



中华人民共和国国家标准

GB/T 20801.1—2020
代替 GB/T 20801.1—2006

压力管道规范 工业管道 第 1 部分：总则

Pressure piping code—Industrial piping—Part 1: General

压力管道人全网首发

专注压力管道技术传播。扫描二维码关注公众号！



2020-03-06 发布

2020-10-01 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
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 压力管道分级	3
5 基本要求	3
附录 A (规范性附录) 压力管道中介质毒性和易燃性分类	4

压力管道人全网首发

前 言

GB/T 20801《压力管道规范 工业管道》分为以下 6 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计和计算；
- 第 4 部分：制作与安装；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护。

本部分为 GB/T 20801 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 20801.1—2006《压力管道规范 工业管道 第 1 部分：总则》，与 GB/T 20801.1—2006 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 根据特种设备目录，修改了标准的适用范围[见 1.3 a)，2006 年版的 1.3.1]；
- 采用排除法，修改了标准的适用范围[见 1.3 b)，2006 年版的 1.3.2]；
- 修改了标准的不适用范围与不包括范围(见 1.4、1.5，2006 年版的 1.4、1.5)；
- 修改了本部分用管道组成件的定义(见 3.5，2006 年版的 3.5)；
- 修改了介质危险性的有关定义(见 3.9、3.10、3.11，2006 年版的 3.10、3.11)；
- 增加了“气体”的有关定义(见 3.12)；
- 根据有关行政许可，修改了压力管道 GC1、GC2、GC3 级的划分(见 4.1、4.2，2006 年版的 4.1、4.2、4.3)；
- 增加了“压力管道中介质毒性和易燃性分类”(见附录 A)。

本部分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。

本部分起草单位：全国化工设备设计技术中心站、国家市场监督管理总局特种设备安全监察局、上海市特种设备监督检验技术研究院。

本部分主要起草人：蔡暖姝、应道宴、徐锋、黄正林、汤晓英。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 20801.1—2006。

压力管道规范 工业管道

第 1 部分:总则

1 范围

1.1 GB/T 20801 规定了工业金属压力管道设计、制作、安装、检验、试验和安全防护的基本要求。

1.2 GB/T 20801 的本部分规定了压力管道的适用范围和管道分级等基本要求。

1.3 本部分所指工业金属压力管道(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。

本部分适用于下列条件的管道:

a) 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、蒸汽或可燃、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、无腐蚀性气体的管道和设备本体所属管道除外。

b) 除 1.5 列出以外的压力管道。

1.4 本部分不包括范围如下:

a) 在役压力管道改造、检查、检验、试验、维护和修理等方面的专门要求;

b) 公称压力为 PN420 以上的管道;

c) 非金属管道或其衬里层。

1.5 本部分不适用范围如下:

a) 军事装备和核设施的管道;

b) 石油、天然气、地热等勘探和采掘装置的管道;

c) 移动设备如铁道机车、汽车、船舶、航空航天器等上的压力管道;

d) GA 类长输管道;

e) GB 类公用管道;

f) GCD 类动力管道;

g) 锅炉、压力容器以及加热炉的内部管道以及设备的外接管口;

h) 设计压力低于 0.1 MPa(表压)但不低于大气压的输送无毒、不可燃、无腐蚀性流体的管道。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 20801.2 压力管道规范 工业管道 第 2 部分:材料

GB/T 20801.3 压力管道规范 工业管道 第 3 部分:设计和计算

GB/T 20801.4 压力管道规范 工业管道 第 4 部分:制作与安装

GB/T 20801.5 压力管道规范 工业管道 第 5 部分:检验与试验

GB/T 20801.6 压力管道规范 工业管道 第 6 部分:安全防护

GB 30000(所有部分) 化学品分类和标签规范

GB 50016—2014 建筑设计防火规范

3 术语和定义

GB/T 20801.2、GB/T 20801.3、GB/T 20801.4、GB/T 20801.5 和 GB/T 20801.6 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

管道 **pipng**

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、管架、管廊和底座(管墩或基础)等。

3.2

公称压力 **nominal pressure; PN**

由字母 PN 和无因次整数数字组成,代表管道组成件压力等级的参数。

3.3

公称直径 **nominal diameter; DN**

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

管道组成件 **pipng component**

用于连接或装配成压力密封的管道系统机械元件。

注:包括压力管道元件(管子、管件、阀门、法兰、补偿器、密封元件、特种元件)、安全附件(安全阀、爆破片装置、紧急切断阀),以及诸如紧固件、阻火器、膨胀节、挠性接头、耐压软管、过滤器、管路中的仪表(如孔板)和分离器等。

3.6

管道支承件 **pipe-supporting element**

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管架结构上去的元件。

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、弹簧吊架、斜拉杆、平衡锤、松紧螺栓、支撑杆、链条、导轨和固定架,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:结构附件是指用焊接、螺栓连接或夹紧方法附装在管道上的元件,如吊耳、管吊、卡环、管夹、U 形夹和夹板等。

3.7

管件 **fitting**

管道组成件的一个类别,通常包括弯头、三通、四通、弯管、异径管、管帽、翻边短节和活接头等。

3.8

管架 **pipe support**

用于支承管道的构筑物。

注 1:管道通过支承件将荷重和推力传递到管架上。

注 2:管架由钢结构或钢筋混凝土结构的立柱、横梁或框架所构成,独立固定在基础上,也可固定在设备上或墙上。

注 3:按类型分有独柱式、双柱式和悬臂式等。

3.9

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。按其 LD₅₀(经口,经皮)或 LC₅₀(吸入 4 h)的半数致死量进行危害程度的分类,详见附录 A。

3.10

可燃气体的 flammable gas

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

3.11

可燃液体 flammable liquid

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,详见附录 A。

3.12

气体 gas

除 3.10 的定义外,GB/T 20801 范围内涉及的“气体”还包括蒸汽、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。

4 压力管道分级

4.1 1.3 a)中列出的“压力管道”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《危险化学品目录(2015 版)》中规定的毒性程度为急性毒性类别 1 介质、急性毒性类别 2 气体介质和工作温度高于其标准沸点的急性毒性类别 2 液体介质的压力管道。
- 2) 输送 GB 50160—2008、GB 50016—2014 中规定的火灾危险性为甲、乙类可燃气体或甲类可燃液体(包括液化烃),并且设计压力大于或等于 4.0 MPa 的压力管道。
- 3) 输送除前两项介质以外的流体,并且设计压力大于或等于 10.0 MPa,或设计压力大于或等于 4.0 MPa 且设计温度高于或等于 400 °C 的压力管道。

b) 符合下列条件的压力管道(包括制冷管道)应划分为 GC2 级:

介质毒性或易燃性危险和危害程度、设计压力和设计温度低于 4.1 a)规定(GC1 级)的压力管道。

4.2 1.3 b)中列出的并且符合下列条件的压力管道应划分为 GC3 级:

输送无毒、不可燃、无腐蚀性液体介质,设计压力小于或等于 1.0MPa 且设计温度高于-20 °C 但不高于 185 °C 的压力管道。

注: GC3 级管道不适用于 1.3 a)中列出的压力管道。

4.3 输送毒性或易燃性危险和危害程度不同的混合介质时,应按附录 A 的规定,由业主或设计确定压力管道等级。

5 基本要求

5.1 压力管道的建造材料应符合 GB/T 20801.2 的规定。

5.2 压力管道的设计和计算应符合 GB/T 20801.3 的规定。

5.3 压力管道的制作与安装应符合 GB/T 20801.4 的规定。

5.4 压力管道的检验与试验应符合 GB/T 20801.5 的规定。

5.5 压力管道的安全防护应符合 GB/T 20801.6 的规定。

附录 A

(规范性附录)

压力管道中介质毒性和易燃性分类

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 50160—2008、GB 50016—2014、《危险化学品目录(2015 版)》和 GB 30000 的规定为基础确定的。

A.1.2 介质危害性系指在生产和储存过程中因事故泄漏致使介质与人体接触、发生火灾引起的健康危害和安全危险程度,用介质的毒性及易燃性表示。其危害和危险程度的划分分别按 A.2 和 A.3 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 30000.2~GB 30000.29 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 和 A.3 列入的危险化学品及其混合物应视为有毒、易燃的危险性介质。

A.2 易燃性

A.2.1 可燃气体

按照 GB 50160—2008 及 GB 50016—2014 的规定,压力管道涉及的可燃气体分类见表 A.1。

表 A.1 可燃气体

名称		类别	判据
GB 50160—2008	可燃气体	甲	与空气混合物的爆炸下限不大于 10%(体积分数)
		乙	与空气混合物的爆炸下限大于或等于 10%(体积分数)

A.2.2 可燃液体

按照 GB 50160—2008 及 GB 50016—2014 的规定,压力管道涉及的可燃液体分类见表 A.2。

表 A.2 可燃液体

名称		类别	判据
GB 50160—2008	可燃液体	甲 A(液化烃)	沸点不高于 15 °C 的烃类液体及其他类似液体
		甲 B	甲 A 类以外闪点低于 28 °C 的液体
		乙 A	闪点高于或等于 28 °C 且低于或等于 45 °C 的液体
		乙 B	闪点高于 28 °C 且低于 60 °C 的液体
		丙 A	闪点高于或等于 60 °C 且低于或等于 120 °C 的液体
		丙 B	闪点高于 120 °C 的液体
注:工作温度高于其闪点的乙类可燃液体视为甲 B 类可燃液体。工作温度高于其闪点的丙类可燃液体视为乙类可燃液体。			

A.2.3 其他可燃介质

《危险化学品目录(2015版)》中列入的下列可燃介质应根据其火灾危险性(易燃性)、闪点和介质的状态(气、液、固)视为表 A.1 或表 A.2 规定的甲、乙类可燃气体或甲类可燃液体(包括液化烃):

- a) 气溶胶(类别 1)、氧化性气体(类别 1)、遇水放出易燃气体的物质和混合物(类别 1、2、3);
- b) 易燃固体(类别 1、2)、自燃固体(类别 1)、氧化性固体(类别 1、2、3);
- c) 自燃液体(类别 1)、氧化性液体(类别 1、2、3);
- d) 有机过氧化物(类别 A、B、C、D、E、F)、自反应物质和混合物(类别 A、B、C、D、E)、自热物质和混合物(类别 1、2)。

A.2.4 混合物的易燃性

混合物(介质)的易燃性按相应 GB 30000 的规定进行评估。

A.3 毒性

A.3.1 有毒介质和急性毒性

按照《危险化学品目录(2015版)》和 GB 30000.18 的规定,压力管道涉及的有毒介质应根据其急性毒性进行分类,见表 A.3。

表 A.3 急性毒性类别

接触途径	单位	危害类别 1 (剧毒)	危害类别 2 (有毒)	危害类别 3 (有毒)
经口 LD ₅₀	mg/kg	≤5	≤50	≤300
经皮 LD ₅₀	mg/kg	≤50	≤200	≤1 000
吸入气体 LC ₅₀	mL/L	≤0.1	≤0.5	≤2.5
吸入蒸汽 LC ₅₀	mg/L	≤0.5	≤2.0	≤10
吸入粉尘和烟雾 LC ₅₀	mg/L	≤0.05	≤0.5	≤1.0

注 1: LC₅₀(吸入 4 h, 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。
 注 2: LD₅₀: 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。
 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。
 注 4: 《危险化学品目录(2015版)》中注明的剧毒介质可视为急性毒性类别 1。

A.3.2 混合物的毒性

混合物(介质)的毒性应按 GB 30000.18 中规定的混合物分类标准进行评估。



中华人民共和国国家标准

GB/T 20801.2—2020
代替 GB/T 20801.2—2006

压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料

Pressure piping code—Industrial piping—Part 2: Materials

2020-11-19 发布

2021-06-01 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	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	3
4 一般规定	4
5 材料选用的基本原则	5
6 材料的使用限制	5
7 高温条件下的材料使用限制	10
8 低温条件下的材料使用限制	11
9 材料标记和质量证明	16
附录 A (规范性附录) 材料牌号和许用应力	18
附录 B (资料性附录) 材料的物理性能	50
附录 C (资料性附录) 基于风险的材料设计和选用	56
附录 D (资料性附录) 我国与国外材料标准及牌号对照表	75
参考文献	86

前 言

GB/T 20801《压力管道规范 工业管道》分为以下 6 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计和计算；
- 第 4 部分：制作与安装；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护。

本部分为 GB/T 20801 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 20801.2—2006《压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料》，与 GB/T 20801.2—2006 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了规范性引用文件(见第 2 章,2006 年版的第 2 章)；
- 增加了低温降应力工况(见 3.2、8.1.3.3)；
- 修改了剧烈循环工况的定义(见 3.7,2006 年版的 3.6)；
- 增加了普通碳素结构钢的定义(见 3.8)；
- 增加了管线钢及其材料选用规定(见 6.3)；
- 修改了管子和对焊管件的使用限制(见 6.4,2006 年版的 6.3)；
- 增加了板焊管的使用要求(见 6.7)；
- 增加了高温蠕变工况下材料的使用限制(见 7.2.2.1、7.2.3.1、7.2.4.3)；
- 修改了“许用应力表”(见附录 A,2006 年版的附录 A)；
- 增加了“基于风险的材料设计和选用”(见附录 C)；
- 增加了“我国与国外材料标准及牌号对照表”(见附录 D)。

本部分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。

本部分起草单位：全国化工设备设计技术中心站、中石化上海工程有限公司、国家市场监督管理总局特种设备安全监察局、中石化洛阳工程有限公司、中国寰球工程有限公司北京分公司、江阴市南方管件制造有限公司、江苏武进不锈股份有限公司。

本部分主要起草人：应道宴、尤子涵、徐锋、黄正林、岳进才、姜万军、马学娅、郭顺显、宋建新。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 20801.2—2006。

压力管道规范 工业管道

第 2 部分:材料

1 范围

GB/T 20801 的本部分规定了压力管道元件用材料的基本要求,包括材料的选用、基于材料性能的使用限制、标记和质量证明方面的规定。

本部分适用于 GB/T 20801.1 范围界定的压力管道元件用材料的选择和使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- 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 3624 钛及钛合金无缝管
- GB/T 4334 金属和合金的腐蚀 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 5310 高压锅炉用无缝钢管
- 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)制无缝管
- GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- 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 石油裂化用无缝钢管
- GB/T 12228 通用阀门 碳素钢锻件技术条件
- GB/T 12229 通用阀门 碳素钢铸件技术条件
- GB/T 12230 通用阀门 不锈钢铸件技术条件
- GB/T 12771 流体输送用不锈钢焊接钢管
- GB/T 12778 金属夏比冲击断口测定方法
- 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 20801.2—2020

- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 16253 承压钢铸件
- GB/T 18984 低温管道用无缝钢管
- GB/T 20801.1—2020 压力管道规范 工业管道 第1部分:总则
- 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
- GB/T 21832(所有部分) 奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊接钢管
- GB/T 21833 奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管
- GB/T 25137 钛及钛合金锻件
- GB/T 26027 铝及铝合金大规格拉制无缝管
- 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 27684 钛及钛合金无缝和焊接管件
- 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 管道输送系统用感应加热弯管、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/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 32964 液化天然气用不锈钢焊接钢管
- 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 20634 钢制管法兰用紧固件(Class 系列)
- JB/T 5263 电站阀门铸钢件技术条件
- JB/T 7248 阀门用低温钢铸件技术条件
- 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 47013.2—2015 承压设备无损检测 第2部分:射线检测
- NB/T 47013.3—2015 承压设备无损检测 第3部分: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
- SY/T 5037 普通流体输送管道用埋弧焊钢管
- YB/T 4173 高温用锻造镗孔厚壁无缝钢管
- ASTM A333 低温用无缝及焊接钢管(Specification for Seamless and Welded Steel Pipe for Low—Temperature Service)
- ASTM A671 常温及低温用电熔焊钢管(Specification for Electric-Fusion—Welded Steel Pipe for Atmospheric and Lower Temperatures)
- ASTM A691 高温高压用碳钢及合金钢电熔焊钢管(Specification for Carbon and Alloy Steel Pipe, Electric Fusion Welded for High Pressure Service at High Temperatures)

ASTM B361 铝及铝合金焊接管件(Standard Specification for Factory Made Wrought Aluminum and Aluminum Alloy Welding Fittings)

ASTM B366 镍及镍合金管件(Standard Specification for Factory Made Wrought Nickel and Nickel Alloy Fittings)

ASTM B444 镍铬钼铌合金(UNS N06625 和 UNS N06852)和镍铬钼硅合金(UNS N06219)管 [Standard Specification for Nickel-Chromium-Molybdenum-Columbium Alloys (UNS N06625 and UNS N06852) and Nickel-Chromium-Molybdenum-Silicon Alloy(UNS N06219) Pipe and Tube]

ASTM B619 镍及镍钴合金焊接管(Standard Specification for Welded Nickel and Nickel Cobalt Alloy Pipe)

ASTM B622 镍及镍钴合金无缝管(Standard Specification for Seamless Seamless Nickel and Nickel Cobalt Alloy Pipe and Tube)

3 术语和定义

GB/T 20801.1—2020、GB/T 20801.3—2020、GB/T 20801.4—2020、GB/T 20801.5—2020 和 GB/T 20801.6—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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) 管道由压力、重量及位移产生的轴向拉应力总和(计算位移应力时,不计入应力增大系数)不大于材料常温许用应力值的 30%，且不大于 50 MPa。

注：直管和对焊管件类元件的最大允许工作压力按 GB/T 20801.3—2020 公式计算或型式试验确定；法兰、阀门类元件的最大允许工作压力按相应标准规定的常温压力额定值选取。

3.2

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) 管道由压力、重量及位移产生的轴向拉应力总和(计算位移应力时,不计入应力增大系数)不大于材料常温许用应力值的 80%。

3.3

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。

3.4

电熔焊焊管 electric-fusion welded pipe; EFW

采用自动电弧焊或手工电弧焊,在预成型的坯料上纵向对接焊成的管子。

3.5

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。

3.6

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业主要求的,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。

3.7

剧烈循环工况 severe cyclic conditions

发生以下情况之一的工况：

- a) 管道系统中的管子、管道元件或接头中的位移应力范围 S_E [按 GB/T 20801.3—2020 式(39)计算] 超过许用应力范围 S_A [按 GB/T 20801.3—2020 式(34)或式(35)计算] 的 0.8 倍, 同时当量循环次数 N [按 GB/T 20801.3—2020 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 GB/T 20801.3—2020 式(36)计算或通过图 12 查得] 接近 1.0] 的工况。

3.8

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。

3.9

管线钢 pipeline steels

长输管道用高屈强比碳锰钢。

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

3.10

产品质量等级 product specification level; PSL

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

4 一般规定

4.1 材料选用

业主或设计者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) 以及本部分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。本部分未包括焊接、非金属等的材料要求。

4.2 材料和技术要求

4.2.1 附录 A 的表 A.1 和表 A.2 规定了管道组成件材料的牌号、许用应力和使用范围等要求, 用于管道组成件的材料应符合表 A.1 和表 A.2 所列材料标准的要求。

材料的物理性能参数参见附录 B。常用管道材料的选用、损伤风险以及相应的材料设计要求和工程措施参见附录 C。

4.2.2 除表 A.1 和表 A.2 所列的材料外, 下列材料可用于管道组成件, 但应符合本部分对相应材料的要求和使用限制:

- a) 表 A.1 和表 A.2 列入的工业管道适用材料标准的其他牌号材料;
- b) 材料符合已公布的材料标准, 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, 并不低于表 A.1 和表 A.2 列入的相应材料标准要求;
- c) GB/T 20801.3—2020 表 13 列入的管道组成件标准适用材料;
- d) 附录 D 所列与表 A.1 和表 A.2 所列材料对应的国外标准材料。

4.2.3 牌号不明的材料不得应用于管道组成件。

4.2.4 回收的材料不得应用于管道组成件。

4.2.5 其他材料的选用应经过具有相应资质的机构技术鉴定及评审认可。

5 材料选用的基本原则

- 5.1 受压元件(螺栓除外)用材料应有足够的强度、塑性和韧性,在最低使用温度下应具备足够的抗脆断能力。当采用延伸率低于14%的脆性材料时,应采取必要的安全防护措施。
- 5.2 选用的材料应具有足够的稳定性,包括化学性能、物理性能、耐蚀和耐磨性能、抗疲劳性能和组织稳定性等。
- 5.3 选用材料时,应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而带来材料性能变化和次生危害。
- 5.4 选用的材料应适合相应的制造、制作和安装,包括焊接、冷热加工及热处理等方面的要求。
- 5.5 当几种不同的材料组合使用时,应考虑可能产生的不利影响。
- 5.6 材料应具备可获得性和经济性。

6 材料的使用限制

6.1 球墨铸铁、灰铸铁和可锻铸铁

6.1.1 球墨铸铁

- 6.1.1.1 球墨铸铁用于管道组成件时,其延伸率应不低于15%,使用温度应不高于350℃,但应高于-20℃; GB/T 20801.3—2020 表13所列球墨铸铁管道元件的使用限制应符合 GB/T 13295的相应规定。
- 6.1.1.2 除用于GC3级管道外,球墨铸铁应符合 GB/T 1348的冲击性能要求,压力额定值应不大于5.0 MPa。
- 6.1.1.3 球墨铸铁不得用于剧烈循环工况。
- 6.1.1.4 除应符合6.1.1.1、6.1.1.2、6.1.1.3的要求外,球墨铸铁管、管件、附件、管法兰、阀门的适用压力-温度额定值还应符合 GB/T 20801.3—2020 表13相应标准的规定。
- 6.1.1.5 制造、制作、安装过程中不得焊接。

6.1.2 灰铸铁和可锻铸铁

- 6.1.2.1 表A.1所列的灰铸铁和可锻铸铁用于管道组成件时,应符合下列规定:
- 灰铸铁管道组成件的使用温度应不低于-10℃且不高于230℃,压力额定值应不大于2.0 MPa;
 - 可锻铸铁管道组成件的使用温度应不低于-20℃且不高于300℃,压力额定值应不大于2.0 MPa;
 - 灰铸铁和可锻铸铁管道组成件不得用于GC1级管道或剧烈循环工况;
 - 灰铸铁和可锻铸铁管道组成件用于GC2级管道时,其使用温度应不高于150℃,最高允许工作压力应不大于1.0 MPa;
 - 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;
 - 制造、制作、安装过程中不得焊接。
- 6.1.2.2 除符合6.1.2.1的要求外,灰铸铁和可锻铸铁管、管件、管法兰、阀门的适用压力-温度额定值还应符合 GB/T 20801.3—2020 表13相应标准的规定。

6.2 碳素结构钢

碳素结构钢的使用限制应符合下列各项规定:

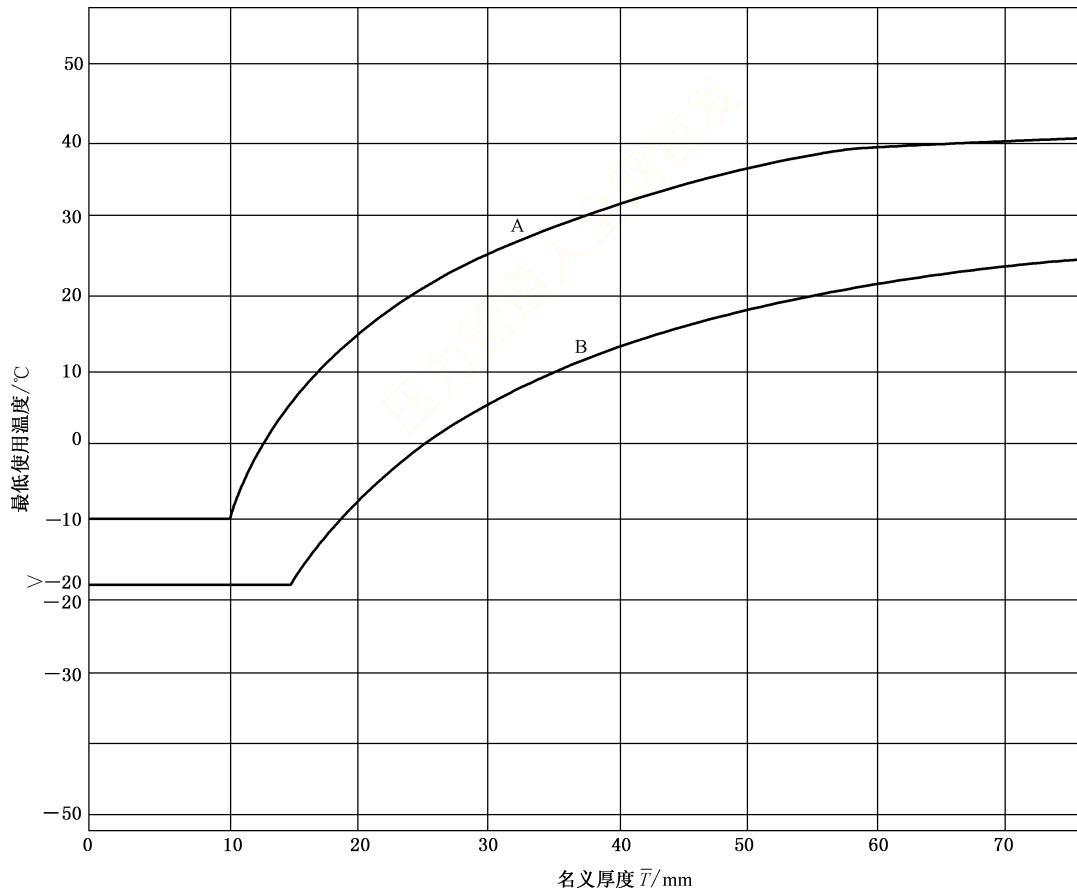
- 不得用于GC1级管道组成件;

- b) 选用 Q215A、Q235A 等 A 级镇静钢时,设计压力应不大于 1.6 MPa,设计温度应不高于 350 °C 且不低于图 1 曲线 A(或表 1)所示温度,介质限于非可燃及非有毒流体;
- c) 用于焊接的管道组成件,含碳量不得大于 0.30%。选用沸腾钢和半镇静钢时,厚度应不大于 12 mm;选用 A 级镇静钢时,厚度应不大于 16 mm。

表 1 碳钢(包括碳锰钢)免除冲击试验的最低使用温度

单位为摄氏度

名义厚度 mm	6	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
图 1 曲线 A	-10	-10	-10	-3.2	2.1	4.2	5.9	9.7	13.4	16.4	18.5	20.8	23.3	24.9	—	—	—	—	—
图 1 曲线 B	>-20	>-20	>-20	>-20	>-20	>-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



最低使用温度/厚度组合位于相应曲线或以上者,可免除冲击试验,位于曲线以下者,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除外)。

碳钢(包括碳锰钢)使用于 GC3 级管道时,可免除冲击试验。

注 1: A、B 类材料的分类见表 A.1。

注 2: 图示名义厚度系指焊接部位的厚度;对接焊接厚度较小侧;支管与主管的角接头按支管厚度;对法兰按锥颈小端厚度;非焊接部位按 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

6.3 管线钢

6.3.1 表 A.1 列入了包括 GB/T 9711 的长输管道用碳钢和管线钢钢管、对焊管件和法兰锻件,如表 2 所示。

表 2 长输管道用碳钢和管线钢钢管、对焊管件和法兰锻件

材 料		碳 钢	管 线 钢
GB/T 9711 钢管	电阻焊焊管	L210/A(PSL1),L245/B(PSL1)	L290/X42~L450/X65(PSL2)
	无缝钢管	L245/B(PSL1),L245/B(PSL2)	L290/X42~L555/X80(PSL2)
	板焊管	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)

6.3.2 管线钢的产品质量等级(PSL)应满足如下要求:

- GB/T 9711 长输管线用钢管有 PSL1 及 PSL2 两个产品质量等级。
- PSL2 的产品质量等级较高,且有韧性要求。采用 PSL2 时,用户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 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$;低于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}\sim -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,应供需双方协商,用户若未提出冲击试验温度要求,供方按 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 执行。
- GB/T 29168 长输管线用弯管、对焊管件、法兰(锻件)仅有 PSL2 产品质量等级,其冲击试验要求与上述 GB/T 9711 长输管线用管 PSL2 产品质量等级相同。
- 表 2 所列管线钢的最高使用温度应不高于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。许用应力按表 A.1 的规定。

6.3.3 表 2 所列 PSL1 碳钢的最低使用温度按图 1 曲线 B 的规定;PSL2 的碳钢和管线钢最低使用温度应不低于 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且应符合相应温度下材料标准规定的冲击试验要求。

6.3.4 L360/X52 及以下钢级的管线钢和碳钢的焊接工艺评定按 NB/T 47014 的规定;钢级高于 L360/X52 管线钢的焊接工艺评定按 NB/T 47014 或 GB/T 31032 的规定,但应按每个钢材生产厂的每个钢级分别评定。

6.3.5 GB/T 9711 产品和管线钢钢管及对焊管件的使用限制应符合表 2 的规定。

6.4 管子和对焊管件

6.4.1 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对焊管件

标 准	材料(牌号)	制 管 工 艺	使 用 限 制
GB/T 3091	碳素结构钢	电阻焊焊管	a)按 6.2 规定,且设计压力不高于 1.6 MPa; b)不得用于剧烈循环工况; c)不得用于 GC1 级管道
		电熔焊焊管	
SY/T 5037	碳素结构钢	电熔焊焊管	
GB/T 13401	CF370	无缝及焊接对焊管件	
GB/T 9711(PSL1)	L210	电阻焊焊管	a)不得用于 GC1 级管道; b)不得用于剧烈循环工况; c)设计压力不高于 4.0 MPa
	L245		

表 3 (续)

标准	材料(牌号)	制管工艺	使用限制
GB/T 9711(PSL2)	L290/X42~ L450/X65	电阻焊焊管	a)不得用于 GC1 级(毒性)管道或气体管道; b)不得用于剧烈循环工况
GB/T 8163 GB/T 3087 GB/T 9711(PSL1)	碳钢	无缝管	不得用于 GC1 级管道
GB/T 13401	CF415,CF485	无缝及焊接对焊管件	
GB/T 12771 HG/T 20537.3	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)不得用于 GC1 级管道; b)不得用于剧烈循环工况
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	

6.4.2 剧烈循环工况下使用的钢管、有色金属管和对焊管件,应符合下列规定:

- a) 应采用表 A.1 所列无缝管或纵向焊接接头系数大于或等于 0.90 的电熔焊(EFW)焊管和板焊管,不得选用电阻焊(ERW)焊管以及未经射线照相检测的电熔焊焊管;
- b) 应采用无缝管件、纵向焊接接头系数不小于 0.90 的板制对焊管件和铸件质量系数不小于 0.90 的铸件。

6.5 碳钢和铬钼合金钢

6.5.1 用于焊接的碳钢、铬钼合金钢,含碳量应不大于 0.30%。

6.5.2 使用温度高于 455 °C 的 2¼Cr-1Mo 钢,焊缝金属的含碳量应不小于 0.05%。

6.5.3 铬钼合金钢焊管和管件的焊缝应进行 100%射线检测或超声检测,且符合 NB/T 47013.2—2015 规定的 II 级要求(RT)或 NB/T 47013.3—2015 规定的 I 级要求(UT)。铬钼合金钢焊管和管件焊缝的射线或超声检测应在焊后热处理后进行。

6.6 奥氏体不锈钢

6.6.1 低碳(含碳量≤0.08%)非稳定化不锈钢(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,材料要求参见附录 C。

6.6.2 超低碳不锈钢在 425 °C 以上长期使用存在晶间腐蚀倾向,材料要求参见附录 C。

6.6.3 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 °C 者,许用应力按低碳级选取,使用温度高于 538 °C 者,许用应力按超低碳级选取。

6.6.4 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。

6.7 板焊管

6.7.1 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 外,板焊管的厚度负偏差应不大于 0.3 mm,板焊管的尺寸偏差按 GB/T 9711 等相关标准的规定。

6.7.2 钢管应采用电熔焊工艺制造,除 GB/T 3091 及 SY/T 5037 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；不锈钢应采用包括加丝或不加丝的双面气体保护焊。

6.7.3 焊缝的化学成分应与母材接近或相当，其性能不低于母材的性能。GB/T 9711 PSL2 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。对于要求进行冲击试验的钢管，应包括母材、焊缝及热影响区。

6.7.4 除 GB/T 9711 PSL2 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；除业主或设计另有规定外，奥氏体不锈钢和双相不锈钢板焊管应进行焊后固溶处理。

6.7.5 除 GC3 级管道及 GB/T 3091、SY/T 5037 板焊管外，应对板焊管焊缝进行局部或 100% 射线或超声检测，且符合 GB/T 20801.5—2020 中 6.3.2 的相应规定。

6.7.6 剧烈循环工况下使用的焊管应采用添加填充金属的焊接工艺，并进行局部或 100% 射线或超声检测，且符合 GB/T 20801.5—2020 中 6.3.2 的相应规定。

6.8 铝及铝合金

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

6.8.2 材料标准未规定抗拉及屈服强度者，本部分要求于采购合同中补充。

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

6.8.4 铝及铝合金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 A.1 所列性能及许用应力为典型示例。

6.9 镍及镍合金

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

6.9.2 镍及镍合金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 A.1 所列性能及许用应力为典型示例。

6.9.3 625 镍基合金采用 ENiCrMo-3 或 ERNiCrMo-3 焊接的接头抗拉强度应不小于 758 MPa 。

6.9.4 625 镍基合金经 $538\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 760\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热履历可能致使常温韧性的降低和焊接区域的应力松弛裂纹，参见附录 C。

6.10 管道支承件材料

6.10.1 表 A.1 和表 A.2 所列标准、材料及许用应力也适用于管道支承件。

6.10.2 管道支承件材料的其他要求按 GB/T 20801.3—2020 第 8 章的规定。

6.11 低熔点金属

6.11.1 铅、锌等低熔点金属及其合金不得用于输送可燃介质的管道。

6.11.2 应防止铅、锌等低熔点金属在热处理、焊接或高温使用过程对奥氏体不锈钢及镍基合金的液体金属侵蚀，参见附录 C。

7 高温条件下的材料使用限制

7.1 材料使用温度上限

7.1.1 表 A.1 及表 A.2 规定了一般情况下材料的使用温度上限。

7.1.2 确定材料使用温度上限时应考虑使用介质和环境的影响。

7.2 高温材料的选用原则

7.2.1 一般要求

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

7.2.1.2 高温条件下长期使用的材料,应考虑因蠕变引起的过度变形、过大位移、材料组织和性能的劣化以及螺栓的应力松弛;典型金属材料的蠕变阈值温度见 GB/T 20801.3—2020 表 5,其他金属材料可参见附录 C。

7.2.1.3 高温条件下使用的材料,应考虑高温及化学腐蚀引起的材料损伤。

7.2.1.4 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,应考虑材料强度降低的因素。

7.2.2 高温条件下碳钢及铬钼合金钢的使用

7.2.2.1 高温蠕变工况焊接接头高温强度降低系数 W 按 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.7 的规定。

7.2.2.2 碳钢、碳锰钢、低温用镍钢的高温石墨化倾向以及铬钼合金钢的软化(珠光体球化)倾向参见附录 C。

7.2.2.3 铬钼合金钢的回火脆性敏感性参见附录 C。

7.2.3 高温条件下不锈钢的使用

7.2.3.1 高温蠕变工况(见 GB/T 20801.3—2020 的 3.2)不锈钢焊接接头高温强度降低系数 W 按 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.7 的规定。

7.2.3.2 铁素体不锈钢、马氏体不锈钢和双相不锈钢的 475 °C 脆性敏感性参见附录 C。

7.2.3.3 铬镍奥氏体不锈钢的 σ 相脆化敏感性参见附录 C。

7.2.3.4 铝、铋、铌、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)参见附录 C。

7.2.3.5 表 A.1 低碳级(含碳量 $\leq 0.08\%$)奥氏体不锈钢高温使用时,应符合表 4 的附加要求。

表 4 低碳级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/°C	附加要求		
		母材含碳量	热处理状态	晶 粒 度
CF8	>425	≥ 0.04	>1 040 °C 快冷	—
CF8M,CF8C	>425	≥ 0.04	>1 095 °C 快冷	—
06Cr18Ni11Ti 06Cr18Ni11Nb	>538	≥ 0.04	>1 095 °C 快冷	平均晶粒度 7 级或更粗
06Cr19Ni10 06Cr17Ni12Mo2	>538	≥ 0.04	>1 040 °C 快冷	平均晶粒度 7 级或更粗
06Cr23Ni13 06Cr25Ni20	>538	≥ 0.04	>1 040 °C 快冷	平均晶粒度 6 级或更粗

7.2.4 高温条件下其他材料的使用

7.2.4.1 钛及钛合金不宜在 316 °C 以上的温度下使用。

7.2.4.2 镍及镍基合金的使用温度上限按表 5 的规定。

7.2.4.3 高温蠕变工况(见 GB/T 20801.3—2020 的 3.2)镍基合金焊接接头高温强度降低系数 W 按 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.7 的规定。

表 5 镍及镍基合金的使用温度上限

单位为摄氏度

材 料	不含硫的环境			蒸汽	含硫环境	
	氧化	H ₂ 还原	CO还原		氧化	还原
镍 (N4、N6)	1 040	1 260	1 260	425	315	260
镍-铜 (NCu30)	540	1 100	815	370	315	260
镍-铬-铁 (NS312)	1 100	1 150	1 150	815	815	540
镍-铁-铬 (NS111、NS112)	1 100	1 260	1 150	980	815	540

8 低温条件下的材料使用限制

8.1 最低使用温度及冲击试验免除

8.1.1 一般规定(铸铁除外)

8.1.1.1 除 8.1.1.4、8.1.3、8.1.4、8.1.5 和 8.1.6 免除冲击试验的规定外,材料及其焊接接头应进行冲击试验。

8.1.1.2 材料及其焊接接头的冲击试验应按 8.2 的规定进行。

8.1.1.3 确定最低设计温度时,应考虑流体节流效应及环境温度的影响。

8.1.1.4 用于 GC3 级管道的碳钢材料可免除冲击试验。

8.1.2 铸铁

球墨铸铁、灰铸铁和可锻铸铁的最低使用温度应符合 6.1 的规定。

8.1.3 碳钢、低温钢、铬钼合金钢、铁素体不锈钢和双相不锈钢

8.1.3.1 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冲击试验免除条件应符合表 6 和表 A.1 的规定。

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

8.1.3.3 当碳钢(包括碳锰钢)符合低温低应力或低温降应力工况时,其免于冲击试验的最低使用温度可以比 8.1.3.1 规定的更低,并应符合下列规定:

- a) 符合低温降应力工况的碳钢(包括碳锰钢)免于冲击试验的材料最低使用温度降低量为 11 °C,且最低使用温度应不低於-30 °C,但应符合下列规定:
 - 1) 管道应经不低於 1.5 倍设计压力的水压试验;
 - 2) 除公称壁厚小于或等於 13 mm 外,管道系统应对外加载荷(如维修载荷、冲击载荷、热冲

击载荷等)进行安全防护;

- 3) 低温降应力工况适用于 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,且适用的碳钢材料中不包括碳素结构钢和螺栓材料,管道系统中不准许存在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,最低使用温度应不低于-104℃,且适用的碳钢材料中不包括碳素结构钢和螺栓材料,管道系统中不准许存在铁素体与奥氏体的异种金属焊接接头。

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 (按低温性能区分)	最低使用温度/℃	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 ^a	-10	厚度小于或等于 10 mm。或厚度大于 10 mm,但设计温度高于或等于图 1 曲线 A 所示值	厚度大于 10 mm,且设计温度低于图 1 曲线 A 所示值时,应进行常温或设计温度(取较低者)下的冲击试验	a)焊缝及热影响区的冲击要求同“材料”栏要求。 b)冲击试验要求应包括在相应的焊接工艺评定中
图 1 曲线 B ^b	-104	低温低应力工况	免除	免除
	-46	小截面 ^c		
	-30	低温降应力工况: 厚度小于或等于 15 mm。或厚度大于 15 mm,且设计温度提高 11℃后高于或等于图 1 曲线 B 所示值。 非焊接件按厚度的 1/4 计	厚度大于 15 mm,且设计温度提高 11℃后仍低于图 1 曲线 B 所示值时,应进行常温或设计温度提高 11℃(取较低者)的冲击试验	a)焊缝及热影响区的冲击要求同“材料”栏要求。 b)冲击试验要求应包括在相应的焊接工艺评定中
	大于-20	厚度小于或等于 15 mm。或厚度大于 15 mm,且设计温度高于或等于图 1 曲线 B 所示值。非焊接件按厚度的 1/4 计	厚度大于 15 mm,且设计温度低于图 1 曲线 B 所示值时,应进行常温或设计温度(取较低者)的冲击试验	a)焊缝及热影响区的冲击要求同“材料”栏要求。 b)冲击试验要求应包括在相应的焊接工艺评定中
表 A.1 的 2.3 锻件和表 A.1 的 2.4 铸件	按表 A.1	全部免除	免除	如进行焊接,根据焊缝厚度,焊缝及热影响区按图 1 曲线 B“制作、安装中的焊接”栏要求
	-30	低温降应力工况	免除	如进行焊接,根据焊缝厚度,焊缝及热影响区按图 1 曲线 B“制作、安装中的焊接”栏要求
	-104	低温低应力工况	免除	免除

表 6 (续)

材料类别 (按低温性能区分)	最低使用 温度/℃	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 (表 A.1 中 3)	按表 A.1		a) 设计温度低于或等于 -20 ℃时应进行设计温度 下的冲击试验(材料、焊缝、 热影响区)。 b) 材料应符合相应低温钢 材料标准的全部要求	
	表 A.1 或 -46 ℃,取 较低值	小截面 ^c	免除	免除
	-104	低温低应力工况		
铬钼合金钢	-30	设计温度不低于左列最低使用温度时,可免除冲击试验要求; 低温低应力工况可使用至-104 ℃		
铁素体不锈钢	-30			
双相不锈钢	-50			
<p>^a 图 1 曲线 A 包括表 A.1 中下列碳钢: Q215A、Q235A 的板材以及板焊管、CF370 焊制管件; Q215A、Q235A 的 ERW 焊管; 用于 GC3 级管道时,见 8.1.1.4。</p> <p>^b 图 1 曲线 B 包括除脚注 a 外的其他表 A.1 所列碳钢(包括碳锰钢)。</p> <p>^c “小截面”系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。</p>				

8.1.4 奥氏体不锈钢

8.1.4.1 奥氏体不锈钢的最低使用温度应符合表 A.1 的规定。

8.1.4.2 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,但同时满足下列规定者,可免除低温冲击试验。

- 母材最低使用温度不低于-196 ℃、焊缝金属最低设计温度不低于-104 ℃和因材料截面尺寸限制无法制备 2.5 mm×10 mm×55 mm 冲击试样三个条件之一者;
- 材料含碳量不大于 0.10%且为固溶热处理状态;
- 焊缝填充金属含碳量不大于 0.10%。

8.1.5 镍、镍基合金、钛合金和铝合金

镍、钛、铝及其合金的最低使用温度应符合表 A.1 的规定,其免除冲击试验条件应符合表 7 的规定。

表 7 有色金属(镍和镍基合金、钛和钛合金、铝和铝合金)的最低使用温度

材料类别	最低使用温度/℃	冲击试验要求		更低使用温度
		材料	焊接接头	
镍及镍基合金	-200	全部免除	a)如焊缝金属成分符合母材规定,无额外要求。	设计应对材料、焊缝金属和热影响区在设计温度下进行相应的试验(包括延伸率、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			

8.1.6 螺栓材料

8.1.6.1 螺栓材料的最低使用温度应符合表 A.2 的规定,符合下列条件者可免除冲击试验:

- a) 碳钢、合金结构钢标准紧固件;
- 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) 配用螺母材料。

8.1.6.2 最低使用温度小于下列 a)和 b)所示温度,但不低于-104 ℃的 35CrMo 螺栓应进行低温冲击试验,但符合下列条件之一的 35CrMo 螺栓可免除低温冲击试验:

- a) 螺纹直径小于或等于 M64 且最低使用温度高于或等于-46 ℃者;
- b) 螺纹直径大于 M64 且最低使用温度高于或等于-40 ℃者。

8.2 冲击试验

8.2.1 母材的冲击试验

除符合 8.1 规定的免除冲击试验的材料外,母材均应按 8.2.3、8.2.4 和 8.2.5 的要求进行冲击试验。对于材料标准中有关冲击试验的规定符合上述要求者,应按材料标准进行冲击试验;对于材料标准未作冲击试验规定或规定不符合上述要求者,应提出冲击试验的附加要求。

8.2.2 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应在焊接工艺评定中进行;
- b) 焊接接头冲击试验的试件制备、试样位置及数量应符合表 8 的规定;
- c) 表 6 所列材料的焊接接头冲击试验应包括焊缝金属和热影响区,但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(制作、安装)

制备冲击试样的试件	试验的覆盖范围	试样位置及数量	冲击试验进行者
每一种焊接工艺、每种焊接材料型号、每种焊剂均要进行一套冲击试验。试样的热处理状态与完工管道相同(包括热处理温度、保温时间、冷却速度)	试件厚度为 T ,则可覆盖的厚度范围为 $T/2 \sim T+6 \text{ mm}$	焊缝金属(三个一组): a)试样横贯焊缝; b)缺口位于焊缝金属并垂直于接头表面; c)试样的一个表面尽可能接近接头表面。 热影响区(如需要,三个一组): a)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; b)其余同上	制作、安装

8.2.3 冲击试验方法

冲击试验方法应符合下列规定：

- 冲击试验方法应符合 GB/T 229 和 GB/T 12778 的规定。
- 标准冲击试样为 10 mm×10 mm×55 mm 夏比缺口冲击试样。
- 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应不小于材料厚度的 80%。
- 试样缺口应沿厚度方向切取,三个试样为一组。

8.2.4 冲击试验温度

冲击试验温度应符合下列规定：

- 标准试样的冲击试验温度应不高于最低设计温度；
- 小尺寸试样的冲击试验温度的降低值应符合表 9 和表 10 的规定；
- 降低小尺寸试样的冲击试验温度仅适用于表 11 中以冲击吸收能量作为合格判据的状况,采用冲击断口侧向膨胀量作为合格判据的冲击试验温度应符合表 12 的规定。

表 9 冲击试验温度降低值

材料厚度 t /mm	冲击试样宽度/mm	冲击试验温度降低值 ΔT /°C
≥ 10	≥ 8	0
	< 8	ΔT_2^b
< 10	$\geq 0.8t$	0
	$< 0.8t$	$ \Delta T_1^a - \Delta T_2 $
^a ΔT_1 为材料厚度小于 10 mm 时的温度降低值(按表 10)。 ^b ΔT_2 为冲击试样宽度小于 10 mm 时的温度降低值(按表 10)。		

表 10 ΔT_1 和 ΔT_2

材料厚度或试样缺口宽度/mm	ΔT_1 、 ΔT_2 /°C
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
注：可采用内插法。	

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	标准规定最小抗拉强度 R_m /MPa	标准试样冲击吸收能量/J	
		三个试样平均值	单个试样最低值
碳钢、合金钢($R_m < 655$ MPa)	≤ 450	18	14
	$> 450 \sim 515$	20	16
	$> 515 \sim < 655$	27	20
合金钢螺栓材料($\leq M52$)	≥ 655	27	20

^a 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/°C	冲击试验温度/°C	侧向膨胀量 ^a /mm
奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢、双相不锈钢、 >M52且 $R_m \geq 655$ MPa 碳钢和合金钢螺栓材料	≥ -196	最低设计温度	0.38
	< -196	-196	0.46

^a 采用小尺寸试样时,侧向膨胀量合格标准与标准试样相同,且三个试样均应合格。

8.2.5 合格标准

冲击试验的合格标准应按照下列有关要求确定:

- a) 标准规定的材料最小抗拉强度小于 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,其冲击试验应符合表 11 的规定;
- b) 螺纹直径大于 M52 的螺栓材料和奥氏体不锈钢的冲击试样断口侧向膨胀量应符合表 12 的规定。

9 材料标记和质量证明

9.1 材料标记

9.1.1 材料标记应符合相应标准和合同的规定。

9.1.2 标记内容至少应包括制造厂标记以及材料(代号)名称,下列管道组成件的标记还应包括材料炉批号或代号:

- a) GC1 级管道用管道组成件;
- b) 按本部分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、钛及钛合金管道组成件。

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

9.2 质量证明

材料的质量证明应符合下列规定：

- a) 材料应具有相应的质量证明文件；
- b) 质量证明文件应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；
- c) 未包括检验和试验结果的质量证明文件(合格证)仅限于 GC3 级管道组成件。



压力管道人全网首发

附 录 A
(规范性附录)
材料牌号和许用应力

A.1 许用应力

表 A.1 给出了符合本部分要求的材料牌号和许用应力。

A.2 螺栓许用应力

表 A.2 给出了符合本部分要求的螺栓材料牌号和许用应力。

A.3 纵向焊接接头系数

表 A.3 给出了表 A.1 所列管子与对焊管件的纵向焊接接头系数 Φ_w ，管子与对焊管件的纵向焊接接头系数应符合 GB/T 20801.3—2020 中的 4.2.5 和表 3 的规定。

A.4 铸件质量系数

表 A.4 给出了表 A.1 所列铸件的铸件质量系数 Φ_c ，铸件质量系数应符合 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.6 和表 4 的规定。

A.5 表 A.1 许用应力使用说明

表 A.1 许用应力表的使用应符合下列要求：

- a) 表 A.1 中的许用应力未计入管子和对焊管件的纵向焊接接头系数、焊接接头高温强度降低系数以及铸件质量系数；焊接接头高温强度降低系数按 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.7 的规定；
- b) 剪切、接触、压缩应力应符合 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.4.5 和 4.2.4.4 的规定；
- c) 表 A.1 未列温度的许用应力可采用内插法计算；
- 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灰底色许用应力值均适用于奥氏体不锈钢和镍基合金的设计计算，但用于非标法兰或按 GB/T 20801.3—2020 中 7.5.4 计算时应将该值乘以 75% (正体加下横线者) 或适当降低(正体灰底色)；
- g) 材料使用温度上限及对应的许用应力按表列所示(而不是表头所示温度)；
- 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 中的曲线，材料尚应满足第 8 章以及相应注解的要求。

表 A.1 材料许用应力表

标准	牌号等级	尺寸范围/mm 或状态	最低使用温度/℃ 或图 1 的 曲线号	标准规定 最小强度/MPa		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa												脚注							
				R_m	R_d (或 $R_{p0.2}$)		40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425		450	475	500	525	550	575	600
1 铸铁																										
1.1 灰铸铁																										
GB/T 9439	HT200		-10	200		230	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	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	25	25	25	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	30	30	30	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	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	a,c
1.2 球墨铸铁																										
GB/T 1348	QT400-18		0	400	250	350	133		124	118	113	106	100	95	91											b,c
GB/T 1348	QT400-18L		-20	400	250	350	133		124	118	113	106	100	95	91											b,c
1.3 可锻铸铁(黑芯)																										
GB/T 9440	KTH300-06		-20	300		300	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													a,c
2. 碳钢(包括碳锰钢)																										
2.1 无缝管																										
GB/T 8163	10	≤16	B	335	205	593	112	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(593℃)	d
GB/T 8163	10	>16~30	B	335	195	593	112	112	112	110	106	102	96.9	94.1	91.2	84.3	73.3	64.0	55.8	43.9	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593℃)	d
GB/T 8163	10	>30	B	335	185	593	112	112	112	110	106	102	96.9	94.1	91.2	84.3	73.3	64.0	55.8	43.9	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593℃)	d
GB/T 9948	10	全部	B	330	205	593	112	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(593℃)	d
GB/T 6479	10	≤16	B	335	205	593	112	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(593℃)	d,k
GB/T 6479	10	>16~40	B	335	195	593	112	112	112	110	106	102	96.9	94.1	91.2	84.3	73.3	64.0	55.8	43.9	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593℃)	d,k
GB/T 6479	10	>40	B	335	185	593	112	112	112	110	106	102	96.9	94.1	91.2	84.3	73.3	64.0	55.8	43.9	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593℃)	d,k

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围 /mm,或状态	最低使用温度/°C 或图 1 的曲线号	标准规定 最小强度 /MPa R_m	最高使用温度 /°C R_d (或 $R_{p0.2}$)	在下列温度(°C)下的许用应力/MPa													脚注									
						40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450		475	500	525	550	575	600			
						GB/T 3087	10	≤16	B	335	205	593	I12	I12	I12	I12	I12	I12		I12	I12	108	105	97.0	84.3	73.3	64.0	55.8
GB/T 3087	10	>16	B	335	195	593	I12	I12	I12	I10	106	102	96.9	94.1	91.2	84.3	73.3	64.0	55.8	43.9	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d	d	
GB/T 9711	L245/B (PSL1)	全部	B	415	245	593	I38	I38	I38	I38	I38	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d,g		
GB/T 9711	L245/B (PSL2)	全部	-30	415	245	593	I38	I38	I38	I38	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d,g,k			
GB/T 8163	20	≤16	B	410	245	593	I37	I37	I37	I37	I37	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d		
GB/T 8163	20	>16~30	B	410	235	593	I37	I37	I37	I37	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d			
GB/T 8163	20	>30	B	410	225	593	I37	I37	I34	130	126	121	115	111	108	105	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d		
GB/T 3087	20	≤16	B	410	245	593	I37	I37	I37	I37	I37	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d		
GB/T 3087	20	>16	B	410	235	593	I37	I37	I37	I37	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d			
GB/T 5310	20G	全部	B	410	245	593	I37	I37	I37	I37	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d			
GB/T 5310	20MnG	全部	B	415	240	593	I38	I38	I38	I38	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d			
YB/T 4173	20G	全部	B	410	245	593	I37	I37	I37	I37	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d			
YB/T 4173	20MnG	全部	B	415	240	593	I38	I38	I38	I38	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d			
GB/T 6479	20	≤16	B	410	245	593	I37	I37	I37	I37	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d,k			
GB/T 6479	20	>16~40	B	410	235	593	I37	I37	I37	I37	I32	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593 °C)	d,k			



表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm,或状态	最低使用温度/℃或图 1 的曲线号	标准规定		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa																脚注		
				最小强度/MPa	R_m (或 $R_{p0.2}$)		40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525		550	575
GB/T 6479	20	>40	B	410	225	593	137	134	130	126	121	115	111	108	105	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593℃)	d, k
GB/T 9948	20	全部	B	410	245	593	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(593℃)	d
GB/T 8163	Q345A	≤16	B	470	345	427	157	157	157	157	157	151	144	139	135	122	101	83.8(427℃)							d
GB/T 8163	Q345A	>16~30	B	470	325	427	157	157	157	157	157	151	144	139	135	122	101	83.8(427℃)							d
GB/T 8163	Q345A	>30	B	470	295	427	157	157	157	157	157	151	144	139	135	122	101	83.8(427℃)							d
GB/T 5310	25MnG	全部	B	485	275	427	162	162	162	162	158	151	144	139	135	122	101	83.8(427℃)							d
YB/T 4173	25MnG	全部	B	485	275	427	162	162	162	162	158	151	144	139	135	122	101	83.8	82.7(427℃)						d
GB/T 6479	Q345B	≤16	B	490	345	427	163	163	163	163	158	151	144	139	135	122	101	83.8	82.7(427℃)						d
GB/T 6479	Q345B	>16~40	B	490	335	427	163	163	163	163	158	151	144	139	135	122	101	83.8	82.7(427℃)						d
GB/T 6479	Q345B	>40	B	490	325	427	163	163	163	163	158	151	144	139	135	122	101	83.8	82.7(427℃)						d
GB/T 6479	Q345D	≤16	-20	490	345	427	163	163	163	163	158	151	144	139	135	122	101	83.8	82.7(427℃)						d
GB/T 6479	Q345D	>16~40	-20	490	335	427	163	163	163	163	158	151	144	139	135	122	101	83.8	82.7(427℃)						d
GB/T 6479	Q345D	>40	-20	490	325	427	163	163	163	163	158	151	144	139	135	122	101	83.8	82.7(427℃)						d
GB/T 9711	L290/X42 (PSL2)	全部	-30	415	290	204	138	138	138	138															g, h, i, j
GB/T 9711	L360/X52 (PSL2)	全部	-30	460	360	204	153	153	153	153															g, h, i, j
GB/T 9711	L415/X60 (PSL2)	全部	-30	520	415	204	173	173	173	173															g, h, i, j
GB/T 9711	L450/X65 (PSL2)	全部	-30	535	450	204	178	178	178	178															g, h, i, j

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm,或状态	最低使用温度/℃或图 1 的曲线号	标准规定最小强度/MPa R_m (或 $R_{p0.2}$)	最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa																脚注				
						40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525		550	575	600	
						GB/T 9711	L245/B (PSL2)	全部	-30	415 245	593	138	138	138	138	138	132	126	122	118	113		95.1	79.5	62.6	45.0
GB/T 9711	L290/X42 (PSL2)	全部	-30	415 290	204	138	138	138	138	138															g,h,i,j	
GB/T 9711	L360/X52 (PSL2)	全部	-30	460 360	204	153	153	153	153	153																g,h,i,j
GB/T 9711	L415/X60 (PSL2)	全部	-30	520 415	204	173	173	173	173	173																g,h,i,j
GB/T 9711	L450/X65 (PSL2)	全部	-30	535 450	204	178	178	178	178	178																g,h,i,j
GB/T 9711	L485/X70 (PSL2)	全部	-30	570 485	204	190	190	190	190	190																g,h,i,j
GB/T 9711	L555/X80 (PSL2)	全部	-30	625 555	204	208	208	208	208	208																g,h,i,j
ASTM A671	CC60	C122	B,-46	414 221	538	138	134	138	130	126	121	115	111	108	105	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	17.2(538℃)			d,k	
ASTM A671	CC70	C122	B,-46	485 260	538	161	159	154	150	150	144	136	132	128	122	101	83.8	66.8	50.3	33.2	21.4	17.2(538℃)			d,k	
2.5 锻件																2.5 锻件										
GB/T 12228	25	全部	-20	450 275	427	150	150	150	150	150	144	139	135	122	122	101	83.8	82.7(427℃)								c,d
GB/T 12228	A105	全部	-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(593℃)		c,d
NB/T 47008	20	≤100	-20	410 235	593	137	130	126	122	118	113	108	105	101	98.3	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89(593℃)		c,d
NB/T 47008	16Mn	≤100	-20	480 305	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(593℃)		c,d
NB/T 47008	16Mn	>100~200	-20	470 295	593	157	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(593℃)		c,d

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm,或状态	最低使用温度/℃或图 1 的曲线号	标准规定最小强度/MPa R_m (或 $R_{p0.2}$)	最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa												脚注											
						40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425		450	475	500	525	550	575	600				
GB/T 29168.3	F290	全部	-30	415 290	204	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	g,h,i,j			
GB/T 29168.3	F360	全部	-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	g,h,i,j		
GB/T 29168.3	F415	全部	-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	g,h,i,j		
GB/T 29168.3	F450	全部	-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	g,h,i,j		
GB/T 29168.3	F485	全部	-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	g,h,i,j		
GB/T 29168.3	F555	全部	-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	g,h,i,j		
2.6 铸件																													
																											2.6 铸件		
GB/T 12229	WCA	全部	-30	415 205	583	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	c,d,e	
GB/T 12229	WCB	全部	-30	485 250	583	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	c,d	
GB/T 12229	WCC	全部	-30	485 275	538	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	c,d	
3 低温钢																													
3.1 低温无缝管																													
																												3.1 低温无缝管	
GB/T 6479	Q345E	≤16	-40	490 345	427	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	d,k
GB/T 6479	Q345E	>16~40	-40	490 335	427	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	d,k
GB/T 6479	Q345E	>40	-40	490 325	427	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	d,k
GB/T 18984	10MnDG	全部	-46	400 240	450	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	d,k
GB/T 18984	16MnDG	≤16	-46	490 325	427	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	d,k
GB/T 18984	16MnDG	>16	-46	490 315	427	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	d,k
GB/T 18984	06Ni3MoDG	全部	-104	455 250	450	152	152	147	142	138	132	124	119	113	107	95.1	79.5	64.4											k,n
ASTM A333	Gr.8	全部	-196	690 515	93	230	230	230 (93℃)																					k

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm,或状态	最低使用温度/℃或图1的曲线号	标准规定最小强度/MPa R_m (或 $R_{p0.2}$)	最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa														脚注							
						40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475		500	525	550	575	600		
3.2 低温管件																											
GB/T 13401	LF415K1	全部	-20	415	240	427	138	138	138	138	132	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6(427℃)								d,k	
GB/T 13401	LF415K2	全部	-46	415	240	427	138	138	138	132	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6(427℃)										d,k
GB/T 13401	LF485K2	全部	-46	485	275	427	162	162	162	151	144	139	135	122	101	83.8	66.8(427℃)										d,k
GB/T 13401	LF450K3	全部	-104	450	240	93	150	147(93℃)																			k,n
GB/T 13401	LF680K4	全部	-196	680	515	93	230	230(93℃)																			k,l
3.3 低温锻件																											
NB/T 47009	16MnD	≤100	-46	480	305	427	160	156	146	142	136	129	125	122	118	101	83.8	66.8(427℃)									c,d,k
NB/T 47009	16MnD	>100~200	-40	470	295	427	157	156	146	142	136	129	125	122	118	101	83.8	66.8(427℃)									c,d,k
NB/T 47009	08Ni3D	≤300	-104	460	260	93	153	153(93℃)																			c,k,n
NB/T 47009	06Ni9D	≤300	-196	680	550	93	227	227(93℃)																			c,k,l
3.4 低温铸件																											
JB/T 7248	LCB	全部	-46	450	240	427	150	147	142	138	132	126	122	118	113	95.1	79.5	64.4(427℃)									c,d,k
JB/T 7248	LCC	全部	-46	485	275	371	162	162	161	158	151	139	137	136	132(371℃)												c,d,k
JB/T 7248	LC3	全部	-104	485	275	343	162	162	162	158	151	142	136	131(343℃)													c,k,n
JB/T 7248	LC9	全部	-196	585	515	93	195	195(93℃)																			c,k

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm,或状态	最低使用温度/℃ 或图1的 曲线号	标准规定 最小强度/MPa R_m (或 $R_{p0.2}$)	最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa																	脚注								
						40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550		600	625	650					
4 合金钢																															
4.1 合金钢无缝管																															
GB/T 6479	15CrMo	≤16	-30	440	649	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	139	138	136	134	132	129	126	92.1	61.1	40.4	26.4	17.4	11.6	7.58(649℃)	o
GB/T 6479	15CrMo	>16~40	-30	440	649	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	139	138	136	134	132	129	126	92.1	61.1	40.4	26.4	17.4	11.6	7.58(649℃)	o
GB/T 6479	15CrMo	>40	-30	440	649	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	139	138	136	134	132	129	126	92.1	61.1	40.4	26.4	17.4	11.6	7.58(649℃)	o
GB/T 5310	15CrMoG	全部	-30	440	649	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	139	138	136	134	132	129	126	92.1	61.1	40.4	26.4	17.4	11.6	7.58(649℃)	o
GB/T 9948	15CrMo	全部	-30	440	649	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	139	138	136	134	132	129	126	92.1	61.1	40.4	26.4	17.4	11.6	7.58(649℃)	o
YB/T 4173	15CrMoG	全部	-30	440	649	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	139	138	136	134	132	129	126	92.1	61.1	40.4	26.4	17.4	11.6	7.58(649℃)	o
GB/T 9948	12Cr1Mo	全部	-30	415	580	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	107	106	104	102	99.6	97.2	94.5	73.7	52.0	36.3	25.2	17.6	12.3	8.27(649℃)	o
YB/T 4173	12Cr2MoG	全部	-30	450	580	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	150	150	150	150	150	150	150	119	88.4	44.6	30.0	19.7	12.8	8.27(649℃)	o,q
GB/T 5310	12Cr2MoG	全部	-30	450	580	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	150	150	150	150	150	150	150	119	88.4	44.6	30.0	19.7	12.8	8.27(649℃)	o,q
GB/T 9948	12Cr2Mo	全部	-30	450	580	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	150	150	150	150	150	150	150	119	88.4	44.6	30.0	19.7	12.8	8.27(649℃)	o,q
GB/T 6479	12Cr2Mo	全部	-30	450	580	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	150	150	150	150	150	150	150	119	88.4	44.6	30.0	19.7	12.8	8.27(649℃)	o,q
GB/T 5310	12Cr1MoVG	全部	-20	470	580	157	157	157	157	157	156	156	156	156	156	156	147	143	139	135	131	128	124	118	83.5	65.0	49.0	46.0	(580℃)		o
YB/T 4173	12Cr1MoVG	全部	-20	470	580	157	157	157	157	157	156	156	156	156	156	156	147	143	139	135	131	128	124	118	83.5	65.0	49.0	46.0	(580℃)		o
GB/T 9948	12Cr1MoV	全部	-20	470	580	157	157	157	157	157	156	156	156	156	156	156	147	143	139	135	131	128	124	118	83.5	65.0	49.0	46.0	(580℃)		o
GB/T 6479	10MoWVNB	≤16	-20	470	500	157	157	157	157	156	153	153	153	153	153	153	144	141	138	135	130	126	121	97.0							o
GB/T 6479	10MoWVNB	>16~40	-20	470	500	157	157	157	157	156	150	147	147	147	147	147	138	135	132	129	124	119	111	97.0							o

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm 或状态	最低使用温度/℃ 或图 1 的 曲线号	标准规定		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa																脚注				
				最小强度/MPa	R _m (或 R _{p0.2})		40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525		550	600	625	650
							R _m	R _{p0.2}	R _m	R _{p0.2}	R _m	R _{p0.2}	R _m	R _{p0.2}	R _m	R _{p0.2}	R _m	R _{p0.2}	R _m	R _{p0.2}	R _m	R _{p0.2}		R _m	R _{p0.2}	R _m	R _{p0.2}
4.3 合金钢板焊管(EFW/SAW)																											
ASTM A691	A387Gr.12-2	Cl 22	-30	450	275	649	149	146	144	144	144	141	139	138	136	134	132	129	126	126	126	17.4	17.4	11.6	7.58(649 ℃)	m,o,p	
ASTM A691	A387Gr.11-2	Cl 22	-30	515	310	649	172	172	172	172	169	164	161	159	156	153	149	146	104	73.7	52.0	17.6	12.3	8.27(649 ℃)	m,o,p		
ASTM A691	A387Gr.22-2	Cl 22	-30	515	310	649	172	171	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	119	88.4	64.0	19.7	12.8	8.27(649 ℃)	m,o, p,q		
4.4 合金钢锻件																											
NB/T 47008	15CrMo	≤300	-30	480	280	649	160	160	160	150	145	141	139	138	136	134	132	129	126	92.1	61.1	40.4	26.4	17.4	11.6	7.58(649 ℃)	c,o
NB/T 47008	14Cr1Mo	≤300	-30	490	290	649	163	163	163	155	150	146	143	141	138	136	133	130	104	73.7	52.0	25.2	17.6	12.3	8.27(649 ℃)	c,o	
NB/T 47008	12Cr1MoV	≤300	-20	470	280	580	157	157	157	157	156	151	147	143	139	135	131	128	124	118	83.5	65.0	49.0	46.0 (580 ℃)	c,o		
NB/T 47008	12Cr2Mo1	≤300	-30	510	310	649	170	170	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	119	88.4	64.0	30.0	19.7	12.8	8.27(649 ℃)	c,o,q	
NB/T 47008	12Cr5Mo	≤300	-30	590	390	649	197	195	190	189	188	186	184	181	178	173	167	161	80.6	61.7	46.4	25.5	17.8	11.4	6.89(649 ℃)	c,o	
NB/T 47008	10Cr9Mo1VNbN	≤300	-30	585	415	649	195	195	195	195	194	192	190	187	183	178	172	165	156	147	137	115	87.0	45.1	29.6(649 ℃)	c,o	
4.5 合金钢铸件																											
JB/T 5263	WC6	全部	-30	485	275	649	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	8.27(649 ℃)	c,o
JB/T 5263	WC9	全部	-30	485	275	649	161	160	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	119	88.4	64.0	30.0	19.7	12.3	8.27(649 ℃)	c,o	
JB/T 5263	Cl2A	全部	-30	585	415	649	195	195	195	195	194	192	190	187	183	178	172	165	156	147	137	115	87.0	45.1	29.6(649 ℃)	c,o,q	
GB/T 16253	ZG16Cr5MoG	全部	-30	630	420	649	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(649 ℃)	c,o

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm 或 状态	最低使用温度/℃ 或图1的 曲线号	标准规定		最高使用温度/℃	在下列温度(°C)下的许用应力/MPa																			脚注															
				R_m	$R_{p0.2}$		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						
5 不锈钢																																									
5.1 不锈钢无缝管																																									
GB/T 14976	06Cr18Ni11Ti (321)		-255	520	205	816	138	138	138	138	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	116	114	114	113	112	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	s, v, x (816 °C)
GB/T 14976	07Cr19Ni11Ti (321H)		-200	520	205	816	138	138	138	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	116	114	114	113	112	112	100	76.5	58.7	46.0	36.8	28.7	23.0	18.4	14.5	11.5	9.02	7.58	v (816 °C)	
GB/T 5310	07Cr19Ni11Ti (321H)		-200	520	205	816	138	138	138	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	116	114	114	113	112	112	100	76.5	58.7	46.0	36.8	28.7	23.0	18.4	14.5	11.5	9.02	7.58	v (816 °C)	
GB/T 9948	07Cr19Ni11Ti (321H)		-200	520	205	816	138	138	138	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	116	114	114	113	112	112	100	76.5	58.7	46.0	36.8	28.7	23.0	18.4	14.5	11.5	9.02	7.58	v (816 °C)	
GB/T 14976	06Cr18Ni11Nb (347)		-255	520	205	816	138	138	138	138	138	138	138	138	135	132	130	128	127	126	126	126	125	125	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	t, v, x (816 °C)	
GB/T 14976	07Cr18Ni11Nb (347H)		-200	520	205	816	138	138	138	138	138	138	138	138	135	132	130	129	127	126	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	v (816 °C)			
GB/T 5310	07Cr18Ni11Nb (347H)		-200	520	205	816	138	138	138	138	138	138	138	138	135	132	130	129	127	126	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	v (816 °C)			
GB/T 9948	07Cr18Ni11Nb (347H)		-200	520	205	816	138	138	138	138	138	138	138	138	135	132	130	129	127	126	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	v (816 °C)			
GB/T 14976	022Cr19Ni10 (304L)		-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	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	w (816 °C)	
GB/T 14976	06Cr19Ni10 (304)		-255	520	205	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	97.3	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	78.9	63.8	51.6	41.6	32.9	26.5	21.3	17.2	14.1	11.2	9.65	v, w, x (816 °C)			
GB/T 14976	07Cr19Ni10 (304H)		-200	520	205	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	97.3	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	78.9	63.8	51.6	41.6	32.9	26.5	21.3	17.2	14.1	11.2	9.65	v (816 °C)			

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm 或 状态	最低使用温度/℃ 或图 1 的 曲线号	标准规定		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa																				脚注							
				R_m	R_{eL} (或 $R_{p0.2}$)		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
GB/T 5310	07Cr19Ni10 (304H)		-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 (816 ℃)	v
GB/T 9948	07Cr19Ni10 (304H)		-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 (816 ℃)	v
GB/T 14976	022Cr17Ni12Mo2 (316L)		-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 (816 ℃)	w	
GB/T 9948	022Cr17Ni12Mo2 (316L)		-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 (816 ℃)	w	
GB/T 14976	06Cr17Ni12Mo2 (316)		-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 (816 ℃)	v, w, x
GB/T 14976	07Cr17Ni12Mo2 (316H)		-200	515	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 (816 ℃)	v
GB/T 14976	06Cr23Ni13 (309)		-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	9.87	7.65	5.97 (816 ℃)	v, w, x, y, z	
GB/T 14976	06Cr25Ni20 (310)		-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	9.87	7.65	5.97 (816 ℃)	v, w, x, y, z	
GB/T 5310	08Cr18Ni11NbFG (347HFG)		-200	550	205	750	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				
GB/T 21833	022Cr22Ni5Mo3N (31803)		-50	620	450	316	207	207	207	199	193	188	186	185 (316 ℃)																			u	
GB/T 21833	022Cr23Ni5Mo3N (2205)		-50	655	485	316	218	218	218	210	203	199	196	196 (316 ℃)																			u	
GB/T 21833	022Cr25Ni7Mo4N (2507)		-50	800	550	316	267	265	264	251	243	238	237	236 (316 ℃)																			u	

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm 或 状态	最低使用温度/℃ 或图1的 曲线号	标准规定		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa																	脚注											
				最小强度/MPa	R_m																														
							R_{eL} (或 $R_{p0.2}$)	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
5.2 不锈钢焊管(EFW,无填充金属)																																			
GB/T 12771 HG/T 20537.3	022Cr19Ni10 (304L)		-255	480	180	816	115	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 (816℃)	w,aa
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr19Ni10 (304)		-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 (816℃)	v,w, x,aa	
GB/T 12771 HG/T 20537.3	022Cr17Ni12Mo2 (316L)		-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	58.0	43.6	33.0	25.3	18.8	14.0	10.4	7.99	6.89 (816℃)	w,aa		
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr17Ni12Mo2 (316)		-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 (816℃)	v,w, x,aa	
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr18Ni11Ti (321)		-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 (816℃)	s,v, x,aa	
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr18Ni11Nb (347)		-255	520	205	816	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	5.52 (816℃)	t,v, x,aa		
GB/T 21832 HG/T 20537.3	06Cr25Ni20 (310)		-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	9.87	7.65	5.97	5.17 (816℃)	v,w,x, y,z,aa	
GB/T 21832 (所有部分)	022Cr22Ni5M63N (31803)		-50	620	450	316	207	207	207	199	188	186	185 (316℃)																	u,bb					
GB/T 21832 (所有部分)	022Cr23Ni5M63N (2205)		-50	655	485	316	218	218	218	210	203	196	196 (316℃)																	u,bb					
GB/T 21832 (所有部分)	022Cr25Ni7Mo4N (2507)		-50	800	550	316	267	265	264	251	243	238	237	236 (316℃)																	u,bb				
5.3 不锈钢板焊管(EFW)																																			
HG/T 20537.4	022Cr19Ni10 (304L)		-255	480	180	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 (816℃)	m,w	



表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm, 或状态	最低使用温度/℃ 或图 1 的曲线号	标准规定		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa																				脚注							
				R_m	$R_{d,1}$ (或 $R_{p0.2}$)		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
HG/T 20537.4	06Cr19Ni10 (304)		-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 (816 ℃)	m, v, w, x
HG/T 20537.4	022Cr17Ni12Mo2 (316L)		-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 (816 ℃)	m, w	
HG/T 20537.4	06Cr17Ni12Mo2 (316)		-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 (816 ℃)	m, v, w, x	
HG/T 20537.4	06Cr18Ni11Ti (321)		-255	520	205	816	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	112	88.7	59.2	44.0	32.9	24.5	18.3	12.5	8.49	6.19	4.28	2.75 (816 ℃)	m, s, v, x
HG/T 20537.4	06Cr18Ni11Nb (347)		-255	520	205	816	138	138	138	138	138	135	132	130	128	127	126	126	125	125	125	125	97.6	75.9	57.2	40.2	30.3	23.2	16.2	11.4	8.97	7.08	5.52 (816 ℃)	m, t, v, x
HG/T 20537.4	06Cr25Ni20 (310)		-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	9.87	7.65	5.97 (816 ℃)	m, v, w, x, y, z	
GB/T 32964	022Cr19Ni10 (304L)		-255	490	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 (816 ℃)	m, r, w	
GB/T 32964	06Cr19Ni10 (304)		-255	520	210	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 (816 ℃)	m, r, v, w, x	
GB/T 32964	022Cr17Ni12Mo2 (316L)		-255	490	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 (816 ℃)	m, r, w	
GB/T 32964	06Cr17Ni12Mo2 (316)		-255	520	210	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 (816 ℃)	m, r, v, w, x	
GB/T 32964	06Cr18Ni11Ti (321)		-255	520	210	816	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	112	88.7	59.2	44.0	32.9	24.5	18.3	12.5	8.49	6.19	4.28	2.75 (816 ℃)	m, r, s, v, x
GB/T 32964	06Cr18Ni11Nb (347)		-255	520	210	816	138	138	138	138	138	135	132	130	128	127	126	126	125	125	125	125	97.6	75.9	57.2	40.2	30.3	23.2	16.2	11.4	8.97	7.08	5.52 (816 ℃)	m, r, t, v, x

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm, 或状态	最低使用温度/°C 或图 1 的曲线号	标准规定		最高使用温度/°C	在下列温度(°C)下的许用应力/MPa																	脚注												
				R_m	R_{eL} (或 $R_{p0.2}$)		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	
5.4 不锈钢管件																		5.4 不锈钢管件																		
GB/T 13401	SF304L		-255	480	170	816	115	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	w	
GB/T 13401	SF304		-255	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	9.65	v, w, x	
GB/T 13401	SF304H		-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	9.65	v	
GB/T 13401	SF316L		-255	480	170	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	6.89	w	
GB/T 13401	SF316		-255	515	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	8.96	v, w, x	
GB/T 13401	SF316H		-200	515	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	8.96	v	
GB/T 13401	SF321		-255	515	205	816	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	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	2.07	s, v, w, x
GB/T 13401	SF321H		-200	515	205	816	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	7.58	v	
GB/T 13401	SF347		-255	515	205	816	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	97.6	75.9	57.2	40.2	30.3	23.2	16.2	11.4	8.97	7.08	5.89	5.52	5.52	t, v, x	
GB/T 13401	SF347H		-200	515	205	816	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	112	90.6	69.6	53.8	41.4	31.8	24.0	18.8	14.6	10.9	8.96	8.96	v		
GB/T 13401	SF310		-200	515	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	9.87	7.65	5.97	5.17	5.17	v, w, x, y, z	
GB/T 13401	SF225		-50	620	450	316	207	207	207	199	188	186	185																					u, bb		

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	尺寸范围/mm 或 状态	最低使用温度/℃ 或图1的 曲线号	标准规定 最小强度/MPa R_m (或 $R_{p0.2}$)	最高 使用 温度 /℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa																	脚注											
						40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550		600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	
NB/T 47010	07Cr18Ni11Nb (347H)	≤150	-200	520	816	138	138	138	138	138	138	135	132	130	129	127	126	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	8.96 (816℃)	v				
NB/T 47010	015Cr21Ni26Mo5Cu2 (904L)	≤150	-200	490	260	143	143	143	141	130	120	116																	w					
NB/T 47010	015Cr20Ni18Mo6CuN (6Mo)	≤150	-200	630	427	207	207	207	206	198	192	194	179	176	173	170	167	166 (427℃)												w				
NB/T 47010	022Cr22Ni5Mo3N (31803)	≤150	-50	620	316	207	207	207	199	193	188	186	185 (316℃)																u					
NB/T 47010	022Cr23Ni5Mo3N (2205)	≤150	-50	620	316	218	218	218	210	203	199	196	196 (316℃)																u					
NB/T 47010	022Cr25Ni7Mo4N (2507)	≤150	-50	800	316	267	265	264	251	243	238	237	236 (316℃)																u					
5.6 不锈钢铸件																																		
GB/T 12230	CF3		-255	485	427	138	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103 (427℃)														w		
GB/T 12230	CF8		-255	485	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 (816℃)	v, w, x
GB/T 12230	CF8M		-255	485	454	138	138	138	138	133	125	119	116	114	112	111	109	108	107 (454℃)														w	
GB/T 12230	CF8M		-200	485	816	138	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	95.5	75.9	57.2	40.2	30.3	23.2	16.2	11.4	8.97	7.08	5.89 (816℃)	v, w, x		
GB/T 12230	CF8C		-200	485	816	138	135	131	121	115	111	108	108	108	108	108	108	107	106	98.3	77.2	57.7	39.9	30.0	23.2	16.3	11.2	8.93	7.08	5.77 (816℃)	t			



表 A.1 (续)

标准	牌号等级	状态	最低使用温度 /°C	标准规定最小强度 /MPa	最高使用温度 /°C	在下列温度(°C)下的许用应力/MPa																	脚注																																				
						R_m	R_{m1}	R_{m2}	R_{m3}	R_{m4}	R_{m5}	R_{m6}	R_{m7}	R_{m8}	R_{m9}	R_{m10}	R_{m11}	R_{m12}	R_{m13}	R_{m14}	R_{m15}																																						
ASTM B619 ASTM B622	10276 (C276)	固溶	-200	600 283	677	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																							
								188	188	188	188	187	177	172	168	165	162	159	157	156	155	154	143	119	98.4	81.6	67.0	54.5	53.8	(677 °C)																													
6.2 镍及镍合金管件																																																											
ASTM B366	WPN (200)	退火	-200	380 105	316		68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9		cc																			
ASTM B366	WPNL (201)	退火	-200	345 70	649		46.0	44.7	43.9	43.6	43.3	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	(649 °C)														cc																		
ASTM B366	WPNC (400)	退火	-200	480 170	482		115	106	99.7	93.6	90.9	90.4	90.4	90.4	89.8	89.0	88.0	79.7	59.9	55.2	(482 °C)														cc																								
ASTM B366	WPNCI (600)	退火	-200	550 240	649		161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	138	cc															
ASTM B366	WPNCMC (625)	退火	-200	825 415	649		276	276	276	273	270	267	262	260	257	255	252	249	247	245	242	215	194	156	136	91.0	(649 °C)														ee																		
ASTM B366	WPNIC (800)	退火	-200	515 205	816		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	(816 °C)																											
ASTM B366	WPNIC10 (800H)	退火	-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	9.03	7.35	5.86 (899 °C)																						
ASTM B366	WPNIC11 (800HT)	退火	-200	450 170	899		115	115	115	115	115	115	113	110	108	105	104	102	100	98.7	97.1	96.1	94.1	85.5	69.3	56.8	46.8	38.6	31.5	25.5	20.6	17.1	13.8	10.2	7.98	6.20 (899 °C)																							
ASTM B366	WPNCMC (825)	退火	-200	590 240	538		137	137	137	137	137	137	137	137	137	136	136	135	135	134	133	131	¹²⁹ (538 °C)																																				
ASTM B366	WPNC276 (C276)	固溶	-200	690 283	677		188	188	188	188	188	187	177	172	168	165	162	159	157	156	155	154	143	119	98.4	81.6	67.0	54.5	53.8	(677 °C)																													

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	状态	最低使用温度/℃	标准规定最小强度/MPa		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa											脚注		
				R_m	R_{eL} (或 $R_{p0.2}$)		40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275		300	325
7 钛及钛合金(无缝管无填充金属 EFW 焊管及挤压管)																				
7.1 钛及钛合金管																				
GB/T 3624	TA1	退火	-60	240	140	316	80.4	74.0	70.7	62.4	55.5	49.2	43.6	38.5	34.0	30.2	27.2	25.2	24.1 (316 ℃)	
GB/T 3624	TA2	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)	
GB/T 3624	TA3	退火	-60	500	380	316	149	141	136	124	112	102	92.8	84.5	77.1	70.8	65.5	61.3	58.2 (316 ℃)	
GB/T 3624	TA9	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)	
GB/T 3624	TA10	退火	-60	450	300	316	147	140	138	130	122	114	106	98.0	94.0	90.0	86.0	82.0		
GB/T 26057	TA1	退火	-60	240	140	316	80.4	74.0	70.7	62.4	55.5	49.2	43.6	38.5	34.0	30.2	27.2	25.2	24.1 (316 ℃)	
GB/T 26057	TA2	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)	
GB/T 26057	TA3	退火	-60	500	380	316	149	141	136	124	112	102	92.8	84.5	77.1	70.8	65.5	61.3	58.2 (316 ℃)	
GB/T 26057	TA9	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)	
GB/T 26057	TA10	退火	-60	485	345	316	162	154	151	144	135	126	117	108	106	104	102	100		
GB/T 26058	TA1	退火	-60	240	140	316	80.4	74.0	70.7	62.4	55.5	49.2	43.6	38.5	34.0	30.2	27.2	25.2	24.1 (316 ℃)	
GB/T 26058	TA2	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)	
GB/T 26058	TA3	退火	-60	500	380	316	149	141	136	124	112	102	92.8	84.5	77.1	70.8	65.5	61.3	58.2 (316 ℃)	
GB/T 26058	TA9	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)	
GB/T 26058	TA10	退火	-60	485	345	316	162	154	151	144	135	126	117	108	106	104	102	100		

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	状态	最低使用温度/℃	标准规定最小强度/MPa		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa											脚注			
				R_m	R_{eL} (或 $R_{p0.2}$)		40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275		300	325	
							7.2 钛及钛合金管件														
7.2 钛及钛合金管件																					
GB/T 27684	TA1	退火	-60	240	140	316	80.4	74.0	70.7	62.4	55.5	49.2	43.6	38.5	34.0	30.2	27.2	25.2	24.1 (316 ℃)		
GB/T 27684	TA2	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)		
GB/T 27684	TA3	退火	-60	500	380	316	149	141	136	124	112	102	92.8	84.5	77.1	70.8	65.5	61.3	58.2 (316 ℃)		
GB/T 27684	TA9	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)		
GB/T 27684	TA10	退火	-60	450	300	316	147	140	138	130	122	114	106	98.0	94.0	90.0	86.0	82.0			
7.3 钛及钛合金锻件																					
7.3 钛及钛合金锻件																					
GB/T 25137	F1	退火	-60	240	140	316	80.4	74.0	70.7	62.4	55.5	49.2	43.6	38.5	34.0	30.2	27.2	25.2	24.1 (316 ℃)		
GB/T 25137	F2H	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)		
GB/T 25137	F3	退火	-60	500	380	316	149	141	136	124	112	102	92.8	84.5	77.1	70.8	65.5	61.3	58.2 (316 ℃)		
GB/T 25137	F7H	退火	-60	400	275	316	133	125	123	113	105	96.3	89.8	83.3	81.3	71.3	63.4	57.8	53.8 (316 ℃)		
GB/T 25137	F12	退火	-60	450	300	316	162	154	151	144	135	126	117	108	106	104	102	100			
7.4 钛及钛合金铸件																					
7.4 钛及钛合金铸件																					
GB/T 6614	ZTA1	退火	-60	345	275	316	92.0		84.0	74.0	69.0	62.0	58.0	53.0	50.0	46.0					
GB/T 6614	ZTA2	退火	-60	440	370	316	118		106	97.0	89.0	80.0	74.0	66.0	62.0	56.0					



表 A.1 (续)

标准	牌号等级	状态	最低使用温度/℃	标准规定最小强度/MPa		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa								脚注
				R_m	R_{eL} (或 $R_{p0.2}$)		40	65	100	125	150	175	200	225	
8 铝及铝合金														8 铝及铝合金	
8.1 铝及铝合金管														8.1 铝及铝合金管	
GB/T 6893	1060	0	-270	60		204	11.5	11.5	10.9	9.8	8.8	7.5	5.8	5.5(204℃)	gg,ii
GB/T 6893	1060	H14	-270	85	70	204	27.6	27.6	27.6	26.6	18.1	12.7	8.4	7.8(204℃)	gg,ii
GB/T 4437.1	1060	0	-270	65		204	11.5	11.5	10.9	9.8	8.8	7.5	5.8	5.5(204℃)	gg,ii
GB/T 4437.1	1060	H112	-270	60		204	11.5	11.5	10.9	9.8	8.8	7.5	5.8	5.5(204℃)	gg,ii
GB/T 6893	3003	0	-270	95	35	204	23.0	22.1	21.4	20.5	18.2	13.6	10.9	10.5(204℃)	gg,ii
GB/T 6893	3003	H14	-270	130	110	204	46.0	46.0	46.0	43.9	29.0	21.1	16.7	16.1(204℃)	gg,ii
GB/T 26027	3003	0	-270	95	35	204	23.0	22.1	21.4	20.5	18.2	13.6	10.9	10.5(204℃)	gg,ii
GB/T 26027	3003	H14	-270	130	110	204	46.0	46.0	46.0	43.9	29.0	21.1	16.7	16.1(204℃)	gg,ii
GB/T 4437.1	3003	0	-270	95		204	23.0	22.1	21.4	20.5	18.2	13.6	10.9	10.5(204℃)	gg,ii
GB/T 4437.1	3003	H112	-270	95		204	23.0	22.1	21.4	20.5	18.2	13.6	10.9	10.5(204℃)	gg,ii
GB/T 6893	5052	0	-270	170	65	204	46.0	46.0	46.0	45.9	41.6	28.8	17.6	16.1(204℃)	gg
GB/T 6893	5052	H14	-270	230	180	204	78.1	78.1	78.1	78.1	41.6	28.8	17.6	16.1(204℃)	gg,ii
GB/T 26027	5052	0	-270	170	65	204	46.0	46.0	46.0	45.9	41.6	28.8	17.6	16.1(204℃)	gg
GB/T 26027	5052	H14	-270	230	180	204	78.1	78.1	78.1	78.1	41.6	28.8	17.6	16.1(204℃)	gg,ii
GB/T 6893	5083	0	-270	270	110	65	73.5	73.5							ii
GB/T 26027	5083	0	-270	270	110	65	73.5	73.5							ii
GB/T 4437.1	5083	0, H112	-270	270	110	65	73.5	73.5							ii
GB/T 6893	6061	T4	-270	205	110	204	68.9	68.9	68.9	67.8	64.8	57.9	40.2	35.9(204℃)	ii
GB/T 6893	6061	T6	-270	290	240	204	96.5	96.5	96.5	92.5	79.9	63.1	40.2	35.9(204℃)	ii
GB/T 26027	6061	T4	-270	205	110	204	68.9	68.9	68.9	67.8	64.8	57.9	40.2	35.9(204℃)	ii
GB/T 26027	6061	T6	-270	290	240	204	96.5	96.5	96.5	92.5	79.9	63.1	40.2	35.9(204℃)	ii
GB/T 4437.1	6061	T4	-270	180	110	204	59.9	59.9	59.9	59.0	56.3	50.3	40.2	35.9(204℃)	ii

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	状态	最低使用温度/℃	标准规定最小强度/MPa		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa								脚注
				R_m	R_{eL} (或 $R_{p0.2}$)		40	65	100	125	150	175	200	225	
GB/T 4437.1	6061	T6	-270	260	240	204	86.5	86.5	86.5	82.9	71.6	56.6	40.2	35.9(204℃)	ii
GB/T 4437.1	6061	T4 焊, T6 焊	-270	165	204	204	55.2	55.2	54.3	52.2	46.3	35.3	34.8(204℃)	ii	
GB/T 6893	6063	T6	-270	220	190	204	75.8	75.8	74.8	64.0	49.2	27.5	15.3	13.8(204℃)	ii
GB/T 26027	6063	T4	-270	150	75	204	46.0	45.8	45.8	45.5	41.5	27.7	12.0(204℃)	ii	
GB/T 26027	6063	T6	-270	220	190	204	75.8	75.8	74.8	64.0	49.2	27.5	15.3	13.8(204℃)	ii
GB/T 26027	6063	T4 焊, T6 焊	-270	117	204	204	39.1	39.1	37.9	35.9	32.1	25.7	17.6	13.8(204℃)	ii
8.2 铝及铝合金管件															
ASTM B361	1060		-270	60	204	204	11.5	11.5	10.9	9.8	8.8	7.5	5.8	5.5(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	1060	H14	-270	85	70	204	27.6	27.6	27.6	26.6	18.1	12.7	8.4	7.8(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	3003	0	-270	95	35	204	23.0	22.1	21.4	20.5	18.2	13.6	10.9	10.5(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	5052	0	-270	170	65	204	46.0	46.0	46.0	45.9	41.6	28.8	17.6	16.1(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	5052	H34	-270	230	180	204	78.1	78.1	78.1	78.1	41.6	28.8	17.6	16.1(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	5083	0	-270	270	110	65	73.5	73.5							cc, gg, hh, ii
ASTM B361	6061	T4	-270	180	110	204	59.8	59.8	59.8	59.8	56.3	50.2	38.3	35.9(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	6061	T6	-270	260	240	204	87.3	87.3	87.3	83.6	72.3	57.2	40.2	35.9(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	6061	T4 焊, T6 焊	-270	165	204	204	55.2	55.2	55.2	54.3	52.2	46.3	35.3	34.8(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	6063	T4	-270	125	62	204	41.4	41.3	41.3	41.0	41.0	33.9	22.6	9.8(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	6063	T6	-270	205	170	204	68.9	68.9	67.7	59.0	45.9	27.5	15.3	13.8(204℃)	cc, gg, hh, ii
ASTM B361	6063	T4 焊, T6 焊	-270	117	204	204	39.1	39.1	37.9	35.9	32.1	25.7	17.6	13.8(204℃)	cc, gg, hh, ii
8.3 铝及铝合金锻件															
NB/T 47029	1050A	0, H112	-270	65	20	204	13.0	13.0	12.0	11.0	10.0	8.0	6.0		ii, jj
NB/T 47029	3003	0, H112	-270	95	35	204	23.0	22.1	21.4	20.5	18.2	13.6	10.9	10.5(204℃)	ii, jj
NB/T 47029	5083	0, H112	-270	270	110	65	73.5	73.5							ii, jj
NB/T 47029	6061	T6	-270	255	230	204	87.3	87.3	87.3	83.6	72.3	57.2	40.2	35.9(204℃)	ii, jj

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	状态	最低使用温度/℃	标准规定		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa						脚注
				最小强度/MPa	R_{m}		R_{d1} (或 $R_{p0.2}$)	40	65	100	125	150	
<p>^a 应符合 6.1.1.2 的规定。表列灰铸铁的最高使用温度应不高于 230 ℃。</p> <p>^b 应符合 6.1.1 的规定。</p> <p>^c GB/T 20801.3—2020 表 13 所列管道元件标准的压力额定值按表列标准的规定,表 A.1 所列锻件和铸件的许用应力值用于表 13 以外所列管道元件的压力设计或表列管道元件标准的非标压力等级评估。</p> <p>^d 长期使用温度高于 427 ℃,有石墨化倾向,详见 7.2.2.2。</p> <p>^e 使用温度高于 482 ℃,应采用镇静钢。</p> <p>^f 普通碳素结构钢的使用应符合 6.2 的规定。</p> <p>^g GB/T 9711 长输管线用管有 PSL1 及 PSL2 两个质量等级。PSL2 的质量等级较高,且有韧性要求。采用 PSL2 者,用户应根据最低使用温度提出冲击试验温度要求,通常冲击试验温度不高于 -30 ℃;低于 -30 ℃,应供需双方协商,用户若未提出冲击试验温度要求,供方按 0 ℃ 执行。最低使用温度应不低于材料及焊接接头的冲击试验温度。采用 PSL1 质量等级者,通常不作冲击试验。GB/T 29168 长输管线用弯管、对焊管件、法兰(锻件)仅有 PSL2 质量等级,其冲击试验要求与上述 GB/T 9711 长输管线用管相同。</p> <p>^h 应对每个强度等级(L290/X42~L555/X80)的材料进行单独的焊接工艺评定。</p> <p>ⁱ L290/X42~L555/X80 管线钢不宜用于 200 ℃ 以上的高温。</p> <p>^j L290/X42~L555/X80 管线钢通常采用微合金化及控轧控冷工艺,使用时可在 GB/T 9711 的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及其要求。</p> <p>^k 材料如附加 -20 ℃ (GB/T 6479) 低温冲击试验要求,其最低使用温度为 -20 ℃。</p> <p>^l 非焊接件的许用应力值可提高至 230 MPa。</p> <p>^m 板焊管应符合 6.7 的各项规定。</p> <p>ⁿ 除进行 -101 ℃ 冲击试验且符合本部分要求外,厚度大于 50 mm 的 3.5%Ni 钢最低使用温度应不低于 -87 ℃。</p> <p>^o 长期使用温度高于 440 ℃,有软化(珠光体球化)及回火脆性倾向,详见 7.2.2.2.7.2.2.3。</p> <p>^p 铬钼合金钢的焊缝(焊管、管件及其对接接头)应于焊后热处理后进行 100% 的 RT 或 UT,焊接接头高温强度降低系数 W 按 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.7 的规定。</p> <p>^q 使用温度高于 455 ℃ 的 2.25Cr-1Mo 钢焊接材料的含碳量应不小于 0.05%。</p>													

表 A.1 (续)

标准	牌号等级	状态	最低使用温度/℃	标准规定		最高使用温度/℃	在下列温度(℃)下的许用应力/MPa						脚注		
				最小强度/MPa	R_{m}		40	65	100	125	150	175		200	225
<p>r 使用温度高于-101℃者可免除-196℃低温冲击试验及其要求。</p> <p>s 使用温度高于538℃时,热处理温度应不低于1 093℃。</p> <p>t 使用温度高于538℃时,热处理温度应不低于1 038℃。</p> <p>u 使用温度高于316℃时,有475℃脆化及σ相或中间相析出的风险,参见附录C。</p> <p>v 材料适用于高温,但应关注σ相析出而导致常温塑性和韧性的降低,参见附录C。</p> <p>w 含碳量大于0.03%的300系列非稳定性奥氏体不锈钢以及有温度高于425℃长期热履历的超低碳奥氏体不锈钢有晶间腐蚀倾向,见6.6。</p> <p>x 使用温度高于538℃者,含碳量应不低于0.04%。</p> <p>y 使用温度高于538℃者,平均晶粒度应不细于6级。</p> <p>z 使用温度低于-30℃者,含碳量应不大于0.10%。</p> <p>aa 本部分使用的GB/T 12771不锈钢焊管(EFW,无填充金属)应符合下列各项要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 机组带卷机械化连续成型; 2) 无填充金属自动或半自动氩弧焊或等离子焊; 3) 焊后固溶急冷热处理; 4) 焊缝涡流或电磁表面无损检测(纵向焊接接头系数0.85)。 <p>bb 焊后应作固溶急冷热处理。</p> <p>cc 管件的性能及许用应力与坏料、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A.1所列性能及许用应力为典型示例。</p> <p>dd 982℃退火。</p> <p>ee 625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。</p> <p>ff 625镍基合金经538℃~760℃热履历可能导致常温韧性的降低和焊接区域的应力松弛裂纹。</p> <p>gg 材料标准未规定抗拉及屈服强度者,本部分要求于采购合同中补充。</p> <p>hh 力学性能与厚度有关,表列性能及许用应力仅适用于相应标准的规定范围。</p> <p>ii 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。</p> <p>jj 表列数据限用于模锻件。</p>															

表 A.3 管子与对焊管件的纵向焊接接头系数 Φ_w

标准	型式	简述	纵向焊接接头系数 Φ_w
碳钢(包括碳锰钢),管线钢			
GB/T 8163	无缝	无缝管	1.00
GB/T 6479			
GB/T 5310			
GB/T 3087			
GB/T 9948			
GB/T 9711			
YB/T 4173			
GB/T 3091 焊管	电阻焊	电阻焊焊管(直缝)ERW	0.85
	电熔焊(埋弧焊)	埋弧焊焊管(直缝)SAW	0.80
GB/T 9711 焊管	电阻焊	电阻焊焊管(直缝)ERW	0.85
SY/T 5037 焊管	埋弧焊	双面埋弧焊焊管(直缝或螺旋缝)SAW	0.85
GB/T 13401 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件	1.00
GB/T 29168.2 管件		双面电熔焊,100%射线检测	
GB/T 9711 板焊管	电熔焊(埋弧焊)	双面埋弧焊焊管(直缝)SAW	0.95
ASTM A671 板焊管	电熔焊	板制焊管,双面电熔焊,100%射线检测;	1.00
		板制焊管,双面电熔焊	0.85
低碳钢及低温镍钢			
GB/T 6479	无缝	无缝管	1.00
GB/T 18984			
ASTM A333			
GB/T 13401 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件,双面电熔焊, 100%射线检测	1.00
ASTM A671 板焊管	电熔焊	板制焊管,双面电熔焊,100%射线检测	1.00
合金钢			
GB/T 6479	无缝	无缝管	1.00
GB/T 5310			
GB/T 9948			
YB/T 4173			
GB/T 13401 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件,双面电熔焊, 100%射线检测板焊管,双面	1.00
ASTM A691 板焊管	电熔焊	电熔焊,100%射线检测	1.00
不锈钢			
GB/T 14976	无缝	无缝管	1.00
GB/T 5310			
GB/T 9948			
GB/T 21833			
GB/T 12771 焊管	电熔焊	电熔焊焊管(无填充金属)	0.85
HG/T 20537.3 焊管	电熔焊	电熔焊焊管(无填充金属)	0.85
GB/T 21832 (所有部分)焊管	电熔焊	电熔焊焊管(无填充金属)	0.85
HG/T 20537.4 板焊管	电熔焊	板焊管,电熔焊,100%射线检测	1.00
		板焊管,电熔焊,按标准局部射线检测	0.90
		板焊管,双面电熔焊	0.85

表 A.3 (续)

标准	型式	简述	纵向焊接接头系数 Φ_w
GB/T 32964 板焊管	电熔焊	板焊管, 双面电熔焊, 100% 射线检测	1.00
GB/T 13401 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件, 双面电熔焊, 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	无缝	无缝管	1.00
ASTM B444	无缝	无缝管	1.00
ASTM B622	无缝	无缝管	1.00
ASTM B619	电熔焊	电熔焊焊管(无填充金属)	0.85
ASTM B366	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件, 双面电熔焊, 100% 射线检测	1.00
钛及钛合金			
GB/T 3624	无缝	无缝管	1.00
GB/T 26058			
GB/T 26057 焊管	电熔焊	电熔焊焊管(无填充金属)	0.85
GB/T 27684 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件, 双面电熔焊, 100% 射线检测	1.00
铝及铝合金			
GB/T 6893	无缝	无缝管	1.00
GB/T 4437.1	无缝	无缝管	1.00
GB/T 26027	无缝	无缝管	1.00
ASTM B361 管件	无缝	无缝管件	1.00
	电熔焊	焊接管件, 电熔焊, 100% 射线检测	1.00
	电熔焊	焊接管件, 双面电熔焊	0.85
	电熔焊	焊接管件, 单面电熔焊	0.80

表 A.4 铸件质量系数 Φ_c

材料类别	标准	名称	铸件质量系数 Φ_c
铸铁	GB/T 9439	灰铸铁	1.00
	GB/T 1348	球墨铸铁	1.00
	GB/T 9440	黑芯可锻铸铁	1.00
碳钢(包括碳锰钢)	GB/T 12229	碳素钢铸件	0.80
低温碳钢及低温镍钢	JB/T 7248	低温钢铸件	0.80
合金钢	JB/T 5263	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
注: 表列非铸铁材料如按 GB/T 20801.3—2020 表 4 进行无损检测, Φ_c 可适当提高。			

附 录 B
(资料性附录)
材料的物理性能

表 B.1 和表 B.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 B.1 给出了金属热膨胀系数和金属总热膨胀量,表 B.2 给出了金属弹性模量。

压力管道人全网首发



表 B.1 金属热膨胀系数和金属总热膨胀量

材料名称	在下列温度(°C)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、 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	4.9	15.0	15.1	15.1	15.2	15.3	15.3	15.3	15.4
	B	-2.2	-1.3	-0.8	0.0	0.4	0.7	1.0	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	15.0	15.1	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	11.1	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	12.7	12.8	12.8	12.9	13.0	13.0	13.1	13.2	13.2	13.3	13.3	13.4	13.4	13.5	13.6	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	12.7	12.8	12.9	13.0	13.1	13.3	13.4	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	11.4	11.5	11.6	11.6	11.7	11.7	11.8	11.8	11.9	11.9	12.0	12.1	12.1	12.2	12.2	12.3	12.3	12.4	12.4	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	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	11.1	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	10.1	10.2	10.3	10.4	10.4	10.5	10.5	10.6	10.6	10.7	10.7	10.8	10.8	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	6.7	7.0	7.2	7.6	7.9	8.2	8.5	
奥氏体不锈钢 (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			
	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	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 (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	16.7	16.8	16.9	17.0	17.1	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												

表 B.1 (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
蒙乃尔合金 (UNS N04400) 67Ni-30Cu	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	16.5	16.6	16.6	16.7	16.7	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
镍合金 (UNS N02200, 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	15.6	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 (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 (UNS N06625)	A				12.0	12.4	12.6	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.2	13.2	13.3	13.3	13.3	13.4	13.5	13.5	13.6	13.7	13.8	14.0	14.1	14.2	14.3	14.5	14.6	14.8	14.9	15.0	15.1	15.3	15.4	15.6
	B				0.0	0.4	0.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	4.1	4.4	4.8	5.1	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5	8.0	8.4	8.8	9.3	9.8	10.2	10.7	11.2	11.6	12.1
镍合金 (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 (UNS N08825)	A			12.9	13.5	13.6	13.7	13.9	14.0	14.2	14.3	14.4	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8	14.9	15.0	15.1	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6										
	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 (UNS N010276)	A				10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.7	11.9	12.0	12.2	12.4	12.5	12.6	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	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	
	B				0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.2	2.5	2.8	3.2	3.5	3.9	4.3	4.6	5.0	5.4	5.7	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9	11.4
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	24.7	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 (Grade1,2,3, 7,12)	A			8.2	8.3	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.8	8.9	8.9	9.0	9.2																	
	B			-0.6	0.0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.2	3.4	3.7															

表 B.1 (续)

材料名称	在下列温度(°C)下的材料膨胀系数和总热膨胀量																																								
	系 数	-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					
注 1: 系数 A: 金属膨胀系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。 注 2: 系数 B: 金属总热膨胀量, mm/m(从 20 °C 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。 注 4: 组别 1 材料包括下列公称成分的钢。																																									
C- $\frac{1}{2}$ Mo																																									
$\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-V																																									
$\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{4}$ Mo-Si																																									
$\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo																																									
$\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Ni- $\frac{1}{4}$ Mo																																									
$\frac{3}{4}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Ni-Cu																																									
$\frac{3}{4}$ Cr- $\frac{3}{4}$ Ni-Cu-Al																																									
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo																																									
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si																																									
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo																																									
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-V																																									
1 $\frac{1}{4}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo																																									
1 $\frac{1}{4}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si																																									
1 $\frac{3}{4}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Cu																																									
2Cr- $\frac{1}{2}$ Mo																																									
2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo																																									
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 B.2 金属弹性模量

材料名称	在下列温度(°C)下的弹性模量 E / (10 ³ N/mm ²)																材料名称						
	-254	-198	-150	-100	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600		650	700	750	800	816	
铁基金属																							
灰铸铁					92	91	89	87	84	81	77	73											铁基金属
碳钢,含碳量≤0.3%	220	217	214	210	203	198	195	191	188	185	178	172	162	150	137	123							灰铸铁
碳钢,含碳量>0.3%	219	215	212	209	202	197	193	190	187	183	178	170	160	149	135	122	106						碳钢,含碳量≤0.3%
C-Mo 钢	219	215	212	208	201	196	193	189	186	183	178	170	160	148	135	121	105						碳钢,含碳量>0.3%
Ni 钢, Ni2%~9%	208	204	202	198	192	186	184	180	178	175	172	164											C-Mo 钢
Cr-Mo 钢, Cr½%~2%	221	218	215	212	205	199	196	192	190	186	183	178	174	169	164	158	150	142	132				Ni 钢, Ni2%~9%
Cr-Mo 钢, Cr2¼%~3%	228	225	222	219	211	205	203	199	196	192	188	184	179	175	169	163	155	146	136				Cr-Mo 钢, Cr½%~2%
Cr-Mo 钢, Cr5%~9%	230	227	224	221	213	207	205	200	198	194	190	184	176	166	153	139	126	108	91				Cr-Mo 钢, Cr2¼%~3%
Cr 钢, Cr12%, 17%, 27%	219	215	213	210	201	196	192	188	184	181	178	174	163	152	144	129	114						Cr 钢, Cr12%, 17%, 27%
奥氏体钢(304, 310, 316, 321, 347 等)	212	209	206	202	195	190	186	183	178	176	173	169	165	161	156	152	146	140	133	127	125		奥氏体钢(304, 310, 316, 321, 347 等)
铜及铜合金																							
海军黄铜(C4640)	110	108	107	107	103	100	99	97	95	93	90												铜及铜合金
铜(C1100)	117	115	114	114	111	107	106	104	102	99	96												海军黄铜(C4640)
铜, 红铜, 铝青铜 (C1020, C1220, C2300, C6140)	125	123	122	122	118	114	113	111	108	105	102												铜(C1100)
90Cu-10Ni(C7060)	131	129	128	125	121	120	117	115	112	108													铜, 红铜, 铝青铜 (C1020, C1220, C2300, C6140)
80Cu-20Ni(C7100)	146	144	143	138	134	132	129	127	124	120													90Cu-10Ni(C7060)
70Cu-30Ni(C7150)	161	159	157	152	148	145	143	140	136	131													80Cu-20Ni(C7100)

表 B.2 (续)

材料名称	在下列温度(°C)下的弹性模量 $E / (10^3 \text{ N/mm}^2)$																	材料名称					
	-254	-198	-150	-100	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650		700	750	800	816	
镍及镍合金																							镍及镍合金
镍 200,201,625	225	221	218	215	207	202	199	197	194	192	190	186	182	179	175	173	169					镍 200,201,625	
蒙耐尔 400	195	191	189	186	179	175	173	171	168	167	165	161	158	155	152	149	146					蒙耐尔 400	
Ni-Cr-Fe 合金 600	233	228	226	223	214	208	206	204	201	198	196	192	188	184	181	178	175					Ni-Cr-Fe 合金 600	
Ni-Fe-Cr 合金 800,800H	214	210	208	204	196	191	189	187	184	182	179	177	174	170	167	164	160					Ni-Fe-Cr 合金 800,800H	
合金 C276	224	218	217	214	206	200	197	195	193	191	188	184	181	178	174	172	168					合金 C276	
钛及钛合金																						钛及钛合金	
TA0~TA3、TA9					107	103	101	97	92	88	84	79										TA0~TA3、TA9	
铝及铝合金																						铝及铝合金	
1060,3003,3004,6061,6063	79	76	76	74	69	66	64	60														1060,3003,3004,6061, 6063	
5052,5454	80	77	76	75	71	67	65	62														5052,5454	
5083,5086	81	78	77	76	71	68	66	63														5083,5086	



附录 C

(资料性附录)

基于风险的材料设计和选用

C.1 材料设计和选用准则

C.1.1 通则

C.1.1.1 本部分规定的材料选用要求及限制系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在低于韧脆转变温度下的低应力脆断。

C.1.1.2 本部分未涉及材料应对使用环境及介质的腐蚀和选材。业主或设计者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。

C.1.1.3 本附录所列各项为常用管道材料选用时应注意的,但除 C.1.1.1 和 C.1.1.2 以外的损伤风险以及相应的材料设计要求和工程措施。

C.1.2 通用规定

C.1.2.1 应考虑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的可燃性。

C.1.2.2 应考虑发生火灾或采取灭火措施时,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.1.2.3 应考虑火灾时,管道绝热材料对管道的损伤(如稳定性、耐火性能及在火中保持原有位置的能力)。

C.1.2.4 管道系统不可避免存在众多缝隙,如垫片密封面、螺纹或承插接头等,应考虑管道材料对缝隙腐蚀的敏感性。

C.1.2.5 电偶腐蚀是两种腐蚀电位相差较大的金属材料紧密接触,通过电解质构成腐蚀电流回路,致使腐蚀电位低侧的金属成为阳极加速腐蚀,反之腐蚀电位较高侧的金属成为阴极而得到保护。

电位差越大、阳极/阴极面积比越小(即小阳极/大阴极),则电偶腐蚀越严重。

材料表面状态,包括非金属或金属涂层及阴极保护(牺牲阳极)都对减轻电偶腐蚀产生重大影响,可采取如下防护措施:

- a) 对腐蚀电位较高侧的金属施以非金属涂层;
- b) 碳钢的热镀锌(水温不高于 66 °C);
- c) 埋地管道采用阴极保护(牺牲阳极)及绝缘法兰。

C.1.2.6 应考虑螺纹润滑剂或密封剂与流体工况的相容性。

C.1.2.7 应考虑衬垫、密封件和“O”形环与流体工况的相容性。

C.1.2.8 应考虑诸如胶黏剂、熔剂等材料与流体工况的相容性。

C.1.2.9 应考虑管道材料,包括密封剂、垫片、润滑剂和绝热材料与强氧化性流体(如氧气或氟气)的相容性。

C.2 低温脆性断裂

C.2.1 碳钢、碳锰钢和合金钢的低温脆性断裂

C.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。

C.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,本部分列出了材料最低允许使用温度(MDMT)及相应冲击试验要求。

C.2.1.3 除本部分的要求外,下列因素应予考虑:

- 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,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)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压力元件脆性断裂的首发区域,为此,焊后热处理(PWHT)也成为降低脆性断裂风险的重要措施。
- 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。

C.2.1.4 应考虑下列情况对 8.1.3.3 所列的免除冲击试验的碳钢和碳锰钢管道系统的脆性断裂风险:

- 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) 评估上述作用力时,应考虑材料低温下的弹性模量的计算。

C.2.1.5 应考虑由于液态烃、液化气体之类高挥发性流体,由节流、闪蒸、骤冷而导致脆性断裂的风险。

C.2.1.6 应考虑低温(材料产生脆性)或高温(降低材料强度)导致管道支架损坏的可能性。

C.2.2 奥氏体不锈钢的低温脆性断裂

C.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。

C.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:

- a) 剧烈冷变形,导致奥氏体组织的马氏体转变而脆性转变温度的提高,为此应重新固溶。
- b) 奥氏体不锈钢的焊缝可能含有高达 10% 以上的 δ 铁素体,由此会影响 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以下的焊缝冲击韧性,为此应控制焊缝铁素体数 $\text{FN} \leq 8 \sim 10$ 。在控制焊缝 FN 的同时,也要防止 FN 过小而引起的热裂纹风险,应加强 PT 检查。
- c) 降低含碳量,尽量避免使用 321、347,提高含镍量都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 ≤ 5)焊条为其标配。

C.3 高温

C.3.1 蠕变断裂

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如表 C.1 所示。

虽然本部分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 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,常见有如下各项:

- 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) 项可按压力元件在预期工况下的应力水平应不高于按 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(应考虑相应安全系数)为准则进行评估。

上述 b) 项可按压力元件在预期工况下应力水平根据 MPC- Ω 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/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。根据 MPC- Ω 法及 API 579-1:2007 第 10 部分的准则, $DC \leq 2.5$ 。压力元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), 都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, 不得大于 2.5。

上述 c) 项同样可按 a) 或 b) 所述方法进行剩余寿命安全评估。

上述 d) 项可按 Larson-Miller 法或查阅 ASME 锅炉压力容器规范第 III 卷核动力装置 NH 卷取得。

表 C.1 典型金属材料的蠕变阈值温度

材 料	蠕变阈值温度
碳钢($R_m \leq 414\text{ MPa}$)	343 °C (650 °F)
碳钢($R_m > 414\text{ MPa}$)	371 °C (700 °F)
0.5Mo 钢	399 °C (750 °F)
铬钼合金钢 1¼Cr-1/2Mo(正火+回火)	427 °C (800 °F)
铬钼合金钢 1¼Cr-1/2Mo(退火)	427 °C (800 °F)
铬钼合金钢 2¼Cr-1Mo(正火+回火)	427 °C (800 °F)
铬钼合金钢 2¼Cr-1Mo(退火)	427 °C (800 °F)
铬钼合金钢 2¼Cr-1Mo(调质)	427 °C (800 °F)
铬钼合金钢 2¼Cr-1Mo-V	441 °C (825 °F)
铬钼合金钢 3Cr-1Mo-V	441 °C (825 °F)
铬钼合金钢 5Cr-1/2Mo	427 °C (800 °F)

表 C.1 (续)

材 料	蠕变阈值温度
铬钼合金钢 7Cr-1/2Mo	427 °C (800 °F)
铬钼合金钢 9Cr-1Mo	427 °C (800 °F)
铬钼合金钢 9Cr-1Mo-V	454 °C (850 °F)
马氏体不锈钢 12Cr	482 °C (900 °F)
铬镍奥氏体不锈钢 304,304H	510 °C (950 °F)
铬镍奥氏体不锈钢 316,316H	538 °C (1 000 °F)
铬镍奥氏体不锈钢 321,321H	538 °C (1 000 °F)
铬镍奥氏体不锈钢 347,347H	538 °C (1 000 °F)
Ni-Cu-Fe 合金 800,800H,800HT	565 °C (1 050 °F)
铬镍奥氏体不锈钢 HK-40	649 °C (1 200 °F)

C.3.2 475 °C 脆化

C.3.2.1 含铬量 $\geq 12\%$ 的 400 系列不锈钢(高铬不锈钢)、铁素体含量较高的锻造或铸造奥氏体不锈钢和双相不锈钢中的铁素体相在 316 °C ~ 540 °C 温度范围内停留较长时间后, Cr-P 金属中间相析出, 材料硬度增加, 塑性韧性下降而导致脆化, 脆化的最大速率发生在 475 °C, 故常称为 475 °C 脆化。

C.3.2.2 含铬量越高以及不锈钢中的铁素体相比比例越高, 475 °C 脆化越严重。但这种脆化主要导致材料常温或较低温度下的塑性韧性下降, 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 °C 脆化免疫, 而 405 型铁素体不锈钢却不能幸免。

C.3.2.3 工作温度在上述温度范围或敏感材料在热处理或冷却过程中在此温度范围停留时间过长, 都可能产生 475 °C 脆化。

C.4 铸铁

铸铁、可锻铸铁、高硅铸铁以及延伸率小于 15% 的球墨铸铁均属脆性材料, 对冲击载荷及热冲击较

敏感,应在有限条件下控制使用,并采取相应的防护措施。

C.5 碳钢、碳锰钢和合金钢

C.5.1 碱脆(Caustic Embrittlement)

C.5.1.1 输送中高浓度 NaOH 或其他强碱性流体的碳钢管道将产生应力腐蚀破裂(晶间裂纹),俗称“碱脆”,碱脆随碱液浓度和温度提高而加剧。

C.5.1.2 温度 $<46\text{ }^{\circ}\text{C}$,一般不会发生碱脆; $46\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 82\text{ }^{\circ}\text{C}$,随 NaOH 质量分数升高而加剧; $>82\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,仅当 NaOH 浓度 $\leq 5\%$ 时才不发生碱脆,但易发生碱液蒸发浓缩,故而仍存在碱脆的风险。

C.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 $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的 PWHT 和防止过热可相应扩大碳钢在碱液中的适用范围。

C.5.2 碱性应力腐蚀破裂(Alkaline Stress Corrosion Cracking, ASCC)

C.5.2.1 碳钢除上述在苛性钠中发生的碱脆以及下列酸性介质中的氢致应力开裂外,还存在着在下列介质中发生多种碱性应力腐蚀破裂的风险:

- a) 常温或低温无水液氨;
- b) 醇胺液(常用于脱硫、脱 CO_2);
- c) 碱性碳酸盐-酸水溶液(气体净化系统)。

C.5.2.2 碳钢、低合金高强度钢的 ASCC,与残余应力、介质的组成和浓度(包括反应物杂质副反应污染)与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。

为此,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 H_2S 、 CO_2 、 NH_4 、 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快速局部腐蚀所致。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,规范规定的 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ PWHT 温度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。应采用更高的 $620\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $650\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 660\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.5.2.3 对策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 SCC,避免 O_2 (空气)污染或加入 0.2% 水也可有效地控制 SCC。

C.5.3 石墨化

C.5.3.1 碳钢和 0.5Mo 钢长期在 $427\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上工作,致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。下降程度对应于石墨化进程。

C.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,而温度为 $454\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,产生轻微的石墨化也需要 30 年~40 年。

C.5.3.3 冷变形及焊接热影响区,相对更易发生石墨化。

C.5.3.4 曾有硅镇静优于铝镇静的论点,但无确切证明,现已忽略。

C.5.4 软化(珠光体球化)

C.5.4.1 铬钼合金钢,如 15CrMo 、 $1-1/4\text{CrMo}$ 、 $2-1/4\text{CrMo}$ 、 12Cr1MoV 、 5Cr0.5Mo 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。

C.5.4.2 温度、时间和合金含量是影响珠光体球化的重要因素。退火状态相对优于 N+T 或 QT；硅镇静的粗晶粒钢相对优于铝镇静的细晶粒钢。

C.5.4.3 虽然珠光体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，仅由于珠光体球化而导致压力设备更换维修的案例甚为罕见。

C.5.5 高温氢侵蚀

C.5.5.1 碳钢及铬含量不大于 3% 的铬钼合金钢使用温度 177 °C 以上，且氢分压不低于 0.345 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。

C.5.5.2 随着温度及氢分压的提高，原子氢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（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、微裂直至破裂。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。

C.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。较高温但较低氢分压，高温氢侵蚀的损伤模式为表面脱碳（见 Nelson 曲线的虚线）；而较低温度但较高氢分压，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）；高温加高压，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。

C.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 RP941 并不断根据案例剖析进行修订。

- a) 含铬量大于或等于 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。

C.5.5.5 根据 Nelson 曲线进行选材时应注意如下事项：

- a) 留有 20 °C 以上安全裕量，切不可超温，防止过热；采用内部隔热衬里可降低基层材料温度时，应防止隔热衬里的完整性破损而引起过热热点；
- 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。近年来多次碳钢、0.5Mo 钢临氢设备在低于但接近 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，焊后均应作 PWHT，否则还应将 Nelson 曲线留有 50 °C 以上安全裕量，如图 C.1 所示。

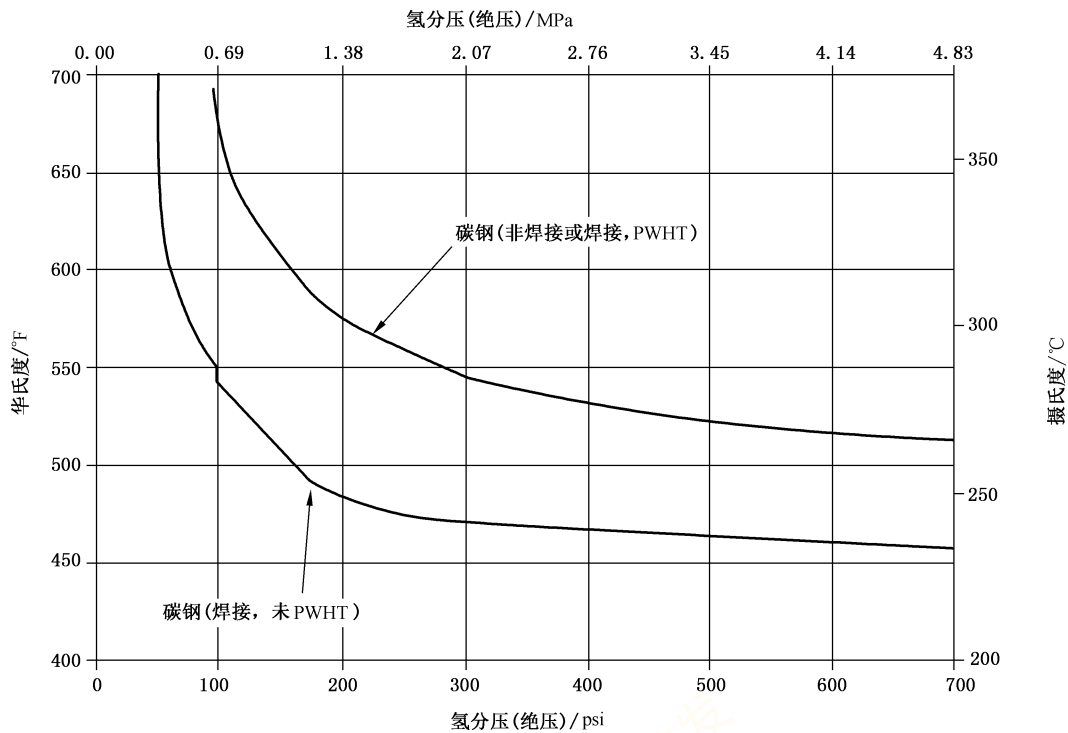


图 C.1 焊后未作 PWHT 的碳钢 Nelson 曲线 (API 941:2016)

C.5.6 湿硫化氢/硫化物应力腐蚀破裂 (Sulfate Stress Corrosion Cracking, SSC)

C.5.6.1 湿硫化氢/硫化物应力腐蚀破裂是金属在水(电解质)和硫化氢存在下由拉伸应力和腐蚀共同作用的开裂。硫化物应力破裂(SSC)有多种失效分类,如 SSC、SCC、HSC、HIC、SOHIC、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,仅就此列出选材时应予关注的要点。

C.5.6.2 影响 SSC 的环境因素有 H₂S 浓度(H₂S 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、CO₂ 的存在也将产生多种腐蚀形态的共生与加剧。H₂S 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 SCC。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 °C 以下。

C.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、控制组织应力及残余应力。因为这些部位正是氢致裂纹的根源。碳钢、低合金钢防止 SSC 的硬度上限为 RC22 或 HV₁₀ 237。由于焊接热影响区的高硬度区很窄,HV₁₀ 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、内壁外壁、宏观微观,因此如冷变形、锤击、钢印、坡口外焊接打弧和飞溅都应禁止。低强度钢优于高强钢;原材料正火、正火加回火、退火、调质及 PWHT 都是有益于防止 SSC。

C.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含硫量不大于 0.002% 或加 Ca 促使 MnS 夹杂球化成为抗 HIC 板材生产的附加要求。但该低硫要求没有必要套用到无缝钢管、锻件,更没有必要套用到焊缝,因为 MnS 夹杂在此类材料中不可能呈片状分布。

C.5.7 层状撕裂

C.5.7.1 碳钢或低合金钢厚板中的片状 MnS 夹杂也易发生焊接部位的层状撕裂。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)载荷的作用下而发生撕裂,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发生类似硫化氢 SCC 中的氢致阶梯状开裂 HOHIC。

C.5.7.2 层状撕裂的对策:

- 待焊部位 UT 探伤,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(含硫量 ≤ 0.010)、Z25(含硫量 ≤ 0.007)、Z35(含硫量 ≤ 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。

C.5.8 高温硫化物腐蚀

C.5.8.1 碳钢、合金钢和不锈钢在超过 260 °C 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 H₂S 和其他活性硫化物引起的,所谓活性硫化物即在高温下容易分解生成 H₂S 的硫化物,而非总硫。因此,H₂S 和活性硫化物浓度和温度越高,尤其在 260 °C~425 °C,随着温度升高,腐蚀速率呈指数式升高,而在 425 °C 达到峰值。

C.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,含硅量 $\geq 0.1\%$ 将比含硅量 $\leq 0.1\%$ 者大大增加耐硫化的能力。对合金钢而言,含铬量可以明显增加耐硫化的能力,但含铬量低于 9%,耐蚀性能提高不多。而加氢与高温硫化物腐蚀共存时,含铬量低于 12%对耐蚀性能提高不多。因此应采用不锈钢和镍基合金,其耐蚀性同样取决于含铬量。

C.5.8.3 工程设计时通常按 McConomy 曲线(无 H₂、硫化物、温度、含铬量)或 Couper-Gorman 曲线(H₂+H₂S)进行初步选材。

C.5.9 铬钼合金钢的回火脆性与再热裂纹

C.5.9.1 碳钢和合金钢在 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履历也对其回火脆性的敏感性带来显著的影响。

C.5.9.2 回火脆性导致的韧性下降主要对压力元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(≥ 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。

C.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 2.25~3Cr-1Mo 钢的 ≥ 38 mm 厚壁临氢压力设备。为此工程中采用控制措施如下:

$$\text{母材的 } J = (\text{Si} + \text{Mn})(\text{P} + \text{Sn}) \times 10\,000 \leq 150(\text{wt} \%);$$

$$\text{焊缝的 } X = (10\text{P} + 5\text{Sb} + 4\text{Sn} + \text{As})/100 \leq 15 \times 10^{-6};$$

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。用户应根据自身情况及使用经验,不必盲目套用上述要求。

C.5.9.4 5%~9%CrMo 钢对回火脆性并不敏感。工程界曾担忧 1~1.25Cr0.5Mo 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,1~1.25Cr0.5Mo 钢的回火脆性敏感性低于 2.25~3Cr-1Mo 钢。

C.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,如钢中的含磷量 ≤ 0.010 ;含硫量 ≤ 0.005 ,0~-20 °C AKV 50J 就足以控制 1~1.25Cr0.5Mo 厚壁压力设备的回火脆性风险。因此,1~1.25Cr0.5Mo 厚壁(≥ 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:

- a) 母材及焊缝的 X 系数 $\leq 15 \times 10^{-6}$ 、含碳量 $\leq 0.15\%$ ；
- b) 采用低氢焊材(H8)、焊接区域 PWHT 后 $HV_{10} \leq 235$ 或 $HB \leq 225$ ；
- c) 水压试验温度不低于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.5.9.6 材料的回火脆性可通过 $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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。

C.5.10 氢脆和氢致开裂(Hydrogen Embrittlement, HE)

C.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。

C.5.10.2 氢的来源有下列三大渠道:

- a) 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)。
- b) 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 H_2S 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 H_2S 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的氢脆。
- 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度钢或钢的淬硬组织处产生氢脆。如气体工业将常温氢分压 $\geq 1.0\text{ MPa}$ 的压力设备列入应考虑采取防范氢脆的工程措施;ASME 已制定 B31.12 氢管道和管线规范,专门应对高压下常温与低温的氢脆。

C.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,降低钢中含氢量。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。总之从氢的供给侧采取釜底抽薪的方式控制氢脆风险。
- 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。

C.6 奥氏体不锈钢和镍基合金

C.6.1 奥氏体不锈钢和镍基合金的冶金特征

奥氏体不锈钢是压力设备用材中仅次于碳钢、碳锰钢的第二大户,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、高温($800\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$)、超低温($-253\text{ }^{\circ}\text{C}$),此外良好机械强度、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,应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 的氧化铬钝化膜完整性、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;高性能奥氏体不锈钢、双相不锈钢以及 Inco、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,如铬当量、镍当量、Schaeffler 图、Delong 图、FN 数、PRE 点蚀指数、A262 晶蚀试验 B 法、C 法、E 法、G48A 点蚀试验和点蚀临界温度,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。

C.6.2 晶间腐蚀 (Intergranular Corrosion, IGC)

C.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)。

C.6.2.2 发生晶间腐蚀的机理一般均解释为与不良的热履历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,σ相、Chi相、焊接金属中的δ铁素体甚至“端晶”也有可能導致类似晶间腐蚀的选择性腐蚀。由于碳在高镍镍基耐蚀合金中的溶解度比低含镍量的奥氏体不锈钢更低,因此因敏化而产生晶间腐蚀的倾向更大。

C.6.2.3 防止晶间腐蚀的对策如下:

- 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。
- 超低碳(300系列奥氏体不锈钢含碳量 ≤ 0.030 ;镍基耐蚀合金及双相不锈钢、高性能奥氏体不锈钢含碳量 ≤ 0.020 ,甚至 0.015%);但超低碳奥氏体合金在敏化区长期停留仍不能防止碳化物析出,见图C.2所示。
- 加入铌、钛等强烈碳化物元素,优先形成铌、钛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。
- 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,晶间腐蚀试验不应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-硫酸铜铜屑法的敏感性不高,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。
- 而对镍基耐蚀合金及高镍的高性能不锈钢,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,但应注意试验方法的对应性。双相不锈钢更应注意敏化处理的适用性。

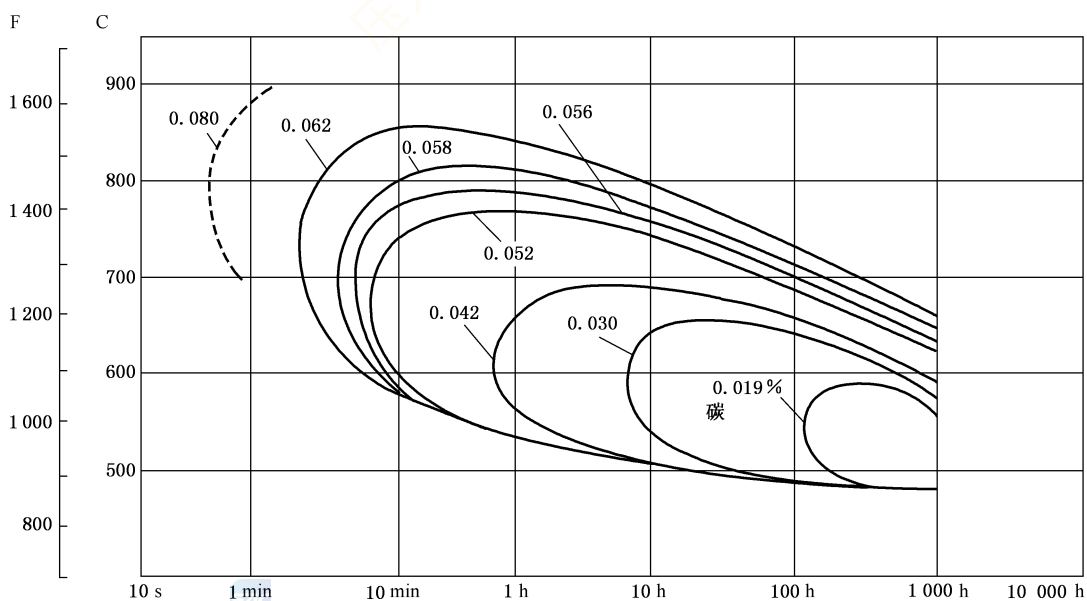


图 C.2 304 不锈钢的敏化 C 曲线

C.6.3 点蚀和缝隙腐蚀 (Pitting Corrosion and Crevice Corrosion)

C.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，也有可能是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 C.3 所示为使不同含钼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）。

至于缝隙腐蚀是点蚀发生在缝隙中的特殊形式。缝隙一般在 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、缝隙内成为牺牲阳极。

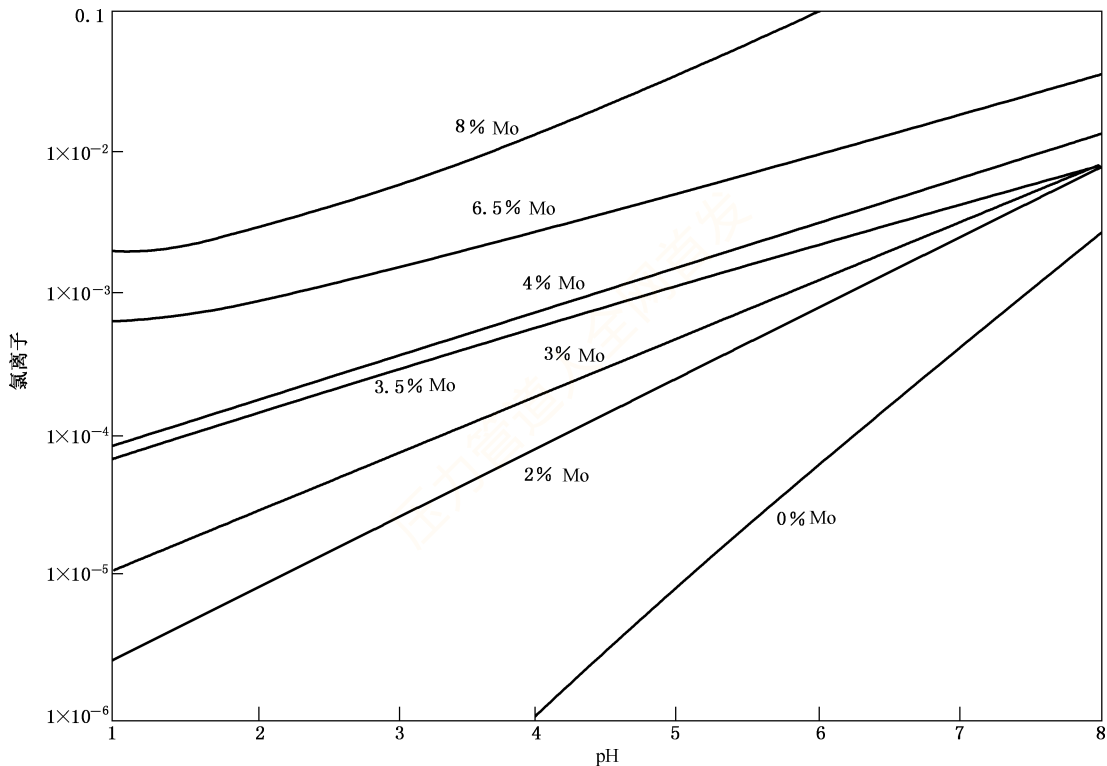


图 C.3 使不同含钼量奥氏体钢开始发生点蚀的氯离子质量浓度与 pH 的关系（65 °C ~ 80 °C）

C.6.3.2 点蚀和缝隙腐蚀的影响因素如下：

- 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。
- 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。
- 卤化物浓度增加（或蒸发、浓缩）、低 pH、温度升高、充氧，就每一因数而言，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，因此从介质及工况预测点蚀是否发生，在实用中尚有困难。
- 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反而下降,降低了 NaCl 的点蚀倾向;
 - 2) 温度升高导致腐蚀速度以及氯离子浓缩概率大大提高,由点蚀诱发 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。

C.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:

$$PRE = Cr + 3.3Mo + 1.65W + 16N$$

常用奥氏体不锈钢、双相不锈钢的点蚀指数 PRE 如表 C.2 所示。经验表明,耐海水点蚀用奥氏体不锈钢、双相不锈钢的点蚀指数 PRE 应不低于 32。

表 C.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	镍基耐蚀合金	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 (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

C.6.3.4 不锈钢和镍基耐蚀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 6%FeCl₃ 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-A 法(CPT)、B 法(CCT)、C 法(CPT)、D 法(CCT)和 A923 C 法(DSS-CPT)。应注意,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 C.4 所示为 ASTM G48 B 法缝隙腐蚀临界温度与点蚀指数 PRE 对应关系。
- c) 6% FeCl₃ 溶液的 pH 值约 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 C 法及 G48 A 法常用于双相不锈钢产品(材料及焊缝)质量检验的依据如下:
A923 C 法 2205,母材 25 °C、焊缝 22 °C,无点蚀;2507,母材 45 °C~50 °C、焊缝 40 °C,无点蚀。

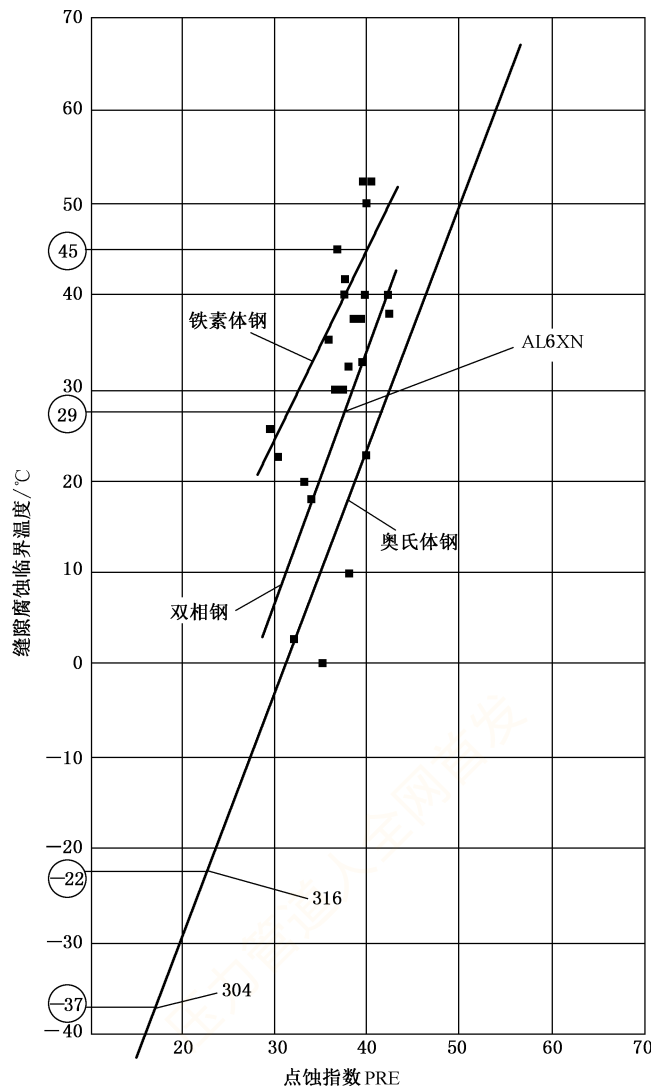


图 C.4 缝隙腐蚀临界温度与点蚀指数 PRE 对应关系 (ASTM G48 B 法)

C.6.4 氯化物应力腐蚀破裂 (Chloride Stress Corrosion Cracking, CLSCC)

C.6.4.1 氯化物应力腐蚀破裂机理和规律如下：

- a) 氯化物应力腐蚀破裂是奥氏体不锈钢,尤其是常用的 304、316 最常见的失效模式。发生氯化物应力腐蚀破裂的机理,尤其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,且一般由冷作应力或焊接残余应力引起,与载荷应力关系不大。

图 C.5 所示为氯化物应力腐蚀破裂概率与含镍量的关系,可见：

- 1) 300 系列奥氏体不锈钢对氯化物应力腐蚀破裂最为敏感。304 的 CLSCC 阈值温度 20 °C 左右,316 阈值温度 50 °C 左右。
- 2) 双相钢、铁素体不锈钢及含镍量 30% 以上的镍基合金对氯化物应力腐蚀破裂几乎是免疫的。

- 3) 提高含钼量可提高 CLSCC 阈值温度,含 6%Mo 的 AL-6XN 的 CLSCC 阈值温度达 240 °C 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;但从含几百万分之一氯离子直至几百分之一、pH 从 1~10 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、pH \approx 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)的最高质量分数。
- c) 60 °C 以上温度越高,CLSCC 发生的概率越高;导致发生 CLSCC 的温度往往取决于整个服役期间(包括水压、使用、维修)的最高温度。以 60 °C~80 °C 作为点蚀及 CLSCC 的分界点,主要归因于:
- 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 °C 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。

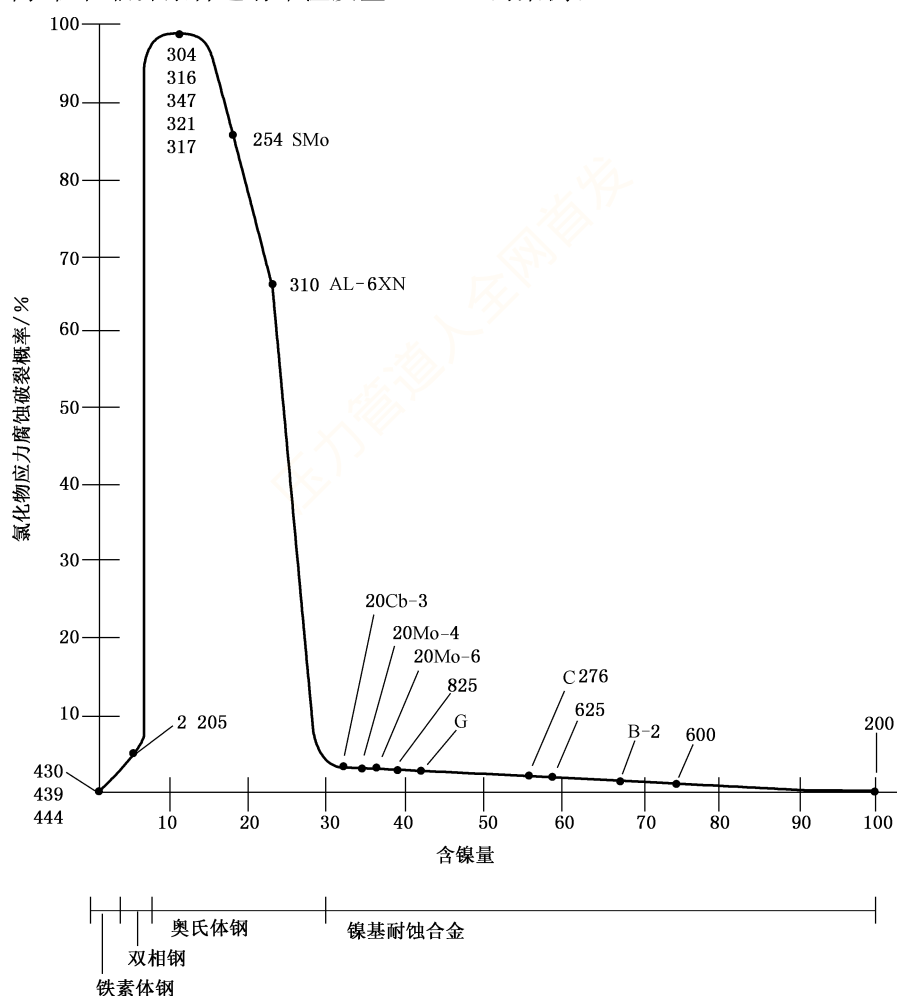


图 C.5 氯化物应力腐蚀破裂概率与含镍量的关系

C.6.4.2 氯化物应力腐蚀破裂的影响因素如下:

- a) 氯离子质量分数、温度的影响如表 C.3 所示。

表 C.3 氯离子质量分数、温度对 304L 的 CLSCC 的影响

温度/°C	氯离子质量分数 $\times 10^{-6}$ (pH ≤ 10)				存在浓缩、 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)可能存在的最高质量分数和温度。

b) 下列情况将提高表 C.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) 冷作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。

C.6.4.3 氯化物应力腐蚀破裂的对策如下：

- a) 规避 C.6.4.2 不利因素,降低 CLSCC 风险等级；
- b) 非金属涂层或热喷铝,包裹铝箔应对外壁 CUI；
- c) 采用点蚀指数(PRE)更高的材料或图 C.5 所示对 CLSCC 免疫的材料；
- d) 缓蚀剂或阴极保护；
- e) 在未彻底清除氯化物应力腐蚀破裂区域前,不能采取焊补措施。

C.6.5 连多硫酸应力腐蚀破裂(Polythionic Acid Stress Cracking, PTASCC)

C.6.5.1 连多硫酸应力腐蚀破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。

C.6.5.2 300 系列的奥氏体不锈钢、INCO 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,而且现场管道要重作固溶处理十分困难,所以焊缝区域就成为晶间 PTASCC 的高风险区。

C.6.5.3 连多硫酸应力腐蚀破裂的对策如下：

- a) 材料和制造
 - 1) 稳定化不锈钢并在固溶后加作稳定化处理,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, 温度为稳定化温度, 空冷。
- b) 停车保护
- 1) 充氮(干燥, 无氧或加 5×10^{-3} 氨);
 - 2) 碱洗(1%~5% Na_2CO_3);
 - 3) 充干燥空气(空气的露点温度应低于金属内壁温度至少 22 °C 以上)。

C.6.6 焊接裂纹

C.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 C.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: 一是位于焊缝中央纵向裂纹或收弧坑中的放射性裂纹; 另一种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、工程中常见的裂纹, 还有应力松弛裂纹(C.6.7)和液体金属侵蚀(C.6.8)。

C.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而形成的拉应力作用下导致的晶间开裂。奥氏体钢凝固裂纹倾向有如下原因:
 - 1) 导热系数小、线胀系数大、焊接变形和应力大;
 - 2) 铈、硅、硫、磷在首先凝固的 γ 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。而锰、钼、钨、钒、钛有利于防止凝固裂纹。
- b) 液化裂纹多与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。

C.6.6.3 焊接热裂纹对策如下:

- 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 δ 铁素体数, 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 的 FN 数应不低于 3; 而 347 的 FN 数应不低于 5。特殊工况需要控制 FN 数更低时, 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, 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。

C.6.7 应力松弛裂纹(Stress Relaxation Cracking, SRC)

C.6.7.1 应力松弛裂纹又称为再热裂纹, 是含有稳定化元素(如铈、钛)的奥氏体不锈钢和镍基合金, 焊后在高温(550 °C~750 °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。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。

C.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(如铌、钛)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,尤其是厚壁(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,由于该部位的蠕变塑性过低而导致开裂。

C.6.7.3 应力松弛裂纹的敏感因素如下:

- a) 奥氏体不锈钢中:347H 最高;321H 中等;304H 较低;316H 免疫;
镍基合金中:617、601 敏感度高于 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性。

C.6.7.4 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 ≥ 15 ;含氮量为 $0.05\% \sim 0.10\%$ 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(≤ 2.15 kJ/mm)、窄焊道(≤ 15 mm)、控制层间温度 ≤ 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,应快速通过。PWHT 温度一般选择稳定化温度,PWHT 后空冷即可。
- e) PWHT 后应对焊接区域全面 PT 检查,清除可能产生的 SRC。

C.6.8 液体金属侵蚀(Liquid Metal Embrittlement, LME)

C.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。

C.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,由于低熔点金属细末的污染,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;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 检查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) 含铜量较高的不锈钢,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。

C.6.9 σ 相脆化

C.6.9.1 σ 相脆化是含铬量超过 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。 σ 相脆化(即其数量及其形态)取决于不锈钢中 δ 铁素体相的比例及其铁素体形成元素铬当量(即铬、硅、钼、铝、钨、钒、钛、铌)的高低。反之,奥氏体形成元素镍当量(即碳、镍、氮、锰)可阻滞 σ 相脆化。

C.6.9.2 σ 相脆化将导致材料韧性的下降(冲击吸收能量及断口纤维率)。随着 σ 相数量的增加将大大提高不锈钢的脆性转变温度,1%~2% 的 σ 相不锈钢的脆性转变温度尚在 -46 °C 以下,而 5%~8% 的 σ 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 σ 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,降低了压力元件抗热冲击和温度-载荷波动的能力,压力元件在高温下的脆性断裂风险大大增加。

C.6.9.3 奥氏体不锈钢过量的冷变形及其焊缝中的 δ 铁素体将促使 σ 相脆化。重新进行 1 065 °C 以上保温较长时间后快冷可溶解 σ 相,而去 σ 相脆化。因此控制焊缝中的 δ 铁素体数 $FN \leq 8$,过量的冷变形后应重新固溶处理就成为控制奥氏体不锈钢 σ 相脆化的主要工程措施。

C.7 铜合金的氨裂和脱锌(脱合金)

C.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:

- 含锌量大于 15%的海军黄铜和铝黄铜为氨裂敏感材料。降低含锌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。
- 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。
- 拉伸应力可加速氨裂,但材料的残余应力足以导致开裂。

C.7.2 铜合金的脱锌(脱合金)

铜合金的脱锌有如下特征:

- 表 C.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。
- 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 α 和 β 微观组织来防护。

表 C.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)



C.8 微生物腐蚀(Microbiologically Induced Corrosion, MIC)

C.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,获得各种无机物(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。

C.8.2 微生物腐蚀的防护措施

应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) 表面涂层、包裹或阴极保护,如埋地管道及储罐底板;
- d) 定期冲刷、化学清洗、消毒等方法清除表面附着的各种污垢、结疤等,也可减轻 MIC,延长使用寿命。

C.9 绝热层下腐蚀(Corrision Under Insulation, CUI)

C.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破裂有关。

C.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(CL-SCC)还包含着氯离子的溶入。水的来源有多种:雨水、结露、蒸气冷凝、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、热蒸气排放或疏水点、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。

C.9.3 温度

影响绝热层下腐蚀的温度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。常用金属材料的绝缘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 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 175\text{ }^{\circ}\text{C}$,由于为氧化性腐蚀,腐蚀速率随温度提高而加速,由于低温端通常不需设置绝热层,而高温端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,高温端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,但在严酷环境下也未能免疫。

C.9.4 对策

解决 CUI 的途径主要有三个:

- a) 消除 C.9.2 所列入的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) 表面涂料、热喷铝或采用铝箔包裹的保护措施。

附 录 D
(资料性附录)

我国与国外材料标准及牌号对照表

我国与国外材料标准及牌号对照表见表 D.1。

表 D.1 我国与国外材料标准及牌号对照表

我国标准	我国材料牌号	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 8163	10	ASTM A53	A ^a
GB/T 9948	10	ASTM A106	A
GB/T 6479	10	ASTM A106	A ^a
GB/T 3087	10	ASTM A53	A ^a
GB/T 9711	L245/B(PSL1)	API5L	B(PSL1)
GB/T 9711	L245/B(PSL2)	API5L	B(PSL2)
GB/T 8163	20	ASTM A53	B ^a
GB/T 3087	20	ASTM A53	B
GB/T 5310	20G	ASTM A106	B
GB/T 5310	20MnG	ASTM A106	B
GB/T 6479	20	ASTM A106	B ^a
GB/T 9948	20	ASTM A106	B
YB/T 4173	20G	ASTM A369	FPB
YB/T 4173	20MnG	ASTM A369	FPB
GB/T 8163	Q345A	ASTM A53	C
YB/T 4173	25MnG	ASTM A369	FPC
GB/T 6479	Q345B	ASTM A106	C
GB/T 6479	Q345D	ASTM A106	C

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
GB/T 9711	L290/X42~L555/X80 (PSL2)	API5L	X42~X80(PSL2)
碳钢(包括碳锰钢)、管线钢焊管(ERW)			
GB/T 3091	Q215A	ASTM A53	A-ERW
GB/T 9711	L210/A(PSL1)	API5L	A(PSL1)ERW
GB/T 3091	Q235A	ASTM A53	B-ERW ^a
GB/T 9711	L245/B(PSL1)	API5L	B(PSL1)ERW
GB/T 9711	L290/X42~L450/X65 (PSL2)	API5L	X42~X65(PSL2)ERW
碳钢(包括碳锰钢)、管线钢管件			
GB/T 13401	CF370	ASTM A234	(WPA) ^b
GB/T 13401	CF415	ASTM A234	WPB
GB/T 13401	CF415K	ASTM A234	WPB
GB/T 13401	CF485	ASTM A234	WPC
GB/T 13401	CF485K	ASTM A234	WPC
GB/T 29168.2	L290/X42~L450/X80	MSS SP75 ISO 15590-2	WPHY42~WPHY80
碳钢(包括碳锰钢)、管线钢板焊管(EFW/SAW)			
GB/T 3091 SY/T 5037	Q215A	ASTM A134	A283-C
GB/T 3091 SY/T 5037	Q235A	ASTM A134	A283-D
GB/T 9711	L245/B(PSL1)	API5L	B(PSL1)
GB/T 9711	L245/B(PSL2)	API5L	B(PSL2)
GB/T 9711	L290/X42~L555/X80 (PSL2)	API5L	X42~X80(PSL2)
—	—	ASTM A671	CC60
—	—	ASTM A671	CC70
碳钢(包括碳锰钢)、管线钢锻件			
GB/T 12228	25	ASTM A181	70
GB/T 12228	A105	ASTM A105	
NB/T 47008	20	ASTM A181	60
NB/T 47008	16Mn	ASTM A105	
GB/T 29168.3	F290(F42)~F555(F80)	ASTM A694 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

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
低温碳钢及低温镍钢无缝管			
GB/T 6479	Q345E	ASTM A333	6 ^b
GB/T 18984	10MnDG	ASTM A333	6 ^b
GB/T 18984	16MnDG	ASTM A333	6 ^b
GB/T 18984	06Ni3MoDG	ASTM A333	3
—	—	ASTM A333	8
低温碳钢及低温镍钢板焊管(EFW/SAW)			
—	—	ASTM A671	CC60
—	—	ASTM A671	CC70
低温碳钢及低温镍钢管件			
GB/T 13401	LF415K1	ASTM A234	WPL6
GB/T 13401	LF415K2	ASTM A420	WPL6
GB/T 13401	LF485K2	ASTM A420	WPL6 ^b
GB/T 13401	LF450K3	ASTM A420	WPL3
GB/T 13401	LF680K4	ASTM A420	WPL8
低温碳钢及低温镍钢锻件			
NB/T 47009	16MnD	ASTM A350	LF2
NB/T 47009	08Ni3D	ASTM A350	LF3
NB/T 47009	06Ni9D	ASTM A522	Type1
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
JB/T 7248	LC3	ASTM A352	LC3
JB/T 7248	LC9	ASTM A352	LC9
合金钢无缝管			
GB/T 6479	15CrMo	ASTM A335	P12 ^c
GB/T 5310	15CrMoG	ASTM A335	P12 ^c
GB/T 9948	15CrMo	ASTM A335	P12 ^c
YB/T 4173	15CrMoG	ASTM A369	FP12 ^c
GB/T 9948	12Cr1Mo	ASTM A335	P11
YB/T 4173	12Cr2MoG	ASTM A369	FP22 ^c
GB/T 5310	12Cr2MoG	ASTM A335	P22 ^c
GB/T 9948	12Cr2Mo	ASTM A335	P22 ^c
GB/T 6479	12Cr2Mo	ASTM A335	P22 ^c

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
GB/T 5310	12Cr1MoVG	—	—
YB/T 4173	12Cr1MoVG	—	—
GB/T 9948	12Cr1MoV	—	—
GB/T 6479	10MoWVNb	—	—
GB/T 6479	10MoWVNb	—	—
GB/T 6479	10MoWVNb	—	—
GB/T 9948	12Cr5Mo I	ASTM A335	P5
GB/T 9948	12Cr5MoNT	ASTM A335	P5 ^c
GB/T 9948	12Cr9Mo I	ASTM A335	P9
GB/T 9948	12Cr9MoNT	ASTM A335	P9 ^c
GB/T 5310	10Cr9Mo1VNbN	ASTM A335	P91
YB/T 4173	10Cr9Mo1VNbN	ASTM A369	FP91
合金钢管件			
GB/T 13401	AF12	ASTM A234	WP12-1
GB/T 13401	AF12G	ASTM A234	WP12-2
GB/T 13401	AF11	ASTM A234	WP11-1
GB/T 13401	AF11G	ASTM A234	WP11-2
GB/T 13401	AF14	—	—
GB/T 13401	AF22	ASTM A234	WP22-2 ^c
GB/T 13401	AF22G	ASTM A234	WP22-3
GB/T 13401	AF5	ASTM A234	WP5
GB/T 13401	AF5G	ASTM A234	WP5 ^c
GB/T 13401	AF9	ASTM A234	WP9(C1.1)
GB/T 13401	AF9G	ASTM A234	WP9(C1.3)
GB/T 13401	AF91	ASTM A234	WP91
合金钢板焊管(EFW/SAW)			
—	—	ASTM A691 1CR-2	A387 12-2
—	—	ASTM A691 1-1/4CR-2	A387 11-2
—	—	ASTM A691 2-1/4CR-2	A387 22-2
合金钢锻件			
NB/T 47008	15CrMo	ASTM A182	F12-2
NB/T 47008	14Cr1Mo	ASTM A182	F11-2
NB/T 47008	12Cr1MoV	—	—
NB/T 47008	12Cr2Mo1	ASTM A182	F22-3

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
NB/T 47008	12Cr5Mo	ASTM A182	F5a ^d
NB/T 47008	10Cr9Mo1VNbN	ASTM A182	F91
合金钢铸件			
JB/T 5263	WC6	ASTM A217	WC6
JB/T 5263	WC9	ASTM A217	WC9
JB/T 5263	C12A	ASTM A217	C12A
GB/T 16253	ZG16Cr5MoG	ASTM A217	C5
不锈钢无缝管			
GB/T 14976	06Cr18Ni11Ti	ASTM A312	TP321
GB/T 14976 GB/T 9948 GB/T 5310	07Cr19Ni11Ti	ASTM A312	TP321H
GB/T 14976	06Cr18Ni11Nb	ASTM A312	TP347
GB/T 14976 GB/T 9948 GB/T 5310	07Cr18Ni11Nb	ASTM A312	TP347H
GB/T 14976	022Cr19Ni11	ASTM A312	TP304L
GB/T 14976	06Cr19Ni10	ASTM A312	TP304
GB/T 14976 GB/T 9948 GB/T 5310	07Cr19Ni10	ASTM A312	TP304H
GB/T 14976 GB/T 9948	022Cr17Ni12Mo2	ASTM A312	TP316L
GB/T 14976	06Cr17Ni12Mo2	ASTM A312	TP316
GB/T 14976	07Cr17Ni12Mo2	ASTM A312	TP316H
GB/T 14976	06Cr23Ni13	ASTM A312	TP309
GB/T 14976	06Cr25Ni20	ASTM A312	TP310
GB/T 5310	08Cr18Ni11NbFG	ASTM A213	347HFG
GB/T 21833	022Cr22Ni5Mo3N	ASTM A790	31803
GB/T 21833	022Cr23Ni5Mo3N	ASTM A790	32205
GB/T 21833	022Cr25Ni7Mo4N	ASTM A790	32750
不锈钢焊管(EFW,无填充金属)			
GB/T 12771 HG/T 20537.3	022Cr19Ni11	ASTM A312	TP304L-W
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr19Ni10	ASTM A312	TP304-W

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
GB/T 12771 HG/T 20537.3	022Cr17Ni12Mo2	ASTM A312	TP316L-W
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr17Ni12Mo2	ASTM A312	TP316-W
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr18Ni11Ti	ASTM A312	TP321-W
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr18Ni11Nb	ASTM A312	TP347-W
GB/T 12771 HG/T 20537.3	06Cr25Ni20	ASTM A312	TP310-W
GB/T 21832(所有部分)	022Cr22Ni5Mo3N	ASTM A790	31803-W
GB/T 21832(所有部分)	022Cr23Ni5Mo3N	ASTM A790	32205-W
GB/T 21832(所有部分)	022Cr25Ni7Mo4N	ASTM A790	32750-W
不锈钢板焊管(EFW)			
HG/T 20537.4 GB/T 32964	022Cr19Ni11	ASTM A358	304L
HG/T 20537.4 GB/T 32964	06Cr19Ni10	ASTM A358	304
HG/T 20537.4 GB/T 32964	022Cr17Ni12Mo2	ASTM A358	316L
HG/T 20537.4 GB/T 32964	06Cr17Ni12Mo2	ASTM A358	316
HG/T 20537.4 GB/T 32964	06Cr18Ni11Ti	ASTM A358	321
HG/T 20537.4 GB/T 32964	06Cr18Ni11Nb	ASTM A358	347
HG/T 20537.4	06Cr25Ni20	ASTM A358	310
不锈钢管件			
GB/T 13401	SF304L	ASTM A403	WP304L
GB/T 13401	SF304	ASTM A403	WP304
GB/T 13401	SF304H	ASTM A403	WP304H
GB/T 13401	SF316L	ASTM A403	WP316L
GB/T 13401	SF316	ASTM A403	WP316
GB/T 13401	SF316H	ASTM A403	WP316H

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
GB/T 13401	SF321	ASTM A403	WP321
GB/T 13401	SF321H	ASTM A403	WP321H
GB/T 13401	SF347	ASTM A403	WP347
GB/T 13401	SF347H	ASTM A403	WP347H
GB/T 13401	SF310	ASTM A403	WP310
GB/T 13401	SF2225	ASTM A815	WP31803
GB/T 13401	SF2205	ASTM A815	WP32205
GB/T 13401	SF2507	ASTM A815	WP32750
不锈钢锻件			
NB/T 47010	022Cr19Ni10	ASTM A182	F304L
NB/T 47010	06Cr19Ni10	ASTM A182	F304
NB/T 47010	07Cr19Ni10	ASTM A182	F304H
NB/T 47010	022Cr17Ni12Mo2	ASTM A182	F316L
NB/T 47010	06Cr17Ni12Mo2	ASTM A182	F316
NB/T 47010	07Cr17Ni12Mo2	ASTM A182	F316H
NB/T 47010	06Cr18Ni11Ti	ASTM A182	F321
NB/T 47010	07Cr18Ni11Ti	ASTM A182	F321H
NB/T 47010	06Cr18Ni11Nb	ASTM A182	F347
NB/T 47010	07Cr18Ni11Nb	ASTM A182	F347H
NB/T 47010	015Cr21Ni26Mo5Cu2	ASTM A182	F904L
NB/T 47010	015Cr20Ni18Mo6CuN	ASTM A182	F62
NB/T 47010	022Cr22Ni5Mo3N(S22253)	ASTM A182	F51
NB/T 47010	022Cr22Ni5Mo3N(S22053)	ASTM A182	F60
NB/T 47010	022Cr25Ni7Mo4N	ASTM A182	F53
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
镍及镍合金管			
GB/T 2882	N7(200)	ASTM B161	UNS N02200
GB/T 2882	N5(201)	ASTM B161	UNS N02201
GB/T 2882	NCu30(400)	ASTM B165	UNS N04400

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
GB/T 2882	NCr15-8(600)	ASTM B167	UNS N06600
GB/T 30059	NS3102(600)	ASTM B167	UNS N06600
—	—	ASTM B444	UNS N06625
GB/T 30059	NS1101(800)	ASTM B407	UNS N08800
GB/T 30059	NS1101(800H)	ASTM B407	UNS N08810
GB/T 30059	NS1402(825)	ASTM B705	UNS N08825
—	—	ASTM B622	UNS N10276
镍及镍合金管件			
—	—	ASTM B366	WPN(200)
—	—	ASTM B366	WPNL(201)
—	—	ASTM B366	WPNC(400)
—	—	ASTM B366	WPNCI(600)
—	—	ASTM B366	WPNCMC(625)
—	—	ASTM B366	WPNIC(800)
—	—	ASTM B366	WPNIC10(800H)
—	—	ASTM B366	WPNIC11(800HT)
—	—	ASTM B366	WPNICMC(825)
—	—	ASTM B366	WPNC276(C276)
镍及镍合金锻件			
NB/T 47028	N7(200)	ASTM B564	UNS N02200
NB/T 47028	N5(201)	ASTM B564	UNS N02201
NB/T 47028	NCu30(400)	ASTM B564	UNS N04400
GB/T 26030	NW6600(600)	ASTM B564	UNS N06600
GB/T 26030	NW6625(625)	ASTM B564	UNS N06625
NB/T 47028	NS1101(800)	ASTM B564	UNS N08800
GB/T 26030	NW8810(800H)	ASTM B564	UNS N08810
GB/T 26030	NW8811(800HT)	ASTM B564	UNS N08811
GB/T 26030	NW8825(825)	ASTM B564	UNS N08825
NB/T 47028	NS3304(C276)	ASTM B564	UNS N10276
钛及钛合金管(无缝管及挤压管)			
GB/T 3624 GB/T 26058	TA1	ASTM B861	1
GB/T 3624 GB/T 26058	TA2	ASTM B861	2H

表 D.1 (续)


我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
GB/T 3624 GB/T 26058	TA3	ASTM B861	3
GB/T 3624 GB/T 26058	TA9	ASTM B861	7H
GB/T 3624 GB/T 26058	TA10	ASTM B861	12
钛及钛合金管(无填充金属 EFW 焊管)			
GB/T 26057	TA1	ASTM B862	1
GB/T 26057	TA2	ASTM B862	2H
GB/T 26057	TA3	ASTM B862	3
GB/T 26057	TA9	ASTM B862	7H
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	WPT2H
GB/T 27684	TA3	ASTM B363	WPT3
GB/T 27684	TA9	ASTM B363	WPT7H
GB/T 27684	TA10	ASTM B363	WPT12
钛及钛合金锻件			
GB/T 25137	F1	ASTM B381	F1
GB/T 25137	F2H	ASTM B381	F2H
GB/T 25137	F3	ASTM B381	F3
GB/T 25137	F7H	ASTM B381	F7H
GB/T 25137	F12	ASTM B381	F12
钛及钛合金铸件			
GB/T 6614	ZTA1	ASTM B367	C2
GB/T 6614	ZTA2	ASTM B367	C3
铝及铝合金管			
GB/T 6893 GB/T 4437.1	1060-O 1060-H14  1060-H112	ASTM B210	1060
GB/T 6893 GB/T 26027 GB/T 4437.1	3003-O 3003-H14 3003-H112	ASTM B210	3003
GB/T 6893 GB/T 26027	5052-O 5052-H14	ASTM B210	5052

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
GB/T 6893 GB/T 26027 GB/T 4437.1	5083-O 5083-H112	ASTM B210	5083
GB/T 6893 GB/T 26027 GB/T 4437.1	6061-T4 6061-T6	ASTM B210	6061
GB/T 6893 GB/T 26027	6063-T4 6063-T6	ASTM B210	6063
铝及铝合金管件			
—	—	ASTM A361	1060-O 1060-H14
—	—	ASTM A361	3003-O
—	—	ASTM A361	5052-O 5052-H34
—	—	ASTM A361	5083-O
—	—	ASTM A361	6061-T4 6061-T6
—	—	ASTM A361	6063-T4 6063-T6
铝及铝合金锻件			
NB/T 47029	1050A-O;H112		
NB/T 47029	3003-O;H112	ASTM B247	3003
NB/T 47029	5083-O;H112	ASTM B247	5083
NB/T 47029	6063-T6	ASTM B247	6063
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	A2-50
GB/T 3098.6	A4-50	ISO 3506	A4-50
GB/T 3098.6	A2-70	ISO 3506	A2-70
GB/T 3098.6	A4-70	ISO 3506	A4-70
专用紧固件			
GB/T 3077	35CrMo	ASTM A193	B7
HG/T 20634	42CrMo(B7)	ASTM A193	B7
HG/T 20634	A320 L7	ASTM A320	L7
GB/T 3077	25Cr2MoV	ASTM A193	B16
GB/T 1220	06Cr19Ni10(304)	ASTM A193	B8
GB/T 1220	06Cr17Ni12Mo2(316)	ASTM A193	B8M
HG/T 20634	A193 B8-2	ASTM A193	B8-2

表 D.1 (续)

我国标准	我国材料牌号	国外标准	国外材料牌号
HG/T 20634	A193 B8M-2	ASTM A193	B8M-2
HG/T 20634	A453-660	ASTM A453	660
<p>^a 均属碳钢,ASTM 材料机械性能(抗拉/屈服)相对略高。</p> <p>^b 均属碳钢,ASTM 材料机械性能(抗拉/屈服)相对较低。</p> <p>^c 化学成分相同,因热处理制度差异,ASTM 材料机械性能(抗拉/屈服)相对较低。</p> <p>^d 化学成分相同,因热处理制度差异,ASTM 材料机械性能(抗拉/屈服)相对略高。</p>			

压力管道人全网首发

参 考 文 献

- [1] GB/T 700 碳素结构钢
 - [2] ASME B31.3:2016 Process Piping
 - [3] ASME Boiler and Pressure Vessel Code II Materials Part D Properties
 - [4] ASME Boiler and Pressure Vessel Code III Rules for Construction of Nuclear Facility Components Division 1-Subsection NH
 - [5] API 579-1/ASME FFS-1:2007 Fitness For Service
 - [6] API RP 571:2011 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in The Refining Industry
 - [7] API RP583:2014 Corrosion under Insulation and Fireproofing
 - [8] API RP 941:2016.Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants
 - [9] API STD 530:2015 Calculation of Heater-tube Thickness in Petroleum Refineries
 - [10] API RP 945:2003.Avoiding Environmental Cracking in Amine Units
 - [11] API RP 939C:2009.Guidelines for Avoiding Sulfidation (Sulfidic) Corrosion Failures in Oil Refineries
 - [12] ISO 17945/NACE MR0103:2015 Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries—Metallic Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments
 - [13] API RP934A:2010 Materials and Fabrication of 2¼Cr-1Mo, 2¼Cr-1Mo-1/4V, 3Cr-1Mo, and 3Cr-1Mo-1/4V Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High-temperature, High-pressure Hydrogen Service
 - [14] API RP934C:2008 Materials and Fabrication of 1¼Cr-1/2Mo Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High-pressure Hydrogen Service Operating at or Below 825 °F (441 °C)
 - [15] API RP934E:2010 Recommended Practice for Materials and Fabrication of 1¼CR-1/2Mo Steel Pressure Vessels for Service Above 825 °F (441 °C)
 - [16] NACE RP0170:2004 Protection of Austenitic Stainless Steels and Other Austenitic Alloys from Polythionic Acid Stress Corrosion Cracking During Shutdown of Refinery Equipment
 - [17] NACE SP0403:2008 Avoiding Caustic Stress Corrosion Cracking of Carbon Steel Refinery Equipment and Piping
 - [18] API RP582:2010 Welding Guidelines for the Chemical, Oil, and Gas Industries
 - [19] HSE RR902:2011 Chloride Stress Corrosion Cracking In Austenitic Stainless Steel
-



中华人民共和国国家标准

GB/T 20801.3—2020
代替 GB/T 20801.3—2006

压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算

Pressure piping code—Industrial piping—Part 3: Design and calculation

2020-11-19 发布

2021-06-01 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	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	5
4 设计条件 and 设计准则	7
5 管道组成件	14
6 管道组成件的 pressure 设计	26
7 管道应力分析	38
8 管道支吊架	46
附录 A (资料性附录) 风荷载 and 地震荷载的计算	52
附录 B (资料性附录) 管道布置	58
附录 C (资料性附录) 常用工业阀门标准 with 国外通用石油化工阀门标准对照	66
附录 D (资料性附录) 低泄漏阀门阀杆密封通用要求	69
附录 E (资料性附录) 计算实例	71
附录 F (资料性附录) 压力面积法补强计算	78
附录 G (规范性附录) 柔性系数 and 应力增大系数	80
附录 H (资料性附录) 管系中阀门开、关时的动载分析	84
附录 I (资料性附录) 静设备管口许用荷载	87
附录 J (规范性附录) 金属波纹膨胀节	90
参考文献	94

前 言

GB/T 20801《压力管道规范 工业管道》分为以下 6 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计和计算；
- 第 4 部分：制作与安装；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护。

本部分为 GB/T 20801 的第 3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 20801.3—2006《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》，与 GB/T 20801.3—2006 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 增加了高温蠕变工况的定义及其使用规定(见 3.2、4.2.7.1、5.2.2.7、6.7.2.4)；
- 修改了剧烈循环工况的定义(见 3.4,2006 年版的 3.4)；
- 增加了强韧型铁素体耐热钢的定义(见 3.12)；
- 增加了用于挥发性有机物系统阀门的密封控制要求(见 5.1.11.8)；
- 修改了球墨铸铁的许用应力准则(见表 1,2006 年版的表 1)；
- 增加了法兰接头最大螺栓安装载荷的确定准则(见 5.2.3.5)；
- 修改了典型管道组成件型式尺寸标准(见表 13,2006 年版的表 14)；
- 增加了表列标准(表 13)以外的管道元件标准适用要求(见 5.3.3)；
- 增加了管法兰承受外载荷能力的评定准则(见 6.4)；
- 修改了管道应力分析的方法及其适用范围(见 7.2,2006 年版的 7.1.1、7.1.2)；
- 修改了持续荷载的应力强度条件(见 7.5.2,2006 年版的 7.3.1)；
- 修改了柔性分析方法(见 7.5.5.7,2006 年版的 7.3.3.6)；
- 修改了支承反力的确定方法(见 7.5.5.8,2006 年版的 7.3.4)；
- 修改了管道支吊架的相应要求(见第 8 章,2006 年版的 7.4)；
- 修改了“风荷载和地震荷载的计算”(见附录 A,2006 年版的附录 D)；
- 增加了“管道布置”(见附录 B)；
- 修改了“国际通用石油化工阀门标准”(见附录 C,2006 年版的附录 A)；
- 增加了“低泄漏阀门阀杆密封通用要求”(见附录 D)；
- 修改了“柔性系数和应力增大系数”(见附录 G,2006 年版的附录 C)；
- 增加了“静设备管口许用荷载”(见附录 I)；
- 修改了“金属波纹膨胀节”(见附录 J,2006 年版的附录 F)。

本部分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。

本部分起草单位：全国化工设备设计技术中心站、中国寰球工程有限公司北京分公司、国家市场监督管理总局特种设备安全监察局、中石油华东设计院有限公司、中石化宁波工程有限公司、上海华谊工程有限公司、华陆工程科技有限责任公司。

本部分主要起草人：应道宴、张世忱、徐锋、黄正林、岳进才、李中央、刘洪福、李永红、康美琴、郭卫

GB/T 20801.3—2020

疆、蔡暖妹。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 20801.3—2006。



压力管道人全网首发

压力管道规范 工业管道

第3部分:设计和计算

1 范围

GB/T 20801的本部分规定了压力管道的设计和计算的基本要求,这些基本要求包括设计条件、设计准则、管道组成件及其压力设计、管道应力分析等方面的规定。

本部分适用于 GB/T 20801.1 范围界定的压力管道的设计和计算。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 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 公称尺寸的定义和选用
- GB/T 1048 管道元件 公称压力的定义和选用
- 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 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 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/T 6170 1 型六角螺母
- GB/T 6175 2 型六角螺母

- 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 8464 铁制和铜制螺纹连接阀门
- 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 液压软管接头 第2部分:24°锥密封端软管接头
- 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 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管
- 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 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 12243 弹簧直接载荷式安全阀
- GB/T 12246 先导式减压阀
- 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 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 13402 大直径钢制管法兰
- GB/T 13927 工业阀门 压力试验
- GB/T 13932 铁制旋启式止回阀
- GB/T 14383 锻制承插焊和螺纹管件
- GB/T 17116(所有部分) 管道支吊架
- 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 铸铁管法兰
- GB/T 17395 无缝钢管尺寸、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 19326 锻制承插焊、螺纹和对焊支管座
- 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 20801.4—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 20801.3—2020

- GB/T 20801.6—2020 压力管道规范 工业管道 第6部分:安全防护
- GB/T 26480 阀门的检验和试验
- GB/T 26481 阀门的逸散性试验
- 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 管道输送系统用感应加热弯管、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/T 32294 锻制承插焊和螺纹活接头
- GB/T 38343 法兰接头安装技术规定
- HG/T 3651 钛制对焊无缝管件
- 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 4732 压力容器分析设计标准
- 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 阀门液体渗透检测
- JB/T 6903—2008 阀门锻钢件超声波检查方法
- JB/T 7747 针形截止阀

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 对夹式止回阀

NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定

SH/T 3419 石油化工钢制异径短节

SH/T 3425 钢制管道用盲板技术标准

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)

API 600 钢制闸阀 法兰连接端和对焊端、螺栓连接阀盖(Steel Gate—Valves Flanged and Butt-welding Ends, Bolted Bonnets)

ASME BPV Code VIII-2 ASME 锅炉及压力容器规范 VIII 第2册 压力容器建造另一规则(ASME BPVC Section VIII—Rules for Construction of Pressure Vessels Division 2 Alternative Rules)

ASME B16.9 工厂制造的轧制对焊管件(Factory Made Wrought Butt-welding Fittings)

ASME B16.11 承插焊和螺纹锻制管件(Forged Fittings, Socket-welding and Threaded)

ASME B36.10M 无缝和焊接钢管(Welded and Seamless Wrought Steel Pipe)

ASME B36.19M 不锈钢钢管(Stainless Steel Pipe)

3 术语和定义

GB/T 20801.1—2020、GB/T 20801.2—2020、GB/T 20801.4—2020、GB/T 20801.5—2020 和 GB/T 20801.6—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

管道系统 piping system

由同一设计条件确定且相互连接的管道。

3.2

高温蠕变工况 elevated temperature fluid service

材料使用温度处于焊接接头高温强度降低系数 W 小于 1(见 4.2.7 及表 5)的工况,相当于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。

3.3

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。

3.4

剧烈循环工况 severe cyclic conditions

发生以下情况之一的工况:

- a) 管道系统中的管子、管道元件或接头中的位移应力范围 S_E [按式(39)计算]超过许用应力范围 S_A [按式(34)或式(35)计算]的 0.8 倍,同时当量循环次数 N [按式(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 (按式(36)计算或通过图 12 查得)接近 1.0]的工况。

3.5

支管连接管件 branch connection fitting

通过对焊连接、承插焊连接、螺纹连接,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。

3.6

额定值 rating value

标准规定的管道组成件压力值。

3.7

管标号 schedule number

管子壁厚系列的数值代号。

3.8

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。

3.9

位移应力 displacement stress

管道组成件中由位移应变引起的应力。

3.10

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。

3.11

最低设计温度 design minimum temperature

预期工况中组件的最低温度,按此温度确定特殊设计要求和材料评定要求。

3.12

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

通过析出强化和细晶化提高蠕变断裂强度的铬钼铁素体钢。

注:通常包括 91、92、911、122 和 23 铬钼铁素体钢。

3.13

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任何能向大气释放有机化合物的符合以下任一条件的有机液体:

- a) 20 °C 时,挥发性有机液体的真实蒸气压大于 0.3 kPa;
- b) 20 °C 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者高于 20%,参见 GB 31570 和 GB 31571。

4 设计条件 and 设计准则

4.1 设计条件

4.1.1 设计压力

4.1.1.1 一般规定

4.1.1.1.1 管道系统中每个管道组成件的设计压力,应不小于在操作中可能遇到的最苛刻的压力和温

度组合工况下的压力,但 4.2.3 规定的情况除外。

4.1.1.1.2 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。

4.1.1.1.3 最苛刻的压力和温度组合工况应考虑压力源(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。

4.1.1.2 设计压力的确定原则

4.1.1.2.1 装有安全泄放装置的管道,其设计压力应不小于安全泄放装置的设定压力(或最大标定爆破压力),但 GB/T 20801.6—2020 中 4.1.5 a)2)和 4.1.5 c)规定的情况除外。

4.1.1.2.2 未设置压力泄放装置或可能发生与压力泄放装置隔离、堵塞的管道,其设计压力应不小于可能因此而产生的最大压力。

4.1.1.2.3 当管道与设备直接连接作为一个压力系统时,管道的设计压力应不小于设备的设计压力。

4.1.1.2.4 离心泵出口管道的设计压力应不小于泵的关闭压力。

4.1.1.2.5 输送制冷剂、液化烃类低沸点介质的管道,其设计压力应不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。

4.1.1.2.6 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应不小于在操作中两侧受压室可能遇到的最苛刻的压差和温度组合工况的压力。

4.1.1.2.7 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 倍或 0.1 MPa 中的较小值,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。

4.1.2 设计温度

4.1.2.1 一般规定

4.1.2.1.1 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的温度确定。

4.1.2.1.2 同一管道中的不同管道组成件的设计温度可以不同。

4.1.2.1.3 确定设计温度时,应考虑流体温度、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。

4.1.2.2 设计温度的确定原则

4.1.2.2.1 对无外隔热层的管道,介质温度低于 65 °C 时,管道组成件的设计温度与介质温度相同,但应考虑阳光辐射或其他可能导致介质温度升高的因素;介质温度高于或等于 65 °C 时,管道组成件的设计温度确定应符合以下规定:

- a) 对于阀门、管子、翻边端部和焊接管件,取介质温度的 95%;
- b) 对于松套法兰以外的法兰,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) 也可以取实测的平均壁温或根据传热计算得到的平均壁温。

4.1.2.2.2 外部隔热管道的设计温度一般取介质温度,但也可以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应考虑加热或冷却对设计温度的影响。

4.1.2.2.3 内部隔热管道的管道组成件,设计温度应按传热计算或试验确定。

4.1.2.3 最低设计温度

管道设计时应考虑最低设计温度对管道设计、材料选用和 7.5.5 应力分析的影响。

4.1.3 荷载条件

4.1.3.1 持久荷载

持久荷载系指作用于管道的荷载,包括:

- 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:
 - 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:输送介质的重量或液压试验介质的重量以及由于环境和操作条件造成的冰、雪的重量。

4.1.3.2 偶然性荷载

偶然性荷载系指短时间作用于管道的荷载,包括:

- a) 风荷载:设计室外管道时,应计算风荷载,其计算方法可参见附录 A;
- b) 地震荷载:设计管道时,应计算由地震引起的水平力,其计算方法可参见附录 A;
- c) 流体排放反力:由于流体的减速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。

4.1.3.3 温度及位移荷载

温度及位移荷载系指管道系统由温度及位移而引起的荷载,包括:

- a) 因约束产生的荷载: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轴向力和力矩;
- 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) 由于膨胀特性不同产生的荷载: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。

4.1.3.4 循环荷载

循环荷载系指管道系统由压力循环、热循环以及其他循环引起的疲劳的荷载。

4.1.3.5 冲击

冲击系指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。

4.1.3.6 振动

振动系指由冲击、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。

4.1.4 厚度附加量

4.1.4.1 腐蚀裕量

管道设计应有足够的腐蚀裕量,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,还应考虑冲蚀和局部腐蚀等因素。

4.1.4.2 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,应考虑增加管壁厚度。

4.1.5 环境影响

4.1.5.1 压力

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

4.1.5.2 温度

当管道系统的设计温度低于 0℃时,应考虑因表面冷凝、冰冻而引起的阀门、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。

4.1.6 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、可燃介质和有毒介质管道、蒸汽管道、低温管道、管道的隔热和静电接地设计要求等参见附录 B。

4.2 设计准则

4.2.1 管道组成件压力-温度设计准则

管道组成件的压力-温度设计应采用 4.2.1.1~4.2.1.4 规定的方法之一。

4.2.1.1 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) 除本部分另有规定外,表 13 中已规定压力-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关标准规定的压力-温度额定值;
- b) 如设计温度高于表 13 中相关标准给出的温度额定值,但不高于 GB/T 20801.2 规定的材料使用温度上限者,设计者可根据相关温度下的材料许用应力折算;
- c) 对于表 13 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;
- d) 表 13 中未列入的管道组成件,其适用的压力-温度值应符合 5.3.3 的规定。

4.2.1.2 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、非标法兰和非标对焊管件等管道组成件应按第 6 章设计；
- b) 对于按壁厚系列规定的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应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) 支管与主管直接连接的压力设计应符合 6.7、6.8 的规定。

4.2.1.3 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 13 中的对焊管件，如未按 4.2.1.2 a) 进行压力设计，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 4.2.1.2 b) 确定其设计温度下的最大允许工作压力；
- b) 其他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。

4.2.1.4 其他方法

除 4.2.1.1、4.2.1.2 和 4.2.1.3 规定的方法外，管道组成件的最大允许工作压力也可以采用对比经验分析、应力分析或实验应力分析方法确定。

4.2.2 管道系统压力-温度设计准则

管道系统的压力-温度设计应符合下列规定：

- a) 除 4.2.3 的规定外，管道的设计压力应不大于该管道系统中所有管道组成件按 4.2.1 确定的设计温度下的最大允许工作压力的最小值；
- b) 不同流体工况的管道连接时，分隔阀门的额定值应按苛刻工况确定。但位于阀门任一侧的管道均应按相应的工况条件进行设计。

4.2.3 压力和温度的允许变动范围

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

4.2.3.2 GC1 级管道压力和温度不得超出设计范围。

4.2.3.3 除符合下列各项条件以及 4.2.3.4 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) 由压力产生的管道名义应力不超过材料在相应温度下的屈服强度；
- c) 总应力符合 7.5.5 的规定；
- d) 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 GB/T 20801.2 规定的材料最低使用温度；
- h) 阀门闭合元件的压力差不超过阀门制造商规定的最大额定压力差。

4.2.3.4 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) 压力超过相应温度下的压力额定值或由压力产生的管道名义应力超过材料许用应力值的幅度和频率应满足下列条件之一：
 - 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(例如压力泄放)时，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 条件下,压力额定值变动幅度不大于 20%,或管道名义应力超过材料许用应力值的幅度不大于 20%。

4.2.4 许用应力

4.2.4.1 金属材料许用应力和螺栓材料许用应力应符合 GB/T 20801.2—2020 表 A.1 和表 A.2 的规定。

注:表中许用应力值未包括材料的纵向焊接接头系数 Φ_w 、焊接接头高温强度降低系数 W 和铸件质量系数 Φ_c (见表 4)。

4.2.4.2 GB/T 20801.2—2020 表 A.1 和表 A.2 以外的金属材料 and 螺栓材料应按表 1 和表 2 规定的准则确定各自的许用应力。

4.2.4.3 拉伸许用应力按 4.2.4.1 和 4.2.4.2 取值。

4.2.4.4 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。

4.2.4.5 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%。

4.2.5 纵向焊接接头系数 Φ_w

管子和对焊管件的纵向焊接接头系数 Φ_w 应按表 3 规定的准则或 GB/T 20801.2—2020 表 A.3 确定。

表 1 金属材料许用应力准则

材 料	许用应力应不大于下列各值中的最小值				
	抗拉强度 下限值 R_m /MPa	屈服强度 下限值 $R_{eL}(R_{p0.2})$ /MPa	设计温度下 屈服强度 $R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)$ /MPa	持久强度平均值 或持久强度最低值 R_D^t 或 R_{Dmin}^t /MPa	蠕变极限 平均值 R_n^t /MPa
灰铸铁	$\frac{R_m}{10}$	—	—	—	—
可锻铸铁	$\frac{R_m}{5}$	—	—	—	—
球墨铸铁,碳钢、合金钢、铁素体不锈钢、延伸率小于 35%的奥氏体不锈钢、双相不锈钢、钛和钛合金、铝和铝合金	$\frac{R_m}{3}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)}{1.5}$	$\frac{R_D^t}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$	$\frac{R_n^t}{1.0}$
延伸率大于或等于 35%的奥氏体不锈钢和镍基合金	$\frac{R_m}{3}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$0.90R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)^a$	$\frac{R_D^t}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$	$\frac{R_n^t}{1.0}$

^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 2 螺栓材料许用应力准则

材 料	许用应力应不大于下列各值中的最小值				
	抗拉强度 下限值 R_m /MPa	屈服强度 下限值 $R_{eL}(R_{p0.2})$ /MPa	设计温度下 屈服强度 $R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)$ /MPa	持久强度平均值或 持久强度最低值 R_D^t 或 R_{Dmin}^t /MPa	蠕变极限 平均值 R_n^t /MPa
非热处理或应变强化的螺栓材料	$\frac{R_m}{4}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)}{1.5}$	$\frac{R_D^t}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$	$\frac{R_n^t}{1.0}$

表 2 (续)

材 料	许用应力应不大于下列各值中的最小值				
	抗拉强度 下限值 R_m /MPa	屈服强度 下限值 $R_{eL}(R_{p0.2})$ /MPa	设计温度下 屈服强度 $R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)$ /MPa	持久强度平均值或 持久强度最低值 R_D^t 或 R_{Dmin}^t /MPa	蠕变极限 平均值 R_n^t /MPa
热处理或应变 强化的螺栓材料	$\frac{R_m}{5}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{4}$	$\frac{R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)}{1.5}$	$\frac{R_D^t}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$	$\frac{R_n^t}{1.0}$
<p>注 1: 对于热处理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,取非热处理或应变强化(即退火状态)螺栓材料的许用应力。</p> <p>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,而螺栓安装的目标应力可达 50%~70% 螺栓材料的屈服强度。</p>					

表 3 纵向焊接接头系数 Φ_w

序号	焊接型式	焊缝类型	检 查	Φ_w	
1	连续炉焊 ^a	直缝	按材料标准规定	0.60	
2	电阻焊(ERW) ^a	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 (带或不带填充 金属)	直缝或螺旋缝	按材料标准或本部分规定不作 RT	0.80
				局部(10%)RT	0.90
				100%RT	1.00
		双面对接焊 (带或不带填充 金属)	直缝或螺旋缝 (除序号 4 外)	按材料标准或本部分规定不作 RT	0.85
				局部(10%)RT	0.90
				100%RT	1.00
4	GB/T 9711 电熔焊 (EFW), 双面对接焊	直缝(一条或两条) 或螺旋缝	按 GB/T 9711 规定	0.95	
			附加 100%RT	1.00	
^a 不得通过附加无损检测来提高电阻焊(ERW)的纵向焊接接头系数。					

表 4 铸件质量系数 Φ_c 及附加无损检测要求

序号	附加无损检测要求	铸件质量系数 Φ_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 级的要求	0.85
2	铸件表面按 JB/T 6902—2008(PT)中的 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)中的 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

4.2.6 铸件质量系数 Φ_c

4.2.6.1 铸铁件(灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁)的铸件质量系数 Φ_c 取 1.0。

4.2.6.2 除铸铁外,GB/T 20801.2—2020 表 A.1 中金属静态铸件应按 JB/T 7927 进行外观检查,且不低于 B 级要求,铸件质量系数取 0.8。

4.2.6.3 对需要进行附加无损检测的铸件可取表 4 中的铸件质量系数,但铸件质量系数 Φ_c 的改变并不影响管道组成件的压力-温度额定值。

4.2.7 焊接接头高温强度降低系数 W

4.2.7.1 使用表 5 所列高温蠕变工况的铬钼合金钢、强韧型铁素体耐热钢、300 系奥氏体不锈钢、800 和 600 镍基合金焊接接头的长期工作强度可能低于母材。

按第 6 章设计承受内压的焊接直管和弯管、弯头、斜接弯头、异径管等对焊管件壁厚时,许用应力与纵向焊接接头系数的乘积 $S\Phi_w$ 还应乘以焊接接头高温强度降低系数 W ; 计算由持续性荷载产生的轴向应力时,环焊缝的许用应力 S_h 也应乘以 W 。

4.2.7.2 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 :

- 评价临时荷载(如风荷载、地震荷载)时;
- 按 4.2.3 评价的压力和温度允许变动范围时;
- 按 a) 或 b) 条件的额定压力或许用应力;
- 按 7.5.5.3 计算柔性分析的许用应力范围 S_A 时。

4.2.7.3 对于表 5 以外的材料,除 4.2.7.4 以外,温度不高于 510 °C 时, W 取 1.0; 温度为 815 °C 时, W 取 0.5, 中间数值采用线性内插法计算; 温度高于 815 °C 时, 由设计者确定 W 。

4.2.7.4 允许通过焊接接头蠕变断裂试验确定大于表 5 或 4.2.7.3 的 W 值, 但应符合下列规定:

- 应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;
- 持久断裂时间不低于 1 000 h。

表 5 焊接接头高温强度降低系数 W^a

材 料	温度/°C														
	427	454	482	510	538	566	593	621	649	677	704	732	760	788	816
CrMo 钢 ^{a-c}	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	—	—	—	—	—	—
CSEF(N+T) ^{c-e}	—	—	—	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	—	—	—	—	—	—
CSEF ^{c,d} (PWHT)	—	—	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—
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 ^f	—	—	—	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

^a 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亚临界焊后热处理(PWHT)状态。

^b 直缝及螺旋缝电熔焊结构不准用于 454 °C 以上的 C-0.5Mo 钢。

^c 焊缝填充金属的碳含量应 $\geq 0.05\%$ 。埋弧焊焊剂的碱度应 ≥ 1.0 。

^d CSEF(强韧型铁素体耐热钢)钢包括:91、92、911、122 和 23。

^e N+T: 焊后正火+回火。

^f 无填充金属的自熔焊。焊后应进行固溶退火处理。

^g 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 GB/T 20801.2 的相应规定。

5 管道组成件

5.1 管道组成件的选用

5.1.1 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。

5.1.2 管子和对焊管件

5.1.2.1 按 GB/T 20801.2—2020 表 A.1 和表 13 选用的管子和对焊管件,其壁厚计算应符合本部分第 6 章的相关规定。

5.1.2.2 按 GB/T 20801.2—2020 表 A.1 和表 13 选用的管子,还应考虑设计条件和各种可能出现的操作工况。

5.1.2.3 管子和对焊管件材料的使用限制应符合 GB/T 20801.2 的相关规定。

5.1.2.4 用于 GC1 级管道和剧烈循环工况的对焊管件应符合下列规定:

- a) 符合 GB/T 12459—2017 附录 B 的最小壁厚要求;
- b) 采用带折边异径管,且半锥角不大于 30° 。

5.1.2.5 采用 GB/T 9711 中 L290(X42)~L555(X80)的管道系统,对焊管件应符合 GB/T 29168.2 的相关要求。

5.1.3 弯管

5.1.3.1 弯管的制作应符合 GB/T 20801.4 的相关规定。

5.1.3.2 弯管最小壁厚应符合 6.2 的规定。

5.1.3.3 带褶皱和波浪的弯管(见 GB/T 20801.4—2020 的图 1)不得用于 GC1 级管道和剧烈循环工况。

5.1.3.4 采用 GB/T 9711 中 L290(X42)~L555(X80)的管道系统,弯管应符合 GB/T 29168.1 的相关要求。

5.1.4 斜接弯头(虾米弯)

5.1.4.1 斜接弯头的使用应符合以下规定:

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

5.1.4.2 除满足 5.1.4.1 的规定外,非标准斜接弯头应按第 6 章进行压力设计,其焊接和制作还应符合 GB/T 20801.4 的相关规定。

5.1.5 短半径弯头

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

弯头中心线所在平面的内弧侧壁厚不小于管件公称壁厚的 1.25 倍者,其最大允许工作压力与 4.2.1.3 a) 确定的最大允许工作压力相同。

内弧侧壁厚小于管件公称壁厚的 1.25 倍者,其最大允许工作压力应不大于按 4.2.1.3 a) 确定的最大允许工作压力的 80%。

5.1.6 翻边接头

5.1.6.1 翻边接头的选用应符合表 13 所列相应标准的规定。

5.1.6.2 现场制作的焊制翻边接头应符合下列规定：

- 应采用图 1 规定的焊制翻边接头的基本型式,但对于剧烈循环工况,则应采用图 1 d)、图 1 e) 所示的圆角结构；
- 外径应符合 GB/T 12459 的相关要求,翻边接头的密封面应按相应管法兰密封面的要求加工；
- 厚度应不小于与其接管子的公称壁厚；
- 材料的许用应力应不小于与其连接的管子在 GB/T 20801.2—2020 表 A.1 中规定的许用应力；
- 制作和检验应符合 GB/T 20801.4 和 GB/T 20801.5 的有关规定。

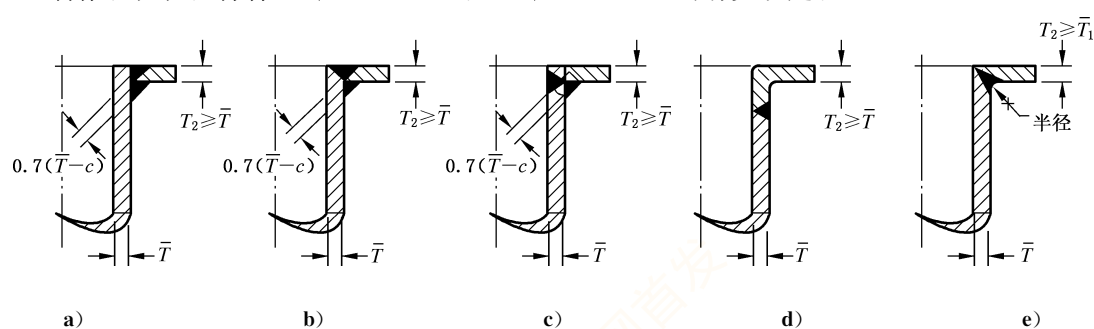


图 1 焊制翻边接头的基本型式

5.1.6.3 现场制作的扩口翻边接头应符合以下规定：

- 不得用于剧烈循环工况；
- 扩口翻边用管子应符合 GB/T 20801.2—2020 表 A.1 相应材料标准以及相应的扩口翻边加工工艺要求；
- 翻边接头的密封面外径应符合 GB/T 12459 的相关要求,密封面应按相应管法兰密封面的要求加工；
- 内圆角半径应不大于 3 mm；
- 最小厚度应不小于管子最小壁厚的 95%；
- 压力设计应符合 4.2.1.2 的规定。

5.1.6.4 现场制作的扩口翻边接头用于 GC1 级管道时,除符合 5.1.6.3 的规定以外,还应满足以下要求：

- 公称直径应不大于 DN100,且扩口翻边前管子壁厚应大于 Sch10；
- 最高允许工作压力应不大于 PN20 法兰规定的相应额定值；
- 工作温度应不高于 200 ℃。

5.1.6.5 满足以下任一要求的翻边接头可用于剧烈循环工况下：

- 符合 GB/T 12459 的翻边接头；
- 在管端整体锻制翻边接头；
- 符合 5.1.6.2 并且采用图 1 d)、图 1 e)所示的圆角结构。

5.1.7 支管连接及其管件

5.1.7.1 支管连接包括支管直接与主管的焊接连接和通过支管连接管件与主管的连接两种形式,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 5.1.7.2 的规定。

支管直接与主管的焊接连接应符合 5.1.7.3 的规定。

5.1.7.2 用于 GC1 级管道的支管连接管件应符合下列规定：

- a) GC1 级管道用支管连接管件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应不大于 DN80；
- c) 螺纹管件的选用应符合 5.2.5 的有关规定。

5.1.7.3 支管直接与主管的焊接连接应符合下列规定：

- a) 应按 6.7、6.8 的规定进行压力设计，焊接应符合 5.2.2.1 的规定。
- b) 用于剧烈循环工况时，除应符合 5.1.7.3 a) 的规定外，还应采用 GB/T 20801.4—2020 图 10 b)、图 10 d)、图 10 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、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，支管应具有足够的柔性，以补偿主管的热膨胀及其他位移(参见 7.5.5)。

5.1.8 法兰

5.1.8.1 法兰一般应按表 13 选取，并按相应标准规定的压力-温度额定值使用。

5.1.8.2 当选用表 13 以外的法兰时，应符合 4.2.1.2~4.2.1.4 的规定。

5.1.8.3 平焊法兰和松套法兰的附加要求：

- a) 平焊法兰不得用于温度频繁变化的工况，特别是法兰未作隔热的场合；
- b) 带颈平焊法兰与翻边短节配合的使用范围应符合表 6 的规定；

表 6 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
Class 150	DN300
Class 300	DN200

- c) 松套法兰或带颈平焊法兰与翻边接头(包括现场制作的焊制翻边、扩口翻边等)配合使用时，应考虑法兰内孔与翻边转角的配合。

5.1.8.4 承插焊法兰的焊接应符合 5.2.2.3 的规定。

5.1.8.5 螺纹法兰(采用锥管螺纹连接的法兰)附加要求：

- a) 螺纹法兰的连接应符合 5.2.5 规定；
- b) 选用 DN65、DN125 和 DN150 螺纹法兰时，其钢管外径还应符合表 7 的规定。

表 7 螺纹法兰的钢管外径

公称尺寸	钢管外径/mm	
	GB/T 7306(55°锥管螺纹)	GB/T 12716(60°锥管螺纹)
DN65	76.1	73
DN125	139.7	141.3
DN150	165.1	168.3

5.1.8.6 法兰型式的选用应考虑法兰的刚度对法兰接头密封性能的影响。

- 5.1.8.7 剧烈循环工况下,应选用整体法兰或带颈对焊法兰。
- 5.1.8.8 确定法兰密封面型式及表面粗糙度时,应考虑流体性质和垫片性能。
- 5.1.8.9 有毒、可燃介质管道不得采用板式平焊法兰。
- 5.1.8.10 胀接法兰和螺纹法兰(不包括高压用螺纹法兰-透镜垫密封型式)不得用于 GC1 级管道。

5.1.9 垫片

- 5.1.9.1 垫片的选用应考虑流体性质、工作温度、压力以及法兰密封面等因素。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。
- 5.1.9.2 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。
- 5.1.9.3 选用缠绕式垫片、金属包覆垫等非金属垫或金属环垫的公称压力小于或等于 PN20 的标准管法兰,应采用带颈对焊等刚性较大的结构型式。
- 5.1.9.4 可燃材料(如橡胶)制成的垫片,不得用于输送强氧化性介质的管道。

5.1.10 紧固件

- 5.1.10.1 紧固件包括六角头螺栓、等长双头螺柱、全螺纹螺柱、螺母,紧固件强度按表 8 分类。

表 8 紧固件强度分类

螺栓材料 (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。

5.2.3.5 所列工况,应采用中强度或高强度紧固件。

- 5.1.10.2 紧固件应符合预紧及操作条件下垫片的密封要求。
- 5.1.10.3 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。螺栓的工作温度宜不高于其蠕变阈值温度。
- 5.1.10.4 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。但以下情况除外:
- 两侧法兰的密封面均为全平面且采用全平面垫片的场合;
 - 规定了螺栓拧紧力矩和拧紧程序的场合。
- 5.1.10.5 低强度紧固件不得用于剧烈循环工况下的法兰接头。

5.1.11 阀门

- 5.1.11.1 应根据管道的设计温度、设计压力、介质性质和阀门用途来选用阀门,并应考虑外部荷载对阀门操作性能和密封性能的影响。
- 5.1.11.2 阀门应按表 13 选取,也可参见附录 C 选取,并按相应标准规定的压力-温度额定值使用。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。

5.1.11.3 阀盖与阀体的连接应满足以下要求：

- a) 采用螺纹阀盖的阀门应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 或采用 U 形螺栓连接的阀门，仅适用于 GC3 级管道。

5.1.11.4 对于内部可能滞留流体介质的阀门(如双密封阀座阀门)，应采取适当的安全措施防止因温度升高导致的压力增加。

5.1.11.5 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形式。

5.1.11.6 对于 GC1 级管道和剧烈循环工况，其阀门的选用应符合以下规定：

- a) 除本部分另有规定外，宜选用重载(GB/T 12234、GB/T 12235 或 API 600)阀门。
- b) 阀帽或阀盖的密封结构应采用下列型式之一：
 - 1) 法兰连接，螺栓数量大于或等于 4，且法兰接头及其螺栓上紧应符合 5.2.3.5 的相应规定；
 - 2) 压力密封阀盖；
 - 3) 全焊透焊接结构。
- c) 不得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 Φ_c 应大于或等于 0.90。

5.1.11.7 采用非金属密封材料内件，且用于可燃流体的阀门，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。

5.1.11.8 用于 GC1 级(毒性、易燃性)以及挥发性有机物(VOC)的阀门应采用低逸散结构，控制阀杆填料处的泄漏，且符合 ISO 15848-1(型式试验)和 GB/T 26481(阀门检验)的相应要求，参见附录 D 表 D.3 所列要求。

5.1.11.9 对于 5.1.11.1~5.1.11.8 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。

5.2 管道组成件连接形式的选用

5.2.1 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，并应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。

5.2.2 焊接接头

5.2.2.1 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 GB/T 20801.4 的有关规定，其检查及检验应符合 GB/T 20801.5 的有关规定。

5.2.2.2 衬环和熔化性嵌条应符合以下规定：

- a) 对于腐蚀、振动或剧烈循环工况，焊接时应尽量避免使用衬环；如需采用衬环，应在焊后去除衬环并打磨接头内表面；在不可能去除衬环时，应考虑使用不带衬环的焊接，或使用可熔化性嵌条替代衬环，或焊后能去除的非金属衬环。
- b) 对于剧烈循环工况或 GC1 级管道，不应使用不连续的开口衬环。

5.2.2.3 采用承插焊的焊接接头应符合以下规定：

- a) 一般用于公称直径小于或等于 DN50 的管道。
- b) 承口尺寸应符合相应法兰或管件标准的规定，承插焊焊缝尺寸应不小于 GB/T 20801.4—2020 图 8、图 9 所示尺寸。
- c) 以下场合不得采用承插焊焊接：
 - 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,其承口尺寸应符合图 2 a)以及表 9 的规定。
- e) 开设旁通管和排放孔的管道组成件的壁厚如不能满足表 9 的尺寸要求或需要开孔补强时,应增加凸缘[如图 2 b)所示],凸缘的尺寸应符合表 10 的规定。

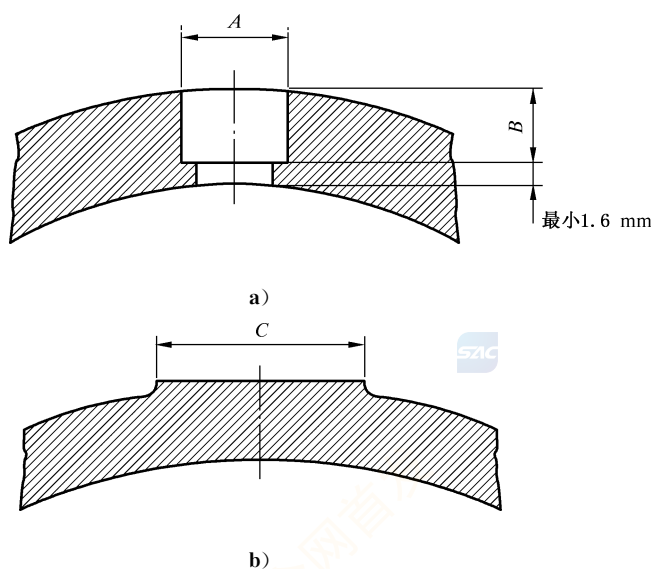


图 2 承口和凸缘

表 9 承口尺寸

连接尺寸		DN10	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50
最小直径 A/mm	国际通用系列钢管	17.7	21.8	27.4	34.2	42.9	48.8	61.1
	国内沿用系列钢管	14.5	18.5	25.5	32.5	38.5	45.5	57.8
最小深度 B/mm		5	5	6.5	6.5	6.5	6.5	8

表 10 凸缘尺寸

连接尺寸	DN10	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50
最小直径 C/mm	32	38	44.5	54	63.5	70	86

5.2.2.4 角焊缝应符合以下规定：

- a) 符合 GB/T 20801.4—2020 图 7、图 8 和图 9 的角焊缝,可用于连接承插焊元件和平焊法兰的主要焊缝；
- b) 角焊缝也可用于连接补强元件和结构附件,以增加强度或降低应力集中。

5.2.2.5 密封焊焊缝仅用于防止螺纹连接接头的泄漏,而不应考虑其对连接强度的影响。

5.2.2.6 用于剧烈循环工况的焊接接头除应符合 5.2.2.1~5.2.2.4 的要求外,其焊接接头的检查还应符

合 GB/T 20801.5—2020 第 6 章的相关要求。

5.2.2.7 用于高温蠕变工况的焊接接头除应符合 4.2.7、5.2.2.1~5.2.2.4 的要求外,其焊接接头的检查还应符合 GB/T 20801.5—2020 第 6 章的相关要求。

5.2.3 法兰连接

5.2.3.1 法兰连接的选用应根据设计条件、荷载、流体特性、泄漏率等因素来考虑,同时还应综合考虑法兰、垫片和紧固件的选用和配合。

5.2.3.2 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,且一般配以全平面型式垫片。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。

5.2.3.3 配对的两个法兰如具有不同的压力额定值,该连接接头的最高无冲击工作压力应按较低额定值确定,并应控制安装时的螺栓扭矩,防止低额定值法兰过载。

5.2.3.4 高温或承受较大温度梯度的法兰接头,除应符合 5.1.8~5.1.10 的要求外,还应考虑法兰的高温变形、温差和螺栓材料的应力松弛以及垫片蠕变。

5.2.3.5 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,应满足下列各项要求:

- a) 采用表 8 所示的高强度(或中强度)紧固件。
- b) 法兰接头的螺栓安装载荷应能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。采用高强度紧固件时,螺栓安装目标应力一般可取 350 MPa。
 - 2) 考虑螺栓材料的应力松弛、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(包括试验)压力及外加载荷(包括温度及温差)而导致垫片密封应力的降低。
 - 5) 运行条件下维持足够的垫片密封应力,满足设计要求的连接紧密性。
- 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 GB/T 20801.4—2020 中 10.2 的相关规定。

5.2.4 胀接接头

5.2.4.1 胀接接头不得用于剧烈循环工况或 GC1 级管道。

5.2.4.2 应采取适当措施以防止胀接接头的松动、分离。

5.2.4.3 用于输送有毒介质的胀接接头,应采取安全防护措施。

5.2.4.4 对承受温度循环、振动、不均匀(或局部)膨胀或收缩以及外部机械荷载的管道,当采用胀接接头连接时,应保证胀接接头的密封性能,并采取安全防护措施。

5.2.5 螺纹密封的管螺纹连接

5.2.5.1 螺纹密封的管螺纹型式应符合表 11 的规定。

表 11 螺纹牙型角

外螺纹	内螺纹	牙型角	标准
锥形 NPT	锥形 NPT	60°	GB/T 12716
锥形 R	锥形 RC	55°	GB/T 7306.2
	平行 RP	55°	GB/T 7306.1

5.2.5.2 锥管螺纹(NPT 和 R/RC)应符合以下规定:

- 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;
- 除温度计套管外,急性毒性类别 1 和类别 2 介质的管道和剧烈循环工况管道不应采用螺纹连接;
- 采用螺纹接头的管道系统,应考虑减小螺纹接头上的应力,特别是由热膨胀和阀门(尤其是端部阀门)操作产生的应力,以防止螺纹接头松动;
- 除 GC3 级管道外,不得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);
- 圆锥外螺纹元件的公称直径和最小壁厚应符合表 12 的规定;
- 圆锥内螺纹元件与外螺纹元件应具有同等的强度和韧性,且符合流体工况的要求;
- 未承受外部弯矩作用的螺纹元件(如温度计套管),可用于剧烈循环工况。

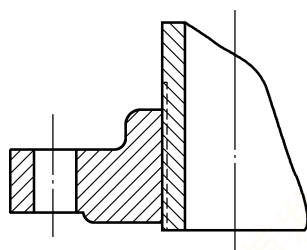


图 3 管端伸出螺纹法兰作为密封面的结构

表 12 圆锥外螺纹元件的最小壁厚

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~DN150	Sch40
	不锈钢	≤DN150	Sch40s
GC3	碳钢、合金钢、不锈钢	≤DN300	按 6.1 规定

用于输送可燃、有毒介质且大于 DN50 的螺纹连接接头,应采取安全防护措施。

5.2.5.3 锥/平管螺纹(R/RP)应符合以下规定:

- 圆锥外螺纹与圆柱内螺纹的配合(R/RP),仅适用于 GC3 级管道;
- 用于水、低压蒸汽和空气系统管道时,可采用密封剂或密封带;
- 还应符合 5.2.5.1 的规定。

5.2.6 直螺纹连接

直螺纹连接接头可采用图 4 所示的靠一对接触表面密封(非螺纹密封)结构,且仅适用于 GC3 级管道。

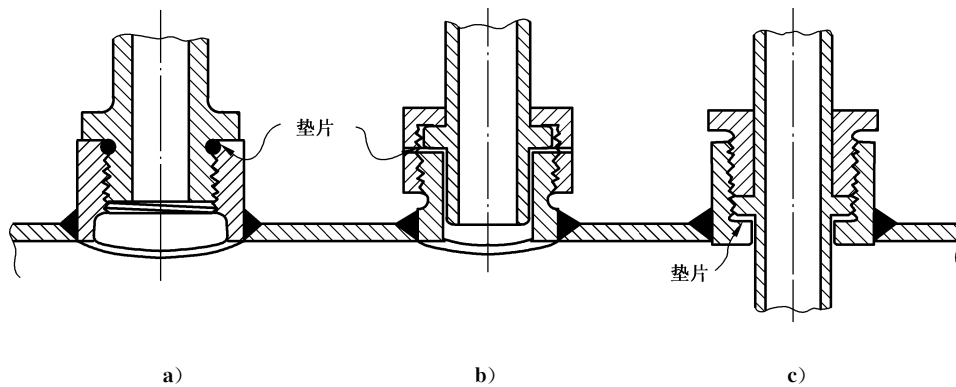


图 4 典型的非螺纹密封直螺纹接头

5.2.7 扩口、非扩口压合型管件的连接

5.2.7.1 扩口、非扩口压合型管件(如图 5 所示)连接型式的选用,应考虑装拆、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。

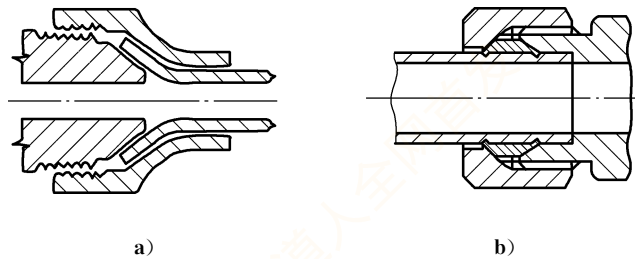


图 5 扩口、非扩口压合型管件连接结构

5.2.7.2 表 13 所列扩口、非扩口压合型管件的连接应满足以下要求:

- a) 管件的最大及最小壁厚应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) 扩口压合型管件仅适用于 GC3 级管道,当用于剧烈循环工况选用非扩口压合型管件时,应采取安全防护措施。

5.2.7.3 表 13 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 5.2.7.2 的规定使用,且应符合 5.3.3 的相关规定。

5.2.8 填函接头

填函接头应符合以下规定:

- 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,仅适用于 GC3 级管道;
- b) 使用温度应不高于 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。

5.2.9 钎焊

5.2.9.1 软钎焊接头应符合以下规定:

- 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,应考虑软钎料熔点的适应性。

5.2.9.2 硬钎焊和钎接焊接头应符合以下规定：

- a) 用于可燃、有毒或对人体有害的流体工况时，应采取安全防护措施；
- b) 不得用于剧烈循环工况；
- c) 在可能遇到明火的场合，应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。

5.2.10 特殊管接头

5.2.10.1 特殊管接头是指 5.2.1~5.2.9 不包括的管接头形式，如图 6 所示的承口式（钟形）、填函式等特殊管接头、机械连接接头等。

5.2.10.2 表 13 所列特殊管接头不得用于 GC1 级管道。

5.2.10.3 表 13 中未列入的特殊管接头应符合 5.3.3 的规定。

5.2.10.4 连接结构应具有足够的强度，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。

5.2.10.5 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。

5.2.10.6 机械连接接头、承口-填料式连接接头不得用于剧烈循环工况。

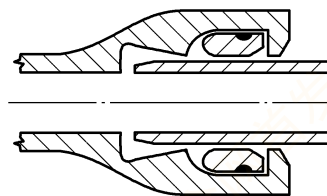


图 6 承口式管件连接结构示意图

5.3 管道组成件的型式和尺寸标准

5.3.1 表 13 给出了符合 GB/T 20801 要求的管道组成件的型式和尺寸常用（典型）标准，表 14 给出了符合 GB/T 20801 要求的管道组成件的常用（典型）基础标准及检验、试验标准。

5.3.2 表 13 所列标准规定的压力-温度额定值、公称压力、壁厚等级均符合 4.2.1 的规定，可作为管道组成件的压力-温度设计准则。

5.3.3 表 13 中未列入的管道组成件标准的选用应符合下列和本部分的其他相应要求：

- a) 非表 13 所列管道组成件标准包括下列两类：
 - 1) 其他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) 非表 13 所列其他管道组成件国家标准与行业标准的选用前，设计或业主应确认该标准的设计、材料、制造、检验和质量保证符合本部分的相应要求。
- c) 由制造商标准或工程设计标准规定的其他管道组成件标准选用，应符合下列各项要求：
 - 1) 设计。采用本部分第 6 章或应力分析的方法进行压力设计，或采用与表 13 所列标准对比的方法来确定最大允许工作压力-温度值，对比时应注意型式、壁厚及通径的可比性。
 - 2) 材料。采用本部分适用的材料，应关注材料在设计温度上限或下限时以及苛刻工况下对特定管道组成件的适用性和可能出现的失效风险。
 - 3) 制造。管道元件的制造工艺应符合本部分的要求以及类似表 13 所列管道组成件标准的要求。
 - 4) 检验和质量保证。管道元件的检验和质量保证应符合本部分的要求以及类似表 13 所列

管道组成件标准的要求。

- 5) 应经设计或业主审核和同意。

表 13 典型管道组成件型式尺寸标准

分类		标准号	标准名称
钢管		HG/T 20553	化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列
		GB/T 17395	无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差
		ASME B36.10M	Welded and Seamless Wrought Steel Pipe
		ASME B36.19M	Stainless Steel Pipe
管件	对焊	GB/T 12459	钢制对焊管件
		ASME B16.9	Factory Made Wrought Butt-welding Fittings
		HG/T 3651	钛制对焊无缝管件
	承插和螺纹	GB/T 14383	锻制承插焊和螺纹管件
		GB/T 32294	锻制承插焊和螺纹活接头
		ASME B16.11	Forged Fittings, Socket-welding and Threaded
		SH/T 3419	石油化工钢制异径短节
		GB/T 19326	锻制承插焊、螺纹和对焊支管座
	法兰	GB/T 17185	钢制法兰管件
	其他	HG/T 21547	管道用钢制插板、垫环、8字盲板系列
		SH/T 3425	钢制管道用盲板技术标准
		GB/T 29168.1~ 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
		GB/T 9065.1、GB/T 9065.2、 GB/T 9065.5	液压软管接头
		GB/T 3733~GB/T 3760 GB/T 3763~GB/T 3765	卡套式管接头
		GB/T 5625~GB/T 5653	扩口式管接头
	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)	
JB/T 2768、JB/T 2769、JB/T 2772 JB/T 2776、JB/T 2778		阀门零部件 高压管子、管件和阀门端部尺寸	

表 13 (续)

分类	标准号	标准名称	
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	
	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	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	
支吊架	GB/T 17116	管道支吊架	
消防软管连接件	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	铸铁管法兰	
阀门	通用标准	GB/T 12224	钢制阀门 一般要求
	闸阀	GB/T 12234	石油、天然气工业用螺柱连接阀盖的钢制闸阀
		GB/T 12232	通用阀门 法兰连接铁制闸阀
	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
		JB/T 8937	对夹式止回阀
		GB/T 13932	铁制旋启式止回阀
	旋塞阀	GB/T 12240	铁制旋塞阀
	球阀	GB/T 12237	石油、石化及相关工业用的钢制球阀
		GB/T 8464	铁制和铜制螺纹连接阀门
	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	

表 14 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 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 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 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 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 26480	阀门的检验和试验
JB/T 6899	阀门的耐火试验

6 管道组成件的压力设计

6.1 直管

6.1.1 符号

- A ——与几何参数有关的外压(或真空)设计系数;
- A_s ——加强圈横截面积,单位为平方毫米(mm^2);
- B ——与材料有关的外压(或真空)设计系数,单位为兆帕(MPa);
- 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 7,单位为毫米(mm);
- C_1 ——材料厚度负偏差,按材料标准规定,见图 7,单位为毫米(mm);
- C_2 ——腐蚀、冲蚀裕量,见图 7,单位为毫米(mm);
- C_3 ——机械加工深度,见图 7,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 0.5mm;
- D ——管外径,取管子外径的名义值,或由实测所得,单位为毫米(mm);
- d ——管内径,用于压力计算时,应是材料标准允许的最大值,单位为毫米(mm);
- E ——设计温度下材料的弹性模量,由 GB/T 20801.2—2020 的表 B.3 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);
- 1) 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;
 - 2) 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,取直管包括弯头、弯管或斜接弯头的轴线在内的两相邻支撑线之间的距离;

3) 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—2011 图 4-1);

- 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 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1 查取,单位为兆帕(MPa);
- T ——最小厚度,为实测所得或取名义厚度减去材料厚度负偏差 C_1 ,见图 7,单位为毫米(mm);
- \bar{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 7,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 7,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 值替代),见图 7,单位为毫米(mm);
- Y ——计算系数,当 $t < D/6$ 时,按表 15 查取;当 $t \geq D/6$ 时, $Y = \frac{d+2C}{D+d+2C}$;
- W ——焊接接头高温强度降低系数,见 4.2.7;
- Δ ——厚度圆整值,见图 7,单位为毫米(mm);
- $\Phi(\Phi_w, \Phi_C)$ ——焊件的纵向焊接接头系数或铸件质量系数,按 GB/T 20801.2—2020 中表 A.3、表 A.4 或本部分表 3、表 4 查取。

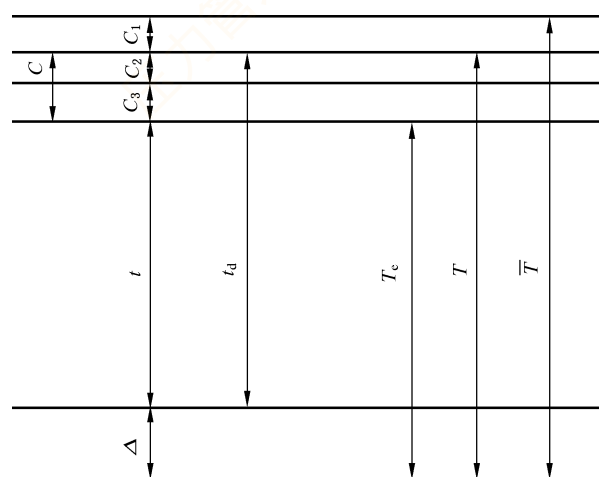


图 7 厚度、附加量和负偏差及其相互关系

表 15 $T < D/6$ 时的 Y 值

材料	温度/℃							
	≤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

表 15 (续)

材料	温度/ °C							
	≤482	510	538	566	593	621	649	≥677
镍基合金	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
其他延性材料	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
铸铁	0.0	—	—	—	—	—	—	—

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,计算时还应考虑失效机理、疲劳影响和温差应力等因素。

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) 应根据 D 、 L 、 T_e 值以及所用材料,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 $D/T_e \geq 65$ 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 °C 时,可按式(2)计算许用外压 $[P]$ ：

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

- c) 加强圈的设计和设置应符合 GB/T 150.3 的规定。

6.2 弯管或弯头

6.2.1 符号

- 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)；
 α ——弯管或弯头的转角,单位为度(°)。

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)应按式(3)确定：

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

- a) 当计算弯管或弯头的内侧厚度时：

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

b) 当计算弯管或弯头的外侧厚度时:

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

c) 当计算弯管中心线侧壁处厚度时:

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

d) 弯管在弯制成型后的端部最小厚度应不小于直管设计厚度 t_d 。

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 6.1.3 的规定进行,其计算长度 L 取直管上包括沿弯管或弯头轴线在内的两相邻支撑线之间的距离。

6.3 斜接弯头

6.3.1 符号

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 8),即斜接弯头弯曲中心到斜接管中心线的垂直距离,其值应

不小于 $\frac{A}{\tan\theta} + \frac{D}{2}$, A 值按表 16 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);

α ——斜接弯头的变方向角(见图 8), $\alpha = 2\theta$, 单位为度($^\circ$);

θ ——斜接处的切割角(见图 8),单位为度($^\circ$)。

表 16 系数 A 值

单位为毫米

T_e	A
≤ 13	25
$13 < T_e < 22$	$2T_e$
≥ 22	$[2T_e/3] + 30$

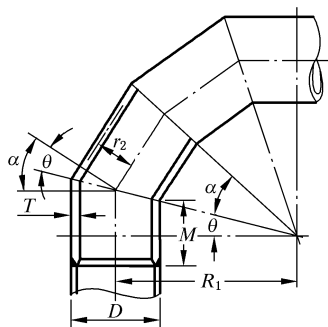


图 8 斜接弯头

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 α 不超过 3° 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 应分别按式(7)和式(8)计算:
 1) 当 $\theta \leq 22.5^\circ$ 时:

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

- 2) 当 $\theta > 22.5^\circ$ 时:

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

- c) θ 角不大于 22.5° 的多弯斜接弯头的最大许用内压 P_m ,应取按式(7)和式(9)计算值的较小者:

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

- d) 斜接弯头两端的直边段长度 M (见图 8),应不小于下列两式中的较大值:

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

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

其中,直边段的厚度应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 值。

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 6.1.3 的规定进行,但计算长度 L 应取直管包括斜接弯头各段斜接管轴线在内的两相邻支撑线之间的距离。

6.4 管法兰和法兰盖的压力设计与承受外载荷评估

6.4.1 符号

- 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_C ——法兰横截面弯曲惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4),详见 ASME BPV Code VIII-2 中表 4.16.7;
- I_F ——法兰横截面极惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4),详见 ASME BPV Code VIII-2 中表 4.16.7;
- 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)。

6.4.2 标准管法兰的压力-温度额定值

表 13 所列的标准管法兰和法兰盖按标准规定的压力-温度额定值选用。

6.4.3 标准管法兰的压力设计核算

经设计者同意,也可按 6.4.4 所列非标法兰的设计方法[泰勒(Taylor Forge)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)。

6.4.4 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 规定的泰勒方法,但法兰及螺栓材料的许用应力应符合 GB/T 20801 的相关规定。当采用控制螺栓安装载荷的法兰上紧措施时,螺栓设计载荷和予紧状态的法兰力矩按需要的螺栓面积 A_m 计算,而不考虑实际螺栓面积 A_b 。

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应不大于法兰的压力-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。

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

b) 泰勒方法-当量压力方法

按式(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应不大于按 6.4.4 方法所得的最大允许工作压力。

c) 泰勒方法-当量力方法

在按 6.4.4 方法进行法兰设计应力校核时:

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 $(H_D + F_E)$;

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

2) 计算法兰力矩 M_D 时,以 $M_D = (H_D + F_E)h_D$ 代替 $H_D h_D$;

3) 而 H_T 和 H_G 及相应的法兰力矩计算仅计入设计压力,而不考虑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应符合 GB/T 17186.1 和 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,按 ASME BPV Code VIII-2 中式(4.16.14)和式(4.16.16),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 。

6.4.6 法兰刚度

必要时,还可按 GB/T 17186.1 的规定校核法兰刚度。

6.5 盲板

6.5.1 符号

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 9,单位为毫米(mm);

t_m ——盲板计算厚度,单位为毫米(mm)。

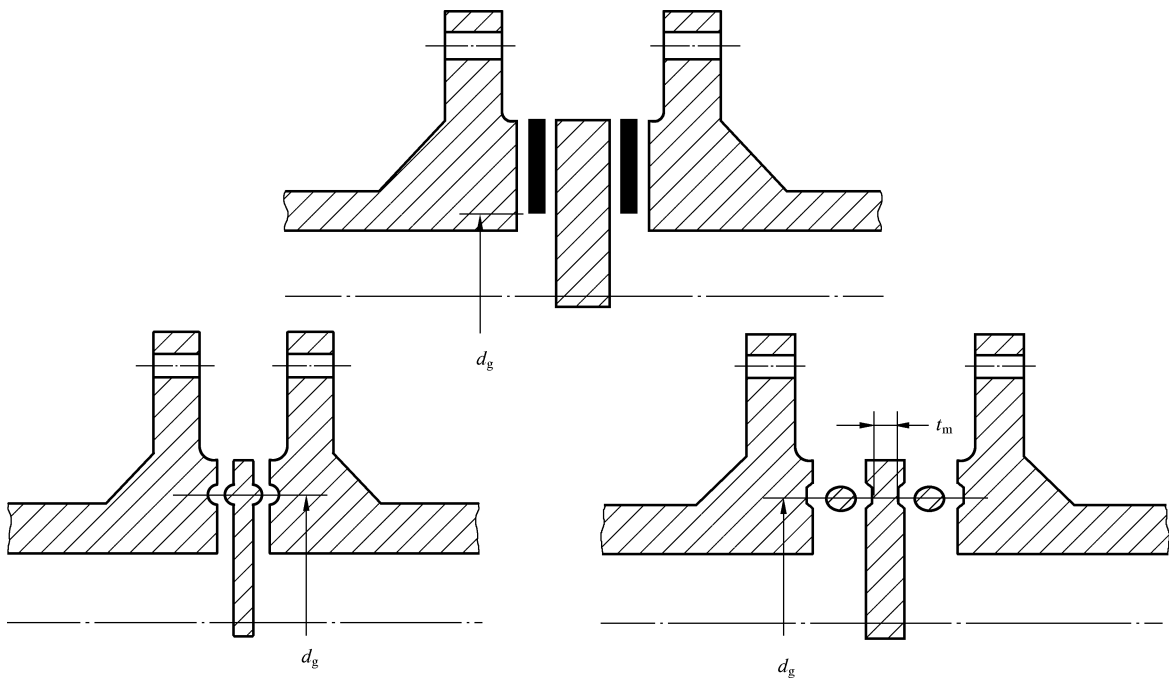


图 9 盲板结构图

6.5.2 盲板计算厚度

盲板计算厚度应按式(14)计算:

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

6.6 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的设计,应按相关标准进行。

6.7 支管连接的等面积补强法

6.7.1 符号

- A_1 ——因开孔削弱而要求补强的截面积,见图 10,单位为平方毫米(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 10 和图 11,单位为平方毫米(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 10 和图 11,单位为平方毫米(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 10 和图 11,单位为平方毫米(mm^2);
- A_5 ——补强范围内的焊缝截面积,见图 10,单位为平方毫米(mm^2);
- D_b ——支管外直径,见图 10 和图 11,单位为毫米(mm);
- D_h ——主管外直径,见图 10 和图 11,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 11,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 11,单位为毫米(mm);
- d_1 ——见图 10, $d_1 \sin\beta = D_b - 2(T_b - C)$,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 10, $d_2 = \max(d_1, T_{\text{eb}} + T_{\text{eh}} + d_1/2)$;
对于挤压成型的接口,见图 11, $d_2 = d_x$,且 $d_2 \leq D_h$;
- h_x ——挤压成型接口的高度,且不得小于 r_x ,见图 11,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 10, $L_4 = \min(2.5T_{\text{eh}}, 2.5T_{\text{eb}} + T_r)$,单位为毫米(mm);
- L_5 ——主管外侧的补强范围高度,见图 11, $L_5 = 0.7\sqrt{D_b T_x}$,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 11,单位为毫米(mm);
- T_b ——支管最小厚度,为实测所得或取名义厚度减去材料厚度负偏差,单位为毫米(mm);
- \bar{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,为实测所得或取名义厚度减去材料厚度负偏差,单位为毫米(mm);
- \bar{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、冲蚀裕量,见图 11,单位为毫米(mm);
- t_b ——支管计算厚度,应计入支管 Φ_w 值,当只管为外压(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 Φ_w 值,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);
- β ——支管轴线和主管轴线间的夹角,应不大于 90° ,单位为度($^\circ$).

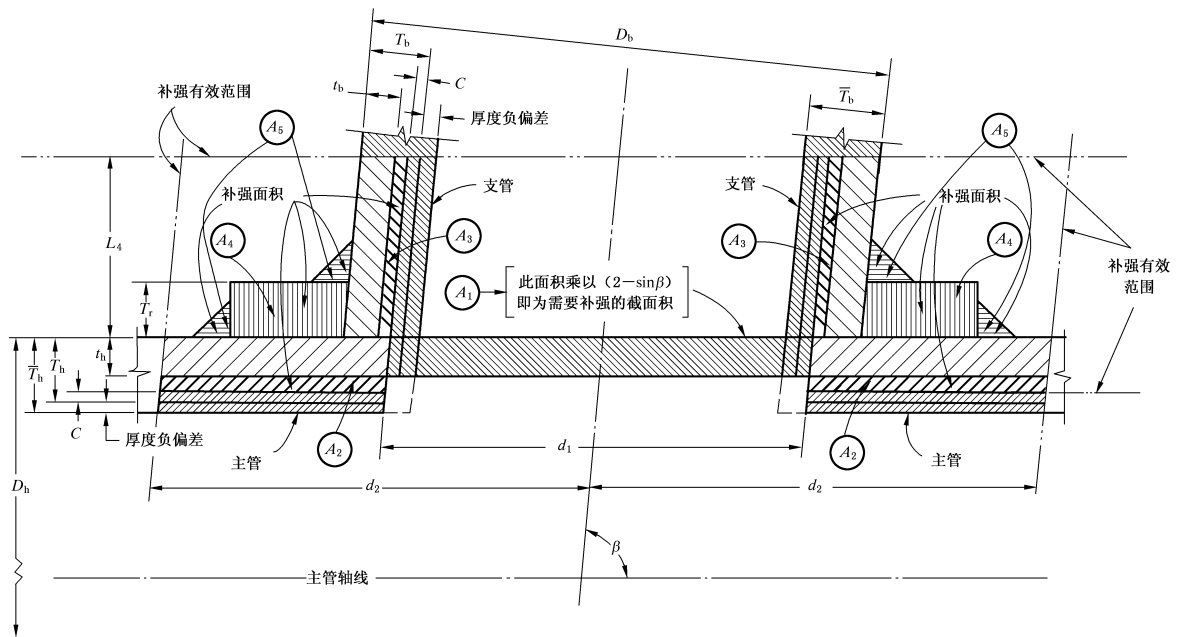


图 10 直主管上的支管连接

6.7.2 等面积补强法的适用范围

6.7.2.1 等面积补强法计算是支管连接的最低要求,6.7.3~6.7.5 规定的等面积补强法计算适用于以下支管连接结构:

- a) GB/T 20801.4—2020 图 10 a)~f)所示的焊接支管;
- b) 与 a)结构类似的焊接或锻造三通、四通、斜三通;
- c) 未列入表 13 的其他直接焊接于主管的支管连接管件。

6.7.2.2 等面积补强法的结构尺寸应符合以下规定:

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

6.7.2.3 外加补强材料应符合以下规定:

- a) 外加补强材料可不同于主管材料,但应和主管、支管材料具有相近的焊接性能、热处理要求、电位差和热膨胀系数等;
- b) 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 应乘以二者许用应力的比值后再行校核;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。

6.7.2.4 对于剧烈循环工况和高温蠕变工况的管道及设计压力大于或等于 10.0 MPa 的高压管道不宜采用补强圈作为补强措施。

6.7.3 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:

- a) 直接焊于主管的螺纹、承插焊半管接头(GB/T 14383),且符合下列各项要求:
 - 1) 支管公称直径不大于 DN50;
 - 2) $D_b/D_h \leq 1/4$ 。

- b) 直接焊于主管的支管座(GB/T 19326)。
- c) 经验证性压力试验的三通、四通(GB/T 12459)。
- d) 螺纹或承插焊三通、四通或斜三通(GB/T 14383)。
- e) 满足 5.3.3 要求的支管连接管件。

6.7.4 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如下步骤进行计算：

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)应为恒值；
- 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,则应采用套筒型补强圈。

b) 补强有效范围(见图 10,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 应按式(15)计算：

$$A_1 = t_h d_1 (2 - \sin\beta) \dots\dots\dots (15)$$

- 2) 对于承受外压(或真空)的支管连接件, A_1 应将外压(或真空)作为内压按式(16)计算：

$$A_1 = t_h d_1 (2 - \sin\beta) \dots\dots\dots (16)$$

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 应按式(17)计算,但内压或外压(或真空)的计算厚度 t_h 应予以区别：

$$A_2 = (2d_2 - d_1)(T_{cb} - t_h) \dots\dots\dots (17)$$

- 2) 除承受压力荷载所需计算厚度 t_h 之外,支管上多余厚度所构成的面积 A_3 应按式(18)计算,但内压或外压(或真空)的计算厚度 t_h 应予以区别：

$$A_3 = 2L_4(T_{cb} - t_h)/\sin\beta \dots\dots\dots (18)$$

- 3) 补强圈面积 A_4 应取式(19)和式(20)中的较小值：

$$A_4 = \left(D_r - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) T_r \dots\dots\dots (19)$$

$$A_4 = \left(2d_2 - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) T_r \dots\dots\dots (20)$$

- 4) 焊缝面积 A_5 应按实际焊缝尺寸计算,焊缝的最小尺寸应符合 GB/T 20801.4—2020 图 10 的规定。

e) 补强面积应满足式(21)的校核要求：

$$A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \geq A_1 \dots\dots\dots (21)$$

支管直接焊于主管的补强计算实例参见附录 E。

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上述 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应按以下规定进行：
 - 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能重复计入,且两支管之间的补强面积应不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上述 b)~e) 规定的补强计算要求。

6.7.5 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如下步骤进行计算：

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 应大于或等于接口外侧的过渡半径 r_x [见图 11 a)]。
- 3) 最小过渡半径 r_x 应取 $0.05D_b$ 或 38 mm 中小者。
- 4) 最大过渡半径 r_x 应满足以下要求：
当 $D_b < DN200$ 时, $r_x = 32$ mm；
当 $D_b \geq DN200$ 时, $r_x \leq 0.1D_b + 13$ mm。
- 5) 接口外轮廓由多个过渡半径组成时,应取超过 45° 弧线的最佳拟合半径为最大半径 r_x 值,且应满足上述 3) 和 4) 的规定。
- 6) 当 r_x 不满足上述要求时,不得采用机加工的方法。

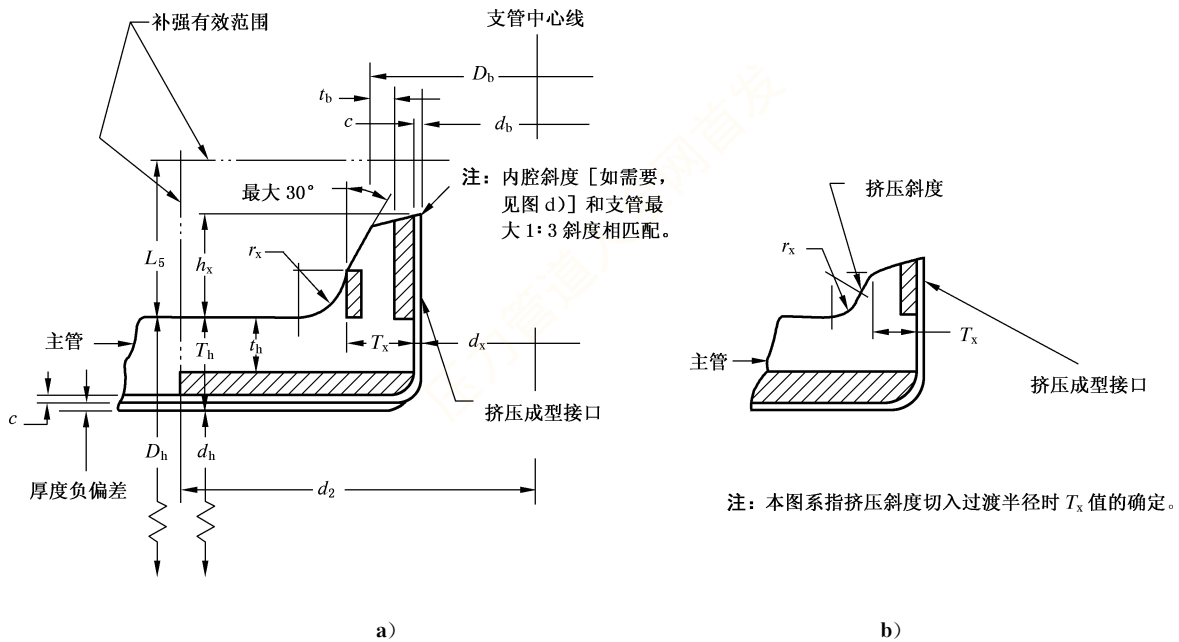
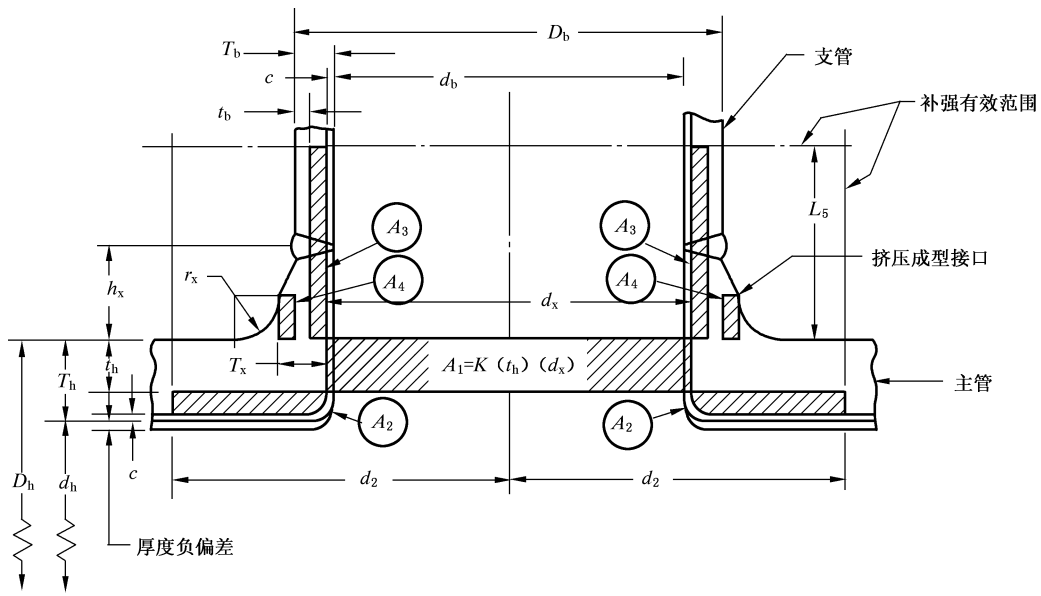
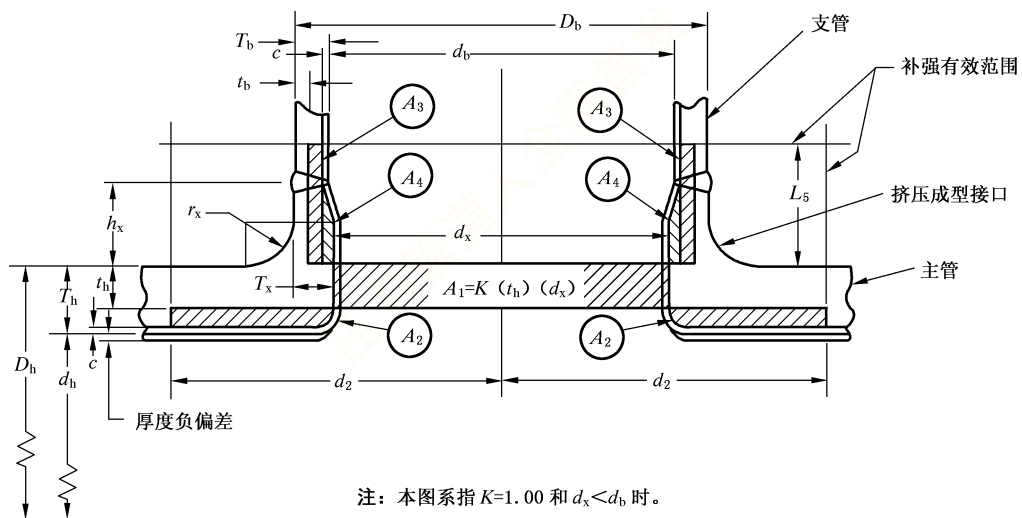


图 11 带挤压成型接口的支管连接



c)



d)

图 11 (续)

b) 补强有效范围(简称“补强范围”),见图 11,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 应按式(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 应将外压(或真空)作为内压按式(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 应按式(24)计算,

但内压或外压(或真空)的计算厚度 t_h 应予以区别;

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

- 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 应按式(25)计算,但内压或外压(或真空)的计算厚度 t_b 应予以区别;

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

- 3) 对于挤压成型接口端部的多余厚度构成的面积 A_4 应按式(26)计算:

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

- e) 补强面积应满足式(27)的校核要求:

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

- f) 多个支管连接的补强设计按 6.7.4 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应按上述 c) 和 d) 计算。

6.7.6 封头上支管连接的补强设计

封头上支管连接的补强设计应符合以下规定:

- a) 补强结构:
- 1) 开孔直径应不大于封头内径的二分之一,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应等于该截面上所需补强总面积的一半。
- 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 6.7.4 b) 或 6.7.5 b) 的要求确定;
 - 2) 凸形封头的补强有效范围应在封头轮廓线之内。
- c) 要求补强的面积 A_1 按 GB/T 150 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 6.7.4 d) 或 6.7.5 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 6.7.4 e) 或 6.7.5 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 6.7.4 f) 或 6.7.5 f) 的规定进行计算。

6.8 整体成型三通及支管连接的压力面积法计算

6.8.1 表 13 所列整体成型对焊三通可按验证性压力试验或 GB/T 12459—2017 附录 B 的最小壁厚确定其最大允许工作压力。

6.8.2 支管座、Y 形管等需作开孔补强强度设计的异形管道元件以及 6.7.2.2 以外的支管直接连接的补强计算也可采用附录 F 的压力面积法。

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

7 管道应力分析

7.1 一般规定

7.1.1 本章对各种可能存在的荷载,在管道元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元件产生的疲劳效应,可按照 JB 4732 给出的分析方法和评定准则,并在 7.5.5 的柔性分析中,对式(34)、式(35)中许用应力范围的折减系数 f 取 1.0。

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。

7.1.3 在进行管道系统应力分析时,应考虑膨胀节和其他管道元件的刚度。各种管道元件的柔性系数和应力增大系数可按附录 G 中表 G.1 所列出的公式计算,设计者亦可采用由实验或其他方法得到的更为精确的值。

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,应慎重对待支吊架的布置,以减小管道的应力。管道系统设计应保证每个支吊架具有足够的强度和适当的刚度。

7.2 管道应力分析的范围及方法

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。

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 $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 7.5.5.6 a)、7.5.5.6 b)规定的管道。

7.2.3 符合以下条件之一的管道系统应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;
- 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 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$,或低于或等于 $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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。

7.3 符号

如未特别注明,本章符号与第 6 章相同。

7.4 荷载及其组合工况

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) 管道应力分析应计入 4.1.3.1、4.1.3.2、4.1.3.3 等所列的管道荷载;
- b) 持久性荷载:永久作用于管道系统的荷载,如压力和重力荷载,但不包括冰荷载和雪荷载;
- c) 偶然性荷载:短时间作用于管道系统的荷载,如风、地震、冰雪、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。

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) 4.1.3.1 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)所述持续性荷载与 4.1.3.2 a)风荷载或 4.1.3.2 b)地震荷载等偶然性荷载同时作用(当考虑地震荷载时,仅需计入地震所产生的水平力)。必要时,还需考虑 4.1.3.1 b)冰雪荷载、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 4.1.3.3 a)、4.1.3.3 c)、4.1.3.3 d)的荷载及其他交变荷载。
- d) 必要时,需计入 4.1.3.3 b)所述端点或支吊架永久性位移引起的荷载,但在结构设计时应尽可能消除该荷载的影响。

7.4.3 偶然性荷载的条件和要求

7.4.3.1 同时满足以下条件时,应考虑 4.1.3.2 b)地震荷载:

- a) GC1 级管道以及介质为有毒或可燃的 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。

7.4.3.2 如需考虑 4.1.3.2 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。

7.4.3.3 如需考虑因阀门开、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。

7.5 静态应力分析和强度条件

7.5.1 一般规定

以下应力计算方法和评定准则按 7.4.2 所列荷载组合工况给出。7.5.2~7.5.4 规定的强度条件应同时满足。

7.5.2 持续荷载的应力强度条件

对于 7.4.2 a)所述的持续荷载组合工况,管道和管道元件的应力 S_L 应不大于 S_h ,即满足式(28)和式(29)的强度条件:

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

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

式(29)中的 S_b 、 S_a 、 S_t 应分别按式(30)、式(31)和式(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_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(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,在缺少更多可用数据时,取 0.75 i_i 或 1.00 的较大值;
- I_o ——平面外持续弯矩系数,在缺少更多可用数据时,取 0.75 i_o 或 1.00 的较大值;
- I_a ——持续纵向力系数,在缺少更多可用数据时,取 1.00;
- F_a ——由持续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^2);
- I_t ——扭矩系数,在缺少更多可用数据时,取 1.00;

M_t ——由持续荷载如压力和重力产生的扭矩,单位为牛顿毫米(N·mm);

注: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。

S_h ——GB/T 20801.2—2020 表 A.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 4.2.7 的规定;用于式(34)、式(35)时,对铸件应乘以相应的铸件质量系数 Φ_c ,对焊接件可不乘以纵向焊接接头系数 Φ_w ,且最大取 138 MPa;

i_i ——平面内应力增大系数,见附录 G;

i_o ——平面外应力增大系数,见附录 G。

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。

管道系统中,有一些工况,支架会脱空,应考虑所有工况的支撑条件,式(28)和式(35)的 S_L 应采用各工况计算出的最大值。

7.5.4 持续荷载与偶然性荷载组合工况的应力限制条件

7.5.4.1 对于 7.4.2 b) 规定的荷载组合工况,管道和管道元件的应力应满足式(33)限制条件:

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

式中:

S_{L2} ——7.5.2 的 S_L 与风或地震等偶然荷载所产生的应力之和。

7.5.4.2 风荷载和地震荷载均属偶然性荷载,设计时可不同时考虑,并满足下列要求:

- a) 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。如需考虑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见附录 H 规定的方法进行计算,或采用更精确的方法进行计算。
- b) 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 GB/T 20801.2—2020 的 A.5f) 的规定。

注:压力试验工况不考虑如风载、地震等偶然荷载。

7.5.5 柔性分析

7.5.5.1 在 7.4.2 c) 所述的荷载组合工况的作用下,所有管道系统都应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、管道元件或与管道连接的其他设备产生过大应力或荷载超限。

7.5.5.2 管道系统设计应满足以下基本要求:

- a) 管道系统中任何一处由位移引起的应力范围不应超过 7.5.5.3 规定的许用应力范围;
- b) 支座反力或端点反力不应使管道系统中的支吊架或与管道系统连接的设备失效。

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 一般应按式(34)计算:

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

b) 如果在 7.4.2 a) 规定的载荷组合工况下计算得到的管道元件的应力 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元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 ——许用应力范围系数, 按式(36)计算或通过图 12 查得:

$$f = 6.0(N)^{-0.2} \leq f_m \quad \dots\dots\dots(36)$$

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, 按式(37)计算:

$$N = N_E + \sum(r_i^5 N_i), i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(37)$$

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; 其他情况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;

S_E ——最大的计算位移应力范围, 单位为兆帕(MPa);

r_i ——应力范围的比值, $r_i = S_i / S_E$;

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: 式(36)或图 12 不适用于膨胀节。

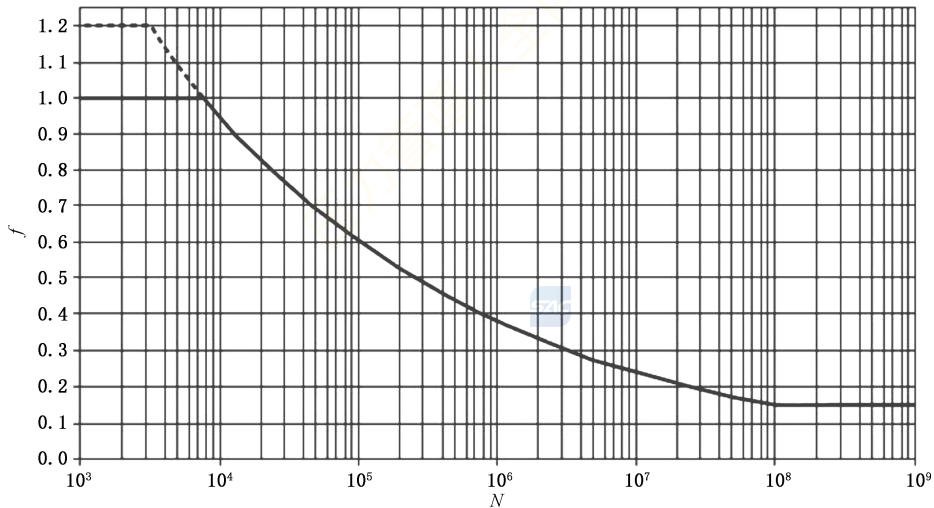


图 12 应力范围系数 f 与位移循环当量数 N 之间的关系

7.5.5.4 材料的物理性能包括参数:

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 GB/T 20801.2—2020 的表 B.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 GB/T 20801.2—2020 的表 B.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 °C 时取值。当管道系统中的各管道元件

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 GB/T 20801.2—2020 的表 B.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 GB/T 20801.2—2020 的表 B.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 GB/T 20801.2—2020 的表 B.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元件的名义厚度和外径值。

7.5.5.5 可采用附录 G 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 G 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 G 中结构形状相似的管道组成件的值。

7.5.5.6 符合以下条件之一时,管道系统可免除柔性分析:

- a) 设计的管道系统与一已成功运行的管道系统的结构和布置一致,或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) 可以容易地判定,所设计的管道系统的柔性不低于一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,且满足式(38):

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

式中:

- 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 —— $208\ 000S_A/E_a$,单位为二次方毫米每米 $[(\text{mm}/\text{m})^2]$;
- E_a ——管道材料在 20 °C 时的弹性模量,单位为兆帕(MPa);
- S_A ——由式(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。

7.5.5.7 对于 7.4.2 c) 规定的荷载组合工况,可按以下规定的方法进行应力计算和校核。此外,也可以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。在按以下方法进行详细的应力分析时,应对管道系统中所有的管道元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,并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 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,然后按式(39)计算组合应力范围:

$$S_E = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + 4S_t^2} \quad \dots\dots\dots(39)$$

计算得到的组合应力范围 S_E 应小于或等于 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,单位为三次方毫米(mm³),见 7.5.5.4 d);

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,单位为平方毫米(mm²),见 7.5.5.4 d);

i_a ——轴向应力增大系数,缺少更多可用数据时,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 G 中的其他管道组件, $i_a = i_o$,见 7.5.5.5;

i_t ——扭转应力增大系数,缺少更多可用数据时, i_t 取 1,见 7.5.5.5。

- c) 对弯头、斜接弯头、等径三通,如图 13 所示,式(39)中由位移应变产生的弯曲应力范围 S_b 按式(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 G;

i_o ——平面外应力增大系数,见附录 G;

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) 对异径三通,式(39)中由位移应变引起的弯曲应力范围 S_b 按式(44)和式(45)计算,如图 13 所示。

主管端:

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} \quad \dots\dots\dots (44)$$

支管端:

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z_e} \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中:

Z_e —— $Z_e = \pi r_2^2 T_s$,支管有效截面模量,单位为三次方毫米(mm³),见 7.5.5.5;

T_s ——三通支管有效厚度,取 \bar{T}_h 和 $(i_i)(\bar{T}_b)$ 中的小者,单位为毫米(mm);

\bar{T}_b ——支管厚度,单位为毫米(mm);

\bar{T}_h ——三通主管厚度,不包括主管补强厚度,单位为毫米(mm);

r_2 ——支管横截面的平均半径,单位为毫米(mm)。

- e) 图 13 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 GB/T 20801.5—2020 中 6.1.1 规定的检查等级 I 级要求进行检查。

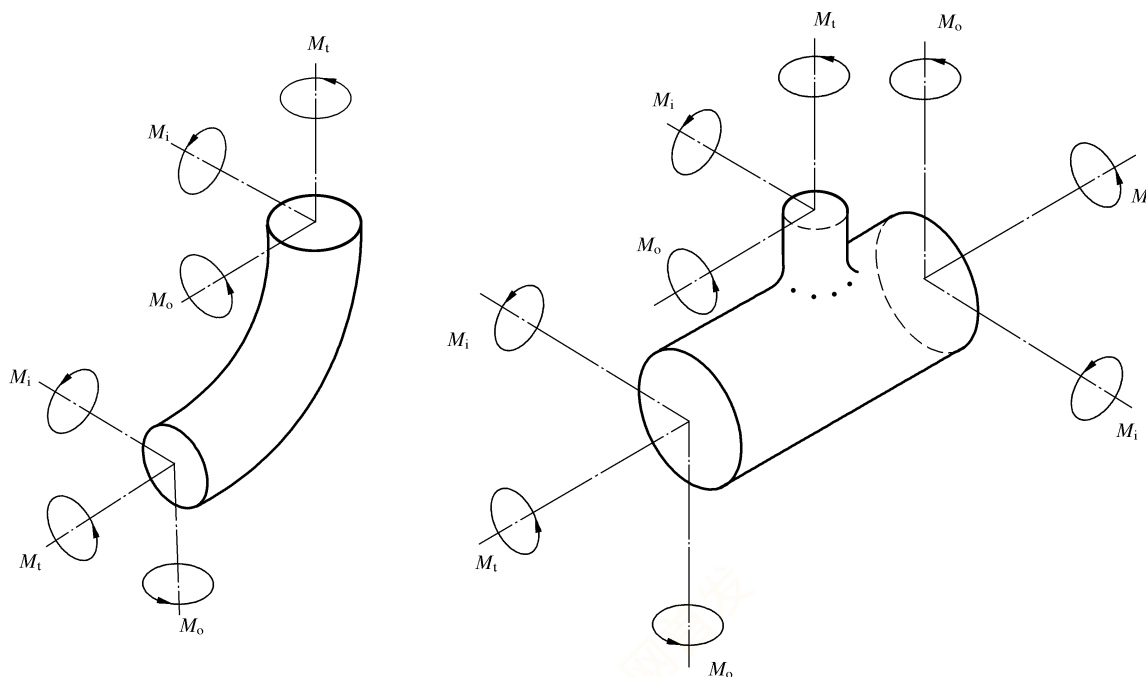


图 13 平面内和平面外弯矩和扭矩

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 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可参照附录 I。

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 7.5.7 及附录 J 的要求。

7.5.7 管道用金属波纹膨胀节

管道用金属波纹膨胀节应符合下列规定:

- 膨胀节应按附录 J 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、管道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、法兰接管等的材质应不低于安装膨胀节管道的管道材料;
- 膨胀节用的波纹管应采用液压成型;

- g) 宜给出波纹管的单层最小厚度；
- h) 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。

7.5.8 管道的动力分析

有冲击、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。

8 管道支吊架

8.1 一般规定

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,并应防止以下情况发生:

- a) 管道应力超过本部分规定的许用应力;
- b) 管道连接处产生泄漏;
- c) 作用在设备管嘴(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。

8.1.2 管道支吊架结构和连接应具有足够的强度和适宜的刚度。

8.1.3 管道支吊架及其生根结构的设计应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,还应考虑水压试验时的充水重量。

8.1.4 管道支吊架的位置和设计通常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。

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。

8.2 材料要求

8.2.1 管道支吊架元件的许用应力(弹簧除外)可按 GB/T 17116 或 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1 选取。管道支吊架元件采用焊接制作时,其许用应力可不计纵向焊缝系数。

8.2.2 管道支吊架用材料应与其使用条件相匹配,选用时应考虑支吊架零部件的使用条件、材料的工艺性能和经济合理性。与管道直接接触的支吊架零部件,其材料应按管道设计温度选取。与管道直接焊接的零部件,其材料宜与管道材料相匹配。

8.2.3 采用金属制作的管道支吊架,其材料应符合 GB/T 17116 或 GB/T 20801.2 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,并应考虑温度、强度和寿命的影响。

8.2.4 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支吊架元件,但其使用温度不得高于 230 ℃。对于存在因振动或脉动而引起冲击荷载的场合,不得使用铸铁等脆

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。用于承受动荷载的支吊架零部件不得采用沸腾钢,也不得采用常温冲击功小于 20 J 的钢材。

8.2.5 技术要求明确且与承压管道组成件有相容性的管道支吊架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吊架元件,该钢材的容许拉伸或压缩应力不得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 $-29\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 343\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。

8.2.6 剪切许用应力应取 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1 规定的材料基本许用应力的 0.8 倍,挤压许用应力应取 GB/T 20801.2—2020 附录 A 规定的材料基本许用应力的 1.6 倍。

8.2.7 螺纹连接件、支吊架组成件的焊缝以及与管道的连接件,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。

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。

8.3 设计要求

8.3.1 一般规定



8.3.1.1 管道支吊架的设计应符合 GB/T 17116 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。

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,应尽可能减小连接处的应力集中。

8.3.1.3 管道支吊架应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、地面等设置支吊架的生根构件;也可以生根在可承受荷载且不会产生不良影响的其他管道上,但不得借助高温管道、低温管道和有振动的管道作为支吊架的生根点。

8.3.1.4 管道支吊架的设计应不妨碍管道预期热位移。

8.3.1.5 与管道焊接连接的管部材料应具有良好的可焊性。预热、焊接和热处理应符合 GB/T 20801.4 的规定。设计时应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。

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。

8.3.2 结构

8.3.2.1 下列管道不宜在施工现场与管道支吊架零部件直接焊接:

- 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)。

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。

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。

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。

8.3.2.5 当管道和管架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。

8.3.3 荷载

8.3.3.1 管道支吊架设计时,应考虑下列荷载:

- a) 管道组成件及绝热层的重量;
- b) 支吊架零部件的重量;
- c) 管道输送介质的重量;
- d) 水压试验或管道清洗时的介质重量;
- e) 管道柔性元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 °C 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。

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。

8.3.3.3 带有变力弹簧支吊架的管道,应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。

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应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。

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。

8.3.4 强度和刚度

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。

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,应满足最大荷载时的强度要求,并应满足下列刚度条件:

- 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。

8.3.5 限位架

限位架的设计应符合下列规定:

- a) 固定架应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 J.2.3 的规定,其他支吊架的布置应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应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,应考虑内压和热膨胀在支吊架处产生的力和力矩。

8.3.6 弹簧支吊架

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,应尽量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。

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。

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。

8.3.6.4 可变弹簧支吊架和恒定支吊架的荷载计算,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。

8.3.7 其他支吊架

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。支架底板尺寸应考虑所支撑管道的预期位移量。

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。

8.3.7.3 平衡锤型式的管架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 8.2 的规定。

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。

8.4 管道支吊架设置和选用

8.4.1 一般规定

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。

8.4.1.2 支撑点水平位移较大时,可选用加长管托或采取偏装。

8.4.2 管道的跨距

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,确定管道跨距时还应考虑管道上的阀门、法兰等集中荷载的作用。

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;对于可能产生振动或有抗震要求的管道,应进行固有频率计算;对于大直径薄壁管道,还应进行局部应力校核,并应满足下列规定:

- a) 强度条件:应控制管道自重产生的弯曲应力,使管道的持续外载当量应力在允许范围内。一般管道的自重应力不宜大于 16 MPa。
- 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。管道的相对挠度应小于管道疏放水时实际坡度的 1/4。
- c) 固有频率条件:对于可能产生振动或有抗震要求的管道,还应控制管道的挠度,使管道的固有频率被限制在适当的范围内;一般管道的挠度不宜大于 2.5 mm。

- d) 局部应力条件:对于大直径薄壁管道,应考虑局部应力的影响,按式(46)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。

$$\sigma = 1.17\sqrt{R/t} \times \frac{f}{t} \leq 0.5[\sigma] \quad \dots\dots\dots(46)$$

式中:

- σ ——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)。

8.4.3 承重架

承重架的位置可按下列原则设置:

- 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) 支撑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,应考虑相连管道的稳定性,必要时设置承重支吊架。

8.4.4 固定支架

固定支架可按下列原则设置:

- 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,应使两固定点之间的管段能够自然补偿;
- c) 选用 π 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。

8.4.5 导向架

导向架可按下列原则设置:

- 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,而不允许横向位移的位置应设置导向架;
- d) π 型补偿器两侧应设置导向架;
- e) 自由型波纹管膨胀节两侧应设置导向架,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。

8.4.6 防振支架

防振支架可按下列原则设置:

- a) 管道支吊架的布置应避免由于压缩机、泵等的运转而使管道发生共振；
- b) 对于有抗震要求的管道，支吊架布置时应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，应在适当位置设置防振管卡；
- d) 防振支架应具有足够的刚度，宜沿地面设置独立基础，避免生根在厂房的梁柱上。

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。

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J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。



压力管道人全网首发

附录 A
(资料性附录)
风荷载和地震荷载的计算

A.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,应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式(A.1)计算:

$$p = K_1 K_2 q_0 \mu_z D \times 10^{-6} \dots\dots\dots (A.1)$$

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/m²),按表 A.8 查取。
- μ_z ——风压高度变化系数,按表 A.4 查取。
- D ——所计算的管道外径,如有保温层,应考虑保温层的厚度,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 A.1), K_1 按表 A.1 取值。

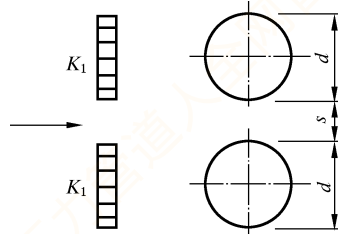


图 A.1 上下双管示意图

表 A.1 上下双管系数 K_1

s/d	≤ 0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	≥ 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 A.2), K_1 按表 A.2 取值。

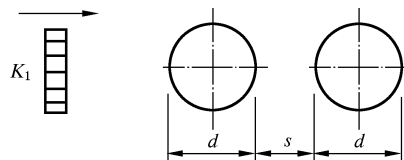


图 A.2 前后双管示意图

表 A.2 前后双管系数 K_1

s/d	≤ 0.25	0.5	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	≥ 10.0
K_1	0.68	0.86	0.94	0.99	1.08	1.11	1.14	1.20

表列 K_1 值为前后两管之和,其中前管为 0.6。

c) 密排多管(见图 A.3), $K_1 = 1.4$ 。

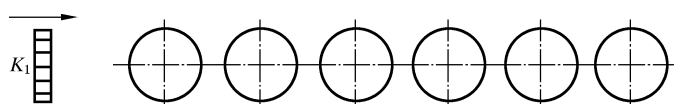


图 A.3 密排多管示意图

K_1 值为各管之总和。

K_2 ——风振系数,按式(A.2)计算:

$$K_2 = 1 + 5I_{10}B_z\sqrt{1+R_2} \dots\dots\dots(A.2)$$

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,按式(A.3)、式(A.4)计算:

$$R = \sqrt{\frac{\pi}{0.06} \cdot \frac{X_1^2}{(1+X_1^2)^{4/3}}} \dots\dots\dots(A.3)$$

$$X_1 = \frac{30f_1}{\sqrt{k_w\omega_0}}, X_1 > 5 \dots\dots\dots(A.4)$$

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,按式(A.5)计算:

$$B_z = kH^{\alpha_1}\rho_z \frac{\phi_1(z)}{\mu_z} \dots\dots\dots(A.5)$$

式中:

$\phi_1(z)$ ——管道系统第 1 阶振型系数,振型系数是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);

ρ_z ——脉动风荷载垂直方向相关系数,按式(A.6)计算:

$$\rho_z = \frac{10\sqrt{H+60}e^{-H/60}-60}{H} \dots\dots\dots(A.6)$$

k, α_1 ——系数,按表 A.3 取值。

表 A.3 系数 k 和 α_1

粗糙度类别	A	B	C	D
k	1.276	0.910	0.404	0.155
α_1	0.186	0.218	0.292	0.376

表 A.4 风压高度变化系数 μ_z

计算截面距 地面高度 ^a /m	地面粗糙度类别 ^b			
	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

^a 可按一根管道的最高点查取,但当将 μ_z 值用于计算 K_2 时,应按一根管道的最低点查取。

^b A 类系指近海海面及海岛、海岸、湖岸及沙漠地区;
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;
C 类系指有密集建筑群的城市市区;
D 类系指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。

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 A.4 确定外,还应表 A.5 给出的修正系数进行修正。

表 A.5 远海海面和海岛的修正系数 η

距海岸距离/km	η
<40	1.0
40~60	1.0~1.1
60~100	1.1~1.2

A.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,本部分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应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,应按照 7.4.2 和 7.5.4 对管道和管道元件进行强度校核,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式(A.7)计算:

$$Q_k = \alpha_1 \cdot \eta_{1k} \cdot \Delta m_k \cdot g \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

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)。

α_1 ——对应于管道基本自振周期的地震影响系数 α ,地震影响系数 α 按图 A.4 确定,但不小于 $0.2\alpha_{\max}$ 。

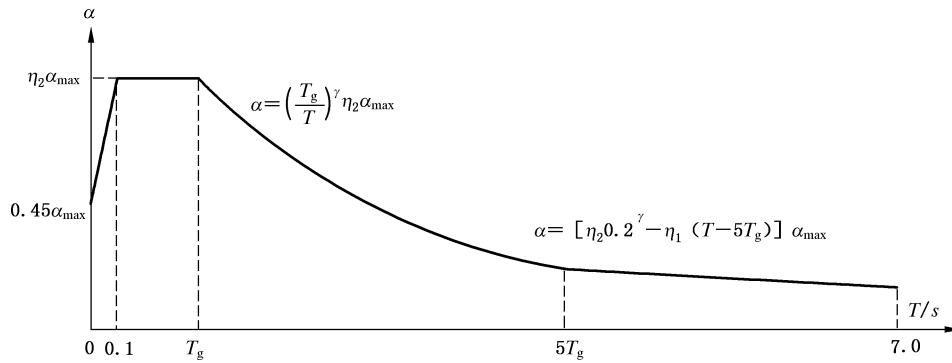


图 A.4 地震影响系数曲线

α_{\max} ——地震影响系数的最大值,见表 A.6。

表 A.6 对应于设防烈度的 α_{\max}

设防烈度	6	7	8	9
α_{\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 0.15 g 和 0.3 g 的地区。

T_g ——各类场地土的特征周期,见表 A.7。

表 A.7 各类场地土的特征周期 T_g

设计地震分组	场地土类别				
	I o	I	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

γ ——曲线下降段的衰减指数,按式(A.8)计算:

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \xi}{0.3 + 6\xi} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

ξ ——阻尼比。

η_1 ——直线下降段斜率的调整系数,按式(A.9)计算,当 η_1 小于 0 时,取 0:

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \xi}{4 + 32\xi} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

式中：

ξ ——阻尼比。

η_2 ——阻尼调整系数，按式(A.10)计算，当 η_2 小于 0.55 时，取 0.55：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \xi}{0.08 + 1.6\xi} \dots\dots\dots (A.10)$$

式中：

ξ ——阻尼比。

η_{1k} ——管道上 k 处的基本振型参与系数，按式(A.11)计算：

$$\eta_{1k} = \frac{\chi_k \sum_{i=1}^n \Delta m_i \chi_i}{\sum_{i=1}^n \Delta m_i \chi_i^2} \dots\dots\dots (A.11)$$

式中：

χ, χ_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)；

Δm_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，可按式(A.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：

$$M_h = 1.25M_b \dots\dots\dots (A.12)$$

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)。

表 A.8 全国主要城市的风压数据 q 。 单位为千牛每平方米

城市名	北京市	天津市	塘沽市	上海市	重庆市	石家庄市	邢台市	张家口市
风压	0.45	0.50	0.55	0.55	0.40	0.35	0.30	0.55
城市名	承德市	秦皇岛市	唐山市	保定市	沧州市	太原市	大同市	阳泉市
风压	0.40	0.45	0.40	0.40	0.40	0.40	0.55	0.40
城市名	临汾市	长治市	呼和浩特市	满洲里市	海拉尔市	乌兰浩特市	包头市	集宁市
风压	0.40	0.50	0.55	0.65	0.65	0.55	0.55	0.60
城市名	通辽市	赤峰市	沈阳市	阜新市	锦州市	鞍山市	本溪市	抚顺市
风压	0.55	0.55	0.55	0.60	0.60	0.50	0.45	0.45
城市名	营口市	丹东市	大连市	长春市	四平市	吉林市	通化市	哈尔滨市
风压	0.65	0.55	0.65	0.65	0.55	0.50	0.50	0.55
城市名	齐齐哈尔市	绥化市	安达市	牡丹江市	济南市	德州市	烟台市	威海市
风压	0.45	0.55	0.55	0.50	0.45	0.45	0.55	0.65
城市名	淄博市张店	青岛市	兖州市	南京市	徐州市	镇江市	无锡市	泰州市
风压	0.40	0.60	0.40	0.40	0.35	0.40	0.45	0.40
城市名	连云港市	常州市	杭州市	金华市	宁波市	衢州市	温州市	合肥市
风压	0.55	0.40	0.45	0.35	0.50	0.35	0.60	0.35

表 A.8 (续)

单位为千牛每平方米

城市名	西安市	榆林市	宝鸡市	兰州市	酒泉市	张掖市	武威市	天水市
风压	0.35	0.40	0.35	0.30	0.55	0.50	0.55	0.35
城市名	银川市	中卫	西宁市	格尔木市	乌鲁木齐市	克拉玛依市	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	郑州市	新乡市	洛阳市	许昌市	开封市	武汉市	宜昌市
风压	0.60	0.45	0.40	0.40	0.40	0.45	0.35	0.30
城市名	黄石市	长沙市	岳阳市	邵阳市	衡阳市	广州市	汕头市	深圳市
风压	0.35	0.35	0.40	0.30	0.40	0.50	0.80	0.75
城市名	湛江市	南宁市	桂林市	柳州市	梧州市	北海市	海口市	三亚市
风压	0.80	0.35	0.30	0.30	0.30	0.75	0.75	0.85
城市名	成都市	宜宾市	西昌市	内江市	泸州市	贵阳市	遵义市	昆明市
风压	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30

压力管道人全网首发



附 录 B

(资料性附录)

管道布置

B.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规定及指导性的实践经验。管道布置应符合下列基本原则：

- a) 符合管道及仪表控制流程设计的要求；
- b) 应符合有关的规范、标准的要求；
- c) 管道布置应统筹规划,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,应做到内外协调；
- f) 厂区内的全厂性管道的敷设,应与厂区内的装置(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、地下管道不得穿越或跨越与其无关的工艺装置、系统单元或储罐组,在跨越罐区泵房的可燃气体、液化烃和可燃液体的管道上不应设置阀门及易发生泄漏的管道附件；
- h) 管道布置应满足管道柔性及设备、机泵管口允许的作用力和力矩要求,且应使管道短,弯头数量少；
- i) 管道布置宜做到“步步高”或“步步低”,减少“气袋”或“液袋”,否则应根据操作检修要求设置放空或放净,管道布置应减少死区；
- j) 管道布置中应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应符合国家现行抗震标准规定；
- k) 管道布置和支承点设置应同时考虑所能承受外部或内部的动力荷载,支承应可靠,不应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、净距及埋设深度应符合现行有关标准；
- m) 阀门应布置在容易接近、便于操作和检修的地方,成排管道上的阀门应集中布置,并设置操作平台及梯子,应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) 管道布置不应妨碍设备、机泵及其内部构件的安装、检修；
- o) 安全喷淋洗眼器应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,其服务半径范围不应大于 15 m；
- p) 软管站应根据需要设置,站内可包括蒸汽、新鲜水、装置空气和氮气等,其服务半径的范围宜为 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,应尽量采用焊接连接。

B.2 可燃介质和有毒介质管道的设计原则

可燃介质和有毒介质管道的设计应按下列原则确定：

- a) 管道不得穿越与其无关的建(构)筑物；
- b) 管道应尽量架空或沿地面敷设,必须采用管沟敷设时,应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,应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应采用阀门延伸杆,且引至隔墙或隔板外操作；
- e) 急性毒性类别 1 和类别 2、GB 50160 中定义的甲类易燃气体及液化烃介质应采取密闭循环取样,取样口不得设在有振动的设备或管道上,否则应采取减振措施,采样管道不得引入化验室；
- f) 可燃介质管道不得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,若布置在人行通道或机泵上方时,不应设置阀门及易发生泄漏的管道附件,如不可避免,则应设置保护罩防止泄漏；
- h) 氧气管道与可燃介质管道共架敷设时,应布置在一侧,且平行布置时,净距不应小于 500 mm,交叉布置时,净距不应小于 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,应位于安全和方便操作的地方；
- j) 进出装置的可燃介质的管道,在装置边界处应设隔断阀和 8 字盲板,在隔断阀处应设平台,长度等于或大于 8 m 的平台应在两个方向设梯子；
- 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,管道上的阀门应与设备管口直接相连,且该阀门不得使用链轮操作；
- l) 特殊可燃介质管道如氢气、氧气、乙炔气等的管道布置应符合现行有关标准的要求。

B.3 蒸汽管道的设计原则

装置的蒸汽管道宜架空敷设,不宜管沟敷设,更不应埋地敷设。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。蒸汽管道应按下列要求布置：

- a) 蒸汽支管应从主管的顶部引出,支管上的切断阀应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应设排液设施。排液设施应根据不同情况设放空阀、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应符合下列要求：
 - 1) 在装置内,饱和蒸汽不宜大于 80 m,过热蒸汽不宜大于 160 m；
 - 2) 在装置外,顺坡时不宜大于 300 m,逆坡时不宜大于 200 m。
- d) 不得从用气要求很严格的蒸汽管道上接出支管作其他用途。
- e) 蒸汽支管的低点,应根据不同情况设排液阀或(和)疏水阀。
- f) 在蒸汽管道的 π 型补偿器上,不得引出支管。在靠近 π 型补偿器两侧的直管上引出支管时,支管不应妨碍主管的位移。因主管热胀而产生的支管引出点的位移,不应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应设蒸汽分水器,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) 多根蒸汽伴热管应成组布置并设分配管,分配管的蒸汽宜就近从主管引出。
- i) 直接排至大气的蒸汽放空管,应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,排放口应远离操作区布置。

B.4 低温管道的设计原则

低温管道的设计应按下列原则确定:

- a) 低温介质管道的布置在满足管道柔性下应使管道短、弯头数量少,且应减少液袋;
- b) 低温介质管道要考虑整个管道有足够的柔性,应充分利用管道自然补偿,当无法自然补偿时,应设置补偿器;
- c) 布置低温管道时,应避免管道振动,若有机器的振源,应采取消振措施,在接近振源处的管道应设置弹性元件,以隔断振源;
- d) 低温管道应采用保冷管道支吊架,支吊架应有防止产生“冷桥”的措施;
- e) 低温介质管道上的阀门宜安装在水平管道上,阀杆方向宜垂直向上;
- f) 低温管道的间距应根据保冷后的法兰、阀门、测量元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宜与弯头或三通直接焊接。

B.5 泄放管道的设计原则

B.5.1 放净与放空管道设计原则

B.5.1.1 管道系统中的高点或低点应根据操作、检修的要求,设置放空或放净。

B.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,应在管道低点设置放净,高点设置放空。

B.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。

B.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。

B.5.1.5 全厂性管道的放净设置宜符合下列规定:

- a) 管廊上公用工程管道的末端及蒸汽管道的低点应设置放净;
- b) 自燃点高出操作温度不足 10 °C 的可燃液体管道的低点不得设置放净;
- c) 急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道的低点不得设置放净;
- d) 腐蚀性介质的低点不得设置放净;
- e) 不产生凝结液的气体管道的低点不得设置放净。

B.5.1.6 急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道的放空或放净应设置双阀,并应排入密闭回收系统。

B.5.1.7 除急性毒性类别 1 和类别 2 介质外,有毒气体的排放口应符合环保的要求,有毒液体不应排入下水道。

B.5.1.8 急性毒性类别 1 和类别 2 介质的管道的放空或放净宜设置双阀,当设置单阀时,应加盲板或法兰盖。

B.5.1.9 高压管道的放空或放净宜设置双阀,当设置单阀时,应加盲板或法兰盖。

B.5.1.10 连续操作的可燃气体管道低点的放净应设置双阀,排出的液体应排放至密闭系统。可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。

B.5.1.11 管道放空或放净上的阀门应靠近主管,对易自聚、易冻结、易凝固或含固体介质的管道上的放净不应有拐弯。

B.5.1.12 振动管道上公称直径小于或等于 40 mm 的放空、放净根部接口处应采取加强措施。

B.5.2 泄压排放和火炬系统管道设计

B.5.2.1 直接向大气排放的非可燃气体放空管的高度应符合下列规定:

- a) 设备或管道上的放空管口应高出临近操作平台 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,应高出建筑物或构筑物顶 2.2 m 以上。

B.5.2.2 易燃性气体排放管道的设计应符合 SH 3009—2013 中 7.2 的规定。

B.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可燃气体,当通过排气筒、放空管直接向大气排放时,排气筒、放空管的高度应符合 GB 50160—2008 中 5.5.11 的规定。

B.5.2.4 有毒气体放空口的位置应符合 GB/T 3840 的规定。

B.5.2.5 设备和管道上可燃气体安全泄压装置允许向大气排放时,应符合下列要求:

- a) 排放管口不得朝向邻近设备或有人通过的地区;
- b) 排放管口的高度应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。

B.5.2.6 安全泄压装置出口管道的布置,应考虑由于泄压排放引起的反作用力,并合理设置支架。

B.5.2.7 严禁排入火炬的可燃气体携带可燃液体。火炬的辐射热不应影响人身及设备的安全。距火炬筒 30 m 范围内,不应设置可燃气体放空。

B.5.2.8 可燃气体放空管道内的凝结液应密闭回收,不得随地排放。

B.5.2.9 严禁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混合排放。

B.5.2.10 火炬排放总管的热补偿应采用自然补偿,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,宜采用金属波纹膨胀节进行热补偿,且在管道的适当位置应采取轴向限位和导向措施。

B.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,应有防止凝结液在波纹膨胀节处聚集的措施。

B.5.2.12 金属波纹膨胀节的补偿量至少应是热补偿管段的全温度范围位移量的 1.15 倍,其他应符合附录 J 的要求。

B.6 埋地管道的设计原则

B.6.1 一般规定

B.6.1.1 本章节是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。

B.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,埋地管道布置应妥善解决防冻、防凝结、吹扫、排液、防外腐蚀及承受外荷载等问题,并应遵守有关国家及当地的规定。

B.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,并符合下列要求:

- 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,而又不宜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可燃介质、有毒介质、有腐蚀性介质的管道,需要埋地敷设时,应采取一定的保护措施;
- d) 除特殊需要外,急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道不宜埋地敷设。当工艺要求埋地敷设时,应有监测泄漏、防止腐蚀、收集有害流体等的安全措施。

B.6.2 埋地管道设计原则

埋地管道的设计应按如下原则确定:

- 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。

B.6.3 埋地管道的走向规划

所有埋地管道的走向应进行详细规划,并应经业主确定同意。在规划图纸中应包括:

- 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,也应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。

B.6.4 直埋管道的设计要求

B.6.4.1 工厂界区内直埋管道的埋设深度应根据最大冻土深度、地下水位和管道不受损坏等原则确定,管道埋设深度应符合下列规定:

- a) 无混凝土铺砌的区域,管道的管顶距地面不宜小于 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宜小于 0.3 m;
- c) 机械车辆的通行区域,管道的管顶距地面不宜小于 0.7 m;
- d) 可燃、有毒等介质管道埋设深度应按有关规范执行。

B.6.4.2 直埋管道的外护套管(简称套管)设置应符合下列规定:

- a) 直埋管道穿越车行道路时,应加设套管,套管顶面到路面应不小于 0.3 m;
- b) 穿越厂区铁路的管道应设套管,套管顶面至铁轨底的距离不应小于 1.2 m;
- c) 输送可燃介质的直埋管道不宜穿越埋地敷设的电缆沟,否则应设套管,当管道介质温度超过 60 °C 时,在套管内应充填隔热材料,使套管外壁温度不超过 60 °C;
- d) 套管应具备一定的刚度,应能承受所有外表面的荷载;
- e) 带有套管的直埋管道,布置时应有足够的柔性,内管应有热胀冷缩的余地;
- f) 套管与输送管道最小净距为 100 mm,套管两端应进行密封,防止水及其他外来物的侵入。

B.6.4.3 大直径薄壁管道深埋时,应满足在土壤压力下的稳定性及刚度要求。

B.6.4.4 管道埋深应在冰冻线以下。当无法实现时,应有可靠的防冻措施。

B.6.5 管沟内管道布置

B.6.5.1 无法架空而又不宜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。

B.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,不得在通行管沟内布置窒息性及可燃介质管道,并符合下列要求:

- a) 可燃介质的管道不宜布置在全封闭式管沟内,若必须布置在管沟内,应采取防止可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,不宜敷设密度比环境空气大的可燃气体管道,当不可避免时,应在管沟内填满细砂,并应定期检查管道使用情况。

B.6.5.3 距散发比空气重的可燃气体设备 30 m 以内的管沟,应采取防止可燃气体窜入和积聚的措施。

B.6.5.4 埋地管道布置设计应考虑管道内介质能全部排净,管道应有一定的坡度,并在低点及高点设置放净及放空。

B.6.6 埋地管道标记及记录

B.6.6.1 竣工后的埋地管道应采用业主认可的方法进行地上识别标记。标记内容一般应包括介质名称、公称直径、业主名称、日期等。

B.6.6.2 埋地管道在管道安装工程竣工后,应向业主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。

B.6.7 直埋管道防腐蚀及阴极保护

B.6.7.1 外表面防腐蚀处理应符合下列规定:

- 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,外表面应进行防腐绝缘层处理;
- b) 外表面绝缘防腐等级应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,防腐蚀等级应为特加强级。

B.6.7.2 直埋管道的阴极保护应符合下列规定:

- 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) 直埋管道应采用绝缘法兰、螺栓、垫片和地上管道绝缘隔断。当局部采用钢套管时,套管间应设绝缘支撑进行电绝缘,套管两端应采用牢固的非导电材料密封。

B.7 地上管道的防腐要求

B.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,均应考虑通过喷涂防腐涂料进行防腐。

B.7.2 防腐涂料的选用

防腐涂料的选用要求如下:

- 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。

B.8 管道的隔热要求

B.8.1 管道保温

下列情况下应考虑对管道进行保温：

- 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，应设防烫保温。

B.8.2 管道保温伴热

下列管道应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。

B.8.3 管道的保冷

下列情况下应考虑对管道进行保冷：

- 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。

B.9 管道静电接地要求

B.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，均应采取静电接地措施。

B.9.2 在聚烯烃树脂处理系统、输送系统和料仓区应设置静电接地系统，不得出现不接地的孤立导体。

B.9.3 可燃气体、可燃液体、可燃固体的管道应设静电接地。接地连接点应符合下列要求：

- 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) 在进出装置或设施处，爆炸危险场所的边界应设静电接地设施，管道泵及泵入口永久过滤器、缓冲器等处应设置接地连接点；

- c) 可燃液体、液化烃的装卸站台和码头的管道应设置接地连接点；
- d) 管网在进出装置区处、不同爆炸危险环境的边界、管道分岔处的管道应进行接地，对于长距离的无分支管道，应在始端、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，应每隔 20 m 加跨接线，当管道交叉且净距小于 100 mm 时，应加跨接线；
- 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)，加热伴管应利用金属丝捆扎连接外，尚应使伴热管进汽口及回水口与工艺管道等电位连接，见图 B.1；

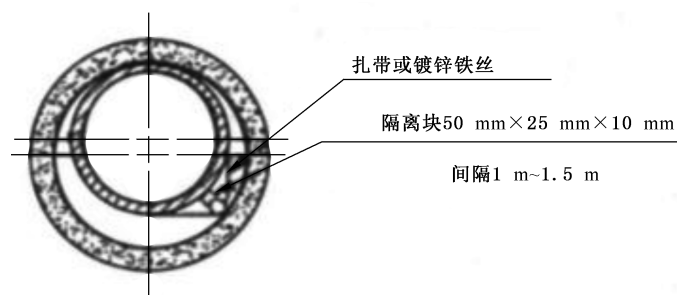


图 B.1 工艺管道与伴热管之间有隔热垫的伴管结构示意图

- g) 对金属管道中间的非导体管段(如聚氯乙烯管)，除需做特殊防静电处理外，两端的金属管应分别与接地干线相连，或用 6 mm^2 多股铜芯软绞线跨接后接地；
- h) 非导体管段上的所有金属件均应接地。

B.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，但应保证至少有两个螺栓或卡子间具有良好的导电接触面。

B.9.5 每组专设的静电接地体，其对地电阻值，一般情况应小于 100Ω 。在山区等土壤电阻率较高的场所，其对地电阻值也应不大于 $1\,000 \Omega$ 。

B.9.6 管道静电接地的设计，除符合上述规定外，应符合项目的特殊要求及现行有关标准规范的规定。

附录 C
(资料性附录)

常用工业阀门标准与国外通用石油化工阀门标准对照

表 C.1 所示为常用工业阀门标准与国外通用石油化工阀门标准对照表。表中左列是以 ASME/API/MSS/AWWA 为代表的 Class 系列的国外阀门标准。表中右列为对应的国内阀门标准,其中标明 Class+PN 系列者,即为以 Class 系列阀门为依据,添加了 PN 系列。

表中左右两侧无对应者,即为各自依据相应通用标准(ASME B16.34,GB/T 12224)制定的阀门标准,无对应关系。

表 C.1 常用工业阀门标准与国外通用石油化工阀门标准对照表

阀门通用标准——基本参数类标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
ASME B16.34 法兰、焊接、螺纹端阀门	GB/T 12224 钢制阀门 一般要求(Class+PN 系列)
常用闸阀产品标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
ASME B16.34 法兰、焊接、螺纹端阀门(闸阀)	GB/T 12224 钢制阀门 一般要求(Class+PN 系列闸阀)
API 600 法兰端和对焊端螺栓连接阀盖钢制闸阀(重型)	GB/T 12234 石油、天然气工业用螺栓连接阀盖的钢制闸阀(Class+PN 系列)(重型)
API 603 法兰端和对焊端螺栓连接阀盖的耐腐蚀闸阀	GB/T 12224 钢制阀门 一般要求(Class+PN 系列闸阀)
API 6D 管线阀门(闸阀)	GB/T 19672 管线阀门 技术条件(Class+PN 系列,闸阀)
	GB/T 20173 石油天然气工业 管道输送系统 管道阀门(Class+PN 系列,闸阀)
	GB/T 12232 通用阀门 法兰连接铁制闸阀(PN 系列)
AWWA C209 供水系统用弹性密封闸阀	GB/T 24924 供水系统用弹性密封闸阀(PN 系列)
	JB/T 10637 撑开式金属密封阀门(Class+PN 系列闸阀)
	JB/T 8691 无阀盖刀形闸阀(PN 系列)
	GB/T 8464 铁制和铜制螺纹连接阀门(PN 系列闸阀)
常用截止阀、截止止回阀、升降式止回阀产品标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
ASME B16.34 法兰、焊接、螺纹端阀门(截止阀,截止止回阀,升降式止回阀)	GB/T 12224 钢制阀门一般要求(Class+PN 系列截止阀,截止止回阀,升降式止回阀,柱塞阀)
API 600 法兰端和对焊端螺栓连接阀盖钢制闸阀(截止阀,截止止回阀,升降式止回阀)(重型)	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(Class+PN 系列)(重型)
BS 1873 石油、石化及相关工业用法兰和对焊连接钢制截止阀,升降式止回阀(Class+PN 系列)(重型)	
	GB/T 12233 通用阀门 铁制截止阀与升降式止回阀(PN 系列)

表 C.1 (续)

常用旋启式止回阀、对夹式止回阀、轴流式止回阀产品标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
ASME B16.34 法兰、焊接、螺纹端阀门(旋启式止回阀)	GB/T 12224 钢制阀门 一般要求(Class+PN系列旋启式止回阀,柱塞阀)
API 600 法兰端和对焊端螺栓连接阀盖钢制闸阀(旋启式止回阀)(重型)	GB/T 12236 石油、化工及相关工业用钢制旋启式止回阀(Class+PN系列旋启式止回阀)(重型)
BS 1868 石油、石化及相关工业用法兰和对焊连接钢制止回阀(Class+PN系列)(重型)	
	GB/T 13932 铁制旋启式止回阀(PN系列)
API 594 法兰、凸耳对夹、对夹及对焊连接止回阀(重型)	GB/T 12236 石油、化工及相关工业用钢制旋启式止回阀(Class+PN系列旋启式止回阀)(重型)
	JB/T 8937 对夹式止回阀(Class+PN系列)
	GB/T 21387 轴流式止回阀(Class+PN系列)
常用球阀产品标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
API 608 法兰、螺纹和焊接连接的金属球阀	GB/T 12237 石油、石化及相关工业用的钢制球阀(Class+PN系列)
BS 5351 石油、石化及相关工业用的钢制球阀(Class+PN系列)	
API 6D 管线阀门(球阀)	GB/T 19672 管线阀门 技术条件(球阀,Class+PN系列)
	GB/T 21385 金属密封球阀(Class+PN系列)
	GB/T 26146 偏心半球阀(Class+PN系列)
常用蝶阀产品标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
API 609 双法兰式、对夹式及凸耳式蝶阀	
AWWA C504 橡胶密封蝶阀	GB/T 12238 法兰和对夹连接弹性密封蝶阀(PN系列)
	GB/T 26144 法兰和对夹连接钢制衬氟塑料蝶阀(PN系列)
	JB/T 8527 金属密封蝶阀(Class+PN系列)
常用旋塞阀产品标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
API 599 法兰端、螺纹端和焊接端金属旋塞阀	GB/T 22130 钢制旋塞阀(Class+PN系列)(重型)
API 593 法兰连接球墨铸铁旋塞阀	GB/T 12240 铁制旋塞阀(Class+PN系列)
	JB/T 11152 金属密封提升式旋塞阀(Class+PN系列)
常用低温阀产品标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
BS 6364 低温阀门	GB/T 24925 低温阀门 技术条件

表 C.1 (续)

常用小口径、螺纹、承插端阀门产品标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
API 602 石油和天然气工业用公称尺寸小于和等于 DN100 的钢制闸阀、截止阀和止回阀	JB/T 7746 紧凑型钢制阀门(Class 系列钢制闸阀、截止阀和止回阀)
	GB/T 28776 石油和天然气工业用钢制闸阀、截止阀和止回阀(≤DN100)(Class 系列钢制闸阀、截止阀和止回阀)
	GB/T 8464 铁制和铜制螺纹连接阀门(PN 系列闸阀、截止阀和止回阀)
常用阀门检验、试验标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
API 598 阀门的检验和试验	GB/T 26480 阀门的检验和试验
	JB/T 9092 阀门的检验与试验
	GB/T 13927 工业阀门 压力试验
ASME B16.104(FCI70-2-98) 调节阀阀座泄漏检验	
API 607 部分回转阀门弹性密封耐火试验	GB/T 26479 弹性密封部分回转阀门 耐火试验
API 6FA 阀门耐火试验规范	
API 6FB 端部耐火试验	
API 6FC 阀门倒密封耐火试验	SY/T 6746 倒密封阀耐火试验规范
API 6FD 止回阀耐火试验	GB/T 26482 止回阀 耐火试验
ISO 15848-1 阀门的逸散性型式试验和评定	
ISO 15848-2 阀门的逸散性试验	GB/T 26481 阀门的逸散性试验
API 622 阀门填料试验规范	
常用阀门材料检验、试验标准	
国外系列阀门标准	国内系列阀门标准
MSS SP55 阀门铸钢件外观检测	JB/T 7927 阀门铸钢件外观质量要求
MSS SP54(ASME B16.34 附录 I) 阀门铸钢件射线检测	JB/T 6440 阀门受压铸钢件射线照相检验
ASTM E709(ASME B16.34 附录 II) 阀门铸钢件磁粉检测	JB/T 6439 阀门受压件磁粉探伤检验
ASTM E165(ASME B16.34 附录 III) 阀门液体渗透检测	JB/T 6902 阀门液体渗透检测
ASTM A388,A609(ASME B16.34 附录 IV) 阀门锻钢件,铸钢件超声波检测	JB/T 6903 阀门锻钢件超声波检查方法
NACE MR0175 油田耐硫化氢腐蚀金属材料	GB/T 20972 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料

附 录 D
(资料性附录)

低泄漏阀门阀杆密封通用要求

表 D.1 和表 D.2 分别列出了 ISO 15848-1、GB/T 26481、API 622、API 624、API 641 低泄漏阀杆型式试验及产品检验技术要求,用户或设计者可参照表 D.3 提出低泄漏阀门的阀杆密封通用要求。

表 D.1 ISO 15848-1 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	ISO 15848-1 低泄漏阀杆型式试验				GB/T 26481 低泄漏阀门 产品检验
	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 真空压力法或正 压累积法(定量)	AH, 10^{-5} mg/(s·m), 真空压力法	阀门公称压 力及相应温 度的压力额 定值	CO1, 机械循环 205 次/温度 循环 2 次;	试验压力:0.6 MPa; 试验气体:氦气; 检漏方法:吸气法。 常温,机械循环 5 次。 密封等级及泄漏率: A 级: $\leq 50 \times 10^{-6}$; B 级: $\leq 100 \times 10^{-6}$; C 级: $\leq 200 \times 10^{-6}$
		BH, 10^{-4} mg/(s·m), 真空压力法或正压累 积法		CO2, 机械循环 1 500 次/温 度循环 3 次;	
		CH, 10^{-2} mg/(s·m) 真空压力法或正压累 积法		CO3, 机械循环 2 500 次/温 度循环 4 次; 温度循环可选择下列 5 个等级: 常温(-29~+40 ℃); 常温~+200 ℃; 常温~+400 ℃; 常温~-196 ℃; 常温~-46 ℃	
	甲烷 CH ₄ 吸气法(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 真空压力法或正 压累积法(定量)	AH, 10^{-5} mg/(s·m), 真空压力法	CC1, 机械循环 20 000 次/温 度循环 2 次;		
		BH, 10^{-4} mg/(s·m), 真空压力法或正压累 积法	CC2, 机械循环 60 000 次/温 度循环 3 次;		
		CH, 10^{-2} mg/(s·m), 真空压力法或正压累 积法	CC3, 机械循环 100 000 次/ 温度循环 4 次; 温度循环可选择下列 5 个等级: 常温(-29~+40 ℃); 常温~+200 ℃; 常温~+400 ℃; 常温~-196 ℃; 常温~-46 ℃		
	甲烷 CH ₄ 吸气法(半定量)	AM, $\leq 50 \times 10^{-6}$			
		BM, $\leq 100 \times 10^{-6}$			
		CM, $\leq 500 \times 10^{-6}$			

表 D.2 API 低泄漏阀杆型式试验技术参数一览表

标准号	名称	试验气体、 检漏方法	泄漏率	试验条件(机械循环/温度 循环次数,温度循环等级)	相当 ISO 15848-1
API 622	切断阀低泄 漏填料型式 试验	甲烷 CH ₄ 试验压力: 4.0 MPa; 吸气法(半定量)	$\leq 500 \times 10^{-6}$	机械循环 1 510 次/温度循环常温~ +260 ℃, 5 次	CO2-CM

表 D.2 (续)

标准号	名称	试验气体、 检漏方法	泄漏率	试验条件(机械循环/温度 循环次数,温度循环等级)	相当 ISO 15848-1
API 624	升杆切断阀 低泄漏填料 型式试验	甲烷 CH ₄ 试验压力: 4.0 MPa; 吸气法(半定量)	≤100×10 ⁻⁶	机械循环 310 次/温度循环常温 ~ +260 °C, 3 次	CO1-BM
API 641	1/4 旋转切断 阀低泄漏填 料型式试验			机械循环 610 次/温度循环常温 ~ +260 °C, 3 次	CO2-BM
注: API 622 低泄漏阀门填料型式试验, API 624 升杆阀低泄漏石墨填料型式试验, API 641 1/4 旋转阀低泄漏填料型式试验。					

表 D.3 低泄漏阀门阀杆密封通用要求

阀门类别	阀杆密封类别	低泄漏阀杆型式试验通用要求		低泄漏阀门产品检验 GB/T 26481
		ISO 15848-1	API	
切断阀	填料, 升杆	CO1-CM, 或 CH	API 622 或 API 624	C 级
	填料, 1/4 旋转	CO1-BM, 或 BH	API 622 或 API 641	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, 不宜用于产品检测要求。</p> <p>注 2: 表 D.3 所列低泄漏阀杆型式试验通用要求, 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 °C 或常温~260 °C。</p> <p>注 3: 低泄漏阀杆型式试验及低泄漏阀门产品检验的组批分组可参照 API 的相应规定。</p>				

附 录 E
(资料性附录)
计算实例

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 GB/T 20801.2—2020 中表 B.3 查得, $E=2.03\times 10^5$ MPa。

故所选壁厚合适。

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 6.1.1、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—2011 中图 6-2,可由 $L/D=24.6$, $D/T_e=95.8$ 而得 $A=0.000\ 12$, 并据 GB/T 20801.2—2020 中表 B.3, $t=20$ °C 时得 $E=2.03\times 10^5$ MPa,因此,大端直管的许用外压:

$$[P]=\frac{2AE}{3(D/T_e)}=\frac{2\times 0.000\ 12\times 2.03\times 10^5}{3\times 95.8}=0.170(\text{MPa})$$

对于小端直管,和大端直管相同,可由 $L/D=38.6$, $D/T_e=108$ 而得 $A=0.000\ 1$,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。

由上面计算可知,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。

例 3 外径 $D_b=219$ mm、壁厚 $\bar{T}_b=8$ 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 E-1,设计压力 $P=2$ MPa,设计温度 $t=200$ °C,接管处填角焊缝符合 GB/T 20801.4—2020 中 7.8 和图 10 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?

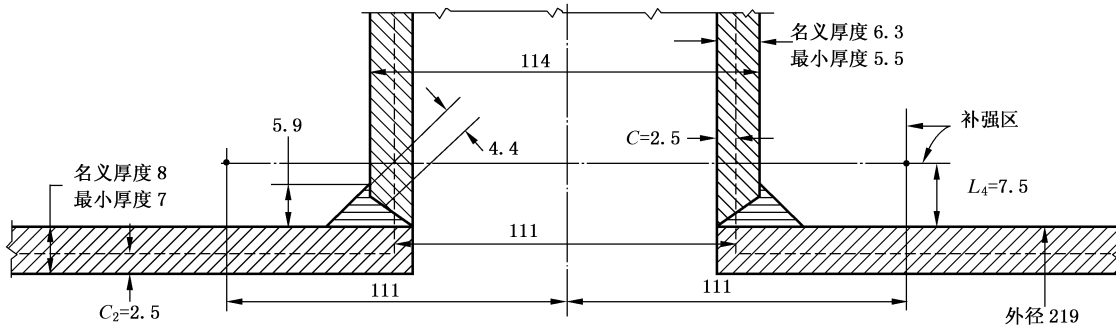


图 E.1 例 3 的附图

解：由 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1, $S=121$ MPa, 由 GB/T 20801.2—2020 中表 A.3, $\Phi=1.0$

$$T_h = 0.875 \bar{T}_h = 0.875 \times 8 = 7 \text{ (mm)}$$

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 6.3 = 5.5 \text{ (mm)}$$

$$t_h = \frac{PD_h}{2(S\Phi + PY)} = \frac{2 \times 219}{2(121 \times 1 + 2 \times 0.4)} = 1.8 \text{ (mm)}$$

$$t_b = \frac{PD_b}{2(S\Phi + PY)} = \frac{2 \times 114}{2(121 \times 1 + 2 \times 0.4)} = 0.94 \text{ (mm)}$$

t_h, t_b 式中的 Y 值据表 15, $Y=0.4$ 。

由 6.7.1:

$$d_1 = (D_b - 2T_{eb}) / \sin\beta = [114 - (5.5 - 2.5)] / \sin 90^\circ = 111 \text{ (mm)}$$

d_2 取下列两式中的较大值:

$$d_2 = d_1 = 111 \text{ (mm)}$$

$$d_2 = T_{eb} + T_{eh} + \frac{d_1}{2} = (5.5 - 2.5) + (7 - 2.5) + \frac{111}{2} = 63 \text{ (mm)}$$

故 $d_2 = 111$ mm。

L_4 取下列两式中的较小值:

$$L_4 = 2.5T_{eh} = 2.5(7 - 2.5) = 11.25 \text{ (mm)}$$

$$L_4 = 2.5T_{eb} = 2.5(5.5 - 2.5) = 7.5 \text{ (mm)}$$

故 $L_4 = 7.5$ mm。

由图 E.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 $t_c = 4.4$ mm。

由式 (15), 所需补强面积:

$$A_1 = t_h d_1 (2 - \sin\beta) = 1.8 \times 111 (2 - \sin 90^\circ) = 199.8 \text{ (mm}^2\text{)}$$

由式 (17), 主管的多余截面积:

$$A_2 = (2d_2 - d_1)(T_{eh} - t_h) = 111(7 - 2.5 - 1.8) = 300 \text{ (mm}^2\text{)}$$

由式 (18), 支管的多余截面积:

$$A_3 = 2L_4(T_{eb} - t_b) / \sin\beta = 2 \times 7.5(5.5 - 2.5 - 0.94) / \sin 90^\circ = 31 \text{ (mm}^2\text{)}$$

焊缝截面积:

$$A_5 = 2 \times 0.5 \left(\frac{t_c}{0.707} \right)^2 = 2 \times 0.5 \left(\frac{4.4}{0.707} \right)^2 = 38.7 \text{ (mm}^2\text{)}$$

由式(21),总的补强面积 $A_2 + A_3 + A_5 = 300 + 31 + 38.7 = 369.7 \text{ mm}^2 > 199.8 \text{ mm}^2 = A_1$
因此,该接管开孔已满足补强要求,不需另加补强。

例 4 外径 $D_h = 324 \text{ mm}$ 、壁厚 $\bar{T}_h = 17.5 \text{ mm}$ 的主管上有一垂直支管,支管外径 $D_b = 219 \text{ mm}$,壁厚 $\bar{T}_b = 12.5 \text{ mm}$,主管和支管材料都是 ASTM B 241 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 $D_r = 350 \text{ mm}$ 、 $T_r = 17.5 \text{ mm}$ 的补强圈,见图 E.2。设计温度 $t = -196 \text{ }^\circ\text{C}$,填角焊缝符合 GB/T 20801.4—2020 中图 10 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?

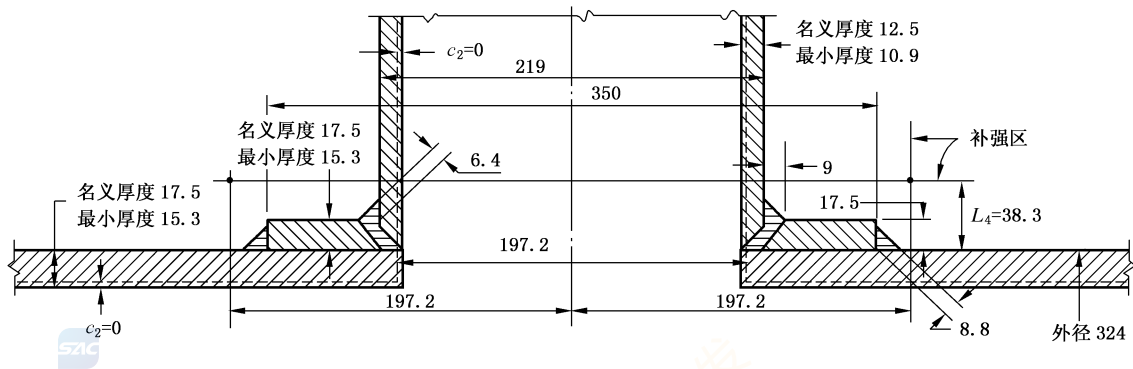


图 E.2 例 4 的附图

解:由 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1,对于主管和支管, $S = 55 \text{ MPa}$,对补强圈, $S = 55 \text{ MPa}$;由 GB/T 20801.2—2020 中表 A.3, $\Phi = 1.0$ 。

$$T_h = 0.875 \bar{T}_h = 0.875 \times 17.5 = 15.3 (\text{mm})$$

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 12.5 = 10.9 (\text{mm})$$

$$t_h = \frac{PD_h}{2(S\Phi + PY)} = \frac{324P}{2(55 \times 1 + 0.4P)}$$

$$t_b = \frac{PD_b}{2(S\Phi + PY)} = \frac{219P}{2(55 \times 1 + 0.4P)}$$

t_h 、 t_b 式中的 Y 值据表 15, $Y = 0.4$ 。

采用符号 $q = \frac{P}{110 + 0.8P}$, 则可得:

$$t_h = 324q$$

$$t_b = 219q$$

由 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:

$$d_2 = d_1 = 197.2 \text{ mm}$$

$$d_2 = T_{eb} + T_{eh} + \frac{d_1}{2} = 10.9 + 15.3 + \frac{197.2}{2} = 124.8 (\text{mm})$$

故 $d_2 = 197.2 \text{ mm}$ 。

L_4 取下列两式中的较小值:

$$L_4 = 2.5T_{eh} = 2.5 \times 15.3 = 38.3 (\text{mm})$$

$$L_4 = 2.5T_{eb} + T = 2.5 \times 10.9 + 15.3 = 42.6 (\text{mm})$$

故 $L_4 = 38.3 \text{ mm}$ 。

由图 E.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 $t_c = 0.5 T_r = 0.5 \times 17.5 = 8.8(\text{mm})$ 。

由式(15),所需补强面积:

$$A_1 = t_b d_1 (2 - \sin\beta) = 324q \times 197.2(2 - \sin 90^\circ) = 638\,92.8q(\text{mm}^2)$$

由式(17),主管的多余截面积:

$$A_2 = (2d_2 - d_1)(T_{eh} - t_b) = 197.2(15.3 - 324q) = 3\,017.2 - 63\,892.8q(\text{mm}^2)$$

由式(18),支管的多余截面积:

$$A_3 = 2L_4(T_{eb} - t_b)/\sin\beta = 2 \times 38.3(10.9 - 219q) = 833.9 - 16\,753.5q(\text{mm}^2)$$

补强圈截面积取式(19)、式(20)中的较小值:

$$A_4 = \left(D_r - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) \times 0.875 T_r = \left(350 - \frac{219}{\sin 90^\circ}\right) \times 0.875 \times 17.5 = 2\,006(\text{mm}^2)$$

$$A_4 = \left(2d_2 - \frac{D_b}{\sin\beta}\right) \times 0.875 T_r = \left(2 \times 197.2 - \frac{219}{\sin 90^\circ}\right) \times 0.875 \times 17.5 = 2\,686(\text{mm}^2)$$

故 $A_4 = 2\,006 \text{ mm}^2$ 。

焊缝截面积

$$A_5 = 2 \times 0.5 \left(\frac{t_c}{0.707}\right)^2 + 2 \times 0.5 \left(\frac{t_c}{0.707}\right)^2 = \left(\frac{6.4}{0.707}\right)^2 + \left(\frac{8.8}{0.707}\right)^2 = 236.9(\text{mm}^2)$$

由式(21), $A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = A_1$ 可得:

$$(3\,017.2 - 63\,892.8q) + (833.9 - 16\,753.5q) + 236.9 + 2\,006 = 63\,892.8q$$

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 $P = 4.78 \text{ MPa}$ 。

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° 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 E.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 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?

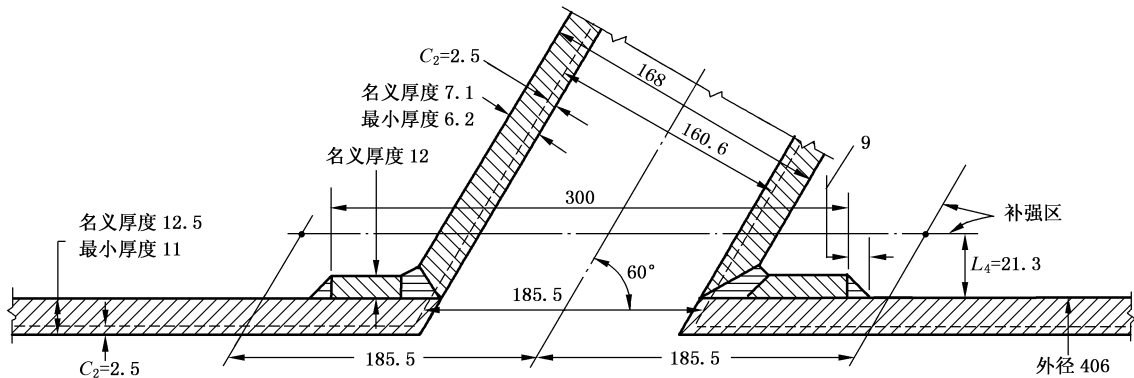


图 E.3 例 5 的附图

解:由 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1,对主管和支管, $S=109$ MPa,对补强圈, $S=117$ MPa,据本部分 6.7.2.3 b)的规定,在计算补强圈面积 A_4 值时可不予关注。

由 GB/T 20801.2—2020 中表 A.3 查得, $\Phi=1.0$

$$T_h = 0.875 \bar{T}_h = 0.875 \times 12.5 = 11(\text{mm})$$

$$T_b = 0.875 \bar{T}_b = 0.875 \times 7.1 = 6.2(\text{mm})$$

$$t_h = \frac{PD_h}{2(S\Phi + PY)} = \frac{3.5 \times 406}{2(109 \times 1 + 3.5 \times 0.4)} = 6.4(\text{mm})$$

$$t_b = \frac{PD_b}{2(S\Phi + PY)} = \frac{3.5 \times 168}{2(109 \times 1 + 3.5 \times 0.4)} = 2.7(\text{mm})$$

t_h, t_b 式中的 Y 值据表 15, $Y=0.4$ 。

由 6.7.1:

$$d_1 = (D_b - 2T_{eb}) / \sin\beta = [168 - 2(6.2 - 2.5)] / \sin 60^\circ = 185.5(\text{mm})$$

d_2 取下列两式中的较大值:

$$d_2 = d_1 = 185.5 \text{ mm}$$

$$d_2 = T_{eb} + T_{eh} + \frac{d_1}{2} = (6.2 - 2.5) + (11 - 2.5) + 185.5/2 = 105(\text{mm})$$

故 $d_2 = 185.5 \text{ mm}$ 。

L_4 取下列两式中的较小值:

$$L_4 = 2.5T_{eh} = 2.5(11 - 2.5) = 21.3(\text{mm})$$

$$L_4 = 2.5T_{eb} + T_r = 2.5(6.2 - 2.5) + 12 = 21.3(\text{mm})$$

故 $L_4 = 21.3 \text{ mm}$ 。

由式(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:

$$A_3 = 2L_4(T_{eb} - t_b) / \sin\beta = 2 \times 21.3(3.7 - 2.7) / \sin 60^\circ = 49.3(\text{mm}^2)$$

补强圈截面积取式(19)、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。

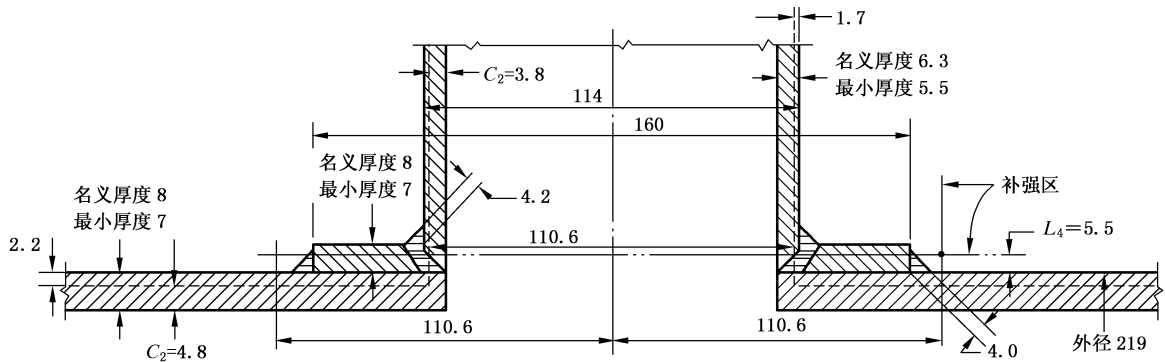


图 E.4 例 6 的附图

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 E.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），即按式(19)、式(20)算得的 $A_2=A_3=0$ 。试问该管件要求多厚的补强圈？

解：由 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1 查得， $S=121$ MPa，由 GB/T 20801.2—2020 中表 A.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 15， $Y=0.4$ 。

由 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 $d_2 = 110.6$ mm。

L_4 取下列两式中的较小值：

$$L_4 = 2.5T_{eh} = 2.5 \times (7 - 4.8) = 5.5 \text{ (mm)}$$

$$L_4 = 2.5T_{eb} = 2.5 \times (5.5 - 3.8) = 4.3 \text{ (mm)}$$

故 $L_4 = 4.3$ mm。

初定 L_4 值时，暂未考虑设置补强圈。

试取补强圈直径 $D_r=160$ 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：

$$L_4 = 2.5T_{eh} = 2.5 \times (7 - 4.8) = 5.5 \text{ (mm)}$$

$$L_4 = 2.5T_{eb} + T_r = 2.5 \times (5.5 - 3.8) + 7 = 11.3 \text{ (mm)}$$

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 $A_1 = t_h d_1 (2 - \sin\beta) = 2.2 \times 110.6 = 243.3 (\text{mm}^2)$ 。

由式(19)、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, 只考虑补强圈对主管的连接焊缝, 而不考虑支管对主管的连接焊缝。

焊脚尺寸为:

$$\frac{0.5T_r}{0.707} = \frac{0.5 \times 8}{0.707} = 5.7 (\text{mm})$$

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。

例 7 外径 $D_h = 219 \text{ mm}$ 、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 GB/T 20801.4—2020 中图 10 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 6.7.3 不需补强的条件 a), 不必进行补强计算, 也不必采用补强措施。

附 录 F
(资料性附录)
压力面积法补强计算

F.1 符号

- 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(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(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)。

F.2 补强计算

整体成型三通的补强计算应按如下步骤进行,其他异形元件的开孔补强计算也可参照压力面积法进行补强计算,可参见 EN 13480.3:

- a) 应参照图 F.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) 强度条件应符合式(F.1)的要求:

$$S \geq P \left(\frac{A_p}{A_s} + \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots (F.1)$$

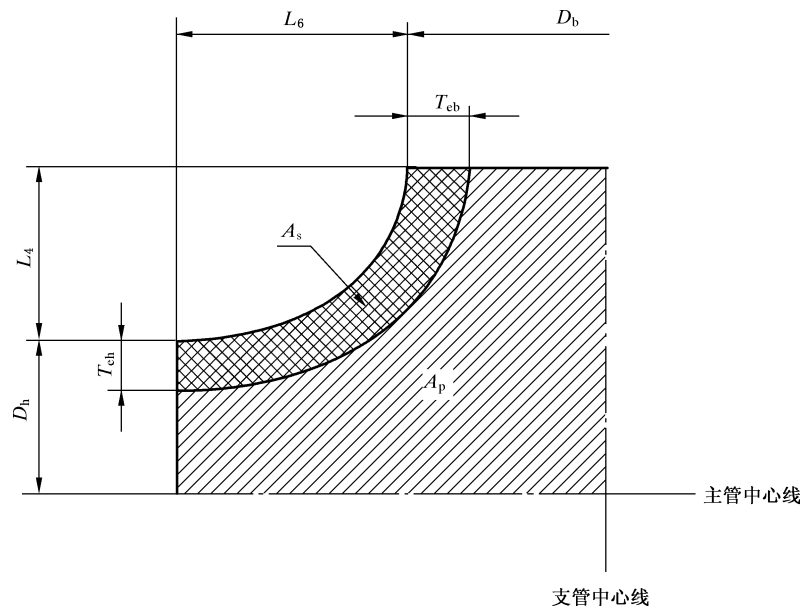


图 F.1 三通补强计算示意图

附录 G

(规范性附录)

柔性系数和应力增大系数

表 G.1 和表 G.2 分别列出了管道元件及其连接接头的柔性系数和应力增大系数。

表 G.1 柔性系数和应力增大系数(一)^a

名称	脚注	柔性系数 k	应力增大系数 ^{b,c}		尺寸系数 h	简图
			平面外 i_o	平面内 i_i		
对焊弯头或弯管	b,d,e,f,g	$\frac{1.65}{h}$	$\frac{0.75}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{\bar{T}R_1}{r_2^2}$	
窄间距斜接弯头 $S < r_2(1 + \tan\theta)$	b,d,e,g	$\frac{1.52}{h^{5/6}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{\cot\theta}{2} \left(\frac{\bar{T}}{r_2^2} \right)$	
单斜弯头或 宽间距斜接弯头 $S > r_2(1 + \tan\theta)$	b,d,g	$\frac{1.52}{h^{5/6}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{1 + \cot\theta}{2} \left(\frac{\bar{T}}{r_2} \right)$	
标准对焊三通 (GB/T 12459-B)	b,d,f,h,i	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$3/4i_o + 1/4$	$3.1 \left(\frac{\bar{T}}{r_2} \right)$	
带补强焊制三通	b,d,i,j,k	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$3/4i_o + 1/4$	$\frac{(\bar{T} + 1/2 \bar{T}_r)^{2.5}}{\bar{T}^{1.5} r_2}$	
不带补强焊制三通	b,d,i,k	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$3/4i_o + 1/4$	$\frac{\bar{T}}{r_2}$	
挤压成型对焊三通 $r_x \geq 0.05D_b$ $T_c < 1.5 \bar{T}$	b,d,i	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$3/4i_o + 1/4$	$\left(1 + \frac{r_x}{r_2} \right) \frac{\bar{T}}{r_2}$	

表 G.1 (续)

名称	脚注	柔性系数 k	应力增大系数 ^{b,c}		尺寸系数 h	简图
			平面外 i_o	平面内 i_i		
嵌入式支管	b, d, h, i	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$3/4i_o + 1/4$	$3.1 \frac{\bar{T}}{r_2}$	
整体补强支管座	b, d, k, l	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$3.3 \frac{\bar{T}}{r_2}$	

^a 应力增大系数和柔性系数是用于缺少更直接的应用数据的情况。对于 $D/T \leq 100$, 已证实表中值是有效的。

^b 柔性系数 k 适用于任何平面内的弯曲。柔性系数 k 和应力增大系数 i 均不应小于 1。这两个系数应用于弯头和斜接弯头的有效弧长(图表中粗中心线表示)上以及三通的交叉点处。

^c 需要时, 对于 i_i 和 i_o 都可使用单一的应力增大系数 $0.9/h^{2/3}$ 。

^d k 值和 i 值可由表列公式计算 h 值, 再从图 G.1 上直接读出。
表中符号如下:

\bar{T} —— 对于弯头和斜接弯头, 为管的名义厚度; 对于三通, 为主管名义厚度;

T_c —— 三通的叉口处厚度;

T_r —— 补强圈或鞍件的厚度;

θ —— 相邻斜接弯管轴线夹角之半;

r_2 —— 主管平均半径;

R_1 —— 对焊弯头或弯管弯曲半径;

r_x —— 挤压成型管座外轮廓部分的过渡半径, 见图 11;

s —— 斜接弯管在中心线上的间距;

D_b —— 支管外径。

^e 当法兰装在一端或两端时, 表中 k 和 i 值应按系数 C_1 来修正。系数 C_1 可用计算得到的 h 值由图 G.2 查得。

^f 设计应注意对接焊的铸造弯头的壁厚可能比连接管子的壁厚大得多, 如不考虑这些较大壁厚的影响, 可能出现较大的误差。

^g 对于直径大、管壁薄的弯头和弯管, 压力会明显地影响其 k 和 i 的数值。因此, 将表中的值修正如下:

$$k = \frac{1}{\left[1 + 6 \left(\frac{P}{E} \right) \left(\frac{r_2}{\bar{T}} \right)^{\frac{7}{3}} \left(\frac{R_1}{r_2} \right)^{\frac{1}{3}} \right]}$$

$$i = \frac{1}{\left[1 + 3.25 \left(\frac{P}{E} \right) \left(\frac{r_2}{\bar{T}} \right)^{\frac{5}{2}} \left(\frac{R_1}{r_2} \right)^{\frac{2}{3}} \right]}$$

式中:

P —— 设计压力, 单位为兆帕 (MPa);

E —— 弹性模量, 单位为兆帕 (MPa)。

^h 若 $r_x \geq 1/8 D_b$ 且 $T_c > 1.5 \bar{T}$, 可使用的柔度特性为 $h = 4.4 \bar{T} / r_2$ 。

ⁱ 支管连接的应力增大系数是基于支管中心线两侧长度至少为 2 倍直径的验证性压力试验而得, 间距更小的支管需特殊考虑。

^j $T_r > 1 \frac{1}{2} \bar{T}$ 时, $h = 4 \bar{T} / r_2$ 。

^k 支管与主管直径比在 $0.5 \leq d/D < 1.0$ 时, 其平面外的应力增大系数可能是不保守的, 有内凹且平滑过渡的焊缝轮廓可减小应力增大系数。选择适当的应力增大系数是设计的责任。

^l 设计应保证整体补强支管座与直管具有相同的压力额定值。

表 G.2 柔性系数和应力增大系数(二)

名称	注	柔性系数 k	应力增大系数 i
对焊接头, 异径管或带颈对焊法兰	—	1	1.0
平焊法兰	—	1	1.2
填角焊接头, 承插焊法兰或承插管件	1	1	1.3
松套法兰	—	1	1.6
螺纹管接头或螺纹法兰	—	1	2.3
褶皱和波浪形直管或褶皱和波浪形弯头	2	5	2.5

注 1: 承插管件的填角焊接头的应力增大系数是基于承插管件和管子符合 GB/T 12459, 填角焊符合 GB/T 20801.4—2020 中图 9 的要求; 承插焊法兰的填角焊接头的应力增大系数是基于填角焊符合 GB/T 20801.4—2020 中图 8 c) 的要求; 填角焊缝应平缓过渡至管子, GB/T 20801.4—2020 中图 7 b)、d) 所示凹形焊缝有利改善焊缝的抗疲劳性能。

注 2: 所示系数适用于弯曲, 对于扭曲, 其柔性系数为 0.9。

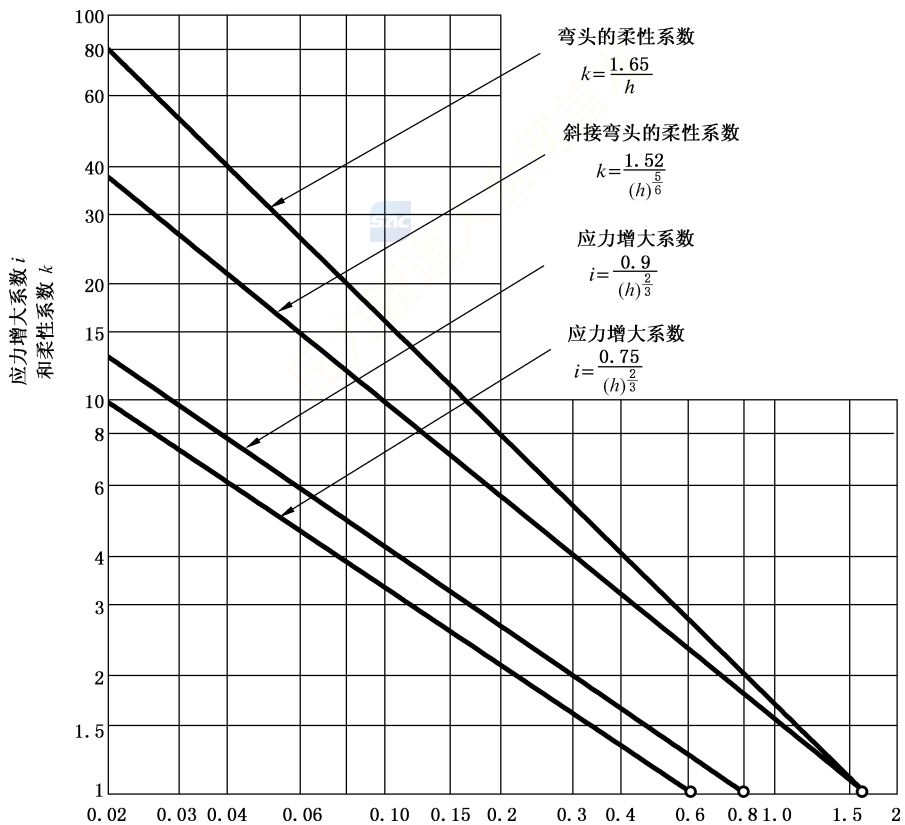


图 G.1 尺寸系数 h

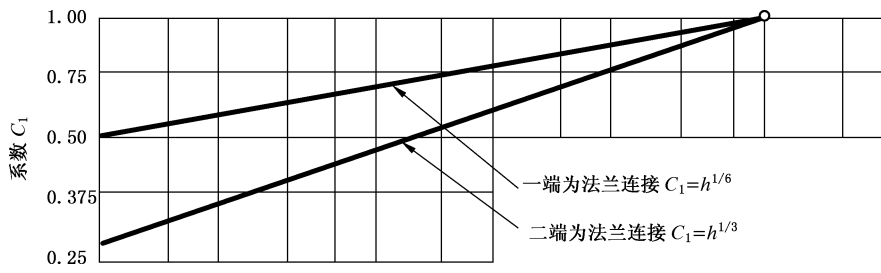


图 G.2 系数 C_1

压力管道人全网首发

附录 H
(资料性附录)
管系中阀门开、关时的动载分析

H.1 阀门快速关闭

H.1.1 如管系有“水锤”现象存在,则应保证该管系中的管道和管道元件能安全地承受正常操作压力加上短时压力的升高值。同时应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,设计人员也应在管道结构布置时适当加以考虑。

H.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。该方法未考虑压力波对管系产生的振动,其计算结果应是偏保守的。按式(H.1)计算:

a) 当满足以下不等式时会出现“水锤”现象:

$$T < \frac{2L}{v_s} \quad \dots\dots\dots (H.1)$$

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,可按式(H.2)算得:

$$v_s = \sqrt{\frac{E_o}{\rho}} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (H.2)$$

E_o ——流体的体积弹性模量,单位为兆帕(MPa);

ρ ——管道中流体的密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

当考虑管道所具有的弹性时, v_s 以式(H.3)计算:

$$v_s = \sqrt{\frac{1}{\rho \left(\frac{1}{E_o} + \frac{D}{T_e E} \right)}} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (H.3)$$

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 Δp , (MPa)可按式(H.4)计算:

$$\Delta p = v_s \cdot v \cdot \rho \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (H.4)$$

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)可按式(H.5)、式(H.6)计算:

对刚性管道:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot V_m \cdot L}{2 \cdot V_a \cdot \lambda} \cdot \Delta p \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (H.5)$$

对柔性管道:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot V_m \cdot L}{V_a \cdot \lambda} \cdot \Delta p \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (H.6)$$

式中:

V_m ——阀门关闭过程中的最高速率,单位为平方米每秒(m²/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(m²/s);

λ ——压力波的波长[见式(H.7)],单位为米(m)。

$$\lambda = v_s \cdot T \quad \dots\dots\dots (H.7)$$

H.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,设计者应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,则应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考虑其动态效应。

向通风管或大气中排放物料时的持续反作用力(N)按式(H.8)计算:

$$F_r = M v_e (p_e - p_a) A \quad \dots\dots\dots (H.8)$$

式中:

M ——物料排放时的质量流速,单位为千克每秒(kg/s);

v_e ——物料在泄放阀的出口速率,单位为米每秒(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(mm²)。

为了考虑泄放阀开启瞬间所具有的动态效应,首先按式(H.9)计算泄放阀的固有周期 T (s):

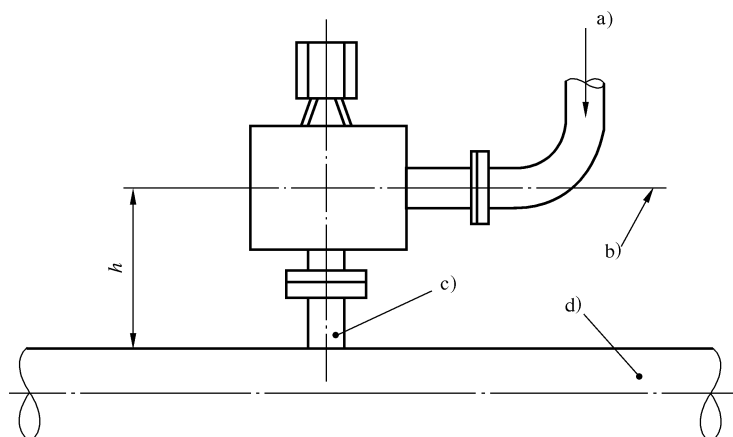
$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{m_v \cdot h^3}{1\,000 \times EJ}} \quad \dots\dots\dots (H.9)$$

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 H.1),单位为毫米(mm);

J ——泄放阀进口管的惯性矩,单位为毫米四次方(mm⁴)。



说明:

a) ——反作用力;

c) ——阀门的进口管;

b) ——阀门出口管的中心线;

d) ——主管。

图 H.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 H.2 中查得动态荷载系数 Z_{df} 。

泄放阀开启瞬间的动态力(N),可以按式(H.10)计算:

$$F_d = F_r Z_{df} \dots\dots\dots (H.10)$$

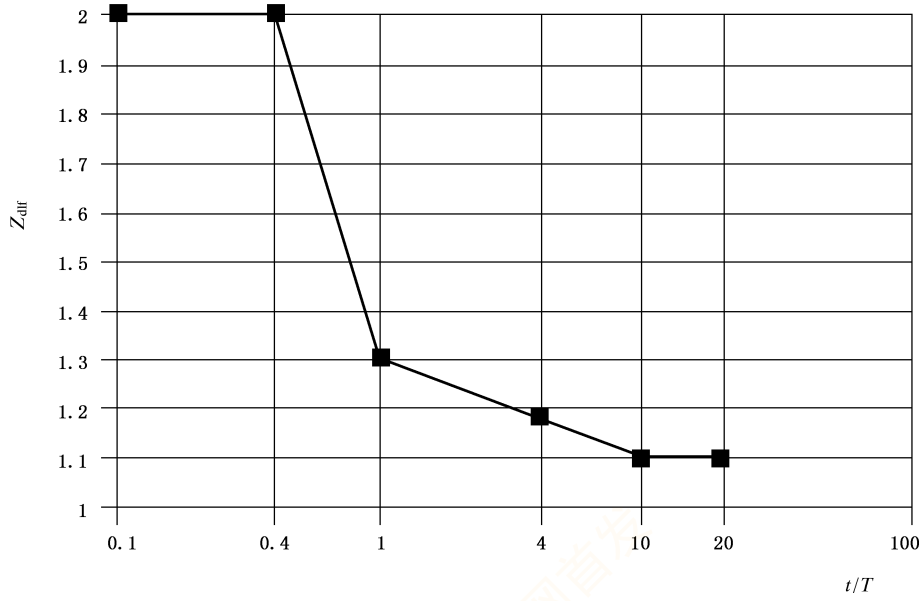


图 H.2 动态荷载系数 Z_{df}

附 录 I
(资料性附录)
静设备管口许用荷载

I.1 范围

本附录给出了静设备接管及其补强板、接管所在处的壳体应能承受的除压力外的力和弯矩。

本附录适用于设计压力大于 0.1 MPa, 小于 35 MPa 的一般钢制压力容器及管壳式换热器(以下简称一般设备)。

本附录不适用于固定顶罐、浮顶罐、储气罐、料仓、箱形容器等。

本附录不适用于非法线接管和非圆形接管。

I.2 设计压力大于 0.1 MPa, 小于 10 MPa 的一般设备

I.2.1 对于半径 $R=1\ 000$ mm, 壳体有效厚度 $t=10$ 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应能够承受表 I.1 所列的力和弯矩(方向见图 I.1)。

表 I.1 设计压力大于 0.1 MPa, 小于 10 MPa 的设备许用管口荷载

NPS	P/N	T_L/N	T_C/N	$M_L/(N \cdot m)$	$M_C/(N \cdot m)$	$M_T/(N \cdot m)$
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

I.2.2 对于材料为不锈钢的一般设备, 表 I.1 所列数值应降至 75%。

I.2.3 对于不同直径和壁厚的一般设备, 应对表 I.1 所列数值乘以系数 k 进行修正, k 按式(I.1)计算:

$$k = t^{1.5} / \sqrt{R} \quad \dots\dots\dots (I.1)$$

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);

R ——接管所在处设备壳体内半径, 单位为毫米(mm)。

I.3 设计压力大于或等于 10 MPa, 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应能够承受表 I.2 所列的力和弯矩(方向见图 I.1)。

表 I.2 设计压力大于或等于 10 MPa, 小于 35 MPa 的设备许用管口荷载

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 I.2 中的 D 按式(I.2)进行计算:

$$D = D_0 + 76.2 \dots\dots\dots(I.2)$$

式中:

D_0 ——接管外径,单位为毫米(mm)。



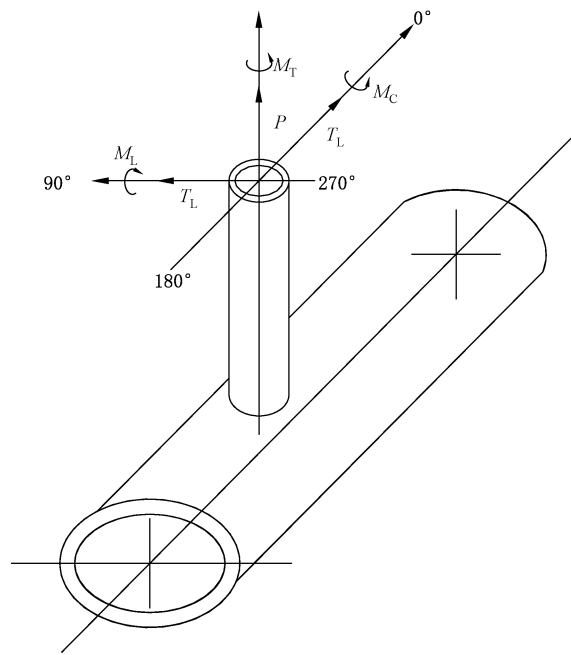


图 I.1 设备管口承受的力和力矩方向

附 录 J
(规范性附录)
金属波纹膨胀节

J.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。膨胀节所有元件的详细设计应由制造商负责。

J.2 对管道设计者的要求

J.2.1 总则

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) 最大实验压力;
- h) 设计计算书;
- i) 总装配图。

J.2.2 膨胀节设计条件

管道设计提出的膨胀节设计条件应包括:

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,如业主指定的介质类型、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。

J.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,应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应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 J.2.2 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,应考虑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。

J.3 对膨胀节制造商的要求

J.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。

J.3.2 膨胀节设计

膨胀节的设计应符合下列规定:

- 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 GB/T 12777 计算波形膨胀节的应力时,应采用 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.4 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 GB/T 20801.2 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 GB/T 20801.2 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 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1 给出的许用应力。非表列材料的许用应力值按 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.4 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 GB/T 20801.2—2020 中表 A.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 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.4 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 JB 4732 的准则进行评定。
- h) 管段、管件和法兰的压力设计应符合 GB/T 20801.3—2020 中第 5 章和第 6 章的要求。
- i) 疲劳分析应考虑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) 波纹管元件的操作温度在蠕变范围内时,应考虑蠕变-疲劳相互作用的有害影响。
- k) 设计温度低于 425 °C 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。

J.3.3 膨胀节的制造、检验和压力试验

J.3.3.1 制造技术方案

在管道系统中设置膨胀节时,应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 J.3.3.2~J.3.3.4 所述的内容。

J.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。膨胀节的焊接应满足以下要求:

- 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) 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。
- c) 全角焊缝可用作波纹管元件与相邻管道组件的主焊缝。
- d) 制造波纹管的管坯不得使用搭接焊。
- e) 当波纹管与管道组件直接焊接,且管道组件材料组别是 Fe-4、Fe-5A、Fe-5B(见 NB/T 47014) 时,该焊缝应按 GB/T 20801.4—2020 中第 9 章的规定进行热处理,不准许使用其免除热处理的规定。恒温时间由管道组件的厚度确定。焊缝的检测应在热处理后进行。热处理可能影响波纹管的承压能力、力学性能和耐腐蚀性能,如果确认热处理对波纹管的性能有害,波纹管就不应直接与管道组件焊接,在这种情况下,管道组件的焊缝坡口边应使用适当的填充金属进行隔离层堆焊,并按 GB/T 20801.4—2020 中第 9 章进行热处理,然后再与波纹管焊接。

J.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 GB/T 20801.5—2020 中第 4 章~第 8 章的要求。
- b) 在波纹管成型前,纵焊缝应进行 100%射线探伤。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、外表面进行渗透探伤代替。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探伤。波纹管与管道连接的环焊缝等也应进行 100%渗透探伤。
- d) 射线探伤的评判应符合 GB/T 20801.5—2020 中 6.3.1.2 对纵缝的要求。渗透探伤的评判标准是不准许有裂纹、咬边和未焊透。

J.3.3.4 压力试验

膨胀节的压力试验应符合下列规定:

- a) 制造商应按 GB/T 20801.5—2020 中第 9 章的规定对每一个膨胀节进行压力试验,试验压力应按 GB/T 20801.5—2020 中 9.1.3 和 9.1.4 确定,式(1)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 GB/T 20801.5—2020 中 9.1.4 的规定。

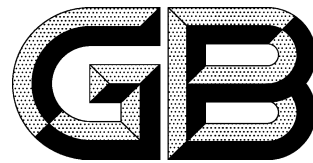
J.4 安装

膨胀节的安装应符合下列规定:

- a) 膨胀节安装时应使导流标志方向与介质流向一致;
- b) 不得利用膨胀节的变形来调整或弥补管道的安装偏差;
- c) 安装时应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,不得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。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3840 制定地方大气污染物排放标准的技术方法
 - [2] GB 31570 石油炼制工业污染物排放标准
 - [3] GB 31571 石油化学工业污染物排放标准
 - [4] GB 50160—2008 石油化工企业设计防火规范
 - [5] EN 13480.3 Metallic industrial piping—Part 3: Design and calculation
 - [6] API 622 Type Testing of Process Valve Packing for Fugitive Emissions
 - [7] API 624 Type Testing of Rising Stem Valves Equipped for Graphite Packing for Fugitive Emissions
 - [8] API 641 Type Testing of Quarter-turn Valves for Fugitive Emissions
-



中华人民共和国国家标准

GB/T 20801.4—2020
代替 GB/T 20801.4—2006

压力管道规范 工业管道 第4部分：制作与安装

Pressure piping code—Industrial piping—Part 4: Fabrication and assembly

2020-11-19 发布

2021-06-01 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
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	3
5 管道元件及材料的检查与验收	4
6 管道制作	5
7 焊接.....	10
8 预热.....	18
9 热处理.....	20
10 装配和安装	26
11 不锈钢和有色金属管道	31
12 管道清理、吹扫和清洗.....	32
附录 A (资料性附录) 管道封闭口装配错口偏差评估方法	34
附录 B (资料性附录) 法兰接头螺栓拧紧方法和安装目标载荷	39



前 言

GB/T 20801《压力管道规范 工业管道》分为以下 6 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计和计算；
- 第 4 部分：制作与安装；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护。

本部分为 GB/T 20801 的第 4 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 20801.4—2006《压力管道规范 工业管道 第 4 部分：制作与安装》，与 GB/T 20801.4—2006 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了管道元件及材料的检查与验收要求(见第 5 章,2006 年版的第 5 章)；
- 修改了板焊管的制作要求(见 6.4,2006 年版的 6.4)；
- 修改了焊接工艺评定要求,补充了焊接材料的相关要求(见 7.1、7.2,2006 年版的 7.1、7.2)；
- 增加了合金钢和有色金属管道焊接方法和施焊程序规定(见 7.5.2)；
- 增加了管道单面底层焊的气体保护要求(见 7.5.8)；
- 修改了承插焊接头的最小焊缝尺寸(见图 9,2006 年版的图 9)；
- 增加了支管座与主管的焊接接头形式和要求[见图 10 g)、7.8.7]；
- 修改了材料的预热及道间温度要求(见第 8 章,2006 年版的第 8 章)；
- 修改了焊后热处理要求(见 9.3,2006 年版的 9.2)；
- 增加了管道预制(装配)相关要求(见第 10 章)；
- 增加了“管道封闭口装配错口偏差评估方法”(见附录 A)；
- 增加了“法兰接头螺栓拧紧方法和安装目标荷载”(见附录 B)。

本部分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。

本部分起草单位：中国化学工程第三建设有限公司、国家市场监督管理总局特种设备安全监察局、全国化工设备设计技术中心站、杜拉巴尔流体装置(苏州)有限公司。

本部分主要起草人：夏节文、程国华、徐锋、黄正林、蔡暖妹、张胜清、应道宴。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 20801.4—2006。

压力管道规范 工业管道

第4部分：制作与安装

1 范围

GB/T 20801的本部分规定了压力管道制作与安装的基本要求。这些基本要求包括制作、焊接、预热、热处理、装配和安装以及管道清理等方面的规定。

本部分适用于GB/T 20801.1范围界定的压力管道元件的制作与安装。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 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 13927 工业阀门 压力试验

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 20801.5—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

GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工规范

NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定

TSG ZF001 安全阀安全技术监察规程

TSG Z6002 特种设备焊接操作人员考核细则

3 术语和定义

GB/T 20801.1—2020、GB/T 20801.2—2020、GB/T 20801.3—2020、GB/T 20801.5—2020 和 GB/T 20801.6—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

制造 manufacture

管子、管道组成件或管道支承件等产品的生产过程。

3.2

制作 fabrication

管道安装前的准备工作。

注：包括切割、加工螺纹、开坡口、成型、弯曲、焊接和将组件装配成部件,可在车间或现场进行。

3.3

装配 assembly

按照设计文件的规定,用螺栓、焊接、粘结、螺纹、硬钎焊、软钎焊或使用密封元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。

3.4

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。

3.5

轴测图 isometric diagram

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。

3.6

热弯 hot bending

在温度高于金属临界点 A_{C1} 时制作弯管的工艺。

3.7

冷弯 cold bending

在温度低于金属临界点 A_{C1} 时制作弯管的工艺。

3.8

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、可以先行加工的管段。

3.9

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。

3.10

定位焊缝 tack weld

在完成最终焊缝以前,用以保持焊接件定位的焊缝。

3.11

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。

3.12

焊接工艺评定 welding procedure qualification

为验证所拟定的焊件焊接工艺的正确性,按照预焊接工艺规程的规定,制备试件和试样,并进行试验及结果评价的过程。

3.13

焊接工艺评定报告 welding procedure qualification report

记录焊接工艺评定过程中有关试验数据及结果的文件。

3.14

焊接工艺规程 welding procedure specification

根据焊接工艺评定报告,并结合实践经验而制定的直接指导焊接生产的技术细则文件。

注:包括对焊接头、母材、焊接材料、焊接位置、预热、电特性、操作技术等内容进行详细的规定,以保证焊接质量的再现性。

3.15

焊接技能评定 welding performance qualification

对焊接作业人员的操作技能进行评估考核的过程。

3.16

预热 preheating

在成型、焊接或切割过程之前或之间对母材进行加热的过程。

3.17

道间温度 interpass temperature

多道焊缝及相邻母材在施焊下一焊道之前的瞬时温度。

3.18

焊后热处理 post weld heat treatment

能改变焊接接头的组织和性能或焊接残余应力的热过程。

3.19

管道元件 pipework components

连接或装配成管道系统的各种零部件的总称,包括管道组成件和管道支承件。

3.20

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。

3.21

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。

3.22

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,即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。

4 一般规定

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

- 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)应经业主(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应具备相应的能力并履行各自的职责;
- c) 使用的计量器具应检定合格并在有效期内。

4.2 管道的制作和安装应按设计文件及本部分的规定进行。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。

4.3 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元件、焊接、热处理、检查与试验等相关数据。

4.4 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业主至少提交以下技术文件和资料:

- a) 管道安装竣工图(含管道轴测图、设计修改文件和材料代用单)。设计修改和材料代用等变更内容应在竣工图上直接标注。管道轴测图应至少包括管道组成件的材质、规格和炉批号、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、热处理焊缝位置等。
- b) 管道组成件、支承件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、安装检查记录应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。如果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。

5 管道元件及材料的检查与验收

5.1 材料标记和质量证明文件的验收

管道元件及材料的标记和质量证明文件除应按设计文件以及 GB/T 20801.2—2020 中 9.1 和 9.2 的规定进行验收外,还应满足以下要求:

- a) 供货方(制造商)应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,且应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,应进行必要的验证性试验或补充试验;
- c) 管道元件及材料的标记应清晰完整,并能够追溯到产品质量证明文件。

5.2 外观检查

管道元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。

5.3 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,其数量应满足以下要求:

- a) 对于 GC1 级管道,检查数量应按每个检验批的 10%且不少于 1 个管道组成件进行抽查;
- b) 其他管道为每个检验批抽查 5%,且不少于 1 个管道组成件。

注: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元件或材料。

5.4 阀门压力试验

5.4.1 阀门应进行压力试验,其数量应满足以下要求:

- a) 用于 GC1 级管道的阀门,应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,应按每个检验批抽查 10%进行壳体压力试验和密封试验,且不得少于 1 个;
- c) 用于 GC3 级管道的阀门,应按每个检验批抽查 5%进行壳体压力试验和密封试验,且不得少于 1 个;
- d) 经设计者或业主同意,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。

5.4.2 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。

5.4.3 经设计者或业主同意,对于公称压力小于或等于 PN100 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。

5.4.4 安全阀的校验应按 TSG ZF001 和设计文件的规定进行。

5.4.5 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。

5.5 其他检查

当设计文件对管道元件和材料提出其他检查与验收要求(如无损检测、硬度检查等)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。

5.6 不合格品的处置

5.6.1 管道元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,该批管道元件及材料不得使用,或对该批管道元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。

5.6.2 管道元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。

5.7 材料保管

管道元件及材料在制作、安装过程中应妥善保管,不得混淆或损坏。不锈钢和有色金属的管道元件及材料在储存期间不得与碳钢、低合金钢接触。暂不安装的管子、阀门和管件,应封闭管口。

6 管道制作

6.1 切割与坡口加工

6.1.1 管道元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。

6.1.2 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。

6.1.3 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。

6.1.4 管道元件及材料在加工制作、安装过程中应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,修磨处的壁厚应不小于设计壁厚。

6.2 标记移植

6.2.1 管道组成件在制作过程中,应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。

6.2.2 标记方法的采用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得使用硬印标记。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。

6.2.3 如采用硬印或雕刻之外的其他标记方法,制作者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。

6.3 弯管

6.3.1 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。

6.3.2 制作弯管可采用热弯和冷弯两种方法。

6.3.3 当采用焊管制作弯管时,焊缝应避免受拉(压)区。

6.3.4 弯管的不圆度、褶皱和减薄应满足以下要求:

a) 不圆度应满足以下要求:

1) 弯管的不圆度 $u(\%)$ 应按式(1)计算:

$$u = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

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,其不圆度应不大于 8%;对于承受外压的弯管,其不圆度应不大于 3%。

b) 弯管内侧褶皱高度 h_m 应不大于管子外径 D_1 的 3%,且波浪间距 a 应不小于 $12h_m$ 。其中, h_m 为相邻两个褶皱的平均高度,并按图 1 和式(2)计算:

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

式中:

h_m ——褶皱高度,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)。

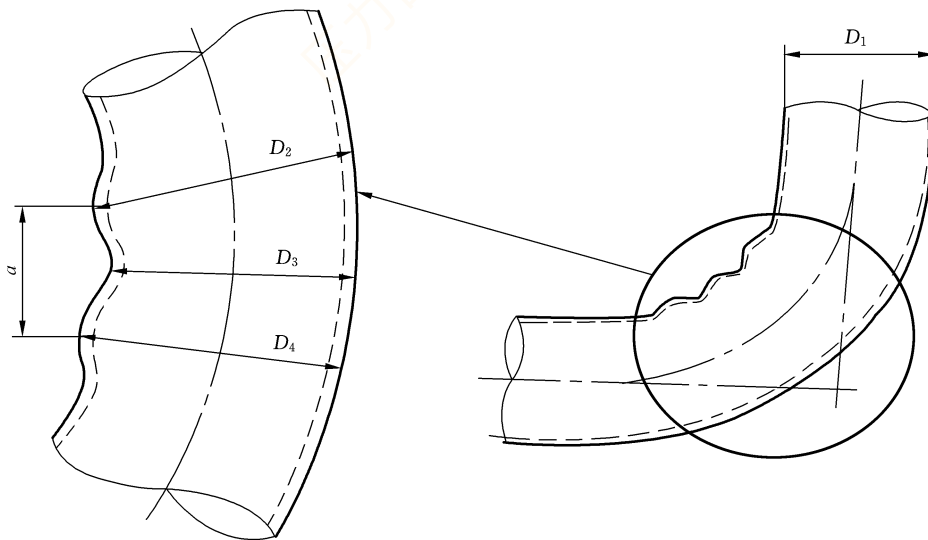


图 1 弯管的褶皱和波浪间距

c) 弯管制作前的管子壁厚宜符合表 1 的规定。弯管制作后的最小厚度不得小于直管的设计厚度。

表 1 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。

6.3.5 GC1 级管道的弯管弯制后，应逐件对弯曲部位进行磁粉检测或渗透检测，且应符合 GB/T 20801.5—2020 的规定。发现的线性缺陷应予以修磨，修磨后的壁厚不得小于直管的设计厚度。

6.4 板焊管

6.4.1 板焊管的制作应符合设计文件和产品标准的规定。

6.4.2 制作和安装公称直径不小于 400 mm 的板焊管时，应符合以下规定：

- 单个筒节的长度应不小于 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。
- 同一筒节上的纵向焊缝应不大于两条，纵缝间距应不小于 200 mm。
- 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，其间距应不小于 100 mm，加固环距管子的环焊缝应不小于 50 mm。
- 板焊管的周长及管端直径应符合表 2 的规定。

表 2 板焊管的周长允差及直径允差

单位为毫米

公称直径	≤ 800	$> 800 \sim 1\ 200$	$> 1\ 200 \sim 1\ 600$	$> 1\ 600 \sim 2\ 400$	$> 2\ 400 \sim 3\ 000$	$> 3\ 000$
周长允差	± 5	± 7	± 9	± 11	± 13	± 15
直径允差	4	4	6	8	9	10

注：直径允差为管端(100 mm 以内)最大外径与最小外径之差。

- 纵向焊缝处的棱角度[图 2a)](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 2b)](在管内壁和外壁用直尺检查)，其 E 值应不大于壁厚的 10% 加 2 mm，且不大于 5 mm。

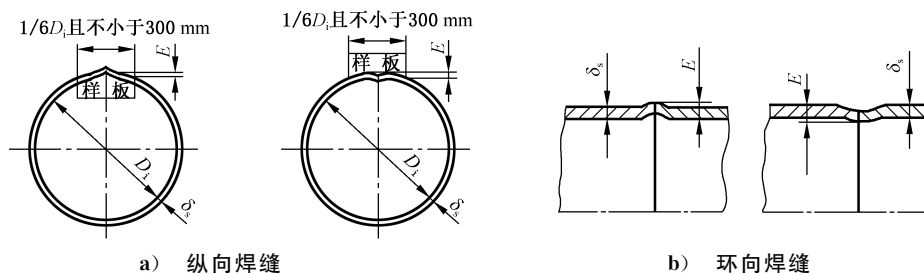


图 2 纵向与环向焊缝处的棱角度检查

- f) 对接焊缝的错边量应符合表 3 及下列规定：
- 1) 只能从单面焊接的纵向和环向焊缝，其内壁错边量不应大于壁厚的 25%，且不应超过 2 mm；
 - 2) 复合钢板组对时，应以复层表面为基准，错边量不应大于钢板复层厚度的 50%，且不大于 1 mm。

表 3 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
$T \leq 12$	$\leq T/4$	$\leq T/4$
$12 < T \leq 20$	≤ 3	$\leq T/4$
$20 < T \leq 40$	≤ 3	≤ 5
$40 < T \leq 50$	≤ 3	$\leq T/8$
$T > 50$	$\leq T/16, \text{且} \leq 10$	$\leq T/8, \text{且} \leq 20$

- g) 板焊管的直度允差应不大于其单根长度的 0.2%。
- h) 板焊管的焊接、焊后热处理和检查、检验应符合本部分相应章条及 GB/T 20801.5—2020 的相关规定。
- i) 板焊管应逐根进行压力试验，试验压力应符合 GB/T 20801.5—2020 的相应规定。经业主或设计者同意，可采用 GB/T 20801.5—2020 规定的用纵向焊缝、环向焊缝 100% 射线照相或 100% 超声检测代替板焊管的压力试验的方法。

6.5 斜接弯头

6.5.1 除设计另有规定外，斜接弯头的制作应符合 6.5.2~6.5.4 的规定。斜接弯头的焊接应符合第 7 章的规定，斜接弯头的检查和检验还应符合 GB/T 20801.5—2020 的相关规定。

6.5.2 可按图 3 所示的组成形式配制斜接弯头。对于公称直径大于 400 mm 的斜接弯头，可适当增加中节数量，但其内侧的最小宽度应不小于 50 mm。

6.5.3 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 600 mm 的斜接弯头宜进行双面焊。

6.5.4 公称直径大于 1 000 mm 时，斜接弯头的周长允许偏差应为 ± 6 mm；公称直径小于或等于 1 000 mm 时，斜接弯头的周长允许偏差应为 ± 4 mm。

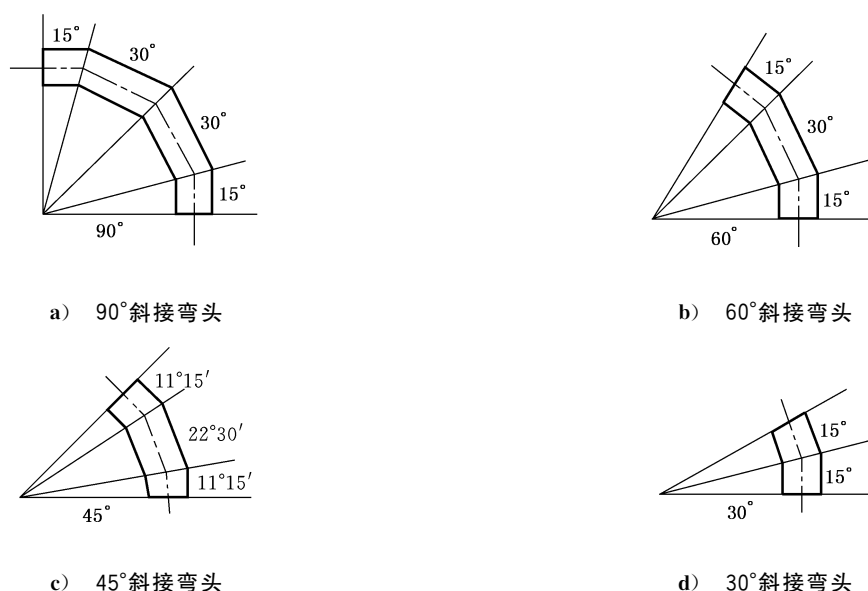


图3 斜接弯头的组成形式

6.6 翻边接头

6.6.1 翻边接头宜采用符合相关标准的管件制造产品。翻边接头的制作应符合 GB/T 20801.3—2020 中 5.1.6 和本部分 6.6.2、6.6.3 的规定。

6.6.2 焊制翻边接头的基本形式应符合图 4 的规定。焊接后应对翻边部位进行机械加工或整形。密封面的表面粗糙度应符合法兰标准的规定。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。

6.6.3 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,垂直度允差应不大于 1 mm。

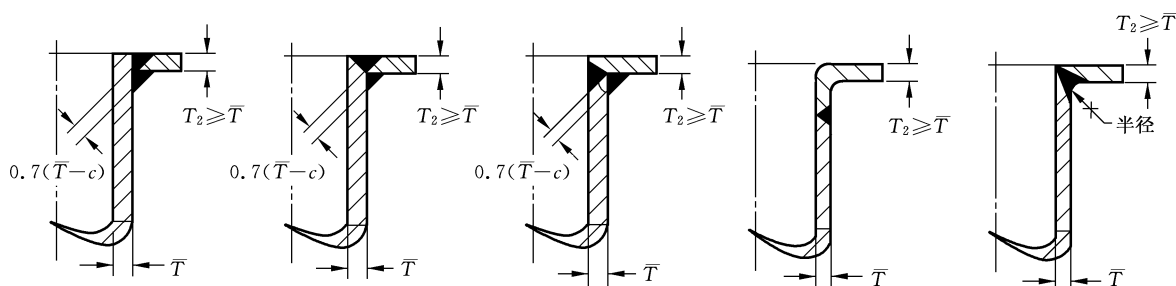


图4 典型的焊制翻边接头

6.7 夹套管

6.7.1 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。

6.7.2 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得进行外管封闭焊接。

6.7.3 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得大于 3 mm。

6.7.4 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。定位板的安装应不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、间距应符合设计文件和相关标准的规定。

6.7.5 夹套管的焊接、热处理、检查、检验与试验应符合本部分相应章条及 GB/T 20801.5—2020 的相关规定。

6.8 支吊架

6.8.1 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。

6.8.2 管道支吊架的组装尺寸与焊接方式应符合设计文件的规定。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。

6.8.3 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 GB/T 20801.5—2020 的相关规定。检测数量不少于 20%,且焊缝长度不小于 200 mm。

6.8.4 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 焊接

7.1 焊接工艺评定和焊工技能评定

7.1.1 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。

7.1.2 焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 的规定。冲击试验要求应符合 GB/T 20801.2—2020 中 8.2 的规定。

7.1.3 当焊接工艺评定要求使用的材料无法满足 7.1.2 的规定时,经设计者和业主同意,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,但应同时符合下列条件:

- 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) 施焊的焊工已取得相应的技能评定合格资格;
- d) 能够提供其他单位完成的符合 7.1.2 要求的该材料焊接工艺评定。

7.1.4 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。焊接工艺规程应至少包括下列内容:

- 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。

7.1.5 焊工技能评定应符合 TSG Z6002 的规定。

7.2 焊接材料

7.2.1 焊接材料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应不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应不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。当设计温度高于 425 °C 时,宜选用镍基焊接材料。
- d) 焊接材料的焊接工艺性能应良好。

7.2.2 焊接材料(包括焊条、焊丝、焊剂及焊接用气体)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。

7.2.3 焊接材料(包括焊条、焊丝及焊剂)的储存应保持适宜的温度及湿度,相对湿度应不超过 60%。焊接材料库应保持干燥、清洁。

7.2.4 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书或说明书上注明。

7.2.5 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。

7.2.6 使用过程中应注意保持焊接材料的识别标记,以免错用。

7.3 焊接环境

7.3.1 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。环境温度低于 0 °C 时,应符合 8.2.1 的规定。

7.3.2 应采取防风措施保证焊接时的风速不大于以下规定值:

- a) 对于焊条电弧焊、自保护药芯焊丝电弧焊和气焊,规定风速为 8 m/s;
- b) 对于钨极惰性气体保护电弧焊和熔化极气体保护焊,规定风速为 2 m/s。

7.3.3 焊接电弧周围 1 m 范围内的相对湿度应符合以下规定:

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

7.3.4 在雨雪天气施焊时,应采取有效防护措施,否则禁止施焊。

7.4 焊前准备

7.4.1 坡口制备

7.4.1.1 坡口加工应符合 6.1 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除干净。

7.4.1.2 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 985.2、GB/T 985.3、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。

7.4.1.3 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。

7.4.2 清理

7.4.2.1 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。

7.4.2.2 焊件坡口及内外表面的清理应满足表 4 的要求。

表 4 焊件坡口及其内外表面的清理

材 料	清理范围/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，裂纹， 夹层	手工或机械等方法
铝及铝合金、钛及钛合金、 镍及镍合金、锆及锆合金	≥ 50	油污、氧化膜等	有机溶剂除油污，化学或机械 方法除氧化膜
铜及铜合金	≥ 20		

7.4.3 组对

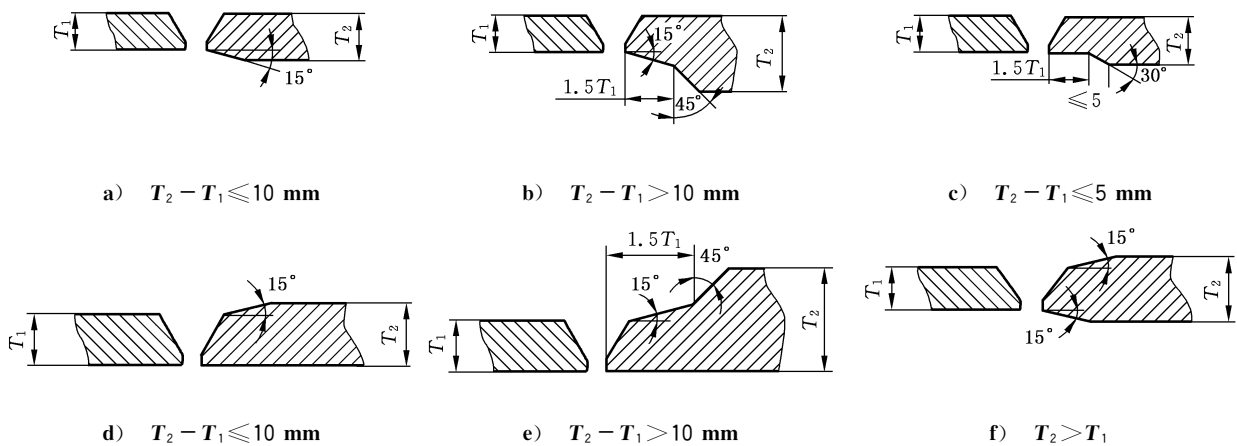
7.4.3.1 对接接头的组对应符合以下规定：

- a) 对接接头的组对应内壁齐平，内壁错边量应符合设计文件和表 5 的规定；

表 5 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、钛及钛合金、镍及镍合金、锆及锆合金		不大于壁厚的 10%，且小于或等于 1 mm

- b) 不等壁厚的工件组对时，薄件端面的内侧和外侧应位于厚件端面范围之内。当内壁错边量不符合表 5 的规定或外壁错边量大于 3 mm 时，焊件端部应按图 5 的规定进行削薄修整。端部削薄修整后的壁厚应不小于设计厚度 t_d 。



注 1：用于管件时，如受长度限制，图 5a)、图 5d)、图 5f) 中的 15° 可改为 30°。

注 2：图 5a)、图 5b) 和图 5c) 为外侧齐平，图 5d) 和图 5e) 为内侧齐平，图 5f) 为内外侧均不齐平。

图 5 不等壁厚对接焊件的端部加工

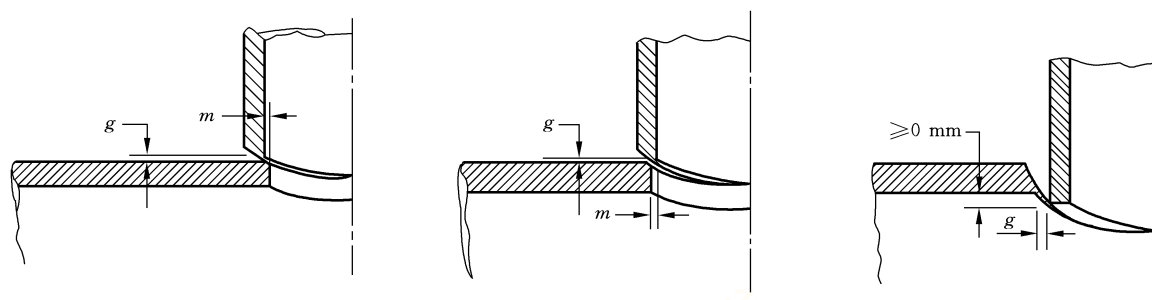
7.4.3.2 支管连接接头的组对应符合以下规定：

- a) 安放式支管的端部制备及组对应符合图 6a)、图 6b) 的规定；
- b) 插入式支管的主管端部制备及组对应符合图 6c) 的规定；
- c) 主管开孔与支管组对时的错边量应不大于 m 值[见图 6a)、图 6b)], 必要时可进行堆焊修正。

7.4.3.3 组对间隙应控制在焊接工艺规程允许的范围內。

7.4.3.4 除设计文件规定的管道预拉伸或预压缩焊口外, 不得强行组对。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拆除。

7.4.3.5 组对时应垫置牢固, 并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。



a) 安放式支管(支管内径
大于主管开孔直径)

b) 安放式支管(支管内径
小于主管开孔直径)

c) 插入式支管

注 1: g 为根部间隙。

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

图 6 支管连接接头的组对

7.4.4 定位焊缝

7.4.4.1 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, 并应由评定合格的焊工施焊。

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

7.4.4.3 根部焊接前, 应对定位焊缝进行检查。如发现缺陷, 处理后方可施焊。

7.4.4.4 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进行表面无损检测:

- 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。

7.4.5 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。

7.5 焊接的基本要求

7.5.1 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。

7.5.2 焊接时应采取合理的焊接方法和施焊顺序:

- a) 碳素钢和合金钢焊接时,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。

7.5.3 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。

7.5.4 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。

7.5.5 在根部焊道和盖面焊道上不宜采用锤击消除残余应力。

7.5.6 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。

7.5.7 不得在焊件表面引弧或试验电流。对于设计温度不高于-20℃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,其表面均不得有电弧擦伤等缺陷。

7.5.8 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) GC1级管道;
- b) 公称直径小于500 mm,且设计温度低于-20℃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。

7.5.9 公称直径大于或等于500 mm的管道,宜在内侧进行根部双面焊。

7.5.10 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。

7.5.11 规定进行层间无损检测的焊缝,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照相检测及超声波检测前进行,经检测的焊缝在评定合格后方可继续进行焊接。

7.5.12 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。

7.5.13 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6.2.2的规定。如无法直接在管道承压件上作焊工标记,则应在管道轴测图上或用简图记录焊工识别代号,并将简图列入交工技术文件。

7.6 焊缝设置

管道(夹套管除外)焊缝的设置应避免应力集中区,且应符合以下规定:

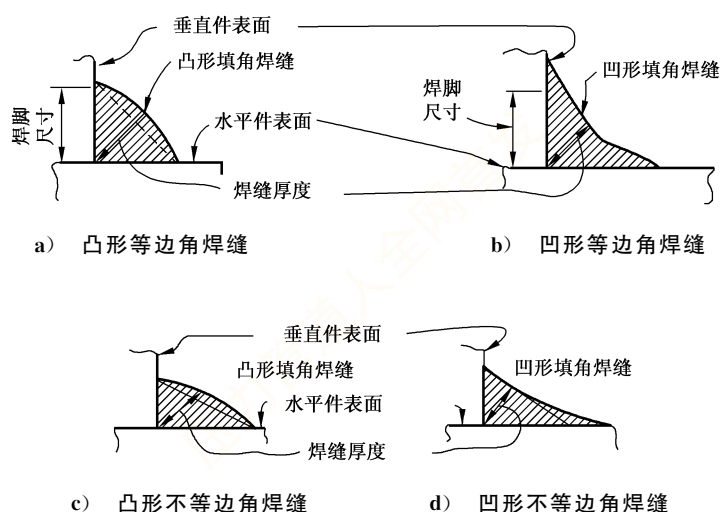
- a) 当公称直径大于或等于150 mm时,直管段上两对接环焊缝中心面之间的距离应不小于150 mm;当公称直径小于150 mm时,该距离应不小于管子外径,且不小于50 mm。
- b) 管道环焊缝距离弯管(不包括弯头)起弯点的距离应不小于100 mm。

- c) 管道环焊缝与支吊架的净距离应不小于 50 mm。需要热处理的焊缝与支吊架的距离应不小于焊缝宽度的 5 倍,且应不小于 100 mm。
- d) 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。
- e) 管道环焊缝距离支管或管接头的开孔边缘应不小于 50 mm,且应不小于孔径。
- f) 焊接管及焊接管件组对时,应尽量避免十字焊缝。当无法避免十字焊缝或焊缝的错开距离小于 100 mm 时,该部位焊缝应经射线检测或超声检测合格。

7.7 角焊缝

7.7.1 角焊缝(包括承插焊缝)可采用凹形和凸形,其焊缝尺寸应符合图 7 的规定。

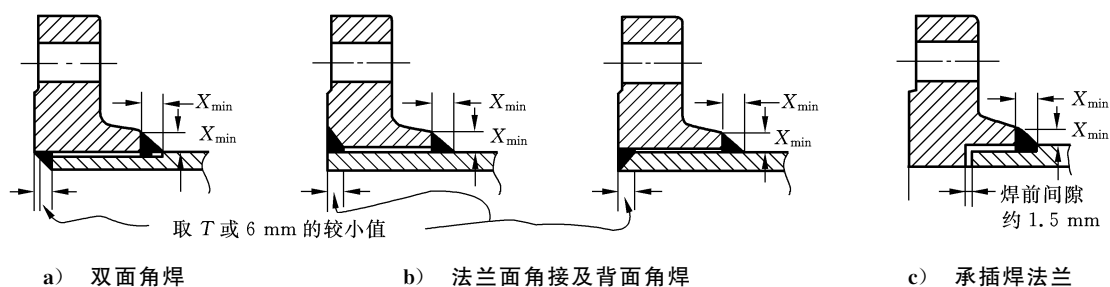
7.7.2 平焊法兰或承插焊法兰的角焊缝应符合图 8 的规定,其他承插焊接头的最小焊缝尺寸应符合图 9 的规定。



注 1: 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。

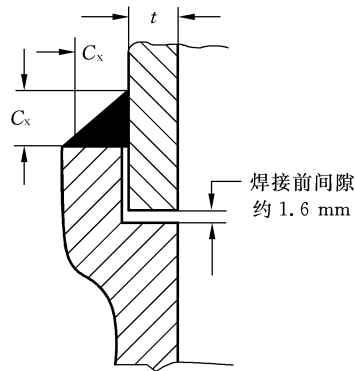
注 2: 不等边角焊缝的焊脚尺寸为内切于焊缝截面的最大直角三角形的股长。

图 7 角焊缝的形式和尺寸



注: X_{min} 取直管名义厚度的 1.4 倍或法兰颈部厚度两者中的较小者。

图 8 平焊法兰和承插焊法兰的角焊缝



注 1: t 为名义厚度。

注 2: C_x 取 $1.09t$ 或承插件端部厚度两者中的较小值。

图 9 除法兰外的其他承插焊接头的最小焊缝尺寸

7.8 支管的焊接连接

7.8.1 支管与主管的焊接连接应符合图 10 所示的支管连接焊缝形式和焊缝尺寸的规定。

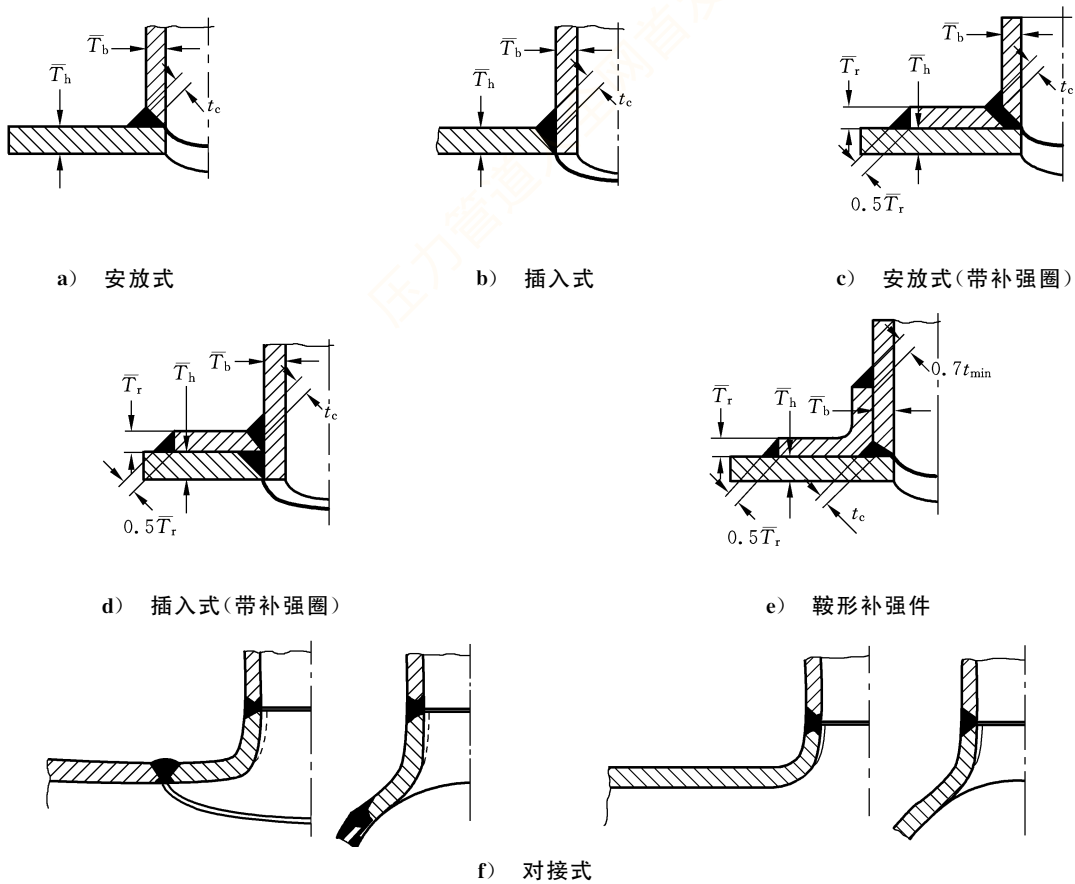
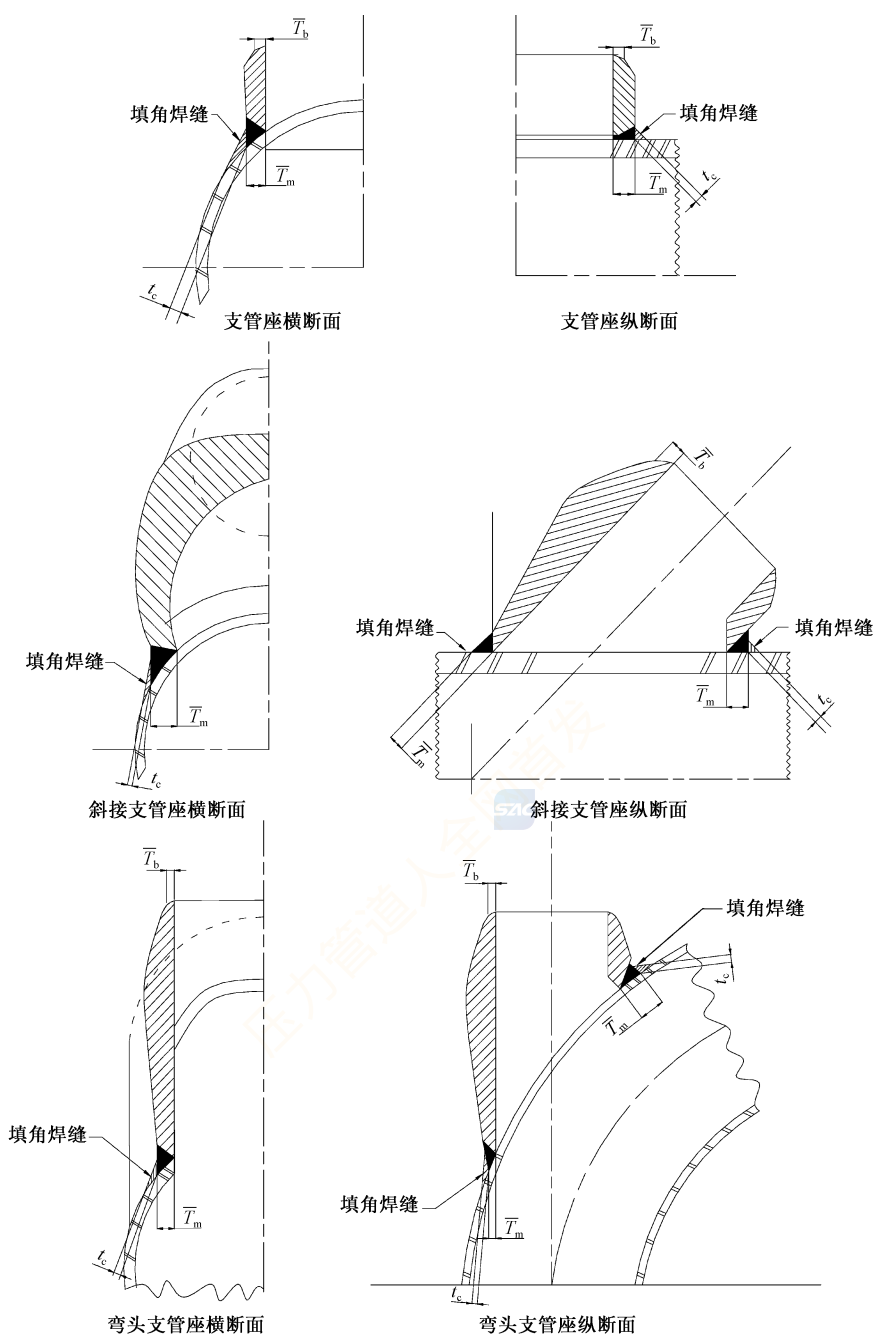


图 10 支管连接的焊接接头形式



g) 支管座与主管的连接

说明:

t_c —— 填角焊缝有效厚度, 取 $0.7\bar{T}_b$ 或 6.4 mm 中的小者;

\bar{T}_b —— 支管名义厚度;

\bar{T}_h —— 主管名义厚度;

\bar{T}_r —— 补强圈或鞍形补强件的名义厚度;

t_{\min} —— \bar{T}_b 或 \bar{T}_r , 取两者中的较小者;

\bar{T}_m —— 支管座焊缝名义厚度, 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。

支管座与主管的连接盖面填角焊缝, 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 10 (续)

7.8.2 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,应全焊透,盖面的角焊缝厚度应不小于填角焊缝有效厚度[见图 10a)和图 10b)]。

7.8.3 补强圈或鞍形补强件的焊接应符合以下规定:

- a) 补强圈与支管应全焊透,盖面的角焊缝厚度应不小于填角焊缝有效厚度[见图 10c)和图 10d)]。
- b) 鞍形补强件与支管连接的角焊缝厚度应不小于 $0.7t_{\min}$ [见图 10e)]。

7.8.4 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 $0.5\bar{T}_r$ [见图 10c)、图 10d)和图 10e)]。

7.8.5 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。

7.8.6 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。

7.8.7 支管座与主管应全焊透,盖面的填角焊缝厚度应不小于填角焊缝有效厚度 t_c [见图 10g)]。盖面的填角焊缝应平滑过渡到主管。

7.9 附件的焊接

7.9.1 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。

7.9.2 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,但应编制焊接工艺规程,焊工应有成熟的技能经验;
- b) 焊接线能量应不超过 $125 \text{ W} \cdot \text{s}$;
- 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,应检查焊点区域是否存在缺陷。必要时应进行表面无损检测。

7.10 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。

7.11 焊缝返修

7.11.1 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。

7.11.2 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。

7.11.3 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。

7.11.4 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。

7.11.5 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。

8 预热

8.1 一般规定

8.1.1 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。

8.1.2 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。

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

8.2 预热温度

8.2.1 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 6 的规定。

表 6 预热温度

母材类别	较厚件的名义壁厚/mm	附加限制条件	要求的最低预热温度/℃
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 Cr≤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 0.5%<Cr≤2%	全部	无	120
合金钢 2.25%≤Cr≤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>6%	200
马氏体不锈钢	全部	无	200
低温镍钢(Ni≤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

8.2.2 对于预热温度要求不同的材料焊接时,应选用表 6 中较高的预热温度。

8.2.3 对于需要预热的多层(道)焊焊件,其道间温度应不低于预热温度,但应符合如下要求:

- 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 ℃~230 ℃;
- e) 马氏体不锈钢的道间温度应不高于 315 ℃;

- f) 双相不锈钢的道间温度应不高于 50 °C (≤ 3 mm), 70 °C (≤ 6 mm), 100 °C (≤ 10 mm), 120 °C (> 10 mm)。

8.2.4 定位焊缝的母材温度应不低于表 6 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。

8.2.5 对于返修补焊, 其预热温度应比原焊缝适当提高。

8.3 预热温度的测量

8.3.1 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 7.9.2 的规定。

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

8.4 中断焊接

8.4.1 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。

8.4.2 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。

8.4.3 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 6 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) 焊缝已焊厚度应不小于 20% 或 10 mm (取小者), 且焊道冷却前应打磨光滑, 无尖锐缺口。焊件应良好支承, 缓慢移动, 防止承载、碰撞。
- b) $Cr \leq 2\%$ 铬钼合金钢, 焊缝应保温缓冷。
- c) $2\% \leq Cr \leq 10\%$ 铬钼合金钢、9Cr-1Mo-V 钢以及马氏体不锈钢应按 9.3.1i) 的规定立即进行后热处理并保温缓冷, 否则应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。
- d) 焊缝冷却后和恢复焊接前, 应目视检查确认无焊接裂纹。
- e) 恢复焊接前, 应重新进行预热。

9 热处理

9.1 一般规定

9.1.1 本章规定了压力管道焊接、弯曲和成型后热处理的基本要求。

9.1.2 本部分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。设计者可以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。

9.1.3 本部分并不限制采用较低的甚至免除热处理要求, 但应符合 9.7 的要求。

9.2 弯曲和成型后的热处理

9.2.1 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 7 的规定进行热处理。

9.2.2 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 7 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延伸率的 50%时,应进行热处理。但如能证明所选用的管子弯曲或成型的方法能保证在冷弯和冷成型后,应变最大的材料仍保持有至少为 10%的延伸率,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%。
c) 设计文件规定时。

表 7 焊后热处理和弯曲、成型后的热处理基本要求

母材类别	名义厚度/mm	母材最小规定抗拉强度/MPa	金属热处理温度/°C	保温时间		布氏硬度 ^b ≤
				≤50 mm	>50 mm	
碳钢、碳锰钢	≤20	全部	不要求	1 h/25 mm, 最少 60 min		200 ^b
	>20		595~650			
合金钢 Cr≤0.5%	≤20	≤490	不要求	1 h/25 mm, 最少 60 min		225
	>20	全部	595~650			
	全部	>490				
合金钢 0.5%<Cr≤2%	≤13	≤490	不要求	2 h+(15 min/ 增加 25 mm)		225
	>13	全部	650~705			
	全部	>490				
合金钢 2%≤Cr≤3% 和 C≤0.15%	≤13	全部	不要求	1 h/25 mm, 最少 2 h		241
	>13	全部	675~760			
合金钢 3%<Cr≤10% 或 C>0.15%	全部	全部	675~760	1 h/25 mm, 最少 2 h		241
9Cr-1Mo-V 钢	全部	全部	705~775 ^d			
马氏体不锈钢	全部	全部	760~800	—		241
铁素体不锈钢	全部	全部	不要求			—
奥氏体不锈钢和镍基合金 ^e	全部	全部	不要求			—
低温镍钢(Ni≤4%) ^f	≤20	全部	不要求	0.5 h/25 mm, 最少 60 min	2 h+(15 min/ 增加 25 mm)	—
	>20		595~650			
5Ni 钢 ^e	>51	全部	550~585	1 h/25 mm, 最少 60 min		—
8Ni、9Ni 钢 ^e	≤51	全部	不要求			1 h/25 mm, 最少 60 min
	>51		550~585			

表 7 (续)

母材类别	名义厚度/mm	母材最小规定抗拉强度/MPa	金属热处理温度/℃	保温时间		布氏硬度 ^b ≤
				≤50 mm	>50 mm	
双相不锈钢 ^a	全部	全部	不要求	0.5 h/25 mm, 最少 30 min	2 h+(15 min/每增加 25 mm)	—

^a 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。
^b 硬度要求应符合 9.6 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。
^c 对于 5Ni、8Ni、9Ni 钢材,热处理保温后应以大于 170 °C/h 的冷却速度冷至 300 °C。
^d 除设计有规定外,填充金属 Ni+Mn 应不大于 1.20%,最高热处理温度应≤800 °C。如果热处理温度高于 800 °C,或者热处理温度虽不高于 800 °C,但高于填充金属的 A₁(转变温度下限或临界温度下限),则应去除焊缝金属及热影响区重焊及重新进行焊后热处理。壁厚≤13 mm 的 9Cr-1Mo-V 钢最低热处理温度可为 675 °C。采用 Cr≤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 °C。
^e 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 °C 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。
^f 按 9.3.1d),焊后热处理的温度下限可不低于 550 °C。

9.2.3 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 8 的规定进行热处理。

表 8 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/% ^a	热处理与否
设计温度高于 540 °C,但低于 675 °C 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 °C 的奥氏体不锈钢(H 级)及镍合金(600、617、800、800H、800HT)	>10	固溶处理 ^b
设计温度低于或等于 -100 °C 的奥氏体不锈钢	>10	固溶处理 ^b

^a 采用管子扩口、缩口、引伸、墩粗时,成型应变率为本表规定值的一半。
^b 固溶处理的保温时间为 20 min/25 mm 或 10 min,且取其中的较大者。

9.2.4 成型应变率的计算应符合下列规定:

a) 管子弯曲,按式(3)、式(4)计算,取应变率(%)中的较大者:

$$\text{应变率} = \frac{50D}{R} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{应变率} = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1}\right) \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

b) 以板成型的圆筒、锥体或管子的应变率(%)按式(5)计算:

$$\text{应变率} = \frac{T}{R_f} \times 50 \quad \dots\dots\dots (5)$$

c) 以板成型的凸型封头、折边等双向变形的元件的应变率(%)按式(6)计算:

$$\text{应变率} = \frac{75T}{R_f} \quad \dots\dots\dots (6)$$

d) 管子扩口、缩口或引伸、墩粗,其应变率(%)取下列绝对值中的最大者:

1) 环向应变

$$\text{应变率} = \left(\frac{D - D_e}{D} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (7)$$

2) 轴向应变

$$\text{应变率} = \left(\frac{L - L_e}{L} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (8)$$

3) 径向应变

$$\text{应变率} = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (9)$$

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)。

9.2.5 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。

9.3 焊后热处理

9.3.1 焊后热处理的基本要求

焊后热处理应符合下列基本要求:

- 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7的规定;
- 表7所列焊后热处理的温度范围较宽,业主或设计者可根据具体工况,规定指定的焊后热处理温度,但不能超出表7、表9及9.3.1规定的限值;
- 除下列d)的规定外,碳钢、碳锰钢、低温镍钢($\text{Ni} \leq 4\%$)可按表9所示降低焊后热处理温度,但应相应延长保温时间;
- 为改善焊接接头强度和低温韧性,并经业主或设计者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($\text{Ni} \leq 4\%$)的焊后热处理的温度下限可不低于550 °C,而无需延长保温时间;
- 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 °C;
- 表7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,但应考虑由此而引起的高温强度下降;
- 铁素体钢之间的异种钢焊接接头的焊后热处理,应按表7两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_{c1} ；
- 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) 当管道焊缝焊后不立即进行热处理时,应控制焊接冷却速度,或采用其他措施防止对管道的有害影响。对 $2\% < Cr \leq 10\%$ 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,应在焊后立即均匀加热至 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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。后热保温范围应与焊后热处理要求相同。

表 9 碳钢、碳锰钢、低温镍钢 ($Ni \leq 4\%$) 焊后热处理降温延时要求

降低焊后热处理温度/ $^{\circ}\text{C}$	保温时间	
	$\leq 25\text{ mm}$	$> 25\text{ mm}$
30	2 h	增加 15 min/增加 25 mm
55	4 h	
注: 9.3.1.d) 的规定除外。		

9.3.2 焊后热处理厚度

按表 7 及表 9 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(当受压元件与非受压元件焊接时则为受压元件的厚度)中的较小者。焊缝厚度应为下列厚度:

- a) 坡口对接焊缝——焊缝厚度。
- b) 填角焊缝——腰高(见图 7)。
- 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) 支管连接时,热处理厚度应是主管或支管的焊缝厚度,而不考虑支管连接件(包括整体补强或非整体补强件)的厚度。支管连接的焊缝厚度计算应符合表 10 的规定。

表 10 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 10a)	$\bar{T}_b + t_c$
焊接支管(插入式),见图 10b)	$\bar{T}_b + t_c$
补强圈补强的焊接支管(安放式),见图 10c)	$\bar{T}_b + t_c$ 或 $\bar{T}_r + t_c$,取较大者
补强圈补强的焊接支管(插入式),见图 10d)	$\bar{T}_b + \bar{T}_r + t_c$
鞍形补强件补强的焊接支管,见图 10e)	$\bar{T}_b + t_c$
支管座,见图 10g)	$\bar{T}_m + t_c$

- f) 对用于平焊法兰、承插焊法兰、公称直径小于或等于 50 mm 的管子连接角焊缝和螺纹接头的密封焊缝以及管道支吊架与管道的连接焊缝,下述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要进行焊后热处理;

- 2) 铬钼合金钢材料($\text{Cr} \leq 10\%$),当焊缝厚度小于或等于 13 mm 时,如果预热温度不低于表 6 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要进行焊后热处理;
- 3) 对于铁素体钢材料,当焊缝采用奥氏体或镍基填充金属时,不需要进行焊后热处理。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。

9.4 加热和冷却

9.4.1 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、电阻或电感应等加热方法,也可采用炉冷、空冷、局部加热、隔热或其他合适的方法来冷却速度。

9.4.2 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以下规定:

- a) 当温度升至 400 °C 以上时,加热速度应不大于 $205(25/T)^\circ\text{C}/\text{h}$,且应不大于 $205^\circ\text{C}/\text{h}$;
- b) 保温后的冷却速度应不大于 $260(25/T)^\circ\text{C}/\text{h}$,且应不大于 $260^\circ\text{C}/\text{h}$,400 °C 以下可自然冷却。

注: T 为热处理部位的最大厚度。

9.5 热处理温度的测量

9.5.1 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 7.9.2 的规定。

9.5.2 宜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。

9.6 硬度检查

9.6.1 要求焊后热处理焊接接头、弯曲和成型加工的管道元件,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。

9.6.2 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。

9.6.3 除设计另有规定外,焊接接头以及弯曲和成型加工的管道元件在热处理后的硬度值应符合下列规定:

- a) 硬度值应符合表 7 的规定;
- b) 表 7 中未注明硬度值要求的材料,焊缝和热影响区的硬度值不应大于母材硬度值的 125%;
- c) 异种金属材料焊接时,两侧母材和焊接接头均应符合表 7 规定的各自硬度值。

9.7 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。

9.8 热处理基本要求的变更

9.8.1 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试验要求。但应在设计文件中指明。

9.8.2 当放宽消除应力热处理和硬度试验要求时,应具备可供类比的成功使用经验,并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。

9.9 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,并应防止产生较大的温度梯度。

9.10 局部热处理

9.10.1 局部热处理时,加热范围应包括主管或支管的整个环形带,并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。

9.10.2 环形加热带应有足够的宽度,保证其均温带宽度(达到规定温度范围的加热带宽度)不小于3倍的环缝焊接处的最大壁厚。对于支管或附件连接焊缝,均温带的宽度应从焊缝边缘各向外延伸不小于2倍的主管厚度,环形加热带要完全包含主管及支管的整周。弯管局部热处理的加热范围应包括弯曲或成型部分及其两侧至少 25 mm 的宽度。加热带以外部分应在 100 mm~150 mm 的范围内保温,测温热电偶的设置应位于均温带的边缘。

9.10.3 当焊缝与阀门、连接件或变径临近时,设置热电偶应特别考虑散热因素。

9.10.4 除 9.7 的规定外,不准许材料的任何部分承受超过下临界温度的热源。

9.11 重新热处理

热处理后如进行焊接返修、弯曲、成型加工,或硬度检查超过规定要求的焊缝,应重新进行热处理。

10 装配和安装

10.1 一般规定

10.1.1 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。管道轴测图应至少包括下列内容:

- a) 管道编号;
- b) 管段端点坐标、标高或尺寸、接续号等表示管段整体的范围;
- c) 管子、管件、法兰、阀门、特殊件等各管道组成件的名称、规格、型号、材质、端部形式、压力等级、标准、数量;
- d) 管子、管件、法兰、阀门、特殊件等各管道组成件、支吊架、支管连接以及在线仪表的位置和连接形式;
- e) 管段的操作参数、设计参数及绝热厚度;
- f) 需要冷紧的冷紧口位置及冷紧值;
- g) 管道等级分界点。

可用管道布置图、局部详图或立面图和管道材料等级表代替管道轴测图,但这些代替文件的内容应包含上述内容。

10.1.2 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。

10.1.3 自由管段和封闭管段的加工制作尺寸允许偏差应符合表 11 的规定。

表 11 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 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

10.1.4 装配管段应具有足够的刚性,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。

10.1.5 除设计有预拉伸或预压缩的要求外,管道装配和安装时,不得强力对接、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。也禁止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 A 进行评估。

10.1.6 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,应进行 100%无损检测。

10.1.7 管道装配和安装过程中的焊接、热处理、检验、检查和试验应符合本部分相关章条及 GB/T 20801.5—2020 的规定。

10.1.8 管道安装后,不得承受设计以外的附加荷载。

10.1.9 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、管道元件的材质进行复查。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。

10.2 法兰连接

10.2.1 法兰连接前应检查、清理法兰密封面和垫片密封面,不得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得有涂层、毛刺。

10.2.2 法兰接头装配时,垫片的尺寸应与法兰的尺寸相一致。1 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动。

10.2.3 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,法兰接头应按下列要求对中:

- 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)偏差应不大于 1 mm/200 mm。封闭管段或两个固定支点间法兰连接时的允许错口偏差和偏转间隙参见表 A.1~表 A.3 所示。表中列出的法兰密封面间的安装偏差将导致 20%左右螺栓安装荷载的损耗。
- b) 不得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) 法兰螺栓孔应对准,孔与孔之间的偏移不大于 3 mm。

10.2.4 法兰接头装配应使用同一规格螺栓,安装方向应一致。螺栓应对称紧固。螺栓紧固后应与法兰紧贴,不得有楔缝。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,螺母上未完全啮合的螺纹应不大于 1 个螺距。

10.2.5 除业主或设计另有规定,GC1 级(毒性、易燃性)管道或设计指定要求的法兰接头,应根据设计提出的螺栓安装载荷、紧固方法和紧固程序的要求,编制书面的安装程序文件,并经安装单位技术负责人批准后方可进行装配操作。常用的安装程序和推荐的螺栓安装目标荷载参见附录 B。

10.2.6 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,应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。

10.3 螺纹连接

10.3.1 用于螺纹的保护剂或润滑剂应适用于工况条件,并对输送的流体或管道材料均应不产生不良影响。

10.3.2 进行密封焊的螺纹接头不得使用螺纹保护剂和密封材料。

10.3.3 采用垫片密封而非螺纹密封的直螺纹接头应符合 GB/T 20801.3—2020 的规定。直螺纹接头与主管焊接时,应防止密封面变形。

10.3.4 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 7.5 的规定。

10.3.5 应采取措施防止螺纹接头因热膨胀导致的螺纹松动。

10.4 其他形式的连接

10.4.1 管接头

管接头的装配和安装应符合下列规定:

- a) 管接头成套部件应为配套厂家生产,材质应与管道材质一致;
- b) 管接头连接处的管道表面应无皱褶、扁平、凹陷、凸起、划痕等缺陷,端部应保证断面的水平,毛刺应清理干净;
- c) 管接头在拧紧前应与管道保证对中;
- d) 扩口管接头装配前,对扩口的密封面应进行检查,有缺陷的扩口应予修理或报废;
- 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,应从用手将螺母拧紧后开始计算。

10.4.2 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。

10.4.3 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。

10.5 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所有焊缝(预拉伸或预压缩口除外)应焊接完毕并经检验合格。需热处理的焊缝应完成热处理工作。
- b) 预拉伸或预压缩区域支、吊架应安装完毕,管子与固定支架应安装牢固。预拉伸或预压缩口附近的支、吊架应预留足够的调整裕量,支、吊架弹簧应按设计值进行调整,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应拧紧。

10.6 连接设备的管道

10.6.1 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。

10.6.2 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,应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,其允许偏差应符合表 12 的规定；

表 12 法兰平行度、同心度允许偏差

机器转速/(r/min)	平行度/mm	同心度/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,应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,其位移值应小于 0.02 mm;当额定转速小于或等于 6 000 r/min 时,其位移值应小于 0.05 mm。

10.6.3 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,应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。

10.6.4 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 12 的规定。

10.7 埋地管道

10.7.1 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得作防腐层处理。

10.7.2 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。

10.7.3 必要时,应根据设计文件要求采取阴极保护措施。

10.7.4 埋地管道应经防腐层检测和严密性试验,并按隐蔽工程验收,合格后方可回填土。

10.8 夹套管

10.8.1 内管焊缝应经检验及试压合格后,方可装配外管。

10.8.2 夹套管焊缝布置应符合下列规定：

- a) 直管段环向焊缝的间距,内管应不小于 200 mm,外管应不小于 100 mm;
- b) 环向焊缝距管架的净距应不小于 100 mm,且不得留在过墙或楼板处;
- c) 水平管段外管剖切的纵向焊缝,应置于易检修的部位;
- d) 内管焊缝上不得开孔或连接支管段。外管焊缝上应尽量避免开孔或连接支管,否则应符合 7.6 d)的规定。

10.8.3 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。

10.9 阀门

10.9.1 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。

10.9.2 阀门不得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。

10.9.3 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。

10.9.4 安全阀的安装应符合下列规定：

- a) 安全阀应垂直安装;
- b) 安全阀的出口管道应接向安全地点;
- c) 当进出管道上设置切断阀时,应加铅封,且应锁定在全开启状态。

10.9.5 管道试运行前,应及时调校安全阀。安全阀的调校应符合 TSG ZF001 的要求,安全阀最终调校合格后应铅封,并做好调校记录。

10.10 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。

10.11 支吊架

10.11.1 管道支吊架的安装除应符合 10.11.2~10.11.8 的规定外,还应符合设计文件和产品技术文件的规定。

10.11.2 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。

10.11.3 无热位移的管道吊架其吊杆应垂直安装;有热位移的管道吊架,其吊杆应偏置安装。当设计文件无规定时,吊点应设在位移的相反方向,并按位移值的 1/2 偏位安装。两根有热位移的管道不得使用同一吊杆。

10.11.4 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,不得同时安置两个或两个以上的固定支架。

10.11.5 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、隔热完毕后方可拆除。

10.11.6 支吊架的焊接应由合格焊工施焊,并不得有漏焊、欠焊或焊接裂纹等缺陷。管道与支架焊接时,管道不得有咬边、烧穿等现象。

10.11.7 从有热位移的主管引出小直径的支管时,支管的支架类型和结构应符合设计要求,并不应限制主管的位移。

10.11.8 导向支架或滑动支架的滑动面应洁净平整,不得有歪斜和卡涩现象。不得在滑动支架底板处临时点焊定位。仪表及电气的支撑件不得焊在滑动支架上。

10.12 静电接地

10.12.1 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电阻值大于 0.03Ω 时,应设导线跨接。

10.12.2 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。

10.12.3 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得与管道直接连接,应采用同材质连接板过渡。

10.12.4 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。

11 不锈钢和有色金属管道

11.1 防护基本要求

11.1.1 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,不得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。

11.1.2 管道吊装用的钢丝绳、卡扣不得与管道直接接触,应用木板或合适的非金属制品等进行隔离。制作、安装过程中应避免不锈钢和有色金属管材表面划伤与机械损伤。

11.1.3 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控制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。

11.2 不锈钢管道

11.2.1 安装不锈钢管道时,不得使用可能造成铁离子污染的铁质工具。

11.2.2 不锈钢焊件坡口两侧各 100 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。

11.2.3 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得有残留酸洗液,不得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。

11.3 铝及铝合金管道

11.3.1 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。

11.3.2 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,装配时应避免表面机械损伤。临时垫环应采用对焊缝质量无不良影响的材质。

11.4 铜及铜合金管道

11.4.1 扩口翻边连接的铜管应保持同轴,当公称直径小于或等于 50 mm 时,其允许偏差应不大于 1 mm;当公称直径大于 50 mm 时,其允许偏差应不大于 2 mm。

11.4.2 螺纹连接的管子,螺纹部分应涂刷石墨甘油。

11.5 镍及镍合金管道

11.5.1 管道制作、安装时,不得使用可能造成铁离子污染的铁质工具,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符合 11.2.2 的规定。

11.5.2 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,不得采用敲打、掰扭等方法。

11.5.3 焊接时应严格控制焊接热输入和层间温度,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。

11.6 钛及钛合金管道

11.6.1 扩口翻边应尽量加热到 300 °C~400 °C 时进行,翻边不应出现裂口、拉痕、划伤、缩颈等缺陷。

11.6.2 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无害的材料。

11.6.3 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。

12 管道清理、吹扫和清洗

12.1 一般规定

12.1.1 管道清理、吹扫和清洗(以下简称“吹洗”)应考虑管道制作、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。

12.1.2 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。应避免残存的脱脂介质与氧气形成危险的混合物。

12.1.3 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。

12.1.4 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。

12.1.5 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,并应符合下列规定:

- a) 公称直径大于或等于 600 mm 的液体或气体管道宜采用人工清理;
- b) 公称直径小于 600 mm 的液体管道宜采用水冲洗;
- c) 公称直径小于 600 mm 的气体管道宜采用空气吹扫;
- d) 蒸汽管道应采用蒸汽吹扫,非热力管道不得采用蒸汽吹扫;
- 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。

12.1.6 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。

12.1.7 不准许吹洗的设备及管道应与吹洗系统隔离。

12.1.8 管道系统的吹洗应确保安全,业主方和设计方应提供吹洗工作所需要的安全环境 and 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,且符合下列要求:

- a) 液体应排放到安全的收集点,气体排放应选择安全的露天地点;
- b) 易燃气体、液体的排放应远离火源和人员;
- c) 应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。

12.1.9 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。

12.1.10 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。

12.2 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,水中氯离子含量不得超过 50 mg/L。

12.3 空气吹扫

空气吹扫时的吹扫压力不得超过容器和管道的设计压力。

12.4 蒸汽吹扫

12.4.1 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。吹扫时管道附近不得放置易燃物。

12.4.2 蒸汽吹扫用的临时管道应按蒸汽管道的技术要求安装,吹扫时应设置禁区。

12.5 化学清洗

12.5.1 操作人员应穿专用防护服装,并应根据不同清洗液对人体的危害,佩戴护目镜、防毒面具等防护用具。

12.5.2 清洗液的配方应经过鉴定,并曾在生产装置中使用过,经实践证明是有效可靠的。

12.5.3 化学清洗后的废液处理和排放应符合环境保护的规定。

压力管道人全网首发

附录 A
(资料性附录)

管道封闭口装配错口偏差评估方法

A.1 范围

本附录提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,适用于管道系统的首次安装,也适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。

A.2 管道错口偏差评估方法

A.2.1 应变敏感性管道最终封闭口的装配要求见表 A.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要求见表 A.2。

A.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 A.1 或表 A.2 规定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,该管道应重新装配或进行技术评估。

表 A.1 应变敏感管道的允许错口值

公称直径/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
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

表 A.1 (续)

公称直径/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														
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 A.2 非应变敏感管道的允许错口值

公称直径/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
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。

A.3 示例

图 A.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+10=17(m)。

Y 方向的管段:2 个,总长度=2+3=5(m)。

Z 方向的管段:4 个,总长度=1+12+1.5+3=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+5=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+17.5=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+5=22(m)。

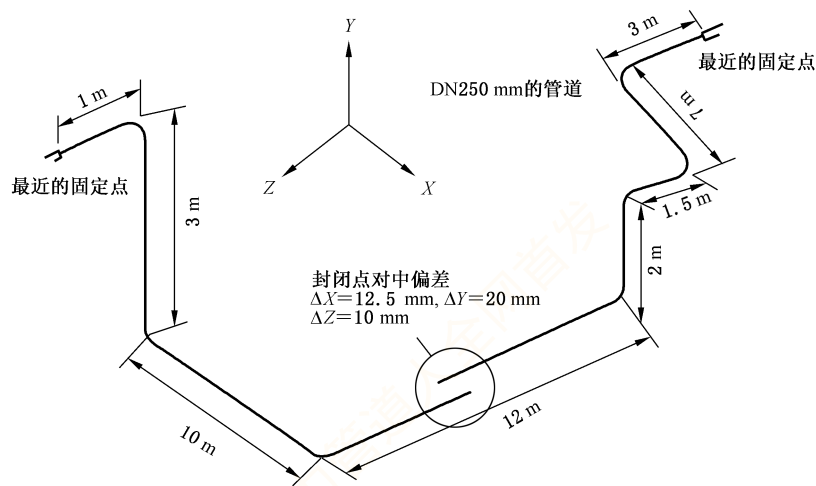


图 A.1 示例图

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 ΔX 错口:

垂直于错口 ΔX 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 A.1 中查到 DN250 管道 ΔX 方向错口偏差值为 12.5 mm 时,要求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 ΔX 方向错口偏差值 12.5 mm 是可以接受的。

b) 对于 20 mm 的 ΔY 错口:

垂直于错口 ΔY 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 A.1 中查到 DN250 管道 ΔY 方向错口偏差值为 20 mm 时,要求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 ΔY 方向错口偏差值 20 mm 是可以接受的。

c) 对于 10 mm 的 ΔZ 错口:

垂直于错口 ΔZ 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 A.1 中查到 DN250 管道 ΔZ 方向错口偏差值为 10 mm 时,要求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 ΔZ 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。

A.4 法兰接头偏转偏差评估方法

A.4.1 管道最终封闭口采用法兰连接装配时,除 A.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 A.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。

A.4.2 管道最终封闭口采用法兰连接的装配要求见表 A.3。

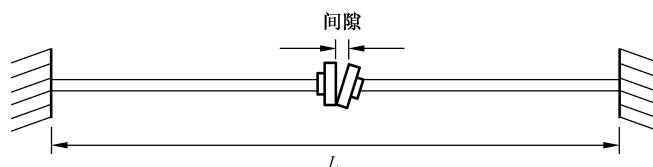


图 A.2 法兰接头组对时的允许间隙

表 A.3 法兰接头组对时的允许间隙

最小轴向间距 L/mm	DN										
	15	20	25	40	50	80	100	150	200	250	300
	允许间隙/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
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

表 A.3 (续)

最小轴向间距 L/mm	DN										
	15	20	25	40	50	80	100	150	200	250	300
	允许间隙/mm										
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 B (资料性附录)

法兰接头螺栓拧紧方法和安装目标载荷

B.1 总则

本附录规定了法兰连接的拧紧方法,以获得均布的螺栓预紧载荷,减小法兰偏转变形。

B.2 螺栓(扭矩控制)拧紧方法



B.2.1 十字交叉法

B.2.1.1 在法兰上对预紧螺栓进行编号。可按图 B.1a) 时针顺序编号体系(传统方法)或按图 B.1b) 对称交叉编号体系进行编号。螺栓拧紧顺序按照对称交叉进行。具体操作如下:

- a) 按时针顺序编号体系(传统方法)对螺栓位置进行编号,则拧紧顺序按照 1-7-4-10; 2-8-5-11; 3-9-6-12;
- b) 按对称交叉方法对螺栓位置进行编号,则拧紧顺序按照螺栓编号进行,如 1-2-3-4; 5-6-7-8; 9-10-11-12。

B.2.1.2 用短扳手或人工转动螺母与法兰表面接触,每个螺栓端部伸出螺母的螺纹个数相等。检查沿法兰圆周的间隙应均匀。

B.2.1.3 按十字交叉拧紧的方法,拧紧螺栓至 30% 的安装目标载荷。检查沿法兰圆周的间隙应均匀。

B.2.1.4 重复 B.2.1.3,拧紧螺栓至 70% 的安装目标载荷。检查沿法兰圆周的间隙应均匀。

B.2.1.5 重复 B.2.1.3,拧紧螺栓至 100% 的安装目标载荷。检查沿法兰圆周的间隙应均匀。

B.2.1.6 按时针顺序,用 100% 的安装目标载荷依次拧紧螺栓。检查所有螺母无松动。

B.2.2 修正方法

B.2.2.1 按 B.2.1.1 进行编号。十字交叉位置 4 个螺栓为一组。

B.2.2.2 按十字交叉顺序,拧紧第一组螺栓至 30% 的安装目标载荷。检查沿法兰圆周的间隙应均匀。

B.2.2.3 按十字交叉顺序,拧紧第二组螺栓至 70% 的安装目标载荷。检查沿法兰圆周的间隙应均匀。

B.2.2.4 按十字交叉顺序,拧紧剩余组螺栓至 100% 的安装目标载荷。检查沿法兰圆周的间隙应均匀。

B.2.2.5 按十字交叉顺序,拧紧所有螺栓至 100% 的安装目标载荷。检查沿法兰圆周的间隙应均匀。

B.2.2.6 按时针顺序,用 100% 的安装目标载荷依次拧紧螺栓。检查所有螺母无松动。

B.2.3 其他

大直径法兰应考虑增加拧紧的次数。

B.3 螺栓(拉伸控制)拧紧方法

B.3.1 拉伸装置的数量宜为 4 的倍数。

B.3.2 图 B.2 所示为 50%~50% 紧固方法,其中载荷 A 大于载荷 B。加载分三次进行:

- a) 第 1 次加载,拉伸拧紧 50% 的螺栓(如 1、2、3、4)至规定载荷 A;

- b) 第 2 次加载,拉伸拧紧剩余 50%的螺栓(如 5、6、7、8)至规定载荷 B ;
- c) 第 3 次加载确认,拉伸拧紧第 1 次加载的 50%的螺栓(如 1、2、3、4)至规定载荷 B 。

B.4 螺栓安装目标载荷

B.4.1 安装扭矩

螺栓安装扭矩应符合下列规定:

- a) 螺栓的目标安装扭矩可按式(B.1)计算:

$$M = K \times D \times F \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- M ——目标安装扭矩,单位为牛顿米($N \cdot m$);
- K ——螺母系数,是由实验确定的无量纲系数,常用低合金钢螺栓,如 42CrMo(B7),初次拧紧的常温螺母系数为 0.16~0.23;
- D ——螺栓名义直径,单位为米(m);
- F ——螺栓的安装目标载荷/力,单位为牛顿(N)。

- b) 螺栓的目标拉伸载荷(力)可参照表 B.1 确定或采用经实践证明可靠的设计方法进行计算。

B.4.2 螺栓的目标预紧力

螺栓的目标预紧力应符合下列规定:

- a) 表 B.1 为基于螺栓根径截面积,以常用低合金钢螺栓 42CrMoA(B7)为基准,设定螺栓安装应力为 350 MPa 时单个螺栓的安装目标力的参考值;
- b) 当采用其他材料的螺栓时,可按材料的屈服强度或设定螺栓安装应力进行换算,增加或减少;
- c) 螺栓的安装目标应力一般不超过螺栓材料屈服强度的 70%,特殊情况下超过此范围时,需经过安全评估合格;
- d) 表 B.1 值应用于低压小直径法兰接头以及大直径法兰接头等,应确认垫片具有足够的强度,法兰变形不超过标准规定,否则应安全评估合格。

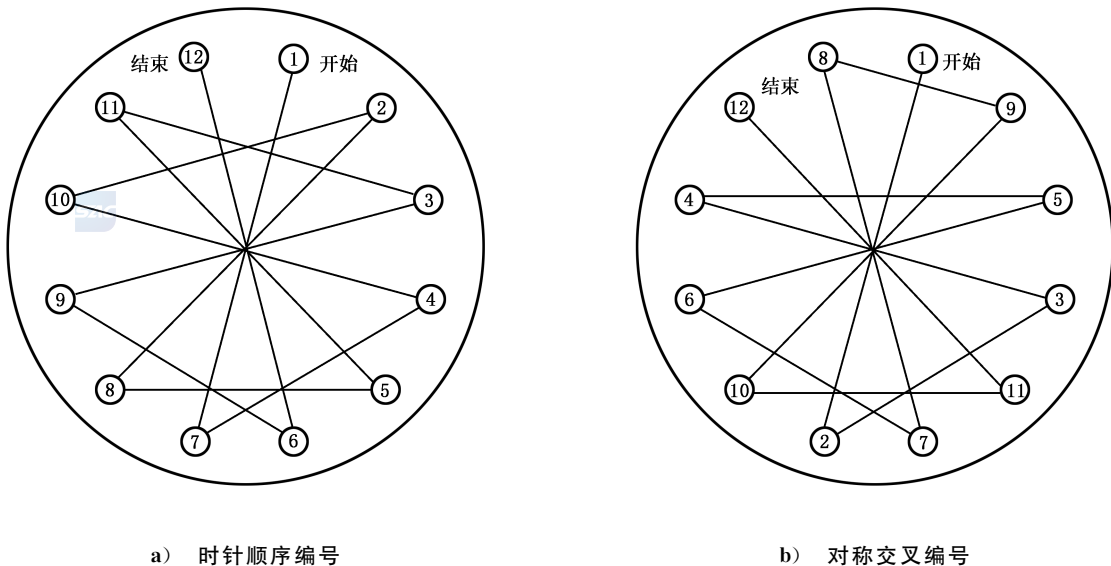


图 B.1 十字交叉顺序拧紧

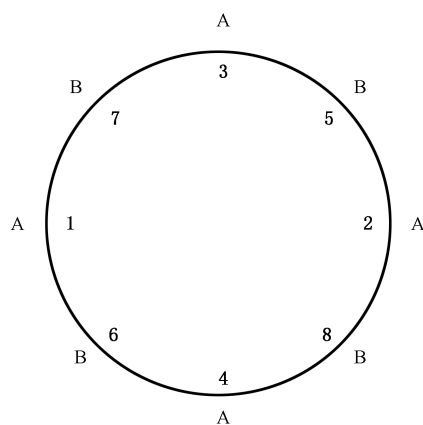


图 B.2 拉伸控制拧紧

表 B.1 螺栓的安装目标力(螺栓安装应力 350 MPa)

螺栓尺寸	根径面积/mm ²	螺栓安装力/(N/个)
M14×2	102.1	35 735
M16×2	141	49 350
M20×2.5	220.4	77 140
M24×3	317.3	111 055
M27×3	419.1	146 685
M30×3	535	187 250
M33×3	665.1	232 785
M36×3	809.3	283 255
M39×3	976.6	341 810
M42×3	1 140	399 000
M45×3	1 327	464 450
M48×3	1 527	534 450
M52×3	1 817	635 950
M56×3	2 132	746 200
M64×3	2 837	992 950
M70×3	3 432	1 201 200
M76×3	4 083	1 429 050
M82×3	4 791	1 676 850
M90×3	5 822	2 037 700
M95×3	6 518	2 281 300
M100×3	7 253	2 538 550



中华人民共和国国家标准

GB/T 20801.5—2020
代替 GB/T 20801.5—2006

压力管道规范 工业管道 第5部分：检验与试验

Pressure piping code—Industrial piping—Part 5: Inspection and testing

2020-11-19 发布

2021-06-01 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	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 检查要求	2
5 检查方法	3
6 检查范围和验收准则	3
7 检查工艺	9
8 检查合格证和记录	9
9 试验	9
10 记录	14

压力管道人全网首页

前 言

GB/T 20801《压力管道规范 工业管道》分为以下 6 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计和计算；
- 第 4 部分：制作与安装；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护。

本部分为 GB/T 20801 的第 5 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 20801.5—2006《压力管道规范 工业管道 第 5 部分：检验与试验》，与 GB/T 20801.5—2006 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了无损检测等规范性引用文件(见第 2 章,2006 年版的第 2 章)；
- 增加了累进检查的相应要求[见 4.4 f)]；
- 修改了抽样检查的组批原则(见 5.1.2 注 1,2006 年版的 5.1.2)；
- 修改了管道检查等级的分级规定/要求(见 6.1,2006 年版的 6.1)；
- 修改了焊接接头目视检查质量验收标准(见 6.2,2006 年版的 6.2)；
- 修改了焊接接头无损检测方法的相应规定(见 6.3,2006 年版的 6.3)；
- 修改了硬度检查的相应规定(见 6.4,2006 年版的 6.4)；
- 增加了仪表接头免除压力试验、GC3 级管道压力试验时可以包覆隔热层、真空管道采用真空度试验代替内压压力试验的相关规定[见 9.1.1.4 d)、9.1.1.5 b)]；
- 修改了液压试验压力的相关规定(见 9.1.3,2006 年版的 9.1.3)；
- 修改了气压试验压力的相关规定(见 9.1.4,2006 年版的 9.1.4)；
- 增加了气压试验风险控制的要求[见 9.1.4 a)]；
- 增加了敏感性泄漏试验的方法和要求(见 9.2.1)。

本部分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。

本部分起草单位：上海市特种设备监督检验技术研究院、全国化工设备设计技术中心站、国家市场监督管理总局特种设备安全监察局、上海石化设备检验检测有限公司。

本部分主要起草人：汤晓英、应道宴、徐锋、黄正林、邢丽。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 20801.5—2006。

压力管道规范 工业管道

第5部分:检验与试验

1 范围

GB/T 20801的本部分规定了压力管道检验、检查和试验的基本安全要求。
本部分适用于GB/T 20801.1范围界定的压力管道的检验、检查和试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 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 20801.6—2020 压力管道规范 工业管道 第6部分:安全防护
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:X射线数字成像检测

3 术语和定义

GB/T 20801.1—2020、GB/T 20801.2—2020、GB/T 20801.3—2020、GB/T 20801.4—2020 和 GB/T 20801.6—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

检验 inspection

由业主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。

3.2

检验人员 inspector

业主方或检验机构从事检验工作的专职人员。

3.3

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。

3.4

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。

4 检查要求

4.1 一般规定

4.1.1 本章对管道安装进行了规定,包括每个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。GB/T 20801.2—2020 的表 A.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。

4.1.2 由工厂加工的管道组成件(或其组件)的检查试验应符合相关产品标准和设计文件的要求。

4.2 验收准则

本部分给出的检查试验要求为基本安全要求,当设计文件有特殊检查试验要求时,应按设计文件的要求进行检查试验和验收。

4.3 超标缺陷的处理

当发现受检件有超过本部分验收准则的缺陷时,应予返修或更换。新件应按原件的要求用相同的方法,在相同的范围用相同的验收准则检查。

4.4 累进检查

当局部或抽样检查发现有超标缺陷时,应按以下要求处理:

- a) 另取两个相同件(如为焊接接头,应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,则附加检查所代表的批应视为合格,但有缺陷件应予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,则针对每个缺陷项应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,则附加检查所代表的批应视为合格,但有缺陷件应予返修或更换并进行重新检查;
- e) 如 c) 要求的两个被检件中任何一件发现有超标缺陷,则该批应全部进行检查,不合格者应进行返修或更换并进行重新检查;
- 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,但是有超标缺陷件应进行返修或更换并进行复查,直到满足本部分的可接受准则。如果可能的话,也可以对其他未检查的焊接接头进行局部或抽样检查。

4.5 检查人员

对于现场制作、焊接的检查试验,如果没有特殊指明,应由施工单位负责实施。检查人员应符合 3.4 的定义。

5 检查方法

5.1 一般规定

5.1.1 本章规定了符合本部分、工程设计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。

5.1.2 检查的比例包括 100% 检查、抽样检查和局部检查,定义如下:

- a) 在指定的一批管道中,对某一具体项目进行全部检查,称作 100% 检查;
- b) 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,称作抽样检查;
- c) 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,称作局部检查。

注 1: 指定批是本部分中用于检查要求考虑的管道数量。指定批数量和程度宜由合同双方在工作开始前协议规定。指定批的确定原则是:

- “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,可以规定不同的“批”。

注 2: 抽样或局部检查将不保证制造产品质量水平。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。如果要对某一批管道,要求不存在射线检测规定的超标焊接缺陷时,则规定 100% 的射线检测检查。

5.2 目视检查

目视检查是指对易于观察或能做外观检查的组成件、连接接头及其他管道元件的部分在其制造、制作、装配、安装、检查或试验之前、进行中或之后进行的观察。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。

5.3 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、X 射线数字成像检测,检测方法应按 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 的规定进行。

5.4 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 GB/T 20801.4—2020 的有关规定。

6 检查范围和验收准则



6.1 检查等级

6.1.1 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 6.1.2~6.1.6 划分为不同的检查等级时,应按较高的检查等级确定其检查等级。当设计文件有特殊要求时,还应符合相关设计文件的要求。

6.1.2 符合下列条件之一的压力管道的检查等级为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(GB/T 20801.3—2020 的 3.2 所示);
- d) 钛及钛合金、镍及镍基合金、高铬镍钼奥氏体不锈钢、锆及锆基合金管道;
- e) 公称压力大于 PN160 的管道;
- f) 夹套管的内管;
- g) 按 9.1.7 的规定可以免除压力试验的管道;
- h) 设计要求进行焊接接头 100%无损检测的管道。

6.1.3 符合下列条件之一的压力管道的检查等级为Ⅱ级:

- a) 公称压力大于 PN50 的碳钢(本部分要求冲击试验)管道;
- b) 公称压力大于 PN110 的奥氏体不锈钢管道;
- c) 低温含镍钢、铬钼合金钢、双相不锈钢、铝及铝合金管道;
- d) 设计要求进行焊接接头 20%无损检测的管道。

6.1.4 符合下列条件之一的压力管道的检查等级为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(本部分要求冲击试验)管道;
- 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。

6.1.5 符合下列条件之一的压力管道的检查等级为Ⅳ级:

- a) 除 6.1.4 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(本部分无冲击试验要求);
- c) 设计要求进行焊接接头 5%无损检测的管道。

6.1.6 GC3 级压力管道的检查等级为Ⅴ级。

6.2 目视检查

6.2.1 目视检查的内容应符合下列规定:

- a) 对于 GC2、GC3 级管道,应符合 5.2 的规定,目视检查的项目为:
 - 1) 随机选择足够数量的材料和管道组成件,使检查人员满意地认为它们都符合技术要求且无缺陷;
 - 2) 100%的纵向焊接接头,但按 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1 和 GB/T 20801.3—2020 表 13 中管道组成件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应进行检查;
 - 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,找出需返修或者更换的缺陷以及不符合设计要求的明显偏差。
- b) 除应符合 a) 的规定外,GC1 级管道的目视检查还应符合以下规定:
 - 1) 除 a) 的规定外,对所有制作和安装的焊接接头均应进行 100%目视检查;
 - 2) 对所有螺纹、螺栓以及其他连接接头均应进行 100%目视检查。
- c) 剧烈循环工况管道以及 GB/T 20801.3—2020 的 3.2 所示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、导向件和冷紧点都应检

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 1 的要求,应对每一焊工或焊接操作工的焊接接头进行目视检查。

6.2.2 目视检查验收准则应符合下列规定:

- a) 焊接接头目视检查应按照 NB/T 47013.7 的规定执行,检查内容和合格指标不低于表 2 的规定;
- b) 其他要求应符合相关产品标准和工程设计规定。

6.3 焊接接头的无损检测

6.3.1 无损检测方法

无损检测方法应符合下列规定:

- 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 规定的方法,当采用不可记录的脉冲反射法超声检测时,应采用射线检测或者衍射时差法超声检测作为附加局部或抽样检测。
- 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,采用超声检测代替射线检测应经设计者和业主同意;名义厚度大于 30 mm 的对接接头可采用超声检测代替射线检测。
- c) 有色金属制压力管道对接接头应优先采用 X 射线检测。
- d) 焊接接头的表面裂纹应优先采用表面无损检测。
- e) 铁磁性材料制压力管道焊接接头的表面检测应优先采用磁粉检测。

6.3.2 焊接接头的射线检测和超声检测

6.3.2.1 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、支管连接接头应进行射线检测或超声检测。检查数量应符合以下规定:

- a) 管道的公称直径小于 500 mm 时,可根据环向对接接头数,按表 1 的检查比例进行抽样检测,且不得少于 1 个环向对接接头。凡进行检测的环向对接接头,应包括其整个圆周长度。固定焊的环向对接接头抽样检测比例应不少于检测数量的 40%;
- b) 管道的公称直径大于或等于 500 mm 时,对每条环向对接接头应按表 1 的检查比例进行局部检测,检查长度不得小于 150 mm;
- c) 纵向对接接头应按表 3 的检查比例进行检测,局部检测检查长度不得小于 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应进行 100% 射线检测或超声检测;
- e) 选择被检焊接接头时应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,同时应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,应包括检查长度不小于 38 mm 的相邻纵向焊接接头。

6.3.2.2 射线检测应按照 NB/T 47013.2、NB/T 47013.11 的规定执行,质量要求和合格级别如下:

- a) 进行全部无损检测的焊接接头,射线检测技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 II 级;
- b) 进行局部或抽样的焊接接头,射线检测技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 III 级。

6.3.2.3 超声检测应按照 NB/T 47013.3、NB/T 47013.10 的规定执行,质量要求和合格级别如下:

- a) 进行全部无损检测的焊接接头,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) 进行局部或抽样的焊接接头,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。

6.3.2.4 当采用射线、超声等方法进行组合无损检测时,质量要求和合格级别按照各自执行的标准确定,并且均应合格。

6.3.3 焊接接头的表面无损检测

6.3.3.1 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、支管连接接头和角接接头应进行磁粉检测或渗透检测,检测比例应不低于表1的规定。

6.3.3.2 焊接接头的表面无损检测均应按照NB/T 47013.4、NB/T 47013.5的规定执行,合格级别为Ⅰ级。

6.3.3.3 有延迟裂纹倾向的材料焊接接头应在焊接完成24 h后进行无损检测。

6.3.3.4 具有再热裂纹倾向的材料焊接接头应在焊接及热处理后各进行一次表面无损检测。

6.3.4 检测不合格

当焊接接头抽样检测或局部检测发现有不合格时,应按4.4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检查。

6.3.5 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,并经建设单位或检验机构的检验人员批准。

6.4 制作过程中的检查

6.4.1 制作过程中的检查应包括以下内容:

- 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。

6.4.2 检查要求和验收准则,除设计文件另有规定外,应按6.2进行目视检查。

6.5 硬度检查

6.5.1 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GB/T 20801.4—2020中9.6的规定。

6.5.2 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应尽可能紧邻熔合线。对基体材料的硬度检查应尽可能在变形量较大的部位。

6.5.3 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。

6.5.4 对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4.4的要求进行累进检查。

表 1 焊接接头检查方法和比例^a

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	角接头 ^b	支管连接 ^c
I	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	100 ^d	100	100
	射线检测/超声检测	100	—	100 ^e
II	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	20 ^d	20	20
	射线检测/超声检测	20	—	20 ^e
III	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	10 ^d	—	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	—	—
V	目视检查	10	100	100

^a 根据业主或工程设计要求,可采用较表 1 更严格检查等级代替较低检查等级。
^b 表中角接头包括承插焊和密封焊以及平焊法兰、支管补强和支架的连接焊接接头。
^c 表中支管连接焊接接头包括支管和翻边接头的承压焊接接头。
^d 对碳钢、不锈钢及铝合金无此要求。
^e 适用于大于或等于 DN100 的管道。

表 2 焊接接头目视检查质量验收标准^a

检查等级	I			II			III			IV			V		
	环向、斜接坡口和支管连接 ^b	纵向坡口 ^c	角接 ^d	环向、斜接坡口和支管连接	纵向坡口	角接	环向、斜接坡口和支管连接	纵向坡口	角接	环向、斜接坡口和支管连接	纵向坡口	角接	环向、斜接坡口和支管连接	纵向坡口	角接
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 ^e	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

表 2 (续)

检查等级	I			II			III			IV			V		
缺陷类型	环向、斜接坡口和支管连接 ^b	纵向坡口 ^c	角接 ^d	环向、斜接坡口和支管连接	纵向坡口	角接	环向、斜接坡口和支管连接	纵向坡口	角接	环向、斜接坡口和支管连接	纵向坡口	角接	环向、斜接坡口和支管连接	纵向坡口	角接
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
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:

A:缺陷范围:无明显缺陷;

B:未焊透累计长度^f:每 150 mm 长度范围内 ≤ 15 mm 和 10%焊缝总长度;

C:未焊透累计长度:每 150 mm 长度范围内 ≤ 20 mm 和 20%焊缝总长度;

D:咬边深度: ≤ 1 mm 和 $T/4^g$;

E:咬边深度: ≤ 1.5 mm 和 ($T/4$ 或 1 mm);

F:根部表面凹陷深度:接头总厚,包括焊缝补强: $\geq T^h$;

G:焊缝余高或内凸起的高度:

T(mm)	H(mm)
≤ 6	≤ 1.5
$> 6, \leq 13$	≤ 3.0
$> 13, \leq 25$	≤ 4.0
> 25	≤ 5.0

H:焊缝余高或内凸起的高度:范围为上述 G 相应值的 2 倍;

N/A:表示对于这种类型的缺陷,本部分未规定验收准则或不要求评价。

^a 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。

^b 支管连接焊接接头包括支管和翻边接口的承压焊接接头。

^c 纵向接头包括直缝接头和螺旋缝接头,但 GB/T 20801.2—2020 中表 A.1 和 GB/T 20801.3—2020 表 13 所列管道组件材料和型式尺寸标准制造的产品中所含纵向接头除外。

^d 角接接头包括承插焊和密封焊以及平焊法兰、支管补强和支承件的连接焊接接头。

^e 仅评价公称壁厚 ≤ 5 mm 焊接接头的缺陷。

^f 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。

^g T 是对焊接头中两个连接件厚度较薄者的名义厚度。

^h 对没有额外填充金属的坡口环向接头,其外部凹陷深度不得小于 1 mm 或 10%接头名义厚度,焊缝金属应平滑过渡到组件表面,焊缝总厚度(包括焊缝补强)不得小于最小名义厚度。

表 3 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 Φ_w	目视检查比例/%	射线检测/超声检测比例/%
≤ 0.85	100	—
0.90	100	10
1.00	100	100

注：GB/T 20801.2—2020 中表 A.1 和 GB/T 20801.3—2020 表 13 中所含的纵向焊接接头除外。

7 检查工艺

检查应按第 5 章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 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。

9 试验

9.1 压力试验

9.1.1 一般要求

在初次运行前以及按第 6 章的要求完成有关的检查后,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。除 9.1.1.1 压力试验可代替的情况外,应按 9.1.3 的规定进行液压试验。

9.1.1.1 压力试验的替代

压力试验的替代应符合下列规定:

- a) 对 GC3 级管道,经业主或设计者同意,可按 9.1.6 规定的初始运行压力试验代替液压试验。
- b) 当业主或设计者认为液压试验不切实际时,可用 9.1.4 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 9.1.5 规定的液压-气压试验来代替。
- c) 当业主或设计者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 9.1.7 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变为危险的、腐蚀的或无法工作),或由于试验载荷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,否则不需要做压力试验。

9.1.1.2 压力的限制

试验压力的限制应符合下列规定:

- a) 如果试验压力会产生的管道周向应力或轴向应力超过试验温度下的屈服强度,试验压力可减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,则应注意避免超压;
- 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。

9.1.1.3 其他试验要求

其他试验要求应符合下列规定:

- a) 压力试验保压时间不少于 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,应考虑脆性破坏的可能性。

9.1.1.4 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以单独进行试验,也可以装配在管道上与管道一起进行试验;
- 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组成件的最后一条焊接接头已按 6.4 的规定进行了制作过程中的检查,且经 100%射线检测或 100%超声检测合格,同时该管道系统或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。

9.1.1.5 真空或外压管道

真空或外压管道的压力试验应符合下列规定:

- 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) 经业主或设计者同意,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。

9.1.1.6 夹套管

夹套管的压力试验应符合下列规定:

- 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,如果需要按照 9.1.2.1 的规定对内管接头作目视检查,此压力试验应在夹套管完成之前进行;
- b) 除设计另有规定外,外管应按 9.1 的规定进行压力试验。

9.1.1.7 压力试验后的修补或增添物件

如果压力试验后进行修补或增添物件,则受影响的管道应重新进行压力试验。经检验人员同意,对采取了预防措施并能保证结构完好的一些小修补或增添物件,不需重新进行压力试验。

9.1.1.8 试验记录

应对每一管道系统做好试验记录,记录内容至少应包括以下主要内容:

- 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。

9.1.2 准备工作

9.1.2.1 接头外露

压力试验时的接头外露应符合下列规定：

- a) 除按本部分预先进行过试验的接头可以包覆隔热层或覆盖层外，所有接头均不得包覆隔热层，以便在压力试验时进行检查；
- b) 按 9.1.7 c) 的规定进行泄漏试验时，所有接头均不应上底漆和油漆；
- c) 对 GC3 级管道，经业主或设计者同意，进行液压试验或初始运行压力试验时，接头可以包覆隔热层或覆盖层，但应延长保压时间以观察有无泄漏和其他异常。

9.1.2.2 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。

9.1.2.3 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 GB/T 20801.3—2020 附录 F 的要求）的试验压力时，应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，应在没有临时约束的情况下，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，那么膨胀节应从管道系统移开，或应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）及其管道系统应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应在设计上保证其能够承受试验压力下的载荷。

9.1.2.4 管道压力试验的隔断

不拟进行试验的容器在管道系统压力试验进行期间应与管道分离，或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。

9.1.2.5 压力表

试验用压力表应经过校验，在校验有效期内，压力表的精度不得低于 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得少于 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。

9.1.3 液压试验

液压试验应符合下列规定：

- a) 试验流体一般应使用洁净水。当对奥氏体不锈钢管道或对连有奥氏体不锈钢组成件或容器的管道进行试验时，水中氯离子含量不得超过 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，其闪点不得低于

49 ℃,且应考虑到试验周围的环境。试验时流体的温度应不低于 5 ℃。

- b) 内压管道除 9.1.3 e)规定外,系统中任何一点的液压试验压力均应按下述规定:
 - 1) 不得低于 1.5 倍设计压力;
 - 2) 设计温度高于试验温度时,试验压力应不小于式(1)的计算值:

$$p_T = 1.5pS_1/S_2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

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,液压试验应符合以下规定:
 - 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%按式(1)计算所得的管道试验压力时,经业主或设计者同意,可按容器的试验压力进行试验。

9.1.4 气压试验

气压试验应符合下列规定:

- a) 如果采用气压试验,应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应经过审核。
 气压试验时,应将脆性破坏的可能性减少至最低程度,应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 ℃。材料的最低允许金属温度不明时,试验温度不得低于 17 ℃。试验系统中不得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。

- b) 试验时应装有压力泄放装置,其设定压力不得高于 1.1 倍的试验压力。
- c) 用作试验的介质应是干燥洁净的空气、氮气或其他不易燃和无毒的气体。
- d) 承受内压的金属管道,气压试验压力应不低于 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) 试验温度下产生超过 90%屈服强度周向应力或纵向应力(基于最小管壁厚度)时的试验压力。
- e) 应按以下步骤进行气压试验:
 - 1) 试验前应进行预试验,预试验的压力宜为 0.2 MPa;
 - 2) 试验时,应逐级缓慢增加压力,当压力升至试验压力的 50%时,应进行初始检查,如未发现异常或泄漏,继续按试验压力的 10%逐级升压(每级应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,保压时间应根据查漏工作需要确定。

9.1.5 液压-气压试验

如果使用液压-气压结合试验,则应满足 9.1.4 的要求,且被液体充填部分管道的压力应不大于 9.1.3 的规定。

9.1.6 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 GC3 级管道,经业主或设计者同意,可结合试车,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,压力应分级逐渐增加至操作压力,每级应有足够的保压时间以平衡管道应变。如果输送的流体是气体或蒸汽,则按 9.1.4 e)1) 的要求进行预试验。
- b) 在运行压力下,需按照 9.1.1.3 a) 的要求进行泄漏检查。对之前按照本部分进行过试验的接头和连接处可不再进行泄漏检查。

9.1.7 压力试验的免除

同时满足下列要求时,可免除压力试验:

- a) 按下述规定进行检查的焊接接头:
 - 1) 环向、纵向以及螺旋焊焊接接头均应进行 100% 的射线检测或 100% 超声波检测;
 - 2) 所有未包括在上述 1) 中的焊接接头,包括附件的连接焊接接头,应进行 100% 的磁粉或渗透检测。
- b) 按 GB/T 20801.3—2020 的有关规定,已通过柔性分析的管道系统。
- c) 已按 9.2.1 a) 的要求进行敏感性泄漏试验的管道系统。

9.2 泄漏试验

对于 GC1 级(毒性)、GC1 和 GC2 级(易燃性)的管道,应按 9.2.1 进行敏感性泄漏试验。

泄漏试验应在压力试验合格后进行。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。除另有规定外,敏感性泄漏试验应符合相应检漏方法的试验灵敏度要求。

经 9.1.4 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。

经业主、设计者以及安装、检验者同意,可采用 9.2.2 气密性试验代替 9.2.1 进行泄漏试验,以无可见泄漏为合格。

9.2.1 敏感性泄漏试验

敏感性泄漏试验应符合下列规定:

- a) 除业主或设计者另有规定外,本部分规定的敏感性泄漏试验为符合 NB/T 47013.8—2012 附录 A 规定的气泡泄漏检测——直接加压技术。试验介质可采用空气,试验灵敏度相当于 10^{-4} ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3$)/s。

泄漏试验应能满足以下要求:

- 1) 根据业主或设计者的要求,试验压力应不小于 105 kPa 或 25% 设计压力(取较小值);
- 2) 应将试验压力逐渐增加至 0.5 倍规定的试验压力或 170 kPa(取较小值),然后进行初检,再分级逐渐增加至试验压力,每级应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) 根据业主或设计的要求,可采用下列检测灵敏度更高的检漏方法:
 - 1) 按 NB/T 47013.8—2012 附录 C 的要求,采用漏率型检漏仪进行的卤素泄漏试验,试验压

力按本部分的 9.2.1 a) 的规定, 试验灵敏度不应低于 $10^{-5} (\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$;

- 2) 按 NB/T 47013.8—2012 附录 D 的要求, 采用氦质谱仪泄漏检测——吸枪技术进行的氦检漏, 试验压力按本部分的 9.2.1 a) 的规定, 试验气体为氦气或含 1% 或 10% 氦的混合气体, 试验灵敏度不应低于 $10^{-5} (\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$ (如采用混合气体, 应按氦的比例相应提高灵敏度);
- 3) 按 NB/T 47013.8—2012 附录 E 的要求, 采用氦质谱仪泄漏检测——示踪探头技术进行的氦检漏, 待检管道或元件内抽真空, 在待检部位外用氦气或含 1% 或 10% 氦的混合气体吹扫, 试验灵敏度不应低于 $10^{-6} (\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$ (如采用混合气体, 应按氦的比例相应提高灵敏度);
- 4) 按 NB/T 47013.8—2012 附录 G 的要求, 充入 10%~30% 或 1% 氦气进行氦泄漏检测, 试验压力及试验方法按 NB/T 47013.8—2012 附录 G 的要求。

9.2.2 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 9.1.4 气压试验的相关要求进行。经业主或设计者同意, 气密性试验可按最高工作压力或结合试车一并进行。

9.3 真空度试验

除 9.1.1.5 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, 增压率应不大于 5%。增压率应按式(2)计算:

$$\Delta p = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- Δp —— 24 h 的增压率, %;
- p_1 —— 试验初始压力, 单位为兆帕(MPa);
- p_2 —— 试验最终压力, 单位为兆帕(MPa)。

10 记录

按本部分和工程设计要求的记录, 应由管道的设计者、制造厂以及制作和安装单位分别负责准备和保存, 保存年限应按政府的有关规定执行。



中华人民共和国国家标准

GB/T 20801.6—2020
代替 GB/T 20801.6—2006

压力管道规范 工业管道 第 6 部分：安全防护

Pressure piping code—Industrial piping—Part 6: Safeguarding

2020-11-19 发布

2021-06-01 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
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 安全泄放装置	4
5 阻火器	8
6 其他安全保护装置	9
7 安全防护	9
附录 A (资料性附录) 安全保护层分析	12
附录 B (资料性附录) 安全泄放装置的计算	14
附录 C (资料性附录) 安全泄放装置选用	21
附录 D (资料性附录) 阻火器类别和选用	23
附录 E (资料性附录) 可燃气体和蒸气的 MESG 和爆炸级别	25
参考文献	28



因力管道工程

前 言

GB/T 20801《压力管道规范 工业管道》分为以下 6 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计和计算；
- 第 4 部分：制作与安装；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护。

本部分为 GB/T 20801 的第 6 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 20801.6—2006《压力管道规范 工业管道 第 6 部分：安全防护》，与 GB/T 20801.6—2006 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 增加了安全保护装置的定义(见 3.1)；
- 修改了安全泄放装置的设定压力和最大泄放压力限制(见 4.1.5、2006 年版的 4.1.6)；
- 增加了背压对安全泄放装置性能和泄放量的影响(见 4.1.6)；
- 增加了确定安全泄放量的确定准则(见表 2)；
- 增加了防“水锤”和“汽锤”措施以及防雷措施(见表 2、7.4.3、C.1.6)；
- 增加了安全泄放装置的选用方法(见 4.4、附录 C)；
- 修改了 MESG 的分级(见表 3，2006 年版的表 1)；
- 增加了火灾紧急切断阀和机械联锁装置(见第 6 章)；
- 增加了气液二相最小泄放面积的计算方法(见附录 B 的 B.3.4)；
- 增加了阻火器的类别和选用(见附录 D)；
- 增加了典型可燃气体和蒸气的 MESG 测试值(见表 E.1)。

本部分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。

本部分起草单位：上海凯赢达化工设计工程咨询有限公司、全国化工设备设计技术中心站、国家市场监督管理总局特种设备安全监察局、华东理工大学。

本部分主要起草人：俞庆生、蔡暖姝、徐锋、黄正林、惠虎、应道宴。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 20801.6—2006。

压力管道规范 工业管道

第6部分:安全防护

1 范围

GB/T 20801的本部分规定了压力管道系统的安全泄放装置、阻火器、火灾紧急切断阀和机械连锁装置等安全保护装置和安全防护的基本要求。

本部分未规定的其他安全防护要求参见 GB/T 20801 其他部分以及国家现行有关规程、标准和规范的规定。

本部分适用于 GB/T 20801.1 范围界定的压力管道系统的安全防护。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 12158 防止静电事故通用导则

GB/T 12242 压力释放装置 性能试验规范

GB/T 15605 粉尘爆炸泄压指南

GB/T 15706 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小

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:制造与安装

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 31571 石油化学工业污染物排放标准

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50057 建筑物防雷设计规范

GB 50160 石油化工企业设计防火规范

GB 50984 石油化工工厂布置设计规范

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

ISO 16852 阻火器 性能要求、试验方法和应用限制(Flame arresters—Performance requirements, test methods and limits for use)

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)

NFPA 68 爆燃泄放防爆标准(Standard on explosion protection by deflagration venting)

PD CEN/TR 16793 阻火器选用导则(Guide for the selection, application and use of flame arresters)

3 术语和定义

GB/T 20801.1—2020、GB/T 20801.2—2020、GB/T 20801.3—2020、GB/T 20801.4—2020 和 GB/T 20801.5—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

安全保护装置 safety protection device

按照安全保护层分析(参见附录 A),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。

3.2

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。

3.3

安全阀 safety valve

由弹簧作用或导阀控制的阀门。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。

注:安全阀类型有普通型、平衡型和先导型。

3.4

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。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。

注: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、锯齿型和脱落型等。

3.5

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。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。

注:爆破针阀有角型和直线型。

3.6

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。

3.7

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,对于非火灾工况,除了基本安全泄放装置以外的一个或几个安全泄放装置。

3.8

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,对于火灾工况,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。

3.9

独立压力系统 independent pressure system

由一个或多个设备采用管道连接,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。

3.10

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、管道和仪表的设计压力。

3.11

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、爆破片装置的最大标定爆破压力及爆破针装置的弯折压力。

3.12

最大泄放压力 maximum relieving pressure

在安全泄放装置泄压过程中,独立压力系统所承受的最大系统压力。

3.13

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。

注3: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或是变动的。

3.14

安全泄放量 required relief capacity

为了防止系统超压,安全泄放装置泄放的流量。

3.15

最小泄放面积 minimum relief area

安全泄放装置全开启时的净流通面积。

3.16

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。

3.17

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。

3.18

爆燃 deflagration

以亚音速传播的爆炸。

3.19

爆轰 detonation

以超音速传播的爆炸,冲击波是其特征。

3.20

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。

3.21

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。

3.22

火灾紧急切断阀 fire emergency block valve

FEBV

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

4 安全泄放装置

4.1 一般规定

4.1.1 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。设计人员宜采用各种过程危险源评价(PHA)方法,研究具体工艺过程所有可能的超压工况。识别各种超压工况时,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。

4.1.2 自动控制仪表和报警联锁装置不得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,可通过过程危险源评价及分析所有的超压工况,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。

4.1.3 符合下列情况的设备或管道系统,应设置安全泄放装置:

- a) 设计压力小于外部压力源的压力,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) 不凝气体积聚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,产生热膨胀或气化的管道系统;
- 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。

4.1.4 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。

4.1.5 安全泄放装置相关压力的确定应符合下列规定:

- a) 独立压力系统中,设备或管道的安全泄放装置相关压力的确定应以系统设计压力或最大允许工作压力(MAWP)为基准,且应符合下列规定:

- 1) 安装一个安全泄放装置时,设定压力应不大于系统设计压力或 MAWP。非火灾工况的最大泄放压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 110%和系统设计压力或 MAWP 加 20 kPa 中的较大者,火灾工况的最大泄放压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 121%。
- 2) 当并联设置分级设定的多个安全泄放装置时,除一个基本安全泄放装置的设定压力应不大于系统设计压力或 MAWP 外,还应符合下列要求(表 1):
 - 非火灾工况下,附加安全泄放装置设定压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 105%,且基本安全泄放装置和附加安全泄放装置最大泄放压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 116%和系统设计压力或 MAWP 加 30 kPa 中的较大值;
 - 火灾工况下,辅助安全泄放装置设定压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 110%,且基本安全泄放装置、附加安全泄放装置和辅助安全泄放装置最大泄放压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 121%。

表 1 在非火灾和火灾工况下单个或多个并联设置的安全泄放装置
设定压力和最大泄放压力的限制^a

事故类型		单个装置		多个并联装置	
		设定压力	最大泄放压力	设定压力	最大泄放压力
非火灾工况	单个装置或基本装置	100	110 ^b	100	116 ^c
	一个或多个附加装置	—	—	105	116 ^c
火灾工况	单个装置或基本装置	100	121	100	121
	一个或多个附加装置	—	—	105	121
	一个或多个辅助装置	—	—	110	121

^a 表中所有数值是系统设计压力或最大允许工作压力(MAWP)的百分数。
^b 取 100%系统设计压力或 MAWP 和系统设计压力或 MAWP 加 20 kPa 中的较大者。
^c 取 116%系统设计压力或 MAWP 和系统设计压力或 MAWP 加 30 kPa 中的较大者。

- b) 单纯管道系统的超压保护,除 c)的规定外,设定压力和最大泄放压力应符合 a)的规定。
- c) GC2 级和 GC3 级的单纯管道系统超压保护应符合下列规定:
 - 1) 防止两端关闭的液体管道系统受热膨胀的超压工况,设定压力允许超过系统设计压力,但应不大于系统设计压力的 120%和系统试验压力中的较小值。
 - 2) 在符合 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.3.3 要求的条件下,压力泄放导致的压力变动按 GB/T 20801.3—2020 中 4.2.3.4 规定:
 - 每次不超过 10 h,且每年累计不超过 100 h,最大泄放压力不超过系统设计压力的 133%;
 - 每次不超过 50 h,且每年累计不超过 500 h,最大泄放压力不超过系统设计压力的 120%。

4.1.6 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超过 10%设定压力时,泄放量快速下降,并发生颤振或频跳。平衡型安全阀总背压不超过约 50%设定压力,可稳定操作,泄放量有所降低。先导型安全阀的操作和泄放量不受背压影响。
 - 2) 爆破片装置没有积聚背压的问题,变动附加背压可能导致爆破片提前或滞后破裂,需要增

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) 爆破针阀没有积聚背压的问题,且设计成不受背压影响的平衡型结构。背压不影响其操作性能。

b) 安全泄放装置的背压都会提高泄放压力,应防止背压超过最大泄放压力造成超压事故。

4.2 安全泄放量和最小泄放面积的确定

4.2.1 典型超压工况下,安全泄放量按表 2 准则确定:

a) 系统的某个部位有几种超压工况时,应分别计算每种超压工况的安全泄放量,并取其中的最大值为该部位的安全泄放量;

b) 安全泄放量的计算可参见附录 B 规定。附录 B 中未规定的其他超压工况的安全泄放量计算,可参照 ISO 23251 的相应规定。

表 2 典型超压工况下确定安全泄放量准则

序号	超压工况	液体泄放 ^a	蒸气泄放 ^a
1	设备出口关闭	最大液体泵入流量	水蒸气和蒸气总进入量,加上泄放条件下产生的水蒸气和蒸气
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	—	水蒸气和蒸气总进入量,加上泄放条件下产生的水蒸气和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第 2 项相同,在其他设备中产生的结果与第 1 项相同
7	高挥发物的进入: a) 水进入热油 b) 轻烃进入热油	—	采用替代防护方法避免这种情况。见本表第 15 项 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: a) 异常工艺热量进入 b) 阀门误操作开启 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 NFPA 68 和 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: a) 冷液体关闭在里面 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	—

表 2 (续)

序号	超压工况	液体泄放 ^a	蒸气泄放 ^a
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)
15	传热设备故障: a) 换热器管子破裂 b) 套管 c) 板和框	穿过破裂处的液体流量等于 1 根管子内横截面积 2 倍的流量	穿过破裂处的水蒸气或蒸气流量等于 1 根管子内横截面积 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定安全泄放量
	d)缓冲罐	最大液体进入流量	—
^a 需考虑泄放压力高于操作压力而引起泄放量的减少。			

4.2.2 最小泄放面积应符合下列要求:

- a) 安全泄放装置最小泄放面积应根据安全泄放量、最大泄放压力、泄放流体温度、安全泄放装置有效泄放系数和校正系数以及流体物理性质确定;
- b) 最小泄放面积可参见附录 B 的规定计算;
- c) 选用安全泄放装置产品的额定泄放量应不小于安全泄放量。

4.3 安全泄放装置进、出口阀门和管道的设置

4.3.1 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,应符合下列要求:

- a) 切断阀应采用全通径的,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,切断阀应锁定或铅封在全开位置。

4.3.2 安全泄放装置入口管道应符合下列要求:

- a) 管径应不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的 3% 设定压力;
- 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应不小于 10 倍管径。

4.3.3 安全泄放装置的出口管道应符合下列要求:

- a) 泄放至大气的管道出口应位于安全地点,安全泄放装置、泄放管道及其支承应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应不超过安全泄放装置允许的最大背压;
- c) 应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裂影响。

4.4 安全泄放装置的选择

4.4.1 安全泄放装置应考虑泄放介质、过程超压工况以及安全泄放装置的性能,选用合适的安全泄放装置形式,参见附录 C。安全泄放装置的选择应符合相关标准的规定。

4.4.2 安全泄放装置产品应符合 TSG ZF001 和 TSG ZF003 以及 GB/T 12242 等相关标准的规定。

5 阻火器

5.1 阻火器的应用

5.1.1 阻火器产品和应用应符合 ISO 16852 和 PD CEN/TR 16793 等相关标准的规定。

5.1.2 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参见附录 D。

5.2 阻火器设置

下列设备和管道系统应设置阻火器:

- 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和蒸气出口,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。

5.3 可燃气体和蒸气的 MESG 和爆炸级别

按 MESG 将可燃气体和蒸气分为 7 个爆炸级别,如表 3 所示。阻火器的间隙应小于可燃气体和蒸气的 MESG。

纯组分与多组分可燃气体与蒸气的 MESG 和爆炸级别参见附录 E。

表 3 爆炸级别和相对应的 MESG 及试验气体

爆炸级别	MESG/mm	空气中试验气体体积分数/%
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

表 3 (续)

爆炸级别	MESG/mm	空气中试验气体体积分数/%
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

6 其他安全保护装置

6.1 火灾紧急切断阀

6.1.1 大型、液化气体及急性毒性类别 1 和类别 2 化学品等重点储罐出口端宜设置火灾紧急切断阀。

6.1.2 大量储存各种危险化学品的港口码头、车站和物流公司等仓储区的大型危险化学品储罐，宜设置机械紧急切断阀等火灾紧急切断阀(FEBV)。

6.2 机械联锁装置

6.2.1 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。

6.2.2 运行和维修的操作失误可能导致重大事故时，宜设置机械联锁装置：

- 安全泄放装置进、出口切断阀运行和维修操作；
- 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；
- 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；
- 醋酸乙烯-乙烯共聚乳液(VAE)充氮阀运行和维护操作；
- 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。

7 安全防护

7.1 一般规定

采取安全防护措施时，应考虑以下因素：

- 由流体性质以及操作压力和操作温度确定的流体危险性；
- 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；
- 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；
- 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。

7.2 工厂布置中的安全防护

7.2.1 露天化的设备布置应符合以下规定：

- 生产区和居民区之间、装置之间、建、构筑物之间以及设备之间应保持一定的安全距离；
- 装置内的主要行车道、消防通道以及安全疏散通道的设置应符合 GB 50984、GB 50160 和 GB 50016 的规定；
- 应对接近生产装置的人员予以控制；
- 应设置必要的坡度、排放沟、防火堤和隔堤。

7.2.2 可燃、有毒流体应排入封闭系统内，不得直接排入下水道及大气。

7.2.3 密度比环境空气大的可燃气体应排入火炬系统,密度比环境空气小的可燃气体,在不允许设置火炬及符合卫生标准的情况下,可排入大气。

7.2.4 可燃气体管道的放空管管口及安全泄放装置的排放位置应符合 GB 50160、GB 50984 及 GB 31571 的规定。

7.2.5 架空管道穿过道路、铁路及人行道等的净空高度,以及外管廊的管架边缘至建筑物或其他设施的水平距离应符合 GB 50160、GB 50016 及 GB 50984 的规定,管道与高压电力线路间交叉净距应符合架空线路相关标准的规定。

7.2.6 位于通道、道路和铁路上方的管道不应安装阀门、法兰、螺纹接头以及带有填料的补偿器等可能发生泄漏的管道组成件。

7.2.7 在可通行管沟内不得布置 GC1 级管道。

7.3 生产管理中的安全防护

7.3.1 应建立各项安全生产管理制度,包括生产责任制,安全生产和维修人员教育和培训制度,有危险性工作的操作许可制度(如动火规程等),安全生产检查制度,事故调查、报告和责任制度以及安全监察制度等。

7.3.2 应制定安全可靠的开、停车和正常操作的规程,以及停水、停电等情况下事故停车的程序,以尽可能减少对管道的损害和减少操作人员、维修人员及其他人员接触危险性管道的可能性。

7.3.3 建立管道管理系统数据库,包括管道目录库、管道故障记录库、管道检测报告库以及管道检修报告库等。

7.4 安全防护设施和措施

7.4.1 灭火消防系统和喷淋设施应包括建构筑物的防火墙、防爆墙等防火结构,去除有毒、腐蚀性或可燃性蒸气的通风装置、遥测和遥控装置以及储存或回收装置、火炬或焚烧炉等紧急处理有害物质的设施。

7.4.2 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。

7.4.3 当充满液体的管道可能发生“水锤”现象,或在存有可压缩性流体的管道中可能发生“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。

7.4.4 应采用自动或遥控的紧急切断、过流量阀、附加的切断阀、限流孔板或自动关闭压力源等方法限制流体泄漏的数量和速度。

7.4.5 处理事故用的紧急放空、事故隔离、消防蒸汽、消防栓等阀门,应布置在安全、明显、方便操作的地方。

7.4.6 进出装置的可燃、有毒物料管道,应在界区边界处设置切断阀,并在装置侧设“8”字盲板,以防止发生火灾时相互影响。

7.4.7 应设置必要的防护面罩、防毒面具、应急呼吸系统、专用药剂、便携式可燃和有毒气体检测报警系统等卫生安全设备,在可能造成人体意外伤害的排放点或泄漏点附近应设置紧急淋浴和洗眼器。

7.4.8 有辐射性的流体管道,应设置屏蔽保护和自动报警系统,并配置专用的面具、手套和防护服等。

7.4.9 对爆炸、火灾危险场所内可能产生静电危险的管道系统,均应采取静电接地措施。如可通过设备、管道及土建结构的接地网接地,法兰跨接。其他防静电要求应符合 GB 12158 的规定。

7.4.10 盲板设置应符合下列规定:

- a) 当装置停运维修时,对装置外可能继续运行的管道,在装置边界处除设置切断阀外,还应在阀门靠装置一侧的法兰处设置盲板;
- b) 当运行中的设备需切断检修时,应在阀门与设备之间法兰接头处设置盲板。当有毒、可燃流体

管道、阀门与盲板之间装有放空阀时,对于放空阀后的管道,应保证其出口位于安全范围之内。

7.4.11 蒸气、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应设止回阀,并在其根部设切断阀;
- b) 间歇使用的公用工程管道上应设两道切断阀,并在两阀间设检查阀。

7.4.12 生产装置内的建、构筑物防雷措施应符合 GB 50057 的规定。露天布置的塔器、容器,或可燃气体、液体和粉尘的储罐与料仓,可能泄放或泄漏可燃气体或粉尘的储罐和料仓,防雷措施和/或防雷接地设施应符合 GB 50057 的规定。

压力管道人全网首发

附 录 A
(资料性附录)
安全保护层分析

A.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 A.1 所示。每个安全保护层应是独立的,由里层至外层,事故后果逐层升高。

A.2 图 A.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,是防止事故发生或减轻事故损失的最后一道屏障。

压力管道人全网首发



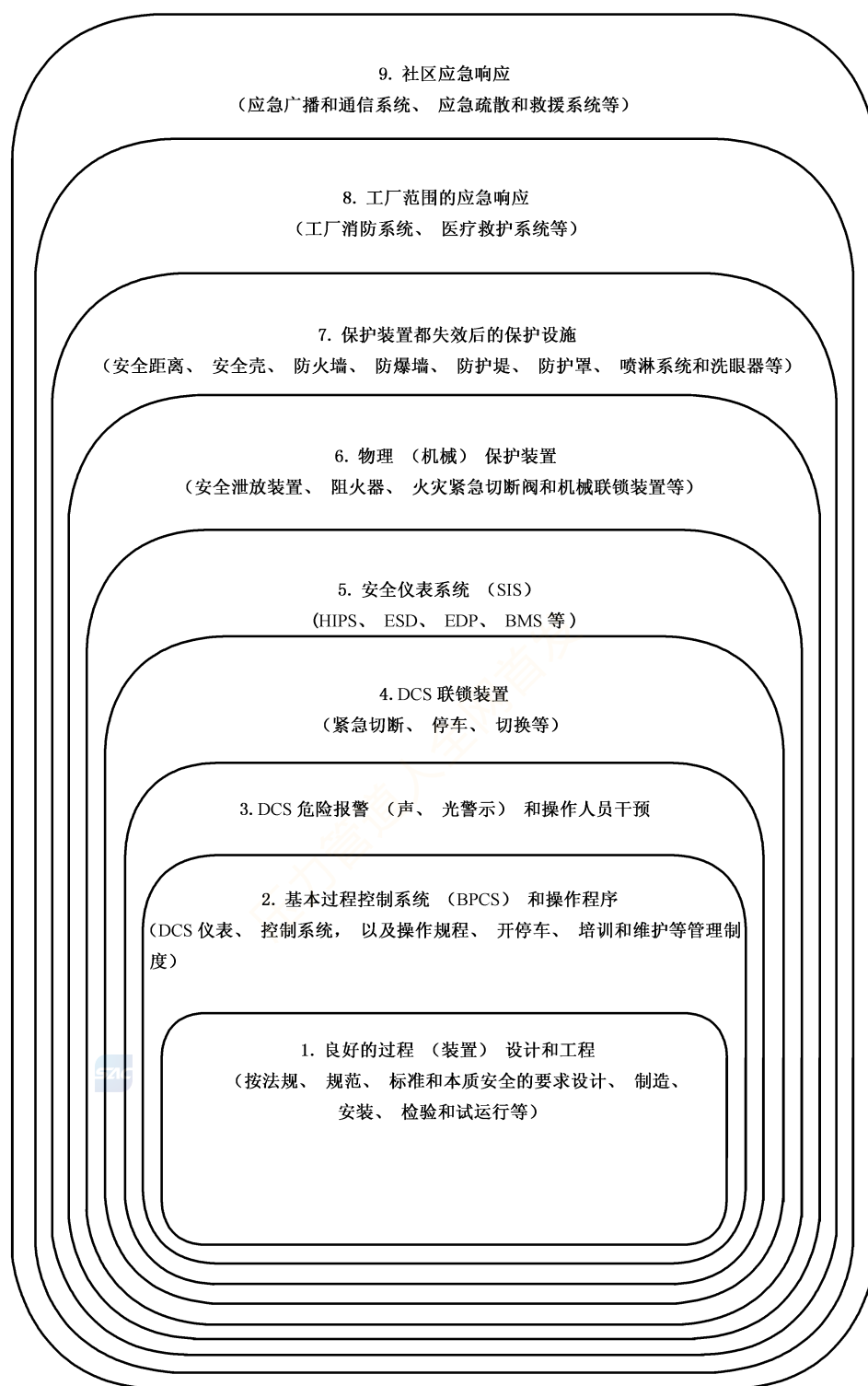


图 A.1 典型的安全保护层图

附 录 B
(资料性附录)
安全泄放装置的计算

B.1 符号

- A ——安全泄放装置的最小泄放面积,单位为平方毫米(mm^2)。
- A_r ——容器受热面积,单位为平方米(m^2)。
- C ——气体特性系数,可查表 B.1 或按 $C = 520 \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$ 求取。
- C_{pl} ——液体比定压热容,单位为千焦每千克开尔文 [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]。
- d ——液体的相对密度。
- F ——系数;
地面以下用沙土覆盖时, $F = 0.3$;
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,单位为千焦每小时 (kJ/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 B.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、临界流动气体用或液体用先导型安全阀,以及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 ——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汽压力(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)。

- T ——安全泄放装置的泄放温度,单位为开尔文(K)。
- 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,单位为立方米每小时(m³/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,单位为千克每小时(kg/h)。
- Z ——在最大泄放压力及温度下,气体的压缩系数。
- α ——液体的体积膨胀系数,单位为每摄氏度(1/°C),可查表 B.2。
- δ ——保温层厚度,单位为米(m)。
- λ ——常温下绝热材料的导热系数,单位为千焦每米小时开尔文[kJ/(m·h·K)]。
- μ ——液体的动力黏度,单位为千克每米秒[kg/(m·s)]。
- ξ ——安全泄放装置的液体动力黏度校正系数,根据雷诺数 $Re = \frac{0.313\ 4\ W_s}{\mu\ \sqrt{A}}$ 由图 B.2 查取;
当液体黏度等于或小于水的黏度时,取 $\xi=1$ 。
- ν_0 ——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(m³/kg)。
- ν_9 ——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(m³/kg)。
- ρ_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/m³)。
- ρ_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/m³)。
- ρ_9 ——对应安全泄放装置入口温度下,90%入口液体饱和蒸汽压 p_s 时的二相混合物密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。
- η_0 ——背压比, $\eta_0 = p_o/p_d$ 。
- η_c ——临界压力比, $\eta_c = p_c/p_d$ 。
- η_s ——饱和蒸汽压力比, $\eta_s = p_s/p_d$ 。
- η_{st} ——转变饱和压力比,见式(B.19)。
- ω ——欧米伽参数,见式(B.12)。
- ω_s ——饱和欧米伽参数,见式(B.18)。

B.2 独立压力系统的安全泄放量计算

B.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,但应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。

B.2.2 压缩气体和蒸气的安全泄放量

B.2.2.1 蒸气发生器等产生蒸气换热设备的系统安全泄放量按式(B.1)计算:

$$W_s = H/q \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

B.2.2.2 压缩气体系统的安全泄放量,按式(B.2)计算:

$$W_s = 2.83 \times 10^{-3} \rho_s v d^3 \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

B.2.3 液化气体的容器和管道系统安全泄放量

B.2.3.1 易爆液化气体及有可能发生火灾环境下的非易爆液化气体,安全泄放量按式(B.3)或式(B.4)

计算。

无绝热保温层时,安全泄放量按式(B.3)计算:

$$W_s = \frac{2.55 \times 10^5 F A_r^{0.82}}{q} \dots\dots\dots (B.3)$$

有完善的绝热保温层时,安全泄放量按式(B.4)计算:

$$W_s = \frac{2.61(650 - t)\lambda A_r^{0.82}}{\delta q} \dots\dots\dots (B.4)$$

B.2.3.2 非易爆液化气体在无火灾危险的环境下工作时,安全泄放量根据有、无保温层计算,不小于式(B.3)或式(B.4)计算值的30%。

B.2.4 化学反应导致超压的安全泄放量

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和反应时间来确定。

B.2.5 充满液体的封闭管道系统中液体受热膨胀的安全泄放量

在受热后,液体的饱和蒸汽压小于安全泄放装置设定压力(或最大标定爆破压力)时,按式(B.5)计算:

$$V_s = 0.001 \frac{\alpha H}{d \cdot c_{pl}} \dots\dots\dots (B.5)$$

B.2.6 充满液体封闭管道系统中液体受热汽化的安全泄放量

受热后,液体饱和蒸汽压大于安全泄放装置设定压力(或最大标定爆破压力)时,按式(B.6)计算:

$$W_s = H/q \dots\dots\dots (B.6)$$

B.3 安全泄放装置的最小泄放面积计算

B.3.1 气体

B.3.1.1 临界流动: $\frac{p_o}{p_d} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ 时,最小泄放面积按式(B.7)计算:

$$A = 13.16 \frac{W_s}{CK K_b K_c \xi p_d \sqrt{ZT/M}} \dots\dots\dots (B.7)$$

B.3.1.2 亚临界流动: $\frac{p_o}{p_d} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ 时,最小泄放面积按式(B.8)计算:

$$A = 1.79 \times 10^{-2} \frac{W_s}{KK_c \xi p_d \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} \sqrt{\frac{ZT}{M}} \dots\dots\dots (B.8)$$

亚临界流动的波纹管型安全阀应按式(B.7)计算。

B.3.2 饱和蒸气

B.3.2.1 饱和蒸气中蒸气含量不小于98%,最大过热度为10℃。

B.3.2.2 当 $p_d \leq 10$ MPa 时,最小泄放面积按式(B.9)计算:

$$A = 0.19 \frac{W_s}{KK_b K_c \xi p_d} \dots\dots\dots (B.9)$$

B.3.2.3 当 $10 \text{ MPa} < p_d \leq 22 \text{ MPa}$ 时,最小泄放面积按式(B.10)计算:

$$A = 0.19 \frac{W_s}{KK_b K_c \xi p_d} \left(\frac{33.2 p_d - 1\ 061}{27.6 p_d - 1\ 000} \right) \dots\dots\dots (B.10)$$

B.3.3 液体

$$A = 0.196 \frac{W_s}{KK_w K_c \xi \sqrt{\rho_l (p_d - p_o)}} \dots\dots\dots (B.11)$$

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 $\xi=1.0$ ，按式(B.11)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式(B.11)及 $\xi=1.0$ 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式 $Re=0.313 \frac{W}{\mu \sqrt{A}}$ 计算雷诺数，由图B.2

查得 ξ 值按式(B.11)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 $W < W_s$ ，则采用大一挡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 $W \geq W_s$ 。

B.3.4 气液二相

B.3.4.1 气液二相流工况安全阀最小泄放面积计算宜采用 API STD 520-1 的方法。气液二相流泄放工况可分为下述四种类型：

- 不含不凝气的饱和液相或二相流通过安全阀，阀后有闪蒸；
- 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；
- 含有不凝气的过冷或饱和液体通过安全阀，阀后有闪蒸；
- 不含不凝气的过冷或饱和液体通过安全阀，阀后有闪蒸。

B.3.4.2 B.3.4.1 a)、b) 和 c) 类型的气液二相流的计算步骤如下：

- 计算欧米伽参数 ω ，按式(B.12)：

$$\omega = 9 \left(\frac{\nu_9}{\nu_0} - 1 \right) \dots\dots\dots (B.12)$$

- 临界压力比 η_c ，按式(B.13)计算：

$$\eta_c = [1 + (1.044\ 6 - 0.009\ 343\ 1\omega^{0.5})\omega^{-0.562\ 61}]^{(-0.703\ 56 + 0.014\ 685\ \ln\omega)} \dots\dots\dots (B.13)$$

- 确定临界压力 p_c ，按式(B.14)计算：

$$p_c = \eta_c \cdot p_d \dots\dots\dots (B.14)$$

- 计算质量流率 G ：

当 $p_c \geq p_o$ ，为临界流动时，按式(B.15)计算：

$$G = \eta_c \sqrt{\frac{p_d \times 10^{-3}}{\omega \nu_0}} \dots\dots\dots (B.15)$$

当 $p_c < p_o$ ，为亚临界流动时，按式(B.16)计算：

$$G = \frac{\{-2[\omega \ln \eta_0 + (\omega - 1)(1 - \eta_0)]\}^{0.5}}{\omega \left(\frac{1}{\eta_0} - 1 \right) + 1} \sqrt{\frac{p_d \times 10^{-3}}{\nu_0}} \dots\dots\dots (B.16)$$

- 计算最小泄放面积，按式(B.17)：

$$A = 277.8 \frac{W_s}{KK_b K_c \xi G} \dots\dots\dots (B.17)$$

B.3.4.3 B.3.4.1d)类型的气液二相流的计算步骤如下:

a) 计算饱和和欧米伽参数 ω_s ,按式(B.18):

$$\omega_s = 9 \left(\frac{\rho_1}{\rho_9} - 1 \right) \dots\dots\dots (B.18)$$

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式(B.19)计算:

$$\eta_{st} = \frac{2\omega_s}{1 + 2\omega_s} \dots\dots\dots (B.19)$$

c) 对于低过冷区:

饱和蒸气压力比按式(B.20)计算:

$$\eta_s = \frac{p_s}{p_d} \dots\dots\dots (B.20)$$

若 $\eta_s \leq \eta_{st}$, 则临界压力比 $\eta_c = \eta_s$;

若 $\eta_s > \eta_{st}$, 则临界压力比按式(B.21)计算:

$$\eta_c = \eta_s \left(\frac{2\omega}{2\omega - 1} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{\eta_s} \left(\frac{2\omega - 1}{2\omega} \right)} \right] \dots\dots\dots (B.21)$$

$$p_c = \eta_c p_d$$

当 $p_c \geq p_o$, 为临界流动时,按式(B.22)计算:

$$G = \frac{\left\{ 2(1 - \eta_s) + 2 \left[\omega_s \eta_s \ln \frac{\eta_s}{\eta_c} - (\omega_s - 1)(\eta_s - \eta_c) \right] \right\}^{0.5}}{\omega_s \left(\frac{\eta_s}{\eta_c} - 1 \right) + 1} \sqrt{p_o \rho_1 \times 10^{-3}} \dots\dots (B.22)$$

当 $p_c < p_o$, 为亚临界流动时,按式(B.23)计算:

$$G = \frac{\left\{ 2(1 - \eta_s) + 2 \left[\omega_s \eta_s \ln \frac{\eta_s}{\eta_o} - (\omega_s - 1)(\eta_s - \eta_o) \right] \right\}^{0.5}}{\omega_s \left(\frac{\eta_s}{\eta_o} - 1 \right) + 1} \sqrt{p_o \rho_1 \times 10^{-3}} \dots\dots\dots (B.23)$$

d) 对于高过冷区:

当 $p_c \geq p_o$, 为临界流动时,按式(B.24)计算:

$$G = 1.414 \left[\rho_1 (p_d - p_s) \times 10^{-3} \right]^{0.5} \dots\dots\dots (B.24)$$

当 $p_c < p_o$, 为亚临界流动时,按式(B.25)计算:

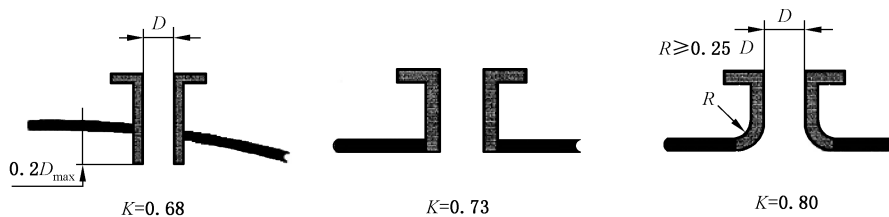
$$G = 1.414 \left[\rho_1 (p_d - p_o) \times 10^{-3} \right]^{0.5} \dots\dots\dots (B.25)$$

e) 计算最小泄放面积,按式(B.26):

$$A = 16.67 \frac{Q_s \rho_1}{K K_b K_c \xi G} \dots\dots\dots (B.26)$$

B.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,制造商应提供经第三方认证的额定泄放系数和实际最小泄放面积。用额定泄放系数和实际最小泄放面积验证,额定泄放量应达到或超过安全泄放量。



说明：

D ——接管内径；

R ——接管圆角半径。

图 B.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

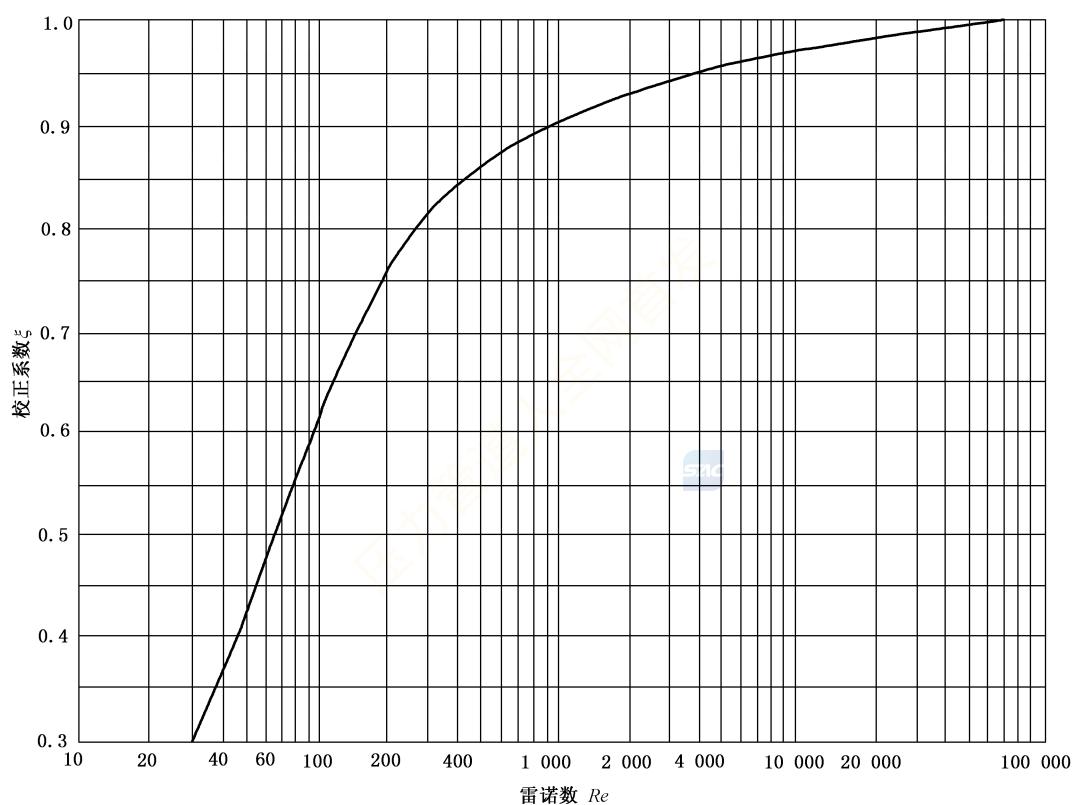


图 B.2 液体动力黏度校正系数 ξ

表 B.1 不同 K 值气体特性系数 C 值

K	C	K	C	K	C	K	C
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 B.2 20 °C 的液体体积膨胀系数

液体	体积膨胀系数/(1/°C)	液体	体积膨胀系数/(1/°C)
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 ^a
二硫化碳	0.001 22	油品,°API 35~51	0.000 90 ^a
四氯化碳	0.001 24	油品,°API 51~64	0.001 08 ^a
三氯甲烷(氯仿)	0.001 27	油品,°API 64~79	0.001 26 ^a
甲醇	0.001 20	油品,°API 79~89	0.001 44 ^a
乙醇	0.001 12	油品,°API 89~94	0.001 53 ^a
甲酸	0.001 03	油品,°API ≥94~100	0.001 62 ^a

^a 15.6°C 的体积膨胀系数。

附 录 C
(资料性附录)
安全泄放装置选用

C.1 安全阀选用

- C.1.1 适用于清洁、无颗粒、无聚合物和低黏度的介质。
- C.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,在不能确定泄流量和/或二相的比例时,宜选用调节式先导型阀门。
- C.1.3 用于变动背压工况,应按背压选用阀门形式。
- C.1.4 液化天然气等低温工况宜选用密封性良好的先导型阀门。
- C.1.5 用于容积式压缩机出口管道的阀门宜选用在导压管上设置阻尼器的先导型阀门。
- C.1.6 不适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。

C.2 爆破片装置选用

- C.2.1 适用于失控放热反应等压力迅速上升的工况。
- C.2.2 适用于含固体颗粒、易沉淀结晶、易聚合和高黏度介质。
- C.2.3 适用于急性毒性类别 1 和类别 2、可燃气体和液体等不允许泄漏介质。
- C.2.4 适用于使用哈氏合金、锆和钽等特种材料的强腐蚀性介质。
- C.2.5 适用于泄流量大、压力和/或温度过高或过低等不宜用安全阀的场合。
- C.2.6 不宜用于泄放大量有害物质造成重大安全和环境后果的场合。
- C.2.7 不宜用于系统压力和/或温度循环工况导致爆破片拉伸疲劳破坏的场合。
- C.2.8 不宜用于有变动附加背压的场合。
- C.2.9 爆破片装置形式应根据泄放介质和超压工况特征选用：
- a) 用于爆炸性环境时,应确保爆破时不产生火花、静电；
 - b) 用于安全阀上游时,爆破不应产生碎片；
 - 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,宜选用能横向冲刷表面的正拱形爆破片。

C.3 爆破针阀选用

- C.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。
- C.3.2 适用于存在变动背压的工况。
- C.3.3 适用于压力和/或温度循环工况。
- C.3.4 适用于高达 95%操作比(即最大系统操作压力对爆破压力或弯折压力之比)的工况。
- C.3.5 适用于单相流和多相流工况。
- C.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。

C.4 爆破片装置或爆破针阀与安全阀的组合使用

C.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。

C.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。

C.4.3 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流量大、可能有多种超压工况等场合。

附录 D
(资料性附录)
阻火器类别和选用

D.1 阻火器类别

阻火器类别如图 D.1 所示。

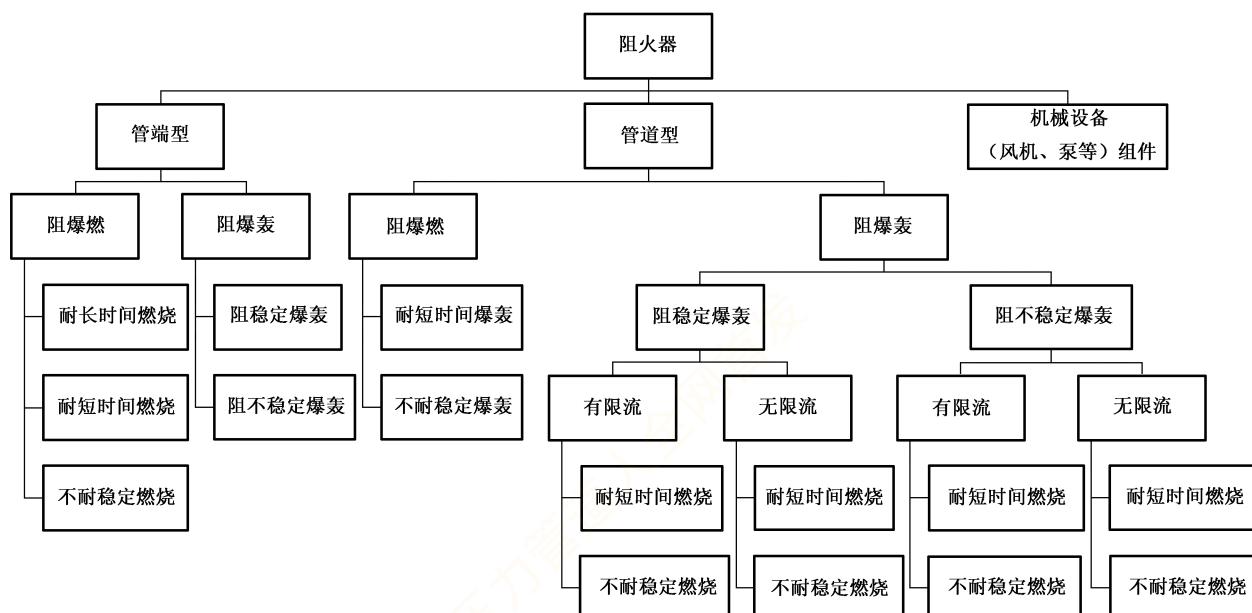


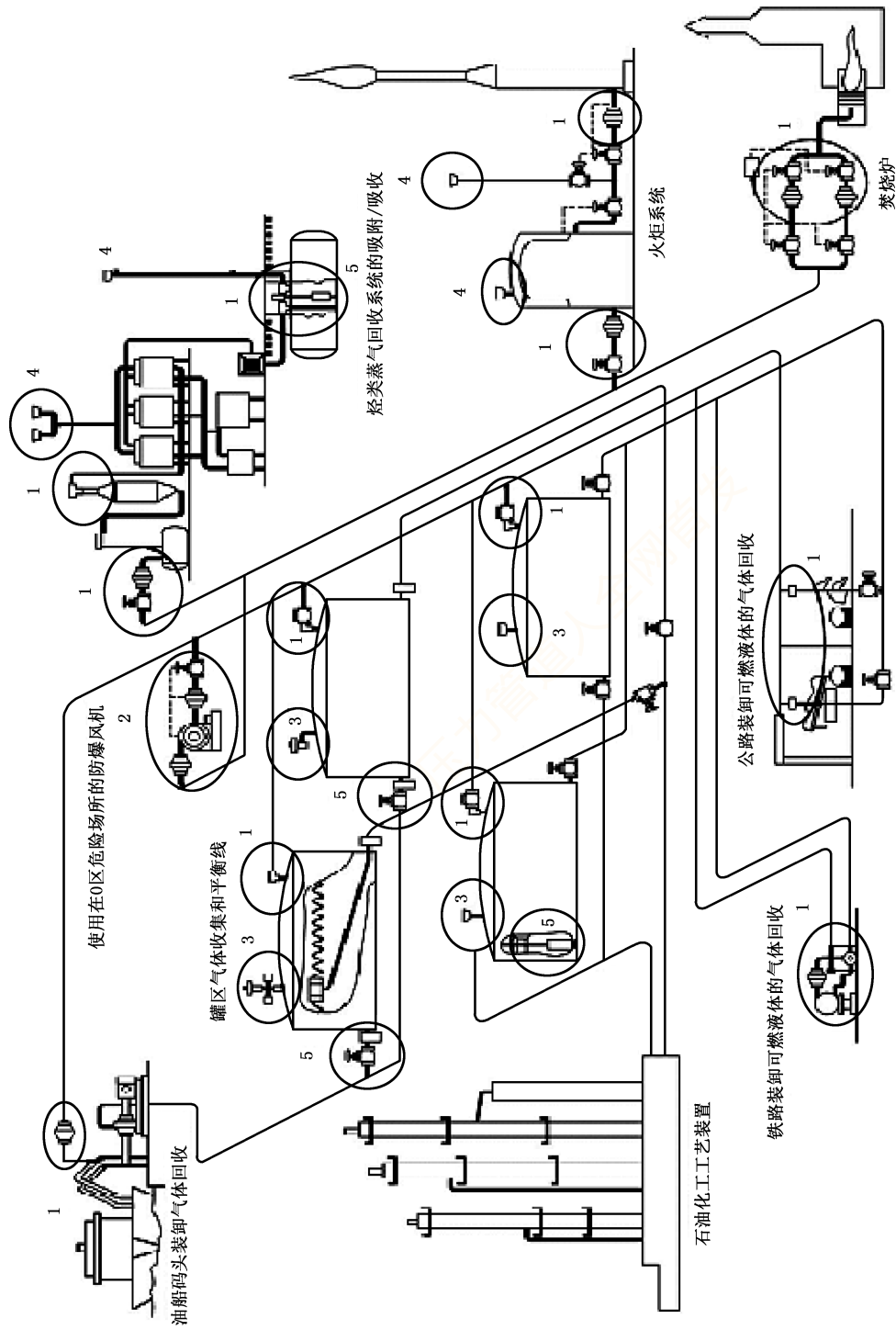
图 D.1 阻火器的类别

D.2 阻火器选用

D.2.1 应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 D.2 所示。

D.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应避免不稳定爆轰位置；
- 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。



- 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——管端阻爆燃或耐烧阻火器；
 - 5——液体阻火器。

图 D.2 典型阻火器的选用



附 录 E
(资料性附录)

可燃气体和蒸气的 MESG 和爆炸级别

E.1 典型的纯组分可燃气体和蒸气 MESG 和爆炸级别按 IEC 60079-20-1 的规定,如表 E.1 所示。

E.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,按式(E.1)计算混合物 MESG:

$$\text{MESG}_{\min} = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{X_i}{\text{MESG}_i} \right)} \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

MESG_{\min} ——混合物最大试验安全间隙,单位为毫米(mm);

MESG_i ——混合物中 i 组分的最大试验安全间隙,单位为毫米(mm);

X_i ——混合物中组分 i 的体积分数。

其中可燃组分从表 E.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。

- 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。

E.3 温度升高或压力增加,都会使 MESG 减小。

表 E.1 典型的可燃气体和蒸气 MESG 及爆炸级别

序号	CAS 号	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 ₃ O	0.92	II A
2	64-17-5	乙醇	Ethanol	C ₂ H ₅ O	0.89	II B3
3	71-36-3	正丁醇	n-butyl alcohol	CH ₃ (CH ₂) ₃ OH	0.87	II B1
4	71-36-3	异丁醇	iso-butyl alcohol	CH ₃ (CH ₂) ₃ OH	0.87	II B1
5	71-41-0	正戊醇	n-amyl alcohol	C ₅ H ₁₂ O	0.99	II A
6	107-18-6	烯丙醇	Allyl alcohol	CHCH ₂ OH	0.84	II B2
7	75-07-0	乙醛	Acetaldehyde	CH ₃ CHO	0.92	II A
8	123-72-8	正丁醛	n-butyraldehyde	CH ₃ (CH ₂) ₂ CHO	0.92	II A
9	107-02-8	丙烯醛	Acrolein	C ₃ H ₄ O	0.72	II B3
10	4170-30-3	巴豆醛	Crotonaldehyde	C ₄ H ₆ O	0.81	II B1
11	74-82-8	甲烷	Methane	CH ₄	1.14	II A1
12	74-84-0	乙烷	Ethane	C ₂ H ₆	0.91	II A
13	74-98-6	丙烷	Propane	C ₃ H ₈	0.92	II A
14	106-97-8	丁烷	Butane	C ₄ H ₁₀	0.98	II A

表 E.1 (续)

序号	CAS号	名称和分子式			MESG/mm	爆炸级别
		中文名	英文名	分子式		
15	109-66-0	正戊烷	n-pentane	C ₅ H ₁₂	0.93	II A
16	110-54-3	正己烷	n-hexane	C ₆ H ₁₄	0.93	II A
17	142-82-5	正庚烷	n-heptane	C ₇ H ₁₆	0.91	II A
18	111-65-9	辛烷	Octanes	C ₈ H ₁₈	0.94	II A
19	110-82-7	环己烷	Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	0.94	II A
20	109-89-7	二乙胺	Diethylamine	C ₄ H ₁₁ N	1.15	II A1
21	75-50-3	三甲胺	Trimethylamine	C ₃ H ₉ N	1.05	II A
22	107-15-3	乙二胺	Ethylenediamine	C ₂ H ₈ N ₂	1.25	II A1
23	71-43-2	苯	Benzene	C ₆ H ₆	0.99	II A
24	106-42-3	对二甲苯	p-xylene	C ₈ H ₁₀	1.09	II A
25	79-20-9	醋酸甲酯	Methyl acetate	C ₃ H ₆ O ₂	0.97	II A
26	141-78-6	乙酸乙酯	Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	0.95	II A
27	109-60-4	醋酸正丙酯	n-propyl acetate	C ₅ H ₁₀ O ₂	1.04	II A
28	123-86-4	醋酸正丁酯	n-butyl acetate	C ₆ H ₁₂ O ₂	1.02	II A
29	108-05-4	醋酸乙烯酯	Vinyl acetate	C ₄ H ₆ O ₂	0.93	II A
30	140-88-5	丙烯酸乙酯	Ethyl acrylate	C ₅ H ₈ O ₂	0.86	II B1
31	60-29-7	二乙醚	Diethylether	C ₄ H ₁₀ O	0.87	II B1
32	108-20-3	二异丙基醚	di-isopropyl ether	C ₆ H ₁₄ O	0.94	II A
33	75-21-8	环氧乙烷	Ethylene oxide	C ₂ H ₄ O	0.59	II B
34	75-56-9	环氧丙烷	Propylene oxide	C ₃ H ₆ O	0.7	II B
35	109-99-9	四氢呋喃	Tetrahydrofuran	C ₄ H ₈ O	0.87	II B1
36	110-91-8	吗啉	Morpholine	C ₄ H ₉ NO	0.92	II A
37	106-89-8	环氧氯丙烷	Epichlorohydrin	C ₃ H ₅ ClO	0.74	II B3
38	75-01-4	氯乙烯	Vinyl chloride	C ₂ H ₃ Cl	0.96	II A
39	67-64-1	丙酮	Acetone	CH ₃ COCH ₃	1.04	II A
40	78-93-3	丁酮	Methyl ethyl ketone	CH ₃ COCH ₂ CH ₃	0.85	II B1
41	141-79-7	亚异丙基丙酮	Mesityl oxide	C ₆ H ₁₀ O	0.93	II A
42	107-13-1	丙烯腈	Acrylonitrile	C ₃ H ₃ N	0.87	II B1
43	74-85-1	乙烯	Ethylene	C ₂ H ₄	0.65	II B3
44	115-07-1	丙烯	Propylene	C ₃ H ₆	0.95	II A
45	106-99-0	1,3-丁二烯	1,3-butadiene	C ₄ H ₆	0.79	II B3
46	78-79-5	异戊二烯	Isoprene	C ₅ H ₈	0.81	II B2
47	74-86-2	乙炔	Acetylene	C ₂ H ₂	0.37	II C

表 E.1 (续)

序号	CAS号	名称和分子式			MESG/mm	爆炸级别
		中文名	英文名	分子式		
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 ₂ S	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 ₂ H ₈ N ₂	0.85	II B1
55	71-23-8	正丙醇	n-propanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	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 ₃ CH ₂ COOH	1.1	II A
58	79-10-7	丙烯酸	Acrylic acid	C ₃ H ₄ O ₂	0.86	II B1
59	79-24-3	硝基乙烷	Nitroethane	C ₂ H ₅ NO ₂	0.87	II B1
60	96-33-3	丙烯酸甲酯	Methyl acrylate	C ₄ H ₆ O ₂	0.85	II B1
61	98-00-0	糠醇	Furfuryl alcohol	C ₅ H ₆ O ₂	0.8	II B2
62	98-83-9	α-甲基苯乙烯	Alpha-Methylstyrene	C ₉ H ₁₀	0.88	II B1
63	103-09-3	2-乙基己醇乙酸酯	2-Ethylhexyl acetate	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.88	II B1
64	105-45-3	乙酰乙酸甲酯	Methyl acetoacetate	C ₅ H ₈ O ₃	0.85	II B1
65	105-58-8	碳酸二乙酯	Diethyl carbonate	C ₅ H ₁₀ O ₃	0.83	II B2
66	106-89-8	环氧氯丙烷	Epichlorohydrin	C ₃ H ₅ ClO	0.74	II B3
67	106-92-3	烯丙基缩水甘油醚	Allyl glycidyl ether	C ₆ H ₁₀ O ₂	0.7	II B3
68	107-00-6	丁炔	1-butyne	C ₄ H ₆	0.71	II B3
69	107-19-7	炔丙醇	Propargyl alcohol	C ₃ H ₄ O	0.58	II B
70	108-03-2	1-硝基丙烷	1-nitropropane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ NO ₂	0.84	II B2
71	109-86-4	乙二醇甲醚	2-methoxyethanol	HOCH ₂ CH ₂ OCH ₃	0.85	II B1
72	109-87-5	二甲氧基甲烷	Dimethoxymethane	C ₃ H ₈ O ₂	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 ₈ H ₁₈ O ₂	0.84	II B2

参 考 文 献

- [1] 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
- [2] IEC 60079-20-1 Explosive atmospheres—Part 20-1; Material characteristics for gas and vapour classification-test methods and data
- [3] API STD 520-1 Sizing, selection and installation of pressure-relieving devices in refineries—Part 1; Sizing and selection
- [4] 美国化工过程安全中心.保护层分析:简化的过程风险评估.白永忠,党文义,于安峰译.北京:中国石化出版社,2010.
- [5] 布赖恩·内斯比特(Brian Nesbitt).阀门和驱动装置技术手册.张双清,尹玉杰,李树勋,等译.北京:化学工业出版社,2010:197-216.
- [6] Michael Beyer(Germany,PTB). 防爆非电气设备的点燃危险评估方法. 2003 国际工业防爆技术论坛,中国上海,2003.
- [7] AIChE Center for Chemical Process Safety(CCPS). Guidelines for Pressure Relief and Effluent Handling Systems,1998.
- [8] Michael Davies,Thomas Heidermann. Protect your Process with the Proper Flame Arresters. Chemical Engineering Progress,Dec. 2013:16~22.

