

ICS 29.240.20

p 62

CSEE

中国电机工程学会标准

T/CSEE 0044 — 20xx

代替 T/CSEE 0044-2017

特高压钢管塔及钢管构架加工技术规程

Manufacturing code of steel tubular tower and steel pipe gantry for UHV

(征求意见稿)

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国电机工程学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 一般规定	3
5 材料与零件	3
6 制作与装配	4
7 焊接	14
8 试组装	21
9 防腐	24
10 产品检验	26
11 包装、标记、贮存和运输	28
12 技术资料	29
附录 A（资料性）特高压钢管塔及钢管构架监造及第三方抽样监督要求	31
附录 B（规范性）特高压钢管塔及钢管构架用直缝焊管技术条件	38
附录 C（规范性）特高压钢管塔及钢管构架用法兰技术条件	50
附录 D（规范性）特高压钢管塔及钢管构架用紧固件及脚钉技术条件	58
附录 E（资料性）特高压钢管塔及钢管构架焊接推荐坡口形式	62
附录 F（规范性）特高压钢管塔及钢管构架焊工、焊机操作工的技能评定	73
附录 G（规范性）薄壁管对接焊缝超声波检测与质量评定	79
附录 H（规范性）爬波探头性能测试方法	87
附录 I（规范性）特高压钢管塔及钢管构架用焊接材料与保护气体	89

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 T/CSEE 0044-2017《特高压钢管塔及钢管构架加工技术规程》，与 T/CSEE 0044-2017 相比，除结构调整、编辑性改动、删除了相关管理要求外，主要技术变化如下：

a) 删除了术语“直缝焊管”、“过焊孔”、“热浸镀锌”；增加了术语“部件”（3.3），修改了术语“构件”（3.4）、“装配”（3.7）、“试组装”（3.9）。

b) 完善了材料与零件的标识与追溯要求（5.4.2、5.4.3、5.4.4）。

c) 修改了允许剪切、冲孔的最大厚度（表1）。

d) 增加了激光下料（含坡口加工）（6.2.6）、开槽（6.2.9）、制孔（6.2.19）的内容和质量要求（6.2.20）。

e) 补充了零件制弯后弯曲部位钢材、角钢、钢管的减薄指标（6.2.14）。

f) 补充了对于 $\phi 80\text{mm}$ 及以上孔的加工工艺（6.2.17）。

g) 调整完善了部分制孔允许偏差、构件允许偏差（表12、表13）。

h) 补充了钢管塔二级焊缝内容（7.2.1.a）；修改了焊缝内部质量检验要求（表20、B.3.3.7.2、F.4.2.2）。

i) 修改了热浸镀锌层厚度（9.1.7、表22），补充了落锤试验用锤的硬度要求（9.2.4），增加了热喷涂防腐内容（9.2.7、表23）。

j) 删除了试组装检验抽样表、镀锌质量抽样判定表、产品质量检验抽样判定表（T/CSEE 0044-2017 表19、表22~表27），调整了产品部分检验项目的质量特性划分及合格标准（表A.2）。

k) 删除了 Q390 级钢材；按 GB/T 1591-2018，将“Q345”修改为了“Q355”，修改了直缝焊管（表 B.8）、法兰（表 C.4）的性能指标。

l) 取消了内变坡法兰、内外变坡法兰两种型式及代号（T/CSEE 0044-2017 图 C.2，表 C.1），完善了锻造法兰的钢坯要求（C.3.3）和热处理设备要求（C.5.5）。

m) 修改了附录 D 的名称，增加了螺栓的第三方脱碳层检测项目（D.2.3），进一步明确了紧固件、脚钉入厂检验项目（表 D.4），修改了紧固件镀锌层厚度要求（D.4.4、表 D.5）。

n) 增加了机器人焊接坡口加工及装配精度要求（E.1.3、E.2.3、表 E.5）；修改了焊接材料的型号（表 F.3、表 I.1）；完善了焊接材料选用原则（I.2.3.2）。

o) 扩大了薄壁管对接焊缝超声波检测范围，检测下限由直径 159mm 扩大到 140mm（G.1、表 G.2）。

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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会电力建设专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：司。

本文件主要起草人： 。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2018年首次发布为 T/CSEE 0044-2017；

——本次为第一次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

特高压钢管塔及钢管构架加工技术规程

1 范围

本文件规定了特高压钢管塔及钢管构架加工过程中的一般规定、材料与零件、制作与装配、焊接、试组装、防腐、产品检验、包装、标记、贮存和运输、技术资料等要求。

本文件适用于 1000kV 特高压交流、±800kV 及以上特高压直流输电线路工程钢管塔及配套的变电站、开关站、换流站内钢管构架（含钢管支架）的加工与检验。

其他电压等级钢管塔及钢管构架的加工可参照执行。

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 95 平垫圈 C级
- GB/T 223 （所有部分）钢铁及合金（所有部分）
- GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- 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 232 金属材料 弯曲试验方法
- GB/T 246 金属材料 管 压扁试验方法
- GB/T 470 锌锭
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 1979 结构钢低倍组织缺陷评级图
- GB/T 2102 钢管的验收、包装、标志和质量证明书
- GB/T 2650 金属材料焊缝破坏性试验 冲击试验方法
- GB/T 2651 金属材料焊缝破坏性试验 横向拉伸试验
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- GB/T 2694 输电线路铁塔制造技术条件
- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 2829 周期检验计数抽样程序及表（适用于对过程稳定性的检验）
- GB/T 2970 厚钢板超声检测方法
- GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母
- GB/T 3098.17 紧固件机械性能 检查氢脆用预载荷试验 平行支承面法
- GB/T 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带
- GB/T 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽马射线的胶片技术
- GB/T 3524 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢带

T/CSEE 0044-20xx

- GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)
- GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5293 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂分类组合要求
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定法
- GB/T 7735 无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管缺欠的自动涡流检测
- GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- GB 9448 焊接与切割安全
- GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法
- GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定——标准评级图显微检验法
- GB/T 11259 无损检测 超声检测用钢参考试块的制作和控制方法
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 27664.1 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器
- GB/T 27664.2 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头
- GB/T 28297 厚钢板超声自动检测方法
- GB/T 29712 焊缝无损检测 超声检测 验收等级
- GB/T 37910.1 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第1部分：钢、镍、钛及其合金
- GB/T 39280 钨极惰性气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- GB 50661 钢结构焊接规范
- DL/T 284 输电线路杆塔及电力金具用热浸镀锌螺栓与螺母
- GB/T 39255 焊接与切割用保护气体
- JB/T 9214 无损检测 A型脉冲反射式超声检测系统工作性能测试方法
- JB/T 10061 A型脉冲反射式超声波探伤仪 通用技术条件
- 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
- SY/T 6423.2 石油天然气工业 钢管无损检测方法 第2部分：焊接钢管焊缝纵向和/或横向缺欠的自动超声检测
- SY/T 6423.3 石油天然气工业 钢管无损检测方法 第3部分：焊接钢管用钢带/钢板分层缺欠的自动超声检测
- SY/T 6423.5 石油天然气工业 钢管无损检测方法 第5部分：焊接钢管焊接缺欠的数字射线检测

3 术语和定义

GB/T 2694、GB 50661 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

零件 part

组成钢管塔或钢管构架的最小单元，如法兰、钢管、加劲板、连接板等。

[来源：GB/T 2694-2018，3.1.1，有修改]

3.2

部件 component

由若干零件组成的单元，一般是由若干零件组成的焊接件，如钢管和法兰组成的焊接件、十字插板等。

[来源：GB/T 2694-2018，3.1.2，有修改]

3.3

构件 element

由零件与部件或多个部件焊接而成的钢管塔或钢管构架的基本单元。如塔腿等。

注：这里构件和部件的主要区别是部件是半成品件，而构件是成品件，在组塔时通过紧固件将零件、构件组装在一起，形成完整的铁塔产品。

[来源：GB/T 2694-2018，3.1.3，有修改]

3.4

钢管塔 steel tubular tower

主要受力构件采用钢管（多采用直缝焊管），其它零件或构件采用钢管、型钢、钢板等组成的空间塔架（桁架）结构。

3.5

钢管构架 steel pipe gantry

主柱采用圆形钢管，横梁采用钢管或型钢构件，与零件一起组成的结构，包含采用钢管制作的设备支架。

3.6

装配 joint fit-up

按照规定的精度、工艺等技术要求，将零件组对后以焊接方式连接在一起使之成为部件或构件的过程。

[来源：GB/T 2694-2018，3.1.4，有修改]

3.7

试组装 test assembling

为检验零件或构件是否满足设计与安装质量要求而进行的预组装。

[来源：GB/T 2694-2018，3.1.5，有修改]

注：这里的组装是指以紧固件将零件或构件连接在一起的过程，本文件“装配”与“组装”概念不同。

4 一般规定

4.1 特高压钢管塔及钢管构架的材料与零件、加工及检验应满足设计文件的要求。设计文件没有明确的，应执行本标准的规定。当需要更改设计时，应征得设计单位的同意，并签署设计变更文件，制造方应将设计变更确认单存档。

4.2 用于制造特高压钢管塔及钢管构架的材料与零件应有质量证明书、合格证、监造证明（要求时）、第三方检测报告（要求时）等质量证明文件。采用进口钢材，应符合设计和合同规定标准的要求。

4.3 特高压钢管塔及钢管构架加工中，有监造要求或产品的第三方抽样监督检验要求，而要求又不明确时，应按附录 A 的要求进行全过程的监造或进行产品的抽样监督检验。

4.4 特高压钢管塔及钢管构架加工若采用新技术、新工艺、新设备，当缺乏实践经验时，应经过充分论证或试验验证。

4.5 特高压钢管塔及钢管构架加工除应满足本标准的规定外，尚应符合现行有关标准的规定。涉及角钢件的加工技术要求，本标准未明确的，应执行 GB/T 2694 的相关规定。

5 材料与零件

5.1 钢材

特高压钢管塔及钢管构架用钢材除应符合相应标准的规定外，还应满足下列要求：

- a) 直缝焊管的技术条件应满足附录 B 的要求；
- b) Q355 级及以上级别的角钢、钢板、直缝焊管的 Mn 含量应不低于 1.0%。Q420 级及以下级别的钢板、直缝焊管用钢板/钢带应以热轧状态交货；Q460 级钢板、直缝焊管用钢板/钢带宜按热轧状态交货。

5.2 法兰

特高压钢管塔及钢管构架用法兰应满足附录 C 的要求。采用钢板割制加工板式平面法兰时，还应满足下列要求：

- a) 钢板应经超声波检测，无分层缺陷；
- b) 当所用钢板厚度大于或等于 40mm 时，宜采用满足 GB/T 5313 要求的厚度方向性能钢板，焊接时应采取防止层状撕裂的措施。

5.3 紧固件及脚钉

特高压钢管塔及钢管构架用紧固件及脚钉应满足下列要求：

- a) 紧固件及脚钉应满足 DL/T 284 及附录 D 的要求；
- b) 钢管塔及钢管构架的制造方应对紧固件及脚钉进行抽检复验，应符合附录 D 的要求，合同有特殊约定的，按合同执行；
- c) 薄螺母采用 05 级，用于防松时使用；
- d) 防松螺母、防卸装置、脚钉应满足设计文件或合同要求。

5.4 材料与零件的可追溯要求

5.4.1 特高压钢管塔及钢管构架的制造方应对材料与零件的质量证明文件进行审核，对到货的材料与零件按生产批号进行入厂检验，合格后方可使用。合同有特殊约定的，按合同要求执行。

5.4.2 特高压钢管塔及钢管构架的制造方应编制材料与零件的可追溯管理办法。对一级焊缝用钢管、法兰、钢板、角钢应全程追溯到塔位；其他钢材应能够追溯到塔型。追溯信息宜采用信息化方式记录，以便于追溯。

5.4.3 检验合格的原材料应按材质、质量等级、产品规格、炉批号、Mn 含量进行标识。加工过程的余料若退库或继续使用，应做好标识移植，并按类别分区存放。

5.4.4 无标识或钢材材质、质量等级标识不清的材料不得使用。

6 制作与装配

6.1 放样

6.1.1 应根据设计图纸及加工工艺进行放样。放样时应考虑流锌孔、焊接变形、加工余量、零件装配间隙、挂线金具及螺栓与塔材的碰撞、防坠落装置等因素。应对钢管相贯焊接部位合理设置渐变坡口。

6.1.2 放样时，应在合理的部位开设镀锌工艺孔和过焊孔。若焊接形成大于 200mm×200mm 的密闭腔焊件，应开设镀锌通气孔。不宜在主要承载构件上开设镀锌通气（流锌）孔，但钢管构架柱的 H 型和 A 型构件，横撑与钢管构架柱相贯焊接节点位置为密封、半密封空间的情况下，宜在主管上合理位置开设镀锌通气孔或流锌孔，并满足镀锌工艺要求。开设镀锌通气（流锌）孔、过焊孔应征设计单位同意。对于小尺寸筋板可按设计要求开圆形流锌孔。

6.1.3 加劲板与法兰、联板焊接处有可能产生空间十字焊缝部位，均应将加劲板切角，以保证主焊缝的贯通。加劲板宜采用弧形切角，切角尺寸以保证可以实现端部封闭焊接，并有利于焊接操作和锌液流出为宜。对于切角导致工作焊缝缩短的，应征设计单位确认。

- 6.1.4 当结构上存在异面角使得构件安装贴合面之间有 2mm 以上的间隙时，放样时应考虑进行弯曲、开角或合角处理。对于需要进行开豁口弯曲之后再焊接的弯曲构件（如在钢板或角钢构件上割缝或割豁口），如设计图中未明确为焊接件，则应征设计同意，并确认焊缝质量等级。
- 6.1.5 钢管塔横担、构架梁放样时应考虑设计预拱要求，预拱值应满足设计图纸要求。
- 6.1.6 放样时，应考虑连接板与构件在组装时不应出现压焊缝的现象，构件端头距焊缝边缘宜为 5mm~10mm。
- 6.1.7 放样时，钢管塔塔身或横担主管的纵向焊缝宜布置在结构断面的对角线的外侧方向；钢管构架 A 形构架柱钢管的纵向焊缝宜布置在柱身内侧，单根钢管梁的纵向焊缝宜朝上。
- 6.1.8 爬梯、走道等附属设施与塔体连接时，螺栓孔可采用长圆孔，孔长尺寸宜为孔径的 2 倍。
- 6.1.9 样板的尺寸及样板上任意两孔的孔距及孔中心允许偏差均不应超过 ±0.5mm。
- 6.1.10 放样过程中，凡是需要改变塔材图纸结构、尺寸，或材料代用时，均应征得设计同意，并办理设计确认手续。
- 6.1.11 钢管塔放样后应在图纸中标记出法兰的安装方向。

6.2 制作

- 6.2.1 根据零件的材质、形状、厚度，合理选择冷切割（剪切、锯切、水刀切割等）、热切割（氧-乙炔切割、等离子切割、激光切割等）工艺下料。
- 6.2.2 采用剪切工艺下料时，允许剪切的厚度见表 1。对于在累年极端温度低于 -30℃ 的地区服役的钢管塔、钢管构架，制造方在加工中应严格控制剪切厚度，并避免切割过程出现引起应力集中的尖锐划痕或缺口，打磨清除所有下料毛刺、飞边及割渣，必要时应对加工面进行检查、修磨。

表 1 允许剪切、冲孔的最大厚度

材质	钢管塔、钢管构架服役地区累年极端最低温度			
	不低于 -30℃		低于 -30℃	
	允许剪切最大厚度 mm	允许冲孔最大厚度 mm	允许剪切最大厚度 mm	允许冲孔最大厚度 mm
Q235	22	14	18	10
Q355	18	12	14	8
Q420	12	10	8	不允许
Q460	10	不允许	8	不允许

- 6.2.3 采用剪切工艺下料时，环境温度应满足表 2 的要求，否则应采取适当措施提高加工区域的环境温度，或采取热切割、水刀切割或锯切工艺下料。

表 2 允许冷加工的最低环境温度

材质	允许冷加工的最低环境温度 ℃		
	剪切和冲孔	冷矫正	冷弯曲
Q235	-5	-10	-10
Q355	0	-5	0
Q420	5	0	5
Q460	5	0	5

6.2.4 环形板、变坡连接板等异形件下料，宜优先采用数控切割机加工；管件相贯下料宜采用数控相贯切割机加工。

6.2.5 坡口加工应满足下列要求：

- a) 焊接坡口形式和尺寸可参照附录 E 的有关要求。有特殊要求时，应根据图纸并结合焊接工艺评定确定。
- b) 焊件下料与坡口加工应优先采用机械加工，采用氧-乙炔切割、等离子切割、碳弧气刨切割时，应机械打磨除去坡口表面氧化层。焊件坡口面应平整、无毛刺，坡口两侧不应有氧化皮、锈蚀、油污、裂纹、热切割熔瘤等。

6.2.6 采用数控激光切割下料或坡口加工时，应根据材料厚度、使用的气体种类选择相匹配割嘴，不同功率激光器适用的切割厚度见表 3。

表 3 激光切割下料的适用厚度（推荐值）

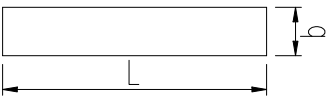
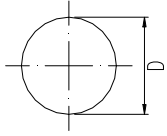
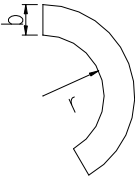
激光器输出功率（kW）	3	4	6	8	12	15	20	30
适用的下料厚度（mm）	≤10	≤12	≤16	≤18	≤24	≤28	≤34	≤40

6.2.7 钢材下料质量应满足下列要求：

- a) 热切割时，切割面平面度应不大于 $0.05t$ （ t 为切割件的厚度，mm），且不大于 2.0mm，割纹深度不大于 0.3mm，局部缺口深度不大于 1.0mm；
- b) 钢材切割面应无裂纹、夹杂、分层，剪切边缘缺棱不大于 1.0mm，型钢端部垂直度偏差不大于 2.0mm；
- c) 钢材切割面上深度大于 1.0mm 的局部缺口、深度大于 0.3mm 的割纹，以及切割面上的熔瘤、挂渣、飞溅物等应予打磨，剪切边毛刺、撕裂棱及深度大于 1.0mm 的缺棱应清除或修磨。

6.2.8 零件加工允许偏差、钢板加工端面倾斜允许偏差、钢管下料端面倾斜允许偏差、角钢清根、铲背允许偏差及坡口加工允许偏差应分别满足表 4~表 7 的规定要求。

表 4 零件加工允许偏差

序号	项目	允许偏差 mm		示意图	
1	零件基本尺寸	长度 L	对接形式	±1.5	
			其他形式	±2.0	
		宽度 b	±2.0		
2	圆盘	直径 D	± $D/100$ ，且 ≤3.0		
3	环形板	弧长 L		-2.0~0	
		宽度 b		±2.0	
		内圆半径 r		0~2.0	
		平面度		0~2.0	

6.2.9 钢管开槽宜优先采用专业开槽机或数控切割机开槽。采用冲裁模具定位冲压开槽时，开槽厚度及开槽最低环境温度应满足表 1、表 2 的剪切要求。采用数控激光开槽时，切割厚度应满足表 3 的要求。采用手工火焰或等离子切割方式通过靠模定位切割开槽时，应采取措施使得开槽根部圆滑过渡。

6.2.10 在钢管上开槽应尽量避免钢管纵向焊缝，切割面应平直，开槽根部切割直角处应有过度圆弧，根部不应出现“□”型过切割，并避免产生裂纹。钢管开槽允许偏差应满足表 8 要求。

表 5 钢板加工端面倾斜允许偏差

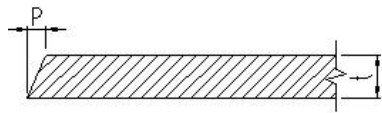
序号	钢板厚度 t mm	允许偏差 P mm	示意图
1	$t \leq 20$	1.0	
2	$20 < t \leq 36$	1.5	
3	$t > 36$	2.0	

表 6 钢管下料端面偏斜允许偏差

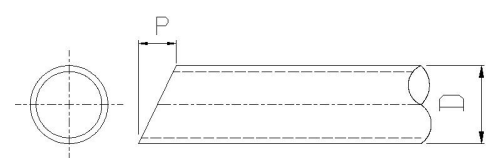
序号	钢管外径 D mm	允许偏差 P mm	示意图
1	$D \leq 219$	≤ 1.0	
2	$219 < D \leq 426$	≤ 1.5	
3	$426 < D \leq 508$	≤ 2.0	
4	$D > 508$	≤ 2.5	

表 7 清根、铲背及坡口加工允许偏差

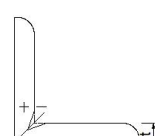
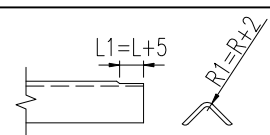
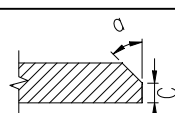
序号	项 目		允许偏差 mm	示 意 图
1	角钢清根	$t \leq 10$	$-0.4 \sim +0.8$	
		$10 < t \leq 16$	$-0.4 \sim +1.2$	
		$t > 16$	$-0.6 \sim +2.0$	
2	角钢铲背	圆弧半径 R_l	$0 \sim +2.0$	
		长度 L_l	$-2.0 \sim +5.0$	
3	坡口加工	坡口面角度 α	$\pm 5.0^\circ$	
		钝边 C	± 0.5	

表 8 钢管开槽允许偏差

序号	项目	允许偏差 mm	示意图
1	开槽长度 L	0~2.0	
2	开槽宽度 b	0~2.0	
3	开槽倾角 α	$\leq 1.0^\circ$	
4	开槽中心线偏斜 e	≤ 1.0	

6.2.11 钢管制弯应采用热弯工艺，钢板、角钢制弯可采用热弯或冷弯工艺。制弯前应清理受拉面毛刺、撕裂棱、缺棱等，确定制弯工艺、工装模具等，编制专项技术措施避免制弯裂纹。

6.2.12 热弯曲前，应进行验证性试验，确保材料的性能在热弯后满足要求。热弯时，宜选用中频加热，温度控制在 900°C ~ 1000°C ，然后自然冷却至环境温度，环境温度低于 5°C 时进行热弯曲，应采取缓冷措施。热弯时宜采用远红外测温仪器或其他专用测温仪器对加热温度进行监测。

6.2.13 采用冷弯工艺时，允许的最低环境温度见表 2 要求，冷弯工件的厚度、冷弯温度、弯曲半径应满足表 9 规定。

表 9 钢板冷弯条件

钢材牌号	冷弯最低环境温度 ^a $^\circ\text{C}$	弯曲半径 R ^b mm	
		钢板厚度 $t \leq 16\text{mm}$	钢板厚度 $t > 16\text{mm}$
Q235	-10	$\geq 2t$	$\geq 3t$
Q355	0		
Q420	5		
Q460	5		
^a 当弯曲条件超出表中条件时应进行热弯。 ^b 当确保冷弯方向与钢板轧制方向一致（弯曲线方向与轧制方向垂直）时，相应的弯曲半径 R 可减小到原值的 75%。			

6.2.14 制弯后弯曲部位角钢最薄边厚度不应小于公称厚度的 70%；钢板、钢管最薄处不应小于公称厚度的 90%；设计文件有特殊要求时，按其要求执行。

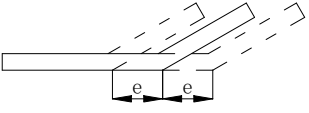
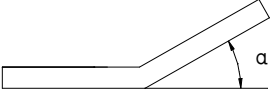
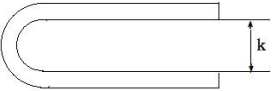
6.2.15 制弯后，弯曲边缘应圆滑过渡，弯曲面不应有裂纹和明显的折皱、凹面和损伤，划痕深度不应大于 0.5 mm。

6.2.16 制弯允许偏差应满足表 10 的规定，弯曲零件的孔位误差不大于 1mm。

6.2.17 制孔可采用冲孔、钻孔、数控激光割孔的方式。所有挂线孔应钻孔加工。对于 $\phi 80\text{mm}$ 及以上的孔，可采用空芯钻加工，或采用先引孔再扩孔的方法，或采用数控仿型热切割方法加工。不应采用火焰或等离子切割方式加工螺栓孔。

6.2.18 采用冲孔工艺制孔时，不同材质允许冲孔的最大厚度见表 1；冲孔时允许的最低环境温度应满足表 2 要求。对于累年极端温度低于 -30°C 的地区服役的钢管塔、钢管构架，应严格控制冲孔厚度，并应采取控制孔内壁撕裂，打磨孔周边毛刺。

表 10 制弯允许偏差

序号	项 目	允许偏差 mm	示意图
1	弯曲点偏移 e	≤ 2.0	
2	弯曲角度 α	$\pm 0.5^\circ$	
3	U形板开口尺寸 k	0~2.0	

6.2.19 采用数控激光切割工艺制孔时,应从孔内起刀,向外旋切,收刀修整。不同功率激光器的切割设备激光制孔适用的厚度见表 11。

表 11 激光制孔适用的厚度(推荐值)

激光器输出功率 (kW)	3	4	6	8	12	15	20	30
适用的制孔厚度 (mm) ^a	≤ 10	≤ 12	≤ 14	≤ 16	≤ 20	≤ 26	≤ 30	≤ 36
^a 累年极端温度低于-30°C的地区使用的塔材不应采用激光制孔。								

6.2.20 制孔后零件不应有明显变形,孔周围表面不应有明显的凹面缺陷,大于 0.3mm 的毛刺应清除。激光制孔、数控仿型热切割孔时的孔壁表面不应有大于 0.6mm 的凹线或凸线,粗糙度 Ra 不应大于 $25\mu\text{m}$ 。

6.2.21 制孔允许偏差应满足表 12 的规定;带颈法兰、板式平面法兰(含塔脚、钢管塔变坡部位等板式平面法兰)制孔允许偏差应满足附录 C 的要求。

6.2.22 对于制弯裂纹、错孔、钢管开槽错误等不允许补焊修理。

表 12 制孔的允许偏差

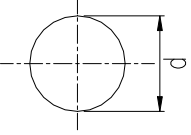
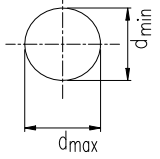
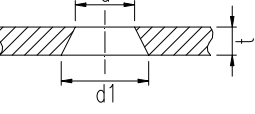
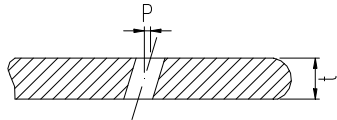
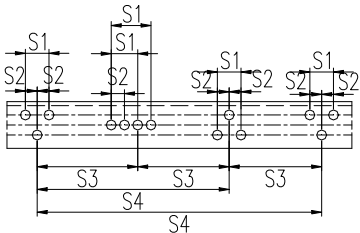
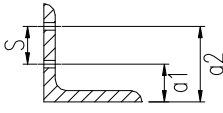
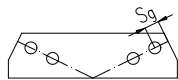
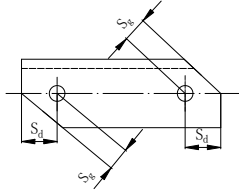
序号	项 目	允许偏差 mm		示意图
1	公称直径 d	镀锌前	0~0.8	
		镀锌后	-0.3~0.5	
2	圆度 $d_{\text{max}}-d_{\text{min}}$	≤ 1.2		
3	孔上下直径差 d_i-d^a	$\leq 0.12t^b$		

表 12 (续)

序号	项 目	允许偏差 mm	示意图	
4	孔垂直度 P	$0.03t^b$, 且 ≤ 0.5		
5	孔间距	同组内不相邻两孔距离 S_1	± 0.7	
		同组内相邻两孔距离 S_2	± 0.5	
		相邻组两孔距离 S_3	± 1.0	
		不相邻组两孔距离 S_4	± 1.5	
6	准距 α_1 、 α_2	± 1.0		
7	排间距离 S	± 1.0		
8	边距 S_g	± 1.5		
9	端距和边距 S_d	± 1.5		
	切角边距 S_g	± 1.5		

^a 冲孔孔径的测量位置应在其小径所在平面进行。
^b t 为材料厚度, mm。

6.3 矫正

6.3.1 热浸镀锌前的钢管塔塔身、横担主材, 构架主柱和横梁不得冷矫正, 其他构件弯曲度小于 10° 时, 可以进行冷矫正。冷矫正时, 允许的最低环境温度见表 2。

6.3.2 热矫正前, 应进行验证性试验, 确保矫正加热不对材料的性能造成恶化, 并择优确定热矫正工艺, 编制热矫正工艺指导书。

6.3.3 进行加热矫正时, 加热温度不应超过 900°C , 热矫正后应自然冷却。热矫正时宜采用远红外测温仪器或其他专用测温仪器对加热温度进行监测。

6.3.4 矫正后的钢材表面不应有明显的凹面和损伤, 表面划痕深度不应大于 0.5mm , 且单面损伤深度不大于钢材厚度允许负偏差的 $1/2$ 。

6.3.5 构件热矫正后没有达到规定要求时, 不应在同一位置进行重复加热。

6.3.6 热浸镀锌后的矫正不应破坏镀锌层, 当损伤的镀锌层面积小于 10cm^2 时, 允许采用含锌量大于 90% 的环氧富锌涂料修复。

6.4 装配

6.4.1 相同构件的装配基准应一致。工作台和胎板必须有足够的刚度, 应定期检查工装胎模的松动、

定位基准偏差，确保批量组对定位尺寸的质量稳定性，以保证装配精度和零件、部件互换性。

6.4.2 焊接件装配时应综合考虑焊缝的布置位置，钢管的纵向焊缝宜上下对齐，并应尽量避免出现“十字”交叉、重叠焊缝。

6.4.3 焊接件装配前应将坡口表面及附近母材（内、外壁或正、反面）的油、漆、污垢、锈蚀、氧化皮等清洗干净，直至出现金属光泽，清理范围如下：

- a) 对接焊缝：坡口每侧各 10 mm~15 mm；
- b) 角焊缝：焊脚尺寸（ h_f 值）+15 mm；
- c) 埋弧焊焊缝：上述 a) 或 b) 的清理范围+5 mm。

6.4.4 对钢管塔横担与主管连接部位、挂线板焊接部位、环形板拼接部位等，宜开设坡口，坡口的钝边厚度不宜超过 2mm，装配时应避免错边。

6.4.5 钢管构件装配宜采用专用的装配设备或工装、模具，在工作台上进行。连接板与环形板装配，宜使用靠模进行定位。连接板与钢管及环形板之间应留有适当的间隙，避免强行装配。环形板拼接部位应装配平整，间隙适当。

6.4.6 钢管与带颈法兰装配时，应使用装配胎具，法兰宜采用销子定位，钢管的基准应在轴心线上；钢管与板式平面法兰装配时，钢管与法兰间隙应均匀，钢管的插入深度应满足设计要求，当设计未要求时，插入深度应不小于法兰厚度的一半，且满足焊缝焊脚尺寸要求。

6.4.7 焊接件装配时，应根据焊接工艺要求控制其装配间隙，避免间隙过大或过小。任何情况下，不应在装配间隙或坡口内嵌入填充物焊接。

6.4.8 焊接件装配应采取防止变形的措施。焊件装配位置尺寸确定后，宜采用定位焊方式或焊接临时定位支撑件的方式进行固定。定位焊应满足本文件的要求。

6.4.9 焊接构件允许偏差应符合表 13 规定。对于下料尺寸偏大的零件或部件，不应强行装配或随意切割，应查找原因，必要时重新放样。

表 13 焊接构件允许偏差

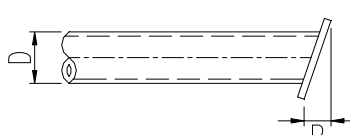
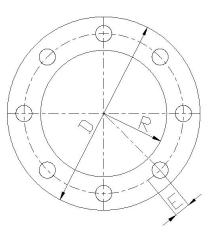
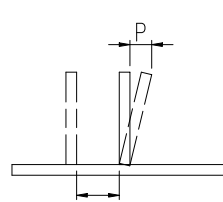
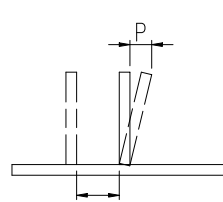
序号	项目		允许偏差 mm	示意图
1	法兰面对轴线倾斜 P	$D < 1500$	≤ 1.0	
		$D \geq 1500$	≤ 1.5	
2	法兰盘旋转变位 E		≤ 1.0	
3	法兰装配偏心		≤ 1.0	
4	法兰盘焊接后平整度		$\leq \frac{1.3D}{1000}$ ^a 且 ≤ 1.0	
5	连接板位移 e	有孔	≤ 1.0	
		无孔	≤ 2.0	
6	连接板倾斜 P	有孔	≤ 1.0	
		无孔	≤ 2.0	

表 13 (续)

序号	项目		允许偏差 mm	示意图
7	连板装配角度最大偏差 α		$\leq 0.5^\circ$	
8	连板装配最大偏移 $L1$		≤ 2.0	
9	肋板装配最大偏移 $L2$		≤ 2.0	
10	对接接头错边 δ		$t/10^b$ 且 ≤ 2.0	
11	直线度 f		$L/1500^c$ 且 ≤ 5.0	
12	两端法兰间 尺寸之差 $L_{max}-L_{min}$	$D < 1500$	≤ 2.0	
		$D \geq 1500$	≤ 2.5	
13	单构件长度 L	$L < 6m$	± 1.5	
		$L \geq 6m$	± 2.0	
14	多构件连接 单元长度 L	$L < 6m$	± 2.0	
		$L \geq 6m$	± 2.5	
15	相邻两组连接板间距 a		± 1.0	
16	不相邻两组连接板间距 a_1		± 1.5	
17	插板与钢管 装配	中心偏移 b	≤ 1.0	
18		插板螺栓孔中心与 钢管端距 e	$0 \sim 2.0$	
19	U形板与钢管 装配	装配偏移 Δ	≤ 1.0	
20		倾角 β	$\leq 1.0^\circ$	

表 13 (续)

序号	项目		允许偏差 mm	示意图
21	钢管构架 柱头	斜拉尺寸 L_1	0~2.0	
22		垂直尺寸 L_2	0~2.0	
23		法兰根开 B	0~2.0	
24		顶板平面度 f	≤ 2.0	
25	梁头弯管	不相邻两组 连接板间距 L_1	± 1.5	
26		相邻两组 连接板间距 L_2	± 1.0	
27		法兰到连接板的 距离 L_3	± 1.0	
28		管子角度 α	$\pm 1.0^\circ$	
29	相贯连接	主管与支管之间 角度 α	$\pm 0.5^\circ$	
30		主管与支管法兰 距离 a_1 、 a_2	± 1.5	
31		主管纵中心线方向 上支管法兰距离 a	± 1.5	
32	变坡部位主管与支管法兰距离 a_1 、 a_2 (同侧距离要求同时加大或减小)		± 2.0	
33	变坡部位主管 两端法兰 (同一 截面内) 边 缘距离 a_3 、 a_4	$D < 1500$	≤ 2.0	
		$D \geq 1500$	≤ 2.5	
34	相贯连接	主管左右两侧支管 法兰距离 a	± 2.0	

表 13 (续)

序号	项目		允许偏差 mm	示意图
35	相贯连接	支管偏移 e	≤ 1.0	
36		支管长度 L	± 1.5	
<p>^a D 为法兰盘直径, mm。 ^b t 为焊件厚度, mm。 ^c L 为构件长度, mm。</p>				

7 焊接

7.1 一般要求

7.1.1 焊接工艺评定

7.1.1.1 制造方应综合考虑结构的使用要求、焊缝类别、焊接设备、焊工操作技能、加工条件及经济效益等选择合适的焊接方法。

7.1.1.2 焊接前,对于首次采用的钢材、焊接材料、焊接方法结构形式、预热、后处理等,制造方应结合所用的焊接方法、焊件厚度、接头形式、焊接位置等组合条件,在焊接施工前按 GB 50661 进行焊接工艺评定,编制焊接工艺文件,焊接件的施焊范围不应超出焊接工艺评定的覆盖范围。

7.1.2 焊接作业人员

7.1.2.1 焊接技术管理人员应有相应的焊接管理基础知识,经专业知识培训,取得培训合格证书。

7.1.2.2 焊工、焊机操作工应经专门的技术培训,按附录 F 的要求进行技能评定,取得相关项目的合格证书。

7.1.2.3 无损检测、力学性能、金相检验、化学分析、光谱分析人员应经过专门培训和考核,取得从事相应检测项目的合格证书;进行薄壁管对接焊缝超声波检测的人员,还应按照附录 G、附录 H 的要求,进行专项作业培训,取得专项作业合格证书。出具检测报告的人员应具有中级(Ⅱ级)及以上合格证书。

7.1.2.4 焊接质量检查人员、焊接热处理人员应经过专门培训,焊接质量检查人员应有相应的质量检验知识和三年以上实践经验。

7.1.2.5 焊接作业人员从事的工作项目应与其合格证书的项目相匹配。

7.1.3 焊接作业文件

7.1.3.1 制造方应编制与加工项目相适应的焊接技术方案,针对特殊的焊接结构,应制定专门的技术措施或焊接技术方案。

7.1.3.2 制造方应结合焊接工艺评定,依据产品特点、生产条件编制具体的焊接工艺作业指导书、焊接工艺卡;有预热、后热、焊后热处理要求时,还应编制焊接热处理工艺卡。

7.1.3.3 对一级焊缝应有唯一性标识,焊工、检验人员应有可追溯性记录。

7.1.4 焊接材料

7.1.4.1 所用焊条、焊丝、焊剂和气体应分别满足 GB/T 5117、GB/T 8110、GB/T 10045、GB/T 39280、GB/T 5293、GB/T 39255 等标准的相关要求，并入厂检验合格。

7.1.4.2 制造方应建立健全焊接材料的管理制度，并有记录。焊接材料的选择与库房管理、焊接材料及保护气体的检验与使用要求等应满足附录 I 的各项要求。

7.2 焊缝质量等级及布置

7.2.1 按图纸、设计文件的要求确定焊缝质量等级。若图纸、设计文件没有明确要求时，焊缝质量等级规定如下：

a) 钢管塔：

- 1) 钢管塔中钢管与法兰、钢管与钢管连接的对接焊缝，连接挂线板对接焊缝应满足一级焊缝质量要求；
- 2) 设计上要求熔透且需要无损检测内部质量的焊缝，钢板、角钢割缝制弯或开豁口制弯的焊缝应满足二级焊缝质量要求。
- 3) 钢管塔横担与主管连接焊缝、钢管与插板连接的外侧焊缝，钢管与连接板的连接焊缝、管与管相贯连接焊缝、钢管与法兰的搭接焊缝、环形板拼接焊缝应满足二级焊缝外观质量要求；
- 4) 其他焊缝应达到三级焊缝的质量要求。

b) 钢管构架：

- 1) 构支架环向对接焊缝、钢板对接焊缝应满足一级焊缝质量要求；
- 2) 钢管与柔性法兰的坡口焊缝、其他对接焊缝应不低于二级焊缝外观质量要求；
- 3) 其他焊缝应满足三级焊缝的质量要求。

7.2.2 应尽可能避免出现交叉十字焊缝、重叠焊缝。

7.2.3 焊缝布置应考虑能够实施焊接作业和减小焊接残余应力。

7.3 焊接环境及焊接工艺

7.3.1 焊接环境

焊接作业场所出现下列情况时应采取措施，否则不允许焊接：

- a) 焊条电弧焊或药芯焊丝自保护焊时作业区的风速超过 8m/s，气体保护电弧焊时作业区的风速超过 2m/s；
- b) 相对湿度大于 90%，或焊件表面潮湿，或焊件暴露于雨、冰、雪中；
- c) 焊接 Q235、Q355 和 Q420 及以上等级钢材时，环境温度分别低于 -10℃、0℃和 5℃；
- d) 焊接作业条件不符合 GB 9448 的规定。

7.3.2 预热

7.3.2.1 焊件厚度超过一定尺寸或焊接环境温度低于 7.3.1 要求时，应采用电加热或火焰加热方法进行预热，宜采用远红外测温仪或其他专用测温仪器测量预热温度。

7.3.2.2 预热宽度在焊缝两侧，每侧预热宽度应大于焊件厚度的 2 倍，且不小于 100mm。

7.3.2.3 常用钢材焊接的最低预热温度推荐值见表 14。

7.3.3 焊接工艺

7.3.3.1 在正式焊缝内的定位焊缝，除焊工技能、焊接材料、焊接工艺和质量要求与正式焊缝相同外，还应满足下列要求：

表 14 常用钢材焊接最低预热温度

钢材牌号	不同母材厚度 t 的最低预热温度 ^{a, b, c}			
	°C			
	$t \leq 20$ mm	$20 \text{ mm} < t \leq 40$ mm	$40 \text{ mm} < t \leq 60$ mm	$t > 60$ mm
Q235	— ^d	— ^d	40	80
Q355	— ^d	20	60	100
Q420	20	60	80	120
Q460	20	80	100	150

^a 焊接接头两侧母材厚度不同时，按较厚件选择预热温度；焊接接头两侧母材材质不同时，按接头中较高强度、较高碳当量的钢材选择预热温度。

^b 当采用非低氢型焊接材料或焊接方法时，预热温度应比表中温度高约 20°C。

^c 当施焊处母材温度低于 0°C 时，应结合作业环境、钢材牌号、结构厚度等，适当提高表中的预热温度，且在整个焊接过程中，道间温度不低于此温度。

^d 焊接环境温度在 0°C 以上时，可不采取预热措施。

- a) 坡口根部的定位焊缝，应检查各个定位焊缝的质量，如有缺陷应清除，必要时应重新进行定位焊；
- b) 定位焊缝的厚度一般为 3mm~6mm，且不宜超过正式焊缝的 2/3，长度宜为 20mm~40mm；
- c) 定位焊缝的数量视焊缝长度确定，间距不宜超过 400mm，且不少于 2 点，应均匀分布；
- d) 定位焊的引弧和熄弧应在焊件坡口内完成；
- e) 环境温度低于 5°C 时，低合金钢定位焊缝的厚度可增加至 8mm，长度为 60mm~80mm；
- f) 定位焊时的预热温度应比正式焊接时的预热温度高约 20°C；
- g) 定位焊后应清渣，并检查定位焊质量，有缺陷时应进行处理。

7.3.3.2 手工焊时，宜采用多层多道焊接工艺，且每层焊道厚度不宜超过 5mm；埋弧焊时，单层焊道厚度不宜超过 8mm。

7.3.3.3 焊接时，除含有引弧板和引出板外，引弧和熄弧均应在焊件坡口内完成，收弧时应将熔池填满。多层多道焊接时，应逐层逐道清理焊缝表面，自检合格后方可焊接次道焊缝。多层多道焊时的焊接接头应错开 30 mm 以上。

7.3.3.4 对于双面焊接的 T 形焊缝，在一侧焊接完成后，应检查另一侧定位焊缝，确认无裂纹等缺陷后，方可进行该侧焊缝的焊接。必要时，宜采取两侧对称焊接。

7.3.4.5 要求熔透的焊缝宜采用机械方式背部清根。采用热加工方式（如碳弧气刨）清根时，应将表面污染层清除，并露出金属光泽。

7.3.3.6 宜采用调整焊接工艺参数或合理安排焊接顺序的方法控制焊接变形，也可采用反变形、刚性固定等方法控制变形。控制变形时，应采取措施，避免产生焊接裂纹。

7.3.3.7 焊接后宜采用机械方式去除引弧板、引出板、定位支撑件等临时焊件。采用气割方法去除时，应在离工件表面 3 mm 以上处切除临时焊件，去除后应将残留的部分打磨修整，并检查表面质量。去除这些临时焊件时造成的母材损伤应打磨圆滑，不得补焊修复，打磨后实测厚度应满足工件的偏差要求。

7.3.3.8 焊接完成后，焊工应将焊缝及母材表面上的飞溅、熔渣等清理干净，并检查外观质量。影响热浸镀锌质量的焊缝缺陷应在镀锌前进行修磨或补焊，且补焊的焊缝应与原焊缝间保持圆滑过渡。

- 7.3.3.9 当焊接工艺评定、设计文件有要求时，应采用适当的方法消除应力。
- 7.3.3.10 对一级、二级焊缝外观质量自检合格后，焊工应打上焊工钢印号，或永久性标识。
- 7.3.3.11 钢管塔、钢管构架上的焊接件应进行封闭焊。

7.4 焊接检验

7.4.1 外观质量检验

7.4.1.1 外观检验一般采用焊缝检验尺检测、放大镜目视检验等方法。目视检查应在合适的光照条件下辅以5倍及以上的放大镜检验，必要时可进行表面无损检测。

7.4.1.2 当出现下列情形之一时，应对焊缝进行表面无损检测。表面无损检测可采用磁粉或渗透检测的方法，依据 NB/T 47013.4、NB/T 47013.5 的规定进行：

- 设计文件要求进行表面无损检测时；
- 焊缝外观检查发现裂纹时，应对该批同类焊缝进行 100% 的表面无损检测；
- 焊缝外观检查怀疑有裂纹时，应对怀疑的部位进行表面无损检测；
- 插入式连接的角焊缝，应进行 100% 的表面无损检测；
- 钢管爬梯焊接脚钉与钢管之间焊缝（靠脚钉侧），宜抽取不少于 1% 焊缝进行表面无损检测，且每基塔不少于 3 只脚钉焊缝。

7.4.1.3 焊缝感观应达到外形均匀、成型良好，焊道与焊道、焊缝与母材之间过渡较圆滑，焊渣和飞溅物清除干净。

7.4.1.4 焊缝外观质量应符合表 15 的规定。

表 15 焊缝外观质量要求

序号	项 目	焊缝质量等级及相应缺陷限值		
		mm		
		一级	二级	三级
1	根部未焊透	不允许		深度 $\leq 0.2t$ ，长度见 ^a
2	未焊满（指不满足设计要求）	不允许	$\leq 0.2 + 0.02t$ ，且 ≤ 1.0	$\leq 0.2 + 0.04t$ ，且 ≤ 2.0
			每 100mm 焊缝内缺陷总长 ≤ 15.0	
3	根部收缩	不允许	$\leq 0.2 + 0.02t$ ，且 ≤ 1.0	$\leq 0.2 + 0.04t$ ，且 ≤ 2.0
			长度不限	
4	咬边	不允许	深度 $\leq 0.05t$ ，且 ≤ 0.5 ； 连续长度 ≤ 100 ，且焊缝两侧 咬边总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长	深度 $\leq 0.1t$ ，且 ≤ 1.0 ，长度不限
5	裂纹、弧坑裂纹、电弧擦伤、未熔合、烧穿	不允许		
6	飞溅	清除干净		
7	接头不良	不允许	缺口深度 $\leq 0.05t$ 且 ≤ 0.5	缺口深度 $\leq 0.1t$ 且 ≤ 1.0
			每 1000mm 焊缝不得超过 1 处（不足 1000mm 的焊缝以每条焊缝计）	

表 15 (续)

序号	项 目	焊缝质量等级及相应缺陷限值		
		mm		
		一级	二级	三级
8	表面夹渣、气孔、焊瘤	不允许		
9	角焊缝厚度不足(按设计焊缝厚度计)	—	—	$\leq 0.3 + 0.05t$ 且 ≤ 2.0 每 100mm 焊缝内缺陷总长 ≤ 25.0
注 1: 除注明角焊缝缺陷外, 其余均为对接、角接焊缝通用。				
注 2: t 为连接处较薄的管或板的厚度, 单位为 mm。				
* 当根部未焊透出现下列情况之一时, 为不合格: 在焊缝任意 300mm 连续长度范围内, 其累计长度超过 25mm; 当焊缝长度小于 300mm 时, 其累计长度超过焊缝总长的 8%。氩弧焊打底有未焊透。				

7.4.2 焊缝尺寸检测

7.4.2.1 对接焊缝余高应符合表 16 的规定, 对接焊缝宽度应符合表 17 的规定。焊缝最大宽度 B_{max} 和最小宽度 B_{min} 的差值, 在任意 50mm 焊缝长度范围内偏差值小于或等于 3.0mm, 整条焊缝长度范围内偏差值小于或等于 4.0mm。

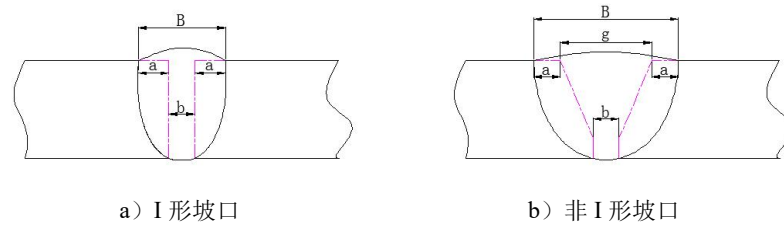
表 16 对接焊缝余高尺寸要求

焊缝等级	焊缝表面宽度 B mm	焊缝余高 C mm
一级、二级	< 20	0~2.0
	≥ 20	0~3.0
三级	< 20	0~3.0
	≥ 20	0~4.0

7.4.2.2 角接焊缝焊脚尺寸 h_f 应满足图纸或设计文件的要求, 当图纸或设计文件未明确时, T、K 和 Y 形节点的角焊缝焊脚尺寸应符合表 18 的规定。要求全熔透的焊缝, 在有劲板、支撑腹板的条件下, 腹板与翼板组合焊缝焊脚尺寸不宜超过腹板和翼板较薄板厚度的 1/2 (见图 3)。部分熔透的焊缝, 如环形板、加劲板等连接焊缝的焊脚尺寸应大于或等于较薄焊件厚度的 0.7 倍, 最大不宜大于薄件厚度的 1.2 倍。

表 17 对接焊缝宽度尺寸要求

焊接方法	焊缝形式	焊缝宽度 B mm	
		B_{min}	B_{max}
埋弧焊	I 型坡口焊缝	$b+6$	$b+16$
	非 I 型坡口焊缝	$g+2$	$g+8$
焊条电弧焊及气体保护焊	I 型坡口焊缝	$b+4$	$b+8$
	非 I 型坡口焊缝	$g+2$	$g+6$



说明:

a—焊缝每侧增宽, mm;

b—装配间隙, mm, 是参照附录 E 要求的实际装配值;

g—坡口宽度, mm。

表 18 圆管 T、K 和 Y 形节点的角焊缝焊脚尺寸要求

Φ^a	最小焊脚尺寸 h_f^b		
	mm		
	$E=0.7t$	$E=t$	$E=1.07t$
根部 $<60^\circ$	$1.5t$	$1.5t$	取 $1.5t$ 和 $1.4t+Z$ 中较大值
侧边 $\leq 100^\circ$	t	$1.4t$	$1.5t$
侧边 $100^\circ\sim 110^\circ$	$1.1t$	$1.6t$	$1.75t$
侧边 $110^\circ\sim 120^\circ$	$1.2t$	$1.8t$	$2.0t$
趾部 $>120^\circ$	t (切边)	$1.4t$ (切边)	开坡口 $60^\circ\sim 90^\circ$ (焊透)

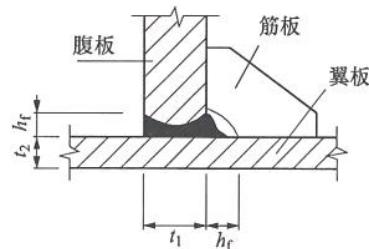
趾部区 根部区 侧边区

趾部区 侧边区 根部区

趾部区 侧边区 根部区

趾部区 根部区

^a 1) 当 $\Phi > 120^\circ$ 时, 边缘应切掉, 以增加喉部厚度。
2) 允许的根部间隙为 $0\sim 5\text{mm}$; 当根部间隙大于 1.6mm 时, 应适当增加角焊缝焊脚尺寸 h_f 值。
^b t 为薄件厚度; E 为角焊缝有效厚度, 即焊缝根部至焊缝表面的最小距离, 由设计文件明确; Z 为根部角焊缝未焊透尺寸, 由焊接工艺评定确定。



$$h_f = 0.5 \min(t_1, t_2)$$

图 3 组合焊缝焊脚尺寸

7.4.2.3 角焊缝外形尺寸允许偏差应符合表 19 的规定。

表 19 角焊缝外形尺寸允许偏差

序号	项目	允许偏差 mm		图例
1	焊脚尺寸 h_f	$h_f \leq 6$	0~1.5	
		$h_f > 6$	0~3.0	
2	角焊缝余高 C	$h_f \leq 6$	0~1.5	
		$h_f > 6$	0~2.0	

7.4.2.4 在任意 300mm 连续焊缝长度内，焊缝边缘沿焊缝轴向的直线度 f (见图 4) 要求为：

- a) 埋弧焊焊缝不大于 3mm；
- b) 焊条电弧焊和气体保护焊焊缝不大于 2mm；
- c) 整条焊缝的直线度 f 不应大于 5mm。

7.4.2.5 在焊缝任意 25mm 长度范围内，焊缝高低差 $C_{\max} - C_{\min}$ 的允许偏差值小于或等于 2.0 mm，见图 5 所示。

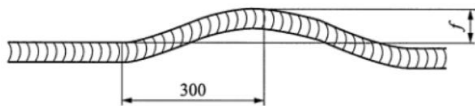


图 4 焊缝边缘直线度示意图

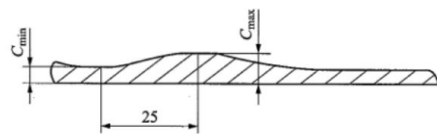


图 5 焊缝表面凹凸度示意图

7.4.3 内部质量检测

7.4.3.1 焊接接头内部质量检测应在焊接完成 24 小时后进行，需要焊后热处理的焊接接头，则内部质量检测应在焊后热处理工作完成之后进行。

7.4.3.2 外观质量检查合格或经修复、修磨检查合格后，方可进行内部质量检测。

7.4.3.3 设计要求全焊透的一级、二级焊缝一般采用超声波方法检测内部质量，也可采用射线方法检测。超声波检验时，厚度大于 8mm 的对接焊缝按 GB/T 11345、GB/T 29712 的规定进行；厚度小于或等于 8mm 的对接焊缝应按附录 G 进行检测和评定，爬坡探头的性能测试应按附录 H 执行。射线检测应按 GB/T 3323.1 和 GB/T 37910.1 的规定进行。

7.4.3.4 一、二级焊缝内部质量的检测比例、检测与评定等级应符合表 20 的规定。

7.4.3.5 二级焊缝无损检测有超标缺陷时，对该条焊缝加倍抽检，如仍不合格，则该条焊缝全部进行检测。

7.5 焊缝缺陷修复

7.5.1 对表面裂纹、气孔、夹渣、焊瘤或余高超标等表面缺陷，应进行修磨，必要时进行补焊修复。对根部收缩、弧坑、焊缝尺寸不足、咬边等缺陷，应进行补焊修复。

7.5.2 对裂纹、未熔合等焊缝内部缺陷，应先清除缺陷，经 PT 或 MT 方法检测确认缺陷已全部消除。

7.5.3 缺陷清除宜采用机械方法，若采用碳弧气刨清除缺陷，应确保渗碳层打磨干净。缺陷清除后，修磨坡口，并使底部圆滑过渡。

7.5.4 拟定修复工艺或制定专项工艺措施进行补焊修复。如有预热、焊后热处理要求时，则应按相关规定执行。

7.5.5 同一位置的焊缝补焊修复次数不宜超过 2 次，Q420 及以上等级钢的焊缝补焊修复次数不应超过 2 次。一级、二级焊缝修复时应有记录。

7.5.6 修复后将返修焊缝表面打磨光滑，并与邻近的母材表面平齐。

7.5.7 修复焊缝应按原焊缝的质量要求进行检验。

表 20 焊缝内部质量要求

焊缝质量等级			一级	二级
超声波检测	灵敏度设定	t > 8mm	GB/T 11345 技术 1	GB/T 11345 技术 1
	检测等级		GB/T 11345 B 级	GB/T 11345 B 级
	验收等级		GB/T 29712 2 级	GB/T 29712 2 级
	检测与评定	t ≤ 8mm	附录 G、附录 H	附录 G、附录 H
	检测比例 ^a		100%	20%
射线检测	检验等级		GB/T 3323.1 B 级	GB/T 3323.1 B 级
	验收等级		GB/T 37910.1 1 级	GB/T 37910.1 2 级
	检测比例 ^a		100%	20%
注：t 为母材厚度。				
^a 检测比例应按每条焊缝长度计算，且不小于 200mm。				

8 试组装

8.1 一般要求

8.1.1 按塔型试组装。试组装前应制定试组装方案，包括试组装形式（立组、卧组）、试组装场地、起重设备、安全措施、质量控制项目等。

8.1.2 当钢管塔分组多段组装时，一次组装的段数不应少于三段，其中，钢管塔变坡段与其相邻段应组装。分段组装应保证有承接段并至少有一个横隔面，且保证每个件号都经过试组装。钢管构架柱与钢梁之间安装连接，应检查装配接口尺寸、安装节点位置偏差。

8.1.3 试组装前各零件、构件的加工已经完成并检验合格。试组装时若发现零件、构件变形或弯曲，应对超标件进行矫正，合格后进行试组装。

8.1.4 试组装时各构件应处于自由状态，不得强行组装。

8.1.5 试组装所用螺栓规格应和实际所用螺栓相同，螺栓数量应能保证对零件、构件的定位需要，且不少于该组螺栓孔总数的 75%，最少不少于 3 个。每个节点应至少安装 1 个经放样确认的标准螺栓。应采用适当的力矩紧固螺栓以消除安装间隙。当采用比螺栓公称直径大 0.3mm 的试孔器检查螺栓孔同心度时，每组孔的通孔率应为 100%。螺栓穿向应符合图纸及合同要求。

8.1.6 每种塔型抽取 1 基钢管塔在批量加工前进行试组装检验，且确保不同段别的塔身、塔腿连接部位都能试组装齐全。钢管构架每种构架类型均应在批量加工前进行试组装检验，并确保构架柱柱头至柱脚、构架梁从左到右都能试组装齐全。

8.1.7 防坠落装置、挂点金具、爬梯、走道等附属设施应在钢管塔或钢管构架试组装时进行同步试装，

T/CSEE 0044-20xx

相同结构上的附属设施可抽取 1 组进行试组装。钢管构架的柱顶地线柱、避雷针应在构架柱试组装时一起试组装。

8.1.8 垫板与相对应的构件全部进行试组装，其局部间隙应不大于 2mm。

8.1.9 对于有更改的零件、构件应重新进行组装。

8.1.10 在批量生产过程中，应对钢管塔或钢管构架加工的关键节点构件，或已试组装塔型的不同呼高部分的构件进行局部试组装，包括但不限于：开合角件、组合焊接件、接头件（如十字板、U 型板、法兰盘等）、变坡连接部位、多层螺栓连接件、钢管构架梁柱部位等。

8.1.11 试组装检验所用的检测器具应检定合格，并在有效期内，试组装检验应有检验记录。

8.2 立式试组装

8.2.1 每一组的底法兰应与基础固定牢固，在试组装过程中不应产生水平或垂直位移。

8.2.2 地脚法兰的最大相对高差不大于 $L/3000$ （ L 为根开尺寸）且不大于 5mm。

8.2.3 前一组顶法兰及下面至少一节主管应再次组装，并采取可靠措施保证根开尺寸、高差和倾斜度与拆卸前一致，后一组底法兰与前一组顶法兰的相对高度偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

8.2.4 塔头部位试组装结束，需将塔身固定牢固，撤掉支撑横担或地线支架的托架后，再对塔头部位各尺寸进行测量。

8.2.5 立式组装应测量塔身断面的中心线的位置，试组装顶层端面中心线位置与基准平面（试组装最底层端面）中心位置垂直方向的偏差应不大于 $0.08\%H$ （ H 为试组装高度）。

8.2.6 塔脚不在同一平面时，应安装假腿进行试组装检验。

8.3 卧式试组装

8.3.1 每一组试组装前应布置并固定好各支撑点，应在节点附近设置支撑点，支撑点的位置应合理，支撑点的高度偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

8.3.2 前一组顶法兰及下面至少一节主管应再次组装，并采取可靠措施保证根开尺寸、主管与横管或斜管的夹角与拆卸前一致。

8.3.3 横担或下曲臂以下至少一段塔身到塔顶部分、变坡截面的上下两段及相邻段必须组装四个面，其他部分在保证构件就位率 100% 情况下至少装一个面，矩形塔至少装两个面，且四根主柱需要组装。

8.3.4 整体组装完毕及各个尺寸调节适当后，方可按顺序紧固螺栓，部分螺栓可先行预紧，以方便尺寸的调节。

8.3.5 钢管塔塔体变坡位置以上部分应全部进行试组装；变坡处与塔体下部至少一段应进行试组装。钢管构架柱和构架梁应全部进行试组装。

8.4 试组装质量检验

8.4.1 试组装的构件、螺栓就位情况对照图纸目视检验。螺栓孔同心度用比螺栓公称直径大 0.3mm 的试孔器检验。钢管塔、构架钢梁的控制尺寸按图纸规定的尺寸采用下列方法检验：

- a) 法兰及塔材连接贴合面之间间隙用塞尺测量；
- b) 结构面平面扭曲用线绳和钢板尺检验；
- c) 根开尺寸、根开对角线尺寸以及横担挂点垂直距离、横担或构架钢梁挂点水平距离等用钢卷尺检测或激光测距仪检测；
- d) 钢管塔采用立式组装时，整塔的直线度采用经纬仪检测；
- e) 钢管构架梁预拱采用水准仪或经纬仪检测。

8.4.2 试组装后，控制尺寸应符合设计图纸要求，允许偏差应符合表 21 的规定。分段立式组装时，对每组装段应按表 21 中 8-13 项进行检验。

8.4.3 试组装钢管塔、钢管构架的主要节点至少应安装 1 只经放样确认的标准螺栓，并做好标识。

8.4.4 试组装中发现的相互干涉的构件不应随意切割，发现有孔位偏差的构件不应热切割扩孔，应重新放样，按图纸加工。

8.4.5 试组装中发现的不合格按下列要求处置：

- a) 螺栓孔同心度不满足要求，导致螺栓不能穿过时，应查明原因，若确认为加工图原因导致孔位偏差，应对该批构件孔位尺寸全部进行复核检查，并记录；
- b) 试组装主控尺寸超标时，应查明原因，进行处理，并记录。

表 21 试组装允许偏差

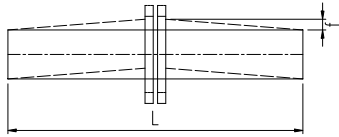
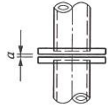
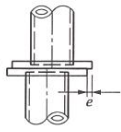
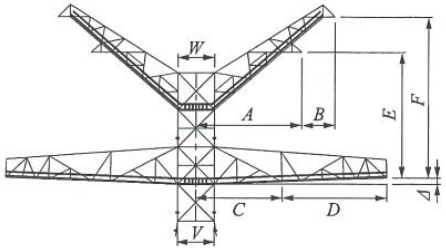
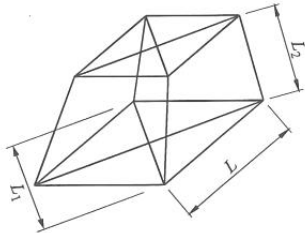
序号	项目 ^a		允许偏差 mm	示意图
1	直线度 f		$\leq L/1000^b$	
2	法兰连接的局部间隙 a		≤ 2.0	
3	法兰对口错边 e		≤ 2.0	
4	*挂线点之间水平距离	$A、B、C、D$	± 10.0	
	*挂线点之间垂直距离	$E、F$		
5	*横担预拱 Δ	卧式	0~20	
		立式	+20 - $\Delta/10$	
6	*塔身尺寸	$W、V$	± 4.0	
7	横担、支架在同一平面内水平位移 K		$\leq 5L/1000^b$ 且 ≤ 10.0	
8	结构平面扭曲		≤ 10.0	
9	*根开尺寸 L		$\pm L/2000$, 且不大于 10	
10	根开对角线 L_1		$\pm L_1/2000$	
11	节点间主材弯曲 L_2		$\leq L_2/1000$	
12	*垂直度偏差		$\leq 0.8H/1000^c$	
13	连接局部间隙		≤ 2.0	

表 21 (续)

序号	项目 ^a		允许偏差 mm	示意图	
14	U型板与钢管装配焊后开口尺寸		0~4.0	—	
15	钢管构 架梁	*跨度最外两端螺栓孔或支撑 面最外侧距离 L	-10~5.0		
16		*拱度	设计要求起拱		$\pm L/5000$
17			设计未要求起拱		$0 \sim L/2000$
18		*挂线板中 心水平距离	$A、B、C、D$		≤ 5.0
19		断面高度			± 10.0
20	钢管构 架 A 形 柱	*根开	法兰	± 5.0	
21			插入式	± 7.0	
22		*整体弯曲度 f		$\leq H/1500^\circ$, 且不大于 30	
23	钢管构 架、支 架	*柱底面到柱顶端与构 架梁连接处安装孔距离		≤ 15.0	
24		*支架高度 H		± 3.0	
25		柱身弯曲矢高 f		$\leq H/1500^\circ$, 且不应大于 5.0	
26		牛腿端孔到柱轴线距离 L		± 1.0	
27		*牛腿的翘曲或扭曲 Δ		1.0	
	*柱底面到牛腿支承面距离 L_1		± 2.0		
^a 标有“*”的项目为**主控尺寸**。 ^b L 为构件长度, mm。 ^c H 为组装段高度, mm。					

9 防腐

9.1 一般要求

9.1.1 特高压钢管塔及钢管构架的零件与构件宜采用热浸镀锌工艺进行防腐处理, 镀锌层应进行钝化处理。因构件结构、钢材材质或设施能力等原因导致热浸镀锌有困难时, 在征得设计和业主的同意后, 也可采用热喷涂等其他方法进行防腐处理。

9.1.2 制造方应编制防腐工艺作业指导书, 并按规定的工艺文件进行防腐作业。

9.1.3 热浸镀锌用锌锭质量等级应不低于GB/T 470 表列牌号Zn99.995, 其质量要求、试验方法、检验规则, 及标志、包装、运输和贮存应满足GB/T 470的规定。钢管塔/钢管构架的制造方应对其进行入厂

检验。

9.1.4 用于热浸镀锌的锌浴主要由熔融锌液构成。熔融锌中的杂质总含量(铁、锡除外)不应超过总质量的1.5%，所指杂质见GB/T 470中有关规定。

9.1.5 如果对热浸镀锌后的零件或构件进行切割、开孔、焊接等加工，则应对该零件或构件重新镀锌。

9.1.6 镀锌后应检验零件、构件的变形，其弯曲变形应不超过 $L/1500$ (L 为零件或构件长度，mm)，且不大于 5mm。否则，应通过机械方法进行冷矫正。

9.1.7 镀锌层厚度和附着量应满足设计或合同要求，当设计或合同要求不明确时，按大气环境腐蚀性等级(C1、C2、C3、C4、C5和CX，共6级)采用不同的镀锌层厚度和附着量，见表22。对C4及以上腐蚀区产品，在热浸镀锌前应进行工艺验证试验，合格后才能批量镀锌。

表22 不同腐蚀环境下镀锌层厚度和镀锌层附着量

大气环境 腐蚀性等级	工件厚度 mm	最小局部镀锌层厚度 μm	镀锌层最小平均值	
			厚度 μm	附着量 g/m^2
C1~C3	≥ 5	70	86	610
	< 5	55	65	460
C4~CX	< 5	65	75	532
	$5 \leq t \leq 10$	85	95	674
	> 10	100	120	850

9.1.8 对漏镀、局部锌层脱落及其他少量损坏部位，可采用含锌量大于90%的环氧富锌涂料修复，但同时满足下列要求：

- 修复厚度应比要求的镀锌层的最小厚度加厚 $30\mu\text{m}$ 以上；
- 每个修复漏镀面不应大于 10cm^2 ；
- 修复总面积不应大于构件或零件总表面积的0.3%；
- 修复后应重新检验合格。

9.2 防腐质量检验

9.2.1 镀锌层外观质量用目视方式检查，应符合下列规定：

- 镀锌层表面应连续完整，表面应平滑，无滴瘤和可造成伤害的锌刺、锐点；
- 镀锌层不应有过酸洗，应无起皮，无漏镀，无残留的溶剂渣，在影响镀锌构件耐腐蚀性能的部位不应有锌瘤和锌灰；
- 安装贴合面、安装螺栓孔内应无影响安装的积锌；
- 镀锌后的颜色呈灰色、暗灰色。同一塔材上存在颜色的不均匀和不一致，不宜作为镀锌外观质量缺陷。

9.2.2 镀锌层厚度用金属涂层测厚仪进行检测，检测前应使用标准厚度试片进行校正。检测要求按下列规定：

- 钢管构件在两端(离边缘距离不小于 100mm)各测4点，另在连板、法兰等不同厚度的零件上随机测10点，取18点的算术平均值作为该构件镀锌层厚度；
- 角钢件每面3处各1点，4面共12点，以算术平均值作为该构件镀锌层厚度；
- 钢板件每面6处各1点，2面共12点，以算术平均值作为该构件镀锌层厚度；
- 有争议时，按GB/T 2694规定的溶解称重试验方法测试镀锌层附着量作为仲裁试验法。

9.2.3 镀锌层厚度测定后，镀锌层附着量按下式计算：

$$P_A = \delta \times \rho \quad (1)$$

式中：

P_A ——镀锌层附着量， g/m^2 ；

δ ——镀锌层厚度， μm ；

ρ ——锌的密度，其值为 7.2g/cm^3 。

9.2.4 镀锌层应与基体结合牢固，在无外力作用下，没有剥落或起皮现象。镀锌层附着性采用落锤试验检测，经锤击试验，锌层不剥离、不凸起，具体要求见GB/T 2694-2018 附录B，落锤试验用锤头硬度应满足洛氏硬度HRC28~HRC32或维氏硬度HV280~HV310的要求。

9.2.5 镀锌层均匀性采用硫酸铜试验检测，要求硫酸铜浸蚀不少于4次，且不露铁，具体要求见GB/T 2694-2018 附录A。

9.2.6 若采用热喷涂防腐工艺，其技术要求应符合表23的规定。

表23 热喷涂防腐处理技术要求

项目名称	技术要求
锌层厚度	$\geq 100 \mu\text{m}$
表面清理	采用喷丸处理。喷丸后工件表面应干燥，无灰尘、油污、氧化皮、锈迹。喷丸后应立即进行喷涂处理，放置时间不应超过 2h
表面粗糙度	粗糙度应达到 $Rz40 \mu\text{m} \sim 80 \mu\text{m}$
涂层的封闭处理	部件热喷锌结束后的 6h 内应采取封闭处理
涂层外观	涂层表面均匀，不允许有起皮、鼓泡、大溶滴、裂纹、掉块及其他影响涂层使用的缺陷，接头出不允许有高出平面 0.2mm 的锌刺、滴瘤、结块

10 产品检验

10.1 检验类别及检验项目

10.1.1 钢管塔及钢管构架的产品检验分为出厂检验和第三方抽样监督检验。其中，出厂检验由制造方的质量检验部门按交检批对产品质量进行抽检；第三方抽样监督检验按合同约定执行，合同约定不明确时，可按本部分的要求对产品质量进行抽检，并依据附录 A 的规定对产品质量进行判定。

10.1.2 产品检验项目包括：

- a) 钢材及零件质量：包括钢材及零件的外观质量、外形尺寸；钢材及零件的材质等，包括钢板、角钢、钢管、法兰、紧固件的化学成分、力学性能或机械性能（紧固件）、无损检测（直缝焊管焊缝、锻造法兰）等；
- b) 构件质量：包括外观质量，构件的尺寸偏差，钢管塔按照塔身主材、接头、连接板、腹材分别进行抽检；钢管构架按照主材、腹材、连接板分别进行抽检；
- c) 焊缝质量：包括焊缝表面质量、焊缝外形尺寸及设计要求的一级、二级焊缝的内部质量；
- d) 试组装质量：包括零件、构件的就位率、螺栓孔同心度、主控尺寸等。
- e) 镀锌质量：包括锌层外观质量、厚度、附着性及均匀性等。

10.2 检验方法与要求

10.2.1 外观质量检验一般采用目视检验的方法进行，必要时应辅以 5 倍及以上放大镜检查或专用检测

工具，也可进行表面无损检验。

10.2.2 钢材外形尺寸检验方法如下：

- a) 在距离钢材边缘距离不小于 10mm 处测量，且测量点应均匀分布；
- b) 角钢肢宽用卡尺在长度方向上每边各测量 3 点，分别取其算术平均值；角钢厚度用卡尺或超声波测厚仪在每边各测量 3 点，分别取其算术平均值；
- c) 钢板厚度采用千分尺、卡尺或超声波测厚仪测量 3 点，取其算术平均值；
- d) 钢管直径使用测径卷尺在长度方向上测量 2 个截面，均应满足要求；钢管厚度采用卡尺或超声波测厚仪测量 3 点，取其算术平均值；
- e) 厚度测量有异议时，以千分尺的测量结果为准。

10.2.3 零件、构件的尺寸采用钢卷尺、钢直尺、角度尺、卡尺、直角尺、专用器具等进行检验。

10.2.4 钢材及零件材质检验要求如下：

- a) 制造方应在产品出厂前对零件、构件的材质标识进行复核，并对钢材质量证明书和制造方入厂检验报告（化学成分和力学性能）进行追踪核查；对直缝焊管焊缝、锻造法兰、紧固件的质量证明文件和塔厂的入厂复验报告进行追踪核查。
- b) 第三方抽样监督时，除 10.2.3a) 的内容外，还应依据钢材追溯结果，结合零件、构件的原始批次至少抽取 2 件进行化学成分和力学性能检验，抽检结果应全部合格。

10.2.5 焊缝外形尺寸采用焊缝检测尺进行检验；焊缝表面质量（需要时）采用磁粉或渗透方法检验；一级、二级焊缝内部质量检验要求如下：

- a) 制造方应在产品出厂前对一级、二级焊缝内部质量检测报告抽样复核，对返修焊缝的操作记录、复检报告进行复核；
- b) 焊缝内部质量第三方抽样监督时，除 10.2.5a) 的内容外，还应采用超声波检验方法，对一级、二级焊缝内部质量进行抽检，抽检结果应全部合格。

10.2.6 试组装检验方法应满足 8.4 的要求。

10.2.7 镀锌层厚度用金属涂层测厚仪检验，均匀性用硫酸铜试验检验，附着性用落锤试验检验。镀锌层检验方法应满足 9.2 的要求。

10.3 抽样方法及样本大小的确定

10.3.1 由同一塔型的钢管塔或钢管构架组成一个交检批，依据交检批进行抽样检验。

10.3.2 钢材质量、零件与构件质量、焊接件与焊缝质量按 GB/T 2828.1 的一般检验水平 II，加严检验一次抽样方案进行；试组装与镀锌层质量按 GB/T 2829 的判别水平 I 的一次抽样方案进行。

10.3.3 各检验项目的特性划分、质量水平与判定应满足附录 A 的要求。

10.3.4 抽取样本的方法要保证所得到的样本能代表本周期的实际技术水平，宜在本周期制造的单位产品数量超过一半之后进行。

10.4 不合格的处置

10.4.1 制造方抽检中发现不合格时，应按规定的抽样样本数加倍检验，若实际交检数量少于加倍数量，则应全检。同时，对不合格的样品按下列要求处理：

- a) 钢材、零件、构件外观质量不合格时，应对缺陷进行清理，清理处应平缓无棱角，并应保证其尺寸偏差满足要求；
- b) 若钢板、角钢、钢管厚度负偏差不能满足要求时，应记录，并查明原因，若确认该批次钢材厚度不满足要求，应对该批次钢材加工的全部构件进行追溯并隔离，不得出厂；
- c) 钢材、零件材质不合格时，在查明原因前，不得出厂；
- d) 零件、构件下料负偏差超过标准要求时，应予报废；制孔上偏差过大时，不允许补焊修理，

下偏差超标时，不允许切割扩孔；

e) 制弯裂纹、钢管开槽（长度、宽度）上偏差超标时，不允许补焊修理；

f) 焊缝外观缺陷应修磨处理，焊缝尺寸不足应补焊修理；

g) 镀锌层外观质量、锌层附着性、均匀性不合格时，应进行处理，锌层厚度不足时，应查明原因，并返镀处理。

10.4.2 第三方抽检监督检验时，依据抽检结果和判定数组要求，按照附录 A 的规定，对产品质量进行判定。

10.5 合格证

产品出厂前应由制造方在检查和验收合格的基础上签发产品质量合格证书。

11 包装、标记、贮存和运输

11.1 包装

11.1.1 包装之前，宜使用耐老化的材料对镀锌通气孔进行封堵。合同有特殊要求时，按其要求执行。

11.1.2 包装应牢固，保证产品在正常运输条件下不受损坏，避免构件之间、构件与包装物之间相互摩擦，损坏镀锌层。包装应有足够的强度能在短途搬运、货物储存和装、卸车中承受较大冲击而不散包，并保证在运输过程中包捆不松动。

11.1.3 钢管塔或钢管构架应单基包装，根据塔材编号、规格大小包装若干捆，并应满足以下要求：

a) 大规格管件可单独包装，小规格管件宜采用打包带捆扎形式，按段分别打捆包装，杆件中部有节点板时，两端应采取支垫措施，防止杆件变形；

b) 角钢件按捆包装，宜采用打包带捆扎形式，也可采用角钢框架、螺栓连接形式；

c) 连接件包装宜采用螺栓穿入的方式；

d) 包装物宜采用可降解、可回收等绿色材料，包装材料应做防腐处理，每捆重量不宜超过 3t。

11.1.4 钢管管体的突出部分，如法兰、节点板等，应采用有弹性包装物捆扎牢固。

11.1.5 对于松材线虫疫区铁塔的包装材料，如使用木制品，其使用和使用完之后的处理方式应满足国家及地方关于线虫疫区管理规定要求。

11.2 标记

11.2.1 钢管塔、钢管构架所有构件均需标记构件号，构件号以钢印作标识，标明“制造方代号-工程代号（有要求时）-塔型-零件号-材质代号”，标记应满足下列要求：

a) 标识的钢印应排列整齐，字形不应有缺陷，字体高度 8mm~18mm。材料厚度不大于 8mm 的钢材时，钢印深度为 0.3mm~0.6mm，材料厚度大于 8mm 时，钢印深度为 0.5mm~1.0mm。

b) 钢印附近的钢材表面不应产生明显的凹凸面缺陷，且边缘不应存在裂纹或缺口，不可因其他后续加工导致模糊、残缺、被覆盖，镀锌后应清晰可辨；

c) 钢印位置设置应避开制孔、铣刨、制弯和焊接等部位；

d) 材质代号包括强度等级代号和性能等级代号，具体要求见表 26；

e) 两端带法兰的钢管构件，构件号压在长方形钢板上，并焊接在构件安装方向上端的钢管内壁；

f) 一端法兰一端 C 型插板的钢管构件，构件号应以钢印压在 C 型插板上；一端法兰一端十字插板的钢管构件，构件号压在长方形钢板上，并焊接在法兰侧的钢管内壁；

g) 两端插板的钢管构件，构件号标记在其中一端的插板上；

h) 钢管塔应在主材法兰上标出安装方向，标记采用“△”钢印，指向钢管塔安装的向心方向。

11.2.2 工程合同要求采用二维码或 RFID 标记时，应满足相应的标记要求。

11.2.3 除满足客户合同要求外，还应在包装完成后的主杆体或包装捆的明显位置作标记，宜采用发货二维码的形式，标注工程名称、塔型（呼高）、包捆号、制造方、收货单位、到达目的地等，标记内容还应满足运输部门的规定。

表 26 材质代号标记方法

性能等级	标记方法			
	强度等级			
	Q235	Q355	Q420	Q460
B	无需标记	H	P	—
C	FC	HC	PC	TC
D	FD	HD	PD	TD

11.3 贮存

11.3.1 镀锌成品构件贮存场所，应选择无污染的环境，且地面平整坚实无积水的场区。

11.3.2 钢管塔或钢管构架构件应按单基存放，应有防止构件变形的措施。

11.4 运输

11.4.1 运输前后应注意装、卸方法，不能损坏包装或使产品变形、损坏。钢管塔或钢管构架各构件装车时合理分别码放，设计的支撑点应能防止构件在运输过程中出现变形。

11.4.2 应保证钢管塔或钢管构件在运输过程中具有可靠的稳定性，应避免构件之间或构件与车体之间在运输中出现构件损坏、锌层磨损或产品变形。

12 技术资料

12.1 特高压钢管塔及钢管构架加工后，制造方向用户提供原材料及产品质量证明书等技术资料。

12.2 提供的产品质量证明书应至少包括下列内容：

- a) 设计变更单、联系单；
- b) 质量缺陷处理记录；
- c) 主要原材料（钢板、角钢、钢管）的入厂复检报告；
- d) 焊接材料、关键零件（锻造法兰、紧固件等）的入厂复检报告；
- e) 主要原材料、零件第三方检验报告单（有要求时）；
- f) 焊缝无损检验报告；焊缝第三方检测报告（有要求时）；
- g) 试组装检验记录、验收单；
- h) 防腐处理及其检验报告；
- i) 产品抽样检验报告；
- j) 竣工图等（有要求时）。

12.3 产品出厂资料（随货同行资料）应包括：

- a) 产品合格证；
- b) 装车清单；
- c) 安装说明（如有）；
- d) 监造出厂见证单（有要求时）。

12.4 产品制造方归档（移交）资料应包括：

- a) 产品合格证；

T/CSEE 0044-20xx

- b) 供货明细表;
- c) 产品质量证明书;
- d) 材料代用清单;
- e) 产品监造证明 (有要求时);
- f) 竣工图 (有要求时);
- g) 要求的其他资料。

附录 A
(资料性)

特高压钢管塔及钢管构架监造及第三方抽样监督要求

A.1 概述

本附录规定了特高压钢管塔及钢管构架进行监造时的见证项目、见证要点及见证方式；规定了第三方抽样监督检验时对制造方产品质量的判定要求。

A.2 监造要求

特高压钢管塔及钢管构架监造项目、见证要点及见证方式见表 A.1。

表 A.1 监造项目、见证要点及见证方式

序号	监造项目	监造见证要点	见证方式 ^a			
			H	W	R	
1	能力及资质见证	1 人员资质 ^b （包括：焊接技术管理人员、焊工、焊机操作工，无损检测、化学分析、力学性能试验人员）		√	√	
		2 加工设备、检测设备及检定有效期 ^b		√	√	
		3 加工、堆放、试组装场地		√		
		4 制造方的质量管理体系证书			√	
		5 加工工艺文件，焊接工艺评定，热加工工艺试验，镀锌工艺验证试验（仅对 C4 腐蚀区用铁塔）			√	
		6 外协加工单位（镀锌）的评价文件、质量管控文件			√	
		7 有要求时，第三方检测机构的评价文件，第三方检测机构资质、委托检验协议、检测工艺文件、检测方案			√	
2	生产管控体系及合同履行计划	1 供货合同信息见证（数量、质量、工期）			√	
		2 生产管控体系（生产组织体系、质量管控体系、工艺文件体系）			√	
		3 加工、检验文件及标准	3.1 加工、检验执行标准的有效性			√
			3.2 特殊工艺评定文件（如焊接、热矫正）			√
			3.3 制造工艺流程、关键工序作业指导书（工艺卡）			√
			3.4 检测工艺文件			√
			3.5 实际工艺与工艺文件的一致性		√	√
		4 合同履行计划	4.1 质量保证计划			√
			4.2 检验验证计划			√
			4.3 生产进度计划 ^b			√
4.4 售后服务计划				√		
3	原材料进厂检验	1 原材料供应商、委托采购单位评价文件			√	
		2 原材料采购文件、质量合格证明文件（质量证明书、产品合格证等，有要求时的第三方检测文件、监造合格证明等）			√	
		3 原材料的进厂复检过程及检验报告（包括外观质量、尺寸检测、力学性能、化学成分、无损检测等）		√	√	
		4 原材料使用可追溯性（管理制度、相关记录）、抽查记录与实物的一致性		√	√	
		5 主要原材料/零部件的到货报验与使用报审	√			

表 A.1 (续)

序号	监造项目	监造见证要点		见证方式 ^a		
				H	W	R
4	设计图纸及放样	1. 制造图纸有效性				√
		2. 设计修改、放样修改与加工图一致性			√	√
		3. 零件图、样板、卡板的一致性；工艺孔设置			√	√
		4. 材料代用(清单及确认相关资料)				√
5	零件、构件的检验	1 主材、腹材	1.1 外观质量(材料外观、加工面外观质量)		√	
			1.2 几何尺寸(规格尺寸偏差；加工尺寸偏差)		√	
			1.3 制孔工艺(工艺选择、孔位偏差、孔形偏差)		√	
		2 连接板及加劲板	2.1 外观质量(材料外观、加工面外观质量)		√	
			2.2 几何尺寸(规格尺寸偏差；加工尺寸偏差)		√	
			2.3 制孔工艺(工艺选择、孔位偏差、孔形偏差)		√	
		3 焊接件	3.1 焊接作业指导书、焊接工艺实施		√	√
			3.2 焊接材料的使用(批次、质量证明书)		√	√
			3.3 焊件装配(尺寸、坡口、定位焊 ^o)		√	√
			3.4 焊缝外观(外观质量及焊缝外形尺寸)		√	
			3.5 焊缝内部质量(无损检测报告)		√	√
			3.6 焊接构件变形(变形偏差、防变形措施)		√	
			3.7 对接一级、二级焊缝的唯一性标识		√	
		4 弯曲件	4.1 制弯工艺(冷弯、热弯)及实施，热弯工艺(加热方式及温度)		√	
			4.2 火曲点位置及火曲角度检查		√	
			4.3 弯曲面质量及弯曲角度		√	
			4.4 弯曲件弯曲线附近孔位、孔形允许偏差		√	
5 角钢接头连接件	5.1 铲背或清根质量		√			
	5.2 几何尺寸		√			
6	对接一级环焊缝的第三方检测见证(要求时)	1 抽样方案				√
		2 环焊缝第三方检测工作实施(抽样样本分布、抽检数量)			√	
		3 第三方抽检记录、检测报告 ^d				√
		4 不合格处理及记录			√	√
		5 对焊缝第三方检测检验结果的复核见证(要求时)。			√	√

表 A.1 (续)

序号	监造项目	监造见证要点		见证方式 ^a		
				H	W	R
7	试组装	1 钢管塔 [°]	1.1 局部试组装:批量加工时关键节点的构件连接		√	
			1.2 试组装:试组装方案、试组装过程、试组装检验(就位率、孔同心度、主控尺寸、塔材安装贴合面间隙等)	√		
		2 钢管构架	2.1 组装单元:就位率、孔同心度、主控尺寸、构件安装贴合面间隙、构架梁预拱、结构面扭曲变形 2.2 连接构件之间装配接口尺寸及安装贴合面质量		√	
8	镀锌	1 表面质量(锌灰、锌渣、毛刺、滴瘤、积锌、漏镀、过酸洗、锌层起皮脱落、划伤等)			√	
		2 锌层厚度			√	√
		3 附着性试验			√	
		4 均匀性试验			√	
9	产品检验	1 钢材质量(外观质量、外形尺寸、钢材材质)			√	√
		2 零件及构件质量(外观质量、尺寸偏差)			√	√
		3 焊缝质量(外观质量、表面质量、焊缝尺寸,一、二级焊缝无损检测)			√	√
		4 试组装质量(见第7项)			√	√
		5 镀锌质量(见第8项)			√	√
10	包装及出厂检验	1 包装方案,包装外观、防护、标识及装车情况			√	√
		2 抽包检查(数量核对、外观质量抽查)			√	
		3 出厂技术资料(确认合格后出具《出厂见证单》)				√
11	不合格品控制	生产检测过程中发现的不合格品、发现的重大质量问题,出具生产问题整改通知单,对不合格品处理结果进行跟踪			√	
		重大质量问题未得到有效处理和控制在,要求生产厂家停工整顿		√		

^a 见证方式中, H 点称为停工待检点(hold point),指重要工序节点、隐蔽工程、关键的试验验收点或不可重复试验验收点。停工待检项目应有用户和/或监造工程师参加进行监督见证,合格签字后方可转入下道工序。“√”表示该见证方式适用。

见证方式中, W 点称为现场见证点(witness point),指在加工现场对产品制造过程中的某些工序进行见证检查的作业点。现场见证项目应有监造工程师在场对制造方的加工、试验、检验等过程进行现场旁站见证,对符合要求的项目予以签认。

见证方式中, R 点称为文件见证点(record point),指监造工程师查阅制造方提供的设备原材料、零件、构件及其加工过程中的检验、试验记录进行见证的作业点。文件见证项目由监造工程师通过对文件的审核,对符合要求的资料予以签认。

b 现场见证过程应实施动态见证。
c 应对定位焊人员资格进行见证。
d 应对焊缝第三方检测单位人员、检测设备进行动态见证。
e 有验收要求时,应有用户和相关方参与。

A.3 第三方抽样监督检验要求

A.3.1 检验项目及质量特性划分

产品检验项目按质量特性的重要程度分为 A 类和 B 类，检验项目及质量特性划分见表 A.2。

表 A.2 检验项目及质量特性划分

检验项目名称			分类 ^a		合格标准 %		
			A 类	B 类	单项实测点 合格率	项合格率	项次合格率
构件质量	主材	角钢	-	√	-	-	≥95
		钢管结构（含横担）	-	√	≥90	-	≥90
	接头	角钢、连接板	-	√	-	-	≥95
		钢管结构	-	√	≥90	-	≥90
	连接板		-	√	-	-	≥90
	腹材	角钢	-	√	-	-	≥85
		钢管结构	-	√	≥85	-	≥85
	外观质量		-	√	-	-	-
外形尺寸		-	√	-	-	-	
钢材及零件质量	外观质量		-	√	-	-	-
	外形尺寸		-	√	-	-	-
	钢材与零件材质		√	-	-	-	-
焊缝质量	焊缝外观 ^b		-	√	≥95	-	100
	焊缝外形尺寸		-	√	≥95	-	100
	一、二级焊缝内部质量		√	-	-	-	-
试组装质量	螺栓孔同心度		-	√	≥99		
	构件就位率		-	√	100		
	主要控制尺寸 ^c		√	-	-		
	其他组装项目		-	√	允许两项不合格		
镀锌质量	锌层外观		-	√	-		
	锌层厚度		-	√	-		
	锌层附着性		√	-	-		
	锌层均匀性		√	-	-		
^a “√”表示相应项目的质量特性分类。 ^b 焊缝外观质量依据不同焊缝等级划分，不允许出现的缺陷项目为 A 类，其余为 B 类。 ^c 主要控尺寸中，钢管塔垂直度为 A 类，其余为 B 类。							

A.3.2 质量水平

B 类检验项目质量水平要求见表 A.3。

表 A.3 B 类检验项目质量水平

检验项目	钢材质量		零件、构件尺寸				焊缝质量		试组装质量		镀锌层质量	
	外观	外形尺寸	主材	接头	连板	腹材	外观	外形尺寸	孔同心度	就位率	外观	厚度
GB/T 2828.1 接收质量限 AQL	0.40		4.0				0.65		-	-	-	-
GB/T 2829 不合格质量水平 RQL	-	-	-	-	-	-	-	-	10			

A.3.3 零件/构件项次规定及合格率的计算方法

A.3.3.1 零件/构件项次规定见表 A.4，焊接件项次规定见表 A.5。

表 A.4 零件/构件项次规定

类型	检验项目										
	下料	切断面垂直度	端距	挠曲 ^a	端部垂直度	制孔	制弯 ^b	清根铲背	切角切肢	钢管开槽	标识
角钢 (件)	1	2	2	1	2	以孔 计数	以制弯处 计	以处计数	以头 计数	-	1
钢板 (件)	2	以边计数	4	1	-			-	-		-
钢管	1	2	-	1	2	-	1	-	-	以钢 管数	1
法兰	2	1	以孔 计数	1	-	以孔 计数	-	-	-	-	1

^a 角钢或钢管为挠曲，钢板或法兰为平面度。
^b 含压扁、开角、合角，其数量以制弯、压扁、开角、合角处的数量计算。

表 A.5 焊接件项次规定

序号	检验项目	规定项次
1	法兰面对轴线倾斜	以法兰数计
2	连接板位移或倾斜	以板数计
3	插板焊接的构件	以插板数计
4	对接接头	以接头数量计
5	直线度	1
6	构件长度	1
7	相邻（或不相邻）两组连接板间距	以板数计
8	焊缝	以焊缝长度每 200mm 为一个项次，不足 200mm 记为一个项次

表 A.5 (续)

序号	检验项目		规定项次	
9	相贯连接	主管与支管之间角度	以支管数计	
		主管与支管法兰距离		
		主管纵中心线方向上支管法兰距离		
				2
				1
			支管偏移	以支管数计
			支管长度	以支管数计
10	腹管插板中心偏移		以插板数计	
11	U形板	装配偏移	1	
		倾角	以开口数计	

A.3.3.2 零件项(次)合格率计算公式为:

$$XL = \Sigma hS / \Sigma jS \times 100\% \quad (A.1)$$

式中:

XL——零件项(次)合格率, %;

ΣhS ——总合格项(次)数;

ΣjS ——总检验项(次)数。

A.3.3.3 构件项(次)合格率计算公式为:

$$HL = (\Sigma hS + \Sigma hdS) / (\Sigma jS + \Sigma dS) \times 100\% \quad (A.2)$$

式中:

HL——构件项(次)合格率, %;

ΣhS ——构件总合格项(次)数;

ΣjS ——构件总检验项(次)数;

ΣhdS ——总合格焊道数;

ΣdS ——总检验焊道项(次)数。

A.3.3.4 试组装就位率计算公式为:

$$JL = \Sigma hjS / \Sigma zjS \times 100\% \quad (A.3)$$

式中:

JL——试组装就位率, %;

ΣhjS ——总合格件数;

ΣzjS ——总试组装件数。

A.3.3.5 螺栓孔同心度计算公式为:

$$TL = \Sigma hkS / \Sigma zkS \times 100\% \quad (A.4)$$

式中:

TL——螺栓孔同心度, %;

ΣhkS ——总的合格孔数;

$\Sigma z_k S$ ——总的试装孔数。

A.3.4 判定原则

A.3.4.1 零件/构件判定

A.3.4.1.1 所有 A 类项目应全部合格；B 类项目实测点合格率、项（次）合格率根据检验项目满足表 A.2 的要求，则判定该检验项合格。

A.3.4.1.2 当受检零件/构件出现以下情况之一时，该零件/构件判定为不合格：

- 实测点合格率、项（次）合格率低于规定值（见表 A.2）；
- 钢材质量不合格或与设计要求不符合；
- 接头处孔向相反；50%及以上孔准距、孔位超标；
- 过酸洗严重，接头孔被酸腐蚀超标；
- 加工工艺与本文件或设计要求不符合；
- 由于放样错误造成零件、构件尺寸超标；
- 控制尺寸与图纸不符所涉及的相关件；
- 焊缝外观有不允许的缺陷，或焊缝内部质量不满足要求。

A.3.4.2 综合判定

A 类项有一项不合格，则产品判定为不合格；B 类项有一项大于或等于不合格判定数（ Re ），则产品判定为不合格。

附 录 B
(规范性)
特高压钢管塔用直缝焊管技术条件

B.1 概述

本附录规定了特高压钢管塔用直缝焊管在牌号、规格、材料、制造、检验等方面的要求。钢管构架用直缝焊管可参照执行。

B.2 牌号与规格

B.2.1 输电线路钢管塔用直缝焊管的牌号包括 Q235、Q355、Q420、Q460 级钢。

B.2.2 各牌号直缝焊管的常用规格见表 B.1~表 B.4。

表 B.1 Q235 级直缝焊管常用规格

单位: mm

序号	管径	壁 厚 ^a							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	76								
2	89								
3	102								
4	114								
5	127								
6	140								
7	159								
8	168								
9	180								
10	194								
11	203								
12	219								
13	245								
14	273								
15	299								
16	325								
17	356								
18	377								
19	406								
20	426								
21	457								
22	480								

注：涂色部分为适用的直缝焊管厚度。

^a 厚度 3mm 的直缝焊管不推荐使用。

表 B.2 Q355 级直缝焊管常用规格

单位: mm

序号	管径	壁 厚																			
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1	76	■																			
2	89	■																			
3	102	■																			
4	114	■																			
5	127	■																			
6	140	■																			
7	159	■	■																		
8	168	■	■																		
9	180		■	■																	
10	194		■	■																	
11	203		■	■																	
12	219		■	■																	
13	245		■	■																	
14	273		■	■																	
15	299			■	■																
16	325			■	■																
17	356				■	■															
18	377				■	■															
19	406					■	■														
20	426					■	■														
21	457						■	■													
22	480						■	■													
23	508							■	■												
24	529							■	■												
25	559							■	■												
26	584								■	■											
27	610								■	■											
28	630									■	■										
29	660										■	■									
30	711											■	■								
31	762												■	■							
32	813													■	■						
33	864														■	■					
34	914															■	■				
35	965																■	■	■	■	

注：涂色部分为适用的直缝焊管厚度。

表 B.3 Q420 级直缝焊管常用规格

单位: mm

序号	管径	壁 厚																							
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
1	219	■	■																						
2	245		■	■																					
3	273		■	■																					
4	299		■	■																					
5	325			■	■																				
6	356				■	■																			
7	377				■	■																			
8	406					■	■																		
9	426						■	■																	
10	457							■	■																
11	480								■	■															
12	508									■	■														
13	529										■	■													
14	559											■	■												
15	584												■	■											
16	610													■	■										
17	630														■	■									
18	660															■	■								
19	711																■	■							
20	762																	■	■						
21	813																		■	■					
22	864																			■	■				
23	914																				■	■			
24	965																					■			

注：涂色部分为适用的直缝焊管厚度。

表 B.4 Q460 级直缝焊管常用规格

单位: mm

序号	管径	壁 厚																							
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
1	273	■	■																						
2	299		■	■																					
3	325			■	■																				
4	356				■	■																			
5	377				■	■																			
6	406				■	■																			
7	426					■	■																		
8	457					■	■																		
9	480						■	■																	
10	508							■	■																
11	529							■	■																
12	559								■	■															
13	584								■	■															
14	610									■	■														
15	630										■	■													
16	660											■	■												
17	711												■	■											
18	762													■	■										
19	813														■	■	■								
20	864															■	■								
21	914																■	■							
22	965																	■	■	■	■				

注：涂色部分为适用的直缝焊管厚度。

B.3 技术要求

B.3.1 焊管用钢的质量与检验要求

B.3.1.1 一般要求

B.3.1.1.1 直缝焊管用钢为钢板或钢带，Q235 的化学成分应满足 GB/T 700 的要求；Q355、Q420、Q460 钢的 Mn 含量应不低于 1.0%，其余元素含量应满足 GB/T 1591 的要求，Q420、Q460 级钢要求加入一种或多种细化晶粒的元素，当钢中单独或组合加入 V、Nb、Ti 时，其含量应满足 GB/T 1591 的要求。

T/CSEE 0044-20xx

B.3.1.1.2 直缝焊管用钢板或钢带应采用电炉或转炉冶炼，Q420、Q460 级钢应采用炉外精炼工艺。Q355、Q420 级直缝焊管应采用热轧状态的钢板或钢带；Q460 级直缝焊管宜采用热轧状态的钢板或钢带。

B.3.1.1.3 直缝焊管用钢板、钢带的尺寸偏差、表面质量、性能要求除应满足 GB/T 709、GB/T 3524、GB/T 3274 的要求外，厚度偏差还应满足钢管成型后的厚度偏差要求。

B.3.1.1.4 直缝焊管用钢板、钢带应具有钢厂的质量证明书，制造钢板、钢带的标准、供货状态、合金元素及其含量均应在质量证明书中标明。直缝焊管的制造方应按照质量证明书的内容进行入厂检验，经确认合格后，方可使用。

B.3.1.2 焊接修补

直缝焊管用钢板或钢带表面不允许进行焊接修补。

B.3.1.3 超声波检测

制造直缝焊管所用的钢板或钢带厚度大于或等于 6mm 时，板边 50mm 范围内按照 GB/T 2970 或 GB/T 28297 的要求进行 100%超声波检测，满足 I 级钢板的质量要求。对钢板/钢带中间部位检测区域的分层缺欠，宜按照 SY/T 6423.3 采用验收等级 U1 进行检测。

B.3.2 制造工艺

B.3.2.1 一般要求

B.3.2.1.1 外径小于或等于 426mm 的直缝焊管宜采用高频焊工艺生产；外径大于或等于 508mm 的直缝焊管宜采用双面电弧焊（一般为埋弧焊或 CO₂ 气体保护焊或其组合焊）工艺生产；外径为 426mm~508mm 的直缝焊管可以采用高频焊工艺生产，也可采用电弧焊工艺生产，由供需双方协商确定。

B.3.2.1.2 首次生产前，直缝焊管制造方应按本文件内容进行焊接工艺试验，并按本文件要求的项目进行产品质量检验，合格后方可投入生产。

B.3.2.2 下料

B.3.2.2.1 下料宽度与公差应满足钢管成型后的管径偏差要求。

B.3.2.2.2 钢板或钢带的下料宜采用机械切割。采用剪切方法下料时，各种材质允许的最低剪切温度见表 B.5 规定；厚度超过 10mm 时，剪切边应进行铣边或刨边处理。采用火焰切割或等离子切割时，在成型前应将过热区清除。

B.3.2.2.3 板边加工后，要求板边光滑、洁净、无裂纹，宽度一致，并满足焊接及管径尺寸精度要求。

表 B.5 允许剪切的最低温度

钢材牌号	允许的最低剪切温度 ℃
Q235	-5
Q355	0
Q420	5
Q460	5

B.3.2.3 成型、焊接和矫直

- B.3.2.3.1 成型前，直缝焊管制造方应对钢板或钢带表面进行检查，当表面有锈蚀、麻点、划痕时，表面修磨后的实际厚度应满足钢管厚度负偏差的规定要求。
- B.3.2.3.2 制管过程中，钢板或钢带应变形均匀，板边预弯后其边缘应圆滑过渡。
- B.3.2.3.3 直缝焊管焊接后应清理毛刺、飞溅物。
- B.3.2.3.4 直缝电弧焊管焊后应进行机械整圆或机械扩径处理，Q420 级、Q460 级直缝电弧焊管焊后应进行机械扩径。
- B.3.2.3.5 外径大于 219mm 的 Q355 级直缝高频焊管焊后宜对焊缝区域进行热处理。Q420、Q460 级直缝高频焊管焊后应对焊缝区域进行正火热处理。当对焊缝区域采用在线热处理时，生产线应有足够长的空冷段。
- B.3.2.3.6 必要时，钢管焊接完成后应进行矫直。

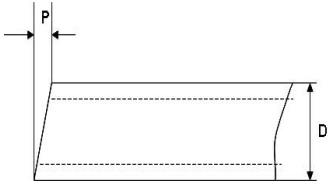
B.3.2.4 切断

直缝焊管切断宜采用机械切割，当采用火焰或等离子切割时，应将端部过热区清除。

B.3.2.5 修端

- B.3.2.5.1 直缝焊管一般采用平端供货，如有坡口加工要求时，应在合同中明确。
- B.3.2.5.2 管端不应有毛刺，端面切斜应符合表 B.6 的要求。

表 B.6 管端切斜允许偏差

序号	钢管外径 D mm	允许偏差 P mm	示意图
1	$D \leq 219$	1.0	
2	$219 < D \leq 426$	1.5	
3	$426 < D \leq 508$	2.0	
4	$D > 508$	2.5	

B.3.2.6 焊接缺陷的修补

- B.3.2.6.1 高频焊管的焊缝缺陷不允许补焊修补。
- B.3.2.6.2 电弧焊管的焊缝缺陷允许修补，但应满足下列条件：
- 每根焊管修补不多于 3 处，总的补焊长度不得超过管长的 10%。在距离管端 200mm 范围内不允许补焊。必要时，补焊前应进行预热。补焊焊缝应修磨，修磨后焊缝高度应与原焊缝一致。同一位置修补次数不得超过 2 次。
 - 修补可以采用焊条电弧焊或 CO₂ 气体保护焊方法进行。修补后按 GB/T 11345 进行超声波检测，满足 GB/T 29712 中验收等级 3 的要求。

B.3.2.7 钢管环向对接焊

不允许对长度不足的直缝焊管进行环向对接焊。

B.3.3 尺寸、外形、重量及允许偏差

B.3.3.1 外径偏差

- a) 焊管外径允许偏差为 $\pm 0.5\%D$ (D 为公称外径，单位为 mm)，但管端 200mm 范围内外径最大

T/CSEE 0044-20xx

允许偏差不应超过 $\pm 1.0\text{mm}$;

- b) 距管端 200mm 范围内钢管的不圆度 (即同一横截面上最大实测外径与最小实测外径的差值) 不应大于 $0.6\%D$, 其余部位不圆度不应大于 $1.2\%D$ 。

B.3.3.2 厚度偏差

- a) 厚度小于或等于 6mm 的直缝焊管厚度允许偏差为 $\pm 0.3\text{mm}$;
- b) 厚度大于 6mm 的直缝焊管厚度允许偏差为 $-0.3\text{mm}\sim+1.0\text{mm}$ 。

B.3.3.3 弯曲度

- a) 当直缝焊管壁厚小于或等于 15mm 时, 每米弯曲度不应大于 1.5mm; 壁厚大于 15mm 时, 每米弯曲度不应大于 2.0mm;
- b) 直缝焊管全长弯曲度不大于 $L/1500$ (L 为钢管长度, mm), 且不大于 5mm。

B.3.3.4 长度偏差

钢管的长度允许偏差为 0~50mm, 如有特殊要求供需双方可协商确定, 并在合同中注明。

B.3.3.5 质量及允许偏差

- a) 实际质量与理论质量的允许偏差为 $-6\%\sim+10\%$;
- b) 钢管按理论质量交货, 每米理论质量按下述公式计算 (钢的密度为 $7.85\times 10^{-6}\text{kg/mm}^3$), 修约到最邻近的 0.01kg/m。

$$W=0.024\ 661\ 5(D-t)t \quad (\text{B.1})$$

式中:

W ——钢管的每米理论质量, kg/m;

D ——钢管的外径, mm;

t ——钢管的壁厚, mm。

B.4 产品质量检验

B.4.1 组批

B.4.1.1 同一牌号、相同炉号的钢板或钢带, 采用同一工艺制造的同一规格的直缝焊管组成一个检验批, 每批钢管的数量不应超过如下规定:

- a) $D\leq 168\text{mm}$, 200 根;
- b) $D> 168\text{mm}\sim 325\text{mm}$, 100 根;
- c) $D> 325\text{mm}$, 50 根。

B.4.1.2 直缝焊管的制造方若采用钢板/钢带的炉批号作为钢管的批号时, 应在原批号后加后缀, 确保组批号的唯一性。

B.4.2 检验项目

直缝焊管的检验项目应符合表 B.7 的规定。

B.4.3 检验要求

B.4.3.1 检验和验收

直缝焊管制造方的检验由其质量检验部门进行，钢管塔/钢管构架制造方应按检验批进行入厂检验和验收。

表 B.7 检验项目、检验要求和取样数量

序号	检验项目	检验要求	取样数量、位置	
			直缝焊管制造方	钢管塔或钢管构架制造方
1	表面质量	见 B.4.3.2	100%	
2	尺寸、外形	见 B.4.3.3	100%	不小于 20%
3	化学成分	见 B.4.3.4	每炉 1 个	
4	拉伸试验	见 B.4.3.5	每批 4 个（管体 2 个、焊接接头 2 个）	每批 2 个（管体 1 个、焊接接头 1 个）
5	冲击试验	见 B.4.3.5	每批 9 个（管体 3 个、焊接接头中焊缝 3 个、热影响区 3 个 ^a ）	
6	压扁试验	见 B.4.3.6	每批 1 个	
7	弯曲试验	见 B.4.3.6	每批 2 个（管体 1 个，焊接接头 1 个，面弯）	
8	焊缝无损检测	见 B.4.3.7	100%	抽检 10%，两端必检 ^b
^a 埋弧焊管需进行热影响区的冲击试验，高频焊管无需进行热影响区的冲击试验。 ^b 钢管塔/钢管构架制造方应对每根钢管按不低于 10%焊缝长度的比例进行抽检，钢管两端 300mm 范围必检。				

B.4.3.2 表面质量

B.4.3.2.1 直缝焊管的毛刺高度或焊缝余高：

- a) 高频焊管：内外毛刺均应清除，内毛刺清除不应刮伤母材，其中外毛刺剩余高度不应大于 0.5mm，内毛刺剩余高度不应大于 1.5mm。清除毛刺后刮槽深度不应大于 0.2mm；
- b) 电弧焊管：当钢管壁厚不大于 15mm 时，超过钢管原始表面轮廓的焊缝余高不应大于 2.0mm；当钢管壁厚大于 15mm 时，不应大于 2.5mm。管端部 200mm 范围的内外焊缝余高不应大于 0.5mm。焊缝余高不应低于母材。

B.4.3.2.2 表面缺陷：

- a) 直缝焊管的内外表面应光滑，不允许有裂缝、结疤、折叠、分层、重皮等缺陷存在，允许有深度不大于壁厚允许负偏差 1/2 的划痕、刮伤，引起应力集中的尖锐划伤应磨平，表面修磨后实际厚度应满足厚度负偏差的要求。直缝焊管管体表面缺陷不得进行焊接修补。
- b) 直缝焊管焊缝处不得有开焊或裂纹、搭焊及烧穿。
- c) 电弧焊管焊缝两侧的径向错边不应大于 0.15 倍的壁厚，且不大于 1.2mm；高频焊管径向错边不应大于 0.5mm。不允许用焊接方法对错边超标处进行修补；
- d) 电弧焊焊缝表面不得有气孔、夹渣、裂纹和未焊满缺陷，咬边深度不应大于 0.5mm、连续长度不应大于 150mm，累计长度不得超过管长的 15%。

B.4.3.2.3 直缝焊管的表面质量应逐根进行检查和测量。

B.4.3.3 外形尺寸

B.4.3.3.1 外径检验采用测径卷尺，用周长法测量，任一处外径均应满足要求。

B.4.3.3.2 厚度应在管体上采用测厚仪或壁厚千分尺测量，任一测点厚度均应满足要求，测量数据不一致时，以壁厚千分尺测量为准。

T/CSEE 0044-20xx

B. 4. 3. 3. 3 直缝焊管制造方应对外形尺寸进行逐支测量，钢管塔/钢管构架制造方应对外形尺寸按不小于 20%的频次进行抽检。

B. 4. 3. 4 化学成分

B. 4. 3. 4. 1 直缝焊管的化学成分可以采用化学分析方法或直读光谱分析方法进行检测，试验方法应分别符合 GB/T 223、GB/T 4336 的要求。

B. 4. 3. 4. 2 直缝焊管的化学成分应符合 B.3.1.1 的要求，其他元素含量满足相应标准要求。Q355 级、Q420 级、Q460 级钢的碳当量应满足 GB/T 1591 的规定。

B. 4. 3. 5 力学性能

B. 4. 3. 5. 1 直缝焊管应取样进行拉伸试验，管体及焊接接头的拉伸试验应分别按照 GB/T 228.1、GB/T 2651 的要求进行，结果满足表 B.8 的规定。

表 B. 8 直缝焊管力学性能

牌号	抗拉强度 ^a R_m MPa	以下公称厚度下的上屈服强度 ^b R_{eH} MPa/ \geq		断后伸长率 ^b A %/ \geq		冲击吸收能量 ^c KV_2 J/ \geq
		$t \leq 16\text{mm}$	$16\text{mm} < t \leq 40\text{mm}$	$D \leq 168\text{mm}$	$D > 168\text{mm}$	
Q235B	375~500	235	225	15	20	27
Q355B	470~630	355	345	13	22	34
Q355C	470~630	355	345	13	22	34
Q420B	520~680	420	410	20		34
Q420C	520~680	420	410	20		34
Q460C	550~720	460	450	18		34

注： t 为焊管厚度； D 为焊管外径。

^a 拉伸试验时，焊接接头的抗拉强度不应低于母材规定值的下限。

^b 外径不大于 219mm 的焊管，可不测定屈服强度。焊接接头拉伸试验可不测定屈服强度、断后伸长率。当屈服不明显时，可测量 $R_{p0.2}$ 代替屈服强度。

^c 冲击吸收能量为 3 个试样的平均值，允许一个试验值低于平均值，但不得低于规定值的 70%。冲击试验温度：B 级钢为 20℃，C 级钢为 0℃。焊管厚度小于或等于 10mm 时，可采用小冲击试样，应在报告中注明，其中，10mm×7.5mm×55mm 试样、10mm×5mm×55mm 试样的夏比 V 型缺口冲击吸收能量，分别为规定值的 75%、50%。焊管厚度小于或等于 6mm 且外径小于或等于 219mm 时，不要求进行冲击试验。

B. 4. 3. 5. 2 直缝焊管应取样进行冲击试验，管体、焊接接头的冲击试验应分别按照 GB/T 229、GB/T 2650 的要求进行，管体、焊缝、热影响区的冲击吸收能量应满足表 B.8 的规定。

B. 4. 3. 6 工艺性能

B. 4. 3. 6. 1 高频焊管应进行压扁试验。压扁试验时焊缝与施力方向成 90°，见图 B.1。当力作用下两压板之间的距离

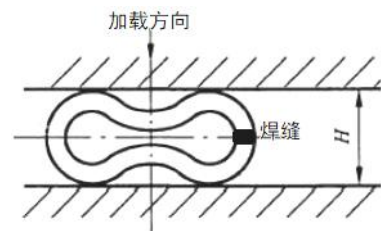


图 B. 1 高频焊管压扁试样焊缝位置

(H) 为钢管外径的 2/3 时，焊缝处不应出现裂纹；当力作用下两压板之间的距离 (H) 为钢管外径的 1/3 时，焊缝以外的其他部位不应出现裂纹。压扁试验其他要求应符合 GB/T 246 的规定。

B.4.3.6.2 电弧焊管应进行弯曲试验。管体、焊接接头的弯曲试验应分别按照 GB/T 232、GB/T 2653 的规定方法进行。试样应在弯轴下弯曲至 180°左右（弯轴直径要求见表 B.9），试样不应出现以下任何一种情况：

- a) 完全断裂；
 - b) 在焊缝金属上出现长度大于 3mm 的裂纹或裂缝；
 - c) 在母材、热影响区或熔合线上出现长度大于 3mm 且深度大于规定壁厚 12.5% 的裂纹或裂缝。
- 如果试样的断裂或裂纹是由于缺陷或缺欠引起的，该试样可以作废，另取新试样代替。

表 B.9 电弧焊管弯曲试验弯轴直径

材质	弯轴直径 mm		焊接接头
	管体		
Q235 级	t		$8t$
Q355 级及以上	$t \leq 16$	$2t$	$8t$
	$16 < t \leq 40$	$3t$	

注：表中 t 为焊管厚度，mm。

B.4.3.7 焊缝的无损检测

B.4.3.7.1 直缝焊管的纵向焊缝应进行全长无损检测。检测方法可以使用射线检测或超声波检测中的任意一种，对厚度不大于 6mm 的高频焊管也可采用涡流检测。

B.4.3.7.2 采用数字射线方法检测时，应满足 SY/T 6423.5 中图像质量级别为 B 级的规定；数字射线检查存在盲区，则至少距管端 300mm 范围内进行手工射线或超声波检测。手工射线检测按 GB/T 3323.1 的 B 级进行检验，满足 GB/T 37910.1 中验收等级的 2 级要求。手工超声波检测时，焊管厚度若大于 8mm，应按照 GB/T 11345 的 B 级进行检验，满足 GB/T 29712 中验收等级的 3 级要求；若焊管厚度小于或等于 8mm，宜按附录 G、H 进行检验和评定。

B.4.3.7.3 采用超声检测时，应符合 SY/T 6423.2 的规定，并按 U3 等级验收。自动超声检查存在盲区，则至少在距管端部 300mm 范围内进行 100% 手工超声波检测；若自动超声波检查出的缺陷信号大于验收界限，则可定为不合格，或再用手工方法进行超声波检测复查。

B.4.3.7.4 涡流检测应符合 GB/T 7735 中验收等级 A 的规定，若涡流检测有缺陷时或对涡流检测结果有怀疑时，应采用手工超声波方法进行复查。

B.4.3.7.5 超声检测或数字射线检测的校验频次应分别满足 SY/T6423.2、SY/T6423.3、SY/T6423.5 的规定。

B.4.4 试样要求

B.4.4.1 管体、焊接接头的拉伸、弯曲、冲击试验用试样的取样位置见图 B.2。

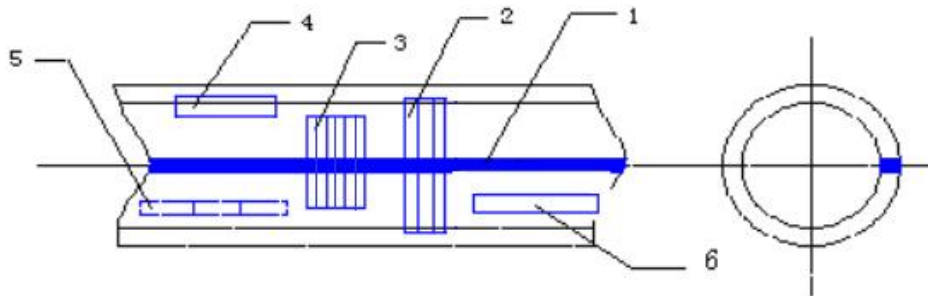
B.4.4.2 管体的拉伸、弯曲试样应在钢管上平行于焊缝截取。拉伸、弯曲试样可使用全壁厚弧形截面试样，也可加工成圆柱状标准拉伸试样。试样加工要求应分别满足 GB/T228.1、GB/T232 的要求。

B.4.4.3 焊接接头拉伸、弯曲试样的截取位置与焊缝垂直，焊缝位于试样中心，冷压平后做拉伸、弯曲试验。两面的焊缝余高应去除。试样的其它制作要求应分别满足 GB/T2651、GB/T2653 的要求。

B.4.4.4 管体的冲击试样应在钢管上平行于焊缝方向截取，焊接接头冲击试样的截取位置与焊缝垂直。V 型缺口面应垂直于焊缝表面。管体、焊接接头冲击试样加工要求应分别满足 GB/T 229、GB/T 2650 的规定，采用 V 型缺口。冲击试样的厚度应加工成 5mm、7.5mm、10mm 三者中的最大可能尺寸，并在

报告中注明。

B.4.4.5 压扁试验的试样，应从焊管端部切取长度为 50mm~100mm 的钢管作为试样，试样两端偏斜应符合表 B.6 要求。



说明：

- 1—焊缝；
- 2—焊接接头拉伸、弯曲试样；
- 3—焊接接头、热影响区冲击试样；
- 4—管体拉伸试样；
- 5—管体冲击试样；
- 6—管体弯曲试样。

图 B.2 拉伸、弯曲、冲击试样取样位置

B.4.5 判定规则

B.4.5.1 焊管尺寸、表面质量、无损检测不合格时，该根焊管不合格。

B.4.5.2 焊管的化学成分复验确认不合格时，该炉号钢板/钢带制成的直缝焊管均为不合格。

B.4.5.3 焊管的拉伸试验，或弯曲试验、压扁试验不符合规定时，应将该支焊管判废并进行复验。复验时，应从该批剩余焊管中任取 2 支，分别取 1 组试样进行相应项目的检验，若两组试样试验结果均符合表 B.8 规定，则该批焊管合格；若两组试样试验结果有一个不符合表 B.8 规定，则该批焊管不合格。

B.4.5.4 焊管的夏比（V 型缺口）冲击试验结果不符合规定时，在同一取样产品上再取一组试样进行复验，前后两组试样的平均值不得低于表 B.8 规定值，允许其中两个试样低于规定值，但低于规定值的 70% 的试样只允许一个。若复验结果仍不合格，则该批焊管不合格。

B.5 产品的交付

B.5.1 交付状态

B.5.1.1 高频焊管以焊态或焊缝区域热处理状态交货，电弧焊管以焊态交货。所有直缝焊管均以不涂保护层方式交货。

B.5.1.2 如有特殊要求由供需双方协商确定。

B.5.2 交付长度

B.5.2.1 直缝焊管一般按定尺交货，定尺长度 6000mm~12000mm，定尺间隔 200mm。

B.5.2.2 经供需双方协商，可以供应其它长度，但应在合同中注明。

B.5.3 包装、标记及质量证明书

B.5.3.1 对于外径不大于 168mm 的直缝焊管应按同材质同规格同批次打包。

B.5.3.2 经过检验合格的直缝焊管，应在焊管的两端涂色标识其牌号，不同牌号直缝焊管颜色标记规定见表 B.10，表中未列的牌号，标识颜色由供需双方协商确定。

表 B.10 直缝焊管涂色标识颜色规定

牌号	Q235B	Q355B	Q355C	Q420B	Q420C	Q460C
颜色	红色	白色	绿色	黄色	蓝色	黑色

B.5.3.3 每支直缝焊管应有唯一性的钢管号。应在每一支焊管距管端约 50mm~150mm 的内表面用白色涂料喷印钢管号、牌号、规格作为标记。对于管径小于或等于 168mm 的直缝焊管，可在钢管外表面喷印，同时采用纸质标签或二维码标签贴于焊管内表面，至少标明下列各项内容：

- a) 牌号；
- b) 制造方法的代号；
- c) 规格；
- d) 制造方名称或其缩写；
- e) 批次、钢管号。

B.5.3.4 涂色、喷印所用涂料，贴标签用的黏胶物应不易脱落，且不得影响热浸镀锌。

B.5.3.5 其他包装、标志要求应符合 GB/T 2102 的规定，或由供需双方协商确定。

B.5.3.6 货物交付时应同时提交发货码单、产品质量证明书等技术文件。产品质量证明书至少应包括下列内容：

- a) 制造方名称或商标代号；
- b) 制造工艺；
- c) 执行标准；
- d) 直缝焊管外径、厚度、材料牌号；
- e) 产品批号、重量、支数；
- f) 交货状态（高频焊管是否热处理、电弧焊管是否扩径）；
- g) 各项检测结果。

附录 C

(规范性)

特高压钢管塔及钢管构架用法兰技术条件

C.1 概述

本附录规定了特高压钢管塔及钢管构架用法兰的类型、材料、技术要求、制造工艺、尺寸公差及试验、检验、包装等方面的要求。

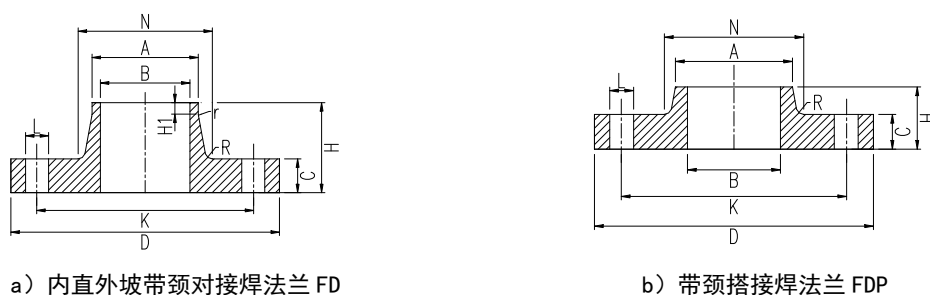
C.2 法兰类型

C.2.1 钢管塔及构架用法兰按外形分为带颈法兰和板式平面法兰。钢管塔主要采用带颈法兰、板式平面法兰，其中，带颈法兰、塔脚板式平面法兰应采用锻造加工。钢管构架主要采用板式平面法兰，一般用钢板切割加工。

C.2.2 带颈法兰按照连接形式分为带颈对接焊法兰、带颈搭接焊法兰，见图 C.1。钢管塔用带颈法兰主要为带颈对接焊法兰。

C.2.3 板式平面法兰按照连接形式分为刚性法兰、柔性法兰，见图 C.2。

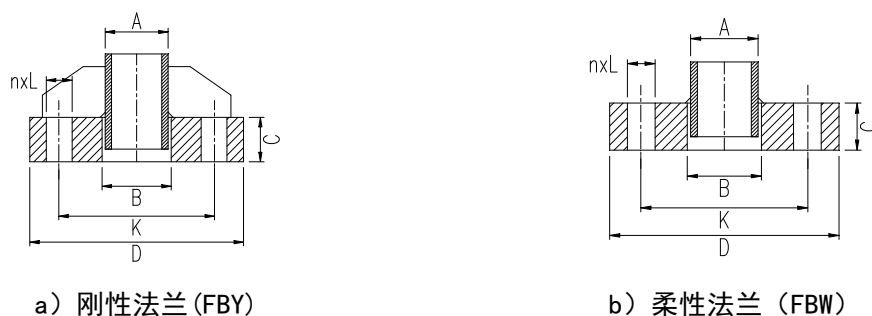
C.2.4 法兰代号表示方法见表 C.1。



a) 内直外坡带颈对接焊法兰 FD

b) 带颈搭接焊法兰 FDP

图 C.1 带颈法兰



a) 刚性法兰 (FBY)

b) 柔性法兰 (FBW)

图 C.2 板式平面法兰

表 C.1 法兰代号表示方法

项目	代号	类型	代号	结构形式	代号
法兰	F	带颈法兰	D	对接焊（内直外坡）	— ^a
				搭接焊	P
		板式平面法兰	B	刚性（有劲板）	Y
				柔性（无劲板）	W
^a “—”表示无需标识。					

C.3 法兰材料

C.3.1 锻造法兰用钢坯的化学成分应符合表 C.2 的规定，割制的平面法兰用钢板的化学成分应满足 GB/T 700、GB/T 1591 的规定；当板式平面法兰厚度大于或等于 40mm 时，宜选用 Z 向钢，满足 GB/T 5313 的要求。细化晶粒的元素应在质量证明书中注明含量。

表 C.2 法兰的化学成分

牌号	化 学 成 分									碳当量 ^c ≤
	C≤	Si≤	Mn	P≤	S≤	V≤	Nb≤	Ti≤	Al _s ≥	
Q235B	0.20 ^a	0.35	1~1.40	0.045	0.045	--	--	--	--	---
Q355B	0.20	0.50	1~1.70	0.035	0.035	0.15	0.07	0.20	0.015	0.44
Q355C	0.20	0.50	1~1.70	0.030	0.030	0.15	0.07	0.20	0.015	0.44
Q420B ^b	0.18	0.60	1~1.80	0.030	0.030	0.20	0.07	0.20	0.015	0.45
Q420C ^b	0.18	0.50	1~1.80	0.030	0.025	0.20	0.07	0.20	0.015	0.45
Q420D ^b	0.18	0.50	1~1.80	0.025	0.020	0.20	0.07	0.20	0.015	0.45
Q460C ^b	0.18	0.60	1~1.90	0.030	0.025	0.20	0.11	0.20	0.015	0.46
Q460D ^b	0.18	0.60	1~1.90	0.025	0.020	0.20	0.11	0.20	0.015	0.46
Q460E ^b	0.18	0.60	1~1.90	0.020	0.015	0.20	0.11	0.20	0.015	0.46

^a Q235B 的含碳量经需方同意，可不大于 0.22%。
^b 要求至少加入一种细化晶粒的元素，也可加入多个细化晶粒的元素，并应在质量证明书中注明含量。
^c 最大碳当量应满足要求，碳当量计算公式如下： $CEV=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15$

C.3.2 锻造法兰用钢坯应采用电炉或转炉冶炼，加炉外精炼。

C.3.3 钢坯宜使用初轧坯，也可采用连铸圆坯或方坯，不应使用截面长宽比大于 1.5 的矩形坯以及连铸板坯。同时还应满足下列要求：

- 有足够的切除量，不得有缩孔、尾孔和分层；
- 酸浸低倍试片上不得有肉眼可见的气泡、裂纹、白点、翻皮、夹杂等；
- 一般疏松、中心疏松和偏析应满足 GB/T 1979 的 2 级要求；
- 按 GB/T 10561-2005 附录 A 评级图对非金属夹杂物评定。其 A、B、C、D、DS 各类的级别分别不大于 2 级，按其中最严重者判定。
- 钢坯表面不应有裂纹、结巴、折叠、夹杂、拉裂和耳子，以及深度大于 1mm（钢坯尺寸≤200mm）或大于 2mm（钢坯尺寸>200mm）的发纹；允许钢坯表面有深度不超过负偏差的个别划痕、压痕、凹坑和麻点；
- 钢坯表面的缺陷应予清除，清除处应圆滑无棱角，清除宽度应不小于深度的 5 倍，清除深度自实际尺寸算起在同一截面上应不大于公称厚度的 8%，且不大于 15mm。

表 C.3 钢坯的检验项目、试验方法、取样数量和合格标准

序号	检验项目	试验方法	取样数量	合格标准
1	化学成分	GB/T 223、GB/T 4336	每炉批一个	表 C.2
2	低倍组织检验	GB/T 226、GB/T 1979	每炉批两个	C.3.3
3	非金属夹杂物	GB/T 10561	每炉批一个	C.3.3

T/CSEE 0044-20xx

C.3.4 锻造法兰用钢坯应有炉号、材质标识，法兰制造方应对钢坯进行复验，合格后方可投入生产，复验项目、试验方法、取样数量和合格标准见表 C.3。

C.4 技术要求

C.4.1 交货状态

除平板割制加工的板式平面法兰外，锻造法兰（包括带颈法兰、塔脚板式平面法兰）一般以正火、正火加回火状态交货。对大尺寸法兰，正火时可以考虑采取适当措施加快冷却速度。

C.4.2 力学性能

C.4.2.1 法兰力学性能检验应在最终热处理后进行，满足表 C.4 的要求。

表 C.4 法兰力学性能要求

牌号	抗拉强度 R_m /MPa \geq	上屈服强度 ^a R_{eH} /MPa \geq				断后伸长率 A /% \geq		冲击吸收 能量 ^b KV_2 /J \geq
		法兰厚度 C, mm						
		≤ 16	$> 16 \sim 40$	$> 40 \sim 63$	$> 63 \sim 80$	≤ 40	$> 40 \sim 80$	
Q235	370~500	235	225	215	215	26	25	27
Q355	470~630	355	345	335	325	22	22	34
Q420	520~680	420	400	390	370	19	19	34
Q460	540~720	460	440	430	410	17	17	34

^a 带颈法兰轴向拉伸试验性能均按 $C \leq 16\text{mm}$ 要求。
^b 为三个试样的平均值，允许一个试验值低于平均值，但不得低于规定值的 70%。

C.4.2.2 锻造法兰冲击试验温度应满足表 C.5 的规定。采用钢板割制的板式平面法兰冲击试验温度应满足 GB/T 700、GB/T 1591 的规定。

表 C.5 锻造法兰夏比（V 型）冲击试验的试验温度

质量等级	试验温度 ℃
B	0
C	-20
D	-40
E	-60

C.4.2.3 当法兰尺寸不足以取标准试样时，可加工成小试样，但应在报告中注明。采用小冲击试样时，55mm×10mm×7.5mm 试样、55mm×10mm×5mm 试样的夏比 V 型缺口冲击吸收能量，应分别不小于规定值的 75%、50%。

C.4.3 晶粒度

应在最终热处理后的锻件上进行平均晶粒度测定，金属平均晶粒度按 GB/T 6394 进行评定，应不小于 6 级。铁素体+珠光体组织占 60%以上时，可采用评级软件直接评价铁素体晶粒大小，若铁素体+珠光体组织占比少于 60%、其余组织为粒状贝氏体、贝氏体或马氏体等非平衡组织的回火态时，应选取适当方法显示原奥氏体晶粒度并予评价。

C.4.4 外观质量

法兰表面应无肉眼可见的裂纹、夹层、折叠、夹渣等有害缺陷，同时不得有毛刺、划痕和其他降低法兰强度及连接可靠性的缺陷，圆角过渡处应光滑，不得减小其有效承载截面。

C.4.5 法兰粗糙度

法兰采用平面密封面形式，法兰表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu\text{m}$ ，法兰螺栓孔表面粗糙度 $Ra \leq 12.5 \mu\text{m}$ 。

C.5 制造工艺

C.5.1 带颈法兰、塔脚板式平面法兰应采用锻造加工，不得采用钢板切割与机加工成型。其他板式平面法兰可以采用锻造加工，也可选用相应牌号钢板进行割制，当采用平板割制时，钢板应无分层缺陷。

C.5.2 锻坯应避免放置于局部高温区域，不得过烧。钢材始锻温度不高于 1200°C ，终锻温度不低于 850°C 。

C.5.3 法兰锻造比应大于 3。

C.5.4 锻后应进行锻件的检验，避免产生锻造缺材、裂纹、夹层、折叠、夹渣等。

C.5.5 锻件热处理时应使用电阻炉，其有效加热区应按 GB/T 9452 的要求进行初始测定和周期测定，满足 IV 类热处理炉的要求。热处理所用的热电偶、测温仪表、记录仪表的检定周期应与有效加热区的测定周期一致。合格后方可使用。

C.5.6 应根据锻件原材料的熔炼炉号、有效厚度分类装炉，并遵循相应的加热规范，装炉时应注意法兰之间要有一定的间隙。正火后出炉的锻件应采取措施避免同炉法兰以及同一法兰不同部位的冷却速度出现明显的差异。不同热处理批次的产品应分开存放。

C.5.7 锻坯在最终热处理后应进行硬度检验。硬度检验每炉至少检验 10% 且不少于 5 件（少于 5 件时应全检），同一锻件硬度差不超过 40HBW，同一批锻件硬度差不超过 50HBW。硬度检验应按照 GB/T 231.1 在法兰盘上表面进行，每件锻件至少检验 3 点。当硬度检测结果不满足要求时，可以对锻件重新进行热处理，但原则上重复热处理不得超过两次（回火次数不计）。

C.5.8 锻件的机加工，应按照先粗加工，再精加工的原则进行，保证产品粗糙度满足要求。

C.5.9 车削加工后，制孔前应对法兰外周及法兰密封面进行超声波检验，超声波检验按 NB/T 47013.3 进行，满足下列要求：

- a) 单个缺陷当量平底孔直径为 II 级合格；
- b) 密集区缺陷当量直径为 I 级合格；
- c) 由缺陷引起底波降低量为 I 级合格；
- d) 密集缺陷面积占检测总面积之比为 II 级合格。

C.5.10 制孔后应对法兰进行表面无损检测，按 NB/T 47013.4 或 NB/T 47013.5 进行，满足下列要求：

- a) 不允许存在裂纹、白点；
- b) 不允许存在线性缺陷；
- c) 在 2500mm^2 的评定框（其中，一条矩形边长最大为 150mm ）内，磁粉检测时， $d \leq 2.0\text{mm}$ 的圆形缺陷应少于或等于一个；渗透检测时， $d \leq 1.5\text{mm}$ 的圆形缺陷应少于或等于一个。d 为圆形缺陷的直径。

C.5.11 法兰应在焊端预加工坡口，坡口形式应按合同或图纸要求进行加工。

C.5.12 法兰制造过程中不得进行补焊。

C.5.13 法兰制造过程中的标识应满足下列要求：

- a) 法兰用钢应至少标明钢材的材质、批号，并清晰可见；
- b) 下料前，应核对材质，记录批号，下料后应进行标识移植。

C.6 外形尺寸允许偏差

C.6.1 带颈法兰尺寸允许偏差应符合表 C.6 的规定。

表 C.6 带颈法兰尺寸允许偏差

序号	项 目	法兰焊接形式	尺寸范围	允许偏差 mm
1	法兰厚度 C	对接焊、搭接焊	$C \leq 18\text{mm}$	0~+1.0
			$C > 18\text{mm}$	0~+1.5
2	法兰高度 H	对接焊、搭接焊	所有规格	± 1.0
3	焊端外径 A	对接焊	$A < 150\text{mm}$	-0.5~+0.5
			$A \geq 150\text{mm}$	-1.0~+1.0
4	法兰内径 B	搭接焊	$B < 125\text{mm}$	0~+0.5
			$B \geq 125\text{mm}$	0~+1.0
5	法兰外径 D	对接焊、搭接焊	所有规格	± 1.0
6	颈部厚度 S	对接焊	所有规格	-0.3~+1.0
7	螺栓孔中心圆直径 K	对接焊、搭接焊	M10~M33	± 0.75
			$> M33$	± 1.0
8	相邻两螺栓孔间距	对接焊、搭接焊	M16~M24	± 0.5
			M27~M33	± 0.6
			$> M33$	± 0.7
9	任意两螺栓孔间距	对接焊、搭接焊	法兰外径 $D \leq 500\text{mm}$	± 1.0
			法兰外径 $D > 500\text{mm}$	± 1.2
10	螺栓孔直径 L	对接焊、搭接焊	所有规格	0~+0.8
11	螺栓孔中心圆与法兰接触面的同轴度公差	对接焊、搭接焊	所有规格	$\phi 1.0$
12	螺栓孔垂直度	对接焊、搭接焊	所有规格	$\leq 0.03C$
13	法兰两端面平行度	对接焊、搭接焊	所有规格	≤ 1
14	法兰端面与轴线垂直度	对接焊、搭接焊	所有规格	≤ 1
15	法兰密封面平面度偏差	对接焊、搭接焊	所有规格	-0.5~+0.5

C.6.2 板式平面法兰尺寸允许偏差应满足表 C.7 的要求。

C.7 检验

C.7.1 检验组批

锻造法兰的检验组批由同一熔炉号、同一热处理炉次的产品组成，对于平板割制的板式平面法兰，同一钢材批号产品为一检验批。

表 C.7 板式平面法兰尺寸允许偏差

序号	项目	尺寸范围	允许偏差 mm
1	相邻两螺栓孔间距	段与段连接法兰	±0.5
2	螺栓孔中心圆直径	段与段连接法兰	±1.0
3	地脚法兰相邻螺栓孔间距	法兰外径 $D \leq 1500\text{mm}$	±1.5
		法兰外径 $D > 1500\text{mm}$	±2.0
4	地脚法兰螺栓孔中心圆直径	所有型号	±2.0
5	法兰外径 D	$D \leq 200\text{mm}$	±2.0
		$D = 200\text{mm} \sim 600\text{mm}$	±3.0
		$D = 600\text{mm} \sim 1200$	±4.0
		$D \geq 1200\text{mm}$	±5.0
6	法兰内径 B	$B = (\text{钢管外径} + 4) \text{ mm}$	±1.0
7	螺栓孔直径 L	所有规格	0~+0.8

C.7.2 检验项目与要求

C.7.2.1 法兰检验项目及试验方法应符合表 C.8 规定。锻造法兰应从产品取样，取样位置如图 C.3 所示；板式平面法兰应取切向试样，当切向试样尺寸不能满足要求时可取径向试样，板式平面法兰无特殊要求时不进行轴向力学性能检验。采用平板割制加工的板式平面法兰，应按钢板要求取样检验。

表 C.8 法兰的检验项目、试验方法和取样数量

序号	检验项目	试验方法	取样位置、数量	合格标准
1	化学成分 ^a	化学分析或光谱检验	每批一个	见 C.3.1
2	金属平均晶粒度测定	GB/T 6394	每批一个	见 C.4.3
3	外观质量	肉眼或放大镜	100%	见 C.4.4
4	金属拉伸试验 ^b	GB/T 228.1	每批两个，轴向一个，径向一个	表 C.4
5	金属冲击试验 ^b	GB/T 229	每批六个，轴向三个，径向三个	表 C.4、C.5
6	尺寸及公差	量尺或专用器具	100%	表 C.6、表 C.7 及图纸
7	硬度检验	GB/T 231.1	每炉至少抽检 10%，且不少于 5 件（少于 5 件全检）	见 C.5.7
8	超声波无损检测	NB/T 47013.3	100%	见 C.5.9
9	磁粉、渗透检测	NB/T 47013.4 或 NB/T 47013.5	100%	见 C.5.10

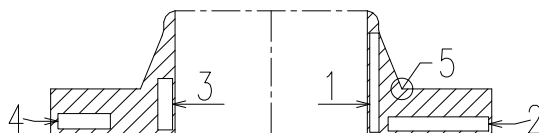
^a 法兰制造方可提供钢坯或成品法兰的化学成分报告，应在报告中注明；钢管塔或构支架的制造方应复验法兰的化学成分。

^b 板式平面法兰仅做一个方向的拉伸、冲击试验。

T/CSEE 0044-20xx

C.7.2.2 法兰制造方应对钢坯、锻造法兰进行全部项目的检测，并出具检验报告，采用平板割制的板式平面法兰可不进行金属晶粒度测定和非金属夹杂物评定，必要时根据需方要求可增加其他检测项目。钢管塔或构支架的制造方应确认法兰质量证明文件，并按检验批对成品法兰外观质量、尺寸及公差、化学成分、拉伸与冲击性能进行复验，按规格型号对法兰进行 10% 的表面无损检测复验，合格后方可入库使用。

C.7.2.3 法兰拉伸试验、冲击试验所用试样，应从产品取样，取样位置应符合图 C.3 的要求，拉伸、冲击试验结果满足表 C.4、表 C.5 的要求。



说明：

1——轴向拉伸； 2——径向拉伸； 3——轴向冲击； 4——径向冲击； 5——金相试验。

图 C.3 带颈法兰取样位置示意图

C.7.3 判定规则

C.7.3.1 外观质量或尺寸偏差不合格时，该法兰不合格。

C.7.3.2 产品的化学成分不合格、发现裂纹、白点、白斑，该熔炼炉号法兰全部不合格。

C.7.3.3 产品的拉伸与冲击性能若有任意一项不合格，应对该不合格项在同一法兰试件上取二倍数量的试样重新检验，有一个试样不合格，则该批法兰不合格。

C.7.3.4 金相检验时若晶粒度小于 6 级，则该批产品不合格。允许重新进行热处理后，重新组批进行检验，并检验合格。

C.7.3.5 无损检测不合格时，该法兰不合格。

C.8 交付

C.8.1 包装

法兰成品应使用木托架或木箱包装，由供需双方协商确定，并采取防潮措施（不得涂防锈油），同时应在显著位置有装箱明细标识。

C.8.2 标识

法兰的标识内容包括制造者标识、规格、材质、产品编号（采用“法兰组批号-流水号”表示），并用钢印压印在法兰盘的圆周上，并宜同时粘贴二维码标签，标识上述内容。每件法兰产品应具有唯一的标识。

C.8.3 质量合格证明文件

每批法兰均应附有质量合格证明文件，内容至少应包括：

- a) 供方名称或代号；
- b) 法兰规格；
- c) 材料牌号；
- d) 本批数量、产品编号；

- e) 熔炼炉号或批号、热处理炉号；
- f) 交货状态；
- g) 各项检测结果；
- h) 热处理温度记录曲线、各项检验报告等支持性材料。

附录 D

(规范性)

特高压钢管塔及钢管构架用紧固件及脚钉技术条件

D.1 概述

本附录提出了特高压钢管塔及钢管构架用紧固件及脚钉的主要技术要求和检验要求。本附录未规定的，应按 DL/T 284 的要求执行。

本附录所指紧固件包括螺栓、螺母、平垫圈。

D.2 一般要求

D.2.1 钢管塔及钢管构架用紧固件及脚钉均以热浸镀锌状态供货。其中，8.8 级和 10.9 级螺栓不允许重复热浸镀锌，其它等级螺栓最多允许两次热浸镀锌。

D.2.2 钢管塔及钢管构架用螺栓采用普通粗制螺栓，螺栓的性能等级一般分为 4.8 级、6.8 级、8.8 级、10.9 级，对应配套的螺母性能等级分为 5 级、6 级、8 级、10 级，以设计文件为准。

D.2.3 对 8.8 级和 10.9 级螺栓，应至少抽检 3 个批次，由具备检测资质的第三方检测单位按照 DL/T 284 的规定进行化学成分检测、拉力试验、冲击试验、硬度试验、脱碳层检测；对配套螺母进行化学成分检测、保证载荷试验、硬度试验。结果满足该标准的要求。

D.2.4 平垫圈应符合 GB/T 95 的规定

D.3 技术要求

D.3.1 螺栓外螺纹尺寸 d 应满足表 D.1 的要求。

表 D.1 螺栓外螺纹尺寸

单位：mm

螺纹规格		M12	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33
外螺纹直径 d	max	11.966	15.962	17.958	19.958	21.958	23.952	26.952	29.947	32.947
	min	11.701	15.682	17.623	19.623	21.623	23.577	26.577	29.522	32.522
螺纹规格		M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
外螺纹直径 d	max	35.940	38.940	41.937	44.937	47.929	51.929	55.925	59.925	63.920
	min	35.465	38.465	41.437	44.437	47.399	51.399	55.365	59.365	63.320

D.3.2 螺栓螺纹应采用滚压工艺成型，螺母螺纹应采用先热浸镀锌，然后进行攻丝的工艺，且不允许重复攻丝。

D.3.3 螺栓采用冷镦或局部热镦成型时，在热浸镀锌前应进行去应力退火。

D.3.4 05 级薄螺母应进行淬火并回火处理，保证应力应达到 500 MPa，镀后机械性能应满足 GB/T 3098.2 和 DL/T 284 规定要求。

D.3.5 8.8 级、10.9 级螺栓及配套螺母的材质、制造工艺应满足下列要求：

- a) 螺栓用钢及淬火介质应符合表 D.2 规定，材料的化学成分和力学性能应符合相应标准的要求，螺栓应进行调质处理；
- b) 螺母用钢的基本成分应满足表 D.3 的要求，M24 及以下 8 级、10 级螺母宜选用 45、40Cr，M24 以上 8 级、10 级螺母宜选用 40Cr、42CrMo，并应进行调质处理；

- c) 8.8 级、10.9 级螺栓及配套螺母应采用抛丸（喷砂）方法去除表面锈污，采用碱性方法去除表面油脂，不应采用酸洗的方法除油、除锈及除锌返镀；
- d) 螺栓与配套螺母的制造方应对 10.9 级螺栓按照 GB/T 3098.17 要求进行氢脆预荷载试验，选择氢脆敏感性低的工艺和技术制造 10.9 热浸镀锌螺栓与配套螺母。

表 D.2 8.8 级、10.9 级螺栓用钢及淬火介质

螺栓性能等级、规格		材料	淬火介质
8.8	M27 及以下	35CrMo、40Cr、ML40Cr	油
	M30~M56	42CrMo、ML42CrMo	油
	M60 及以上	42CrMo、40CrNiMo、ML42CrMo	油
10.9	M27 及以下	35CrMo	油
	M30~M45	42CrMo、40CrNiMo	油
	M48 及以上	40CrNiMo	油

表 D.3 螺母各性能等级用钢的化学成分

性能等级		化学成分 ^b			
		%			
		C	Mn	P	S
		最大值	最小值	最大值	最大值
5、6		0.5	-	0.060	0.150
8		0.58	0.25	0.060	0.150
10 ^a	05 ^a	0.58	0.30	0.048	0.058
^a 为改善螺母的机械性能，必要时可增添合金元素。对于 6 级螺母，推荐用 ML25、ML35、25、35、45；对于 8 级及以上螺母，推荐用 ML40Cr、40Cr、ML42CrMo、42CrMo；对于 05 级薄螺母，推荐用 45、ML40Cr、40Cr、35CrMo。 ^b 因内螺纹加大攻丝尺寸，其保证载荷有所降低，选材时可考虑选用高性能材料，以提高螺母的保证载荷并使其符合标准规定。					

D.4 检验

D.4.1 螺栓与螺母的制造方应按 DL/T 284 的要求对紧固件进行检验，并按要求提供质量证明文件。此外，应在热浸镀锌 48 小时后按 DL/T 284 规定的螺栓生产批，对 8.8 级、M30 及以下规格的 10.9 级螺栓应进行 20% 的磁粉或渗透探伤抽检；对 M30 以上规格的 10.9 级螺栓应进行 100% 的磁粉或渗透探伤抽检。检测与评定要求分别按 NB/T 47013.4、NB/T 47013.5 的规定进行。若有不合格品时，则应对该批次螺栓进行 100% 检验。

D.4.2 钢管塔及钢管构架的制造方应对采购的紧固件及脚钉进行抽检。紧固件及脚钉检验项目、抽样样本与判定应符合表 D.4 的规定，试验要求按 DL/T 284 规定执行。

D.4.3 螺栓与螺母热浸镀锌后表面应光洁、无漏镀面、滴瘤、黑斑，无溶剂残渣、氧化皮夹杂物等和损害零件使用性能的其他缺陷。表面允许有白锈存在，但不应出现锈蚀现象。

D.4.4 紧固件及脚钉的镀锌层厚度应满足设计要求，如要求不明确时，则按照铁塔安装区域的大气环

T/CSEE 0044-20xx

境腐蚀性等级（C1、C2、C3、C4、C5 和 CX，共 6 级）来控制紧固件及脚钉的热浸镀锌层厚度，并符合表 D.5 的规定。镀锌层厚度测量按 GB/T 4956 规定的磁性法测量。螺栓在头部六角面、头部顶面和尾部端面至少取 5 个测量面；螺母在六角面、两个支撑面至少取 5 个测量面。每个测量面测量 1 点，取 5 个点算术平均值为镀层局部厚度。每个检验批抽样 5 只，5 只镀层局部厚度的算术平均值为镀层平均厚度。

D. 4.5 所有螺栓应确保装好螺母后露丝长度不少于 2 圈螺纹，最大不超过 20mm 或 10 圈螺纹。

表 D.4 紧固件及脚钉入厂抽检复验要求

检测项目		螺栓（脚钉）		螺母			平垫圈	检验样本大小 n ^a	合格判定数 Ac	备注
		6.8 级	8.8 级及以上	6 级	8 级及以上	05 级				
原材料成分		√	√	√	√	√	√	3	0	
尺寸	结构尺寸	√	√	√	√	√	√	20	2	
	楔负载或拉力试验	√	√	×	×	×	×	8	0	
机械性能	保证载荷	×	×	√	√	√	×	8	0	
	断后伸长率 ^b	√	√	×	×	×	×	3	0	要求时
	冲击韧性 ^c	√	√	×	×	×	×	3	0	要求时
	硬度	√	√	√	√	√	√	8	0	
表面缺陷		√	√	√	√	√	√	8	0	
镀锌层	厚度	√	√	√	√	√	√	5	0	
	外观	√	√	√	√	√	√	所有样品	0	
	均匀性试验	√	√	√	√	√	√	3	0	
	附着性试验	√	√	√	√	√	√	5	0	
标识 ^d		√	√	√	√	√	×	20	0	
注：表中“√”为钢管塔及钢管构架的制造方需要进行复验的项目，“×”为不需要进行复验的项目。										
^a 按发货批次抽样，尽量抽取不同规格（直径）的样品，抽取样本数量应满足检验时试样数量需求，当螺栓规格在 M30 及以上时，破坏性试验抽样样本数为 5。 ^b 断后伸长率指加工试件的试验断后伸长率 A，或实物试验断后伸长率 A _f 。 ^c 对 8.8 级及以上螺栓（含脚钉）应进行冲击试验，一般进行 -20℃ 的冲击试验；对 6.8 级螺栓（含脚钉）需要进一步检验时，一般进行常温冲击试验（≥27J）。设计有特殊要求时按设计要求进行。 ^d 标识检查主要是对制造者标识、性能等级标识的检查确认。										

表 D.5 紧固件及脚钉热镀锌层厚度

尺寸规格	大气环境腐蚀性等级	最小平均厚度 /μm	最小局部厚度 /μm
M20 及以上	C1~C3	55	45
	C4~CX	60	50
M16	C1~C3	50	40
	C4~CX	50	40

D.5 包装

螺栓、螺母的包装应满足下述要求：

- a) 螺栓与螺母应组合配套后包装；
- b) 应同一性能等级、同规格、同长度产品为一个独立包装，然后按每基塔整体包装；
- c) 包装应牢固，便于运输，防止运输中损坏、锈蚀。

附录 E
(资料性)

特高压钢管塔及钢管构架焊接推荐坡口形式

E.1 通则

E.1.1 本附录按照完全熔透的原则,规定了对接接头的坡口形式和尺寸,适用于焊条电弧焊(SMAW)、二氧化碳气体保护焊(GMAW、FCAW)、埋弧焊(SAW)、氩弧焊(GTAW)及其组合焊接坡口。对于不完全熔透的焊接接头,允许采用其他形式的焊接坡口。

E.1.2 从工艺角度出发,不带钝边的坡口也可对其根部的底边进行打磨处理,保留一定的钝边量(2mm以内)。

E.1.3 机器人焊接坡口宜采用机械加工或数控热切割方式加工,坡口形式、坡口的加工精度、接头的装配精度等应满足机器人焊接的要求,并经工艺试验验证确定。

E.2 坡口的推荐形式和尺寸

E.2.1 焊条电弧焊、二氧化碳气体保护焊、氩弧焊坡口

E.2.1.1 表 E.1 规定了 SMAW、GMAW、FCAW、GTAW 单面对接焊的坡口形式和尺寸。横焊位置焊接时,坡口角度可适当加大,而且允许是非对称的。给定的间隙也适用于定位焊条件。

E.2.1.2 表 E.2 规定了 SMAW、GMAW、FCAW、GTAW 双面对接焊的坡口形式和尺寸。横焊位置焊接时,坡口角度可适当加大,而且允许是非对称的。给定的间隙也适用于定位焊条件。

E.2.1.3 表 E.3 规定了 SMAW、GMAW、FCAW、GTAW 单面角焊缝及双面角焊缝的接头形式。

E.2.2 埋弧焊坡口

E.2.2.1 表 E.4 规定了 SAW 单面对接焊、双面对接焊坡口形式和尺寸。该坡口主要针对平焊和平角焊位置。

E.2.2.2 在采用定位焊的情况下,埋弧焊坡口间隙是完成定位焊之后的间隙。

E.2.2.3 本附录未规定衬垫的材料和尺寸,衬垫的选择和使用应结合具体工况条件经焊接工艺评定确定。

E.2.3 机器人焊接坡口

表 E.5 给出了机器人焊接时的坡口加工及装配精度的推荐要求,具体的坡口形式、坡口加工精度和装配要求,应结合具体的焊接机器人系统、焊件类别和接头形式,经工艺试验验证确定。

表 E.1 SMAW、GMAW、FCAW、GTAW 单面对接焊坡口

单位: mm

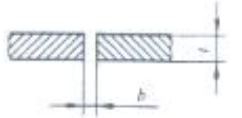
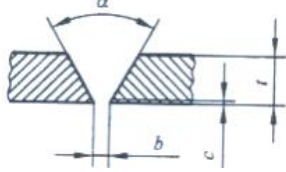
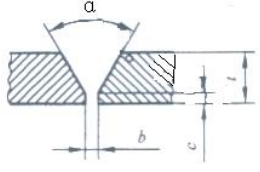
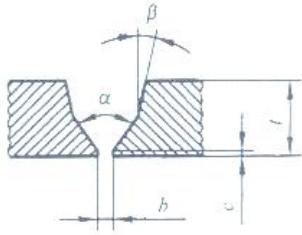
序号	母材厚度 t	坡口/接头 种类	基本符号	横截面示意图	尺寸				适用的焊接 方法	备注
					坡口角 α 或 坡口面角 β	间隙 b	钝边 c	坡口深度 h		
1	≤ 4	I 形坡口			-	$\approx t$	-	--	SMAW、GTAW	-
	-				$3 < b \leq 8$	-	-	GMAW、FCAW	必要时加衬 垫	
	-				$\approx t$	-	-	GTAW		
2	$3 < t \leq 10$	V 形坡口	V		$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	≤ 4	≤ 2	-	SMAW、GTAW、 GMAW、FCAW	必要时加衬 垫
3	$5 \leq t \leq 40$	V 形坡口 (带钝边)	Y		$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 4$	-	SMAW、GTAW、 GMAW、FCAW	-
4	> 12	V-V 形组合 坡口	≡		$60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ $10^\circ \leq \beta \leq 15^\circ$	$2 \leq b \leq 4$	> 2	-	SMAW、GTAW、 GMAW、FCAW	-

表 E.1 (续)


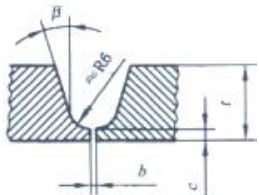

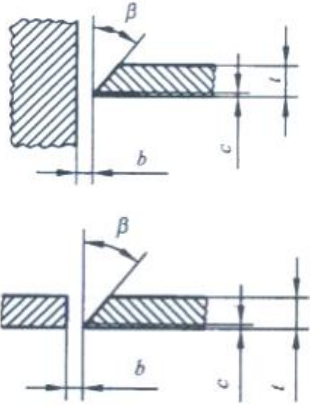
序号	母材厚度 t	坡口/接头 种类	基本符号	横截面示意图	尺寸				适用的焊接 方法	备注
					坡口角 a 或 坡口面角 β	间隙 b	钝边 c	坡口深度 h		
5	>12	U形坡口			$8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$	≤ 4	≤ 3	-	SMAW、GTAW、 GMAW、FCAW	-
6	$3 < t \leq 10$	单边 V 形坡 口			$15^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$2 \leq b \leq 4$	$1 \leq c \leq 2$	-	SMAW、GTAW、 GMAW、FCAW	-

表 E.2 SMAW、GMAW、FCAW、GTAW 双面对接焊坡口

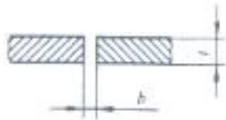

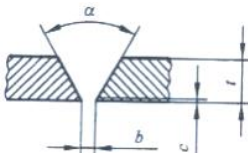

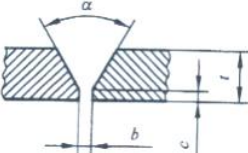

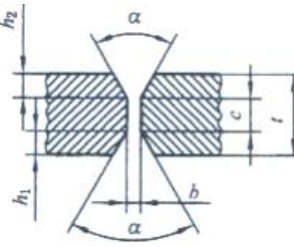
序号	母材厚度 t	坡口/接头 种类	基本符号	横截面示意图	尺寸				适用的焊接 方法	备注
					坡口角 α 或 坡口面角 β	间隙 b	钝边 c	坡口深度 h		
1	≤ 8	I 形坡口			-	$\approx t/2$	-	--	SMAW、GTAW、 GMAW、FCAW	-
2	$3 \leq t \leq 40$	V 形坡口			$\alpha \approx 60^\circ$	≤ 3	≤ 2	-	SMAW、GTAW	封底
					$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$				GMAW、FCAW	
3	> 10	V 形坡口 (带钝边)			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	$2 \leq c \leq 4$	-	SMAW、GTAW	特殊情况下 适用于更小 厚度, 注明封 底
					$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$				GMAW、FCAW	
4	> 10	双 V 形坡口 (带钝边)			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 6$	$h_1 = h_2$ $= (t - c) / 2$	SMAW、GTAW	-
					$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$				GMAW、FCAW	

表 E.2 (续)


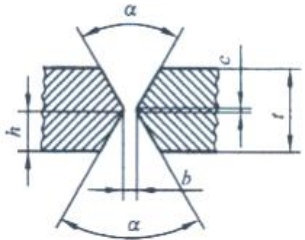
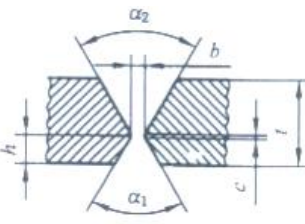

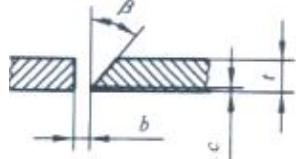
序号	母材厚度 t	坡口/接头 种类	基本符号	横截面示意图	尺寸				适用的焊接 方法	备注
					坡口角 α 或 坡口面角 β	间隙 b	钝边 c	坡口深度 h		
5	>10	双 V 形坡口			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	≤ 2	$\approx t/2$	SMAW、GTAW	-
					$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$				GMAW、FCAW	
		非对称 双 V 形坡口			$\alpha_1 \approx 60^\circ$ $\alpha_2 \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	≤ 2	$\approx t/3$	SMAW、GTAW	-
					$40^\circ \leq \alpha_1 \leq 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha_2 \leq 60^\circ$				GMAW、FCAW	
6	$3 \leq t \leq 30$	单边 V 形坡口			$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	≤ 2	-	SMAW、GTAW、 GMAW、FCAW	封底

表 E.2 (续)

序号	母材厚度 t	坡口/接头 种类	基本符号	横截面示意图	尺寸				适用的焊接 方法	备注
					坡口角 α 或 坡口面角 β	间隙 b	钝边 c	坡口深度 h		
7	>10	K形坡口			$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	≤ 2	$\approx t/2$ 或 $\approx t/3$	SMAW、GTAW GMAW、FCAW	可制成V形坡口相似的非对称坡口形式

表 E.3 SMAW、GMAW、FCAW、GTAW 角焊缝的接头形式

单位: mm

序号	母材厚度 t	接头形式	基本符号	横截面示意图	尺寸		适用的焊接方法
					角度 a	间隙 b	
1	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	T形接头 (单面焊)	△		$70^\circ \leq a \leq 100^\circ$	≤ 2	SMAW、GTAW、 GMAW、FCAW
2	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	搭接 (单面焊)			-	≤ 2	
3	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	角接 (单面焊)			$60^\circ \leq a \leq 120^\circ$	≤ 2	
4	$t_1 > 3$ $t_2 > 3$	角接 (双面焊)		$70^\circ \leq a \leq 100^\circ$	≤ 2		
5	$t_1 > 2$ $t_2 > 5$	角接 (双面焊)	▽		$60^\circ \leq a \leq 120^\circ$	-	
6	$2 \leq t_1 \leq 4$ $2 \leq t_2 \leq 4$	T型接头 (双面焊)	△		-	≤ 2	
	$t_1 > 4$ $t_2 > 4$					-	

表 E.4 SAW 对接焊坡口

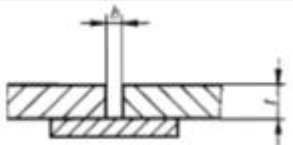
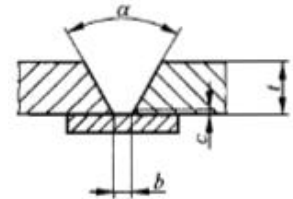
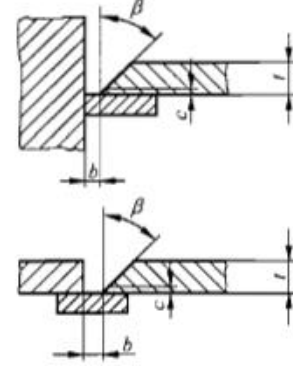
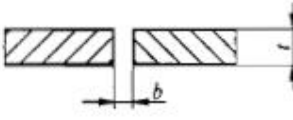
序号	母材厚度 t	坡口/接头 种类	基本符号	横截面示意图	尺寸				焊接位置	备注
					坡口角 α 或 坡口面角 β	间隙 b	钝边 c	坡口深度 h		
1	$3 \leq t \leq 12$	平对接焊缝 (单面焊)			-	$b \leq 0.5t$ 最大 5	-	-	平焊	带衬垫, 衬垫 厚度至少 5mm 或 $0.5t$
2	$10 \leq t \leq 20$	V 形焊缝 (单面焊)	∇'		$30^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$	$4 \leq b \leq 8$	$c \leq 2$	-	平焊	带衬垫, 衬垫 厚度至少 5mm 或 $0.5t$
3	$3 \leq t \leq 16$	单边 V 形焊 缝 (单面焊)	∇		$30^\circ \leq \beta \leq 50^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$c \leq 2$	-	平焊、平角焊	带衬垫, 衬垫 厚度至少 5mm 或 $0.5t$
4	$3 \leq t \leq 20$	平对接焊缝 (双面焊)			-	$b \leq 2$	-	-	平焊	间隙应符合 公差要求

表 E.4 (续)

序号	母材厚度 t	坡口/接头 种类	基本符号	横截面示意图	尺寸				焊接位置	备注
					坡口角 α 或 坡口面角 β	间隙 b	钝边 c	坡口深度 h		
5	$10 \leq t \leq 35$	带钝边 V 形 焊缝/封底 (双面焊)			$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$b \leq 4$	$4 \leq c \leq 10$	-	平焊	根部焊道可用其他方法焊接
6	$10 \leq t \leq 20$	V 形焊缝/ 平对接焊缝 (双面焊)			$60^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$	$b \leq 4$	$5 \leq c \leq 15$	-	平焊	根部焊道可用其他方法焊接
7	$t \geq 16$	带钝边的双 V 形焊缝 (双面焊)			$30^\circ \leq \alpha \leq 70^\circ$	$b \leq 4$	$4 \leq c \leq 10$	$h_1 = h_2$	平焊	特殊情况下可加工成非对称形式
8	$t \geq 12$	带钝边的 K 形焊缝 (双面焊)			$30^\circ \leq \beta \leq 50^\circ$	$b \leq 4$	$4 \leq c \leq 10$	-	平焊、平角焊	特殊情况下可加工成非对称形式，必要时可进行打底焊

表 E.4 (续)


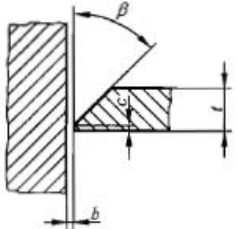

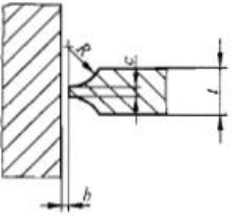
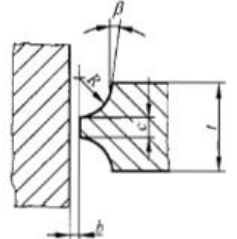
序号	母材厚度 t	坡口/接头 种类	基本符号	横截面示意图	尺寸				焊接位置	备注
					坡口角 a 或 坡口面角 β	间隙 b	钝边 c	坡口深度 h		
9	$t < 12$	单边 V 形焊缝(双面焊)			$30^\circ \leq \beta \leq 50^\circ$	$b \leq 4$	$c \leq 2$	-	平焊、平角焊	必要时可进行打底焊
10	$t \leq 12$	双面 J 形焊缝			-	$b \leq 2$ $5 \leq R \leq 10$	$2 \leq c \leq 3$	-	平焊、平角焊	单道焊坡口
11	$t \geq 12$	双面 J 形焊缝			$5^\circ \leq \beta \leq 10^\circ$	$b \leq 4$ $5 \leq R \leq 10$	$2 \leq c \leq 7$	-	平焊、平角焊	多道焊坡口。 必要时可打底焊

表 E.5 机器人焊接坡口加工及装配允许偏差（推荐值）

序号	项目		允许偏差（平焊、船形焊）	
			不清根	清根
1	钝边（mm）		±1	±1
2	坡口面精度	粗糙度（ μm ）	≤100 (R_z)	
3		割纹深度（mm）	≤0.5	
4	坡口角度（°）		±2	±2
5	无衬垫根部间隙（mm）		±2	±2

附录 F (规范性)

特高压钢管塔及钢管构架焊工、焊机操作工的技能评定

F.1 概述

本附录规定了从事特高压钢管塔及钢管构架焊接的焊工（包含定位焊工）、焊机操作工的技能评定要求。

F.2 焊工、焊机操作工的条件

参加技能评定的焊工、焊机操作工应同时满足下列条件：

- a) 年满 18 周岁，具有初中及以上文化程度；
- b) 身体健康，符合从事焊接作业要求，无色盲或色弱，矫正视力在 5.0 以上。

F.3 技能评定项目

焊工、焊机操作工技能评定项目按照焊接方法、钢材类别、焊接位置、试件类别与规格的组合确定。

F.3.1 焊接方法

焊工、焊机操作工技能评定的焊接方法分类及认可范围见表 F.1。

表 F.1 技能操作考核分类及认可范围

分类	评定的焊接方法	代号	认可的焊接方法
焊工	焊条电弧焊	SMAW	SMAW
	实芯焊丝 CO ₂ 气保焊	GMAW	GMAW、FCAW
	药芯焊丝 CO ₂ 气保焊	FCAW	FCAW
	氩弧焊	GTAW	GTAW
焊机操作工	埋弧焊	A-SAW	SAW
	实芯焊丝 CO ₂ 气保焊	A-GMAW	GMAW、FCAW
	药芯焊丝 CO ₂ 气保焊	A-FCAW	FCAW
	氩弧焊	A-GTAW	GTAW

注：CO₂ 气保焊项目评定合格后适用于混和气体保护焊项目。

F.3.2 钢材类别

F.3.2.1 焊工评定试件的钢材类别及认可的材质范围见表 F.2。

表 F.2 评定用钢材及其认可范围

评定的钢材类别代号	评定用钢材	认可的钢材材质范围
I	Q235	I
II	Q355 ^a	I、II
III	Q420 ^a	I、II、III
IV	Q460	I、II、III、IV

^a 钢材 Mn 含量应大于 1.0%。

T/CSEE 0044-20xx

F.3.2.2 焊机操作工可采用任一钢材类别进行评定，认可范围不限。

F.3.2.3 初次进行技能评定的焊工，不能直接进行III类及以上钢材的评定。

F.3.2.3 从事不同强度等级钢材焊接的人员，应按较高等级钢材进行技能评定。

F.3.3 焊接材料类别

F.3.3.1 技能评定时焊接材料可按焊接工艺评定选择，也可参照表 F.3 选取。

F.3.3.2 经酸性焊条与碱性焊条分别评定合格的焊工，增项评定时或有效期满重新评定时，碱性焊条评定合格可代替酸性焊条的评定。

F.3.3.3 焊机操作工的评定可采用与母材匹配的任一类别焊材，认可范围不限。

表 F.3 技能评定用焊接材料（示例）

钢材类别	焊条型号	CO ₂ 气保焊实心焊丝	CO ₂ 气保焊药芯焊丝	埋弧焊焊剂+焊丝	氩弧焊焊丝
I	E4303	G43AYC1S2	T49YT5-1C1A-N2	S43AYMS-SU08A	W43AY3N
II	E5015	G49A0C1S2	T490T5-1C1A-N2	S49A0FB-SU26	W49A03N
III	E5515	G55A0C1S2	T550T5-1C1A-N7	S55A0FB-SU26	W55A03N
IV	E5515	G55A2C1S2	T552T5-1C1A-N7	S49A2FB-SU34	W55A23N

F.3.4 试件类别与规格

F.3.4.1 焊工、焊机操作工评定用试件的类别分为板件和管件，分别用 B、G 来表示，埋弧焊的焊件类别在项目代号中可省略。评定试件的规格、管径与厚度，以及覆盖的产品焊接厚度与直径范围见表 F.4 的规定。

F.3.4.2 坡口间隙及钝边由焊工、焊机操作工在进行技能评定时自行确定。

表 F.4 评定试件尺寸及认可范围

评定试件类别		评定试件尺寸				认可范围	
		管径或板宽 <i>D</i> 或 <i>B</i> mm	厚度 <i>t</i> mm	长度 <i>L</i> mm	坡口角度 α (°)	管径 <i>D</i> mm	厚度 <i>t</i> mm
焊工	G	76~133	8~12	≥200	65±2.5	≥76	3~3 <i>t</i>
	B	≥100	10~12	≥200	65±2.5	≥600	3~3 <i>t</i>
焊机操作工	G ^a	≥219	8~10	≥400	65±2.5	不限	不限
	B ^b	≥125	10~14	300+300	-	≥325	不限

^a 二氧化碳气体保护焊、氩弧焊的焊机操作工采用管件进行技能评定。
^b 埋弧焊的焊机操作工采用板件进行技能评定。

F.3.5 焊接位置与试件数量

F.3.5.1 焊工评定时，板件评定位置分为：平焊（1G）、横焊（2G）、立焊（3G）、斜立焊（3G+45°），管件一般采用水平转动焊（1G）。评定试件位置及覆盖产品焊接位置示意图见图 F.1。其它位置单独进行评定。

F.3.5.2 焊工评定采用气体保护焊焊接板状试件时，应加障碍板（见图 F.2），且不得从障碍位置向两边焊接。焊工评定时采用单面焊双面成型工艺，焊接试件数为 1 件。

F.3.5.3 焊机操作工评定时，按焊接方法分别进行：

- a) 埋弧焊机操作工可按板对接 1G 位置进行焊接，要求一次连续焊接 2 条直焊缝，2 个试板间隔 30mm，2 条焊缝中心错开 10mm，无间隙，不开坡口（见图 F.3），板材埋弧焊焊接试件数 2 件；
- b) CO₂ 气体保护焊或氩弧焊机操作工按管水平转动 1G 位置进行焊接，可双面焊接。气体保护焊、氩弧焊焊接试件数均为 1 件。

F.3.5.4 焊工、焊机操作工评定合格后所覆盖的产品焊接位置认可范围见表 F.5。

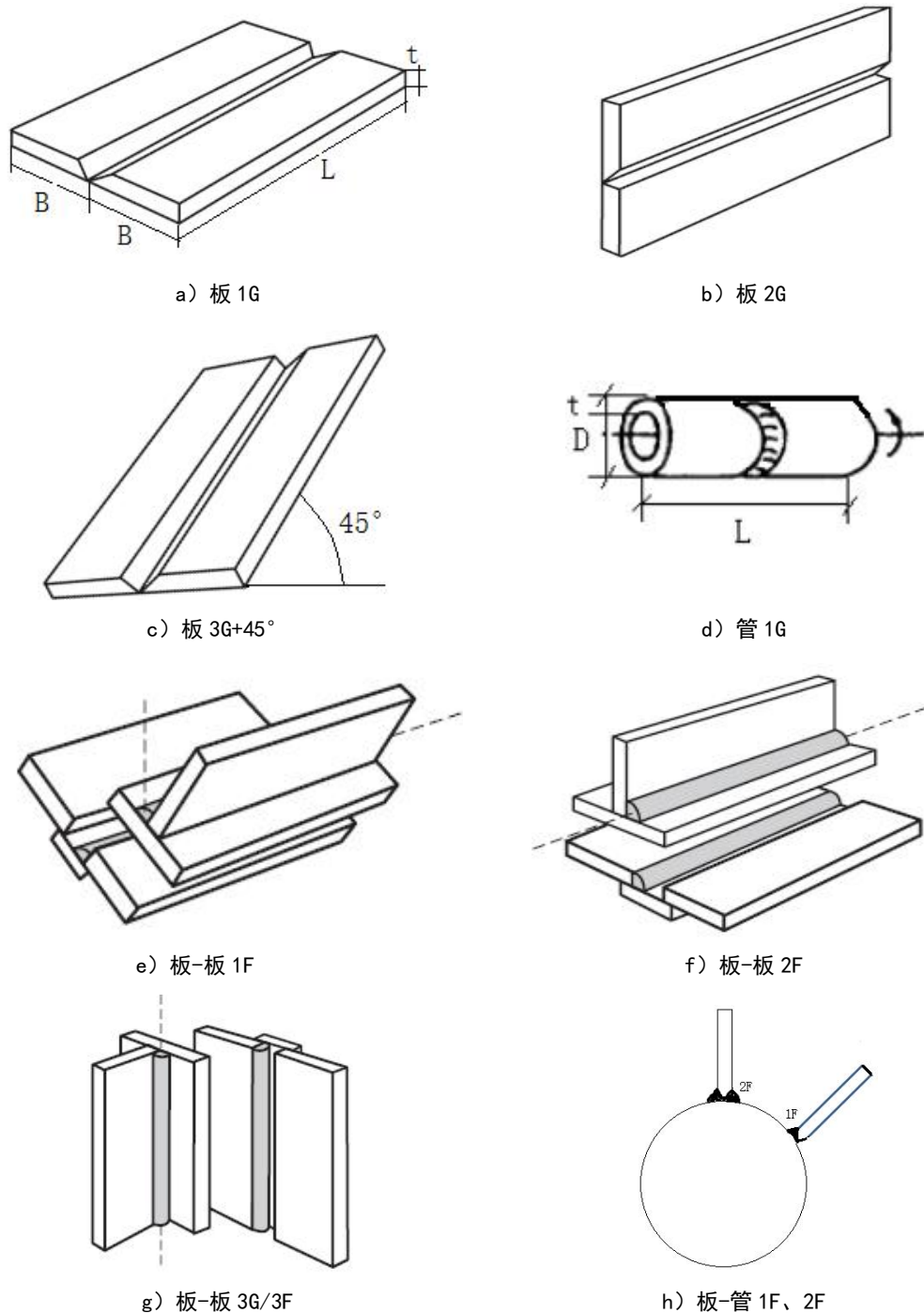


图 F.1 评定试件位置及覆盖产品焊接位置示意图

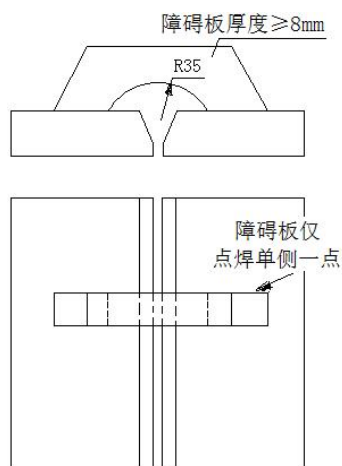


图 F.2 板材加障碍焊接

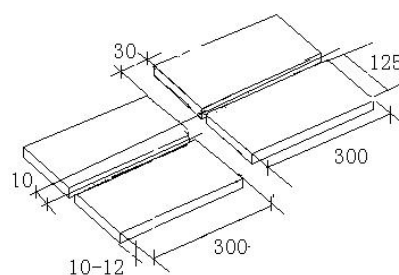


图 F.3 埋弧焊板对接示意图

表 F.5 焊工、焊机操作工焊接位置认可范围

评定位置		认可的产品焊接位置		
焊缝类型	评定合格位置	板坡口对接	板-板角接、板-管角接	管坡口对接
板对接	1G	1G	1F	1G(直径 600mm 及以上)
	2G	1G, 2G	1F, 2F	—
	3G	1G, 3G	1F, 3F	—
	3G+45°	除仰焊外全部位置	1F,3F,3F+45°	—
管对接	1G	1G	1F	1G
^a 埋弧焊的焊机操作工认可的管坡口对接直径为 1G (直径 426mm 及以上)。				

F.3.6 衬垫

F.3.6.1 焊工的评定以不加衬垫的方式进行技能评定；焊机操作工以加衬垫或不加衬垫的方式进行技能评定，衬垫最小宽度为 75mm。

F.3.6.2 各试件类型、焊接位置不加衬垫的试件可替代加衬垫的试件评定，反之不可。

F.4 技能评定试件的检验

F.4.1 检验项目与数量

F.4.1.1 焊工、焊机操作工技能评定试件的检验项目和检验数量见表 F.6。

F.4.1.2 焊工、焊机操作工技能评定弯曲试样取样位置见图 F.4。

表 F.6 焊工、焊机操作工技能评定试件的检验项目和检验数量

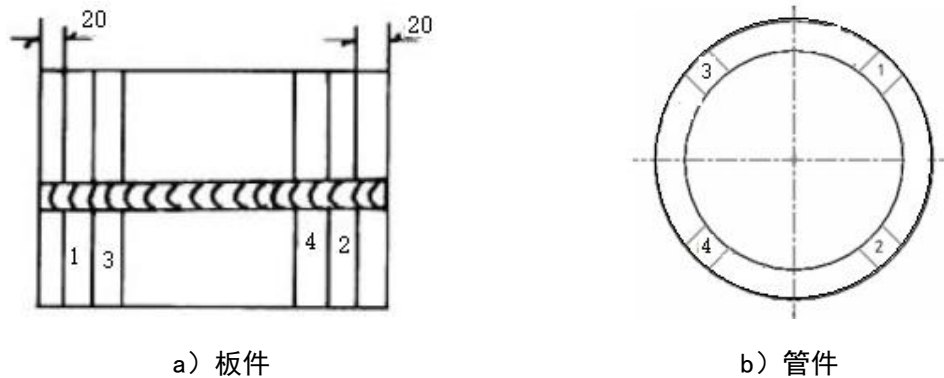
试件类别	检验项目、数量			
	外观检查	RT 检验	面弯	背弯
管对接	要	要	1 件	1 件
板对接	要	要	1 件	1 件

F.4.2 检验方法及合格标准

F.4.2.1 焊缝外观检查

宜用 5 倍放大镜目测，外观质量合格后方可进行其它项目的检验。外观质量应符合下列要求：

- 焊缝表面不应有裂纹、夹渣、气孔、未熔合和焊瘤；
- 焊缝边缘应圆滑平缓过渡到母材；
- 焊机操作工焊接的试件不允许有咬边和表面凹坑；焊工评定的焊接试件咬边和表面凹陷深度不应大于 0.5mm，焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的 10%，且不大于 25mm；
- 板状试件焊后角变形不应大于 3°；
- 焊缝外观尺寸应符合表 F.7 的规定。



说明：

1-面弯试样；2-背弯试样；3-面弯复验试样；4-背弯复验试样

图 F.4 弯曲试样切取部位示意图

表 F.7 焊缝外观尺寸要求

试件种类	焊缝余高 mm		焊缝高低差 mm		焊缝宽度 mm	
	1G 位置	其它位置	1G 位置	其它位置	比坡口增宽	每侧增宽
板材(焊工)	0~2	0~4	≤1.5	≤2	2~4	1~2
管材(焊工)	0~2	0~3	≤1.5	≤2	2~3	1~2
所有试件 (焊机操作工)	0-2	—	≤1	—	2~4	1~2

注：在焊缝任一 25mm 长度范围内。

F.4.2.2 焊缝内部检验

按照 GB/T 3323.1 B 级的规定进行射线检验，满足 GB/T 37910.1 验收等级的 2 级要求。

F.4.2.3 冷弯试验

F.4.2.3.1 采用全厚度试样，试样宽度取 20mm，弯芯直径 $d=4t$ (t 为试样厚度)，支座间距 L 满足下式要求下，弯曲角度 180°。

$$d + 2t + 2R < L \leq d + 3t + 2R \quad (\text{F.1})$$

式中：

R ——辊筒半径，mm。

F.4.2.3.2 试样在弯曲过程中不应滑动，弯曲后的试样，其焊缝和热影响区应完全在弯曲区内。

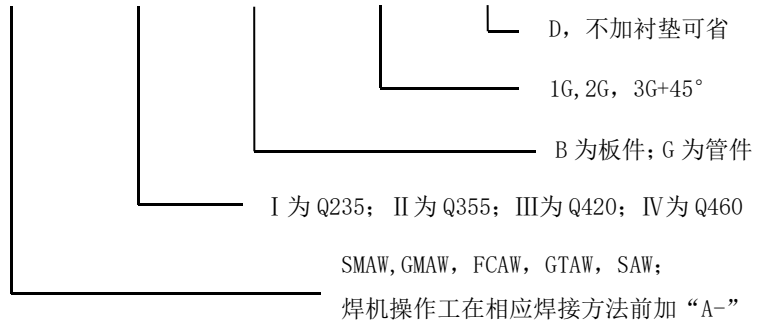
F.4.2.3.3 弯曲后的试样应满足下列要求:

- a) 试件拉伸面任意方向上不得有长度大于 3mm 的裂纹或其它缺欠;
- b) 单个试件裂纹及其它缺陷总长度不得大于 7mm;
- c) 试件棱角上的裂纹不计,但由于焊接缺陷造成的开裂应计入。

F.5 技能评定项目表示方法

焊工、焊机操作工技能评定项目由以下单元组成:

焊接方法-钢材类别-试件类别-焊接位置-衬垫



示例 1: GMAW-II-B-2G

示例 2: A-SAW-1G-D

F.6 重新评定

F.6.1 焊工、焊机操作工的评定试件,各检验项目均合格,则该评定项目合格。技能评定不合格的项目,允许重新焊接该项目试件 2 件,所有试样的检验项目全部合格,则该项目技能评定合格。否则,应经过一段时间的培训,方可重新进行评定。

F.6.2 当焊工、焊机操作工增加技能评定项目时,如改变焊接方法、增加焊接位置、改变试件类别、试件规格超出范围、改变衬垫方式等,应按本文件的要求重新进行技能评定。

F.6.3 当焊工、焊机操作工已评定合格的项目有效期已过时,应重新进行评定。

附录 G (规范性)

薄壁管对接焊缝超声波检测与质量评定

G.1 概述

本附录规定了特高压钢管塔及钢管构架中薄壁管对接焊缝的手工超声波检测方法和质量评定要求。

本附录适用于直径大于或等于 140mm，壁厚大于或等于 4mm 且小于或等于 8mm 的钢管与钢管、钢管与带颈法兰对接焊缝的检验。

G.2 一般要求

G.2.1 检测人员

从事特高压钢管塔及钢管构架中薄壁管对接焊缝超声波检测的人员应取得超声波 II 级及以上合格证书，并经薄壁管对接焊缝超声波检测的专项培训与考核，取得专项合格证书。

G.2.2 检测设备

G.2.2.1 宜采用专用的数字式 A 型脉冲反射式超声波检测仪。

G.2.2.2 检测仪应满足 GB/T 27664.1 和 JB/T 10061 的要求，具有产品质量合格证或质量合格的证明文件，仪器性能至少应满足如下要求：

- a) 工作频率为 0.5MHz~10MHz（按-3dB 测量）；
- b) 在显示屏满刻度的 80%范围内呈线性显示；
- c) 具有 80dB 以上的可调衰减器，步进级每档不大于 1dB；
- d) 任意相邻 12dB 误差在±1dB 以内，最大累计误差不超过 1dB；
- e) 水平线性误差不大于 1%，垂直线性误差不大于 5%。

G.2.2.3 爬坡探头应满足如下技术要求：

- a) 爬坡探头频率为 2.5MHz，爬坡探头的晶片面积不宜大于 50mm²，且任一边长不宜大于 8mm；
- b) 爬坡探头声束轴线水平偏离角不应大于 2°，主声束垂直方向偏离不应有明显的双峰；
- c) 爬坡探头曲率应尽量与被检测管径相匹配，探头前沿长度应不大于 5mm；
- d) 爬坡探头焦点的水平距离应为 10mm（1±20%）。

G.2.2.4 横坡探头应满足如下技术要求：

- a) 横波探头所用频率为 5MHz，探头的中心频率允许偏差为±0.5MHz；
- b) 斜探头置于标准试块上探测棱边，当反射波幅最大时，探头中心线与被测棱边的夹角应在 90°±2°的范围内；
- c) 斜探头主声束在垂直方向不应有明显的双峰或多峰；
- d) 横波探头角度（K 值）选取参照表 G.1 的规定。条件允许时，应尽量采用较大角度的探头。

表 G.1 推荐采用的斜探头角度（K 值）

板厚 t mm	角度（K 值）
$4 \leq t < 6$	$72^\circ \sim 70^\circ$ (3.0~2.7)
$6 \leq t < 8$	$70^\circ \sim 68^\circ$ (2.7~2.5)

G. 2. 2. 5 超声波检测仪和探头的系统性能应满足如下要求:

- a) 在达到所检测工件的最大检测声程时, 其灵敏度余量应不小于 10dB;
- b) 仪器和探头的组合频率与公称频率误差应不大于 10%;
- c) 在基准灵敏度下, 仪器和探头组合的始脉冲宽度不大于 2.5mm;
- d) 仪器和探头信噪比应大于 35dB;
- e) 仪器和探头的分辨力应大于 15dB;
- f) 爬波探头有效检测范围为 0mm~20mm。

G. 2. 2. 6 当出现下列情况时应测定仪器和探头的组合性能:

- a) 新购置的超声仪器和 (或) 探头;
- b) 仪器和探头在维修或更换主要部件后;
- c) 检测人员认为必要时。

G. 2. 2. 7 每隔 3 个月至少对仪器的水平线性或垂直线性进行一次测定, 测定方法按 JB/T 9214 的规定。

G. 3 检测准备

G. 3. 1 检测方法

G. 3. 1. 1 薄壁管对接焊缝采用爬波检测为主的检测方法, 如需对缺陷定位应采用横波辅助检测。

G. 3. 1. 2 爬波检测时, 检测面为钢管侧外壁, 钢管与带颈法兰对接焊缝探头在钢管侧, 钢管与钢管对接焊缝探头在钢管任意一侧, 如图 G.1 所示。

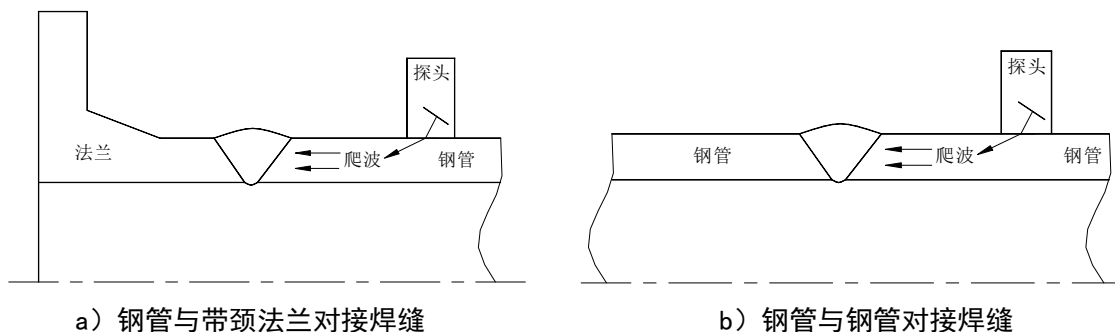


图 G. 1 爬波检测面

G. 3. 1. 2 横波检测时, 钢管与带颈法兰对接焊缝检测面为钢管侧外壁和法兰侧内壁, 钢管与钢管对接焊缝检测面为钢管外壁两侧, 如图 G.2 所示。

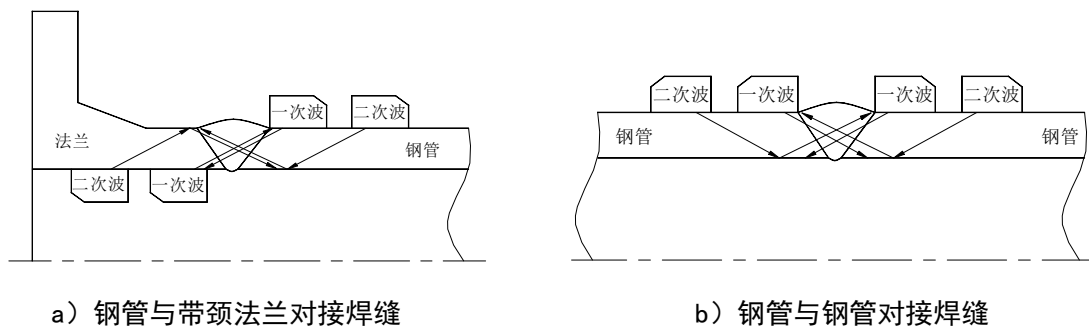


图 G. 2 横波检测面

G. 3. 2 检测面

- G. 3. 2. 1 焊缝的超声波检测应在外观质量检测合格的基础上进行。
- G. 3. 2. 2 影响超声波探头与检测面耦合的锈蚀、飞溅和污物等应予以清除。其检测面粗糙度应不低于 Ra 6.3 μ m。
- G. 3. 2. 3 实施检测时，如发现焊缝的不规则状态影响检测结果的正确性和完整性，应对其进行处理。

G. 3. 3 耦合剂

应采用透声性好且不损伤检测表面的耦合剂，如机油、浆糊、甘油等。

G. 4 系统校准与复核

G. 4. 1 探头测定

- G. 4. 1. 1 检测前应进行探头前沿距离、角度（ K 值）、主声束偏离、灵敏度余量和分辨力等主要参数的测定。
- G. 4. 1. 2 横波斜探头测定按 GB/T 27664.2 的有关规定进行。
- G. 4. 1. 3 爬波探头测定按附录 H 的规定进行。

G. 4. 2 仪器和探头系统测定

- G. 4. 2. 1 爬波检测时，应测定主声束的覆盖范围，调节或复核扫描量程和扫查灵敏度，并满足附录 H.1 的规定。
- G. 4. 2. 2 横波检测时，调节或复核扫描量程和扫查灵敏度，并满足 JB/T 9214 的规定。

G. 4. 3 检测过程中仪器和探头系统的复核

检测过程中，出现下列情形之一时，应进行仪器和探头系统的复核：

- a) 校准后的探头、耦合剂和仪器调节旋钮发生改变；
- b) 检测人员怀疑扫描量程或扫查灵敏度有变化；
- c) 连续工作 4h 以上。

G. 4. 4 检测结束时仪器和探头系统的复核

检测工作结束时，应对仪器和探头系统进行下列项目的复核，并记录复核结果：

- a) 应对扫描量程进行复核。如果任意一点在扫描线上的偏移超过扫描线读数的 10%，则扫描量程应重新调整，并对上一次复核以来所有的检测部位进行复检；
- b) 应对扫查灵敏度进行复核。一般对距离-波幅曲线的校核不应少于 2 点。如曲线上任何一点幅度下降 2dB，则应对上一次复核以来所有的检测部位进行复检；如幅度上升 2dB，则应对所有的记录信号进行重新评定。

G. 5 试块

G. 5. 1 试块类型

- G. 5. 1. 1 采用 CSK-IA 试块作为标准试块，用于仪器系统的性能测试和系统校准，其形状和尺寸见图 G.3。
- G. 5. 1. 2 采用 BBG 试块作为爬波检测和横波检测对比试块，其形状和尺寸应符合图 G.4 的要求。试块的 R_1 值应与被检管径相近，适用范围见表 G.2。管子外径大于或等于 325mm 时，按平板检测。

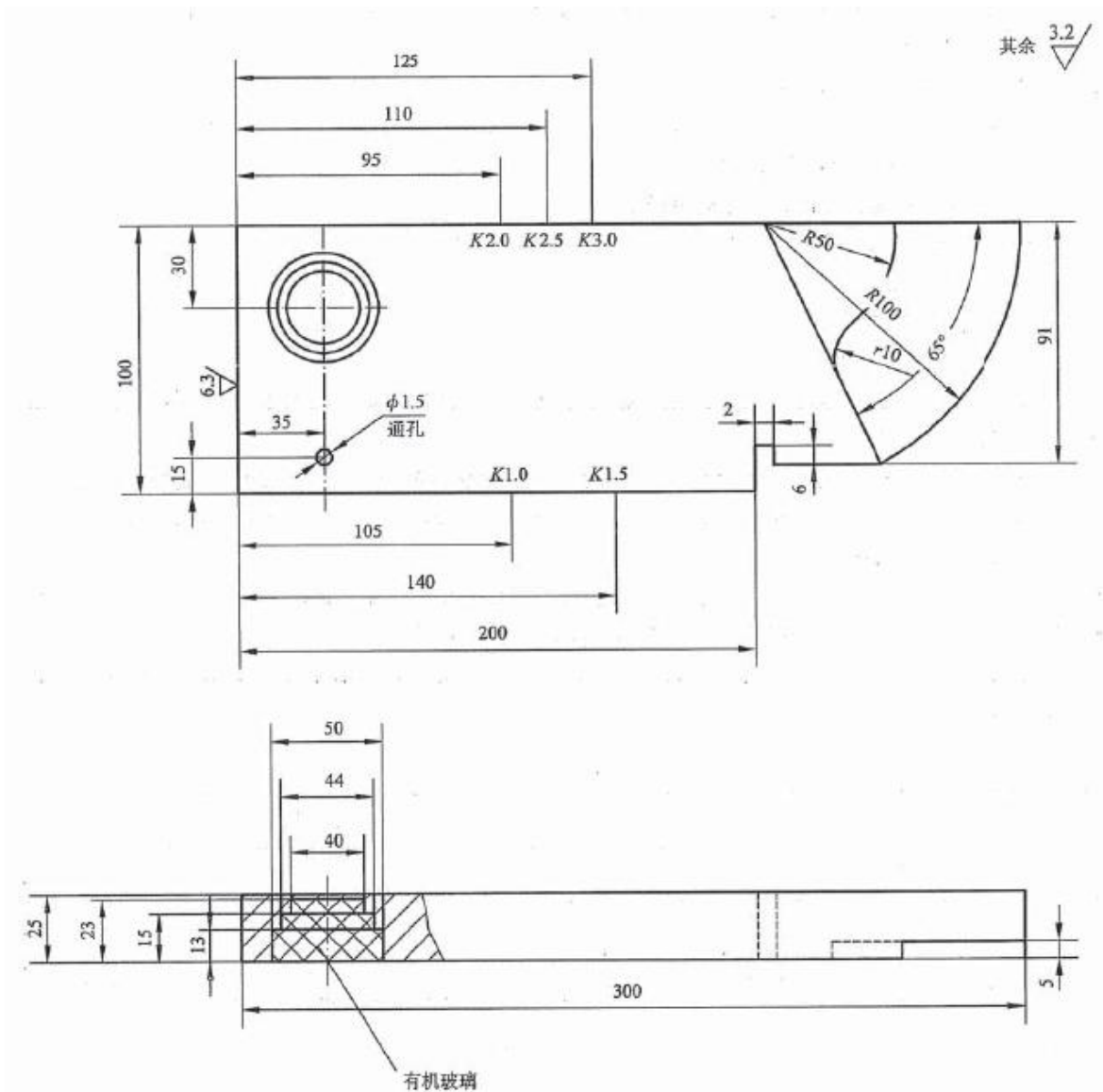
G. 5. 2 试块要求

G. 5. 2. 1 在满足灵敏度要求时，对比试块上的人工反射体根据检测需要可采取其他布置形式，也可采用其他型式的等效试块。

G. 5. 2. 2 试块应采用与被检工件声学性能相同或相近的材料制成，该材料内部不应有大于或等于 $\Phi 1\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。试块的其他制造要求应符合 GB/T 11259 的规定。

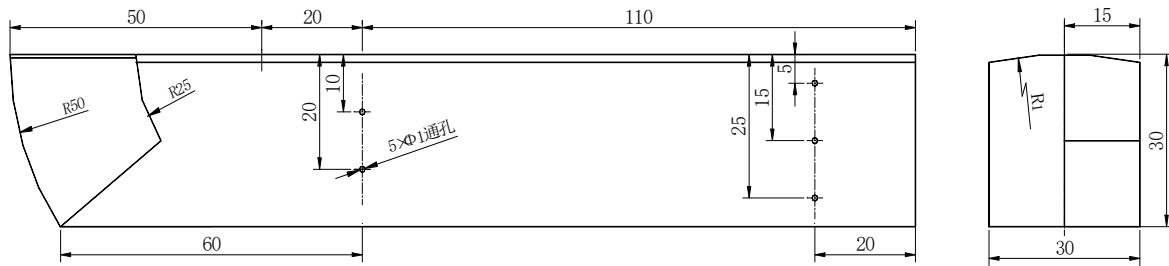
表 G. 2 BBG 试块的适用范围

试块编号	试块的 R_f 值 mm	适用管径 (D) 范围 mm
1	80	$140 \leq D < 219$
2	110	$219 \leq D < 273$
3	140	$273 \leq D < 325$



说明：单位为毫米；尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

图 G. 3 CSK- I A 试块



说明：单位为毫米（mm）

图 G.4 BBG 试块

G.6 灵敏度的设定

G.6.1 爬波 DAC 曲线绘制

在 BBG 试块上，探头对准深度为 5mm 的 $\Phi 1$ mm 通孔，探头前沿距离通孔 5mm 为距离—波幅曲线（DAC 曲线）的第一点，每间隔 5mm 取一点至 30mm，同时测量反射波幅度，依据测量结果绘制 DAC 曲线，如图 G.5。

G.6.2 横波 DAC 曲线绘制

在 BBG 试块上，探头分别对准深度为 5mm、10mm、15mm、20mm 和 25mm 的 $\Phi 1$ mm 通孔，找出试块中各点最大反射波幅并记录。将记录各点连成圆滑曲线，形成 DAC 曲线，如图 G.6。

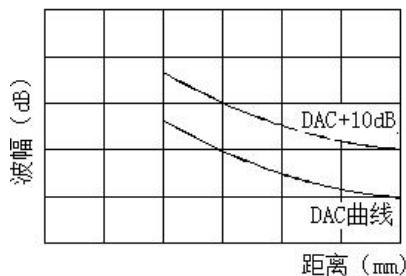


图 G.5 爬波距离-波幅曲线

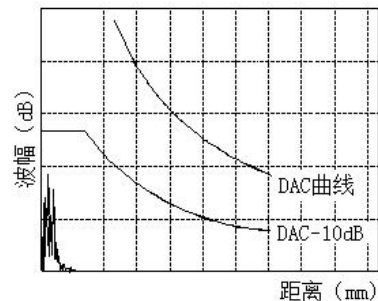


图 G.6 横波距离-波幅曲线

G.6.3 灵敏度确定

- G.6.3.1 将爬波 DAC 曲线衰减 10dB 确定为评定线灵敏度。
- G.6.3.2 将横波 DAC 曲线增益 10dB 确定为评定线灵敏度。
- G.6.3.3 扫查时设定的灵敏度不应低于评定线灵敏度。

G.7 扫查方式及要求

G.7.1 探头的扫查速度不应超过 50mm/s。

G.7.2 钢管与法兰环焊缝检测时，爬波探头放置在钢管侧检测面上，声束中心线应垂直于焊缝中心，距离焊缝中心 10mm~20mm 沿环向扫查，如图 G.7（a）所示。

G.7.3 钢管与钢管环焊缝检测时，爬波探头放置在任一侧钢管检测面上，声束中心线应垂直于焊缝中心，距离焊缝中心 10mm~20mm 沿环向扫查，如图 G.7（b）所示。

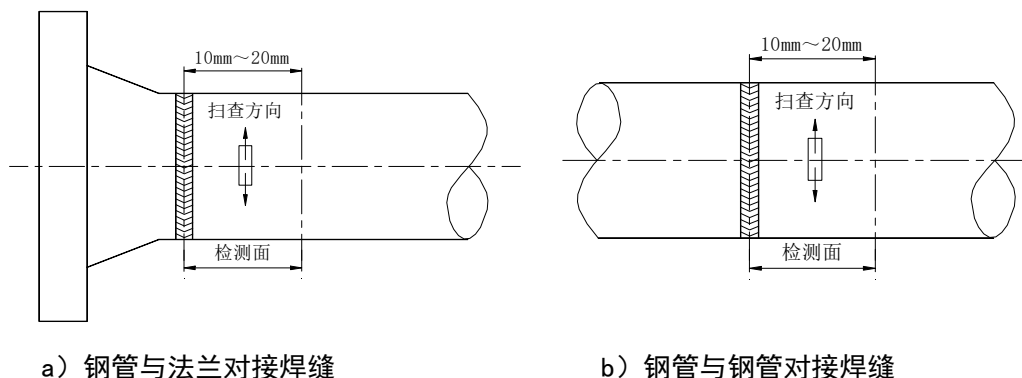


图 G.7 爬波环向扫查示意图

G. 7.4 横波检测时，超声波声束应能扫查到工件的整个被检区域，扫查覆盖率应大于探头宽度的 15%。

G. 7.5 横波检测时，斜探头应垂直于焊缝中心线放置在检测面上作锯齿形或矩形扫查，见图 G.8。探头前后移动的范围应保证声束覆盖到全部焊接接头截面，在保持探头垂直焊缝作前后移动的同时，还应作 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的左右转动。

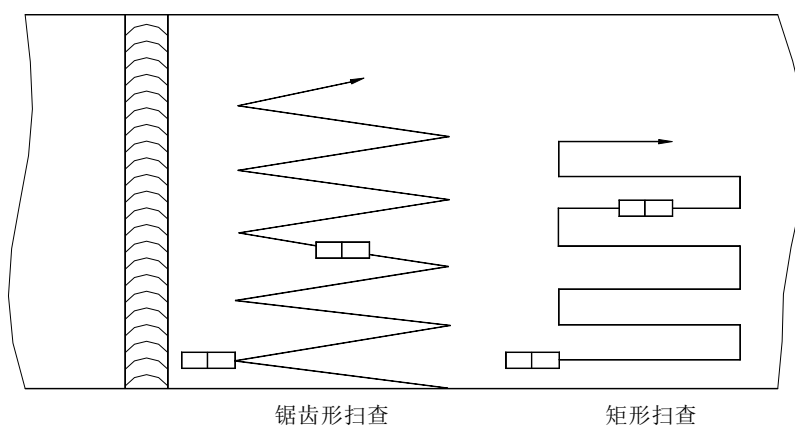


图 G.8 横波锯齿型扫查、矩形扫查示意图

G. 8 缺陷检测及定量

G. 8.1 缺陷检测

G. 8.1.1 爬波检测时，所有反射波幅达到或超过 DAC 曲线的缺陷；横波检测时，所有反射波幅达到或超过评定线的缺陷，均应确定其位置、最大反射波幅和缺陷指示长度。

G. 8.1.2 需测定缺陷深度时，应采用横波测定。

G. 8.1.3 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征，如有怀疑时，应采取改变探头折射角 (K 值)、增加检测面、观察动态波形并结合结构工艺特征作出判定，或辅以其他检测方法作综合判定。

G. 8.2 缺陷定量

G. 8.2.1 测定缺陷最大反射波幅与 DAC 曲线的差值 ΔdB ，以 $DAC + \Delta dB$ 的方式记录。

G. 8.2.2 缺陷指示长度 ΔL ，应采用以下方法来测定：

- a) 爬波检测时,当缺陷反射波只有一个高点,且位于 DAC 曲线以上时;横波检测时,当缺陷反射波只有一个高点,且位于评定线以上时,均用 6dB 法测其指示长度;
- b) 爬波检测时,当缺陷反射波峰值起伏变化,有多个高点,且位于 DAC 曲线以上时;横波检测时,当缺陷反射波峰值起伏变化,有多个高点,且位于评定线以上时,均用端点 6dB 法测其指示长度。

G.8.2.3 缺陷指示长度小于 5mm 时,按 5mm 计。

G.8.2.4 在焊缝长度方向上,相邻两缺陷的间距小于其中较小的缺陷长度时,应作为一条缺陷处理,以两缺陷长度之和作为其指示长度。

G.9 质量评定

G.9.1 根据相关制造质量要求和焊接接头的缺陷类型、缺陷波幅的大小以及缺陷的指示长度来评定焊接接头的质量,并出具检测报告。

G.9.2 如无特殊规定,出现下列情形之一时,焊接接头质量应评定为不合格:

- a) 检测人员判定为裂纹、未焊透、未熔合或密集性缺陷等危害性缺陷;
- b) 爬波检测时,缺陷反射波幅高于 DAC 曲线 10dB;缺陷反射波幅高于 DAC 曲线 5dB,且缺陷累计指示长度大于 5mm;
- c) 横波检测时,缺陷反射波幅高于 DAC 曲线 10dB;缺陷反射波幅高于 DAC 曲线 4dB,且缺陷累计指示长度大于 5mm。

G.10 检测报告

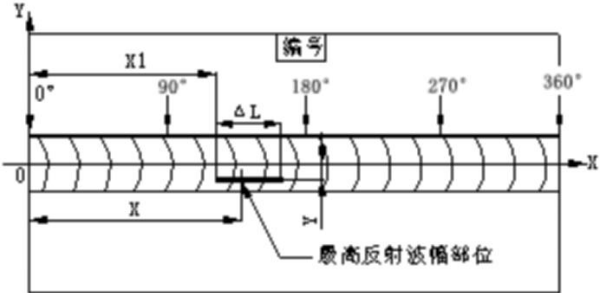
G.10.1 检测报告至少应包括以下内容:

- a) 报告编号;
- b) 项目名称、构件编号、材料种类、规格、焊接方法、检测标准;
- c) 探伤仪型号、探头、试块和检测灵敏度;
- d) 超声检测区域应在记录上予以表明,如有因几何形状限制而检测不到的部位,也应加以说明;
- e) 缺陷的类型、尺寸、位置和分布;
- f) 检验结果、缺陷等级评定;
- g) 检测人员和审核人员签字及其技术类别;
- h) 检测日期。

G.10.2 检测报告格式参见表 G.3。

表 G.3 薄壁管对接焊缝超声波检测报告

报告编号:

项目名称			构件名称						
构件编号			材质/规格						
焊接方法			 <p style="text-align: center;">检测区域及缺陷位置示意图</p> <p>注：0° 指纵焊缝位置。</p>						
检测标准									
仪器型号/编号									
探头/编号									
耦合剂									
试块									
灵敏度									
补偿 dB									
焊缝编号	缺陷编号	缺陷深度 mm		缺陷反射波幅度 DAC±dB	缺陷位置/mm			缺陷指示长度 mm	结果
					X ₁	X	Y		
检测结论									
检测人员:	类别:	日期:	审核人员:	类别:	日期:				

附录 H (规范性) 爬波探头性能测试方法

H.1 概述

本附录规定了频率为 0.5MHz~15MHz 的单晶爬波探头、双晶爬波探头的性能测试方法。适用于超声波速度为 5920 m/s \pm 50m/s (钢中纵波) 和 3255 m/s \pm 30m/s (钢中横波) 的钢。

H.2 探头性能要求

H.2.1 外观质量

目测探头外观的标识和装配情况, 探头外观不得有损伤, 参数标识清楚。接触式探头与工件的接触面应具有与工件表面耦合良好的曲面或平面, 其接触面的间隙应不大于 0.05mm。

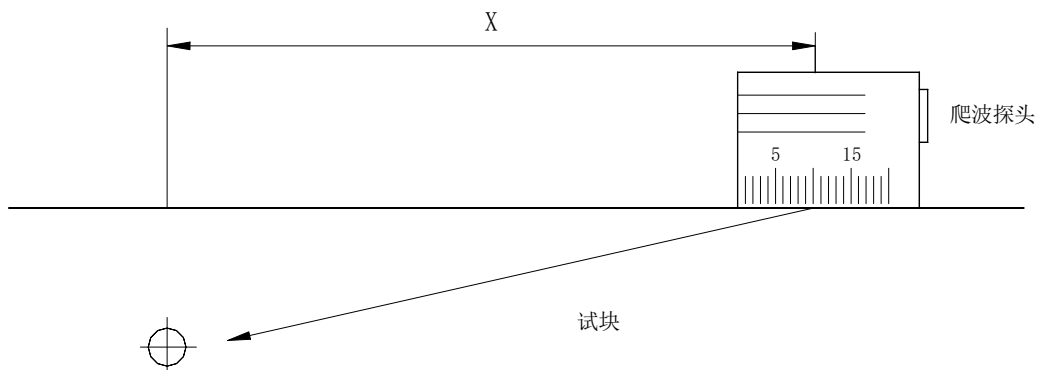
H.2.2 焦点的水平距离及覆盖范围

H.2.2.1 测量

用 BBG 试块进行测试, 方法见图 H.1, 至少要有 8 个测量点, 绘制一条距离-波幅曲线 (图 H.2), 最大波幅对应的距离坐标点即是焦点的水平距离。探头的覆盖范围为峰值两侧各降低 6dB 所对应的距离坐标的差值。

H.2.2.2 要求

焦点的水平距离应为 10mm \pm 20%。有效覆盖范围范围为 0mm~20mm。



图H.1 焦点水平距离测试

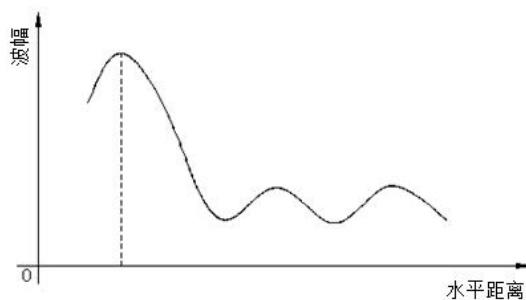


图 H.2 典型双晶爬波探头距离-波幅曲线

H.2.3 探头入射点

将爬波探头对着 BBG 试块的 R50 曲面，前后移动探头，圆柱面的回波最大时，探头对应 R50 中心的刻度线位置即探头入射点。

H.3 信噪比

将探头对准 BBG 试块深度 5mm 横通孔查找最高回波，调整衰减器使其回波位于 80% 屏高，记录 dB 值；再调整探头接触面与试块脱离接触，调整电噪声使其位于 20% 示波屏高，记录 dB 值。上述两 dB 值的差即为信噪比。信噪比不得小于 6dB。

H.4 灵敏度余量

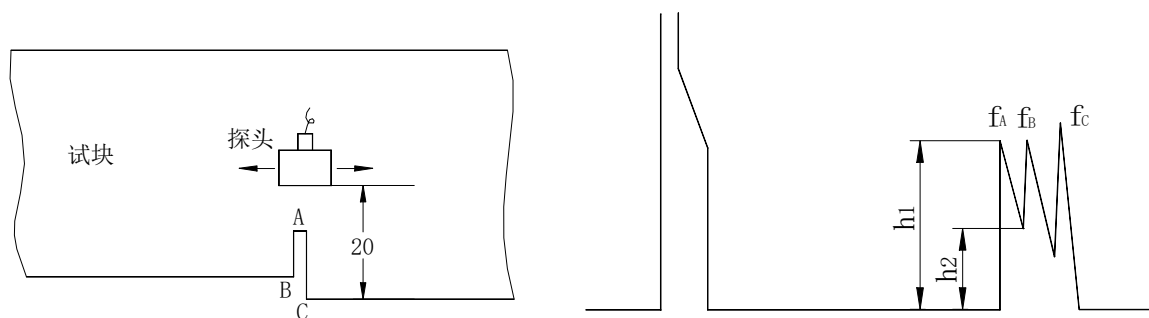
灵敏度余量应满足下列要求：

- 仪器增益旋钮至最大，抑制旋钮至“0”，发射强度旋钮至“强”，连接探头，并使探头接触面与试块脱离接触，调节衰减器使电噪声电平不大于 10%，记下此时的衰减器的读数，记为 N_1 (dB)；
- 将探头对准 BBG 试块上深度为 5mm 的横通孔，在水平距离 30mm 声程处，调节衰减器，使直径为 1mm 的横通孔回波高度为 50%，记下此时衰减器读数，记为 N_2 (dB)；
- 仪器与探头的灵敏度余量 N 为：

$$N = N_1 - N_2 \quad (\text{dB}) \quad (\text{H.1})$$

H.5 分辨力

将抑制旋钮至“0”，探头置于水平放置的 CSK- I A 试块 85、91、100 梯槽距离 85 槽顶部 20mm 声程处，左右移动探头，使示波屏上出现 85、91 两个回波 A、B 等高并达到示波屏 20% 高度，调节增益使 A、B 两波的谷达到示波屏 20% 高度，则衰减器的增益数即为检测系统的分辨力，如图 H.3 所示。



说明：
 f_A —对应 A 点的回波
 f_B —对应 B 点的回波
 f_C —对应 C 点的回波

图 H.3 分辨率调节

附录 I (规范性)

特高压钢管塔及钢管构架用焊接材料与保护气体

1.1 概述

本附录规定了特高压钢管塔及钢管构架焊接用焊接材料及保护气体的检验、焊接材料的选择与库房管理、保护气体的使用等要求。

1.2 焊接材料

1.2.1 焊接材料的入库检验

- 1.2.1.1 焊接材料的包装应完好、无破损、无受潮现象，包装满足有关标准的要求。
- 1.2.1.2 采购的焊接材料应有质量证明书，入库时应核对质量证明书所提供的数据符合标准的规定要求。对焊接保护气体，应确认其检验合格证。
- 1.2.1.3 应检查焊接材料的外表面是否污染，包装完好，识别标志是否清晰、完整，与产品实物相符。
- 1.2.1.4 应按焊接材料的品种、型号、生产批号，对入库的焊接材料进行熔敷金属的成分、拉伸、冲击性能复验，结果满足相应焊材标准的要求。任何一项检验不合格时，该项检验应加倍复验并合格。
- 1.2.1.5 对焊条、气体保护焊药芯焊丝进行入厂检验时，应对制造商熔敷金属扩散氢含量的的测定方法和检测结果予以确认。
- 1.2.1.6 应在验收合格的焊接材料每个包装上做出“复验合格”字样的标记。

1.2.2 焊接材料的库房管理

- 1.2.2.1 焊接材料库房应保持适宜的温度和湿度。室内温度应在 5℃ 以上，相对湿度不超过 60%；室内应保持干燥、清洁，不得存放有害、危险等介质。
- 1.2.2.2 焊接材料库房应设置货架，采用防潮剂或去湿机、红外灯等防潮措施。焊接材料应按品种、型号、批号、规格、入库时间等分类存放，并有明显的区别标志，以免混杂。
- 1.2.2.3 库房管理人员应定期对焊接材料进行检查，并记录。
- 1.2.2.4 焊接材料的发放应按照先入先出的原则发放。出库时，领用人应核对出库的焊材型号（牌号）、规格，检查包装及合格标识。
- 1.2.2.5 对于严重受潮、变质或其他因保管不当而可能出现焊接缺陷的焊接材料不得发放使用。
- 1.2.2.6 对于库存期超过规定期限的焊条、焊剂及药芯焊丝，应对焊接材料进行复验，合格后方可发放使用。复验重点包括焊缝外观质量、内部质量、冷弯试验等。规定期限自生产日期开始按下述方法确定：
 - a) 焊接材料质量证明书或说明书推荐的期限；
 - b) 酸性焊接材料及防潮包装密封良好的低氢型焊接材料为两年。

1.2.3 焊接材料的选用

- 1.2.3.1 特高压钢管塔及钢管构架用焊接材料应根据所焊钢材的强度等级、质量等级、所用的焊接方法选用。
- 1.2.3.2 应遵循以下原则选焊接材料：
 - a) 应选用与钢材化学成分、力学性能相匹配的焊接材料，并根据使用工况条件和焊接工艺评定结果选用；

T/CSEE 0044-20xx

- b) 同种钢材焊接时，焊接材料的选择应满足：
- 1) 力学性能不低于母材或与母材相当；
 - 2) 焊接工艺性能良好；
 - 3) 有特殊性能（如耐候性等）要求时，其性能不低于母材相应要求。
- c) 焊接强度等级不同的钢材，应按照强度等级较低的钢材选用焊接材料，且冲击性能不低于母材下限。

I. 2. 3. 3 特高压钢管塔及钢管构架常用钢材推荐选用的焊接材料见表 I. 1。

表 I. 1 常用钢材配套的焊接材料（示例）

母材	焊接材料				
	GB/T 5117 焊条 ^{a, b}	GB/T 8110 气保护焊实心焊丝 ^{b, c}	GB/T 10045 气保护焊药芯焊丝 ^{a, b, c}	GB/T 5293 埋弧焊焊丝、焊剂 ^{a, b, d}	GB/T 39280 氩弧焊焊丝 ^b
Q235	E43xx E50xx	G43Axxx G49Axxx	T43xx-xxA-xx T49xx-xxA-xx	S43Axx-xx S43Sxx-xx S49Axx-xx S49Sxx-xx	W43Axxx W49Axxx
Q355	E50xx E50xx-xx E55xx-xx	G49Axxx G55Axxx	T49xx-xxA-xx T55xx-xxA-xx	S49Axx-xx S49Sxx-xx S55Axx-xx S55Sxx-xx	W49Axxx W55Axxx
Q420	E55xx-xx E57xx-xx	G55Axxx G57Axxx	T55xx-xxA-xx T57xx-xxA-xx	S55Axx-xx S55Sxx-xx S57Axx-xx S57Sxx-xx	W55Axxx W57Axxx
Q460	E55xx-xx E57xx-xx	G55Axxx G57Axxx	T55xx-xxA-xx T57xx-xxA-xx	S55Axx-xx S55Sxx-xx S57Axx-xx S57Sxx-xx	W55Axxx W57Axxx

注：表中“x”表示对应焊接材料标准中的相应规定。

^a 当 Q235 级焊接接头母材厚度大于或等于 25mm 时，宜采用低氢型焊接材料；Q355 级及以上材质应采用低氢型焊接材料。

^b 实际选用焊接材料时，熔覆金属的冲击功不应低于设计要求或母材规定值，应结合钢材的质量等级，合理选择焊接材料熔覆金属的冲击试验温度与冲击吸收能量。

^c 熔化极气体保护焊所用气体，除使用纯 CO₂ 气体外，也可使用混合气体，需经焊接工艺评定后选用。

^d 埋弧焊焊丝及配套焊剂，需经焊接工艺评定后选用。

I. 2. 3. 4 使用的焊丝应确认表面无油污、锈蚀等。焊条、焊剂的烘干、保存应符合下列要求：

- a) 酸性焊条保存应有防潮措施，受潮的焊条使用前应进行 100℃~150℃，1h~2h 的烘焙；
- b) 低氢型焊条和焊剂使用前按产品说明书的要求进行烘焙。焊条烘干后置于温度不低于 120℃ 的烘干箱中存放，在大气中放置时间不应超过 4h，且重新烘焙次数不应超过 1 次，使用时装入温度为 80℃~110℃ 的焊条保温筒内随用随取。已受潮或结块的焊剂严禁使用；
- c) 用于一级、二级焊缝或用于焊接 Q420、Q460 级钢材的焊条和焊剂，烘干后在大气中放置时间要求为：焊条不超过 2h、焊剂不超过 4h。

I. 2. 3. 5 在使用过程中，应保持焊接材料的识别标志，以免发生错用。焊接工作结束后，对满足下列条件的剩余焊接材料应予回收：

- a) 标记清楚；

b) 整洁、无污染。

1.2.3.6 焊剂一般不宜重复使用，同时满足下列要求允许重复使用：

- a) 用过的旧焊剂与同批号的新焊剂混合使用，且旧焊剂的混合比在 50%以下，一般宜控制在 30%左右；
- b) 在混合前，用适当的方法清除了旧焊剂中的熔渣、杂质和粉尘；
- c) 混合焊剂的颗粒度符合要求。

1.3 保护气体

1.3.1 保护气体的入库检验

1.3.1.1 焊接保护气体应满足 GB/T 39255 的要求。

1.3.1.2 对瓶装二氧化碳气体，应按进货批次至少抽检 1 瓶，检验其游离水。若存在游离水，应进行提纯处理，同时对该批二氧化碳气体进行 100%游离水检验。

1.3.1.3 瓶装混合气应在合格证上标明混合气的气体组成，各组分比例。应采用专用的焊接气体混合器制作混合气，混合气体制备公差满足 GB/T 39255 的要求。氩-二氧化碳混合气体应满足 HG/T 3728 的规定。

1.3.1.4 进行入库检验时应核对产品合格证，气体纯度满足要求。

1.3.1.5 验收合格的保护气体，应在气瓶上做出“复验合格”字样的标记。

1.3.2 保护气体的使用

1.3.2.1 焊接保护气体应在焊接工艺评定中进行评定，当变更保护气体的种类或增加混合气体中氧化性气体的比例时，应重新进行焊接工艺评定。

1.3.2.2 焊接用二氧化碳气体含量应大于或等于 99.8%，氧气含量应大于或等于 99.5%，氩气纯度应大于或等于 99.99%。

1.3.2.3 焊接用瓶装二氧化碳气体在使用前应进行游离水抽检，游离水测定方法为：将钢瓶倒置 10min，微开瓶阀，应无游离水流出。否则应按下述方法进行提纯处理：

- a) 将钢瓶倒置 30min，打开瓶阀放水 1 次，重复 2-3 遍，直至无游离水流出，然后将钢瓶放正；
- b) 放水后的气体在使用前放气 3min。

1.3.2.4 使用中，二氧化碳气瓶中气压低于 0.98MPa 时，氩-二氧化碳混合气瓶中气压低于 0.05MPa 时，氩气瓶中气压低于 0.2MPa 时，不得继续使用。

1.3.2.5 瓶装气体所用的气瓶、橡胶软管、气体使用等应符合 GB 9448 等标准及安全要求。采用管道进行集中供气时，供气系统、管路系统、气体贮存场所应满足设计及安全要求。二氧化碳管道供气系统应串接高压干燥器和低压干燥器。