

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 32270—2015

## 压力管道规范 动力管道

Pressure piping code—Power piping

2015-12-10 发布

2016-07-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国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 .....	2
3 术语和定义 .....	4
4 管道分级 .....	6
5 材料 .....	6
6 设计与计算 .....	10
7 制作与安装 .....	30
8 检验与试验 .....	45
9 安全防护 .....	51
10 保温及防腐 .....	52
附录 A (规范性附录) 材料的许用应力 .....	55
附录 B (资料性附录) 常用材料物理性能 .....	62
附录 C (规范性附录) 柔性系数和应力增加系数 .....	67
附录 D (资料性附录) 制作和安装常用资料 .....	74
附录 E (规范性附录) 管道预制组对偏差 .....	78
附录 F (规范性附录) 安全泄放装置的计算 .....	80

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准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。

本标准起草单位:中国电力规划设计协会、中国电力工程顾问集团东北电力设计院、西安热工研究院、中国电力工程顾问集团中南电力设计院、中国电力工程顾问集团华东电力设计院、广东省电力设计研究院、河南省电力勘测设计院、江苏省电力设计院、华电重工股份有限公司、江苏电力装备有限公司、河北省电力建设第一工程公司、电力工业管道产品质量检验检测中心、浙江省电力设计院、国核电力规划设计研究院、浙江格洛斯无缝钢管有限公司。

本标准主要起草人:郭晓克、马洪、裴育峰、郭亚莉、叶菲、刘启军、黄涛、周荣灿、康豫军、许玉新、薛家春、林磊、陈娟、邓成刚、潘诚、程祖田、王志斌、孙国模、翁燕殊、李诗玉、浦万生、毛敏、何朋臣、阎平、郭延军、钱海平、徐红波、王成立、陈宝、陈卓、石平。

# 压力管道规范 动力管道

## 1 范围

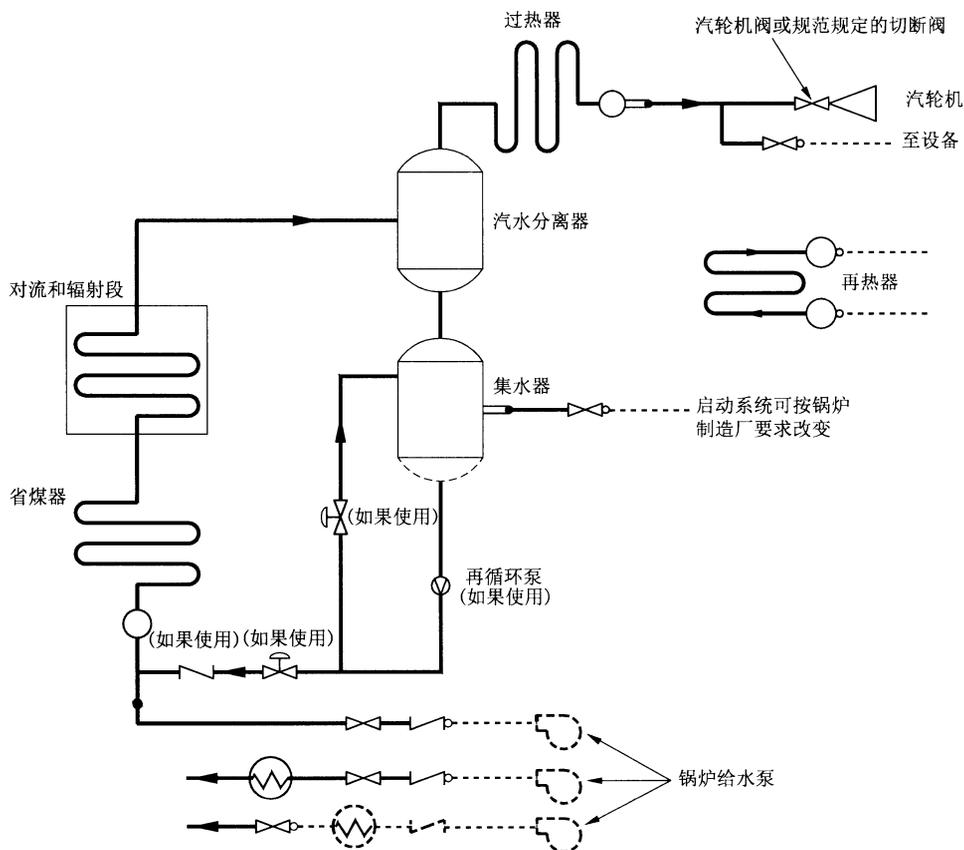
本标准规定了火力发电厂界区内以蒸汽、水和易燃易爆、有毒及腐蚀性液体或气体为介质的管道的材料、设计、制作、安装、检验、试验、安全防护、保温及防腐的基本要求等。其中易燃易爆、有毒及腐蚀性液体或气体为介质的管道参照 GB/T 20801。

本标准不适用于下列管道：

- a) 锅炉本体管道；
- b) 核电厂管道；
- c) 采暖通风与空气调节的管道及非圆形截面的管道；
- d) 各种塔、建筑构架、贮罐、机械设备和仪表用的管道。

本标准不包括非金属管道的材料要求。

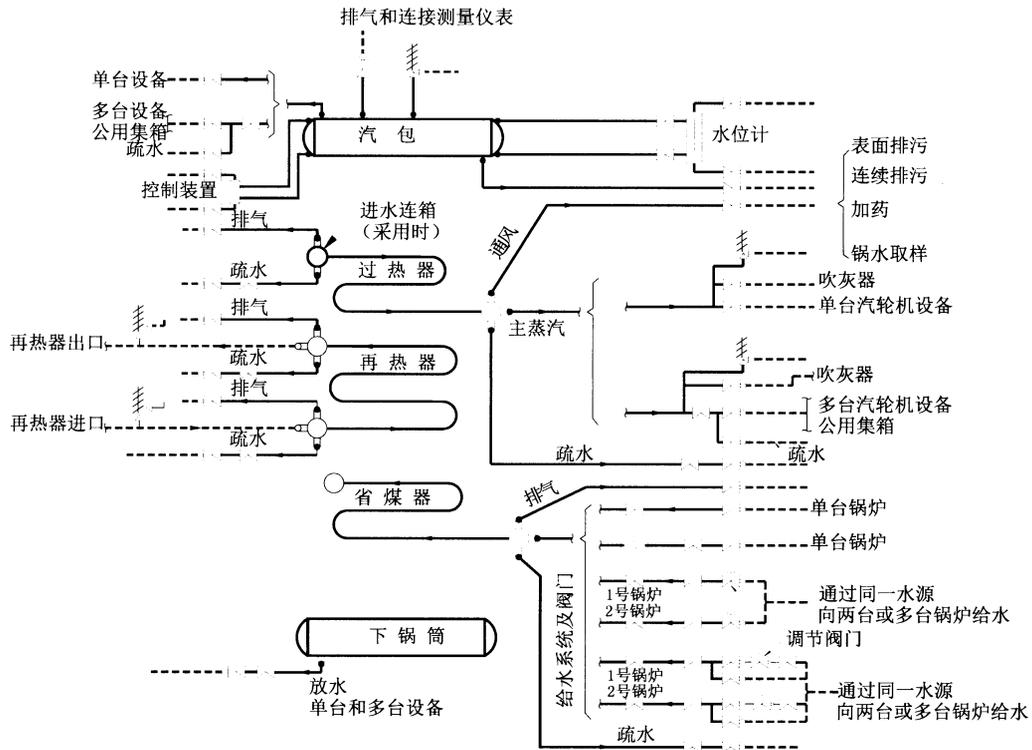
本标准规定的管道与锅炉本体范围内的管道分界见图 1 和图 2。



说明：

- 锅炉本体管道；
- 锅炉外部管道和接头(第 1 章中规范的蒸汽、水管道和接头)；
- 非锅炉外部管道和接头。

图 1 与直流锅炉连接的管道界限管理



说明：

—— 锅炉本体管道；

●—— 锅炉外部管道和接头(第1章中规范的蒸汽、水管道和接头)；

○-----非锅炉外部管道和接头。

图 2 与汽包锅炉连接的管道界限管理

## 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 150—2011(所有部分) 压力容器

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法

GB/T 700—2006 碳素结构钢

GB 713—2014 锅炉和压力容器用钢板

GB/T 1048 管道元件 PN(公称压力)的定义和选用

GB 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 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带

GB/T 4622.2—2008 缠绕式垫片 管法兰用垫片尺寸

GB 5310 高压锅炉用无缝钢管

GB/T 7233(所有部分) 铸钢件 超声检测

GB/T 8163 输送流体用无缝钢管

- GB 8624 建筑材料及制品燃烧性能分级
- GB/T 8923(所有部分) 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定
- GB/T 9115 对焊钢制管法兰
- GB/T 9116 带颈平焊钢制管法兰
- GB/T 9119 板式平焊钢制管法兰
- GB/T 9123 钢制管法兰盖
- GB/T 9124 钢制管法兰 技术条件
- GB/T 9125 管法兰连接用紧固件
- 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 12241—2005 安全阀 一般要求
- GB/T 12242—2005 压力释放装置 性能试验规范
- GB/T 12243—2005 弹簧直接载荷式安全阀
- GB/T 12777 金属波纹管膨胀节通用技术条件
- GB/T 13298—1991 金属显微组织检验方法
- GB/T 13927—2008 工业阀门 压力试验
- GB/T 15957—1995 大气环境腐蚀性分类
- GB/T 16253 承压钢铸件
- GB/T 17116(所有部分) 管道支吊架
- GB/T 17186 钢制管法兰连接强度计算方法
- GB/T 17394 金属里氏硬度试验方法
- GB/T 20801—2006(所有部分) 压力管道规范 工业管道
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50126 工业设备及管道绝热工程施工规范
- GB 50185 工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范
- GB 50229 火力发电厂与变电站设计防火规范
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB 50764—2012 电厂动力管道设计规范
- DL/T 438—2009 火力发电厂金属技术监督规程
- DL/T 515—2004 电站弯管
- DL/T 868—2014 焊接工艺评定规程
- DL/T 869—2012 火力发电厂焊接技术规程
- DL/T 991—2006 电力设备金属光谱分析技术导则
- DL/T 5072—2007 火力发电厂保温油漆设计规程
- JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
- JB/T 4730(所有部分) 承压设备无损检测
- JB/T 5263 电站阀门铸钢件技术条件
- 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 6902 阀门液体渗透检测
- JB/T 7927 阀门铸钢件外观质量要求

- JB/T 9625 锅炉管道附件承压铸钢件技术条件
- JB/T 9626 锅炉锻件 技术条件
- JB/T 10087 汽轮机承压铸钢件技术条件
- NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
- NB/T 47009 低温承压设备用低合金钢锻件
- NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- SY/T 5037 普通流体输送管道用埋弧焊钢管
- SY/T 5038 普通流体输送管道用直缝高频焊钢管
- TSG D0001 压力管道安全技术监察规程——工业管道

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### **管道 piping**

由管道组成件和管道支吊装置等组成,用以输送、分配、混合、分离、排放、计量或控制流体流动。

#### 3.2

##### **管道系统 piping system**

按流体与设计条件划分的单根或多根管道连接成的一组管道,简称管系。

#### 3.3

##### **管道组成件 piping component**

用于连接或装配成管道的元件,包括管子、管件、法兰、垫片、紧固件、阀门、滤网及补偿器等。

#### 3.4

##### **管子 pipe or tube**

用于输送流体的横截面为圆形的管道组成件。

#### 3.5

##### **管件 pipe fitting**

管道组成件的一个类别,包括弯管或弯头、三通、接管座、异径管和封头等。

#### 3.6

##### **管段 piping assembly**

按配管设计单独编号的管子、管件、弯管和法兰等组成的组合件。

#### 3.7

##### **制造 manufacture**

管道组成件或管道支吊架等产品的生产过程。

#### 3.8

##### **制作 fabrication**

管道安装前在工厂或在现场进行的切割、坡口制备、弯曲成形、焊接、热处理等工序,将管件和管子连接成管段的过程。

#### 3.9

##### **安装 erection**

按照管道设计的规定,将一个管道系统完整就位的过程。

## 3.10

**试验 test**

按照标准或规程,由业主和制造、制作和安装单位共同规定的确认产品质量特性的一种方法。包括水压试验和气密性试验等。

## 3.11

**验证 verification**

动力管道制作或安装单位对接收的管道组成件和支吊架进行文件确认的过程。

## 3.12

**验收 receiving acceptance**

动力管道制作或安装单位通过验证和(或)检验对接收的管道组成件和支吊架进行确认的过程。

## 3.13

**支管连接 branch connection**

从主管引出支管的结构,包括整体加强的三通管件及不带加强的焊接结构的支管连接。

## 3.14

**疏水收集器 liquid collecting pocket(drain leg)**

在气体或蒸汽管道的低位点设置收集冷凝水的装置。

## 3.15

**减振装置 sway brace**

用以控制管道低频高幅晃动或高频低幅振动的装置。

## 3.16

**阻尼装置 snubber**

用以承受管道地震荷载或冲击荷载,控制管系高速振动位移,同时允许管系自由地热胀冷缩装置。

## 3.17

**应力增加系数 stress intensification factor**

弯管、弯头、异径管和三通管件在弯矩的作用下,产生的最大弯曲应力与承受相同弯矩的直管产生的最大弯曲应力的比值。或直管的疲劳强度与在相同交变弯矩作用下弯管、弯头、异径管和三通管件的疲劳强度的比值。

## 3.18

**冷紧 cold spring**

在安装管道时预先施加于管道的弹性变形,以产生预期的初始位移和应力,达到降低初始热态应力和初始热态管端的作用力和力矩。

## 3.19

**柔性 flexibility**

管道通过自身变形吸收热胀、冷缩和其他位移变形的能力。

## 3.20

**热位移 hot displacement**

管道系统支吊点处冷、热状态间的位置变化量。

## 3.21

**冷位移 cold displacement**

由管道冷紧产生的位移,当采用热态吊零时,还包括弹簧附加力产生的位移。

3.22

**自拉 self spring**

由于应变自均衡或高温应力松弛,热态应力下降,管道再由热态到冷态时产生反向应力的现象。

3.23

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

以管坯本身作为电流回路,利用电阻加热管坯、在压力作用下连续对接焊接的管子。

3.24

**电熔焊焊管 electric-fusion-welded steel pipe**

采用自动电弧焊或手工电弧焊,在预成形的坯料上纵向对接焊成的管子。

3.25

**焊接接头系数 weld joint efficiency factors**

焊缝许用应力修正系数的简称,应根据对接接头的焊缝形式及无损检测的长度比例确定。用以反映由于焊接材料、焊接缺陷和焊接残余应力等因素使焊接接头强度被削弱的程度,是焊接接头力学性能的综合反映。

3.26

**质量证明书 inspection certificate**

材料质量证明(检验文件)的一种形式。由制造厂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。

制造厂质量证明书由独立于生产部门的制造厂检验部门或第三方检验机构签署并批准生效。法律法规有规定的,由法定检验检测机构出具监督检验证明。

3.27

**安全泄放装置 safety relief device**

在非正常运行工况下,为防止系统内压力超过预定的安全值,利用进口静压力作用开启,泄放流体的装置。

3.28

**安全阀整定压力 set pressure of the safety valve**

在运行条件下安全阀阀瓣开始开起的预定压力,又称为开启压力、设定压力或起座压力。

3.29

**最大泄放压力 maximum relieving pressure**

在泄放状态下,安全阀的阀瓣达到规定开启高度时的最大进口压力。

## 4 管道分级

动力管道(GD类)划分为GD1级和GD2级:

GD1级:设计压力 $\geq 6.3$  MPa,或者设计温度 $\geq 400$  °C;

GD2级:设计压力 $< 6.3$  MPa,且设计温度 $< 400$  °C。

## 5 材料

### 5.1 一般规定

#### 5.1.1 材料选用

管道材料应根据使用条件选用,并满足本标准规定的材料使用要求和限制。

## 5.1.2 材料牌号和性能

5.1.2.1 常用管道材料的牌号、许用应力和使用范围应符合附录 A 的规定。

5.1.2.2 对符合本标准规定而未列于附录 A 的材料,如符合 GB/T 20801.2—2006 可直接取用,许用应力按照 GB/T 20801.2—2006 中的附录 A 选取。

5.1.2.3 对符合本标准规定但未列于附录 A 的国外成熟应用材料,应满足所引用材料标准的要求,其许用应力数值可直接取用。

5.1.2.4 常用钢管材料的弹性模量和线膨胀系数可按附录 B 选取,未列出的材料的弹性模量和线膨胀系数可按 GB/T 20801.2—2006 的附录 B 选取。

5.1.2.5 对符合本标准规定但未列于附录 B 的国外成熟应用材料,应满足所引用材料标准的要求,其物理性能参数可直接取用。

## 5.2 材料选用的基本原则

5.2.1 管道材料应按照材料的使用性能、工艺性能和经济性选用。

5.2.2 材料的使用性能应满足管道组成件的设计温度、受力状况、介质特性及工作的长期性和安全性的要求。

5.2.3 材料的工艺性能应满足管道组成件的几何形状、尺寸、制造工艺以及修复方法的要求。

5.2.4 不同的材料组合时不应对材料产生不利的影响。

5.2.5 在管子上直接焊接的零部件宜采用与管子相同的材料。

## 5.3 材料的使用

### 5.3.1 管道组成件

5.3.1.1 无缝管子和管件:

- a) 符合 GB/T 8163 的无缝钢管,可用于设计压力不大于 1.6 MPa 的管道;符合 GB 3087 的无缝钢管,可用于设计压力不大于 5.3 MPa 的管道;符合 GB 5310 的无缝钢管,可用于设计压力大于 5.3 MPa 的管道;
- b) 采用无缝钢管制作的管件,其压力使用范围应与管子的规定相同。

5.3.1.2 焊接管子和管件:

- a) 符合 ASME SA672 和 ASME SA691 的直缝电熔焊钢管和对应的管件可用于设计压力不大于 10 MPa 且设计温度不在蠕变范围之内的管道;
- b) GB/T 3091、SY/T 5037、SY/T 5038 电熔焊钢管可用于设计压力不大于 1.6 MPa 且设计温度不大于 300 °C 的管道;
- c) 电熔焊钢管的纵向焊接接头系数根据表 1 中的焊接接头型式和检测比例确定;
- d) 电阻焊碳钢管,纵向焊接接头系数按 0.85 选取,不应采用附加检测的方法增大纵向焊接接头系数;电阻焊碳钢管不应用于设计压力大于 1.6 MPa 或设计温度大于 200 °C 管道;不应采用电阻焊碳钢管制造对焊管件。

表 1 纵向焊接接头系数

序号	接头型式	检测比例	系数
1	单面焊(无填充金属)	按产品标准检测	0.85
		100%射线或超声检测 <sup>a</sup>	1.00
2	单面焊(有填充金属)	按产品标准检测	0.80
		100%射线或超声检测 <sup>a</sup>	1.00
3	双面焊(无填充金属)	按产品标准检测	0.90
		100%射线或超声检测 <sup>a</sup>	1.00
4	双面焊(有填充金属)	按产品标准检测	0.90
		100%射线或超声检测 <sup>a</sup>	1.00

<sup>a</sup> 射线检测、超声检测应符合 8.3 或相应的材料标准要求。

5.3.1.3 铸钢件：

符合 JB/T 5263、JB/T 10087、JB/T 9625、GB/T 16253、GB/T 12229、GB/T 12230 等国内标准的铸钢件可应用于阀体等管道附件，铸钢件质量系数取 0.8。

在满足附加无损检测要求时，铸钢件可取表 2 中的质量系数。

表 2 铸钢件质量系数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 $\phi_c$
1	铸件表面加工至 $R_a 6.3$ ，提高目视检查的清晰度，并满足 JB/T 7927 中 B 级的要求	0.85
2	铸件表面按 JB/T 6902(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 GB/T 7233(UT) 或 JB/T 6440(RT) 进行超声或射线照相检测，按 GB/T 7233(UT) 检测的缺陷的底波反射波高不应大于 V5 型对比试块所得的底波反射波高	0.95
4	铸件表面加工至 $R_a 6.3$ ，提高目视检查的清晰度，并满足 JB/T 7927 中 B 级的要求 铸件表面按 JB/T 6902(PT) 中的 4 级或 JB/T 6439(MT) 进行着色渗透检测或磁粉检测	0.90
5	铸件表面加工至 $R_a 6.3$ ，提高目视检查的清晰度，并满足 JB/T 7927 中 B 级的要求 铸件按 GB/T 7233(UT) 或 JB/T 6440(RT) 进行超声或射线照相检测，按 GB/T 7233(UT) 检测的缺陷的底波反射波高不应大于 V5 型对比试块所得的底波反射波高	1.00
6	铸件表面按 JB/T 6902(PT) 中的 4 级或 JB/T 6439(MT) 进行着色渗透检测或磁粉检测 铸件按 GB/T 7233(UT) 或 JB/T 6440(RT) 进行超声或射线照相检测，按 GB/T 7233(UT) 检测的缺陷的底波反射波高不应大于 V5 型对比试块所得的底波反射波高	1.00

5.3.1.4 锻钢件：

管道组成件的锻钢件应符合 NB/T 47008、NB/T 47009、NB/T 47010、GB/T 12228、JB/T 9626 的要求。

### 5.3.2 管道支吊架

管道支吊架所采用的材料应符合 6.5.4 和 GB/T 17116 的要求。

### 5.3.3 材料的使用限制

#### 5.3.3.1 碳素结构钢或低合金结构钢

碳素结构钢或低合金结构钢的使用应符合下列规定：

- a) 管道受压元件以及直接焊接于受压元件上的承载构件应采用镇静钢。承压件选用 B 级和 C 级镇静钢时,设计温度不应高于 300 °C,厚度不应大于 30 mm;
- b) 除 a) 外的其他构件可选用沸腾钢和半镇静钢,但厚度不应大于 12 mm;
- c) 含碳量大于 0.35% 的碳素结构钢或低合金结构钢不宜在焊接结构上使用;
- d) 碳素结构钢或低合金结构钢不应用于毒性程度为极度危害介质、高度有害气体介质和工作温度高于标准沸点的高度危害液体介质的管道。

#### 5.3.3.2 优质碳素钢与低合金耐热钢

优质碳素钢与低合金耐热钢的使用应符合下列规定：

- a) 用于焊接结构的优质碳素钢、低合金耐热钢,含碳量不应大于 0.35%;
- b) 对低合金耐热钢,当使用温度大于 455 °C 时,焊缝金属的含碳量应大于 0.05%;
- c) 低碳( $C \leq 0.08\%$ )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)不应用于可能发生晶间腐蚀的环境。奥氏体钢使用温度高于 525 °C 时含碳量不应小于 0.04%。

### 5.3.4 材料的使用温度限制

#### 5.3.4.1 材料使用温度上限：

- a) 材料的使用温度不应超过附录 A 中给出许用应力值的最高温度;
- b) 确定材料的实际使用温度上限应考虑腐蚀介质的影响,高温条件下长期使用的材料,应考虑因组织或性能变化对材料使用可靠性的影响,蠕变温度以上长期使用的材料,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;
- c) 碳钢、碳锰钢不宜在 425 °C 以上的温度下长期使用,碳钼钢不宜在 470 °C 以上的温度下长期使用,但在自限式卸压安全装置的对空排放管道中,碳钢可以用于 425 °C 以上;
- d) 铬钼合金钢长期在 400 °C ~ 550 °C 温度下使用时,应根据使用经验和具体工况采取适当的防护措施;
- e) 在高于 454 °C 温度下使用低合金铬钢(含铬量 2.25%)时,母材和焊缝填充金属的含碳量应等于或大于 0.05%;
- f) 铁素体不锈钢及马氏体不锈钢不宜在 370 °C 以上的温度使用;
- g) 铬镍奥氏体不锈钢在 540 °C ~ 900 °C 温度下长期使用时应控制奥氏体钢中的铁素体含量及过度冷变形;
- h) 双相不锈钢不得在 300 °C 以上的温度使用;
- i) 奥氏体钢的使用温度高于 525 °C 时,钢中的碳含量应不低于 0.04%;
- j) GC 类管道中的材料高温下使用的限制应符合 GB/T 20801.2—2006 中第 7 章的规定。

#### 5.3.4.2 材料的使用温度下限：

- a) 设计者应考虑材料在低温下试验、使用出现脆性断裂的可能性;

b) GC类管道的材料使用温度下限应符合GB/T 20801.2—2006中第8章的规定。

### 5.3.5 材料标记和质量证明文件

#### 5.3.5.1 材料标记

5.3.5.1.1 材料标记应符合相应标准的规定和合同约定。

5.3.5.1.2 标记内容至少应包括:制造厂标识、材料牌号(代号),压力管道组成件还应包括规格和材料炉(罐)批号或代号。

5.3.5.1.3 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。

#### 5.3.5.2 质量证明文件

5.3.5.2.1 材料应具有相应的质量证明文件。

5.3.5.2.2 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。

5.3.5.2.3 进口材料还应提供原产地证明文件和入境货物检验检疫证明。

## 6 设计与计算

### 6.1 设计条件和设计准则

#### 6.1.1 设计条件

##### 6.1.1.1 一般要求

管道设计应根据压力、温度及管内介质特性等工艺条件,并结合环境、荷载等综合条件进行。

##### 6.1.1.2 设计压力

6.1.1.2.1 管道组成件的设计压力,不应低于运行中可能出现的最高持续压力;

6.1.1.2.2 GD类管道的设计压力应符合下列规定:

- a) 超临界及以下参数机组,主蒸汽管道设计压力应取用锅炉最大连续蒸发量时过热器出口的额定工作压力。
- b) 超超临界参数机组,主蒸汽管道设计压力应取用下列两项的较大值:
  - 1) 汽轮机主汽门进口处设计压力的105%;
  - 2) 汽轮机主汽门进口处设计压力加主蒸汽管道压降。
- c) 再热蒸汽管道设计压力应取用汽轮机最大计算出力工况(调节汽门全开,即VWO工况)热平衡中高压缸排汽压力的1.15倍。对于再热器出口联箱到汽轮机的部分,可减至再热器出口安全阀动作的最低整定压力。
- d) 汽轮机抽汽管道设计压力应符合下列规定:
  - 1) 非调整抽汽管道,应取用汽轮机最大计算出力工况下该抽汽压力的1.1倍,且不小于0.1 MPa;
  - 2) 调整抽汽管道,应取其最高工作压力;
  - 3) 背压式汽轮机排汽管道应取其最高工作压力,但不应小于0.1 MPa。
- e) 与直流锅炉启动分离器连接的汽水管道设计压力应取用分离器各种运行工况中可能出现的最高工作压力。
- f) 高压给水管道的压力应符合下列规定:
  - 1) 非调速给水泵出口管道从前置泵到主给水泵或从主给水泵至锅炉省煤器进口区段,应分

- 别取用前置泵或主给水泵特性曲线最高点对应的压力与该泵进水侧压力之和；
- 2) 调速给水泵出口管道,从给水泵出口至第一个关断阀的管道,设计压力应取用泵在额定转速特性曲线最高点对应的压力与进水侧压力之和;从泵出口关断阀至锅炉省煤器进口区段,应取用泵在额定转速及设计流量下泵提升压力的 1.1 倍与泵进水侧压力之和;
  - 3) 高压给水管道设计压力,应计及水泵进水温度对压力的修正。
- g) 低压给水管道设计压力应符合下列规定:
- 1) 对于定压除氧系统,应取用除氧器额定压力与最高水位时水柱静压之和;
  - 2) 对于滑压除氧系统,应取用汽轮机最大计算出力工况(调节汽门全开,即 VWO 工况)下除氧器加热抽汽压力的 1.1 倍与除氧器最高水位时水柱静压之和。
- h) 凝结水管道设计压力应符合下列规定:
- 1) 凝结水泵进口侧管道,应取用泵吸入口中心线至汽轮机排汽缸接口平面处的水柱静压(此时凝汽器内按大气压力),且不小于 0.35 MPa;
  - 2) 凝结水泵出口侧管道,应取用泵出口阀关断情况下泵的提升压力与进水侧压力(凝汽器热井最高水位与泵吸入口中心线的水柱静压)之和。
- i) 加热器疏水管道设计压力应取用汽轮机最大计算出力工况(调节汽门全开,即 VWO 工况)下抽汽压力的 1.1 倍,且不应小于 0.1 MPa。当管道中疏水静压引起压力升高值大于抽汽压力的 3%时,应计及静压的影响。
- j) 锅炉排污管道设计压力应符合下列规定:
- 1) 锅炉排污阀前管道,对于定期排污管道,设计压力不应小于汽包上所有安全阀中的最低整定压力与汽包最高水位至管道最低点水柱静压之和;对于连续排污管道,设计压力不应小于汽包上所有安全阀的最低整定压力;
  - 2) 锅炉排污阀后管道,当排污阀后的管道装有阀门或堵板等可能引起管内介质压力升高时,其设计压力应按排污阀前管道设计压力的选取原则确定;当锅炉排污阀后的管道上未装有阀门或堵板等不会引起管内介质压力升高时,排污管道(定期排污或连续排污)的设计压力应按表 3 选取。

表 3 锅炉排污阀后管道设计压力

单位为兆帕

项 目	锅炉压力			
	1.750~4.150	4.151~6.200	6.201~10.300	≥10.301
管道设计压力	1.750	2.750	4.150	6.200

- k) 给水再循环管道设计压力应符合下列规定:
- 1) 当采用单元制系统时,进除氧器的最后一道关断阀及其以前的管道,应取用相应的高压给水管道的的设计压力,其后的管道,对于定压除氧系统,应取用除氧器额定压力;对于滑压除氧系统,应取用汽轮机最大计算出力工况(调节汽门全开,即 VWO 工况)下除氧器加热抽汽压力的 1.1 倍;
  - 2) 当采用母管制系统时,节流孔板及其以前的管道,应取用相应的高压给水管道的的设计压力;节流孔板后的管道,当未装设阀门或介质出路上的阀门不可能关断时,应取用除氧器的额定压力。
- l) 安全阀后排汽管道设计压力应根据排汽管道的水力计算结果确定。
- m) 其他管道的设计压力应符合下列规定:
- 1) 对于输送气化温度低的流体(液化气体)管道组成件,其设计压力不应小于阀被关闭或流

体不流动时在最高环境温度下气化所能达到的最高压力；

- 2) 离心泵出口至第一道关断阀之间的管道组成件,对于定速泵,其设计压力不应小于泵额定工作特性曲线最高点对应的压力与泵吸入口压力之和;对于调速泵,其设计压力不应小于泵额定转速特性曲线最高点对应的压力与泵吸入口压力之和;
- 3) 装有安全阀的管道,管道组成件的设计压力不应小于安全阀的最低整定压力;
- 4) 减压装置后没有安全阀且流体可能被关断或堵塞的管道,管道组成件的设计压力不应低于减压装置前流体可能达到的最高压力。

### 6.1.1.3 设计温度

6.1.1.3.1 管道的设计温度不应低于管内介质持续运行的最高工作温度。

6.1.1.3.2 GD类管道的设计温度应符合下列规定:

- a) 主蒸汽管道设计温度应取用锅炉过热器出口蒸汽额定工作温度加上锅炉正常运行时允许的温度偏差值,当锅炉制造厂未提供温度偏差时,温度偏差值可取用 5℃。
- b) 再热蒸汽管道设计温度应符合下列规定:
  - 1) 高温再热蒸汽管道,应取用锅炉再热器出口蒸汽额定工作温度加上锅炉正常运行时允许的温度偏差,当锅炉制造厂未提供温度偏差时,温度偏差值可取用 5℃;
  - 2) 低温再热蒸汽管道,应取用汽轮机最大计算出力工况(调节汽门全开,即 VWO 工况)下高压缸排汽参数,等熵求取在管道设计压力下的相应温度。
- c) 汽轮机抽汽管道设计温度应符合下列规定:
  - 1) 非调整抽汽管道,应取用汽轮机最大计算出力工况(调节汽门全开,即 VWO 工况)下抽汽参数,等熵求取管道设计压力下的相应温度;
  - 2) 调整抽汽管道,应取用抽汽的最高工作温度;
  - 3) 背压式汽轮机排汽管道应取用排汽的最高工作温度。
- d) 减温装置后的蒸汽管道设计温度应取用减温装置出口蒸汽的最高工作温度。
- e) 与直流锅炉启动分离器连接的汽水管路设计温度应取用分离器各种运行工况中管内介质可能出现的最高工作温度。
- f) 高压给水管道设计温度应取用高压加热器后高压给水的最高工作温度。
- g) 低压给水管道设计温度应符合下列规定:
  - 1) 定压除氧器系统,应取用除氧器额定压力对应的饱和温度;
  - 2) 滑压除氧器系统,应取用汽轮机最大计算出力工况(调节汽门全开,即 VWO 工况)下 1.1 倍除氧器加热抽汽压力对应的饱和温度。
- h) 凝结水管道设计温度应取用低压加热器后凝结水的最高工作温度。
- i) 加热器疏水管道设计温度应取用该加热器抽汽管道设计压力对应的饱和温度。
- j) 锅炉排污管道设计温度应符合下列规定:
  - 1) 锅炉排污阀前管道(定期排污或连续排污)的设计温度,应取用汽包上所有安全阀中的最低整定压力对应的饱和温度;
  - 2) 锅炉排污阀后管道,当排污阀后管道装有阀门或堵板等可能引起管内介质压力升高时,排污管道(定期排污或连续排污)的设计温度应按锅炉排污阀前管道的选取原则确定;当排污阀后未装设阀门或堵板等不会引起管内介质压力升高时,排污管道(定期排污或连续排污)的设计温度应按表 4 选取。

表 4 锅炉排污阀后管道设计温度

项目	锅炉压力/MPa			
	1.750~4.150	4.151~6.200	6.201~10.300	≥10.301
管道设计温度/℃	210	230	255	280

k) 给水再循环管道设计温度应符合下列规定：

- 1) 对于定压除氧系统,应取用除氧器额定压力对应的饱和温度；
- 2) 对于滑压除氧系统,应取用汽轮机最大计算出力工况下 1.1 倍除氧器加热抽汽压力对应的饱和温度。

l) 安全阀后排汽管道排汽管道的设计温度,应根据排汽管道水力计算中相应数据选取。

6.1.1.3.3 对于非金属材料衬里的管道,基体管道的设计温度宜按流体的最高温度确定。

## 6.1.2 设计准则

6.1.2.1 管道组成件的压力-温度等级除用设计压力和设计温度表示外,还可用公称压力表示。

6.1.2.2 管道组成件公称压力的选用应符合 GB/T 1048 的有关规定。

6.1.2.3 对于只标明公称压力的管件,除另有规定外,在设计温度下的允许工作压力应按式(1)进行计算：

$$P_1 = K_{PN} \times PN \frac{[\sigma]^t}{[\sigma]^s} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$P_1$  ——在设计温度下的允许工作压力,单位为兆帕(MPa)；

$K_{PN}$  ——系数,  $K_{PN} = 0.1$  MPa；

PN ——公称压力；

$[\sigma]^t$  ——在设计温度下材料的许用应力,单位为兆帕(MPa)；

$[\sigma]^s$  ——公称压力对应的基准应力,是指材料在指定某一温度下的许用应力,单位为兆帕(MPa)。

## 6.1.3 许用应力

6.1.3.1 管子及管件用钢材的许用应力,应根据钢材的有关强度特性取下列三项中的最小值：

$$\frac{R_m^{20}}{3}, \frac{R_{tL}^t}{1.5} \text{ 或 } \frac{R_{p0.2}^t}{1.5}, \frac{\sigma_b^t}{1.5} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$R_m^{20}$  ——钢材在 20℃时的抗拉强度最小值,单位为兆帕(MPa)；

$R_{tL}^t$  ——钢材在设计温度下的下屈服强度最小值,单位为兆帕(MPa)；

$R_{p0.2}^t$  ——钢材在设计温度下 0.2%规定非比例延伸强度最小值,单位为兆帕(MPa)；

$\sigma_b^t$  ——钢材在设计温度下  $10^5$  h 持久强度平均值,单位为兆帕(MPa)。

6.1.3.2 许用应力的应用应符合下列规定：

a) 附录 A 中材料的许用应力系指许用拉应力,使用时应符合下列规定：

- 1) 焊接管子和焊接管件采用附录 A 的许用应力时,应另外按表 1 计入焊接接头系数；
- 2) 对于铸造和锻造管道组成件用材料,应计及铸件和锻件质量系数并符合 5.3.1.3 的规定。

b) 许用剪切应力为附录 A 许用应力的 0.8 倍。

c) 压缩许用应力应符合结构稳定性的要求,且不大于拉伸许用应力。

## 6.2 管道组成件的选用

### 6.2.1 一般规定

6.2.1.1 管道组成件应根据管道系统内介质的性质、各种可能出现的运行工况、外部环境、材料的使用性能和工艺性能以及经济性等综合因素选用。

6.2.1.2 按照本标准中所列的有关标准制造或制作的采用焊接连接、法兰连接的管道组成件均可用于管道系统。但其材料、压力和温度都应符合本规范的规定,弯头、弯管、支管连接、封头和异径管等材料的选用宜与所连接的管子材料一致。

6.2.1.3 对于本标准中所列标准中未包括的管道组成件应同时符合 6.3 及 TSG D0001 的有关规定,方可采用。

6.2.1.4 在管道系统中,管道组成件的连接形式宜采用对接焊接。

6.2.1.5 弯头、弯管、支管连接、异径管、封头、法兰盖的强度计算应符合 6.3 的规定。

6.2.1.6 管道及管件的最小壁厚或厚度应符合 6.3 的规定。

### 6.2.2 管子

6.2.2.1 管子材料的选用应符合 5.3 的规定。

6.2.2.2 高温再热蒸汽管道应采用无缝钢管,300 MW 及以上容量机组低温再热蒸汽管道宜采用电熔焊钢管或无缝钢管。

6.2.2.3 低压给水管道应采用无缝钢管。

6.2.2.4 管道系统中汽水两相流的管道宜采用 CrMo 合金钢材料。

### 6.2.3 弯头

6.2.3.1 弯头宜采用长半径弯头。

6.2.3.2 公称压力大于 PN25 的管道上均应采用无缝热压弯头,且宜带直管段。低温再热蒸汽管道可采用同质量电熔焊钢管热成型弯头。

6.2.3.3 按本标准规定进行承受内压计算、制造(制作)的斜接弯头,可与制造(制作)斜接弯头的直管一样用于相同的工作条件。工作压力不应超过 1.0 MPa,工作温度不应超过 300 ℃。

### 6.2.4 弯管

对于主蒸汽、再热蒸汽和高压给水等主要管道,宜采用较大弯曲半径的弯管,弯管弯曲半径宜为管子外径的 3 倍~5 倍。

### 6.2.5 支管连接

6.2.5.1 公称压力为 PN25 及以下,在满足补强要求的前提下可采用直管开孔连接;公称压力大于或等于 PN40、设计温度大于 250 ℃ 的支管连接应采用成型管件。

6.2.5.2 三通不宜采用带加强元件的辅助加强型式。

6.2.5.3 下列管道的三通型式宜按表 5 选用。

表 5 三通型式

管道类别	机组参数			
	超超临界参数	超临界参数	亚临界参数	亚临界以下参数
主蒸汽管道	锻制 挤压	锻制 挤压	锻制 挤压	挤压
高温再热蒸汽管道	锻制 挤压	锻制 挤压	锻制 挤压	挤压
低温再热蒸汽管道	焊接	焊接	焊接	焊接 挤压
高压给水管道	挤压 焊接	挤压 焊接	挤压 焊接	挤压

6.2.5.4 亚临界及以上参数机组的主蒸汽、再热蒸汽管道的合流或分流三通宜采用斜三通或“Y”型三通。

## 6.2.6 异径管

6.2.6.1 异径管可采用同心或偏心型式。

6.2.6.2 异径管宜采用钢管模压型式,钢板焊制异径管不应用于 PN25 以上的管道。

## 6.2.7 封头、法兰盖

6.2.7.1 公称压力不小于 PN40 的管道宜采用椭球形封头等对焊封头,公称压力不大于 PN25 的管道可采用平焊封头。

6.2.7.2 法兰盖的型式选用应符合 GB/T 9123 的规定,突面法兰盖只能用在不大于 PN25 的管道上,PN40 和 PN63 的管道上宜采用凸凹面法兰盖,法兰盖附件的选用应符合 6.2.9 的规定。

6.2.7.3 法兰盖的材料选用应符合附录 A 中规定的温度范围,并应符合 6.2.9 的规定。

## 6.2.8 阀门

6.2.8.1 阀门应根据管道的设计温度、设计压力、介质性质和管道系统对阀门的功能要求选择,并计及外部荷载对阀门操作性能和密封性能的影响。

6.2.8.2 阀门应按相应标准规定的压力温度等级选用。

6.2.8.3 连接不同压力等级管道的阀门、法兰等管道组成件,应按压力等级高的选用。

6.2.8.4 阀门的泄漏等级应符合合同约定及 GB/T 13927 的规定。

6.2.8.5 除设计另有规定外,对于 PN40 及以上阀门的选用应符合下列规定:

- a) 阀盖密封不应采用螺纹连接的密封结构,宜采用压力自密封结构;
- b) 阀门端部宜采用对焊连接。

6.2.8.6 下列阀门应采用钢制阀门:

- a) PN16 及以上的阀门;
- b) 与高压除氧器或给水箱相连接的阀门;
- c) 给水泵进口阀门;
- d) 油系统阀门;
- e) 仪用压缩空气系统阀门;
- f) 其他有特殊要求的阀门。

6.2.8.7 易燃或可燃气体的阀门应采用严密性较好的可燃气体专用阀门,不应采用输送普通流体的阀门代替。

6.2.8.8 有毒介质管道的阀门应采用严密型的钢制阀门,阀门本体的密封应有可靠的防泄漏措施。

6.2.8.9 对于双向密封阀门应采取适当的安全措施防止因温度升高导致内部超压。

6.2.8.10 流体为饱和蒸汽和汽水两相流时,阀门的阀座及阀芯应采用耐冲蚀材料。

6.2.8.11 管道系统中至少下列阀门应满足启动时间要求:

- a) 汽轮机抽汽管道的关断阀;
- b) 加热器事故疏水阀;
- c) 高压加热器给水管道进出口阀门和旁路阀;
- d) 有安全功能要求的汽轮机旁路阀。

6.2.8.12 高压加热器三通阀应以阀门打开或关闭时阀座两侧的最大不平衡压差作为设计压力的基准值,阀座直径不应小于连接管道内径的90%。

6.2.8.13 当开启阀门前需预热主管线或用于平衡阀门两侧压力以便于阀门操作时需设置旁通阀。

## 6.2.9 法兰及垫片和紧固件

6.2.9.1 法兰的选择应符合下列规定:

- a) 法兰型式的选用应符合本标准中所列标准:
  - 1) 法兰应符合 GB/T 9124 中关于压力-温度等级的规定;
  - 2) 连接不同压力等级管道的法兰,应按高等级选用。
- b) 管道法兰型式的选择除应符合 GB/T 9115、GB/T 9116 和 GB/T 9119 等相关标准的规定外,并应满足下列要求:
  - 1) 设计温度大于 300 °C 或公称压力大于等于 PN40 的管道,应选用对焊法兰。设计温度在 300 °C 及以下且公称压力小于等于 PN25 的管道,宜选用带颈平焊法兰;
  - 2) 管道系统中不宜采用承插焊法兰、松套法兰和螺纹法兰;
  - 3) 对焊法兰宜采用凸凹面(MF)和突面(RF)型式;
  - 4) 带颈平焊法兰应采用突面(RF)型式。
- c) 法兰的材料选用应采用符合附录 A 中规定的温度范围。
- d) 当需要选配特殊法兰时,除应核对接口法兰的尺寸外,还应按 6.3.6 及相关标准进行计算,保证所选用的法兰厚度不小于连接管道公称压力下国家标准法兰的厚度。

6.2.9.2 垫片的选择应符合下列规定:

- a) 垫片应根据流体性质、使用温度、压力以及法兰密封面等因素选用,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适应。
- b) 垫片的选用应符合下列要求:
  - 1) 管道法兰垫片宜采用柔性石墨金属缠绕式,并应符合 GB/T 4622 等相关标准的规定。对公称压力小于等于 PN10,且设计温度小于 150 °C 情况也可采用非金属垫片。缠绕式垫片内环材料应满足流体介质和管道设计温度的要求,外环材料应满足管道设计温度的要求;
  - 2) 对于突面法兰(RF),宜采用带定位环或带内环和定位环型,不应采用基本型或仅带内环型;
  - 3) 对凹凸面法兰(MF),应采用带内环型缠绕式垫片;用在突面(RF)型法兰上时宜带外定位环;
  - 4) 非金属垫片的外径可超过突面(RF)型法兰密封面的外径,制成“自对中”式的垫片。

6.2.9.3 紧固件的选择应符合下列规定:

- a) 六角头螺栓、等长双头螺柱、螺母和垫圈等紧固件的选用应符合 GB 150 和 GB/T 9125 等相关标准的规定。
- b) 法兰紧固件选用应符合下列规定:

- 1) 紧固件应符合预紧及设计参数下垫片的密封要求；
- 2) 高温条件下使用的紧固件应与法兰材料具有相近的热膨胀系数。

6.2.10 补偿器

6.2.10.1 补偿器应按照介质种类、运行工况、位移值选用，并符合 GB/T 12777 的规定。

6.2.10.2 波型补偿器不宜用于受扭转的场合。

6.3 管道组成件的强度设计

6.3.1 一般规定

6.3 中所列的管道组成件强度计算方法是内压下的强度计算。

6.3.2 直管的壁厚计算

6.3.2.1 承受内压的直管最小壁厚计算：

对于  $\frac{D_o}{D_i} \leq 1.7$  的管子，在设计压力和设计温度下所需的最小壁厚  $S_m$ ，按式(3)~式(4)计算：

按管子外径确定壁厚时：

$$S_m = \frac{PD_o}{2[\sigma]'\eta + 2YPC} + C \quad \dots\dots\dots(3)$$

按管子内径确定壁厚时：

$$S_m = \frac{PD_i + 2[\sigma]'\eta C + 2YPC}{2[\sigma]'\eta - 2P(1 - Y)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- $S_m$  ——管子最小壁厚，单位为毫米(mm)；
- $P$  ——设计压力，单位为兆帕(MPa)；
- $D_o$  ——管子外径，单位为毫米(mm)；
- $D_i$  ——管子最大内径，单位为毫米(mm)；(包括内径正偏差和加工过盈偏差)；
- $Y$  ——修正系数，按表 6 取用；
- $[\sigma]'$  ——在设计温度下材料的许用应力，单位为兆帕(MPa)；
- $\eta$  ——许用应力的修正系数，对于无缝钢管  $\eta = 1.0$ ；对于焊接钢管，其  $\eta$  值按 5.3.1.2 取用；
- $C$  ——腐蚀、磨损和机械强度要求的附加厚度，单位为毫米(mm)；对于存在汽水两相流介质管道及超超临界参数机组的主蒸汽管道和高温再热蒸汽管道，可取 1.6 mm~2 mm；对于腐蚀性介质管道，根据介质的腐蚀特性确定。

表 6 系数 Y 值

材 料	温度/℃					
	≤482	510	538	566	593	621
铁素体钢	0.4	0.5	0.7			
奥氏体钢	0.4				0.5	0.7

注 1：介于表列中间温度的 Y 值可用内插法计算。  
 注 2：当管子的  $D_o/S_m < 6$  时，对于设计温度小于等于 480℃ 的铁素体和奥氏体钢，其 Y 值应按下式进行计算：

$$Y = \frac{D_i}{D_i + D_o}$$

6.3.2.2 管子的计算壁厚:

管子的计算壁厚应按式(5)计算:

$$S_c = S_m + c_1 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- $S_c$  ——管子计算壁厚,单位为毫米(mm);
- $c_1$  ——管子壁厚负偏差的附加值,单位为毫米(mm)。

6.3.2.3 管子壁厚负偏差附加值:

管子壁厚负偏差附加值应按下列规定选取:

- a) 对于管子规格以外径×壁厚标示的无缝钢管,可按式(6)确定:

$$c_1 = \frac{mS_m}{100 - m} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- $m$  ——管子产品技术条件中规定的壁厚允许负偏差, %。
- b) 对于管子规格以最小内径×最小壁厚标示的无缝钢管,壁厚负偏差值等于零。
- c) 对于焊接钢管,采用钢板厚度的负偏差值且不应小于 0.5 mm。

6.3.2.4 管子的取用壁厚:

- a) 对于以外径标示的管子,应根据管子的计算壁厚,并计及管子直径偏差引起的对口焊接要求,按管子产品规格中公称壁厚系列选取;
- b) 对于以内径标示的管子,应根据管子的计算壁厚,并计及管子直径偏差引起的对口焊接要求,遵照制造厂产品技术条件中有关规定,按管子壁厚系列选取。

6.3.3 弯管弯头的壁厚计算

6.3.3.1 弯管的弯曲半径宜为外径的 3 倍~5 倍。

6.3.3.2 弯管弯制前直管的最小壁厚可按表 11、表 12 选用,也可根据制造厂的具体加工工艺条件适当调整。

6.3.3.3 弯管和弯头加工完成后的最小壁厚  $S_m$  按式(7)或式(8)确定:

按外径确定壁厚时:

$$S_m = \frac{PD_o}{2([\sigma]'\eta/I + YP)} + C \quad \dots\dots\dots(7)$$

按内径确定壁厚时:

$$S_m = \frac{PD_i + 2[\sigma]'\eta C/I + 2YPC}{2([\sigma]'\eta/I + YP - P)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

弯管和弯头内弧处:

$$I = \frac{4(R/D_o) - 1}{4(R/D_o) - 2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

弯管和弯头外弧处:

$$I = \frac{4(R/D_o) + 1}{4(R/D_o) + 2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

弯管和弯头中性线处:

$$I = 1.0 \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$R$  ——弯管或弯头弯曲半径,单位为毫米(mm)。

6.3.3.4 6.3.3.3 中所有公式计算得出的壁厚为弯管或弯头成型件外侧和内侧允许的最小壁厚,不应包括弯制过程中的工艺减薄量和弯制选用管子负偏差的附加值。

6.3.3.5 弯管或弯头任何一点的壁厚,不应小于弯管(弯头)相应点的计算壁厚,且外弧侧壁厚不应小于相连接管子的最小壁厚  $S_m$ 。

### 6.3.4 支管连接的补强

6.3.4.1 支管连接的强度计算方法有面积补偿法和压力面积法。

6.3.4.2 采用面积补偿法应符合下列规定:

- a) 焊接或锻造的直三通支管连接可采用面积补偿法计算。
- b) 当支管或补强元件材料与主管材料不同时,应符合以下规定:
  - 1) 支管或补强元件材料采用与主管焊接性能、热处理要求和热膨胀系数相近的材料;
  - 2) 当支管或补强元件的许用应力低于主管材料许用应力时,由支管或补强材料提供的补强面积按材料许用应力之比相应折减;
  - 3) 当支管或补强元件的许用应力高于主管材料许用应力时,不计及其增强作用。
- c) 面积补偿法(见图 3),即主管上开孔挖去的纵断面上的金属面积,应由主、支管在有效补强范围内补强的金属面积和焊缝面积之和来补偿,其条件按式(12)计算:

$$A_1 + A_2 + A_3 > A \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

$A$  ——需要补强的面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

$$A = S_{mh} d_1 \quad \dots\dots\dots(13)$$

$A_1$  ——补强范围内主管的补强面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

$$A_1 = (2L_h - d_1) (S_h - S_{mh}) \quad \dots\dots\dots(14)$$

$A_2$  ——补强范围内支管的补强面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

$$A_2 = 2L_b (S_b - S_{mb}) \quad \dots\dots\dots(15)$$

$A_3$  ——补强范围内角焊缝面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );

$d_1$  ——主管上经加工的支管开孔沿纵向中心线的尺寸,单位为毫米(mm)。

$$d_1 = D_{oh} - 2S_b \quad \dots\dots\dots(16)$$

$L_h$  ——主管有效补强范围宽度之半,单位为毫米(mm);  $L_h$  取  $d_1$  或  $S_b + S_h + \frac{d_1}{2}$  两者中的较大者,但任何情况下不大于  $D_{oh}$ 。

$L_b$  ——支管有效补强高度,单位为毫米(mm);  $L_b$  取  $2.5(S_b - C)$  或  $2.5(S_h - C)$  两者中的较小值;

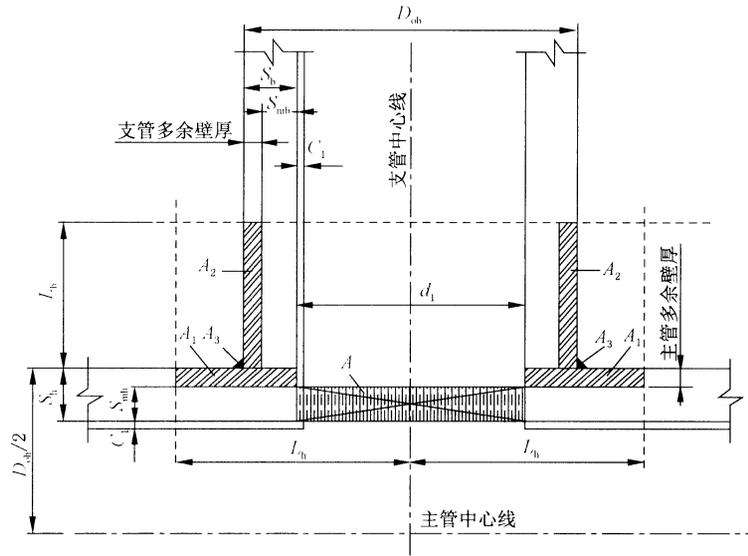
$D_{oh}$ 、 $D_{ob}$  ——主、支管外径,单位为毫米(mm);

$S_h$ 、 $S_b$  ——主、支管的公称壁厚,单位为毫米(mm);

$S_{mh}$ 、 $S_{mb}$  ——主、支管的最小壁厚,单位为毫米(mm)。

d) 主管上多开孔的补强应符合以下要求,如图 4 所示:

- 1) 多个支管的开孔不宜使其有效补强范围相互重叠;
- 2) 当必须紧密布置时,其强度应等于单个开孔所要求的补强的总和。在计算补强面积时,任何部分截面不得重复计入;
- 3) 任意两开孔中心最小距离不应小于 1.5 倍的开孔平均直径,且在两孔间的补强面积不应小于两个开孔所需补强总面积的 50%。



说明：

- A —— 所需补强面积；
- A<sub>1</sub> —— 主管提供的补强面积；
- A<sub>2</sub> —— 支管提供的补强面积；
- A<sub>3</sub> —— 焊缝提供的补强面积。

图 3 面积补强法计算示意图

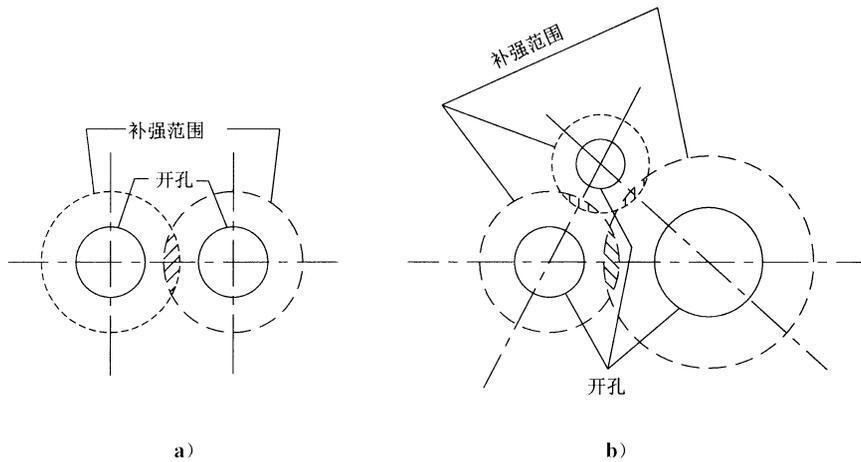


图 4 多个开孔的补强

6.3.4.3 压力面积法应符合下列规定：

- a) 压力面积法的计算示意图见图 5,三通纵向断面上主、支管交叉区域内的有效承载断面和平均应力的乘积,与其相应的有效受压面积和内压的乘积相平衡,并控制此承载面积内的一次膜态应力不超过钢材的许用应力。
- b) 压力面积法的强度条件：

$$[\sigma]' \geq P \left( \frac{A_p}{A_s} + \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots (17)$$

- c) 有效补强长度：

主管：

$$L_h = \sqrt{(D_{ih} + S_{mh}) S_{mh}} \dots\dots\dots (18)$$

支管：

$$L_b = 1.25 \sqrt{(D_{ib} + S_{mb}) S_{mb}} \dots\dots\dots (19)$$

d) 在计算承载面积  $A_s$  时,应计及成型方式造成的面积计算误差。坡口加工段不宜在有效补强范围内,否则有效承载面积应扣除坡口加工减少的面积。

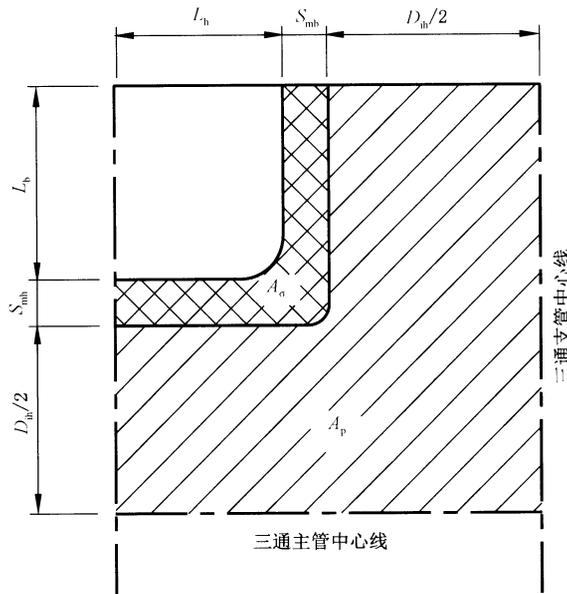


图 5 压力面积法计算示意图

6.3.5 异径管壁厚计算

6.3.5.1 异形管壁厚计算简图见图 6。异形管(大端)最小壁厚  $S_m$  按以式(20)和式(21)计算,取二者中的较大值。

$$S_m = \frac{PD_m + 2[\sigma]^t \eta C + 2YPC}{[2([\sigma]^t \eta - 2p(1-Y) \cos\theta)]} \dots\dots\dots (20)$$

$$S_m = \frac{pD_o}{2[\sigma]^t \eta + 2Yp} + C \dots\dots\dots (21)$$

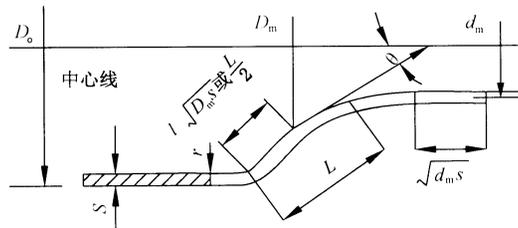


图 6 异形管壁厚计算简图

式中:

$D_m$  —— 异形管平均直径,单位为毫米(mm);

$$D_m = D_o - S \dots\dots\dots (22)$$

$\theta$  —— 半锥角,宜小于  $15^\circ$ ;

$C$  —— 壁厚的附加值,单位为毫米(mm);可按 6.3.2.1 选取。

6.3.5.2 异形管小端与管道连接处的强度根据图 7 按式(17)校核。图 7 中  $L_G$ 、 $L_A$  按式(23)、式(24)计算:

$$L_G = \sqrt{D_m S} \dots\dots\dots (23)$$

$$L_A = \sqrt{d_m S} \dots\dots\dots (24)$$

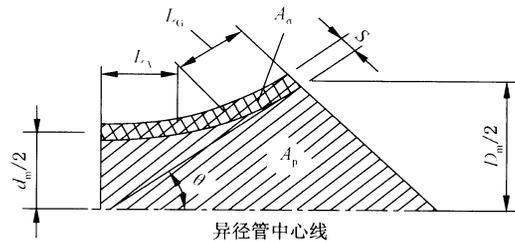


图 7 异径管小端计算示意图

6.3.5.3 异径管外侧弯曲半径不宜小于  $0.1D_o$ 。

6.3.6 法兰及法兰附件计算

6.3.6.1 螺栓连接的法兰强度应分别按运行工况及螺栓预紧力进行计算,并计及流体静压力及垫片的压紧力。

6.3.6.2 法兰连接计算应包括下列内容:

- a) 确定垫片材料,型式及尺寸;
- b) 确定螺栓材料,规格及数量;
- c) 确定法兰材料,密封面型式及结构尺寸;
- d) 进行应力校核,计算中所有尺寸均不包括腐蚀裕量。

6.3.6.3 对于未按标准规定制造的法兰,法兰及法兰连接应按 GB/T 17186 或 GB 150.3—2011 中第 7 章的规定计算。

6.3.6.4 盲板的厚度(见图 8)应按式(25)计算:

$$S = S_m + C \dots\dots\dots (25)$$

式中  $S_m$  为压力作用下的设计厚度,按式(26)计算:

$$S_m = d_G \sqrt{\frac{3P}{16[\sigma]'\eta}} \dots\dots\dots (26)$$

式中:

- $d_G$  ——对于凸型法兰或平法兰为垫圈内径,或对带垫圈法兰为垫圈节径;
- $P$  ——设计压力,单位为兆帕(MPa);
- $C$  ——厚度裕量,单位为毫米(mm)。

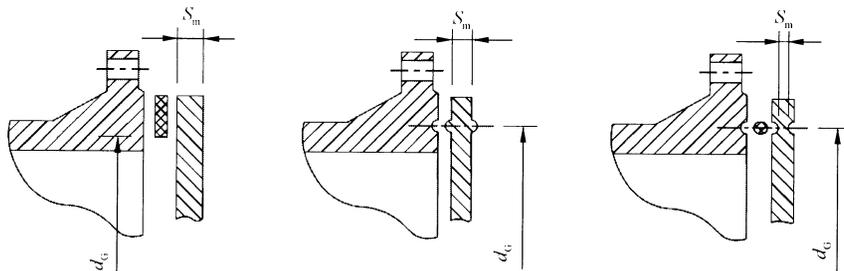


图 8 夹在法兰间的盲板

6.3.7 封头及节流孔板的厚度计算

6.3.7.1 椭球型封头最小壁厚计算：

a) 最小壁厚  $S_m$  应按式(27)、式(28)进行计算,取两者中的较大值。

$$S_m = \frac{KPD_i}{2[\sigma]'\eta - 0.5P} + C \quad \dots\dots\dots(27)$$

$$S_m = \frac{K(PD_i + 2[\sigma]'\eta C + 2YPC)}{2[\sigma]'\eta - 2P(1 - Y)} \quad \dots\dots\dots(28)$$

式中：

$D_i$  ——封头内径,mm；

$K$  ——与  $\frac{p}{[\sigma]'}$  比值有关的修正系数,当椭球形封头的椭圆形状系数  $D_0/2h_i = 2$  ( $h_i$  为椭圆短半径)时, $K$  值可按图 9 查取；

$Y$  ——修正系数,可按 6.3.2.1 选取；

$\eta$  ——许用应力修正系数,封头无拼接时,  $\eta = 1.0$ ；有拼接时,  $\eta$  值按表 1 取值；当设计温度在所用钢材的蠕变温度以上时,  $\eta = 0.7$ ；

$[\sigma]'$  ——设计温度下材料许用应力,单位为兆帕(MPa)；

$P$  ——设计压力,单位为兆帕(MPa)；

$C$  ——腐蚀附加厚度,单位为毫米(mm)。

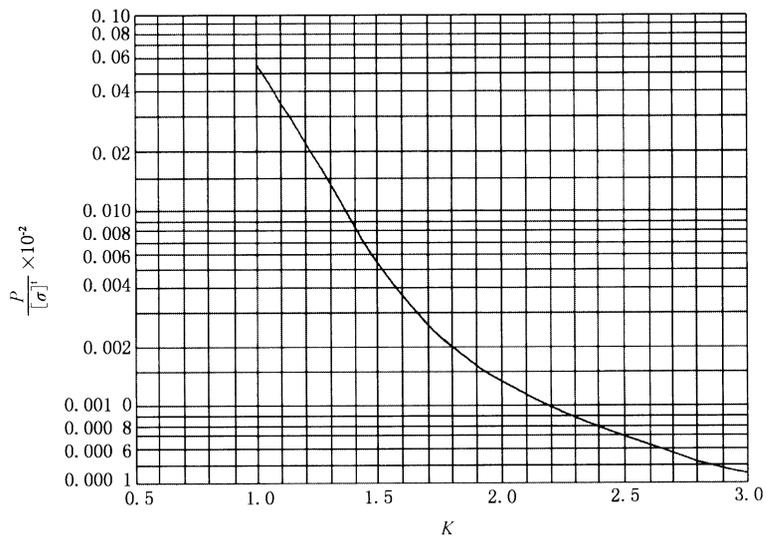


图 9 椭球形封头的椭圆形状系数为 2 时修正系数  $K$

6.3.7.2 对焊封头和平封头壁厚按式(29)计算：

$$S_m = K'D_i \sqrt{\frac{P}{[\sigma]'\varphi'}} \quad \dots\dots\dots(29)$$

式中：

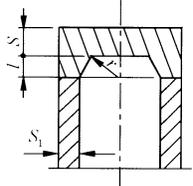
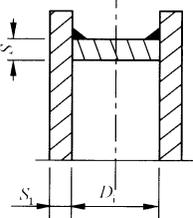
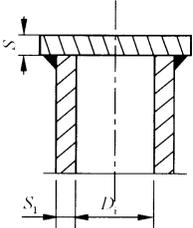
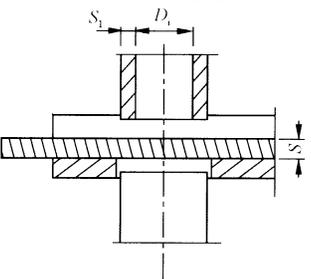
$D_i$  ——封头内径,单位为毫米(mm)(取相连管道的最大内径)；

$K'$ 、 $\varphi'$  ——与封头结构有关的系数,按表 7 选取；

$[\sigma]'$  ——设计温度下材料许用应力,单位为兆帕(MPa)；

$P$  ——设计压力,单位为兆帕(MPa)。

表 7 封头结构型式系数

堵头型式	结构要求	$K'$	$\varphi'$		备注
			$l \geq 2s_1$	$2s_1 > l \geq s_1$	
	$r \geq \frac{2}{3}S_1$ $l \geq S_1$	0.4	1.05	1.00	推荐优先采用的结构型式
		0.6	0.85		用于不大于 PN25 和不大于 DN400 的管道
		0.4	1.05		只用于水压试验
		0.6	0.85		用于小于 PN25 和小于 DN40 的管道
		0.45	0.85		用于回转堵板, 中间堵板和法兰式节流孔板

## 6.3.7.3 孔板厚度计算:

- 夹在法兰之间的节流孔板、中间堵板和回转堵板的厚度计算,可按平封头的厚度计算公式,  $K'$  值取 0.45;
- 焊接式节流孔板厚度可按平封头厚度计算公式,其  $K'$  值取 0.6。

## 6.4 管道应力计算

## 6.4.1 一般规定

6.4.1.1 本规范应力计算方法适用于利用管子自身的柔性进行补偿的管道。

6.4.1.2 管道应力计算宜按管道系统进行计算,对各种可能工况进行应力校核。

## 6.4.2 管道应力验算

## 6.4.2.1 管子在内压作用下的应力验算

- 管子在工作状态下,由内压产生的折算应力,不应大于钢材在设计温度下的许用应力

$$\sigma_{\text{eq}} = \frac{P [0.5D_o - Y(S_s - C)]}{\eta(S_s - C)} \leq 1.0 [\sigma]' \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

- $\sigma_{\text{eq}}$  ——内压折算应力,单位为兆帕(MPa);
- $P$  ——设计压力,单位为兆帕(MPa);
- $D_o$  ——管子外径,单位为毫米(mm);
- $S_s$  ——管子实测最小壁厚,单位为毫米(mm);
- $Y$  ——修正系数,见 6.3.2.1;
- $\eta$  ——许用应力的修正系数,见 6.3.2.1;
- $C$  ——腐蚀、磨损和机械强度的附加厚度,单位为毫米(mm);
- $[\sigma]'$  ——钢材在设计温度下的许用应力,单位为兆帕(MPa)。

b) 管道在运行工况下,允许温度和(或)压力超过设计值,但应符合下列规定:

- 1) 所计算的环向应力不超过相应温度下许用应力的 1.15 倍,允许每次不超过 8 h,且每年不超过 800 h;
- 2) 所计算的环向应力不超过相应温度下许用应力的 1.2 倍,允许每次不超过 1 h,且每年不超过 80 h。

#### 6.4.2.2 持续荷载的应力验算

管道在工作状态下,由内压、自重和其他持续荷载作用下,产生的轴向应力之和,应满足式(31)的要求:

$$\sigma_L = \frac{PD_i^2}{D_o^2 - D_i^2} + 0.75 \frac{iM_A}{W} \leq 1.0 [\sigma]' \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

- $\sigma_L$  ——管道在工作状态下,由持续荷载产生的轴向应力之和,单位为兆帕(MPa);
- $P$  ——设计压力,单位为兆帕(MPa);
- $D_o$  ——管子外径,单位为毫米(mm);
- $D_i$  ——管子内径,单位为毫米(mm);
- $M_A$  ——自重和其他持续荷载作用在管子截面上的合外力矩,单位为牛[顿]毫米(N·mm);
- $W$  ——管子截面抗弯矩,单位为立方毫米(mm<sup>3</sup>);

$$W = \frac{\pi}{32D_o} (D_o^4 - D_i^4) \quad \dots\dots\dots (32)$$

- $i$  ——应力增加系数(见附录 C),且 0.75*i* 不得小于 1;
- $[\sigma]'$  ——钢材在设计温度下的许用应力,单位为兆帕(MPa)。

#### 6.4.2.3 持续荷载与偶然荷载组合工况的应力验算

管道在工作状态下,由内压、自重等持续荷载和偶然荷载作用下,产生的轴向应力应满足式(33)的要求:

$$\frac{PD_i^2}{D_o^2 - D_i^2} + 0.75 \frac{iM_A}{W} + 0.75 \frac{iM_B}{W} \leq K [\sigma]' \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

- $M_B$  ——偶然荷载作用在管子截面上的合外力矩,当地震设防烈度为 8 度及以上时,应计算地震力对管道的影响。在验算时, $M_B$  中的地震力矩只取变化范围的一半,单位为牛[顿]毫米(N·mm);
- $K$  ——系数,在任一时期偶然荷载作用时间不超过 8 h,且全年不超过 800 h 时,取  $K = 1.15$ ,当在任一时期作用时间不超过 1 h,且全年不超过 80 h 时,取  $K = 1.2$ 。

其他符号的定义同 6.4.2.2。

6.4.2.4 管系热胀应力范围验算

管系由热膨胀、端点附加位移等荷载所产生的管系热胀应力范围,应满足式(34)的要求:

$$\sigma_E = \frac{iM_C}{W} \leq f [1.2[\sigma]^{20} + 0.2[\sigma]^4 + ([\sigma]^4 - \sigma_1)] \dots\dots\dots(34)$$

式中:

$\sigma_E$  ——热胀应力范围,单位为兆帕(MPa);

$M_C$  ——按热膨胀、端点附加位移等荷载和钢材在 20 °C 的弹性模量计算的热胀合力矩范围,单位为牛[顿]毫米(N·mm);

$[\sigma]^{20}$  ——钢材在 20 °C 时的许用应力,单位为兆帕(MPa);

$f$  ——应力范围的减小系数。

其他符号的定义同 6.4.2.2。

预期电厂在运行年限内,系数  $f$  与管道全温度周期性的交变次数  $N$  有关:

——当  $N \leq 2\,500$  时,  $f = 1$ ;

——当  $N > 2\,500$  时,  $f = 4.78N^{-0.2}$ 。

如果温度变化幅度有变动,可按式(35)计算当量全温度变化次数:

$$N = N_E + r_1^5 N_1 + r_2^5 N_2 + \dots\dots + r_n^5 N_n \dots\dots\dots(35)$$

式中:

$N_E$  ——计算热膨胀应力范围  $\sigma_E$  时,用全温度变化  $\Delta T_E$  的交变次数;

$N_1, N_2, \dots\dots, N_n$  ——温度变化较小  $\Delta T_1, \Delta T_2, \dots\dots, \Delta T_n$  的交变次数;

$r_1, r_2, \dots\dots, r_n$  ——比值  $\Delta T_1 / \Delta T_E, \Delta T_2 / \Delta T_E, \dots\dots, \Delta T_n / \Delta T_E$ 。

6.4.2.5 力矩和截面抗弯矩的计算

a) 利用式(31)~式(35)验算直管元件、弯管和弯头时,合成力矩  $M_j$  按式(36)计算:

$$M_j = \sqrt{M_{rj}^2 + M_{yj}^2 + M_{zj}^2} \dots\dots\dots(36)$$

式中:

$j$  ——相当于式(31)、式(33)、式(34)中的注脚 A、B、C。

b) 验算等径三通时,应按式(36)分别计算各分支管的合成力矩,按三通的交叉点取值,见图 10。管子截面抗弯矩按式(32)和连接管子尺寸计算。

c) 验算不等径三通时,应分别计算主管两侧和支管的合成力矩:

1) 计算不等径三通支管的合成力矩

$$M_A (M_B \text{ 或 } M_C) = \sqrt{M_{r3}^2 + M_{y3}^2 + M_{z3}^2} \dots\dots\dots(37)$$

支管的当量截面抗弯矩为:

$$w = \pi r_{mb}^2 S_{b3} \dots\dots\dots(38)$$

式中:

$r_{mb}$  ——支管平均半径,单位为毫米(mm);

$S_{b3}$  ——支管当量壁厚,式(34)中取用主管公称壁厚  $S_{nb}$  和  $i$  倍支管公称壁厚  $S_{nb}i$  二者中的较小值(mm);式(31)和式(33)中取用主管公称壁厚  $S_{nb}$  和  $0.75iS_{nb}$  二者中的较小值(mm),其中  $0.75i \geq 1.0$ ;

$M_{r3}, M_{y3}, M_{z3}$  ——与三通支管连接的计算分支作用于三通交叉点的当量力矩。

## 2) 计算主管的合成力矩

$$M_A (M_B \text{ 或 } M_C) = \sqrt{M_{x1}^2 + M_{y1}^2 + M_{z1}^2} \dots\dots\dots (39)$$

$$M_A (M_B \text{ 或 } M_C) = \sqrt{M_{x2}^2 + M_{y2}^2 + M_{z2}^2} \dots\dots\dots (40)$$

式中:

$M_{x1}, M_{y1}, M_{z1}, M_{x2}, M_{y2}, M_{z2}$ ——作用在三通交叉点处的当量力矩。

主管的截面抗弯矩按式(32)和连接管子尺寸计算。各合成力矩仍按三通的交叉点取值, 见图 10。

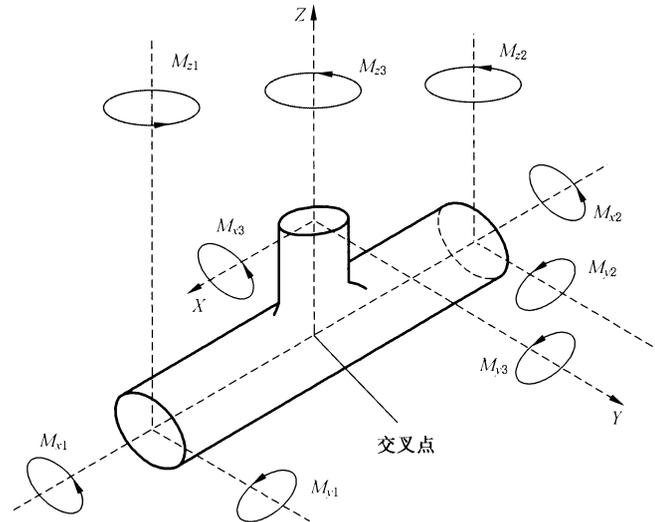


图 10 合成力矩示意图

## 3) 计算支管接管座(见附录 C 中的图 C.3)的合成力矩:

$$M_A (M_B \text{ 或 } M_C) = \sqrt{M_{x3}^2 + M_{y3}^2 + M_{z3}^2} \dots\dots\dots (41)$$

接管座的截面抗弯矩按式(42)计算:

$$W = \pi (r_{mb})^2 S_b \dots\dots\dots (42)$$

如果附录 C 中图 C.3 中的 a、b、c 中  $L_1 \geq 0.5(r_i S_b)^{0.5}$ , 那么在计算接管座的截面抗弯矩和应力增加系数时,  $r'_{mb}$  应计算到  $S_b$  值的一半, 验算点应取接管座中心线与主管外表面的交点。

## 6.4.3 管道支承反力的计算

6.4.3.1 管道对设备或支承点的推力应按 6.4.2 中荷载组合工况计算, 推力应在设备所能安全承受的范围内。

6.4.3.2 当数根管道与设备相连时, 管道在工作状态和冷状态下推力和力矩的最大值, 应按设备和各连接管道可能出现的运行工况分别计算和进行组合。

## 6.5 管道支吊架

## 6.5.1 一般规定

6.5.1.1 管道支吊架的设置和选型应根据管道布置和对支吊架的功能要求确定。

6.5.1.2 支吊架间距应根据管道荷载的合理分布, 并满足管道强度、刚度和防止振动等要求。

6.5.1.3 支吊架应支承在可靠的构筑物上, 便于施工, 且不影响设备检修及其他管道的安装和扩建。

6.5.1.4 支吊架零部件应有足够的强度和刚度, 结构简单, 宜采用标准产品。

6.5.1.5 室外管道吊架的拉杆,在穿过保温层处应采取防雨措施。

6.5.2 支吊架允许间距

6.5.2.1 管道支吊架的间距应满足强度和刚度条件的要求。

6.5.2.2 水平直管道支吊架间距应满足下列要求:

a) 按强度条件确定的支吊架间距:

$$\sigma_{\max} = \frac{(qL + 2P_j)L}{8W} \dots\dots\dots(43)$$

$$L = \frac{\sqrt{P_j^2 + 8qW\sigma_{\max}} - P_j}{q} \dots\dots\dots(44)$$

式中:

$\sigma_{\max}$ ——水平直管最大弯曲应力,单位为兆帕(MPa);一般钢管的自重应力不宜大于 16 MPa;

$q$ ——管道单位长度自重,单位为牛[顿]每米(N/m);

$L$ ——支吊架间距,单位为米(m);

$P_j$ ——跨中集中荷载,单位为牛(N);

$W$ ——管子截面抗弯矩,单位为立方厘米(cm<sup>3</sup>)。

b) 按刚度条件确定的支吊架间距:

$$\delta_{\max} = \frac{L^3}{E_1 I} \left( \frac{5}{384} qL + \frac{1}{48} P_j \right) \times 10^5 \dots\dots\dots(45)$$

式中:

$\delta_{\max}$ ——最大弯曲挠度,单位为毫米(mm);一般钢管道的弯曲挠度不宜大于 2.5 mm;

$E_1$ ——管子材料在设计温度下的弹性模量,单位为兆帕(MPa);

$I$ ——管子截面惯性矩,单位为四次方厘米(cm<sup>4</sup>)。

c) 水平直管支吊架的允许间距,应取强度和刚度确定的间距最小值;在水平管道方向改变处,两支吊点间的管子展开长度不应超过水平直管支吊架允许间距的 3/4。

6.5.2.3 垂直管道支吊架的间距可大于水平直管支吊架的允许间距,在最不利荷载作用下不应使管壁应力超过允许值。为防止管道侧向振动,垂直管道宜设置适当数量的管道侧向约束装置。

6.5.3 支吊架荷载及荷载组合

6.5.3.1 支吊架荷载及荷载组合应符合 GB/T 17116.1 的规定。支吊架应能承受管道和相关设备在可能出现的各种工况下所施加的静荷载和规定的动力荷载。支吊架零部件应按对其结构最不利的组合荷载进行选择 and 设计。在管道支吊架设计时,应计及的荷载包括(但不限于)下列各项:

- a) 管道组成件及保温层的重力;
- b) 支吊架的重力;
- c) 管道输送介质的重力;
- d) 对于蒸汽管道,应根据具体情况计及水压试验或管道清洗时的介质重力;
- e) 管道中柔性管件由于内压力产生的作用力;
- f) 支吊架约束管道位移所产生的约束反力和力矩;
- g) 管道位移时在活动支吊架上引起的摩擦力,摩擦系数  $\mu$  可按 6.5.3.3 取值;
- h) 室外管道受到的雪荷载;
- i) 室外管道受到的风荷载;
- j) 正常运行时,由于种种原因引起的管道振动力;
- k) 管内流体动量瞬时突变(如汽锤、水锤、安全阀排汽反力)引起的瞬态作用力;

- l) 流体排放产生的反力；
- m) 地震引起的荷载,但不计及地震荷载与风荷载同时出现的工况。

6.5.3.2 支吊架结构荷载应符合 GB 50764—2012 中 10.3.2 的规定。支吊架结构荷载计算应根据具体情况计及下述工况：

- a) 运行初期冷态工况；
- b) 运行初期热态工况；
- c) 管道应变自均衡后的冷态工况；
- d) 管道应变自均衡后的热态工况；
- e) 水压试验或管路清洗工况；
- f) 各种瞬态工况。

6.5.3.3 管道位移在活动支吊架上引起的摩擦力,其摩擦系数  $\mu$  可按表 8 取值。

表 8 摩擦系数

序号	摩擦形式	摩擦系数
1	钢与钢滑动摩擦	0.3
2	钢与聚四氟乙烯板	0.2
3	聚四氟乙烯之间	0.1
4	不锈钢(镜面)薄板之间	$\leq 0.1$
5	不锈钢(镜面)与聚四氟乙烯板间	0.05~0.07
6	钢表面的滚动摩擦	0.1

#### 6.5.4 支吊架材料

6.5.4.1 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用。与管道直接焊接的零部件,其材料应与管道材料相同或相容。

6.5.4.2 钢材的使用温度上限应符合附录 A 的规定。

6.5.4.3 用于承受拉伸荷载的支吊架零部件应采用有冲击功保证值的钢材。当采用没有冲击功保证值的钢材,应按 GB 229 的要求补做冲击韧性试验,其冲击功值符合有关国家标准的规定。

6.5.4.4 支吊架零部件不应采用沸腾钢或铸铁材料。

#### 6.5.5 支吊架结构及强度

6.5.5.1 支吊架管部结构不应使管道局部过应力。

6.5.5.2 管部结构的设计应符合下列规定：

- a) 管部结构应能承受功能所要求的力和力矩,保证管部与管道之间在预定约束方向不发生相对位移。管部结构的设计应控制管壁应力,防止管道局部塑性变形；
- b) 管部结构尺寸应和管道外径相配,且应保证其与支吊架其他连接部件相连接的部位裸露在管道保温层外；
- c) 垂直管道的管部结构或限制管道轴向位移的双臂管部结构,管部的任一侧应能承受该支吊架点的全部荷载。

6.5.5.3 支吊架的连接件设计应符合以下规定：

- a) 螺纹拉杆的最大承载力可根据其许用应力和螺纹根部截面计算,螺纹拉杆的许用应力按照附录 A 的 75% 取用。用于不大于 DN50 管子上的吊杆直径不应小于 10 mm,用于大于 DN50 管

子上的吊杆直径不应小于 12 mm。

- b) 任何状态下吊杆与垂线之间夹角应符合下列规定值：
  - 1) 刚性吊架吊杆与垂线之间夹角不应大于 3°；
  - 2) 弹性吊架吊杆与垂线之间夹角不应大于 4°；
  - 3) 当不能满足 1)、2) 的规定时,应采取偏装或加装滚动装置等措施。
- c) 吊杆应有足够的螺纹长度,并配有调节垂直高度的部件,螺纹连接处应设置锁紧螺母。
- d) 垂直管道双拉杆刚性吊架的连接件应按单侧承受全部结构荷载选择。

6.5.5.4 支吊架的焊接和根部钢结构设计应符合 GB/T 17116 的规定。

## 7 制作与安装

### 7.1 一般规定

7.1.1 本章规定了管道制作和安装的基本要求,包括原材料验收、弯曲成形、组对、预热、焊接、热处理、安装、清理吹扫和清洗等的规定。

7.1.2 管道制作和安装应建立并妥善保存相关的记录及证明文件。

### 7.2 制作或安装前材料的验收

#### 7.2.1 一般规定

制作和安装单位应对所接收的材料进行验收,验收项目应按本规范及相应材料产品标准规定外,还应符合合同约定。

#### 7.2.2 材料标记和质量证明文件的验收

7.2.2.1 入厂(场)材料应验证材料标记和质量证明文件,并应符合 5.3.5 的规定。

7.2.2.2 材料的质量证明文件内容不全、质量证明文件与实物上的标记不符以及标记模糊不清者应拒收。

#### 7.2.3 管子的验收

7.2.3.1 管子应进行材料牌号、外观质量、规格和尺寸偏差检查,对合金钢管子还应进行光谱和硬度检查。

7.2.3.2 按照国内标准制造的管子应按本规范及相应产品标准的规定进行验收。

7.2.3.3 按照境外标准制造的管子或进口管子除合同另有约定外,应符合相应境外标准的规定。

#### 7.2.4 管件、法兰和阀门的验收

7.2.4.1 管件、法兰和阀门的验收应符合相应产品标准的规定及合同约定。

7.2.4.2 管件、法兰和阀门的验收应检查标记、规格、材质、外观和几何尺寸。

7.2.4.3 合金钢件应进行光谱和硬度检查。

7.2.4.4 法兰、螺栓螺母等附件应进行配合性能检查。

7.2.4.5 阀门应按照有关国家或行业标准进行性能和严密性检查。

#### 7.2.5 支吊架的验收

7.2.5.1 支吊架的验收应符合本标准及其产品标准的规定。

7.2.5.2 支吊架应验收产品标识、型号、规格和外观;合金钢件进行光谱和硬度检查;对恒力、变力弹性

支吊架、弹簧减振器进行性能试验报告和状态指示检查。

### 7.2.6 抽样检查数量规定

7.2.6.1 抽样检查数量应按相应材料产品标准规定。

7.2.6.2 加倍抽样检查应符合 8.1.3 累进检查的规定。

### 7.2.7 材料的保管

7.2.7.1 管道制作和安装单位对所接收的材料应采取必要的防护措施,防止变形、腐蚀或损伤。

7.2.7.2 存放奥氏体不锈钢材料时,不应与铁素体材料相接触。

7.2.7.3 暂不安装的管子、管件和阀门等,应对端口进行妥善封闭。

## 7.3 管道制作

### 7.3.1 一般规定

7.3.1.1 管道的制作应符合本规范及合同约定,可在工厂或施工现场完成。

7.3.1.2 主蒸汽、再热蒸汽和高压给水管道应在工厂内制作。

### 7.3.2 切割与坡口制备

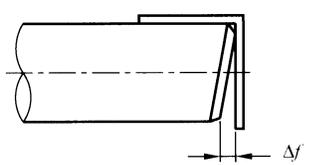
7.3.2.1 切割应符合下列规定:

- a) 管子切割宜采用机械加工方法,也可采用等离子或火焰切割等方法;
- b) 采用等离子或火焰切割时,应用机械加工方法清除淬硬层及过热金属;
- c) 9%Cr~12%Cr 的马氏体耐热钢管应采用机械加工方法切割。

7.3.2.2 坡口制备应符合下列规定:

- a) 坡口制备宜采用机械方法加工。不锈钢管采用机械方法制备坡口或修磨时,应符合 GB/T 20801.4 的规定。
- b) 除设计另有规定外,焊接坡口的基本形式与尺寸可按附录 D 中 D.1 的规定。
- c) 坡口表面质量应符合下列规定:
  - 1) 采用等离子或火焰切割下料的坡口修磨后,应经表面无损检测合格;
  - 2) 坡口及边缘 20 mm 内母材应无裂纹、重皮、破损、毛刺缺陷及污染物;
  - 3) 除设计另有规定外,坡口端面偏斜度  $\Delta f$  应符合表 9 的规定。

表 9 坡口端面偏斜度偏差

图 例	管子外径 $D_o$ mm	$\Delta f$ mm
	$D_o \leq 60$	0.5
	$60 < D_o \leq 159$	1
	$159 < D_o \leq 219$	1.5
	$D_o > 219$	2

### 7.3.3 标记移植

7.3.3.1 管子应保存材料的原始标记。当无法保存原始标记时,应采用适当的移植方法进行材料标记。

7.3.3.2 标记方法不应对材料表面构成损伤或污染,并不应降低材料的使用性能。当奥氏体不锈钢和

有色金属材料采用色码标记时,印色不应含有硫、铅和氯等对材料有损害的物质。

7.3.3.3 移植后的标记应清晰可追溯。

7.3.4 弯曲成形

7.3.4.1 弯曲可采用冷弯成形或热弯成形两种工艺方法。热弯成形温度不应低于  $A_{cl}$  减 56 °C;冷弯成形温度应低于  $A_{cl}$  减 56 °C。钢管材料的下临界温度  $A_{cl}$ 可按表 10 确定。

表 10 常用钢管材料下临界温度近似值

钢材类别	下临界温度 $A_{cl}$ °C
碳素钢	725
C-Mo 钢	730
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb 钢	725
1Cr-0.5Mo 钢	745
1.25Cr-0.5Mo 钢	775
2.25Cr-1Mo 钢	805
9Cr-1Mo-V 钢	800

注:本表仅是钢管材料下临界温度的近似值,当可获得具体材料的该温度时,应取用实际温度。

7.3.4.2 弯曲成形应符合以下规定:

- a) 热弯曲成形应按照评定合格的工艺进行弯制;
- b) 焊接钢管不宜采用冷弯成形方法;
- c) 直缝焊接钢管热弯曲成形时,焊缝宜布置在中性线处,且不应超出中性线外侧 15°,如图 11 所示;

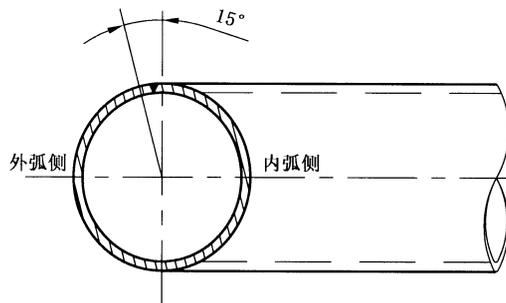


图 11 直焊缝布置位置

- d) 热弯成形宜采用感应加热的弯曲方法;热弯弯管弯制前的直管最小壁厚可按表 11 选取;

表 11 热弯弯管弯制前直管最小壁厚

弯曲半径	弯制前直管最小壁厚
不小于 $6D_o$	$1.06S_m$
$5D_o$	$1.08S_m$
$4D_o$	$1.12S_m$
$3D_o$	$1.16S_m$

注:弯曲半径为中间值的弯管,弯制前直管最小壁厚可采用内插法计算。

e) 冷弯弯管弯制前直管最小壁厚可按表 12 选取。

表 12 冷弯弯管弯制前直管最小壁厚

弯曲半径	弯制前直管最小壁厚
不小于 $6D_o$	$1.09S_m$
$5D_o$	$1.14S_m$
$4D_o$	$1.20S_m$
$3D_o$	$1.28S_m$

注：弯曲半径为中间值的弯管，弯制前直管最小壁厚可采用内插法计算。

7.3.4.3 成形后的弯管应符合以下规定：

- a) 弯管内、外弧上任何一点的实测壁厚不应小于第 6 章设计计算确定的计算壁厚，且外弧任何一点壁厚不应小于接管子的最小壁厚。
- b) 弯管表面不应有裂纹、折叠、重皮、凹陷和尖锐划痕等缺陷，发现缺陷应打磨直至完全消除，缺陷消除后的壁厚应符合 a) 的规定。
- c) 弯管的圆度偏差应符合以下规定：
  - 1) 弯管的圆度偏差  $\mu(\%)$  应按式(46)计算：

$$\mu = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中：

$D_{\max}$  和  $D_{\min}$  ——分别为同一截面实测最大外径和最小外径，单位为毫米(mm)。

- 2) 弯管的圆度偏差不应大于 8%；主蒸汽、高温再热蒸汽管道以及设计压力大于 8 MPa 的管道，弯管圆度不应大于 5%；弯管两端直管段端部的圆度应符合相应钢管标准要求。
- d) 弯管的弯曲半径允许偏差为  $\pm 50$  mm。
- e) 平面弯管弯曲角度允许偏差为  $\pm 0.5^\circ$ 。
- f) 热弯弯管的波浪率(波高  $h$  与外径  $D_o$  之比)不应大于 2%，冷弯弯管的波浪率不应大于 3%，且波距  $A$  与波高  $h$  之比应大于 12，如图 12 所示。

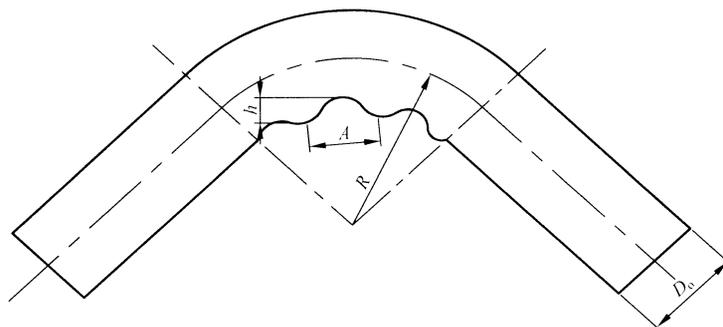


图 12 弯管波浪率示意图

- g) 弯管不应有过烧组织，不应出现晶间裂纹。
- h) 合金钢弯管热处理后的硬度、金相组织和晶粒度检验结果应符合相应管材产品标准的规定。

7.3.5 板焊管

7.3.5.1 板焊管制作适用于设计压力不大于 1.0 MPa 且设计温度不高于 200 °C 的管道。

7.3.5.2 用于制作板焊管的钢板,材料性能、外观质量、尺寸偏差、检验方法和验收规则应符合相关标准的规定。

7.3.5.3 板焊管制作应符合以下规定:

- a) 卷板方向应与钢板的压延方向相同;
- b) 公称尺寸大于等于 DN1 000 的板焊管,卷板对接焊缝根部宜采用封底焊;
- c) 板焊管管子内径与壁厚的关系符合表 13 的要求时,允许冷卷成形;否则应在热卷或冷卷后进行热处理;

表 13 允许冷卷的内径与公称壁厚关系

序号	规定非比例延伸率 0.02% 的强度 $R_{p0.2}$ MPa	钢管内径 $D_i$ 与公称壁厚 $S_n$ 关系 mm
1	$R_{p0.2} \leq 350$	$D_i \geq 33S_n$
2	$350 < R_{p0.2} \leq 450$	$D_i \geq 40S_n$
3	$450 < R_{p0.2} \leq 540$	$D_i \geq 48S_n$
4	$540 < R_{p0.2} \leq 800$	$D_i \geq 57S_n$
5	$R_{p0.2} > 800$	由试验确定

- d) 环向拼接焊缝不宜多于 2 条,相邻筒节纵缝应错开至少 100 mm;
- e) 钢管同端管口相互垂直两直径之差的最大值不应大于  $3D_o/1\ 000$ ,且最大不应大于 10 mm;
- f) 钢管对圆后,实测周长与设计周长之差的最大值不应超过  $\pm 5D_o/1\ 000$ ,且最大不应超过  $\pm 15$  mm,相邻管节周长偏差应符合表 14 的要求;

表 14 相邻管节周长偏差

板厚 $S_n$ mm	最大偏差 mm
$S_n < 10$	6
$S_n \geq 10$	10

g) 板焊管的焊接、焊后热处理和检查检验要求应符合本标准的相关规定。

7.3.6 支吊架

7.3.6.1 管道支吊架的型式、材质、加工尺寸及精度应符合设计文件和 GB/T 17116.1 的规定。

7.3.6.2 合金钢管道的支吊架与管子直接相焊接的部分宜在工厂内完成。

7.3.7 管道工厂化预制

7.3.7.1 管道宜工厂化预制。工厂化预制包括配管设计、弯曲成形、坡口加工、组对焊接、热处理、检验、清理、防护、标记和包装等。

7.3.7.2 在满足运输和安装等条件下,宜最大限度地进行工厂化预制。

7.3.7.3 配管设计应合理布置焊口位置,充分利用管材。

7.3.7.4 异种钢之间的焊接宜在工厂内完成。

7.3.7.5 配管设计的管段制造图至少应包括以下内容:

- a) 管子规格和材质;
- b) 各接管座开孔位置、尺寸和焊接要求;
- c) 各管件的编号、规格、材质、几何尺寸及详图;
- d) 工厂和现场焊口的编号及坡口详图;
- e) 检验和标记要求。

7.3.7.6 管道工厂化预制后,管段尺寸偏差要求应符合附录 E 及相关标准的规定。

7.3.7.7 管子与支吊架组装焊接应符合以下规定:

- a) 耳轴中心线应与管子中心线正交,并通过管子中心线;
- b) 各卡块的承载面应处于垂直于管道轴线的同一平面上,且各对称卡块中心面均应处于管子中心线位置;
- c) 耳轴、卡块等与管子直接焊接时,应采用全焊透结构。

### 7.3.8 管道清理、防护、标记与包装

7.3.8.1 管道清理应符合以下规定:

- a) 管段制作完成后,应清除内外表面的氧化物、铁锈、焊接飞溅、砂粒、油渍以及其他有害物等;
- b) 管道的清理可采用化学清洗、喷丸处理或喷砂处理等方法,清理方法及清理后的表面质量应符合设计文件和合同约定;
- c) 任何清理方法均不应影响管道的使用性能。

7.3.8.2 管子清理后的表面应根据具体环境情况及时进行适当防护。防护应符合下列规定:

- a) 酸洗表面涂装时间不应超过表面处理后的 12 h;喷丸或喷砂后表面涂装时间应根据环境条件确定,但不应超过表面处理后的 24 h;
- b) 不锈钢和有色金属的防护应符合 GB/T 20801 的规定;
- c) 防护方法应符合相关标准的规定及合同约定。

7.3.8.3 管道的标记和包装应符合以下规定:

- a) 管道的标记应符合合同约定,并满足以下要求:
  - 1) 永久性标记宜采用低应力字头钢印,标记管段号、焊工号口号、可追溯的材料标记;
  - 2) 临时性标记包括工程代号、图号、管段号、重量、流向和制造厂等,标记在管段易于观察部位。
- b) 管道的包装应符合合同及 GB/T 191 的规定。

## 7.4 焊接

### 7.4.1 一般规定

7.4.1.1 管道焊接应采用经评定合格的焊接工艺,并由具有相应资质的焊工施焊。

7.4.1.2 焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 或 DL/T 868 的规定。

### 7.4.2 焊接材料

7.4.2.1 焊接材料应根据钢材的化学成分、力学性能、使用条件和焊接工艺评定的结果选用。

7.4.2.2 焊条、焊丝、焊剂及焊接用气体等焊接材料,使用前应按设计文件和 JB/T 3223 的规定进行检

查和验收。

7.4.2.3 焊接材料的存放管理应符合下列要求：

- a) 存放焊接材料的库房应保持适宜的温度和湿度，室内温度应在 5℃ 以上，相对湿度不应超过 60%；
- b) 不同品种、型号、牌号和批号的焊接材料宜分类存放，并设置明确的区分标识；
- c) 库存期超过规定期限的焊接材料，应重新做出鉴定，符合规定要求方可使用。

7.4.2.4 焊条、焊剂在使用前应按照说明书的要求进行烘焙，重复烘焙次数不应超过 2 次。焊工领用经烘焙过的焊条时，应使用专用的保温筒，随用随取。

7.4.3 焊接环境

7.4.3.1 焊接时，以施焊部位为中心的 1 m 空间范围内，不同钢材的最低焊接环境温度应符合以下规定：

- a) 含碳量不大于 0.35% 的碳素钢为 -10℃；
- b) 普通低合金钢和珠光体耐热钢为 0℃；
- c) 贝氏体和马氏体耐热钢为 5℃；
- d) 奥氏体不锈钢不受限制。

7.4.3.2 焊接时，应采取防风措施，以保证焊接不受周围环境风速的影响。

7.4.3.3 焊接区域应有防雨、防雪和防潮湿的措施。

7.4.4 焊前准备

7.4.4.1 焊件在组对前应将坡口表面及附近母材内、外壁的油、漆、垢和锈等清理干净。清理范围应符合以下规定：

- a) 对接接头：坡口每侧各 10 mm~15 mm；
- b) 角接接头：宜比焊脚尺寸大 10 mm；
- c) 埋弧焊接头：在 a)、b) 的基础上加 5 mm。

7.4.4.2 焊口组对应符合以下规定：

- a) 组对时内壁或根部宜齐平，如有错口，其错口值应符合以下规定：
  - 1) 对接单面焊局部错口值不应超过壁厚的 10%，且不大于 2 mm；
  - 2) 对接双面焊局部错口值不应超过焊件厚度的 10%，且不大于 3 mm。
- b) 焊口组对的对口间隙应符合以下规定：
  - 1) 对口间隙可参见附录 D 规定，并应与所采用的焊接方法相适应；
  - 2) 公称尺寸大于 500 的管道，对口间隙局部超差不应超过 2 mm，且总长度不应超过焊缝总长度的 20%。
- c) 不同厚度焊件组对时，应符合以下规定：
  - 1) 内壁(或根部)尺寸不相等而外壁(或表面)要求齐平时，可按图 13 a) 形式进行加工；
  - 2) 外壁(或表面)尺寸不相等而内壁(或根部)要求齐平时，可按图 13 b) 形式进行加工；
  - 3) 内、外壁尺寸均不相等时，可按图 13 c) 形式进行加工；
  - 4) 焊件厚度不相等，且厚度差不超过 5 mm 时，可在不影响强度的条件下，按照图 13 d) 进行加工；
  - 5) 在进行上述管道不同厚度焊件组对加工时，尖角部位应圆滑过渡。

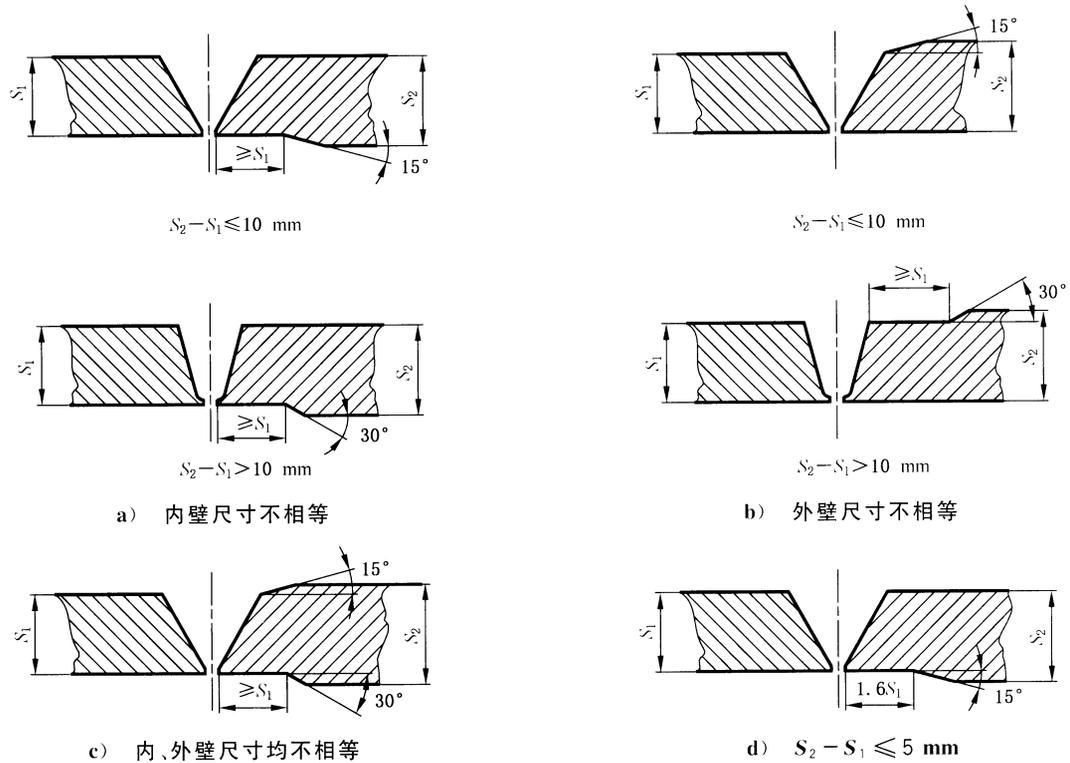


图 13 不同厚度的焊件组对

#### 7.4.4.3 定位焊应符合以下规定：

- a) 保留在完工焊缝内的定位焊应按照与根部焊道相同的焊接工艺施焊；
- b) 坡口根部采用焊缝定位时，焊后应检查各个定位焊点质量，如有缺陷应立即清除，重新进行定位焊； $S_2 - S_1 \leq 10 \text{ mm}$ ；
- c) 厚壁大口径管采用临时定位焊时，定位焊件宜采用与母材同种材料。采用其他钢材作定位焊件时，应先在定位焊件上堆敷过渡层后再进行定位焊。堆敷材料应与正式焊接材料相同，堆敷厚度不应小于 5 mm。去除定位件时，不应损伤母材，应将残留焊疤清理干净、打磨修整至与母材平齐；
- d) 定位焊缝应具有适当的长度、厚度和间距；
- e) 根部焊接前，应对定位焊缝进行检查；若发现缺陷，处理后方可施焊；
- f) 焊接到管子上的工卡具材质宜与母材相同。拆除工卡具时，不应损伤母材，拆除后应打磨修整至与母材平齐；必要时进行表面无损检测；
- g) 含 9%Cr~12%Cr 的耐热钢表面不应焊接定位对口卡具。

#### 7.4.5 施焊

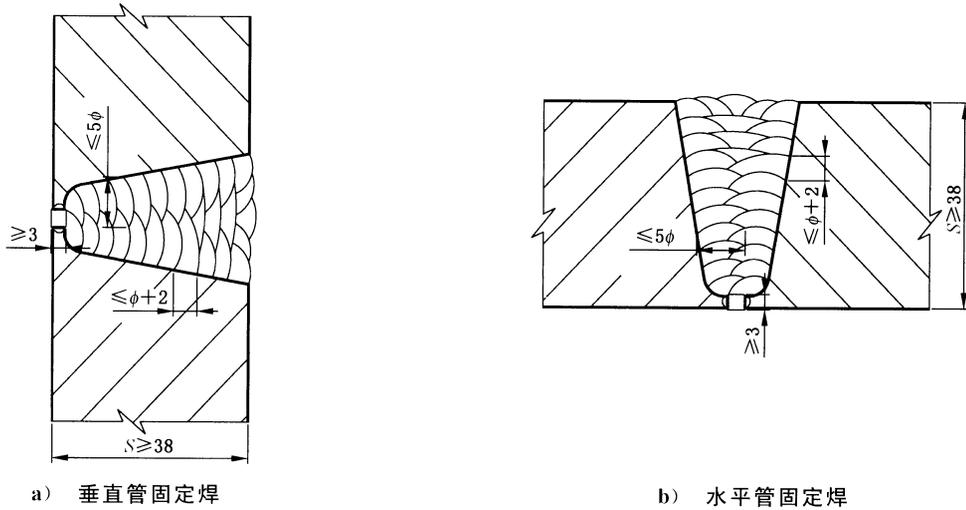
##### 7.4.5.1 焊接操作

焊接操作应符合以下规定：

- a) 不应在被焊件表面引弧、试验电流或随意焊接临时支撑物。
- b) 铬含量大于 3% 或合金总含量大于 5% 的耐热钢管道焊接时，内壁或焊缝背面应充氩气或其他混合气体保护。
- c) 当组合件壁厚大于 38 mm 时，应符合下列规定：
  - 1) 采用钨极氩弧焊进行根层焊接的焊层厚度不小于 3 mm；

- 2) 焊道的单层厚度不应大于所用焊条直径加 2 mm;单焊道宽度不宜大于所用焊条直径的 5 倍。厚壁大直径管道多层多道排列示意参见图 14。

单位为毫米



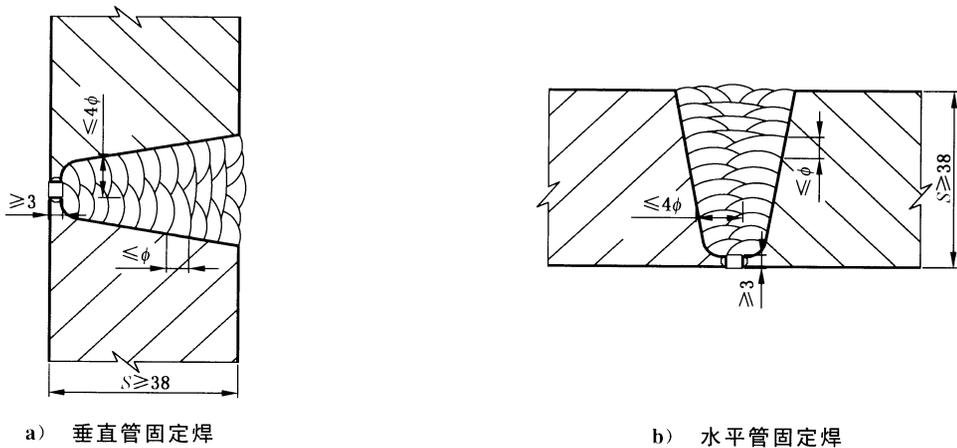
说明:

- $\phi$  —— 焊条直径;  
 S —— 焊件壁厚。

图 14 厚壁管焊道排列示意图

- d) 含 Cr9%~12% 的马氏体耐热钢厚壁管的焊接还应符合以下规定:
- 1) 熔敷金属的  $A_{c1}$  应与被焊母材相当;
  - 2) 焊接时应按评定合格的工艺控制层间温度;
    - 电弧焊时,层间温度不宜超过 250 °C;
    - 埋弧焊时,层间温度不宜超过 300 °C。
  - 3) 焊缝单层厚度不宜超过焊条直径,焊道宽度不宜超过焊条直径的 4 倍,多层多道排列示意参见图 15。

单位为毫米



说明:

- $\phi$  —— 焊条直径;  
 S —— 焊件壁厚。

图 15 马氏体耐热钢厚壁管焊道排列示意图

- e) 奥氏体不锈钢的焊接应符合 GB/T 20801.4 的规定。
- f) 焊接完成后,应对管道承压焊缝标识可追溯的焊工识别标记。

7.4.5.2 对接焊缝

焊缝边缘应与母材圆滑过渡,其外形尺寸应符合设计要求,对接焊缝的余高应符合表 15 的规定。

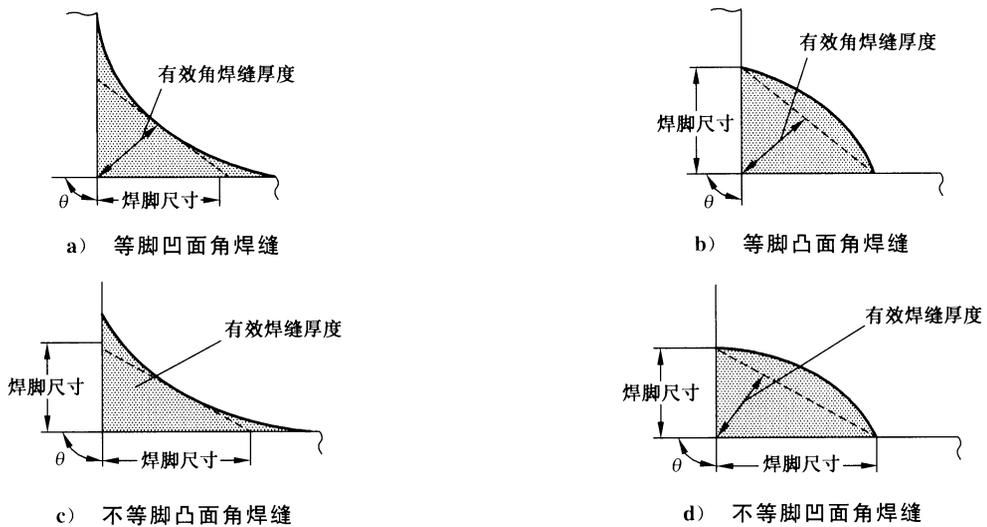
表 15 对接焊缝的余高

母材金属的壁厚 $S_n$ mm	不同设计温度 $t$ 下的允许余高 mm		
	$t > 400\text{ }^\circ\text{C}$	$400\text{ }^\circ\text{C} \geq t \geq 175\text{ }^\circ\text{C}$	$t < 175\text{ }^\circ\text{C}$
$S_n \leq 3.0$	2.0	2.5	3.0
$3.0 < S_n \leq 5.0$	2.0	3.0	4.0
$5.0 < S_n \leq 13.0$	2.0	4.0	5.0
$13.0 < S_n \leq 25.0$	2.5	5.0	5.0
$25.0 < S_n \leq 50.0$	3.0	6.0	6.0
$S_n > 50.0$	4.0	取 6 mm 或 1/8 倍焊缝宽度两者中大值	

7.4.5.3 角焊缝

角焊缝应符合以下规定:

- a) 焊缝金属的熔敷应保证焊缝根部的母材金属充分焊透;
- b) 承压部件的角焊缝宜采用凹面焊缝;
- c) 角焊缝的形式和尺寸应符合图 16 规定。



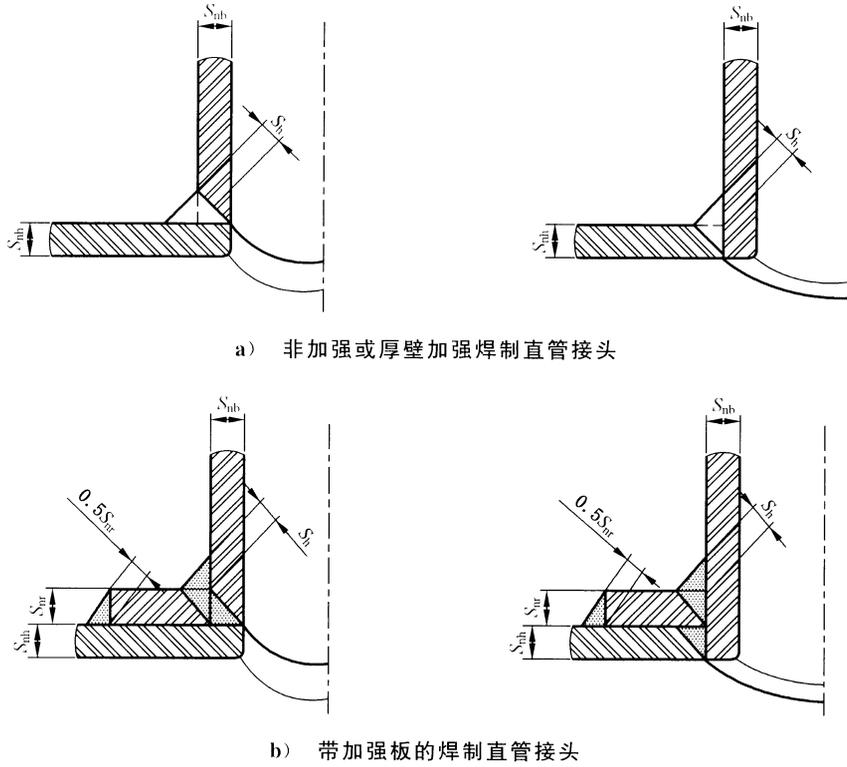
- 注 1: 等边角焊缝焊脚尺寸为外切或内接最大等腰三角形的直角边长度;当两被焊件夹角  $\theta = 90^\circ$  时,有效焊缝高度为 0.7 倍焊脚尺寸。
- 注 2: 不等边角焊缝焊脚尺寸分别为最大外切或内接最大直角三角形的短边和长边长度,按图示计算有效焊缝高度。
- 注 3: 对于其他角焊缝,有效角焊缝高度用焊脚尺寸和被焊件夹角  $\theta$  计算。

图 16 角焊缝的形式和尺寸

7.4.5.4 焊制支管连接应符合以下规定:

- a) 焊制支管连接的型式及焊接要求应符合设计规定;

- b) 支管应采用与主管相同或相近的材料制作,并应符合第 5 章关于材料的规定;
- c) 焊制支管内转角宜圆滑过渡,连接型式见图 17 和图 18;
- d) 带加强板的焊制支管连接应在支管与主管连接焊缝检查合格后,再焊接加强板,该结构不宜用于设计温度大于 250 ℃ 的组成件以及剧烈循环的场合。



说明:

$S_n$  不应小于 6.0 mm 与  $0.7S_{nh}$  中的较小者;

$S_{nh}$ ——支管公称壁厚,mm;

$S_{nh}$ ——主管公称壁厚,mm;

$S_{nr}$ ——加强件公称壁厚,mm。

图 17 焊制支管连接

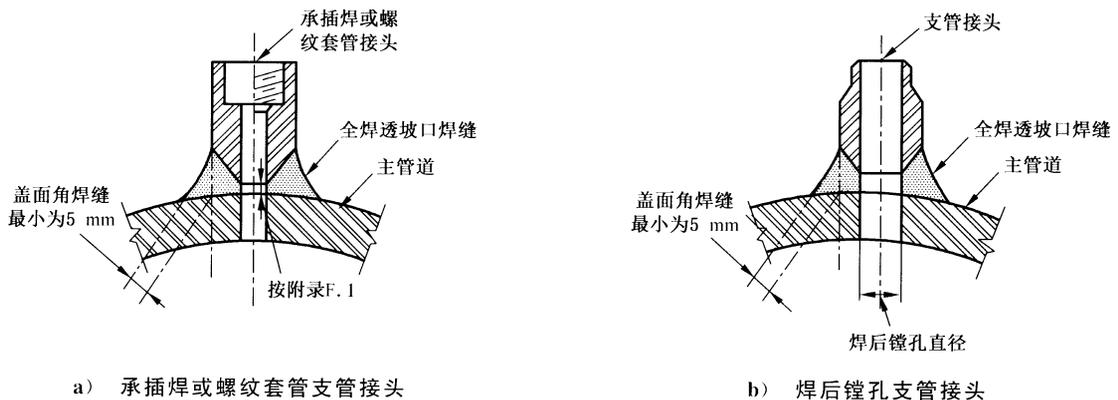
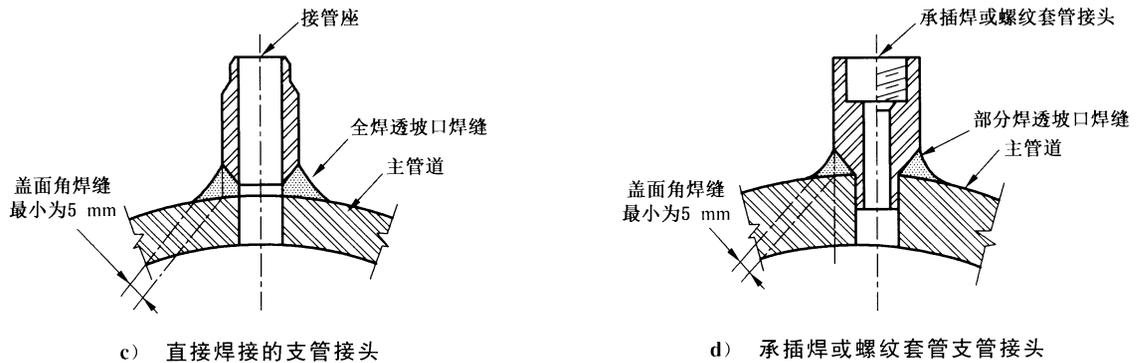


图 18 小直径支管连接型式



注：d)只适用于公称尺寸 50 及以上的支管接头。当设计温度大于 400 °C 或设计压力大于 7.1 MPa 时不应采用这种结构。

图 18 (续)

#### 7.4.6 异种钢焊接

7.4.6.1 异种钢的焊接应按照经评定合格的焊接工艺进行操作。

7.4.6.2 当采用奥氏体类型和镍基焊材焊接时,应注意焊接面和焊接材料的洁净度,控制层间温度。

7.4.6.3 异种钢接头两侧材料的合金成分差异较大时,可在低成分侧堆焊一种中间成分的材料,形成过渡层,过渡层厚度不应小于 5 mm。

7.4.6.4 当一侧为奥氏体材料另一侧为非奥氏体材料焊接时,焊前可只对非奥氏体材料预热,焊接时层间温度不宜超过 150 °C。

#### 7.4.7 焊接中断

7.4.7.1 施焊过程中除工艺或检查上要求分次焊接外,应连续完成。当被迫中断时,应采取防止裂纹产生的措施,如后热、缓冷和保温等。

7.4.7.2 对要求预热、控制层间温度和有焊后热处理要求的材料,焊接中断应符合以下规定:

- 已焊接焊缝厚度应达到 9.5 mm 以上或已填充 25% 的坡口高度(取两者中的较小值)时,方可中断焊接;
- 中断焊接的焊件需移动或受载时,应进行必要的保护或支撑;
- 对铬含量不大于 3% 的材料,中断后允许缓冷至室温;
- 对于含 Cr9%~12% 的马氏体耐热钢,只有当焊缝已进行后热或焊后热处理时,方可中断焊接。

7.4.7.3 恢复焊接前,应检查并确认无裂纹后,方可按照工艺要求继续施焊。

#### 7.4.8 焊缝返修

7.4.8.1 对需进行返修的焊缝,宜采用机械方法清除缺陷。必要时,清除后可用磁粉或液体渗透检测方法检查,确认缺陷完全清除。

7.4.8.2 需要补焊时,应采用经评定合格的焊接工艺施焊。

7.4.8.3 焊缝同一部位的返修次数不宜超过三次;当超过两次时,应另行制定返修措施,经技术负责人批准后方可进行再次返修;含 Cr9%~12% 马氏体耐热钢焊缝的返修次数不应超过两次。

7.4.8.4 需焊后热处理的焊接接头,返修补焊后应重新进行热处理。

7.4.8.5 返修后的焊缝,应经复检合格;复检方法至少应包括原来发现缺陷的检测方法。

## 7.5 预热

## 7.5.1 一般规定

7.5.1.1 焊前预热的加热方法、加热宽度和保温要求应符合焊接工艺及焊接作业指导书的规定。

7.5.1.2 预热的方法不应应对加热部位造成损伤。

7.5.1.3 承压管道及其返修焊缝宜采用整圈加热的方法,并应采取措施降低周向和径向的温差,并保证焊件在规定的范围内达到要求的预热温度。

7.5.1.4 支管连接的加热宜采用包括主管和支管在内的环形加热方法。

## 7.5.2 预热温度

7.5.2.1 预热温度应根据钢材的焊接性能、焊件厚度、接头型式、环境温度以及焊接材料的潜在含氢量和结构拘束度等因素确定。管道常用钢材的推荐预热温度见表 16。

表 16 管道常用钢材推荐焊前预热温度

钢材类别	管 材		板 材	
	壁厚 S mm	预热温度 ℃	厚度 S mm	预热温度 ℃
碳含量≤0.35%的碳素钢	$S \geq 26$	100~200	$S \geq 34$	100~150
C-Mn	$S \geq 15$	150~200	$S \geq 30$	
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb	$S \geq 20$	150~200	$S \geq 20$	150~200
1Cr-0.5Mo 1.25Cr-0.5Mo	$S \geq 15$	150~200	$S \geq 15$	150~200
1Cr-0.5Mo-V 2.25Cr-1Mo	$S \geq 6$	200~300	$S \geq 8$	200~300
9Cr-1Mo-V-Nb	任意厚度	200~250	任意厚度	200~250

注：当采用钨极氩弧焊打底时,可比下限温度降低 50℃。

7.5.2.2 特殊情况下预热温度的选取应符合以下规定：

- a) 异种钢预热时应符合下列规定：
  - 1) 一侧为奥氏体钢时,预热温度应符合 7.4.6 的规定；
  - 2) 两侧均为非奥氏体型钢时应按预热温度要求高的选取。
- b) 支管连接时,应按主管的预热温度选取。
- c) 非承压件与承压件焊接时,应按承压件预热温度选取。
- d) 焊接中断后施焊前应按原工艺要求重新预热。

## 7.5.3 加热方法和范围

7.5.3.1 一般采用柔性陶瓷电阻加热或远红外辐射加热,加热宽度每侧不少于焊件厚度的 4 倍;采用电磁感应加热时,每侧不少于焊件厚度的 3 倍,且不得小于 100 mm;

7.5.3.2 当管子外径大于 219 mm 或壁厚不小于 20 mm 时,宜采用柔性陶瓷电阻加热、远红外辐射加

热或电磁感应加热方法进行预热。

7.5.3.3 当待焊接区为类似点状时,加热范围以焊接中心为圆心,以焊缝最大深度尺寸的9倍为半径的近圆形区域。

#### 7.5.4 温度测量

7.5.4.1 测量预热温度并记录宜采用热电偶、测温笔、接触式表面温度仪和其他合适的方法。

7.5.4.2 温度测量仪表应经检定或校准合格。

### 7.6 热处理

#### 7.6.1 弯曲成形后的热处理

7.6.1.1 公称壁厚大于19 mm的碳钢管道,当弯制温度低于900 °C时,弯后应进行回火热处理,回火温度可取600 °C~650 °C。

7.6.1.2 对于公称尺寸不小于100或公称壁厚不小于13 mm的铁素体合金钢管,弯曲后热处理应符合以下规定:

- a) 热弯曲成形后的热处理可参照相应钢管标准规定或评定合格的热处理制度执行;
- b) 冷弯曲成形后的热处理要求可按表17规定。

表 17 推荐的冷弯成形后热处理

钢 种	保温温度 °C	保温时间
C-Mo 钢 0.5Cr-0.5Mo 钢	600~650	按壁厚,2.4 min/mm 但至少 15 min
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb 钢	580~680	
1Cr-0.5Mo 钢 1Cr-0.5Mo-V 钢 1.25Cr-1Mo 钢	700~750	
2.25Cr-1Mo 钢 9Cr1Mo-V-Nb 钢	700~750	

7.6.1.3 其他材料(包括奥氏体不锈钢材料)钢管弯曲成形后的热处理,应按照评定合格的热处理制度执行。

7.6.1.4 钢管弯曲成形后的热处理应采用炉内整体热处理的方式进行。

#### 7.6.2 后热消氢处理

7.6.2.1 对容易产生延迟裂纹的材料,焊后若不能及时进行焊后热处理,应进行后热处理。

7.6.2.2 对含Cr9%~12%的马氏体耐热钢,焊后不宜采用后热。当被迫后热时,应在焊接完成、焊件温度降至80 °C~100 °C,保温1 h~2 h后进行,后热处理温度为300 °C~350 °C,保温时间2 h。

#### 7.6.3 焊后热处理

7.6.3.1 当焊接工艺评定或相关标准有规定时,应进行焊后热处理。

7.6.3.2 采用奥氏体焊接材料焊接奥氏体不锈钢材料时,其焊接接头可不进行焊后热处理。

7.6.3.3 对含 Cr9%~12%的马氏体耐热钢,焊后热处理应在焊件温度降到 80℃~100℃、保温 1h~2h 后立即进行。

7.6.3.4 焊后热处理恒温温度的选择原则:

- a) 不应高于焊接材料熔敷金属及两侧母材中最低的  $A_{c1}$  值;宜低于该  $A_{c1}$  值 30℃。
- b) 异种钢焊接接头应符合以下规定:
  - 1) 当一侧为奥氏体型钢时,应避免脆化温度敏感区;
  - 2) 当两侧均为非奥氏体型钢时,应按热处理温度较低侧材料的热处理温度上限确定。

7.6.3.5 管道常用钢材焊后热处理温度和恒温时间可按表 18 规定。

表 18 推荐的管道常用钢材焊后热处理

钢 种	焊后恒温温度 ℃	焊件厚度 S mm						
		S≤12.5	12.5<S≤25	25<S≤37.5	37.5<S≤50	50<S≤75	75<S≤100	100<S≤125
		恒温时间 h						
碳含量≤0.35%的 碳素钢 C-Mn	580~620	—	—	1.5	2	2.25	2.5	2.75
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb	580~620	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75
1Cr-0.5Mo 1.25Cr-0.5Mo	650~700	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75
1Cr-0.5Mo-V 2.25Cr-1Mo	720~750	0.5	1	1.5	2	3	4	5
9Cr-1Mo-V-Nb	750~770	1	2	3	4~5	6~7	8~9	10

注 1: 不同壁厚部件焊接接头焊后热处理厚度,应取下述两者中的较小值:  
a) 焊缝厚度;  
b) 焊缝处连接材料的较厚者。

注 2: 焊缝厚度按照下述方法确定:  
a) 坡口焊缝:坡口加工后,包括内倒角加工后,两相连接端壁厚较大者;  
b) 角焊缝:焊缝厚度;  
c) 材料焊补:被修补凹坑的深度;  
d) 支管焊缝:是指与纵向轴线相交的平面内尺寸。

## 7.6.4 炉内热处理

7.6.4.1 管段宜采用炉内整体热处理。

7.6.4.2 分段热处理时,重复加热部分不应少于 300 mm,且炉内与炉外的过渡部分应适当保温。

7.6.4.3 热处理采用火焰加热时,不应使火焰直接冲刷管段。

## 7.6.5 局部热处理

7.6.5.1 管道对接接头加热宽度宜根据加热方法及外径( $D_o$ )与壁厚( $S_n$ )的比值确定。加热中心应位于焊缝中心,并采取措施降低周向和径向的温差。

7.6.5.2 接管座焊件的加热,主管侧宜采用整圈加热或环形加热的方法,主管与接管侧的加热宽度从焊缝边缘起,不应小于两者中较大厚度的2倍。

7.6.5.3 异径管和支管连接等异形结构焊件宜采用分区控制的加热装置,并根据焊件的实际情况和温度分布调整加热功率。

#### 7.6.6 热处理过程控制

7.6.6.1 热处理时应控制工件的温度及温差;加热温度范围内任何两点温度差不应超过50℃。

7.6.6.2 热处理的升降温速率(℃/h)不应大于6250与焊缝厚度(按毫米计)之比,且不超过300℃/h。

7.6.6.3 热处理温度应采用检定合格的热电偶或其他合适的方法进行测量;测温设备和记录仪应定期校验。

## 8 检验与试验

### 8.1 检查要求

#### 8.1.1 一般规定

8.1.1.1 管道组成件制作和安装的检查及检验应符合本标准的规定。

8.1.1.2 管子、管件、法兰及阀门等制作和安装前的验收应符合7.2的规定。

8.1.1.3 有热处理的管道应在全部热处理结束后进行检查。

#### 8.1.2 超标缺陷的处理

如发现受检件有超过本标准验收标准的缺陷时,应返修或更换。返修件或新件的检查不应低于原件的要求。

#### 8.1.3 累进检查

当局部或抽样检查发现有一件超标缺陷时,处理方法应符合下列规定:

- 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再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。

### 8.2 检查类型和方法

#### 8.2.1 一般规定

8.2.1.1 本条规定了主要检查方法,检查人员还应根据8.5对相关的文件进行检查。如使用本条规定以外的方法,则应在设计文件中规定其验收标准。

8.2.1.2 检查的比例包括100%检查、抽样检查和局部检查,并应符合以下规定:

- a) 100%检查应在指定的一批管道中,对某一具体项目进行全部检查;
- b) 抽样检查应在指定的一批管道中,对某一百分数的管道做某一具体项目的全部检查;
- c) 局部检查应在指定的一批管道中,对每一件管道规定的部分做某一具体项目的检查。

## 8.2.2 目视检查

目视检查是对易于观察或能暴露检查的组成件、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、进行中或之后进行观察。这种检查包括核实材料、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规范和工程设计的要求。

## 8.2.3 无损检测

无损检测可分为磁粉检测、渗透检测、射线检测和超声波检测,检测方法应按 JB/T 4730 的规定进行。无损检测应在目视检查合格后进行。

## 8.2.4 制作过程中的检查

8.2.4.1 制作过程中的检查内容应包括下列内容:

- a) 焊接坡口的制备和清洗;
- b) 预热;
- c) 连接前的预组装、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,按焊接工艺指导书的规定进行磁粉检测或渗透检测;
- f) 焊渣的清除和焊道间焊缝情况;
- g) 完工后接头外观。

8.2.4.2 除设计另有规定外,应按 8.3.2 进行目视检查。

## 8.2.5 光谱分析

8.2.5.1 光谱分析方法应符合 DL/T 991 的规定。

8.2.5.2 高合金部件进行光谱分析后应磨去弧光灼烧点。

## 8.2.6 硬度检验

硬度检验应符合 GB/T 231.1、GB/T 17394 或其他硬度检验标准以及所采用的硬度计的技术要求,不同硬度值之间的转换应根据测试材料和硬度范围选择合适的换算表或曲线。

## 8.2.7 金相检验

金相检验的方法应符合 GB/T 13298 的规定。

## 8.3 检查范围

### 8.3.1 检查等级

碳钢和低合金钢以及高铬马氏体耐热钢汽水管道焊接接头及管道上的角焊缝、支管连接根据管径和工作条件按照表 20 分为 I、II、III 三种焊接接头类别。

其余 GC 类管道的检查等级按照 GB/T 20801.5—2006 中 6.1 划分。

### 8.3.2 目视检查

8.3.2.1 碳钢和低合金钢以及高铬马氏体耐热钢汽水管道焊接接头的目视自检和检查比例见表 19 和表 20,按照 DL/T 869 中 7.1 条的规定验收。

8.3.2.2 其余 GC 类管道目视检查比例及验收应符合 GB/T 20801.5—2006 中 6.2.1 的规定。

8.3.2.3 碳钢和低合金钢以及高铬马氏体耐热钢汽水管道弯管应按表 22 规定的比例进行目视检查,表面质量以及尺寸应符合 DL/T 515 的规定。

表 19 汽水管道对接接头检查等级、方法及比例

焊接接头类别	范 围	检验方法及比例					
		目视检查		无损检测		光谱	硬度
		自检	检查	射线照相	超声波		
I	外径 $D > 159$ mm, 且工作温度 $T > 450$ °C 的蒸汽管道	100%	100%	100%		100%	100%
	工作压力 $P > 8$ MPa 的汽、水管道	100%	100%	50%		100%	100%
	工作温度 $300$ °C $< T \leq 450$ °C 的汽水管道及管件	100%	50%	50%		100%	100%
II	工作温度 $150$ °C $< T \leq 300$ °C 的蒸汽管道及管件	100%	25%	5		—	100%
	工作压力为 $4$ MPa $\leq P \leq 8$ MPa 的汽、水管道	100%	25%	5		—	100%
	工作压力 $1.6$ MPa $< P < 4$ MPa 的汽、水管道	100%	25%	5		—	—
III	工作压力 $0.1$ MPa $\leq P \leq 1.6$ MPa 的汽、水管道	100%	25%	1		—	—
	外径 $D < 76$ mm 的疏水、放水、排污、取样管子	100%	100%	—		—	—
	烟、风、煤、粉、灰等管道及附件	100%	25%	100% 的渗透检查		—	—

### 8.3.3 无损检测

8.3.3.1 碳钢和低合金钢以及高铬马氏体耐热钢汽水管道焊接接头及其角焊缝和支管连接的无损检测范围、比例应分别符合表 19 和表 20 中射线照相、超声波检测、磁粉和渗透检测的规定。厚度不大于 20 mm 的汽、水管道采用超声波检测时,还应进行射线检测,其检测数量为超声波检测数量的 20%。厚度大于 20 mm 的管道和焊件,射线检测或超声波检测可任选其中一种。焊接接头质量应满足表 21 中规定的级别。

8.3.3.2 其余 GC 类管道焊接接头无损检测范围、比例及验收应符合 GB/T 20801.5—2006 中 6.3 的规定。

8.3.3.3 碳钢和低合金钢以及高铬马氏体耐热钢汽水管道弯管的无损检测范围、比例及验收应符合表 22 的规定。

表 20 汽水管道角焊缝及支管连接分类检查的范围、方法及比例

焊接接头类别 <sup>a</sup>	检查方法	检查比例	
		角焊缝	支管连接
I	目视检查	100%	100%
	磁粉/渗透	100%	100%
	射线照相/超声波	—	100% <sup>a</sup>
II	目视检查	100%	100%
	磁粉/渗透	20%	20%
	射线照相/超声波	—	20% <sup>a</sup>

表 20 (续)

焊接接头类别 <sup>b</sup>	检查方法	检查比例	
		角焊缝	支管连接
Ⅲ	目视检查	100%	100%
	磁粉/渗透	—	10%
	射线照相/超声波	—	—
<sup>a</sup> 适用于大于或等于 DN100 的管道。 <sup>b</sup> 焊接接头类别的划分见表 19。			

表 21 各类焊接接头的质量级别规定

检测方法 <sup>a</sup>	焊接接头类别 <sup>b</sup>		
	I	II	III
射线检测	II	II	III
超声波检测	I	I	II
磁粉检测 <sup>a</sup>	I	I	II
渗透检测 <sup>a</sup>	I	I	II
注：焊接质量按照 JB/T 4730 规定分级。			
<sup>a</sup> 磁粉、渗透检测结果不应有任何裂纹、成排气孔、分层和长度大于 1.5 mm 的线性缺陷显示(长度与宽度之比大于 3 的缺陷显示按线性缺陷处理)。			
<sup>b</sup> 焊接接头类别见表 19。			

表 22 弯管检查方法及比例

序号	检查与试验项目	检查比例	检查部位	检查方法
1	外观	100%		目测
2	壁厚	100%	弯管受拉侧中心线上至少均匀取 5 点	测厚仪
3	圆度	100%	弯管弯曲部分至少均匀取 5 个截面	外卡尺
4	尺寸	100%		放样和测量工具
5	磁粉或渗透检测	100% <sup>a</sup>	弯管弯曲部分的受拉侧中心线上下各 45°区域	JB/T 4730.4 或 JB/T 4730.5 <sup>c</sup>
6	硬度	合金钢管:100%	受拉侧和中性侧各检验 3~5 点	GB/T 231.1 或 GB/T 17394
7	金相分析	<sup>b</sup>	弯管受拉侧	GB/T 13298
<sup>a</sup> 设计温度大于 450 °C 的主蒸汽管道和高温再热蒸汽管道,以及 300 MW 及以上机组的低温再热蒸汽管道和主给水管道。 <sup>b</sup> 主汽及高温再热蒸汽管道:100%;其他管道:20%且不少于 1 根。 <sup>c</sup> I 级合格。				

### 8.3.4 硬度检查

8.3.4.1 碳钢和低合金钢以及高铬马氏体耐热钢汽水管道弯管热处理后的热成型组件硬度检查比例见表 21,弯管的硬度范围应符合相应的钢管技术标准以及 DL/T 438 的规定。

8.3.4.2 碳钢和低合金钢以及高铬马氏体耐热钢汽水管道的焊接接头的硬度检查比例见表 20,硬度值应符合 DL/T 869 和 DL/T 438 的规定。

8.3.4.3 其余 GC 类管道焊接接头的检验范围和比例应符合 GB/T 20801.5 中 6.4 的规定。

### 8.3.5 金相检查

8.3.5.1 焊缝金属的金相组织应满足 DL/T 438 的要求,且无过热组织和淬火马氏体。

8.3.5.2 弯管的金相组织、晶粒度应符合相应的钢管技术标准及 DL/T 438 的要求,且不应有晶间裂纹。

### 8.3.6 光谱分析

8.3.6.1 碳钢和低合金钢以及高铬马氏体耐热钢汽水管道光谱分析比例应符合表 20 的要求。

8.3.6.2 经光谱分析确认材质不符的焊缝应判定为不合格焊缝。

## 8.4 文件检查

检验人员应审阅制作和安装过程中的记录文件、合格证、质量证明书、标记和其他证明文件。

## 8.5 压力试验

### 8.5.1 一般要求

管道安装完毕后应按设计规定进行压力试验检查管道系统的严密性。压力试验包括水压试验和气压试验。

### 8.5.2 压力试验的替代

不适合使用液体或者气体进行耐压试验的管道,可采用替代试验。替代试验应满足以下要求:

- a) 管道系统的环焊缝和纵向焊缝经 100%射线检测或超声波检测合格;
- b) 管道系统的角焊缝经 100%磁粉检测或渗透检测、100%超声波检测或射线检测合格。

### 8.5.3 试验前的准备工作

8.5.3.1 管道系统压力试验前应具备以下条件:

- a) 管道系统应按照设计要求及本标准的规定安装完毕,防腐和绝热工程除外;
- b) 支吊架(包括临时支吊架及加固装置)安装完毕并处于锁定状态;
- c) 膨胀节已按制造厂安装文件及设计要求设置了临时约束装置;
- d) 管道上的安全阀等安全装置及仪表元件已采取隔离措施;
- e) 试验用压力表经检验、校准正确,压力表不少于两块;
- f) 管道系统压力试验前组装、焊接、热处理和检验等文件应齐全。

8.5.3.2 管道系统试验时,应与试验范围以外的管道、设备、仪表等隔离。隔离可采用装设盲板的方法,加置盲板的部位应有明显标记和记录。如果以阀门隔绝时,阀门两侧温差不应超过 100 °C。

### 8.5.4 水压试验

8.5.4.1 水压试验应使用洁净水。对于奥氏体不锈钢管道水中氯离子含量不超过  $50 \times 10^{-6}$ 。

8.5.4.2 水压试验时环境温度不应低于 5℃；水温不宜高于 70℃。水压试验的压力不应小于设计压力的 1.5 倍，且不小于 0.2 MPa。

8.5.4.3 管道系统进行水压试验时，管道周向应力及由试验压力与动载荷和静载荷产生的轴向应力均不应大于该管道材料试验温度下屈服强度的 90%。

8.5.4.4 水压试验前应确保试验设备连接可靠。

8.5.4.5 管道与设备作为一个系统进行水压试验时，应符合下列规定：

- a) 管道的试验压力不大于设备的试验压力时，应按照管道的试验压力进行试验；
- b) 管道的试验压力大于设备的试验压力，且管道与设备无法隔断时，在设备的试验压力不小于管道设计压力的 1.25 倍条件下，应经建设单位和设计单位同意，按设备的试验压力进行试验；
- c) 对位差较大的管道系统，应计及水的静压影响，并以试验管道系统最低位置点的压力为准；
- d) 衬里管道严密性水压试验的压力为额定工作压力，不同额定压力的设备、管道安装在同一系统中，宜按系统中最低额定压力的设备或管道系统水压试验。

8.5.4.6 试验检查：

- a) 管道系统水压试验时，当压力达到试验压力后应保持 10 min，然后降至设计压力，保压 30 min 后对所有接头和连接处进行全面检查。整个管路系统除了泵或阀门填料局部地方外均不应有渗水或泄漏的痕迹，且目测无变形；
- b) 在管道系统试验过程中，如发现渗漏，应降压消除缺陷后再进行试验，不应带压修理。

8.5.4.7 试验完毕应及时排净系统内的存水，并拆除临时支吊架、盲板及加固装置。

8.5.5 气压试验

8.5.5.1 气压试验时，应将脆性破坏的可能性减小至最少程度，设计者在选材时还应考虑试验温度的影响。

8.5.5.2 试验时应装有压力泄放装置，设定压力不应高于 1.1 倍的试验压力。

8.5.5.3 试验介质应是空气或其他不易燃、无毒、无腐蚀的气体。

8.5.5.4 承受内压的金属管道，试验压力应为设计压力的 1.15 倍，真空管道的试验压力应为 0.2 MPa。

8.5.5.5 试验前应进行预试验，预试验压力宜为 0.2 MPa。

8.5.5.6 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% 逐级升压并保持足够的时间，直至达到规定的试验压力。然后再降至设计压力，检查有无泄漏。

8.5.5.7 采用气体进行严密性试验的管道设计压力不宜大于 0.6 MPa。

8.5.6 补焊或增焊后的重新试验

8.5.6.1 试验完成后需要在管道补焊或增焊时应符合按第 7 章的规定。

8.5.6.2 补焊或增焊的位置在承压管道组成件上时应重新试验。

8.5.6.3 在管道上补焊或增焊吊耳、支架、保温层支承件、铭牌或其他非承压件时，满足下列要求可不重新进行试验：

- a) 附件角焊缝厚度不大于 10 mm，或者采用全焊透焊缝时所连接材料不超过承压组成件公称厚度且不大于 12 mm；
- b) 焊接按照 4.5 进行预热；
- c) 焊接接头按照 5.1~5.4 进行检查。

8.6 记录

检验与试验应按照本规范及工程设计要求记录，应由管道制作和安装单位分别负责准备和保存。

## 9 安全防护

### 9.1 安全泄放装置

#### 9.1.1 一般规定

9.1.1.1 有超压危险的管道系统应设置安全泄放装置。

9.1.1.2 自动控制仪表和事故联锁装置不应代替安全泄放装置。

9.1.1.3 符合下列情况之一者,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) 减压装置出口设计压力小于进口压力,排放出口可能被关断或堵塞的设备和管道系统;
- c) 因两端关断阀关闭,受外界影响而产生热膨胀或汽化的管道系统;
- d) 背压式汽轮机的排汽管道;
- e) 汽轮机调整抽汽管道;
- f) 可能产生超压的其他部位。

9.1.1.4 安全泄放装置相关压力的确定应符合下列规定:

- a) 当安装一个安全泄放装置时,其整定压力不应大于系统设计压力,且最大泄放压力不宜大于系统设计压力的 106%。
- b) 当安装多个安全泄放装置时,至少有一个安全阀整定压力不应大于系统设计压力,其余安全阀整定压力不宜大于系统设计压力的 103%,且安全阀最大泄放压力不宜大于系统设计压力的 106%。

9.1.1.5 安全泄放量应符合下列规定:

- a) 安全泄放量的计算应符合附录 F 的规定;
- b) 取各种超压工况安全泄放量的最大值。

9.1.1.6 最小泄放面积应符合下列规定:

- a) 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、额定泄放系数以及流体的物理性质等计算,计算方法应符合附录 F 的规定;
- b) 安全泄放装置的泄放面积不应小于最小泄放面积。

9.1.1.7 安全泄放装置的进、出口侧不应安装关断阀。

9.1.1.8 安全泄放装置的入口管道管径不应小于安全泄放装置的进口尺寸,入口管道应短捷,压力降应当小于安全阀设定压力的 3%。

9.1.1.9 安全泄放装置的出口排放管道应符合下列规定:

- a) 排放管道及其支承应有足够的强度承受泄放反力。当直接向大气排放时,应避开其他管道、设备及平台或人员可能到达的场所,排放管出口应高出屋面(平台)2 200 mm;
- b) 安全泄放装置宜设置单独排放管道,当两个及以上排放装置组合排放时,排放管的流通截面不应小于所有安全泄放装置泄放面积的总和;
- c) 排放管道的设计应有可靠的疏水;
- d) 装设消音器时,消音器应有足够的通流面积。

#### 9.1.2 安全泄放装置的选用

9.1.2.1 汽水介质管道安全泄放装置宜选用安全阀,安全阀的选用应符合 GB 12241、GB 12242 及 GB 12243 的规定。

9.1.2.2 除汽水介质外,其他介质管道安全泄放装置的选用应符合 GB/T 20801.6 的规定。

## 9.2 安全防护设施和措施

### 9.2.1 一般规定

9.2.1.1 下列条件下应采取安全防护措施：

- a) 由工作压力、工作温度和介质特性决定的流体危险性；
- b) 管道发生损坏或泄漏时，流体的泄漏量及其对周围人员和设备造成的危害程度。

9.2.1.2 流体泄漏应采用自动关闭压力源等方法限制。

### 9.2.2 布置中的安全防护

9.2.2.1 穿越道路、铁路及人行道等架空管道的净空高度，以及管架边缘至建筑物或其他设施的水平距离应符合 GB 50229 和 GB 50016 的规定，管道与电力线路间交叉净距应符合相关标准的规定。

9.2.2.2 位于道路和铁路上方的管道不应装设阀门、法兰等可能发生泄漏的管道组成件。

9.2.2.3 介质温度大于 60℃ 人体可能触及的设备及管道应进行防烫伤保温。

9.2.2.4 GD1 级管道不应布置在管沟内。

9.2.2.5 紧急放空、事故隔离、消防蒸汽等事故用的阀门，应布置在安全、明显、便于操作的位置。

## 10 保温及防腐

### 10.1 管道保温

#### 10.1.1 一般规定

管道在下列条件下应保温：

- a) 外表面温度高于 50℃ 需要减少散热损失的管道；
- b) 有防冻、防结露要求的管道；
- c) 外表面温度高于 60℃、工艺不要求保温的管道，但人体可能触及到的部位。

#### 10.1.2 保温材料及主要辅助材料性能

10.1.2.1 保温材料应符合下列规定：

- a) 保温层平均温度不高于 350℃ 时，导热系数不应大于 0.1 W/(m·K)；
- b) 硬质保温制品密度不应大于 220 kg/m<sup>3</sup>，半硬质保温制品密度不大于 200 kg/m<sup>3</sup>，软质保温制品密度不大于 150 kg/m<sup>3</sup>；
- c) 硬质保温制品的抗压强度不应小于 0.3 MPa；
- d) 燃烧性能应符合 GB 8624 不燃类材料的要求；
- e) 最高使用温度、吸湿率、收缩率、抗折强度、腐蚀性、耐蚀性等性能应符合相关标准的规定；
- f) 应对环境无污染，对人体无伤害。

10.1.2.2 防潮层材料应符合下列规定：

- a) 应具有良好的防水性和防潮性；
- b) 具有稳定的化学性能，不对保温层和保护层产生腐蚀或溶解；
- c) 应具有良好的阻燃性能，火焰离开后能在 1 s~2 s 内自熄，其氧指数不小于 30%；
- d) 涂抹型防潮层材料，软化温度不应低于 65℃，在 20℃ 时粘结强度不应低于 0.15 MPa；
- e) 应对环境无污染，对人体无伤害。

10.1.2.3 保护层材料应符合下列规定：

- a) 应具有良好的防水性、防湿性及抗大气腐蚀性；

- b) 具有稳定的化学性能,不易老化变质,不对保温层或防潮层产生腐蚀或溶解;
- c) 燃烧性能应符合 GB 8624 不燃类材料的要求;
- d) 应对环境无污染,对人体无伤害。

### 10.1.3 保温设计

10.1.3.1 保温材料应按介质的最高温度选择。

10.1.3.2 保温层厚度计算应符合 GB 50264 规定。

10.1.3.3 保温结构应符合下列规定:

- a) 保温结构宜由保温层和保护层组成。地沟内的管道和处在潮湿环境中的管道,应在保温层外增设防潮层;
- b) 保温结构应有足够的机械强度;
- c) 保温结构宜为固定式,但需要维修的部位宜采用可拆卸式。

### 10.1.4 保温施工与验收

10.1.4.1 保温工程应按 GB 50126 的规定进行施工。

10.1.4.2 保温工程应按 GB 50185 的规定进行验收。

## 10.2 管道防腐

### 10.2.1 一般规定

管道在下列条件下应进行外部防腐:

- a) 不需要保温的管道;
- b) 介质温度低于 120 °C 的保温管道;
- c) 埋地管道。

### 10.2.2 腐蚀环境类型

10.2.2.1 大气腐蚀性等级应按 GB/T 15957 的规定划分;

10.2.2.2 土壤腐蚀性等级应按 GB 50021 的规定划分。

### 10.2.3 防腐设计

10.2.3.1 防腐涂料的性能应与腐蚀环境相适应。

10.2.3.2 防腐涂料的选择应符合下列规定:

- a) 不保温的室内管道可选择醇酸涂料、环氧涂料等;室外管道可选择高氯化聚乙烯涂料、聚氨酯涂料等;
- b) 工艺不要求保温的管道可选择环氧树脂耐热涂料、有机硅耐热涂料等;
- c) 介质温度低于 120 °C 的保温管道宜选择富锌涂料等;
- d) 埋地管道可选择环氧煤沥青涂料、硬质聚氨酯泡沫塑料等。

10.2.3.3 防腐涂层体系的设计应符合下列规定:

- a) 应具有良好的附着力、耐蚀性、抗冲击和抗温度变化的能力;
- b) 应符合 DL/T 5072 的规定。

### 10.2.4 防腐施工与验收

10.2.4.1 防腐涂层施工前应对管道表面进行处理,处理等级宜符合表 23 的规定:

表 23 管道表面除锈等级

底层涂料种类	最低除锈等级
环氧沥青底漆、醇酸树脂底漆	St3 或 Sa2
其他树脂类底漆	Sa2
各类富锌底漆	Sa2.5
注 1：不易维修的重要部件除锈等级不应低于 Sa2.5。 注 2：除锈等级按 GB 8923。	

10.2.4.2 涂层的施工可采用刷涂、滚涂或喷涂方法。

10.2.4.3 涂层厚度应符合设计文件的要求。

10.2.4.4 施工环境应通风良好，并符合下列规定：

- a) 温度宜为 15℃~30℃；
- b) 钢管表面温度应高于露点温度 3℃；
- c) 相对湿度宜不大于 85%；
- d) 遇雨、雾、雪、强风天气不宜进行室外施工；
- e) 不宜在强烈日光照射下施工。

10.2.4.5 防腐工程的检查和验收应符合 DL/T 5072 的规定。

附 录 A  
(规范性附录)  
材料的许用应力

A.1 钢管材料许用应力

钢管材料许用应力见表 A.1。

A.2 钢板材料许用应力

钢板材料许用应力见表 A.2。

表 A.1 钢管材料许用应力表

产品形式 及标准号	牌号或级别	室温拉伸强度 MPa		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																				
		$R_m$	$R_{eL}$ 或 $R_{p0.2}$	20	200	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	
无缝钢管																								
GB 5310	20G	410~550	245	137	135	125	123	120	118	115	113	111	109	106	102	100	97	95	92	89	87	83	78	
	15MoG	450~600	270	150	150	137	133	130	126	123	120	118	117	115	114	113	111	110	109	108	107	106	105	
	12CrMoG	410~560	205	137	121	117	116	115	115	114	113	112	112	111	111	110	109	108	108	107	106	105	104	
	15CrMoG	440~640	295	147	135	146	146	146	145	144	143	141	140	138	136	135	132	132	131	129	128	127	126	
	12Cr2MoG	450~600	280	150	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	123	123	123	123	122	
	12Cr1MoVG	470~640	255	157	157	156	155	154	153	152	151	149	148	146	144	143	141	140	138	137	135	133	132	
	15Ni1MnMoNbCu	620~780	440	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207								
	10Cr9Mo1VNbN <75 mm	585~830	415	168	167	166	165	165	164	164	164	163	163	162	161	161	159	157	156	154	153	150	148	
	10Cr9Mo1VNbN ≥75 mm	585~830	415	168	167	166	165	165	164	164	164	163	163	162	161	161	159	157	156	154	153	150	148	

表 A.1 (续)

产品形式 及标准号	牌号或级别	室温拉伸强度 MPa		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																							
		$R_m$	$R_{el}$ 或 $R_{p0.2}$	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	
无缝钢管																											
GB 5310	20G	410~550	245	72	63	55																					
	15MoG	450~600	270	104	103	103	102	101	95	78	62	49	39														
	12CrMoG	410~560	205	102	101	100	98	97	96	86	75	63	55	47													
	15CrMoG	440~640	295	125	124	123	122	120	119	112	96	82	69	59	49												
	12Cr2MoG	450~600	280	122	121	116	110	103	95	88	81	74	68	61	54	48	42	37									
	12Cr1MoVG	470~640	255	131	130	128	126	125	124	121	118	99	88	79	72	65	58	52	46								
	15Ni1MnMoNbCu	620~780	440																								
	10Cr9Mo1VNbN <75 mm	585~830	415	145	143	141	138	135	132	129	126	122	118	115	111	107	99.6	92.2	83.8	74.4	65.0	57.2	49.4	42.0	35.5	28.9	
	10Cr9Mo1VNbN ≥75 mm	585~830	415	145	143	141	138	135	132	129	126	122	119	115	109	103	94.0	85.0	76.8	69.2	61.6	55.2	48.8	42.3	35.6	28.9	

表 A.1 (续)

产品形式 及标准号	牌号或级别	室温拉伸强度 MPa		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																			
		$R_m$	$R_{cl}$ 或 $R_{p0.2}$	20	200	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420
无缝钢管																							
GB 5310	07Cr19Ni10	$\geq 515$	205	137	126	122	120	119	118	117	116	115	114	113	112	111	108	109	108	107	107	106	105
	07Cr18Ni11Nb	$\geq 520$	205	138	117	105	103	102	101	100	100	99	98	97	96	96	95	95	94	94	94	94	93
GB 3087	10	335~475	195 (205)	111	111	104	101	98	96	93	91	89	87	85	83	80	78	76	75	73	70	68	66
	20	410~550	225 (245)	137	135	125	123	120	118	115	113	111	109	106	102	100	97	95	92	89	87	83	78
GB 8163	Q345	470~630	315	156	156	149	146	143	140	137	135	132	131	130	130	129	127	124	122				
	10	335~475	195 (205)	111	111	104	101	98	96	93	91	89	87	85	83	80	78	76	75	73	70	68	66
	20	410~550	225 (245)	137	135	125	123	120	118	115	113	111	109	106	102	100	97	95	92	89	87	83	78
焊接钢管																							
GB/T 3091	Q235B	$\geq 370$	225 (235)	123	123	113	111	108	105	103	101	97	93	90	88	85							
	Q345	$\geq 470$	325 (345)	156	156	149	146	143	140	137	135	132	131	130	130	129	127	124	122				

表 A.1 (续)

产品形式 及标准号	牌号或级别	室温拉伸强度 MPa		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																								
		$R_m$	$R_{el}$ 或 $R_{p0.2}$	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	
无缝钢管																												
GB 5310	07Cr19Ni10	≥515	205	104	103	103	102	101	100	99	99	98	98	97	95	93	87	82	76	71	65	59	54	49	45	42	41	
	07Cr18Ni11Nb	≥520	205	93	93	93	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	91	90	89	81	73	66	60	54	48	
GB 3087	10	335~475	195 (205)	61	55	49																						
	20	410~550	225 (245)	72	63	55																						
GB 8163	Q345	470~630	315																									
	10	335~475	195 (205)	61	55	49																						
	20	410~550	225 (245)	72	63	55																						
焊接钢管																												
GB/T 3091	Q235B	≥370	225 (235)																									
	Q345	≥470	325 (345)																									
<p>注 1: 相邻金属温度数值之间的许用应力可用算数内插法确定, 并舍弃小数点后的数字。</p> <p>注 2: 粗线右方的许用应力值由长期高温性能决定。</p> <p>注 3: 焊接钢管的许用应力未考虑纵向焊接接头系数。</p>																												

表 A.2 钢板材料许用应力表

产品形式 及标准号	牌号或级别		室温拉伸强度		在下列温度(°C)下的许用应力																			
			MPa		MPa																			
			$R_m$	$R_{cl}$ 或 $R_{p0.2}$	20	200	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420
GB 713	Q245R	$3 < t \leq 16$	400~520	245	133	124	111	109	107	105	103	102	100	98	96	94	92	91	90	88	87	86	84	81
		$16 < t \leq 36$	400~520	235	133	124	111	109	107	105	103	102	100	98	96	94	92	91	90	88	87	86	84	81
		$36 < t \leq 60$	400~520	225	133	119	107	105	103	101	99	98	96	94	92	90	88	87	86	84	83	82	81	80
	Q345R	$\leq 16$	510~640	345	170	166	156	154	151	148	146	143	141	139	137	135	133	132	130	129	128	126		
		$t \leq 36$	500~630	325	166	166	156	154	151	148	146	143	141	139	137	135	133	132	130	129	128	126		
		$36 < t \leq 60$	490~620	315	163	160	146	144	141	138	136	133	131	129	127	125	123	122	120	119	118	116		
		$60 < t \leq 100$	490~620	305	163	150	136	134	131	128	126	123	122	120	119	118	116	115	114	112	111	110		
	15CrMoR	$6 < t \leq 60$	450~590	295	150	150	150	148	146	144	142	140	138	137	136	134	133	131	130	128	127	126	124	123
		$60 < t \leq 100$	450~590	275	150	150	140	138	136	134	132	130	129	128	126	125	124	122	121	120	118	117	116	114
	12Cr1MoVR	$6 < t \leq 60$	440~590	245	146	133	126	124	122	121	119	117	116	114	113	112	111	110	108	107	106	104	103	102
		$60 < t \leq 100$	430~580	235	143	133	126	124	122	121	119	117	116	114	113	112	111	110	108	107	106	104	103	102
	GB/T 3274	Q235		370~500	225 (235)	123	123	113	111	108	105	103	101	97	93	90	88	85						
Q345			470~630	325 (345)	156	156	149	146	143	140	137	135	132	131	130	129	127	124	122					

表 A.2 (续)

产品形式 及标准号	牌号或级别	室温拉伸强度 MPa		在下列温度(℃)下的许用应力 MPa																	
		$R_m$	$R_{eL}$ 或 $R_{p0.2}$	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580		
GB 713	Q245R	$3 < t \leq 16$	400~520	245	72	63	55														
		$16 < t \leq 36$	400~520	235	72	63	55														
		$36 < t \leq 60$	400~520	225	72	63	55														
	Q345R	$\leq 16$	510~640	345																	
		$t \leq 36$	500~630	325																	
		$36 < t \leq 60$	490~620	315																	
		$60 < t \leq 100$	490~620	305																	
	15CrMoR	$20 < t \leq 60$	450~590	295	122	120	119	118	118	117	112	96	82	69	59	49	41				
		$60 < t \leq 100$	450~590	275	113	112	111	110	110	109	108	96	82	69	59	49	41				
	12Cr1MoVR	$6 < t \leq 60$	440~590	245	101	100	100	98	97	96	95	94	93	88	79	72	65	58			
$60 < t \leq 100$		430~580	235	101	100	100	98	97	96	95	94	93	88	79	72	65	58				
GB/T 3274	Q235		370~500	235																	
	Q345		490~665	315																	

注 1: 相邻金属温度数值之间的许用应力可用算数内插法确定, 并舍弃小数点后的数字。

注 2: 粗线右方的许用应力值由长期高温性能决定。

注 3: 焊接钢管的许用应力未考虑纵向焊接接头系数。

**附 录 B**  
(资料性附录)  
常用材料物理性能

**B.1 常用钢材的弹性模量**

常用钢材的弹性模量见表 B.1。

**B.2 常用国产钢材的平均热膨胀系数**

常用国产钢材的平均热膨胀系数见表 B.2。

表 B.1 常用钢材的弹性模量数据表

单位为吉帕

钢号	10	20.20G	15MoG	12CrMoG	15CrMoG	12Cr1MoVG	12Cr2MoG	15Ni1MnMoNbCu	10Cr9Mo1VNbN	Q235	Q345	07Cr19Ni10	07Cr18Ni11Nb	
标准号	GB 3087	GB 3087 GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 700	GB 8163	GB 5310	GB 5310	
设计 温度 / ℃	20	198	198	210	213	206	208	218	218	218	206	206	197	200
	100	191	183	203	209	199	205	213	213	213	200	200	193	196
	200	181	175	195	202	190	201	206	210	210	192	189	185	188
	250	176	171	—	—	187	197	—	207	207	188	185	—	—
	260	175	170	—	—	186	196	—	—	—	187	184	—	—
	280	173	168	—	—	183	194	—	—	—	186	183	—	—
	300	171	166	185	193	181	192	199	199	199	184	181	178	181
	320	168	165	—	—	179	190	—	—	—	—	179	—	—
	340	166	163	—	—	177	188	—	—	—	—	177	—	—
	350	164	162	—	—	176	187	—	195	195	—	176	—	—
	360	163	161	—	—	175	186	—	—	—	—	175	—	—
	380	160	159	—	—	173	183	—	—	—	—	173	—	—
	400	157	158	175	185	172	181	191	190	190	—	171	169	172
	410	156	155	—	—	171	180	—	—	—	—	—	—	—
	420	155	153	—	—	170	178	—	—	—	—	—	—	—
	430	155	151	—	—	169	177	—	—	—	—	—	—	—
440	154	148	—	—	168	175	—	—	—	—	—	—	—	
450	153	146	—	—	167	174	—	186	186	—	—	—	—	

表 B.1 (续)

单位为吉帕

钢号	10	20.20G	15MoG	12CrMoG	15CrMoG	12Cr1MoVG	12Cr2MoG	15Ni1MnMoNbCu	10Cr9Mo1VNbN	Q235	Q345	07Cr19Ni10	07Cr18Ni11Nb	
标准号	GB 3087	GB 3087 GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 700	GB 8163	GB 5310	GB 5310	
设计 温度 / ℃	460	—	144	—	—	166	172	—	—	—	—	—	—	
	470	—	141	—	176	165	170	—	—	—	—	—	—	
	480	—	129	—	—	164	168	—	—	—	—	—	—	
	490	—	—	—	—	164	166	—	—	—	—	—	—	
	500	—	—	165	—	163	165	181	—	181	—	—	161	163
	510	—	—	—	—	162	163	—	—	—	—	—	—	
	520	—	—	—	—	161	162	—	—	—	—	—	—	
	530	—	—	—	—	160	160	—	—	—	—	—	—	
	540	—	—	—	—	159	158	—	—	—	—	—	—	
	550	—	—	—	—	—	157	—	—	175	—	—	157	160
	560	—	—	—	—	—	153	—	—	—	—	—	—	
	570	—	—	—	—	—	153	—	—	—	—	—	—	
	580	—	—	—	—	—	152	170	—	—	—	—	—	
	590	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	600	—	—	—	—	—	—	—	—	168	—	—	154	156
650	—	—	—	—	—	—	—	—	162	—	—	149	151	

表 B.2 常用国产钢材的平均热膨胀系数表(从 20 °C 至下列温度)( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )

钢号	10	20.20G	15CrMoG	12Cr1MoVG	15MoG	12Cr2MoG	15Ni1MnMoNbCu	12CrMoG <sup>a</sup>	10Cr9Mo1VNbN	07Cr19Ni10	07Cr18Ni11Nb	Q235	Q345	
标准号	GB 3087	GB 3087 GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 14980	GB 8163	
设计 温度 / °C	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	50	—	—	—	—	—	11.8	—	10.6	—	—	—	—	
	100	11.9	11.16	11.9	13.6	12.5	12	12.2	11.2	10.9	17.1	17.3	12.2	8.31
	150	—	—	—	—	—	—	12.5	—	11.1	—	—	—	—
	200	12.6	12.12	12.6	13.7	13.1	13	12.9	12.5	11.3	17.4	17.5	13	10.99
	250	12.7	12.45	12.9	13.85	—	—	13.2	—	11.5	—	—	13.23	11.6
	260	12.72	12.52	12.96	13.88	—	—	—	—	—	—	—	13.27	11.78
	280	12.76	12.65	13.08	13.94	—	—	—	—	—	—	—	13.36	12.05
	300	12.8	12.78	13.2	14	13.6	13	13.4	12.7	11.7	17.8	17.7	13.45	12.31
	320	12.84	12.99	13.3	14.04	—	—	—	—	—	—	—	—	12.49
	340	12.88	13.2	13.4	14.08	—	—	—	—	—	—	—	—	12.68
	350	12.9	13.31	13.45	14.1	—	—	13.7	—	11.8	—	—	—	12.77
	360	12.92	13.41	13.5	14.12	—	—	—	—	—	—	—	—	12.86
	380	12.96	13.62	13.6	14.16	—	—	—	—	—	—	—	—	13.04
	400	13	13.83	13.7	14.2	14.0	14	14.0	12.9	12	18.3	18.2	—	13.22
	410	13.1	13.84	13.73	14.23	—	—	—	—	—	—	—	—	—
420	13.2	13.85	13.76	14.26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
430	13.3	13.86	13.79	14.29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
440	13.4	13.87	13.82	14.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

表 B.2 (续)

钢号	10	20.20G	15CrMoG	12Cr1MoVG	15MoG	12Cr2MoG	15Ni1MnMoNbCu	12CrMoG <sup>a</sup>	10Cr9Mo1V.Nb.N	07Cr19Ni10	07Cr18Ni11Nb	Q235	Q345	
标准号	GB 3087	GB 3087 GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 5310	GB 14980	GB 8163	
设计 温度 / ℃	450	13.5	13.88	13.85	14.35	—	—	14.1	13.2	11.9	—	—	—	
	460	—	13.89	13.88	14.38	—	—	—	—	—	—	—	—	
	470	—	13.9	13.91	14.41	—	—	—	—	—	—	—	—	
	480	—	13.91	13.94	14.44	—	—	—	—	—	—	—	—	
	490	—	—	13.97	14.47	—	—	—	—	—	—	—	—	
	500	—	—	14	14.5	14.4	14	—	13.5	12.0	18.8	18.6	—	—
	510	—	—	14.03	14.52	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	520	—	—	14.06	14.54	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	530	—	—	14.09	14.56	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	540	—	—	14.12	14.58	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	550	—	—	—	14.6	—	—	—	13.8	12.3	18.9	18.7	—	—
	560	—	—	—	14.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	570	—	—	—	14.64	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	580	—	—	—	14.68	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	590	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	600	—	—	—	—	14.7	—	—	12.6	12.5	—	—	—	—
650	—	—	—	—	—	—	—	12.7	12.6	19.2	19.1	—	—	

<sup>a</sup> 12CrMoG 的线膨胀系数是从 25℃ 至表中温度。

附录 C

(规范性附录)

柔性系数和应力增加系数

C.1 柔性系数和应力增加系数

柔性系数和应力增加系数见表 C.1。

表 C.1 柔性系数和应力增加系数

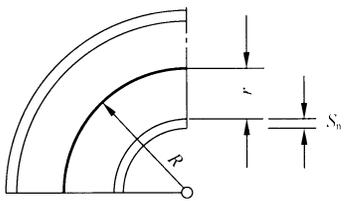
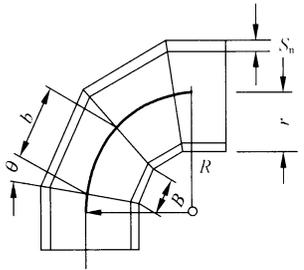
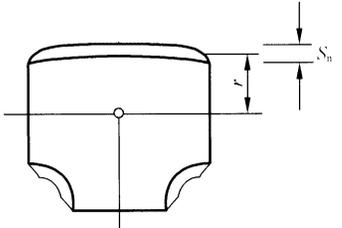
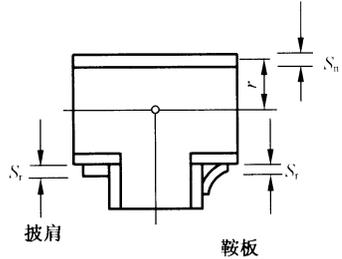
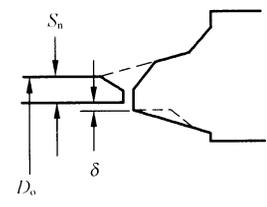
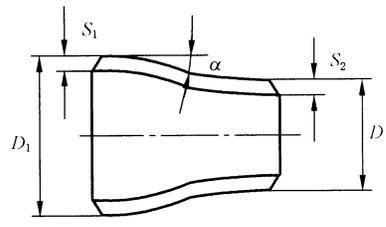
名称	尺寸系数 $h$	柔性系数 $k$	应力增加系数 $i$	简图
弯制弯管和弯头 [见 C.2 a), C.2 b), C.2 h), C.2 i)]	$\frac{S_n R}{r^2}$	$\frac{1.65}{h}$	$\frac{0.9}{h^{2.3}}$	
窄间距焊接弯管 [见 C.2 a), C.2 b), C.2 d)] $b < r(1 + \tan\theta)$ , $B \geq 6S_n$ , $\theta \leq 22.5^\circ$ , $R = \frac{bcot\theta}{2}$	$\frac{bS_n cot\theta}{2r^2}$	$\frac{1.52}{h^{2.6}}$	$\frac{0.9}{h^{2.3}}$	
锻制三通按 ASME B16.9 [见 C.2a), C.2i)]	$\frac{4.4S_n}{r}$	1	$\frac{0.9}{h^{2.3}}$	
加强三通 [见 C.2a), C.2d), C.2i)]	$\frac{(S_n + \frac{S_r}{2})^{3.2}}{r(S_n)^{3.2}}$	1	$\frac{0.9}{h^{2.3}}$	

表 C.1 (续)

名称	尺寸系数 $h$	柔性系数 $k$	应力增加系数 $i$	简图
无加强三通 [见 C.2a), C.2i)]	$\frac{S_n}{r}$	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	
支管焊接管件(整体补强型) 按 MSS SP-97 [见 C.2a)]	$\frac{3.3S_n}{r}$	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	
挤压三通 [见 C.2a)]	$(1 + \frac{r_x}{r}) \frac{S_n}{r}$	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	
嵌入式焊接三通 [见 C.2a)]	$\frac{4.4S_n}{r}$	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	
对接焊[见 C.2k)] $S \geq 6 \text{ mm}$ $\delta_{\max} \leq 1.6 \text{ mm},$ $\delta_{\text{avg}}/S \leq 0.13$		1	1.0	
对接焊[见 C.2k)] $S \geq 6 \text{ mm}$ $\delta_{\max} \leq 3.2 \text{ mm},$ $\delta_{\text{avg}}/S = \text{任何值}$		1	$0.9 + 2.7(\delta_{\text{avg}}/S)$ 最小 1.0, 最大 1.9	
对接焊[见 C.2k)] $S \geq 6 \text{ mm}$ $\delta_{\max} \leq 1.6 \text{ mm},$ $\delta_{\text{avg}}/S \leq 0.33$		1		

表 C.1 (续)

名称	尺寸系数 $h$	柔性系数 $k$	应力增加系数 $i$	简图
角焊[见 C.2 j)]		1	2.1 或 1.3	见图 C.4
扩口过渡段		1	$1.3 + 0.036 \frac{D_o}{S_n} + 3.6 \frac{\delta}{S_n}$ 最大 1.9	
同心大小头 [见 C.2f)]		1	$0.5 + 0.01\alpha \left(\frac{D_2}{S_2}\right)^{\frac{1}{2}}$ 最大 1.9	
螺纹接管头或螺纹法兰		1	2.3	
波纹直管头或带波纹或皱纹弯管 [见 C.2g)]		5	2.5	
支管[见 C.2e)]		1	校核支管端部: $1.5 \left(\frac{r_{mh}}{S_{nh}}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{r'_{mh}}{r_{mh}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{S_{nb}}{S_{nh}}\right) \cdot \left(\frac{r'_{mb}}{r_p}\right)$ 参数见图 C.3 说明	见图 C.3
<p>注:</p> <p><math>B</math> —— 焊接弯管斜接过渡段内侧的长度, mm;</p> <p><math>D_o</math> —— 管子外径, mm;</p> <p><math>D_{ob}</math> —— 支管外径, mm;</p> <p><math>R</math> —— 弯头或弯管的弯曲半径, mm;</p> <p><math>r</math> —— 管子平均半径(与三通相连接的管子), mm;</p> <p><math>r_x</math> —— 插入式焊接件的外部转角半径, mm;</p> <p><math>r_2</math> —— 外角半径, mm;</p> <p><math>b</math> —— 焊接弯管斜接段在中心线的长度, mm;</p> <p><math>T_c</math> —— 插入式焊接件的背脊厚度, mm;</p> <p><math>S_n</math> —— 直管公称壁厚(与三通相连接的管子), mm;</p> <p><math>S_r</math> —— 披肩加强或鞍板加强元件的厚度, mm;</p> <p><math>\alpha</math> —— 异径接头锥角, (<math>^\circ</math>);</p> <p><math>\delta</math> —— 对接焊口的错边(<math>\delta_{avg}</math> 为平均值), mm;</p> <p><math>\theta</math> —— 焊接弯管斜接轴线夹角的半角, (<math>^\circ</math>).</p>				

## C.2 表 C.1 说明

柔性系数和应力增加系数在表 C.1 中已经给出,对于一些名称的说明如下:

- a) 表 C.1 中的柔性系数  $k$  和应力增加系数  $i$  适用于部件在任何平面内的弯曲,但在任何情况下都不得小于 1。这两个系数对于弯管、弯头和焊接弯管用于有效弧长(详见简图中的粗中心线);对于三通用于交叉点。 $k$  和  $i$  值可按由所给公式计算的尺寸系数  $h$  直接从图 C.1 中读得。
- b) 对于一端或两端装有法兰的管道,其  $k$  和  $i$  值应乘以  $c$  值加以修正。两端装有法兰者, $c = h^{1.3}$ ;一端装有法兰者, $c = h^{1.6}$ 。 $c$  值也可按计算出的  $h$  直接从图 C.2 中读得。
- c) 包括单斜角连接。
- d) 当  $S_r > 1.5S_n$  时, $h = 4.05S_n/r$ 。
- e) 只有满足下述条件才能适用此公式:
  - 1) 接管座已满足开孔补强的要求;
  - 2) 支管之轴垂直于主管壁的表面;
  - 3) 对于主管上有几个接管座者,相邻两个接管座之间的中心距,沿主管外表面所测得的弧长在轴向上不得小于该两个接管座内半径总和的 3 倍或沿主管周向不得小于该两个半径总和的 2 倍;
  - 4) 内角半径  $r_1$  (见图 C.3) 在  $10\%S_{nh}$  和  $50\%S_{nh}$  之间;
  - 5) 外角半径  $r_2$  (见图 C.3) 不得小于  $S_b/2$ 、 $(S_{nb} + Y)/2$  (见图 C.3) 和  $S_{nh}/2$  中的较大值;
  - 6) 外半径  $r_3$  不得小于以下两者中的较大值,见图 C.3):  $0.002\theta d_o$ 、 $2(\sin\theta)^3$  与图 C.3 中图 a)、图 b) 所示的加厚部分的乘积;
  - 7)  $r_{mh}/S_{nh} \leq 50$  和  $r'_{mh}/r_{mh} \leq 0.5$ 。
- f) 只有满足下列条件才能适用此公式:
  - 1) 锥角  $\alpha$  不得大于  $60^\circ$ ,且大小头为同心圆;
  - 2)  $D_1/S_1$  和  $D_2/S_2$  两者取用较大值,但不超过 100;
  - 3) 整个大小头的壁厚不得小于  $S_1$ ,但紧接小头端部除外,该处壁厚不得小于  $S_2$ 。
- g) 所示系数适用于弯曲;对于扭转,柔性系数取 0.9。
- h) 对接焊铸造弯头的壁厚有比连接管子的壁厚大得多,设计者应加以注意,并考虑较大壁厚的影响,否则会造成较大的误差。
- i) 附表中所示的应力增加系数  $i$  是由等径三通的试验中得到的,对于异径三通,在没有获得足够数据之前,可采用等径三通的数据。
- j) 对于套接管件,若焊趾与管壁过渡平滑,则应力增加系数  $i$  可取用 1.3。
- k) 此应力增加系数用于管子壁厚为  $0.875S_n$  和  $1.1S_n$  之间的对接焊口,其轴向距离为  $(D_o S_n)^{1.2}$ 。 $D_o$  为管子公称外径, $S_n$  为直管公称壁厚, $\delta_{avg}$  为错边的平均值。
- l) 对大口径薄壁弯头和焊接弯头的柔性系数和应力增加系数,如果要考虑内压的影响,则可按下列方法修正:
  - 1) 经内压修正后弯头的柔性系数为:

$$k_p = \frac{k}{1 + 6 \frac{p}{E} \left(\frac{r}{S_n}\right)^{7.3} \left(\frac{R}{r}\right)^{1.3}} \dots\dots\dots (C.1)$$

- 2) 经内压修正后弯头的应力增加系数为:

$$i_p = \frac{i}{1 + 3.025 \frac{p}{E} \left(\frac{r}{S_n}\right)^{5.2} \left(\frac{R}{r}\right)^{2.3}} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

- $p$  ——设计内压力,单位为兆帕(MPa)；
- $E$  ——管材的弹性模量,单位为兆帕(MPa)；
- $r$  ——管子平均半径,单位为毫米(mm)；
- $S_n$  ——直管公称壁厚,单位为毫米(mm)；
- $R$  ——弯管的弯曲半径,单位为毫米(mm)。

m) 对于单筋或蝶式加强焊接三通,  $h = 3.25S_n/r, i = 0.9h^{2/3}$ 。

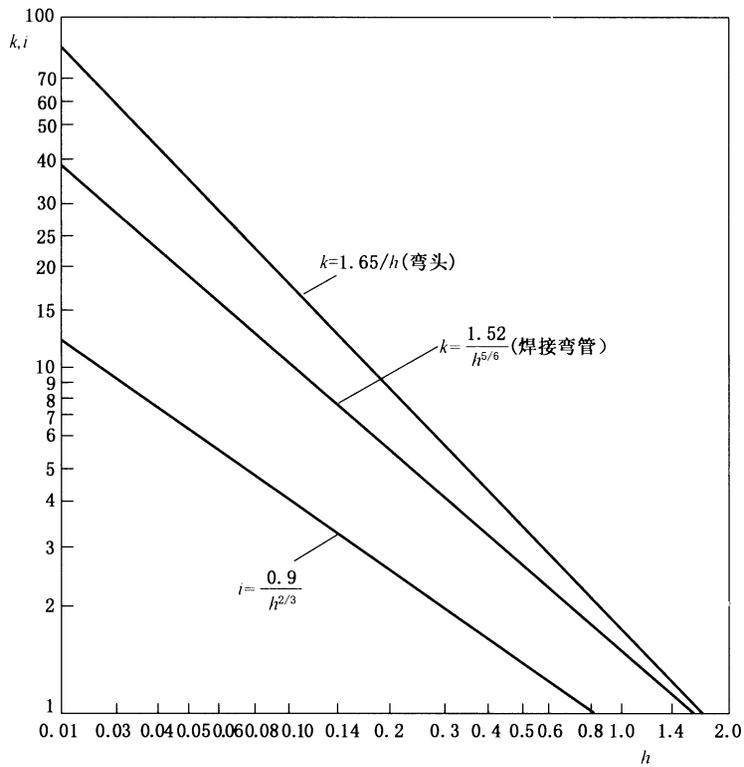


图 C.1 尺寸系数  $h$  与柔性系数  $k$  和应力增加系数  $i$  的关系

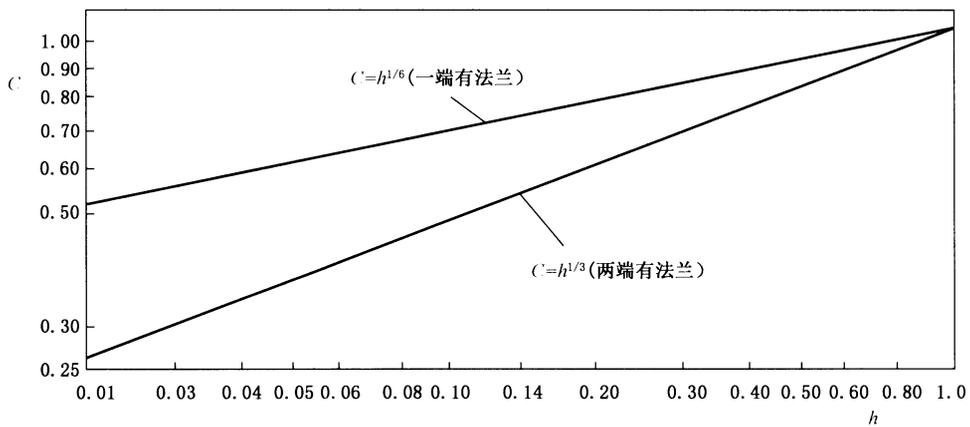
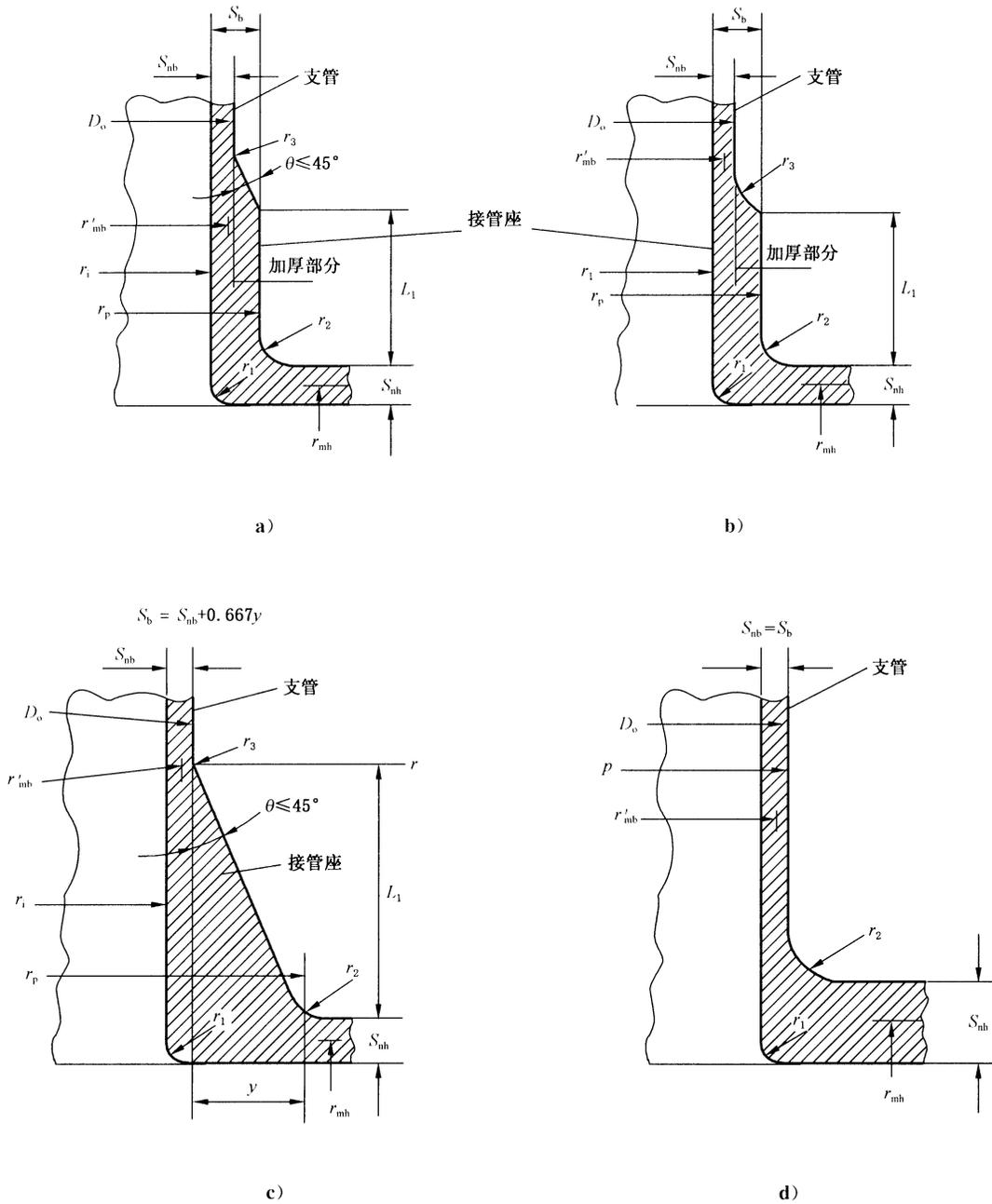


图 C.2 尺寸系数  $h$  与修正系数  $C$  的关系



说明：

- $r'_{mb}$  —— 支管平均半径, mm;
- $S_b$  —— 接管座加强有效厚度, mm;
- $r_i$  —— 支管内半径, mm;
- $S_{nh}$  —— 主管公称壁厚, mm;
- $\theta$  —— 接管座加强部分过渡段角度, ( $^\circ$ );
- $r_1, r_2, r_3$  —— 接管座加强部分过渡区半径, mm。

- $S_{nh}$  —— 支管公称壁厚, mm;
- $r_{mh}$  —— 主管平均半径, mm;
- $D_o$  —— 支管外径, mm;
- $r_p$  —— 接管座加强部分的外半径, mm;
- $L_1$  —— 接管座高度, mm;

图 C.3 接管座的尺寸图

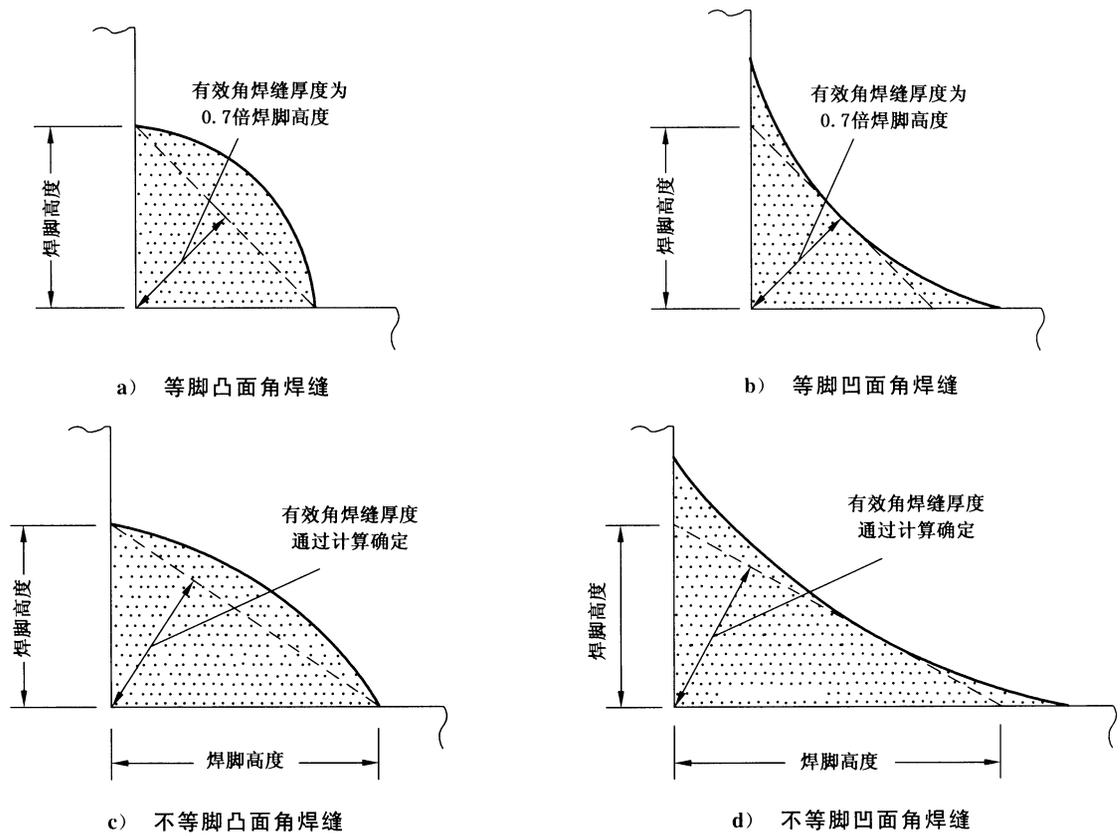


图 C.4 角焊尺寸

**附录 D**  
(资料性附录)  
制作和安装常用资料

**D.1 焊接接头基本形式与尺寸**

焊接接头基本形式与尺寸见表 D.1。

**表 D.1 焊接接头基本形式与尺寸**

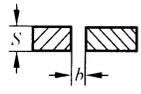
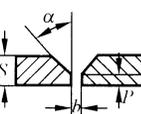
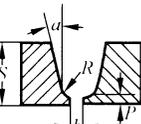
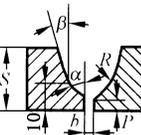
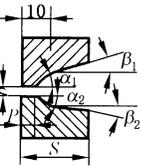
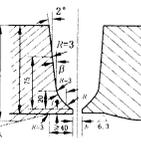
序号	接头类型	坡口形式	图形	焊接方法	焊件厚度 S mm	接头结构尺寸					适用范围
						$\alpha$	$\beta$	B mm	P mm	R mm	
1	对接接头	I型		SMAW OFW GMAW/ FCAW SAW	<3 ≤3 ≤3 8~16	—	—	1~2 1~2 0~1 0~1	—	—	容器和一般钢结构
2	对接接头	V型		SMAW OFW GMAW/ FCAW SAW	≤6 ≤16 ≤16 >16~20	30°~35°	—	视现场情况在焊接作业指导书中规定	0.5~2 1~2 1~2 7	—	各类承压管道, 压力容器和中、薄件承重结构
3	对接接头	U型		SMAW TIG	≤60	10°~15°	—	2~5	0.5~2	5	中、厚壁汽水管道
4	对接接头	双V形 水平管		SMAW TIG	>16	30°~40°	8°~12°	2~5	1~2	5	中、厚壁汽水管道
5	对接接头	双V形 垂直管		SMAW TIG	>16	$\alpha_1 = 35^\circ \sim 40^\circ$ $\alpha_2 = 20^\circ \sim 25^\circ$	$\beta_1 = 15^\circ \sim 20^\circ$ $\beta_2 = 5^\circ \sim 10^\circ$	1~4	1~2	5	中、厚壁汽水管道
6	对接接头	综合型		SMAW TIG FCAW SAW	>60	20°~25°	5°	2~5	2	5	厚壁汽水管道

表 D.1 (续)

序号	接头类型	坡口形式	图形	焊接方法	焊件厚度 S mm	接头结构尺寸					适用范围
						$\alpha$	$\beta$	B mm	P mm	R mm	
7	对接接头	封头		SMAW TIG	管径不限	同厚壁管坡口加工要求					汽水管道 或 联 箱 封头
8	对接接头	堵头		SMAW TIG	直径 $\phi \geq 273$	同厚壁管坡口加工要求					汽水管道 或 联 箱 封头
9	T型接头	管座		SMAW TIG	直径 $\phi \leq 76$	$50^\circ \sim 60^\circ$	$30^\circ \sim 35^\circ$	2~3	1~2	按壁厚 差取	汽水、仪 表取样等 接管座
10	T型接头	管座		SMAW TIG	直径 76~133	$50^\circ \sim 60^\circ$	$30^\circ \sim 35^\circ$	2~3	1~2	—	一般汽水 管道或容 器的接管 座或接头
11	T型接头	K形		SMAW SAW	>20	$50^\circ \sim 60^\circ$	—	1~2	1~2	—	要求焊透 的大型 结构
<p>注：焊接方法：</p> <p>TIG —— 极氩弧焊；</p> <p>SMAW —— 焊条电弧焊；</p> <p>SAW —— 埋弧焊；</p> <p>GMAW —— 熔化极实心气体保护焊；</p> <p>FCAW —— 熔化极药芯气体保护焊；</p> <p>OFW —— 气焊。</p>											

## D.2 常用钢管材料下临界温度近似值

常用钢管材料下临界温度近似值见表 D.2。

表 D.2 常用钢管材料下临界温度近似值

钢 种	下临界温度 $A_{c1}$ ℃
碳素钢	725
C-Mo 钢	730
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb 钢	725

表 D.2 (续)

钢 种	下临界温度 $A_{c1}$ ℃
1Cr-0.5Mo 钢	745
1.25Cr-0.5Mo 钢	775
2.25Cr-1Mo 钢	805
9Cr-1Mo-V 钢	810

## D.3 管道常用钢材推荐焊前预热温度

管道常用钢材推荐焊前预热温度见表 D.3。

表 D.3 管道常用钢材推荐焊前预热温度

钢 种	管 材		板 材	
	壁厚 $S$ mm	预热温度 ℃	厚度 $S$ mm	预热温度 ℃
碳含量 $\leq 0.35\%$ 的碳素钢	$S \geq 26$	100~200	$S \geq 34$	100~150
C-Mn 钢	$S \geq 15$	150~200	$S \geq 30$	
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb 钢	—	100~200	—	—
1Cr-0.5Mo 钢 1.25Cr-0.5Mo 钢	$S \geq 10$	150~250	$S \geq 15$	150~200
1Cr-0.5Mo-V 钢	$S \geq 6$	200~300	$S \geq 6$	200~300
2.25Cr-1Mo 钢	$S \geq 6$	250~350	—	—
9Cr-1Mo-V-Nb 钢	—	200~300	—	200~300

注：当采用钨极氩弧焊打底时，可按下限温度降低 50℃。

## D.4 推荐冷弯成形后的热处理

推荐冷弯成形后的热处理见表 D.4。

表 D.4 推荐冷弯成形后的热处理

钢 种	保温温度 ℃	保温时间
C-Mo 钢 0.5Cr-0.5Mo 钢	600~650	按壁厚, 2.4 min/mm 但至少 15 min
1Cr-0.5Mo 钢 1Cr-0.5Mo-V 钢 1.25Cr-1Mo 钢	700~750	
2.25Cr-1Mo 钢 3Cr-1Mo 钢 9Cr-1Mo 钢 9Cr-1Mo-V 钢 9Cr-1Mo-V-Nb 钢	700~750	

## D.5 推荐的管道常用钢材焊后热处理

推荐的管道常用钢材焊后热处理见表 D.5。

表 D.5 推荐的管道常用钢材焊后热处理

钢 种	焊后恒温温度 ℃	焊件厚度 S						
		mm						
		$S \leq 12.5$	$12.5 < S \leq 25$	$25 < S \leq 37.5$	$37.5 < S \leq 50$	$50 < S \leq 75$	$75 < S \leq 100$	$100 < S \leq 125$
恒温时间 h								
碳含量 $\leq 0.35\%$ C-Mn 钢	600~650	—	—	1.5	2	2.25	2.5	2.75
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb 钢	570~620	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75
1Cr-0.5Mo 钢 1.25Cr-0.5Mo 钢	670~700	0.5	1	1.5	2	2.25	2.5	2.75
2.25Cr-1Mo 钢	720~750	0.5	1	1.5	2	3	4	5
9Cr-1Mo-V-Nb 钢	750~780	0.5	1	1.5	2	3	4	5

注 1: 不同壁厚部件焊接接头焊后热处理厚度,应取下述两者中的较小值:  
a) 焊缝厚度;  
b) 焊缝处连接材料的较厚者。

注 2: 焊缝厚度按照下述方法确定:  
a) 坡口焊缝:坡口加工后,包括内倒角加工后,两相接端壁厚较大者;  
b) 角焊缝:焊缝厚度;  
c) 材料焊补:被修补凹坑的深度;  
d) 支管焊缝:是指与纵向轴线相交的平面内尺寸。

附录 E  
(规范性附录)  
管道预制组对偏差

E.1 管道预制组对偏差示意图

管道预制组对偏差示意图见图 E.1。

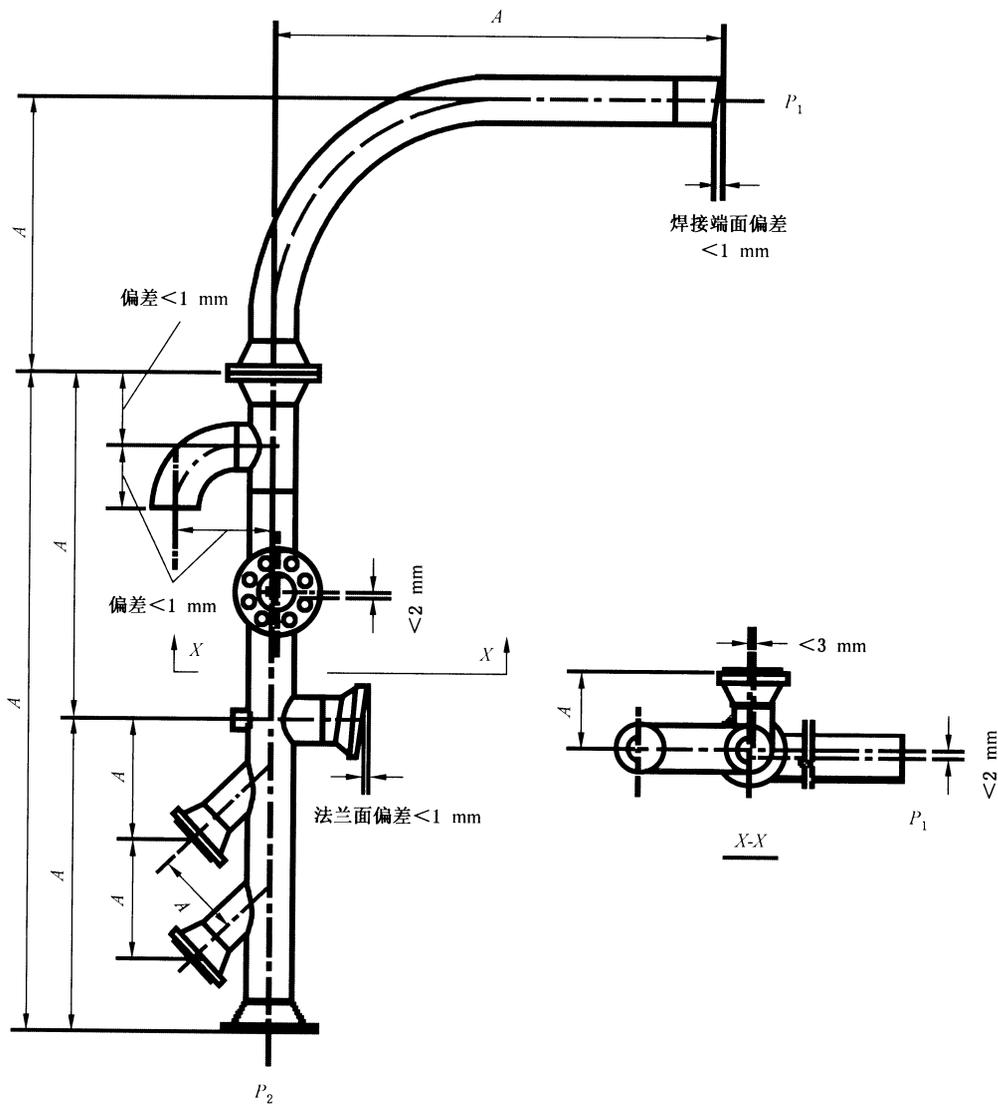


图 E.1 管道预制组对偏差示意图

E.2 长度偏差

E.2.1 管道组对尺寸  $A$  的偏差  $\Delta A$  不应大于总长度的千分之一,且满足下述要求:

- a) 管道公称尺寸 250 及以下,  $\Delta A$  为  $\pm 3$  mm;

- b) 管道大于公称尺寸 250~600,  $\Delta A$  为  $\pm 5$  mm;
- c) 管道大于公称尺寸 600~900,  $\Delta A$  为  $\pm 6$  mm;
- d) 管道大于公称尺寸 900, 每增加 300, 允许  $\Delta A$  的绝对值增加 2 mm, 即:  $|\Delta A| = 6 + 2 + \dots$ 。

**E.2.2** 接管座中心线相对管道中心线的偏差应满足以下要求:

- a) 当接管座外径大于 50 mm 时, 偏差不应超过 1 mm。
- b) 当接管座外径小于等于 50 mm 时, 偏差不应超过 1.5 mm。
- c) 当有两个以上接管座时, 其相邻两支管中心距的偏差为:
  - 1) 当间距小于等于 260 mm 时, 偏差为  $\pm 1.5$  mm;
  - 2) 当间距为大于 260 mm~500 mm 时, 偏差为  $\pm 2$  mm;
  - 3) 当间距大于 500 mm~1 000 mm 时, 偏差为  $\pm 2.5$  mm;
  - 4) 当间距大于 1 000 mm 时, 偏差为  $\pm 3$  mm。

**E.2.3** 法兰偏差应符合以下规定:

- a) 法兰平面垂直度偏差应小于 1 mm;
- b) 法兰中心线与管道中心线的位置偏差  $\Delta$  应小于 2 mm, 与管道垂直截面的位置偏差应小于 2 mm。

**E.2.4** 管段的两端  $P_1$  和  $P_2$  对于平面的允许偏差为  $\pm 3$  mm, 并且整体平整要求见 E.1 图中 X-X 剖面。

附 录 F  
(规范性附录)  
安全泄放装置的计算

### F.1 符号

$A$ ——安全阀的最小泄放面积,  $\text{mm}^2$ ;

对全启式安全阀, 即  $h \geq \frac{1}{4}d_1$  时,  $A = \frac{\pi}{4}d_1^2$ ;

对微启式安全阀, 即  $h < \frac{1}{20}d_1$  时, 平面型密封面  $A = \pi d_1 h$ ; 锥面型密封面  $A = \pi d_1 h \sin \phi$ ;

$C$ ——气体特性系数, 按式(F.1)求取;

$$C = 520 \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \dots\dots\dots (F.1)$$

$d$ ——入口管内径,  $\text{mm}$ ;

$d_1$ ——安全阀最小流道直径(阀座喉部直径),  $\text{mm}$ ;

$d_v$ ——安全阀阀座内径,  $\text{mm}$ ;

$H$ ——最大输入热量,  $\text{kJ/h}$ ;

$h$ ——安全阀的阀瓣开启高度,  $\text{mm}$ ;

$K$ ——安全阀的额定泄放系数,  $K$  取 0.9 倍泄放系数(泄放系数与阀的结构有关, 应根据实验数据确定, 通常由安全阀制造厂提供);

无参考数据时, 可按下列规定选取:

全启式安全阀  $K = 0.60 \sim 0.70$ ;

带调节圈的微启式安全阀  $K = 0.40 \sim 0.50$ ;

不带调节圈的微启式安全阀  $K = 0.25 \sim 0.35$ ;

$k$ ——气体绝热指数(过热蒸汽取 1.3; 饱和蒸汽取 1.135);

$M$ ——气体的摩尔质量,  $\text{kg/kmol}$ ;

$p_d$ ——安全阀的最大泄放压力,  $\text{MPa(a)}$ ;

$p_o$ ——安全阀出口侧压力,  $\text{MPa(绝压)}$ ;

$q$ ——在泄放压力下, 液体汽化潜热,  $\text{kJ/kg}$ ;

$T$ ——泄放的气体温度,  $\text{K}$ ;

$W_s$ ——系统的安全泄放量,  $\text{kg/h}$ ;

$Z$ ——在泄放压力及温度下, 气体的压缩系数, 如图 F.1 所示;

$\rho_l$ ——安全阀入口侧温度下的液体密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$\phi$ ——锥型密封面的半锥角,  $(^\circ)$ 。

### F.2 安全泄放量计算

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。

蒸汽发生器等产生蒸汽换热设备的系统及充满水封闭管道系统中水受热汽化的安全泄放量按式(F.2)计算:

$$W_s = H/q \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

### F.3 安全阀的最小泄放面积计算

#### F.3.1 蒸汽

最小泄放面积计算见式(F.3)、式(F.4):

a) 临界条件:

$$\frac{p_o}{p_d} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$A = \frac{W_s}{0.076CKP_d \sqrt{\frac{M}{ZT}}} \quad \dots\dots\dots (F.3)$$

b) 亚临界条件:

$$\frac{p_o}{p_d} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$A = \frac{W_s}{55.84KP_d \sqrt{\frac{M}{ZT}} \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[ \left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

#### F.3.2 水

最小泄放面积计算见式(F.5):

$$A = \frac{W_s}{5.1K\sqrt{\rho_1(p_d - p_o)}} \quad \dots\dots\dots (F.5)$$

#### F.3.3 饱和蒸汽

饱和蒸汽中蒸汽含量不小于98%,最大过热度为10℃。最小泄放面积计算见式(F.6)、式(F.7):

a) 当  $p_d \leq 10$  MPa 时:

$$A = \frac{W_s}{5.25Kp_d} \quad \dots\dots\dots (F.6)$$

b) 当  $10 \text{ MPa} < p_d \leq 22 \text{ MPa}$  时:

$$A = \frac{W_s}{5.25 K p_d \left( \frac{190.6 p_d - 6 895}{229.2 p_d - 7 315} \right)} \quad \dots\dots\dots (F.7)$$

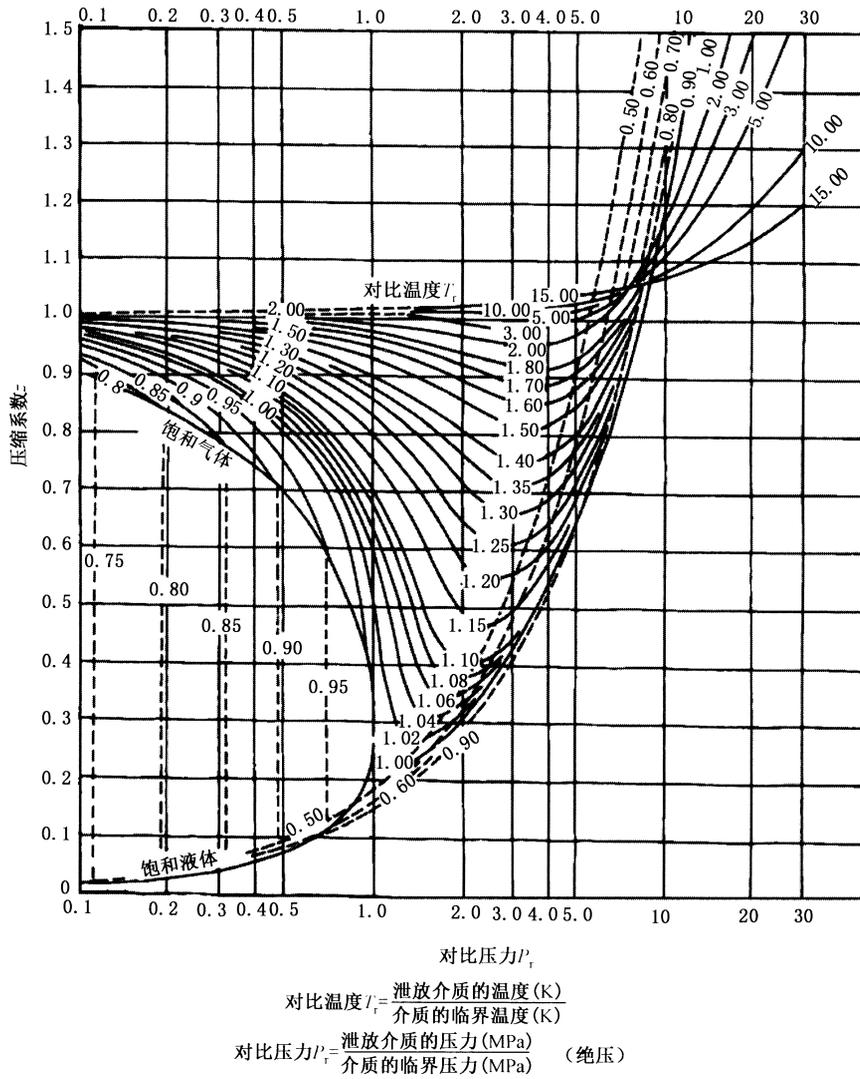


图 F.1 气体压缩系数

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
压 力 管 道 规 范 动 力 管 道  
GB/T 32270—2015

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

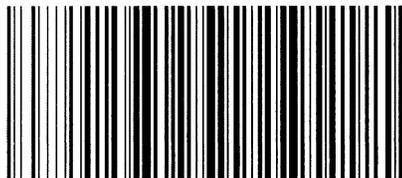
\*

开本 880×1230 1/16 印张 5.5 字数 166 千字  
2016年1月第一版 2016年1月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-52403 定价 72.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 32270-2015