



中华人民共和国国家标准

GB/T 32270—2024

代替 GB/T 32270—2015

压力管道规范 动力管道

Pressure piping code—Power piping

2024-04-25 发布

2024-04-25 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 | 2 |
| 3 术语和定义 | 5 |
| 4 材料 | 8 |
| 5 设计与计算 | 11 |
| 6 制作与安装 | 34 |
| 7 检查、检验与试验 | 57 |
| 8 安全防护 | 66 |
| 9 保温及防腐 | 68 |
| 附录 A (规范性) 材料的许用应力 | 71 |
| 附录 B (资料性) 常用材料物理性能 | 77 |
| 附录 C (规范性) 柔性系数和应力增加系数 | 82 |
| 附录 D (规范性) 管道布置 | 88 |
| 附录 E (资料性) 制作和安装常用资料 | 92 |
| 附录 F (规范性) 管道预制组对偏差 | 94 |
| 附录 G (规范性) 安全泄放装置的计算 | 96 |
| 参考文献 | 99 |

前 言

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

本文件代替 GB/T 32270—2015《压力管道规范动力管道》，与 GB/T 32270—2015 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了部分术语和定义(见 3.28、3.29、3.30、3.31、3.32)；
- 删除了部分术语和定义(见 2015 年版的 3.21、3.22)；
- 删除了管道分级(见 2015 年版的第 4 章)；
- 更改了直缝电熔焊钢管和对应的管件的使用规定(见 4.3.1.2, 2015 年版的 5.3.1.2)；
- 更改了管道支吊架材料的相关规定(见 4.3.2, 2015 年版的 5.3.2)；
- 增加了含铬钢材料的使用的相关规定(见 4.3.4.1)；
- 删除了设计压力的“GD 类”要求(2015 年版的 6.1.1.2、6.1.1.3)；
- 更改了所列标准以外的管道组成件的选用要求(见 5.2.1.3, 2015 年版的 6.2.1.3)；
- 增加了对焊管件的最小壁厚要求(见 5.2.1.6)；
- 增加了发电厂范围油气管道的材料选用要求(见 5.2.2.5~5.2.2.7)；
- 更改了法兰盖的型式尺寸标准(见 5.2.7.2, 2015 年版的 6.2.7.2)；
- 更改了阀门型式选择部分规定(见 5.2.8.5, 2015 年版的 6.2.8.5)；
- 更改了法兰型式选择部分规定(见 5.2.9.1, 2015 年版的 6.2.9.1)；
- 更改了补偿器的选用要求(见 5.2.10.1, 2015 年版的 6.2.10.1)；
- 增加了“管道组成件的取用厚度不应小于直管最小壁厚”的要求(见 5.3.1.2)；
- 更改了管子最小壁厚计算公式中管子外径取值要求(见 5.3.2.1, 2015 年版的 6.3.2.1)；
- 更改了面积补强法适用的支管连接形式(见 5.3.4.2, 2015 年版的 6.3.4.2)；
- 增加了采用压力面积法适用的支管连接形式(见 5.3.4.3)；
- 增加了椭球形封头的椭圆形状系数计算公式和取用壁厚计算(见 5.3.7.1)；
- 删除了当椭球形封头的椭圆形状系数为 2 时修正系数 K 的取值图(见 2015 年版的图 9)；
- 增加了应进行管道应力计算的管道条件和应计入的偶然荷载(见 5.4.1)；
- 增加了管道对设备或端点的推力或力矩的计算方法(见 5.4.3)；
- 增加了垂直管道上下部支吊架荷载的分配原则(见 5.5.2.3)；
- 增加了限位装置和导向装置预留膨胀间隙的要求(见 5.5.3.4~5.5.3.6)；
- 增加了对制作安装单位的准入许可要求(见 6.1.3)；
- 更改了制作或安装前材料的验收的要求(见 6.2.1, 2015 年版的 7.2.1)；
- 增加了质量证明书盖章签字焊工资质要求(见 6.2.2.3、6.4.1.3)；
- 增加了焊接材料订货的要求(见 6.4.2.2)；
- 更改了焊缝返修次数的要求(见 6.4.8.3, 2015 年版的 7.4.8.3)；
- 增加了对测温器具计量要求(见 6.5.1.5)；
- 更改了部分余热方法(见 6.5.3.1, 2015 年版的 7.5.3.1)；
- 增加了保温宽度的要求(见 6.6.5.1)；
- 增加了管道安装、管道清理、吹扫和清洗的要求(见 6.7、6.8)；
- 更改了累进检查的部分要求(见 7.2.1, 2015 年版的 8.1.3)；

- 更改了抽样检查的组批原则(见 7.2.2.1.2,2015 年版的 8.2.1.2);
- 更改了焊缝金属的金相组织、压力试验替代的要求(见 7.2.2.6、7.4.2,2015 年版的 8.3.5.1、8.5.2);
- 增加了无损检测方法要求(见 7.2.3.3);
- 更改了奥氏体不锈钢试验用水中氯离子浓度的量纲(见 7.4.4,2015 年版的 8.5.4);
- 更改了管道保温、管道防腐的基本规定(见 9.1.1、9.2.1,2015 年版的 10.1.1、10.2.1);
- 更改了保温材料、防潮层材料、保温层材料、保温层厚度计算规定(见 9.1.2.1~9.1.2.3、9.1.3.2,2015 年版的 10.1.2.1~10.1.2.3、10.1.3.2);
- 更改了大气腐蚀性、土壤腐蚀性等级划分标准(见 9.2.2.1、9.2.2.2,2015 年版的 10.2.2.1、10.2.2.2);
- 更改了防腐涂料选择规定(见 9.2.3.2,2015 年版的 10.2.3.2);
- 更改了防腐层体系设计规定、涂层厚度要求(见 9.2.4.1、9.2.4.3,2015 年版的 10.2.4.1、10.2.4.3);
- 更改了防腐工程的检查和验收规定(见 9.2.4.5,2015 年版的 10.2.4.5);
- 更改了部分材料的许用应力(见附录 A,2015 年版的附录 A);
- 增加了 10Cr9MoW2VNbBN 材料、直缝电熔焊钢管的许用应力(见 A.1);
- 更改了柔性系数和应力增加系数(见附录 C,2015 年版的附录 C);
- 增加了管道布置(见附录 D)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

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

本文件起草单位:中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有限公司、西安热工研究院有限公司、中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司、中国特种设备检测研究院、中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司、华电电力科学研究院有限公司、中国石油和化工勘察设计协会、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司、河南华电金源管道有限公司、中国电建集团河北工程有限公司、江苏电力装备有限公司、中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司、中国电建集团河南省电力勘测设计院有限公司、中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司、国核电力规划设计研究院有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、德新钢管(中国)有限公司、上海飞挺管业制造有限公司。

本文件主要起草人:裴育峰、高宏、郭晓克、赵宏鹏、周荣灿、李军、黄正林、康豫军、叶菲、刘启军、许玉新、林磊、郭延军、邓成刚、陈宝、吴斌、赵乐强、李诗玉、毛敏、杨文佳、何朋臣、陈志华、杨强、徐红波、程祖田、于强、张丰收、向魁、马红莲、尤子涵、陈杉、李睿、李彦峰、许晗坤、王洪海、徐辉。

本文件于 2015 年首次发布,本次为第一次修订。

压力管道规范 动力管道

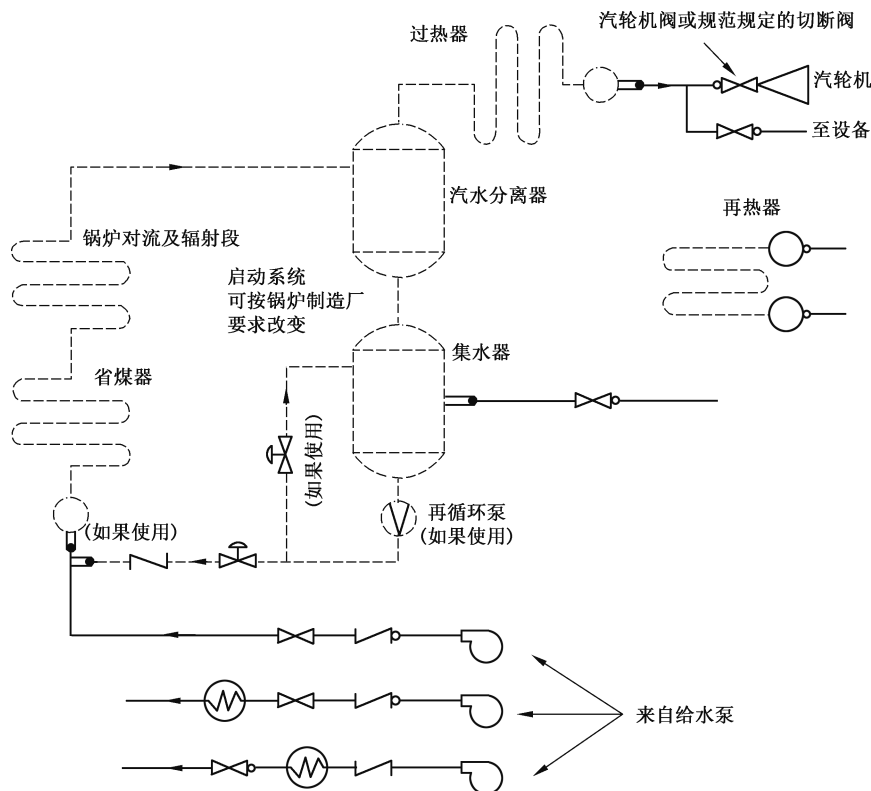
1 范围

本文件规定了火力发电厂界区内以蒸汽、水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。火力发电厂界区内其他压力管道按照 GB/T 20801(所有部分)执行。

本文件不适用于：

- 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；
- e) 非金属管道。

本文件规定的管道与锅炉本体范围内的管道分界见图 1 和图 2。



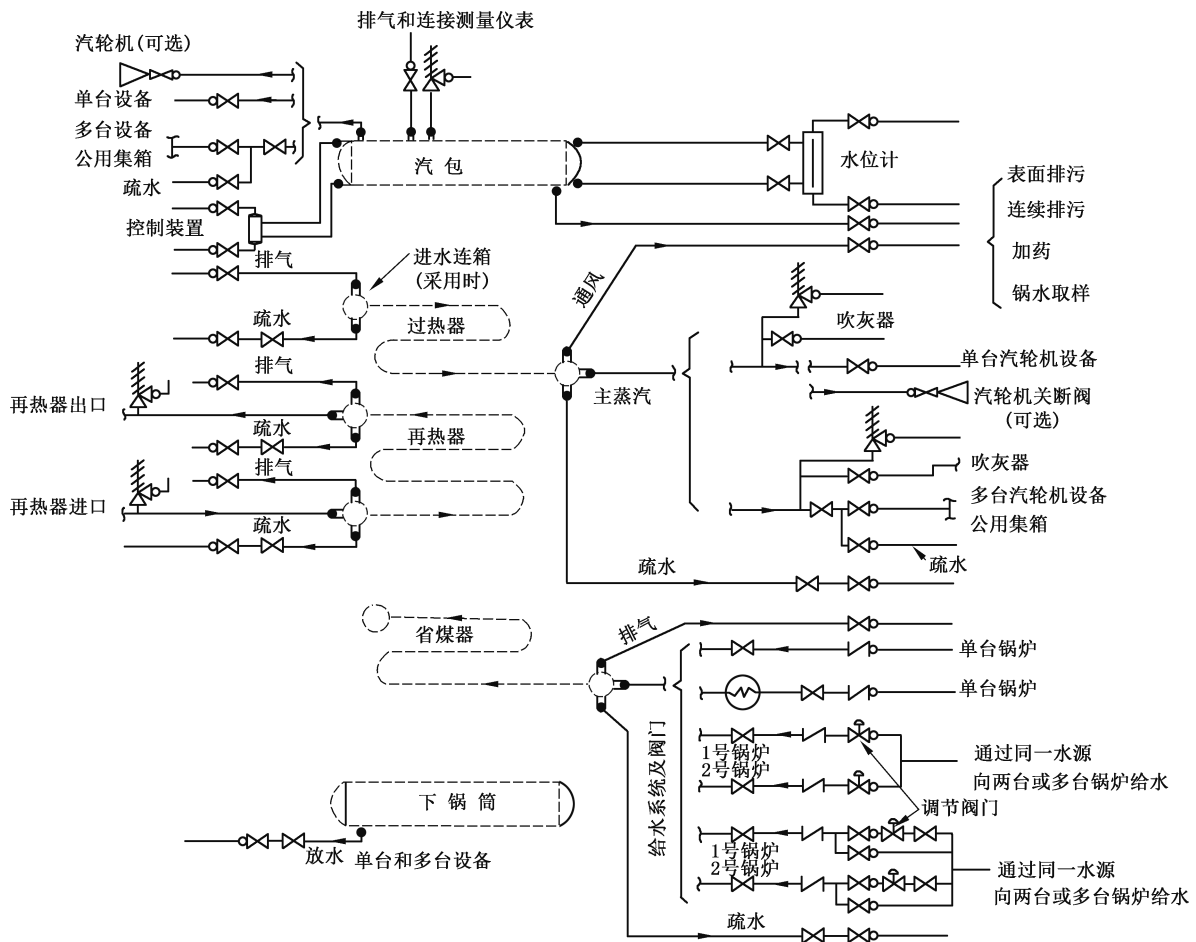
标引符号说明：

----- 锅炉本体管道,按照 TSG 11 管理；

●—— 锅炉外部管道和接头(即第 1 章中规范的蒸汽、水管道和接头),符合 TSG 11 的锅炉范围内管道的设计及计算参照本文件的要求；

○—— 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



标引符号说明:

- - - 锅炉本体管道,按照 TSG 11 管理;
- ——— 锅炉外部管道和接头(即第 1 章中规范的蒸汽、水管道和接头),符合 TSG 11 的锅炉范围内管道的设计及计算参照本文件的要求;
- ——— 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

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

- GB/T 150(所有部分) 压力容器
- GB/T 191 包装储运图示标志
- 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 713 锅炉和压力容器用钢板
- GB/T 1048 管道元件 公称压力的定义和选用
- 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 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带
- GB/T 4622.1 管法兰用缠绕式垫片 第1部分:PN系列
- GB/T 4622.2 管法兰用缠绕式垫片 第2部分:Class系列
- GB/T 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/T 8174 设备及管道绝热效果的测试与评价
- GB 8624 建筑材料及制品燃烧性能分级
- GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 9124(所有部分) 钢制管法兰
- GB/T 9125(所有部分) 钢制管法兰连接用紧固件
- GB/T 9129 管法兰用非金属垫片 技术条件
- GB/T 12224 钢制阀门 一般要求
- GB/T 12228 通用阀门 碳素钢锻件技术条件
- 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 安全阀 一般要求
- GB/T 12242 压力释放装置 性能试验方法
- GB/T 12243 弹簧直接载荷式安全阀
- GB/T 12459 钢制对焊管件 类型与参数
- GB/T 13793 直缝电焊钢管
- GB/T 13927 工业阀门 压力试验
- GB/T 16253 承压钢铸件
- GB/T 17116(所有部分) 管道支吊架
- GB/T 17186(所有部分) 管法兰连接计算方法
- GB/T 17394.1 金属材料 里氏硬度试验 第1部分:试验方法
- GB/T 20801(所有部分) 压力管道规范 工业管道
- GB/T 20801.2—2020 压力管道规范 工业管道 第2部分:材料
- GB/T 26481 工业阀门的逸散性试验
- GB/T 30790.2 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 第2部分:环境分类
- GB/T 32970 高温高压管道用直缝埋弧焊接钢管
- GB/T 35990 压力管道用金属波纹管膨胀节
- GB/T 38343 法兰接头安装技术规定
- GB 50016 建筑设计防火规范
- 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标准
- GB 50229 火力发电厂与变电站设计防火标准
- GB 50764 电厂动力管道设计规范
- DL/T 438 火力发电厂金属技术监督规程
- DL/T 515 电站弯管
- DL/T 695 电站钢制对焊管件
- DL/T 752 火力发电厂异种钢焊接技术规程

- DL/T 820.2 管道焊接接头超声波检测技术规程 第2部分:A型脉冲反射法
- DL/T 820.3 管道焊接接头超声波检测技术规程 第3部分:衍射时差法
- DL/T 821 金属熔化焊对接接头射线检测技术和质量分级
- DL/T 834 火力发电厂汽轮机防进水和冷蒸汽导则
- DL/T 850 电站配管
- DL/T 868 焊接工艺评定规程
- DL/T 884 火电厂金相检验与评定技术导则
- DL/T 991 电力设备金属发射光谱分析技术导则
- DL/T 1113 火力发电厂管道支吊架验收规程
- DL/T 1718 火力发电厂焊接接头相控阵超声检测技术规程
- DL/T 1719 采用便携式布氏硬度计检验金属部件技术导则
- DL/T 2054 电力建设焊接接头金相检验与评定技术导则
- DL/T 2124 电站汽轮机旁路阀选型导则
- DL/T 2361 电站汽水管道用直缝电熔焊钢管
- DL/T 2496 电站汽轮机旁路阀技术条件
- DL/T 5054 火力发电厂汽水管道设计规范
- DL/T 5072 发电厂保温油漆设计规程
- DL/T 5394 电力工程地下金属构筑物防腐技术导则
- JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
- 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—2008 阀门液体渗透检测
- JB/T 7927—2014 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 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 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 47013.10 承压设备无损检测 第10部分:衍射时差法超声检测
- NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第15部分:相控阵超声检测
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47018(所有部分) 承压设备用焊接材料订货技术条件
- NB/T 47044 电站阀门
- TSG 11 锅炉安全技术规程
- TSG D0001 压力管道安全技术监察规程——工业管道
- TSG Z6002 特种设备焊接操作人员考核细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

管道 piping

用以输送、分配、混合、分离、排放、计量或控制流体流动的管路。

注：管道由管道组成件和支吊装置等组成。

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管道组。

注：管道系统简称管系。

3.3

管道组成件 piping 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、管路中的仪表(如孔板)等。

3.4

管子 pipe or tube

用于输送流体横截面为圆形的中空连续体。

注：管子是管道组成件之一。

3.5

管件 pipe fitting

组成管道的零部件。

注：管件包括弯管或弯头、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方法。

注：试验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。

注：支管连接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

疏水收集装置 liquid collecting pocket

设置在气体或蒸汽管道的低位点收集冷凝水的装置。

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

阻尼器 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,同时准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,或在相同交变弯矩作用下直管的疲劳强度与弯管、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。

注：管道冷紧产生的位移称为冷位移,当采用热态吊零时,冷位移还包括弹簧附加力产生的位移。

3.19

柔性 flexibility

表示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

电阻焊碳钢管 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碳钢管。

3.22

电熔焊钢管 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钢管。

3.23

焊接接头系数 weld joint efficiency factors

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的焊缝许用应力修正系数。

注:焊接接头系数是焊接接头力学性能的综合反映。

3.24

质量证明书 inspection certificate

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,并注明结果的材料质量检验文件。

注: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。

3.25

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。

3.26

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启的预定压力。

注:安全阀整定压力又称开启压力、设定压力或起座压力。

3.27

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。

3.28

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、安装等过程进行必要的检测和试验,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。

3.29

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。

注:检查人员由独立于制造、制作和安装部门的人员担任。

3.30

检验 inspection

由业主、业主委托的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。

3.31

检验人员 inspector

业主方或检验机构从事检验工作的专职人员。

3.32

中、低压管道 medium and low pressure piping

火力发电厂除主蒸汽、再热热段蒸汽、再热冷段蒸汽、高压给水和锅炉本体以外的管道。

4 材料

4.1 基本规定

4.1.1 材料选用

管道材料应根据使用条件选用,并满足本章规定的材料使用要求和限制。

4.1.2 材料牌号和性能

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

4.1.2.2 对符合本文件规定而未列于附录 A 的材料,如符合 GB/T 20801.2—2020 可直接选用,许用应力按照 GB/T 20801.2—2020 中附录 A 选取,同时应符合 GB/T 20801.2—2020 中的使用要求和限制。

4.1.2.3 对符合本文件规定但未列于附录 A 的国外成熟应用材料,应满足所引用材料标准的要求,其许用应力可直接采用。

4.1.2.4 常用钢管材料的弹性模量和线膨胀系数可参照附录 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—2020 中附录 B 选取。

4.1.2.5 对符合本文件规定但未列于附录 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采用国外对应的设计标准的数值,国内首次使用应按 TSG 11 的要求进行技术评审。

4.2 材料选用的基本规定

4.2.1 管道材料应按照材料的使用性能、工艺性能和经济性选用。

4.2.2 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。

4.2.3 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。

4.2.4 不同的材料组合时不应对材料产生不利的影响。

4.2.5 在管子上直接焊接的零部件宜采用与管子相同的材料。

4.3 材料的使用

4.3.1 管道组成件

4.3.1.1 无缝管子和管件

4.3.1.1.1 符合 GB/T 8163 的无缝钢管不宜用于设计压力大于 1.6 MPa 的管道;符合 GB/T 3087 的无缝钢管不宜用于设计压力大于 5.3 MPa 的管道;符合 GB/T 5310 的无缝钢管宜用于设计压力大于 5.3 MPa 的管道。

4.3.1.1.2 采用无缝钢管制作的管件,其压力使用范围与管子的规定相同。

4.3.1.2 焊接管子和管件

4.3.1.2.1 符合 GB/T 32970、DL/T 2361 的直缝电熔焊钢管和对应的管件不应用于设计压力大于 10 MPa 或设计温度在蠕变范围之内的管道;符合 DL/T 2361 的铬钢(1.25,2.25)直缝电熔焊钢管和对应的管件不应用于设计压力大于 10 MPa 的管道。

4.3.1.2.2 符合 GB/T 3091、GB/T 13793 的电熔焊钢管不应用于设计压力大于 1.6 MPa 或设计温度大于 300 °C 的管道。

4.3.1.2.3 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。

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 ^a | 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 ^a | 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 ^a | 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 ^a | 1.00 |

^a 射线检测、超声检测应符合 7.3 或相应的材料标准要求。

4.3.1.2.4 符合 GB/T 3091 的电阻焊碳钢钢管不应用于设计压力大于 1.6 MPa 或设计温度大于 200 °C 的管道；不应采用电阻焊碳钢钢管制造对焊管件。

4.3.1.2.5 电阻焊碳钢钢管，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。

4.3.1.3 铸钢件

铸钢件应符合 JB/T 5263、JB/T 10087、JB/T 9625、GB/T 16253、GB/T 12229、GB/T 12230 的要求。

铸钢件质量系数取 0.8，在满足附加无损检测要求时，可取表 2 中数据。

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 (ϕ_c) |
|----|--|------------------------|
| 1 | 铸件表面加工至 $Ra 6.3 \mu m$ ，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 GB/T 7233(所有部分)(UT) 或 JB/T 6440(RT) 进行超声或射线照相检测，按 GB/T 7233(所有部分)(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 | 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 |

4.3.1.4 锻钢件

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

4.3.2 管道支吊架

4.3.2.1 管道支吊架用材料应与其使用条件相匹配,选用时宜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。

4.3.2.2 管道支吊架零部件的常用钢材的许用拉伸应力应按 GB/T 17116.1 选取。

4.3.2.3 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时,应按 GB/T 229 的要求补做冲击韧性试验,其冲击功值应符合相关标准的规定。

4.3.2.4 用于承受动荷载的支吊架零部件不应采用沸腾钢或铸铁材料。

4.3.3 材料的使用限制

4.3.3.1 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规定如下:

- a) 管道承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,不应选用 A 级镇静钢,且设计温度不应高于 300 °C;
- b) 除 a) 外的其他构件选用沸腾钢和半镇静钢时厚度不应大于 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。

4.3.3.2 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规定如下:

- 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) 对含 2.25%Cr 的低合金耐热钢,当使用温度大于 455 °C 时,母材和焊缝金属的含碳量应大于 0.05%。

4.3.3.3 奥氏体不锈钢

奥氏体不锈钢的使用规定如下:

- a) 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;
- b) 奥氏体钢使用温度高于 525 °C 时,含碳量不应小于 0.04%。

4.3.4 材料的使用温度

4.3.4.1 材料使用温度上限规定如下:

- 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宜考虑腐蚀介质的影响,高温条件下长期使用的材料,宜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,宜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 以上长期使用,碳钼钢不宜在 470 °C 以上长期使用,但在自限式泄压安全装置的对空排放管道中,碳钢可以用于 425 °C 以上温度;

- d) 铁素体不锈钢及马氏体不锈钢不宜在 370 °C 以上温度使用；
 - e) 铬镍奥氏体不锈钢在 540 °C ~ 900 °C 温度下长期使用时应控制钢中的铁素体含量及过度冷变形；
 - f) 双相不锈钢不应在 300 °C 以上温度使用；
 - g) 输送高速、单相紊流、汽水双相流、低 pH、低溶解氧且温度在 90 °C ~ 260 °C 的汽水管道组成件不宜采用碳钢、碳锰钢、钼钢，宜采用含铬钢；
 - h) GC1、GC2 类管道中的材料高温下使用的限制应符合 GB/T 20801.2—2020 的规定。
- 4.3.4.2 材料的使用温度下限规定如下：
- a) 设计者宜考虑材料在低温下试验、使用出现脆性断裂的可能性；
 - b) GC1、GC2 类管道的材料使用温度下限应符合 GB/T 20801.2—2020 的规定。

4.3.5 材料的代用

代用材料应符合 4.3.1~4.3.4 对材料的要求，材料代用应满足强度、结构和工艺的要求，并经过设计单位的同意。

4.3.6 材料标记和质量证明文件

4.3.6.1 材料标记

4.3.6.1.1 材料标记应符合相应标准的规定和合同约定。

4.3.6.1.2 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。

4.3.6.1.3 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。

4.3.6.2 质量证明文件

4.3.6.2.1 材料应具有相应的质量证明文件。

4.3.6.2.2 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。

4.3.6.2.3 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。

5 设计与计算

5.1 设计条件 and 设计准则

5.1.1 设计条件

5.1.1.1 管道设计

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。

5.1.1.2 设计压力

5.1.1.2.1 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。

5.1.1.2.2 管道的设计压力规定如下。

- a) 超临界及以下参数机组，主蒸汽管道设计压力应取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下列 2 项中的较大值:
 - 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规定如下:
 - 1) 非调整抽汽管道,应取汽轮机最大计算出力工况下该抽汽压力的 1.1 倍,且不应小于 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) 高压给水管道设计压力规定如下:
 - 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规定如下:
 - 1) 对于定压除氧系统,应取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规定如下:
 - 1) 凝结水泵进口侧管道,应取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规定如下:
 - 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规定如下：
- 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，应取除氧器额定压力；对于滑压除氧系统，应取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规定如下：
- 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。

5.1.1.3 设计温度

5.1.1.3.1 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。

5.1.1.3.2 管道的设计温度规定如下。

- a) 主蒸汽管道设计温度应取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 5℃。
- b) 再热蒸汽管道设计温度规定如下：
 - 1) 高温再热蒸汽管道，应取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 5℃；
 - 2) 低温再热蒸汽管道，应取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。特殊工况宜进行复核。
- c) 汽轮机抽汽管道设计温度规定如下：
 - 1) 非调整抽汽管道，应取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，应取抽汽的最高工作温度；
 - 3) 背压式汽轮机排汽管道应取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道的管道设计温度应取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规定如下：
 - 1) 定压除氧器系统,应取除氧器额定压力对应的饱和温度；
 - 2) 滑压除氧器系统,应取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规定如下：
 - 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规定如下：
 - 1) 对于定压除氧系统,应取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) 安全阀后排汽管道的设计温度,应根据排汽管道水力计算中相应数据选取。

5.1.1.3.3 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。

5.1.2 设计准则

- 5.1.2.1 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。
- 5.1.2.2 管道组成件公称压力的选用应符合 GB/T 1048 的有关规定。
- 5.1.2.3 对于只标明公称压力的管件,除另有规定外,在设计温度下的准许工作压力应按式(1)进行计算：

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

式中：

- P_t ——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)。

5.1.3 许用应力

5.1.3.1 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选取下列 3 项中的最小值：

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

式中：

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

R_{el}^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)；

σ_D^t —— 钢材在设计温度下 10⁵ h 持久强度平均值,单位为兆帕(MPa)。

5.1.3.2 许用应力的应用规定如下。

a) 附录 A 中材料的许用应力系指许用拉应力,使用时规定如下：

- 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 4.3.1.3 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。

5.2 管道组成件的选用

5.2.1 基本规定

5.2.1.1 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。

5.2.1.2 管道系统的组成件除应符合有关标准外,其材料、适用压力和温度应符合第 4 章的规定,弯头、弯管、支管连接、封头、异径管、疏水收集装置等材料的选用宜与所连接的管子材料一致。

5.2.1.3 对于本文件中所列管道组成件标准中未包括的国家标准、行业标准、设计规定等,应确认其设计、材料、制造、检验和质量保证等符合 5.3 及 TSG D0001 的有关规定后,方可采用。

5.2.1.4 在管道系统中,管道组成件的连接形式宜采用对接焊接。

5.2.1.5 弯头、弯管、支管连接、异径管、封头、法兰盖的强度计算应符合 5.3 的规定。

5.2.1.6 管子及管件的最小壁厚或厚度应符合 5.3 或 GB/T 12459 的最小壁厚要求的规定。

5.2.2 管子

5.2.2.1 管子材料的选用应符合 4.3 的规定。

5.2.2.2 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、供热大口径蒸汽管道宜采用电熔焊钢管或无缝钢管。

5.2.2.3 除氧器水箱至给水泵入口前的低压给水管道应采用无缝钢管。

5.2.2.4 管道系统中汽水两相流的管道宜采用铬钼合金钢管子。

5.2.2.5 润滑油管道应采用不锈钢管子,润滑油处理管道宜采用不锈钢管子。

5.2.2.6 仪表与控制用压缩空气管道应采用不锈钢管子,检修用压缩空气管道可采用普通碳素钢管子。

5.2.2.7 氢气管道应采用无缝钢管,对氢气纯度要求高的管道宜采用不锈钢管子。

5.2.3 弯头

5.2.3.1 弯头宜采用长半径弯头。

5.2.3.2 公称压力大于或等于 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

等大口径蒸汽管道可采用同质量电熔焊钢管热成型弯头。

5.2.3.3 按 5.3.3 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 ℃。

5.2.4 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。

5.2.5 支管连接

5.2.5.1 对于公称压力小于或等于 PN25,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 的支管连接应采用成型管件。

5.2.5.2 三通不宜采用带加强元件的辅助加强型式。

5.2.5.3 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 挤压 | 焊接 挤压 | 焊接 挤压 | 焊接 挤压 |
| 高压给水管道 | 挤压 | 挤压 | 挤压 | 挤压 |

5.2.5.4 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。

5.2.6 异径管

5.2.6.1 管道按坡度方向管径由大变小时,宜采用偏心异径管。

5.2.6.2 异径管宜采用钢管模压型式,钢板焊制异径管不应用于公称压力大于 PN25 的管道。

5.2.7 封头、法兰盖

5.2.7.1 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。

5.2.7.2 法兰盖的型式选用应符合 GB/T 9124(所有部分)的规定,突面法兰盖只能用在公称压力不大于 PN25 的管道上,公称压力为 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 5.2.9 的规定。

5.2.7.3 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 5.2.9 的规定。

5.2.8 阀门

5.2.8.1 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。

5.2.8.2 阀门应按 NB/T 47044 及 GB/T 12224 规定的压力温度等级选用。

5.2.8.3 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。

- 5.2.8.4 阀门的泄漏等级应符合合同约定及 GB/T 13927 的规定。
- 5.2.8.5 除设计另有规定外,对于公称压力大于或等于 PN63 的阀门选用规定如下:
- 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。
- 5.2.8.6 下列阀门应采用钢制阀门:
- a) 公称压力大于或等于 PN16 的阀门;
 - b) 与加热器、除氧器及给水箱、凝汽器及疏水扩容器相连接的阀门;
 - c) 锅炉给水泵进、出口阀门;
 - d) 氢气系统、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。
- 5.2.8.7 管道系统中至少下列阀门应满足动作时间要求:
- a) 汽轮机抽汽管道的关断阀、止回阀、快关阀;
 - b) 加热器事故疏水阀,除氧器紧急放水阀;
 - 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。
- 5.2.8.8 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%。
- 5.2.8.9 当开启阀门前需预热主管线或用于平衡阀门两侧压力时宜设置旁通阀。
- 5.2.8.10 与凝汽器、疏水扩容器或疏水立管等真空系统连接的最后一道阀门应采用真空阀门。
- 5.2.8.11 流体为饱和蒸汽和汽水两相流介质时,阀门的阀座及阀芯应采用耐冲蚀材料。
- 5.2.8.12 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。
- 5.2.8.13 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。
- 5.2.8.14 有毒介质管道的阀门应采用严密型的钢制阀门,阀门本体的密封应按 GB/T 26481 的规定。

5.2.9 法兰及垫片和紧固件

5.2.9.1 法兰的选择规定如下。

- a) 法兰型式的选用要求如下:
 - 1) 法兰应符合 GB/T 9124(所有部分)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 9124(所有部分)的规定外,还符合下列规定:
 - 1) 设计温度大于 300 °C 或公称压力大于或等于 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或等于 PN25 的管道宜选用带颈平焊法兰;
 - 2) 管道系统中不应采用平面板式平焊法兰、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) 法兰的材料选用应符合附录 A 规定的使用范围。
- 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 5.3.6 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 GB/T 9124(所有部分)规定的厚度。

5.2.9.2 垫片的选择规定如下。

- 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) 垫片的选用规定如下:

- 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 4622.1~GB/T 4622.2 的规定;对公称压力小于或等于 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。

5.2.9.3 紧固件的选择规定如下。

- 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/T 150 (所有部分)和 GB/T 9125(所有部分)的规定。
- b) 法兰紧固件选用规定如下:
 - 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。

5.2.10 补偿器

5.2.10.1 补偿器应按照介质种类、设计参数、管道布置、运行工况、位移值选用,并符合 GB/T 35990 的规定。

5.2.10.2 波型补偿器不宜用于受扭转的场合。

5.3 管道组成件的强度设计

5.3.1 基本规定

5.3.1.1 5.3 中所列的管道组成件强度计算方法是内压下的强度计算。

5.3.1.2 管道组成件的壁厚最薄处不应小于相连管子的最小壁厚。

5.3.2 直管的壁厚计算

5.3.2.1 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 and 设计温度下所需的最小壁厚(S_m)应按式(3)、式(4)计算:

按管子外径确定壁厚时:

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

按管子内径确定壁厚时:

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

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(包括管径正偏差的最大外径),单位为毫米(mm);
- D_i ——管子最大内径(包括内径正偏差和加工过盈偏差),单位为毫米(mm);

Y ——修正系数,按表 6 选取;当管子的 $D_o/S_m < 6$ 时,对于设计温度小于或等于 480 °C 的铁素

体和奥氏体钢,其 Y 值按下式进行计算: $Y = \frac{D_i}{D_i + D_o}$;

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

η ——许用应力的修正系数,对于无缝钢管 $\eta = 1.0$;对于焊接钢管, η 按 4.3.1.2 取值;

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 °C | | | | | |
|------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | ≤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:介于表列中间温度的 Y 值用内插法计算。

5.3.2.2 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)。

5.3.2.3 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,应按式(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,以百分率(%)表示。

b) 对于管子规格以最小内径×最小壁厚标示的无缝钢管,壁厚负偏差值应等于零。

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。

5.3.2.4 管子的取用壁厚

管子的取用壁厚规定如下。

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。

5.3.3 弯管弯头的壁厚计算

5.3.3.1 弯管的弯曲半径宜为外径的 3 倍~5 倍。

5.3.3.2 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。

5.3.3.3 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:

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

按内径确定壁厚时:

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

弯管或弯头壁厚修改系数 I 按照式(9)~式(11)确定:

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:

I ——弯管或弯头壁厚修正系数;

R ——弯管或弯头弯曲半径,单位为毫米(mm)。

5.3.3.4 5.3.3.3 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。

5.3.3.5 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)。

5.3.4 支管连接的补强

5.3.4.1 支管连接的强度计算方法有面积补强法和压力面积法。

5.3.4.2 采用面积补强法规定如下。

- a) 焊接三通、锻造直三通和接管座的支管连接可采用面积补强法计算。
- 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) 面积补强法(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进行补偿,其条件按式(12)~式(16)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(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(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(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(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)。

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

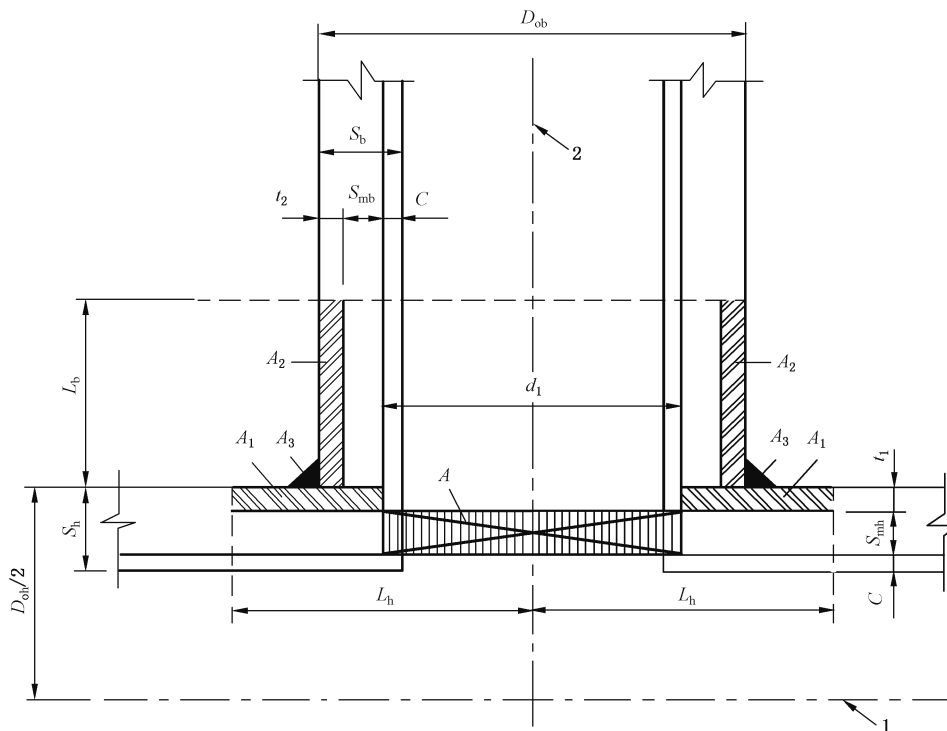
L_h ——主管有效补强范围宽度的一半,单位为毫米(mm); L_h 取 d_1 或 $S_b + S_h + \frac{d_1}{2}$ 两者中的较大者,但任何情况下不大于 D_{oh} 。

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)。



标引符号说明:

1——主管中心线;

2——支管中心线;

t_1 ——主管多余壁厚,单位为毫米(mm);

t_2 ——支管多余壁厚,单位为毫米(mm);

A ——所需补强面积,单位为平方毫米(mm^2);

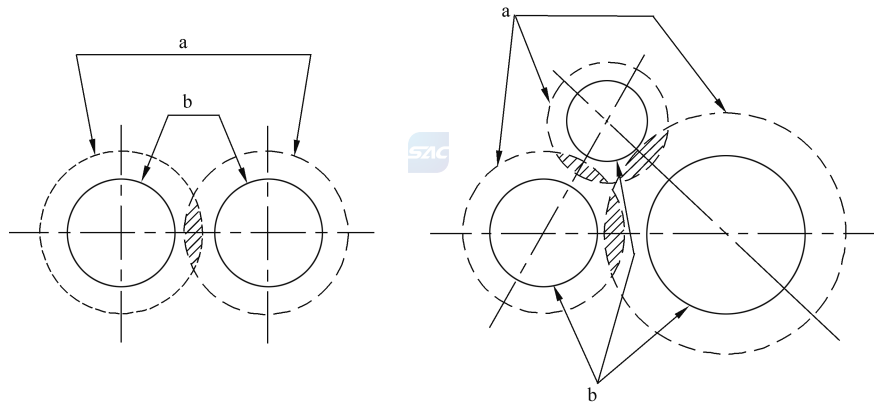
A_1 ——主管提供的补强面积,单位为平方毫米(mm^2);

A_2 ——支管提供的补强面积,单位为平方毫米(mm^2);

A_3 ——焊缝提供的补强面积,单位为平方毫米(mm^2)。

图3 面积补强法计算示意图

- d) 主管上多开孔的补强如图 4 所示,规定如下:
- 1) 多个支管的开孔宜布置成使其有效补强范围不相互重叠;
 - 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,任何部分截面不应重复计入;
 - 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%。



标引符号说明:
 a——补强范围;
 b——开孔。

图 4 多个开孔的补强

5.3.4.3 采用压力面积法规定如下:

- a) 热压三通的支管连接可采用压力面积法计算;
- b) 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;
- c) 压力面积法的强度条件应按式(17)计算:

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

- d) 有效补强长度应按式(18)和式(19)计算:

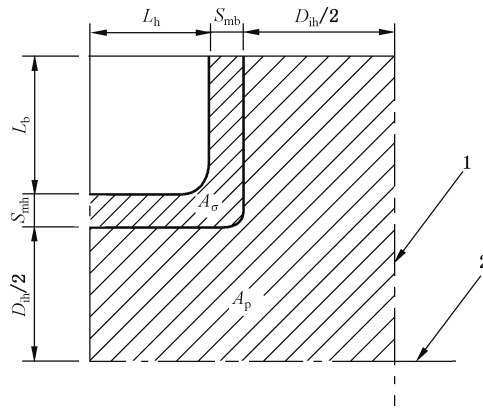
主管:

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

支管:

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

- e) 在计算承载面积(A_σ)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。



标引序号说明：

- 1——三通支管中心线；
- 2——三通主管中心线。

图 5 压力面积法计算示意图

5.3.5 异径管壁厚计算

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

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

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

式中：

D_m —— 异径管平均直径, 单位为毫米(mm), 按式(22)计算；

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

θ —— 半锥角, 宜小于 15° ；

C —— 壁厚的附加值, 单位为毫米(mm)；可按 5.3.2.1 选取。

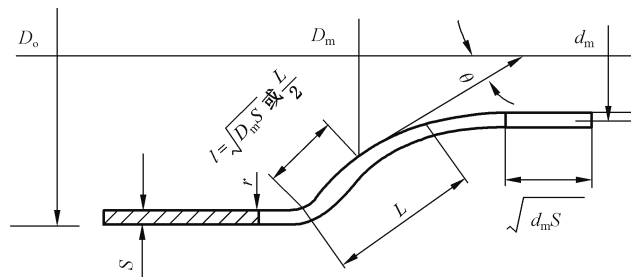
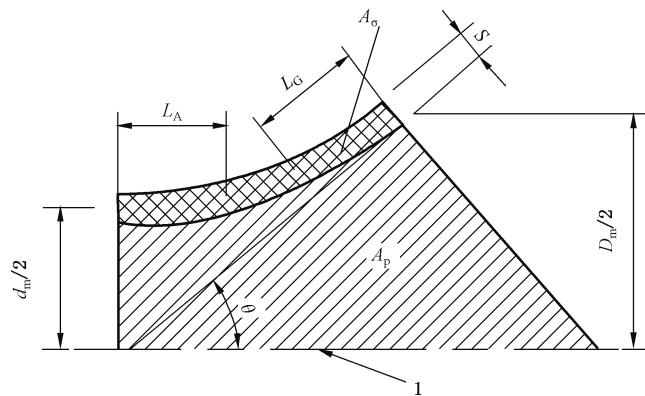


图 6 异径管壁厚计算简图

5.3.5.2 异径管小端与管道连接处的强度根据图 7 应按式(17)进行强度核算。图 7 中 L_G 、 L_A 按式(23)和式(24)计算：

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

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



标引序号说明：
1——异径管中心线。

图 7 异径管小端计算示意图

5.3.5.3 异径管外侧弯曲半径不宜小于 $0.1D_0$ 。

5.3.6 法兰及法兰附件计算

5.3.6.1 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，并应计及流体静压力及垫片的压紧力。

5.3.6.2 螺栓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。

5.3.6.3 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(所有部分)或 GB/T 150(所有部分)的规定计算。

5.3.6.4 法兰盲板的厚度(见图 8)应按式(25)计算：

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

式中 S_m 为压力作用下的设计厚度，按式(26)计算：

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

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，单位为毫米(mm)；

C ——厚度裕量，单位为毫米(mm)。

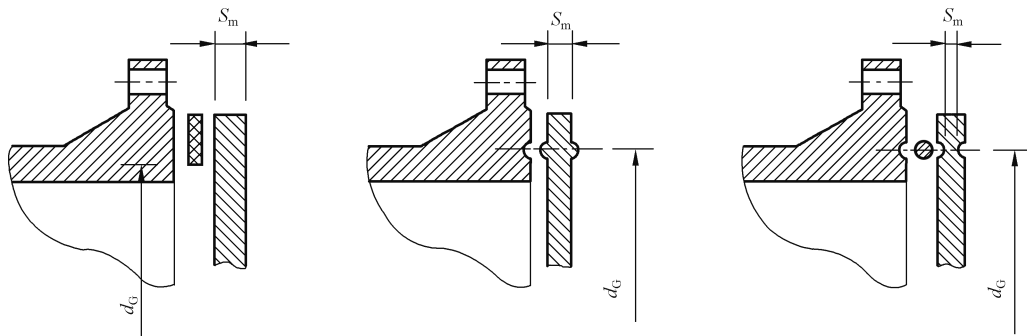


图 8 夹在法兰间的盲板

5.3.7 封头及节流孔板的厚度计算

5.3.7.1 椭球型封头壁厚计算：

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

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

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

式中：

D_i ——封头内径,单位为毫米(mm)；

K ——椭圆形状系数, $K = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_i}{2h_i} \right)^2 \right]$ ；

Y ——修正系数,可按 5.3.2.1 选取；

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

$[\sigma]^t$ ——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)。

b) 椭圆型封头的取用壁厚不应小于计算壁厚,计算壁厚应按式(29)计算：

$$S = S_m + C_1 \quad \dots\dots\dots(29)$$

式中：

S ——椭圆型封头计算壁厚,单位为毫米(mm)；

C_1 ——钢板厚度负偏差附加值,单位为毫米(mm)。

5.3.7.2 对焊封头和平封头壁厚按式(30)计算：

$$S_m = K' D_i \sqrt{\frac{P}{[\sigma]^t \phi'}} \quad \dots\dots\dots(30)$$

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' 、 ϕ' ——与封头结构有关的系数,按表 7 选取；

$[\sigma]^t$ ——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

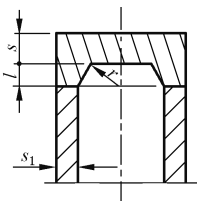
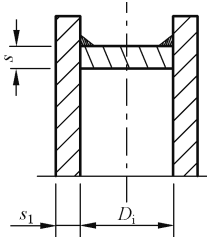
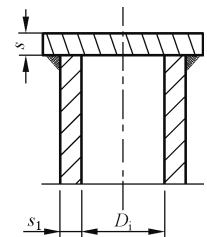
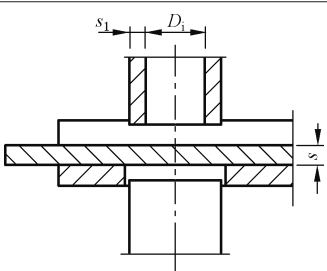
| 堵头型式 | 结构要求 | K' | ϕ' | | 备注 |
|---|--|------|---------------|---------------------|-------------|
| | | | $l \geq 2s_1$ | $2s_1 > l \geq s_1$ | |
|  | $r \geq \frac{2}{3} s_1$ $l \geq s_1$ | 0.4 | 1.05 | 1.00 | 推荐优先采用的结构型式 |

表 7 封头结构型式系数 (续)

| 堵头型式 | 结构要求 | K' | ϕ' | | 备注 |
|---|------|------|---------------|---------------------|---------------------------|
| | | | $l \geq 2s_1$ | $2s_1 > l \geq s_1$ | |
|  | — | 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 |

5.3.7.3 孔板厚度计算:

- a) 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;
- b) 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。

5.4 管道应力计算

5.4.1 基本规定

5.4.1.1 本章所述的管道应力计算方法适用于利用管子自身柔性进行补偿的管道,不适用于真空管道、铸铁等脆性材料管道及非金属材料管道。

5.4.1.2 各种管道元件的柔性系数和应力增加系数按附录 C 中表 C.1 所列出的公式计算,设计者也采用由试验或其他方法得到的更为精确的值。

5.4.1.3 应力计算的范围规定如下:

- a) 管道的公称直径大于或等于 DN80 且设计温度大于或等于 100 °C;
- b) 主蒸汽和高温再热蒸汽管道的疏放水管道应进行应力计算;
- c) 符合下列条件之一的管道,应列入应力计算的范围:
 - 1) 设备接口有特殊受力要求的管道;

2) 利用近似分析方法后,表明需要进行详细分析的管道。

- d) 对以下几种情况,可以免除应力计算:
- 1) 与经设计计算并已安装完成的相同的管道;
 - 2) 设计温度 100 °C 以下的管道;
 - 3) DN65 及以下的管道[不含 b)规定的管道]。

5.4.1.4 应力计算可采用下列方法:

- a) 近似分析方法,包括形状判别法、表格法、图解法、经验公式法等分析方法;
- b) 详细分析方法,按本章要求进行详细应力计算,将管道系统作为一个整体考虑,采用计算机程序对各种可能工况下的所有元件进行应力校核。

5.4.1.5 除合同约定外,应力计算应计入以下偶然荷载的作用:

- a) 安全阀起跳排汽反力荷载;
- b) 当抗震设防烈度为 8 度及以上时的管道地震荷载;
- c) 室外露天布置管道的风荷载;
- d) 600 MW 及以上容量机组的主蒸汽管道和再热热段蒸汽管道的汽锤力;
- e) 其他可能发生的偶然荷载。

5.4.1.6 地震荷载和风荷载可不同时组合,且可不与其他偶然荷载一同构成组合工况。

5.4.2 管道应力验算

5.4.2.1 管子在内压作用下的应力验算

5.4.2.1.1 管子在工作状态下,由内压产生的折算应力应按式(31)计算:

$$\sigma_{\text{eq}} = \frac{P[0.5D_o - Y(S_s - C)]}{\eta(S_s - C)} \leq 1.0[\sigma]^t \quad \dots\dots\dots(31)$$

- σ_{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 5.3.2.1;
- η ——许用应力的修正系数,见 5.3.2.1;
- C ——有腐蚀、磨损和机械强度要求的附加厚度,单位为毫米(mm);
- $[\sigma]^t$ ——钢材在设计温度下的许用应力,单位为兆帕(MPa)。

5.4.2.1.2 管道在运行工况下,由内压产生的环向应力可短时超出钢材在相应温度下的许用应力,但应符合下列规定:

- a) 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,且连续 12 个月累计超出时间不超过 800 h;
- b) 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,且连续 12 个月累计超出时间不超过 80 h。

5.4.2.2 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(32)的要求:

$$\sigma_L = \frac{PD_i^2}{D_o^2 - D_i^2} + 0.75 \frac{iM_A}{W} \leq 1.0[\sigma]^t \quad \dots\dots\dots(32)$$

式中：

- σ_L ——管道在工作状态下，由内压、自重和其他持续外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横截面上的合成力矩，单位为牛顿毫米(N·mm)；
- W ——管子抗弯截面系数，单位为立方毫米(mm³)，按式(33)计算：

$$W = \frac{\pi}{32D_o} (D_o^4 - D_i^4) \dots\dots\dots (33)$$

- i ——应力增加系数，且 $0.75i$ 不应小于 1；
- $[\sigma]^t$ ——钢材在设计温度下的许用应力，单位为兆帕(MPa)。

5.4.2.3 持续荷载与偶然荷载组合工况的应力验算

管道在工作状态下受到偶然荷载作用时，由内压、自重等持续外载和偶然荷载作用下，产生的轴向应力应满足式(34)的要求：

$$\frac{PD_i^2}{D_o^2 - D_i^2} + 0.75 \frac{iM_A}{W} + 0.75 \frac{iM_B}{W} \leq K[\sigma]^t \dots\dots\dots (34)$$

式中：

- M_B ——偶然荷载作用在管子截面上的合成力矩，单位为牛顿毫米(N·mm)；在验算时， M_B 中的地震力矩只取变化范围的一半；
- K ——系数，在管道正常允许的运行压力波动范围内，且内压产生的环向应力未超过相应温度下的许用应力，当偶然荷载作用时间每次不超过 8 h，且连续 12 个月累计不超过 800 h 时，取 $K = 1.15$ ，当偶然荷载作用时间每次不超过 1 h，且连续 12 个月累计不超过 80 h 时，取 $K = 1.2$ 。

其他符号的定义同 5.4.2.2。

5.4.2.4 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(35)的要求：

$$\sigma_E = \frac{iM_C}{W} \leq f[1.2[\sigma]^{20} + 0.2[\sigma]^t + ([\sigma]^t - \sigma_L)] \dots\dots\dots (35)$$

式中：

- σ_E ——热胀应力范围，单位为兆帕(MPa)；
- M_C ——按热膨胀全补偿值、端点附加位移等荷载和钢材在 20℃ 的弹性模量计算的热胀合成力矩范围，单位为牛顿毫米(N·mm)；
- $[\sigma]^{20}$ ——钢材在 20℃ 时的许用应力，单位为兆帕(MPa)，最大值不超过 140 MPa；
- f ——热胀应力范围的减小系数。

在电厂预期的运行年限内， f 可按管道全温度周期性的交变次数(N)确定：

- 当 $N \leq 2\ 500$ ， $f = 1$ ；
- 当 $N > 2\ 500$ 时， $f = 4.78N^{-0.2}$ 。

如果温度变化幅度有变动，可按式(36)计算当量全温度范围交变次数：

$$N = N_E + r_1^5 N_1 + r_2^5 N_2 + \dots + r_n^5 N_n \dots\dots\dots (36)$$

式中：

- N_E —— 计算热膨胀应力范围(σ_E)时,用全温度变化(ΔT_E)的交变次数；
 N_1, N_2, \dots, N_n —— 各温度变化 $\Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_n$ 的交变次数；
 r_1, r_2, \dots, r_n —— 各温度变化与全温度范围的比值 $\Delta T_1/\Delta T_E, \Delta T_2/\Delta T_E, \dots, \Delta T_n/\Delta T_E$ 。
 其他符号的定义同 5.4.2.2。

5.4.2.5 力矩和抗弯截面系数计算

力矩和抗弯截面系数的计算如下。

- 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)应按式(37)计算：

$$M_j = \sqrt{M_{xj}^2 + M_{yj}^2 + M_{zj}^2} \quad \dots\dots\dots (37)$$

式中：

- j —— 相当于式(32)、式(34)、式(35)中的注脚_A、注脚_B、注脚_C。
 b) 验算等径三通时,应按式(37)分别计算各分支管的合成力矩,按三通的交叉点取值,见图9。
 管子截面抗弯矩按式(33)和连接管子尺寸计算。
 c) 验算不等径三通时,应按式(38)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：

$$M_A (M_B \text{ 或 } M_C) = \sqrt{M_{x3}^2 + M_{y3}^2 + M_{z3}^2} \quad \dots\dots\dots (38)$$

支管的当量截面抗弯矩按式(39)计算：

$$w = \pi r_{mb}^2 S_{b3} \quad \dots\dots\dots (39)$$

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(35)中取主管公称壁厚 S_{nh} 和 i 倍支管公称壁厚 ($S_{nb}i$) 二者中的较小值(mm)；式(32)和式(34)中取主管公称壁厚 (S_{nh}) 和 $0.75iS_{nb}$ 二者中的较小值(mm),其中 $0.75i \geq 1$ ；
 M_{x3}, 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) 按式(40)和式(41)计算主管的合成力矩：

$$M_A (M_B \text{ 或 } M_C) = \sqrt{M_{x1}^2 + M_{y1}^2 + M_{z1}^2} \quad \dots\dots\dots (40)$$

$$M_A (M_B \text{ 或 } M_C) = \sqrt{M_{x2}^2 + M_{y2}^2 + M_{z2}^2} \quad \dots\dots\dots (41)$$

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(33)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9。

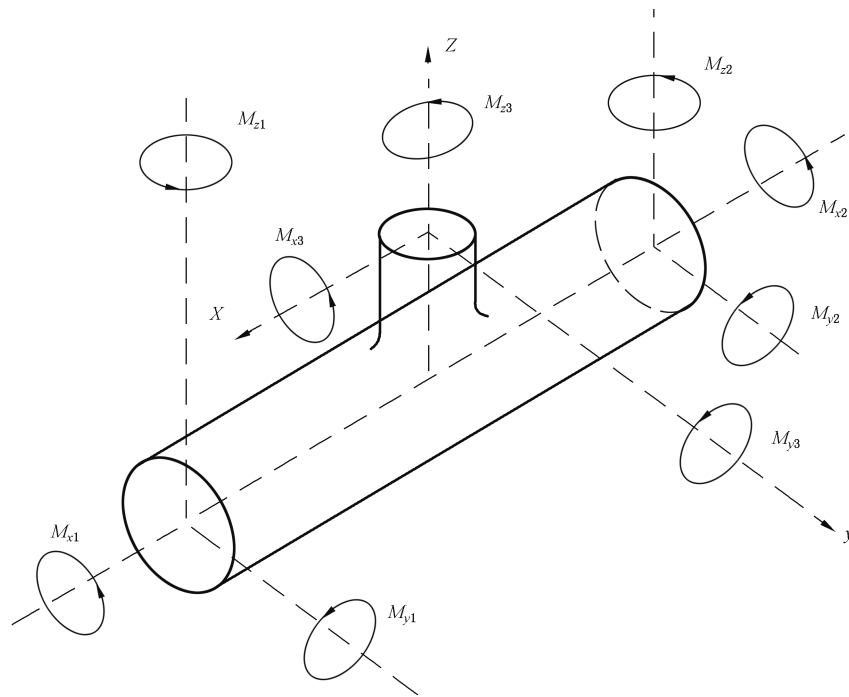


图9 合力矩示意图

3) 计算支管接管座(见图 C.3)的合力矩按式(42)计算:

$$M_A(M_B \text{ 或 } M_C) = \sqrt{M_{x3}^2 + M_{y3}^2 + M_{z3}^2} \quad \dots\dots\dots (42)$$

接管座的截面抗弯矩按式(43)计算:

$$W = \pi(r_{mb})^2 S_b \quad \dots\dots\dots (43)$$

如果图 C.3a)、图 C.3b)、图 C.3c)中 $L_1 \geq 0.5(r_1 S_b)^{0.5}$, 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。

5.4.3 管道对设备的推力和力矩的计算

5.4.3.1 管道对设备或支承点的推力应按 5.4.2 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。

5.4.3.2 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。

5.4.3.3 当管道无冷紧或沿坐标轴 X、Y、Z 各方向采用相同的冷紧比时, 在不计及持续外载的条件下, 管道对设备或端点的推力或力矩的计算规定如下。

a) 在工作状态下, 管道对设备或端点的推力或力矩应按式(44)计算:

$$R^t = -\left(1 - \frac{2}{3}\gamma\right) \frac{E^t}{E^{20}} R_E \quad \dots\dots\dots (44)$$

b) 在冷状态下, 管道对设备或端点的推力或力矩应按式(45)或式(46)计算:

$$R^{20} = \gamma R_E \quad \dots\dots\dots (45)$$

或

$$R_1^{20} = \left(1 - \frac{[\sigma]^t}{\sigma_E} \cdot \frac{E^{20}}{E^t}\right) R_E \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

R^t ——管道运行初期在工作状态下对设备或端点的推力或力矩, 单位为牛顿(N)或牛顿毫米

- (N·mm);
- R^{20} ——管道运行初期在冷状态下对设备或端点的推力或力矩,单位为牛顿(N)或牛顿毫米(N·mm);
- R_1^{20} ——管道应变自均衡后,在冷状态下对设备或端点的推力或力矩,单位为牛顿(N)或牛顿毫米(N·mm);
- R_E ——按全补偿值和钢材在 20 °C 时的弹性模量计算端点对管道的热胀作用力或力矩,单位为牛顿(N)或牛顿毫米(N·mm);
- γ ——冷紧比;
- $[\sigma]^t$ ——钢材在设计温度下的许用应力,单位为兆帕(MPa);
- σ_E ——热胀应力范围,单位为兆帕(MPa),按式(35)计算;
- E^t ——钢材在设计温度下的弹性模量,单位为吉帕(GPa);
- E^{20} ——钢材在 20 °C 时的弹性模量,单位为吉帕(GPa)。
- c) 当 $\frac{[\sigma]^t}{\sigma_E} \cdot \frac{E^{20}}{E^t} < 1$ 时,管道在冷状态下对设备或端点的推力或力矩取式(45)和式(46)计算结果的较大值;当 $\frac{[\sigma]^t}{\sigma_E} \cdot \frac{E^{20}}{E^t} \geq 1$ 时,管道在冷状态下对设备或端点的推力或力矩按式(45)计算。

以上公式中, R^t 、 R^{20} 、 R_1^{20} 、 R_E 均为一组力和力矩,包括 F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z 6 个分量。

5.5 管道支吊架

5.5.1 基本规定

- 5.5.1.1 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。
- 5.5.1.2 支吊架间距应根据管道荷载合理分布,并满足管道强度、刚度和防止振动等要求。
- 5.5.1.3 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。
- 5.5.1.4 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。
- 5.5.1.5 杠杆式恒力弹簧支吊架的载荷轴、主轴、弹簧拉杆轴应使用滑动轴承,弹簧拉杆应无卡涩;主辅弹簧直线式恒力弹簧支吊架主弹簧在滑刀上的着力点应使用滚动轴承,其余转动件应使用滑动轴承。
- 5.5.1.6 室外管道吊架的拉杆,在穿过保温层处应采取防雨措施。

5.5.2 支吊架允许间距

- 5.5.2.1 管道支吊架的间距应满足强度和刚度条件的要求。
- 5.5.2.2 水平直管道支吊架间距要求如下。

- a) 按强度条件确定的支吊架间距应按式(47)计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{(qL + 2P_j)L}{8W} \dots\dots\dots(47)$$

式中:

- σ_{\max} ——水平直管最大弯曲应力,单位为兆帕(MPa);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,单位为牛顿(N);
- W ——管子抗弯截面系数,单位为立方厘米(cm³)。

- b) 按刚度条件确定的支吊架间距应按式(48)计算:

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

式中：

δ_{\max} ——最大弯曲挠度，单位为毫米(mm)；钢管的弯曲挠度不宜大于 2.5 mm；

E_t ——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(cm⁴)。

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。

5.5.2.3 垂直管道上部支吊架荷载不宜小于下部支吊架荷载，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。

5.5.3 支吊架荷载及荷载组合

5.5.3.1 支吊架荷载及荷载组合应符合 GB/T 17116(所有部分)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与设计。在管道应力计算及支吊架设计时，应计及的荷载包括(但不限于)下列各项：

- a) 管道组成件及绝热层的重力；
- b) 支吊架零部件的重力；
- c) 管道输送介质的重力；
- d) 对于输送介质较轻的管道，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) 管道位移时在相对活动支吊架上引起的摩擦力，摩擦系数(μ)可按 5.5.3.3 取值；
- h) 管道或管道保温层外表面温度小于 20 °C 的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。

5.5.3.2 支吊架结构荷载应符合 GB 50764 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。

5.5.3.3 管道位移在相对活动支吊架上引起的摩擦力，其摩擦系数(μ)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 |

表 8 摩擦系数 (续)

| 序号 | 摩擦形式 | 摩擦系数 |
|----|-----------------|------------|
| 3 | 聚四氟乙烯之间 | 0.1 |
| 4 | 不锈钢(镜面)薄板之间 | ≤ 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 |

5.5.3.4 限位装置和导向装置应保证管道在支吊点的预定约束方向受到相应的位移约束,并能承受作用于该装置上的各种力、力矩和其他荷载。

5.5.3.5 对于径向设计热位移为零,约束管部鞍座两侧面的水平管道导向装置,冷态时鞍座与导向槽间的总间隙宜为 4 mm,且鞍座两侧面间隙宜相等。

5.5.3.6 对于在管道直径两侧方向进行约束的限位装置,按下列规定预留膨胀间隙:

- a) 当管道径向设计热位移为零时,冷态时管部限位装置的限位面与根部限位板间总间隙宜为管道径向热膨胀量加 5 mm,且管道限位装置两侧间隙宜相等;
- b) 当管道径向有设计热位移时,冷态时管部限位装置的限位面与根部限位板间总间隙宜为设计热位移加 a) 的间隙值,且两侧间隙应根据该点设计热位移及方向确定。

5.5.4 支吊架结构及强度

5.5.4.1 支吊架管部结构不应使管道局部过应力。

5.5.4.2 管部结构的设计规定如下。

- 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。

5.5.4.3 支吊架的连接件设计规定如下。

- 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取材料许用应力的 75%。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规定如下:
 - 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。

5.5.4.4 支吊架的焊接和根部钢结构设计应符合 GB/T 17116(所有部分)的规定。

5.6 管道布置

5.6.1 火力发电厂界区内管道应根据热力系统设备及工艺流程的要求并按一定的规则进行合理的连接布置,管道应短捷、整齐,满足安装、运行、检修的需要。管道布置基本要求如下:

- a) 管道布置应符合相关的安全技术规程、标准和规范的规定；
- b) 管道布置应满足管道系统流程图的要求；
- c) 所有管道不应穿越、布置在机组控制室、电子设备间、主厂房疏散楼梯间内；
- d) 对主蒸汽、再热蒸汽、汽轮机抽汽和高压给水等与锅炉、汽轮机、给水泵、加热器这些重要设备相连接的高温高压、大口径管道应优先规划布置，应经过详细的应力分析计算，满足管道稳定性及柔性要求，对设备接口的力和力矩值应满足制造商的要求并得到确认；
- e) 对可能造成汽轮机进水、大轴弯曲的与汽轮机连接的管道及其疏水管道的布置应保证疏水顺畅，管道坡度、坡向及疏水收集装置的设置应符合 DL/T 5054 及 DL/T 834 的规定；
- f) 高温小口径管道(DN65 及以下)的布置应与主管道统一规划、协调一致，管道走线应布局合理、线路短捷、膨胀自由，充分保证主管及小管均有足够的补偿能力，小口径管道的排列、阀门站等宜采用集中布置；
- g) 机组清洗、蒸汽吹管、性能试验等临时管道的布置宜考虑安全防护要求，管道布置应满足 DL/T 5054 的规定。

5.6.2 管道布置设计在安全性方面的基本要求应按照附录 D 的规定执行。

6 制作与安装

6.1 基本规定

6.1.1 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。

6.1.2 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。

6.1.3 管道制作、安装单位应具有符合压力管道制作和安装的行政许可要求。管道制作和安装单位应建立相应的质量保证体系。

6.2 制作或安装前材料的验收

6.2.1 基本规定

制作和安装单位应对所接收的材料进行验收，验收项目和验收比例除应按 6.2 及相应材料产品标准或验收标准规定外，还应符合合同约定。

6.2.2 材料标记和质量证明文件的验收

6.2.2.1 入厂(场)材料应验证材料标记和质量证明文件，并应符合 4.3.6 的规定。

6.2.2.2 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。

6.2.2.3 材料采购单位从非制造单位采购材料时，应当取得材料制造单位提供的质量证明书原件或加盖了材料经营单位公章和经办负责人签字(章)的复印件。

6.2.3 管子的验收

6.2.3.1 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。

6.2.3.2 按照国内标准制造的管子应按 4.3 及相应产品标准的规定进行验收。

6.2.3.3 按照国外标准制造的管子除符合国外标准规定外，应符合合同的约定。

6.2.4 管件、法兰和阀门的验收

- 6.2.4.1 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。
- 6.2.4.2 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。
- 6.2.4.3 合金钢件应进行光谱和硬度检查。
- 6.2.4.4 法兰、螺栓螺母等附件应进行配合性能检查。
- 6.2.4.5 阀门应按照有关国家或行业标准进行性能和严密性检查。

6.2.5 支吊架的验收

- 6.2.5.1 支吊架的验收应符合 6.3.6 及其产品标准的规定。
- 6.2.5.2 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、变力弹性支吊架和弹簧减振器等减振装置进行性能试验报告和状态指示检查。

6.2.6 抽样检查数量规定

- 6.2.6.1 抽样检查数量应按相应材料产品标准或验收标准的规定。
- 6.2.6.2 加倍抽样检查应符合 7.2.1 的规定。

6.2.7 材料的保管

- 6.2.7.1 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。
- 6.2.7.2 存放奥氏体不锈钢材料时，不应与铁素体材料相接触。
- 6.2.7.3 暂不安装的管子、管件和阀门等，应对端口进行妥善封闭。

6.3 管道制作

6.3.1 基本规定

- 6.3.1.1 管道的制作应符合 6.2 及合同约定，可在工厂或施工现场完成。
- 6.3.1.2 主蒸汽、再热蒸汽和高压给水管道应在工厂内制作。

6.3.2 切割与坡口制备

6.3.2.1 切割规定如下：

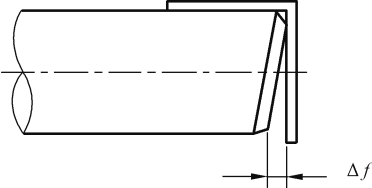
- a) 管子切割宜采用机械加工方法，也可采用等离子或火焰切割等方法；
- b) 采用等离子或火焰切割时，应用机械加工方法清除淬硬层及过热金属；
- c) 9%Cr~12%Cr 的马氏体耐热钢管应采用机械加工方法切割。

6.3.2.2 坡口制备规定如下。

- a) 坡口制备宜采用机械方法加工。不锈钢管应采用机械或等离子切割方法制备坡口或修磨，采用砂轮切割或修磨时，应使用专用砂轮片。
- b) 除设计另有规定外，焊接坡口的基本形式与尺寸可参照附录 E 中 E.1 的规定。
- c) 坡口表面质量规定如下：
 - 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(Δf)应符合表 9 的规定。

表 9 坡口端面偏斜度偏差

单位为毫米

| 图例 | 管子外径(D_o) | Δf |
|---|----------------------|------------|
|  | $D_o \leq 60$ | 0.5 |
| | $60 < D_o \leq 159$ | 1 |
| | $159 < D_o \leq 219$ | 1.5 |
| | $D_o > 219$ | 2 |

6.3.3 标记移植

- 6.3.3.1 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。
- 6.3.3.2 标记方法不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。
- 6.3.3.3 移植后的标记应清晰可追溯。

6.3.4 弯曲成形

- 6.3.4.1 弯曲可采用冷弯成形或热弯成形 2 种工艺方法。热弯成形温度应大于或等于 A_{c1} 减 56 °C ;冷弯成形温度应低于 A_{c1} 减 56 °C。钢管材料的下临界温度(A_{c1})可按表 10 确定。

表 10 常用钢管材料下临界温度近似值

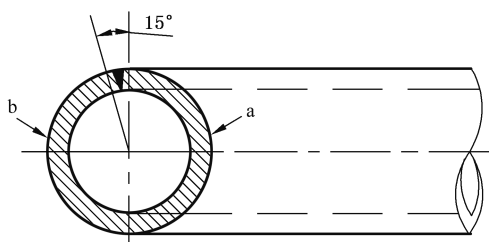
单位为摄氏度

| 钢材类别 | 下临界温度(A_{c1}) |
|-----------------------|-------------------|
| 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 |
| 9Cr-2W 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,采用实际温度。

6.3.4.2 弯曲成形规定如下。

- a) 热弯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 10 所示。



标引符号说明：

a——内弧侧；

b——外弧侧。

图 10 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 $6D_o$ 。 | $1.07S_m$ |
| $5D_o$ 。 | $1.09S_m$ |
| $4D_o$ 。 | $1.12S_m$ |
| $3D_o$ 。 | $1.16S_m$ |

注 1：弯曲半径为中间值的弯管，弯制前直管最小壁厚采用内插法计算。
注 2： D_o 为管子外径， S_m 为弯管相连的直管最小壁厚。

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

| 单位为毫米弯曲半径 | 弯制前直管最小壁厚 |
|--------------|------------|
| 不小于 $6D_o$ 。 | $1.09S_m$ |
| $5D_o$ 。 | $1.14 S_m$ |
| $4D_o$ 。 | $1.20 S_m$ |
| $3D_o$ 。 | $1.28 S_m$ |

注 1：弯曲半径为中间值的弯管，弯制前直管最小壁厚采用内插法计算。
注 2： D_o 为管子外径， S_m 为弯管相连的直管最小壁厚。

6.3.4.3 成形后的弯管规定如下。

- 弯管内、外弧上任何一点的实测壁厚不应小于第 5 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连接管子的最小壁厚。
- 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。
- 弯管的不圆度偏差规定如下：
 - 弯管的不圆度偏差(μ)应按式(49)计算：

$$\mu = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(49)$$

式中：

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

- 2) 热弯弯管的不圆度不应大于 7%；冷弯弯管的不圆度不应大于 8%；主蒸汽管道、再热蒸汽管道以及设计压力大于 8 MPa 的管道，弯管不圆度不应大于 5%；弯管两端直管段端部的不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 ±50 mm。
- e) 平面弯管弯曲角度允许偏差为 ±0.5°。
- 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 11 所示。

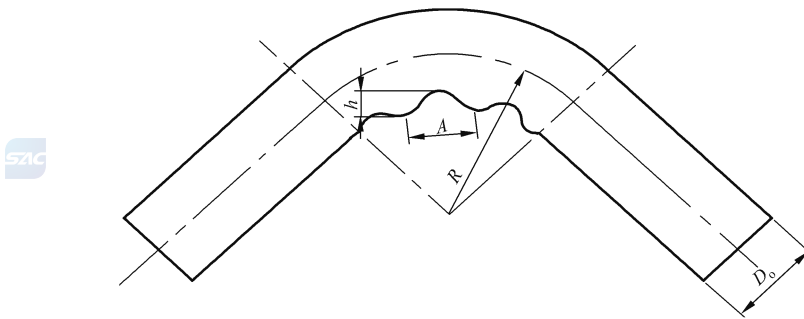


图 11 弯管波浪率示意图

- 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。

6.3.5 板焊管

6.3.5.1 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。

6.3.5.2 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。

6.3.5.3 板焊管制作规定如下：

- a) 卷板方向应与钢板的压延方向相同；
- b) 公称尺寸大于或等于 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 | 规定塑性延伸率为 0.2% 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 | $450 < R_{p0.2} \leq 540$ | $D_i \geq 48S_n$ |

表 13 允许冷卷的内径与公称壁厚关系 (续)

| 序号 | 规定塑性延伸率为 0.2% 的强度($R_{p0.2}$) MPa | 钢管内径(D_i)与公称壁厚(S_n)关系 mm |
|----|--|-------------------------------------|
| 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 ± 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

单位为毫米

| 板厚 S_n | 最大偏差 |
|---------------|------|
| $S_n < 10$ | 6 |
| $S_n \geq 10$ | 10 |

- g) 板焊管的焊接、焊后热处理检查和检验要求应符合 6.4、6.6、7.2、7.3 的相关规定。

6.3.6 支吊架

6.3.6.1 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(所有部分)的规定。

6.3.6.2 合金钢管道的支吊架与管子直接焊接的部分宜在工厂内完成。

6.3.7 管道工厂化预制

6.3.7.1 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。

6.3.7.2 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。

6.3.7.3 配管设计应合理布置焊口位置,充分利用管材。

6.3.7.4 异种钢之间的焊接宜在工厂内完成。

6.3.7.5 配管设计的管段制造图至少应包括以下内容:

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

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

6.3.7.7 管子与支吊架组装焊接规定如下:

- 耳轴中心线应与管子中心线正交,并通过管子中心线;
- 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。

6.3.8 管道清理、防护、标记与包装

6.3.8.1 管道清理规定如下:

- 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。

6.3.8.2 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。防护规定如下:

- 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(所有部分)的规定;
- c) 防护方法应符合相关标准的规定及合同约定。

6.3.8.3 管道的标记和包装规定如下。

- 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、质量、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。

6.4 焊接

6.4.1 基本规定

6.4.1.1 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。

6.4.1.2 焊接工艺评定除应符合 NB/T 47014 的规定外,还应符合 DL/T 868 的要求。

6.4.1.3 焊工资质应符合 TSG Z6002 的规定。

6.4.2 焊接材料

6.4.2.1 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。

6.4.2.2 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。焊接材料订货应满足 NB/T 47018(所有部分)和相关标准要求。

6.4.2.3 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。

6.4.2.4 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。

6.4.3 焊接环境

6.4.3.1 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 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 普通低合金钢和珠光体耐热钢为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 贝氏体和马氏体耐热钢为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 奥氏体不锈钢不受限制。

6.4.3.2 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。

6.4.3.3 焊接区域应有防雨、防雪和防潮湿的措施。

6.4.4 焊前准备

6.4.4.1 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 $10\text{ mm}\sim 15\text{ mm}$ ；
- 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 。

6.4.4.2 焊口组对规定如下。

- 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超过壁厚的 10% ，且不大于 1.5 mm ；
 - 2) 对接双面焊局部错口值不超过焊件厚度的 10% ，且不大于 3 mm 。
- b) 焊口组对的对口间隙规定如下：
 - 1) 对口间隙参见附录 E 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，规定如下：
 - 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 12a) 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 12b) 形式进行加工；
 - 3) 内、外壁尺寸均不相等时，可按图 12c) 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 12d) 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。

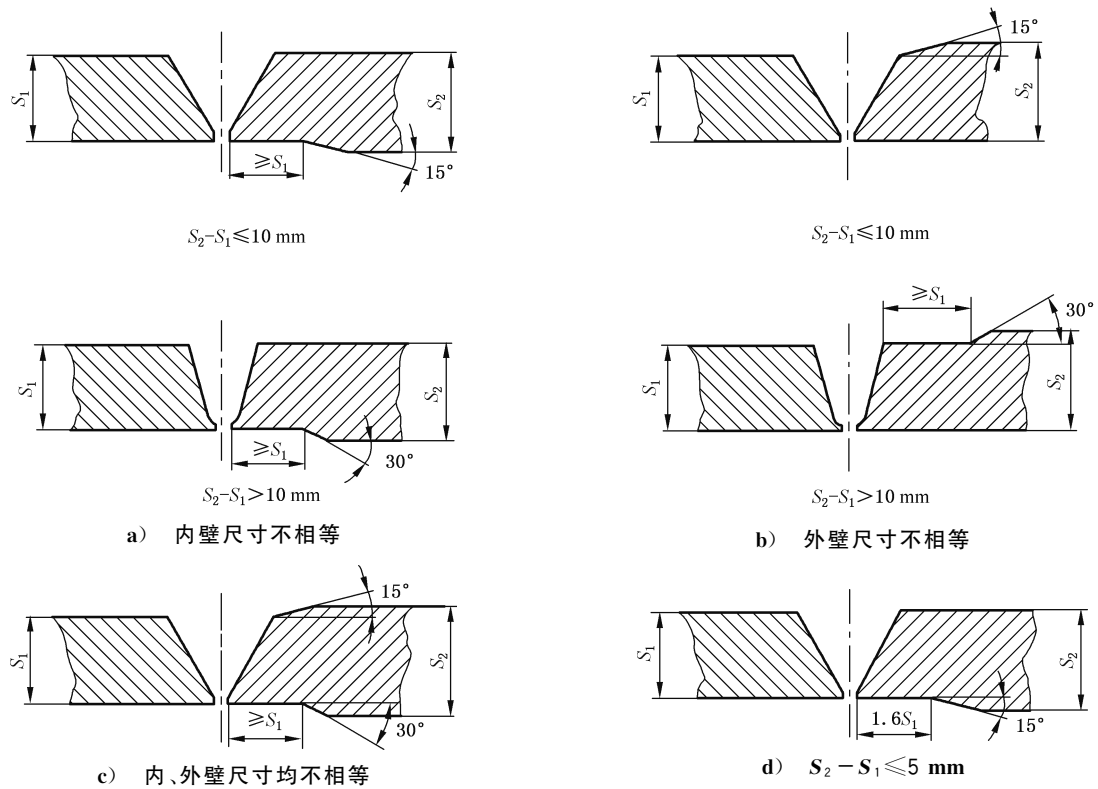


图 12 不同厚度的焊件组对

6.4.4.3 定位焊规定如下。

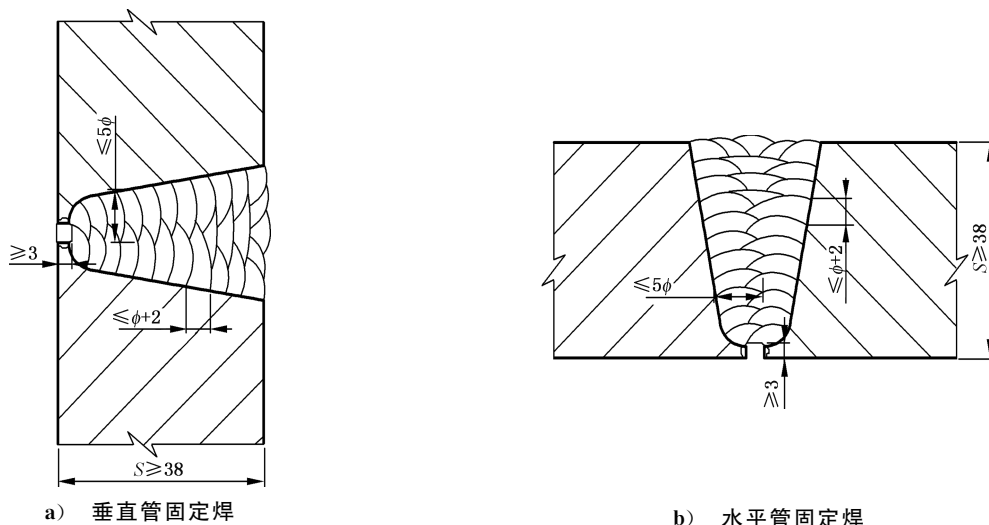
- a) 保留在完工焊缝内的定位焊应按照与根部焊道相同的焊接工艺施焊。
- b) 坡口根部采用焊缝定位时,焊后应检查各个定位焊点质量,如有缺陷应立即清除,重新进行定位焊。
- c) 厚壁大口径管采用临时定位焊时,定位焊件宜采用与母材同种材料。采用其他钢材作定位焊件时,应先在定位焊件上堆敷过渡层后再进行定位焊。堆敷材料应与正式焊接材料相同,堆敷厚度不应小于 5 mm。去除定位件时,不应损伤母材,应将残留焊疤清理干净、打磨修整至与母材平齐。
- d) 定位焊缝应具有适当的长度、厚度和间距。
- e) 根部焊接前,应对定位焊缝进行检查;若发现缺陷,处理后方可施焊。
- f) 焊接到管子上的工卡具材质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

6.4.5 施焊

6.4.5.1 焊接操作规定如下。

- 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,规定如下。
 - 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表示见图 13。



标引符号说明：

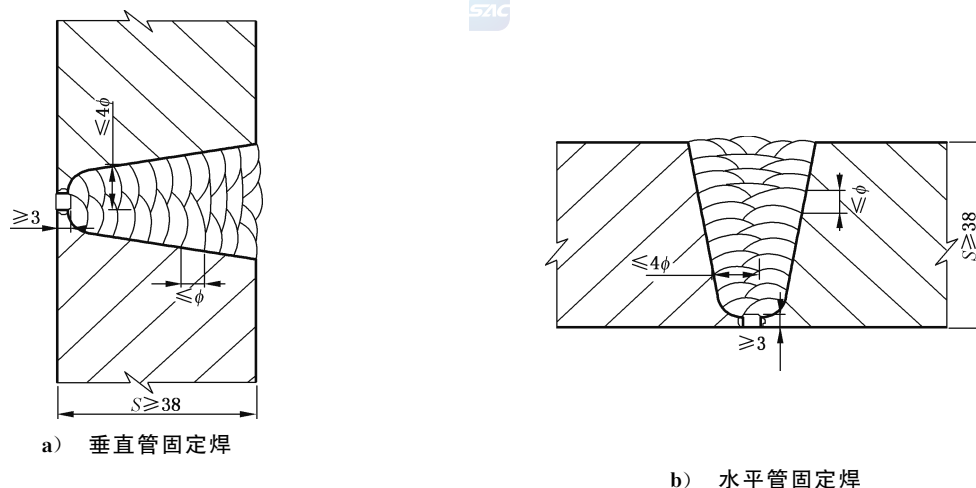
ϕ ——焊条直径,单位为毫米(mm);

S——焊件壁厚,单位为毫米(mm)。

图 13 厚壁管焊道排列示意图

d) 含 9%Cr~12%Cr 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} 与被焊母材相当。
- 2) 焊接时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 ℃；
 - 埋弧焊时,层间温度不宜超过 300 ℃。
- 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,多层多道排列表示见图 14。



标引符号说明：

ϕ ——焊条直径,单位为毫米(mm);

S——焊件壁厚,单位为毫米(mm)。

图 14 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符合 GB/T 20801(所有部分)的规定。

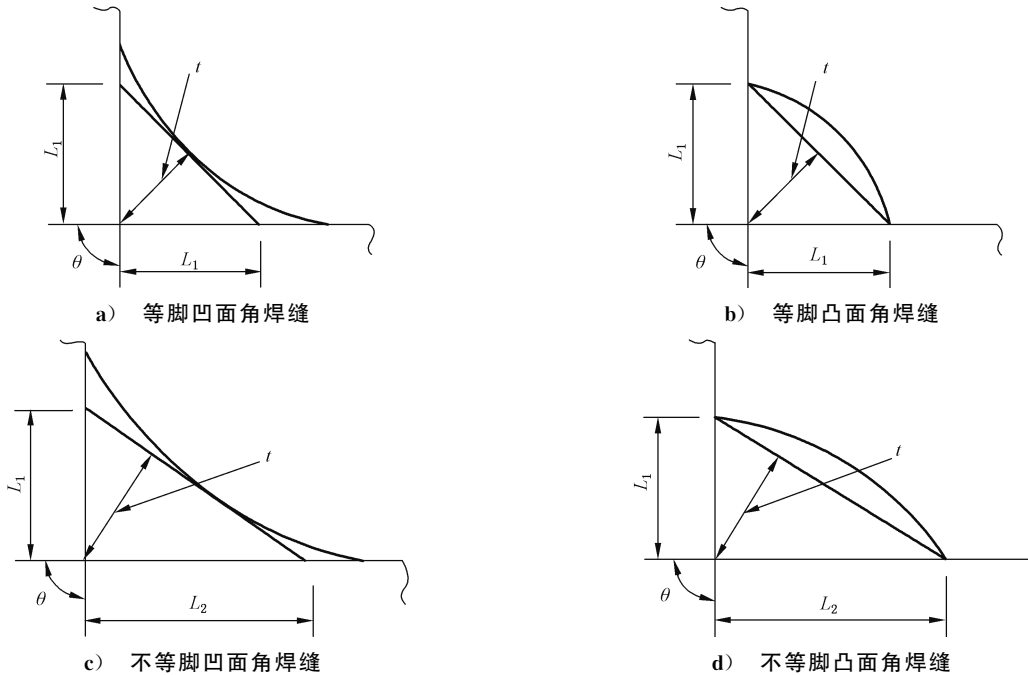
f) 焊接完成后,对管道承压焊缝标识可追溯的焊工识别标记。

6.4.5.2 对接焊缝规定如下:

- a) 焊缝边缘应与母材圆滑过渡,其外形尺寸应符合设计要求;
- b) 对接焊缝的余高应符合表 22 的规定。

6.4.5.3 角焊缝规定如下:

- 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 15 的规定。



标引符号说明:

L_1 、 L_2 ——焊脚尺寸,单位为毫米(mm);

t ——有效角焊缝厚度,单位为毫米(mm)。

注 1: 等边角焊缝焊脚尺寸为内接最大等腰三角形的两边长度;当 2 个被焊件夹角 $\theta = 90^\circ$ 时,有效焊缝高度为 0.7 倍焊脚尺寸。

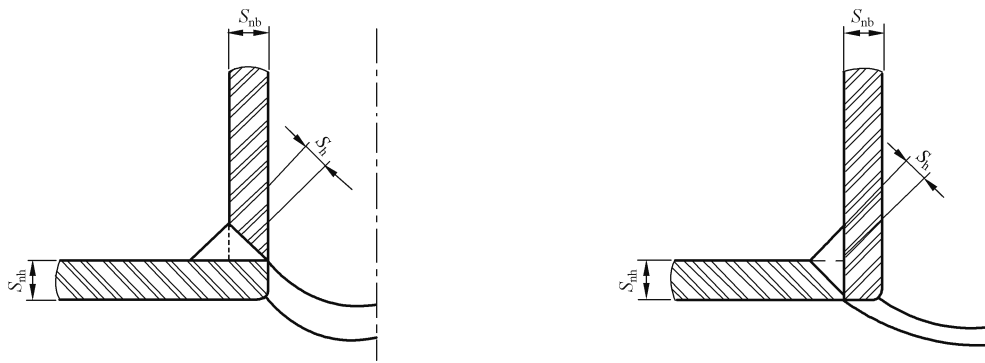
注 2: 不等边角焊缝焊脚尺寸分别为内接最大三角形的短边和长边长度,按图示计算有效焊缝高度。

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 θ 计算。

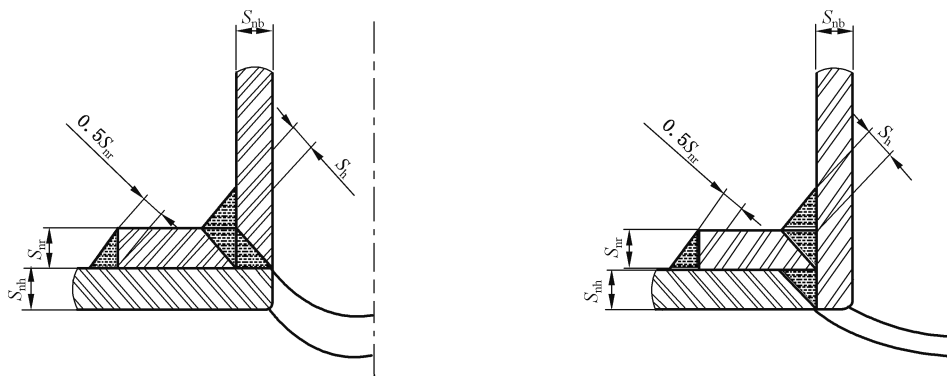
图 15 角焊缝的形式和尺寸

6.4.5.4 焊制支管连接规定如下。

- 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 16 和图 17;其中图 17d) 只适用于设计温度小于 400°C ,设计压力小于 7.1 MPa 且公称尺寸不大于 DN50 的支管接头。
- 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°C 的组成件以及剧烈循环的场合。



a) 非加强或厚壁加强焊制直管接头



b) 带加强板的焊制直管接头

标引符号说明：

S_h ——有效焊缝厚度，单位为毫米(mm)；

S_{nb} ——支管公称壁厚，单位为毫米(mm)；

S_{mh} ——主管公称壁厚，单位为毫米(mm)；

S_{nr} ——加强件公称壁厚，单位为毫米(mm)。

注： S_h 不小于6.0 mm与 $0.7S_{nb}$ 中的较小者。

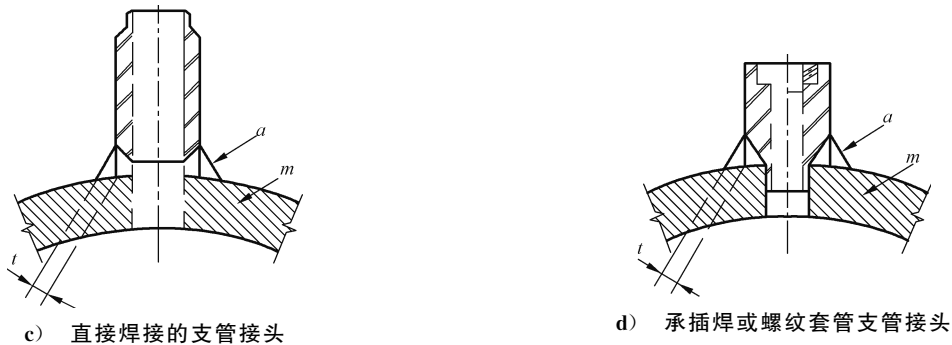
图 16 焊制支管连接



a) 承插焊或螺纹套管支管接头

b) 焊后镗孔支管接头

图 17 小直径支管连接型式



标引符号说明：

- t ——盖面角焊缝,最小为 5mm,单位为毫米(mm);
- b ——对接接头间隙,参照表 E.1,单位为毫米(mm);
- a ——全焊透坡口焊缝,单位为毫米(mm);
- m ——主管道,单位为毫米(mm)。

图 17 小直径支管连接型式 (续)

6.4.6 异种钢焊接

6.4.6.1 异种钢的焊接应按照经评定合格的焊接工艺进行操作。

6.4.6.2 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。

6.4.6.3 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。

6.4.6.4 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 ℃。

6.4.7 焊接中断

6.4.7.1 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。

6.4.7.2 对要求预热、控制层间温度和焊后热处理要求的材料,焊接中断规定如下：

- a) 已焊接焊缝厚度应大于 9.5 mm,或已填充 25%的坡口高度(取两者中的较小值),方可中断焊接;
- b) 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;
- c) 对铬含量不大于 3%的材料,中断后允许缓冷至室温;
- d) 对于 9%Cr~12%Cr 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。

6.4.7.3 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。

6.4.8 焊缝返修

6.4.8.1 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。

6.4.8.2 需要补焊时,应采用经评定合格的焊接工艺施焊。

6.4.8.3 焊缝同一部位的返修次数不宜超过 2 次;当超过 2 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;9%Cr~12%Cr 马氏体耐热钢焊缝的返修次数不应超过 2 次。

6.4.8.4 需焊后热处理的焊接接头,返修补焊后应重新进行热处理。

6.4.8.5 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。

6.5 预热

6.5.1 基本规定

- 6.5.1.1 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。
- 6.5.1.2 预热的方法不应应对加热部位造成损伤。
- 6.5.1.3 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。
- 6.5.1.4 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。
- 6.5.1.5 焊接热处理所使用的测控温仪表、热电偶、热电偶丝等计量器具应经校准,且在有效期内使用。

6.5.2 预热温度

6.5.2.1 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、工艺评定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 15,当采用钨极氩弧焊打底时,推荐预热温度可比下限温度降低 50 ℃。

表 15 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 ℃ |
| 碳含量不大于 0.35% 的碳素钢 | ≥26 | 100~200 | ≥34 | 100~150 |
| C-Mn 钢 | ≥15 | 150~200 | ≥30 | |
| 1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb 钢 | ≥20 | 150~200 | ≥20 | 150~200 |
| 1Cr-0.5Mo 钢 1.25Cr-0.5Mo 钢 | ≥15 | 150~200 | ≥15 | 150~200 |
| 1Cr-0.5Mo-V 钢 2.25Cr-1Mo 钢 | ≥6 | 200~300 | ≥8 | 200~300 |
| 9Cr-1Mo-V-Nb 钢 9Cr-2W 钢 | 任意厚度 | 180~250 | 任意厚度 | 180~250 |

6.5.2.2 特殊情况下预热温度的选取规定如下。

- a) 异种钢预热时规定如下:
 - 1) 一侧为奥氏体钢时,预热温度应符合 6.4.6 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。

6.5.3 加热方法和范围

6.5.3.1 一般采用柔性陶瓷电阻加热、远红外辐射加热或火焰加热,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,且不应小于 100 mm。

6.5.3.2 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。

6.5.3.3 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。

6.5.4 温度测量

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

6.5.4.2 温度测量仪表应经过校准,并在有效期内使用。

6.6 热处理

6.6.1 弯曲成形后的热处理

6.6.1.1 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。

6.6.1.2 对于公称尺寸不小于 100 mm 或公称壁厚不小于 13 mm 的铁素体合金钢管,弯曲后热处理规定如下:

- 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 16 规定。

表 16 推荐的冷弯成形后热处理

| 钢材类别 | 保温温度 °C | 保温时间 |
|--|------------|---------------------------|
| 碳含量不大于 0.35% 的碳素钢 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 | 580~680 | |
| 1Cr-0.5Mo 钢 1Cr-0.5Mo-V 钢 1.25Cr-1Mo 钢 | 700~750 | |
| 2.25Cr-1Mo 钢 | 675~760 | |
| 9Cr1Mo-V-Nb 钢 9Cr-2W 钢 | 730~770 | 按壁厚,2.4 min/mm 但至少 30 min |

6.6.1.3 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。

6.6.1.4 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。

6.6.2 后热消氢处理

6.6.2.1 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。

6.6.2.2 对含 9%Cr~12%Cr 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。

6.6.3 焊后热处理

6.6.3.1 当焊接工艺评定或相关标准有规定时,应进行焊后热处理。

6.6.3.2 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。

6.6.3.3 对含 9%Cr~12%Cr 的马氏体耐热钢,焊后热处理应在焊件温度降到 80 °C~100 °C、保温 1 h~2 h 后立即进行。

6.6.3.4 焊后热处理恒温温度的选择规定如下:

- 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 °C;
- b) 异种钢焊接接头规定如下:
 - 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。

6.6.3.5 管道常用钢材焊后热处理温度和恒温时间按表 17 规定。

6.6.3.6 不同壁厚部件焊接接头焊后热处理厚度,应取下列两者中的较小值:

- a) 焊缝厚度;
- b) 焊缝处连接材料的较厚者。

6.6.3.7 焊缝厚度按照下列方法确定:

- a) 坡口焊缝:坡口加工后,包括内倒角加工后,两相接单壁厚较大者;
- 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:与纵向轴线相交的平面内尺寸。

表 17 推荐的管道常用钢材焊后热处理

| 钢种 | 焊后恒温温度 °C | 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 | S>125 |
| | | 恒温时间 h | | | | | | | |
| 碳含量不大于 0.35% C-Mn 钢 | 580~620 | — | — | 1.5 | 2 | 2.25 | 2.5 | 2.75 | — |
| 1.15Ni-0.65Cu- Mo-Nb 钢 | 580~620 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.25 | 2.5 | 2.75 | — |
| 1Cr-0.5Mo 钢 1.25Cr-0.5Mo 钢 | 650~700 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.25 | 2.5 | 2.75 | — |
| 1Cr-0.5Mo-V 钢 2.25Cr-1Mo 钢 | 720~750 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | 4 | 5 | — |
| 9Cr-1Mo-V-Nb 钢 | 740~760 | 1 | 2 | 3 | 4~5 | 5~6 | 6~7 | 8 | 10 |
| 9Cr-2W 钢 | 750~770 | 1.5 | 2 | 4 | 5~6 | 6~7 | 8~9 | 10 | 12 |

6.6.4 整体热处理

6.6.4.1 管段宜采用炉内整体热处理。

6.6.4.2 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。

6.6.4.3 热处理采用火焰加热时,不应使火焰直接冲刷管段。

6.6.5 局部热处理

6.6.5.1 管道对接接头加热宽度宜根据加热方法及外径(D_0)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。保温宽度每侧应比加热宽度增加至少 2 倍壁厚,且不少于 150 mm。

6.6.5.2 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。

6.6.5.3 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。

6.6.6 热处理过程控制

6.6.6.1 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 °C。

6.6.6.2 热处理的升降温速率应符合下列规定:

- a) 采用柔性陶瓷电阻加热或远红外辐射加热时,热处理升降温速率为 $6\ 250/\delta$ [单位为摄氏度每小时($^{\circ}\text{C}/\text{h}$),其中 δ 为坡口处焊件厚度,单位为毫米(mm)];
- b) 采用电磁感应加热时,热处理升温速率为 $8\ 000/\delta$ [摄氏度每小时($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)],降温速率为 $6\ 250/\delta$ [摄氏度每小时($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)];
- c) 升降温速率最大不大于 300 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。当壁厚大于 100 mm 时,升降温速率按 60 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 进行控制;300 $^{\circ}\text{C}$ 以下不控制。

6.6.6.3 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准。

6.7 管道安装

6.7.1 基本规定

6.7.1.1 管道安装前应按管道设计规定的材质、规格和数量选配管道组成件,并按设计图标明管道系统编号、安装顺序和各组成件的顺序号。

6.7.1.2 支吊架安装宜先于管道安装或与管道同步安装。

6.7.1.3 管道所有开孔和接管座等应在安装前完成,并清理干净管道遗留物。

6.7.1.4 除紧靠对口外,管道连接时不应采用强力对口。不应采用加热管子、加垫物等方法消除接口端面的间隙、偏斜、错口或不同心等缺陷。

6.7.1.5 管道穿过楼板、墙壁、基础和屋面部位时宜加套管,并应留有管道热位移空间,穿越上述部位的管道不应有接口。

6.7.1.6 管道安装允许偏差应符合表 18 的规定。

表 18 管道安装允许偏差值

| 项目 | | 允许偏差 |
|---------|--------|---------------------------|
| 安装标高 | | ±15 mm |
| 水平管道弯曲度 | ≤DN100 | 不大于 1/1 000L,且不大于 20 mm |
| | >DN100 | 不大于 1.5/1 000L,且不大于 20 mm |
| 管道坡度 | | 坡度方向和坡度符合设计规定 |
| 立管垂直度 | | 不大于 2/1 000L,且不大于 15 mm |

表 18 管道安装允许偏差值 (续)

| 项目 | | 允许偏差 |
|----------------------------|---------------------|---|
| 对接管平直度 | $\leq \text{DN}100$ | $\leq 1 \text{ mm}$ |
| | $> \text{DN}100$ | $\leq 2 \text{ mm}$ |
| 交叉管间距偏差 | | $\pm 10 \text{ mm}$ |
| 法兰端面倾斜度 | | 不大于法兰外径的 $1.5/1\,000$, 且不大于 2 mm |
| 注: L 为直管段长度, 单位为毫米 (mm)。 | | |

6.7.1.7 对焊接管道规定如下。

- a) 管子对口前, 应检查管段焊口附近 100 mm 范围内不应有异物、水或其他液体。
- b) 除另有约定外, 管道安装折口的允许偏差值 (a) 应符合以下要求 (见图 18):
 - 1) 公称尺寸 $\text{DN}100$ 以下的管子, $a \leq 2 \text{ mm}$;
 - 2) 公称尺寸 $\text{DN}100$ 及以上的管子, $a \leq 3 \text{ mm}$ 。

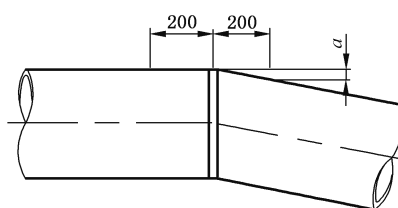


图 18 管子焊接角变形折口偏差示意图

- c) 管子对口符合要求后, 应及时固定, 避免焊接过程中管子移动或振动。
 - d) 管道焊接时及焊后热处理时, 应避免受到天气及环境突变等因素的影响。
 - e) 焊口位置应避免应力集中区, 且应便于焊接施工及焊后热处理, 焊缝的布置规定如下:
 - 1) 管道对接焊口, 除定型管件外, 中心线距离管道弯曲起点不小于管道外径, 且不小于 100 mm , 距支吊架边缘不小于 50 mm , 同管道 2 个对接焊口间距离应大于管道直径且不小于 150 mm , 当管道公称直径大于 150 mm 时, 同管道 2 个对接焊口距离不小于 500 mm ;
 - 2) 管接头和仪表插座不应设置在焊缝或焊接热影响区;
 - 3) 容器筒体的对接焊缝, 中心线距离封头弯曲点不应小于容器壁厚加 15 mm , 且不小于 25 mm ; 相互平行的两相邻焊缝之间的距离应大于容器壁厚的 3 倍, 且不小于 100 mm ; 不应布置十字焊缝;
 - 4) 管孔不宜布置在焊缝上, 并避免管孔接管焊缝与相邻焊缝的热影响区重合; 当无法避免在焊缝或焊缝附近开孔时, 应满足下列条件:
 - 管孔周围大于孔径且不小于 60 mm 范围内的焊缝及母材经无损检测合格;
 - 孔边不在焊缝缺陷上;
 - 管接头经过焊后消应力处理。
 - f) 需焊后热处理的焊口, 焊口两侧的约束设施应在焊口热处理检验合格后方可拆除。
 - g) 管道组对和安装过程中的焊接、热处理、检验和试验应符合 6.4、6.6 及第 7 章规定。
- 6.7.1.8 法兰连接管道规定如下。
- a) 法兰安装前应按照 6.2.4 的规定验收, 法兰安装应符合 GB/T 38343 的规定。

- b) 组对法兰密封面应用一个垫片,垫片材料适用范围应符合 GB/T 9129 的规定;当大直径垫片需要拼接时,应采用斜口搭接或迷宫式拼接,不应平口对接。
- c) 法兰组对时,对接法兰应平行、同轴,螺栓可自由穿入;垫片应均匀地压缩到预定的设计载荷。
- d) 法兰连接应采用同规格的螺栓,并同方向穿入法兰孔。
- e) 螺栓应对称紧固、受力均匀。所有螺母应全部旋入螺栓,且螺栓宜露出 2 个~3 个螺距,螺栓的紧固顺序宜按图 19 所示的紧固顺序紧固。

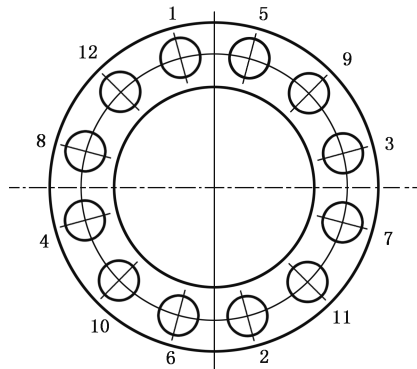


图 19 螺栓紧固顺序示意图

- f) 除含镍的合金外,有下列情况之一的螺栓和螺母应涂二硫化钼油脂或含铜的石墨润滑剂等:
 - 1) 不锈钢、合金钢螺栓和螺母;
 - 2) 管道设计温度高于 100 ℃;
 - 3) 露天管道;
 - 4) 处于大气腐蚀环境。
 - g) 合金钢螺栓不应直接用火焰加热方法进行热紧。
- 6.7.1.9 管道冷紧规定如下。
- a) 管道冷紧前应满足下列要求:
 - 1) 冷紧区域固定支吊架间所有焊口(除冷紧焊口外)焊接完毕,需焊后热处理的焊口已完成焊后热处理,且所有的焊口检验合格;
 - 2) 所有支吊架已安装完毕,临时支吊架已拆除;冷紧口附近的支吊架预留足够的调整裕量;支吊架弹簧按设计值调整并临时固定,弹簧不承受整定值外的载荷;
 - 3) 预留冷紧口位置和位移值符合设计要求。
 - b) 管道应按设计要求的冷紧口两侧位移值对口,冷紧口应及时进行焊接;需焊后热处理的冷紧口应按规定进行热处理,检验合格后方可拆除索具。
- 6.7.1.10 浮动连接管道规定如下。
- a) 管道与设备接口采用浮动连接方式应满足下列要求:
 - 1) 主管道系统除需浮动连接的焊口外,其他焊口已焊接完毕,且经检验合格;
 - 2) 主管道系统所有支吊架已安装完毕,临时支吊架已拆除,支吊架弹簧已按设计值调整;
 - 3) 管道与设备接口宜处于自由状态,且保持平行和同心;
 - 4) 按设计规定的位置和质量加载模拟配重块。
 - b) 管道按设计要求浮动连接组对合格后,应及时进行焊接和热处理,并经检验合格方可卸载模拟配重块。

6.7.2 主蒸汽、再热蒸汽管道和主给水管道的安装

6.7.2.1 合金钢管道安装前后应对管道组件及其焊接填充物进行光谱检查确认,并做标记。

6.7.2.2 管道位移指示器应按规定位置装设,管道冲洗前调整指示器在零位并记录。

6.7.2.3 监督段应按设计要求装设,并满足下列规定:

- a) 应选用同批钢管中壁厚最薄的同规格管子;
- b) 不宜安装接管座和支吊架等。

6.7.2.4 管道对接焊口应采用氩弧封底焊接工艺。

6.7.2.5 管道保温层外表面应标记焊缝位置。

6.7.2.6 主管道包括热控在内的所有管道分支、接口应在预制厂全部完成。

6.7.2.7 高温管道的分支管布置宜充分考虑主管的位移方向和位移量。

6.7.3 中、低压管道的安装

6.7.3.1 焊接钢管安装规定如下:

- a) 纵向焊缝或螺旋焊管组对时管子焊缝应相互错开,不宜少于 100 mm,焊缝宜处于容易检查的部位(螺旋焊管除外);
- b) 焊接钢管组对前应检查靠近坡口处管子焊缝的质量;
- c) 管道开孔应避开焊缝;
- d) 排汽管道的焊缝形式应符合 F.1 的规定,焊接和检验应符合 GB/T 150(所有部分)的有关规定。

6.7.3.2 油气管道的安装规定如下。

- a) 油气管道的安装和安全防护应符合设计规定和有关标准的规定。
- b) 油气管道的焊接规定如下。
 - 1) 抗燃油和润滑油管道的焊接应采用氩弧焊打底的焊接工艺,直径小于 50 mm 的油管道应采用全氩弧焊接。
 - 2) 空气、氢气、氧气和二氧化碳等其他气体碳钢管道应采用氩弧焊打底的焊接工艺。
 - 3) 抗燃油和润滑油管道应在安装前完成开孔和接管,并清理内部污物。
- c) 燃油和润滑管道的安装规定如下。
 - 1) 润滑油管道阀门阀杆应平放或向下倾斜安装。
 - 2) 管道的坡度规定如下:
 - 轻油管道不应小于 0.003;
 - 重油管道不应小于 0.020;
 - 其他油管道不应小于 0.005;
 - 回油管道的坡度应在供油管道坡度基础上加大。
 - 3) 燃油管道的安装偏差应符合表 19 的规定。

表 19 燃油管道的安装偏差

单位为毫米

| 序号 | 项目 | | 允许偏差 |
|----|------|----|------|
| 1 | 管道标高 | 架空 | ±10 |
| | | 地沟 | ±10 |
| | | 埋地 | ±10 |

表 19 燃油管道的安装偏差（续）

单位为毫米

| 序号 | 项目 | | 允许偏差 |
|----|-------|--------|-------------------------------|
| 2 | 立管垂直度 | | 不大于 2/1 000L, 且不大于 15 |
| 3 | 对口平直度 | DN<100 | ≤1 |
| | | DN≥100 | ≤2 |
| 4 | 法兰连接 | 端面倾斜度 | 不大于法兰外径的 1.5/1 000, 且不大于 2 mm |
| | | 螺栓、螺母 | 材质和规格符合设计规定, 应露出 2 个~3 个螺距 |

- 4) 润滑油管道的安装应符合制造厂的规定。
- 5) 燃油管道的蒸汽吹扫管规定如下：
 ——应采用固定接头连接方式；
 ——吹扫管应从燃油管上部接入，阀门应靠近油管；
 ——吹扫管道应留有足够的热膨胀量；
 ——管道疏水应有足够的坡度；
 ——燃油管道系统的调节阀、滤网、流量计量装置不应参加吹扫；
 ——不能参与蒸汽吹扫的燃油管道应采用人工方法进行管道内部清理。
- d) 天然气管道的安装规定如下：
 1) 管道及附件材料应符合国家标准、石油天然气行业标准和设计规定，且应具有良好的韧性和可焊性；
 2) 管内应清除所有杂质和凝结的液体；
 3) 天然气管道不应采用铸钢管件和阀门；
 4) 天然气管道的放散管出口应高于周围建筑物 2 m 以上，且总高度不应低于 10 m；
 5) 不应在放散管末端装弯管或弯头；
 6) 安装偏差应符合表 18 的规定。
- e) 压缩空气管道的安装偏差应符合表 18 的规定。
- f) 氢气和氧气管道的安装规定如下：
 1) 用于氢、氧系统安装的管道、管件和阀门等应按照 6.2 的规定验收；
 2) 氧气管道、管件、仪表和阀门安装前应进行脱脂处理，阀门密封垫片及填料应使用不含油脂或不可燃材料；
 3) 管道油脂清理应使用纤维不易脱落的布、丝绸、玻璃纤维织物等，脱脂后的管道或管件不应有有机织物附着在脱脂件上；
 4) 氢、氧管道严密性试验应用无油压缩空气或惰性气体如氮气(N₂)进行，泄漏检查时应采用无油泡沫洗涤剂；
 5) 从事氢、氧管道安装的操作人员的双手应清洁，所使用的工具和劳保用品等应洁净；
 6) 氧气管道安装过程中不应有可燃物、铁屑、焊渣、沙土及其他杂物进入或遗留在管道内部；
 7) 管道螺纹连接处应使用一氧化铅水玻璃或聚四氟乙烯带；
 8) 脱脂后的管道和管件两端应使用无油脂的封堵封闭；
 9) 氢气管道敷设时不应穿过生活、办公场所，并不应穿过不使用氢气的房间；
 10) 碳钢管道焊接时宜采用氩弧焊打底，电焊盖面方式；不锈钢管道宜采用全氩弧焊接。

6.7.3.3 衬里管道安装规定如下。

- a) 衬里管道宜用无缝钢管制作,基材管子、管件的验收应符合 6.2 的规定。
- b) 衬里管道宜采用法兰连接,安装要求应符合 6.7.1.8 的规定。
- c) 采用平焊法兰时,法兰内口焊缝应进行修磨并圆弧过渡;采用对焊法兰时,焊缝内表面应修整,不应有凹凸不平、气孔、夹渣、焊瘤等。
- d) 衬里管道管件安装前应进行漏电试验检测。
- e) 修补后的衬里管道不应用于酸或碱等强腐蚀性介质的管道。

6.7.3.4 不锈钢管道安装规定如下。

- a) 不锈钢管道安装应有专用场地和专用工装,不应与黑色金属制品或其他产品混杂。
- b) 管道吊装时,与管子直接接触的部件材质应采用非铁金属或非金属材料。
- c) 不锈钢管道法兰用非金属垫片的氯离子含量不应超过 50 mg/kg。不锈钢管道与碳钢支吊架之间应垫入不锈钢薄板或氯离子含量不超过 50 mg/kg 的非金属垫片。
- d) 不锈钢焊口两侧各 100 mm 范围内应采取可靠措施防止焊接飞溅物污染。

6.7.3.5 阀门安装规定如下。

- a) 安全阀的安装规定如下:
 - 1) 安全阀安装前铅封应完好无损,标牌上的技术参数符合设计要求;
 - 2) 安全阀应垂直安装;
 - 3) 安全阀的开启和回座压力应符合设计文件的规定;
 - 4) 管道试运行前,应及时调校安全阀;安全阀经调校后,在工作压力下不应有泄漏;
 - 5) 安全阀的最终整定宜在系统上进行,开启压力和回座压力应符合设计文件规定;
 - 6) 安全阀经最终调校合格后应予以铅封,并填写试验记录。
- b) 其他阀门安装规定如下:
 - 1) 应根据设计文件规定核对型号,并按阀门规定的介质流向进行安装;
 - 2) 有传动装置的阀门,指示器的位置应正确,传动可靠,无卡涩现象;
 - 3) 所有阀门不应与管道强力对接或承受额外重力载荷;
 - 4) 阀门的手轮安装位置应便于操作和检修,无特殊要求时,水平管道上的阀门手轮安装位置不宜向下,垂直管道上的阀门阀杆应顺着操作巡视方向安装;
 - 5) 当阀门与管道以焊接方式连接时,对焊阀门与管道连接应在相邻焊口热处理后进行;焊接时阀门不宜关闭,防止过热变形。

6.7.3.6 管道补偿装置安装规定如下。

- a) II形膨胀弯管的安装规定如下:
 - 1) 按设计文件规定进行预拉伸时,允许偏差宜为预伸缩量的 10%,且不大 10 mm;
 - 2) 水平安装时,II的两平行臂应与管道坡度相同。
- b) 金属波纹管膨胀节安装规定如下:
 - 1) 应符合设计文件规定进行预拉伸或压缩,受力应均匀;
 - 2) 波纹膨胀节应按指示方向安装;
 - 3) 安装前应设临时约束装置,管道安装固定后方可拆除;
 - 4) 安装法兰连接的角型膨胀节时,其中一侧法兰应在角型膨胀节安装调整完成后再进行连接。
- c) 挠性管接头规定如下:
 - 1) 挠性接头在运输和贮存过程中应避免日晒、雨淋,或与酸、碱、油等有机溶剂接触;
 - 2) 橡胶接头在运输装卸时不应被锐利器具划破表面、密封面;
 - 3) 垂直安装时接头管道两端应有垂直方向受力支承,宜采取防拉脱措施;

- 4) 橡胶接头安装部位应远离热源、臭氧区域,不应受强辐射光线暴晒。
- d) 不应调整补偿器或挠性接头的尺寸消除安装管道引起的偏差。

6.7.4 支吊架的安装

6.7.4.1 支吊架的安装规定如下。

- a) 支吊架的材质、型式、规格、整定值和安装位置应符合设计规定。
- b) 管道支吊点相对于管道的定位点的偏差应满足以下要求。
 - 1) 室内管道不大于 10 mm;
 - 2) 室外管道不大于 20 mm。
- c) 管部与管子之间在约束方向不应产生相对运动。
- d) 初始安装时应调整所有支吊架处于设计文件规定的标高。
- e) 垂直管道刚性吊架两侧吊杆所在平面宜垂直或平行于该吊点处管道水平位移合成方向。
- f) 刚性立管及横担吊架的两侧拉杆长度宜相同。
- g) 管道保温不应影响支吊架的位移。
- h) 支吊架根部与混凝土预埋件焊接时不应连续施焊。
- i) 靠近高温主管道的分支管道支吊架应满足主管道的位移量和位移方向。

6.7.4.2 弹性支吊架和阻尼器安装后应记录冷态位置和荷载数据。

6.7.4.3 第一次升温暖管至额定运行温度过程中应检查管道系统支吊架,不应有脱落或卡涩现象。

6.7.4.4 支吊架安装的其他要求应符合设计要求或合同约定。

6.8 管道清理、吹扫和清洗

6.8.1 基本规定

6.8.1.1 管道安装后,应进行清理、吹扫和清洗。

6.8.1.2 管道清理、吹扫和清洗方案应根据管道制作、装配、存放、安装、检验和试验期间造成的污染和腐蚀产物对管道的使用影响,以及管道的输送介质确定。

6.8.1.3 介质为蒸汽或气体的管道系统宜采用吹扫方式进行清理;介质为水的管道宜采用水冲洗方式;介质为油的管道系统宜采用蒸汽吹扫或油冲洗方式。

6.8.1.4 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。

6.8.1.5 管道采用蒸汽吹洗方案时应保证吹洗蒸汽对管壁的冲刷力大于额定工况下工作介质对管壁的冲刷力。

6.8.1.6 不参加吹扫的设备及管道,应与被吹洗系统隔离。

6.8.1.7 管道系统清洗前除设计另有要求外,应将系统内的流量孔板(或喷嘴)、节流阀阀芯、滤网和止回阀阀芯等拆除,待清洗结束后复装。

6.8.1.8 吹洗方案应根据管道支吊架的牢固程度确定,必要时应加固或设置临时支吊。

6.8.1.9 清洗废液的排放应符合环保要求。

6.8.1.10 管道吹洗应按照先主管、后支管、最后疏放水管的顺序进行。

6.8.1.11 蒸汽吹扫时,参与吹扫管道上及其附近不应放置木板等易燃物。

6.8.1.12 吹洗合格的管道应采取保护措施,避免再度污染。

6.8.1.13 管道吹洗结果根据吹洗方案确定的验收标准验收。

6.8.1.14 临时吹洗管道及系统应由具备相应设计资质的设计单位设计。

6.8.2 水冲洗

6.8.2.1 冲洗管道应使用洁净水,冲洗奥氏体不锈钢管道时,水中氯离子含量不应超过 50 mg/L。

- 6.8.2.2 水冲洗应用被冲洗系统内可达到的最大流量连续冲洗。
- 6.8.2.3 管道水冲洗合格后暂不运行时,应将水排净,必要时及时吹干。
- 6.8.2.4 管道系统进行水冲洗时环境温度不宜低于 5℃。

6.8.3 蒸汽吹扫

6.8.3.1 吹扫用临时管道的安装应满足以下要求。

- a) 吹扫临时管道设置的快断阀门安装前宜解体检查,消音器和管道组成件及支吊架安装前应验收合格。
- b) 蒸汽吹扫临时排汽管道规定如下。
 - 1) 排汽管支撑应牢固,排汽管管口宜向上倾斜 30°。
 - 2) 排汽管的内径宜不小于被吹洗管子的内径。
 - 3) 吹扫靶板使用要求如下:
 - 材料应为铝板,宽度应为管子内径的 8%,长度应纵贯管子内径;
 - 按锅炉启动调试导则的有关规定,连续 2 次更换靶板检查,靶板上的冲击斑痕不应大于 0.8 mm,0.5 mm~0.8 mm 之间的斑痕不多于 8 点,小于 0.5 mm 的斑痕均匀分布。
 - 4) 排汽管道末端出口宜装设消音装置;排汽管道末端出口正前方周围应无建构筑物,并设置安全隔离措施。
 - 5) 蒸汽吹扫的临时排汽管道应有防烫伤措施。
 - 6) 临时管道的安装应按照同等级正式管道的要求安装。安装结束后应根据批准的方案对整个系统进行检查验收。

6.8.3.2 蒸汽吹扫应满足下列规定:

- a) 蒸汽吹扫前应先行暖管、及时疏水,并检查管道热位移;
- b) 吹扫宜分阶段进行,相邻 2 个阶段之间的停留时间不宜少于 12 h;
- c) 汽、水管道的疏、放水系统在管道吹扫前应试通汽、水进行冲洗,并检查确认畅通无堵塞;
- d) 蒸汽吹扫采用一阶段方式时应在再热器进口管道上装设集粒器;
- e) 蒸汽吹扫的合格标准应符合合同约定。

6.8.4 化学清洗

- 6.8.4.1 管道安装前,必要时应对管子进行化学清洗。清洗方案应根据管内介质条件和管子的锈蚀状况确定。
- 6.8.4.2 化学清洗管道安装前,应具有满足化学清洗方案要求且经审批的临时管道安装图。
- 6.8.4.3 参与化学清洗的管道系统应与无系统有效隔绝。
- 6.8.4.4 化学清洗作业时,清洗区域内不应明火作业,结束后应及时对系统进行排氢。
- 6.8.4.5 化学清洗后的废液处理和排放应符合环境保护的规定。

6.8.5 记录及签证

管道系统清理、吹扫和清洗结束合格后,应填写管道系统吹扫及清洗记录和相关检测报告,并办理验收签证。

7 检查、检验与试验

7.1 基本规定

7.1.1 本章规定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。

7.1.2 管子、管件、法兰、阀门及紧固件等制作和安装前的验收应符合 6.2 的规定。

7.1.3 有热处理要求的管道应以热处理后的检查结果进行最终评定。具有延迟裂纹倾向的管道材料焊接接头应在焊接完成 24 h 后进行检查。

7.1.4 受检件或焊接接头不符合验收标准或有超过设计要求的缺陷时,应返修或更换。返修后或更换的新件应按原标准要求进行检查。

7.1.5 工厂加工的管道组成件的检查试验应符合相关产品标准和设计文件的要求。

7.1.6 检查及检验人员应具有相应资质证书并在有效期内。

7.2 检查

7.2.1 累进检查

当局部或抽样检查发现超标缺陷时,按以下要求处理:

- a) 另取 2 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 2 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 2 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 2 个相同件进行检查;
- d) 如 c)要求的 2 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 2 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,不需要按照 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经复查合格。需要时也可以对其他未检查的焊接接头进行局部或抽样检查。

7.2.2 检查类型和方法

7.2.2.1 基本规定

7.2.2.1.1 检查人员除应按照本条规定的检查类型和方法进行检查外,还应根据 7.4 对相关的文件进行检查。使用本条规定以外的检查方法时,应在设计文件中规定其验收标准。

7.2.2.1.2 检查包括 100%检查、抽样检查和局部检查,规定如下:

- a) 100%检查:在指定的一批管道中,应对某一具体项目进行全部检查;
- b) 抽样检查:在指定的一批管道中,对抽取的某一百分比的管道做某一具体项目的全部检查;
- c) 局部检查:在指定的一批管道中,对某一具体项目的每一件进行规定的部分检查。

指定批是本条中用于检查需考虑的管道数量。指定批的组成和数量宜由合同双方在工作开始前协议规定。指定批应按以下规定确定:

- a) 每批的管道数量应具有代表性且不宜过大;
- b) 同一批应由相同材料、相同规格或者同一管道系统、相同检测比例的被检件组成;
- c) 对焊接接头,同一批应由同一管道系统、同一类别焊接接头组成;
- d) 对不同种类的管道制作、安装工作,可规定不同的批。

注:抽样或局部检查将不保证该批产品的整体制造质量水平。在被代表检查的一批管道中,未检查部分可能会存在缺陷超标风险并在进一步检查中暴露发现。

7.2.2.2 目视检查

目视检查是对易于观察或能暴露检查的管道组成件、连接接头在其制造、制作、装配、安装、检查或试验之前、进行中或之后进行观察,包括核实材料、组件、尺寸、接头的制备、组对、焊接、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设计的要求。目视检查应按 NB/T 47013.7 及相关标准要求进行检查。

7.2.2.3 无损检测

射线检测(RT)应按照 DL/T 821 或 NB/T 47013.2 进行;脉冲反射法超声检测(PE)应按照 DL/T 820.2或 NB/T 47013.3 进行;磁粉检测(MT)、渗透检测(PT)应分别按照 NB/T 47013.4 和 NB/T 47013.5 进行;相控阵超声检测(PA)应按照 DL/T 1718 或 NB/T 47013.15 进行;衍射时差法超声检测(TOFD)应按照 DL/T 820.3 或 NB/T 47013.10 进行。

无损检测应在目视检查合格后进行,具有延迟裂纹倾向材料的焊接接头应在焊接完成 24 h 后进行检查。

在符合国家监督管理和相关安全技术规范要求的前提下可采用相控阵超声检测(PA)代替射线检测(RT)。

7.2.2.4 光谱检查

光谱检查方法应符合 DL/T 991 的规定。高合金部件及其焊缝进行光谱检查后应磨去弧光灼烧点。

7.2.2.5 硬度检查

硬度检查方法应符合 GB/T 231.1、GB/T 17394.1、DL/T 1719 或其他相应硬度检验标准的规定,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标准。

7.2.2.6 金相组织检查

金相组织检查方法应符合 DL/T 884、DL/T 2054 的规定。

7.2.2.7 制作过程中的检查

制作过程中的检查内容应包括:

- a) 材料、规格确认;
- b) 切割、焊接坡口的制备和清洗;
- c) 连接前的组装、接口间隙以及错口控制;
- d) 预热;
- e) 焊接工艺规定的技术参数,包括填充材料、焊接位置等;
- f) 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或渗透检测;
- g) 焊渣的清除和焊道间焊接情况;
- h) 完工后焊接接头的外观;
- i) 设计文件规定的其他要求。

7.2.3 检查范围与要求

7.2.3.1 检查等级

火电厂动力管道按管径、工作温度、工作压力划分为 I、II、III 三个检查等级,见表 20。其余 GC 类



管道的检查等级应符合 GB/T 20801.5 的规定。

7.2.3.2 目视检查

7.2.3.2.1 管道的目视检查应符合 7.2.2.2 的规定及设计要求。

7.2.3.2.2 管道焊接接头的目视检查比例见表 20 和表 21。焊接接头焊缝边缘应圆滑过渡到母材,焊缝表面不应低于母材表面且不应有深度大于 1 mm 的尖锐凹槽。除设计另有规定外,管道焊接接头目视检查内容与合格指标应符合表 22 和表 23 的规定。

7.2.3.2.3 弯管、管件应进行 100% 目视检查,检查内容与合格指标应符合 DL/T 515、DL/T 695 的规定。

7.2.3.2.4 管道制作时的工厂配管应进行 100% 目视检查,检查内容与合格指标应符合 DL/T 850 的规定。

7.2.3.2.5 管道安装时应进行抽样检查,安装尺寸、连接尺寸、管道组对、支吊架、冷紧等应符合设计要求。

7.2.3.2.6 应对已安装的管道、支吊架进行目视检查,管道标高、位置、坡度等应符合设计要求,支吊架安装质量应符合 GB/T 17116.1 或 DL/T 1113 的规定。

7.2.3.2.7 其余 GC 类管道目视检查比例及验收要求应符合 GB/T 20801.5 的规定。

表 20 对接焊接接头检查等级、方法及比例^a

| 检查等级 | 动力管道范围 | 检查方法及比例 | | | | |
|------|---|---------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 目视检查 | 无损检测 | | 光谱 ^c | 硬度 ^d |
| | | | 射线 | 超声 ^b | | |
| I | 工作温度 $T > 450$ °C 的蒸汽管道 | 100% | 100% | | 100% | 100% |
| | 工作压力 $P > 8$ MPa 的汽、水管道 | 100% | 50% | | 100% | 100% |
| | 工作温度 300 °C $< T \leq 450$ °C 的汽水管道 | 100% | 50% | | 100% | 100% |
| II | 工作温度 150 °C $< T \leq 300$ °C 的蒸汽管道 | 100% | 25 | | 10 | 100% |
| | 工作压力为 4 MPa $\leq P \leq 8$ MPa 的汽、水管道 | 100% | 25 | | 10 | 100% |
| | 工作压力 1.6 MPa $< P < 4$ MPa 的汽、水管道 | 100% | 25 | | 10 | — |
| III | 工作压力 0.1 MPa $\leq P \leq 1.6$ MPa 的汽、水管道 | 100% | 10 | | 10 | — |
| | 外径 $D < 76$ mm 的疏水、放水、排污、取样管子 | 100% | — | | — | — |

注：超声检测包括脉冲反射法超声检测(PE)、相控阵超声检测(PA)和衍射时差法超声检测(TOFD)。

^a 根据协议或设计要求,可采用更严格检查比例。

^b 当超声检测采用 PE 检测时应按 7.2.3.3 的要求进行附加检测。

^c 对碳素钢及 $R_{el} \leq 400$ MPa 的 Q345 等普通低合金钢管道焊接接头,可免除光谱检查。

^d 对碳素钢及普通低合金钢焊接接头,焊接热处理后首件硬度检查合格的,同批焊接接头可免除硬度检查。

表 21 角焊缝及支管连接焊接接头检查范围、方法及比例

| 检查等级 | 检查方法 | 检查比例 | |
|------|---------------|------|-------------------|
| | | 角焊缝 | 支管连接 |
| I | 目视检查 | 100% | 100% |
| | 磁粉(MT)/渗透(PT) | 100% | 100% |
| | 射线(RT)/超声(PE) | — | 100% ^a |
| II | 目视检查 | 100% | 100% |
| | 磁粉(MT)/渗透(PT) | 20% | 20% |
| | 射线(RT)/超声(PE) | — | 20% ^a |
| III | 目视检查 | 100 | 100% |
| | 磁粉(MT)/渗透(PT) | — | 10% |
| | 射线(RT)/超声(PE) | — | — |

注：角焊缝包括承插焊、密封焊以及卡块、平焊法兰的连接焊缝；支管连接指支管与主管的焊接角接头。

^a 适用于大于或等于 DN100 支管的全焊透结构的角接头。

表 22 焊缝外形允许尺寸

单位为毫米

| 焊缝类型 | 检查项目 | | 检查等级 | | | |
|---------------|----------|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| | | | I | II | III | |
| 对接焊缝 | 焊缝余高 | $\delta \leq 10$ | 0~2 | 0~3 | 0~4 | |
| | | $\delta > 10$ | 0~3 | 0~4 | 0~5 | |
| | 焊缝余高差 | 平焊位置 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 3 | |
| | | 其他位置 | ≤ 2 | < 3 | < 4 | |
| | 焊缝宽度 | 比坡口增宽 | < 4 | ≤ 4 | ≤ 5 | |
| | 焊缝宽窄差 | $\delta \leq 10$ | ≤ 3 | ≤ 3 | ≤ 4 | |
| $\delta > 10$ | | ≤ 4 | ≤ 4 | ≤ 5 | | |
| 角焊缝 | 焊脚尺寸 | $\delta \leq 10$ | $\delta + (1.5 \sim 2)$ | $\delta + (2 \sim 3)$ | $\delta + (2 \sim 4)$ | |
| | | $\delta > 10$ | $\delta + (2 \sim 3)$ | $\delta + (2 \sim 4)$ | $\delta + (2 \sim 5)$ | |
| | 焊脚尺寸差 | $h_f \leq 10$ | 0~1.5 | 0~2 | 0~3 | |
| | | $h_f > 10$ | 0~2 | 0~3 | 0~4 | |
| 组合焊缝 | 全熔透、部分熔透 | 焊脚尺寸 | $\delta \leq 20$ | $\delta \pm 1.5$ | $\delta \pm 2$ | $\delta \pm 2.5$ |
| | | | $\delta > 20$ | $\delta \pm 2$ | $\delta \pm 2.5$ | $\delta \pm 3$ |
| | | 焊脚尺寸差 | $\delta \leq 20$ | < 2 | ≤ 2 | ≤ 3 |
| | | | $\delta > 20$ | < 3 | < 3 | < 4 |

注： δ 为较薄部件的壁厚； h_f 为最小焊脚尺寸。

表 23 焊缝表露缺陷要求

| 缺陷名称 | | 检查等级 | | |
|--------|----------|---|--|--|
| | | I | II | III |
| 裂纹、未熔合 | | 不允许 | | |
| 根部未焊透 | | 不允许 | 深度不大于 10% 焊缝厚度,且不大于 1.5 mm;总长度不大于焊缝全长的 10%。 氩弧焊打底焊缝不允许 | 深度不大于 15% 焊缝厚度,且不大于 2 mm;总长度不大于焊缝全长的 15% |
| 气孔、夹渣 | | 不允许 | | |
| 咬边 | 不要求修磨的焊缝 | 深度不大于 0.5 mm;焊缝两侧总长度不大于焊缝全长的 10%,且不大于 40 mm | 深度不大于 0.5 mm;焊缝两侧总长度不大于焊缝全长的 20% | 深度不大于 0.5 mm;焊缝两侧总长度不大于焊缝全长的 20% |
| | 要求修磨的焊缝 | 不允许 | | |
| 根部凸出 | | ≤ 2 mm | 管道外径 $D \geq 108$ mm 时: ≤ 3 mm 管道外径 $D < 108$ mm 时以通球为准, $D \geq 32$ mm 时,为管内径的 85%; $D < 32$ mm 时,为管内径的 75% | |
| 内凹 | | ≤ 1.5 mm | ≤ 2 mm | ≤ 2.5 mm |

7.2.3.3 无损检测

7.2.3.3.1 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、角焊缝和支管连接接头的无损检测范围、比例应分别符合表 20 和表 21 的规定。

7.2.3.3.2 管道焊接接头无损检测方法规定如下:

- a) 厚度不大于 20 mm 的管道,其对接焊接接头采用脉冲反射法超声(PE)检测时,还应采用射线检测(RT)、相控阵超声检测(PA)或衍射时差法超声检测(TOFD)3 种方法之一进行附加检测,检测数量为 PE 检测数量的 20%;
- b) 厚度大于 20 mm 的管道,其对接焊接接头可采用射线检测(RT)或超声检测;采用脉冲反射法超声(PE)检测时,还应采用相控阵超声检测(PA)、衍射时差法超声检测(TOFD)或射线检测(RT)进行附加检测,其检测数量总和为脉冲反射法超声(PE)检测数量的 20%,检测范围应涵盖脉冲反射法超声(PE)检测有记录缺陷的焊缝;
- c) 经射线检测怀疑为面积型缺陷时,应采用超声检测方法确认;
- d) 同一焊接接头采用射线、超声等方法进行组合无损检测时,均应按各自执行标准检测合格。

7.2.3.3.3 除设计文件另有规定外,管道对接焊接接头的无损检测技术等级及合格质量等级应符合表 24 要求,角焊缝及支管连接焊缝要求如下:

- a) 检查等级为 I 级或 II 级的管道焊接接头,磁粉或渗透检测合格质量标准应符合 NB/T 47013.4 和 NB/T 47013.5 规定的 I 级要求;
- b) 检查等级为 III 级的管道焊接接头不应有裂纹、成排气孔及单个尺寸大于或等于 4 mm 的圆形缺陷显示;

- c) 对全焊透接管座角焊缝、支管连接焊缝,射线或超声检测结果不应有裂纹、未焊透、未熔合缺陷。

表 24 对接焊接接头无损检测合格质量等级

| 检测方法 | 检测标准 | 技术等级 ^a | 合格质量等级 | | |
|-----------|---------------|-------------------|--------|---------|----------|
| | | | 检查等级 I | 检查等级 II | 检查等级 III |
| 射线检测 | DL/T 821 | 不低于 AB 级 | II | II | III |
| | NB/T 47013.2 | 不低于 AB 级 | II | II | III |
| PE 超声检测 | DL/T 820.2 | 不低于 B 级 | I | I | II |
| | NB/T 47013.3 | 不低于 B 级 | I | I | II |
| TOFD 超声检测 | DL/T 820.3 | — | II | II | — |
| | NB/T 47013.10 | 不低于 B 级 | II | II | — |
| PA 超声检测 | DL/T 1718 | 不低于 B 级 | I | I | — |
| | NB/T 47013.15 | 不低于 B 级 | I | I | — |
| 磁粉检测 | NB/T 47013.4 | — | I | I | a |
| 渗透检测 | NB/T 47013.5 | — | I | I | a |

^a 检查等级为 III 级的对接焊接接头的磁粉或渗透检测合格质量等级或合格标准由协议双方确定。

7.2.3.3.4 除设计文件另有规定外,弯管、管件等管道组成件的无损检测范围、比例与合格质量要求应符合其相应产品标准的规定。

7.2.3.3.5 其余 GC 类管道焊接接头无损检测范围、比例与合格质量要求应符合 GB/T 20801.5 的规定。

7.2.3.4 硬度检查

7.2.3.4.1 除设计文件另有规定外,弯管、管件等管道组成件的硬度检查范围、比例与合格质量要求应符合其相应产品标准的规定。

7.2.3.4.2 焊接接头的硬度检查范围应包括焊缝及热影响区,检查比例见表 20,合格质量标准如下:

- a) 同种钢焊接接头热处理后焊缝硬度,不应超过母材布氏硬度值加 100 HBW,且:
 - 1) 合金总含量小于 3% 时,布氏硬度值不应大于 270 HBW;
 - 2) 合金总含量大于或等于 3% 但小于 10% 时,布氏硬度值不应大于 300 HBW。
- b) 对 9%Cr~12%Cr 马氏体型耐热钢,焊缝硬度应满足 185 HBW~270 HBW 要求,热影响区硬度应控制在 175 HBW~270 HBW;
- c) 异种钢焊接接头硬度应符合 DL/T 752 的规定;
- d) 焊缝硬度不应低于母材标准硬度下限值的 90%。

7.2.3.4.3 其余 GC 类管道焊接接头的硬度检查范围、比例与合格质量标准应符合 GB/T 20801.5 的规定。

7.2.3.5 金相组织检查

7.2.3.5.1 除设计文件另有规定外,弯管、管件等管道组成件的金相组织检查范围、比例与合格质量要求应符合其相应产品标准的规定。

7.2.3.5.2 对 9%Cr~12%Cr 马氏体型耐热钢管道焊接接头,金相组织检查范围、比例与合格质量要求应符合 DL/T 438 的规定;其他钢材管道焊接接头检查范围与比例应符合设计文件或协议规定,合格质量要求应符合 DL/T 2054 的规定。

7.2.3.6 光谱检查

7.2.3.6.1 光谱检查范围、比例应符合表 20 的要求。

7.2.3.6.2 经光谱检查确认材质不符的焊缝应判定为不合格焊缝。

7.2.3.7 检查不合格

7.2.3.7.1 采用抽样检查或局部检查发现不合格时,应按 7.2.1 的要求进行累进检查。

7.2.3.7.2 对检查确定的不合格件,采用返修方式处理时,返修后应采用原规定的检查方法重新检查。

7.2.4 文件检查

7.2.4.1 检查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,确认管道材料、组成件符合设计、制作与安装要求。

7.2.4.2 检查人员应确认管道已按要求检查试验合格,并确认检查资料完整。

7.3 检验

7.3.1 检验人员应审查管道组成件制造、制作、安装等焊接与热处理记录、检查与试验记录及报告、质量证明文件,确认其符合本章规定及设计文件要求。

7.3.2 检验人员需进行抽样检验时,检验方法与合格质量要求应符合 7.2 的规定,检验范围、抽样比例应根据协议要求执行。

7.4 压力试验

7.4.1 基本要求

管道安装完毕并按 7.2 要求检查合格后应按设计规定进行压力试验检查管道系统的严密性和承压强度。压力试验包括水压试验和气压试验。

7.4.2 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%射线或超声检测合格;
- b) 管道系统的角焊缝经 100%磁粉或渗透检测合格,对外径 108 mm 以上的全焊透管座角焊缝经 100%超声或射线检测合格。

7.4.3 试验前的准备工作

7.4.3.1 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第 6 章的规定安装完毕并检查合格,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,并确认试验压力在其准许范围;
- d) 应将与管道连接而不参与压力试验的容器、管道、设备、仪表等与试验管道隔离;
- e) 管道上的安全阀等安全装置及仪表元件已采取隔离措施;

- f) 试验用压力表经检定或校准并在有效期内,压力表精度不应低于 1.6 级,最大量程应为试验压力的 1.5 倍~2 倍,压力表不应少于 2 块;
- g) 参与压力试验的临时管道、管件、焊接接头应检查合格并满足压力试验强度要求;
- h) 管道系统压力试验前组装、焊接、热处理和检查等文件应齐全。

7.4.3.2 管道系统试验时,应保证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。如果采用阀门隔离时应保证该阀门及其闭合机构适合试验压力要求,且阀门两侧温差不应超过 100 °C。

7.4.4 水压试验

7.4.4.1 水压试验应使用洁净水。对奥氏体不锈钢管道试验时,水中氯离子含量不应超过 50 mg/L。

7.4.4.2 水压试验时环境温度不应低于 5 °C;水温宜为 5 °C~70 °C。除设计另有规定外,水压试验的压力应为 1.5 倍设计压力,且不应小于 0.2 MPa。

7.4.4.3 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%。

7.4.4.4 水压试验前应确保试验设备连接可靠。

7.4.4.5 管道与设备作为一个系统进行水压试验时,规定如下:

- 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,经建设单位和设计单位同意,可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时,宜按系统中最低额定压力的设备或管道系统进行水压试验。

7.4.4.6 水压试验过程中应按以下要求检查:

- a) 进行水压试验的管道系统,当压力达到试验压力后应保压 10 min,然后降至设计压力,在设计压力下保压 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位位置外均不应有渗水或泄漏的痕迹,且目视检查无变形或其他异常现象;
- 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,不应带压处理。

7.4.4.7 试验完毕后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。

7.4.5 气压试验

7.4.5.1 当设计要求进行气压试验或管道系统不能进行水压试验时,可进行气压试验。气压试验前准备要求如下:

- a) 应对管道系统进行气压试验风险评估和危害辨识,气压试验的安全操作规程应经过审核;
- b) 气压试验时,应将脆性破坏的可能性减小至最少程度,应保证参与气压试验的管道组成件及阀门、容器等设备的金属材料温度高于其脆性断裂温度 25 °C 以上,且金属材料温度不应低于 5 °C;
- c) 试验系统中不应包括铸铁等脆性材料。

7.4.5.2 试验时应装有压力泄放装置,其设定压力不应高于 1.1 倍试验压力。

7.4.5.3 试验介质应是干燥洁净的空气、氮气或其他不易燃、无毒、无腐蚀的气体。

7.4.5.4 承受内压的金属管道,试验压力应为设计压力的 1.15 倍,且不应超过系统中参与试验的容器、阀门等设备的最大允许试验压力。

7.4.5.5 试验前应采用试验气体进行预试验,预试验压力宜为 0.2 MPa。

7.4.5.6 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,每级稳压 3 min 直至达到规定的试验压力,在试验压力下保持 10 min,然后再降至设计压力或 0.7 MPa 两者中的较小值,以发泡剂检查有无泄漏。

7.4.5.7 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。

7.4.5.8 真空管道的试验压力宜为内压 0.2 MPa。

7.4.6 补焊或增焊后的重新试验

7.4.6.1 压力试验完成后需要在管道补焊或增焊时应符合第 6 章的规定,相关检查工作应符合本章的规定。

7.4.6.2 补焊或增焊部位位于承压管道组成件上时,该组成件所在管段应重新进行压力试验。

7.4.6.3 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,同时满足下列要求可不重新进行压力试验:

- a) 附件角焊缝厚度不大于 10 mm,或者采用全焊透焊缝时所连接材料不超过承压组成件公称厚度且不大于 12 mm;
- b) 焊接及焊后热处理符合第 6 章的规定;
- c) 焊接接头按照本章要求检查合格。

7.5 记录

检查、检验与试验应按照第 7 章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,保存年限应按行政主管部门有关规定执行。

8 安全防护

8.1 安全泄放装置

8.1.1 基本规定

8.1.1.1 有超压危险的管道系统应设置安全泄放装置。

8.1.1.2 自动控制仪表和报警联锁装置不应代替安全泄放装置。

8.1.1.3 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,可能产生超过设计压力的管道系统;
- 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。

8.1.1.4 安全泄放装置相关压力的确定规定如下。

- a) 蒸汽或汽水两相介质管道系统的超压保护规定如下:
 - 1) 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%;
 - 2) 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%。

- b) 水介质管道系统安全泄放装置的设定压力不应大于系统设计压力,其最大泄放压力不宜超过系统设计压力的 10%。
- 8.1.1.5 安全泄放量规定如下:
- a) 安全泄放量的计算应符合附录 G 的规定;
- b) 应取各种超压工况安全泄放量的最大值。
- 8.1.1.6 最小泄放面积规定如下:
- 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 G 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。
- 8.1.1.7 安全泄放装置的进、出口侧不宜安装关断阀。
- 8.1.1.8 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%。
- 8.1.1.9 安全泄放装置的出口排放管道规定如下:
- 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)2200 mm;
- b) 安全泄放装置宜设置单独排放管道,当 2 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。

8.1.2 安全泄放装置的选用

- 8.1.2.1 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/T 12241、GB/T 12242 及 GB/T 12243 的规定。
- 8.1.2.2 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。
- 8.1.2.3 主蒸汽系统采用三用高压旁路阀时,其结构形式应采用流开式,三用高压旁路阀的选用应符合 DL/T 2124 及 DL/T 2496 的规定。

8.2 安全防护设施和措施

8.2.1 基本规定

8.2.1.1 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) 由管道布置、结构、连接形式以及相关安全运行经验确定的管道安全性;
- c) 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。

8.2.1.2 流体泄漏应采用自动关闭压力源等方法限制。

8.2.2 布置中的安全防护

- 8.2.2.1 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。
- 8.2.2.2 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。
- 8.2.2.3 介质温度大于 60 °C 人体可能触及的设备及管道应进行防烫伤保温。
- 8.2.2.4 设计压力大于或等于 6.3 MPa 或设计温度高于 400 °C 的管道不应布置在管沟内。
- 8.2.2.5 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。

9 保温及防腐

9.1 管道保温

9.1.1 基本规定

管道在下列条件下应保温：

- a) 外表面温度高于 50 °C 需要减少散热损失的管道；
- b) 有防凝露、防冻或延迟介质凝结要求；
- c) 外表面温度高于 60 °C、工艺不要求保温的管道，但人体可能触及的部位。

9.1.2 保温材料及主要辅助材料性能

9.1.2.1 保温材料规定如下：

- a) 保温层平均温度不高于 350 °C 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/m³，半硬质保温制品密度不大于 200 kg/m³，软质保温制品密度不大于 150 kg/m³；
- c) 硬质保温制品的抗压强度不应小于 0.4 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。

9.1.2.2 防潮层材料规定如下：

- a) 应具有良好的抗蒸汽渗透性、防水性和防潮性，且吸水率不应大于 1.0%；
- b) 具有稳定的化学性能、无毒且耐腐蚀，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，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 °C，挥发物不应大于 30%，在 20 °C 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。

9.1.2.3 保护层材料规定如下：

- a) 应具有良好的防水性、防潮性及抗大气腐蚀性；
- 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。

9.1.3 保温设计

9.1.3.1 保温材料应按介质的最高温度选择。

9.1.3.2 保温层厚度计算应符合 DL/T 5072 规定。

9.1.3.3 保温结构规定如下。

- 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。

9.1.4 保温施工与验收

9.1.4.1 保温工程应按 GB 50126 的规定进行施工。

9.1.4.2 保温工程应按 GB 50185 的规定进行验收。

9.1.5 保温工程效果测试和评价

保温工程效果测试和评价应按 GB/T 8174 的规定进行。

9.2 管道防腐

9.2.1 基本规定

9.2.1.1 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) 设计温度不大于 120 °C 的保温管道；
- c) 埋地管道。

9.2.1.2 设计温度大于 120 °C 的保温管道的外表面宜进行防腐。

9.2.2 腐蚀环境类型

9.2.2.1 大气腐蚀性等级应按 GB/T 30790.2 的规定划分。

9.2.2.2 土壤腐蚀性等级应按 DL/T 5394 的规定划分。

9.2.3 防腐设计

9.2.3.1 防腐涂料的性能应与腐蚀环境相适应。

9.2.3.2 防腐涂料的选择规定如下：

- a) 不保温的室内布置管道可选择醇酸涂料、环氧涂料、聚氨酯涂料、有机硅涂料等；不保温室外布置管道可选择丙烯酸涂料、聚氨酯涂料、有机硅涂料等；
- b) 设计温度不大于 120 °C 的保温管道外表面应选择环氧涂料；
- c) 设计温度大于 120 °C 的保温管道的外表面应选择耐热涂料；
- d) 埋地管道外壁可选择环氧煤沥青涂料、高固体分改性环氧涂料等，必要时可与阴极保护结合使用。

9.2.3.3 防腐涂层体系的设计规定如下：

- 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) 涂层宜配套使用底漆、中间漆和面漆，且底漆应与规定的钢材除锈等级相适应。

9.2.4 防腐施工与验收

9.2.4.1 防腐涂层施工前应按 GB/T 8923.1 的规定对管道表面进行处理，处理等级应不低于表 25 的规定。

表 25 管道表面除锈等级

| 底层涂料种类 | 最低除锈等级 |
|-------------|-----------|
| 沥青底漆、醇酸树脂底漆 | St3 或 Sa2 |
| 其他树脂类底漆 | Sa2 |
| 富锌底漆 | Sa2½ |

9.2.4.2 涂层的施工可采用刷涂、滚涂或喷涂方法。

9.2.4.3 涂层干膜厚度规定如下：

- a) 应与环境腐蚀等级相适应；
- b) 应与管道表面预处理方法、除锈等级及其表面粗糙度相适应。

9.2.4.4 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) 相对湿度不宜大于 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。

9.2.4.5 防腐工程的检查和验收规定如下:

- a) 检查涂层外观时,涂膜应光滑平整,颜色均匀一致,无泛锈、气泡、流挂及开裂、剥落等缺陷；
- b) 涂层表面应采用电火花检测,无针孔；
- c) 涂层应均匀,85%测点的干膜厚度不应小于规定厚度,其余 15%测点的干膜厚度不应低于规定厚度的 85%；
- d) 涂层附着力应符合设计要求,可采用划圈法；
- e) 涂层应无漏涂、误涂现象；
- f) 涂装工程的验收应包括中间验收和交工验收。



附录 A
(规范性)
材料的许用应力

A.1 钢管材料许用应力见表 A.1。

表 A.1 钢管材料许用应力表

| 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/T 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 | 146 | 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 | 207 | 207 | 207 | 207 | 207 | 207 | 207 | | | | |
| | 10Cr9Mo1VNbN | ≥585 | ≥415 | 168 | 167 | 166 | 165 | 165 | 164 | 164 | 164 | 164 | 163 | 163 | 162 | 161 | 161 | 159 | 157 | 156 | 154 | 153 | 150 | 148 | | | |
| | 10Cr9MoW2VNbBN | ≥620 | ≥440 | 177 | 169 | 165 | 164 | 163 | 162 | 161 | 161 | 161 | 160 | 159 | 158 | 157 | 156 | 155 | 154 | 153 | 152 | 151 | 149 | 148 | | | |
| | 07Cr19Ni10 | ≥515 | ≥205 | 137 | 126 | 122 | 120 | 119 | 118 | 117 | 116 | 115 | 114 | 113 | 112 | 111 | 108 | 109 | 108 | 107 | 107 | 106 | 105 | | | | |
| 07Cr18Ni11Nb | ≥520 | ≥205 | 138 | 117 | 105 | 103 | 102 | 101 | 100 | 100 | 99 | 98 | 97 | 96 | 96 | 95 | 95 | 94 | 94 | 94 | 94 | 93 | | | | | |
| GB/T 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/T 8163 | Q345 | 470~630 | ≥345 | 156 | 156 | 149 | 146 | 143 | 140 | 137 | 135 | 132 | 131 | 130 | 130 | 129 | 127 | 124 | 122 | — | — | — | — | | | | |
| | 10 | 335~475 | ≥205 | 111 | 111 | 104 | 101 | 98 | 96 | 93 | 91 | 89 | 87 | 85 | 83 | 80 | 78 | 76 | 75 | 73 | 70 | 68 | 66 | | | | |
| | 20 | 410~530 | ≥245 | 137 | 135 | 125 | 123 | 120 | 118 | 115 | 113 | 111 | 109 | 106 | 102 | 100 | 97 | 95 | 92 | 89 | 87 | 83 | 78 | | | | |

表 A.1 钢管材料许用应力表 (续)

| 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/T 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 | 41 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 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 | ≥585 | ≥415 | 145 | 143 | 141 | 138 | 135 | 132 | 129 | 126 | 122 | 118 | 114 | 108 | 102 | 92.4 | 82.9 | 74.0 | 65.8 | 57.6 | 50.2 | 42.8 | 36.3 | 30.7 | 25.1 | — | — |
| | 10Cr9MoW2VNbBN | ≥620 | ≥440 | 147 | 145 | 144 | 142 | 140 | 139 | 137 | 135 | 132 | 130 | 127 | 125 | 123 | 112 | 102 | 93.0 | 84.0 | 75.0 | 66.7 | 58.4 | 50.4 | 42.7 | 35.0 | — | — |
| | 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 | — | — |
| 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 | — | — | |
| GB/T 3087 | 10 | 335~475 | ≥195 (205) | 61 | 55 | 49 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 20 | 410~550 | ≥225 (245) | 72 | 63 | 55 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | Q345 | 470~630 | ≥315 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| GB/T 8163 | 10 | 335~475 | ≥195 (205) | 61 | 55 | 49 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 20 | 410~550 | ≥225 (245) | 72 | 63 | 55 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |

表 A.1 钢管材料许用应力表 (续)

| 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 | |
| | | 焊接钢管 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GB/T 3091 | Q235B | ≥370 | ≥225 (235) | 123 | 123 | 113 | 111 | 108 | 105 | 103 | 101 | 97 | 93 | 90 | 88 | 85 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | Q345B | ≥470 | ≥325 (345) | 156 | 156 | 149 | 146 | 143 | 140 | 137 | 135 | 132 | 131 | 130 | 130 | 129 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | Q245 | >3~16 | 400~520 | ≥245 | 133 | 124 | 111 | 109 | 107 | 105 | 103 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 91 | 90 | 88 | 87 | 86 | 84 | — |
| | | >16~36 | 400~520 | ≥235 | 133 | 124 | 111 | 109 | 107 | 105 | 103 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 91 | 90 | 88 | 87 | 86 | 84 | — |
| | | >36~60 | 400~520 | ≥225 | 133 | 119 | 107 | 105 | 103 | 101 | 99 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 87 | 86 | 84 | 83 | 82 | 81 | — |
| | Q345 | >3~16 | 510~640 | ≥345 | 170 | 166 | 156 | 154 | 151 | 148 | 146 | 143 | 141 | 139 | 137 | 135 | 133 | 132 | 130 | 129 | 128 | — | — | — |
| | | >16~36 | 500~630 | ≥325 | 166 | 166 | 156 | 154 | 151 | 148 | 146 | 143 | 141 | 139 | 137 | 135 | 133 | 132 | 130 | 129 | 128 | — | — | — |
| | | >36~60 | 490~620 | ≥315 | 163 | 160 | 146 | 144 | 141 | 138 | 136 | 133 | 131 | 129 | 127 | 125 | 123 | 122 | 120 | 119 | 118 | 116 | — | — |
| | 15CrMo | 450~590 | ≥295 | 150 | 150 | 150 | 148 | 146 | 144 | 142 | 140 | 138 | 137 | 136 | 136 | 136 | 134 | 133 | 131 | 128 | 127 | 126 | 124 | 123 |
| | | 520~680 | ≥310 | 173 | 173 | 170 | 169 | 168 | 168 | 168 | 167 | 166 | 166 | 165 | 165 | 164 | 163 | 162 | 162 | 161 | 161 | 160 | 159 | 158 |
| | | 440~590 | ≥245 | 146 | 133 | 126 | 124 | 122 | 121 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 111 | 110 | 108 | 107 | 106 | 104 | 103 | 102 | — |
| | B70 | 485~620 | ≥260 | 138 | 138 | 138 | 137 | 136 | 136 | 136 | 136 | 135 | 134 | 132 | 131 | 129 | 128 | 127 | 125 | 117 | 108 | 101 | 94.3 | 87.4 |
| 1-1/4Cr 1类板 | | 415~585 | ≥240 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 117 | 116 | |
| 1-1/4Cr 2类板 | | 515~690 | ≥310 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | 148 | |
| 2-1/4Cr | 1类板 | 415~585 | ≥205 | 118 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | 114 | |
| | 2-1/4Cr 1类板 | 515~690 | ≥310 | 148 | 142 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 140 | 140 | 139 | 139 | 138 | 138 | 137 | 137 | 136 | 135 | 134 | |
| | 2-1/4Cr 2类板 | 515~690 | ≥310 | 148 | 142 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 140 | 140 | 139 | 138 | 138 | 137 | 137 | 136 | 135 | 135 | 134 | |

A.2 钢板材料许用应力见表 A.2。

表 A.2 钢板材料许用应力表

| 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 | |
| GB/T 713 | Q245R | 400~520 | ≥245 | 133 | 124 | 111 | 109 | 107 | 105 | 103 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 91 | 90 | 88 | 87 | 86 | 84 | 81 | |
| | | | | 133 | 124 | 111 | 109 | 107 | 105 | 103 | 102 | 100 | 98 | 96 | 94 | 92 | 91 | 90 | 88 | 87 | 86 | 84 | 81 | |
| | | | | 133 | 119 | 107 | 105 | 103 | 101 | 99 | 98 | 96 | 94 | 92 | 90 | 88 | 87 | 86 | 84 | 83 | 82 | 81 | 80 | |
| | Q345R | ≤16 | 510~640 | ≥345 | 170 | 166 | 156 | 154 | 151 | 148 | 146 | 143 | 141 | 139 | 137 | 135 | 133 | 132 | 130 | 129 | 128 | 126 | 109 | 98 |
| | | $t \leq 36$ | 500~630 | ≥325 | 166 | 166 | 156 | 154 | 151 | 148 | 146 | 143 | 141 | 139 | 137 | 135 | 133 | 132 | 130 | 129 | 128 | 126 | 109 | 98 |
| | | $36 < t \leq 60$ | 490~620 | ≥315 | 163 | 160 | 146 | 144 | 141 | 138 | 136 | 133 | 131 | 129 | 127 | 125 | 123 | 122 | 120 | 119 | 118 | 116 | 109 | 98 |
| | | $60 < t \leq 100$ | 490~620 | ≥305 | 163 | 150 | 136 | 134 | 131 | 128 | 126 | 123 | 122 | 120 | 119 | 118 | 116 | 115 | 114 | 112 | 111 | 110 | 109 | 98 |
| | 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 |
| | 12Cr2Mo1 | $6 < t \leq 200$ | 520~680 | ≥310 | 173 | 173 | 170 | 169 | 169 | 168 | 168 | 167 | 166 | 165 | 165 | 164 | 163 | 162 | 162 | 161 | 161 | 160 | 159 | 158 |
| $6 < t \leq 60$ | | 440~590 | ≥245 | 146 | 133 | 126 | 124 | 122 | 121 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 111 | 110 | 108 | 107 | 106 | 104 | 103 | 102 | |
| 12Cr1MoVR | $60 < t \leq 100$ | 430~580 | ≥235 | 143 | 133 | 126 | 124 | 122 | 121 | 119 | 117 | 116 | 114 | 113 | 112 | 111 | 110 | 108 | 107 | 106 | 104 | 103 | 102 | |
| | $t \leq 100$ | 370~500 | ≥215 | 123 | 123 | 113 | 111 | 108 | 105 | 103 | 101 | 97 | 93 | 90 | 88 | 85 | — | — | — | — | — | — | — | |
| GB/T 3274 | Q355 | 470~630 | ≥325 (345) | 156 | 156 | 149 | 146 | 143 | 140 | 137 | 135 | 132 | 131 | 130 | 129 | 127 | 124 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |

表 A.2 钢板材料许用应力表 (续)

| 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 | | |
| GB/T 713 | Q245R | 3 < t ≤ 16 | ≥ 245 | 72 | 63 | 55 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | | 16 < t ≤ 36 | ≥ 235 | 72 | 63 | 55 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | Q345R | 36 < t ≤ 60 | ≥ 225 | 72 | 63 | 55 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | ≤ 16 | ≥ 345 | 88 | 77 | 66 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | Q345R | t ≤ 36 | ≥ 325 | 88 | 77 | 66 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 36 < t ≤ 60 | ≥ 315 | 88 | 77 | 66 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 15CrMoR | 60 < t ≤ 100 | ≥ 305 | 88 | 77 | 66 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 20 < t ≤ 60 | ≥ 295 | 122 | 120 | 119 | 118 | 118 | 117 | 112 | 96 | 82 | 69 | 59 | 49 | 41 | — | — | — | — | — |
| | 12Cr2Mo1 | 60 < t ≤ 100 | ≥ 275 | 113 | 112 | 111 | 110 | 110 | 109 | 108 | 96 | 82 | 69 | 59 | 49 | 41 | — | — | — | — | — |
| | | 6 < t ≤ 200 | ≥ 310 | 155 | 151 | 147 | 136 | 125 | 113 | 102 | 89 | 78 | 68 | 61 | 54 | 48 | 42 | 37 | — | — | — |
| 12Cr1MoVR | 6 < t ≤ 60 | ≥ 245 | 101 | 100 | 100 | 98 | 97 | 96 | 95 | 94 | 93 | 88 | 79 | 72 | 65 | 58 | — | — | — | — | |
| | 60 < t ≤ 100 | ≥ 235 | 101 | 100 | 100 | 98 | 97 | 96 | 95 | 94 | 93 | 88 | 79 | 72 | 65 | 58 | — | — | — | — | |
| GB/T 3274 | Q235 | t ≤ 60 | ≥ 215 (235) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | Q355 | t ≤ 60 | ≥ 315 (355) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |

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,并舍去小数点后的数字。
 注 2: 粗线右方的许用应力值由长期高温性能决定。
 注 3: 对符合 GB/T 3274 的钢板,括号外的数值对应壁厚不大于 16 mm 的钢板,括号内的数值对应壁厚大于 16 mm 的钢板。
 注 4: “—”为无数据。

附录 B
(资料性)
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。

表 B.1 常用钢材的弹性模量数据表

| 钢号 | 10 | 20、20G | 15MnG | 12CrMnG | 15CrMnG | 12Cr1MnVG | 12Cr2MnG | 15Ni1MnMoNbCu | 9Cr 马氏体钢 | Q235 | Q345 | 07Cr19Ni10 | 07Cr18Ni11Nb |
|-----|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-------------|----------|-----------|------------|--------------|
| 标准号 | GB/T 3087 | GB/T 3087 GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 700 | GB/T 8163 | GB/T 5310 | GB/T 5310 |
| | 20 | 198 | 210 | 213 | 206 | 208 | 218 | 218 | 218 | 206 | 206 | 197 | 200 |
| | 100 | 183 | 203 | 209 | 199 | 205 | 213 | 213 | 213 | 200 | 200 | 193 | 196 |
| | 200 | 175 | 195 | 202 | 190 | 201 | 206 | 210 | 210 | 192 | 189 | 185 | 188 |
| | 250 | 171 | — | — | 187 | 197 | — | 207 | 207 | 188 | 185 | — | — |
| | 260 | 170 | — | — | 186 | 196 | — | — | — | 187 | 184 | — | — |
| | 280 | 168 | — | — | 183 | 194 | — | — | — | 186 | 183 | — | — |
| | 300 | 166 | 185 | 193 | 181 | 192 | 199 | 199 | 199 | 184 | 181 | 178 | 181 |
| | 320 | 165 | — | — | 179 | 190 | — | — | — | — | 179 | — | — |
| | 340 | 163 | — | — | 177 | 188 | — | — | — | — | 177 | — | — |
| | 350 | 162 | — | — | 176 | 187 | — | 195 | 195 | — | 176 | — | — |
| | 360 | 161 | — | — | 175 | 186 | — | — | — | — | 175 | — | — |
| | 380 | 159 | — | — | 173 | 183 | — | — | — | — | 173 | — | — |

单位为吉帕

设计温度 /℃

表 B.1 常用钢材的弹性模量数据表 (续)

单位为吉帕

| 钢号 | 10 | 20、20G | 15MoG | 12CrMoG | 15CrMoG | 12Cr1MoVG | 12Cr2MoG | 15Ni1MnMoNbCu | ⁹ Cr 马氏体钢 | Q235 | Q345 | 07Cr19Ni10 | 07Cr18Ni11Nb |
|-----|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-------------------------|----------|-----------|------------|--------------|
| 标准号 | GB/T 3087 | GB/T 3087 GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 700 | GB/T 8163 | GB/T 5310 | GB/T 5310 |
| 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 | — | — | — | — |
| 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 | — | — | — | — | — | — |

表 B.1 常用钢材的弹性模量数据表 (续)

单位为吉帕

| 钢号 | 10 | 20.20G | 15MoG | 12Cr1MoG | 15Cr1MoG | 12Cr1MoVG | 12Cr2MoG | 15Ni1MnMoNbCu | ⁹ Cr 马氏体钢 | Q235 | Q345 | 07Cr19Ni10 | 07Cr18Ni11Nb |
|-----------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-------------------------|----------|-----------|------------|--------------|
| 标准号 | GB/T 3087 | GB/T 3087 GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 700 | GB/T 8163 | GB/T 5310 | GB/T 5310 |
| 设计 温度 /°C | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | 168 | — | — | 154 | 156 |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | 162 | — | — | 149 | 151 |

注：“—”为无数据。

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.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 | 15CrMoG | 12Cr1MoVG | 15MoG | 12Cr2MoG | 15Ni1MnMoNbCu | 12CrMoG ^a | ⁹ Cr 马氏体钢 | 07Cr19Ni10 | 07Cr18Ni11Nb | Q235 | Q345 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------------|----------------------|------------|--------------|-----------|-----------|
| 标准号 | GB/T 3087 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 3091 | GB/T 8163 |
| 设计 温度 /°C | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | — | — | — | — | — | 11.8 | — | 10.6 | — | — | — | — |
| | 11.9 | 11.16 | 13.6 | 12.5 | 12 | 12.2 | 11.2 | 10.9 | 17.1 | 17.3 | 12.2 | 8.31 |
| | — | — | — | — | — | 12.5 | — | 11.1 | — | — | — | — |
| | 12.6 | 12.12 | 13.7 | 13.1 | 13 | 12.9 | 12.5 | 11.3 | 17.4 | 17.5 | 13 | 10.99 |

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/°C) (续)

| 钢号 | 10 | 20,20G | 15CrMoG | 12Cr1MoVG | 15MoG | 12Cr2MoG | 15Ni1MnMoNbCu | 12CrMoG ^a | 9Cr 马氏体钢 | 07Cr19Ni10 | 07Cr18Ni11Nb | Q235 | Q345 |
|-----|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------------|-----------|------------|--------------|-----------|-----------|
| 标准号 | GB/T 3087 | GB/T 3087 GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 3091 | GB/T 8163 |
| 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 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 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 | — | — |

设计温度
°C

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)($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) (续)

| 钢号 | 10 | 20.20G | 15CrMoG | 12Cr1MoVG | 15MoG | 12Cr2MoG | 15Ni1MnMoNbCu | 12CrMoG ^a | 9Cr 马氏体钢 | 07Cr19Ni10 | 07Cr18Ni11Nb | Q235 | Q345 |
|---|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------------|-----------|------------|--------------|-----------|-----------|
| 标准号 | GB/T 3087 | GB/T 3087 GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 5310 | GB/T 3091 | GB/T 8163 |
| 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 | — | — |
| 注：“—”为无数据。 | | | | | | | | | | | | | |
| ^a 12Cr1MoG 的线膨胀系数是从 25 °C 至表中温度。 | | | | | | | | | | | | | |

附录 C

(规范性)

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

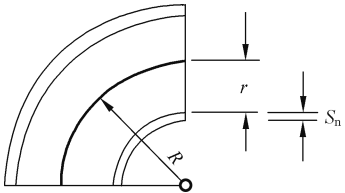
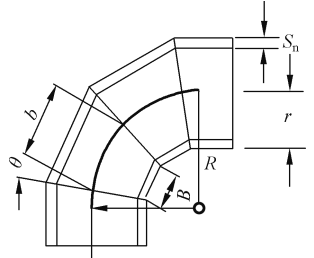
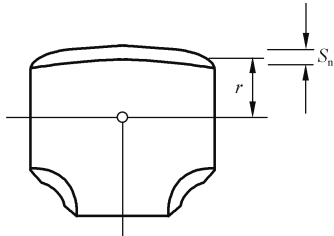
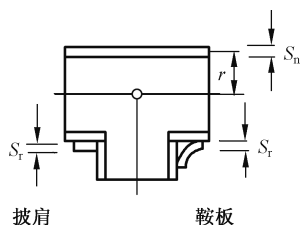
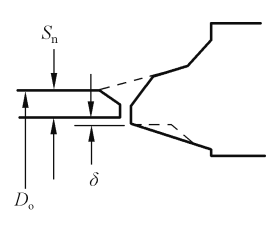
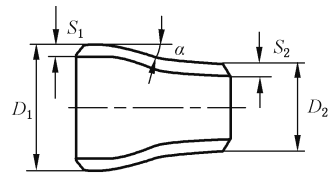
| 名称 | 尺寸系数 (h) | 柔性系数 (k) | 应力增加 系数(i) | 简图 |
|---|---|------------------------|-----------------------|---|
| 弯制弯管和弯头 [见 C.2 中 a), b), h), l)] | $\frac{S_n R}{r^2}$ | $\frac{1.65}{h}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ |  |
| 斜接弯头 [见 C.2 中 a), b), l)] $b < r(1 + \tan\theta)$, $B \geq 6S_n$, $\theta \leq 22.5^\circ$, $R = \frac{b \cot\theta}{2}$ | $\frac{b S_n \cot\theta}{2r^2}$ | $\frac{1.52}{h^{5/6}}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ |  |
| 标准对焊三通, 按 GB/T 12459 [见 C.2 中 a), m)] | $\frac{3.1 S_n}{r}$ | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ |  |
| 加强三通 [见 C.2 中 a), d), i)] | $\frac{(S_n + \frac{S_r}{2})^{5/2}}{r (S_n)^{3/2}}$ | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ |  |

表 C.1 柔性系数和应力增加系数 (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.2 中 a), i)] | $\frac{S_n}{r}$ | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | |
| 支管焊接管件(整体补强型) 按 MSS SP-97 [见 C.2 中 a)] | $\frac{3.3S_n}{r}$ | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | |
| 挤压成型三通 [见 C.2 中 a)] | $\frac{S_n}{r}$ | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | |
| 嵌入式焊接三通 [见 C.2 中 a)] | $\frac{3.1S_n}{r}$ | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | |
| 对接焊[见 C.2 中 k)] $S \geq 6 \text{ mm}$ $\delta_{\max} \leq 1.6 \text{ mm}$, $\delta_{\text{avg}}/S \leq 0.13$ | — | 1 | 1.0 | |
| 对接焊[见 C.2 中 k)] $S \geq 6 \text{ mm}$ $\delta_{\max} \leq 3.2 \text{ mm}$ $\delta_{\text{avg}}/S = \text{任何值}$ | — | L | $0.9 + 2.7(\delta_{\text{avg}}/S)$ 最小 1.0, 最大 1.9 | |
| 对接焊[见 C.2 中 k)] $S \geq 6 \text{ mm}$ $\delta_{\max} \leq 1.6 \text{ mm}$ $\delta_{\text{avg}}/S \leq 0.33$ | — | L | | |
| 角焊[见 C.2 中 j)] | — | 1 | 2.1 或 1.3 | 见图 15 |

表 C.1 柔性系数和应力增加系数 (续)

| 名称 | 尺寸系数 (<i>h</i>) | 柔性系数 (<i>k</i>) | 应力增加 系数(<i>i</i>) | 简图 |
|---|----------------------|----------------------|---|---|
| 扩口过渡段 | — | 1 | $1.3 + 0.0036 \frac{D_o}{S_n} + 3.6 \frac{\delta}{S_n}$ 最大 1.9 |  |
| 同心大小头 [见 C.2 中 f)] | — | 1 | $0.5 + 0.01\alpha \left(\frac{D_2}{S_2}\right)^{1/2}$ 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.2 中 g)] | — | 5 | 2.5 | — |
| 支管[见 C.2 中 e)] | — | 1 | 校核支管端部： $1.5 \left(\frac{r_{mb}}{S_{nh}}\right)^{2/3} \cdot \left(\frac{r'_{mb}}{r_{mb}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{S_{nb}}{S_{nh}}\right) \cdot \left(\frac{r'_{mb}}{r_p}\right)$ | 见图 C.3 左式符号见图 C.3 说明 |
| <p>注：</p> <p><i>B</i> ——斜接弯管斜接过渡段内侧的长度,单位为毫米(mm);</p> <p><i>D_o</i> ——管子外径,单位为毫米(mm);</p> <p><i>D_{ob}</i> ——支管外径,单位为毫米(mm);</p> <p><i>R</i> ——弯头或弯管的弯曲半径,单位为毫米(mm);</p> <p><i>r</i> ——管子平均半径(与三通相连接的管子),单位为毫米(mm);</p> <p><i>r_x</i> ——插入式焊接件的外部转角半径,单位为毫米(mm);</p> <p><i>r₂</i> ——外角半径,单位为毫米(mm);</p> <p><i>b</i> ——斜接弯管斜接段在中心线的长度,单位为毫米(mm);</p> <p><i>T_c</i> ——插入式焊接件的肩部厚度,单位为毫米(mm);</p> <p><i>S_n</i> ——直管公称壁厚(与三通相连接的管子),单位为毫米(mm);</p> <p><i>S_r</i> ——披肩加强或鞍板加强元件的厚度,单位为毫米(mm);</p> <p><i>α</i> ——异径接头锥角,单位为度(°);</p> <p><i>δ</i> ——对接焊口的错边(<i>δ_{avg}</i>为平均值),单位为毫米(mm);</p> <p><i>θ</i> ——斜接弯管斜接轴线夹角的半角,单位为度(°)。</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应小于 1。这 2 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 值可按所给公式计算的尺寸系数(h)直接从图 C.1 中查得。
- 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) 支管的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 2 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应小于该 2 个接管座内半径总和的 3 倍或沿主管周向不应小于该 2 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)不应小于 $S_b/2$ 、 $(S_{nb} + Y)/2$ [见图 C.3 c)]和 $S_{nh}/2$ 中的较大值;
 - 6) 外半径(r_3)不应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 a)、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 α 不应大于 60° ,且大小头为同心圆;
 - 2) D_1/S_1 和 D_2/S_2 两者取较大值,但不超过 100;
 - 3) 整个大小头的壁厚不应小于 S_1 ,但紧接小头端部除外,该处壁厚不应小于 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) 对于套接焊管件,若焊趾与管壁过渡平滑,则应力增加系数(i)可取 1.3。
- k) 此应力增加系数用于管子壁厚为 $0.875 S_n$ 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; δ_{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见式(C.1):

$$k_p = \frac{k}{1 + 6 \frac{p}{E} \left(\frac{r}{S_n}\right)^{7/3} \left(\frac{R}{r}\right)^{1/3}} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

- 2) 经内压修正后弯头的应力增加系数见式(C.2):

$$i_p = \frac{i}{1 + 3.25 \frac{p}{E_c} \left(\frac{r}{S_n}\right)^{5/2} \left(\frac{R}{r}\right)^{2/3}} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

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) 如果 $r \cdots D_{ob}/8$ 且 $T_c \geq 1.5S_n$, 则尺寸系数 h 为 $4.4S_n/r$ 。

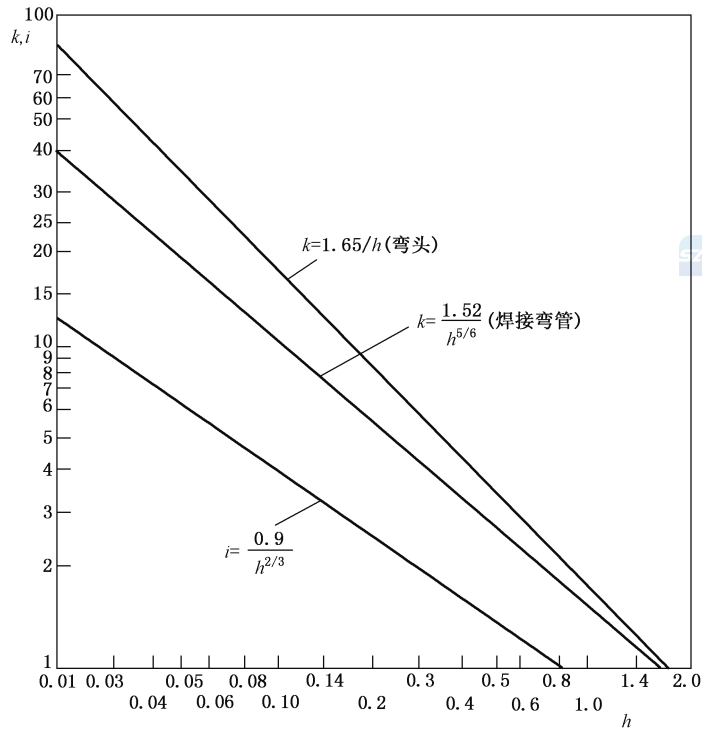


图 C.1 尺寸系数(h)与柔性系数(k)和应力增加系数(i)的关系

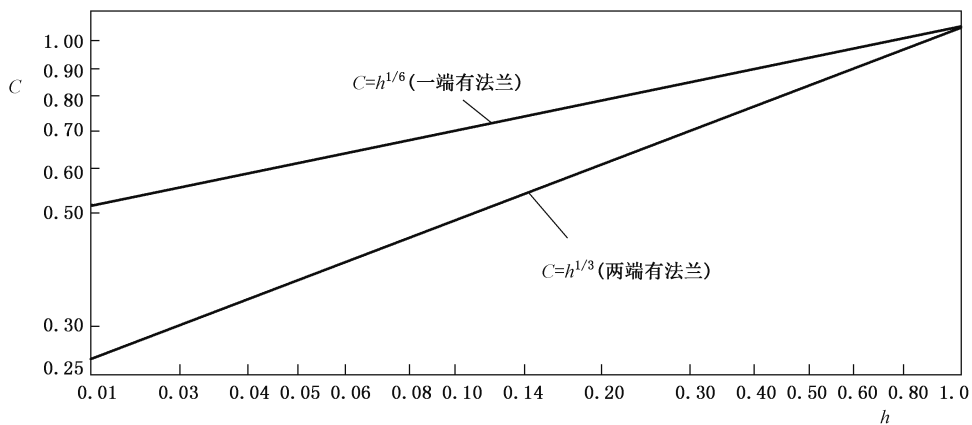
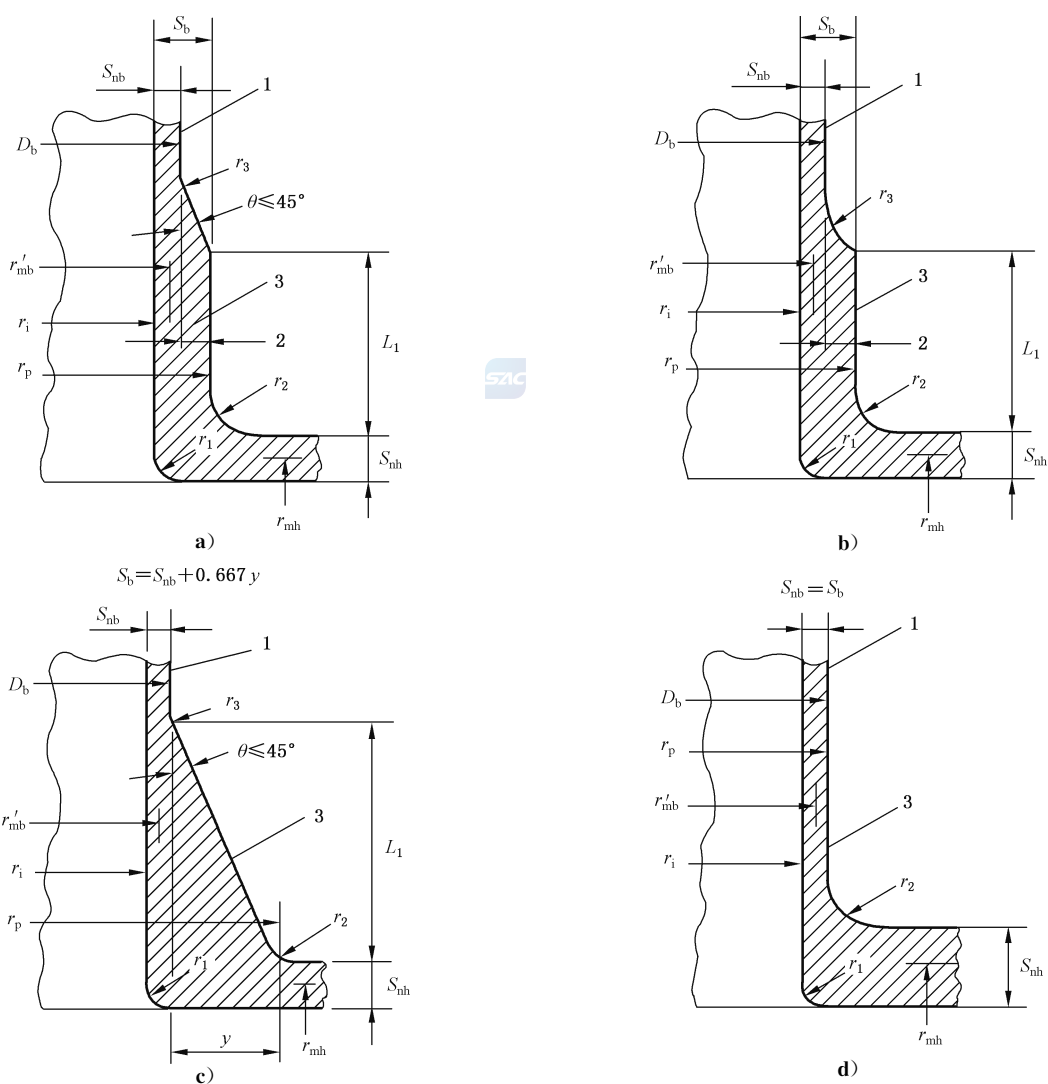


图 C.2 尺寸系数(h)与修正系数(C)的关系



标引说明:

- 1 —— 支管;
- 2 —— 加厚部分;
- 3 —— 接管座;
- r'_{mb} —— 支管平均半径,单位为毫米(mm);
- S_b —— 接管座加强有效厚度,单位为毫米(mm);
- r_i —— 支管内半径,单位为毫米(mm);
- S_{nh} —— 主管公称壁厚,单位为毫米(mm);
- θ —— 接管座加强部分过渡段角度,单位为度($^{\circ}$);
- r_1, r_2, r_3 —— 接管座加强部分过渡区半径,单位为毫米(mm)。
- S_{nb} —— 支管公称壁厚,单位为毫米(mm);
- r_{mh} —— 主管平均半径,单位为毫米(mm);
- D_b —— 支管外径,单位为毫米(mm);
- r_p —— 接管座加强部分的外半径,单位为毫米(mm);
- L_1 —— 接管座高度,单位为毫米(mm);
- y —— 接管座加强厚度,单位为毫米(mm)。

图 C.3 接管座的尺寸图

附 录 D
(规范性)
管道布置

D.1 管道布置基本原则

- D.1.1 管道布置应满足火力发电厂总体布置及安装、运行维修等方面的要求。
- D.1.2 管道布置应统筹规划,满足布置合理、热补偿性能好、阻力小、支吊方便、疏水畅通的要求,做到安全可靠、经济合理、整齐美观。
- D.1.3 管道布置应充分考虑管道的自补偿能力、刚度、弹性转移等因素,尽量减少补偿管段。
- D.1.4 与设备连接的管道,应充分考虑其弹性、支撑、震动、压力脉动、气蚀等方面的要求,避免直而短的布置,避免不稳定的两相流、水击等对管道振动加剧的情况。
- D.1.5 管道布置应考虑管道能够随时排水/疏水,宜布置为逐步升高或逐步降低的方式,避免出现气袋、液袋和死端,管道的安装坡度、坡向应满足相关标准的规定。
- D.1.6 管道布置的净空高度及间距应考虑管道外径、保温厚度、冷热态位移的影响,并符合相关标准的规定。
- D.1.7 管道及阀门、支吊架布置应综合考虑管道的热补偿、支吊、阀门位置及维护平台设施等因素,不应妨碍相关设备及其内部构件的安装、运行及检修维护。
- D.1.8 管道支承点设置应同时考虑所能承受内部和外部的静力、动力及偶然荷载,控制管道的振动,在 seismic 区设计的管道应符合国家现行抗震标准规定,避免管道出现扭曲、下沉、失重或立管不垂直等现象。
- D.1.9 厂区内的管道布置应与厂区内的车间、道路、建筑物、构筑物等协调,避免管道包围车间,减少管道与通行道路的交叉。
- D.1.10 管道除与阀门和设备之间的连接采用法兰连接外应采用焊接连接。

D.2 管道布置设计原则

- D.2.1 在汽机房、除氧间等水平管道交叉较多的区域,宜按管道的走向划定纵横走向的标高范围,将管道分层布置。
- D.2.2 对于蒸汽管道,从总管上接出支管时,宜选择在总管上热位移量小的地方,靠近总管的支管直管段不宜太长。
- D.2.3 在蒸汽管道的“Π”型(方型)补偿器上,不应引出支管。在靠近“Π”型(方型)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。
- D.2.4 当蒸汽管道等热管道布置在油管道的阀门、法兰或其他可能漏油部位的附近时,宜将其布置于油管道上方。当必须布置在油管道下方时,油管道与热管道之间,应采取可靠的隔离措施。
- D.2.5 蒸汽管道按坡度方向管径由大变小时,应采用偏心异径管,且异径管的布置应偏心向下(异径管底平)。
- D.2.6 对于汽液两相流管道,当介质流动方向由下向上时,宜先水平后垂直布置;当介质流动方向由上向下时,宜先垂直后水平布置。
- D.2.7 管道阀门布置规定如下。
- 阀门宜水平布置在方便操作、维护和检修的位置,并保证执行机构的安装、维护空间。
 - 阀门布置不应妨碍设备、管道及阀门本身的拆卸和检修。阀门安装高度应方便操作、检修,当操作较频繁的阀门必须安装在操作面以上较高位置时,应设置操作平台。
 - 重型阀门和大口径的阀门宜布置在于主厂房的主要工作平台的水平管道上,并考虑在阀门两

侧设置支吊架。

- d) 存在汽、液两相流的管道上调节阀的位置宜尽量靠近接受介质的容器端。
- e) 疏水装置应设置在低于设备、管道的冷凝水排出口的水平管道上。

D.2.8 管道支吊架的设置规定如下。

- a) 应合理的设置管道支吊架型式,支吊架应能承受管道荷载、限制管道位移和控制管道振动,降低管道的一次应力、二次应力,减少对设备接口的力和力矩。
- b) 在管道距离过长、可能产生横向不稳定时应设置导向或限位装置。
- c) 在管道上不准许有任何位移的地方设置固定支架时,固定支架应生根在牢固的厂房结构或专设的结构物上。
- d) 支吊架的设置应合理利用管系的自然补偿功能,保持管道有足够的柔性,不宜在过分靠近弯头和支管连接部位设置导向支架。
- e) 应保证管道的稳定性,不应出现管道下沉、扭曲情况。在管道适当位置宜设置刚性约束的刚性吊架和限位支架,对管道膨胀进行分段,合理地减少恒力支吊架而多使用弹簧支吊架,整个管道不宜设计成全弹性吊架或全恒力弹簧支吊架。
- f) 对主蒸汽管道和再热蒸汽管道应设置有在地震、管道振动、水击等偶然荷载发生时的限位、阻尼装置。在每根较长的垂直管段上部宜设置刚性限位装置,在下部设水平导向或限位装置。
- g) 设备的溢放水管道、水泵再循环管道、加热器疏水调节阀出口管道、蒸汽安全阀泄放管道、蒸汽吹管临时管道等存在汽、液两相流的管道上应在适当位置设置固定、限位、阻尼器和减震弹簧等防振、减振装置。
- h) 设备管口附近的管道上第一个支吊架,应设置为承重弹簧支吊架。

D.3 与汽轮机连接管道的布置原则

D.3.1 与汽轮机连接的主蒸汽、再热蒸汽、抽汽等水平蒸汽管道的布置宜考虑有一定坡度,坡度方向应与蒸汽流动方向一致,在计及管道冷、热态位移对坡度的影响后均应不小于 0.5%。

D.3.2 与汽轮机连接的主蒸汽、再热蒸汽、抽汽管道在冷、热态下有可能集聚疏水的低点(包括阀门低位点)位置均需设置疏水装置。当离汽轮机接口水平方向的管道长度超过 23 m 时应增加设置疏水点。

D.3.3 与汽轮机连接的蒸汽、疏水管道应避免出现袋型和死端,若有大于 5 m 的死端,则应提供暖管或疏水管线。

D.3.4 汽轮机汽封供汽及辅助驱动汽轮机的进汽管道应从其供汽汽源管道(主蒸汽、低温再热蒸汽或辅助汽源管道)的垂直管段上或水平管段的顶部接出。

D.3.5 在汽轮机抽汽/排汽(低温再热蒸汽)管道上的第一个止回阀应安装在距离汽轮机最近的第一个水平管上,止回阀前后保证至少 5 倍管径的距离或满足汽轮机制造商的要求。2 个汽水保护阀门不应紧连在一起,中间至少要安装一个疏水点。

D.3.6 汽轮机汽封系统的外部供汽管道布置应坡向供汽汽源(主蒸汽、低温再热蒸汽或辅助蒸汽),最小坡度为 2%。如果这些管道不能坡向供汽汽源,则应在每个汽源隔离阀的入口侧装设带节流孔板的连续疏水。

D.3.7 汽轮机与汽封联箱(供汽母管)之间的汽封管道应坡向汽封联箱(供汽母管),管道的坡度应不小于 2%。如果在此管道中包括在端头中出现低位点,则应采用带节流孔板的连续疏水排入汽封蒸汽凝汽器或凝汽器中。

D.3.8 汽轮机与汽封蒸汽凝汽器之间的漏汽管道应坡向汽封蒸汽凝汽器,坡度应不小于 2%。汽轮机高中压缸的漏汽管道布置不应阻碍低压缸的轴封漏汽。如果在此管道中出现低位点,则应将疏水引入漏汽管道的较低处,或通过 U 型水封管排入疏水扩容器或大气中。

D.3.9 蒸汽管道的疏水管道及汽轮机本体的疏水管道布置宜考虑在管道冷、热状态下均有一个没有低

点而连续向下流向疏水扩容器或凝汽器的坡度,坡度方向应远离汽轮机的蒸汽流动方向。所有的疏水点应高于接收容器的最高水位。

D.3.10 接入扩容器或凝汽器疏水集管的疏水管道布置应避免在汽轮机启动及跳机时部分管道疏水倒回到真空的汽轮机中的可能。

D.4 高温小口径管道(\leq DN65)布置

D.4.1 与刚度较大的主管道连接的高温小口径管道应具有足够的柔性,管道布置及支吊架选择不应限制主管道的热膨胀。

D.4.2 高温小口径管道布置要考虑管道热膨胀的影响,特别是与主管道连接处的附加位移,宜采用“ Π ”型(方型)布置来吸收自身热膨胀,小管道宜与主管道进行整体应力验算。

D.4.3 高温小口径管道应合理设置支吊架,不应全部采用刚性支吊架或全部采用弹簧支吊架,支吊架的间距应符合相关规范的要求。

D.4.4 水平布置的高温小口径管道应设计有坡度,坡度方向应与汽流方向一致,在计及管道冷、热态位移对坡度的影响后坡度值应符合相关规范的要求。

D.5 临时管道布置

D.5.1 机组清洗、蒸汽吹管、性能试验等临时管道应布置简捷,不应改变永久管道的布置,临时管道布置宜考虑拆除方便,避免出现不宜清理的二次污染。

D.5.2 临时管道布置应充分考虑管道的热膨胀,并应与永久管道进行整体应力分析验算。

D.5.3 临时管道布置应充分利用已有设施,宜布置在靠近主厂房柱边,或埋件较多容易布置支吊架区域。

D.5.4 蒸汽吹管临时管道布置宜尽可能降低管道相对标高,高压主汽门后、中压主汽门后管道布置宜采用对称布置,布置在运转层时宜选在靠近高压旁路门检修孔、楼梯口或 A 列柱。

D.5.5 蒸汽吹管临时管道宜选用 Y 型三通,布置时尽量减少管道走向变换次数。

D.5.6 蒸汽吹管管道布置宜考虑成品设施保护,排汽汽流不应冲向周围管道、设备及建筑物。

D.6 蒸汽安全阀泄放管道布置

D.6.1 安全阀位置应易安装、检查、维护,宜装设在设备或者管道的顶部,并垂直向上。

D.6.2 安全阀泄放管道的布置应短而直,减少管道方向的变换次数。

D.6.3 每个安全阀宜使用单独泄放管,泄放管道的排放口不应设置、朝向在室内,不应对着其他管道、设备、建筑物以及可能有人到达的场所。

D.6.4 安全阀泄放管道支吊架的设计宜考虑安全阀质量、泄放管道质量、排汽反力、热应力、振动以及其他外部荷载的作用。

D.7 厂区管道布置

D.7.1 厂区管道宜利用综合管架采用架空布置,也可采用管沟敷设或直埋敷设。管沟敷设、直埋敷设的管道布置符合有关标准的要求。

D.7.2 蒸汽等气体管道宜布置在管架上层,液体管道宜布置在下层。

D.7.3 蒸汽管道的支管宜从主管的上方接出,液体管道的支管宜从主管底部接出;支管上的切断阀应安装在靠近主管的水平管段上。

D.7.4 阀门、法兰、补偿器、接头等存在泄漏可能的管道附件不应布置在道路、铁路及人员通行区域的上方。

D.7.5 管道宜采用自然补偿,“ Π ”型(方型)补偿器应安装在 2 个固定支架的中间。补偿器的布置尺寸

由管道固定点的间距、介质温度和管径确定,臂长约为固定点间距的 $1/10$;补偿器距固定支架(限位支架)的距离,不宜小于两支架间距的 $1/3$ 。

D.7.6 管道金属补偿器宜安装在 2 个固定支架的中间,固定支架的两端水平管道上宜设置多个导向或限位支吊架。

D.7.7 布置在管架上的高温蒸汽管道宜采用吊架型式,并在水平方向上设置导向或限位拉撑装置。

D.7.8 对于长距离直管道,在固定支架的两端水平管道上宜设置导向或限位支吊架。



附录 E
(资料性)
制作和安装常用资料

焊接接头基本形式与尺寸见表 E.1。

表 E.1 焊接接头基本形式与尺寸

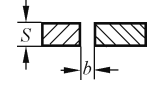
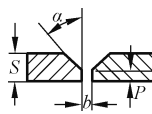
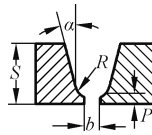
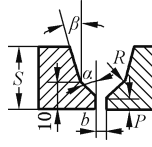
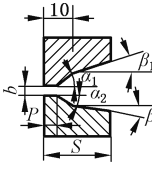
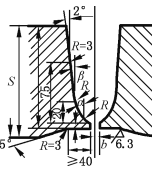
| 序号 | 接头类型 | 坡口形式 | 图形 | 焊接方法 | 焊件厚度(S) mm | 接头结构尺寸 | | | | | 适用范围 |
|----|------|------------|---|-------------------------------------|----------------------------|--|---|------------------------------|--------------------------|---------|-----------------------|
| | | | | | | α | β | B mm | P mm | R mm | |
| 1 | 对接接头 | I型 |  | SMAW OFW GMAW/F CAW 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/F CAW 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型 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型 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 |

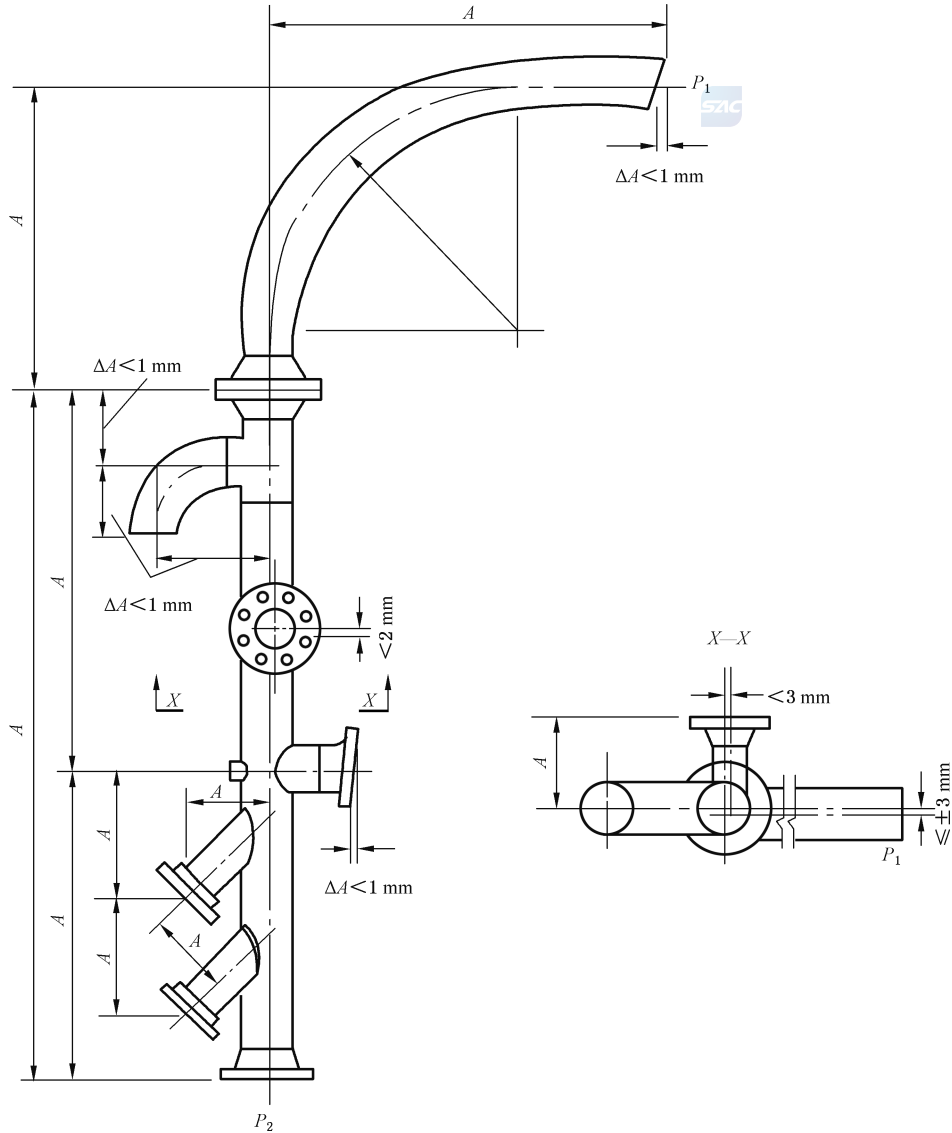
表 E.1 焊接接头基本形式与尺寸 (续)

| 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 |
|---|------|------|----|-------------|-----------------------|-------------|---------|---------|---------|-----------|------------------------------|
| | | | | | | α | β | 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°~ 60° | 30°~35° | 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°~ 60° | 30°~35° | 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°~ 60° | — | 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> | | | | | | | | | | | |

附录 F
(规范性)
管道预制组对偏差

F.1 管道预制组对偏差

管道预制组对偏差示意图见图 F.1。



标引符号说明：

A —— 尺寸,单位为毫米(mm);

ΔA —— 偏差,单位为毫米(mm)。

图 F.1 管道预制组对偏差示意图

F.2 长度偏差

F.2.1 管道组对尺寸(A)的偏差(ΔA)不应大于总长度的 0.1%,且满足以下要求:

- a) 管道公称尺寸 250 mm 及以下, ΔA 为 ± 3 mm;
- b) 管道大于公称尺寸 250 mm~600 mm, ΔA 为 ± 5 mm;
- c) 管道大于公称尺寸 600 mm~900 mm, ΔA 为 ± 6 mm;
- d) 管道大于公称尺寸 900 mm, 每增加 300 mm, 允许 ΔA 的绝对值增加 2 mm, 即: $|\Delta A| = 6 + 2 + \dots$ 。

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

F.2.3 法兰偏差规定如下:

- 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应小于 2 mm, 与管道垂直截面的位置偏差应小于 2 mm。

F.2.4 管段的两端 P_1 和 P_2 对于平面的允许偏差为 ± 3 mm, 并且整体平整要求见图 F.1 中 X—X 剖面。

附 录 G
(规范性)
安全泄放装置的计算

G.1 符号

安全泄放装置计算相关的符号如下：

A ——安全阀的最小泄放面积，单位为平方毫米(mm^2)；

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

对微启式安全阀，即 $h < \frac{1}{4}d_t$ 时，平面型密封面 $A = \pi d_v h$ ；锥面型密封面 $A = \pi d_t h \sin\phi$ ；

C ——气体特性系数，按式(G.1)计算；

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

d ——入口管内径，单位为毫米(mm)；

d_t ——安全阀最小流道直径(阀座喉部直径)，单位为毫米(mm)；

d_v ——安全阀阀座内径，单位为毫米(mm)；

H ——最大输入热量，单位为千焦每小时(kJ/h)；

h ——安全阀的阀瓣开启高度，单位为毫米(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，应根据试验数据确定，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，单位为千克每千摩尔(kg/kmol)；

p_d ——安全阀的最大泄放压力，单位为兆帕(MPa)(绝压)；

ν_d ——安全阀排放介质比容，单位为立方米每千克(m^3/kg)；

p_o ——安全阀出口侧压力，单位为兆帕(MPa)(绝压)；

q ——在泄放压力下，液体汽化潜热，单位为千焦每千克(kJ/kg)；

T ——泄放的气体温度，单位为开尔文(K)；

W_s ——系统的安全泄放量，单位为千克每小时(kg/h)；

Z ——在泄放压力及温度下，气体的压缩系数，如图 G.1 所示，图中对比温度指泄放介质温度与介质临界温度比值，对比压力指泄放介质压力与介质临界压力比值；

ρ_l ——安全阀入口侧温度下的液体密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)；

ν_l ——安全阀入口侧温度下的液体比容，单位为立方米每千克(m^3/kg)；

ϕ ——锥型密封面的半锥角，单位为度($^\circ$)。

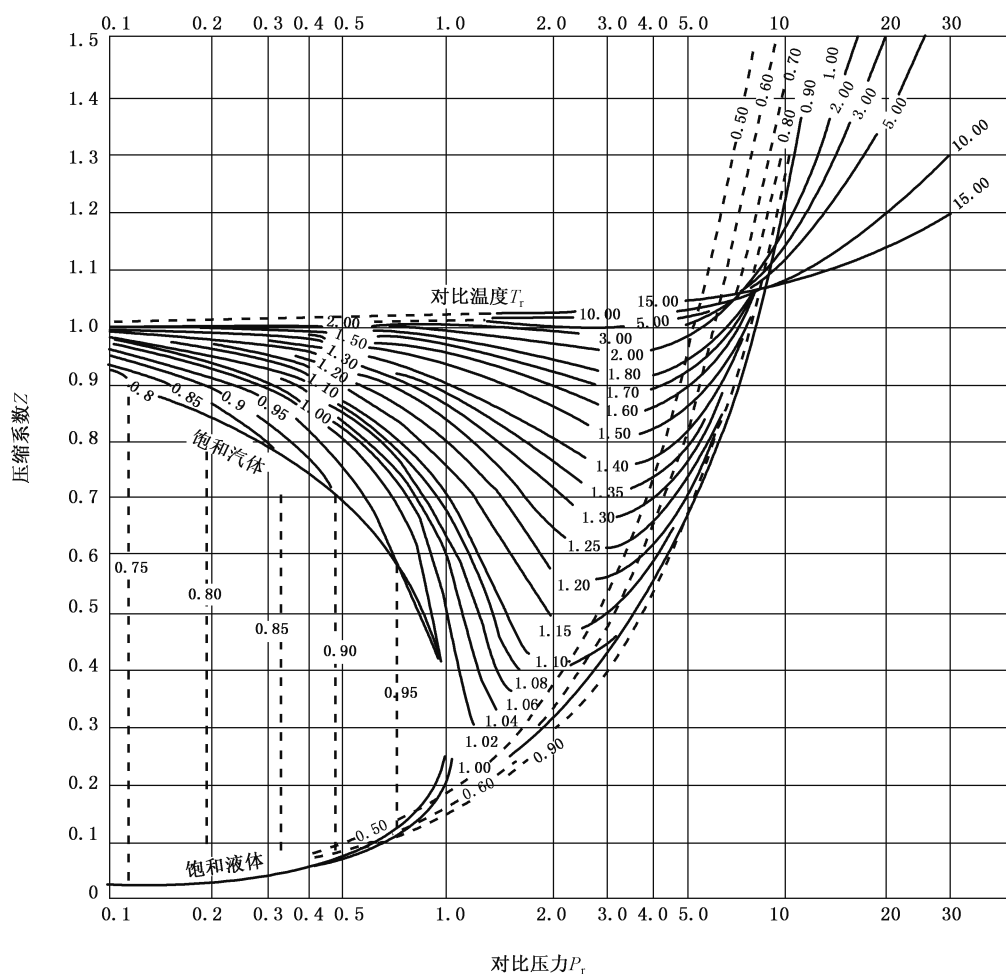


图 G.1 气体压缩系数

G.2 安全泄放量计算

设备或管道系统的安全泄放量宜按系统最大介质流量考虑。选用的安全阀,其排量应大于设备或管道系统所要求的安全泄放量。

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。

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(G.2)计算:

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

G.3 安全阀的最小泄放面积计算

G.3.1 蒸汽

最小泄放面积计算见式(G.3)~式(G.6):

a) 临界条件: $\frac{p_o}{p_d} \leq \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$



$$A = \frac{W_s}{0.076CK p_d \sqrt{\frac{M}{ZT}}} = \frac{W_s}{0.00693CK \sqrt{\frac{p_d}{\nu_d}}} \dots\dots\dots (G.3)$$

对于过热蒸汽, k 取 1.3, 式(G.3)可简化为:

$$A = \frac{W_s}{2.404K \sqrt{\frac{p_d}{\nu_d}}} \dots\dots\dots (G.4)$$

对于饱和蒸汽, k 取 1.135, 式(G.3)可简化为:

$$A = \frac{W_s}{2.286K \sqrt{\frac{p_d}{\nu_d}}} \dots\dots\dots (G.5)$$

b) 亚临界条件: $\frac{p_o}{p_d} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$

$$A = \frac{W_s}{55.84K p_d \sqrt{\frac{M}{ZT}} \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} = \frac{W_s}{5.091K \sqrt{\frac{p_d}{\nu_d} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} \dots\dots\dots (G.6)$$

G.3.2 水

最小泄放面积计算见式(G.7):

$$A = \frac{W_s}{5.09K \sqrt{\rho_l (p_d - p_o)}} = \frac{W_s}{5.09K \sqrt{\frac{p_d - p_o}{\nu_l}}} \dots\dots\dots (G.7)$$

参 考 文 献

- [1] GB/T 700 碳素结构钢
-



