | 649                 | 150                   | 132 | 128 | 125 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 123 | 122 | 121 | 99.6 | 80.9 | 63.3 | 47.5 | 34.2 | 23.5           | 15.3 | 9.65<br>(649℃) | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, n, o |      |
| GB/T 13401 | AF22G | 全部                    | Fe-5A    | -30                             | 520         | 310                         | 649                 | 173                   | 173 | 171 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 119  | 88.4 | 64.0 | 44.6 | 30.0 | 19.7           | 12.8 | 8.27<br>(649℃) | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, n, o |      |
| GB/T 14383 | AF22G | 全部                    | Fe-5A    | -30                             | 520         | 310                         | 649                 | 173                   | 173 | 171 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 | 119  | 88.4 | 64.0 | 44.6 | 30.0 | 19.7           | 12.8 | 8.27<br>(649℃) | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, n, o |      |
| GB/T 13401 | AF5   | 全部                    | Fe-5B    | -30                             | 415         | 205                         | 649                 | 138                   | 129 | 124 | 120 | 119 | 118 | 117 | 116 | 116 | 114 | 112 | 110 | 106 | 103  | 80.6 | 61.7 | 46.4 | 34.7 | 25.5           | 17.8 | 11.4           | 6.89<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, o    |      |
| GB/T 14383 | AF5   | 全部                    | Fe-5B    | -30                             | 415         | 205                         | 649                 | 138                   | 129 | 124 | 120 | 119 | 118 | 117 | 116 | 116 | 114 | 112 | 110 | 106 | 103  | 80.6 | 61.7 | 46.4 | 34.7 | 25.5           | 17.8 | 11.4           | 6.89<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | m, o    |      |



表 B.1 材料许用应力表（续）

| 标准         | 牌号等级      | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别  | 最低使用温度<br>℃/图1的曲线号 | 标准规定        |                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |                | 脚注             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |      |     |
|------------|-----------|-------------------|-------|--------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|------|-----|
|            |           |                   |       |                    | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |             | $R_{eL}$              | 40  | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600            |                | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |   |      |     |
|            |           |                   |       |                    |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |                |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |      |     |
| GB/T 13401 | AF5G      | 全部                | Fe-5B | -30                | 520         | 310                         | 649         | 173                   | 172 | 171 | 167 | 165 | 165 | 164 | 162 | 159 | 156 | 130 | 126 | 104 | 80.6 | 61.7 | 46.4 | 34.7 | 25.5 | 17.8 | 11.4           | 6.89<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | —    | m.o |
| GB/T 14383 | AF5G      | 全部                | Fe-5B | -30                | 520         | 310                         | 649         | 173                   | 172 | 171 | 167 | 165 | 165 | 164 | 162 | 159 | 156 | 130 | 126 | 104 | 80.6 | 61.7 | 46.4 | 34.7 | 25.5 | 17.8 | 11.4           | 6.89<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | —    | m.o |
| GB/T 13401 | AF9       | 全部                | Fe-5B | -30                | 460         | 210                         | 649         | 153                   | 129 | 124 | 120 | 119 | 118 | 117 | 116 | 114 | 112 | 110 | 106 | 103 | 98.3 | 87.5 | 61.2 | 42.9 | 29.9 | 20.6 | 14.4           | 10.3<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | —    | m.o |
| GB/T 14383 | AF9       | 全部                | Fe-5B | -30                | 460         | 210                         | 649         | 153                   | 129 | 124 | 120 | 119 | 118 | 117 | 116 | 114 | 112 | 110 | 106 | 103 | 98.3 | 87.5 | 61.2 | 42.9 | 29.9 | 20.6 | 14.4           | 10.3<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | —    | m.o |
| GB/T 13401 | AF9G      | 全部                | Fe-5B | -30                | 520         | 310                         | 649         | 173                   | 173 | 172 | 168 | 167 | 166 | 165 | 163 | 161 | 157 | 153 | 147 | 141 | 134  | 83.2 | 60.2 | 42.9 | 29.9 | 20.6 | 14.4           | 10.3<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | —    | m.o |
| GB/T 14383 | AF9G      | 全部                | Fe-5B | -30                | 520         | 310                         | 649         | 173                   | 173 | 172 | 168 | 167 | 166 | 165 | 163 | 161 | 157 | 153 | 147 | 141 | 134  | 83.2 | 60.2 | 42.9 | 29.9 | 20.6 | 14.4           | 10.3<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | —    | m.o |
| GB/T 13401 | AF91      | 全部                | Fe-5B | -30                | 585         | 415                         | 649         | 195                   | 195 | 195 | 195 | 195 | 194 | 192 | 190 | 187 | 183 | 178 | 172 | 165 | 156  | 147  | 137  | 115  | 87.0 | 64.7 | 45.1<br>(649℃) | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | —    | m.o |
| GB/T 14383 | AF91      | 全部                | Fe-5B | -30                | 585         | 415                         | 649         | 195                   | 195 | 195 | 195 | 195 | 194 | 192 | 190 | 187 | 183 | 178 | 172 | 165 | 156  | 147  | 137  | 115  | 87.0 | 64.7 | 45.1<br>(649℃) | —              | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | —    | m.o |
| 4.4 合金铸件   |           |                   |       |                    |             |                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |                |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |      |     |
| NB/T 11268 | ZG14Cr1Mo | 全部                | Fe-4  | -30                | 485         | 275                         | 649         | 161                   | 161 | 161 | 161 | 155 | 150 | 146 | 143 | 141 | 138 | 136 | 133 | 130 | 104  | 73.7 | 52.0 | 36.3 | 25.2 | 17.6 | 12.3<br>(649℃) | 8.27<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | c, m |     |
| NB/T 11268 | ZG12Cr2Mo | 全部                | Fe-5A | -30                | 485         | 275                         | 649         | 161                   | 161 | 160 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 119  | 88.4 | 64.0 | 44.6 | 30.0 | 19.7 | 12.3<br>(649℃) | 8.27<br>(649℃) | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | — | c, m |     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级                     | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | 脚注      |     |     |
|------------|--------------------------|-----------------------|----------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|-----|-----|
|            |                          |                       |          |                                 | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |         |     |     |
|            |                          |                       |          |                                 |             |                             |                     | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600  | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  | 750  | 775  | 800  | 825     |         | 850 | 875 |
| NB/T 11268 | ZG10Cr9Mo1-<br>VNbN      | 全部                    | Fe-5B    | -30                             | 585         | 415                         | 649                 | 195                   | 195 | 195 | 195 | 195 | 194  | 192  | 190  | 187  | 183  | 178  | 172  | 165  | 156  | 147  | 137  | 115  | 87.0 | 64.7 | 45.1 | 29.6 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | c, m, n |         |     |     |
| GB/T 16253 | ZG16Cr5Mo                | 全部                    | Fe-5B    | -30                             | 630         | 420                         | 649                 | 210                   | 210 | 205 | 200 | 199 | 198  | 196  | 194  | 191  | 187  | 182  | 176  | 169  | 80.6 | 61.7 | 46.4 | 34.7 | 25.5 | 17.8 | 11.4 | 6.89 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | c, m    |         |     |     |
| 5 不锈钢      |                          |                       |          |                                 |             |                             |                     |                       |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |         |     |     |
| 5.1 不锈钢无缝管 |                          |                       |          |                                 |             |                             |                     |                       |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |         |     |     |
| GB/T 14976 | 022Cr19Ni10<br>(304L)    | —                     | Fe-8     | -255                            | 480         | 175                         | 816                 | 115                   | 115 | 115 | 110 | 103 | 97.7 | 95.7 | 94.1 | 92.6 | 91.3 | 90.0 | 88.7 | 87.3 | 85.6 | 83.7 | 81.4 | 40.4 | 33.2 | 26.7 | 21.9 | 18.2 | 15.0 | 12.4 | 8.87 | 7.20 | 6.58 | 6.21 | —       | p       |     |     |
| GB/T 14976 | 06Cr19Ni10<br>(304)      | —                     | Fe-8     | -255                            | 520         | 205                         | 816                 | 138                   | 138 | 138 | 129 | 122 | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1 | 11.2 | 9.65 | —       | p, q, r |     |     |
| GB/T 5310  | 07Cr19Ni10<br>(304H)     | —                     | Fe-8     | -200                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                   | 138 | 138 | 129 | 122 | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1 | 11.2 | 9.65 | —       | q       |     |     |
| GB/T 9948  | 07Cr19Ni10<br>(304H)     | —                     | Fe-8     | -200                            | 520         | 205                         | 816                 | 138                   | 138 | 138 | 129 | 122 | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1 | 11.2 | 9.65 | —       | q       |     |     |
| GB/T 9948  | 022Cr17Ni12Mo2<br>(316L) | —                     | Fe-8     | -255                            | 480         | 175                         | 816                 | 115                   | 115 | 115 | 109 | 103 | 98.1 | 96.1 | 94.3 | 92.6 | 90.9 | 89.3 | 87.6 | 85.9 | 84.2 | 82.5 | 80.8 | 79.3 | 77.9 | 58.0 | 43.6 | 33.0 | 25.3 | 18.8 | 14.0 | 10.4 | 7.99 | 6.89 | —       | p       |     |     |
| GB/T 14976 | 022Cr17Ni12Mo2<br>(316L) | —                     | Fe-8     | -255                            | 480         | 175                         | 816                 | 115                   | 115 | 115 | 109 | 103 | 98.1 | 96.1 | 94.3 | 92.6 | 90.9 | 89.3 | 87.6 | 85.9 | 84.2 | 82.5 | 80.8 | 79.3 | 77.9 | 58.0 | 43.6 | 33.0 | 25.3 | 18.8 | 14.0 | 10.4 | 7.99 | 6.89 | —       | p       |     |     |
| GB/T 14976 | 06Cr17Ni12Mo2<br>(316)   | —                     | Fe-8     | -255                            | 520         | 205                         | 816                 | 138                   | 138 | 138 | 134 | 125 | 119  | 116  | 114  | 112  | 111  | 110  | 109  | 108  | 107  | 106  | 105  | 97.8 | 80.8 | 65.0 | 50.4 | 38.6 | 29.6 | 23.0 | 17.4 | 13.3 | 10.4 | 8.96 | —       | p, q, r |     |     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级                       | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |       |      | 脚注   |      |      |      |                |      |      |                |                |         |      |
|------------|----------------------------|-------------------|------|------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|------|------|------|------|------|----------------|------|------|----------------|----------------|---------|------|
|            |                            |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |             |                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |       |      |      |      |      |      |                |      |      |                |                |         |      |
|            |                            |                   |      |                        |             |                             |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550  | 575  | 600   | 625  |      | 650  | 675  | 700  | 725            | 750  | 775  | 800            | 825            | 850     | 875  |
| GB/T 14976 | 07Cr17Ni2Mo2<br>(316H)     | —                 | Fe-8 | —200                   | 515         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 134 | 125 | 119 | 116 | 114 | 112 | 111 | 110 | 109 | 108 | 107 | 106 | 105  | 97   | 880.8 | 65.0 | 50.4 | 38.6 | 29.6 | 23.0 | 17.4           | 13.3 | 10.4 | 8.96<br>(816℃) | —              | q       |      |
| GB/T 14976 | 06Cr18Ni11Ti<br>(321)      | —                 | Fe-8 | —255                   | 520         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128 | 125 | 122 | 120 | 119 | 117 | 115 | 114 | 113 | 112 | 88.7 | 59.2 | 44.0  | 32.9 | 24.5 | 18.3 | 12.5 | 8.49 | 6.19           | 4.28 | 2.75 | 2.07<br>(816℃) | —              | q, r, s |      |
| GB/T 5310  | 07Cr19Ni11Ti<br>(321H)     | —                 | Fe-8 | —200                   | 515         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128 | 125 | 123 | 120 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 100  | 76.5 | 58.7  | 46.0 | 36.8 | 28.7 | 23.0 | 18.4 | 14.5           | 11.5 | 9.02 | 6.83<br>(816℃) | —              | q, s    |      |
| GB/T 9948  | 07Cr19Ni11Ti<br>(321H)     | —                 | Fe-8 | —200                   | 520         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128 | 125 | 123 | 120 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 100  | 76.5 | 58.7  | 46.0 | 36.8 | 28.7 | 23.0 | 18.4 | 14.5           | 11.5 | 9.02 | 6.83<br>(816℃) | —              | q, s    |      |
| GB/T 14976 | 07Cr19Ni11Ti<br>(321H)     | —                 | Fe-8 | —200                   | 520         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128 | 125 | 123 | 120 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 100  | 76.5 | 58.7  | 46.0 | 36.8 | 28.7 | 23.0 | 18.4 | 14.5           | 11.5 | 9.02 | 6.83<br>(816℃) | —              | q, s    |      |
| GB/T 14976 | 06Cr18Ni11Nb<br>(347)      | —                 | Fe-8 | —255                   | 520         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 132 | 130 | 128 | 127 | 126 | 126 | 125 | 125 | 125 | 97.6 | 75.9 | 57.2  | 40.2 | 30.3 | 23.2 | 16.2 | 11.4 | 8.97           | 7.08 | 5.89 | 5.52<br>(816℃) | —              | q, r, t |      |
| GB/T 5310  | 07Cr18Ni11Nb<br>(347H)     | —                 | Fe-8 | —200                   | 520         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 132 | 130 | 129 | 127 | 126 | 126 | 125 | 125 | 125 | 125  | 125  | 112   | 90.6 | 69.6 | 53.8 | 41.4 | 31.8 | 24.0           | 18.8 | 14.6 | 10.9           | 8.96<br>(816℃) | —       | q, t |
| GB/T 9948  | 07Cr18Ni11Nb<br>(347H)     | —                 | Fe-8 | —200                   | 520         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 132 | 130 | 129 | 127 | 126 | 126 | 125 | 125 | 125 | 125  | 125  | 112   | 90.6 | 69.6 | 53.8 | 41.4 | 31.8 | 24.0           | 18.8 | 14.6 | 10.9           | 8.96<br>(816℃) | —       | q, t |
| GB/T 14976 | 07Cr18Ni11Nb<br>(347H)     | —                 | Fe-8 | —200                   | 520         | 205                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 132 | 130 | 129 | 127 | 126 | 126 | 125 | 125 | 125 | 125  | 125  | 112   | 90.6 | 69.6 | 53.8 | 41.4 | 31.8 | 24.0           | 18.8 | 14.6 | 10.9           | 8.96<br>(816℃) | —       | q, t |
| GB/T 5310  | 08Cr18Ni11NbFG<br>(347HFG) | —                 | Fe-8 | —200                   | 550         | 205                         | 732         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 134 | 132 | 131 | 131 | 130 | 130 | 128 | 127 | 125 | 124 | 123 | 122  | 120  | 107   | 85.4 | 67.0 | 51.7 | 39.3 | 29.4 | 21.7<br>(732℃) | —    | —    | —              | —              | q       |      |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准                   | 牌号等级                      | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别   | 最低使用温度<br>℃/图1的曲线号 | 标准规定        |             | 在下列温度(℃)下的许用应力 |                                |     |     |     |     |     |      |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |      |                |                |     |               |
|----------------------|---------------------------|-------------------|--------|--------------------|-------------|-------------|----------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|----------------|-----|---------------|
|                      |                           |                   |        |                    | 最小强度<br>MPa | 最高使用温度<br>℃ | MPa            |                                |     |     |     |     |     |      |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |                |     |               |
|                      |                           |                   |        |                    |             |             | $R_m$          | $R_{eL}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | 40  | 65  | 100 | 150 | 200 | 250  | 300           | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  |      | 600  | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  | 750            | 775            | 800 | 825           |
| GB/T 14976           | 06Cr25Ni13<br>(309)       | —                 | Fe-8   | —200               | 520         | 205         | 816            | 138                            | 138 | 138 | 138 | 135 | 131 | 129  | 127           | 125  | 124  | 122  | 121  | 119  | 117  | 108  | 83.7 | 64.0 | 48.5 | 36.3 | 27.3 | 21.0 | 15.9 | 12.5 | 9.8  | 7.7  | 6.5  | 5.9            | 5.17<br>(816℃) | —   | p,q,r,<br>u,w |
| GB/T 14976           | 06Cr25Ni20<br>(310)       | —                 | Fe-8   | —200               | 520         | 205         | 816            | 138                            | 138 | 138 | 138 | 134 | 129 | 127  | 125           | 123  | 122  | 120  | 119  | 117  | 116  | 108  | 83.7 | 64.0 | 48.5 | 36.3 | 27.3 | 21.0 | 15.9 | 12.5 | 9.8  | 7.7  | 6.5  | 5.9            | 5.17<br>(816℃) | —   | p,q,r,<br>u,w |
| GB/T 21833.2         | 022Cr22Ni5Mo3N<br>(31803) | —                 | Fe-10H | —50                | 620         | 450         | 316            | 207                            | 207 | 207 | 199 | 193 | 188 | 186  | 185<br>(316℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —              | v   |               |
| GB/T 21833.2         | 022Cr23Ni5Mo3N<br>(2205)  | —                 | Fe-10H | —50                | 655         | 485         | 316            | 218                            | 218 | 218 | 210 | 203 | 199 | 196  | 196<br>(316℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —              | v   |               |
| GB/T 21833.2         | 022Cr25Ni7Mo4N<br>(2507)  | —                 | Fe-10H | —50                | 800         | 550         | 316            | 267                            | 265 | 264 | 251 | 243 | 238 | 237  | 236<br>(316℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —              | v   |               |
| 5.2 不锈钢焊管(EFW,无填充金属) |                           |                   |        |                    |             |             |                |                                |     |     |     |     |     |      |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |                |     |               |
| GB/T 12771           | 022Cr19Ni10<br>(304L)     | —                 | Fe-8   | —255               | 485         | 180         | 816            | 120                            | 120 | 120 | 120 | 110 | 103 | 97.7 | 95.7          | 94.1 | 92.6 | 91.3 | 90.0 | 88.7 | 87.3 | 85.6 | 83.7 | 81.4 | 40.4 | 33.2 | 26.7 | 21.9 | 18.2 | 15.0 | 12.4 | 8.8  | 7.2  | 6.5            | 6.21<br>(816℃) | —   | p,y           |
| HG/T 20537.3         | 022Cr19Ni10<br>(304L)     | —                 | Fe-8   | —255               | 485         | 180         | 816            | 120                            | 120 | 120 | 120 | 110 | 103 | 97.7 | 95.7          | 94.1 | 92.6 | 91.3 | 90.0 | 88.7 | 87.3 | 85.6 | 83.7 | 81.4 | 40.4 | 33.2 | 26.7 | 21.9 | 18.2 | 15.0 | 12.4 | 8.8  | 7.2  | 6.5            | 6.21<br>(816℃) | —   | p,y           |
| GB/T 12771           | 06Cr19Ni10<br>(304)       | —                 | Fe-8   | —255               | 515         | 205         | 816            | 138                            | 138 | 138 | 138 | 129 | 122 | 116  | 113           | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1 | 11.2           | 9.65<br>(816℃) | —   | p,q,r,y       |
| HG/T 20537.3         | 06Cr19Ni10<br>(304)       | —                 | Fe-8   | —255               | 515         | 205         | 816            | 138                            | 138 | 138 | 138 | 129 | 122 | 116  | 113           | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1 | 11.2           | 9.65<br>(816℃) | —   | p,q,r,y       |
| GB/T 12771           | 022Cr17Ni12Mo2<br>(316L)  | —                 | Fe-8   | —255               | 485         | 180         | 816            | 120                            | 120 | 120 | 120 | 109 | 103 | 98.1 | 96.1          | 94.3 | 92.6 | 90.9 | 89.3 | 87.6 | 85.9 | 84.2 | 82.5 | 80.8 | 79.3 | 77.9 | 58.0 | 43.6 | 33.0 | 25.3 | 18.8 | 14.0 | 10.4 | 7.99<br>(816℃) | —              | p,y |               |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准           | 牌号等级                      | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别   | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa                        |     |     |     |     |      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |                |                |     |                 |
|--------------|---------------------------|-------------------|--------|------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|----------------|-----|-----------------|
|              |                           |                   |        |                        | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) |             |                                              |     |     |     |     |      |      |                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |                |     |                 |
|              |                           |                   |        |                        |             |                                             |             | $R_{\text{eL}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) | 40  | 65  | 100 | 150 | 200  | 250  | 300                      | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600  |      | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  | 750            | 775            | 800 | 825             |
| HG/T 20537.3 | 022Cr17Ni12Mo2<br>(316L)  | —                 | Fe-8   | —255                   | 485         | 180                                         | 816         | 120                                          | 120 | 120 | 109 | 103 | 98.1 | 96.1 | 94.3                     | 92.6 | 90.9 | 89.3 | 87.6 | 85.9 | 84.2 | 82.5 | 80.8 | 79.3 | 77.9 | 58.0 | 43.6 | 33.0 | 25.3 | 18.8 | 14.0 | 10.4 | 7.99 | 6.89<br>(816℃) | —              | p,y |                 |
| GB/T 12771   | 06Cr17Ni12Mo2<br>(316)    | —                 | Fe-8   | —255                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                                          | 138 | 138 | 138 | 134 | 125  | 119  | 116                      | 114  | 112  | 111  | 110  | 109  | 108  | 107  | 106  | 105  | 97.8 | 80.8 | 65.0 | 50.4 | 38.6 | 29.6 | 23.0 | 17.4 | 13.3 | 10.4           | 8.96<br>(816℃) | —   | p,q,r,y         |
| HG/T 20537.3 | 06Cr17Ni12Mo2<br>(316)    | —                 | Fe-8   | —255                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                                          | 138 | 138 | 138 | 134 | 125  | 119  | 116                      | 114  | 112  | 111  | 110  | 109  | 108  | 107  | 106  | 105  | 97.8 | 80.8 | 65.0 | 50.4 | 38.6 | 29.6 | 23.0 | 17.4 | 13.3 | 10.4           | 8.96<br>(816℃) | —   | p,q,r,y         |
| GB/T 12771   | 06Cr18Ni11Ti<br>(321)     | —                 | Fe-8   | —255                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                                          | 138 | 138 | 138 | 138 | 135  | 128  | 125                      | 123  | 120  | 119  | 117  | 116  | 114  | 113  | 112  | 88.7 | 59.2 | 44.0 | 32.9 | 24.5 | 18.3 | 12.5 | 8.49 | 6.19 | 4.28 | 2.75           | 2.07<br>(816℃) | —   | q,s,r,y         |
| HG/T 20537.3 | 06Cr18Ni11Ti<br>(321)     | —                 | Fe-8   | —255                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                                          | 138 | 138 | 138 | 138 | 135  | 128  | 125                      | 123  | 120  | 119  | 117  | 116  | 114  | 113  | 112  | 88.7 | 59.2 | 44.0 | 32.9 | 24.5 | 18.3 | 12.5 | 8.49 | 6.19 | 4.28 | 2.75           | 2.07<br>(816℃) | —   | q,s,r,y         |
| GB/T 12771   | 06Cr18Ni11Nb<br>(347)     | —                 | Fe-8   | —255                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                                          | 138 | 138 | 138 | 138 | 138  | 135  | 128                      | 125  | 123  | 120  | 127  | 126  | 126  | 125  | 125  | 97.6 | 75.9 | 57.2 | 40.2 | 30.3 | 23.2 | 16.2 | 11.4 | 8.97 | 7.08 | 5.89           | 5.52<br>(816℃) | —   | q,t,r,y         |
| GB/T 12771   | 06Cr23Ni13<br>(309)       | —                 | Fe-8   | —200                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                                          | 138 | 138 | 138 | 138 | 135  | 131  | 129                      | 127  | 125  | 124  | 122  | 121  | 119  | 117  | 108  | 83.7 | 64.0 | 48.5 | 36.3 | 27.3 | 21.0 | 15.9 | 12.5 | 9.87 | 7.65 | 5.97           | 5.17<br>(816℃) | —   | p,q,r,<br>u,w,y |
| GB/T 12771   | 06Cr25Ni20<br>(310)       | —                 | Fe-8   | —200                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                                          | 138 | 138 | 138 | 138 | 134  | 129  | 127                      | 125  | 123  | 122  | 120  | 119  | 117  | 116  | 108  | 83.7 | 64.0 | 48.5 | 36.3 | 27.3 | 21.0 | 15.9 | 12.5 | 9.87 | 7.65 | 5.97           | 5.17<br>(816℃) | —   | p,q,r,<br>u,w,y |
| GB/T 21832.2 | 022Cr22Ni5Mo3N<br>(31803) | —                 | Fe-10H | —50                    | 620         | 450                                         | 316         | 207                                          | 207 | 207 | 199 | 193 | 188  | 186  | <sup>185</sup><br>(316℃) |      | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —              | —   | v,z             |
| GB/T 21832.2 | 022Cr23Ni5Mo3N<br>(2205)  | —                 | Fe-10H | —50                    | 655         | 485                                         | 316         | 218                                          | 218 | 218 | 210 | 203 | 199  | 196  | <sup>196</sup><br>(316℃) |      | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —              | —   | v,z             |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准           | 牌号等级                     | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 脚注 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--------------------------|-----------------------|----------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|              |                          |                       |          |                                 | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     | 40                    | 65 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 |    | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|              |                          |                       |          |                                 |             |                             |                     |                       |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| GB/T 21832.2 | 022Cr25Ni7Mo4N<br>(2507) | —                     | Fe-10H   | —50                             | 800         | 550                         |                     |                       |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准                 | 牌号等级                  | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |             | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa       |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |      |                |                |                |           |         |       |
|--------------------|-----------------------|-------------------|------|------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|----------------|----------------|-----------|---------|-------|
|                    |                       |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | 最高使用温度<br>℃ |                             |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |                |                |           |         |       |
|                    |                       |                   |      |                        |             |             | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | 40  | 65  | 100 | 150 | 200 | 250  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  |      | 600  | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  | 750            | 775            | 800            | 825       | 850     | 875   |
| HG/T 20537.4       | 06Cr18Ni11Ti<br>(321) | —                 | Fe-8 | —255                   | 520         | 205         | 816                         | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128  | 125  | 123  | 120  | 119  | 117  | 116  | 114  | 113  | 112  | 88.7 | 59.2 | 44.0 | 32.9 | 24.5 | 18.3 | 12.5 | 8.49 | 6.19 | 4.28 | 2.75           | 2.07<br>(816℃) | —              | —         | j,q,r,s |       |
| GB/T 32964         | 06Cr18Ni11Nb<br>(347) | —                 | Fe-8 | —255                   | 520         | 210         | 816                         | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 132  | 130  | 128  | 127  | 126  | 126  | 126  | 125  | 125  | 125  | 97.6 | 75.9 | 57.2 | 40.2 | 30.3 | 23.2 | 16.2 | 11.4 | 8.97 | 7.08 | 5.89<br>(816℃) | —              | —              | i,q,r,t,x |         |       |
| 5.4 不锈钢管件(包括对焊、锻制) |                       |                   |      |                        |             |             |                             |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |                |                |           |         |       |
| GB/T 13401         | SF304L                | —                 | Fe-8 | —255                   | 480         | 170         | 816                         | 115 | 115 | 115 | 110 | 103 | 97.7 | 95.7 | 94.1 | 92.6 | 91.3 | 90.0 | 88.7 | 87.3 | 85.6 | 83.7 | 81.4 | 40.4 | 33.2 | 26.7 | 21.9 | 18.2 | 15.0 | 12.4 | 8.87 | 7.20 | 6.58<br>(816℃) | 6.21<br>(816℃) | —              | —         | p       |       |
| GB/T 14383         | SF304L                | —                 | Fe-8 | —255                   | 480         | 170         | 816                         | 115 | 115 | 115 | 110 | 103 | 97.7 | 95.7 | 94.1 | 92.6 | 91.3 | 90.0 | 88.7 | 87.3 | 85.6 | 83.7 | 81.4 | 40.4 | 33.2 | 26.7 | 21.9 | 18.2 | 15.0 | 12.4 | 8.87 | 7.20 | 6.58<br>(816℃) | 6.21<br>(816℃) | —              | —         | p       |       |
| GB/T 13401         | SF304                 | —                 | Fe-8 | —255                   | 515         | 205         | 816                         | 138 | 138 | 138 | 138 | 129 | 122  | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1           | 11.2<br>(816℃) | 9.65<br>(816℃) | —         | —       | p,q,r |
| GB/T 14383         | SF304                 | —                 | Fe-8 | —255                   | 515         | 205         | 816                         | 138 | 138 | 138 | 138 | 129 | 122  | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1           | 11.2<br>(816℃) | 9.65<br>(816℃) | —         | —       | p,q,r |
| GB/T 13401         | SF304H                | —                 | Fe-8 | —200                   | 515         | 205         | 816                         | 138 | 138 | 138 | 138 | 129 | 122  | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1           | 11.2<br>(816℃) | 9.65<br>(816℃) | —         | —       | q     |
| GB/T 14383         | SF304H                | —                 | Fe-8 | —200                   | 515         | 205         | 816                         | 138 | 138 | 138 | 138 | 129 | 122  | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103  | 101  | 99.1 | 97.3 | 95.5 | 78.9 | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1           | 11.2<br>(816℃) | 9.65<br>(816℃) | —         | —       | q     |
| GB/T 13401         | SF316L                | —                 | Fe-8 | —255                   | 480         | 170         | 816                         | 115 | 115 | 115 | 115 | 109 | 103  | 98.1 | 96.1 | 94.3 | 92.6 | 90.9 | 89.3 | 87.6 | 85.9 | 84.2 | 82.5 | 80.8 | 79.3 | 77.9 | 58.0 | 43.6 | 33.0 | 25.3 | 18.8 | 14.0 | 10.4           | 7.99<br>(816℃) | 6.89<br>(816℃) | —         | —       | p     |
| GB/T 14383         | SF316L                | —                 | Fe-8 | —255                   | 480         | 170         | 816                         | 115 | 115 | 115 | 115 | 109 | 103  | 98.1 | 96.1 | 94.3 | 92.6 | 90.9 | 89.3 | 87.6 | 85.9 | 84.2 | 82.5 | 80.8 | 79.3 | 77.9 | 58.0 | 43.6 | 33.0 | 25.3 | 18.8 | 14.0 | 10.4           | 7.99<br>(816℃) | 6.89<br>(816℃) | —         | —       | p     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级   | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |      |      |         |     |         |
|------------|--------|-----------------------|----------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|-----|---------|
|            |        |                       |          |                                 | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |     |         |
|            |        |                       |          |                                 |             |                             |                     | $R_{eL}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | 40  | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525  | 550  | 575  | 600  |      | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  | 750  | 775  | 800     | 825 | 850     |
| GB/T 13401 | SF316  | —                     | Fe-8     | —255                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 134 | 125 | 119 | 116 | 114 | 112 | 111 | 110 | 109 | 108 | 107 | 106 | 105  | 97.8 | 80.8 | 65.0 | 50.4 | 38.6 | 29.6 | 23.0 | 17.4 | 13.3 | 10.4 | 8.96 | (816 ℃) | —   | p,q,r   |
| GB/T 14383 | SF316  | —                     | Fe-8     | —255                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 134 | 125 | 119 | 116 | 114 | 112 | 111 | 110 | 109 | 108 | 107 | 106 | 105  | 97.8 | 80.8 | 65.0 | 50.4 | 38.6 | 29.6 | 23.0 | 17.4 | 13.3 | 10.4 | 8.96 | (816 ℃) | —   | p,q,r   |
| GB/T 13401 | SF316H | —                     | Fe-8     | —200                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 134 | 125 | 119 | 116 | 114 | 112 | 111 | 110 | 109 | 108 | 107 | 106 | 105  | 97.8 | 80.8 | 65.0 | 50.4 | 38.6 | 29.6 | 23.0 | 17.4 | 13.3 | 10.4 | 8.96 | (816 ℃) | —   | q       |
| GB/T 14383 | SF316H | —                     | Fe-8     | —200                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 134 | 125 | 119 | 116 | 114 | 112 | 111 | 110 | 109 | 108 | 107 | 106 | 105  | 97.8 | 80.8 | 65.0 | 50.4 | 38.6 | 29.6 | 23.0 | 17.4 | 13.3 | 10.4 | 8.96 | (816 ℃) | —   | q       |
| GB/T 13401 | SF321  | —                     | Fe-8     | —255                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128 | 125 | 123 | 120 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 88.7 | 59.2 | 44.0 | 32.9 | 24.5 | 18.3 | 12.5 | 8.49 | 6.19 | 4.28 | 2.75 | 2.07 | (816 ℃) | —   | p,q,s,r |
| GB/T 14383 | SF321  | —                     | Fe-8     | —255                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128 | 125 | 123 | 120 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 88.7 | 59.2 | 44.0 | 32.9 | 24.5 | 18.3 | 12.5 | 8.49 | 6.19 | 4.28 | 2.75 | 2.07 | (816 ℃) | —   | p,q,s,r |
| GB/T 13401 | SF321H | —                     | Fe-8     | —200                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128 | 125 | 123 | 120 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 100  | 76.5 | 58.7 | 46.0 | 36.8 | 28.7 | 23.0 | 18.4 | 14.5 | 11.5 | 9.02 | 7.58 | (816 ℃) | —   | q       |
| GB/T 14383 | SF321H | —                     | Fe-8     | —200                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 128 | 125 | 123 | 120 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 100  | 76.5 | 58.7 | 46.0 | 36.8 | 28.7 | 23.0 | 18.4 | 14.5 | 11.5 | 9.02 | 7.58 | (816 ℃) | —   | q       |
| GB/T 13401 | SF347  | —                     | Fe-8     | —255                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 135 | 132 | 130 | 128 | 127 | 126 | 126 | 125 | 125 | 97.6 | 75.9 | 57.2 | 40.2 | 30.3 | 23.2 | 16.2 | 11.4 | 8.97 | 7.08 | 5.89 | 5.52 | (816 ℃) | —   | q,r,t   |
| GB/T 14383 | SF347  | —                     | Fe-8     | —255                            | 515         | 205                         | 816                 | 138                            | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 135 | 132 | 130 | 128 | 127 | 126 | 126 | 125 | 125 | 97.6 | 75.9 | 57.2 | 40.2 | 30.3 | 23.2 | 16.2 | 11.4 | 8.97 | 7.08 | 5.89 | 5.52 | (816 ℃) | —   | q,r,t   |



表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级   | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别   | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |      |      |         |         |               |     |
|------------|--------|-------------------|--------|------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|---------------|-----|
|            |        |                   |        |                        | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) |             | 40                    | 65  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325            | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575  | 600  | 625  |      | 650  | 675  | 700  | 725  | 750  | 775  | 800  | 825     | 850     | 875           | 900 |
|            |        |                   |        |                        |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |         |               |     |
| GB/T 13401 | SF347H | —                 | Fe-8   | —200                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 132            | 130 | 129 | 127 | 126 | 126 | 125 | 125 | 125 | 125 | 112  | 90.6 | 69.6 | 53.8 | 41.4 | 31.8 | 24.0 | 18.8 | 14.6 | 10.9 | 8.96 | (816 ℃) | —       | q             |     |
| GB/T 14383 | SF347H | —                 | Fe-8   | —200                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 132            | 130 | 129 | 127 | 126 | 126 | 125 | 125 | 125 | 125 | 112  | 90.6 | 69.6 | 53.8 | 41.4 | 31.8 | 24.0 | 18.8 | 14.6 | 10.9 | 8.96 | (816 ℃) | —       | q             |     |
| GB/T 13401 | SF310  | —                 | Fe-8   | —200                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 134 | 129            | 127 | 125 | 123 | 122 | 120 | 119 | 117 | 116 | 108 | 83.7 | 64.0 | 48.5 | 36.3 | 27.3 | 21.0 | 15.9 | 12.5 | 9.87 | 7.65 | 5.97 | 5.17    | (816 ℃) | p-q,r,<br>u,w |     |
| GB/T 14383 | SF310  | —                 | Fe-8   | —200                   | 515         | 205                                         | 816         | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 134 | 129            | 127 | 125 | 123 | 122 | 120 | 119 | 117 | 116 | 108 | 83.7 | 64.0 | 48.5 | 36.3 | 27.3 | 21.0 | 15.9 | 12.5 | 9.87 | 7.65 | 5.97 | 5.17    | (816 ℃) | p-q,r,<br>u,w |     |
| GB/T 13401 | SF2225 | —                 | Fe-10H | —50                    | 620         | 450                                         | 316         | 207                   | 207 | 207 | 199 | 193 | 188 | 186 | 185<br>(316 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —       | —       | v,z           |     |
| GB/T 14383 | SF2225 | —                 | Fe-10H | —50                    | 620         | 450                                         | 316         | 207                   | 207 | 207 | 199 | 193 | 188 | 186 | 185<br>(316 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —       | —       | v,z           |     |
| GB/T 13401 | SF2205 | —                 | Fe-10H | —50                    | 655         | 450                                         | 316         | 218                   | 218 | 218 | 210 | 203 | 199 | 196 | 196<br>(316 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —       | —       | v,z           |     |
| GB/T 14383 | SF2205 | —                 | Fe-10H | —50                    | 655         | 450                                         | 316         | 218                   | 218 | 218 | 210 | 203 | 199 | 196 | 196<br>(316 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —       | —       | v,z           |     |
| GB/T 13401 | SF2507 | —                 | Fe-10H | —50                    | 800         | 550                                         | 316         | 267                   | 265 | 264 | 251 | 243 | 238 | 237 | 236<br>(316 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —       | —       | v,z           |     |
| GB/T 14383 | SF2507 | —                 | Fe-10H | —50                    | 800         | 550                                         | 316         | 267                   | 265 | 264 | 251 | 243 | 238 | 237 | 236<br>(316 ℃) |     | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —       | —       | v,z           |     |

5.5 不锈钢铸件

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级              | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低使<br>用温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                             |                                             |                  |      |      |      |      | 脚注   |                  |      |      |      |      |      |                 |                  |     |                 |     |
|------------|-------------------|-----------------------|----------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|------|------|-----------------|------------------|-----|-----------------|-----|
|            |                   |                       |          |                                 | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                             |                                             |                  |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |                 |                  |     |                 |     |
|            |                   |                       |          |                                 |             |                             |                     | 40                    | 65   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450                                         | 475                                         | 500              | 525  | 550  | 575  | 600  |      | 625              | 650  | 675  | 700  | 725  | 750  | 775             | 800              | 825 | 850             | 875 |
| GB/T 12230 | CF3               | —                     | Fe-8     | —255                            | 485         | 205                         | 427                 | 138                   | 138  | 138  | 138  | 129  | 122  | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | $\frac{103}{(427\text{ }^{\circ}\text{C})}$ | —                                           | —                | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —    | —    | —    | —    | —    | —               | —                | —   | p               |     |
| GB/T 12230 | CF8               | —                     | Fe-8     | —255                            | 485         | 205                         | 816                 | 138                   | 138  | 138  | 138  | 129  | 122  | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103                                         | 101                                         | 99.1             | 94.4 | 75.3 | 60.4 | 49.0 | 40.1 | 32.8             | 27.2 | 23.4 | 19.6 | 16.8 | 14.7 | 12.8            | 11.7<br>(816 °C) | —   | p,q,r           |     |
| GB/T 12230 | CF3M              | —                     | Fe-8     | —255                            | 485         | 205                         | 454                 | 138                   | 138  | 138  | 138  | 133  | 125  | 119  | 116  | 114  | 112  | 111  | 109  | 108                                         | $\frac{107}{(454\text{ }^{\circ}\text{C})}$ | —                | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —    | —    | —    | —    | —    | —               | —                | —   | p               |     |
| GB/T 12230 | CF8M              | —                     | Fe-8     | —200                            | 485         | 205                         | 816                 | 138                   | 138  | 138  | 138  | 129  | 122  | 116  | 113  | 111  | 109  | 107  | 105  | 103                                         | 101                                         | 99.1             | 97.3 | 95.5 | 75.3 | 57.2 | 40.2 | 30.3             | 23.2 | 16.2 | 11.4 | 8.9  | 7.7  | 5.8             | 5.5<br>(816 °C)  | —   | p,q,r           |     |
| GB/T 12230 | CF8C              | —                     | Fe-8     | —200                            | 485         | 205                         | 816                 | 138                   | 135  | 131  | 121  | 115  | 111  | 108  | 108  | 108  | 108  | 108  | 108  | 108                                         | 108                                         | 107              | 106  | 98.3 | 77.2 | 57.7 | 39.9 | 30.0             | 23.2 | 16.3 | 11.2 | 8.9  | 7.7  | 5.3<br>(816 °C) | —                | t   |                 |     |
| 6 镍及镍合金    |                   |                       |          |                                 |             |                             |                     |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                             |                                             |                  |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |                 |                  |     |                 |     |
| 6.1 镍及镍合金管 |                   |                       |          |                                 |             |                             |                     |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                             |                                             |                  |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |                 |                  |     |                 |     |
| NB/T 47047 | N5<br>(N02201)    | 退火                    | Ni-1     | —200                            | 345         | 80                          | 649                 | 55.2                  | 53.8 | 52.8 | 51.9 | 51.6 | 51.6 | 51.6 | 51.6 | 51.5 | 51.2 | 50.7 | 49.9 | 41.4                                        | 33.1                                        | 27.4             | 22.8 | 18.7 | 15.6 | 12.9 | 10.0 | 8.27<br>(649 °C) | —    | —    | —    | —    | —    | —               | —                | —   |                 |     |
| NB/T 47047 | N7<br>(N02200)    | 退火                    | Ni-1     | —200                            | 380         | 105                         | 316                 | 70.0                  | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | —    | —    | —    | —                                           | —                                           | —                | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —    | —    | —    | —    | —    | —               | —                | —   |                 |     |
| NB/T 47047 | NC30<br>(N04400)  | 退火                    | Ni-2     | —200                            | 480         | 195                         | 482                 | 129                   | 119  | 112  | 105  | 102  | 101  | 101  | 101  | 101  | 100  | 99.6 | 98.6 | 79.7                                        | 59.9                                        | 55.2<br>(482 °C) | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —    | —    | —    | —    | —    | —               | —                | —   | —               |     |
| NB/T 47047 | NS102<br>(N08810) | (退火)                  | Ni-5     | —200                            | 450         | 170                         | 899                 | 115                   | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 113  | 110  | 108  | 106  | 104  | 102                                         | 100                                         | 98.6             | 97.1 | 95.7 | 91.8 | 75.7 | 62.6 | 50.6             | 41.2 | 33.6 | 27.7 | 22.6 | 18.3 | 15.0            | 11.9             | 9.0 | 5.8<br>(899 °C) | aa  |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准          | 牌号等级               | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |             | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa       |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      | 脚注   |                    |                    |      |      |      |      |                    |      |      |            |          |       |       |
|-------------|--------------------|-------------------|------|------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|--------------------|--------------------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------------|----------|-------|-------|
|             |                    |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | 最高使用温度<br>℃ |                             |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |                    |                    |      |      |      |      |                    |      |      |            |          |       |       |
|             |                    |                   |      |                        |             |             | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | $R_{eL}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | 40   | 65   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500                | 525  | 550  | 575  |      | 600                | 625                | 650  | 675  | 700  | 725  | 750                | 775  | 800  | 825        | 850      | 875   | 900   |
| NB/T 47047  | NS1104<br>(N08811) | (退火)              | Ni-5 | -200                   | 450         | 170         | 899                         | 115                            | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 113  | 110  | 108  | 106  | 104  | 102  | 100  | 98.6 | 97.1 | 95.7               | 92.5 | 84.5 | 69.5 | 56.7 | 46.8               | 38.5               | 31.5 | 25.5 | 20.7 | 18.0 | 13.9               | 11.2 | 9.33 | (899<br>℃) | aa       |       |       |
| NB/T 47047  | NS1101<br>(N08800) | (退火)              | Ni-5 | -200                   | 520         | 205         | 816                         | 138                            | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 136                | 107  | 83.8 | 63.9 | 44.7 | 29.8               | 15.5               | 11.7 | 8.6  | 7.2  | 6.25 | 5.11<br>(816<br>℃) | —    | aa   |            |          |       |       |
| NB/T 47047  | NS3102<br>(N06600) | 固溶                | Ni-3 | -200                   | 550         | 240         | 649                         | 161                            | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 13.8<br>(649<br>℃) | 84.8 | 58.4 | 39.7 | 27.0 | 19.2               | 15.0               | —    | —    | —    | —    | —                  | —    | —    | —          | —        |       |       |
| NB/T 47047  | NS1402<br>(N08825) | 固溶                | Ni-5 | -200                   | 586         | 241         | 538                         | 161                            | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 160  | 159  | 158  | 157  | 156  | 155  | 153<br>(538<br>℃)  | —    | —    | —    | —    | —                  | —                  | —    | —    | —    | —    | —                  | —    | —    | —          | —        | —     |       |
| NB/T 47047  | NS3304<br>(N10276) | 固溶                | Ni-3 | -200                   | 690         | 283         | 677                         | 188                            | 188  | 188  | 188  | 187  | 177  | 172  | 169  | 165  | 162  | 159  | 157  | 156  | 155  | 154  | 143                | 118  | 99.1 | 81.6 | 67.0 | 54.6               | 42.2<br>(677<br>℃) | —    | —    | —    | —    | —                  | —    | —    | —          | —        | —     |       |
| —           | NS3306<br>(N06625) | 退火                | Ni-3 | -200                   | 827         | 414         | 649                         | 276                            | 276  | 276  | 273  | 270  | 267  | 262  | 260  | 257  | 255  | 252  | 251  | 249  | 247  | 245  | 242                | 215  | 194  | 156  | 136  | 91.0<br>(649<br>℃) | —                  | —    | —    | —    | —    | —                  | —    | —    | —          | bb,cc,dd |       |       |
| 6.2 镍及镍合金管件 |                    |                   |      |                        |             |             |                             |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |                    |                    |      |      |      |      |                    |      |      |            |          |       |       |
| —           | WPNL<br>(N02201)   | 退火                | Ni-1 | -200                   | 345         | 69          | 649                         | 46.0                           | 44.7 | 43.9 | 43.3 | 43.2 | 43.2 | 43.2 | 43.1 | 42.9 | 42.6 | 42.1 | 41.5 | 40.7 | 33.1 | 27.4 | 22.8               | 18.7 | 15.6 | 12.9 | 10.0 | 8.27<br>(649<br>℃) | —                  | —    | —    | —    | —    | —                  | —    | —    | —          | —        | ee,ff |       |
| —           | WPN<br>(N02200)    | 退火                | Ni-1 | -200                   | 380         | 105         | 260                         | 70.0                           | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0               | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0               | 70.0               | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0               | 70.0 | 70.0 | 70.0       | 70.0     | ee,ff |       |
| —           | WPNC<br>(N04400)   | 退火                | Ni-2 | -200                   | 483         | 172         | 482                         | 115                            | 106  | 99.7 | 93.6 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 89.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0               | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0               | 88.0               | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0               | 88.0 | 88.0 | 88.0       | 88.0     | 88.0  | ee,ff |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准          | 牌号等级                | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |            |            |                 |       |
|-------------|---------------------|-------------------|------|------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------------|------------|-----------------|-------|
|             |                     |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |             |                       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |            |            |                 |       |
|             |                     |                   |      |                        |             |                             |             | $R_{eL}$              | $R_{p0.2}$ | 40   | 65   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  |      | 600  | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  | 750  | 775  | 800  | 825  | 850              | 875        | 900        |                 |       |
| —           | WPNiC10<br>(N08810) | 退火                | Ni-5 | —200                   | 450         | 170                         | 899         | 115                   | 115        | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 113  | 113  | 110  | 108  | 106  | 104  | 102  | 100  | 98.6 | 97.1 | 95.7 | 91.8 | 75.7 | 62.6 | 50.6 | 41.2 | 33.6 | 27.7 | 22.6 | 18.3 | 15.0 | 11.9 | 9.0              | 7.35       | (899<br>ff | ee,<br>ff       |       |
| —           | WPNiC11<br>(N08811) | 退火                | Ni-5 | —200                   | 450         | 170                         | 899         | 115                   | 115        | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 115  | 113  | 113  | 110  | 108  | 106  | 104  | 102  | 100  | 98.6 | 97.1 | 95.7 | 92.5 | 84.5 | 69.5 | 56.7 | 46.8 | 38.5 | 31.5 | 25.5 | 20.7 | 18.0 | 13.9 | 11.2 | 9.33             | (899<br>ff | ee,<br>ff  |                 |       |
| —           | WPNiC<br>(N08800)   | 退火                | Ni-5 | —200                   | 517         | 207                         | 816         | 138                   | 138        | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 136  | 107  | 83.8 | 63.9 | 44.7 | 29.8 | 15.5 | 11.7 | 8.68 | 7.20 | 6.25 | 5.11 | (816<br>aa,ee,ff | —          |            |                 |       |
| —           | WPNiC1<br>(N06600)  | 退火                | Ni-3 | —200                   | 552         | 241                         | 649         | 161                   | 161        | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 13.8 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —          | —          | ee,ff           |       |
| —           | WPNiCMC<br>(N08825) | 退火                | Ni-5 | —200                   | 586         | 241                         | 538         | 161                   | 161        | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 160  | 159  | 158  | 157  | 156  | 155  | 153  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —          | —          | —               | ee,ff |
| —           | WPHC276<br>(N10276) | 固溶                | Ni-3 | —200                   | 690         | 283                         | 677         | 188                   | 188        | 188  | 188  | 188  | 187  | 177  | 172  | 169  | 165  | 162  | 159  | 157  | 156  | 155  | 154  | 143  | 118  | 99.1 | 81.6 | 67.0 | 54.6 | 42.2 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —          | —          | —               | ee,ff |
| —           | WPNiCMC<br>(N06625) | 退火                | Ni-3 | —200                   | 827         | 414                         | 649         | 276                   | 276        | 276  | 273  | 270  | 267  | 262  | 260  | 257  | 255  | 252  | 251  | 249  | 247  | 245  | 242  | 215  | 194  | 156  | 136  | 91.0 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —          | —          | cc,dd,<br>ee,ff |       |
| 6.3 镍及镍合金锻件 |                     |                   |      |                        |             |                             |             |                       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |            |            |                 |       |
| NB/T 47028  | NS5201<br>(N02201)  | 退火                | Ni-1 | —200                   | 340         | 80                          | 649         | 55.2                  | 53.8       | 52.8 | 51.9 | 51.6 | 51.6 | 51.6 | 51.6 | 51.5 | 51.2 | 50.7 | 49.9 | 41.4 | 33.1 | 27.4 | 22.8 | 18.7 | 15.6 | 12.9 | 10.0 | 8.27 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —                | —          | —          | c               |       |
| NB/T 47028  | NS5200<br>(N02200)  | 退火                | Ni-1 | —200                   | 380         | 105                         | 316         | 70.0                  | 70.0       | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0             | 70.0       | 70.0       | c               |       |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级               | 尺寸范围<br>mm<br>/状态 | 母材类别 | 最低使用温度<br>℃/图1<br>的曲线号 | 标准规定        |                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa          |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|--------------------|-------------------|------|------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            |                    |                   |      |                        | 最小强度<br>MPa | $R_m$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |             |                                |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            |                    |                   |      |                        |             |                             |             | $R_{eL}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| NB/T 47028 | NS6400<br>(N04400) | 退火                | Ni-2 | -200                   | 485         | 170                         | 482         | 115                            | 106 | 99.7 | 93.6 | 90.9 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 | 90.4 |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准                               | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |            | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力 |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |                 |     |
|----------------------------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|-------------|------------|---------------------|----------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|-----|
|                                  |          |                       |          |                                     | 最小强度<br>MPa | $R_{p0.2}$ |                     | MPa            |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |     |
|                                  |          |                       |          |                                     |             |            |                     | $R_m$          | $R_{el}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | 40   | 65   | 75   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  | 225  |      | 250             | 275 |
| 7 钛及钛合金                          |          |                       |          |                                     |             |            |                     |                |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |     |
| 7.1 钛及钛合金管(无缝管、无填充金属 EFW 焊管及挤压管) |          |                       |          |                                     |             |            |                     |                |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |     |
| GB/T 3624                        | TA1G     | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 240         | 140        | 316                 | 80.3           | 73.8                           | 70.5 | 62.4 | 55.5 | 49.4 | 43.4 | 38.3 | 33.9 | 30.2 | 27.3 | 25.2 | 23.7<br>(316 ℃) | —   |
| GB/T 26058                       | TA1      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 240         | —          | 316                 | 80.3           | 73.8                           | 70.5 | 62.4 | 55.5 | 49.4 | 43.4 | 38.3 | 33.9 | 30.2 | 27.3 | 25.2 | 23.7<br>(316 ℃) | jj  |
| GB/T 26057                       | TA1      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 240         | 140        | 316                 | 80.3           | 73.8                           | 70.5 | 62.4 | 55.5 | 49.4 | 43.4 | 38.3 | 33.9 | 30.2 | 27.3 | 25.2 | 23.7<br>(316 ℃) | —   |
| GB/T 3624                        | TA2G     | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 400         | 275        | 316                 | 133            | 108                            | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7 | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | —   |
| GB/T 26058                       | TA2      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 400         | —          | 316                 | 133            | 108                            | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7 | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | jj  |
| GB/T 26057                       | TA2      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 400         | 275        | 316                 | 133            | 108                            | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7 | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | —   |
| GB/T 3624                        | TA3G     | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 500         | 380        | 316                 | 166            | 139                            | 134  | 124  | 113  | 102  | 93.3 | 84.7 | 77.7 | 70.7 | 66.2 | 61.7 | 57.7<br>(316 ℃) | —   |
| GB/T 26058                       | TA3      | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 450         | —          | 316                 | 150            | 139                            | 134  | 124  | 113  | 102  | 93.3 | 84.7 | 77.7 | 70.7 | 66.2 | 61.7 | 57.7<br>(316 ℃) | jj  |
| GB/T 26057                       | TA3      | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 500         | 380        | 316                 | 166            | 139                            | 134  | 124  | 113  | 102  | 93.3 | 84.7 | 77.7 | 70.7 | 66.2 | 61.7 | 57.7<br>(316 ℃) | —   |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准          | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                                | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |                 |     |  |
|-------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|-----|--|
|             |          |                       |          |                                     | 最小强度<br>MPa |                                |                     | 40                    | 65   | 75   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  | 225  | 250  | 275  |      | 300             | 325 |  |
|             |          |                       |          |                                     | $R_m$       | $R_{el}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |     |  |
| GB/T 3624   | TA9-1    | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 240         | 140                            | 316                 | 80.3                  | 73.8 | 70.5 | 62.4 | 55.5 | 49.4 | 43.4 | 38.3 | 33.9 | 30.2 | 27.3 | 25.2 | 23.7<br>(316 ℃) | —   |  |
| GB/T 3624   | TA9      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 400         | 275                            | 316                 | 133                   | 108  | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7 | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | —   |  |
| GB/T 26058  | TA9      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 400         | —                              | 316                 | 133                   | 108  | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7 | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | jj  |  |
| GB/T 26057  | TA9      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 400         | 275                            | 316                 | 133                   | 108  | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7 | 54.7 | 50.7(<br>316 ℃) | —   |  |
| GB/T 3624   | TA10     | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 460         | 300                            | 316                 | 153                   | 148  | 145  | 140  | 132  | 123  | 116  | 110  | 105  | 100  | 98.6 | 95.8 | 93.2<br>(316 ℃) | —   |  |
| GB/T 26058  | TA10     | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 485         | —                              | 316                 | 161                   | 156  | 153  | 148  | 139  | 130  | 123  | 116  | 111  | 106  | 104  | 101  | 98.3<br>(316 ℃) | jj  |  |
| GB/T 26057  | TA10     | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 483         | 345                            | 316                 | 161                   | 156  | 153  | 148  | 139  | 130  | 123  | 116  | 111  | 106  | 104  | 101  | 98.3<br>(316 ℃) | —   |  |
| 7.2 钛及钛合金管件 |          |                       |          |                                     |             |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |     |  |
| GB/T 27684  | TA1      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 240         | 140                            | 316                 | 80.3                  | 73.8 | 70.5 | 62.4 | 55.5 | 49.4 | 43.4 | 38.3 | 33.9 | 30.2 | 27.3 | 25.2 | 23.7<br>(316 ℃) | —   |  |
| GB/T 27684  | TA2      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 400         | 275                            | 316                 | 133                   | 108  | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7 | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | —   |  |
| GB/T 27684  | TA3      | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 500         | 380                            | 316                 | 166                   | 139  | 134  | 124  | 113  | 102  | 93.3 | 84.7 | 77.7 | 70.7 | 66.2 | 61.7 | 57.7<br>(316 ℃) | —   |  |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准          | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                                | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注              |      |                 |        |
|-------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|------|-----------------|--------|
|             |          |                       |          |                                     | 最小强度<br>MPa |                                |                     | 40                    | 65   | 75   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  | 225  | 250  |                 | 275  | 300             | 325    |
|             |          |                       |          |                                     | $R_m$       | $R_{eL}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |      |                 |        |
| GB/T 27684  | TA9      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 400         | 275                            | 316                 | 133                   | 108  | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7            | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | —      |
| GB/T 27684  | TA10     | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 450         | 300                            | 316                 | 150                   | 145  | 142  | 137  | 129  | 121  | 114  | 108  | 103  | 98.7 | 96.8            | 94.0 | 91.5<br>(316 ℃) | —      |
| 7.3 钛及钛合金锻件 |          |                       |          |                                     |             |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |      |                 |        |
| GB/T 25137  | F-1      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 240         | 138                            | 316                 | 80.3                  | 73.8 | 70.5 | 62.4 | 55.5 | 49.4 | 43.4 | 38.3 | 33.9 | 30.2 | 27.3            | 25.2 | 23.7<br>(316 ℃) | —      |
| GB/T 25137  | F-2      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 345         | 275                            | 316                 | 115                   | 108  | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7            | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | —      |
| GB/T 25137  | F-3      | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 450         | 380                            | 316                 | 150                   | 139  | 134  | 124  | 113  | 102  | 93.3 | 84.7 | 77.7 | 70.7 | 66.2            | 61.7 | 57.7<br>(316 ℃) | —      |
| GB/T 25137  | F-7      | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 345         | 275                            | 316                 | 115                   | 108  | 105  | 98.3 | 90.7 | 83.0 | 77.5 | 72.0 | 67.3 | 62.7 | 58.7            | 54.7 | 50.7<br>(316 ℃) | —      |
| GB/T 25137  | F-12     | 退火(M)                 | Ti-2     | —60                                 | 483         | 345                            | 316                 | 161                   | 156  | 153  | 148  | 139  | 130  | 123  | 116  | 111  | 106  | 104             | 101  | 98.3<br>(316 ℃) | —      |
| 7.4 钛及钛合金铸件 |          |                       |          |                                     |             |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                 |      |                 |        |
| GB/T 6614   | ZTA1     | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 345         | 275                            | 260                 | 115                   | 106  | 104  | 92.7 | 85.3 | 78.0 | 72.2 | 66.3 | 61.5 | 56.7 | 52.0<br>(260 ℃) | —    | —               | gg, hh |
| GB/T 6614   | ZTA2     | 退火(M)                 | Ti-1     | —60                                 | 440         | 370                            | 260                 | 146                   | 135  | 131  | 121  | 110  | 99.7 | 91.2 | 82.8 | 75.9 | 69.1 | 63.8<br>(260 ℃) | —    | —               | gg, hh |



表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准           | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定<br>最小强度<br>MPa |                                | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |      |      |      |      |      |      | 脚注             |            |
|--------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|----------------|------------|
|              |          |                       |          |                                     | $R_m$               | $R_{eL}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     | 40                    | 65   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  |                | 225        |
|              |          |                       |          |                                     |                     |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                |            |
| 8 铝及铝合金      |          |                       |          |                                     |                     |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                |            |
| 8.1 铝及铝合金无缝管 |          |                       |          |                                     |                     |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                |            |
| GB/T 4437.1  | 1060     | O                     | Al-1     | —270                                | 60                  | 15                             | 204                 | 10.0                  | 10.0 | 9.6  | 8.6  | 7.7  | 7.5  | 5.8  | 5.5<br>(204℃)  | hh, ii     |
| GB/T 6893    | 1060     | O                     | Al-1     | —270                                | 60                  | —                              | 204                 | 10.0                  | 10.0 | 9.6  | 8.6  | 7.7  | 7.5  | 5.8  | 5.5<br>(204℃)  | hh, ii, jj |
| GB/T 38512   | 1060     | O                     | Al-1     | —270                                | 60                  | 15                             | 204                 | 10.0                  | 10.0 | 9.6  | 8.6  | 7.7  | 7.5  | 5.8  | 5.5<br>(204℃)  | hh, ii     |
| GB/T 4437.1  | 1060     | H112                  | Al-1     | —270                                | 60                  | —                              | 204                 | 10.0                  | 10.0 | 9.6  | 8.6  | 7.7  | 7.5  | 5.8  | 5.5<br>(204℃)  | hh, ii, jj |
| GB/T 38512   | 1060     | H112                  | Al-1     | —270                                | 60                  | 15                             | 204                 | 10.0                  | 10.0 | 9.6  | 8.6  | 7.7  | 7.5  | 5.8  | 5.5<br>(204℃)  | hh, ii     |
| GB/T 6893    | 1060     | H14                   | Al-1     | —270                                | 85                  | 70                             | 204                 | 28.3                  | 28.3 | 28.3 | 26.6 | 18.1 | 12.7 | 8.4  | 7.8<br>(204℃)  | hh, ii     |
| GB/T 4437.1  | 3003     | O                     | Al-1     | —270                                | 95                  | 35                             | 204                 | 23.0                  | 22.1 | 21.4 | 20.5 | 18.2 | 13.6 | 10.9 | 10.5<br>(204℃) | hh, ii     |
| GB/T 6893    | 3003     | O                     | Al-1     | —270                                | 95                  | 35                             | 204                 | 23.0                  | 22.1 | 21.4 | 20.5 | 18.2 | 13.6 | 10.9 | 10.5<br>(204℃) | hh, ii     |
| GB/T 38512   | 3003     | O                     | Al-1     | —270                                | 95                  | 35                             | 204                 | 23.0                  | 22.1 | 21.4 | 20.5 | 18.2 | 13.6 | 10.9 | 10.5<br>(204℃) | hh, ii     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准          | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定<br>最小强度<br>MPa |                                | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |      |      |      |      |      |      | 脚注              |        |
|-------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-----------------|--------|
|             |          |                       |          |                                     | $R_m$               | $R_{el}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     | 40                    | 65   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  |                 | 225    |
|             |          |                       |          |                                     |                     |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                 |        |
| GB/T 4437.1 | 3003     | H112                  | Al-1     | —270                                | 95                  | 35                             | 204                 | 23.0                  | 22.1 | 21.4 | 20.5 | 18.2 | 13.6 | 10.9 | 10.5<br>(204 ℃) | hh, ii |
| GB/T 38512  | 3003     | H112                  | Al-1     | —270                                | 95                  | 35                             | 204                 | 23.0                  | 22.1 | 21.4 | 20.5 | 18.2 | 13.6 | 10.9 | 10.5<br>(204 ℃) | hh, ii |
| GB/T 6893   | 3003     | H14                   | Al-1     | —270                                | 130                 | 110                            | 204                 | 43.3                  | 43.3 | 43.3 | 41.3 | 29.0 | 21.1 | 16.7 | 16.1<br>(204 ℃) | hh, ii |
| GB/T 4437.1 | 5052     | O                     | Al-2     | —270                                | 170                 | 70                             | 204                 | 46.0                  | 46.0 | 46.0 | 45.9 | 41.6 | 28.8 | 17.6 | 16.1<br>(204 ℃) | hh     |
| GB/T 6893   | 5052     | O                     | Al-2     | —270                                | 170                 | 65                             | 204                 | 43.3                  | 43.3 | 43.3 | 42.6 | 41.6 | 28.8 | 17.6 | 16.1<br>(204 ℃) | hh     |
| GB/T 4437.1 | 5052     | H112                  | Al-2     | —270                                | 170                 | 70                             | 204                 | 46.0                  | 46.0 | 46.0 | 45.9 | 41.6 | 28.8 | 17.6 | 16.1<br>(204 ℃) | hh, ii |
| GB/T 6893   | 5052     | H14                   | Al-2     | —270                                | 230                 | 180                            | 204                 | 76.6                  | 76.6 | 76.6 | 76.6 | 41.6 | 28.8 | 17.6 | 16.1<br>(204 ℃) | hh, ii |
| GB/T 4437.1 | 5083     | O                     | Al-5     | —270                                | 270                 | 110                            | 65                  | 73.3                  | 73.3 | —    | —    | —    | —    | —    | —               | ii     |
| GB/T 6893   | 5083     | O                     | Al-5     | —270                                | 270                 | 110                            | 65                  | 73.3                  | 73.3 | —    | —    | —    | —    | —    | —               | ii     |
| GB/T 38512  | 5083     | O                     | Al-5     | —270                                | 270                 | 110                            | 65                  | 73.3                  | 73.3 | —    | —    | —    | —    | —    | —               | ii     |
| GB/T 4437.1 | 5083     | H112                  | Al-5     | —270                                | 270                 | 110                            | 65                  | 73.3                  | 73.3 | —    | —    | —    | —    | —    | —               | ii     |
| GB/T 38512  | 5083     | H112                  | Al-5     | —270                                | 270                 | 110                            | 65                  | 73.3                  | 73.3 | —    | —    | —    | —    | —    | —               | ii     |
| GB/T 38512  | 6061     | T4 焊,<br>T6 焊         | Al-3     | —270                                | 165                 | —                              | 204                 | 55.0                  | 55.0 | 55.0 | 54.3 | 52.2 | 46.3 | 35.3 | 34.8<br>(204 ℃) | gg     |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准          | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定<br>最小强度<br>MPa |                                | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |      |      |      |      |      |      | 脚注              |     |
|-------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-----------------|-----|
|             |          |                       |          |                                     | $R_m$               | $R_{eL}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     | 40                    | 65   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  |                 | 225 |
|             |          |                       |          |                                     |                     |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                 |     |
| GB/T 38512  | 6061     | T4                    | Al-3     | —270                                | 180                 | 110                            | 204                 | 60.0                  | 60.0 | 60.0 | 59.0 | 56.3 | 50.3 | 40.2 | 35.9<br>(204 ℃) | ii  |
| GB/T 6893   | 6061     | T4                    | Al-3     | —270                                | 207                 | 110                            | 204                 | 69.0                  | 69.0 | 69.0 | 67.8 | 64.8 | 57.9 | 40.2 | 35.9<br>(204 ℃) | ii  |
| GB/T 4437.1 | 6061     | T6                    | Al-3     | —270                                | 260                 | 240                            | 204                 | 86.6                  | 86.6 | 86.6 | 82.9 | 71.6 | 56.6 | 40.2 | 35.9<br>(204 ℃) | ii  |
| GB/T 38512  | 6061     | T6                    | Al-3     | —270                                | 260                 | 240                            | 204                 | 86.6                  | 86.6 | 86.6 | 82.9 | 71.6 | 56.6 | 40.2 | 35.9<br>(204 ℃) | ii  |
| GB/T 6893   | 6061     | T6                    | Al-3     | —270                                | 290                 | 241                            | 204                 | 96.6                  | 96.6 | 96.6 | 92.5 | 79.9 | 63.1 | 40.2 | 35.9<br>(204 ℃) | ii  |
| GB/T 38512  | 6063     | T4 焊，<br>T6 焊         | Al-3     | —270                                | 117                 | —                              | 204                 | 39.0                  | 39.0 | 37.9 | 35.9 | 32.1 | 25.7 | 17.6 | 13.8<br>(204 ℃) | gg  |
| GB/T 38512  | 6063     | T4                    | Al-3     | —270                                | 125                 | 60                             | 204                 | 40.0                  | 39.8 | 39.8 | 39.5 | 39.5 | 34.3 | 22.9 | 9.93<br>(204 ℃) | ii  |
| GB/T 6893   | 6063     | T4                    | Al-3     | —270                                | 151                 | 69                             | 204                 | 46.0                  | 45.8 | 45.8 | 45.5 | 45.5 | 41.5 | 27.7 | 12.0<br>(204 ℃) | ii  |
| GB/T 4437.1 | 6063     | T6                    | Al-3     | —270                                | 205                 | 170                            | 204                 | 68.3                  | 68.3 | 67.0 | 58.4 | 45.4 | 27.5 | 15.3 | 13.8<br>(204 ℃) | ii  |
| GB/T 38512  | 6063     | T6                    | Al-3     | —270                                | 205                 | 170                            | 204                 | 68.3                  | 68.3 | 67.0 | 58.4 | 45.4 | 27.5 | 15.3 | 13.8<br>(204 ℃) | ii  |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准          | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |            | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |      |      |      |      |      |                 | 脚注              |                    |
|-------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|-------------|------------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|-----------------|-----------------|--------------------|
|             |          |                       |          |                                     | 最小强度<br>MPa | $R_{p0.2}$ |                     | 40                    | 65   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200             |                 | 225                |
|             |          |                       |          |                                     |             |            |                     |                       |      |      |      |      |      |                 |                 |                    |
| GB/T 6893   | 6063     | T6                    | Al-3     | —270                                | 227         | 193        | 204                 | 75.6                  | 74.4 | 64.0 | 49.2 | 27.5 | 15.3 | 13.8<br>(204 ℃) | ii              |                    |
| 8.2 铝及铝合金管件 |          |                       |          |                                     |             |            |                     |                       |      |      |      |      |      |                 |                 |                    |
| —           | 1060     | O                     | Al-1     | —270                                | 55          | 15         | 204                 | 10.0                  | 10.0 | 9.6  | 8.6  | 7.7  | 7.5  | 5.8             | 5.5<br>(204 ℃)  | ff, hh, ii, kk, ll |
| —           | 1060     | H112                  | Al-1     | —270                                | 55          | 15         | 204                 | 10.0                  | 10.0 | 9.6  | 8.6  | 7.7  | 7.5  | 5.8             | 5.5<br>(204 ℃)  | ff, hh, ii, kk, ll |
| —           | 3003     | O                     | Al-1     | —270                                | 95          | 35         | 204                 | 22.1                  | 23.0 | 21.4 | 20.5 | 18.2 | 13.6 | 10.9            | 10.5<br>(204 ℃) | ff, hh, ii, kk, ll |
| —           | 3003     | H112                  | Al-1     | —270                                | 95          | 35         | 204                 | 22.1                  | 23.0 | 21.4 | 20.5 | 18.2 | 13.6 | 10.9            | 10.5<br>(204 ℃) | ff, hh, ii, kk, ll |
| —           | 5083     | O                     | Al-5     | —270                                | 268         | 110        | 65                  | 73.3                  | 73.3 | —    | —    | —    | —    | —               | —               | ff, ii, kk, ll     |
| —           | 5083     | H112                  | Al-5     | —270                                | 268         | 110        | 65                  | 73.3                  | 73.3 | —    | —    | —    | —    | —               | —               | ff, ii, kk, ll     |
| —           | 6061     | T4 焊,<br>T6 焊         | Al-3     | —270                                | 165         | —          | 204                 | 55.2                  | 55.2 | 55.2 | 54.3 | 52.2 | 46.3 | 35.3            | 34.8<br>(204 ℃) | ff, gg, kk         |
| —           | 6061     | T4                    | Al-3     | —270                                | 180         | 110        | 204                 | 59.8                  | 59.8 | 59.8 | 58.9 | 56.3 | 50.2 | 38.3            | 35.9<br>(204 ℃) | ff, gg, ii, kk, ll |
| —           | 6061     | T6                    | Al-3     | —270                                | 262         | 241        | 204                 | 87.3                  | 87.3 | 87.3 | 83.6 | 72.3 | 57.2 | 40.2            | 35.9<br>(204 ℃) | ff, gg, ii, kk, ll |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |                                | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |      |      |      |      |      |      | 脚注              |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-----------------|--------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |                       |          |                                     | 最小强度<br>MPa |                                |                     | 40                    | 65   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  |                 | 225                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |                       |          |                                     | $R_m$       | $R_{eL}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                 |                    |
| —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 6063     | T4 焊，<br>T6 焊         | Al-3     | —270                                | 117         | —                              | 204                 | 39.1                  | 39.1 | 37.6 | 36.0 | 32.0 | 24.7 | 15.3 | 13.8<br>(204 ℃) | ff, gg, kk         |
| —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 6063     | T4                    | Al-3     | —270                                | 124         | 62                             | 204                 | 41.4                  | 41.3 | 41.3 | 41.0 | 41.0 | 33.9 | 22.6 | 9.8<br>(204 ℃)  | ff, gg, ii, kk, ll |
| —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 6063     | T6                    | Al-3     | —270                                | 205         | 170                            | 204                 | 68.9                  | 68.9 | 67.7 | 59.0 | 45.9 | 27.5 | 15.3 | 13.8<br>(204 ℃) | ff, gg, ii, kk, ll |
| 8.3 铝及铝合金锻件                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |          |                       |          |                                     |             |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                 |                    |
| NB/T 47029                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1050A    | H112                  | Al-1     | —270                                | 65          | 20                             | 204                 | 13.0                  | 13.0 | 12.0 | 11.0 | 10.0 | 7.5  | 5.8  | 5.5<br>(204 ℃)  | ii, mm             |
| NB/T 47029                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3003     | H112                  | Al-1     | —270                                | 95          | 35                             | 204                 | 23.0                  | 22.1 | 21.4 | 20.5 | 18.2 | 13.6 | 10.9 | 10.5<br>(204 ℃) | ii, mm             |
| NB/T 47029                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 5083     | H112                  | Al-5     | —270                                | 275         | 125                            | 65                  | 83.3                  | 83.3 | —    | —    | —    | —    | —    | —               | ii, mm             |
| NB/T 47029                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 6061     | T6                    | Al-3     | —270                                | 260         | 240                            | 204                 | 86.6                  | 86.6 | 86.6 | 83.6 | 72.3 | 57.2 | 40.2 | 35.9<br>(204 ℃) | ii, mm             |
| 注：“—”表示暂无适用数据。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |          |                       |          |                                     |             |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                 |                    |
| <p><sup>a</sup> 灰铸铁和可锻铸铁应符合 5.3.1 的规定。</p> <p><sup>b</sup> 球墨铸铁应符合 5.3.2 的规定。</p> <p><sup>c</sup> 表 25 所列管道组成件标准的压力额定值按其标准的规定执行,表 B.1 所列锻件和铸件的许用应力值适用于表 25 以外管道组成件的压<span style="float:right">力设计或者表 25 所列管道组</span></p> <p>成件标准的非标压力等级评估。</p> <p><sup>d</sup> 使用温度长期高于 427 ℃时,有石墨化倾向。</p> <p><sup>e</sup> 使用温度高于 482 ℃时,应采用镇静钢。</p> |          |                       |          |                                     |             |                                |                     |                       |      |      |      |      |      |      |                 |                    |

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准 | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |         | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa          |    |    |     |     |     | 脚注 |     |     |     |
|----|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|-------------|---------|---------------------|--------------------------------|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
|    |          |                       |          |                                     | 最小强度<br>MPa | $R_{m}$ |                     | $R_{el}$<br>(或<br>$R_{p0.2}$ ) | 40 | 65 | 100 | 125 | 150 |    | 175 | 200 | 225 |
|    |          |                       |          |                                     |             |         |                     |                                |    |    |     |     |     |    |     |     |     |

<sup>f</sup> 普通碳素结构钢和 B 级碳素结构钢的使用应分别符合 5.3.3.1 和 5.3.3.2 的规定。

<sup>g</sup> 管线钢应符合 5.3.4 的规定。

<sup>h</sup> L290/X42~L555/X80 管线钢通常采用微合金化以及控轧控冷的制造工艺,可在 GB/T 9711 基础上附加更详尽的成分、碳当量、状态、低温韧性等要求。最低使用温度应不小于材料及焊接接头的冲击试验温度并符合相关要求。

<sup>i</sup> 材料应附加不高于最低设计温度的低温冲击试验要求。

<sup>j</sup> 板焊管应符合 5.3.8 的规定。

<sup>k</sup> CC60、CC70 可参照 ASTM A671。

<sup>l</sup> 除进行-101℃冲击试验且符合第 5 章规定外,厚度大于 50 mm 的 3.5% Ni 钢最低使用温度应不低于-87℃。

<sup>m</sup> 使用温度长期高于 440℃时,有软化(珠光体球化)及回火脆性倾向(5.4.3.2、5.4.3.3)。

<sup>n</sup> 使用温度高于 455℃的 2.25Cr-1Mo 合金钢,其焊接材料的含碳量应不小于 0.05%。

<sup>o</sup> 铬钼合金钢的焊缝(焊管、管件及其对接接头)应在焊后热处理后进行 100%的 RT 或 UT,焊接接头高温强度降低系数 W 按 6.2.7 的规定。

<sup>p</sup> 含碳量大于 0.03%的 300 系列非稳定化奥氏体不锈钢以及有温度高于 425℃长期热处理过程的超低碳奥氏体不锈钢有晶间腐蚀倾向(5.3.7)。

<sup>q</sup> 材料适用于高温,但应关注 $\sigma$ 相析出而导致常温塑性和韧性的降低,见 D.6.9。

<sup>r</sup> 使用温度高于 538℃时,含碳量应不低于 0.04%。

<sup>s</sup> 使用温度高于 538℃时,热处理温度应不低于 1 093℃。

<sup>t</sup> 使用温度高于 538℃时,热处理温度应不低于 1 038℃。

<sup>u</sup> 使用温度高于 538℃时,平均晶粒度应不细于 6 级。

<sup>v</sup> 使用温度接近甚至高于 316℃时,有 475℃脆化及 $\sigma$ 相或中间相析出脆化的风险,见 D.3.2、D.6.9。

<sup>w</sup> 使用温度低于-30℃时,含碳量应不大于 0.10%。

<sup>x</sup> 使用温度高于-101℃时,可免除-196℃低温冲击试验及其要求。

表 B.1 材料许用应力表 (续)

| 标准 | 牌号<br>等级 | 尺寸<br>范围<br>mm<br>/状态 | 母材<br>类别 | 最低<br>使用<br>温度<br>℃/图 1<br>的曲<br>线号 | 标准规定        |            | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |    |     |     |     |     | 脚注 |     |     |
|----|----------|-----------------------|----------|-------------------------------------|-------------|------------|---------------------|-----------------------|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
|    |          |                       |          |                                     | 最小强度<br>MPa | $R_{p0.2}$ |                     | 40                    | 65 | 100 | 125 | 150 | 175 |    | 200 | 225 |
|    |          |                       |          |                                     |             |            |                     |                       |    |     |     |     |     |    |     |     |

<sup>y</sup> 本附录使用的 GB/T 12771 不锈钢焊管(EFW,无填充金属)应至少符合下列各项要求:

- a) 机组带卷机械化连续成型;
- b) 无填充金属自动或半自动氩弧焊或者等离子焊;
- c) 焊后固溶急冷处理;
- d) 焊缝涡流或电磁表面无损检测(纵向焊接接头系数 0.85)。

<sup>z</sup> 焊后应固溶急冷热处理。

<sup>aa</sup> NS1101 按 982 ℃退火、NS1102 按 1120 ℃固溶、NS1104 按 1150 ℃固溶。

<sup>bb</sup> NS3306 镍基合金可参照 ASTM B444 中 Gr.1 等级。

<sup>cc</sup> NS3306 镍基合金采用 ENiCrMo-3 或 ERNiCrMo-3 焊接接头抗拉强度应不小于 758 MPa。

<sup>dd</sup> NS3306 镍基合金经 538 ℃~760 ℃热处理可能致使常温韧性的降低和焊接区域的应力松弛裂纹。

<sup>ee</sup> 镍及镍合金管件可参照 ASTM B366。

<sup>ff</sup> 管件的性能及许用应力与坯料、工艺及热处理状态有关,可参照相同牌号无缝管、焊管、板、棒、锻件的性能及许用应力。表 B.1 所列性能及许用应力为典型示例。

<sup>gg</sup> 按照材料标准规定的制度,进行消除应力退火处理。

<sup>hh</sup> 材料标准规定的最小拉伸和屈服强度应经过拉伸试验的验证,如材料标准未规定相应验证要求,本文件要求于采购合同中补充。

<sup>ii</sup> 加工硬化状态材料的焊接结构,应采用退火状态材料的许用应力;析出硬化状态材料的焊接结构,应采用焊接状态材料的许用应力。

<sup>jj</sup> 材料标准未规定抗拉及屈服强度者,本文件要求于采购合同中补充。

<sup>kk</sup> 铝及铝合金管件可参照 ASTM B361。

<sup>ll</sup> 力学性能与厚度有关,表列数据仅适用于相应材料标准的规定范围。

<sup>mm</sup> 表列数据仅限于模锻件。

表 B.2 螺栓许用应力表

| 标准          | 牌号等级     | 尺寸范围<br>mm   | 最低使用温度<br>℃ | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |     |   |
|-------------|----------|--------------|-------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|---|
|             |          |              |             | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) |             |                       |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
|             |          |              |             |             |                                             |             | 40                    | 65  | 100 | 125 | 150 | 175  | 200  | 225  | 250  | 275  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600            | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  |      | 750  | 775  | 800 |   |
| 螺栓紧固件       |          |              |             |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
| 标准紧固件       |          |              |             |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
| GB/T 3098.1 | 5.6      | ≤M39         | −20         | 500         | 300                                         | 300         | 125                   | 125 | 125 | 125 | 125 | 125  | 125  | 125  | 125  | 125  | 125  | 125  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |     |   |
| GB/T 3098.1 | 8.8      | ≤M39         | −20         | 800         | 640                                         | 300         | 160                   | 160 | 160 | 160 | 160 | 160  | 160  | 160  | 160  | 160  | 160  | 160  | 160  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |     |   |
| GB/T 3098.6 | A2-50    | ≤M39         | −255        | 500         | 210                                         | 800         | 125                   | 120 | 113 | 108 | 103 | 99.0 | 95.6 | 92.7 | 90.1 | 87.9 | 85.8 | 84.0 | 82.3 | 80.6 | 79.1 | 77.6 | 76.2 | 74.8 | 73.4 | 72.1 | 70.7 | 69.4 | 63.8           | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1 | 11.2 | —   |   |
| GB/T 3098.6 | A4-50    | ≤M39         | −200        | 500         | 210                                         | 800         | 125                   | 121 | 118 | 112 | 107 | 103  | 99.1 | 95.8 | 92.8 | 90.3 | 88.1 | 86.2 | 84.6 | 83.3 | 82.2 | 81.2 | 80.4 | 79.7 | 79.0 | 78.4 | 77.7 | 76.9 | 75.9           | 65.0 | 50.5 | 39.2 | 30.4 | 23.6 | 18.4 | 14.3 | 11.1 | —   |   |
| GB/T 3098.6 | A2-70    | ≤M24         | −255        | 700         | 450                                         | 400         | 130                   | 123 | 114 | 114 | 113 | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | — |
| GB/T 3098.6 | A4-70    | ≤M24         | −200        | 700         | 450                                         | 400         | 130                   | 126 | 120 | 114 | 113 | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | 113  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | — |
| 专用紧固件       |          |              |             |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
| HG/T 20634  | 35CrMo   | ≤M22         | −50         | 835         | 735                                         | 525         | 167                   | 167 | 167 | 167 | 167 | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 165  | 162  | 146  | 121  | 94.0 | 68.0 | 44.0 | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |   |
| HG/T 20634  | 35CrMo   | >M24<br>~M88 | −50         | 805         | 685                                         | 525         | 161                   | 161 | 161 | 161 | 161 | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 160  | 159  | 156  | 153  | 139  | 116  | 93.0 | 68.0 | 44.0 | —    | —    | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | — |
| HG/T 20634  | 35CrMo   | >M88         | −50         | 735         | 590                                         | 525         | 147                   | 147 | 147 | 147 | 147 | 147  | 147  | 147  | 147  | 147  | 147  | 144  | 143  | 141  | 138  | 125  | 104  | 83.8 | 68.0 | 40.0 | —    | —    | —              | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |   |
| HG/T 20634  | 42CrMo   | ≤M65         | −50         | 860         | 720                                         | 538         | 172                   | 172 | 172 | 172 | 172 | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 23.5<br>(538℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |   |
| HG/T 20634  | 42CrMo   | >M65<br>~100 | −40         | 790         | 660                                         | 538         | 159                   | 159 | 159 | 159 | 159 | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 159  | 23.5<br>(538℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |   |
| HG/T 20634  | 25Cr2MoV | ≤M48         | −20         | 835         | 735                                         | 575         | 167                   | 167 | 167 | 167 | 167 | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 166  | 146  | 121  | 90.1 | 59.3           | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |   |
| HG/T 20634  | 25Cr2MoV | >M48         | −20         | 805         | 685                                         | 575         | 161                   | 161 | 161 | 161 | 161 | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 159.3          | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   |   |



表 B.2 螺栓许用应力表 (续)

| 标准         | 牌号等级                   | 尺寸<br>范围<br>mm | 最低<br>使用<br>温度<br>℃ | 标准规定        |                                             | 最高<br>使用<br>温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |     |
|------------|------------------------|----------------|---------------------|-------------|---------------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|            |                        |                |                     | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p}0.2}$ ) |                     |                       |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|            |                        |                |                     |             |                                             |                     | 40                    | 65  | 100 | 125 | 150 | 175  | 200  | 225  | 250  | 275  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575           | 600  | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  |      | 750  | 775  | 800 |
| HG/T 20634 | 25Cr2MoV               | ≤M48           | -20                 | 835         | 735                                         | 575                 | 167                   | 167 | 167 | 167 | 167 | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 167  | 166  | 146  | 121  | 90.1 | 59.3 | 33.0 | —             | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |     |
| HG/T 20634 | 25Cr2MoV               | >M48           | -20                 | 805         | 685                                         | 575                 | 161                   | 161 | 161 | 161 | 161 | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 161  | 152  | 146  | 132  | 113  | 90.0 | 59.3 | 33.0 | —             | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |     |
| HG/T 20634 | 06Cr19Ni10<br>(304)    | —              | -255                | 515         | 205                                         | 800                 | 129                   | 123 | 113 | 108 | 103 | 99.0 | 95.6 | 92.7 | 90.1 | 87.9 | 85.8 | 84.0 | 82.3 | 80.6 | 79.1 | 77.6 | 76.2 | 74.8 | 73.4 | 72.1 | 70.7 | 69.4          | 63.8 | 51.6 | 41.6 | 32.9 | 26.5 | 21.3 | 17.2 | 14.1 | 11.2 | —   |
| HG/T 20634 | 06Cr17Ni12Mo2<br>(316) | —              | -255                | 515         | 205                                         | 800                 | 129                   | 126 | 118 | 112 | 107 | 103  | 99.1 | 95.8 | 92.8 | 90.3 | 88.1 | 86.2 | 84.6 | 83.3 | 82.2 | 81.2 | 80.4 | 79.7 | 79.0 | 78.4 | 77.7 | 76.9          | 75.9 | 65.0 | 50.5 | 39.2 | 30.4 | 23.6 | 18.4 | 14.3 | 11.1 | —   |
| HG/T 20634 | A193 B8-2              | ≤M20           | -200                | 860         | 690                                         | 538                 | 172                   | 172 | 172 | 172 | 172 | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 172  | 168  | 162<br>(538℃) | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | a   |
| HG/T 20634 | A193 B8-2              | >M20<br>~M24   | -200                | 795         | 550                                         | 538                 | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138           | 138  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | a   |
| HG/T 20634 | A193 B8-2              | >M24<br>~M30   | -200                | 725         | 450                                         | 538                 | 129                   | 123 | 113 | 112 | 112 | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112           | 112  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | a   |
| HG/T 20634 | A193 B8-2              | >M30<br>~M36   | -200                | 690         | 345                                         | 538                 | 129                   | 123 | 113 | 108 | 103 | 99.0 | 95.6 | 92.7 | 90.1 | 87.9 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2          | 86.2 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | a   |
| HG/T 20634 | A193 B8M-2             | ≤M20           | -200                | 760         | 665                                         | 538                 | 152                   | 152 | 152 | 152 | 152 | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152  | 152           | 152  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | a   |
| HG/T 20634 | A193 B8M-2             | >M20<br>~M24   | -200                | 690         | 550                                         | 538                 | 138                   | 138 | 138 | 138 | 138 | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138  | 138           | 138  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | a   |
| HG/T 20634 | A193 B8M-2             | >M24<br>~M30   | -200                | 655         | 450                                         | 538                 | 129                   | 126 | 118 | 112 | 112 | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112  | 112           | 112  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | a   |

表 B.2 螺栓许用应力表

| 标准         | 牌号等级       | 尺寸范围<br>mm   | 最低使用温度<br>℃ | 标准规定        |                                             | 最高使用温度<br>℃ | 在下列温度(℃)下的许用应力<br>MPa |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 脚注   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
|------------|------------|--------------|-------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
|            |            |              |             | 最小强度<br>MPa | $R_{\text{m}}$<br>(或<br>$R_{\text{p0.2}}$ ) |             |                       |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
|            |            |              |             |             |                                             |             |                       |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
|            |            |              |             |             |                                             |             | 40                    | 65  | 100 | 125 | 150 | 175 | 200  | 225  | 250  | 275  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600  | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  |      | 750  | 775  | 800  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| HG/T 20634 | A193 B8M-2 | >M30<br>~M36 | -200        | 620         | 345                                         | 538         | 129                   | 126 | 118 | 112 | 107 | 103 | 99.1 | 95.8 | 92.8 | 90.3 | 88.1 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2 | 86.2</ |

表 B.3 管子与对焊管件的纵向焊接接头系数  $\Phi_w$ 

| 标准            | 型式       | 简述                    | 纵向焊接接头系数 $\Phi_w$ |
|---------------|----------|-----------------------|-------------------|
| 碳钢(包括碳锰钢)、管线钢 |          |                       |                   |
| GB/T 3087     | 无缝       | 无缝管                   | 1.00              |
| GB/T 5310     |          |                       |                   |
| GB/T 6479     |          |                       |                   |
| GB/T 8163     |          |                       |                   |
| GB/T 9711     |          |                       |                   |
| GB/T 9948     |          |                       |                   |
| YB/T 4173     |          |                       |                   |
| GB/T 3091     | 电阻焊      | 电阻焊焊管(直缝)             | 0.85              |
|               | 电熔焊(埋弧焊) | 埋弧焊焊管(直缝)             | 0.80              |
| GB/T 9711     | 电阻焊      | 电阻焊焊管(直缝)             | 0.85              |
| GB/T 13793    | 电阻焊      | 电阻焊焊管(直缝)             | 0.85              |
| SY/T 5037     | 埋弧焊      | 双面埋弧焊焊管(直缝或螺旋缝)       | 0.85              |
| GB/T 13401    | 无缝或电熔焊   | 无缝或焊接管件               | 1.00              |
| GB/T 29168.2  |          | 双面电熔焊管件+100%射线检测      |                   |
| GB/T 9711     | 电熔焊(埋弧焊) | 双面埋弧焊板制焊管(直缝)         | 0.95              |
| GB/T 32970    | 电熔焊      | 双面电熔焊板制焊管             | 0.85              |
|               |          | 双面电熔焊板制焊管+100%射线检测    | 1.00              |
| 低温碳钢及低温镍钢     |          |                       |                   |
| GB/T 6479     | 无缝       | 无缝管                   | 1.00              |
| GB/T 18984    |          |                       |                   |
| GB/T 13401    | 无缝或电熔焊   | 无缝管件;双面电熔焊管件+100%射线检测 | 1.00              |
| 合金钢           |          |                       |                   |
| GB/T 5310     | 无缝       | 无缝管                   | 1.00              |
| GB/T 6479     |          |                       |                   |
| GB/T 9948     |          |                       |                   |
| YB/T 4173     |          |                       |                   |
| GB/T 13401    | 无缝或电熔焊   | 无缝管件;双面电熔焊管件+100%射线检测 | 1.00              |
| GB/T 32970    | 电熔焊      | 双面电熔焊板制焊管+100%射线检测    | 1.00              |
| 不锈钢           |          |                       |                   |
| GB/T 5310     | 无缝       | 无缝管                   | 1.00              |
| GB/T 9948     |          |                       |                   |
| GB/T 14976    |          |                       |                   |
| GB/T 21833.2  |          |                       |                   |

表 B.3 管子与对焊管件的纵向焊接接头系数  $\Phi_w$  (续)

| 标准           | 型式     | 简述                    | 纵向焊接接头系数 $\phi_w$ |
|--------------|--------|-----------------------|-------------------|
| GB/T 12771   | 电熔焊    | 电熔焊焊管(无填充金属)          | 0.85              |
| HG/T 20537.3 | 电熔焊    | 电熔焊焊管(无填充金属)          | 0.85              |
| GB/T 21832.3 | 电熔焊    | 电熔焊焊管(无填充金属)          | 0.85              |
| GB/T 13401   | 无缝或电熔焊 | 无缝管件;双面电熔焊管件+100%射线检测 | 1.00              |
| GB/T 32964   | 电熔焊    | 双面电熔焊板制焊管+100%射线检测    | 1.00              |
| HG/T 20537.4 | 电熔焊    | 双面电熔焊板制焊管             | 0.85              |
|              |        | 双面电熔焊板制焊管+按标准局部射线检测   | 0.90              |
|              |        | 双面电熔焊板制焊管+100%射线检测    | 1.00              |
| 镍及镍合金        |        |                       |                   |
| GB/T 2882    | 无缝     | 无缝管                   | 1.00              |
| GB/T 30059   |        |                       |                   |
| NB/T 47047   |        |                       |                   |
| 钛及钛合金        |        |                       |                   |
| GB/T 3624    | 无缝     | 无缝管                   | 1.00              |
| GB/T 26058   |        |                       |                   |
| GB/T 26057   | 电熔焊    | 电熔焊焊管(无填充金属)          | 0.85              |
| GB/T 27684   | 无缝或电熔焊 | 无缝管件;双面电熔焊管件+100%射线检测 | 1.00              |
| 铝及铝合金        |        |                       |                   |
| GB/T 4437.1  | 无缝     | 无缝管                   | 1.00              |
| GB/T 6893    |        |                       |                   |
| GB/T 38512   |        |                       |                   |

表 B.4 铸件质量系数  $\Phi_c$

| 材料类别                                 | 标准         | 名称      | 铸件质量系数 $\Phi_c$ |
|--------------------------------------|------------|---------|-----------------|
| 铸铁                                   | GB/T 9439  | 灰铸铁     | 1.00            |
|                                      | GB/T 9440  | 黑芯可锻铸铁  | 1.00            |
|                                      | GB/T 1348  | 球墨铸铁    | 1.00            |
| 碳钢(包括碳锰钢)                            | GB/T 12229 | 碳素钢铸件   | 0.80            |
| 低碳碳钢及低温镍钢                            | JB/T 7248  | 低温钢铸件   | 0.80            |
| 合金钢                                  | NB/T 11268 | 合金钢铸件   | 0.80            |
|                                      | GB/T 16253 |         |                 |
| 不锈钢                                  | GB/T 12230 | 不锈钢铸件   | 0.80            |
| 钛及钛合金                                | GB/T 6614  | 钛及钛合金铸件 | 0.80            |
| 表列非铸铁材料如按表 16 进行无损检测, $\Phi_c$ 可适当提高 |            |         |                 |

附 录 C  
(资料性)  
材料的物理性能

表 C.1 和表 C.2 中的物理性能参数按材料类型划分,设计者也可采用具体牌号材料的物理性能参数。其中,表 C.1 给出了金属热膨胀系数和金属总热膨胀量,表 C.2 给出了金属弹性模量。

表 C.1 金属热膨胀系数和金属总热膨胀量

| 材料名称                         | 系数 | 在下列温度(℃)下的材料热膨胀系数和总热膨胀量 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|----|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              |    | -200                    | -100 | -50  | 20   | 50   | 75   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  | 225  | 250  | 275  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600  | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  | 750  | 775  | 800  |
| 组别 1:碳钢、<br>低合金钢             | A  | 9.9                     | 10.7 | 11.1 | 11.5 | 11.8 | 11.9 | 12.1 | 12.3 | 12.4 | 12.6 | 12.7 | 12.9 | 13.0 | 13.2 | 13.3 | 13.4 | 13.6 | 13.7 | 13.8 | 14.0 | 14.1 | 14.2 | 14.4 | 14.5 | 14.6 | 14.7 | 14.8 | 14.9 | 15.0 | 15.1 | 15.2 | 15.3 | 15.3 | 15.4 |      |
|                              | B  | -2.2                    | -1.3 | -0.8 | 0.0  | 0.4  | 0.7  | 1.0  | 1.3  | 1.6  | 2.0  | 2.3  | 2.6  | 3.0  | 3.4  | 3.7  | 4.1  | 4.5  | 4.9  | 5.3  | 5.7  | 6.1  | 6.5  | 6.9  | 7.3  | 7.7  | 8.2  | 8.6  | 9.0  | 9.4  | 9.9  | 10.3 | 10.7 | 11.1 | 11.6 | 12.0 |
| 组别 2:低合金钢                    | A  | 10.8                    | 11.7 | 12.0 | 12.6 | 12.8 | 13.0 | 13.1 | 13.2 | 13.4 | 13.5 | 13.6 | 13.7 | 13.8 | 13.9 | 14.0 | 14.1 | 14.2 | 14.3 | 14.4 | 14.5 | 14.6 | 14.6 | 14.7 | 14.8 | 14.8 | 14.9 | 15.0 | 15.1 | 15.2 | 15.2 | 15.3 | 15.3 | 15.3 | 15.3 |      |
|                              | B  | -2.4                    | -1.4 | -0.8 | 0.0  | 0.4  | 0.7  | 1.0  | 1.4  | 1.7  | 2.1  | 2.4  | 2.8  | 3.2  | 3.6  | 3.9  | 4.3  | 4.7  | 5.1  | 5.5  | 5.9  | 6.3  | 6.7  | 7.1  | 7.5  | 7.9  | 8.3  | 8.7  | 9.1  | 9.5  | 9.9  | 10.3 | 10.7 | 11.1 | 11.1 | 11.5 |
| 5Cr~1Mo                      | A  | 10.1                    | 10.8 | 11.2 | 11.5 | 11.8 | 12.0 | 12.1 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.6 | 12.7 | 12.8 | 12.8 | 12.9 | 13.0 | 13.0 | 13.1 | 13.2 | 13.2 | 13.3 | 13.4 | 13.4 | 13.5 | 13.6 | 13.7 | 13.7 | 13.8 | 13.9 | 13.9 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.1 |
|                              | B  | -2.2                    | -1.3 | -0.8 | 0.0  | 0.4  | 0.7  | 1.0  | 1.3  | 1.6  | 1.9  | 2.3  | 2.6  | 2.9  | 3.3  | 3.6  | 3.9  | 4.3  | 4.6  | 5.0  | 5.3  | 5.7  | 6.1  | 6.4  | 6.8  | 7.2  | 7.5  | 7.9  | 8.3  | 8.7  | 9.0  | 9.4  | 9.8  | 10.2 | 10.6 | 11.0 |
| 9Cr~1Mo                      | A  | 9.0                     | 9.8  | 10.1 | 10.5 | 10.6 | 10.7 | 10.9 | 11.0 | 11.1 | 11.2 | 11.3 | 11.4 | 11.5 | 11.6 | 11.7 | 11.8 | 11.9 | 11.9 | 12.0 | 12.1 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.7 | 12.8 | 12.9 | 13.0 | 13.1 | 13.3 | 13.4 | 13.6 | 13.6 |
|                              | B  | -2.0                    | -1.2 | -0.7 | 0.0  | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 1.4  | 1.7  | 2.0  | 2.3  | 2.6  | 3.0  | 3.3  | 3.6  | 3.9  | 4.2  | 4.6  | 4.9  | 5.2  | 5.6  | 5.9  | 6.3  | 6.6  | 7.0  | 7.3  | 7.7  | 8.1  | 8.5  | 8.9  | 9.3  | 9.7  | 10.1 | 10.6 |
| 12Cr~13Cr                    | A  | 9.1                     | 9.9  | 10.2 | 10.6 | 10.9 | 11.0 | 11.1 | 11.3 | 11.4 | 11.5 | 11.6 | 11.6 | 11.7 | 11.7 | 11.8 | 11.8 | 11.9 | 11.9 | 12.0 | 12.0 | 12.1 | 12.2 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 12.4 | 12.4 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.6 | 12.6 | 12.6 |
|                              | B  | -2.0                    | -1.2 | -0.7 | 0.0  | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 1.5  | 1.8  | 2.1  | 2.4  | 2.7  | 3.0  | 3.3  | 3.6  | 3.9  | 4.2  | 4.5  | 4.9  | 5.2  | 5.5  | 5.8  | 6.2  | 6.5  | 6.8  | 7.2  | 7.5  | 7.8  | 8.2  | 8.5  | 8.8  | 9.2  | 9.5  | 9.8  |
| 15Cr~17Cr                    | A  | 8.1                     | 8.8  | 9.1  | 9.6  | 9.7  | 9.9  | 10.0 | 10.1 | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.6 | 10.7 | 10.8 | 10.8 | 10.9 | 11.0 | 11.0 | 11.1 | 11.2 | 11.2 | 11.3 | 11.3 | 11.4 | 11.4 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.6 | 11.6 | 11.7 | 11.7 | 11.8 | 11.9 |
|                              | B  | -1.8                    | -1.1 | -0.6 | 0.0  | 0.3  | 0.5  | 0.8  | 1.1  | 1.3  | 1.6  | 1.9  | 2.2  | 2.4  | 2.7  | 3.0  | 3.3  | 3.6  | 3.9  | 4.2  | 4.5  | 4.8  | 5.1  | 5.4  | 5.7  | 6.0  | 6.3  | 6.6  | 7.0  | 7.3  | 7.6  | 7.9  | 8.2  | 8.6  | 8.9  | 9.3  |
| 27Cr                         | A  | 7.7                     | 8.5  | 8.7  | 9.0  | 9.2  | 9.2  | 9.3  | 9.4  | 9.4  | 9.5  | 9.5  | 9.6  | 9.6  | 9.7  | 9.7  | 9.8  | 9.9  | 9.9  | 10.0 | 10.0 | 10.1 | 10.2 | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.6 | 10.6 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.8 | 10.9 | 10.9 |
|                              | B  | -1.7                    | -1.0 | -0.6 | 0.0  | 0.3  | 0.5  | 0.7  | 1.0  | 1.2  | 1.5  | 1.7  | 2.0  | 2.2  | 2.5  | 2.7  | 3.0  | 3.3  | 3.5  | 3.8  | 4.1  | 4.3  | 4.6  | 4.9  | 5.2  | 5.5  | 5.8  | 6.1  | 6.4  | 4.7  | 7.0  | 7.2  | 7.6  | 7.9  | 8.2  | 8.5  |
| 奥氏体不锈钢<br>(304,316,321,347等) | A  | 13.5                    | 14.3 | 14.7 | 15.3 | 15.6 | 15.9 | 16.2 | 16.4 | 16.6 | 16.8 | 17.0 | 17.2 | 17.4 | 17.5 | 17.7 | 17.8 | 17.9 | 18.0 | 18.1 | 18.2 | 18.3 | 18.4 | 18.5 | 18.6 | 18.7 | 18.8 | 18.9 | 19.0 | 19.1 | 19.2 | 19.3 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 |
|                              | B  | -3.0                    | -1.7 | -1.0 | 0.0  | 0.5  | 0.9  | 1.3  | 1.7  | 2.2  | 2.6  | 3.1  | 3.5  | 4.0  | 4.5  | 4.9  | 5.4  | 5.9  | 6.4  | 6.9  | 7.4  | 7.9  | 8.3  | 8.9  | 9.4  | 9.0  | 10.4 | 10.9 | 11.4 | 12.0 | 12.5 | 13.1 | 13.6 | 14.1 | 14.7 | 15.2 |
| 其他奥氏体不锈钢<br>(309,310等)       | A  | 12.8                    | 13.6 | 14.1 | 14.7 | 15.0 | 15.2 | 15.4 | 15.6 | 15.7 | 15.9 | 16.0 | 16.1 | 16.3 | 16.4 | 16.5 | 16.6 | 16.6 | 16.7 | 16.8 | 16.9 | 17.0 | 17.1 | 17.2 | 17.2 | 17.3 | 17.4 | 17.5 | 17.6 | 17.7 | 17.8 | 17.9 | 18.0 | 18.1 | 18.2 | 18.3 |
|                              | B  | -2.8                    | -1.6 | -1.0 | 0.0  | 0.4  | 0.8  | 1.2  | 1.6  | 2.0  | 2.5  | 2.9  | 3.3  | 3.7  | 4.2  | 4.6  | 5.0  | 5.5  | 5.9  | 6.4  | 6.8  | 7.3  | 7.8  | 8.2  | 8.7  | 9.2  | 9.7  | 10.2 | 10.6 | 11.1 | 11.7 | 12.2 | 12.7 | 13.2 | 13.7 | 14.3 |
| 灰铸铁                          | A  | —                       | —    | —    | 9.8  | 10.1 | 10.2 | 10.4 | 10.5 | 10.7 | 10.8 | 11.0 | 11.1 | 11.2 | 11.4 | 11.5 | 11.7 | 11.8 | 12.0 | 12.1 | 12.3 | 12.4 | 12.6 | 12.7 | 12.9 | 13.0 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                              | B  | —                       | —    | —    | —    | 0.0  | 0.3  | 0.6  | 0.8  | 1.1  | 1.4  | 1.7  | 2.0  | 2.3  | 2.6  | 2.9  | 3.2  | 3.6  | 3.9  | 4.2  | 4.6  | 5.0  | 5.3  | 5.7  | 6.1  | 6.5  | 6.9  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |      |
| 球墨铸铁                         | A  | —                       | 8.8  | 9.5  | 10.3 | 10.5 | 10.7 | 10.9 | 11.1 | 11.3 | 11.6 | 11.8 | 12.0 | 12.2 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.8 | 12.9 | 13.0 | 13.1 | 13.2 | 13.2 | 13.3 | 13.4 | 13.5 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
|                              | B  | —                       | -1.1 | -0.7 | 0.0  | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 1.5  | 1.8  | 2.1  | 2.5  | 2.8  | 3.1  | 3.5  | 3.9  | 4.2  | 4.6  | 4.9  | 5.3  | 5.7  | 6.0  | 6.4  | 6.8  | 7.2  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |      |
| 蒙乃尔合金<br>(UNS N04400)        | A  | 10.4                    | 12.2 | 13.0 | 13.8 | 14.1 | 14.4 | 14.6 | 14.8 | 15.0 | 15.1 | 15.3 | 15.4 | 15.5 | 15.6 | 15.7 | 15.8 | 15.9 | 16.0 | 16.0 | 16.1 | 16.1 | 16.2 | 16.2 | 16.3 | 16.3 | 16.4 | 16.4 | 16.5 | 16.5 | 16.6 | 16.6 | 16.7 | 16.7 | 16.8 | 16.8 |
|                              | B  | -2.3                    | -1.5 | -0.9 | 0.0  | 0.4  | 0.8  | 1.2  | 1.6  | 1.9  | 2.3  | 2.8  | 3.2  | 3.6  | 4.0  | 4.4  | 4.8  | 5.2  | 5.7  | 6.1  | 6.5  | 6.9  | 7.4  | 7.8  | 8.2  | 8.6  | 9.1  | 9.5  | 10.0 | 10.4 | 10.8 | 11.3 | 11.7 | 12.2 | 12.6 | 13.1 |

表 C.1 金属热膨胀系数和金属总热膨胀量（续）

| 材料名称                           | 系<br>数 | 在下列温度(℃)下的材料热膨胀系数和总热膨胀量 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
|--------------------------------|--------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
|                                |        | -200                    | -100 | -50  | 20   | 50   | 75   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  | 225  | 250  | 275  | 300  | 325  | 350  | 375  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 525  | 550  | 575  | 600  | 625  | 650  | 675  | 700  | 725  | 750  | 775  | 800  |   |
| 镍合金<br>(UNS N02200,<br>N02201) | A      | 9.6                     | 10.8 | 11.4 | 11.9 | 12.4 | 12.7 | 13.0 | 13.3 | 13.5 | 13.7 | 13.9 | 14.0 | 14.2 | 14.3 | 14.4 | 14.5 | 14.6 | 14.7 | 14.8 | 14.9 | 15.0 | 15.1 | 15.2 | 15.3 | 15.4 | 15.5 | 15.6 | 15.7 | 15.8 | 15.9 | 16.0 | 16.1 | 16.2 |      |      |   |
|                                | B      | -2.2                    | -1.4 | -0.8 | 0.0  | 0.4  | 0.7  | 1.0  | 1.4  | 1.8  | 2.1  | 2.5  | 2.9  | 3.3  | 3.6  | 4.0  | 4.4  | 4.8  | 5.2  | 5.6  | 6.0  | 6.5  | 6.9  | 7.3  | 7.7  | 8.2  | 8.6  | 9.0  | 9.5  | 9.9  | 10.3 | 10.8 | 11.2 | 11.7 | 12.2 | 12.6 |   |
| 镍合金<br>(UNS N06600)            | A      | 9.9                     | 10.8 | 11.5 | 12.3 | 12.5 | 12.7 | 12.8 | 13.0 | 13.2 | 13.3 | 13.5 | 13.6 | 13.7 | 13.8 | 14.0 | 14.1 | 14.2 | 14.3 | 14.4 | 14.5 | 14.6 | 14.7 | 14.8 | 14.9 | 15.0 | 15.1 | 15.2 | 15.3 | 15.4 | 15.6 | 15.7 | 15.8 | 15.9 | 16.1 | 16.2 |   |
|                                | B      | -2.2                    | -1.3 | -0.8 | 0.0  | 0.4  | 0.7  | 1.0  | 1.4  | 1.7  | 2.1  | 2.4  | 2.8  | 3.2  | 3.5  | 3.9  | 4.3  | 4.7  | 5.1  | 5.5  | 5.9  | 6.3  | 6.7  | 7.1  | 7.5  | 7.9  | 8.4  | 8.8  | 9.3  | 9.7  | 10.2 | 10.7 | 11.1 | 11.6 | 12.1 | 12.6 |   |
| 镍合金<br>(UNS N06625)            | A      | —                       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
|                                | B      | —                       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
| 镍合金<br>(UNS N08800)            | A      | 10.6                    | 12.5 | 13.3 | 14.2 | 14.6 | 14.9 | 15.1 | 15.3 | 15.5 | 15.6 | 15.8 | 15.9 | 16.0 | 16.1 | 16.2 | 16.3 | 16.4 | 16.5 | 16.5 | 16.6 | 16.7 | 16.8 | 16.8 | 16.9 | 17.0 | 17.1 | 17.2 | 17.2 | 17.3 | 17.4 | 17.5 | 17.6 | 17.7 | 17.8 | 17.9 |   |
|                                | B      | -2.3                    | -1.5 | -0.9 | 0.0  | 0.4  | 0.8  | 1.2  | 1.6  | 2.0  | 2.4  | 2.8  | 3.3  | 3.7  | 4.1  | 4.5  | 5.0  | 5.4  | 5.8  | 6.3  | 6.7  | 7.2  | 7.6  | 8.1  | 8.5  | 9.0  | 9.5  | 9.9  | 10.4 | 10.9 | 11.4 | 11.9 | 12.4 | 12.9 | 13.4 | 14.0 |   |
| 镍合金<br>(UNS N08825)            | A      | —                       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
|                                | B      | —                       | —    | -0.9 | 0.0  | 0.4  | 0.8  | 1.1  | 1.5  | 1.8  | 2.2  | 2.6  | 3.0  | 3.3  | 3.7  | 4.1  | 4.5  | 4.9  | 5.3  | 5.7  | 6.1  | 6.5  | 7.0  | 7.4  | 7.8  | 8.3  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |      |   |
| 镍合金<br>(UNS N010276)           | A      | —                       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
|                                | B      | —                       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
| 青铜                             | A      | 15.1                    | 15.8 | 16.4 | 17.2 | 17.6 | 17.9 | 18.0 | 18.2 | 18.2 | 18.3 | 18.4 | 18.5 | 18.5 | 18.6 | 18.7 | 18.8 | 18.9 | 19.0 | 19.0 | 19.1 | 19.2 | 19.3 | 19.4 | 19.4 | 19.5 | 19.6 | 19.7 | 19.7 | 19.8 | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
|                                | B      | -3.3                    | -1.9 | -1.1 | 0.0  | 0.5  | 1.0  | 1.4  | 1.9  | 2.4  | 2.8  | 3.3  | 3.8  | 4.3  | 4.7  | 5.2  | 5.7  | 6.2  | 6.7  | 7.2  | 7.7  | 8.3  | 8.8  | 9.3  | 9.8  | 10.3 | 10.9 | 11.4 | 11.9 | 12.5 | —    | —    | —    | —    | —    |      |   |
| 黄铜                             | A      | 14.7                    | 15.4 | 16.0 | 16.7 | 17.1 | 17.4 | 17.6 | 17.8 | 18.0 | 18.2 | 18.4 | 18.6 | 18.8 | 19.0 | 19.2 | 19.3 | 19.5 | 19.6 | 19.8 | 20.1 | 20.3 | 20.5 | 20.7 | 20.8 | 21.0 | 21.2 | 21.4 | 21.6 | 21.8 | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
|                                | B      | -3.2                    | -1.9 | -1.1 | 0.0  | 0.5  | 1.0  | 1.4  | 1.9  | 2.3  | 2.8  | 3.3  | 3.8  | 4.3  | 4.8  | 5.4  | 5.9  | 6.4  | 7.0  | 7.5  | 8.2  | 8.7  | 9.3  | 9.9  | 10.5 | 11.1 | 11.8 | 12.4 | 13.1 | 13.7 | —    | —    | —    | —    | —    |      |   |
| 白铜 70Cu-30Ni                   | A      | 11.9                    | 13.4 | 14.0 | 14.5 | 14.9 | 15.2 | 15.3 | 15.5 | 15.7 | 15.8 | 16.0 | 16.1 | 16.3 | 16.4 | 16.5 | 16.5 | 16.6 | 16.6 | 16.7 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | — |
|                                | B      | -2.6                    | -1.6 | -1.0 | 0.0  | 0.4  | 0.8  | 1.2  | 1.6  | 2.0  | 2.5  | 2.9  | 3.3  | 3.7  | 4.2  | 4.6  | 5.0  | 5.5  | 5.9  | 6.3  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
| 铝合金                            | A      | 18.0                    | 19.7 | 20.8 | 21.7 | 22.6 | 23.1 | 23.4 | 23.7 | 23.9 | 24.4 | 24.4 | 24.7 | 25.0 | 25.2 | 25.5 | 25.6 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
|                                | B      | -4.0                    | -2.4 | -1.5 | 0.0  | 0.7  | 1.3  | 1.9  | 2.5  | 3.1  | 3.7  | 4.4  | 5.1  | 5.7  | 6.4  | 7.1  | 7.8  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
| 钛合金<br>(Grade1,2,3,<br>7,12)   | A      | —                       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |
|                                | B      | —                       | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |   |

表 C.1 金属热膨胀系数和金属总热膨胀量 (续)

| 材料名称                                                 | 系<br>数 | 在下列温度(℃)下的材料热膨胀系数和总热膨胀量                                |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------|------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                      |        | -200                                                   | -100 | -50 | 20 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 |
| 注 1: 系数 A: 金属热膨胀系数,10 <sup>-6</sup> /℃。              |        |                                                        |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 注 2: 系数 B: 金属总热膨胀量,mm/m(从 20 ℃至表列温度时所产生的总的单位长度热膨胀量)。 |        |                                                        |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 注 3: 表列数据仅供参考,“—”表示暂无适用数据。                           |        |                                                        |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 注 4: 组别 1 材料包括下列公称成分的钢。                              |        |                                                        |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C- $\frac{1}{2}$ Mo                                  |        | 3Cr-1Mo                                                |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{5}$ Mo-V                 |        | $\frac{1}{2}$ Ni- $\frac{1}{2}$ Mo-V                   |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{4}$ Mo-Si                |        | $\frac{1}{2}$ Ni- $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{4}$ Mo-V |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo                   |        | $\frac{3}{4}$ Ni- $\frac{1}{2}$ Mo-Cr-V                |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Ni- $\frac{1}{4}$ Mo |        | $\frac{3}{4}$ Ni- $\frac{1}{2}$ Mo- $\frac{1}{3}$ Cr-V |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{3}{4}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Ni-Cu                |        | $\frac{3}{4}$ Ni- $\frac{1}{2}$ Cu-Mo                  |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{3}{4}$ Cr- $\frac{3}{4}$ Ni-Cu-Al             |        | $\frac{3}{4}$ Ni- $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-V |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1Cr- $\frac{1}{5}$ Mo                                |        | $\frac{3}{4}$ Ni-1Mo- $\frac{3}{4}$ Cr                 |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1Cr- $\frac{1}{5}$ Mo-Si                             |        | 1Ni- $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo                |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo                                |        | $\frac{1}{4}$ Ni-1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo                 |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-V                              |        | $\frac{1}{4}$ Ni- $\frac{3}{4}$ Cr- $\frac{1}{4}$ Mo   |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{1}{4}$ C- $\frac{1}{2}$ Mo                    |        | 2Ni- $\frac{3}{4}$ Cr- $\frac{1}{4}$ Mo                |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{1}{4}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si                |        | 2Ni- $\frac{3}{4}$ Cr- $\frac{1}{3}$ Mo                |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\frac{1}{4}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Cu                |        | $\frac{1}{2}$ Ni- $\frac{1}{2}$ Mo                     |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |



表 C.1 金属热膨胀系数和金属总热膨胀量 (续)

| 材料名称                             | 系数                                                | 在下列温度(℃)下的材料热膨胀系数和总热膨胀量 |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                  |                                                   | -200                    | -100 | -50 | 20 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 |  |
| $2Cr-\frac{1}{2}Mo$              | $3-\frac{1}{2}Ni$                                 |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| $2-\frac{1}{4}Cr-1Mo$            | $3-\frac{1}{2}Ni-1-\frac{3}{4}Cr-\frac{1}{2}Mo-V$ |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 注 5：组别 2 材料包括下列公称成分的钢。           |                                                   |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| Mn-V                             |                                                   |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| $Mn-\frac{1}{4}Mo$               |                                                   |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| $Mn-\frac{1}{2}Mo$               |                                                   |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| $Mn-\frac{1}{2}Mo-\frac{1}{4}Ni$ |                                                   |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| $Mn-\frac{1}{2}Mo-\frac{1}{2}Ni$ |                                                   |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| $Mn-\frac{1}{2}Mo-\frac{3}{4}Ni$ |                                                   |                         |      |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |

表 C.2 金属弹性模量

| 材料名称                                     | 在下列温度(℃)下的弹性模量(E)<br>10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                          | -225                                                   | -200 | -125 | -75 | 25  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 | 850 |
| 铁基金属                                     |                                                        |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 灰铸铁                                      | —                                                      | —    | —    | —   | 92  | 91  | 89  | 87  | 85  | 82  | 78  | 73  | 67  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 碳钢, C≤0.3%                               | 220                                                    | 216  | 212  | 209 | 202 | 198 | 195 | 192 | 189 | 185 | 179 | 171 | 162 | 151 | 137 | 122 | 107 | —   | —   | —   | —   |
| 碳钢, C>0.3%                               | 218                                                    | 215  | 211  | 207 | 201 | 197 | 194 | 191 | 188 | 183 | 178 | 170 | 161 | 149 | 136 | 121 | 106 | —   | —   | —   | —   |
| C-Mo 钢                                   | 218                                                    | 214  | 210  | 207 | 200 | 196 | 193 | 190 | 187 | 183 | 177 | 170 | 160 | 149 | 135 | 121 | 106 | —   | —   | —   | —   |
| Ni 钢, Ni 2%~9%                           | 207                                                    | 204  | 200  | 197 | 191 | 187 | 184 | 181 | 178 | 174 | 171 | 167 | 163 | 158 | 153 | 147 | 141 | 133 | —   | —   | —   |
| Cr-Mo 钢, ½Cr~2Cr                         | 221                                                    | 218  | 213  | 210 | 204 | 200 | 197 | 193 | 190 | 186 | 183 | 179 | 174 | 169 | 164 | 157 | 150 | 142 | —   | —   | —   |
| Cr-Mo 钢, 2¼Cr~3Cr                        | 228                                                    | 225  | 220  | 217 | 210 | 206 | 202 | 199 | 196 | 192 | 188 | 184 | 180 | 175 | 169 | 162 | 155 | 146 | —   | —   | —   |
| Cr-Mo 钢, 5Cr~9Cr                         | 230                                                    | 228  | 223  | 220 | 213 | 208 | 205 | 201 | 198 | 195 | 191 | 187 | 183 | 179 | 174 | 168 | 161 | 153 | —   | —   | —   |
| 奥氏体钢<br>(304, 310, 316, 321, 347, 309 等) | 212                                                    | 209  | 204  | 201 | 195 | 189 | 186 | 183 | 179 | 176 | 172 | 169 | 165 | 160 | 156 | 151 | 146 | 140 | 134 | 127 | —   |
| Cr 钢, 12Cr, 17Cr, 27Cr                   | 219                                                    | 215  | 212  | 208 | 201 | 195 | 192 | 189 | 186 | 182 | 178 | 173 | 166 | 157 | 145 | 131 | —   | —   | —   | —   | —   |
| 镍及镍合金                                    |                                                        |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 镍 200, 201, 625                          | 225                                                    | 222  | 216  | 213 | 207 | 202 | 199 | 197 | 194 | 191 | 189 | 186 | 183 | 180 | 176 | 172 | 169 | 164 | 160 | 156 | —   |
| 蒙耐尔 400                                  | 195                                                    | 192  | 188  | 185 | 179 | 175 | 173 | 171 | 168 | 166 | 163 | 161 | 158 | 155 | 152 | 149 | 146 | 142 | 139 | 135 | —   |
| Ni-Cr-Fe 合金 600                          | 233                                                    | 229  | 224  | 220 | 213 | 209 | 206 | 203 | 201 | 198 | 195 | 192 | 189 | 186 | 182 | 178 | 174 | 170 | 165 | 161 | —   |
| Ni-Fe-Cr 合金 800, 800H                    | 214                                                    | 211  | 206  | 202 | 196 | 192 | 189 | 187 | 184 | 182 | 179 | 176 | 173 | 170 | 167 | 164 | 160 | 156 | 152 | 148 | —   |
| 合金 C276                                  | 224                                                    | 220  | 215  | 212 | 205 | 201 | 198 | 195 | 193 | 190 | 187 | 184 | 181 | 178 | 175 | 171 | 167 | 163 | 159 | 155 | —   |
| 钛及钛合金                                    |                                                        |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TA0~TA3, TA9                             | —                                                      | —    | —    | —   | 107 | 103 | 101 | 97  | 92  | 88  | 84  | 80  | 75  | 71  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |

表 C.2 金属弹性模量 (续)

| 材料名称                                            | 在下列温度(℃)下的弹性模量(E)                 |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                 | 10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                                                 | —225                              | —200 | —125 | —75 | 25  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 | 850 |
| 铝及铝合金                                           |                                   |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1060,3003,3004,6061,6063                        | 78                                | 77   | 74   | 72  | 69  | 66  | 63  | 60  | 57  | 52  | 46  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 5052,5454                                       | 80                                | 78   | 76   | 74  | 70  | 67  | 65  | 62  | 58  | 53  | 47  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 5083,5086                                       | 80                                | 79   | 76   | 75  | 71  | 68  | 65  | 62  | 58  | 54  | 47  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 铜及铜合金                                           |                                   |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 海军黄铜(C4640)                                     | —                                 | 110  | 108  | 106 | 103 | 101 | 99  | 97  | 96  | 93  | 90  | 86  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 铜、红铜、铝青铜<br>(C1020,C1100,C1220、<br>C2300、C6140) | —                                 | 124  | 122  | 121 | 117 | 114 | 112 | 110 | 108 | 106 | 102 | 98  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 90Cu-10Ni(C7060)                                | —                                 | 131  | 129  | 127 | 124 | 121 | 119 | 117 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 80Cu-20Ni(C7100)                                | —                                 | 146  | 144  | 142 | 138 | 134 | 132 | 130 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 70Cu-30Ni(C7150)                                | —                                 | 161  | 158  | 156 | 152 | 148 | 145 | 143 | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   |
| 注：“—”表示暂无适用数据。                                  |                                   |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

## 附 录 D

(资料性)

## 基于风险的材料设计和选用

## D.1 材料设计和选用

## D.1.1 概述

D.1.1.1 本文件材料设计和选用是基于应对由压力载荷而导致的材料强度失效以及延性金属材料在低于韧脆转变温度下的低应力脆断风险而提出的。

D.1.1.2 本文件未涉及的材料需根据介质相容性和使用环境进行选材。用户单位或设计单位可参考相关的腐蚀手册、图表和专著,尤其是类似装置的长期使用经验、现场试验和分析以及新工艺开发中的实验数据。

D.1.1.3 除 D.1.1.1 和 D.1.1.2 以外,本附录为常用工业管道材料选用时予以考虑的损伤风险以及对应材料的设计要求和工程措施。

## D.1.2 通用的设计和选用

管道材料选用时,考虑下列情况可能对材料产生影响:

- a) 管道暴露明火下的可能性以及管道材料的熔点、软化温度、高温下强度的降低和材料可燃性;
- b) 发生火灾或者采取灭火措施时,热冲击导致管道材料脆性断裂或损坏的敏感性以及由此而产生的次生灾害;
- c) 发生火灾时,管道绝热材料对管道的损伤(如稳定性、耐火性能以及在火中保持原有位置的能力);
- d) 在垫片密封面、螺纹或承插接头等部位处,管道材料对缝隙腐蚀的敏感性;
- e) 两种腐蚀电位差较大的金属材料相互紧密接触时,管道材料对电偶腐蚀的敏感性,包括电位差大小、阳极与阴极面积比大小、材料表面状态等;
  - 注 1: 电偶腐蚀是两种腐蚀电位相差较大的金属材料紧密接触时,通过电解质构成腐蚀电流回路,致使腐蚀电位较低侧的金属成为阳极加速腐蚀,腐蚀电位较高侧的金属成为阴极而得到保护。
  - 注 2: 电位差越大、阳极与阴极面积比越小(即小阳极/大阴极),则电偶腐蚀越严重。
  - 注 3: 材料表面的状态,包括非金属或金属涂层及阴极保护(牺牲阳极),都会对减轻电偶腐蚀产生重大影响,可采取以下防护措施减轻电偶腐蚀:
    - 1) 对腐蚀电位较高侧的金属施以非金属涂层;
    - 2) 碳钢的热镀锌(水温不高于 66 °C);
    - 3) 埋地管道采用阴极保护(牺牲阳极)及绝缘法兰。
- f) 螺纹润滑剂或密封剂与流体工况的兼容性;
- g) 衬垫、密封件和“O”形环与流体工况的兼容性;
- h) 其他材料(如胶黏剂、熔剂等)与流体工况的兼容性。

## D.2 低温脆性断裂

## D.2.1 碳钢、碳锰钢和合金钢的低温脆性断裂

D.2.1.1 低温脆性断裂是金属材料在低温或韧脆转变温度以下,发生突然破裂的灾难性失效现象。发生脆性断裂时,构件承受应力水平远低于材料屈服强度,因此构件断裂前无塑性变形,断口呈脆性。

D.2.1.2 基于金属材料的韧脆转变温度、使用经验及断裂力学分析,本文件列出了材料最低允许使用

温度(MDMT)及相应冲击试验要求。

**D.2.1.3** 除本文件的要求外,下列因素对低温脆性断裂也有影响,需采取相应措施:

- a) 降低钢材韧脆转变温度的主要因素并非合金化( $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上),而是纯净化、细晶化及热处理状态;
- b) 厚度是影响脆性断裂的重要因素,一方面材料的韧性水平随厚度增加而降低;另一方面厚壁构件更易产生三向应力,从而诱发脆性断裂;
- c) 应力水平(包括缺陷处的应力集中和残余应力、组织应力)对低温脆性断裂也有重大影响,50 MPa 以下的低载荷状态可大大缓解脆性断裂的风险;而焊接残余应力及焊接热影响区的晶粒粗化使焊缝成为受压部件脆性断裂的主要区域,因此,焊后热处理(PWHT)是降低脆性断裂风险的重要措施之一;
- d) 压力设备高于转变温度的超载“温压力试验”具有缺陷尖端钝化、降低焊接残余应力、过载保护等多重效能,已成为控制脆性断裂风险的重要措施。

**D.2.1.4** 下列情况可对 5.5.1.3.4 所列的免除冲击试验的碳钢和碳锰钢管道系统造成脆性断裂的风险:

- a) 冲击载荷(管道内部或外部的冲击载荷、流体的撞击等冲击荷载、泄压或排放产生的反力等);
- b) 热加工而导致材料韧性损失;
- c) 奥氏体和铁素体材料之间的异种钢焊接,由于线膨胀系数的差异而产生的附加应力;
- d) 管道强行装配和冷紧导致的附加轴向应力,尤其是对低温低应力工况评定的影响;
- e) 考虑材料低温下的弹性模量变化对评估上述作用力的影响。

**D.2.1.5** 由于液态烃、液化气体之类高挥发性流体,由节流、闪蒸、骤冷可导致脆性断裂的风险增加。

**D.2.1.6** 低温(材料产生脆性)或高温(降低材料强度)可导致管道支架损坏的可能性提高。

## **D.2.2 奥氏体不锈钢的低温脆性断裂**

**D.2.2.1** 奥氏体不锈钢为面心立方晶格的奥氏体组织,其韧脆转变温度低于绝对零度( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),因此 300 系列奥氏体不锈钢固溶状态下不存在低温脆性断裂的风险。

**D.2.2.2** 下列情况,有可能导致 300 系列奥氏体不锈钢的脆性转变温度提高,需采取相应措施:

- a) 剧烈冷变形,可导致奥氏体组织的马氏体转变而脆性转变温度的提高,重新进行固溶热处理可避免;
- b) 奥氏体不锈钢的焊缝可能含有高达 10% 以上的  $\delta$  铁素体,由此会影响  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  及以下的焊缝冲击韧性,为此可控制焊缝铁素体数  $\text{FN} \leq 8 \sim 10$ ;在控制焊缝 FN 的同时,也要防止 FN 过低而引起的热裂纹风险,加强 PT 检测可及时发现热裂纹;
- c) 避免使用 321、347,降低含碳量、提高镍含量有利于提高奥氏体不锈钢的低温稳定性;
- d) 316L、316LN 是  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  液氢管道的通用选材,AWS A5.4 E16-8-2(FN  $\leq 5$ )焊条为其配套焊条。

## **D.3 高温**

### **D.3.1 蠕变断裂**

**D.3.1.1** 蠕变断裂是金属材料在高温和低于屈服强度的应力的共同作用下,产生随时间延长而不断增加的变形,直至断裂。压力设备典型金属材料的蠕变阈值温度见表 D.1。

表 D.1 典型金属材料的蠕变阈值温度

| 材料                            | 蠕变阈值温度         |
|-------------------------------|----------------|
| 碳钢( $R_m \leq 414$ MPa)       | 343 ℃(650 ℉)   |
| 碳钢( $R_m > 414$ MPa)          | 371 ℃(700 ℉)   |
| 0.5Mo 钢                       | 399 ℃(750 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>1¼Cr-1/2Mo(正火+回火)    | 427 ℃(800 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>1¼Cr-1/2Mo(退火)       | 427 ℃(800 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>2¼Cr-1Mo(正火+回火)      | 427 ℃(800 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>2¼Cr-1Mo(退火)         | 427 ℃(800 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>2¼Cr-1Mo(调质)         | 427 ℃(800 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>2¼Cr-1Mo-V           | 441 ℃(825 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>3Cr-1Mo-V            | 441 ℃(825 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>5Cr-1/2Mo            | 427 ℃(800 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>7Cr-1/2Mo            | 427 ℃(800 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>9Cr-1Mo              | 427 ℃(800 ℉)   |
| 铬钼合金钢<br>9Cr-1Mo-V            | 454 ℃(850 ℉)   |
| 马氏体不锈钢<br>12Cr                | 482 ℃(900 ℉)   |
| 铬镍奥氏体不锈钢<br>304,304H          | 510 ℃(950 ℉)   |
| 铬镍奥氏体不锈钢<br>316,316H          | 538 ℃(1 000 ℉) |
| 铬镍奥氏体不锈钢<br>321,321H          | 538 ℃(1 000 ℉) |
| 铬镍奥氏体不锈钢<br>347,347H          | 538 ℃(1 000 ℉) |
| Ni-Cu-Fe 合金<br>800,800H,800HT | 565 ℃(1 050 ℉) |
| 铬镍奥氏体不锈钢<br>HK-40             | 649 ℃(1 200 ℉) |

**D.3.1.2** 虽然本文件已列入材料高于蠕变阈值温度的使用温度上限和相应的寿命为  $1.0 \times 10^5$  h 的设计许用应力,但工程实践中还存在诸多涉及高温蠕变断裂的工况需作安全评估,常见评估项如下:

- a) 高温短时应力的安全评估;
- b) 两种以上高温短时应力的累积损伤安全评估;
- c) 剩余寿命安全评估;
- d) 大于  $10^5$  h 的材料设计许用应力。

上述 a) 可按受压部件在预期工况下的应力水平不高于按 Larson-Miller 法获得的材料在  $25 \text{ h} \sim 2.5 \times 10^5 \text{ h}$ , 温度高于蠕变阈值温度至极限使用温度区间的平均或最小持久断裂应力(考虑相应安全系数)为准则进行评估。

上述 b) 可按受压部件在预期工况下应力水平根据 MPC- $\Omega$  压法求得材料在  $25 \text{ h} \sim 2.5 \times 10^5 \text{ h}$ , 温度高于蠕变阈值温度至极限使用温度区间的蠕变速率  $RC(1/\text{h})$ 。蠕变速率  $RC$  与该工况的使用时间  $t$ (小时)的乘积即为该工况(温度、时间、应力)对材料造成的蠕变损伤  $DC$ 。依据 MPC- $\Omega$  法及 API 579-1/ASME FFS-1—2007 的第 10 部分,  $DC \leq 2.5$ 。管道组成件服役期间如将经历多种蠕变温度区间内的工况(温度、时间、应力),均可按上述方法逐个求得每一工况下的  $DC$ ,其累积值按上述相同准则,不大于 2.5。

上述 c) 同样可按 a) 或 b) 所述方法进行剩余寿命安全评估。

上述 d) 可按 Larson-Miller 法或查阅 ASME III-1 NH 卷取得。

## D.3.2 475 °C 脆化

**D.3.2.1** Cr 含量  $\geq 12\%$  的 400 系列不锈钢(高铬不锈钢)、锻造或铸造奥氏体不锈钢和双相不锈钢,它们中的铁素体相在  $316 \text{ °C} \sim 540 \text{ °C}$  温度范围内停留较长时间后,会造成 Cr-P 金属中间相的析出,引起材料的硬度增加,塑性韧性的下降,从而导致脆化,而脆化的最大速率发生在  $475 \text{ °C}$ ,故常称为  $475 \text{ °C}$  脆化。

**D.3.2.2** Cr 含量越高以及不锈钢中的铁素体相得比例越高, $475 \text{ °C}$  脆化越严重;但这种脆化主要导致材料在常温或较低温度下的塑性韧性的下降,而对其高温下的塑性韧性影响甚微,因此,在压力设备的开停车及压力试验期间容易产生风险。410 型马氏体不锈钢对  $475 \text{ °C}$  脆化免疫,而 405 型铁素体不锈钢则不能幸免。

**D.3.2.3** 工作温度在上述温度范围,或者当敏感材料在热处理或冷却过程中,在此温度范围的停留时间过长,都可能发生  $475 \text{ °C}$  脆化。

## D.4 铸铁

铸铁、可锻铸铁、高硅铸铁以及断后伸长率小于  $15\%$  的球墨铸铁均属脆性材料,对冲击载荷及热冲击较为敏感,可在有限条件下控制使用。必要时,需采取相应的防护措施。

## D.5 碳钢、碳锰钢和合金钢

### D.5.1 碱脆(Caustic Embrittlement)

**D.5.1.1** 输送中高浓度 NaOH 或其他强碱性流体的碳钢管道,可能发生应力腐蚀开裂(晶间裂纹),俗称“碱脆”,碱脆随碱液浓度和温度的提高而加剧。

**D.5.1.2** 温度小于  $46 \text{ °C}$  时,一般不会发生碱脆;温度介于  $46 \text{ °C} \sim 82 \text{ °C}$  之间时,随 NaOH 质量分数的升高而加剧;温度大于  $82 \text{ °C}$  时,仅当 NaOH 质量浓度  $\leq 5\%$  才不发生碱脆,但易发生碱液蒸发浓缩,仍存在碱脆的风险。

**D.5.1.3** 碱脆经常出现在未作消除应力热处理的焊缝附近,因此,采取  $620 \text{ °C}$  以上的焊后热处理(PWHT)和防止过热的措施,可相应扩大碳钢在碱液中的适用范围。

### D.5.2 碱性应力腐蚀开裂(Alkaline Stress Corrosion Cracking,ASCC)

D.5.2.1 碳钢除上述在苛性钠中发生的碱脆以及下述在酸性介质中的氢致应力腐蚀开裂外,还存在如下列介质中发生的多种碱性应力腐蚀开裂的风险:

- a) 常温或低温无水液氨;
- b) 醇胺液(常用于脱硫、脱  $\text{CO}_2$ );
- c) 碱性碳酸盐-酸水溶液(气体净化系统)。

D.5.2.2 碳钢、低合金高强度钢的 ASCC,与残余应力、介质组成、浓度(包括反应物杂质副反应污染)和特定的温度区间有关。通常裂纹位于焊接热影响区,许多硬度达标的焊接接头还是会发生 ASCC。

与酸性介质中发生 SCC 归因于氢致开裂不同,对于 ASCC 的机理,目前,倾向归因于过高的焊接或冷变形残余拉应力存在,致使材料在特定的弱碱性(含有  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_4$ 、 $\text{O}_2$ 、氯化物、氰化物)腐蚀环境中形成的钝化膜滑移破裂,而使失去钝化膜保护的裸露金属产生局部快速腐蚀。

因此,PWHT 就成为控制 ASCC 的关键措施,而控制硬度反成多余。实践表明,对于常用的碳钢、碳锰钢,规范规定  $600\text{ }^\circ\text{C}$  的 PWHT 还不足以把焊接热影响区的残余应力峰值降低到免除 ASCC 的阈值,需采用更高温度( $620\text{ }^\circ\text{C}\sim 650\text{ }^\circ\text{C}$ )的 PWHT。对于如碳酸盐溶液管道系统的局部热处理,还需把 PWHT 温度提高至  $650\text{ }^\circ\text{C}\sim 660\text{ }^\circ\text{C}$ 。

D.5.2.3 防止 ASCC 的措施主要为限制使用高强钢(但一般不必控制硬度)、冷变形和采用较高的温度进行 PWHT。对于液氨引起的 ASCC,避免  $\text{O}_2$ (空气)污染或加入  $0.2\%$  以上水也可有效地控制 ASCC。

### D.5.3 石墨化

D.5.3.1 碳钢和  $0.5\text{Mo}$  钢长期在  $427\text{ }^\circ\text{C}$  以上工作,能使稳定性不高的碳化物分解成铁素体和石墨,导致材料常温强度和高温长期强度下降,下降程度取决于石墨化进程。

D.5.3.2 温度和时间是影响石墨化的最重要因素,温度高于  $538\text{ }^\circ\text{C}$  时,热影响区发生严重石墨化仅需 5 年,而温度  $454\text{ }^\circ\text{C}$  时,产生轻微的石墨化则需要 30 年~40 年。

D.5.3.3 冷变形及焊接热影响区,相对更易发生石墨化。

### D.5.4 软化(球化)

D.5.4.1 铬钼合金钢,如  $15\text{CrMo}$ 、 $1-1/4\text{Cr}-0.5\text{Mo}$ 、 $2-1/4\text{Cr}-1\text{Mo}$ 、 $12\text{Cr}1\text{MoV}$ 、 $5\text{Cr}-0.5\text{Mo}$  钢长期在  $440\text{ }^\circ\text{C}$  以上工作,珠光体中的碳化物不稳定,由原先的片状或弥散分布聚集成球状或块状碳化物,导致材料常温强度和高温长期强度下降。

D.5.4.2 温度、时间和合金含量是影响球化的重要因素。退火状态相对优于正火+回火状态(N+T)或淬火状态(QT);硅镇静的粗晶粒钢相对优于铝镇静的细晶粒钢。

D.5.4.3 虽然球化致使材料高温强度下降,但伴随塑性的提高,即使在应力集中部位也允许有更大的应变。除高应力水平的应力集中区或伴随其他材料失效风险,仅由于球化而导致压力设备更换维修的案例甚为罕见。

### D.5.5 高温氢腐蚀

D.5.5.1 碳钢及铬含量不大于  $3\%$  的铬钼合金钢使用温度在  $177\text{ }^\circ\text{C}$  以上,且氢分压不低于  $0.345\text{ MPa}$  时,有可能发生高温高压氢侵蚀,又称为“热氢侵蚀”,以区别于常见的氢脆、氢白点、氢致裂纹等在常温或相对较低温度下产生的氢损伤。

D.5.5.2 随着温度及氢分压的提高,氢原子与钢中的碳反应而生成甲烷,从而在材料表面形成脱碳层;而在钢材内部反应生成的甲烷集聚在晶界或钢材内部的缺陷处(如夹杂物)无法扩散逸出而形成很高压



力,致使钢材内部脱碳、产生微裂纹直致破裂。晶界或夹杂处集聚的高压若接近材料表面则可产生氢鼓泡。

**D.5.5.3** 表面脱碳层较薄,对材料整体的强度和延性影响甚小,工程上可忽略;但内部脱碳及裂纹将导致临氢压力设备发生灾难性事故。较高温度和较低氢分压条件下,高温氢侵蚀的损伤模式为表面脱碳(见 Nelson 曲线的虚线);而较低温度和较高氢分压条件下,高温氢侵蚀的损伤模式为内部脱碳及裂纹(见 Nelson 曲线的实线);高温和高压条件下,则两种损伤模式都可能存在,尤以后者为甚。由此可见影响高温氢侵蚀最重要的因素是温度,其次是氢分压。

**D.5.5.4** 铬、钼合金元素的加入是工程中应对高温氢侵蚀的常见有效措施,并由此根据长期经验绘制成 Nelson 曲线,制定了 API RP 941,一般情况如下:

- a) 铬含量大于或等于 5% 的铬钼合金钢以及不锈钢,从目前工程实例而言,对高温氢侵蚀是免疫的;奥氏体不锈钢常用于内壁堆焊、复合或衬里用于抵御高温硫或其他介质的腐蚀;
- b) 奥氏体不锈钢的氢溶解度比铁素体钢大一个数量级,氢的扩散速度要低两个数量级,因此可降低复合材料中基层材料的氢分压。

**D.5.5.5** 根据 Nelson 曲线进行选材时需注意下列事项:

- a) 留有 20 °C 以上安全裕量,切不可超温,防止过热;采用内部隔热衬里降低基层材料温度时,隔热衬里的完整性破损可引起过热热点;
- b) Nelson 曲线是基于材料良好的热处理状态,以保证其金相组织及碳化物稳定性,而焊接热影响区及 5% 以上冷变形将改变金相组织及碳化物形态和稳定性,导致其抗氢性能的下降;近年来,碳钢、0.5Mo 钢临氢设备多次在低于但接近 Nelson 曲线的安全区域发生高温氢侵蚀的重大事故,究其原因都归于焊后未作 PWHT 或产生了冷变形,因此,碳钢及铬钼合金钢临氢设备,如换热器管子与管板,焊后均作 PWHT,或将 Nelson 曲线留有 50 °C 以上安全裕量可减少事故的发生;碳钢焊后无需做 PWHT 的 Nelson 曲线见图 D.1。

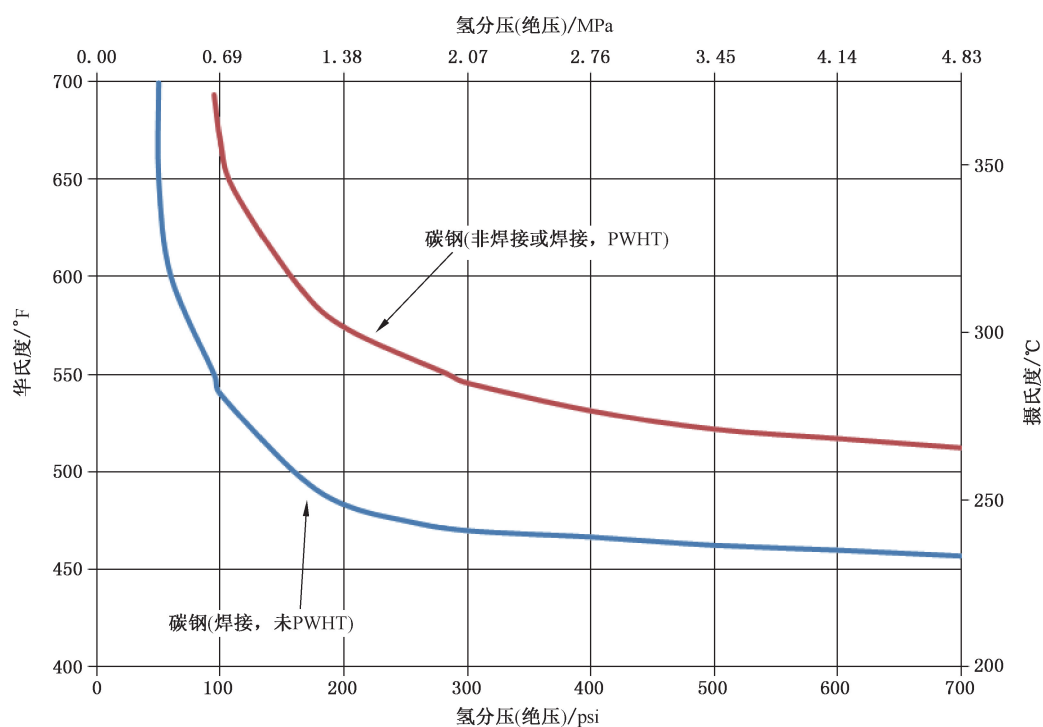


图 D.1 焊后无需作 PWHT 的碳钢 Nelson 曲线 (API 941—2016)

### D.5.6 湿硫化氢/硫化物应力腐蚀开裂(Sulfate Stress Corrosion Cracking,SSC)

**D.5.6.1** 湿硫化氢/硫化物应力腐蚀开裂是金属在水(电解质)和硫化氢存在下由拉伸应力和腐蚀介质共同作用的开裂。硫化物应力开裂(SSC)有多种失效分类,如应力腐蚀开裂(SCC)、氢应力开裂(HSC)、氢诱导开裂(HIC)、应力导向氢诱导开裂(SOHIC)、阶梯开裂(SWC)等,从开裂的机理而言也可归因为氢致应力开裂,由于都是吸收硫化物在金属表面电化学腐蚀所产生的原子氢而造成的,为此本附录均将其归为 SSC。碳钢或低合金钢焊接压力设备是发生 SSC 的重灾区。为此,仅就此列出选材时予以关注的要点。

**D.5.6.2** 影响 SSC 的环境因素有  $H_2S$  浓度( $H_2S$  分压 0.035 MPa 绝压以上)、pH(酸性)及温度,氰化物的存在对 SSC 有催化作用且易诱发 HIC。氯化物、 $CO_2$  的存在也将引起多种腐蚀形态的共生与加剧。 $H_2S$  浓度(分压)越高,pH 越低,SSC 越敏感,因此工程中常称为酸性介质的 SSC。温度提高导致氢的渗透速率提高,SSC 发生的概率反而下降,因此 SSC 通常发生在常温或工作温度 65℃ 以下。

**D.5.6.3** 防止碳钢或低合金钢焊接压力设备发生 SSC 的工程措施核心是控制硬度。控制硬度就是控制金相组织、组织应力及残余应力。因为这些部位正是 SSC 产生的根源。碳钢、低合金钢防止 SSC 发生的硬度上限为 RC22 或  $HV_{10}$  237。由于焊接热影响区的高硬度区很窄, $HV_{10}$  无法用于现场检测,HB 压痕较大,其读数代表的是平均硬度而非峰值,因此,焊缝检测时的硬度上限为 HB200。

控制硬度要落实到工程设备的每一细节,包括内壁外壁、宏观微观;如不准许冷变形、锤击、钢印、坡口外焊接打弧和飞溅。低强度钢优于高强度钢;原材料进行正火、正火加回火、退火、调质等热处理及 PWHT 都有益于防止 SSC 的发生。

**D.5.6.4** 产生 HIC 的材料因素是板材单向轧制过程中形成的片状 MnS 夹杂,因此控制板材及板焊管母材的 S 含量不大于 0.002%或加 Ca 促使 MnS 夹杂球化是抗 HIC 板材生产的附加要求。但无缝钢管、锻件无要求该低 S 含量要求,焊缝则更没必要,因为 MnS 夹杂在此类材料中不可能呈片状分布。

### D.5.7 层状撕裂

**D.5.7.1** 碳钢或低合金钢厚板中的片状 MnS 夹杂也易导致焊接部位的层状撕裂发生。当夹杂邻近 T 型焊接接头的板材表面时,在焊接热应力和/或 Z 向(厚度方向)载荷的作用下会发生撕裂,如安放式接管与主管、凸形封头与裙座、管板、平封头与壳体、管子的焊接;或当夹杂邻近焊接热影响区,由焊接过程的充氢扩散和焊接热应力的共同作用下可发生类似硫化氢 SCC 中的氢致阶梯状开裂(HOHIC)。

**D.5.7.2** 控制层状撕裂的对策如下:

- 待焊部位 UT 检测,排除可能的夹杂;
- 改变 T 型角接为 L 型角接或对接,如安放式接管改为插入式接管;
- 降低钢材含硫量,片状 MnS 夹杂将导致钢板 Z 向(厚度方向)拉伸性能,尤其是断面收缩率大幅下降;Z 向断面收缩率与含硫量的关系大致为 Z15(S 含量  $\leq 0.010\%$ )、Z25(S 含量  $\leq 0.007\%$ )、Z35(S 含量  $\leq 0.005\%$ );因此,根据具体工况,选用相应 Z 向(厚度方向)性能厚板就成为海上平台之类厚板焊接钢结构的惯例。

### D.5.8 高温硫化物腐蚀

**D.5.8.1** 碳钢、合金钢和不锈钢在超过 260℃ 环境下与硫化物发生反应造成腐蚀,氢的存在会加速腐蚀。硫化物腐蚀主要是由  $H_2S$  和其他活性硫化物(即在高温下容易分解生成  $H_2S$  的硫化物,而非总硫)引起的。因此, $H_2S$  和活性硫化物浓度和温度越高,尤其在 260℃~425℃,随着温度升高,腐蚀速率呈指数式升高,而在 425℃ 达到峰值。

**D.5.8.2** 碳钢、合金钢、不锈钢和镍基合金的耐蚀性取决于生成保护性硫化物膜的能力。对碳钢而言,Si 含量  $\geq 0.1\%$  将比 Si 含量  $\leq 0.1\%$  者大大增加耐硫化的能力。对合金钢而言,Cr 含量可以明显增

加耐硫化的能力,但 Cr 含量低于 7%~9%,耐蚀性能提高不多。当氢与高温硫化物腐蚀共存时,Cr 含量低于 12%对耐蚀性能提高不明显。因此,当采用不锈钢和镍基合金时,其耐蚀性同样取决于 Cr 含量。

**D.5.8.3** 工程设计时通常按 McConomy 曲线或 Couper-Gorman 曲线进行初步选材。

### D.5.9 铬钼合金钢的回火脆性

**D.5.9.1** 合金钢在 343 °C~577 °C 温度停留将导致材料韧性不同程度地下降,由于该温度范围与钢材的回火温度相近,故称为回火脆性。由于铬钼合金钢的使用温度范围又与其高度重合,因此对其格外关注。产生回火脆性的根源在于钢中磷(P)、砷(As)、锑(Sb)、锡(Sn)等有害元素的晶间析出集聚,而硅、锰对此亦有辅助作用。此外大截面构件的热过程也对其回火脆性的敏感性带来显著的影响。

**D.5.9.2** 回火脆性导致的韧性下降主要对压力组件开停车阶段以及在转变温度下快速加载或承受冲击载荷构成威胁,尤其是厚壁( $\geq 50$  mm)及结构不连续构件。因此提高材料的纯净度和原始韧性水平就成为规避回火脆性风险的核心工程措施。

**D.5.9.3** 铬钼合金钢中对回火脆性最为敏感的是 440 °C 左右长期使用的 2.25Cr~3Cr-1Mo 钢且壁厚大于或者等于 38 mm 的厚壁临氢压力设备。为此工程中采用控制措施如下:

$$\text{母材的 } J = (\text{Si} + \text{Mn})(\text{P} + \text{Sn}) \times 10\,000 \leq 150 (\text{质量分数})$$

$$\text{焊缝的 } X = (10\text{P} + 5\text{Sb} + 4\text{Sn} + \text{As}) / 100 \leq 15 \times 10^{-6}$$

通过控制材料经历 PWHT 和步冷处理后的转变温度增值来控制厚壁临氢压力设备的回火脆性风险。用户根据自身情况及使用经验,不必盲目套用上述要求。

**D.5.9.4** Cr(5%~9%)的铬钼合金钢对回火脆性并不敏感。工程界曾担忧 1Cr~1.25Cr-0.5Mo 钢的回火脆性敏感性,研究表明,随着用户对铬钼合金钢韧性要求的提高,1Cr~1.25Cr-0.5Mo 钢的回火脆性敏感性低于 2.25Cr~3Cr-1Mo 钢。

**D.5.9.5** 近年来铬钼合金钢的冶金技术已由粗晶钢转为铝脱氧的细晶钢,如钢中的 P 含量 $\leq 0.010\%$ ; S 含量 $\leq 0.005\%$ ,在 0 °C~-20 °C 时,AKV 50J 就足以控制 1Cr~1.25Cr-0.5Mo 厚壁压力设备的回火脆性风险。因此,1Cr~1.25Cr-0.5Mo 厚壁(壁厚大于或等于 25 mm)压力设备通过下列工程措施以控制再热裂纹及回火脆性的风险:

- 母材及焊缝的 X 系数 $\leq 15 \times 10^{-6}$ 、C 含量 $\leq 0.15\%$ ;
- 采用低氢焊材(H8)、焊接区域 PWHT 后硬度  $\text{HV}_{10} \leq 235$  或  $\text{HB} \leq 225$ ;
- 水压试验温度不低于 15 °C。

**D.5.9.6** 材料的回火脆性可通过 620 °C 的回火热处理来恢复韧性,但并不能对再次发生回火脆性免疫。

### D.5.10 氢脆和氢致开裂(Hydrogen Embrittlement, HE)

**D.5.10.1** 由于碳钢、低合金钢为体心立方晶格,氢在钢中的溶解度比面心立方晶格的奥氏体钢或镍合金要低得多,而且其在相变冷却过程中过饱和的氢大量析出,在晶格畸变、组织应力高或缺陷、空穴处的集聚致使碳钢、低合金钢成为氢脆和氢致开裂的敏感金属。

**D.5.10.2** 氢的来源有下列三大渠道。

- 材料冶炼、锻造、焊接过程中进入,而其后快速冷却到常温过程中来不及逸出,而导致脆裂或韧性大幅下降,如氢白点、焊接延迟裂纹(冷裂纹)。
- 材料电化学腐蚀过程中阴极产生的氢原子渗入金属,而导致的氢致裂纹 HSC;除上述  $\text{H}_2\text{S}$  导致的 SSC、HIC 外,高浓度的氢氟酸与碳钢、低合金钢腐蚀反应生成的原子氢渗入钢中也将产生与酸性  $\text{H}_2\text{S}$  溶液类同的 SCC 和 HIC;此外,钢材的过酸洗和阴极保护中过电位也可能导致阴极充氢而引发氢脆。

- c) 氢对金属材料的渗透率随氢分压的提高而加大,除上述高温高压氢侵蚀外,在常温或较低温度下,随着氢分压的提高也将导致高强钢或钢的淬硬组织处产生氢脆;如气体工业将常温氢分压大于或等于 1.0 MPa 的压力设备列入考虑采取防范氢脆的范围;ASME B31.12 是专门应对高压下常温与低温氢脆的标准规范。

#### D.5.10.3 控制氢脆和氢致开裂的对策如下:

- a) 采用真空脱气或采用低氢焊材,降低钢中氢含量;由于氢在温度升高时,氢在钢中的渗透率大大提高,因此缓冷、脱氢处理也将大大缓解氢脆风险;
- b) 控制材料强度、硬度、冷变形、PWHT、板材的含硫量(HIC)等从材料及应力(包括内应力、残余应力)侧控制氢脆风险。

### D.6 奥氏体不锈钢和镍基合金

#### D.6.1 奥氏体不锈钢和镍基合金的冶金特征

奥氏体不锈钢的用量在压力设备用材中仅次于碳钢、碳锰钢,选择奥氏体不锈钢的理由大致有两个:首先是一钢多用,洁净美观、耐蚀、耐高温(800℃~1 000℃)、耐超低温(−253℃),此外,其具有良好机械强度、塑性、韧性和加工焊接性能。正确使用奥氏体不锈钢,规避其常见的潜在风险需了解下列各项基本冶金特征。

- a) 300 系列奥氏体不锈钢的耐蚀性主要来自其铬含量及其表面只有 2 nm 厚的氧化铬钝化膜的完整性、自钝化和修复能力;而 Ni 的作用主要在于形成奥氏体组织及由此带来优良的塑性韧性和加工焊接性能;一切有损于钝化膜完整性的因素都将对其耐蚀性带来颠覆性的后果,因此,保证钝化膜完整性是应对不锈钢一切腐蚀问题的基础。
- b) 不锈钢的不锈是相对碳钢而言,在氧化性介质中有良好的耐蚀性,而 300 系列奥氏体不锈钢对还原性介质、强氧化性介质、氧化还原性介质、卤式盐以及抗 SCC 的能力十分有限;而高性能奥氏体不锈钢、双相不锈钢以及 Inconel、Incoloy、哈氏等镍基耐蚀合金的选用正好填补这方面的空白。
- c) 奥氏体不锈钢的组织特征、常用的耐蚀评价方法和指标,如铬当量、镍当量、Schaeffler 图、Delong 图、FN 数、PRE 点蚀指数、ASTM A262 晶间腐蚀试验 B 法、C 法、E 法、ASTM G48 的 A 法等,都对分析和应对不锈钢和镍基耐蚀合金各种失效风险至关重要。

#### D.6.2 晶间腐蚀(Intergranular Corrosion, IGC)

D.6.2.1 晶间腐蚀是奥氏体不锈钢和镍基耐蚀合金在特定有限的几种无机及有机酸中(通常在高于常温的温度下)发生的沿晶界进行的选择性局部腐蚀(属电化学腐蚀)。

D.6.2.2 发生晶间腐蚀的机理一般解释为与不良的热过程导致碳化铬在晶界连续析出而产生的敏化贫铬现象有关。此外, $\sigma$  相、Chi 相、焊接金属中的  $\delta$  铁素体甚至“端晶”也有可能类似晶间腐蚀的选择性局部腐蚀。由于碳在高 Ni 含量镍基耐蚀合金中的溶解度比低 Ni 含量的奥氏体不锈钢更低,因此,高 Ni 含量镍基耐蚀合金由于敏化而产生晶间腐蚀的倾向更大。

#### D.6.2.3 防止晶间腐蚀的对策如下。

- a) 固溶(即将碳化物重新在高温下溶解到奥氏体晶内)后快冷,防止碳化物在敏化区再次析出。
- b) 采用超低碳材料(300 系列奥氏体不锈钢 C 含量 $\leq 0.030\%$ ;镍基耐蚀合金及双相不锈钢、高性能奥氏体不锈钢 C 含量 $\leq 0.020\%$ ,甚至 0.015%);但超低碳奥氏体合金在敏化区长期停留碳化物仍可析出,见图 D.2。
- c) 加入 Nb、Ti 等强烈碳化物元素,优先形成 Nb、Ti 的碳化物而减少碳化铬在晶界连续析出,或再施以稳定化处理进一步强化稳定化效果。

- d) 晶间腐蚀试验是研究奥氏体合金及其制作工艺应对晶间腐蚀倾向的重要方法,但各种晶间腐蚀试验方法与不锈钢用户所面临的腐蚀环境缺乏对应性与可比性。因此,晶间腐蚀试验不可成为用户的选材依据。对于腐蚀环境下使用 300 系列奥氏体不锈钢而言,超低碳、双牌号或稳定化热处理已成惯例,绝大多数潜在的晶间腐蚀风险已被控制,加上常用的硫酸-硫酸铜法的敏感性不高,因此除极少数的工况外(如尿素、硝酸用途的休氏试验),晶间腐蚀试验在实际工程中很少用作 300 系列奥氏体不锈钢质量控制要求。
- e) 而对镍基耐蚀合金及高 Ni 的高性能不锈钢,由于产生晶间腐蚀的倾向更大,同时面临更为严苛的腐蚀环境,因此晶间腐蚀试验经常作为质量控制的保证,但要注意试验方法的对应性。双相不锈钢要注意敏化处理的适用性。

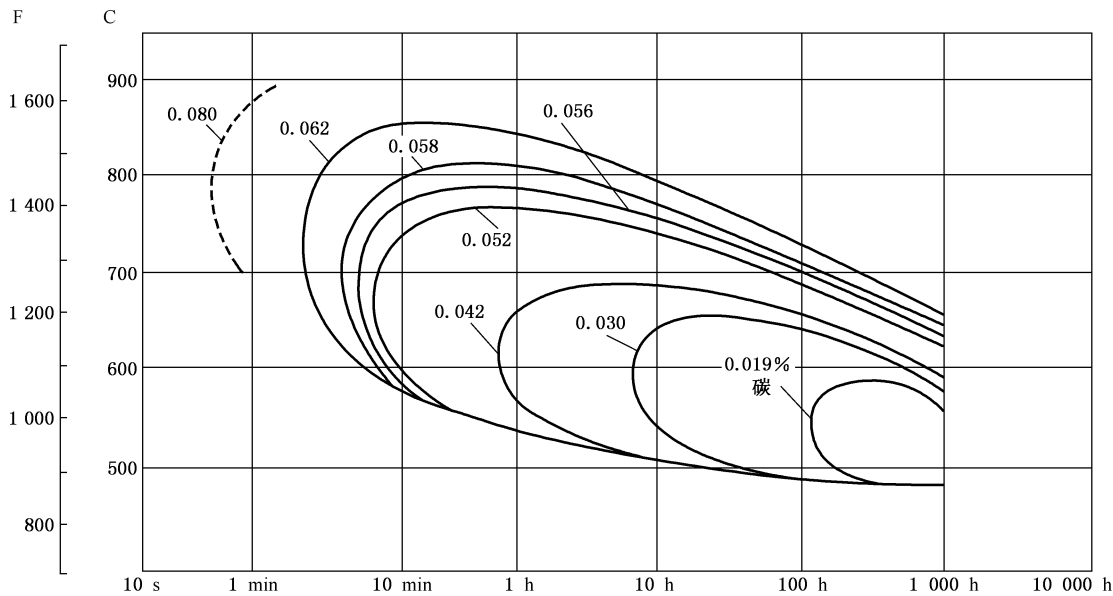


图 D.2 304 不锈钢的敏化 C 曲线

D.6.3 点蚀和缝隙腐蚀(Pitting Corrosion and Crevice Corrosion)

D.6.3.1 点蚀是发生在金属表面的局部腐蚀,腐蚀局限于一个点或很小的区域,蚀坑优先沿重力方向向纵深发展直至穿孔,也有可能在蚀坑的前端诱发腐蚀速度更快的应力腐蚀裂纹。通常认为点蚀机理是金属表面钝化膜首先被局部击穿,形成一个电解槽。小孔内小面积的阳极(相对于未被击穿的大面积金属钝化的阴极)迅速腐蚀,而且通过自身或催化过程不断向纵深发展。蚀坑的进展包括金属的溶解以及坑底部溶解的金属离子的水解而维持高酸度这两个过程。点蚀是奥氏体不锈钢和镍基合金在中性或偏酸性的氯化物溶液中最常见的局部腐蚀现象。图 D.3 所示为使不同 Mo 含量奥氏体钢开始发生点蚀的氯离子浓度与 pH 的关系(65 °C~80 °C)。

缝隙腐蚀是点蚀发生在缝隙中的特殊形式。缝隙宽度一般在 0.1 mm~0.01 mm(腐蚀介质可进入并滞留)。由于缝隙内缺氧,造成氢离子和氯离子的浓缩、pH 下降、腐蚀速度加快等“自催化过程”,缝隙外构成阴极保护、缝隙内则成为牺牲阳极。

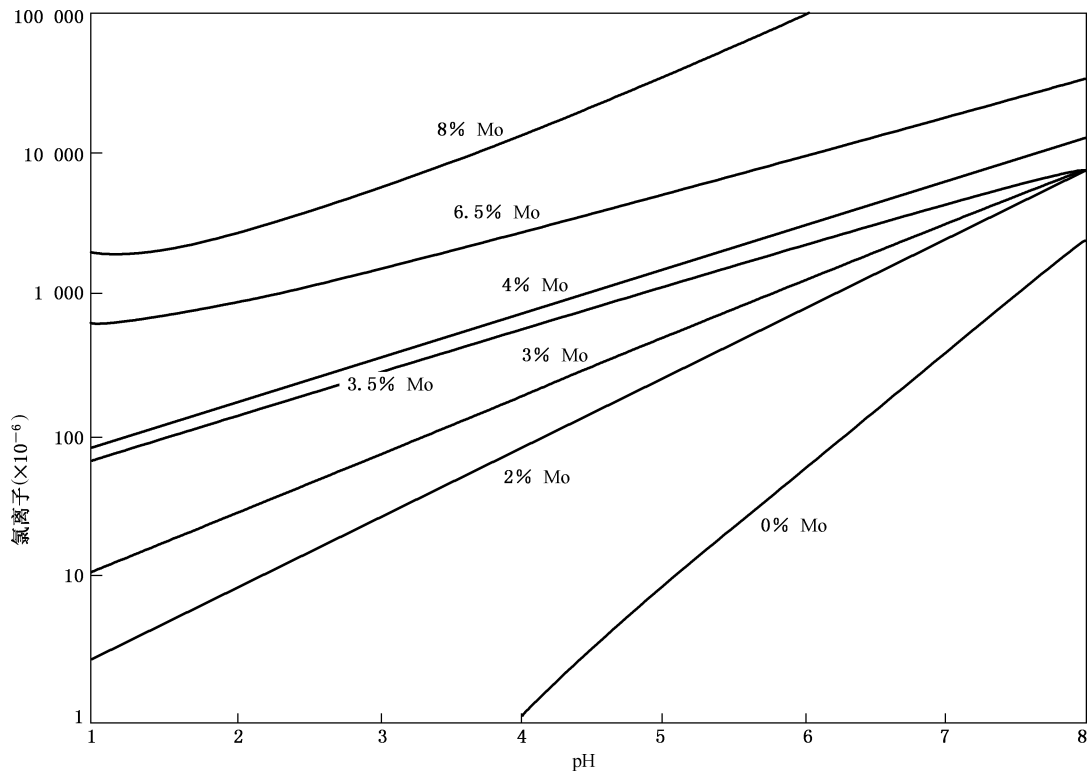


图 D.3 使不同含钼量奥氏体钢开始发生点蚀的氯离子质量浓度与 pH 的关系(65 °C ~80 °C)

#### D.6.3.2 点蚀和缝隙腐蚀的影响因素如下。

- a) 依靠钝化膜来抵御电化学腐蚀的材料,其钝化膜的完整性及钝化膜抵御卤素离子的能力就成为关键,因此,钝化膜的缺陷就是点蚀和缝隙腐蚀的高发区。
- b) 点蚀和缝隙腐蚀大多与氯化物、溴化物和次氯酸盐有关,尤其是氧化性金属盐,如铜、铁、汞的卤化物,因为这些金属盐本身具有氧化性,即使在缺氧的条件下也具有很强的侵蚀性。Na、Ca、Mg、Al 的卤化物在有氧条件下也会发生点蚀和缝隙腐蚀。
- c) 卤化物浓度增加(或蒸发、浓缩)、pH 降低、温度升高或充氧等因素的变化,在一定范围内都可能对点蚀和缝隙腐蚀有促进作用。但任何因素都有一个度,物极必反,更何况多因素共同作用时的相互制约作用,因此,从介质及工况情况预测点蚀是否发生,在实际应用中尚有困难。
- d) 统计表明,点蚀和缝隙腐蚀大多发生在 60 °C 以下。这可能与下列因素有关:
  - 1) 温度升高,氧在介质中的溶解度下降,降低了 NaCl 的点蚀倾向;
  - 2) 温度升高导致腐蚀速率以及氯离子浓缩概率大大提高,由点蚀诱发氯化物应力腐蚀开裂 (CLSCC) 的概率也随之提高。
- e) 点蚀通常与介质滞留、蒸发、浓缩有关;反之,提高流速、避免缝隙、结垢、沉积、气液两相交替和滞液区,也可大大降低点蚀风险。

#### D.6.3.3 通常用点蚀指数 PRE 来衡量奥氏体不锈钢、双相不锈钢的相对耐点蚀、缝隙腐蚀和 SCC 的能力:

$$\text{PRE} = \text{Cr} + 3.3\text{Mo} + 16.5\text{W} + 16\text{N}$$

常用奥氏体不锈钢、双相不锈钢的点蚀指数 PRE 见表 D.2。经验表明,奥氏体不锈钢、双相不锈钢的点蚀指数 PRE 不低于 32,可有效耐海水的点蚀。

表 D.2 常用奥氏体不锈钢、双相不锈钢和镍基耐蚀合金点蚀指数 PRE 典型值

| 300 系列 ASS | PRE  | 高性能 ASS  | PRE | 双相钢 DSS         | PRE  | Ni 基合金    | PRE |
|------------|------|----------|-----|-----------------|------|-----------|-----|
| 304、304L   | 18   | Alloy 20 | 30  | 2304            | 23   | 625       | 51  |
| 304LN      | 19.6 | 904L     | 34  | 3RE60           | 27   | C22       | 70  |
| 316316L    | 22.6 | 254SMO   | 43  | 31803<br>(2205) | 30.5 | C276      | 75  |
| 316LN      | 24.2 | AL-6XN   | 44  | 2205            | 34   | Alloy 59  | 76  |
| 317L       | 27.9 | 654SMO   | 56  | 2507            | 43   | Alloy 686 | 81  |

D.6.3.4 不锈钢和镍基合金的点蚀试验与点蚀临界温度按下列方法确定。

- a) 工程中采用浓度为 6% 的 FeCl<sub>3</sub> 溶液来测试各种奥氏体不锈钢、双相不锈钢和镍基耐蚀合金的点蚀临界温度(CPT)和缝隙腐蚀临界温度(CCT)。
- b) 常用的试验方法有 ASTM G48 的 A 法(CPT)、B 法(CCT)、C 法(CPT)、D 法(CCT)和 ASTM A923 的 C 法(DSS-CPT)。试验溶液大致相同,但试样处理、pH 调节、时间、判据等细节上有差异,对 CPT、CCT 有影响。图 D.4 所示为 ASTM G48 的 B 法缝隙腐蚀临界温度与点蚀指数 PRE 对应关系。
- c) 浓度为 6% 的 FeCl<sub>3</sub> 溶液的 pH 约 1.3,具有很强点蚀倾向,所以由试验而确定的材料 CCT 和 CPT 并不代表材料在实际工况中的点蚀临界温度,但基本反映了各种奥氏体不锈钢、双相不锈钢和镍基耐蚀合金的相对耐点蚀和缝隙腐蚀能力和排序。
- d) ASTM A923 的 C 法及 ASTM G48 的 A 法常用于双相不锈钢产品(包括母材及焊缝),质量检验的判定如下:

采用 ASTM A923 的 C 法,对于 2205 不锈钢,母材的试验温度为 25 ℃、焊缝的试验温度为 22 ℃,无点蚀为合格;对于 2507 不锈钢,母材的试验温度为 45 ℃~50 ℃、焊缝的试验温度为 40 ℃,无点蚀为合格。

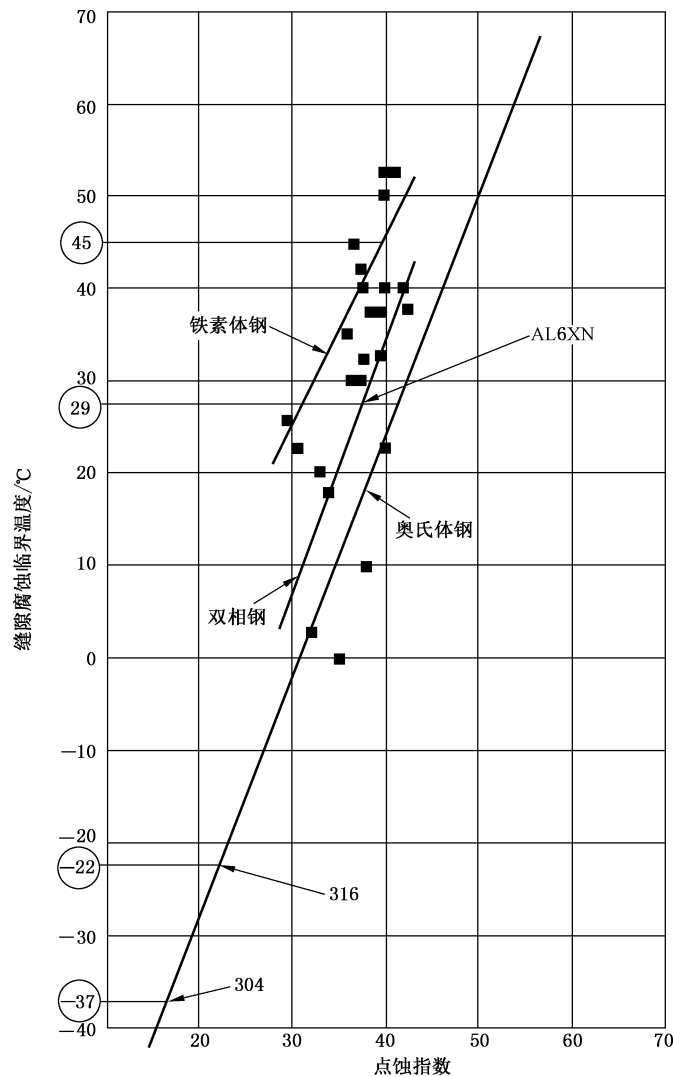


图 D.4 缝隙腐蚀临界温度与点蚀指数 PRE 对应关系 (ASTM G48 的 B 法)

D.6.4 氯化物应力腐蚀开裂 (Chloride Stress Corrosion Cracking, CLSCC)

D.6.4.1 氯化物应力腐蚀开裂机理和规律如下。

a) 氯化物应力腐蚀开裂是奥氏体不锈钢,尤其是常用的 304、316 不锈钢最常见的失效模式。发生氯化物应力腐蚀破裂的机理,在其诱发孕育期大都与上述点蚀基本相同,都经历了钝化膜被击穿,随后经“自催化过程”形成蚀坑,其后在应力与温度的作用下,在缺陷(蚀坑或裂纹)尖端“自催化过程”更为加剧、金属快速溶解,形成穿晶带树枝状分枝的裂纹,裂纹间隙的电子探针可见高浓度的氯化物腐蚀产物。奥氏体不锈钢发生 CLSCC 的应力阈值较低,且一般由冷加工应力或焊接残余应力引起,与载荷应力关系不大。氯化物应力腐蚀开裂概率与镍含量的关系见图 D.5:

- 1) 300 系列奥氏体不锈钢对氯化物应力腐蚀开裂最为敏感;304 不锈钢的 CLSCC 阈值温度为 20 °C 左右,316 不锈钢阈值温度为 50 °C 左右;
- 2) 双相钢、铁素体不锈钢及镍含量 30% 以上的镍基合金对氯化物应力腐蚀开裂几乎是免疫的;
- 3) 提高 Mo 含量可提高 CLSCC 阈值温度,含 6% Mo 的 AL-6XN 的 CLSCC 阈值温度可达



240 ℃左右。

- b) 从腐蚀环境(介质)来看,氯离子浓度越高、pH 越低,CLSCC 发生的概率越高;但氯离子含量从几百万分之一直至几百分之一、pH 从 1 到 10 的条件下都有发生 CLSCC 的事例。在破裂断口的腐蚀产物分析可见:氯离子可浓缩数百倍达数百分之一、同时 pH≈0。可见除了自催化过程外,氯离子的沉积、蒸发、干湿交替是诱发点蚀及 CLSCC 的重要因素。导致发生 CLSCC 的氯离子质量分数往往取决于整个服役期间(包括水压、使用、维修等过程)氯离子的最高质量分数。
- c) 60 ℃以上时,温度越高,CLSCC 发生的概率越高;发生 CLSCC 的温度往往取决于整个服役期间(包括水压、使用、维修等过程)的最高温度。以 60 ℃~80 ℃作为点蚀及 CLSCC 的分界点,主要原因如下:
- 1) 温度越高,SCC 的腐蚀速率加快且超过点蚀的腐蚀速率,因此失效模式就表现为 CLSCC;
  - 2) 温度越高,氯离子的浓缩概率越大;60 ℃以下 CLSCC 发生的概率较低,而点蚀的概率较高,但在临界条件也有常温发生 CLSCC 的案例。

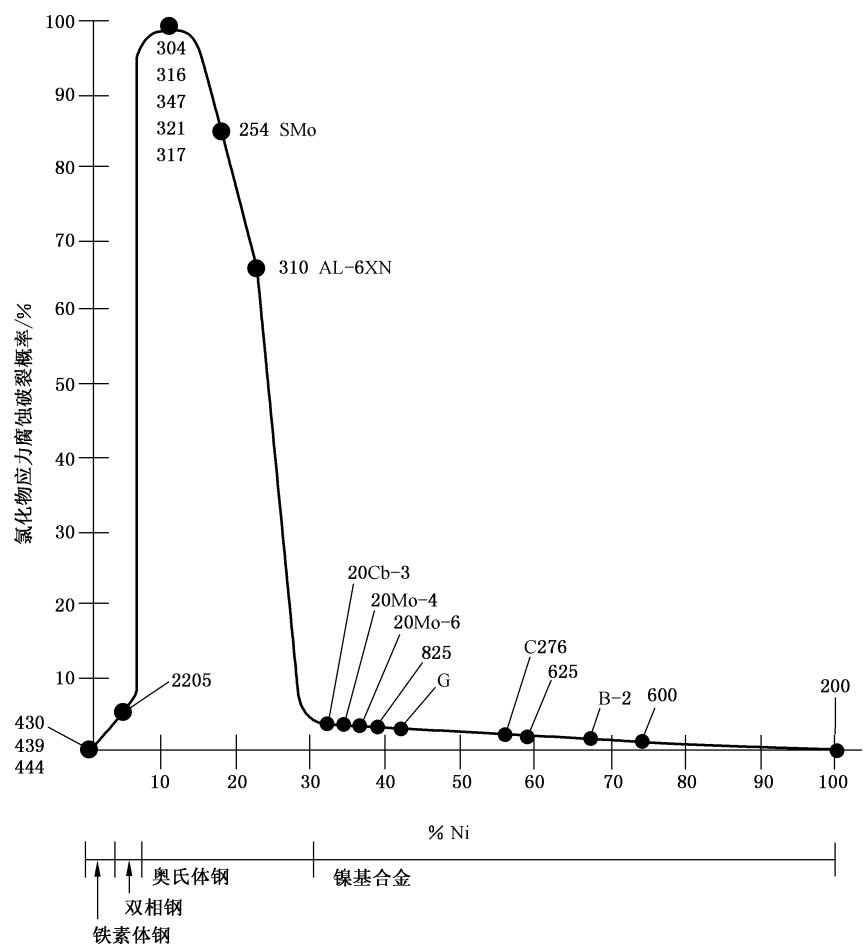


图 D.5 氯化物应力腐蚀破裂概率与镍含量的关系

D.6.4.2 氯化物应力腐蚀开裂的影响因素(以 304L 材质为例)如下。

- a) 氯离子质量分数、温度对 304L 的影响见表 D.3。

表 D.3 氯离子质量分数、温度对 304L 的 CLSCC 的影响

| 温度<br>℃                                         | 氯离子质量分数 $\times 10^{-6}$ ( $\text{pH} \leq 10$ ) |        |           |        | 存在浓缩、<br>沉积、蒸发 |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------|-----------|--------|----------------|
|                                                 | 1~10                                             | 11~100 | 101~1 000 | >1 000 |                |
| 10~38                                           | 低风险                                              | 低风险    | 低风险       | 中等风险   | 高风险            |
| >38~66                                          | 低风险                                              | 中等风险   | 中等风险      | 高风险    | 高风险            |
| >66~93                                          | 中等风险                                             | 中等风险   | 高风险       | 高风险    | 高风险            |
| >93                                             | 中等风险                                             | 高风险    | 高风险       | 高风险    | 高风险            |
| 注：表列氯离子浓度、pH 和温度为整个服役期间(包括水压、使用、维修等过程)可能存在的最高值。 |                                                  |        |           |        |                |

b) 下列情况将提高表 D.3 的 CLSCC 风险等级：

- 1) 材料敏化；
- 2) 表面质量差(钝化膜完整性、酸洗钝化、污染、氧化色、机械损伤等)；
- 3) 铁离子污染；
- 4) 材料纯净度差；
- 5) 冷加工变形或易切削级不锈钢；
- 6) 已存在点蚀或锈斑；
- 7) 存在缝隙、未焊透之类结构缺陷；
- 8) 频繁开停车或温度波动。

D.6.4.3 控制氯化物应力腐蚀开裂的对策如下：

- a) 规避 D.6.4.2 所述的不利因素，降低 CLSCC 风险等级；
- b) 表面涂(喷)非金属涂层或热喷铝，采用包裹铝箔应对外壁绝热层下腐蚀(CUD)；
- c) 采用点蚀指数(PRE)更高的材料或图 D.5 所示对 CLSCC 免疫的材料；
- d) 加注缓蚀剂或采用阴极保护；
- e) 在未彻底清除氯化物应力腐蚀开裂区域前，不能采取焊补措施。

D.6.5 连多硫酸应力腐蚀开裂(Polythionic Acid Stress Cracking, PTASCC)

D.6.5.1 连多硫酸应力腐蚀开裂是一种通常发生在停工、开工和有水及湿气存在的操作过程中的应力腐蚀开裂。开裂是由于材料在含有硫化物的高温腐蚀环境中使用后，在停工、维修期间由于气体的冷凝以及空气、氧和湿气侵入，与金属的硫化腐蚀层形成连多硫酸，然后当设备再次运行后很快就引起的开裂。

D.6.5.2 300 系列的奥氏体不锈钢、INCONEL 600 和 INCOLOY 800 系列的镍铬铁合金都会发生连多硫酸应力腐蚀破裂。裂纹集中在焊缝区域，呈类似晶间腐蚀状的沿晶开裂(区别于上述 CLSCC 大多为穿晶树枝状开裂)。

由于设备工作温度与不锈钢的敏化温度重合，因此常规的超低碳或稳定化不锈钢不能防止在敏化温度长时间停留后的碳化铬析出和贫铬现象。此外，奥氏体不锈钢一般不作 PWHT，而且现场管道要进行固溶处理十分困难，所以焊缝区域就成为 PTASCC 的高风险区。

D.6.5.3 防止连多硫酸应力腐蚀开裂的对策如下。

- a) 材料和制造：
  - 1) 采用稳定型不锈钢并在固溶热处理后进行稳定化处理，以减少在敏化温度长时间停留后的碳化铬析出；
  - 2) 采用改良型 347H；

- 3) PWHT,保温温度为稳定化温度,空冷。
- b) 停车保护:
  - 1) 充氮保护(干燥、无氧或加  $5 \times 10^{-3}$  氨);
  - 2) 碱洗(采用  $1\% \sim 5\%$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液);
  - 3) 充干燥空气(空气的露点温度低于金属内壁温度至少  $22\text{ }^\circ\text{C}$ )。

## D.6.6 焊接裂纹

### D.6.6.1 焊接热裂纹具有如下特征:

- a) 奥氏体不锈钢和镍基合金的焊接裂纹与碳钢、合金钢的焊接冷裂纹(延迟裂纹或 D.5.10 的氢致裂纹)不同,它是焊缝凝固结晶的后期,即固液共存温度下产生的裂纹,故称为焊接热裂纹,又称为凝固裂纹;
- b) 焊接热裂纹的表现形式有两种:一种是位于焊缝中央纵向裂纹或收弧弧坑中的放射性裂纹;另一种是位于熔合线及临近的母材部位(包括多层焊时,上层焊道与底层焊道的熔合区)的晶间开裂,又称液化裂纹;
- c) 奥氏体不锈钢和镍基合金,与焊接关系密切的、工程中常见的还有应力松弛裂纹(D.6.7)和液体金属侵蚀(D.6.8)导致的裂纹。

### D.6.6.2 焊接热裂纹机理如下。

- a) 单相的奥氏体熔池在结晶后期,奥氏体柱状晶、树枝状晶之间富集着低熔点的液态共晶物或化合物在冷却收缩变形时形成的拉应力作用下导致的晶间开裂。奥氏体钢发生凝固裂纹倾向的原因如下:
  - 1) 奥氏体钢导热系数小、线胀系数大、焊接变形和应力大;
  - 2) Nb、Si、S、P 在首先凝固的  $\gamma$  奥氏体相中溶解度小,而偏析在柱状晶、树枝状晶之间富集形成低熔点的液态共晶物或化合物。而 Mn、Mo、W、V、Ti 则有利于防止凝固裂纹。
- b) 液化裂纹多为过高焊接热量导致熔合线区域中金属重新液化(尤其是低熔点夹杂较多部位的偏析),后又快速冷却产生应力而造成的开裂。

### D.6.6.3 控制焊接热裂纹的对策如下。

- a) 当前工程上最有效的措施是:在单相的奥氏体焊接材料中人为地提高铁素体形成元素含量,即铬当量,调整铬镍比,使焊缝金属含有一定量的  $\delta$  铁素体,改变熔池的凝固过程,以消除或降低焊接热裂纹风险;通常 304、316、321 不锈钢的 FN 不低于 3;而 347 不锈钢的 FN 不低于 5。特殊工况需要控制 FN 更低时,可采用 16-8-2 型低铁素体焊材。
- b) 焊接工艺的调整改善措施如下:
  - 1) 避免过高焊接输入热量,多层焊时让底层焊缝充分冷却后再焊下一道;
  - 2) 控制焊道熔深与宽度之比,避免形成既深又窄的熔池(易热裂);
  - 3) 弧坑要填满、焊缝要饱满或凸起,不要形成凹形焊道;
  - 4) 采用碱性焊条,其抗裂性优于酸性焊条。
- c) 降低母材和焊接材料中 S、P 等杂质含量,提高纯净度。

## D.6.7 应力松弛裂纹(Stress Relaxation Cracking, SRC)

D.6.7.1 应力松弛裂纹又称为再热裂纹,是含有稳定化元素(如 Nb、Ti)的奥氏体不锈钢和镍基合金,焊后在高温( $550\text{ }^\circ\text{C} \sim 750\text{ }^\circ\text{C}$ )使用或焊后在该温度区间停留后(如热处理或热加工的升温过程),在焊缝残余应力峰值区域发生开裂的现象。应力松弛裂纹大多位于焊接热影响区的粗晶区,呈晶间开裂状,裂纹有少量也可能位于焊缝金属以及母材的冷变形区。

D.6.7.2 产生 SRC 的机理常归为下列三个因素共同作用的结果:

- a) 稳定化元素(如 Nb、Ti)的碳化物在焊接热影响作用下,在晶界的大量析出导致该部位的蠕变塑性大大降低(可检  $HV_{10} \geq 200$ ;蠕变塑性 $<2\%$ ,甚至 $<0.1\%$ );
- b) 焊接的原因,尤其是在厚壁(12 mm~25 mm 以上)、角接(如支管座)焊缝的应力集中区和缺陷区的过高残余应力;
- c) 在高温(550 °C~750 °C)区间,残余应力松弛的过程中,由于该部位的蠕变造成塑性过低而导致开裂。

#### D.6.7.3 应力松弛裂纹的敏感程度如下:

- a) 奥氏体不锈钢的开裂敏感度:347H 最高、321H 中等、304H 较低、316H 免疫;镍基合金的开裂敏感度:617、601 高于 800HT、625;
- b) 粗晶粒敏感度高于细晶粒;固溶后的稳定化热处理可降低应力松弛裂纹的敏感度。

#### D.6.7.4 控制应力松弛裂纹的对策如下:

- a) 除非必要,少用 347H,改用 316H;617 焊材降级为 NiCrFe-3;亦有认为,对 347H:降低含碳量 $\leq 0.020\%$ ;提高铌碳质量比 $\geq 15$ ;氮含量  $0.05\% \sim 0.10\%$ 可改善 347H 的抗 SRC 能力,免除 PWHT;
- b) 晶粒度细于或等于 3.5 级;进行固溶+稳定化处理;
- c) 降低焊接线能量( $\leq 2.15$  kJ/mm)、窄焊道( $\leq 15$  mm)、控制层间温度 $\leq 135$  °C;改善焊缝表面质量及应力集中(焊缝粗糙、咬边、未焊透、未熔合);控制支管座焊缝尺寸及成型;如采用焊补,采用 16-8-2 的 316 型焊材;
- d) 焊后 PWHT 是消除焊接残余应力的有效措施,免除了其后使用过程中发生 SRC 的隐患;但 PWHT 的过程,尤其是高于 460 °C 的升温过程,又是产生 SRC 的高风险区,需快速通过该区域。PWHT 温度一般选择稳定化温度,PWHT 后空冷即可;
- e) PWHT 后对焊接区域全面进行 PT 检测,清除可能产生的 SRC 缺陷。

### D.6.8 液体金属侵蚀(Liquid Metal Embrittlement, LME)

#### D.6.8.1 液体金属侵蚀是金属材料与熔点较低的液体金属接触时引起的晶间脆裂现象。

#### D.6.8.2 常见的 LME 现象有下列两种。

- a) 不锈钢的热加工或焊接热影响区表面,由于低熔点金属粉末的污染,其残留的粉末在热加工或焊接热量下熔化而对不锈钢的晶间侵入所致。典型的低熔点金属有锌、铜、铅、锡、汞,其来源于加工环境、机具、切割砂轮、回丝、钎焊料、表面擦痕或标记颜料、墨水等;少量的残留粉末,焊后 PT 检测热影响区就可检出微裂纹。破裂断口的光谱分析可见低熔点金属痕迹。表面浅层的 LME,打磨清除即可。
- b) 铜含量较高的不锈钢,如 316Cu、904L 的大截面锻件的锻造过程中,高温加热致使表面氧化后富集的铜在高温熔化后渗入晶界而产生裂纹,又称为“铜脆”。

### D.6.9 $\sigma$ 相脆化

D.6.9.1  $\sigma$  相脆化是 Cr 含量超过 17%的不锈钢,尤其如铬镍奥氏体不锈钢和双相不锈钢在 540 °C~900 °C 温度下停留或使用一段时间,形成一种硬而脆的铁-铬金属间化合物而引起的脆化。 $\sigma$  相脆化(其数量及其形态)取决于不锈钢中  $\delta$  铁素体相的比例及其铁素体形成元素 Cr 当量(即 Cr、Si、Mo、Al、W、V、Ti、Nb)的高低。反之,奥氏体形成元素 Ni 当量(即 C、Ni、N、Mn)可阻滞  $\sigma$  相脆化。

D.6.9.2  $\sigma$  相脆化将导致材料韧性的下降(冲击吸收能量及断口收缩率)。随着  $\sigma$  相数量的增加将大大提高不锈钢的脆性转变温度,1%~2%的  $\sigma$  相不锈钢的脆性转变温度尚在 -46 °C 以下,而 5%~8%的  $\sigma$  相不锈钢的脆性转变温度在 0 °C 左右,对压力设备的开停车及压力试验就可能存在风险;如  $\sigma$  相达到 10%或以上,脆性转变温度将提高至数百摄氏度,而且显著降低蠕变塑性,降低了压力组件抗热冲击和

温度-载荷波动的能力,管道组成件在高温下的脆性断裂风险大大增加。

**D.6.9.3 奥氏体不锈钢过量的冷变形及其焊缝中的  $\delta$  铁素体将促使  $\sigma$  相脆化。**重新进行 1 065 ℃ 以上保温较长时间后快冷可溶解  $\sigma$  相,从而消除  $\sigma$  相脆化。因此,控制焊缝中的  $\delta$  铁素体数  $FN \leq 8$ ,过量的冷变形后重新固溶处理就成为控制奥氏体不锈钢  $\sigma$  相脆化的主要工程措施。

**D.7 铜合金的氨裂和脱锌(脱合金)**

**D.7.1 铜合金的氨裂**

黄铜与氨接触会发生严重的应力腐蚀开裂,俗称“氨裂”。铜合金的氨裂有下列特征。

- a) 锌含量大于 15% 的海军黄铜和铝黄铜为氨裂敏感材料。降低锌含量可降低氨裂敏感性但不足以免疫,而铜-镍合金和镍-铜合金对氨裂是免疫的。
- b) pH 大于 8.5 的液氨、氨水、含氨的溶液如胺液,在各种温度下都可能产生氨裂;即使在气相时,空气中氧的污染也将促进氨裂。避免敏感材料在上述环境接触是规避风险的主要途径。
- c) 拉伸应力可加速氨裂,材料的残余应力足以导致氨裂。

**D.7.2 铜合金的脱锌(脱合金)**

铜合金的脱锌有如下特征:

- a) 表 D.4 所列的铜合金和环境组合易发生脱合金现象,所谓脱合金就是铜合金中某一合金元素在特定的介质中发生的选择性腐蚀现象,合金中某一合金元素(或组织)优先快速被腐蚀,而残留的合金呈多孔状而失效,其中以黄铜的脱锌最为多见,故又称为“脱锌”;
- b) 铜合金增加某种合金元素可以提高耐脱合金的性能,锡可以提高铜合金的耐脱合金性能;加入非常少量的磷、锑、砷可以提高海军黄铜的耐蚀性能;铝青铜的脱铝可以通过热处理产生  $\alpha$  和  $\beta$  微观组织来防护。

**表 D.4 发生脱合金的铜合金和环境组合**

| 铜合金                  | 环境             | 被脱除的合金元素 |
|----------------------|----------------|----------|
| 黄铜(>15% Zn)          | 水,尤其是静止的凝结水    | 锌(脱锌)    |
| 铝青铜(通常 Al 质量分数大于 8%) | HF 酸,含氯化物的酸,海水 | 铝(脱铝)    |
| 硅青铜                  | 高温蒸汽和酸性物质      | 硅(脱硅)    |
| 锡青铜                  | 热盐或蒸汽          | 锡(脱锡)    |
| 铜镍合金(70-30)          | 高热通量和低流速的水     | 镍(脱镍)    |
| Monel                | HF 或其他酸        | 镍(脱镍)    |

**D.8 微生物腐蚀(Microbiologically Induced Corrosion, MIC)**

**D.8.1 微生物腐蚀的机理**

微生物腐蚀是由微生物代谢作用而导致在大多数金属材料(包括碳钢、不锈钢、镍基合金)表面产生的类似于点蚀的杯状腐蚀现象。各种未经消毒的水,如给水、冷却水、消防水、海水都含有大量的细菌、藻类和真菌,在滞留及流速缓慢的情况下,借助各种无机物(硫、氨、硫化氢等)、有机物(碳氢化合物和有机酸),包括泄漏的介质、结垢或腐蚀产物的营养而大量繁殖代谢,在其附着的金属表面下产生严重的孔蚀。

### D.8.2 微生物腐蚀的防护措施

结合具体情况选择如下防护措施：

- a) 采用加氯、溴、臭氧、紫外线等消毒措施，杀灭微生物；
- b) 清除滞留的积水、提高流速、消除滞流死角；
- c) 采用表面涂层、包裹或阴极保护，如埋地管道及储罐底板的防腐；
- d) 采用定期冲刷、化学清洗、消毒等方法清除表面附着的各种污垢、结垢等，也可减轻 MIC，延长使用寿命。

## D.9 绝热层下腐蚀(Corrosion Under Insulation, CUI)

### D.9.1 绝热层下腐蚀的机理

绝热层下腐蚀(CUI)是压力容器或管道在绝热层下,由于水或蒸气的渗入、结露以及在外表某些局部区域集聚、蒸发及浓缩而造成的局部电化学腐蚀。碳钢、合金钢以及奥氏体不锈钢、双相不锈钢都会发生 CUI,但两者的腐蚀机理及其形态不同。前者是相当于充气水(饱和氧)对钢的氧化腐蚀,生成氧化铁的锈蚀层,而后者大多与氯离子的浓缩而引起的点蚀和应力腐蚀开裂有关。

### D.9.2 影响因素

影响 CUI 的主要因素有两个:首先是水渗入绝热层及在管道外表面某些部位的集聚。对于不锈钢的点蚀和氯化物应力腐蚀开裂(CLSCC)还包含着氯离子的溶入。水的来源有多种:雨水、结露、蒸汽冷凝、跑冒滴漏、绝热层的吸潮都有可能成为腐蚀介质的来源;而特定部位如绝热层外壳的易渗水或破损处、设备外表面的积液处、热蒸汽排放或疏水点、冷却塔或局部酸雨区域都是 CUI 的敏感区。统计表明,温暖、湿润的东南沿海区域发生 CUI 的概率要大于寒冷、干燥的内陆区域。

### D.9.3 温度

影响绝热层下腐蚀的温度参数并非一定是正常工作温度或设计温度,还可能是实际影响腐蚀速率的金属温度及其温度波动或温差。因为,温度波动、温差或开停车将促使金属外表的冷凝、蒸发、干湿交替,从而提高腐蚀速率。常用金属材料的绝热层下腐蚀呈现如下规律:

- a) 碳钢、合金钢发生 CUI 的温度范围为  $-12\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 175\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,为氧化性腐蚀,腐蚀速率随温度提高而加速;由于低温部位通常不需设置绝热层,而高温部位大多因渗入的水快速蒸发而干燥,丧失了电化学腐蚀环境,因此,碳钢、合金钢发生 CUI 的温度敏感区为  $75\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- b) 奥氏体不锈钢、双相不锈钢发生 CUI 的温度范围为  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 205\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,同样腐蚀速率随温度提高而加速,因为温度升高促使水的蒸发和氯离子浓缩,并使腐蚀形态由点蚀转变为腐蚀速率更快的 SCC 应力腐蚀开裂,高温部位也因渗入的水快速蒸发,从而丧失了电化学腐蚀环境,因此,奥氏体不锈钢发生 CUI 的温度敏感区为  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 175\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;双相不锈钢相对 300 系列的奥氏体不锈钢有较高的 PRE 点蚀指数和双相抗 SCC 应力腐蚀开裂组织,所以,发生 CUI 的概率相对要低一些,但在严酷环境下也不能免疫。

### D.9.4 对策

解决 CUI 的对策如下:

- a) 消除上述 D.9.2 所列入水的来源及结构泄漏破损部位;
- b) 选择更换吸潮率低、氯离子含量低或有抑制腐蚀功能的绝热层材料;
- c) 采用表面涂料、热喷铝或采用铝箔包裹等保护措施。

附 录 E  
(资料性)

国内与国外近似材料标准及牌号对照表

本附录列举了国内常用的材料标准及牌号,与国外近似材料标准及牌号的对照表见表 E.1。

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表

| 国内标准             | 国内材料牌号       | 国外标准      | 国外材料牌号                      |
|------------------|--------------|-----------|-----------------------------|
| 铸铁               |              |           |                             |
| GB/T 9439        | HT200        | ASTM A48  | 200                         |
| GB/T 9439        | HT250        | ASTM A48  | 250                         |
| GB/T 9439        | HT300        | ASTM A48  | 300                         |
| GB/T 9439        | HT350        | ASTM A48  | 350                         |
| GB/T 1348        | QT400-18     | ASTM A395 | 60-40-18                    |
| GB/T 1348        | QT400-18L    | ASTM A395 | 60-40-18                    |
| GB/T 9440        | KTH300-06    | ASTM A47  | 22010                       |
| GB/T 9440        | KTH350-10    | ASTM A47  | 22010                       |
| 碳钢(包括碳锰钢)、管线钢无缝管 |              |           |                             |
| GB/T 3087        | 10           | ASTM A53  | Type S,Grade A <sup>a</sup> |
| GB/T 6479        | 10           | ASTM A53  | Type S,Grade A <sup>a</sup> |
| GB/T 8163        | 10           | ASTM A106 | Type S,Grade A              |
| GB/T 9948        | 10           | ASTM A106 | Type S,Grade A              |
| GB/T 3087        | 20           | ASTM A53  | Type S,Grade B <sup>a</sup> |
| GB/T 5310        | 20G          | ASTM A106 | Grade B                     |
| GB/T 6479        | 20           | ASTM A106 | Grade B <sup>a</sup>        |
| GB/T 8163        | 20           | ASTM A53  | Type S,Grade B              |
| GB/T 9948        | 20           | ASTM A106 | Grade B                     |
| YB/T 4173        | 20G          | ASTM A369 | Grade FPB                   |
| GB/T 5310        | 20MnG        | ASTM A106 | Grade B                     |
| YB/T 4173        | 20MnG        | ASTM A369 | Grade FPB                   |
| GB/T 9711        | L245/B(PSL1) | API 5L    | Grade B(PSL1)-SMLS          |
| GB/T 9711        | L245/B(PSL2) | API 5L    | Grade B(PSL2)-SMLS          |
| GB/T 8163        | Q345A        | ASTM A106 | Grade C                     |
| GB/T 5310        | 25MnG        | ASTM A106 | Grade C                     |
| YB/T 4173        | 25MnG        | ASTM A369 | FPC(A106 Grade C)           |
| GB/T 6479        | Q345B        | ASTM A106 | Grade C <sup>b</sup>        |
| GB/T 6479        | Q345D        | ASTM A106 | Grade C <sup>b</sup>        |

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表 (续)

| 国内标准                      | 国内材料牌号                      | 国外标准      | 国外材料牌号                      |
|---------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|
| GB/T 9711                 | L290/X42~L555/X80<br>(PSL2) | API 5L    | X42~X80(PSL2)               |
| 碳钢(包括碳锰钢)、管线钢焊管(ERW)      |                             |           |                             |
| GB/T 3091                 | Q215A                       | ASTM A53  | TypeE, Grade A              |
| GB/T 3091                 | Q215B                       | ASTM A53  | TypeE, Grade A              |
| GB/T 9711                 | L210/A(PSL1)                | API 5L    | Grade A(PSL1)-ERW           |
| GB/T 3091                 | Q235A                       | ASTM A53  | TypeE, Grade B <sup>a</sup> |
| GB/T 3091                 | Q235B                       | ASTM A53  | TypeE, Grade B <sup>a</sup> |
| GB/T 9711                 | L245/B(PSL1)                | API 5L    | Grade B(PSL1)-ERW           |
| GB/T 9711                 | L290/X42~L450/X65<br>(PSL2) | API 5L    | X42~X65(PSL2)-ERW           |
| 碳钢(包括碳锰钢)、管线钢板焊管(EFW/SAW) |                             |           |                             |
| GB/T 3091<br>SY/T 5037    | Q215A                       | ASTM A134 | A283, Grade C <sup>a</sup>  |
| GB/T 3091<br>SY/T 5037    | Q215B                       | ASTM A134 | A283, Grade C <sup>a</sup>  |
| GB/T 3091<br>SY/T 5037    | Q235A                       | ASTM A134 | A283, Grade D <sup>a</sup>  |
| GB/T 3091<br>SY/T 5037    | Q235B                       | ASTM A134 | A283, Grade D <sup>a</sup>  |
| GB/T 9711                 | L245/B(PSL1)                | API 5L    | Grade, B(PSL1)-<br>EFW/SAW  |
| GB/T 9711                 | L245/B(PSL2)                | API 5L    | Grade, B(PSL2)-<br>EFW/SAW  |
| GB/T 32970                | Q245                        | ASTM A672 | C60, Cl22 <sup>a</sup>      |
| GB/T 32970                | Q345                        | ASTM A672 | C70, Cl22 <sup>b</sup>      |
| GB/T 9711                 | L290/X42~L555/X80<br>(PSL2) | API 5L    | X42~X80(PSL2)-<br>EFW/SAW   |
| —                         | —                           | ASTM A671 | CC60, Cl22                  |
| —                         | —                           | ASTM A671 | CC70, Cl22                  |
| 碳钢(包括碳锰钢)、管线钢管件(包括对焊、锻制)  |                             |           |                             |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383  | CF370                       | ASTM A234 | (WPA) <sup>b</sup>          |
| GB/T 13401                | CF415                       | ASTM A234 | WPB                         |
| GB/T 14383                | CF415                       | ASTM A105 | A105 <sup>a</sup>           |



表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表 (续)

| 国内标准                     | 国内材料牌号              | 国外标准                     | 国外材料牌号                   |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | CF415K              | ASTM A234<br>ASTM A105   | WPB<br>A105 <sup>a</sup> |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | CF485               | ASTM A234<br>ASTM A105   | WPC<br>A105              |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | CF485K              | ASTM A234<br>ASTM A105   | WPC<br>A105              |
| GB/T 29168.2             | L290/X42~L450/X80   | MSS SP75<br>ISO 15590-2  | WPHY42~WPHY80            |
| 碳钢(包括碳锰钢)、管线钢锻件          |                     |                          |                          |
| GB/T 12228               | 25                  | ASTM A181                | 70 <sup>b</sup>          |
| GB/T 12228               | A105                | ASTM A105                | A105                     |
| GB/T 29168.3             | F290(F42)~F555(F80) | ASTM A694<br>ISO 15590-3 | F42~F80                  |
| 碳钢(包括碳锰钢)铸件              |                     |                          |                          |
| GB/T 12229               | WCA                 | ASTM A216                | WCA                      |
| GB/T 12229               | WCB                 | ASTM A216                | WCB                      |
| GB/T 12229               | WCC                 | ASTM A216                | WCC                      |
| 低温碳钢及低温镍钢无缝管             |                     |                          |                          |
| GB/T 6479                | Q345E               | ASTM A333                | Grade6 <sup>b</sup>      |
| GB/T 18984               | 10MnDG              | ASTM A333                | Grade6 <sup>b</sup>      |
| GB/T 18984               | 16MnDG              | ASTM A333                | Grade6 <sup>b</sup>      |
| GB/T 18984               | 06Ni3MoDG           | ASTM A333                | Grade3                   |
| GB/T 18984               | 06Ni9DG             | ASTM A333                | Grade8                   |
| 低温碳钢及低温镍钢管件(包括对焊、锻制)     |                     |                          |                          |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | LF415K1             | ASTM A420<br>ASTM A350   | WPL6                     |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | LF415K2             | ASTM A420<br>ASTM A350   | WPL6                     |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | LF485K2             | ASTM A420<br>ASTM A350   | WPL6 <sup>b</sup>        |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | LF450K3             | ASTM A420<br>ASTM A350   | WPL3                     |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | LF680K4             | ASTM A420<br>ASTM A350   | WPL8                     |
| 低温碳钢及低温镍钢铸件              |                     |                          |                          |
| JB/T 7248                | LCB                 | ASTM A352                | LCB                      |
| JB/T 7248                | LCC                 | ASTM A352                | LCC                      |

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表 (续)

| 国内标准                     | 国内材料牌号       | 国外标准                   | 国外材料牌号                          |
|--------------------------|--------------|------------------------|---------------------------------|
| JB/T 7248                | LC3          | ASTM A352              | LC3                             |
| JB/T 7248                | LC9          | ASTM A352              | LC9                             |
| 合金钢无缝管                   |              |                        |                                 |
| GB/T 5310                | 15CrMoG      | ASTM A335              | P12 <sup>d</sup>                |
| GB/T 6479                | 15CrMo       | ASTM A335              | P12 <sup>d</sup>                |
| GB/T 9948                | 15CrMo       | ASTM A335              | P12 <sup>d</sup>                |
| YB/T 4173                | 15CrMoG      | ASTM A369              | FP12 <sup>d</sup>               |
| GB/T 9948                | 12Cr1Mo      | ASTM A335              | P11                             |
| GB/T 5310                | 12Cr2MoG     | ASTM A335              | P22 <sup>d</sup>                |
| GB/T 6479                | 12Cr2Mo      | ASTM A335              | P22 <sup>d</sup>                |
| GB/T 9948                | 12Cr2Mo      | ASTM A335              | P22 <sup>d</sup>                |
| YB/T 4173                | 12Cr2MoG     | ASTM A369              | FP22 <sup>d</sup>               |
| GB/T 5310                | 12Cr1MoVG    | —                      | —                               |
| GB/T 9948                | 12Cr1MoV     | —                      | —                               |
| YB/T 4173                | 12Cr1MoVG    | —                      | —                               |
| GB/T 6479                | 10MoWVNb     | —                      | —                               |
| GB/T 9948                | 12Cr5Mo I    | ASTM A335              | P5                              |
| GB/T 9948                | 12Cr5MoNT    | ASTM A335              | P5 <sup>d</sup>                 |
| GB/T 9948                | 12Cr9Mo I    | ASTM A335              | P9                              |
| GB/T 9948                | 12Cr9MoNT    | ASTM A335              | P9 <sup>d</sup>                 |
| GB/T 5310                | 10Cr9Mo1VNbN | ASTM A335              | P91                             |
| YB/T 4173                | 10Cr9Mo1VNbN | ASTM A369              | FP91                            |
| 合金钢板焊管(EFW/SAW)          |              |                        |                                 |
| GB/T 32970               | 15CrMo       | ASTM A691              | 1Cr, A387 Gr.12-2, Cl22         |
| GB/T 32970               | 14Cr1Mo      | ASTM A691              | 1-1/4Cr, A387 Gr.<br>11-2, Cl22 |
| GB/T 32970               | 12Cr1MoV     | —                      | —                               |
| GB/T 32970               | 12Cr2Mo1     | ASTM A691              | 2-1/4Cr, A387 Gr.<br>22-2, Cl22 |
| GB/T 32970               | 12Cr5Mo      | ASTM A691              | 5Cr, A387 Gr.<br>5-2, Cl22      |
| 合金钢管件(包括对焊、锻制)           |              |                        |                                 |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | AF12         | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP12-1                          |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383 | AF12G        | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP12-2                          |

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表（续）

| 国内标准                                 | 国内材料牌号         | 国外标准                   | 国外材料牌号              |
|--------------------------------------|----------------|------------------------|---------------------|
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF11           | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP11-1              |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF11G          | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP11-2              |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF14           | —                      | —                   |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF22           | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP22-2 <sup>d</sup> |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF22G          | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP22-3              |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF5            | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP5                 |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF5G           | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP5 <sup>d</sup>    |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF9            | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP9 Cl.1            |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF9G           | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP9 Cl.3            |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383             | AF91           | ASTM A234<br>ASTM A350 | WP91                |
| 合金钢铸件                                |                |                        |                     |
| NB/T 11268                           | ZG14Cr1Mo      | ASTM A217              | WC6                 |
| NB/T 11268                           | ZG12Cr2Mo      | ASTM A217              | WC9                 |
| NB/T 11268                           | ZG10Cr9Mo1VNbN | ASTM A217              | C12 <sup>e</sup>    |
| GB/T 16253                           | ZG16Cr5MoG     | ASTM A217              | C5                  |
| 不锈钢无缝管                               |                |                        |                     |
| GB/T 14976                           | 022Cr19Ni10    | ASTM A312              | TP304L              |
| GB/T 14976                           | 06Cr19Ni10     | ASTM A312              | TP304               |
| GB/T 5310<br>GB/T 9948<br>GB/T 14976 | 07Cr19Ni10     | ASTM A312              | TP304H              |
| GB/T 9948<br>GB/T 14976              | 022Cr17Ni12Mo2 | ASTM A312              | TP316L              |
| GB/T 14976                           | 06Cr17Ni12Mo2  | ASTM A312              | TP316               |
| GB/T 14976                           | 07Cr17Ni12Mo2  | ASTM A312              | TP316H              |
| GB/T 14976                           | 06Cr18Ni11Ti   | ASTM A312              | TP321               |
| GB/T 5310<br>GB/T 9948<br>GB/T 14976 | 07Cr19Ni11Ti   | ASTM A312              | TP321H              |

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表 (续)

| 国内标准                                 | 国内材料牌号         | 国外标准      | 国外材料牌号   |
|--------------------------------------|----------------|-----------|----------|
| GB/T 14976                           | 06Cr18Ni11Nb   | ASTM A312 | TP347    |
| GB/T 5310<br>GB/T 9948<br>GB/T 14976 | 07Cr18Ni11Nb   | ASTM A312 | TP347H   |
| GB/T 5310                            | 08Cr18Ni11NbFG | ASTM A213 | 347HFG   |
| GB/T 14976                           | 06Cr23Ni13     | ASTM A312 | TP309    |
| GB/T 14976                           | 06Cr25Ni20     | ASTM A312 | TP310    |
| GB/T 21833.2                         | 022Cr22Ni5Mo3N | ASTM A790 | 31803    |
| GB/T 21833.2                         | 022Cr23Ni5Mo3N | ASTM A790 | 32205    |
| GB/T 21833.2                         | 022Cr25Ni7Mo4N | ASTM A790 | 32750    |
| 不锈钢焊管(EFW,无填充金属)                     |                |           |          |
| GB/T 12771<br>HG/T 20537.3           | 022Cr19Ni11    | ASTM A312 | TP304L-W |
| GB/T 12771<br>HG/T 20537.3           | 06Cr19Ni10     | ASTM A312 | TP304-W  |
| GB/T 12771<br>HG/T 20537.3           | 022Cr17Ni12Mo2 | ASTM A312 | TP316L-W |
| GB/T 12771<br>HG/T 20537.3           | 06Cr17Ni12Mo2  | ASTM A312 | TP316-W  |
| GB/T 12771<br>HG/T 20537.3           | 06Cr18Ni11Ti   | ASTM A312 | TP321-W  |
| GB/T 12771                           | 06Cr18Ni11Nb   | ASTM A312 | TP347-W  |
| GB/T 12771                           | 06Cr23Ni13     | ASTM A312 | TP309-W  |
| GB/T 12771                           | 06Cr25Ni20     | ASTM A312 | TP310-W  |
| GB/T 21832.2                         | 022Cr22Ni5Mo3N | ASTM A790 | 31803-W  |
| GB/T 21832.2                         | 022Cr23Ni5Mo3N | ASTM A790 | 32205-W  |
| GB/T 21832.2                         | 022Cr25Ni7Mo4N | ASTM A790 | 32750-W  |
| 不锈钢板焊管(EFW)                          |                |           |          |
| GB/T 32964<br>HG/T 20537.4           | 022Cr19Ni11    | ASTM A358 | 304L     |
| GB/T 32964<br>HG/T 20537.4           | 06Cr19Ni10     | ASTM A358 | 304      |
| GB/T 32964<br>HG/T 20537.4           | 022Cr17Ni12Mo2 | ASTM A358 | 316L     |
| GB/T 32964<br>HG/T 20537.4           | 06Cr17Ni12Mo2  | ASTM A358 | 316      |

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表（续）

| 国内标准                       | 国内材料牌号       | 国外标准      | 国外材料牌号  |
|----------------------------|--------------|-----------|---------|
| GB/T 32964<br>HG/T 20537.4 | 06Cr18Ni11Ti | ASTM A358 | 321     |
| GB/T 32964                 | 06Cr18Ni11Nb | ASTM A358 | 347     |
| 不锈钢管件(包括对焊、锻制)             |              |           |         |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF304L       | ASTM A403 | WP304L  |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF304        | ASTM A403 | WP304   |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF304H       | ASTM A403 | WP304H  |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF316L       | ASTM A403 | WP316L  |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF316        | ASTM A403 | WP316   |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF316H       | ASTM A403 | WP316H  |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF321        | ASTM A403 | WP321   |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF321H       | ASTM A403 | WP321H  |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF347        | ASTM A403 | WP347   |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF347H       | ASTM A403 | WP347H  |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF310        | ASTM A403 | WP310   |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF2225       | ASTM A815 | WP31803 |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF2205       | ASTM A815 | WP32205 |
| GB/T 13401<br>GB/T 14383   | SF2507       | ASTM A815 | WP32750 |
| 不锈钢铸件                      |              |           |         |
| GB/T 12230                 | CF3          | ASTM A351 | CF3     |
| GB/T 12230                 | CF8          | ASTM A351 | CF8     |
| GB/T 12230                 | CF3M         | ASTM A351 | CF3M    |
| GB/T 12230                 | CF8M         | ASTM A351 | CF8M    |
| GB/T 12230                 | CF8C         | ASTM A351 | CF8C    |

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表 (续)

| 国内标准       | 国内材料牌号 | 国外标准      | 国外材料牌号          |
|------------|--------|-----------|-----------------|
| 镍及镍合金管     |        |           |                 |
| NB/T 47047 | N5     | ASTM B161 | UNS N02201      |
| NB/T 47047 | N7     | ASTM B161 | UNS N02200      |
| NB/T 47047 | NCu30  | ASTM B165 | UNS N04400      |
| NB/T 47047 | NS1102 | ASTM B407 | UNS N08810      |
| NB/T 47047 | NS1104 | ASTM B407 | UNS N08811      |
| NB/T 47047 | NS1101 | ASTM B407 | UNS N08800      |
| NB/T 47047 | NS3102 | ASTM B167 | UNS N06600      |
| NB/T 47047 | NS1402 | ASTM B705 | UNS N08825      |
| NB/T 47047 | NS3304 | ASTM B622 | UNS N10276      |
| NB/T 47047 | NS3306 | ASTM B444 | UNS N06625      |
| 镍及镍合金管件    |        |           |                 |
| —          | —      | ASTM B366 | WPNL(N02201)    |
| —          | —      | ASTM B366 | WPN(N02200)     |
| —          | —      | ASTM B366 | NCu30(N04400)   |
| —          | —      | ASTM B366 | WPNIC10(N08810) |
| —          | —      | ASTM B366 | WPNIC11(N08811) |
| —          | —      | ASTM B366 | WPNIC(N08800)   |
| —          | —      | ASTM B366 | WPNIC(N06600)   |
| —          | —      | ASTM B366 | WPNICMC(N08825) |
| —          | —      | ASTM B366 | WPHC276(N10276) |
| —          | —      | ASTM B366 | WPNICMC(N06625) |
| 镍及镍合金锻件    |        |           |                 |
| NB/T 47028 | N5     | ASTM B564 | UNS N02201      |
| NB/T 47028 | N7     | ASTM B564 | UNS N02200      |
| NB/T 47028 | NCu30  | ASTM B564 | UNS N04400      |
| NB/T 47028 | NS1102 | ASTM B564 | UNS N08810      |
| NB/T 47028 | NS1104 | ASTM B564 | UNS N08811      |
| NB/T 47028 | NS1101 | ASTM B564 | UNS N08800      |
| NB/T 47028 | NS3102 | ASTM B564 | UNS N06600      |
| NB/T 47028 | NS1402 | ASTM B564 | UNS N08825      |
| NB/T 47028 | NS3304 | ASTM B564 | UNS N10276      |
| NB/T 47028 | NS3306 | ASTM B564 | UNS N06625      |

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表（续）

| 国内标准                 | 国内材料牌号 | 国外标准      | 国外材料牌号 |
|----------------------|--------|-----------|--------|
| 钛及钛合金管(无缝管及挤压管)      |        |           |        |
| GB/T 3624            | TA1G   | ASTM B861 | 1      |
| GB/T 26058           | TA1    | ASTM B861 | 1      |
| GB/T 3624            | TA2G   | ASTM B861 | 2      |
| GB/T 26058           | TA2    | ASTM B861 | 2      |
| GB/T 3624            | TA3G   | ASTM B861 | 3      |
| GB/T 26058           | TA3    | ASTM B861 | 3      |
| GB/T 3624            | TA9    | ASTM B861 | 7      |
| GB/T 3624            | TA9-1  | ASTM B861 | 7      |
| GB/T 26058           | TA9    | ASTM B861 | 7      |
| GB/T 3624            | TA10   | ASTM B861 | 12     |
| GB/T 26058           | TA10   | ASTM B861 | 12     |
| 钛及钛合金管(EFW 焊管-无填充金属) |        |           |        |
| GB/T 26057           | TA1    | ASTM B862 | 1      |
| GB/T 26057           | TA2    | ASTM B862 | 2      |
| GB/T 26057           | TA3    | ASTM B862 | 3      |
| GB/T 26057           | TA9    | ASTM B862 | 7      |
| GB/T 26057           | TA10   | ASTM B862 | 12     |
| 钛及钛合金管件              |        |           |        |
| GB/T 27684           | TA1    | ASTM B363 | WPT1   |
| GB/T 27684           | TA2    | ASTM B363 | WPT2   |
| GB/T 27684           | TA3    | ASTM B363 | WPT3   |
| GB/T 27684           | TA9    | ASTM B363 | WPT7   |
| GB/T 27684           | TA10   | ASTM B363 | WPT12  |
| 钛及钛合金锻件              |        |           |        |
| GB/T 25137           | F1     | ASTM B381 | F1     |
| GB/T 25137           | F2     | ASTM B381 | F2     |
| GB/T 25137           | F3     | ASTM B381 | F3     |
| GB/T 25137           | F7     | ASTM B381 | F7     |
| GB/T 25137           | F12    | ASTM B381 | F12    |
| 钛及钛合金铸件              |        |           |        |
| GB/T 6614            | ZTA1   | ASTM B367 | C-2    |
| GB/T 6614            | ZTA2   | ASTM B367 | C-3    |

表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表（续）

| 国内标准                                   | 国内材料牌号         | 国外标准      | 国外材料牌号             |
|----------------------------------------|----------------|-----------|--------------------|
| 铝及铝合金管                                 |                |           |                    |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 6893<br>GB/T 38512 | 1060-O         | ASTM B210 | 1060-O             |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 38512              | 1060-H112      | ASTM B210 | 1060-H112          |
| GB/T 6893                              | 1060-H14       | ASTM B210 | 1060-H14           |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 6893<br>GB/T 38512 | 3003-O         | ASTM B210 | 3003-O             |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 38512              | 3003-H112      | ASTM B210 | 3003-H112          |
| GB/T 6893                              | 3003-H14       | ASTM B210 | 3003-H14           |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 6893               | 5052-O         | ASTM B210 | 5052-O             |
| GB/T 4437.1                            | 5052-H112      | ASTM B210 | 5052-H112          |
| GB/T 6893                              | 5052-H14       | ASTM B210 | 5052-H14           |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 6893<br>GB/T 38512 | 5083-O         | ASTM B210 | 5083-O             |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 38512              | 5083-H112      | ASTM B210 | 5083-H112          |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 6893<br>GB/T 38512 | 6061-T4 焊,T6 焊 | ASTM B210 | 6061-T4 Wld,T6 Wld |
| GB/T 6893<br>GB/T 38512                | 6061-T4        | ASTM B210 | 6061-T4            |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 6893<br>GB/T 38512 | 6061-T6        | ASTM B210 | 6061-T6            |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 6893<br>GB/T 38512 | 6063-T4 焊,T6 焊 | ASTM B210 | 6063-T4Wld,T6 Wld  |
| GB/T 6893<br>GB/T 38512                | 6063-T4        | ASTM B210 | 6063-T4            |
| GB/T 4437.1<br>GB/T 6893<br>GB/T 38512 | 6063-T6        | ASTM B210 | 6063-T6            |



表 E.1 国内与国外近似材料标准及牌号对照表 (续)

| 国内标准                                                                                                                                                                                                   | 国内材料牌号             | 国外标准       | 国外材料牌号                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------|-------------------------|
| 铝及铝合金管件                                                                                                                                                                                                |                    |            |                         |
| —                                                                                                                                                                                                      | —                  | ASTM B361  | WP1060-O<br>WP1060-H112 |
| —                                                                                                                                                                                                      | —                  | ASTM B361  | WP3003-O<br>WP3003-H112 |
| —                                                                                                                                                                                                      | —                  | ASTM B361  | WP5052-O<br>WP5052-H34  |
| —                                                                                                                                                                                                      | —                  | ASTM B361  | WP5083-O                |
| —                                                                                                                                                                                                      | —                  | ASTM B361  | WP6061-T4<br>WP6061-T6  |
| —                                                                                                                                                                                                      | —                  | ASTM B361  | WP6063-T4<br>WP6063-T6  |
| 铝及铝合金锻件                                                                                                                                                                                                |                    |            |                         |
| NB/T 47029                                                                                                                                                                                             | 1050A-H112         | —          | —                       |
| NB/T 47029                                                                                                                                                                                             | 3003-H112          | ASTM B247  | 3003                    |
| NB/T 47029                                                                                                                                                                                             | 5083-H112          | ASTM B247  | 5083                    |
| NB/T 47029                                                                                                                                                                                             | 6061-T6            | ASTM B247  | 6061                    |
| 标准紧固件                                                                                                                                                                                                  |                    |            |                         |
| GB/T 3098.1                                                                                                                                                                                            | 5.6                | ISO 898-1  | 5.6                     |
| GB/T 3098.1                                                                                                                                                                                            | 8.8                | ISO 898-1  | 8.8                     |
| GB/T 3098.6                                                                                                                                                                                            | A2-50              | ISO 3506-4 | A2-50                   |
| GB/T 3098.6                                                                                                                                                                                            | A4-50              | ISO 3506-4 | A4-50                   |
| GB/T 3098.6                                                                                                                                                                                            | A2-70              | ISO 3506-4 | A2-70                   |
| GB/T 3098.6                                                                                                                                                                                            | A4-70              | ISO 3506-4 | A4-70                   |
| 专用紧固件                                                                                                                                                                                                  |                    |            |                         |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | 35CrMo             | ASTM A193  | B7                      |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | 42CrMo(B7)         | ASTM A193  | B7                      |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | 25Cr2MoV           | ASTM A193  | B16                     |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | 06Cr19Ni10(304)    | ASTM A193  | B8                      |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | 06Cr17Ni12Mo2(316) | ASTM A193  | B8M                     |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | A193 B8-2          | ASTM A193  | B8-2                    |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | A193 B8M-2         | ASTM A193  | B8M-2                   |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | A320 L7            | ASTM A320  | L7                      |
| HG/T 20634                                                                                                                                                                                             | A453-660           | ASTM A453  | 660                     |
| <sup>a</sup> 均属碳钢,ASTM 材料机械性能(抗拉/屈服)相对略高。<br><sup>b</sup> 均属碳钢,ASTM 材料机械性能(抗拉/屈服)相对较低。<br><sup>c</sup> 化学成分相近,因热处理制度差异,ASTM 材料机械性能(抗拉/屈服)相对略高。<br><sup>d</sup> 化学成分相近,因热处理制度差异,ASTM 材料机械性能(抗拉/屈服)相对较低。 |                    |            |                         |

附 录 F  
(资料性)  
风荷载和地震荷载的计算

F.1 水平风力的计算

作用于管道上的水平风力可看成为作用于管道上的均布荷载,对于不等直径的管道,按直径分段进行均布荷载的计算。单位长度上的水平风力可按公式(F.1)计算:

$$p = K_1 K_2 q_0 \mu_z D \times 10^{-6} \dots\dots\dots (F.1)$$

式中:

- $p$  ——单位长度上管道所受的水平风力,单位为牛顿每毫米(N/mm);
- $q_0$  ——基本风压值,单位为牛顿每平方米(N/m<sup>2</sup>),按表 F.1 查取;
- $\mu_z$  ——风压高度变化系数,按表 F.2 查取;
- $D$  ——所计算的管道外径,如有保温层,需计及保温层的厚度,单位为毫米(mm);
- $K_1$  ——空气动力系数,按以下取值:
  - a) 上下双管(见图 F.1), $K_1$ 按表 F.3 取值;

表 F.1 全国主要城市的风压数据  $q_0$ 。

单位为千牛每立方米

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 城市名 | 北京   | 天津   | 塘沽   | 上海   | 重庆   | 石家庄  | 邢台   | 张家口  |
| 风压  | 0.45 | 0.50 | 0.55 | 0.55 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.55 |
| 城市名 | 承德   | 秦皇岛  | 唐山   | 保定   | 沧州   | 太原   | 大同   | 阳泉   |
| 风压  | 0.40 | 0.45 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.55 | 0.40 |
| 城市名 | 临汾   | 长治县  | 呼和浩特 | 满洲里  | 海拉尔  | 乌兰浩特 | 包头   | 集宁   |
| 风压  | 0.40 | 0.50 | 0.55 | 0.65 | 0.65 | 0.55 | 0.55 | 0.60 |
| 城市名 | 通辽   | 赤峰   | 沈阳   | 阜新   | 锦州   | 鞍山   | 本溪   | 抚顺   |
| 风压  | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.45 | 0.45 |
| 城市名 | 营口   | 丹东   | 大连   | 长春   | 四平   | 吉林   | 通化   | 哈尔滨  |
| 风压  | 0.65 | 0.55 | 0.65 | 0.65 | 0.55 | 0.50 | 0.50 | 0.55 |
| 城市名 | 齐齐哈尔 | 绥化   | 安达   | 牡丹江  | 济南   | 德州   | 烟台   | 威海   |
| 风压  | 0.45 | 0.55 | 0.55 | 0.50 | 0.45 | 0.45 | 0.55 | 0.65 |
| 城市名 | 淄博   | 青岛   | 兖州   | 南京   | 徐州   | 镇江   | 无锡   | 泰州   |
| 风压  | 0.40 | 0.60 | 0.40 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.40 |
| 城市名 | 连云   | 常州   | 杭州   | 金华   | 宁波   | 衢州   | 温州   | 合肥   |
| 风压  | 0.55 | 0.40 | 0.45 | 0.35 | 0.50 | 0.35 | 0.60 | 0.35 |
| 城市名 | 宿县   | 蚌埠   | 安庆   | 南昌   | 赣州   | 景德镇  | 福州   | 厦门   |
| 风压  | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.30 | 0.35 | 0.70 | 0.80 |

表 F.1 全国主要城市的风压数据  $q_0$  (续)

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 城市名 | 西安   | 榆林   | 宝鸡   | 兰州   | 酒泉   | 张掖   | 武威   | 天水   |
| 风压  | 0.35 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.55 | 0.50 | 0.55 | 0.35 |
| 城市名 | 银川   | 中卫   | 西宁   | 格尔木  | 乌鲁木齐 | 克拉玛依 | 库尔勒  | 喀什   |
| 风压  | 0.65 | 0.45 | 0.35 | 0.40 | 0.60 | 0.90 | 0.45 | 0.55 |
| 城市名 | 哈密   | 郑州   | 新乡   | 洛阳   | 许昌   | 开封   | 武汉   | 宜昌   |
| 风压  | 0.60 | 0.45 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.45 | 0.35 | 0.30 |
| 城市名 | 黄石   | 长沙   | 岳阳   | 邵阳   | 衡阳   | 广州   | 汕头   | 深圳   |
| 风压  | 0.35 | 0.35 | 0.40 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.80 | 0.75 |
| 城市名 | 湛江   | 南宁   | 桂林   | 柳州   | 梧州   | 北海   | 海口   | 三亚   |
| 风压  | 0.80 | 0.35 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.75 | 0.75 | 0.85 |
| 城市名 | 成都   | 宜宾   | 西昌   | 内江   | 泸州   | 贵阳   | 遵义   | 昆明   |
| 风压  | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.40 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |

表 F.2 风压高度变化系数  $\mu_z$

| 计算截面距地面高度 <sup>a</sup><br>m                                                                                                                                                                                                       | 地面粗糙度类别 <sup>b</sup> |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|------|------|
|                                                                                                                                                                                                                                   | A                    | B    | C    | D    |
| 5                                                                                                                                                                                                                                 | 1.09                 | 1.00 | 0.65 | 0.51 |
| 10                                                                                                                                                                                                                                | 1.28                 | 1.00 | 0.65 | 0.51 |
| 15                                                                                                                                                                                                                                | 1.42                 | 1.13 | 0.65 | 0.51 |
| 20                                                                                                                                                                                                                                | 1.52                 | 1.23 | 0.74 | 0.51 |
| 30                                                                                                                                                                                                                                | 1.67                 | 1.39 | 0.88 | 0.51 |
| 40                                                                                                                                                                                                                                | 1.79                 | 1.52 | 1.00 | 0.60 |
| 50                                                                                                                                                                                                                                | 1.89                 | 1.62 | 1.10 | 0.69 |
| 60                                                                                                                                                                                                                                | 1.97                 | 1.71 | 1.20 | 0.77 |
| 70                                                                                                                                                                                                                                | 2.05                 | 1.79 | 1.28 | 0.84 |
| 80                                                                                                                                                                                                                                | 2.12                 | 1.87 | 1.36 | 0.91 |
| 90                                                                                                                                                                                                                                | 2.18                 | 1.93 | 1.43 | 0.98 |
| 100                                                                                                                                                                                                                               | 2.23                 | 2.00 | 1.50 | 1.04 |
| 150                                                                                                                                                                                                                               | 2.46                 | 2.25 | 1.79 | 1.33 |
| 200                                                                                                                                                                                                                               | 2.64                 | 2.46 | 2.03 | 1.58 |
| <p><sup>a</sup> 可按一根管道的最高点查取,但当将 <math>\mu_z</math> 用于计算 <math>K_2</math> 时,应按一根管道的最低点查取。</p> <p><sup>b</sup> A 类系指近海海面及海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；<br/>B 类系指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区；<br/>C 类系指有密集建筑群的城市市区；<br/>D 类系指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。</p> |                      |      |      |      |

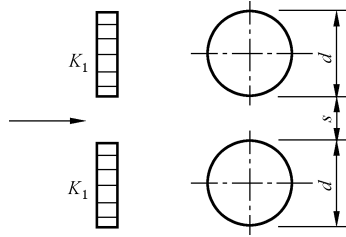


图 F.1 上下双管示意图

表 F.3 上下双管系数  $K_1$ 

| $s/d$ | $\leq 0.25$ | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.5  | 2.0  | $\geq 3.0$ |
|-------|-------------|-----|------|-----|------|------|------------|
| $K_1$ | 1.2         | 0.9 | 0.75 | 0.7 | 0.65 | 0.63 | 0.6        |

b) 前后双管(见图 F.2),  $K_1$ 按表 F.4 取值;

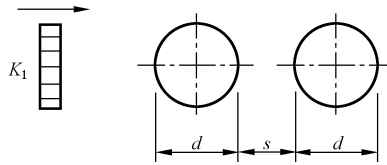


图 F.2 前后双管示意图

表 F.4 前后双管系数  $K_1$ 

| $s/d$ | $\leq 0.25$ | 0.5  | 1.5  | 3.0  | 4.0  | 6.0  | 8.0  | $\geq 10.0$ |
|-------|-------------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| $K_1$ | 0.68        | 0.86 | 0.94 | 0.99 | 1.08 | 1.11 | 1.14 | 1.20        |

注: 表列  $K_1$  为前后两管之和, 其中前管为 0.6。

c) 密排多管(见图 F.3),  $K_1=1.4$ 。

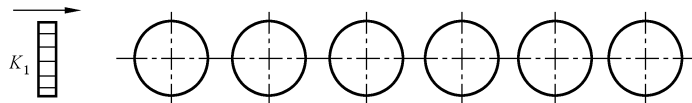


图 F.3 密排多管示意图

$K_1$  值为各管之总和。

$K_2$ ——风振系数,按公式(F.2)计算:

$$K_2 = 1 + 5I_{10}B_z\sqrt{1+R_2} \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

式中:

$I_{10}$ ——10 m 高度名义湍流强度,对应 A、B、C 和 D 类地面粗糙度,可分别取 0.12、0.14、0.23 和 0.39;

$R$ ——脉动风荷载的共振分量因子,按公式(F.3)、公式(F.4)计算:

$$R = \sqrt{\frac{\pi}{0.06} \cdot \frac{X_1^2}{(1+X_1^2)^{4/3}}} \quad \dots\dots\dots (F.3)$$

$$X_1 = \frac{30f_1}{\sqrt{k_w q_0}}, X_1 > 5 \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

式中：  
 $f_1$ ——管道系统第 1 阶自振频率，单位为赫兹(Hz)；  
注：计算管道系统的自振频率时，可在固定支架处将管段分开计算。对于非等直径、作用有集中荷载或多支承管道系统，其自振频率可用合适的数值方法求得，如矩阵传递法、矩阵迭代或有限元法等。  
 $k_w$ ——地面粗糙度修正系数，对 A、B、C 和 D 类地面粗糙度分别取 1.28、1.00、0.54 和 0.26；  
 $B_z$ ——脉动风荷载的背景分量因子，按公式(F.5)计算：

$$B_z = k H^{\alpha_1} \rho_z \frac{\phi_1(z)}{\mu_z} \quad \dots\dots\dots (F.5)$$

式中：  
 $\phi_1(z)$ ——管道系统第 1 阶振型系数，振型系数指在某一振型下一点的水平相对位移，当水平风力按均布荷载计算时，可保守地取 1.0；  
 $H$ ——管道系统总高度，单位为米(m)；  
 $\rho_z$ ——脉动风荷载竖直方向相关系数，按公式(F.6)计算：

$$\rho_z = \frac{10\sqrt{H + 60e^{-H/60} - 60}}{H} \quad \dots\dots\dots (F.6)$$

$k$ 、 $\alpha_1$ ——系数，按表 F.5 取值。

表 F.5 系数  $k$  和  $\alpha_1$

| 粗糙度类别      | A     | B     | C     | D     |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| $k$        | 1.276 | 0.910 | 0.404 | 0.155 |
| $\alpha_1$ | 0.186 | 0.218 | 0.292 | 0.376 |

对于远海海面和海岛的管道系统，风压高度变化系数除按 A 类粗糙度类别由表 F.5 确定外，还需用表 F.6 给出的修正系数进行修正。

表 F.6 远海海面和海岛的修正系数  $\eta$

| 距海岸距离<br>km | $\eta$  |
|-------------|---------|
| <40         | 1.0     |
| 40~60       | 1.0~1.1 |
| 60~100      | 1.1~1.2 |

F.2 水平地震力和地震弯矩的计算

地震将对管系产生与地面平行和垂直的两个方向上的作用力，本附录仅考虑地震引起的水平惯性力对管系的影响。与地面平行的地震作用力方向需选择使管系中应力水平最大的方向。本附录仅给出地震作用时，管道所受惯性力的一般计算方法，设计也可用更精确的方法进行计算。当求得管道上的分布惯性力后，可按照 6.7.4.2 和 6.7.5.4 对管道和管道组件进行强度校核，并按算得的支承反力保证支吊架有足够的强度。

当发生地震时，作用于管道上，对应于管道基本自振周期的水平分布力可按公式(F.7)计算：

$$Q_k = \alpha_1 \cdot \eta_{1k} \cdot \Delta m_k \cdot g \dots\dots\dots (F.7)$$

式中：

$Q_k$ ——管道质量作为离散分布，在  $k$  处的集中力，单位为牛顿(N)。

$\alpha_1$  ——对应于管道基本自振周期的地震影响系数  $\alpha$ ，地震影响系数  $\alpha$  按图 F.4 确定，但不小于  $0.2\alpha_{\max}$ 。

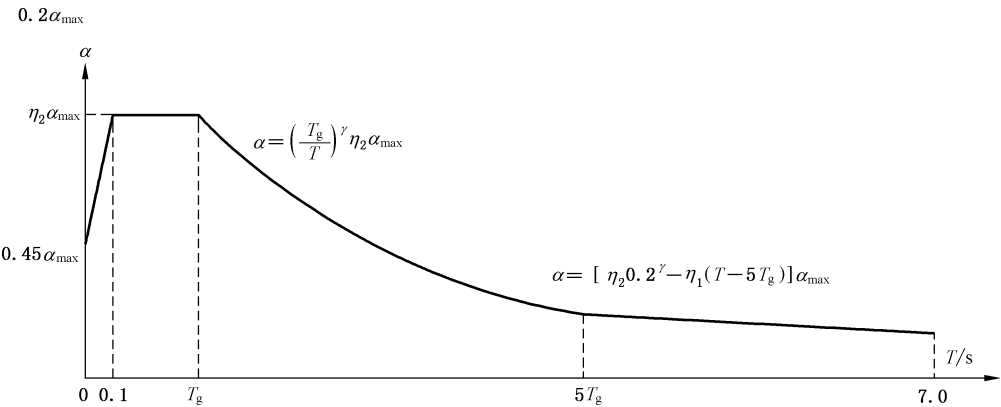


图 F.4 地震影响系数曲线

$\alpha_{\max}$ ——地震影响系数的最大值，见表 F.7。

表 F.7 对应于设防烈度的  $\alpha_{\max}$

| 设防烈度                                        | 6    | 7          | 8          | 9    |
|---------------------------------------------|------|------------|------------|------|
| $\alpha_{\max}$                             | 0.04 | 0.08(0.12) | 0.16(0.24) | 0.32 |
| 注：括号中数值分别用于设计基础地震加速度为 $0.15g$ 和 $0.3g$ 的地区。 |      |            |            |      |

$T_g$ ——各类场地土的特征周期，见表 F.8。

表 F.8 各类场地土的特征周期  $T_g$

| 设计地震分组 | 场地土类别          |                |      |      |      |
|--------|----------------|----------------|------|------|------|
|        | I <sub>0</sub> | I <sub>1</sub> | II   | III  | IV   |
| 第一组    | 0.20           | 0.25           | 0.35 | 0.45 | 0.65 |
| 第二组    | 0.25           | 0.30           | 0.40 | 0.55 | 0.75 |
| 第三组    | 0.30           | 0.35           | 0.45 | 0.65 | 0.90 |

$\gamma$ ——曲线下降段的衰减指数，按公式(F.8)计算：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \xi}{0.3 + 6\xi} \dots\dots\dots (F.8)$$

式中：

$\xi$  ——阻尼比；

$\eta_1$  ——直线下降段斜率的调整系数，按公式(F.9)计算，当  $\eta_1$  小于 0 时，取 0：

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \xi}{4 + 32\xi} \dots\dots\dots (F.9)$$

式中:

$\zeta$  —— 阻尼比;

$\eta_2$  —— 阻尼调整系数,按公式(F.10)计算,当  $\eta_2$  小于 0.55 时,取 0.55:

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \xi}{0.08 + 1.6\xi} \dots\dots\dots (F.10)$$

式中:

$\zeta$  —— 阻尼比;

$\eta_{1k}$  —— 管道上  $k$  处的基本振型参与系数,按公式(F.11)计算:

$$\eta_{1k} = \frac{\chi_k \sum_{i=1}^n \Delta m_i \chi_i}{\sum_{i=1}^n \Delta m_i \chi_i^2} \dots\dots\dots (F.11)$$

式中:

$\chi, \chi_k$  —— 在地震荷载作用下,管道上某处或  $k$  处对应于所求振型的水平位移,单位为毫米(mm);

$\Delta m_k$  —— 管道质量作为离散分布,第  $k$  段的质量,单位为千克(kg)。

地震荷载作用于管道的弯矩可按照以上所述的水平分布力进行计算。一般,对于管道在地震作用下的受激振动,需考虑高阶振型的影响,可按公式(F.12)近似计算考虑高阶振型影响后的地震弯矩,也可按更详细的振型分析结果对弯矩进行组合:

$$M_h = 1.25M_b \dots\dots\dots (F.12)$$

式中:

$M_h$  —— 考虑高阶振型影响后的地震弯矩,单位为牛顿毫米(N·mm);

$M_b$  —— 对应于基本振型的地震弯矩,单位为牛顿毫米(N·mm)。

## 附录 G

### (资料性)

### 管道布置

#### G.1 管道布置基本原则

管道布置设计是将工艺管道及附属公用管道按一定的规则进行空间定位的过程。本附录仅从安全角度对管道布置设计给出一些指导性的实践经验。管道布置的基本原则如下。

- a) 满足管道及仪表控制流程设计的要求。
- b) 满足有关的规范、标准的要求。
- c) 管道布置统筹规划,做到安全可靠、经济合理、整齐美观。
- d) 满足施工、操作和维修等方面的要求。
- e) 在确定进、出装置的管道方位与敷设方式时,做到内外协调。
- f) 厂区内的全厂性管道的敷设,与厂区内的装置(单元)、道路、建筑物、构筑物等协调,避免管道包围装置(单元),减少管道与铁路、道路的交叉。
- g) 永久性的地上、地下管道不穿越或跨越与其无关的工艺装置、系统单元或储罐组,在跨越罐区泵房的易燃气体、液化烃和易燃液体的管道上不设置阀门及易发生泄漏的管道附件。
- h) 管道布置满足管道柔性及设备、机泵管口允许的作用力和力矩要求,且使管道短,弯头数量少。
- i) 当管道内介质流向自下而上时,管道布置时尽量做到逐步向上;当管道内介质流向自上而下时,管道布置时尽量做到逐步向下;否则需根据操作检修要求设置放空或放净,管道布置需减少死区。
- j) 管道布置中需能承受各种动力荷载,控制管道的振动,如风荷载、地震引起的水平力、压力脉动、机器共振等,在地震区设计的管道需满足国家现行抗震标准规定。
- k) 管道布置和支承点设置需同时考虑所能承受外部或内部的动力荷载,支承可靠,不发生管道与其支承件脱离、管道扭曲、下垂或立管不垂直等现象。
- l) 管道的净空高度、净距及埋设深度满足现行有关标准的要求。
- m) 阀门布置在容易接近、便于操作和检修的地方,成排管道上的阀门集中布置,并设置操作平台及梯子,尽量减少阀门延伸杆或链轮操作,如要采用,不能阻挡操作通道。
- n) 管道布置不妨碍设备、机泵及其内部构件的安装、检修。
- o) 安全喷淋洗眼器根据腐蚀性介质或有毒介质的性质、操作特点和防护要求等设置,其服务半径范围不大于 15 m。
- p) 软管站需根据需要设置,站内可包括蒸汽、新鲜水、装置空气和氮气等,其服务半径的范围一般为 15 m~20 m。
- q) 金属管道除与阀门、仪表、设备等需要用法兰或螺纹连接者外,尽量采用焊接连接。

#### G.2 易燃介质和有毒介质管道的设计原则

易燃介质和有毒介质管道的设计原则如下。

- a) 管道不穿越与其无关的建(构)筑物。
- b) 管道尽量架空或沿地面敷设,当采用埋地敷设时,需采取有效的安全措施防止气体或液体的积聚。
- c) 在急性毒性类别 1 和类别 2 介质的生产区和使用区内,需设置安全喷淋洗眼器。
- d) 设置在安全隔墙或隔板内急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道上的手动阀门需采用阀门延伸



杆,且引至隔墙或隔板外操作。

- e) 急性毒性类别 1 和类别 2、易燃气体类别 1 及易燃液体类别 1 介质采取密闭循环取样,取样口不设在有振动的设备或管道上,否则需采取减振措施,采样管道不引入化验室。
- f) 易燃介质管道不安装在通风不良的厂房内、室内的吊顶内及建(构)筑物封闭的夹层内。
- g) 有毒介质、有腐蚀性介质管道,若布置在人行通道上方时,不设置阀门及易发生泄漏的管道附件,如不可避免,则需设置保护罩防止泄漏。
- h) 氧气管道与易燃介质管道共架敷设时,需布置在外侧,且平行布置时,净距不小于 500 mm,交叉布置时,净距不小于 250 mm;当管道采用焊接连接结构,并无阀门时,其平行净距可取上述净距的 50%。
- i) 除管道和仪表流程图上指定的要求外,对于紧急处理及防火需要开或关的阀门,需位于安全和方便操作的地方。
- j) 进出装置的易燃介质的管道,在装置边界处需设隔断阀和 8 字盲板,在隔断阀处设平台,长度等于或大于 8 m 的平台需在两个方向设梯子。
- k) 隔断设备用的阀门与急性毒性类别 1 和类别 2 介质的设备相连接时,管道上的阀门需与设备管口直接相连,且该阀门不使用链轮操作。
- l) 特殊易燃介质管道如氢气、氧气、乙炔气等的管道布置满足现行有关标准的要求。

### G.3 蒸汽管道的设计原则

装置的蒸汽管道需架空敷设,尽量避免管沟敷设和埋地敷设。由工厂系统进入装置的主蒸汽管道,一般布置在管廊的上层。蒸汽管道的布置原则如下。

- a) 蒸汽支管从主管的顶部引出,支管上的切断阀安装在靠近主管的水平管段上,以避免存液。
- b) 蒸汽主管进入装置界区的切断阀上游和主管末端设排液设施,排液设施需根据不同情况设放净阀、分液包及疏水阀。
- c) 水平敷设的蒸汽主管上的排液设施的间隔距离如下:
  - 1) 在装置内,饱和蒸汽不大于 80 m,过热蒸汽不大于 160 m;
  - 2) 在装置外,顺坡时不大于 300 m,逆坡时不大于 200 m。
- d) 不从有独立用汽要求的蒸汽管道上接出支管作其他用途。
- e) 蒸汽支管的低点,需根据不同情况设排液阀或(和)疏水阀。
- f) 在蒸汽管道的  $\pi$  型补偿器上,不引出支管;在靠近  $\pi$  型补偿器两侧的直管上引出支管时,支管不妨碍主管的位移;因主管热胀而产生的支管引出点的位移,不使支管承受过大的应力。
- g) 凡饱和蒸汽主管进入装置,在装置侧的边界附近设蒸汽分水器,在分水器下部设经常疏水措施,过热蒸汽主管进入装置一般可不设分水器。
- h) 多根蒸汽伴热管需成组布置并设分配管,分配管的蒸汽需就近从主管引出。
- i) 直接排至大气的蒸汽放空管,在该管下端的弯头附近开一个  $\phi 6\text{ mm} \sim \phi 10\text{ mm}$  的排液孔,并引至安全位置。
- j) 连续排放或经常排放的乏汽管道,排放口远离操作区布置。

### G.4 低温管道的设计原则

低温管道的设计原则如下:

- a) 低温介质管道的布置在满足管道柔性下需使管道短、弯头数量少,且减少液袋;
- b) 低温介质管道要考虑整个管道有足够的柔性,充分利用管道自然补偿,当无法自然补偿时,需设置补偿器;
- c) 布置低温管道时,需避免管道振动;若有机器的振源,需采取消振措施,在接近振源处的管道需

设置弹性组件,以隔断振源;

- d) 低温管道采用保冷管道支吊架,支吊架需有防止产生“冷桥”的措施;
- e) 低温介质管道上的阀门需安装在水平管道上,阀杆方向需垂直向上;
- f) 低温管道的间距需根据保冷后的法兰、阀门、测量组件的厚度以及管道的位移确定;
- g) 低温介质管道上的法兰不与弯头或三通直接焊接。

## G.5 泄放管道的设计原则

### G.5.1 放净与放空管道设计原则

G.5.1.1 管道系统中的高点或低点需根据操作、检修的要求,设置放空或放净。

G.5.1.2 为了尽量减少滞留在管道内介质的危害程度,如水锤、真空破裂、腐蚀及不能控制的化学反应,需在管道低点设置放净,高点设置放空。

G.5.1.3 管道需要完全放净时,管道需设置坡度,并设置放净点。下列介质管道,需要考虑完全放净:

- a) 多功能的管线;
- b) 管道拆除时,会产生有害及危险介质;
- c) 管道中的液体会产生聚合或固体沉淀;
- d) 由于间歇生产,液体存在于管道内将影响液体的纯度;
- e) 可能会产生气体冷凝液的管道;
- f) 有可能增加液体残留量的两相流介质。

G.5.1.4 管道系统进行水压试验、吹扫、清洗时,需在管道高点设置放空。水压试验后或停工检修可在残存液体处设置放净。

G.5.1.5 全厂性管道的放净设置原则如下:

- a) 管廊上公用工程管道的末端及蒸汽管道的低点需设置放净;
- b) 自燃点高出操作温度不足 10 °C 的易燃液体管道的低点不设置放净;
- c) 急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道的低点不设置放净;
- d) 腐蚀性介质的低点不设置放净;
- e) 不产生凝结液的气体管道的低点不设置放净。

G.5.1.6 急性毒性类别 1 介质管道的放空或放净需设置双阀,并排入密闭回收系统。

G.5.1.7 除急性毒性类别 1 和类别 2 介质外,有毒气体的排放口按环保的要求,有毒液体不排入下水道。

G.5.1.8 急性毒性类别 2 介质的管道的放空或放净需设置双阀,当设置单阀时,需加盲板或法兰盖。

G.5.1.9 高压管道的放空或放净需设置双阀,当设置单阀时,需加盲板或法兰盖。

G.5.1.10 连续操作的易燃气体管道低点的放净需设置双阀,排出的液体需排放至密闭系统。易燃气体管道仅在开停工时使用的放净,可只设一道阀门并加丝堵、管帽或法兰盖。

G.5.1.11 管道放空或放净上的阀门需靠近主管,对易自聚、易冻结、易凝固或含固体介质的管道上的放净需垂直排放。

G.5.1.12 振动管道上公称直径小于或等于 40 mm 的放空、放净根部接口处需采取加强措施。

### G.5.2 泄压排放和火炬系统设计

G.5.2.1 直接向大气排放的非易燃气体放空管的高度设置原则如下:

- a) 设备或管道上的放空管口高出临近操作平台 2.2 m 以上;
- b) 紧靠建筑物、构筑物或其内部布置的设备或管道的放空口,需高出建筑物或构筑物顶 2.2 m 以上。

**G.5.2.2** 易燃性气体排放管道的设计原则满足 SH 3009—2013 中 7.2。

**G.5.2.3** 受工艺条件或介质特性所限,无法排入火炬或装置处理系统的易燃气体,当通过排气筒、放空管直接向大气排放时,排气筒、放空管的高度设置原则如下:

- a) 连续排放的排气筒顶或放空管口需高出 20 m 范围内的平台或建筑物顶 3.5 m 以上,位于排放口水平 20 m 以外斜上 45° 的范围内不布置平台或建筑物;
- b) 间歇排放的排气筒顶或放空管口需高出 10 m 范围内的平台或建筑物顶 3.5 m 以上,位于排放口水平 10 m 以外斜上 45° 的范围内不布置平台或建筑物;
- c) 安全阀排放管口不朝向邻近设备或有人通过的地方,排放管口需高出 8 m 范围内的平台或建筑物顶 3 m 以上。

**G.5.2.4** 有毒气体放空口的位置设置原则满足 GB/T 3840 中的相关条款。

**G.5.2.5** 设备和管道上易燃气体安全泄压装置允许向大气排放时,其排放管口设置原则如下:

- a) 排放管口不朝向临近设备或有人通过的地区;
- b) 排放管口的高度需高出以安全泄压装置为中心,半径为 8 m 的范围内的操作平台或建筑物顶 3 m 以上。

**G.5.2.6** 安全泄压装置出口管道的布置,需考虑由于泄压排放引起的反作用力,并合理设置支架。

**G.5.2.7** 排入火炬的易燃气体不携带易燃液体。火炬的辐射热不可影响人身及设备的安全。距火炬筒 30 m 范围内,不设置易燃气体放空。

**G.5.2.8** 易燃气体放空管道内的凝结液需密闭回收,不随地排放。

**G.5.2.9** 将混合后可能发生化学反应,并形成爆炸性混合物的几种气体不混合排放。

**G.5.2.10** 火炬排放总管的热补偿需采用自然补偿,如因工艺和空间条件的限制,全厂火炬总管公称直径大于或等于 DN400 时,可采用金属波纹膨胀节进行热补偿,且在管道的适当位置需采取轴向限位和导向措施。

**G.5.2.11** 排放管道凝结液的凝固点等于或高于该地区最冷月平均温度时,需有防止凝结液在波纹膨胀节处聚集的措施。

**G.5.2.12** 金属波纹膨胀节的补偿量至少是热补偿管段的全温度范围位移量的 1.15 倍。

## **G.6 埋地管道的设计原则**

### **G.6.1 一般规定**

**G.6.1.1** 本章节指工厂界区内埋地管道布置的设计原则。埋地管道分为直埋敷设和管沟敷设。

**G.6.1.2** 工厂界区内埋地敷设的管道对人员和设备存在潜在的危险和不安全因素,埋地管道布置需妥善解决防冻、防凝结、吹扫、排液、防外腐蚀及承受外荷载等问题,并遵守有关国家及当地的规定。

**G.6.1.3** 管道只有在不可能在地上架空敷设时,才采用埋地敷设,并满足下列要求:

- a) 输送介质无腐蚀性、无毒和无爆炸危险的液体、气体管道可直埋敷设;
- b) 无法在地上架空敷设,而又无法直埋敷设的管道可在管沟内敷设;
- c) 因工艺要求无法架空的易燃介质、有毒介质、有腐蚀性介质的管道,需要埋地敷设时,需采取防止腐蚀、泄漏监测报警、泄漏介质的收集等的安全保护措施;
- d) 除特殊需要外,急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道需架空敷设;当工艺要求埋地敷设时,需有监测泄漏、防止腐蚀、收集有害流体等的安全措施。

### **G.6.2 埋地管道设计原则**

埋地管道的设计原则如下:

- a) 埋地管道的走向、敷设,埋地管道与连接系统的相互影响;

- b) 材料、施工规范和质量控制；
- c) 运行程序和控制；
- d) 防腐蚀；
- e) 外部影响的减轻及管道的防护。

### G.6.3 埋地管道的走向规划

所有埋地管道的走向需进行详细规划,并经建设单位(使用单位)确定同意。在规划图纸中包括:

- a) 埋地管道的走向、定位尺寸及埋设标高；
- b) 埋地部分的其他设施,如电缆沟等,也包括将来计划实施的埋地设施；
- c) 划定埋地管道建设区域内地上部分所有道路及其他地上设施。

### G.6.4 直埋管道的设计要求

**G.6.4.1** 工厂界区内直埋管道的埋设深度需根据最大冻土深度、地下水位和管道不受损坏等原则确定,管道埋设深度如下:

- a) 无混凝土铺砌的区域,管道的管顶距地面不小于 0.5 m；
- b) 室内或室外有混凝土铺砌的区域,管道的管顶距地面不小于 0.3 m；
- c) 机械车辆的通行区域,管道的管顶距地面不小于 0.7 m；
- d) 易燃、有毒等介质管道埋设深度按有关规范执行。

**G.6.4.2** 直埋管道的外护套管(简称“套管”)设置原则如下:

- a) 直埋管道穿越车行道路时,需加设套管;套管顶面到路面不小于 0.3 m；
- b) 穿越厂区铁路的管道需设套管,套管顶面至铁轨底的距离不小于 1.2 m；
- c) 输送易燃介质的直埋管道不穿越埋地敷设的电缆沟,否则需设套管,当管道介质温度超过 60 ℃时,在套管内需充填隔热材料,使套管外壁温度不超过 60 ℃；
- d) 套管需具备一定的刚度,能承受所有外表面的荷载；
- e) 带有套管的直埋管道,布置时需有足够的柔性,使内管有热胀冷缩的余地；
- f) 套管与输送管道最小净距为 100 mm,套管两端需进行密封,防止水及其他外来物的侵入。

**G.6.4.3** 大直径薄壁管道深埋时,需满足在土壤压力下的稳定性及刚度要求。

**G.6.4.4** 管道埋深需在冰冻线以下。当无法实现时,要有可靠的防冻措施。

### G.6.5 管沟内管道布置

**G.6.5.1** 无法架空而又无法直埋敷设的管道可在不通行管沟内布置。不通行管沟分为全封闭式管沟和敞开式管沟。

**G.6.5.2** 全封闭式管沟适用于不需经常检查和检修的管道,敞开式管沟适用于需要经常检查和检修的管道,在无可靠的通风条件及无安全措施时,不可在通行管沟内布置窒息性及易燃介质管道,其设置原则如下:

- a) 易燃介质的管道不布置在全封闭式管沟内,若布置在管沟内,需采取防止易燃介质在管沟内积聚的措施,并在进出装置及厂房处设密封隔断；
- b) 在敞开式管沟内,不敷设密度比环境空气大的易燃气体管道,当不可避免时,需在管沟内填满细砂,并定期检查管道使用情况。

**G.6.5.3** 距散发比空气重的易燃气体设备 30 m 以内的管沟,需采取防止易燃气体窜入和积聚的措施。

**G.6.5.4** 埋地管道布置设计需考虑管道内介质能全部排净,管道需有一定的坡度,并在低点及高点设置放净及放空。

### G.6.6 埋地管道标记及记录

G.6.6.1 竣工后的埋地管道采用建设单位(使用单位)认可的方法进行地上识别标记。标记内容一般包括介质名称、公称直径、建设单位(使用单位)名称、日期等。

G.6.6.2 埋地管道在管道安装工程竣工后,向建设单位(使用单位)提交安装质量文件及埋地管道安装竣工图,图纸上要正确表示出管道的走向、坐标、标高等。

### G.6.7 直埋管道防腐蚀及阴极保护

G.6.7.1 外表面防腐蚀处理原则如下:

- a) 为了避免土壤中水和地下污染物对直埋管道的外表面腐蚀,外表面需进行防腐绝缘层处理;
- b) 外表面绝缘防腐等级需根据土壤的腐蚀性程度确定。直埋管道穿越道路、铁路以及改变埋设深度时的弯管处,防腐蚀等级为特加强级。

G.6.7.2 直埋管道的阴极保护原则如下:

- a) 长距离直埋钢质管道除采用绝缘涂层保护外,一般需同时采用阴极保护来降低管道涂层薄弱处产生局部腐蚀的风险;
- b) 依据土壤不同的腐蚀环境条件,被保护直埋管道具体状况和技术要求,一般由阴极保护系统设计制造商确定选择牺牲阳极保护或强制电流阴极保护方式;
- c) 在工厂较为复杂的地下环境,为防止地下直流杂散电流的腐蚀,可采用排流保护法,使管道上的杂散电流不经土壤而经过导线单向地流向电源负极,从而保护管道表面不受腐蚀;
- d) 直埋管道采用绝缘法兰、螺栓、垫片和地上管道绝缘隔断。当局部采用钢套管时,套管间设绝缘支撑进行电绝缘,套管两端采用牢固的非导电材料密封。

## G.7 地上管道的防腐要求

### G.7.1 一般规定

对于地上管道,除奥氏体不锈钢、镀锌、塑料管道外,均需通过喷涂防腐涂料进行防腐。

### G.7.2 防腐涂料的选用

防腐涂料的选用原则如下:

- a) 与被涂物的使用条件相适应;
- b) 与被涂物表面的材质相适应;
- c) 底漆与面漆正确配套;
- d) 经济合理;
- e) 具备施工条件。

## G.8 管道的隔热要求

### G.8.1 一般原则

下列情况下需对管道进行保温:

- a) 管道外表面温度高于 50℃,为减少管道在操作中的热量损失;
- b) 工艺生产有要求,以避免、限制或延迟管道内介质的凝固、冻结,维持正常生产;
- c) 寒冷或严寒地区,为了减少管道内介质的冻结而带来的不利影响;
- d) 表面温度等于或高于 60℃的不保温管道,需要经常维护又无法采用其他措施防止烫伤的部位,需设防烫保温。

### G.8.2 管道的保温

下列管道需采用伴管或夹套管保温伴热：

- a) 需从外部补偿管内介质热损失,以维持被输送介质温度的管道；
- b) 在输送过程中,由于热损失而产生凝液,并可能导致腐蚀或影响正常操作的气体管道；
- c) 在操作过程中,由于介质压力突然下降而自冷,可能冻结导致堵塞的管道；
- d) 在切换操作或停运期间,管内介质由于热损失造成温度下降,介质不能放净、吹扫而可能凝固的管道；
- e) 在输送过程中,由于热损失可能引起管内介质析出结晶的管道；
- f) 由于热损失可能导致输送介质黏度增高,系统阻力增加,输送量下降,达不到工艺最小允许量的管道；
- g) 输送介质的凝固点等于或高于环境温度的管道。

### G.8.3 管道的保冷

下列情况下需对管道进行保冷：

- a) 需减少冷介质在生产或输送过程中的温升或气化(包括突然减压而气化产生结冰)；
- b) 需减少冷介质在生产或输送过程中的冷量损失,或规定允许冷损失量；
- c) 需防止在环境温度下,管道外表面凝露。

## G.9 管道静电接地要求

G.9.1 对爆炸、火灾危险场所内可能产生静电危险的设备和管道,均需采取静电接地措施。

G.9.2 在聚烯烃树脂处理系统、输送系统和料仓区需设置静电接地系统,不可出现不接地的孤立导体。

G.9.3 易燃气体、易燃液体、易燃固体的管道需设静电接地。接地连接点设置原则如下：

- a) 装置区中各个相对独立的建(构)筑物内的管道,可通过与工艺设备金属外壳的连接,进行静电接地；
- b) 管道泵及泵入口永久过滤器、缓冲器等处设置接地连接点；
- c) 易燃液体、液化烃的装卸栈台和码头的管道设置接地连接点；
- d) 管网在进出装置区处、不同爆炸危险环境的边界、管道分岔处的管道需进行接地,对于长距离的无分支管道,需在始端、末端以及每隔 100 m 与接地体可靠连接；
- e) 平行管道净距小于 100 mm 时,需每隔 20 m 加跨接线；当管道交叉且净距小于 100 mm 时,需加跨接线；
- f) 当工艺管道与伴热管之间有隔离块时(防止局部过热和接触腐蚀),伴热管利用金属丝捆扎连接外,尚需使伴热管进汽口及回水口与工艺管道等电位连接,见图 G.1。

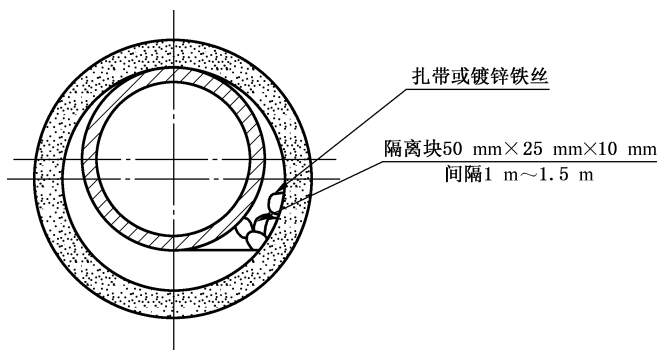


图 G.1 工艺管道与伴热管之间有隔热垫的伴管结构示意图

- g) 对金属管道中间的非导体管段(如聚氯乙烯管),除需做屏蔽保护外,两端的金属管需分别与接地干线相连,或用 6 mm<sup>2</sup> 多股铜芯绝缘电线跨接后接地;
- h) 非导体管段上的金属件需接地。

**G.9.4** 除非另有规定,当金属法兰采用金属的螺栓或卡子紧固时,一般可不必另装静电连接线,但需保证至少有两个螺栓或卡子间具有良好的导电接触面。

**G.9.5** 每组专设的静电接地体,其对地电阻值,一般情况小于 100 Ω。在山区等土壤电阻率较高的场所,其对地电阻值也不大于 1 000 Ω。

**G.9.6** 管道静电接地的设计,尚需满足项目的特殊要求及现行有关标准规范的相关条款。

附 录 H  
(资料性)  
国际通用石油化工阀门标准

表 H.1 所示为常用工业阀门标准与国际通用石油化工阀门标准对照表。表中左列或右列用“—”表示者,其相对的产品标准为各自依据相应通用标准(ASME B16.34,GB/T 12224)制定的阀门标准,无直接对应关系。

表 H.1 常用工业阀门标准与国际通用石油化工阀门标准对照表

| 国内阀门标准                     | 国外阀门标准      |
|----------------------------|-------------|
| 阀门通用标准 基本参数类标准             |             |
| GB/T 12224                 | ASME B16.34 |
| 常用闸阀产品标准                   |             |
| GB/T 12224                 | ASME B16.34 |
| GB/T 12234                 | API 600     |
| GB/T 12224                 | API 603     |
| GB/T 19672                 | API 6D      |
| GB/T 20173                 |             |
| GB/T 8464                  | —           |
| GB/T 12232                 | —           |
| GB/T 24924                 | AWWA C209   |
| JB/T 8691                  | —           |
| JB/T 10673                 | —           |
| 常用截止阀、截止止回阀、升降式止回阀产品标准     |             |
| GB/T 12224                 | ASME B16.34 |
| GB/T 12235                 | API 600     |
|                            | BS 1873     |
| GB/T 12233                 | —           |
| 常用旋启式止回阀、对夹式止回阀、轴流式止回阀产品标准 |             |
| GB/T 12224                 | ASME B16.34 |
| GB/T 12236                 | API 600     |
|                            | BS 1868     |
| GB/T 13932                 | —           |
| GB/T 12236                 | API 594     |
| JB/T 8937                  |             |
| GB/T 21387                 | —           |



表 H.1 常用工业阀门标准与国际通用石油化工阀门标准对照表 (续)

| 国内阀门标准             | 国外阀门标准                   |
|--------------------|--------------------------|
| 常用球阀产品标准           |                          |
| GB/T 12237         | API 608                  |
|                    | BS 5351                  |
| GB/T 19672         | API 6D                   |
| GB/T 21385         | —                        |
| GB/T 26146         | —                        |
| 常用蝶阀产品标准           |                          |
| —                  | API 609                  |
| GB/T 12238         | AWWA C504                |
| GB/T 26144         | —                        |
| JB/T 8527          | —                        |
| 常用旋塞阀产品标准          |                          |
| GB/T 12240         | API 593                  |
| GB/T 22130         | API 599                  |
| JB/T 11152         | —                        |
| 常用低温阀产品标准          |                          |
| GB/T 24925         | BS 6364                  |
| 常用小口径、螺纹、承插端阀门产品标准 |                          |
| GB/T 28776         | API 602                  |
| JB/T 7746          |                          |
| GB/T 8464          | —                        |
| 常用阀门检验、试验标准        |                          |
| GB/T 13927         | ISO 5208                 |
| GB/T 26479         | API 607                  |
|                    | ISO 10497                |
| GB/T 26480         | API 598                  |
| —                  | ASME B16.104(FCI70-2-98) |
| —                  | API 6FA                  |
| —                  | API 6FB                  |
| SY/T 6746          | API 6FC                  |
| GB/T 26482         | API 6FD                  |
| —                  | ISO 15848-1              |
| GB/T 26481         | ISO 15848-2              |
| —                  | API 622                  |

表 H.1 常用工业阀门标准与国际通用石油化工阀门标准对照表（续）

| 国内阀门标准                    | 国外阀门标准                                 |
|---------------------------|----------------------------------------|
| —                         | API 624                                |
| —                         | API 641                                |
| 常用阀门材料检验、试验标准             |                                        |
| JB/T 7927                 | MSS SP55                               |
| JB/T 6440                 | MSS SP54(ASME B16.34 附录 I)             |
| JB/T 6439                 | ASTM E709(ASME B16.34 附录 II)           |
| JB/T 6902                 | ASTM E165(ASME B16.34 附录 III)          |
| JB/T 6903                 | ASTM A388,ASTM A609(ASME B16.34 附录 IV) |
| GB/T 20972.1~GB/T 20972.3 | NACE MR0175                            |
| 注：“—”表示暂无适用标准。            |                                        |

## 附 录 I

(资料性)

## 低泄漏阀门阀杆型式试验及产品检验

本附录表 I.1 列出了低泄漏阀杆型式试验及产品检验技术参数,用户单位或设计单位可参照表 I.2 提出低泄漏阀门的阀杆密封通用技术方法。

表 I.1 低泄漏阀杆型式试验及产品检验技术参数一览表

| 阀门类别 | 低泄漏阀杆型式试验(GB/T 40079)              |                                                 |                                   |                                                                                                                                                                                                         | 低泄漏阀门产品检验<br>(GB/T 26481)                                                                                                                                                     |
|------|------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 试验气体及检漏方法                          | 密封等级及泄漏率                                        | 试验压力                              | 试验条件(机械循环/温度循环次数,温度循环等级)                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                               |
| 切断阀  | 氦 He<br>真空压力法<br>或正压累积法(定量)        | AH, $10^{-5}$<br>[mg/(s·m)], 真空<br>压力法          | 阀门公称<br>压力及相<br>应温度的<br>压力额<br>定值 | CO1, 机械循环 205 次/<br>温度循环 2 次;<br>CO2, 机械循环 1 500 次/<br>温度循环 3 次;<br>CO3, 机械循环 2 500 次/<br>温度循环 4 次;<br>温度循环可选择下列 5 个等级:<br>常温(−29 ℃~+40 ℃);<br>常温~+200 ℃;<br>常温~+400 ℃;<br>常温~−196 ℃;<br>常温~−46 ℃       | 试验压力:0.6 MPa;<br>试验气体:氦气;<br>检漏方法:吸气法;<br>常温, 机械循环 5 次;<br>密封等级及泄漏率:<br>A 级: $\leq 50 \times 10^{-6}$ ;<br>B 级: $\leq 100 \times 10^{-6}$ ;<br>C 级: $\leq 200 \times 10^{-6}$ |
|      |                                    | BH, $10^{-4}$<br>[mg/(s·m)],<br>真空压力法或<br>正压累积法 |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
|      |                                    | CH, $10^{-2}$<br>[mg/(s·m)],<br>真空压力法或<br>正压累积法 |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
|      | 甲烷 CH <sub>4</sub><br>吸气法<br>(半定量) | AM, $\leq 50 \times 10^{-6}$                    |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
|      |                                    | BM, $\leq 100 \times 10^{-6}$                   |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
|      |                                    | CM, $\leq 500 \times 10^{-6}$                   |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
| 调节阀  | 氦 He<br>真空压力法<br>或正压累积法(定量)        | AH, $10^{-5}$<br>[mg/(s·m)],<br>真空压力法           | 阀门公称<br>压力及相<br>应温度的<br>压力额<br>定值 | CC1, 机械循环 20 000 次/<br>温度循环 2 次;<br>CC2, 机械循环 60 000 次/<br>温度循环 3 次;<br>CC3, 机械循环 100 000 次/<br>温度循环 4 次;<br>温度循环可选择下列 5 个等级:<br>常温(−29 ℃~+40 ℃);<br>常温~+200 ℃;<br>常温~+400 ℃;<br>常温~−196 ℃;<br>常温~−46 ℃ | 试验压力:0.6 MPa;<br>试验气体:氦气;<br>检漏方法:吸气法;<br>常温, 机械循环 5 次;<br>密封等级及泄漏率:<br>A 级: $\leq 50 \times 10^{-6}$ ;<br>B 级: $\leq 100 \times 10^{-6}$ ;<br>C 级: $\leq 200 \times 10^{-6}$ |
|      |                                    | BH, $10^{-4}$<br>[mg/(s·m)],<br>真空压力法或正<br>压累积法 |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
|      |                                    | CH, $10^{-2}$<br>[mg/(s·m)],<br>真空压力法或<br>正压累积法 |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
|      | 甲烷 CH <sub>4</sub><br>吸气法<br>(半定量) | AM, $\leq 50 \times 10^{-6}$                    |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
|      |                                    | BM, $\leq 100 \times 10^{-6}$                   |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |
|      |                                    | CM, $\leq 500 \times 10^{-6}$                   |                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |

表 1.2 低泄漏阀门阀杆密封通用技术方法

| 阀门类别                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 阀杆密封类别    | 低泄漏阀杆型式试验<br>(GB/T 40079) | 低泄漏阀门产品检验<br>(GB/T 26481) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| 切断阀                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 填料,升杆     | CO1-CM,或 CH               | C 级                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 填料,1/4 旋转 | CO1-BM,或 BH               | B 级                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 波纹管       | CO1-AM,或 AH               | A 级                       |
| 调节阀                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 填料,升杆     | CC1-CM,或 CH               | C 级                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 填料,1/4 旋转 | CC1-BM,或 BH               | B 级                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 波纹管       | CC1-AM,或 AH               | A 级                       |
| <p>注 1: 试验气体采用氦气与甲烷,两者无对比换算关系,检漏方法采用真空压力法或正压累积法(定量)与吸气法(半定量),两者也无对比换算关系。前者为稀有气体、定量检漏、灵敏度高,但与工作介质及环保法规无直接对应关系;后者为可燃气体,与工作介质及环保法规对应度较好,但对检验测试机构的安全防护要求较高,一般不用于产品检测要求。</p> <p>注 2: 表 1.2 所列为低泄漏阀杆型式试验通用技术方法,用户可根据实际用途选择低泄漏阀杆型式试验的试验条件,包括机械循环/温度循环次数,温度循环等级。通用的温度循环等级为常温~200 ℃或常温~260 ℃。</p> |           |                           |                           |

附 录 J  
(资料性)

标准带颈对焊法兰考虑外加轴向力和弯矩时允许超压值

Class 系列标准的带颈对焊法兰,允许超出法兰压力-温度额定值的外加轴向力和外加弯矩需满足公式(J.1)的要求。

$$P_D = \frac{16M_E + 4F_E G}{\pi G^3} \leq (1 + F_M) P_R \dots\dots\dots (J.1)$$

式中：  
F<sub>E</sub>——外加轴向力,单位为牛顿(N)；  
F<sub>M</sub>——外加弯矩系数,详见表 J.1；  
G ——垫片反力荷载作用处的直径,当垫片基本密封宽度小于或等于 6 mm 时,G 取垫片密封面的平均值;当垫片基本密封宽度大于 6 mm 时,G 取垫片接触面的外径减去 2 倍的垫片有效密封宽度或连接接触面密封宽度,单位为毫米(mm)；  
M<sub>E</sub>——外加弯矩,单位为牛顿毫米(N·mm)；  
P<sub>D</sub>——设计压力,单位为兆帕(MPa)；  
P<sub>R</sub>——设计温度下的法兰压力等级。

表 J.1 外加弯矩系数 F<sub>M</sub>

| 公称尺寸<br>DN | 法兰标准和压力等级               |                         |                         |                         |                           |                           |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
|            | HG/T 20615<br>Class 150 | HG/T 20615<br>Class 300 | HG/T 20615<br>Class 600 | HG/T 20615<br>Class 900 | HG/T 20615<br>Class 1 500 | HG/T 20615<br>Class 2 500 |
| 15         | 23                      | 11.5                    | 5.7                     | 7.1                     | 4.2                       | 2.5                       |
| 20         | 15.3                    | 9.1                     | 4.4                     | 4.3                     | 2.5                       | 1.5                       |
| 25         | 13.9                    | 7.8                     | 3.7                     | 3.9                     | 2.3                       | 1.4                       |
| 40         | 5.5                     | 5.1                     | 2.4                     | 2.7                     | 1.5                       | 1                         |
| 50         | 5.6                     | 4.3                     | 2.1                     | 2.7                     | 1.6                       | 1                         |
| 65         | 4                       | 3.8                     | 1.8                     | 2.4                     | 0.73                      | 0.98                      |
| 80         | 2.5                     | 3                       | 1.4                     | 1.4                     | 1                         | 0.75                      |
| 100        | 3.3                     | 1.8                     | 1.3                     | 1.3                     | 0.84                      | 0.66                      |
| 125        | 3.4                     | 1.1                     | 1.1                     | 1.1                     | 0.75                      | 0.64                      |
| 150        | 2.3                     | 1.2                     | 1.2                     | 1                       | 0.66                      | 0.59                      |
| 200        | 1.2                     | 0.94                    | 0.85                    | 0.8                     | 0.54                      | 0.57                      |
| 250        | 1.9                     | 1.2                     | 1                       | 0.59                    | 0.47                      | 0.64                      |
| 300        | 1.2                     | 1.1                     | 0.84                    | 0.61                    | 0.53                      | 0.5                       |
| 350        | 1.4                     | 1.2                     | 0.9                     | 0.54                    | 0.6                       | —                         |
| 400        | 1.4                     | 1.1                     | 0.79                    | 0.41                    | 0.52                      | —                         |
| 450        | 1.4                     | 0.98                    | 0.66                    | 0.46                    | 0.44                      | —                         |
| 500        | 1.5                     | 0.72                    | 0.65                    | 0.32                    | 0.42                      | —                         |
| 600        | 1.3                     | 0.78                    | 0.51                    | 0.37                    | 0.38                      | —                         |

表 J.1 外加弯矩系数  $F_M$ (续)

| 公称尺寸<br>DN | 法兰标准和压力等级                |                          |                          |                          |                            |                            |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
|            | HG/T 20623A<br>Class 150 | HG/T 20623A<br>Class 300 | HG/T 20623A<br>Class 600 | HG/T 20623A<br>Class 900 | HG/T 20623A<br>Class 1 500 | HG/T 20623A<br>Class 2 500 |
| 650        | 90                       | 0.5                      | 0.33                     | 0.34                     | —                          | —                          |
| 700        | 0.85                     | 0.42                     | 0.28                     | 0.38                     | —                          | —                          |
| 750        | 0.74                     | 0.43                     | 0.22                     | 0.26                     | —                          | —                          |
| 800        | 1.1                      | 0.44                     | 0.21                     | 0.29                     | —                          | —                          |
| 850        | 1.1                      | 0.49                     | 0.25                     | 0.32                     | —                          | —                          |
| 900        | 0.9                      | 0.5                      | 0.22                     | 0.23                     | —                          | —                          |
| 950        | 0.76                     | 0.25                     | 0.2                      | 0.21                     | —                          | —                          |
| 1 000      | 0.79                     | 0.29                     | 0.22                     | 0.16                     | —                          | —                          |
| 1 050      | 0.72                     | 0.22                     | 0.2                      | 0.2                      | —                          | —                          |
| 1 100      | 0.66                     | 0.24                     | 0.23                     | 0.13                     | —                          | —                          |
| 1 150      | 0.62                     | 0.21                     | 0.17                     | 0.15                     | —                          | —                          |
| 1 200      | 0.64                     | 0.23                     | 0.15                     | 0.1                      | —                          | —                          |
| 1 250      | 0.92                     | 0.25                     | 0.14                     | —                        | —                          | —                          |
| 1 300      | 0.82                     | 0.2                      | 0.18                     | —                        | —                          | —                          |
| 1 350      | 0.72                     | 0.22                     | 0.13                     | —                        | —                          | —                          |
| 1 400      | 0.75                     | 0.17                     | 0.2                      | —                        | —                          | —                          |
| 1 450      | 0.66                     | 0.18                     | 0.14                     | —                        | —                          | —                          |
| 1 500      | 0.68                     | 0.16                     | 0.11                     | —                        | —                          | —                          |
| 公称尺寸<br>DN | 法兰标准和压力等级                |                          |                          |                          |                            |                            |
|            | HG/T 20623B<br>Class 150 | HG/T 20623B<br>Class 300 | HG/T 20623B<br>Class 600 | HG/T 20623B<br>Class 900 | HG/T 20623B<br>Class 1 500 | HG/T 20623B<br>Class 2 500 |
| 650        | 0.47                     | 0.55                     | 0.16                     | 0.14                     | —                          | —                          |
| 700        | 0.44                     | 0.53                     | 0.2                      | 0.18                     | —                          | —                          |
| 750        | 0.35                     | 0.57                     | 0.15                     | 0.22                     | —                          | —                          |
| 800        | 0.37                     | 0.55                     | 0.16                     | 0.13                     | —                          | —                          |
| 850        | 0.36                     | 0.46                     | 0.14                     | 0.16                     | —                          | —                          |
| 900        | 0.36                     | 0.43                     | 0.18                     | 0.15                     | —                          | —                          |
| 950        | 0.42                     | 0.29                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 000      | 0.41                     | 0.25                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 050      | 0.41                     | 0.22                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 100      | 0.39                     | 0.2                      | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 150      | 0.29                     | 0.16                     | —                        | —                        | —                          | —                          |

表 J.1 外加弯矩系数  $F_M$  (续)

| 公称尺寸<br>DN                                                      | 法兰标准和压力等级                |                          |                          |                          |                            |                            |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                                                 | HG/T 20623B<br>Class 150 | HG/T 20623B<br>Class 300 | HG/T 20623B<br>Class 600 | HG/T 20623B<br>Class 900 | HG/T 20623B<br>Class 1 500 | HG/T 20623B<br>Class 2 500 |
| 1 200                                                           | 0.3                      | 0.27                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 250                                                           | 0.3                      | 0.11                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 300                                                           | 0.28                     | 0.11                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 350                                                           | 0.21                     | 0.25                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 400                                                           | 0.23                     | 0.12                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 450                                                           | 0.12                     | 0.09                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 1 500                                                           | 0.13                     | 0.03                     | —                        | —                        | —                          | —                          |
| 如果外加荷载为持久荷载,且工作温度高于垫片的松弛温度(一般金属温度在 230 ℃ 以上),设计者应考虑降低 $F_M$ 允许值 |                          |                          |                          |                          |                            |                            |
| 注:“—”表示暂无适用数据。                                                  |                          |                          |                          |                          |                            |                            |

## 附录 K

(资料性)

## 支管直接焊于主管的补强计算示例

下面给出了支管直接焊于主管的补强计算示例。

**示例 1:** 在真空下操作的某管道, 外径  $D=508$  mm, 壁厚  $T=6.3$  mm, 两连接法兰之间的距离  $L=15\,000$  mm, 材料为 20 号无缝钢管, 取腐蚀裕量  $C_2=1$  mm, 在常温下操作。试问所选壁厚是否合适?

解: 因  $L/D = \frac{15\,000}{508} = 29.5$ ,  $D/T_e = \frac{508}{6.3-1} = 95.8$ , 故可由公式(2)直接计算许用外压:

$$[P] = \frac{2.2}{3} E \left( \frac{T_e}{D} \right)^3 = \frac{2.2}{3} \times 2.03 \times 10^5 \left( \frac{6.3-1}{508} \right)^3 = 0.169 (\text{MPa})$$

其中, 由表 C.2 查得,  $t=20$  °C 时  $E=2.03 \times 10^5$  MPa。

故所选壁厚合适。

**示例 2:** 在真空下操作的某管道, 从连接法兰到异径管连接线的大端直管外径为  $D=508$  mm, 壁厚  $T=6.3$  mm, 大端直管长 6 000 mm; 从异径管小端连接线到小端直管连接法兰的长度为 6 000 mm, 小端直管外径  $D=324$  mm, 壁厚  $T=4$  mm, 与大、小直管焊接相连的异径管壁厚  $T=6.3$  mm, 异径管的轴向长度为 508 mm, 直管材料都为 20 号无缝钢管, 异径管系由 Q235-B 钢板卷制, 取腐蚀裕量  $C_2=1$  mm, 在常温下操作。试问大端直管、小端直管、异径管的所选壁厚是否合适?

解: 据 6.6.1.1、6.6.1.3, 包括异径管在内的真空管道计算长度:

$$L = 6\,000 + 508 + 6\,000 = 12\,508 (\text{mm})$$

对于大端直管,  $L/D = \frac{12\,508}{508} = 24.6$ ,  $D/T_e = \frac{508}{6.3-1} = 95.8$

对于小端直管,  $L/D = \frac{12\,508}{324} = 38.6$ ,  $D/T_e = \frac{324}{4-1} = 108$

对于大端直管, 据 GB/T 150.3—2024 中图 6-2, 可由  $L/D=24.6$ ,  $D/T_e=95.8$  得  $A=0.000\,12$ , 并据表 C.2,  $t=20$  °C 时得  $E=2.03 \times 10^5$  MPa, 因此, 大端直管的许用外压:

$$[P] = \frac{2AE}{3(D/T_e)} = \frac{2 \times 0.000\,12 \times 2.03 \times 10^5}{3 \times 95.8} = 0.169 (\text{MPa})$$

对于小端直管, 和大端直管相同, 可由  $L/D=38.6$ ,  $D/T_e=108$  得  $A=0.000\,10$ , 并由  $E=2.03 \times 10^5$  MPa, 故小端直管的许用外压:

$$[P] = \frac{2AE}{3(D/T_e)} = \frac{2 \times 0.000\,10 \times 2.03 \times 10^5}{3 \times 108} = 0.125 (\text{MPa})$$

因异径管等于大端直管厚度, 故可得和大端直管相同的许用外压。

由上计算可知, 大端、小端直管以及异径管在所选厚度时都能满足所受真空要求。

**示例 3:** 外径  $D_h=219$  mm、壁厚  $\bar{T}_h=8$  mm 的油品主管上有一垂直支管, 支管外径  $D_b=114$  mm, 壁厚  $\bar{T}_b=6.3$  mm, 主管和支管材料都是 15CrMo 无缝钢管, 见图 K.1, 设计压力  $P=2$  MPa, 设计温度  $t=200$  °C, 接管处填角焊缝符合 7.4.8 和图 23 a) 规定的最小尺寸要求, 取腐蚀裕量  $C_2=2.5$  mm。试问该管件是否需要另加补强?



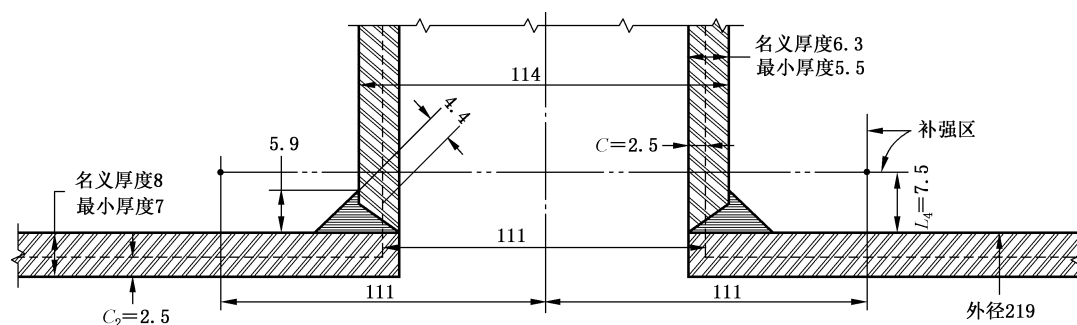


图 K.1 例 3 的附图

解：由表 B.1,  $S=120$  MPa; 由表 B.3,  $\Phi=1.0$

$$T_h = 0.875 \bar{T}_h = 0.875 \times 8 = 7 \text{ (mm)}$$

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 6.3 = 5.5 \text{ (mm)}$$

$$t_h = \frac{P D_h}{2(S\Phi + PY)} = \frac{2 \times 219}{2 \times (120 \times 1.0 + 2 \times 0.4)} = 1.81 \text{ (mm)}$$

$$t_b = \frac{P D_b}{2(S\Phi + PY)} = \frac{2 \times 114}{2 \times (120 \times 1.0 + 2 \times 0.4)} = 0.94 \text{ (mm)}$$

$t_h$ 、 $t_b$  式中的  $Y$  值据表 27,  $Y=0.4$ 。

由 6.6.6.1:

$$d_1 = (D_b - 2 T_{eb}) / \sin \beta = [114 - 2(5.5 - 2.5)] / \sin 90^\circ = 108 \text{ (mm)}$$

$d_2$  取下列两式中的较大值:

$$d_2 = d_1 = 108 \text{ (mm)}$$

$$d_2 = T_{eb} + T_{eh} + \frac{d_1}{2} = (5.5 - 2.5) + (7 - 2.5) + \frac{108}{2} = 61.5 \text{ (mm)}$$

故  $d_2 = 108 \text{ (mm)}$ 。

$L_4$  取下列两式中的较小值:

$$L_4 = 2.5 T_{eb} = 2.5 \times (7 - 2.5) = 11.25 \text{ (mm)}$$

$$L_4 = 2.5 T_{eh} = 2.5 \times (5.5 - 2.5) = 7.5 \text{ (mm)}$$

故  $L_4 = 7.5 \text{ (mm)}$ 。

由图 K.1, 焊缝厚度  $t_c$  取下列两式中的较小值:

$$t_c = 0.7 \bar{T}_b = 0.7 \times 6.3 = 4.4 \text{ (mm)}$$

$$t_c = 6.4 \text{ (mm)}$$

故  $t_c = 4.4 \text{ (mm)}$ 。

由公式(15), 所需补强面积:

$$A_1 = t_h d_1 (2 - \sin \beta) = 1.81 \times 108 (2 - \sin 90^\circ) = 195.48 \text{ (mm}^2\text{)}$$

由公式(17), 主管的多余截面积:

$$A_2 = (2 d_2 - d_1) (T_{eh} - t_h) = (2 \times 108 - 108) \times (7 - 2.5 - 1.81) = 290.52 \text{ (mm}^2\text{)}$$

由公式(18), 支管的多余截面积:

$$A_3 = 2 L_4 (T_{eb} - t_b) / \sin \beta = 2 \times 7.5 (5.5 - 2.5 - 0.94) / \sin 90^\circ = 26.4 \text{ (mm}^2\text{)}$$

焊缝截面积:

$$A_5 = 2 \times 0.5 \left( \frac{t_c}{0.707} \right)^2 = 2 \times 0.5 \left( \frac{4.4}{0.707} \right)^2 = 38.73 \text{ (mm}^2\text{)}$$

由公式(21), 总的补强面积:

$$A_2 + A_3 + A_5 = 290.52 + 26.4 + 38.73 = 355.65 \text{ (mm}^2\text{)} > 195.48 \text{ (mm}^2\text{)} = A_1$$

因此, 该接管开孔已满足补强要求, 不需另加补强。

示例 4: 外径  $D_h = 324$  mm、壁厚  $\bar{T}_h = 17.5$  mm 的主管上有一垂直支管, 支管外径  $D_b = 219$  mm, 壁厚  $\bar{T}_b =$

12.5 mm,主管和支管材料都是 ASTM B241 6061-T6 无缝铝合金管,在连接处用从 ASTM B241 6063-T6 无缝铝管上切取的  $D_r=350$  mm、 $T_r=17.5$  mm 的补强圈,见图 K.2。设计温度  $t=-196$  °C,填角焊缝符合图 23 c) 的最小尺寸要求,规定取腐蚀裕量  $C_2=0$ 。试问该管件的最大允许设计内压为多少?

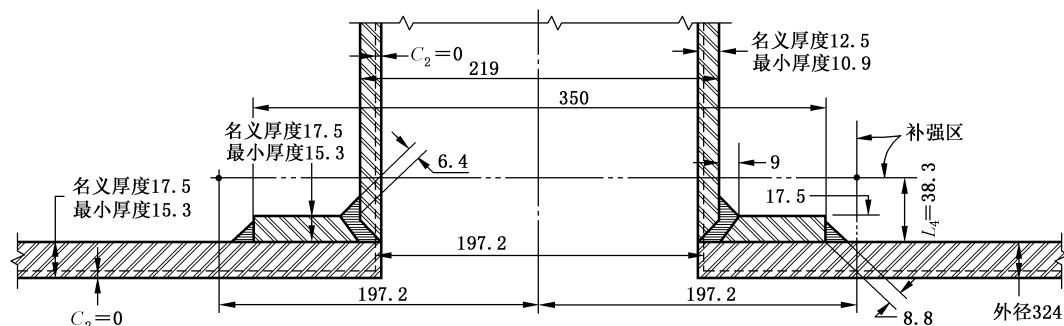


图 K.2 例 4 的附图

解:由表 B.1,对于主管和支管, $S=55\text{ MPa}$ ,对补强圈, $S=55\text{ MPa}$ ;由表 B.3, $\Phi=1.0$ 。

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 17.5 = 15.3 (\text{mm})$$

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 12.5 = 10.9 (\text{mm})$$

$$t_h = \frac{PD_h}{2(S\Phi + PY)} = \frac{324P}{2(55 \times 1 + 0.4P)}$$

$$t_b = \frac{PD_b}{2(S\Phi + PY)} = \frac{219P}{2(55 \times 1 + 0.4P)}$$

$t_h$ 、 $t_b$  式中的  $Y$  值据表 27,  $Y=0.4$ 。

采用符号  $q = \frac{P}{110 + 0.8P}$ , 则可得:

$$t_h = 324q$$

$$t_b = 219q$$

由 6.6.7.1:

$$d_1 = (D_b - 2T_{eb}) / \sin\beta = (219 - 2 \times 10.9) / \sin 90^\circ = 197.2 (\text{mm})$$

$d_2$ 取下列两式中的较大值:

$$d_2 = d_1 = 197.2(\text{mm})$$

$$d_2 = T_{\text{eb}} + T_{\text{eh}} + \frac{d_1}{2} = 10.9 + 15.3 + \frac{197.2}{2} = 124.8 (\text{mm})$$

故  $d_2 = 197.2(\text{mm})$ 。

$L_4$  取下列两式中的较小值:

$$L_4 = 2.5 T_{\text{eb}} = 2.5 \times 15.3 = 38.3 (\text{mm})$$

$$L_4 = 2.5T_{\text{eb}} + T = 2.5 \times 10.9 + 15.3 = 42.6 (\text{mm})$$

故  $L_4 = 38.3(\text{mm})$ 。

由图 K.2, 支管对主管的焊缝厚度  $t_c$  取下列两式中的较小值:

$$t_c = 0.7 \bar{T}_b = 0.7 \times 12.5 = 8.8 (\text{mm})$$

$$t_c = 6.4(\text{mm})$$

故  $t_c = 6.4(\text{mm})$ 。

补强圈对主管的焊缝厚度  $t_c = 0.5T_r = 0.5 \times 17.5 = 8.8(\text{mm})$ 。

由公式(15),所需补强面积:

$$A_1 = t_b d_1 (2 - \sin \beta) = 324g \times 197.2 (2 - \sin 90^\circ) = 63\,892.8g (\text{mm}^2)$$

由公式(17),主管的多余截面积:

$$A_2 = (2d_2 - d_1)(T_{eb} - t_b) = 197.2(15.3 - 324q) = 3\,017.2 - 63\,892.8q \text{ (mm}^2\text{)}$$

由公式(18),支管的多余截面积:

$$A_3 = 2L_4(T_{\text{eb}} - t_b)/\sin\beta = 2 \times 38.3(10.9 - 219q) = 834.9 - 16\,775.4q(\text{mm}^2),$$

补强圈截面面积取公式(19)、公式(20)中的较小值:

$$A_4 = \left(D_r - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) \times 0.875T_r = \left(350 - \frac{219}{\sin 90^\circ}\right) \times 0.875 \times 17.5 = 2\,006(\text{mm}^2)$$

$$A_4 = \left(2d_2 - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) \times 0.875T_r = \left(2 \times 197.2 - \frac{219}{\sin 90^\circ}\right) \times 0.875 \times 17.5 = 2\,686(\text{mm}^2)$$

故  $A_4 = 2\,006(\text{mm}^2)$ 。

焊缝截面积:

$$A_5 = 2 \times 0.5 \left(\frac{t_c}{0.707}\right)^2 + 2 \times 0.5 \left(\frac{t_c}{0.707}\right)^2 = \left(\frac{6.4}{0.707}\right)^2 + \left(\frac{8.8}{0.707}\right)^2 = 236.9(\text{mm}^2)$$

由公式(21),由  $A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = A_1$  可得:

$$(3\,017.2 - 63\,892.8q) + (834.9 - 16\,775.4q) + 2\,006 + 236.9 = 63\,892.8q$$

可解得  $q = 0.042$ , 以此代入符号  $q$  的表示式, 可解得:

最大允许设计内压  $P = 4.78\text{ MPa}$ 。

**示例 5:** 外径  $D_b = 406\text{ mm}$ 、壁厚  $\bar{T}_b = 12.5\text{ mm}$  的油品主管上有一沿主管  $60^\circ$  轴向倾斜的支管, 支管外径  $D_b = 168\text{ mm}$ 、壁厚  $\bar{T}_b = 7.1\text{ mm}$ , 材料都为 15CrMo 无缝管, 在连接处用 16MnR 板材所制的  $D_r = 300\text{ mm}$ 、 $T_r = 12\text{ mm}$  的补强圈, 见图 K.3。设计温度  $t = 370^\circ\text{C}$ , 设计压力  $P = 3.5\text{ MPa}$ , 支管对主管、补强圈对主管的填角焊缝焊脚尺寸都是  $9\text{ mm}$ , 规定取腐蚀裕量  $C_2 = 2.5\text{ mm}$ , 试问该管件是否满足补强设计?

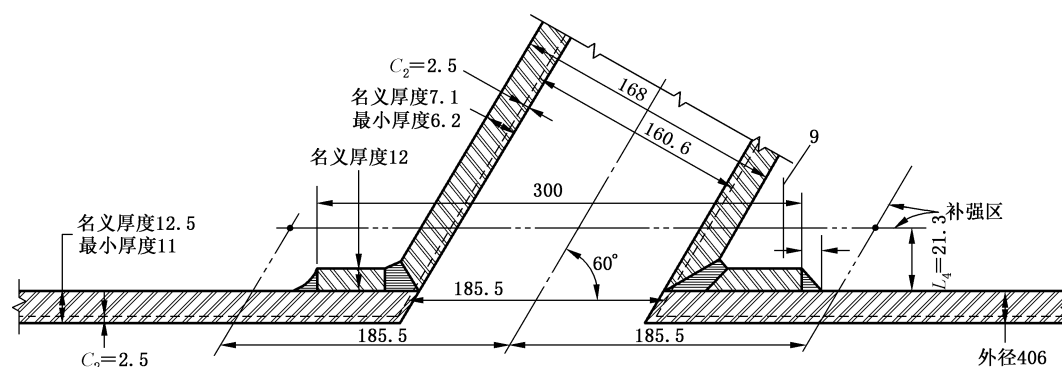


图 K.3 例 5 的附图

解: 由表 B.1, 对主管和支管,  $S = 109\text{ MPa}$ , 对补强圈,  $S = 117\text{ MPa}$ , 据本部分 6.6.7.2.3 b) 的规定, 在计算补强圈面积  $A_4$  时可不予关注。

由表 B.3 查得,  $\Phi = 1.0$

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 12.5 = 11(\text{mm})$$

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 7.1 = 6.2(\text{mm})$$

$$t_b = \frac{PD_b}{2(S\Phi + PY)} = \frac{3.5 \times 406}{2(109 \times 1 + 3.5 \times 0.4)} = 6.4(\text{mm})$$

$$t_b = \frac{PD_b}{2(S\Phi + PY)} = \frac{3.5 \times 168}{2(109 \times 1 + 3.5 \times 0.4)} = 2.7(\text{mm})$$

$t_b$ 、 $t_b$  式中的  $Y$  值据表 27,  $Y = 0.4$ 。

由 6.6.7.1:

$$d_1 = (D_b - 2T_{\text{eb}})/\sin\beta = [168 - 2(6.2 - 2.5)]/\sin 60^\circ = 185.5(\text{mm})$$

$d_2$  取下列两式中的较大值:

$$d_2 = d_1 = 185.5(\text{mm})$$

$$d_2 = T_{\text{eb}} + T_{\text{eb}} + \frac{d_1}{2} = (6.2 - 2.5) + (11 - 2.5) + 185.5/2 = 105(\text{mm})$$

故  $d_2 = 185.5(\text{mm})$ 。

$L_4$  取下列两式中的较小值:

$$L_4 = 2.5 T_{eh} = 2.5(11 - 2.5) = 21.3(\text{mm})$$

$$L_4 = 2.5 T_{eb} + T_r = 2.5(6.2 - 2.5) + 12 = 21.3(\text{mm})$$

故  $L_4 = 21.3(\text{mm})$ 。

由公式(15), 所需补强面积  $A_1 = t_h d_1 (2 - \sin\beta) = 6.4 \times 185.5 (2 - \sin 60^\circ) = 1\,346.8(\text{mm}^2)$ 。

由公式(17), 主管的多余截面积  $A_2 = (2d_2 - d_1)(T_{eh} - t_h) = 185.5(8.6 - 6.4) = 408.1(\text{mm}^2)$ 。

由公式(18), 支管的多余截面积:

$$A_3 = 2L_4(T_{eb} - t_b)/\sin\beta = 2 \times 21.3(3.7 - 2.7)/\sin 60^\circ = 49.3(\text{mm}^2)$$

补强圈截面取公式(19)、公式(20)中的较小值:

$$A_4 = \left(D_r - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) T_r = \left(300 - \frac{168}{\sin 60^\circ}\right) \times 12 = 1\,272.1(\text{mm}^2)$$

$$A_4 = \left(2d_2 - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) T_r = \left(2 \times 185.5 - \frac{168}{\sin 60^\circ}\right) \times 12 = 2\,124.1(\text{mm}^2)$$

故  $A_4 = 1\,272.1(\text{mm}^2)$ 。

焊缝截面积  $A_5 = 4 \times 0.5 \times 9^2 = 162(\text{mm}^2)$

由公式(21), 总的补强面积:

$$A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 408.1 + 49.3 + 1\,272.1 + 162 = 1\,891.8(\text{mm}^2) > 1\,346.8(\text{mm}^2) = A_1$$

因此, 该管件满足补强设计。

**示例 6:** 外径  $D_h = 219$  mm、壁厚  $\bar{T}_h = 8$  mm 的主管上有一垂直支管, 支管外径  $D_b = 114$  mm、壁厚  $\bar{T}_b = 6.3$  mm, 主管和支管都是 15CrMo 无缝管, 见图 K.4。设计压力  $P = 2.5$  MPa,  $t = 200$  °C, 假设包括主管和支管在内的管系在服役寿命期内所有除承受压力所需之外的多余厚度全部腐蚀殆尽(其中对主管取  $C_2 = 4.8$  mm, 对支管取  $C_2 = 3.8$  mm), 即按公式(19)、公式(20)算得的  $A_2 = A_3 = 0$ 。试问该管件要求多厚的补强圈?

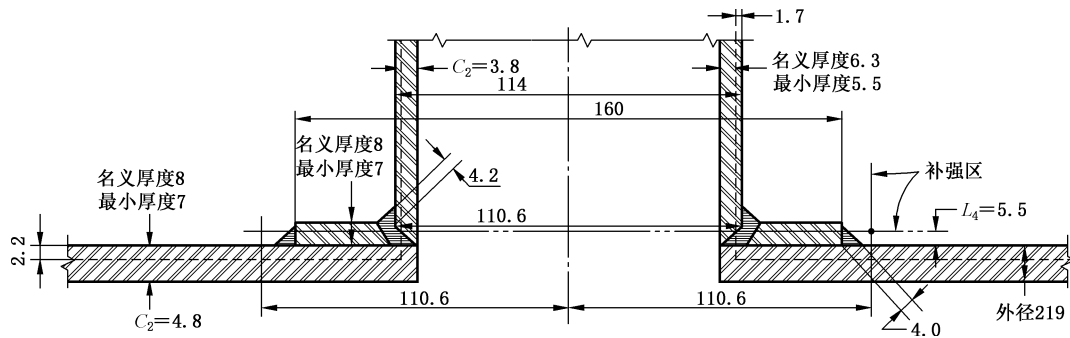


图 K.4 例 6 的附图

解: 由表 B.1 查得,  $S = 121$  MPa, 由表 B.3, 查得  $\Phi = 1.0$ 。

$$T_h = 0.875 \bar{T}_h = 0.875 \times 8 = 7(\text{mm})$$

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 6.3 = 5.5(\text{mm})$$

$$t_h = \frac{PD_h}{2(S\Phi + PY)} = \frac{2.5 \times 219}{2 \times (121 \times 1 + 2.5 \times 0.4)} = 2.2(\text{mm})$$

$$t_b = \frac{PD_b}{2(S\Phi + PY)} = \frac{2.5 \times 114}{2 \times (121 \times 1 + 2.5 \times 0.4)} = 1.2(\text{mm})$$

$t_h$ 、 $t_b$  式中的  $Y$  值据表 27,  $Y = 0.4$ 。

由 6.6.7.1:

$$d_1 = (D_b - 2T_{eb})/\sin\beta = [114 - 2(5.5 - 3.8)]/\sin 90^\circ = 110.6(\text{mm})$$

$d_2$  取下列两式中的较大值:

$$d_2 = d_1 = 110.6(\text{mm})$$

$$d_2 = T_{eb} + T_{eh} + \frac{d_1}{2} = (5.5 - 3.8) + (7 - 4.8) + \frac{110.6}{2} = 59.2(\text{mm})$$

故  $d_2 = 110.6(\text{mm})$ 。

$L_4$  取下列两式中的较小值:

$$L_4 = 2.5 T_{eh} = 2.5 \times (7 - 4.8) = 5.5 (\text{mm})$$

$$L_4 = 2.5 T_{eb} = 2.5 \times (5.5 - 3.8) = 4.3 (\text{mm})$$

故  $L_4 = 4.3 (\text{mm})$ 。

初定  $L_4$  值时,暂未考虑设置补强圈。

试取补强圈直径  $D_r = 160 \text{ mm}$ ,并假设该补强圈是由主管材料切割制成。

$$\text{故 } T_r = T_h = 0.875 \bar{T}_h = 0.875 \times 8 = 7 (\text{mm})。$$

由于考虑了设置补强圈,故重新确定补强区高度  $L_4$ ,  $L_4$  取下列两式中的较小值:

$$L_4 = 2.5 T_{eh} = 2.5 \times (7 - 4.8) = 5.5 (\text{mm})$$

$$L_4 = 2.5 T_{eb} + T_r = 2.5 \times (5.5 - 3.8) + 7 = 11.3 (\text{mm})$$

故  $L_4 = 5.5 (\text{mm})$ 。

由于  $T_r = 7 \text{ mm}$ ,而  $L_4 = 5.5 \text{ mm}$ ,所以计算补强圈截面积时其厚度只能按  $L_4$  计算。

由公式(15),所需补强面积  $A_1 = t_h d_1 (2 - \sin \beta) = 2.2 \times 110.6 = 243.3 (\text{mm}^2)$ 。

由公式(19)、公式(20),补强圈截面积取该两式中的较小值:

$$A_4 = \left( D_r - \frac{D_b}{\sin \beta} \right) L_4 = \left( 160 - \frac{114}{\sin 90^\circ} \right) \times 5.5 = 253 (\text{mm}^2)$$

$$A_4 = \left( 2d_2 - \frac{D_b}{\sin \beta} \right) L_4 = \left( 2 \times 110.6 - \frac{114}{\sin 90^\circ} \right) \times 5.5 = 589.6 (\text{mm}^2)$$

故  $A_4 = 253 (\text{mm}^2)$ 。

由于  $L_4 < T_r$ ,所以在计算焊缝面积  $A_5$  时,只计及补强圈对主管的连接焊缝,而不计及支管对主管的连接焊缝。

焊脚尺寸为:

$$\frac{0.5 T_r}{0.707} = \frac{0.5 \times 8}{0.707} = 5.7 (\text{mm})$$

焊缝截面积:

$$A_5 = 2 \times 0.5 \times 5.7^2 = 32.5 (\text{mm}^2)$$

$$A_4 + A_5 = 253 + 32.5 = 285.5 (\text{mm}^2) > 243.3 (\text{mm}^2) = A_1$$

由此,设置由  $D_b = 219 \text{ mm}$ 、 $\bar{T}_h = 8 \text{ mm}$  无缝主管上切割制成的补强圈是能够满足本管件的补强要求的。

**示例 7:** 外径  $D_b = 219 \text{ mm}$ 、壁厚  $\bar{T}_h = 8 \text{ mm}$  的油品主管上有一垂直锻制承插焊管接头,  $D_b = 38 \text{ mm}$ , Sch80, 支管的焊缝都符合图 23 的焊缝尺寸要求,主管材料为 20 号无缝钢管,设计压力  $P = 2.8 \text{ MPa}$ ,  $t = 230 \text{ }^\circ\text{C}$ ,规定取腐蚀裕量  $C_2 = 2.5 \text{ mm}$ 。试问此管件是否需要附加补强?

**解:** 在主管和支管按内压计算能满足强度的前提下,对此承插焊管接头,按照 6.6.7.3 不需补强的条件 a),不必进行补强计算,也不必采用补强。

## 附 录 L

(资料性)

## 压力面积法补强计算

## L.1 符号

下列符号适用于本附录：

$A_s$  ——补强范围内三通纵断面上的承载面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );

$A_p$  ——补强范围内三通纵断面上的承压面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );

$D_b$  ——三通支管外直径,单位为毫米(mm);

$D_h$  ——三通主管外直径,单位为毫米(mm);

$L_4$  ——三通主管外侧补强范围高度, $L_4 = \sqrt{(D_b - T_{eb})T_{eb}}$ ,单位为毫米(mm);

$L_6$  ——三通主管外侧补强范围宽度, $L_6 = \sqrt{(D_h - T_{eh})T_{eh}}$ ,单位为毫米(mm);

$P$  ——设计压力,单位为兆帕(MPa);

$S$  ——设计温度下三通材料的许用应力,单位为兆帕(MPa);

$T_{eb}$  ——支管有效厚度,单位为毫米(mm);

$T_{eh}$  ——主管有效厚度,单位为毫米(mm)。

## L.2 补强计算

整体成型三通的补强计算的步骤如下,其他异形组件的开孔补强计算也可参照压力面积法进行补强计算(参见 EN 13480.3):

a) 参照图 L.1 画出三通纵断面图,求出承压面积  $A_p$  和承载面积  $A_s$ 。

b) 强度条件需符合公式(L.1)的要求:

$$S \geq P \left( \frac{A_p}{A_s} + \frac{1}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (L.1)$$

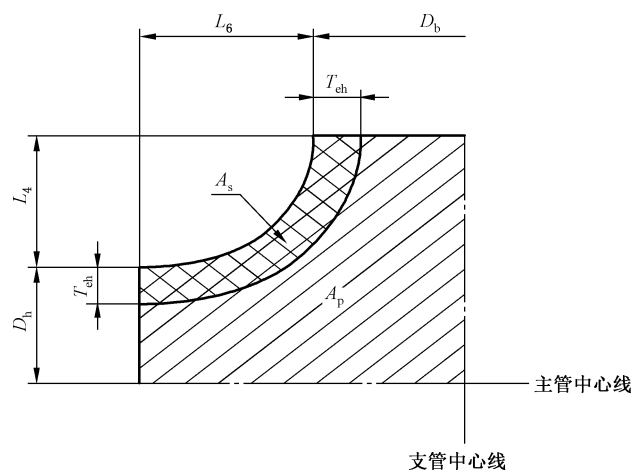


图 L.1 三通补强计算示意图

## L.3 支管连接的面积法

支管连接的基本型式以相邻接管、斜接支管、横向支管、偏置支管、Y型三通等其他异型组件的补强计算可参见 EN 13480.3。

附 录 M  
(规范性)  
柔性系数和应力增大系数

M.1 表 M.1 列出了管道组件及其连接接头的柔性系数和应力增大系数。

表 M.1 柔性系数和应力增大系数

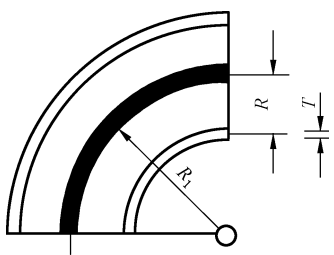
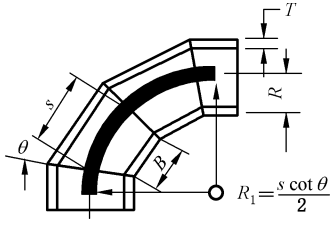
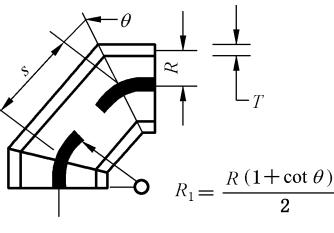
| 名称                                               |            | 计算公式                     | 简图                                                                                    |
|--------------------------------------------------|------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 第 1 项:对焊弯头或弯管 <sup>a,c,d,e</sup>                 |            |                          |                                                                                       |
| 尺寸系数 $h$                                         |            | $TR_1/R^2$               |    |
| 柔性系数                                             | 平面内, $k_i$ | $1.65/h$                 |                                                                                       |
|                                                  | 平面外, $k_o$ | $1.65/h$                 |                                                                                       |
| 应力增大系数                                           | 平面内, $i_i$ | $0.9/h^{2/3}$            |                                                                                       |
|                                                  | 平面外, $i_o$ | $0.75/h^{2/3}$           |                                                                                       |
|                                                  | 扭转, $i_t$  | 1                        |                                                                                       |
| 第 2 项:窄间距斜接弯头 $[s < R(1 + \tan\theta)]^a,c,e$    |            |                          |                                                                                       |
| 尺寸系数 $h$                                         |            | $sT \cot\theta/(2R^2)$   |  |
| 柔性系数                                             | 平面内, $k_i$ | $1.52/h^{5/6}$           |                                                                                       |
|                                                  | 平面外, $k_o$ | $1.52/h^{5/6}$           |                                                                                       |
| 应力增大系数                                           | 平面内, $i_i$ | $0.9/h^{2/3}$            |                                                                                       |
|                                                  | 平面外, $i_o$ | $0.9/h^{2/3}$            |                                                                                       |
|                                                  | 扭转, $i_t$  | 1                        |                                                                                       |
| 第 3 项:宽间距斜接弯头 $[s \geq R(1 + \tan\theta)]^a,e,f$ |            |                          |                                                                                       |
| 尺寸系数 $h$                                         |            | $T(1 + \cot\theta)/(2R)$ |  |
| 柔性系数                                             | 平面内, $k_i$ | $1.52/h^{5/6}$           |                                                                                       |
|                                                  | 平面外, $k_o$ | $1.52/h^{5/6}$           |                                                                                       |
| 应力增大系数                                           | 平面内, $i_i$ | $0.9/h^{2/3}$            |                                                                                       |
|                                                  | 平面外, $i_o$ | $0.9/h^{2/3}$            |                                                                                       |
|                                                  | 扭转, $i_t$  | 1                        |                                                                                       |

表 M.1 柔性系数和应力增大系数 (续)

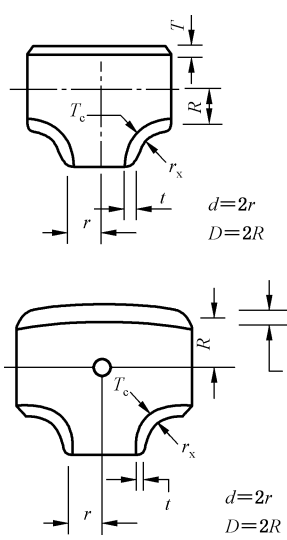
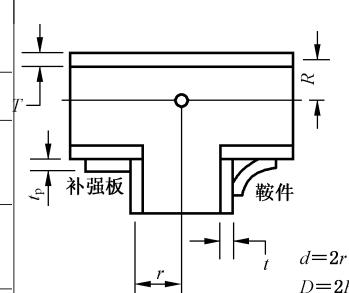
| 名称                                                        |               | 计算公式                                                                                                     | 简图                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 第 4 项:标准对焊三通(GB/T 12459) <sup>b,g,h</sup>                 |               |                                                                                                          |                                                                                       |
| 主管柔性系数                                                    | 平面内, $k_{ir}$ | $0.18(R/T)^{0.8}(d/D)^5$                                                                                 |   |
|                                                           | 平面外, $k_{or}$ | 1                                                                                                        |                                                                                       |
|                                                           | 扭转, $k_{tr}$  | $0.08(R/T)^{0.91}(d/D)^{5.7}$                                                                            |                                                                                       |
| 支管柔性系数                                                    | 平面内, $k_{ib}$ | $[1.91(d/D)-4.32(d/D)^2+2.7(d/D)^3](R/T)^{0.77}(d/D)^{0.47}(t/T)$                                        |                                                                                       |
|                                                           | 平面外, $k_{ob}$ | $[0.34(d/D)-0.49(d/D)^2+0.18(d/D)^3](R/T)^{1.46}(t/T)$                                                   |                                                                                       |
|                                                           | 扭转, $k_{tb}$  | $[1.08(d/D)-2.44(d/D)^2+1.52(d/D)^3](R/T)^{0.77}(d/D)^{1.61}(t/T)$                                       |                                                                                       |
| 主管应力增大系数                                                  | 平面内, $i_{ir}$ | $0.98(R/T)^{0.35}(d/D)^{0.72}(t/T)^{-0.52}$                                                              |                                                                                       |
|                                                           | 平面外, $i_{or}$ | $0.61(R/T)^{0.29}(d/D)^{1.95}(t/T)^{-0.53}$                                                              |                                                                                       |
|                                                           | 扭转, $i_{tr}$  | $0.34(R/T)^{2/3}(d/D)(t/T)^{-0.5}$                                                                       |                                                                                       |
| 支管应力增大系数                                                  | 平面内, $i_{ib}$ | $0.33(R/T)^{2/3}(d/D)^{0.18}(t/T)^{0.7}$                                                                 |                                                                                       |
|                                                           | 平面外, $i_{ob}$ | $0.42(R/T)^{2/3}(d/D)^{0.37}(t/T)^{0.37}$                                                                |                                                                                       |
|                                                           | 扭转, $i_{tb}$  | $0.42(R/T)^{2/3}(d/D)^{1.1}(t/T)^{1.1}$                                                                  |                                                                                       |
| 第 5 项:带补强焊制三通(当 $t_p>1.5T$ ,则 $t_p=1.5T$ ) <sup>b,h</sup> |               |                                                                                                          |                                                                                       |
| 主管柔性系数                                                    | 平面内, $k_{ir}$ | $0.21[R/(T+0.5t_p)]^{0.97}(t/T)^{-0.65}(d/D)^{6.2}$                                                      |  |
|                                                           | 平面外, $k_{or}$ | 1                                                                                                        |                                                                                       |
|                                                           | 扭转, $k_{tr}$  | $0.12[R/(T+0.5t_p)]^{1.39}(t/T)^{-0.74}(d/D)^{8.5}$                                                      |                                                                                       |
| 支管柔性系数                                                    | 平面内, $k_{ib}$ | $[1.29(d/D)-2.73(d/D)^2+1.62(d/D)^3][R/(T+0.5t_p)]^{1.2}(t/T)^{0.56}(d/D)^{0.33}$                        |                                                                                       |
|                                                           | 平面外, $k_{ob}$ | $[0.84(d/D)-1.27(d/D)^2+0.5(d/D)^3][R/(T+0.5t_p)]^{1.69}(t/T)^{0.68}(d/D)^{0.21}$                        |                                                                                       |
|                                                           | 扭转, $k_{tb}$  | $1.1[R/(T+0.5t_p)]^{0.5}(d/D)^{5.42}$                                                                    |                                                                                       |
| 主管应力增大系数                                                  | 平面内, $i_{ir}$ | $[R/(T+0.5t_p)]^{0.45}(d/D)^{1.0}(t/T)^{-0.34}\geq 1.5$                                                  |                                                                                       |
|                                                           | 平面外, $i_{or}$ | $[1.29(d/D)-2.87(d/D)^2+2.39(d/D)^3](t/T)^{-0.25}[R/(T+0.5t_p)]^{0.35}$                                  |                                                                                       |
|                                                           | 扭转, $i_{tr}$  | $0.36[R/(T+0.5t_p)]^{2/3}(t/T)^{-0.6}(d/D)^{1.4}$                                                        |                                                                                       |
| 支管应力增大系数                                                  | 平面内, $i_{ib}$ | $[3.33(d/D)-5.49(d/D)^2+2.94(d/D)^3](TR^{2/3})(T+0.5t_p)^{-5/3}(t/T)^{0.3}$                              |                                                                                       |
|                                                           | 平面外, $i_{ob}$ | $[2.86(d/D)+2.4(d/D)^2-4.34(d/D)^3](TR^{2/3})(T+0.5t_p)^{-5/3}(t/T)^{0.3}$ (当 $t/T<0.85$ ,则 $t/T=0.85$ ) |                                                                                       |
|                                                           | 扭转, $i_{tb}$  | $0.642(d/D)^2(TR^{2/3})(T+0.5t_p)^{-5/3}(t/T)^{0.3}$                                                     |                                                                                       |



表 M.1 柔性系数和应力增大系数 (续)

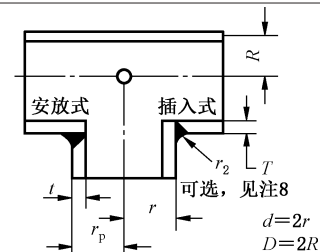
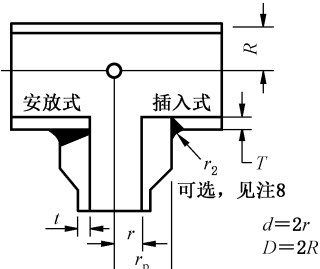
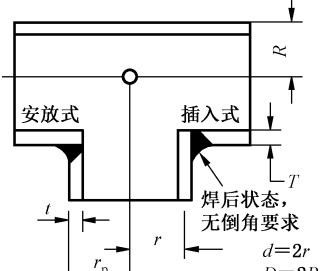
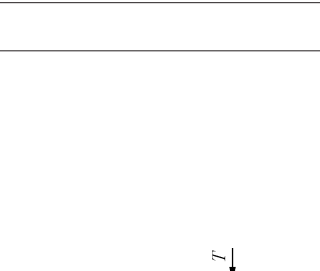
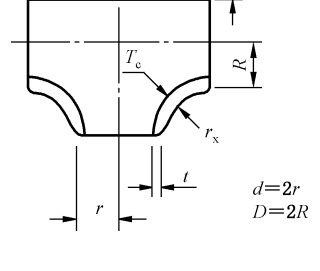
| 名称                                                                          |               | 计算公式                                                                                                                             | 简图                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 第 6 项: 不带补强焊制三通 <sup>b, h, i</sup>                                          |               |                                                                                                                                  |                                                                                       |
| 主管柔性系数                                                                      | 平面内, $k_{ir}$ | $1.23(R/T)^{0.47}(t/T)^{-0.47}(d/D)^{5.3}$                                                                                       |    |
|                                                                             | 平面外, $k_{or}$ | 1                                                                                                                                |                                                                                       |
|                                                                             | 扭转, $k_{tr}$  | $(R/T)^{0.78}(t/T)^{-0.8}(d/D)^{7.8}$                                                                                            |                                                                                       |
| 支管柔性系数                                                                      | 平面内, $k_{ib}$ | $[3.15(d/D) - 6.4(d/D)^2 + 4(d/D)^3] (R/T)^{0.83}(t/T)^{0.49}(d/D)^{-0.2}$                                                       |   |
|                                                                             | 平面外, $k_{ob}$ | $[2.05(d/D) - 2.94(d/D)^2 + 1.1(d/D)^3] (R/T)^{1.4}(t/T)^{0.6}(d/D)^{0.12}$                                                      |                                                                                       |
|                                                                             | 扭转, $k_{tb}$  | $0.95(R/T)^{0.83}(d/D)^{5.42}$                                                                                                   |                                                                                       |
| 主管应力增大系数                                                                    | 平面内, $i_{ir}$ | $1.2(d/D)^{1.0}(R/T)^{0.4}(t/T)^{-0.35} \geq 1.5$                                                                                |  |
|                                                                             | 平面外, $i_{or}$ | $[(d/D) - 2.7(d/D)^2 + 2.62(d/D)^3](R/T)^{0.43}(t/T)^{-0.7}$<br>(当 $d/D < 0.5$ , 则 $d/D = 0.5$ ; 当 $t/T < 0.5$ , 则 $t/T = 0.5$ ) |                                                                                       |
|                                                                             | 扭转, $i_{tr}$  | $1.2(R/T)^{0.46}(t/T)^{-0.45}(d/D)^{1.37}$<br>(当 $t/T < 0.15$ , 则 $t/T = 0.15$ )                                                 |                                                                                       |
| 支管应力增大系数                                                                    | 平面内, $i_{ib}$ | $[0.038 + 1.45(d/D) - 2.39(d/D)^2 + 1.34(d/D)^3] (R/T)^{0.76}(t/T)^{0.74}$ (当 $t/T < 1$ , 则 $t/T = 1$ )                          |  |
|                                                                             | 平面外, $i_{ob}$ | $[0.038 + 2(d/D) + 2(d/D)^2 - 3.1(d/D)^3] (R/T)^{2/3}(t/T)$ (当 $t/T < 0.6$ , 则 $t/T = 0.6$ )                                     |                                                                                       |
|                                                                             | 扭转, $i_{tb}$  | $0.45(R/T)^{0.8}(t/T)^{0.29}(d/D)^2$                                                                                             |                                                                                       |
| 第 7 项: 挤压成型对焊三通( $r_x \geq 0.05d_0$ 且 $T < T_c < 1.5T$ ) <sup>b, h, j</sup> |               |                                                                                                                                  |                                                                                       |
| 主管柔性系数                                                                      | 平面内, $k_{ir}$ | $0.18(R/T)^{0.8}(d/D)^5$                                                                                                         |  |
|                                                                             | 平面外, $k_{or}$ | 1                                                                                                                                |                                                                                       |
|                                                                             | 扭转, $k_{tr}$  | $0.08(R/T)^{0.91}(d/D)^{5.7}$                                                                                                    |                                                                                       |
| 支管柔性系数                                                                      | 平面内, $k_{ib}$ | $[1.91(d/D) - 4.32(d/D)^2 + 2.7(d/D)^3] (R/T)^{0.77}(d/D)^{0.47}(t/T)$                                                           |  |
|                                                                             | 平面外, $k_{ob}$ | $[0.34(d/D) - 0.49(d/D)^2 + 0.18(d/D)^3] (R/T)^{1.46}(t/T)$                                                                      |                                                                                       |
|                                                                             | 扭转, $k_{tb}$  | $[1.08(d/D) - 2.44(d/D)^2 + 1.52(d/D)^3] (R/T)^{0.77}(d/D)^{1.79}(t/T)$                                                          |                                                                                       |
| 主管应力增大系数                                                                    | 平面内, $i_{ir}$ | $1.45(1 + r_x/R)^{-2/3}(R/T)^{0.35}(d/D)^{0.72}(t/T)^{-0.52}$                                                                    |  |
|                                                                             | 平面外, $i_{or}$ | $0.58(1 + r_x/R)^{-2/3}(R/T)^{2/3}(d/D)^{2.69}$                                                                                  |                                                                                       |
|                                                                             | 扭转, $i_{tr}$  | $0.55(1 + r_x/R)^{-2/3}(R/T)^{2/3}(d/D)(t/T)^{-0.5}$                                                                             |                                                                                       |
| 支管应力增大系数                                                                    | 平面内, $i_{ib}$ | $0.56(1 + r_x/R)^{-2/3}(R/T)^{2/3}(d/D)^{0.68}$                                                                                  |  |
|                                                                             | 平面外, $i_{ob}$ | $0.85(1 + r_x/R)^{-2/3}(R/T)^{2/3}(d/D)^{0.5}$                                                                                   |                                                                                       |
|                                                                             | 扭转, $i_{tb}$  | $0.71(1 + r_x/R)^{-2/3}(R/T)^{2/3}(d/D)^2$                                                                                       |                                                                                       |

表 M.1 柔性系数和应力增大系数 (续)

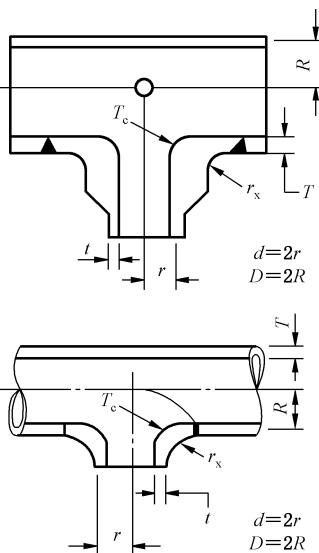
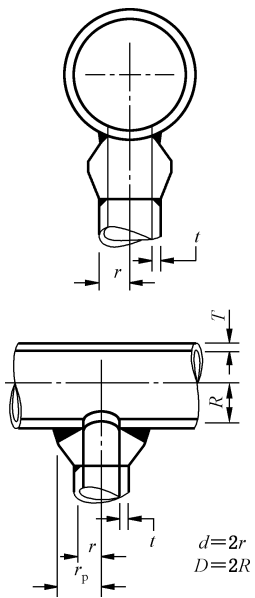
| 名称                                                      |               | 计算公式                                                                      | 简图                                                                                    |
|---------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 第 8 项:嵌入式支管(当没有给出 $r_x$ 时, $r_x=0$ ) <sup>b, g, h</sup> |               |                                                                           |                                                                                       |
| 主管柔性系数                                                  | 平面内, $k_{ir}$ | $0.18(R/T)^{0.84}(d/D)^5$                                                 |   |
|                                                         | 平面外, $k_{or}$ | 1                                                                         |                                                                                       |
|                                                         | 扭转, $k_{tr}$  | $0.1(R/T)^{0.91}(d/D)^{5.7}$                                              |                                                                                       |
| 支管柔性系数                                                  | 平面内, $k_{ib}$ | $[2.36(d/D) - 5.33(d/D)^2 + 3.33(d/D)^3] (R/T)^{0.77}(d/D)^{0.47}(t/T)$   |                                                                                       |
|                                                         | 平面外, $k_{ob}$ | $(1+r_x/R)[0.67(d/D) - 0.97(d/D)^2 + 0.36(d/D)^3] (R/T)^{1.46}(t/T)$      |                                                                                       |
|                                                         | 扭转, $k_{tb}$  | $[1.05(d/D) - 2.36(d/D)^2 + 1.49(d/D)^3] (R/T)^{0.77}(d/D)^{1.61}(t/T)$   |                                                                                       |
| 主管应力增大系数                                                | 平面内, $i_{ir}$ | $(R/T)^{0.35}(d/D)^{0.72}(t/T)^{-0.52}$                                   |                                                                                       |
|                                                         | 平面外, $i_{or}$ | $0.72(R/T)^{0.29}(d/D)^{1.95}(t/T)^{-0.53}$                               |                                                                                       |
|                                                         | 扭转, $i_{tr}$  | $0.36(R/T)^{2/3}(d/D)(t/T)^{-0.5}$                                        |                                                                                       |
| 支管应力增大系数                                                | 平面内, $i_{ib}$ | $0.35(R/T)^{2/3}(d/D)^{0.18}(t/T)^{0.7}$                                  |                                                                                       |
|                                                         | 平面外, $i_{ob}$ | $0.48(R/T)^{2/3}(d/D)^{0.37}(t/T)^{0.37}$                                 |                                                                                       |
|                                                         | 扭转, $i_{tb}$  | $0.44(R/T)^{2/3}(d/D)^{1.1}(t/T)^{1.1}$                                   |                                                                                       |
| 第 9 项:整体补强支管座 <sup>b, h, k</sup>                        |               |                                                                           |                                                                                       |
| 主管柔性系数                                                  | 平面内, $k_{ir}$ | $0.5(R/T)^{0.5}(d/D)^5$                                                   |  |
|                                                         | 平面外, $k_{or}$ | 1                                                                         |                                                                                       |
|                                                         | 扭转, $k_{tr}$  | $0.1(R/T)(d/D)^{5.7}$                                                     |                                                                                       |
| 支管柔性系数                                                  | 平面内, $k_{ib}$ | $[0.55(d/D) - 1.13(d/D)^2 + 0.69(d/D)^3] (R/T)(t/T)$                      |                                                                                       |
|                                                         | 平面外, $k_{ob}$ | $[1.03(d/D) - 1.55(d/D)^2 + 0.59(d/D)^3] (R/T)^{1.4}(t/T)(d/D)^{0.33}$    |                                                                                       |
|                                                         | 扭转, $k_{tb}$  | $[0.37(d/D) - 0.75(d/D)^2 + 0.46(d/D)^3] (R/T)(t/T)(d/D)^{1.2}$           |                                                                                       |
| 主管应力增大系数                                                | 平面内, $i_{ir}$ | $(R/T)^{0.43}(d/D)^{0.5} \geq 1.5$                                        |                                                                                       |
|                                                         | 平面外, $i_{or}$ | $[0.02 + 0.88(d/D) - 2.56(d/D)^2 + 2.58(d/D)^3] (R/T)^{0.43}$             |                                                                                       |
|                                                         | 扭转, $i_{tr}$  | $1.3(R/T)^{0.45}(d/D)^{1.37}$                                             |                                                                                       |
| 支管应力增大系数                                                | 平面内, $i_{ib}$ | $[0.08 + 1.28(d/D) - 2.35(d/D)^2 + 1.45(d/D)^3] (R/T)^{0.81}(t/T)(r/r_p)$ |                                                                                       |
|                                                         | 平面外, $i_{ob}$ | $[1.83(d/D) - 1.07(d/D)^3] (R/T)^{0.82}(t/T)(r/r_p)^{1.18}$               |                                                                                       |
|                                                         | 扭转, $i_{tb}$  | $0.77(R/T)^{2/3}(t/T)(d/D)^2(r/r_p)$                                      |                                                                                       |

表 M.1 柔性系数和应力增大系数（续）

| 名称                                                                                                                                                                                                                                      |            | 计算公式                                                        | 简图 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------|----|
| 第 10 项:同心或偏心异径管 <sup>1</sup>                                                                                                                                                                                                            |            |                                                             |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | $0.6+0.003(\alpha T_2/T_1)^{0.8}(D_2/T_2)^{0.25}(D_2/r_2)$  |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | $0.6+0.003(\alpha T_2/T_1)^{0.8}(D_2/T_2)^{0.25}(D_2/r_2)$  |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | $0.3+0.0015(\alpha T_2/T_1)^{0.8}(D_2/T_2)^{0.25}(D_2/r_2)$ |    |
| 第 11 项:对焊接头( $T\geqslant 6\text{ mm}$ , $\delta_{\max}\leqslant 1.5\text{ mm}$ , 且 $\delta_{\text{avg}}/T\leqslant 0.13$ ) <sup>m</sup>                                                                                                 |            |                                                             |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 1.0                                                         |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 1.0                                                         |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | 1.0                                                         |    |
| 第 12 项:对焊接头( $T\geqslant 6\text{ mm}$ , $\delta_{\max}\leqslant 3\text{ mm}$ , 且 $\delta_{\text{avg}}/T=\text{任何值}$ 或 $T<6\text{ mm}$ , $\delta_{\max}\leqslant 1.5\text{ mm}$ , 且 $\delta_{\text{avg}}/T\leqslant 0.33$ ) <sup>m</sup> |            |                                                             |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 最大 1.9 或 $0.9+2.7(\delta_{\text{avg}}/T)$ 但不小于 1.0          |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 最大 1.9 或 $0.9+2.7(\delta_{\text{avg}}/T)$ 但不小于 1.0          |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | $0.45+1.35(\delta_{\text{avg}}/T)$ 但不小于 1.0                 |    |
| 第 13 项:填角焊接头、承插焊法兰或承插焊管件 <sup>n</sup>                                                                                                                                                                                                   |            |                                                             |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 1.3                                                         |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 1.3                                                         |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | 1.3                                                         |    |
| 第 14 项:锥形过渡段                                                                                                                                                                                                                            |            |                                                             |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 最大 1.9 或 $1.3+0.003\ 6(D_o/T)+3.6(\delta/T)$                |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 最大 1.9 或 $1.3+0.003\ 6(D_o/T)+3.6(\delta/T)$                |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | 1.3                                                         |    |
| 第 15 项:带颈对焊法兰                                                                                                                                                                                                                           |            |                                                             |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 1.0                                                         | —  |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 1.0                                                         |    |
|                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | 1.0                                                         |    |

表 M.1 柔性系数和应力增大系数（续）

| 名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            | 计算公式 | 简图 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|----|
| 第 16 项:单边平焊法兰                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |      |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 1.3  | —  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 1.3  |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | 1.3  |    |
| 第 17 项:双边平焊法兰                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |      |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 1.2  | —  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 1.2  |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | 1.2  |    |
| 第 18 项:松套法兰                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |      |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 1.6  | —  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 1.6  |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | 1.6  |    |
| 第 19 项:螺纹管接头或螺纹法兰                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |      |    |
| 应力增大系数                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 平面内, $i_i$ | 2.3  | —  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 平面外, $i_o$ | 2.3  |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 扭转, $i_t$  | 2.3  |    |
| <p>注 1: 应力增大系数和柔性系数是用于缺少更适用数据的情况。对于 <math>D/T \leq 100</math>, 已证实表中值是有效的。表 M.1 中未列出的其他管道元件, 如阀门、过滤器、偏心异径管、异径弯头、活接头及非标元件等, 可根据其重要几何参数与表 M.1 所列管件相比类似的元件来选择合适的应力增大系数, 之间的关系可使用工程判断进行确定, 同时通过有限元分析或其他有文献记录的测试结果进行补充确定。</p> <p>注 2: 柔性系数和应力增大系数均不小于 1.0。</p> <p>注 3: 应力增大系数可在没有柔性系数情况下使用。</p> <p>注 4: 表中的柔性系数和应力增大系数来源于针对延展性铁基材料的疲劳试验和有限元数值模拟, 应用于某些非铁基材料(比如铜合金或者铝合金)在非低周场合使用时需加以分析。</p> <p>注 5: 波纹直管、波纹弯管或褶皱弯管依据 GB/T 12777 或其他类似标准进行设计。</p> <p>注 6: 当仅需一个应力增大系数时, 使用最高的平面内或平面外应力增大系数。柔性系数按规定方向使用。对于第 10 项~第 19 项, 平面内或平面外方向相互正交且与管道轴向正交。</p> <p>注 7: 计算时若需要持续应力或力矩系数, 对于第 1 项~第 3 项及第 10 项~第 19 项所列组件, 持续应力或力矩系数可以取相应组件的应力增大系数。对于第 4 项~第 9 项所列管件, 持续应力或力矩系数取下列 a) 与 b) 或 a) 与 c) 中的较小值:</p> <p>a) <math>0.75i</math>;</p> <p>b) <math>(t/T)\sqrt{i}</math> (当 <math>t/T &gt; 1</math> 时);</p> <p>c) <math>\sqrt{i}</math> (当 <math>t/T \leq 1</math> 时)。</p> <p>持续应力或弯矩系数与相连管道的截面模量一起使用, 且不小于 1.0。</p> <p>当 <math>D_o/T</math> 大于 50 时, 持续应力或力矩系数除以 <math>(1.3 - 0.006D_o/T)</math>。</p> |            |      |    |

表 M.1 柔性系数和应力增大系数 (续)

| 名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 计算公式 | 简图 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|
| <p>注 8: 表中符号如下:</p> <p><math>B</math> ——斜接弯管斜接段中心线处的间距,单位为毫米(mm);</p> <p><math>b</math> ——支管脚标,对应图 M.1 中三通支管端;</p> <p><math>C_x</math> ——承插焊最小焊脚高度,单位为毫米(mm);</p> <p><math>D</math> ——所连接管道的平均直径,由<math>(D_o - T)</math>计算而得,单位为毫米(mm);</p> <p><math>d</math> ——所连接支管的平均直径,由<math>(d_o - t)</math>计算而得,单位为毫米(mm);</p> <p><math>d'</math> ——图 M.4 a)、b)、c)的有效支管直径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>D_1</math> ——异径管大端所连接主管的外径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>D_2</math> ——异径管小端所连接主管的外径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>D_i</math> ——所连接主管的内径,由<math>(D_o - 2T)</math>计算而得,单位为毫米(mm);</p> <p><math>d_i</math> ——所连接支管的内径,由<math>(d_o - 2t)</math>计算而得,单位为毫米(mm);</p> <p><math>D_o</math> ——所连接管道的外径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>d_o</math> ——所连接支管的外径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>E</math> ——弹性模量,单位为兆帕(MPa);</p> <p><math>h</math> ——弯头或弯管柔性系数;</p> <p><math>i</math> ——应力增大系数;</p> <p><math>k</math> ——柔性系数;</p> <p><math>I_b</math> ——所连接支管的惯性矩,单位为四次方毫米(mm<sup>4</sup>);</p> <p><math>I_r</math> ——所连接主管的惯性矩,单位为四次方毫米(mm<sup>4</sup>);</p> <p><math>L_1</math> ——图 M.4 a)、b)、c)中支管有效补强高度,单位为毫米(mm);</p> <p><math>L_2</math> ——第 10 项简图中异径管靠近小端处圆柱段的长度,单位为毫米(mm);</p> <p><math>M_i</math> ——平面内力矩,单位为牛顿·毫米(N·mm);</p> <p><math>M_o</math> ——平面外力矩,单位为牛顿·毫米(N·mm);</p> <p><math>M_t</math> ——扭矩,单位为牛顿·毫米(N·mm);</p> <p><math>N_c</math> ——第 4 项~第 9 项中的三通主管端相邻的法兰或者其他刚性件的数量(1 或 2);</p> <p><math>P</math> ——内压(表压),单位为兆帕(MPa);</p> <p><math>R</math> ——所连接管道的平均半径,由<math>(D_o - T)/2</math>计算而得,单位为毫米(mm);</p> <p><math>r</math> ——所连接支管的平均半径,由<math>(d_o - t)/2</math>计算而得,单位为毫米(mm);</p> <p><math>R_1</math> ——焊接弯头或弯管的弯曲半径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>r_2</math> ——第 10 项简图中异径管大小端过渡半径或图 M.4 中支管补强部位过渡半径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>r_i</math> ——图 M.4 中支管内径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>r_x</math> ——在主管和支管轴线的平面内,外轮廓转角处的曲率半径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>r_p</math> ——第 9 项简图及图 M.4 中到管件外边缘的半径,单位为毫米(mm);</p> <p><math>s</math> ——斜接弯管斜接段中心线处的间距,单位为毫米(mm);</p> <p><math>T</math> ——第 1 项简图中所连接管道的名义壁厚或管件的平均壁厚,单位为毫米(mm);第 2 项和第 3 项简图中斜接弯头管道的名义壁厚,单位为毫米(mm);第 4 项和第 7 项简图中三通连接主管的名义壁厚,单位为毫米(mm);第 5 项、第 6 项、第 8 项、第 9 项简图中三通主管的名义壁厚,单位为毫米(mm);第 11 项~第 14 项简图中焊接接头管道的名义壁厚,单位为毫米(mm);</p> <p><math>t</math> ——所连接支管的名义壁厚,单位为毫米(mm);</p> <p><math>t'</math> ——图 M.4 a)、b)、c)的有效支管壁厚,单位为毫米(mm);</p> <p><math>T_1</math> ——异径管大端所连接管道的名义壁厚,单位为毫米(mm);</p> |      |    |

表 M.1 柔性系数和应力增大系数（续）

| 名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 计算公式 | 简图 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|
| <p><math>T_2</math> —— 异径管小端所连接管道的名义壁厚,单位为毫米(mm);</p> <p><math>T_c</math> —— 三通圆角部(主管与支管相交处)厚度,单位为毫米(mm);</p> <p><math>t_n</math> —— 图 M.4 a)、b)中支管局部厚度,单位为毫米(mm);</p> <p><math>y</math> —— 图 M.4 c)中支管台补强部位的长度,单位为毫米(mm);</p> <p><math>\alpha</math> —— 异径管锥角,单位为度(°);</p> <p><math>\delta</math> —— 对接焊口的错边量,单位为毫米(mm);</p> <p><math>\theta</math> —— 斜接弯管一条焊缝方向改变的角度的一半,单位为度(°);</p> <p><math>\theta_n</math> —— 图 M.4 c)中支管补强部位过渡角度,单位为度(°);</p> <p><math>\theta_{ib}</math> —— 支管平面内转角,单位为度(°);</p> <p><math>\theta_{ob}</math> —— 支管平面外转角,单位为度(°);</p> <p><math>\theta_{tb}</math> —— 支管扭转角,单位为度(°);</p> <p><math>\theta_{ir}</math> —— 主管平面内转角,单位为度(°);</p> <p><math>\theta_{or}</math> —— 主管平面外转角,单位为度(°);</p> <p><math>\theta_{tr}</math> —— 主管扭转角,单位为度(°)。</p> <p>注 9: “—”表示暂无需要。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |    |
| <p><sup>a</sup> 对于弯管和弯头,应力增大系数和柔性系数应用于其有效弧长,即第 1 项~第 3 项简图中的粗中心线所示,可从表 M.1 中公式计算出尺寸系数 <math>h</math> 后,从图 M.2 直接查取。</p> <p><sup>b</sup> 对于第 4 项~第 9 项中的三通,如图 M.1 和图 M.6 所示,对主管端,应力增大系数应用于交叉点,对支管端,应力增大系数应用位置符合下列规定:</p> <p>a) 当 <math>d_o/D_o &gt; 0.5</math> 时,交叉点;</p> <p>b) 当 <math>d_o/D_o \leq 0.5</math> 时,支管中心线与主管的外表面的交点。</p> <p>对所有 <math>d_o/D_o</math>,第 4 项~第 9 项中三通的柔性系数按图 M.1 和图 M.6 所示使用。</p> <p><sup>c</sup> 当法兰装在一端或两端时,表中的应力增大系数和柔性系数使用修正系数 <math>C_f</math> 进行校正。<math>C_f</math> 根据表 M.1 中公式计算出尺寸系数 <math>h</math> 后从图 M.3 查取。</p> <p><sup>d</sup> 当弯头为 90°且弯头壁厚等于相连管道的壁厚,柔性系数 <math>k_i</math> 和 <math>k_o</math> 按 <math>1.3/h</math> 计算,同时用图 M.3 中的相应修正系数 <math>C_f</math> 进行校正。</p> <p><sup>e</sup> 对于直径大、管壁薄的弯头或弯管,内压对柔性系数和应力增大系数有显著影响,表中的值修正如下:</p> $k / \left[ 1 + 6 \left( \frac{P}{E} \right) \left( \frac{R}{T} \right)^{7/3} \left( \frac{R_1}{R} \right)^{1/3} \right]$ $i / \left[ 1 + 3.25 \left( \frac{P}{E} \right) \left( \frac{R}{T} \right)^{5/2} \left( \frac{R_1}{R} \right)^{2/3} \right]$ <p><sup>f</sup> 含一个斜接点的情形。</p> <p><sup>g</sup> 对第 4 项标准对焊三通,表列应力增大系数是基于没有任何缺陷的三通,否则可参考第 6 项给出的公式进行计算。使用第 4 项给出的应力增大系数时,应满足以下规定:</p> <p>a) 若 <math>r_x \geq (1/8)(d_o)</math> 且 <math>T_c \geq 1.5T</math>,柔性系数和应力增大系数除以 1.26;</p> <p>b) 若 <math>t/T &lt; 0.6</math>,对所有分支管计算柔性系数和应力增大系数时均使用 <math>t/T = 0.6</math>。</p> <p><sup>h</sup> 满足以下条件时柔性系数和应力增大系数才能应用:</p> <p>a) 除另有说明,支管轴线与主管外表面垂直,误差在 5°以内;</p> <p>b) <math>R/T \leq 50</math>;</p> <p>c) <math>d/D \leq 1</math>;</p> <p>d) <math>r/t \leq 50</math>;</p> |      |    |

表 M.1 柔性系数和应力增大系数（续）

| 名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 计算公式 | 简图 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|
| e) 连接主管的壁厚和直径在支管中心线两侧至少保持两个主管直径；<br>f) 对于第 4 项、第 7 项、第 8 项， $t/T \leq 1.2$ 且 $T_c/T \geq 1.1$ 。<br>当表 M.2 中柔性系数小于或等于 1.0，与柔性系数相关的刚度均为刚性。当第 4 项～第 9 项中的三通主管一端或者两端与法兰或者其他刚性件相邻时，柔性系数 $k_{ib}$ 、 $k_{ob}$ 及 $k_{tb}$ 需乘以表 M.3 中的系数 $c$ ，主管端与法兰或者其他刚性件相邻，指的是支管与法兰或刚性件间主管的直管段长度小于 $0.1D^{1.4}/T^{0.4}$ 。第 4 项、第 5 项、第 7 项～第 9 项中的应力增大系数 $i_{ib}$ 、 $i_{ob}$ 、 $i_{tb}$ 、 $i_{ir}$ 、 $i_{or}$ 、 $i_{tr}$ 和柔性系数 $k_{ib}$ 、 $k_{ob}$ 、 $k_{tb}$ 、 $k_{ir}$ 、 $k_{or}$ 、 $k_{tr}$ 不大于相应第 6 项及图 M.4 d) 采用所连接主管和支管的尺寸及 $r_2=0$ 计算得出的应力增大系数和柔性系数。第 5 项～第 9 项中的应力增大系数 $i_{ib}$ 、 $i_{ob}$ 、 $i_{tb}$ 、 $i_{ir}$ 、 $i_{or}$ 、 $i_{tr}$ 和柔性系数 $k_{ib}$ 、 $k_{ob}$ 、 $k_{tb}$ 、 $k_{ir}$ 、 $k_{or}$ 、 $k_{tr}$ 不小于相应第 4 项采用 $T_c=1.1T$ 计算得出的应力增大系数和柔性系数。<br>第 4 项～第 9 项中若 $i_{ob} < i_{ib}$ ，则 $i_{ob}=i_{ib}$ ；若 $i_{ir} < i_{or}$ ，则 $i_{ir}=i_{or}$ 。当支管轴线与主管轴线在同一平面内且垂直于主管外表面 $45^\circ$ 以内、同时满足 $D/T < 50$ 及 $d/D \leq 0.6$ 时，第 5 项、第 6 项、第 8 项、第 9 项中的应力增大系数 $i_{ib}$ 、 $i_{ob}$ 、 $i_{ir}$ 、 $i_{or}$ 、 $i_{tr}$ 可直接使用；在缺少更多可用数据时， $i_{tb}$ 可按 $i_{ob}$ 取值。当第 6 项中 $t/T \leq 0.85$ ， $d/D < 1$ ，且 $D/T \geq 25$ 时，应力增大系数 $i_{ob}$ 需乘以 $[0.75(t/T) - 0.89(t/T)^2 + 0.18](D/T)^{0.34}$ 或 1.0 的较大值。<br>当第 5 项中 $t/T \leq 0.85$ ， $d/D < 1$ ，且 $D/T \geq 25$ 时，应力增大系数 $i_{ob}$ 需乘以 $[1.07(t/T) - 1.08(t/T)^2 + 0.026](D/T)^{0.34}$ 或 1.0 的较大值。<br>支管连接端额定压力要大于或等于相连的主管。支管连接端应力增大系数使用所连接管道的截面模量。截面模量按下列公式计算：<br>a) 对主管：<br>$Z = \left( \frac{\pi}{32} \right) \left( \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right)$<br>b) 对支管：<br>$Z_b = \left( \frac{\pi}{32} \right) \left( \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o} \right)$<br>i 几何形状符合图 M.4，当外径 $r_2$ 已知且 $r_2$ 不小于 $T/2$ ， $t/2$ ， $(r_p - r_i)/2$ ，或 $(t+y)/2$ 中的最小值时，主管端和支管端平面内、平面外和扭转应力增大系数可用公式计算值乘以 0.7。对于图 M.4 a)、b)、c) 执行以下规定。<br>a) 在计算柔性系数和应力增大系数时，使用 $t'/T$ 和 $d'/D$ 分别代替 $t/T$ 和 $d/D$ 。<br>b) 应力增大系数 $i_{ib}$ 、 $i_{ob}$ 、 $i_{tb}$ 和柔性系数 $k_{ib}$ 、 $k_{ob}$ 、 $k_{tb}$ 还需乘以 $(t/t')(d/d')^2$ 。<br>c) 对于图 M.4 a)、b)， $t'$ 计算符合下列规定：<br>1) 当 $L_1 \geq 0.5(2rt_n)^{1/2}$ 时 $t'=t_n$ ；<br>2) 当 $L_1 < 0.5(2rt_n)^{1/2}$ 时 $t'=t_o$ 。<br>d) 对于图 M.4 c)， $t'$ 计算符合下列规定：<br>1) 当 $\theta_n \leq 30^\circ$ 时 $t'=t + (2/3)y$ ；<br>2) 当 $\theta_n > 30^\circ$ 时 $t'=t + 0.385L_1$ 。<br>e) 由下式计算 $d'$ ：<br>$d' = d - t + t'$<br>f) 应力增大系数 $i_{ib}$ 、 $i_{ob}$ 、 $i_{ir}$ 和 $i_{tr}$ 不小于 1.5。<br>j 若 $r_x$ 未知，则 $r_x = 0.05d_o$ ；若 $r_x \geq r$ ，则 $r_x = r$ ；当 $t/T < 0.6$ 时，计算柔性系数和应力增大系数时 $t/T = 0.6$ 。<br>k 若 $r/r_p$ 不可得，则 $r/r_p = 0.85$ 。若 $r/r_p < 0.6$ ，则 $r/r_p = 0.6$ 。对于等径支管台，当 $D/T < 40$ ， $i_{ob}$ 可乘以 0.75。若焊脚高度及管件实际尺寸已知， $r_p$ 可以取沿主管外表面在纵向平面内从支管中心线到支管台角焊缝趾部的距离；当 $d/D > 0.8$ ，支管台几何尺寸因制造商而差异显著，可从制造商处获得更多数据； $D/T < 40$ 的试验结果不能推广到 $D/T > 40$ 的支管台。 |      |    |

表 M.1 柔性系数和应力增大系数（续）

| 名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 计算公式 | 简图 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|
| <p><sup>l</sup> 满足以下条件时,柔性系数和应力增大系数才可以应用:</p> <p>a) <math>5^{\circ}&lt;\alpha&lt;60^{\circ}</math>;</p> <p>b) <math>5&lt;D_2/T_2&lt;80</math>;</p> <p>c) 整个异径管壁厚不小于 <math>T_1</math>,小端圆柱部分除外,但其壁厚不小于 <math>T_2</math>;</p> <p>d) <math>0.08&lt;D_2/T_2&lt;0.7</math>;</p> <p>e) <math>1&lt;T_1/T_2&lt;2.12</math>;</p> <p>f) 若 <math>L_2&lt;(D_2T_2)^{0.5}</math>,应力增大系数需乘以 <math>[2-L_2/(D_2T_2)^{0.5}]</math>。</p> <p>最大应力增大系数不能大于 2.0,但也不能小于 1.0。对于 <math>D_2/T_2\leq 55</math> 的异径管,可以模拟为异径管中间的直径和壁厚,为从 <math>D_2,T_2</math> 到 <math>D_1,T_1</math> 的渐变值,或具有其他更适用的几何形状。对于 <math>D_2/T_2&gt;55</math> 的异径管,在搭建梁模型时需考虑增加一定柔性,以更准确地表示异径管的刚度;对于偏心异径管,第 10 项简图中所示的尺寸均取在 <math>\alpha</math> 最大的圆周位置。若 <math>r_2</math> 未知,则 <math>r_2=0.1D_1</math>;若 <math>L_2</math> 未知,则 <math>L_2=0.1D_2</math>;若 <math>\alpha</math> 未知,则 <math>\alpha</math> 取 <math>60(D_1/D_2-1)</math> 或 <math>60</math>。</p> <p><sup>m</sup> 应力增大系数适用于壁厚在 <math>0.875T</math> 和 <math>1.10T</math> 之间,轴向距离为 <math>(D_oT)^{0.5}</math> 的环向对接焊口,<math>D_o</math> 和 <math>T</math> 分别为公称外径和公称壁厚,<math>\delta_{avg}</math> 是错边量的平均值。</p> <p><sup>n</sup> 承插焊法兰或管件的填角焊接头的应力增大系数基于以下规定:</p> <p>a) 承插管件和管子符合 GB/T 14383,或大于 DN50 的承插管件、法兰及其他管件满足相应标准的制造要求;</p> <p>b) 焊接满足第 13 项简图中的要求;</p> <p>c) 管道壁厚大于 SCH40 或 STD 中的小值;</p> <p>d) 焊接尺寸 <math>C_x</math> 满足相应规范的要求;对于壁厚小于 Sch40 或 Std 中的小值的管道,除另有说明外,所有方向的应力增大系数等于 2.1;角焊缝采用图 M.5 b) 和 d) 所示的凹面角焊缝且焊缝趾部无咬边平滑过渡,可提高焊缝的抗疲劳性能。对于大直径承插焊法兰或平焊法兰,焊角小于相应规范的要求时,可能会产生应力增大系数未计及到的应力。</p> |      |    |

表 M.2 力矩-转角之间的关系

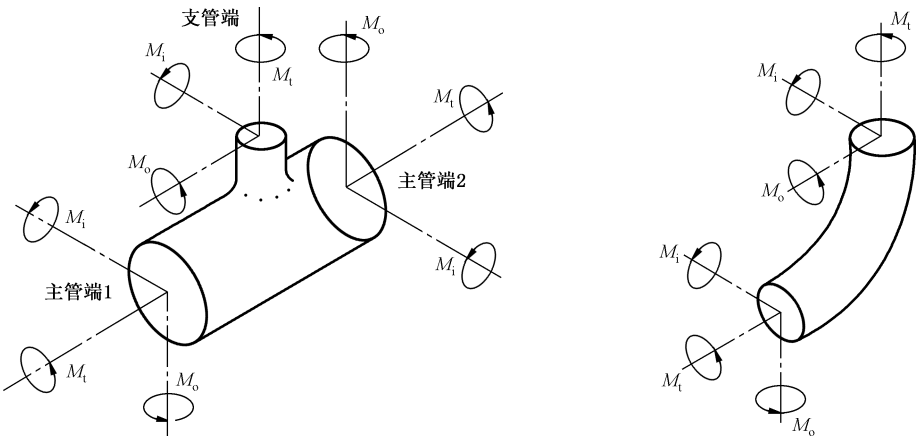
| 力矩(图 M.1)                                                                                                           | 柔性系数( $k$ ) | 刚度                   |                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|
|                                                                                                                     |             | N • mm/rad           |                      |
| $M_{is}$ (支管端)                                                                                                      | $k_{ib}$    | $M_{ib}/\theta_{ib}$ | $(E)(I_b)/(k_{ib}d)$ |
| $M_{os}$ (支管端)                                                                                                      | $k_{ob}$    | $M_{ob}/\theta_{ob}$ | $(E)(I_b)/(k_{ob}d)$ |
| $M_{is}$ (支管端)                                                                                                      | $k_{tb}$    | $M_{tb}/\theta_{tb}$ | $(E)(I_b)/(k_{tb}d)$ |
| $M_{il,2}$ (主管端 1,2)                                                                                                | $k_{ir}$    | $M_{ir}/\theta_{ir}$ | $(E)(I_r)/(k_{ir}D)$ |
| $M_{ol,2}$ (主管端 1,2)                                                                                                | $k_{or}$    | $M_{or}/\theta_{or}$ | $(E)(I_r)/(k_{or}D)$ |
| $M_{tl,2}$ (主管端 1,2)                                                                                                | $k_{tr}$    | $M_{tr}/\theta_{tr}$ | $(E)(I_r)/(k_{tr}D)$ |
| <p>注 1:表中力矩-转角的关系是针对表 M.1 中第 4 项~第 9 项,是通过将力矩分别独立作用于主管或分支管而得出。模型要适应主管和分支管力矩-转角的相互作用。</p> <p>注 2:表中符号见表 M.1 注 8。</p> |             |                      |                      |



表 M.3 法兰端部型式修正系数

| 柔性系数     | 柔性系数修正系数(c)                                    |
|----------|------------------------------------------------|
| $k_{ib}$ | $1-0.032N_c^{1.345}(D/T)^{0.431}(d/D)^{0.903}$ |
| $k_{ob}$ | $1-0.07N_c^{0.61}(D/T)^{0.44}(d/D)^{0.339}$    |
| $k_{tb}$ | $1-0.003N_c^{3.962}(D/T)^{0.548}(d/D)^{0.693}$ |

M.2 三通和弯头平面内和平面外弯矩和扭矩的方向,见图 M.1。



注：图中符号见表 M.1 中注 8。

图 M.1 平面内和平面外弯矩和扭矩

M.3 弯头、弯管、斜接弯头或斜接弯管的尺寸系数  $h$  与柔性系数及应力增大系数的关系,见图 M.2。

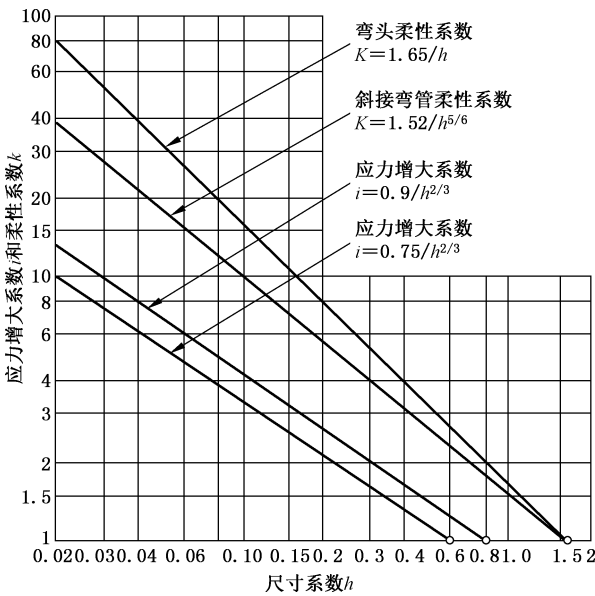


图 M.2 尺寸系数与柔性系数和应力增大系数的关系

M.4 修正系数  $C_f$ , 见图 M.3。

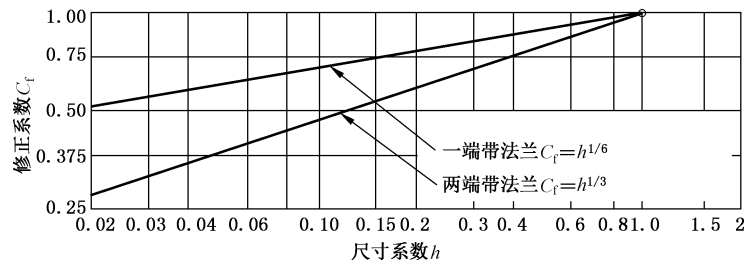
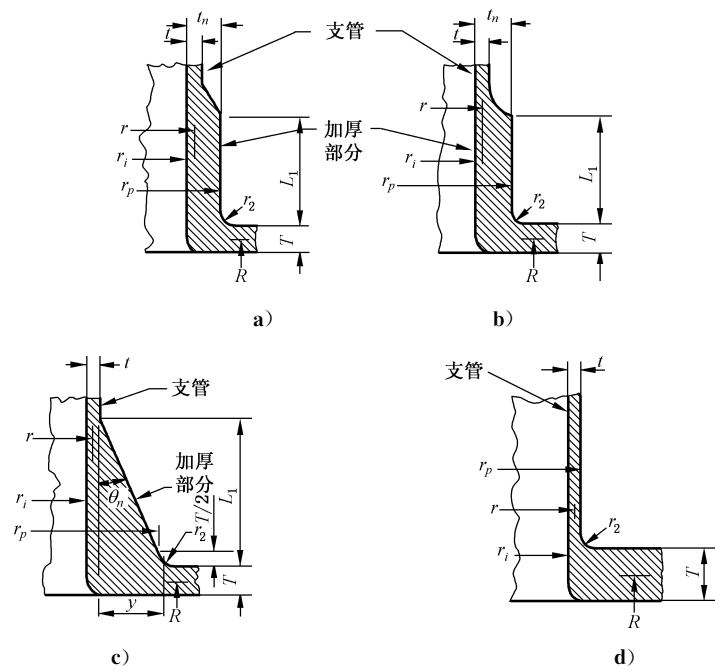


图 M.3 修正系数  $C_f$

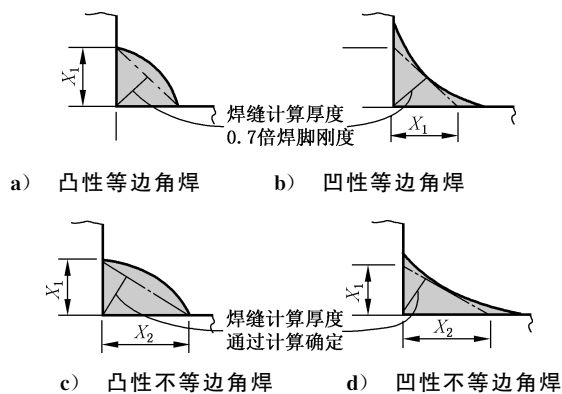
M.5 支管接头尺寸, 见图 M.4。



注：图中符号见表 M.1 注 8。

图 M.4 支管接头尺寸

M.6 角焊尺寸, 见图 M.5。



标引符号说明：  
 $X_1$ 、 $X_2$ ——焊脚尺寸。

图 M.5 角焊尺寸

M.7 三通主管端和支管端柔性单元的位置，见图 M.6。

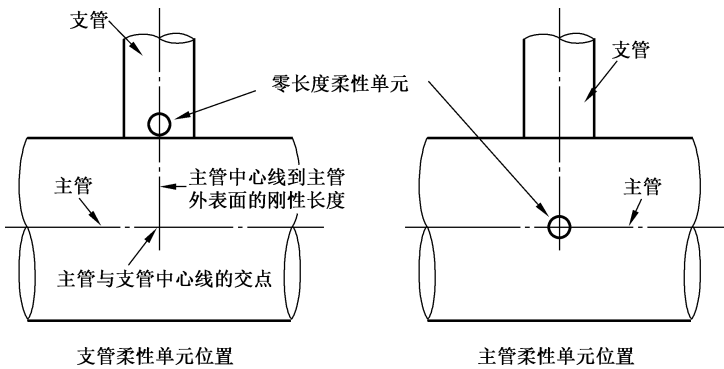


图 M.6 柔性单元的位置

## 附录 N

(资料性)

## 管系中阀门开、关时的动载分析

## N.1 阀门快速关闭

N.1.1 如管系有“水锤”现象存在,则需保证该管系中的管道和管道组件能安全地承受正常操作压力加上短时压力的升高值。同时需保证管道具有足够的强度以抵御非平衡力的作用。对压力波造成的管道振动,设计人员也需在管道结构布置时适当加以考虑。

N.1.2 下列方法仅考虑阀门刚关闭时管系中的压力升高,并假定由此产生的管系中的应力是管系所经历的最大应力。该方法未计及压力波对管系产生的振动,其计算结果是偏保守的。按公式(N.1)计算:

a) 当满足以下不等式时会出现“水锤”现象:

$$T < \frac{2L}{v_s} \quad \dots\dots\dots (N.1)$$

式中:

$T$  —— 阀门的有效关闭时间,单位为秒(s);

$L$  —— 管系的长度,单位为米(m);

$v_s$  —— 管道中流体的声速,单位为米每秒(m/s),将管道视为完全刚性时,可按公式(N.2)算得:

$$v_s = \sqrt{\frac{E_o}{\rho}} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (N.2)$$

$E_o$  —— 流体的体积弹性模量,单位为兆帕(MPa);

$\rho$  —— 管道中流体的密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);

当考虑管道所具有的弹性时, $v_s$  按公式(N.3)计算:

$$v_s = \sqrt{\frac{1}{\rho \left( \frac{1}{E_o} + \frac{D}{T_e E} \right)}} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (N.3)$$

$D$  —— 管外径,见 6.6.1.1,单位为毫米(mm);

$T_e$  —— 有效壁厚,见 6.6.1.1,单位为毫米(mm);

$E$  —— 钢管在操作温度下的弹性模量,单位为兆帕(MPa)。

b) 压力升高值  $\Delta p$ ,单位为兆帕(MPa),可按公式(N.4)计算:

$$\Delta p = v_s \cdot v \cdot \rho \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (N.4)$$

式中:

$v$  —— 管道中流体的实际流速,单位为米每秒(m/s)。

c) 对一段直管道,最大非平衡力  $F$ (N)可按公式(N.5)、公式(N.6)计算:

对刚性管道:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot V_m \cdot L}{2 \cdot V_a \cdot \lambda} \cdot \Delta p \quad \dots\dots\dots (N.5)$$

对柔性管道:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot V_m \cdot L}{V_a \cdot \lambda} \cdot \Delta p \quad \dots\dots\dots (N.6)$$

式中:

$V_m$  —— 阀门关闭过程中的最高速率,单位为平方米每秒(m<sup>2</sup>/s);

$V_a$  —— 阀门关闭过程中的平均速率,用总关闭时间除阀门面积而得,单位为平方米每秒( $\text{m}^2/\text{s}$ );  
 $\lambda$  —— 压力波的波长[见公式(N.7)],单位为米(m)。

$$\lambda = v_s \cdot T \quad \dots\dots\dots (\text{N.7})$$

## N.2 泄放阀的打开

当安全泄放阀开启时,气体的排放会对与阀门相连的管道产生一反作用力,该反作用力将对管道的强度有很大的影响。

泄放阀开启的影响可看作是与阀门连接的接管对管道产生的一个局部作用力,设计者需在管道设计和支吊架的布置时考虑这个因素。如在管道或封头上安装有多个泄放阀,则需考虑多个泄放阀开启时的联合影响。

在设计中,考虑泄放阀开启的影响时,可认为管道中的物料向大气中排放,从而采用较简单的静态分析方法,再以一动态荷载系数来计及其动态效应。

向通风管或大气中排放物料时的持续反作用力(N)按公式(N.8)计算:

$$F_r = Mv_e + (p_e - p_a)A \quad \dots\dots\dots (\text{N.8})$$

式中:

$M$  —— 物料排放时的质量流速,单位为千克每秒( $\text{kg/s}$ );

$v_e$  —— 物料在泄放阀的出口速率,单位为米每秒( $\text{m/s}$ );

$p_e$  —— 泄放阀出口处的压力,单位为兆帕(MPa);

$p_a$  —— 大气压力,单位为兆帕(MPa);

$A$  —— 泄放阀出口处的物料流动面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

为了计及泄放阀开启瞬间所具有的动态效应,首先按公式(N.9)计算泄放阀的固有周期  $T(\text{s})$ :

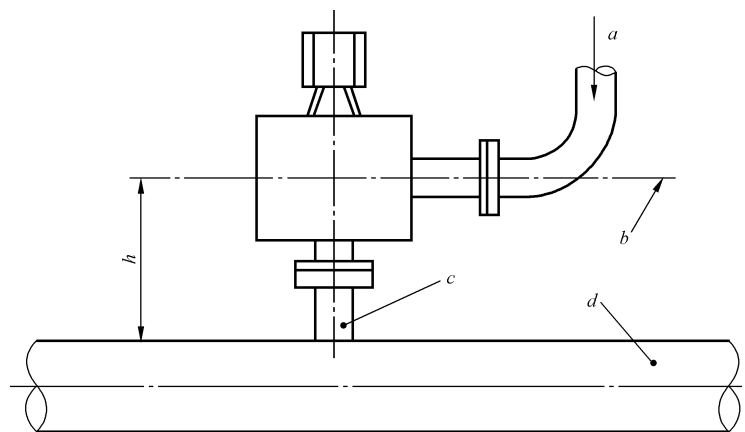
$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{m_v \cdot h^3}{1\,000 \times EJ}} \quad \dots\dots\dots (\text{N.9})$$

式中:

$m_v$  —— 泄放阀组件(包括法兰等)的质量,单位为千克(kg);

$h$  —— 主管表面至出口管中心线的距离(见图 N.1),单位为毫米(mm);

$J$  —— 泄放阀进口管的惯性矩,单位为四次方毫米( $\text{mm}^4$ )。



标引符号说明：  
 $a$  —— 反作用力；  
 $b$  —— 阀门出口管的中心线；  
 $c$  —— 阀门的进口管；  
 $d$  —— 主管。

图 N.1 泄放阀的典型布置

然后,用泄放阀实际开启时间  $t$  (从阀门完全关闭到完全打开所用的时间)与泄放阀固有周期  $T$  之比,从图 N.2 中查得动态荷载系数  $Z_{\text{dif}}$ 。

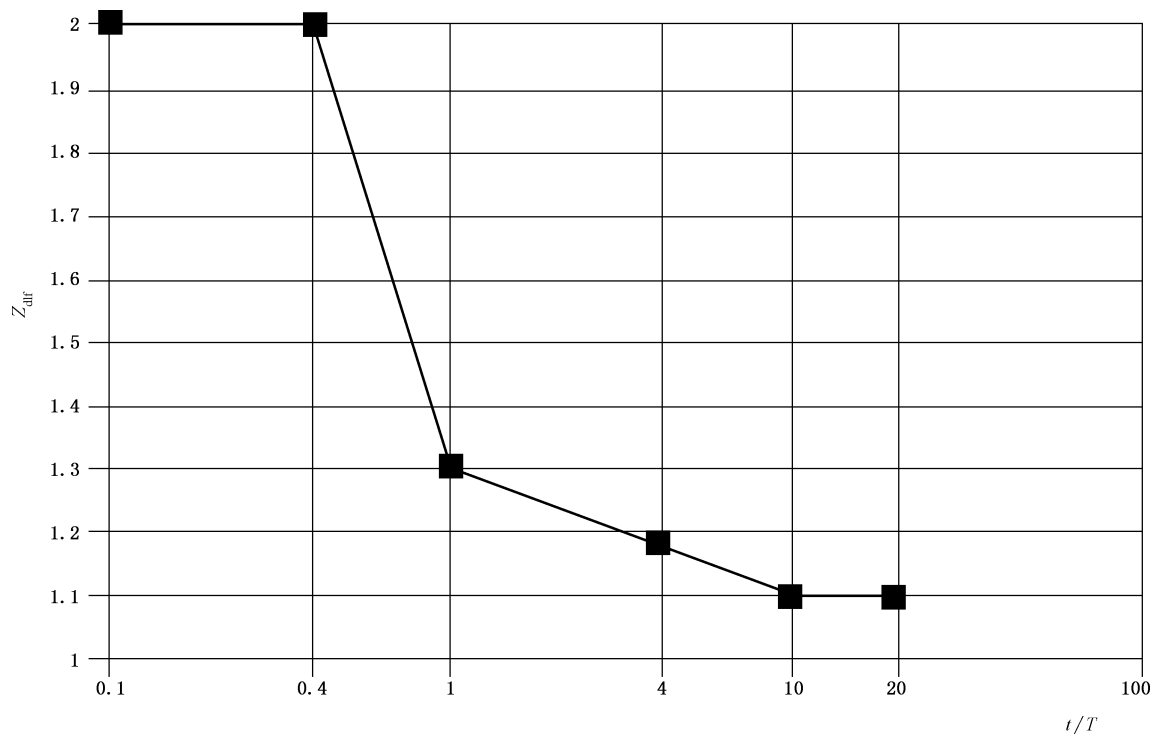


图 N.2 动态荷载系数  $Z_{\text{dif}}$

泄放阀开启瞬间的动态力(N),可按公式(N.10)计算:

$$F_{\text{d}} = F_{\text{r}} Z_{\text{dif}} \dots\dots\dots ( \text{ N.10 } )$$

附 录 O  
(资料性)  
静设备管口许用荷载

O.1 概述

本附录给出了设计压力大于 0.1 MPa 且小于 35 MPa 的一般钢制压力容器及管壳式换热器(简称“一般设备”)的管口许用荷载,包括一般设备的接管及其补强板、接管所在处的壳体应能承受的除压力外的力和弯矩。

本附录中的一般设备不包括固定顶罐、浮顶罐、储气罐、料仓、箱形容器等类似设备,接管不包括非法线接管和非圆形接管。

O.2 设计压力大于 0.1 MPa 且小于 10 MPa 的一般设备

O.2.1 对于半径  $R=1\,000\text{ mm}$ ,壳体有效厚度  $t=10\text{ mm}$  的一般设备,所有接管(与管道相连)及其补强板、接管所在处的壳体都需能够承受表 O.1 所列的力和弯矩(方向见图 O.1)。

表 O.1 设计压力大于 0.1 MPa 且小于 10 MPa 的设备管口许用荷载

| NPS | $P/\text{N}$ | $T_L/\text{N}$ | $T_C/\text{N}$ | $M_L/(\text{N}\cdot\text{m})$ | $M_C/(\text{N}\cdot\text{m})$ | $M_T/(\text{N}\cdot\text{m})$ |
|-----|--------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 3"  | 1 500        | 1 500          | 1 500          | 600                           | 600                           | 600                           |
| 4"  | 2 100        | 2 100          | 2 100          | 1 100                         | 1 100                         | 1 100                         |
| 6"  | 4 600        | 4 600          | 4 600          | 3 400                         | 3 400                         | 3 400                         |
| 8"  | 6 000        | 6 000          | 6 000          | 5 700                         | 5 700                         | 5 700                         |
| 10" | 7 600        | 7 600          | 7 600          | 6 900                         | 6 900                         | 6 900                         |
| 12" | 9 200        | 9 200          | 9 200          | 8 000                         | 8 000                         | 8 000                         |
| 14" | 10 800       | 10 800         | 10 800         | 9 200                         | 9 200                         | 9 200                         |
| 16" | 14 600       | 14 600         | 14 600         | 11 300                        | 11 300                        | 11 300                        |
| 18" | 18 500       | 18 500         | 18 500         | 13 500                        | 13 500                        | 13 500                        |
| 20" | 22 300       | 22 300         | 22 300         | 15 600                        | 15 600                        | 15 600                        |
| 24" | 30 000       | 30 000         | 30 000         | 20 000                        | 20 000                        | 20 000                        |

O.2.2 对于材料为不锈钢的一般设备,表 O.1 所列数值应降至 75%。

O.2.3 对于不同直径和壁厚的一般设备,应对表 O.1 所列数值乘以系数  $k$  进行修正, $k$  按公式(O.1)计算:

$$k=1.414t^{1.5}/\sqrt{D_i} \dots\dots\dots(\text{O.1})$$

式中:

$k$  ——修正系数;

$t$  ——接管所在处设备壳体有效厚度,单位为毫米(mm);

$D_i$  ——接管所在处设备壳体内径,单位为毫米(mm)。

O.3 设计压力大于或等于 10 MPa 且小于 35 MPa 的一般设备

此类设备的所有接管(与管道相连)及其补强板、接管所在处的壳体都需能够承受表 O.2 所列的力

和弯矩(方向见图 O.1)。

表 O.2 设计压力大于或等于 10 MPa 且小于 35 MPa 的设备管口许用荷载

| NPS     | $P/N$                      | $T_L/N$                    | $T_C/N$                    | $M_L/(N \cdot m)$          | $M_C/(N \cdot m)$          | $M_T/(N \cdot m)$          |
|---------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 2"      | 2 260                      | 1 040                      | 1 040                      | 1 060                      | 1 060                      | 1 060                      |
| 12-1/2" | 3 130                      | 1 440                      | 1 440                      | 1 470                      | 1 470                      | 1 470                      |
| 3"      | 3 980                      | 1 840                      | 1 840                      | 1 870                      | 1 870                      | 1 870                      |
| 4"      | 6 100                      | 2 820                      | 2 820                      | 2 860                      | 2 860                      | 2 860                      |
| 6"      | 12 460                     | 5 730                      | 5 730                      | 5 820                      | 5 820                      | 5 820                      |
| 8"      | 22 070                     | 10 200                     | 10 200                     | 10 400                     | 10 400                     | 10 400                     |
| 10"     | 35 810                     | 16 480                     | 16 480                     | 16 780                     | 16 780                     | 16 780                     |
| 12"     | 54 250                     | 25 020                     | 25 020                     | 25 410                     | 25 410                     | 25 410                     |
| 14"     | 71 020                     | 32 770                     | 32 770                     | 33 350                     | 33 350                     | 33 350                     |
| 16"     | 99 080                     | 45 810                     | 45 810                     | 46 500                     | 46 500                     | 46 500                     |
| 18"     | 134 400                    | 61 800                     | 61 800                     | 62 780                     | 62 780                     | 62 780                     |
| 20"     | 175 600                    | 81 230                     | 81 230                     | 82 500                     | 82 500                     | 82 500                     |
| 24"     | 284 490                    | 131 450                    | 131 450                    | 133 420                    | 133 420                    | 133 420                    |
| 24"以上   | $882.5 \times 10^{-6} D^3$ | $407.3 \times 10^{-6} D^3$ | $407.3 \times 10^{-6} D^3$ | $413.8 \times 10^{-6} D^3$ | $413.8 \times 10^{-6} D^3$ | $413.8 \times 10^{-6} D^3$ |

表 O.2 中的  $D$  按公式(O.2)进行计算：

$D = D_o + 76.2$

.....( O.2 )

式中：

$D_o$ ——接管外径,单位为毫米(mm)。

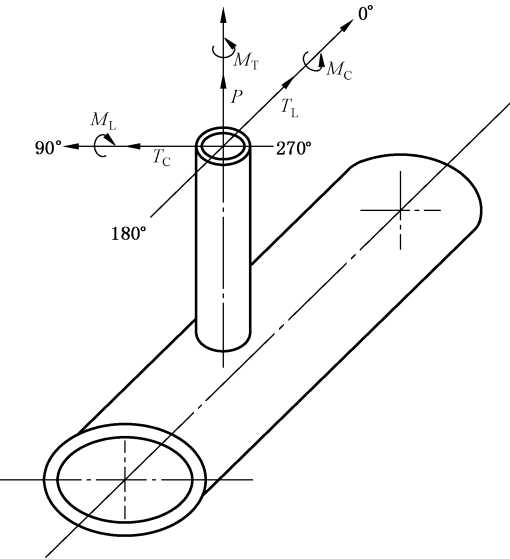


图 O.1 设备管口承受的力和力矩方向



**附 录 P**  
(规范性)  
**金属波纹膨胀节**

**P.1 基本要求**

本附录规定了压力管道中的膨胀节设计、制造和安装的一般要求和设计计算的标准。膨胀节所有组件的详细设计应由制造商负责。

**P.2 对管道设计者的要求****P.2.1 通则**

管道设计者应提供膨胀节详细设计的设计工况以及对设置膨胀节的管道设计要求。设计者应结合合金元素的含量、制造方法和最终热处理条件来确定材料产生应力腐蚀裂纹的敏感性。

除膨胀节中流动介质的性能外,设计者还应确定其外部环境和由于波纹管在低温下操作,可能在其外壁产生冷凝或结冰。

宜给出波纹管的单层最小厚度。

应确认膨胀节检修维护的可达性。

需要从膨胀节制造商处获得的数据至少包括:

- a) 有效的承受轴向内压的面积;
- b) 横向、轴向和扭转刚度;
- c) 特定设计条件下的设计疲劳寿命;
- d) 安装长度和质量;
- e) 在管道上附加支撑或约束的要求;
- f) 材料合格证明;
- g) 最大试验压力;
- h) 设计计算书;
- i) 总装配图。

**P.2.2 膨胀节设计条件**

管道设计提出的膨胀节设计条件包括:

**a) 静态设计条件**

本条件应包括正常操作状态下的压力、温度以及可能出现的压力、温度的波动上、下限。如果所给出的膨胀节组件设计温度不是介质温度,则该温度应通过适当的换热计算方法或试验的方法来核实,或通过对在同样条件下服役的相同设备的测量来获得。

**b) 循环设计条件**

本条件应包括操作期内同时作用的压力、温度、所施加的端点位移、膨胀节本身的热膨胀所对应的循环数。

由短时工况引起的循环数(如开车、停车和非正常操作)应单独说明,并应叠加累积疲劳效应。

**c) 其他荷载**

除以上条件之外的其他荷载也需说明,包括动力荷载(如风荷载、地震荷载、热冲击、振动等)和重力荷载(如绝热材料、雪、冰等产生的重力荷载)。

d) 流体特性

同设计要求相关的流体介质特性应在设计条件中指定。如建设单位(使用单位)指定的介质类型、流体速率和方向、内部衬里等。

e) 其他设计条件

影响膨胀节设计的其他条件应在设计条件中说明。如保护套的使用,内、外隔热层,限位装置,其他约束,膨胀节上的外加接管(如排气和排液管)等。

### P.2.3 管道设计要求

在进行管道布置、固定点位置和约束、导向件、支承件设计时,需避免在膨胀节上施加非预定的位移和力。例如,膨胀节通常不能抵抗扭矩。如膨胀节无自约束装置,管道上的固定和导向支承需能承受膨胀节的内压推力及柱失稳(由于管内流体压力)产生的荷载。

固定支吊架设计要求如下:

a) 主固定架

主固定架应能承受 P.2.2 中 b)所列的力和力矩以及压力所产生的推力,该推力等于膨胀节上承受轴向压力的有效面积乘以最大工作压力。对于在压力试验时无附加约束的膨胀节,应计及试验期间由试验压力所产生的推力比正常操作时的推力大,主固定架应能承受该推力。

膨胀节上承受轴向压力的有效面积应由制造商推荐。当无资料时,该面积可根据波纹的中径计算而得。

b) 中间固定架

中间固定架应能承受以下的力和力矩:

- 1) 约束膨胀节发生压缩、伸长、偏移或转动(由计算得到的位移、转角产生)时所需要的力或力矩;
- 2) 管道在最大伸缩位置间移动时,其支承上所产生的静摩擦力(计算位移是基于固定架和膨胀节之间的管道长度);
- 3) 流动介质所产生的操作荷载和瞬时动态荷载;
- 4) 其他的管道力和力矩。

### P.3 对膨胀节制造商的要求

#### P.3.1 制造总则

膨胀节制造商应根据本部分及工程设计要求进行膨胀节的详细设计以及整个膨胀节部件的制造和检验等,包括:

- a) 膨胀节装配件所包括的管子、法兰、管件、连接件、波纹管、管道的支承件或约束件等;
- b) 对膨胀节装配件以外需外加的支承件和约束件及其设计数据;
- c) 对那些与膨胀节一起提供,而与操作介质不接触的零部件确定其设计条件;
- d) 向管道设计者提供膨胀节的性能参数,如膨胀节的刚度、质量等;
- e) 随产品附安装说明书。

#### P.3.2 膨胀节设计

膨胀节的设计符合下列规定。

- a) 膨胀节的设计计算应符合 GB/T 12777 的规定。
- b) 在失稳压力下的安全系数不小于 2.25,在极限断裂压力下的安全系数不小于 3.00。
- c) 按标准 GB/T 12777 计算波形膨胀节的应力时,应采用 6.2.4 规定的材料许用应力值来判定所设计的膨胀节的强度。同时,应采用第 5 章及其有关附录所规定的弹性模量值计算膨胀节的

刚度和补偿量。

- d) 约束压力推力的结构件材料亦应符合第 5 章的相关规定。
- e) 由设计压力在波纹管、波纹管直边段和加强环中产生的环向膜应力及在波纹管中产生的子午向膜应力(包括紧固件中的拉应力)应不超过表 B.1 给出的许用应力。非表列材料的许用应力值按 6.2.4 的规定来确定。
- f) 成型后退火的非加强型波纹管,在波纹管的子午向膜应力与弯曲应力之和应不超过表 B.1 许用应力的 1.5 倍。
- g) 自约束型膨胀节的约束件(如拉杆、铰链、销轴等)和约束于管子或法兰的连接件中的应力应计算,其拉伸应力、压缩应力、挤压应力和剪切应力应不超过 6.2.4 所述的许用应力极限。约束件附着在管道上的情况,局部应力可使用 GB/T 4732(所有部分)的准则进行评定。
- h) 管段、管件和法兰的压力设计应符合 6.3、6.4、6.5 和 6.6 的要求。
- i) 疲劳分析应计及所有的设计循环工况,并应给出设计疲劳寿命的计算报告。
- j) 波纹管组件的操作温度在蠕变范围内时,应计及蠕变—疲劳相互作用的有害影响。
- k) 设计温度低于 425 ℃ 的成型态奥氏体不锈钢波纹管设计疲劳寿命按 GB/T 12777 的方法计算。

### P.3.3 膨胀节的制造、检验和压力试验

#### P.3.3.1 制造技术方案

在管道系统中设置膨胀节时,确保管道系统中安装的膨胀节具有足够的静载强度和疲劳强度。膨胀节的制造商应制定合适的制造技术方案,这些技术方案应包括 P.3.3.2~P.3.3.4 所述的内容。

#### P.3.3.2 制造

为使膨胀节能满足相连管道的位移补偿要求,可考虑采用与管道不同的材料来制造膨胀节,但应保证膨胀节与管道的焊接质量。膨胀节的焊接满足以下要求。

- a) 应由取得资格的合格焊工或焊机操作工使用已评定的焊接工艺进行焊接操作;焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 的要求。
- b) 膨胀节应采用整体液压成型的制造工艺,且仅可采用纵向焊接接头。
- c) 波纹管上的纵向焊缝应全焊透。在波纹管成型前,焊缝厚度应不小于波纹管材料名义厚度的 1.0 倍,且不大于 1.1 倍。
- d) 全角焊缝可用作波纹管组件与相邻管道组件的主焊缝。
- e) 制造波纹管的管坯不应使用搭接焊。
- f) 焊后热处理应符合以下规定:
  - 1) 当波纹管与管道组成件直接焊接,且管道组件材料类别为 Fe-4、Fe-5A、Fe-5B 时,该焊缝应按 7.6 的规定进行热处理,不应采用其免除热处理的规定;
  - 2) 当确认热处理对波纹管的性能有害时,波纹管不应直接与管道组成件焊接,管道组成件的焊缝坡口边应使用适当的填充金属堆焊隔离层,并符合 NB/T 47014 的规定,堆焊隔离层的焊件应经热处理后再与波纹管焊接;
  - 3) 热处理的恒温时间应由管道组成件的厚度确定;
  - 4) 焊缝的检测应在热处理后进行。

#### P.3.3.3 检验

以下是控制焊接质量的最低检验要求。

- a) 焊缝检验应符合第 8 章的要求。
- b) 在波纹管成型前,纵焊缝应进行 100%射线检测;如波纹管名义厚度小于或等于 2.4 mm,可采用单面焊,且应在内、外表面进行渗透检测代替射线检测;波纹管的纵向焊接接头质量系数取 1.0。
- c) 波纹管成型后,可及的内、外表面焊缝均应进行渗透检测;波纹管与管道连接的环焊缝等也应进行 100%渗透检测。
- d) 射线检测结果的判定应符合 8.3.3.2.2 对纵缝的要求。渗透检测结果的判定标准是不存在有裂纹、咬边和未焊透。

#### P.3.3.4 压力试验

膨胀节的压力试验符合下列规定。

- a) 制造商应按 8.6 的规定对每一个膨胀节进行压力试验,试验压力应按 8.6.1.3 和 8.6.1.4 确定,公式(55)中的  $S_1$ 、 $S_2$  宜按膨胀节所在管道的管道材料选取,试验压力至少应保持 10 min。
- b) 能抵抗压力推力的膨胀节,在压力试验时,不应提供外加的轴向约束。如有必要,可施加模拟管道刚度的暂时约束。
- c) 在压力试验时,除要检查泄漏和结构总体强度外,还应在压力试验前、压力试验时和压力试验后确认无波纹管屈曲现象。在进行内压的压力试验时,初始状态为对称的波纹管会发生变形,该变形可导致波纹管之间不平行或波纹管波距不一致,这时就认为屈曲已经产生。不准许出现以下情形的变形:
  - 1) 对于无加强的膨胀节,最大的波距与受压前的波距之比大于 1.15;
  - 2) 对于有加强的膨胀节,最大的波距与受压前的波距之比大于 1.20。对泄漏和变形的检测应在 100%试验压力达到后、不低于 2/3 试验压力下进行。
- d) 对于屈曲的检查应在最大试验压力时进行。为了安全,可在临时安装有参考尺寸的隔间通过远距离观察(通过望远镜或录像等)进行检查。泄漏检查应在 100%试验压力到达之后且不低于 2/3 试验压力下进行。气压试验应遵照 8.6.1.4 的规定。

#### P.4 安装

膨胀节的安装符合下列规定:

- a) 膨胀节安装时应使导流标志方向与介质流向一致;
- b) 不应利用膨胀节的变形来调整或弥补管道的安装偏差;
- c) 安装时需避免波纹管产生划痕、焊弧、焊接飞溅或凹陷等缺陷;
- d) 膨胀节吊装时,不应将任何提升装置直接作用在波纹管或波纹管的外保护罩上,在吊装过程中,应避免波纹管和法兰密封面受到机械损伤;
- e) 在所有导向支架和固定支架被正确安装完毕前,不应进行压力试验或对其抽真空;
- f) 管道的固定支架安装完毕,并且管道得到正确的支承和导向,膨胀节上的运输固定装置应拆除,使膨胀节在以后的过程中随环境温度的变化进行补偿;
- g) 膨胀节安装除上述要求外,还应满足制造商的安装说明书的要求。

## 附 录 Q

(资料性)

## 位移载荷高循环作用下管道系统的疲劳分析

## Q.1 概述

本附录提供的方法适用于各种位移交变载荷产生的重要应力循环且总循环数超过 100 000 次时的管道系统的疲劳分析。对应用于非腐蚀环境的管道系统中的铁素体钢和奥氏体不锈钢部件,重要应力循环是指按 6.7.5.5 计算得到的位移应力范围超过 20.7 MPa 的应力循环。对于其他材料或应用于腐蚀环境的管道部件,所有位移交变载荷产生的应力循环均为重要应力循环,否则,需在设计文件中予以特别标示。

应用本附录的方法应获得建设单位(使用单位)的认可,并详细记录应用该方法时的数据和步骤。

本附录所提供的方法对于管道系统所承受的压力波动以及由此产生的效应没有考虑,但其引起的管道系统中各受压组件的应力循环而可能产生的疲劳失效在设计 and 制造中应予以考虑。当需要考虑压力波动引起的管道以及管道组件中的应力循环而进行疲劳强度评定时,可采用 GB/T 4732(所有部分)中所提供的疲劳分析方法。

无论是采用本附录的方法或 GB/T 4732(所有部分)的方法对管道系统进行疲劳分析和评定,均不能免除 6.7.5.5 对管道位移应力范围的强度校核,并在使用 6.7.5.5 中方法进行位移应力范围校核时,系数  $f$  应取 1.0。如使用本附录方法进行疲劳分析与校核,则按 6.7.5.5 中方法计算得到的  $S_E$  应不大于公式(34)所确定的值  $S_A$ 。

## Q.2 符号

下列符号适用于本附录:

- $CF$  —— 焊接接头疲劳曲线系数,见表 Q.1;
- $d_t$  —— 定值热应力幅引起的疲劳损伤系数;
- $E$  —— 操作温度下的弹性模量,单位为兆帕(MPa);
- $E_{CSA}$  —— 碳钢在常温(21 °C)下的弹性模量,单位为兆帕(MPa);
- $f_E$  —— 环境因素修正系数;
- $f_1$  —— 焊接接头疲劳性能改善系数;
- $f_{M,k}$  —— 应力比修正系数;
- $f$  —— 材料和温度修正系数;
- $k$  —— 疲劳强度壁厚指数,见表 Q.1;
- $m$  —— 焊接接头疲劳曲线指数;
- $N_i$  —— 对应于载荷或应力循环  $i$  的循环次数;
- $N_{ti}$  —— 对应于载荷或应力循环  $i$  的许用循环次数;
- $q$  —— 计算  $f_1$  的指数;
- $S_{Ei}$  —— 对应于载荷或应力循环  $i$  的位移应力范围,单位为兆帕(MPa);
- $\sigma_{i,max}$  —— 对应于载荷或应力循环  $i$  计算得到的最大位移应力,单位为兆帕(MPa);
- $\sigma_{i,min}$  —— 对应于载荷或应力循环  $i$  计算得到的最小位移应力,单位为兆帕(MPa);
- $S_{yi}$  —— 对应于载荷或应力循环  $i$ ,部件材料的屈服强度,单位为兆帕(MPa);
- $T_E$  —— 部件在焊接接头处的有效厚度,单位为毫米(mm);
- $\bar{T}$  —— 部件在焊接接头处的名义厚度,单位为毫米(mm)。

### Q.3 设计步骤

**Q.3.1** 按建设单位(使用单位)或工艺计算确定的设计数据表建立包括所有位移载荷的 Load(载荷)- $t$ (时间)坐标系[或确定管道系统中需要进行疲劳分析的危险点,在各点建立  $S$ (应力)- $t$ (时间)坐标系]。

**Q.3.2** 针对需进行疲劳分析的危险点,按载荷循环计算应力范围及其对应的循环次数。对于主应力方向恒定的场合可按以下方法进行。

a) 对应每一工况中循环  $i$  的位移载荷,按 6.7.5.5 计算各位移应力峰值  $\sigma_{pi}$  和位移应力谷值  $\sigma_{vj}$ ,并在坐标系中标记计算得到的应力值以及其对应发生的时间节点  $t_i$  和  $t_j$ ,如图 Q.1。

b) 选取最大的应力峰值和最小的应力谷值,计算该两应力的差值的绝对值  $S_{Ei} = |\sigma^m - \sigma^n|$ 。

注:对于非腐蚀环境的管道系统中的铁素体钢和奥氏体不锈钢部件,如计算得到的  $S_{Ei}$  小于 20.7 MPa 的应力循环可不计入需进行疲劳分析的循环次数。

c) 删除时间点  $t_m$ 、 $t_n$  以及对应的  $\sigma^m$ 、 $\sigma^n$ ,检查该工况中仍存在应力峰值或谷值,如有,返回 b);如已没有应力峰值和应力谷值,则进入 Q.3.3。

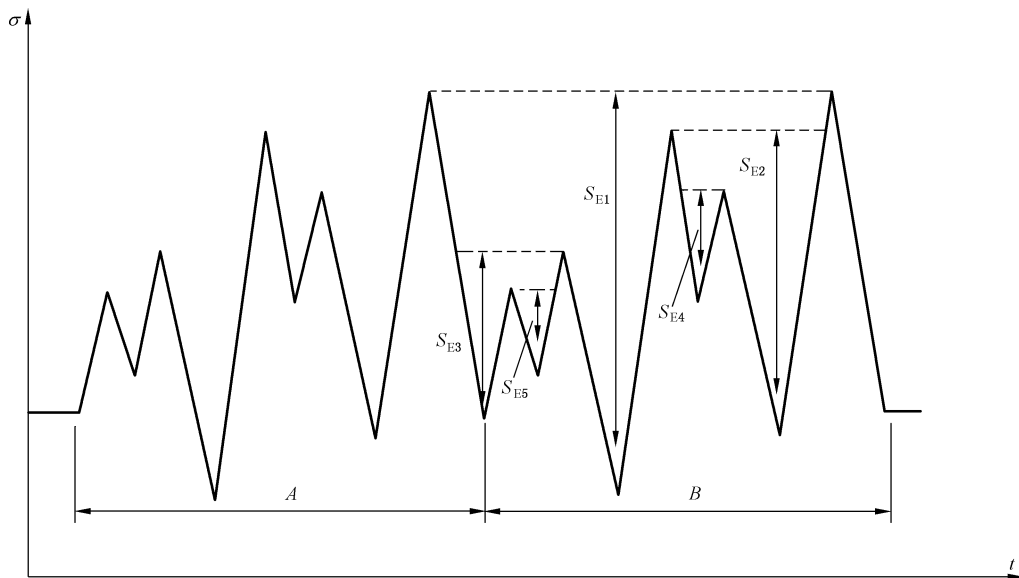


图 Q.1 应力循环次数的计数方法

**Q.3.3** 统计具有应力变化范围  $S_{Ei}$  的循环次数  $N_i$ 。

**Q.3.4** 确定以下各计算系数的值:

a) 焊接接头疲劳性能改善系数  $f_1$  一般可取 1.0,但如对焊缝表面进行处理后也可按以下公式取值:

1) 表面打磨:

$$f_1 = 1.0 + 2.5 \times 10^q \quad \dots\dots\dots (\text{Q.1})$$

$$q = 0.001\,6 \cdot (S_{Ei} \cdot T_E^k)^{1.6} \quad \dots\dots\dots (\text{Q.2})$$

2) 表面锤击平整成形:

$$f_1 = 1.0 + 4.0 \times 10^q \quad \dots\dots\dots (\text{Q.3})$$

b) 对于设计温度不超过 93 ℃ 的碳钢钢管,环境因素修正系数  $f_E$  可取为 1.0;对于其他材料或温度,  $f_E$  可取为 4.0。  $f_E$  也可按设计文件规定取值。

c) 系数  $CF$ 、 $m$ 、 $k$  按表 Q.1 取值;但如由建设单位(使用单位)确认,并在设计文件中注明,则也可

按表 Q.2 取值。表 Q.1 和表 Q.2 中数值的最高适用温度对碳素钢为 371 ℃,对奥氏体不锈钢为 427 ℃,对铝为 204 ℃。对于设计温度超过以上规定或使用了其他材料,各系数的值由建设单位(使用单位)和设计者商定,并在设计文件中注明。

表 Q.1 材料系数(−3σ)

| 材料          | CF     | <i>m</i> | <i>k</i> |
|-------------|--------|----------|----------|
| 铁素体钢、奥氏体不锈钢 | 14 137 | 3.13     | 0.222    |
| 铝、铝合金       | 2 303  | 3.61     | 0.222    |

表 Q.2 材料系数(−2σ)

| 材料          | CF     | <i>m</i> | <i>k</i> |
|-------------|--------|----------|----------|
| 铁素体钢、奥氏体不锈钢 | 16 942 | 3.13     | 0.222    |
| 铝、铝合金       | 2 828  | 3.61     | 0.222    |

d) 应力比修正系数  $f_{M,k}$  按公式(Q.4)取值:

$$f_{M,k} = \begin{cases} 1.0, & (\sigma_{i,max} + \sigma_{i,min}) \leq S_{yi} \\ \left(1 - \frac{\sigma_{i,min}}{\sigma_{i,max}}\right)^{0.2778}, & (\sigma_{i,max} + \sigma_{i,min}) > S_{yi} \end{cases} \dots\dots\dots (Q.4)$$

e) 材料和温度修正系数  $f_t=E/E_{CSA}$ ;

f) 部件的有效厚度  $T_E$  按公式(Q.5)取值:

$$T_E = \begin{cases} 16, \overline{T} \leq 16 \text{ mm} \\ \overline{T}, 16 \text{ mm} < \overline{T} < 150 \text{ mm} \\ 150, \overline{T} \geq 150 \text{ mm} \end{cases} \dots\dots\dots (Q.5)$$

Q.3.5 对载荷或应力循环  $i$  计算许用循环次数  $N_{ti}$  按公式(Q.6)计算:

$$N_{ti} = \frac{f_I}{f_E} \left( \frac{CF \cdot f_{M,k} \cdot f_t}{S_{Ei} \cdot T_E^k} \right)^m \dots\dots\dots (Q.6)$$

Q.3.6 重复步骤 Q.3.2~Q.3.5,直至所有载荷或应力循环的许用循环次数  $N_{ti}$  都已求得,然后,计算疲劳损伤系数  $d_t$  [按公式(Q.7)]:

$$d_t = \sum \frac{N_i}{N_{ti}} \dots\dots\dots (Q.7)$$

该疲劳损伤系数  $d_t$  不大于 1.0。如  $d_t > 1.0$ ,表示该危险点疲劳强度不合格。

Q.3.7 针对每一可能发生疲劳失效的危险点重复步骤 Q.3.2~Q.3.6 完成管道系统的疲劳分析。

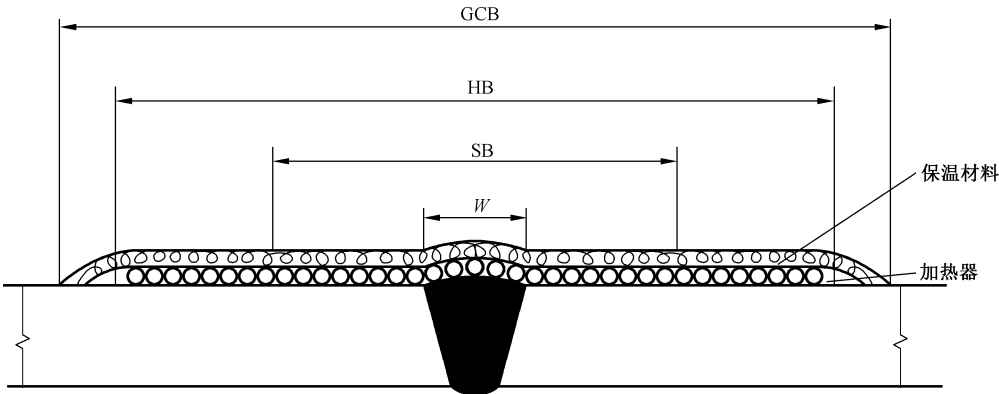
附录 R  
(资料性)

局部焊后热处理的温度控制范围、热电偶设置及隔热

R.1 局部焊后热处理的温度控制范围

R.1.1 管道焊后热处理的温度控制范围

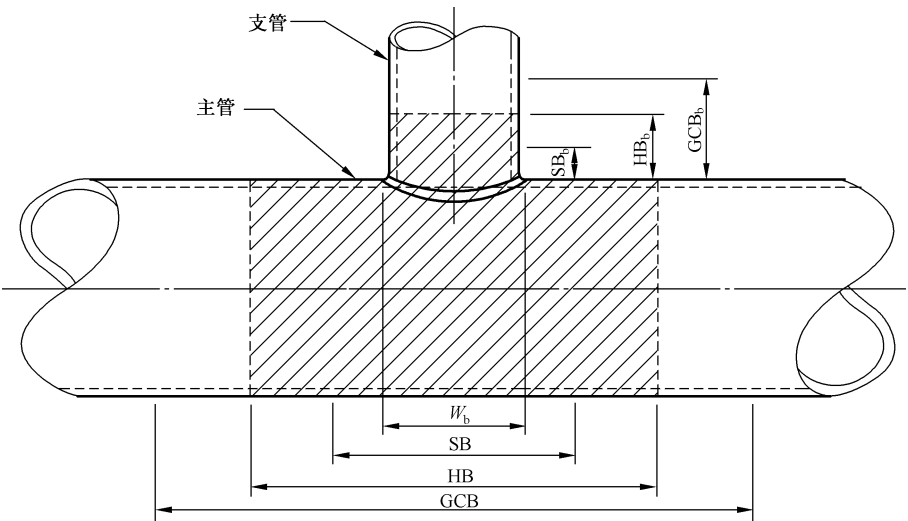
R.1.1.1 管道焊后热处理的温度控制范围包括均温带、加热带和隔热带(见图 R.1~图 R.4)。



标引符号说明:

W——焊缝宽度;SB——均温带宽度;HB——加热带宽度;GCB——隔热带宽度。

图 R.1 管道对接环缝的焊后热处理的温度控制带示意图

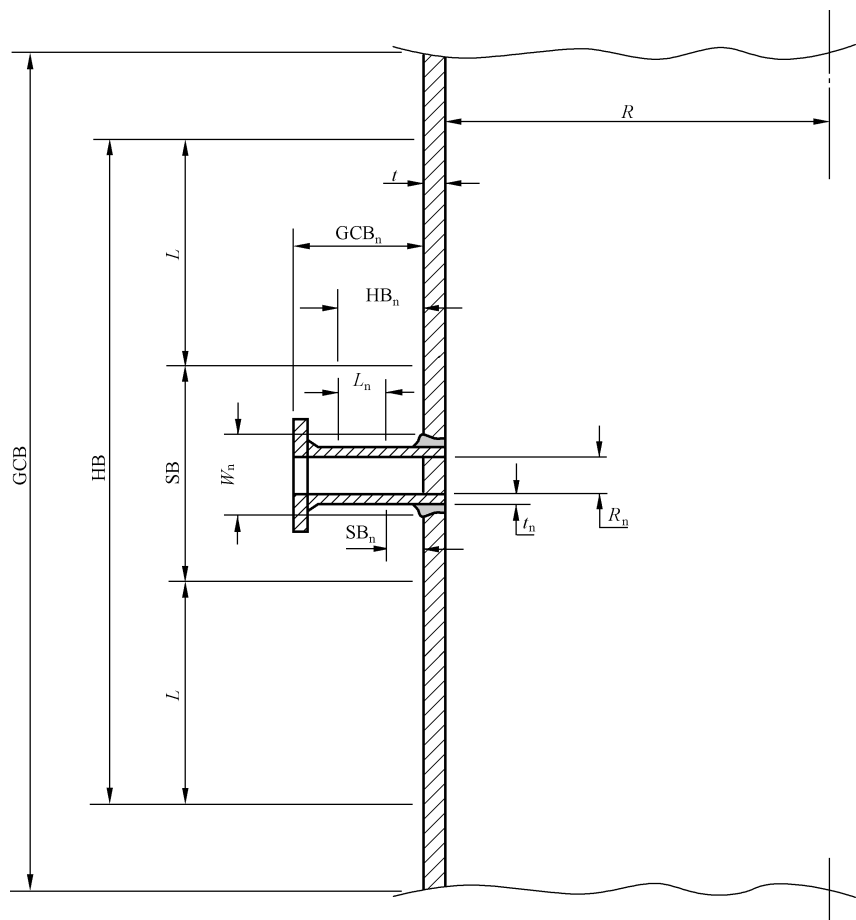


标引符号说明:

$W_b$ ——支管连接焊缝的宽度; $SB_b$ ——支管均温带宽度; $HB_b$ ——支管加热带宽度; $GCB_b$ ——支管隔热带宽度;  
SB——均温带宽度;HB——加热带宽度;GCB——隔热带宽度。

图 R.2 管道支管连接的焊后热处理的温度控制带示意图

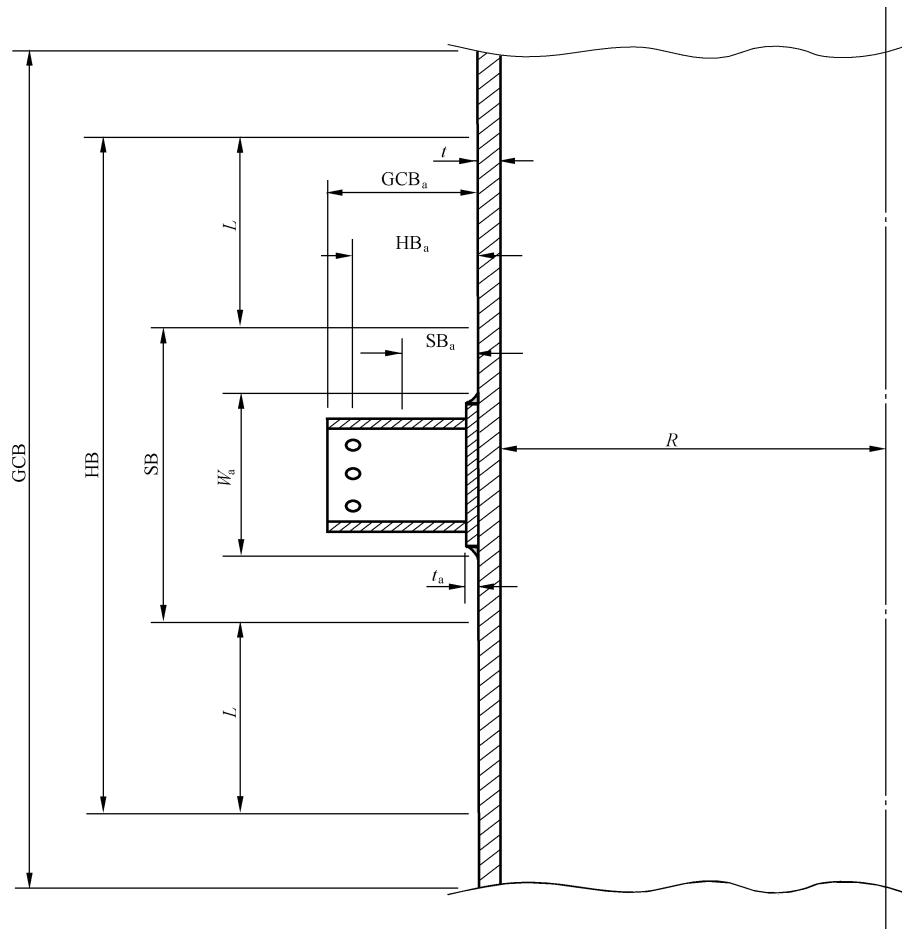




标引符号说明：

$W_n$ ——管嘴连接焊缝的宽度；SB——均温带宽度； $SB_n$ ——管嘴上的均温带宽度； $L$ 、 $L_n$ ——温度可能下降到均温带边缘温度一半时的最小距离；HB——加热带宽度； $HB_n$ ——管嘴上的加热带宽度；GCB——隔热带宽度； $GCB_n$ ——管嘴隔热带宽度； $t$ ——管道公称厚度； $t_n$ ——管嘴颈的公称厚度； $R$ ——主管管内半径； $R_n$ ——接管内半径。

图 R.3 管嘴与管道连接焊缝的焊后热处理的温度控制带示意图



标引符号说明：

$W_a$ ——非承压件连接焊缝的宽度；SB——均温带宽度； $SB_a$ ——非承压件的均温带宽度； $L$ ——温度可能下降到均温带边缘温度一半时的最小距离；HB——加热带宽度； $HB_a$ ——非承压件上的加热带宽度；GCB——隔热带宽度； $GCB_a$ ——非承压件隔热带宽度； $t$ ——管道公称厚度； $t_a$ ——非承压件的公称厚度； $R$ ——主管管内半径。

图 R.4 非承压件与管道连接焊缝的焊后热处理的温度控制带示意图

**R.1.1.2** 均温带指焊件达到规定温度的体积范围在其表面的区域，包括焊缝区、熔合区、热影响区及其相邻母材。均温带所示体积范围内任意一点温度均需要符合焊后热处理的规定，均温带宽度不小于 3 倍的环缝焊接处的最大壁厚。对于支管连接、管嘴或非承压件与管道连接的焊缝，均温带的宽度需从焊缝边缘各向外延伸不小于 2 倍的主管厚度。

**R.1.1.3** 加热带指为保证焊件获得规定的均温体积范围而实施加热的区域。加热带环绕包括均温带在内的主管及支管（管嘴或非承压件）的管道焊缝全圆周，并保证均温带所示体积范围的温度值。如不产生有害的温度梯度，在离开均温带较远处，可减少加热带的宽度或降低其温度。推荐的加热带宽度为下列三者中的较大者：

a) 最小均温带宽度加 50 mm，即  $SB + 50$  mm；

b)  $SB + 4\sqrt{Rt}$ ；

c)  $\frac{H_i \left[ \frac{D^2 - d^2}{2} + (D)(SB) \right]}{D}$ 。

式中：

$t$  ——管壁（主管、支管）厚度，单位为毫米（mm）；

- $R$  ——管子(主管、支管)半径,单位为毫米(mm);
- $D$  ——管子(主管、支管)外径,单位为毫米(mm);
- $d$  ——管子(主管、支管)内径,单位为毫米(mm);
- $H_i$  ——系数,按下列情况取值:
- 对于小于或等于 DN150 的水平位置管道使用 1 个周向控制区, $H_i=5$ ;
  - 对于小于或等于 DN150 的水平位置管道使用 2 个周向控制区, $H_i=3$ ;
  - 对于大于 DN150 的水平位置管道且至少使用 2 个周向控制区, $H_i=3$ ;
  - 对于所有垂直位置的管道, $H_i=3$ 。

**R.1.1.4** 隔热带指为防止焊件均温范围和加热范围散热而在其表面铺设绝热材料的区域。隔热带需保证热能效率,并防止产生有害的温度梯度。最小隔热带宽度(GCB)推荐为  $HB+4\sqrt{Rt}$ 。

**R.1.2 加热带的温度**

加热、保温和冷却期间,加热带边缘的温度不低于均温带边缘温度的一半。

**R.1.3 加热装置的布置**

加热装置沿焊缝方向布置。对于水平位置的管道,加热装置中心需正对焊缝中心;对于垂直位置的管道,放置加热装置时需考虑焊缝中心以下部分温度较低的影响。

**R.2 热电偶设置**

**R.2.1** 垂直位置的管道焊接接头进行局部焊后热处理时,需使用不少于 2 支热电偶,沿圆周均匀布置。其中,焊缝中心设置不少于 1 只温控热电偶,均温带边缘设置监控热电偶。

**R.2.2** 水平位置管道焊接接头进行局部焊后热处理时,需根据管道外径采取与分区加热相应的测温、控温方式安装热电偶,分区数量与热电偶的安装要求见表 R.1。每个温控区焊缝中心需设置不少于 1 只温控热电偶,均温带边缘设置监控热电偶。

表 R.1 水平位置管道焊后热处理时分区数量与控温热电偶的安装要求

| 管道公称直径<br>mm                     | 分区控温数量 | 周向上控温热电偶位置              | 说明      |
|----------------------------------|--------|-------------------------|---------|
| $\leq 250$                       | 1      | 12:00 位置                | 适用于所有钢材 |
| $250 < D \leq 500$ <sup>a</sup>  | 2      | 12:00、6:00 位置           | 适用于所有钢材 |
| $500 < D \leq 750$               | 3      | 12:00、4:00、8:00 位置      | 适用于高合金钢 |
| $D > 750$                        | 4      | 12:00、3:00、6:00、9:00 位置 | 适用于高合金钢 |
| <sup>a</sup> 对于碳钢、低合金钢,管道外径上限不限。 |        |                         |         |

**R.2.3** 异形焊接接头(如支管、管嘴、非承压件等)进行焊后热处理时,需采取措施使得焊件实际被加热的最高温度位于被热处理焊缝上。焊后热处理时,在焊缝中心设置不少于 1 只温控热电偶,在主管与支管上的均温带边缘设置监测热电偶。

**R.2.4** 必要时,可在加热带的边缘增设监测热电偶,以监测焊件的轴向温度梯度。条件允许的情况下可在管道内表面设置监测热电偶,以确保整个厚度上达到所需热处理温度。

**R.3 隔热**

**R.3.1** 隔热层材料能在焊后热处理温度和保温时间内保持原有性能,不降低保温效果。保温厚度需根

据绝热材料的特性确定,一般不小于 60 mm,隔热层外表面温度不高于 60 ℃。

**R.3.2** 保温材料用整片包覆。当无法避免拼接时,相邻两块保温材料搭接宽度不大于 100 mm;多层铺设时,每两层之间的接缝需错开。

**R.3.3** 根据需要,可通过改变保温层厚度来调整管道加热部分不同区域的温差。

附 录 S  
(资料性)  
管道封闭口装配错口偏差评估方法

S.1 概述

本附录给出了对管道封闭口装配的错口偏差进行定量评估的基本方法,用于管道系统的首次安装,也用于管道的常规维护。

本附录基于封闭口两端管道的柔度,对管道封闭口错口偏差进行评估。

S.2 管道错口偏差评估方法

S.2.1 应变敏感性管道最终封闭口的装配允许值见表 S.1,适用于与泵机、小型透平机、压缩机等传动机械,以及与需要进行管道应力分析的容器和储罐的接管相连接的管道系统。非应变敏感性管道最终封闭口的装配允许值见表 S.2。

S.2.2 管道封闭点安装时,如果横向和轴向的自由管段长度大于表 S.1 或表 S.2 给出的最小装配管道长度,则允许通过冷拉调整的方法进行对口。否则,该管道需重新装配或进行技术评估。

表 S.1 应变敏感管道的允许错口值

| 公称直径<br>mm | 管道组对时的允许错口值   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | mm            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | 2.5           | 5    | 7.5  | 10   | 12.5 | 15   | 17.5 | 20   | 22.5 | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
|            | 应变敏感管道的最小管道总长 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | m             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 15         | 1.7           | 2.4  | 2.9  | 3.4  | 3.7  | 4.1  | 4.4  | 4.8  | 5.0  | 5.3  | 5.8  | 6.3  | 6.7  | 7.1  | 7.5  |
| 20         | 1.9           | 2.7  | 3.2  | 3.7  | 4.2  | 4.6  | 5.0  | 5.3  | 5.6  | 5.9  | 6.5  | 7.0  | 7.5  | 8.0  | 8.4  |
| 25         | 2.1           | 3.0  | 3.6  | 4.2  | 4.7  | 5.2  | 5.5  | 5.9  | 6.3  | 6.6  | 7.3  | 7.8  | 8.4  | 8.9  | 9.4  |
| 40         | 2.5           | 3.6  | 4.4  | 5.0  | 5.6  | 6.2  | 6.7  | 7.1  | 7.6  | 8.0  | 8.7  | 9.4  | 10.1 | 10.7 | 11.3 |
| 50         | 2.8           | 3.1  | 4.9  | 5.6  | 6.3  | 6.9  | 7.5  | 8.0  | 8.4  | 8.9  | 9.8  | 10.5 | 11.3 | 11.9 | 12.6 |
| 65         | 3.1           | 4.4  | 5.4  | 6.2  | 6.9  | 7.6  | 8.2  | 8.8  | 9.3  | 9.8  | 10.7 | 11.6 | 12.4 | 13.2 | 13.9 |
| 75         | 3.4           | 4.8  | 5.9  | 7.1  | 7.7  | 8.4  | 9.1  | 9.7  | 10.3 | 10.8 | 11.9 | 12.8 | 13.7 | 14.5 | 15.3 |
| 100        | 3.9           | 5.5  | 6.7  | 7.8  | 8.7  | 9.5  | 10.3 | 11.0 | 11.6 | 12.3 | 13.4 | 14.5 | 15.5 | 16.5 | 17.3 |
| 150        | 4.7           | 6.6  | 8.1  | 9.4  | 10.5 | 11.5 | 12.5 | 13.3 | 14.1 | 14.9 | 16.3 | 17.6 | 18.8 | 20.0 | 21.1 |
| 200        | 5.4           | 7.6  | 9.3  | 10.7 | 12.1 | 13.2 | 14.2 | 15.2 | 16.1 | 17.0 | 18.6 | 20.1 | 21.5 | 22.8 | 24.0 |
| 250        | 6.0           | 8.5  | 10.4 | 12.0 | 13.4 | 14.7 | 15.8 | 16.9 | 18.0 | 19.0 | 20.8 | 22.4 | 24.0 | 25.5 | 26.8 |
| 300        | 6.5           | 9.2  | 11.3 | 13.0 | 14.6 | 16.0 | 17.3 | 18.5 | 19.6 | 20.6 | 22.6 | 24.4 | 26.1 | 27.7 | 29.2 |
| 350        | 6.8           | 9.7  | 11.9 | 13.7 | 15.3 | 16.8 | 18.1 | 19.4 | 20.5 | 21.6 | 23.7 | 25.6 | 27.4 | 29.0 | 30.5 |
| 400        | 7.3           | 10.3 | 12.7 | 14.6 | 16.4 | 17.9 | 19.4 | 20.7 | 21.9 | 23.1 | 25.3 | 27.4 | 29.3 | 31.1 | 32.6 |

表 S.1 应变敏感管道的允许错口值（续）

| 公称直径<br>mm                   | 管道组对时的允许错口值 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              | mm          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                              | 2.5         | 5    | 7.5  | 10   | 12.5 | 15   | 17.5 | 20   | 22.5 | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| 应变敏感管道的最小管道总长                |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| m                            |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 450                          | 7.8         | 11.0 | 13.4 | 15.5 | 17.3 | 19.0 | 20.5 | 21.9 | 23.3 | 24.5 | 26.9 | 29.0 | 31.1 | 32.9 | 34.7 |
| 500                          | 8.2         | 11.6 | 14.2 | 16.4 | 18.3 | 20.0 | 21.6 | 23.1 | 24.5 | 25.9 | 28.3 | 30.5 | 32.6 | 34.7 | 36.6 |
| 550                          | 8.6         | 12.1 | 14.8 | 17.2 | 19.2 | 21.0 | 22.7 | 24.3 | 25.7 | 27.1 | 29.7 | 32.0 | 34.4 | 36.3 | 38.4 |
| 600                          | 9.0         | 12.7 | 15.5 | 17.9 | 20.0 | 21.9 | 23.7 | 25.3 | 26.9 | 28.3 | 31.1 | 33.5 | 36.0 | 38.1 | 39.9 |
| 650                          | 9.3         | 13.2 | 16.2 | 18.7 | 20.8 | 22.8 | 24.7 | 26.4 | 28.0 | 29.5 | 32.3 | 34.7 | 37.2 | 39.6 | 41.8 |
| 700                          | 9.7         | 13.7 | 16.8 | 19.4 | 21.6 | 23.7 | 25.6 | 27.4 | 29.0 | 30.5 | 33.5 | 36.3 | 38.7 | 41.1 | 43.3 |
| 750                          | 10.0        | 14.2 | 17.3 | 20.0 | 22.4 | 24.5 | 26.5 | 28.3 | 30.1 | 31.7 | 34.7 | 37.5 | 39.9 | 42.4 | 44.8 |
| 注：表中所示错口偏差值和最小装配管道长度可用内插法求得。 |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

表 S.2 非应变敏感管道的允许错口值

| 公称直径<br>mm    | 管道组对时的允许错口值 |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | mm          |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|               | 2.5         | 5   | 7.5 | 10   | 12.5 | 15   | 17.5 | 20   | 22.5 | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| 应变敏感管道的最小管道总长 |             |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| m             |             |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 15            | 1.2         | 1.7 | 2.0 | 2.4  | 2.7  | 2.9  | 3.1  | 3.4  | 3.6  | 3.7  | 4.1  | 4.4  | 4.8  | 5.0  | 5.3  |
| 20            | 1.3         | 1.9 | 2.3 | 2.7  | 3.0  | 3.2  | 3.5  | 3.7  | 4.0  | 4.2  | 4.6  | 5.0  | 5.3  | 5.6  | 5.9  |
| 25            | 1.5         | 2.1 | 2.6 | 3.0  | 3.3  | 3.6  | 3.9  | 4.2  | 4.5  | 4.7  | 5.2  | 5.5  | 5.9  | 6.3  | 6.6  |
| 40            | 1.8         | 2.4 | 3.1 | 3.6  | 4.0  | 4.3  | 4.7  | 5.0  | 5.3  | 5.6  | 6.1  | 6.7  | 7.1  | 7.6  | 7.9  |
| 50            | 2.0         | 2.8 | 3.4 | 4.0  | 4.5  | 4.9  | 5.3  | 5.6  | 6.0  | 6.3  | 6.9  | 7.5  | 8.0  | 8.4  | 8.9  |
| 65            | 2.2         | 3.1 | 3.8 | 4.4  | 4.9  | 5.4  | 5.8  | 6.2  | 6.6  | 6.9  | 7.6  | 8.2  | 8.8  | 9.3  | 9.8  |
| 75            | 2.4         | 3.4 | 4.2 | 4.8  | 5.4  | 5.9  | 6.4  | 6.8  | 7.3  | 7.7  | 8.4  | 9.1  | 9.7  | 10.3 | 10.8 |
| 100           | 2.7         | 3.9 | 4.8 | 5.5  | 6.1  | 6.7  | 7.3  | 7.8  | 8.2  | 8.7  | 9.5  | 10.3 | 11.0 | 11.6 | 12.3 |
| 150           | 3.3         | 4.7 | 5.8 | 6.6  | 7.4  | 8.1  | 8.8  | 9.4  | 10.0 | 10.5 | 11.3 | 12.5 | 13.3 | 14.0 | 14.9 |
| 200           | 3.8         | 5.4 | 6.6 | 7.6  | 8.5  | 9.3  | 10.1 | 10.7 | 11.4 | 12.0 | 13.2 | 14.2 | 15.2 | 16.1 | 17.0 |
| 250           | 4.2         | 6.0 | 7.3 | 8.5  | 9.5  | 10.4 | 11.2 | 11.9 | 12.7 | 13.4 | 14.7 | 15.8 | 16.9 | 18.0 | 19.0 |
| 300           | 4.6         | 6.5 | 8.0 | 9.2  | 10.3 | 11.3 | 12.2 | 13.0 | 13.8 | 14.6 | 16.0 | 17.3 | 18.5 | 19.5 | 20.6 |
| 350           | 4.8         | 6.9 | 8.4 | 9.7  | 10.8 | 11.9 | 12.8 | 13.7 | 14.5 | 15.3 | 16.8 | 18.1 | 19.4 | 20.4 | 21.6 |
| 400           | 5.2         | 7.3 | 9.0 | 10.3 | 11.6 | 12.7 | 13.7 | 14.6 | 15.5 | 16.4 | 17.9 | 19.4 | 20.7 | 21.9 | 23.1 |
| 450           | 5.5         | 7.8 | 9.5 | 11.0 | 12.3 | 13.4 | 14.5 | 15.5 | 16.5 | 17.3 | 19.0 | 20.5 | 21.9 | 23.3 | 24.5 |

表 S.2 非应变敏感管道的允许错口值（续）

| 公称直径<br>mm                   | 管道组对时的允许错口值 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              | mm          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                              | 2.5         | 5    | 7.5  | 10   | 12.5 | 15   | 17.5 | 20   | 22.5 | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| 应变敏感管道的最小管道总长                |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| m                            |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 500                          | 5.8         | 8.2  | 10.0 | 11.6 | 12.9 | 14.2 | 15.3 | 16.4 | 17.3 | 18.3 | 20.0 | 21.6 | 23.1 | 24.5 | 25.9 |
| 550                          | 6.1         | 8.6  | 10.5 | 12.1 | 13.6 | 14.8 | 16.0 | 17.2 | 18.2 | 19.2 | 21.0 | 23.3 | 24.3 | 25.7 | 27.1 |
| 600                          | 6.3         | 9.0  | 11.0 | 12.7 | 14.1 | 15.5 | 16.8 | 17.9 | 19.0 | 20.0 | 21.9 | 23.7 | 25.3 | 26.9 | 28.3 |
| 650                          | 6.6         | 9.3  | 11.4 | 13.2 | 14.8 | 16.2 | 17.4 | 18.7 | 19.8 | 20.8 | 22.8 | 24.7 | 26.4 | 28.0 | 29.5 |
| 700                          | 6.8         | 9.7  | 11.9 | 13.7 | 15.3 | 16.8 | 18.2 | 18.7 | 20.5 | 21.6 | 23.7 | 25.6 | 27.4 | 29.0 | 30.5 |
| 750                          | 7.1         | 10.0 | 12.3 | 14.2 | 15.8 | 17.3 | 18.7 | 20.0 | 21.2 | 22.4 | 24.5 | 26.5 | 28.3 | 30.1 | 31.7 |
| 注：表中所示错口偏差值和最小装配管道长度可用内插法求得。 |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

S.3 示例

图 S.1 所示为一条两个设备之间的管道系统，在最终封闭口处有 X、Y、Z 三个方向的错口偏差值，分别为 12.5 mm、20 mm、10 mm。在两设备之间的管道共有 8 个管段：

- X 方向的管段：2 个，总长度=7(m)+10(m)=17(m)；
- Y 方向的管段：2 个，总长度=2(m)+3(m)=5(m)；
- Z 方向的管段：4 个，总长度=1(m)+12(m)+1.5(m)+3(m)=17.5(m)；
- 垂直于错口 ΔX 方向的管段为 Y、Z 方向的管段 6 个(4+2)，总长度=17.5(m)+5(m)=22.5(m)；
- 垂直于错口 ΔY 方向的管段为 X、Z 方向的管段 6 个(2+4)，总长度=17(m)+17.5(m)=34.5(m)；
- 垂直于错口 ΔZ 方向的管段为 X、Y 方向的管段 4 个(2+2)，总长度=17(m)+5(m)=22(m)。

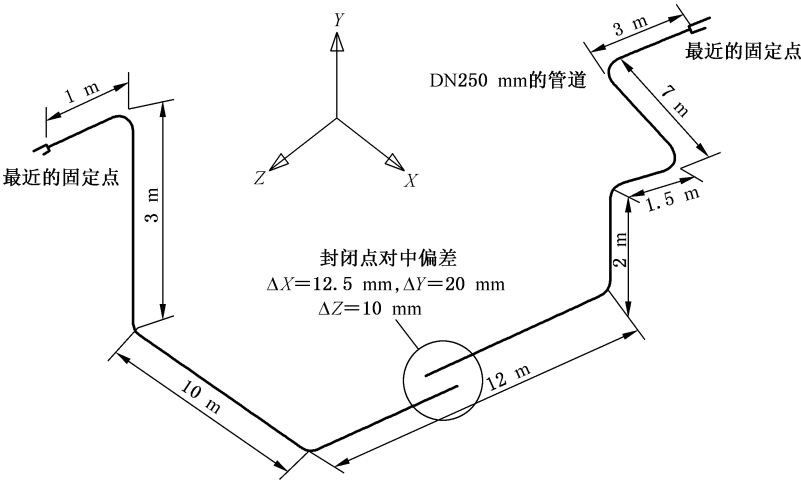


图 S.1 示例图

该最终封闭口的错口偏差值分别按如下方法进行评估。

- a) 对于 12.5 mm 的  $\Delta X$  错口：  
垂直于错口  $\Delta X$  方向的有 6 个管段，它们的总长度是 22.5 m(6 个管段的总长)；在表 S.1 中查到 DN250 管道  $\Delta X$  方向错口偏差值为 12.5 mm 时，给出的最小装配管道长度是 13.4 m。由于实际装配管道总长度大于此值，故  $\Delta X$  方向错口偏差值 12.5 mm 是可以接受的。
- b) 对于 20 mm 的  $\Delta Y$  错口：  
垂直于错口  $\Delta Y$  方向的有 4 个管段，它们的总长度是 34.5 m(6 个管段的总长)；在表 S.1 中查到 DN250 管道  $\Delta Y$  方向错口偏差值为 20 mm 时，给出的最小装配管道长度是 16.9 mm。由于实际装配管道总长度大于此值，故  $\Delta Y$  方向错口偏差值 20 mm 是可以接受的。
- c) 对于 10 mm 的  $\Delta Z$  错口：  
垂直于错口  $\Delta Z$  方向的有 4 个管段，它们的总长度是 22 m(4 个管段的总长)；在表 S.1 中查到 DN250 管道  $\Delta Z$  方向错口偏差值为 10 mm 时，给出的最小装配管道长度是 12 m。由于实际装配管道总长度大于此值，故  $\Delta Z$  方向错口偏差值 10 mm 是可以接受的。

通过计算和比对，由于所有方向的错口偏差值都在允差范围之内，故这条管道可以通过冷拉对正。

S.4 法兰接头偏转偏差评估方法

S.4.1 管道最终封闭口采用法兰连接装配时，除 S.2 所列的错口偏差外，还可能存在法兰接头偏转偏差，即由于两个法兰之间的不平行度而产生的外缘间隙，如图 S.2 所示。该偏转偏差将消耗部分螺栓的预紧载荷，降低垫片的预紧载荷。

S.4.2 管道最终封闭口采用法兰连接的装配要求见表 S.3。

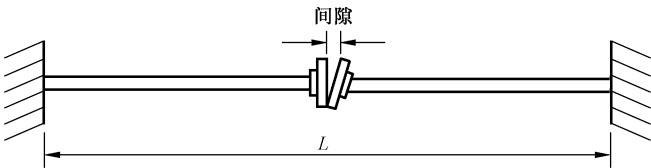


图 S.2 法兰接头组对时的允许间隙

表 S.3 法兰接头组对时的允许间隙

| 最小轴向间距<br>( $L$ )<br>mm | DN         |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
|-------------------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                         | 15         | 20  | 25  | 40  | 50  | 80  | 100 | 150  | 200  | 250  | 300  |
|                         | 允许间隙<br>mm |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
| 250                     | 2.3        | 2.1 | 1.8 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 0.94 | 0.89 | 0.84 | 0.84 |
| 350                     | 3.3        | 2.9 | 2.5 | 2.1 | 2.0 | 1.7 | 1.6 | 1.3  | 1.2  | 1.2  | 1.2  |
| 450                     | 4.2        | 3.7 | 3.3 | 2.7 | 2.5 | 2.2 | 2.0 | 1.7  | 1.6  | 1.5  | 1.5  |
| 550                     | 5.2        | 4.6 | 4.0 | 3.3 | 3.1 | 2.6 | 2.5 | 2.1  | 1.9  | 1.8  | 1.8  |
| 650                     | 6.1        | 5.4 | 4.7 | 3.8 | 3.7 | 3.1 | 2.9 | 2.4  | 2.3  | 2.2  | 2.2  |
| 750                     | 7.0        | 6.2 | 5.4 | 4.4 | 4.2 | 3.6 | 3.4 | 2.8  | 2.6  | 2.5  | 2.5  |
| 850                     | 8.0        | 7.1 | 6.2 | 5.0 | 4.8 | 4.1 | 3.8 | 3.2  | 3.0  | 2.8  | 2.8  |



表 S.3 法兰接头组对时的允许间隙（续）

| 最小轴向间距<br>(L)<br>mm                               | DN         |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |
|---------------------------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
|                                                   | 15         | 20   | 25   | 40   | 50   | 80   | 100  | 150  | 200 | 250 | 300 |
|                                                   | 允许间隙<br>mm |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |
| 950                                               | 8.9        | 7.9  | 6.9  | 5.6  | 5.4  | 4.6  | 4.3  | 3.5  | 3.4 | 3.2 | 3.2 |
| 1 050                                             | 9.9        | 8.7  | 7.6  | 6.2  | 6.0  | 5.1  | 4.7  | 3.9  | 3.7 | 3.5 | 3.5 |
| 1 150                                             | 10.8       | 9.6  | 8.4  | 6.8  | 6.5  | 5.5  | 5.2  | 4.3  | 4.0 | 3.8 | 3.8 |
| 1 250                                             | 11.8       | 10.4 | 9.1  | 7.4  | 7.1  | 6.0  | 5.6  | 4.6  | 4.4 | 4.2 | 4.2 |
| 1 350                                             | 12.7       | 11.3 | 9.8  | 8.0  | 7.7  | 6.5  | 5.9  | 5.0  | 4.8 | 4.5 | 4.5 |
| 1 450                                             | 13.7       | 12.1 | 10.5 | 8.6  | 8.2  | 7.0  | 6.5  | 5.4  | 5.1 | 4.9 | 4.9 |
| 1 550                                             | 14.6       | 12.9 | 11.3 | 9.2  | 8.8  | 7.5  | 7.0  | 5.8  | 5.4 | 5.2 | 5.2 |
| 1 650                                             | 15.6       | 13.8 | 12.0 | 9.8  | 9.4  | 8.0  | 7.4  | 6.1  | 5.8 | 5.5 | 5.5 |
| 1 750                                             | 16.6       | 14.6 | 12.8 | 10.4 | 9.9  | 8.4  | 7.8  | 6.5  | 6.1 | 5.8 | 5.8 |
| 1 850                                             | 17.5       | 15.5 | 13.5 | 10.9 | 10.5 | 8.9  | 8.3  | 6.9  | 6.5 | 6.2 | 6.2 |
| 1 950                                             | 18.5       | 16.3 | 14.2 | 11.6 | 11.1 | 9.4  | 8.8  | 7.3  | 6.9 | 6.5 | 6.5 |
| 2 050                                             | 19.5       | 17.2 | 15.0 | 12.1 | 11.6 | 9.9  | 9.2  | 7.6  | 7.2 | 6.9 | 6.8 |
| 2 150                                             | 20.4       | 18.0 | 15.7 | 12.8 | 12.2 | 10.3 | 9.7  | 8.0  | 7.5 | 7.2 | 7.2 |
| 2 250                                             | 21.4       | 18.9 | 16.4 | 13.3 | 12.8 | 10.8 | 10.1 | 8.4  | 7.9 | 7.5 | 7.5 |
| 2 350                                             | 22.4       | 19.7 | 17.2 | 13.9 | 13.4 | 11.3 | 10.6 | 8.7  | 8.3 | 7.8 | 7.8 |
| 2 450                                             | 23.4       | 20.6 | 17.9 | 14.5 | 13.9 | 11.8 | 11.0 | 9.0  | 8.6 | 8.2 | 8.2 |
| 2 550                                             | 24.4       | 21.4 | 18.7 | 15.1 | 14.5 | 12.3 | 11.5 | 9.5  | 9.0 | 8.5 | 8.5 |
| 2 650                                             | 25.5       | 22.4 | 19.4 | 15.7 | 15.1 | 12.8 | 11.9 | 9.9  | 9.3 | 8.9 | 8.9 |
| 2 750                                             | 26.4       | 23.2 | 20.1 | 16.3 | 15.6 | 13.2 | 12.3 | 10.3 | 9.7 | 9.2 | 9.2 |
| 注：表中所示允许间隙值为扣除法兰凸台高度及密封垫厚度后，由两个法兰之间的不平行度而产生的外缘间隙。 |            |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |

**附 录 T**  
**(资料性)**  
**安全保护层分析**

**T.1** 工业压力管道系统的安全运行,需多层次的安全防护。典型的安全保护层图如图 T.1 所示。每个安全保护层是独立的,由里层至外层,事故后果逐层升高。

**T.2** 图 T.1 中第 6 层是本部分定义为安全保护装置的物理(机械)保护装置。该层在自控仪表和人工干预失效时起防护作用,是防止事故发生的最后一道屏障。

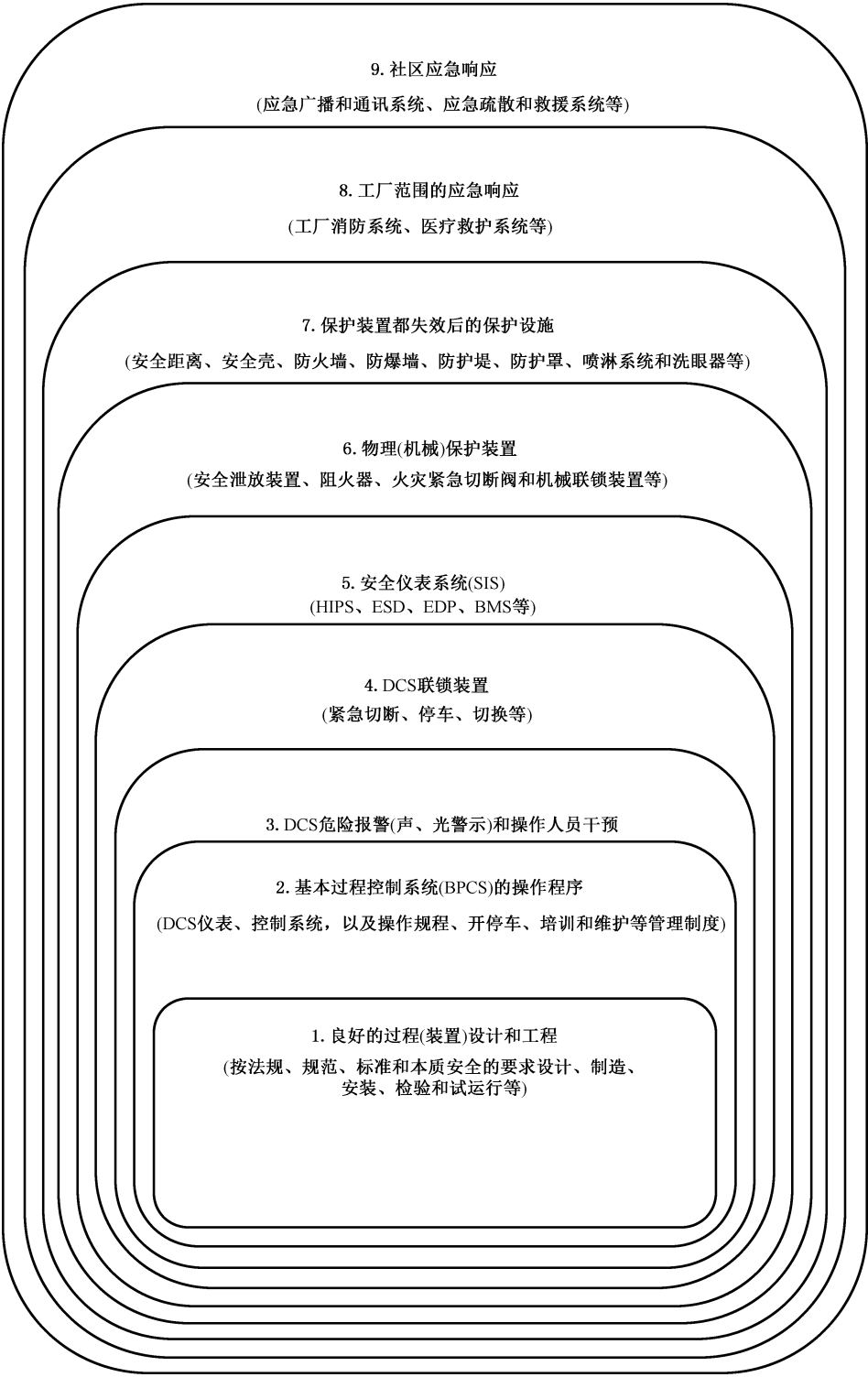


图 T.1 典型的安全保护层图

## 附 录 U

### (资料性)

### 安全泄放装置的计算

#### U.1 符号

下列符号适用于本附录：

$A$  ——满足泄放量要求的所需最小泄放面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );

$A_r$  ——容器受热面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ );

$C$  ——气体特性系数,可查表 U.1 或按  $C = 520 \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$  求取;

$C_{pl}$  ——液体定压比热容,单位为千焦每千克开 [ $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$d$  ——管道内直径,单位为毫米( $\text{mm}$ );

$F$  ——系数;

地面以下用沙土覆盖时,  $F = 0.03$ ;

地面上时,  $F = 1.0$ ;

大于  $10 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$  喷淋装置下时,  $F = 0.6$ 。

$G$  ——质量流率,单位为千克每秒平方米 [ $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ];

$H$  ——最大输入热量,单位为千焦每时 ( $\text{kJ}/\text{h}$ );

$K$  ——安全泄放装置有效泄放系数;

在初步选用计算中有效泄放系数  $K$  时可采用:

安全阀:气体和蒸气为 0.975;液体为 0.62;二相流计算中轻微过冷液体为 0.65;二相混合物和饱和液体为 0.85。

爆破片装置:气体  $K$  值与爆破片装置入口管道形状有关,如图 U.1 所示,当管道形状不易确定时,取 0.62;液体取 0.62。

爆破针阀:气体为 0.8;液体为 0.68。

安全泄放装置产品的额定泄放系数是制造商按相关标准试验的平均系数乘以 0.90 确定的,并经第三方认证,其值小于有效泄放系数。

$K_b, K_w$  ——安全阀的背压校正系数。 $K_b$  用于气体、蒸气和二相混合物; $K_w$  用于液体。波纹管型安全阀的  $K_b$  和  $K_w$  由制造商提供或参照 GB/T 24921.1 确定。背压与设定压力的表压比小于 10% 的临界流动气体用或液体用普通型安全阀,以及临界流动气体用或液体用先导型安全阀,  $K_b$  和  $K_w$  均为 1.0。爆破片装置和爆破针阀,  $K_b$  和  $K_w$  均为 1.0。

$K_c$  ——安全阀的组合校正系数。安全阀上游安装爆破片装置或爆破针阀时  $K_c = 0.9$ ,不安装时  $K_c = 1.0$ 。

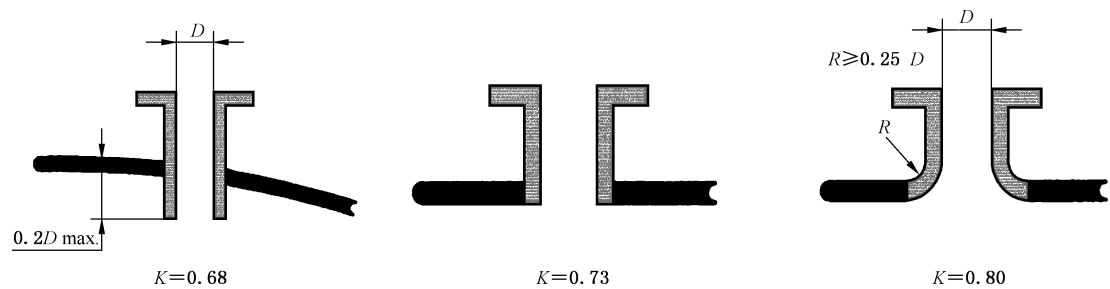
$K_N$  ——修正因子:

当  $P_i \leq 10.34 \text{ MPa}$  时,  $K_N = 1$ ;

当  $10.34 \text{ MPa} < P_i \leq 22.06 \text{ MPa}$  时,  $K_N = \frac{27.64 p_i - 1\ 000}{33.24 p_i - 1\ 061}$ 。

$K_{SH}$  ——蒸汽过热度修正系数。对任意压力下的饱和蒸汽,  $K_{SH} = 1$ ;对于过热蒸汽,  $K_{SH}$  可通过表 U.8 查询得到,压力、温度介于表 U.8 中间数值的  $K_{SH}$  采用线性内插法插值计算。

- $k$  —— 气体绝热指数。
- $M$  —— 气体的摩尔质量,单位为千克每千摩尔(kg/kmol)。
- $p_c$  —— 二相混合物临界压力(绝压),单位为兆帕(MPa)。
- $p_d$  —— 安全泄放装置入口侧的最大泄放压力(绝压),单位为兆帕(MPa)。
- $p_o$  —— 安全泄放装置出口侧压力(绝压),单位为兆帕(MPa)。
- $p_s$  —— 二相混合物的饱和蒸气压力(绝压),单位为兆帕(MPa)。
- $Q_s$  —— 二相流计算中的安全泄放量,单位为升每分(L/min)。
- $q$  —— 在泄放压力下,液体汽化潜热,单位为千焦每千克(kJ/kg)。
- $d$  —— 液体的相对密度。
- $T_i$  —— 安全泄放装置的泄放温度,单位为摄氏度(°C)。
- $t$  —— 最大泄放压力下介质的饱和温度,单位为摄氏度(°C)。
- $V_s$  —— 液体安全泄放量,单位为立方米每时(m<sup>3</sup>/h)。
- $v$  —— 进口管最大气体流速,单位为米每秒(m/s)。
- $W_s$  —— 安全泄放量,单位为千克每时(kg/h)。
- $Z$  —— 在最大泄放压力及温度下,气体的压缩系数。
- $\alpha$  —— 液体的体积膨胀系数,1/°C,可查表 U.2。
- $\delta$  —— 保温层厚度,单位为米(m)。
- $\lambda$  —— 常温下绝热材料的导热系数,单位为千焦每米时开[kJ/(m·h·K)]。
- $\mu$  —— 液体的动力黏度,单位为千克每米秒[kg/(m·s)]。
- $\xi$  —— 安全泄放装置的液体动力黏度校正系数,根据雷诺数  $Re = \frac{0.313 \ 4W_s}{\mu \sqrt{A}}$  由图 U.2 查取;  
当液体黏度等于或小于水的黏度时,取  $\xi=1$ 。
- $v_o$  —— 安全泄放装置入口状态下二相混合物比容,单位为立方米每千克(m<sup>3</sup>/kg)。
- $v_g$  —— 安全泄放装置 90%入口压力下二相混合物比容,单位为立方米每千克(m<sup>3</sup>/kg)。
- $\rho_s$  —— 安全泄放装置入口状态下气体密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>)。
- $\rho_l$  —— 安全泄放装置入口状态下液体密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>)。
- $\rho_g$  —— 对应安全泄放装置入口温度下,90%入口液体饱和蒸气压  $p_s$  时的二相混合物密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>)。
- $\eta_o$  —— 背压比,  $\eta_o = p_o/p_d$ 。
- $\eta_c$  —— 临界压力比,  $\eta_c = p_c/p_d$ 。
- $\eta_s$  —— 饱和蒸气压力比,  $\eta_s = p_s/p_d$ 。
- $\eta_{st}$  —— 转变饱和压力比,见公式(U.19)。
- $\omega$  —— 欧米伽参数,见公式(U.12)。
- $\omega_s$  —— 饱和欧米伽参数,见公式(U.18)。



标引符号说明：  
 $D$  —— 接管内径；  
 $R$  —— 接管圆角半径。

图 U.1 爆破片装置入口管道形状与用于气体的爆破片有效泄放系数  $K$

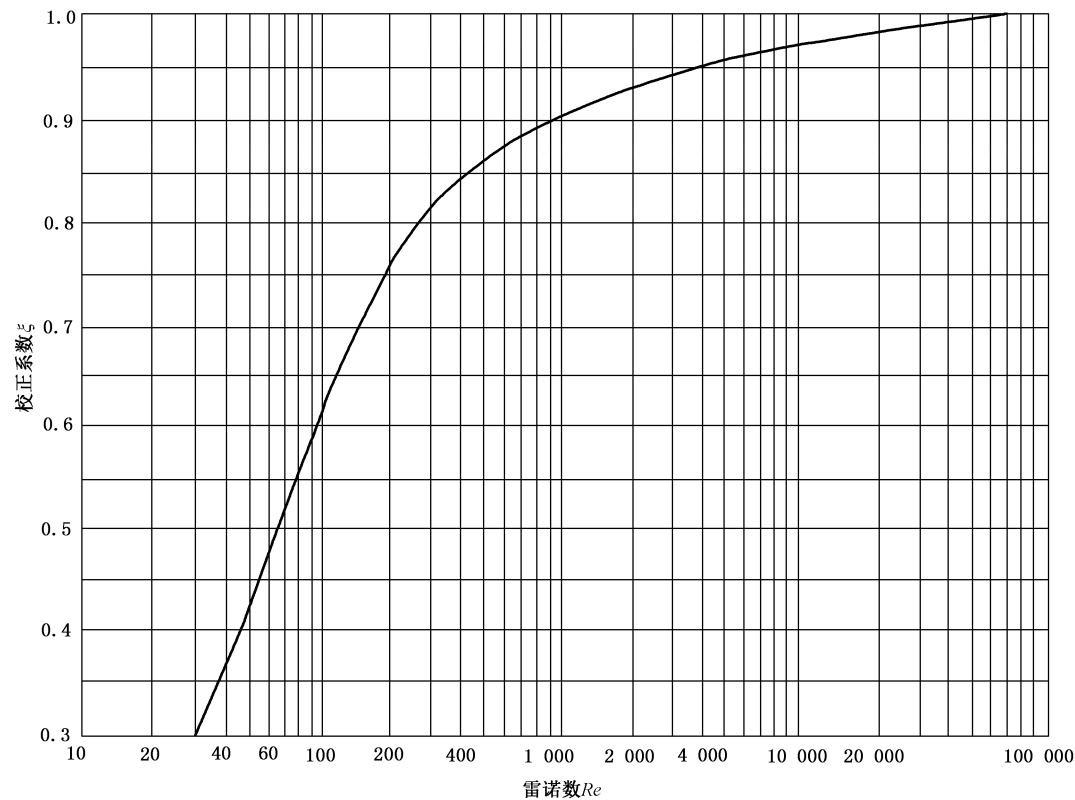


图 U.2 液体动力黏度校正系数  $\xi$

表 U.1 不同 *K* 值气体特性系数 *C*

| <i>K</i> | <i>C</i> | <i>K</i> | <i>C</i> | <i>K</i> | <i>C</i> | <i>K</i> | <i>C</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.00     | 315      | 1.20     | 337      | 1.40     | 356      | 1.60     | 372      |
| 1.02     | 318      | 1.22     | 339      | 1.42     | 358      | 1.62     | 374      |
| 1.04     | 320      | 1.24     | 341      | 1.44     | 359      | 1.64     | 376      |
| 1.06     | 322      | 1.26     | 343      | 1.46     | 361      | 1.66     | 377      |
| 1.08     | 324      | 1.28     | 345      | 1.48     | 363      | 1.68     | 379      |
| 1.10     | 327      | 1.30     | 347      | 1.50     | 364      | 1.70     | 380      |
| 1.12     | 329      | 1.32     | 349      | 1.52     | 366      | 2.00     | 400      |
| 1.14     | 331      | 1.34     | 351      | 1.54     | 368      | 2.20     | 412      |
| 1.16     | 333      | 1.36     | 352      | 1.56     | 369      | —        | —        |
| 1.18     | 335      | 1.38     | 354      | 1.58     | 371      | —        | —        |

表 U.2 20 ℃ 的液体体积膨胀系数

| 液体                           | 体积膨胀系数/(1/℃) | 液体             | 体积膨胀系数/(1/℃)          |
|------------------------------|--------------|----------------|-----------------------|
| 水                            | 0.002 07     | 乙酸             | 0.001 07              |
| 硫酸水溶液,100%                   | 0.000 558    | 乙醚             | 0.001 66              |
| 硫酸水溶液,10.9%                  | 0.000 387    | 丙酮             | 0.001 49              |
| 硫酸水溶液,5.4%                   | 0.000 311    | 乙二醇            | 0.000 638             |
| 硫酸水溶液,1.4%                   | 0.000 234    | 丙三醇(甘油)        | 0.000 505             |
| 盐酸水溶液,33.2%                  | 0.000 455    | 乙酸甲酯           | 0.001 43              |
| 盐酸水溶液,4.2%                   | 0.000 239    | 乙酸乙酯           | 0.001 39              |
| 盐酸水溶液,1.0%                   | 0.000 211    | 苯              | 0.001 24              |
| 氯化钠水溶液,26.0%                 | 0.000 440    | 甲苯             | 0.001 09              |
| 氯化钠水溶液,20.6%                 | 0.000 414    | 苯酚             | 0.001 09              |
| 硫酸钠水溶液,24%                   | 0.000 410    | 苯胺             | 0.000 858             |
| 硫酸钠水溶液,1.9%                  | 0.000 235    | 对二甲苯           | 0.001 01              |
| 氯化钾水溶液,24.3%                 | 0.000 353    | 间二甲苯           | 0.000 99              |
| 氯化钙水溶液,40.9%                 | 0.000 458    | 邻二甲苯           | 0.000 97              |
| 氯化钙水溶液,6.0%                  | 0.000 250    | 油品,°API 3~35   | 0.000 72 <sup>a</sup> |
| 二硫化碳                         | 0.001 22     | 油品,°API 35~51  | 0.000 90 <sup>a</sup> |
| 四氯化碳                         | 0.001 24     | 油品,°API 51~64  | 0.001 08 <sup>a</sup> |
| 三氯甲烷(氯仿)                     | 0.001 27     | 油品,°API 64~79  | 0.001 26 <sup>a</sup> |
| 甲醇                           | 0.001 20     | 油品,°API 79~89  | 0.001 44 <sup>a</sup> |
| 乙醇                           | 0.001 12     | 油品,°API 89~94  | 0.001 53 <sup>a</sup> |
| 甲酸                           | 0.001 03     | 油品,°API≥94~100 | 0.001 62 <sup>a</sup> |
| <sup>a</sup> 15.6 ℃ 的体积膨胀系数。 |              |                |                       |

## U.2 独立压力系统的安全泄放量计算

### U.2.1 安全泄放量计算的确定原则

当中间无阀门关断的管道系统与相连接的几个设备(容器)一起作为一个独立的被保护压力系统,用一个或几个设置在容器上或管道上的安全泄放装置保护时,其安全泄放量采用压力容器安全泄放量的计算方法,但需将管道系统和相连接的容器都包括在内。

单纯的管道系统的超压主要发生在充满液体的封闭管道系统中,液体受热膨胀可能发生超压。若安全泄放装置设定压力大于液体蒸气压,则安全泄放量按液体热膨胀计算,反之按液体汽化计算。

### U.2.2 非火灾事故的安全泄放量计算

U.2.2.1 非火灾事故超压包括工艺操作、设备故障、公用工程供应、自动控制仪表故障等因素导致的超压。包括但不限于:出口关闭、冷却或回流中断、吸收剂中断、不凝组分累积、易挥发介质混入、超装、自控失灵、不正常的工艺热量或气体输入、止回阀泄漏或失效、化学反应、膨胀、公用工程供应中断等。

U.2.2.2 蒸气发生器等产生蒸气换热设备的系统安全泄放量按公式(U.1)计算:

$$W_s = H/q \quad \dots\dots\dots (U.1)$$

U.2.2.3 对于有压力源持续输入的系统安全泄放量按公式(U.2)计算:

$$W_s = 2.83 \times 10^{-3} \rho_s v d^2 \quad \dots\dots\dots (U.2)$$

U.2.2.4 充满液体的管道中液体受热膨胀或气化时的安全泄放量按下列计算:

a) 受热后,液体的温度小于泄放装置设定压力所对应的饱和温度时,按公式(U.3)计算:

$$W_s = \frac{aH}{C_{pl}} \quad \dots\dots\dots (U.3)$$

b) 受热后,液体的温度大于等于泄放装置设定压力所对应的饱和温度时,按公式(U.1)计算。

U.2.2.5 因化学反应而导致超压者,安全泄放量按化学反应可能生成的最大气量、反应时间或者上升速率来确定。

### U.2.3 火灾事故安全泄放量计算

#### U.2.3.1 液体

参照 U.2.2.4 进行。

#### U.2.3.2 气体

首先按公式(U.4)计算  $F'$ :

$$F' = \frac{0.277}{CK} \left[ \frac{(T_w - T_f)^{1.25}}{(273 + T_f)^{0.6506}} \right] \quad \dots\dots\dots (U.4)$$

如果  $F' \leq 182$ ,安全泄放量按公式(U.5)计算:

$$W_s = 5\,755 CA' \sqrt{\frac{Mp_f}{(273 + T_f)}} \quad \dots\dots\dots (U.5)$$

如果  $F' > 182$ ,安全泄放量按公式(U.6)计算:

$$W_s = 8.77 \sqrt{Mp_f} \left[ \frac{A'(T_w - T_f)^{1.25}}{(273 + T_f)^{1.1506}} \right] \quad \dots\dots\dots (U.6)$$

注:公式(U.6)是以空气的物理性质和理想气体定律为基础的,并假设独立压力系统无隔热,忽略独立压力系统本身热容,系统未因壁温升高产生局部破裂。



### U.2.3.3 液化气体

无绝热保温层时,安全泄放量按公式(U.7)计算:

$$W_s = \frac{2.55 \times 10^5 F A_r^{0.82}}{q} \dots\dots\dots (U.7)$$

有完善的绝热保温层时,安全泄放量按公式(U.8)计算:

$$W_s = \frac{2.61(650 - t) \lambda A_r^{0.82}}{\delta q} \dots\dots\dots (U.8)$$

注:在任何情况下,用于减少压力系统安全泄放量的绝热层需在 650 °C 时仍能起到有效作用且 2 h 内不会烧坏脱落,在消防水冲击作用下不会脱落。

## U.3 所需最小泄放面积计算

### U.3.1 气体

U.3.1.1 临界流动:  $\frac{p_o}{p_d} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$  时,所需最小泄放面积按公式(U.9)计算:

$$A = \frac{W_s}{1\,000 C K K_b K_c P_d} \sqrt{\frac{Z(273 + T_f)}{M}} \dots\dots\dots (U.9)$$

U.3.1.2 亚临界流动:  $\frac{p_o}{p_d} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$  时,所需最小泄放面积的计算如下:

- a) 对于可通过调节弹簧载荷补偿附加背压的普通型安全阀和先导式安全阀以及爆破片装置,其有效泄放面积按公式(U.10)计算:

$$A = \frac{1.79 \times 10^{-2} W_s}{C_s K K_c} \sqrt{\frac{Z(273 + T_f)}{M(p_f - p_o) p_f}} \dots\dots\dots (U.10)$$

- b) 对于平衡型安全阀,其有效泄放面积按公式(U.9)计算,这时的背压修正系数  $K_b$  考虑到亚临界流动的情况以及阀瓣的开启高度保持不变(亚临界流动公式仅适用于开启高度保持不变的情况),此时背压修正系数需从制造商处获取。

### U.3.2 饱和蒸气

饱和蒸气中蒸气含量不小于 98%,最大过热度为 10 °C,所需最小泄放面积按公式(U.11)计算:

$$A = \frac{0.19 \times W_s}{p_f K K_b K_c K_N K_{SH}} \dots\dots\dots (U.11)$$

### U.3.3 液体

一般液体所需最小泄放面积按公式(U.12)计算:

$$A = \frac{0.196 \times W_s}{K K_w K_c K_v \sqrt{\rho(p_f - p_o)}} \dots\dots\dots (U.12)$$

对于黏性流体的泄放面积计算程序如下:

- 假设为非黏性流体,取  $\xi = 1.0$ ,按公式(U.12)计算出初始的泄放面积与相应的直径,并向上圆整到产品系列化规格相近的公称直径及相对应的泄放面积;
- 根据 a) 计算出的圆整后泄放面积按公式(U.12)及  $\xi = 10$  计算泄放量  $W$ ;
- 根据 b) 计算出的  $W$  及 a) 计算出的圆整后泄放面积按公式  $Re = 0.313 \frac{W}{\mu \sqrt{A}}$  计算雷诺数,由图

U.2 查得  $\xi$  值按公式(U.12)重新计算泄放量  $W$ :

若  $W \geq W_s$ , 则该直径(面积)即为所求的泄放面积; 若  $W < W_s$ , 则采用大一档的产品公称直径相对应的泄放面积代替 a) 计算出的圆整后泄放面积, 重复 b)~c) 的计算, 直至  $W \geq W_s$ 。

### U.3.4 气液二相

U.3.4.1 气液二相流工况安全阀最小泄放面积计算采用本节的方法。气液二相流泄放工况可分为下述四种类型:

- a) 不含不凝气的饱和液相或二相流通过安全阀, 阀后有闪蒸;
- b) 含有不凝气或饱和气体的高度过冷液体通过安全阀, 阀后无闪蒸;
- c) 含有不凝气的过冷或饱和液体通过安全阀, 阀后有闪蒸;
- d) 不含不凝气的过冷或饱和液体通过安全阀, 阀后有闪蒸。

U.3.4.2 U.3.4.1 的 a)、b) 和 c) 类型的气液二相流的计算步骤如下。

- a) 计算欧米伽参数  $\omega$ , 按公式(U.13):

$$\omega = 9 \left( \frac{v_9}{v_o} - 1 \right) \dots\dots\dots (\text{U.13})$$

- b) 临界压力比  $\eta_c$ , 按公式(U.14)计算:

$$\eta_c = [1 + (1.044\ 6 - 0.009\ 343\ 1\omega^{0.5})\omega^{-0.562\ 61}]^{(-0.703\ 56 + 0.014\ 6851\ln\omega)} \dots\dots\dots (\text{U.14})$$

- c) 确定临界压力  $p_c$ , 按公式(U.15)计算:

$$p_c = \eta_c \cdot p_d \dots\dots\dots (\text{U.15})$$

- d) 计算质量流率  $G$ :

当  $p_c \geq p_o$ , 为临界流动时, 按公式(U.16)计算:

$$G = 1\ 000\ \eta_c \sqrt{\frac{p_d}{\omega v_o}} \dots\dots\dots (\text{U.16})$$

当  $p_c < p_o$ , 为亚临界流动时, 按公式(U.17)计算:

$$G = \frac{1\ 000 \times \{-2[\omega \ln \eta_o + (\omega - 1)(1 - \eta_o)]\}^{0.5}}{\omega \left( \frac{1}{\eta_o} - 1 \right) + 1} \sqrt{\frac{p_d}{v_o}} \dots\dots\dots (\text{U.17})$$

- e) 计算所需最小泄放面积, 按公式(U.18):

$$A = 277.8 \frac{W_s}{KK_b K_c \xi G} \dots\dots\dots (\text{U.18})$$

U.3.4.3 U.3.4.1 的 d) 类型的气液二相流的计算步骤如下。

- a) 计算饱和欧米伽参数  $\omega_s$ , 按公式(U.19):

$$\omega_s = 9 \left( \frac{\rho_1}{\rho_9} - 1 \right) \dots\dots\dots (\text{U.19})$$

- b) 确定过冷区

$p_s \geq \eta_{st} p_d$ , 为低过冷区(在喉管上游开始闪蒸);

$p_s < \eta_{st} p_d$ , 为高过冷区(在喉管中开始闪蒸)。

转变的饱和压力比按公式(U.20)计算:

$$\eta_{st} = \frac{2\omega_s}{1 + 2\omega_s} \dots\dots\dots (\text{U.20})$$

- c) 对于低过冷区

饱和蒸气压力比按公式(U.21)计算:

$$\eta_s = \frac{p_s}{p_d} \dots\dots\dots (\text{U.21})$$

若  $\eta_s \leq \eta_{st}$ , 则临界压力比  $\eta_c = \eta_s$ ;

若  $\eta_s > \eta_{st}$ , 则临界压力比按公式(U.22)计算:

$$\eta_c = \eta_s \left( \frac{2\omega}{2\omega - 1} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{1}{\eta_s} \left( \frac{2\omega - 1}{2\omega} \right)} \right] \dots\dots\dots (U.22)$$

采用公式(U.23)计算二相混合物的临界压力:

$$p_c = \eta_c p_d \dots\dots\dots (U.23)$$

当  $p_c \geq p_o$ , 为临界流动时, 按公式(U.24)计算:

$$G = \frac{1\,000 \times \{2(1 - \eta_s) + 2[\omega_s \eta_s \ln(\eta_s / \eta_c) - (\omega_s - 1)(\eta_s - \eta_c)]\}^{0.5}}{\omega(\eta_s / \eta_c - 1) + 1} \sqrt{p_o \rho_1} \dots\dots (U.24)$$

当  $p_c < p_o$ , 为亚临界流动时, 按公式(U.25)计算:

$$G = \frac{1\,000 \times \{2(1 - \eta_s) + 2[\omega_s \eta_s \ln(\eta_s / \eta_c) - (\omega_s - 1)(\eta_s - \eta_o)]\}^{0.5}}{\omega(\eta_s / \eta_o - 1) + 1} \sqrt{p_o \rho_1} \dots\dots (U.25)$$

d) 对于高过冷区

当  $p_c \geq p_o$ , 为临界流动时, 按公式(U.26)计算:

$$G = 1\,414 \sqrt{(p_d - p_s) \rho_1} \dots\dots\dots (U.26)$$

当  $p_c < p_o$ , 为亚临界流动时, 按公式(U.27)计算:

$$G = 1\,414 \sqrt{(p_d - p_o) \rho_1} \dots\dots\dots (U.27)$$

e) 计算所需最小泄放面积, 按公式(U.28):

$$A = 16.67 \frac{Q_s \rho_1}{K K_b K_c \xi G} \dots\dots\dots (U.28)$$

#### U.4 额定泄放量的验证

上述计算方法仅适用于初步选用计算。在选定产品后, 制造商需提供经第三方认证的额定泄放系数和实际泄放面积。用额定泄放系数和实际泄放面积验证, 额定泄放量需达到或超过安全泄放量。

**附 录 V**  
**(资料性)**  
**安全泄放装置选用**

**V.1 安全阀选用**

- V.1.1 用于清洁、无颗粒、无聚合物和低黏度的介质。
- V.1.2 按介质的相态(气、液和气液二相流)选用阀门形式和阀门内件结构。对于二相流,在不能确定泄放量和/或二相的比例时,选用调节式先导型阀门。
- V.1.3 用于变动背压工况时,需按背压选用阀门形式。
- V.1.4 液化天然气等低温工况选用密封性良好的先导型阀门。
- V.1.5 用于容积式压缩机出口管道的阀门选用在导压管上设置阻尼器的先导型阀门。
- V.1.6 不用于失控放热反应的超压、内部爆燃、水锤或汽锤等压力急剧上升的工况。
- V.1.7 安全阀不单独用于阀座与阀瓣密封面可能被介质粘连或介质可能生成结晶体的场合,但可以将爆破片装置串联在安全阀入口侧组合使用。

**V.2 爆破片装置选用**

- V.2.1 用于失控放热反应等压力迅速上升的工况。
- V.2.2 用于含固体颗粒、易沉淀结晶、易聚合和高黏度介质。
- V.2.3 用于急性毒性类别 1 和类别 2、可燃气体和液体等不允许泄漏介质。
- V.2.4 用于使用哈氏合金、锆和钽等特种材料的强腐蚀性介质。
- V.2.5 用于泄放量大、压力和/或温度过高或过低等不用安全阀的场合。
- V.2.6 用于保护安全阀的性能而与之串联使用。
- V.2.7 不用于泄放大量有害物质造成重大安全和环境后果的场合。
- V.2.8 不用于系统压力和/或温度循环工况导致爆破片拉伸疲劳破坏的场合。
- V.2.9 不用于有变动附加背压的场合。
- V.2.10 爆破片装置形式需根据泄放介质和超压场景特征选用:
  - a) 用于爆炸性环境时,确保爆破时不产生火花、静电;
  - b) 用于安全阀上游时,爆破不产生碎片;
  - c) 用于全液相的液体工况;
  - d) 用于高黏度、易聚合、易结垢工况时,选用能横向冲刷表面的正拱形爆破片。

**V.3 爆破针阀选用**

- V.3.1 适用于爆破片装置的工况皆可用爆破针阀,且性能更稳定,精度更高。爆破针阀开启后可迅速复位。可在外部更换爆破针,不要求定期检验和更换。
- V.3.2 适用于存在变动背压的工况。
- V.3.3 适用于压力和/或温度循环工况。
- V.3.4 适用于高达 95 %操作比(即最大系统操作压力与爆破压力或弯折压力之比)的工况。
- V.3.5 适用于单相流和多相流工况。
- V.3.6 适用于火炬系统和气体回收系统调节阀或阻火器的旁路。

**V.4 爆破片装置或爆破针阀与安全阀的组合使用**

- V.4.1 串联使用时,爆破片装置或爆破针阀设置在安全阀入口:

- a) 保护安全阀不受工艺介质腐蚀、堵塞或背压影响；
- b) 防止安全阀泄漏；
- c) 减少爆破片破裂后泄放损失；
- d) 安全阀的在线检测。

**V.4.2** 串联使用时,爆破片装置在安全阀出口,保护安全阀不受泄放总管中气体腐蚀。

**V.4.3** 爆破片装置或爆破针阀串联在安全阀入口侧时,爆破片的爆破或爆破针阀的折弯不影响安全阀的正常工作,在爆破片装置或爆破针阀动作后,并确保安全阀也能相应动作。爆破片装置或爆破针阀与安全阀之间的腔体需设置排气口、压力表或其它报警指示器。

**V.4.4** 爆破片装置或爆破针阀串联在安全阀出口侧时,需保证安全阀与爆破片装置或爆破针阀之间出现累积压力时安全阀仍能在整定压力下开启。同时,爆破片装置或爆破针阀与安全阀之间的腔体需设置排气口或排液口。

**V.4.5** 并联使用时,作为备用装置持续超压保护。分级设定几个安全泄放装置适用于泄放量大、可能有多种超压场景等场合。

附 录 W  
(资料性)  
阻火器类别和选用

W.1 阻火器类别

阻火器类别如图 W.1 所示。

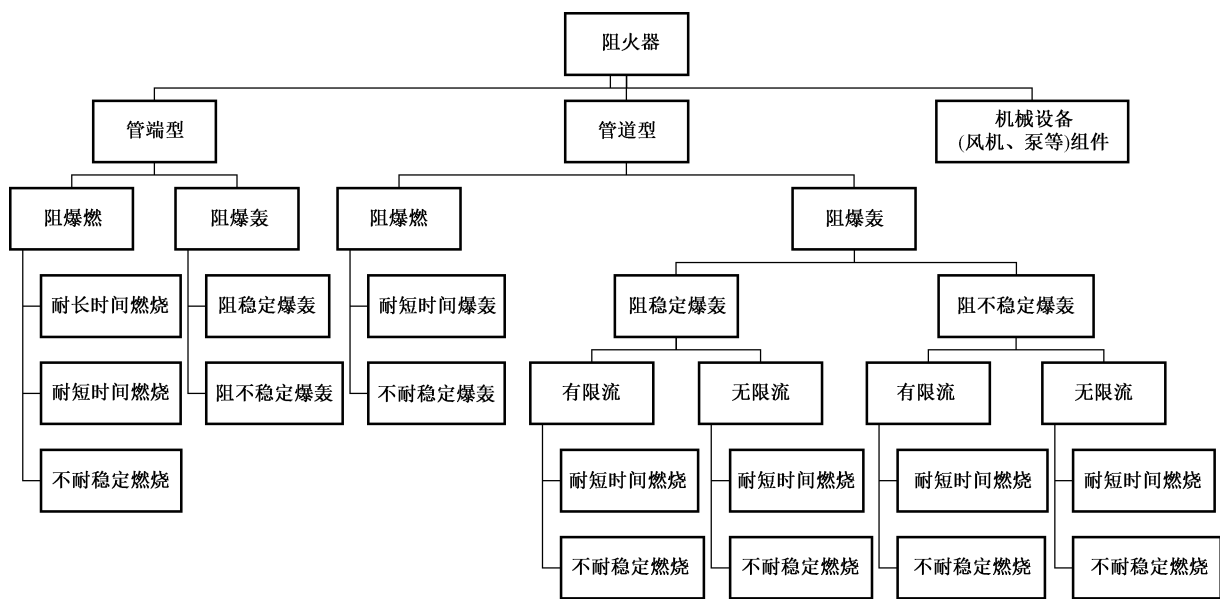


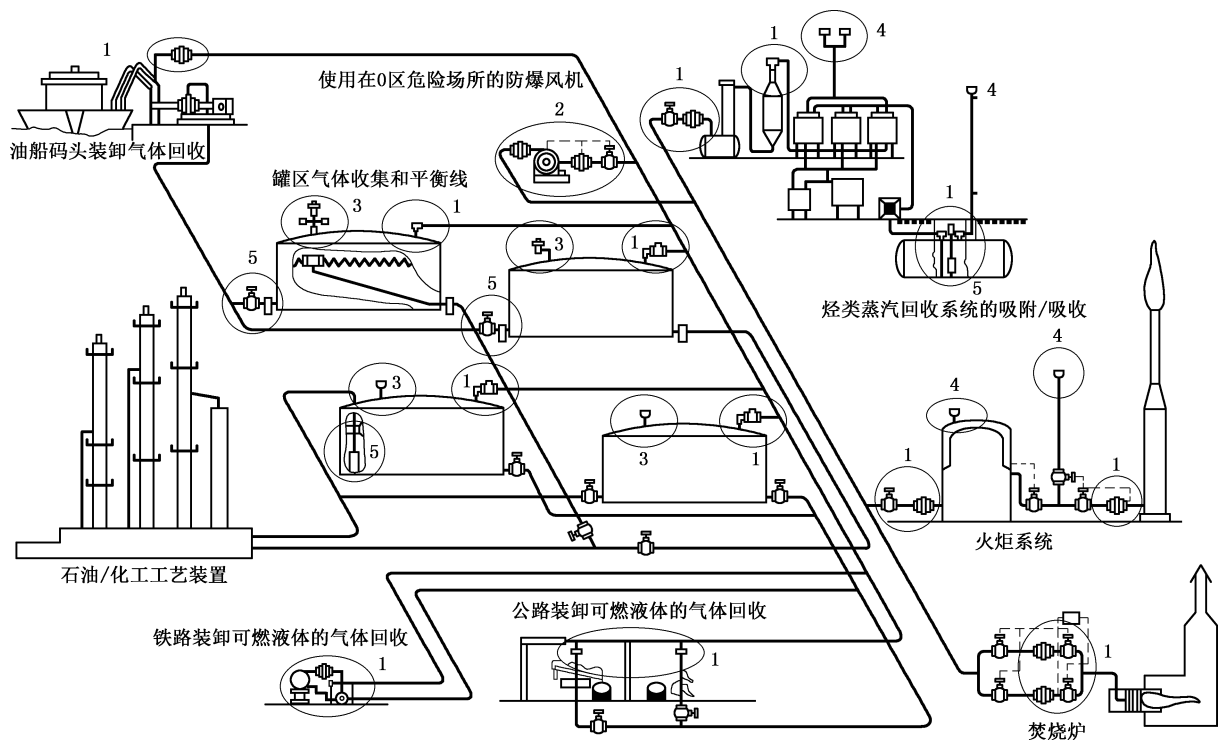
图 W.1 阻火器的类别

W.2 阻火器选用

W.2.1 根据可燃气体和蒸气 MESG、阻火器安装位置、燃烧过程时间、爆炸过程特征、保护端管道特征以及工艺过程要求(设计温度和压力、最大流量、允许压力降和管道布置等)确定阻火器的类别和规格。典型阻火器的选用见图 W.2 所示。

W.2.2 阻火器选用的注意事项：

- a) 管端型阻火器不能作为管道型阻火器使用；
- b) 管道型阻火器不耐长时间燃烧；
- c) 管道型阻稳定爆轰阻火器的安装需避开不稳定爆轰位置；
- d) 阻火器产品测试包括阻爆燃/轰性能、耐燃烧时间、流量和压力降等。



标引序号说明：

1——管道阻爆轰阻火器；2——管道阻爆燃阻火器；3——全天候阻火呼吸阀；4——管道阻爆燃或耐烧阻火器；5——液体阻火器。

图 W.2 典型阻火器的选用

附 录 X  
(资料性)

可燃气体和蒸气的 MESG 和爆炸级别

X.1 典型的纯组分可燃气体和蒸气 MESG 和爆炸级别可见 IEC 60079-20-1,如表 X.1 所示。

表 X.1 典型的可燃气体和蒸气 MESG 及爆炸级别

| 序号 | CAS NO.   | 名称和分子式 |                   |                                                     | MESG/mm | 爆炸级别 |
|----|-----------|--------|-------------------|-----------------------------------------------------|---------|------|
|    |           | 中文名    | 英文名               | 分子式                                                 |         |      |
| 1  | 67-56-1   | 甲醇     | Methanol          | CH <sub>4</sub> O                                   | 0.92    | Ⅱ A  |
| 2  | 64-17-5   | 乙醇     | Ethanol           | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O                     | 0.89    | Ⅱ B3 |
| 3  | 71-36-3   | 正丁醇    | n-butyl alcohol   | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH  | 0.87    | Ⅱ B1 |
| 4  | 71-36-3   | 异丁醇    | Iso-butyl alcohol | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH  | 0.87    | Ⅱ B1 |
| 5  | 71-41-0   | 正戊醇    | n-amyl alcohol    | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O                    | 0.99    | Ⅱ A  |
| 6  | 107-18-6  | 烯丙醇    | Allyl alcohol     | CHCH <sub>2</sub> OH                                | 0.84    | Ⅱ B2 |
| 7  | 75-07-0   | 乙醛     | Acetaldehyde      | CH <sub>3</sub> CHO                                 | 0.92    | Ⅱ A  |
| 8  | 123-72-8  | 正丁醛    | n-butyraldehyde   | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO | 0.92    | Ⅱ A  |
| 9  | 107-02-8  | 丙烯醛    | Acrolein          | C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O                     | 0.72    | Ⅱ B3 |
| 10 | 4170-30-3 | 巴豆醛    | Crotonaldehyde    | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O                     | 0.81    | Ⅱ B1 |
| 11 | 74-82-8   | 甲烷     | Methane           | CH <sub>4</sub>                                     | 1.14    | Ⅱ A1 |
| 12 | 74-84-0   | 乙烷     | Ethane            | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                       | 0.91    | Ⅱ A  |
| 13 | 74-98-6   | 丙烷     | Propane           | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                       | 0.92    | Ⅱ A  |
| 14 | 106-97-8  | 丁烷     | Butane            | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>                      | 0.98    | Ⅱ A  |
| 15 | 109-66-0  | 正戊烷    | n-pentane         | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>                      | 0.93    | Ⅱ A  |
| 16 | 110-54-3  | 正己烷    | n-hexane          | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>                      | 0.93    | Ⅱ A  |
| 17 | 142-82-5  | 正庚烷    | n-heptane         | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>                      | 0.91    | Ⅱ A  |
| 18 | 111-65-9  | 辛烷     | Octanes           | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>                      | 0.94    | Ⅱ A  |
| 19 | 110-82-7  | 环己烷    | Cyclohexane       | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>                      | 0.94    | Ⅱ A  |
| 20 | 109-89-7  | 二乙胺    | Diethylamine      | C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N                    | 1.15    | Ⅱ A1 |
| 21 | 75-50-3   | 三甲胺    | Trimethylamine    | C <sub>3</sub> H <sub>9</sub> N                     | 1.05    | Ⅱ A  |
| 22 | 107-15-3  | 乙二胺    | Ethylenediamine   | C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>        | 1.25    | Ⅱ A1 |
| 23 | 71-43-2   | 苯      | Benzene           | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                       | 0.99    | Ⅱ A  |
| 24 | 106-42-3  | 对二甲苯   | p-xylene          | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>                      | 1.09    | Ⅱ A  |
| 25 | 79-20-9   | 醋酸甲酯   | Methyl acetate    | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>        | 0.97    | Ⅱ A  |
| 26 | 141-78-6  | 乙酸乙酯   | Ethyl acetate     | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>        | 0.95    | Ⅱ A  |
| 27 | 109-60-4  | 醋酸正丙酯  | n-propyl acetate  | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>       | 1.04    | Ⅱ A  |
| 28 | 123-86-4  | 醋酸正丁酯  | n-butyl acetate   | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>       | 1.02    | Ⅱ A  |



表 X.1 典型的可燃气体和蒸气 MESG 及爆炸级别 (续)

| 序号 | CAS NO.   | 名称和分子式  |                     |                  | MESG/mm | 爆炸级别  |
|----|-----------|---------|---------------------|------------------|---------|-------|
|    |           | 中文名     | 英文名                 | 分子式              |         |       |
| 29 | 108-05-4  | 醋酸乙烯酯   | Vinyl acetate       | $C_4H_6O_2$      | 0.93    | II A  |
| 30 | 140-88-5  | 丙烯酸乙酯   | Ethyl acrylate      | $C_5H_8O_2$      | 0.86    | II B1 |
| 31 | 60-29-7   | 二乙醚     | Diethyl ether       | $C_4H_{10}O$     | 0.87    | II B1 |
| 32 | 108-20-3  | 二异丙基醚   | di-isopropyl ether  | $C_6H_{14}O$     | 0.94    | II A  |
| 33 | 75-21-8   | 环氧乙烷    | Ethylene oxide      | $C_2H_4O$        | 0.59    | II B  |
| 34 | 75-56-9   | 环氧丙烷    | Propylene oxide     | $C_3H_6O$        | 0.7     | II B  |
| 35 | 109-99-9  | 四氢呋喃    | Tetrahydrofuran     | $C_4H_8O$        | 0.87    | II B1 |
| 36 | 110-91-8  | 吗啉      | Morpholine          | $C_4H_9NO$       | 0.92    | II A  |
| 37 | 106-89-8  | 环氧氯丙烷   | Epichlorohydrin     | $C_3H_5ClO$      | 0.74    | II B3 |
| 38 | 75-01-4   | 氯乙烯     | Vinyl chloride      | $C_2H_3Cl$       | 0.96    | II A  |
| 39 | 67-64-1   | 丙酮      | Acetone             | $CH_3COCH_3$     | 1.04    | II A  |
| 40 | 78-93-3   | 丁酮      | Methyl ethyl ketone | $CH_3COCH_2CH_3$ | 0.85    | II B1 |
| 41 | 141-79-7  | 亚异丙基丙酮  | Mesityl oxide       | $C_6H_{10}O$     | 0.93    | II A  |
| 42 | 107-13-1  | 丙烯腈     | Acrylonitrile       | $C_3H_3N$        | 0.87    | II B1 |
| 43 | 74-85-1   | 乙烯      | Ethylene            | $C_2H_4$         | 0.65    | II B3 |
| 44 | 115-07-1  | 丙烯      | Propylene           | $C_3H_6$         | 0.95    | II A  |
| 45 | 106-99-0  | 1,3-丁二烯 | 1,3-butadiene       | $C_4H_6$         | 0.79    | II B3 |
| 46 | 78-79-5   | 异戊二烯    | Isoprene            | $C_5H_8$         | 0.81    | II B2 |
| 47 | 74-86-2   | 乙炔      | Acetylene           | $C_2H_2$         | 0.37    | II C  |
| 48 | 7664-41-7 | 氨       | Ammonia             | $NH_3$           | 3.18    | II A1 |
| 49 | 75-15-0   | 二硫化碳    | Carbon disulfide    | $CS_2$           | 0.34    | II C  |
| 50 | 630-08-0  | 一氧化碳    | Carbon monoxide     | $CO$             | 0.94    | II A  |
| 51 | 1333-74-0 | 氢       | Hydrogen            | $H_2$            | 0.29    | II C  |
| 52 | 7783-06-4 | 硫化氢     | Hydrogen sulfide    | $H_2S$           | 0.83    | II B2 |
| 53 | 50-00-0   | 甲醛      | Formaldehyde        | $HCHO$           | 0.57    | II B  |
| 54 | 57-14-7   | 偏二甲肼    | Dimethylhydrazine   | $C_2H_8N_2$      | 0.85    | II B1 |
| 55 | 71-23-8   | 正丙醇     | n-propanol          | $CH_3CH_2CH_2OH$ | 0.89    | II B1 |
| 56 | 74-90-8   | 氰化氢     | Hydrogen cyanide    | $HCN$            | 0.8     | II B2 |
| 57 | 79-09-4   | 丙酸      | Propionic acid      | $CH_3CH_2COOH$   | 1.1     | II A  |
| 58 | 79-10-7   | 丙烯酸     | Acrylic acid        | $C_3H_4O_2$      | 0.86    | II B1 |
| 59 | 79-24-3   | 硝基乙烷    | Nitroethane         | $C_2H_5NO_2$     | 0.87    | II B1 |
| 60 | 96-33-3   | 丙烯酸甲酯   | Methyl acrylate     | $C_4H_6O_2$      | 0.85    | II B1 |
| 61 | 98-00-0   | 糠醇      | Furfuryl alcohol    | $C_5H_6O_2$      | 0.8     | II B2 |

表 X.1 典型的可燃气体和蒸气 MESG 及爆炸级别 (续)

| 序号 | CAS NO.  | 名称和分子式          |                        |                                                                 | MESG/mm | 爆炸级别  |
|----|----------|-----------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------|-------|
|    |          | 中文名             | 英文名                    | 分子式                                                             |         |       |
| 62 | 98-83-9  | $\alpha$ -甲基苯乙烯 | Alpha-Methylstyrene    | C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>                                  | 0.88    | II B1 |
| 63 | 103-09-3 | 2-乙基己醇<br>乙酸酯   | 2-Ethylhexyl acetate   | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>                  | 0.88    | II B1 |
| 64 | 105-45-3 | 乙酰乙酸甲酯          | Methyl acetoacetate    | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>                    | 0.85    | II B1 |
| 65 | 105-58-8 | 碳酸二乙酯           | Diethyl carbonate      | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>                   | 0.83    | II B2 |
| 66 | 106-89-8 | 环氧氯丙烷           | Epichlorohydrin        | C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> ClO                               | 0.74    | II B3 |
| 67 | 106-92-3 | 烯丙基缩水<br>甘油醚    | Allyl glycidyl ether   | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>                   | 0.7     | II B3 |
| 68 | 107-00-6 | 丁炔              | 1-butyne               | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>                                   | 0.71    | II B3 |
| 69 | 107-19-7 | 炔丙醇             | Propargyl alcohol      | C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O                                 | 0.58    | II B  |
| 70 | 108-03-2 | 1-硝基丙烷          | 1-nitropropane         | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> | 0.84    | II B2 |
| 71 | 109-86-4 | 乙二醇甲醚           | 2-methoxyethanol       | HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>              | 0.85    | II B1 |
| 72 | 109-87-5 | 二甲氧基甲烷          | Dimethoxymethane       | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>                    | 0.86    | II B1 |
| 73 | 110-00-9 | 呋喃              | Oxole                  | CH=CHCH=CHO                                                     | 0.68    | II B3 |
| 74 | 110-05-4 | 过氧化二叔丁基         | Di-tert-butyl peroxide | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>                   | 0.84    | II B2 |

X.2 多组分可燃气体和蒸气 MESG 的确定。

- a) 采用标准方法进行测试,或咨询有关部门。
- b) 采用最小 MESG 作为混合气体的 MESG。
- c) 采用加和法,按公式(X.1)计算混合物 MESG:

$$MESG_{\min} = \frac{1}{\sum_i \left( \frac{X_i}{MESG_i} \right)}$$

.....( X.1 )

式中:

MESG<sub>min</sub>——混合物最大试验安全间隙,单位为毫米(mm);

MESG<sub>i</sub> ——混合物中*i*组分的最大试验安全间隙,单位为毫米(mm);

其中可燃组分从表 X.1 查得。对于氮气等惰性组分,当其最大体积分数小于 0.05 时,MESG 值取无穷大;当其最大体积分数大于或等于 0.05 时,取 2。

X<sub>i</sub>——混合物中组分*i*的体积分数。

- d) 含有催化作用组分的混合气体危险性可能比 MESG 最小组分更大。

X.3 温度升高或压力增加,都会使 MESG 减小。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 3077 合金结构钢
- [2] GB/T 3840 制定地方大气污染物排放标准的技术方法
- [3] GB/T 19672 管线阀门 技术条件
- [4] GB/T 20173 石油天然气工业 管道输送系统 管道阀门
- [5] GB/T 20972.1 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第1部分:选择抗裂纹材料的一般原则
- [6] GB/T 20972.2 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第2部分:抗开裂碳钢、低合金钢和铸铁
- [7] GB/T 20972.3 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第3部分:抗开裂耐蚀合金和其他合金
- [8] GB/T 21385 金属密封球阀
- [9] GB/T 21387 轴流式止回阀
- [10] GB/T 22130 钢制旋塞阀
- [11] GB/T 24921.1 石化工业用压力释放阀的尺寸确定、选型和安装 第1部分:尺寸的确定和选型
- [12] GB/T 24924 供水系统用弹性密封闸阀
- [13] GB/T 24925 低温阀门 技术条件
- [14] GB/T 26144 法兰和对夹连接钢制衬氟塑料蝶阀
- [15] GB/T 26146 偏心半球阀
- [16] GB/T 26479 弹性密封部分回转阀门 耐火试验
- [17] GB/T 26482 止回阀 耐火试验
- [18] GB/T 28776 石油和天然气工业用钢制闸阀、截止阀和止回阀( $\leq$ DN100)
- [19] GB 31570 石油炼制工业污染物排放标准
- [20] GB 31571 石油化学工业污染物排放标准
- [21] JB/T 6902 阀门液体渗透检查方法
- [22] JB/T 7746 紧凑型锻钢阀门
- [23] JB/T 8691 无阀盖刀形闸阀
- [24] JB/T 10673 撑开式金属密封阀门
- [25] JB/T 11152 金属密封提升式旋塞阀
- [26] SH 3009—2013 石油化工可燃性气体排放系统设计规范
- [27] SH/T 3554—2013 石油化工钢制管道焊接热处理规范
- [28] SY/T 6746 倒密封阀耐火试验规范
- [29] TSG D0001 压力管道安全技术监察规程——工业管道
- [30] ISO 898-1 Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel—Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes—Coarse thread and fine pitch thread
- [31] ISO 3506-4 Fasteners—Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners—Part 4: Tapping screws with specified grades and hardness classes
- [32] ISO 5208 Industrial valves—Pressure testing of metallic valves
- [33] ISO 10497 Testing of valves—Fire type-testing requirements
- [34] ISO 15590-2 Petroleum and natural gas industries—Factory bends, fittings and flanges

for pipeline transportation systems—Part 2:Fittings

[35] ISO 15590-3 Petroleum and natural gas industries—Factory bends, fittings and flanges for pipeline transportation systems—Part 3:Flanges

[36] ISO 15848-2 Industrial valves—Measurement, test and qualification procedures for fugitive emissions —Part 2:Production acceptance test of valves

[37] ISO 17945/NACE MR0103—2015 Petroleum, petrochemical and natural gas industries—metallic materials resistant to sulfide stress cracking in corrosive petroleum refining environments

[38] IEC 60079-20-1 Explosive atmospheres—Part 20-1:Material characteristics for gas and vapour classification-test methods and data

[39] API 5L Specification for Line Pipe

[40] API 6D Specification for Valves

[41] API 6FA Standard for Fire Test of Valves

[42] API 6FB Standard for Fire Test for End Connectors

[43] API 6FC Specification for Fire Test for Valves with Automatic Backseats

[44] API 6FD Specification for Fire Test for Check Valves

[45] API 579-1/ASME FFS-1—2007 Fitness For Service

[46] API 593 Ductile Iron Plug Valves, Flanged Ends

[47] API 594 Check Valves: Flanged, Lug, Wafer and Butt-welding

[48] API 598 Valve Inspection and Testing

[49] API 599 Metal Plug Valves-Flanged and Welding Ends

[50] API 600 Steel Gate Valves-Flanged and Butt-welding Ends, Bolted Bonnets

[51] API 602 Gate, Globe, and Check Valves for Sizes DN 100 (NPS4) and Smaller for the Petroleum and Natural Gas Industries

[52] API 603 Corrosion-resistant, Bolted Bonnet Gate Valves-Flanged and Butt-welding Ends

[53] API 607 Fire Test for Quarter-turn Valves and Valves Equipped with Nonmetallic Seats

[54] API 608 Metal Ball Valves-Flanged and Butt-Welding Ends

[55] API 609 Butterfly Valves; Double-flanged, Lug-and Wafer-Type

[56] API 622 Type Testing of Process Valve Packing for Fugitive Emissions

[57] API 624 Type Testing of Rising Stem Valves Equipped with Graphite Packing for Fugitive Emissions

[58] API 641 Type Testing of Quarter-turn Valves for Fugitive Emissions

[59] API STD 593 ductile iron plug valves, flanged ends

[60] API STD 599 Metal Plug Valves—Flanged, Threaded, and Welding Ends

[61] API RP 941—2016 Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants

[62] API STD 520-1 Sizing, selection and installation of pressure-relieving devices—Part 1: Sizing and selection

[63] API STD 530—2015 Calculation method of wall thickness of heating pipe in oil refinery

[64] ASME B16.34 Valves-Flange connection, threaded connection and welded ends

[65] ASME B16.104 Control Valve Seat Leakage

[66] ASME B31.3 Process Piping

[67] ASME B31.12 Hydrogen Piping and Pipelines

[68] ASME II-D Materials Part D Properties

- [69] ASME III-1 NH Rules for Construction of Nuclear Facility Components Division 1-Sub-section NH
- [70] ASME VIII-2—2023 Rules for Construction of Pressure Vessels-Division 2: Alternative Rules 2023
- [71] ASTM A47 Standard Specification for Ferritic Malleable Iron Castings
- [72] ASTM A48 Standard Specification for Gray Iron Castings
- [73] ASTM A53 Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless
- [74] ASTM A105 Standard Specification for Carbon Steel Forgings for Piping Applications
- [75] ASTM A106 Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service
- [76] ASTM A134 Standard Specification for Pipe, Steel, Electric-Fusion (Arc)-Welded (Sizes NPS 16 and Over)
- [77] ASTM A181 Standard Specification for Carbon Steel Forgings, for General-Purpose Piping
- [78] ASTM A193 Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting for High Temperature or High Pressure Service and Other Special Purpose Applications
- [79] ASTM A216 Standard Specification for Steel Castings, Carbon, Suitable for Fusion Welding, for High-Temperature Service
- [80] ASTM A217 Standard Specification for Steel Castings, Martensitic Stainless and Alloy, for Pressure-Containing Parts, Suitable for High-Temperature Service
- [81] ASTM A234 Standard Specification for Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy Steel for Moderate and High Temperature Service
- [82] ASTM A262—2015(2021) Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels
- [83] ASTM A312 Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes
- [84] ASTM A320 Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting for Low-Temperature Service
- [85] ASTM A333 Standard Specification for Seamless and Welded Steel Pipe for Low-Temperature Service and Other Applications with Required Notch Toughness
- [86] ASTM A335 Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service
- [87] ASTM A350 Standard Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Forgings, Requiring Notch Toughness Testing for Piping Components
- [88] ASTM A351 Standard Specification for Castings, Austenitic, for Pressure-Containing Parts
- [89] ASTM A352 Standard Specification for Steel Castings, Ferritic and Martensitic, for Pressure-Containing Parts, Suitable for Low-Temperature Service
- [90] ASTM A358 Standard Specification for Electric-Fusion-Welded Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steel Pipe for High-Temperature Service and General Applications
- [91] ASTM A369 Standard Specification for Carbon and Ferritic Alloy Steel Forged and Bored Pipe for High-Temperature Service
- [92] ASTM A388 Standard Practice for Ultrasonic Examination of Steel Forgings
- [93] ASTM A395 Standard Specification for Ferritic Ductile Iron Pressure-Retaining Castings

for Use at Elevated Temperatures

- [94] ASTM A403 Standard Specification for Wrought Austenitic Stainless Steel Piping Fittings
- [95] ASTM A420 Standard Specification for Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy Steel for Low-Temperature Service
- [96] ASTM A453 Standard Specification for High-Temperature Bolting, with Expansion Coefficients Comparable to Austenitic Stainless Steels
- [97] ASTM A609 Standard Practice for Castings, Carbon, Low-Alloy, and Martensitic Stainless Steel, Ultrasonic Examination Thereof
- [98] ASTM A671 Standard Specification for Electric-Fusion-Welded Steel Pipe for Atmospheric and Lower Temperatures
- [99] ASTM A672 Standard Specification for Electric-Fusion-Welded Steel Pipe for High-Pressure Service at Moderate Temperatures
- [100] ASTM A691 Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Pipe, Electric-Fusion-Welded for High-Pressure Service at High Temperatures
- [101] ASTM A694 Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Forgings for Pipe Flanges, Fittings, Valves, and Parts for High-Pressure Transmission Service
- [102] ASTM A790 Standard Specification for Seamless and Welded Ferritic/Austenitic Stainless Steel Pipe
- [103] ASTM A815 Standard Specification for Wrought Ferritic, Ferritic/Austenitic, and Martensitic Stainless Steel Piping Fittings
- [104] ASTM A923 Standard Test Methods for Detecting Detrimental Intermetallic Phase in Duplex Austenitic/Ferritic Stainless Steels
- [105] ASTM B161 Standard Specification for Nickel Seamless Pipe and Tube
- [106] ASTM B165 Standard Specification for Nickel-Copper Alloy Seamless Pipe and Tube
- [107] ASTM B167 Standard Specification for Nickel-Chromium-Aluminum Alloys, Nickel-Chromium-Iron Alloys, Nickel-Chromium-Cobalt-Molybdenum Alloy, Nickel-Iron-Chromium-Tungsten Alloy, and Nickel-Chromium-Molybdenum-Copper Alloy Seamless Pipe and Tube
- [108] ASTM B210 Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Drawn Seamless Tubes
- [109] ASTM B247 Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Die Forgings, Hand Forgings, and Rolled Ring Forgings
- [110] ASTM B361 Standard Specification for Factory-Made Wrought Aluminum and Aluminum-Alloy Welding Fittings
- [111] ASTM B363 Standard Specification for Seamless and Welded Unalloyed Titanium and Titanium Alloy Welding Fittings
- [112] ASTM B366 Standard Specification for Factory-Made Wrought Nickel and Nickel Alloy Fittings
- [113] ASTM B367 Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Castings
- [114] ASTM B381 Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Forgings
- [115] ASTM B407 Standard Specification for Nickel-Iron-Chromium Alloy Seamless Pipe and Tube
- [116] ASTM B444 Standard Specification for Nickel-Chromium-Molybdenum-Niobium Alloys and Nickel-Chromium-Molybdenum-Silicon Alloy Pipe and Tube

- [117] ASTM B564 Standard Specification for Nickel Alloy Forgings
- [118] ASTM B622 Standard Specification for Seamless Nickel and Nickel-Cobalt Alloy Pipe and Tube
- [119] ASTM B705 Standard Specification for Nickel-Chromium-Molybdenum-Niobium Alloy, Nickel-Chromium-Molybdenum-Silicon Alloy, and Nickel-Iron-Chromium-Molybdenum-Copper? Alloy Welded Pipe
- [120] ASTM B861 Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Seamless Pipe
- [121] ASTM B862 Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Welded Pipe
- [122] ASTM E165 Standard Practice for Liquid Penetrant Testing for General Industry
- [123] ASTM E709 Standard Guide for Magnetic Particle Testing
- [124] ASTM G48 Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution
- [125] AWS A5.4 Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding
- [126] AWWA C209 Tape Coatings for Steel Water Pipe and Fittings
- [127] AWWA C504 Rubber-Seated Butterfly Valves
- [128] BS 1868 Specification for Steel check valves (flanged and butt-welding ends) for the petroleum, petrochemical and allied industries
- [129] BS 1873 Specification for Steel Globe and Globe Stop and Check Valves (Flanged and Butt-Welding Ends) for the Petroleum, Petrochemical and Allied Industries
- [130] BS 5351 Specification for Steel Ball Valves for the Petroleum, Petrochemical and Allied Industries
- [131] BS 6364 Specification for Valves for Cryogenic Service
- [132] EN 13480.3 Metallic industrial piping—Part 3: Design and calculation
- [133] MSS SP54 Quality Standard for Steel Castings for Valves, Flanges and Fittings and Other Piping Components—Radiographic Examination Method
- [134] MSS SP55 Quality Standard for Steel Castings for Valves, Flanges and Fittings and Other Piping Components—Visual Method for Evaluation of Surface Irregularities
- [135] MSS SP75 High-Strength, Wrought, Butt-Welding Fittings
- [136] NACE MR0175 Petroleum and natural gas industries-Materials for use in H<sub>2</sub>S-containing environments in oil and gas production-Parts 1, 2, and 3
- [137] 危险化学品目录(2022 调整版)[S].北京:中华人民共和国工业和信息化部,2022.
- [138] 关于危险货物运输的建议书 试验和标准手册[S].纽约:联合国,2023.
- [139] 美国化工过程安全中心.保护层分析:简化的过程风险评估[M].白永忠,党文义,于安峰,译.北京:中国石化出版社,2010.
- [140] [英]布赖恩·内斯比特(Brian Nesbitt).阀门和驱动装置技术手册[M].张双清,尹玉杰,李树勋,等译.北京:化学工业出版社,2010,197~216.
- [141] Michael Beyer(Germany,PTB).防爆非电气设备的点燃危险评估方法[C]//2003 国际工业防爆技术论坛,中国上海:2003.