

ICS 29.240

F 20

T/CEC

中国电力企业联合会标准

T/CEC 137—2017

输电线路钢管塔加工技术规程

The manufacturing code for transmission line steel tubular tower

2017-05-15 发布

2017-08-01 实施

中国电力企业联合会 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	3
4 一般规定	3
5 材料与零件	3
6 制作与装配	4
7 焊接	11
8 试组装与试拼装	18
9 防腐	21
10 紧固件	22
11 检验	23
12 包装、标记、贮存和运输	28
13 技术资料	30
附录 A (规范性附录) 输电线路钢管塔用法兰技术条件	31
附录 B (规范性附录) 输电铁塔用 8.8 级、10.9 级热浸镀锌螺栓及配套螺母技术条件	38
附录 C (规范性附录) 薄壁管对接焊缝超声波检测与质量评定	39

前 言

本标准依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出并归口。

本标准负责起草单位：山东电工电气集团有限公司。

本标准参加起草单位：国家电网公司基建部、国家电网公司交流建设部、北京国网富达科技发展有限公司、国家电网公司交流建设分公司、电力规划设计总院、中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司、电力工业铁塔质量检验检测中心、国网山东省电力公司电力科学研究院、中国电力科学研究院、浙江盛达铁塔有限公司、常熟风范电力设备股份有限公司、青岛武晓铁塔有限公司、江苏电力装备有限公司、江苏健德铁塔有限公司、潍坊五洲鼎益铁塔有限公司。

本标准主要起草人：徐德录、葛兆军、张强、陈海波、常建伟、李峰、刘蔚宁、张磊、杨靖波、董建尧、李进春、张忠文、聂任员、张东英、舒芳、顾小蕾、匡明照、谢毅、于忠秀、任吉华。

本标准首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

输电线路钢管塔加工技术规程

1 范围

本标准规定了输电线路钢管塔加工过程中的材料与零件、制作与装配、焊接、试组装与试拼装、防腐、检验、包装、标记、贮存和运输等方面的要求。

本标准适用于输电线路钢管塔在制造方厂内的加工、检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 41 1 型六角螺母 C 级
- GB/T 93 标准型弹簧垫圈
- GB/T 95 平垫圈 C 级
- GB/T 470 锌锭
- GB/T 222 钢的成品化学成分允许偏差
- GB/T 223 钢铁及合金
- 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 700 碳素结构钢
- GB/T 702 热轧钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 706 热轧型钢
- GB/T 709 热轧钢板和钢带尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 908 锻制钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
- GB/T 985.2 埋弧焊的推荐坡口
- GB/T 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 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 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- 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 金属熔化焊焊接接头射线照相
- GB/T 3524 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢带
- 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 4842 氩
- 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 5267.3 紧固件 热浸镀锌层
- GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 5780 六角头螺栓 C级
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定法
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
- GB/T 8162 结构用无缝钢管
- GB/T 8541 锻压术语
- GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法
- GB/T 10045 碳钢药芯焊丝
- 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与控制方法
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 12470 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂
- GB/T 13912 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法
- GB/T 17493 低合金钢药芯焊丝
- GB/T 29712 焊缝无损检测 超声检测 验收等级
- 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
- DL/T 675 电力工业无损检测人员资格考核规则
- DL/T 819 火力发电厂焊接热处理技术规程
- DL/T 820—2002 管道焊接接头超声波检验技术规程
- HG/T 2537 焊接用二氧化碳
- HG/T 3728 焊接用混合气体 氩-二氧化碳
- JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
- JB/T 8428 无损检测 超声试块通用规范
- 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 10045.3 热切割 气割质量和尺寸偏差
- JB/T 10045.4 热切割 等离子弧切割质量和尺寸偏差
- JB/T 10061 A型脉冲反射式超声波探伤仪 通用技术条件
- JB/T 10062 超声探伤用探头 性能测试方法
- NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
- 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
- YB/T 004 初轧坯和钢坯技术条件
- YB/T 2011 连续铸钢方坯和矩形坯
- YB/T 4149 连铸圆管坯
- T/CEC 136 输电线路钢管塔用直缝焊管

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

零件 part

组成钢管塔的最小单元，如法兰、紧固件、钢管、加劲板、连接板等。

3.2

构件 component

由若干零件组成的钢管塔基本单元，如钢管和法兰组成的焊接件、钢管与插板组成的连接件等。

3.3

装配 assembling

按照规定的精度和技术要求，将零件连接或固定在一起使之成为构件的过程。

3.4

过焊孔 weld access hole

在构件焊缝交叉的位置，为保证主要焊缝的连续性，并有利于焊接操作的进行，在相应位置开设的焊缝穿越孔。

3.5

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装配。

3.6

热浸镀锌 hot dip galvanizing

将经过前处理的塔材浸入熔融的锌液中，在其表面形成锌和（或）锌-铁合金层的工艺过程和方法。

3.7

钢管塔 steel tubular tower

主材用圆形钢管构件，斜材（或辅助材）用钢管或圆钢、型钢等构件组成的空间塔架（桁架）结构。

3.8

直缝焊管 steel pipe with a longitudinal weld

采用高频电阻焊或电弧焊工艺生产的，具有纵向焊缝的圆形截面的等直径钢管。

4 一般规定

4.1 输电线路钢管塔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。当需要修改设计文件时，应征得设计单位的同意，并签署设计变更文件。

4.2 制造输电线路钢管塔的材料与零件应有质量合格的证明书文件，钢管塔制造方应按合同或相应标准的规定进行入厂复检，合格后方可使用。采用进口钢材，应符合设计和合同规定标准的要求。

4.3 输电线路钢管塔加工中涉及角钢的加工技术要求，本标准未规定的，应按 GB/T 2694 执行。

4.4 输电线路钢管塔加工应遵循安全可靠、经济适用的理念，积极采用新技术、新工艺、新设备，当缺乏实践经验时，应经过试验验证。

4.5 输电线路钢管塔加工除应满足本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

5 材料与零件

5.1 钢材

输电线路钢管塔常用钢管、角钢、钢板、钢带及圆钢等的材质应符合表 1 中相应标准的规定。

表 1 输电线路钢管塔常用钢材的种类、材质

钢材种类	标准号及名称
无缝钢管	GB/T 8162 结构用无缝钢管
直缝焊管	T/CEC 136 输电线路钢管塔用直缝焊管
角钢	GB/T 706 热轧型钢
钢板、钢带	GB/T 700 碳素结构钢
	GB/T 1591 低合金高强度结构钢
	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 3524 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢带
	GB/T 709 热轧钢板和钢带尺寸、外形、重量及允许偏差
	GB/T 5313 厚度方向性能钢板
圆钢	GB/T 702 热轧钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差
	GB/T 908 锻制钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差

5.2 法兰

输电线路钢管塔用法兰应满足附录 A 的要求。采用钢板割制加工板式平面法兰时，钢板应经超声波检测，无分层缺陷，当所用钢板厚度大于或等于 40mm 时，应采用满足 GB/T 5313 要求的厚度方向性能钢板。

5.3 紧固件

输电线路钢管塔用紧固件包括螺栓、螺母、垫圈、防松螺母、防卸装置、脚钉等。螺栓、螺母应满足 GB/T 3098.1、GB/T 3098.2、DL/T 284 及本标准的要求，对 8.8 级及以上性能等级的螺栓及配套螺母，还应满足附录 B 的要求。

5.4 焊接材料

输电线路钢管塔用焊条、气体保护焊焊丝、埋弧焊焊丝和焊剂应分别满足 GB/T 5117、GB/T 8110、GB/T 10045、GB/T 17493、GB/T 5293、GB/T 12470 等相关标准的要求。

5.5 锌锭

热浸镀锌用锌锭的质量要求、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。

5.6 材料与零件的可追溯要求

制造方应编制材料与零件的可追溯管理办法，对一级、二级焊缝用钢管、法兰、钢板、角钢应全程追溯到塔位。

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，钢管交叉相贯施焊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流锌孔和过焊孔；焊接时，若形成大于 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ 的密闭腔，应开设镀锌通气孔，不宜在主要承载构件上开设镀锌通气孔或流锌孔。开设镀锌通气孔、流锌孔、过焊孔，均应征得设计单位同意。

6.1.3 加劲板与板式平面法兰、连接板焊接处有可能产生十字焊缝的部位，征得设计单位同意后，可考虑将加劲板切角。

6.1.4 流锌孔、过焊孔的加工或加劲板切角，可采用直线或弧形切角，切角尺寸应能保证可以实现钢板焊接封头为宜。镀锌工艺孔与过焊孔可共通，也可单独开设，但宜保证主焊缝贯穿及实现端部的封闭焊接和锌液的流出。

6.1.5 当结构上存在异面角使得构件之间有 2mm 以上的间隙时，放样时应考虑进行火曲、开角或合角处理，此时若将非焊接件修改为焊接件（割缝或割豁口），应征得设计单位同意后方可进行。

6.1.6 放样时，应考虑连接板与构件装配，不应出现压焊缝的现象，构件端头距焊缝边缘宜为 $5\text{mm}\sim 10\text{mm}$ 。

6.1.7 爬梯、走道等附属设施与塔体连接时，螺栓孔可采用长条孔，孔长宜为孔径的 2 倍。

6.1.8 样板的尺寸、样板上任意两孔的孔距及孔中心允许偏差均不应超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

6.1.9 放样图纸中应标记出法兰的安装方向。

6.2 制作

6.2.1 零件加工允许偏差、钢板及圆钢加工端面倾斜允许偏差、钢管下料端面倾斜允许偏差和角钢清根允许偏差、铲背及坡口加工允许偏差应分别满足表 2~表 5 的规定要求。

6.2.2 切割前，应将钢材表面切割区域内的铁锈、油污等清理干净。根据零件的材质、形状、厚度，合理选择锯切、剪切、氧-乙炔切割、等离子切割等方式。允许剪切的厚度及冷加工最低环境温度见表 6。在严寒地区使用的塔材应严格控制冷剪切厚度，必要时应对切割面进行检查、修磨。切割环形板、变坡连接板等异形件宜优先采用数控切割机，切割相贯线宜采用数控相贯切割机。

表 2 零件加工允许偏差

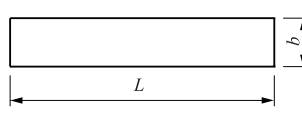
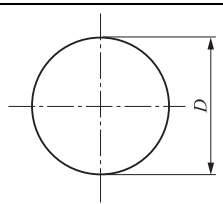
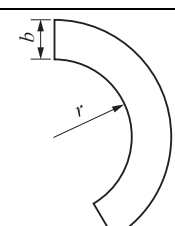
序号	项目	允许偏差 mm		示意图	
1	零件基本尺寸	长度 L	对接形式	± 1.5	
			其他形式	± 2.0	
		宽度 b		± 2.0	
2	圆盘	直径 D	$\pm D/100$, 且 $\left \frac{D}{100} \right \leq 3.0$		
3	环形板	弧长 l	0 -2.0		
		宽度 b	± 2.0		
		内圆半径 r	+2.0 0		

表 3 钢板及圆钢加工端面倾斜允许偏差

序号	钢板厚度 t mm	圆钢直径 d mm	允许偏差 P mm	示意图
1	$t \leq 20$	$d \leq 95$	1.0	
2	$20 < t \leq 36$	$95 < d \leq 180$	1.5	
3	$t > 36$	$d > 180$	2.0	

表 4 钢管下料端面倾斜允许偏差

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	
4	$D > 508$	2.5	

表 5 角钢清根、铲背及坡口加工允许偏差

项 目		允许偏差 mm	示意图
角钢清根 h	$d \leq 10$	+0.8 -0.4	
	$10 < d \leq 16$	+1.2 -0.4	
	$d > 16$	+2.0 -0.6	
角钢铲背	圆弧半径 R_1	+2.0 0	
	长度 L_1	+5.0 -2.0	
坡口加工	坡口面角度 α	$\pm 5^\circ$	
	钝边 C	± 1.0	

6.2.3 切割后的断面上不得有裂纹和大于 1.0mm 的缺棱，并应清除边缘上的熔瘤和飞溅物等，氧-乙炔切割、等离子切割质量应分别满足 JB/T 10045.3、JB/T 10045.4 中 I 级切割面质量要求。必要时，对切割边缘部位、剪切边毛刺、撕裂棱进行修磨。

6.2.4 钢管开槽宜优先采用专业开槽机或数控切割机，采用冲裁模具定位冲压开槽时，应采取措施，使得开槽根部圆滑过渡，并避免产生裂纹；开槽厚度及开槽最低环境温度应满足表 6 的要求；也可采用手工火焰或等离子切割方式，通过靠模定位切割开槽。

6.2.5 在钢管上开槽应尽量避开钢管纵向焊缝，切割面应平直，避免根部过切割。钢管开槽允许偏差应满足表 7 的要求。

6.2.6 U 形插板、C 形插板的弯曲宜采用热弯工艺，热弯温度控制在 $800^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ ，然后自然冷却。热弯前，应进行验证性试验，确保材料的性能在热弯后满足要求。采用冷弯工艺时，其工件厚度、冷

弯温度、弯曲半径应满足表 8 的规定。

表 6 允许剪切、冲孔最大厚度及冷加工最低环境温度

材质	剪切最大厚度 mm		冲孔最大厚度 mm		冷加工允许最低环境温度 ℃		
	非严寒地区	严寒地区 ^a	非严寒地区	严寒地区 ^a	剪切和冲孔	冷矫正	冷弯曲
Q235	24	20	16	12	-5	-10	-10
Q345	20	16	14	10	0	-5	-5
Q390	16	10	12	8	0	-5	-5
Q420	14	10	12	不允许	5	0	5
Q460	12	8	不允许	不允许	5	0	5

^a 严寒地区是指钢管塔工作场地累年最低日平均气温低于-20℃的地区。

表 7 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 Δl	0 +4	
2	开槽宽度 Δb	0 +2	
3	开槽倾角 β	$\leq 1^\circ$	
4	开槽偏移 p	≤ 2	
5	开槽中线偏斜 e	≤ 2	

表 8 钢板冷弯条件

钢材牌号	冷弯最低环境温度 ℃	弯曲半径 $R^{a, b}$	
		$t \leq 16\text{mm}$	$t > 16\text{mm}$
Q235	-10	$\geq 2t$	$\geq 3t$
Q345	-5		
Q420	5		
Q460	5		

注： t 为钢板厚度。

^a 当弯曲条件超出表中条件时应进行热弯曲。
^b 当确保冷弯曲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%。

6.2.7 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。

6.2.8 弯曲后，弯曲边缘应圆滑过渡，弯曲面不应有裂纹和明显的褶皱、凹面和损伤，划痕深度不应大于 0.5mm。弯曲零件的孔位误差不大于 1mm。

6.2.9 制孔可采用冲孔、钻孔的方式，不同材质允许冲孔的最大厚度见表 6。在严寒地区使用的塔材应严格控制冲孔厚度，采取措施控制冲孔面翘曲、孔内壁出现撕裂，并打磨所有孔周边毛刺。所有挂线孔应钻孔加工。不应采用火焰或等离子切割方式加工螺栓孔。

6.2.10 制孔后零件不得有明显变形，孔周围表面不得有明显的凹面缺陷，大于 0.3mm 的毛刺应清除。

制孔允许偏差应满足表 9 的规定。

6.2.11 钢板制弯裂纹、钢管开槽错误、错孔等不允许补焊修理。

6.3 矫正

6.3.1 热浸镀锌前的钢管塔塔身、横担主材不得冷矫正，其他构件弯曲度小于 10° 时，可以进行冷矫正。当环境温度低于 0°C 时，Q420 及以上等级钢材不得进行冷矫正；当环境温度低于 -10°C 时，所有材料不得进行冷矫正。

6.3.2 热矫正前，应进行验证性试验，确定热矫正工艺，编制热矫正工艺指导书。

6.3.3 进行热矫正时，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。

表 9 制孔允许偏差

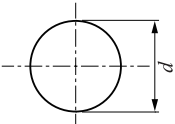
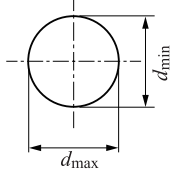
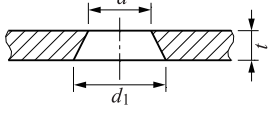
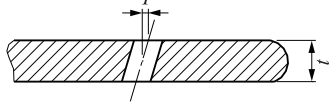
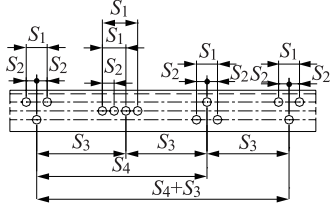
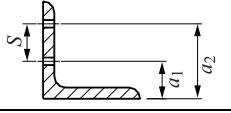
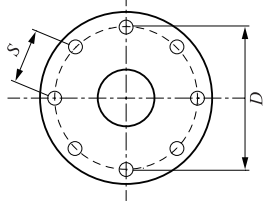
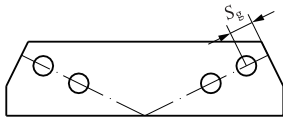
序号	项 目	允许偏差 mm	示意图
1	公称直径 d^a	+0.8 0	
2	圆度 $d_{\max} - d_{\min}$	≤ 1.2	
3	孔上下直径差 $d_1 - d^b$	$\leq 0.12t$	
4	孔垂直度 P	$0.03t$ 且不大于 2.0	
5	同组内不相邻两孔距离 S_1	± 1.0	
	同组内相邻两孔距离 S_2	± 0.5	
	相邻组两孔距离 S_3	± 1.0	
	不相邻组两孔距离 S_4	± 1.5	
6	准距 a_1 、 a_2	± 1.0	
7	排间距 S	± 1.0	
8	连接法兰孔间距离 S	± 0.5	
	连接法兰孔中心直径 D	± 1.0	
9	地脚法兰孔间距离 S	$D \leq 1500$	
		$D > 1500$	± 2.0
	地脚法兰孔中心直径 D	± 2.0	

表 9 (续)

序号	项 目	允许偏差 mm	示意图
10	边距 S_g	± 1.5	
注: t 为材料厚度。			
a 公称直径偏差在镀锌前测量。 b 冲孔孔径的测量位置应在其小径所在平面。			

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。

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得破坏镀锌层。

6.4 装配

6.4.1 钢管构件宜采用专用的装配设备或工装、模具进行装配, 相同构件的装配基准应一致, 装配位置尺寸确定后, 宜采用定位焊方式进行固定。定位焊宜在工作台上进行, 工作台应有足够的刚度, 以保证装配精度和互换性。

6.4.2 连接板与环形板装配时, 宜使用靠模进行定位。环形板与钢管及连接板之间应留有适当的间隙。环形板拼接应平整。

6.4.3 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 1/2, 且满足焊缝尺寸要求。

6.4.4 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, 不应在焊接件装配间隙或坡口内嵌入填塞物焊接。

6.4.5 构件装配允许偏差应符合表 10 的规定。下料尺寸偏大的构件, 不应强行装配或随意切割。

表 10 构件装配允许偏差

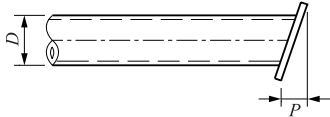
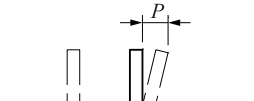
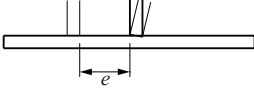
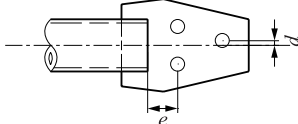
序号	项 目		允许偏差 mm	示意图
1	法兰面对轴线倾 斜度 P	$D < 1500$	1.5	
		$D \geq 1500$	2.0	
2	连接板位移 e	有孔	1.0	
		无孔	3.0	
3	连接板倾斜度 P	有孔	1.0	
		无孔	3.0	
4	螺栓孔中心与杆件准线允许偏差 d (不包括地脚螺栓孔)		1.0	
	根部螺栓孔中心与管端距离 e		± 2.0	

表 10 (续)

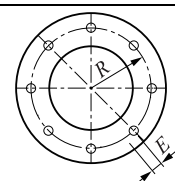
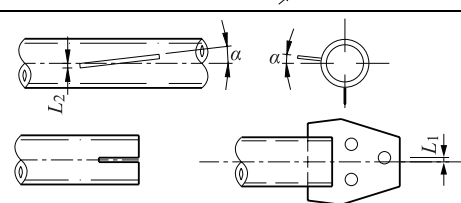
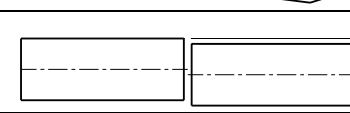
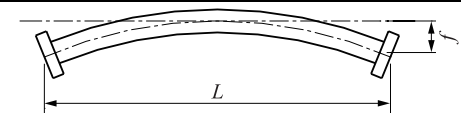
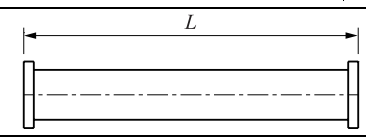
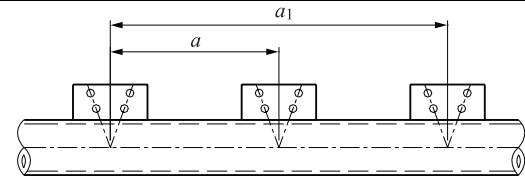
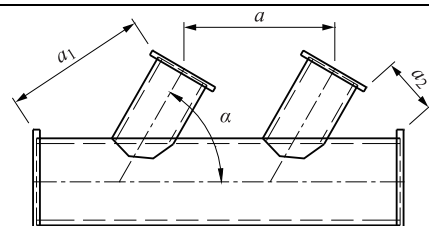
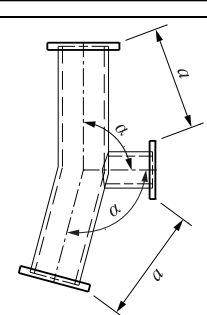
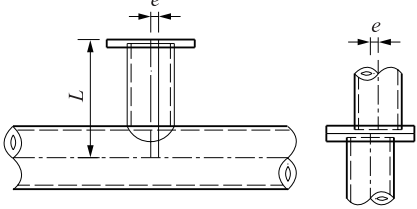
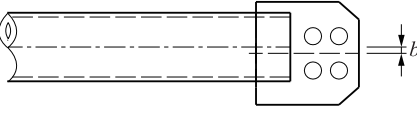
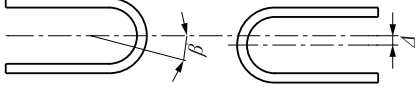
序号	项目		允许偏差 mm	示意图
5	法兰盘旋转变位 E		± 1.0	
	法兰装配偏心		± 1.0	
6	各种连接板安装角度 α		0.5°	
7	各种连接板最大偏移 L_2		± 2.0	
8	肋板最大偏移 L_1		± 2.0	
9	各种开口中心线的偏移		± 1.0	
10	对接接头错边 δ		$t/10$ 且 ≤ 2.0	
11	直线度 f		$L/1500$ 且 ≤ 5.0	
12	构件长度 L	$L < 6m$	± 1.5	
		$L > 6m$	± 2.0	
13	相邻两组连接板间距 a		± 1.0	
14	不相邻两组连接板间距 a_1		± 1.5	
15	相贯连接	主管与支管之间的角度 α	$\pm 0.5^\circ$	
16		主管与支管法兰距离 a_1 、 a_2	± 1.5	
17		主管纵中心线方向上支管法兰距离 a	± 2.0	
18	相贯连接	变坡部位主管与支管法兰距离 (同侧距离要求同时加大或减小) a	± 2.0	
19		相贯连接	主管左右两侧支管法兰距离 a	± 2.0

表 10 (续)

序号	项目		允许偏差 mm	示意图
20	相贯连接	支管偏移 e	± 2.0	
21		支管长度 L	± 1.5	
22	腹管插板中心偏移 b		± 1.0	
23	U形插板与钢管装配	装配偏移 Δ	1.0	
		倾角 β	1°	
注 1: 表中 t 为焊件厚度。 注 2: 表中 L 为构件长度。				

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应结合焊接方法、焊件厚度、焊接材料、接头形式、焊接位置、焊后热处理制度及焊接工艺参数、预热和后热措施等组合条件,按照 GB 50661 进行焊接工艺评定。

7.1.2 焊接作业人员

7.1.2.1 承担钢管塔加工的焊接技术管理人员、焊工和焊机操作工、无损检测人员均应经过专门的培训,取得资格证书。进行薄壁管对接焊缝超声波检测的人员,还应取得专项作业资格证书。

7.1.2.2 焊接热处理人员、焊接质量检查人员应经专门培训,其中,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。

7.1.2.3 焊接作业人员从事的工作项目应与其作业资格相匹配。

7.1.3 焊接作业文件

7.1.3.1 钢管塔制造方应针对钢管塔加工项目,编制焊接工艺方案,针对特殊焊接结构,编制专门的技术措施或焊接技术方案。

7.1.3.2 钢管塔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指导书、焊接工艺卡。

7.1.3.3 当需要进行焊接热处理时,应根据焊接工艺评定报告和焊接工艺指导书,结合产品特点、生产条件编制焊接热处理工艺卡。

7.1.3.4 钢管塔一级焊缝应有唯一性标识,焊工、检验人员及使用的焊接材料、直缝焊管、法兰应有可

追溯性记录。

7.1.4 焊接材料

7.1.4.1 钢管塔制造方应建立健全焊接材料的采购、入库、贮存、领用、回收等管理制度。焊接材料的采购、验收、保管及使用过程的管理应执行 JB/T 3223 的规定，并有详细记录。

7.1.4.2 焊接用气体应满足表 11 的要求，气体的存储、使用应满足安全要求。

7.1.4.3 使用的焊丝表面应确认无油污、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) 低氢型焊条使用前应进行 300℃~430℃、1h~2h 的烘焙，或按照厂家提供的说明书的要求进行烘焙。烘干后的低氢型焊条应保存在温度不低于 120℃ 的保温箱内待用，使用时应放置于保温筒中，随用随取。烘干后的低氢型焊条在大气中放置时间不应超过 4h，用于一级、二级焊缝或用于焊接 Q420、Q460 级钢材的焊条，烘干后在大气中放置时间不应超过 2h。否则，使用时应重新烘焙，重新烘焙次数不应超过 1 次。
- c) 焊剂使用前应按厂家推荐的温度进行烘焙，已受潮或结块的焊剂严禁使用；用于一级、二级焊缝或用于焊接 Q420、Q460 级钢材的焊剂，烘干后在大气中放置时间不应超过 4h。

表 11 焊接用气体标准

气 体 种 类	执 行 标 准
氩 (Ar)	GB/T 4842
二氧化碳 (CO ₂)	HG/T 2537
Ar+CO ₂	HG/T 3728

7.1.4.4 焊接材料选用应遵循以下原则：

- a) 应选用与钢材相匹配的焊接材料，并根据钢材的化学成分、力学性能、使用工况条件和焊接工艺评定结果选用。
- b) 同种钢材焊接材料的选择应满足：力学性能应与母材相当；焊接工艺性能良好；有特殊性能要求时，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。

7.1.5 焊接与检测设备

7.1.5.1 焊接、热处理设备、专用工装及定位平台等应维护保养，保持运行状况良好，其运行精度能够保证焊接加工质量要求。设备上的仪表应定期检查，需要计量的部分应定期检定。

7.1.5.2 焊接检测设备、仪器、计量器具应完好，并按规定进行校准、检定。

7.2 焊缝等级及布置

7.2.1 应按图纸、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，焊缝质量等级规定如下：

- a) 钢管环向对接焊缝、连接挂线板对接焊缝应满足一级焊缝质量要求。
- b) 横担与主管连接焊缝、钢管与连接板连接的焊缝、钢管与插板连接的外侧焊缝、管与管相贯连接的焊缝、钢管与带颈平焊法兰连接的角焊缝、钢管与板式平面法兰连接的环向角焊缝应满足二级焊缝外观质量要求。
- c) 其他焊缝应达到三级焊缝的质量要求。

7.2.2 钢管塔塔身或横担主管的纵向焊缝宜布置在结构断面对角线的外侧方向。

7.2.3 应尽可能避免出现交叉十字焊缝、重叠焊缝。

7.2.4 焊缝布置应考虑能够实施焊接作业。

7.3 坡口制备及组对

7.3.1 坡口制备

7.3.1.1 焊缝坡口形式和尺寸，应以 GB/T 985.1、GB/T 985.2 的有关规定为依据来设计，对有特殊要求的坡口形式和尺寸，应依据图纸并结合焊接工艺评定确定。

7.3.1.2 焊件下料切割与坡口加工应符合下列要求，各项检验合格后方可组对：

- a) 焊件下料切割与坡口加工应优先采用机械加工，也可选用自动或半自动火焰切割或等离子电弧切割、手工切割、碳弧气刨等进行切割、刨槽。
- b) 应保证焊缝坡口处平整、无毛刺，坡口两侧不得有氧化皮、锈蚀、油污等，不得有裂纹、气割熔瘤等缺陷。对于 Q420 及以上等级钢材，切割后应打磨坡口以除去淬硬层。
- c) 坡口尺寸及偏差符合图纸要求。

7.3.2 组对

7.3.2.1 组对前应综合考虑焊缝的布置位置，钢管的纵向焊缝宜上下对齐，同时应尽量避免焊件（如劲板、附件等）出现交叉十字焊缝、重叠焊缝等。

7.3.2.2 焊件在组对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、氧化皮等清理干净，直至出现金属光泽，清理范围如下：

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

7.3.2.3 焊件组对时要使用适当的夹具或工装，部分焊透的角接焊应使焊件贴紧，对接焊缝的坡口钝边厚度不宜超过 2mm，间隙则以在保证焊透的前提下较小为宜。组对时应避免错边，可采用反变形措施，以保证焊后构件偏差满足要求。

7.4 焊接环境及焊接工艺

7.4.1 焊接环境

焊接作业场所出现以下情况时应采取措施，否则不允许施焊：

- a) 焊条电弧焊或药芯焊丝自保护焊时焊接作业区风速超过 8m/s，气体保护电弧焊时焊接作业区风速超过 2m/s。
- b) 相对湿度大于 90%。
- c) 焊接 Q345 以下等级钢材时，环境温度低于 -10°C ；焊接 Q345 钢时，环境温度低于 0°C ；焊接 Q345 以上等级钢材时，环境温度低于 5°C 。

7.4.2 预热

7.4.2.1 当厚度超过一定尺寸或焊接环境温度低于 7.4.1 的要求时，应进行预热，其加热方法、加热宽度、保温、测温要求等按 DL/T 819 的相关规定执行。

7.4.2.2 推荐常用钢材焊接的预热温度见表 12。不同强度等级钢材焊接时，应按预热温度高的一侧进行预热；主管与支管焊接时，应按主管要求进行预热。

表 12 钢材焊接预热温度

钢材	不同母材厚度 t 的预热温度 ℃			
	$t \leq 20\text{mm}$	$20\text{mm} < t \leq 38\text{mm}$	$38\text{mm} < t \leq 65\text{mm}$	$t > 65\text{mm}$
Q235	—	—	50	80
Q345	—	25	75	100
Q420	25	75	100	125
Q460	50	75	100	125

7.4.3 焊接工艺

7.4.3.1 永久性熔入正式焊缝的定位焊缝，除其焊工、焊接材料、焊接工艺和质量要求应与正式焊缝相同外，还应满足下列要求：

- 在坡口根部采用焊缝定位时，焊后应检查各个定位焊点质量，如有缺陷应清除，必要时应重新进行定位焊。
- 定位焊高度不宜超过正式焊缝高度的 $2/3$ ，通常为 $3\text{mm} \sim 6\text{mm}$ ，定位焊缝长度宜为 $20\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 。应视焊缝长度确定定位焊点数。定位焊点应均匀分布，其间距不宜超过 400mm ，且至少有 2 点。
- 定位焊的引弧和熄弧应在焊件坡口内完成。
- 环境温度低于 5°C 焊接低合金钢，其定位焊缝的厚度可增加至 8mm ，长度范围为 $60\text{mm} \sim 80\text{mm}$ 。
- 定位焊的预热温度应比正式焊接时的预热温度高约 20°C 。

7.4.3.2 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 。

7.4.3.3 焊接时，不应在被焊接工件表面引燃电弧。焊道收弧时应将熔池填满，多层多道焊接时，应逐层清理并自检合格后方可焊接次道焊缝。多层多道的焊接接头应错开 30mm 以上。

7.4.3.4 应采取措施控制焊接变形，宜采用调整焊接工艺参数或安排合理的焊接顺序的方法，也可采用反变形、刚性固定等方法。控制变形时，应避免产生焊接裂纹。

7.4.3.5 焊接完毕后，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。

7.4.3.6 焊接后应采用机械方式或气割等方法去除引弧板、引出板、支撑件等临时焊件。采用气割方法时应在离工件表面 3mm 以上处切除，去除后应将残留部分打磨修整，并检查表面质量，在去除这些临时焊件时造成的母材损伤应打磨圆滑，打磨后的实测厚度应满足材料的偏差要求，不得补焊修复。

7.4.3.7 当构件的焊接残余应力较大时，应采用适当的方法消除应力。采用热处理方法消除应力时，应按 DL/T 819 的规定执行。

7.4.3.8 焊缝经自检合格后，焊工应打上焊工钢印，或永久性标识。

7.5 焊接检验

7.5.1 外观质量检验

7.5.1.1 外观检验一般采用焊缝检验尺、放大镜等器具用目视检验的方法进行。裂纹的检查应辅以 5 倍以上的放大镜并在合适的光照条件下进行，必要时可进行表面无损检测。

7.5.1.2 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检测（MT）

或渗透检测（PT）的方法，依据 NB/T 47013.4、NB/T 47013.5 的规定进行：

- a) 焊缝外观检查发现裂纹时，应对该批同类焊缝且相同焊工施焊的焊缝进行 100%表面无损检测。
- b) 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。
- c) 设计文件要求进行表面无损检测。
- d) 插入式连接的角焊缝，应进行 100%的表面无损检测。

7.5.1.3 焊缝感观应达到：外形均匀、成型良好，焊道与焊道、焊缝与母材金属间过渡较圆滑，焊渣和飞溅物应清除干净。

7.5.1.4 焊缝外观质量应符合表 13 的规定。

表 13 焊缝外观质量要求

序号	项目	焊缝等级及相应缺陷限值 mm		
		一级	二级	三级
1	根部未焊透 ^a	不允许		见 ^a
2	未焊满 (指不足设计要求)	不允许	$\leq 0.2 + 0.02t$ ，且 ≤ 1.0	$\leq 0.2 + 0.04t$ ，且 ≤ 2.0
			每 100mm 焊缝内缺陷总长小于或等于 25.0	
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	$\leq 0.05t$ ，且 ≤ 0.5 ； 连续长度 ≤ 100 ，且焊缝两侧咬边 总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长	$\leq 0.1t$ ，且 ≤ 1.0 ，长度不限
5	裂纹、弧坑裂纹、 电弧擦伤	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	
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。				
^a 当根部未焊透出现下列情况之一时，为不合格： a) 在焊缝任意 300mm 连续长度中，其累积长度超过 25mm； b) 当焊缝长度小于 300mm，其累计长度超过焊缝总长的 8%。				

7.5.2 焊缝尺寸检验

7.5.2.1 对接焊缝余高应符合表 14 的规定，对接焊缝宽度应符合表 15 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 4.0mm，整个焊缝长度范围内偏差值小于或等于 5.0mm。

7.5.2.2 角接焊缝焊脚尺寸 h_f 值由设计文件注明。设计文件未作规定时，T 形、K 形和 Y 形节点的角焊缝焊脚尺寸应符合表 16 的规定。在有筋板支撑腹板的条件下（如钢管与连接板焊缝，塔脚、变坡节点焊缝等），腹板与翼板组合焊缝的焊脚尺寸不宜超过腹板和翼板较薄板厚度的 1/2（见图 3）。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。但最大不宜大于较薄焊件厚度的 1.0 倍~1.2 倍。

表 14 对接焊缝余高

焊缝等级	焊缝表面宽度 mm	焊缝余高 mm
一级、二级	<20	0~3.0
一级、二级	≥20	0~4.0
三级	<20	0~3.5
三级	≥20	0~5.0

表 15 对接焊缝宽度

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

^a I 形坡口和非 I 形坡口见图 1、图 2。
^b 表中 b 为装配间隙，应符合 GB/T 985.1、GB/T 985.2 要求的实际装配值。g 为坡口面宽度。

7.5.2.3 角焊缝外形尺寸允许偏差应符合表 17 的规定。

7.5.2.4 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，其值应符合表 18 的规定。

7.5.2.5 在焊缝任意 25mm 长度范围内，焊缝余高 C_{max}~C_{min} 的允许偏差值小于或等于 2.0mm，如图 5 所示。

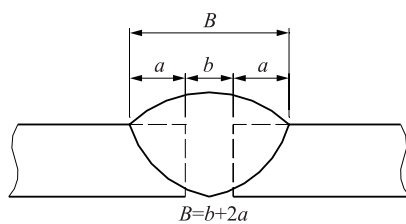


图 1 I 形坡口对接焊缝

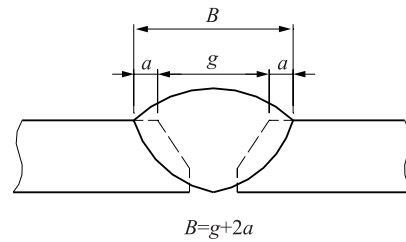


图 2 非 I 形坡口对接焊缝

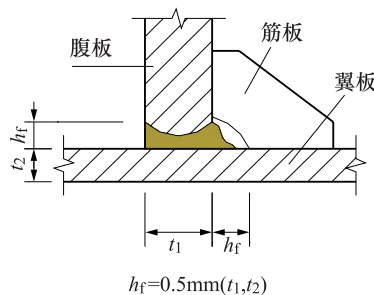


图 3 组合焊缝焊脚尺寸

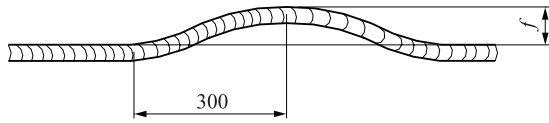


图4 焊缝边缘直线度示意图

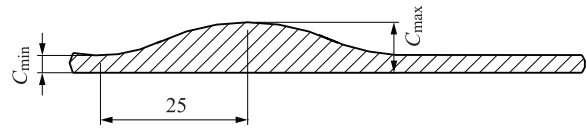


图5 焊缝表面凹凸度示意图

7.5.3 内部质量检验

7.5.3.1 焊接接头内部质量检验应在焊接完成 24h 后进行，如果焊缝需要进行焊后热处理，则内部质量检验应在焊后热处理工作完成之后进行。

7.5.3.2 外观质量检查合格或经修复、修磨合格后，方可进行内部质量检验。

表 16 圆管 T 形、K 形和 Y 形节点的角焊缝焊脚尺寸

两面角 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)

^a 当 $\varphi > 120^\circ$ 时，边缘应切掉，以增加喉部厚度。允许的根部间隙为 0mm~5mm；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。

表 17 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	
		$h_f > 6$	0~3.0	

表 18 焊缝边缘直线度偏差

焊接方法	焊缝边缘直线度偏差值 f mm
埋弧焊	4.0
焊条电弧焊及气体保护焊	3.0

7.5.3.3 设计要求全焊透的一级、二级焊缝一般采用超声波检测的方法进行内部质量检验，当设计文件有要求或进行仲裁时，应采用射线检测的方法进行检验。超声波检测时，对钢管厚度大于 8mm 的对接焊缝按 GB/T 11345 的规定进行检验；对钢管厚度小于或等于 8mm 的对接焊缝按附录 C 进行检验和评定。射线检测按 GB/T 3323 的规定进行。

7.5.3.4 一级、二级焊缝要求进行内部质量检验的比例、评定等级应符合表 19 的规定。要求达到二级焊缝质量要求的角焊缝应进行外观质量检验，满足表 13 的要求。

7.5.3.5 二级焊缝无损检测发现有超标缺陷时，应对该条焊缝进行加倍抽检，如仍不合格，则应对该条焊缝全部进行检验。

表 19 焊缝内部质量检验要求

焊缝质量等级			一级	二级
超声波检测	灵敏度设定	$t > 8\text{mm}$	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 3 级
	检测与评定	$t \leq 8\text{mm}$	附录 C	附录 C
	检测比例 ^a		100%	20%
射线检测	评定等级		GB/T 3323 II 级	GB/T 3323 III 级
	检验等级		GB/T 3323 B 级	GB/T 3323 B 级
	检测比例 ^a		100%	20%

注：t 为母材厚度。
^s 检验比例应按每条焊缝长度计算，且不小于 200mm。

7.6 焊缝修理

7.6.1 对气孔、夹渣、焊瘤或余高过大等表面缺陷，应进行修磨，必要时进行补焊修复。对根部凹陷、弧坑、焊缝尺寸不足、咬边等缺陷，应进行补焊修复。

7.6.2 对裂纹、未熔合等缺陷，应按以下规定修理：

- a) 先清除这些缺陷，必要时用磁粉检测 (MT) 或渗透检测 (PT) 的方法进行检验。
- b) 按拟定的工艺进行补焊修复。

7.6.3 补焊修复前应拟定修复工艺，或制定专项工艺措施，按修复工艺进行补焊修复。如有预热、焊后热处理要求，则应按规定执行。

7.6.4 对有缺陷的焊缝应清除缺陷，可采用碳弧气刨、砂轮或其他机械方法清除缺陷。缺陷清除后，坡口底部应圆滑过渡。采用碳弧气刨应磨去渗碳层。

7.6.5 焊缝同一位置补焊修复次数不应超过 3 次，对于 Q420 及以上等级钢材的补焊修复次数不超过 2 次。对一级焊缝修复应有记录。

7.6.6 补焊后，应打磨已完成的返修焊缝，形成光滑的焊缝并与邻近的母材表面平齐。

7.6.7 补焊修理后的焊缝应按原方法，依据同样的技术和质量判据进行检验。

8 试组装与试拼装

8.1 一般要求

8.1.1 试组装前应制订试组装方案，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 当分组多段组装时，一次组装的段数不应少于三段，其中，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。

8.1.3 试组装前各构件的加工已经完成并检验合格，若发现构件变形或弯曲，应对超标的构件进行矫正，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，螺栓数量应能保证构件的定位需要，不少于该组螺栓孔总数的 75%，且不少于 3 个。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或专项要求。

8.1.6 每种塔型抽取 1 基铁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。

8.1.7 爬梯、走道等附属设施应在铁塔试组装时进行试组装，相同结构上的附属设施可抽取 1 组进行试组装。

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 试组装检验所用检测仪器应经过检定合格，并在有效期内，试组装检验应有检验记录。

8.1.11 在批量生产过程中，应对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试拼装，包括但不限于：开合角件、组合焊接件、接头件（如十字板、U 形板、法兰盘等）、变坡连接处、多层螺栓连接件等。

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 立式试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 分段组装时，每一试组装段应按表 20 中 8~13 项进行检验。

8.2.7 塔脚不在同一平面时，应安装假腿进行试组装检验。

表 20 试组装允许偏差

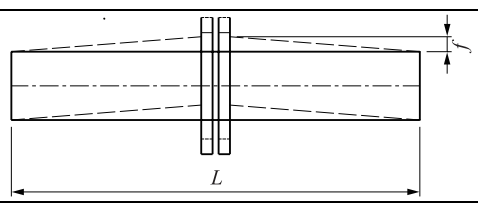
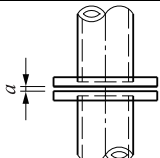
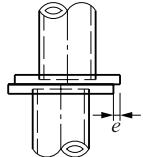
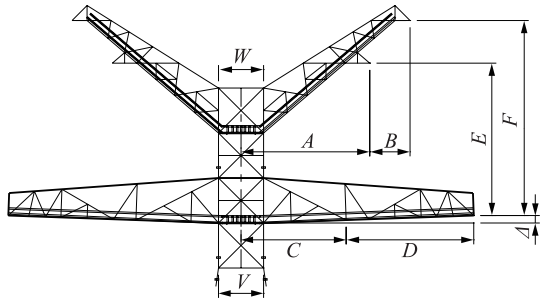
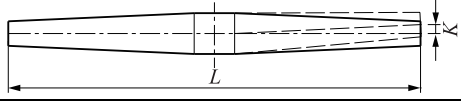
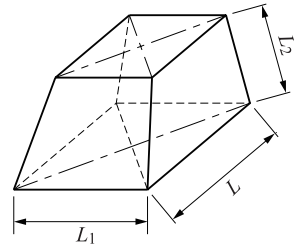
序号	项目	允许偏差 mm	示意图
1	直线度 f	$\leq L/1000$	
2	法兰连接的局部间隙 a	≤ 2.0	

表 20 (续)

序号	项目	允许偏差 mm	示意图	
3	法兰对口错边 e	≤ 2.0		
4	挂线点之间水平距离	$A、B、C、D$		
	挂线点之间垂直距离	$E、F$		
5	横担预拱 Δ	卧式		+20 0
		立式		+20 $-15 \Delta/100$
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	$\leq 5L/1000$, 且 ≤ 10.0		
8	结构平面扭曲	≤ 10.0		
9	根开尺寸 L	$\leq L/2000$, 且不大于 10		
10	根开对角线 L_1	$\leq L_1/2000$		
11	节点间主材弯曲 L_2	$L_2 / 1000$		
12	垂直度偏差	$\leq 0.8H/1000$		
13	连接局部间隙	≤ 2.0		
14	U 形板与钢管装配焊后开口尺寸	0 +4		—

注 1: L 为构件长度。
注 2: H 为组装段高度。

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，支撑点的位置应在节点附近，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，以及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% 的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 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。

8.4 试组装质量检验

8.4.1 构件、螺栓就位情况对照图纸用目测检验。主要控制尺寸按图纸规定的尺寸用钢卷尺检验。法兰连接间隙用塞尺测量。

8.4.2 结构面平面扭曲用线绳和钢板尺检验，根开尺寸及根开对角线尺寸，以及横担挂点垂直距离、

横担挂点水平距离等用钢卷尺检测。

8.4.3 采用立式试组装时，整塔的直线度采用经纬仪检测。

8.4.4 螺栓孔同心度用试孔器检测，其抽样与判定要求为：塔数样本数为 1 基， $A_c=0$ ， $R_c=1$ 。其中， A_c 为接收数， R_c 为拒收数。

8.4.5 试组装后，控制尺寸应符合设计图纸要求，允许偏差符合表 20 的规定。

8.4.6 试组装塔每个节点至少应安装 1 只经放样确认的标准螺栓，并做好标识。

8.4.7 试组装中发现的构件干涉不得随意切割，发现孔位偏差的构件不得热切割扩孔。

9 防腐

9.1 一般要求

9.1.1 钢管塔构件的防腐应采用热浸镀锌法，热浸镀锌工艺应满足相关标准要求。

9.1.2 热浸镀锌所用锌锭质量等级应不低于 GB/T 470 中表列牌号 Zn99.95。

9.1.3 工件在镀锌前应除油、除漆，清除尖角、毛刺，必要时应对火焰切割的表面进行打磨。

9.1.4 工件在酸洗后，应检查工件的酸洗质量。

9.1.5 镀锌层的附着量和厚度：被镀件厚度小于 5mm 时，锌附着量应大于或等于 460g/m^2 ，锌层厚度应大于或等于 $65\mu\text{m}$ ；被镀件厚度大于或等于 5mm 时，锌附着量应大于或等于 610g/m^2 ，锌层厚度应大于或等于 $86\mu\text{m}$ 。

9.1.6 镀锌后应检验构件的变形，每根构件的弯曲变形应不超过 $L/1500$ （ L 为构件长度），且不大于 5mm，否则，应通过机械方法进行冷矫正。

9.1.7 严禁对热浸镀锌后的构件再切割或开孔。

9.1.8 对漏镀、运输和安装中少量损坏部位，可采用干膜锌粉含量大于 70% 的环氧富锌涂料修复。修复层厚度应比要求镀锌层的最小厚度大 $30\mu\text{m}$ 以上，单个修复面积应小于或等于 10cm^2 ，修复总面积不大于构件总表面积的 0.3%，清除表面污垢后方可进行修复作业。

9.2 镀锌质量检验

9.2.1 镀锌层外观质量用目视方式检查，其外观质量除应满足 GB/T 13912 的规定外，还应符合下列规定：

- a) 表面应平滑，无滴瘤和可造成伤害的锌刺。
- b) 无起皮，无残留的溶剂渣，在构件外表面不应有锌瘤和锌灰。
- c) 安装的贴合面、螺栓孔内应无影响安装质量的积锌。
- d) 无漏镀、无锌层脱落。

9.2.2 镀锌层厚度用金属涂层测厚仪进行检测，钢管构件在两端（离边缘距离不小于 100mm）和中间任意位置各环向均匀测量 4 点，取 12 点的算术平均值作为该构件的锌层厚度。角钢及钢板构件按 GB/T 2694—2010 中附录 C 进行检测。有争议时，按 GB/T 2694—2010 中附录 D 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 正常情况下，按表 21 规定的抽样方案对镀后工件进行硫酸铜试验和落锤试验。特殊情况下，如熔锌后的首批工件、镀锌工艺参数变化后的首批工件，也应进行硫酸铜试验和落锤试验。

表 21 锌层附着性、均匀性检验抽样表

检测项目	样本大小 件	判定组数 件	
		A_c	R_c
附着性	3	0	1

表 21 (续)

检测项目	样本大小 件	判定组数 件	
		A_c	R_c
均匀性	3	0	1
结合性(喷锌)	3	0	1

9.2.4 硫酸铜试验时,硫酸铜浸蚀四次不露铁,具体试验方法见 GB/T 2694—2010 中附录 A。进行落锤试验时,经锤击,锌层不剥离、不凸起,具体试验方法见 GB/T 2694—2010 中附录 B。

10 紧固件

10.1 一般要求

10.1.1 输电线路钢管塔用紧固件均以热浸镀锌状态供货。

10.1.2 输电线路钢管塔用螺栓采用普通粗制螺栓,螺栓的性能等级一般分为 4.8、6.8、8.8、10.9 级,对应配套的螺母性能等级分为 5、6、8、10 级,以设计文件为准。

10.1.3 螺栓、螺母的技术要求、试验与验收应满足 GB/T 3098.1、GB/T 3098.2、DL/T 284 的要求。平垫圈和弹簧垫圈应分别符合 GB/T 95 和 GB/T 93 的规定。

10.1.4 8.8 级及以上级别螺栓(螺母)应至少抽检 3 个批次,由第三方检测单位按照 DL/T 284 进行拉力试验、冲击试验、硬度试验,其抗拉强度、断后伸长率、硬度、冲击吸收能量满足要求。

10.2 技术要求

10.2.1 螺栓结构尺寸应满足 GB/T 5780 的要求,其镀前螺纹等级为 6g,螺纹采用碾压工艺成型,镀后机械性能应符合 GB/T 3098.1 和 DL/T 284 的规定。所有螺栓应确保装好螺母后露丝不少于 2 扣。

10.2.2 螺母结构尺寸应符合 GB/T 41 的规定,螺纹公差应符合 GB/T 5267.3 中的 6AZ 要求,镀后机械性能应符合 GB/T 3098.2 和 DL/T 284 的规定。

10.2.3 6.8 级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,其力学性能应满足 DL/T 284 的要求。

10.2.4 防松螺母、防卸装置、脚钉应满足设计文件或合同要求。

10.2.5 紧固件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。外观无光泽及色差现象不应作为产品拒收理由。

10.2.6 紧固件镀锌层局部最小厚度应大于或等于 40 μm ,平均厚度大于或等于 50 μm 。镀锌层厚度测量应按照 GB/T 4956 的规定采用涂层测厚仪测量。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,每个测量面测量 1 个点,取 5 个点算术平均值作为镀层局部厚度;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 个点,取 5 个点算术平均值作为镀层局部厚度。每个检验批抽样 5 只,取 5 只镀层局部厚度的算术平均值作为镀层平均厚度。

10.2.7 螺栓与螺母应进行镀层均匀性试验,采用硫酸铜试验方法测试,要求硫酸铜浸蚀四次不露铁,具体要求见 GB/T 2694—2010 中附录 A。

10.2.8 如进行附着性试验,采用硬刀划线法,用一把硬刀的尖端用力一次划入镀层至金属基体,如果在刀尖前端的镀层或划痕两侧的镀层有锌片分离或剥落,则镀层附着性不合格。试验不应在试样的尖角或棱边实施。

10.2.9 8.8、10.9 级热浸镀锌螺栓和配套螺母加工技术要求除满足上述要求外,还应满足本标准附录 B

的规定。

10.3 包装

10.3.1 螺栓、螺母包装除应满足 DL/T 284 的规定外，还应满足下列要求：

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

10.3.2 包装上的标识或标签应正确、清晰、齐全、牢固。包装内货物与标识一致，至少应包含以下内容：

- a) 制造厂名称；
- b) 产品名称及标准号；
- c) 产品标准规定的标记；
- d) 产品规格、型号、数量或净重；
- e) 生产批号、生产日期；
- f) 产品质量标记。

10.4 制造方的检验

10.4.1 制造方应按紧固件供应商及采购批对螺栓和螺母进行检验。

10.4.2 检验项目、抽样样本与判定应符合表 22 的规定。其中，螺栓的破坏性检验按 DL/T 284 规定的 A 类试验中的楔负荷试验或成品拉力试验进行，或按 B 类试验中的机械加工试件拉力试验进行；螺母的破坏性检验按 DL/T 284 规定的拉力试验测定保证应力。螺栓、螺母的非破坏试验按 DL/T 284 的规定进行硬度试验。

表 22 螺栓（母）的制造方检验项目、抽样与判定（按采购批）

序号	检验项目		样本大小 n	接收数 A_c
1	尺寸		20	1
2	表面缺陷		8	0
3	机械性能	非破坏	8	0
		破坏	3	0
4	镀锌层		3	0

10.4.3 对抽取样本进行检验，记录不合格数，如果缺陷产品数小于或等于合格判定数，则接受该批产品；否则，拒收该批产品。

10.4.4 在非破坏性检验中，如果批量小于要求的样本数，则应进行 100%的全检。

11 检验

11.1 检验项目及质量特性划分

11.1.1 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 23。

11.1.2 产品检验项目

- a) 钢材质量。包括钢材外观质量、钢材外形尺寸、钢材材质（成分与性能）。
- b) 零件及构件质量。包括外观质量、钢板及钢管的下料长度，钢板的下料宽度、切断面垂直度，钢管的开槽尺寸、型钢端部垂直度，角钢的清根、铲背、切角、开合角，孔形、孔位，制弯、

变形与挠曲等。

- c) 焊接件质量。包括组对质量、焊缝外形尺寸、焊缝外观质量及一级、二级焊缝内部质量等。
- d) 试组装质量。包括构件就位率、螺栓孔同心度、主要控制尺寸等。
- e) 镀锌层质量。包括锌层外观质量、厚度、附着性及均匀性等。

表 23 检验项目及质量特性划分

项目名称		不合格分类		合格标准 %	
		A	B		
钢材质量	钢材外观质量	—	√	—	
	钢材外形尺寸	—	√	—	
	钢材材质	√	—	—	
零件及构件尺寸	外观质量	—	√	—	
	主材	—	√	项次 合格率	≥95
	接头件	—	√		≥95
	连接板	—	√		≥90
	腹材	—	√		≥85
焊接件质量	焊缝外观	—	√	—	
	焊缝外形尺寸	—	√	—	
	一级、二级焊缝内部质量	√	—	—	
镀锌层质量	锌层外观	—	√	—	
	锌层厚度	—	√	—	
	锌层附着性	√	—	—	
	锌层均匀性	√	—	—	
试组装质量	螺栓孔同心度	—	√	≥96	
	构件就位率	—	√	≥99	
	主要控制尺寸	√	—	—	

11.2 检验方法

11.2.1 外观质量检测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，也可进行表面无损检测。

11.2.2 钢材外形尺寸检测方法：

- a) 角钢肢宽用卡尺在长度方向上每边各测量 3 个点，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 个点，分别取其算术平均值。
- b) 钢板厚度采用卡尺或超声波测厚仪测量 3 个点，取其算术平均值。
- c) 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；钢板厚度采用卡尺或超声波测厚仪测量 3 个点，取其算术平均值。
- d) 在离钢材边缘距离不小于 10mm 处测量，测试时，测量点应均匀分布。

11.2.3 零件及构件尺寸检测采用钢卷尺、钢板尺、角度尺、卡尺等进行。

11.2.4 焊缝尺寸采用焊缝检验尺检测。焊缝内部质量一般采用超声波检测方法，仲裁时采用射线检测方法。

11.2.5 试组装的构件就位情况采用目测，螺栓孔同心度用比螺栓公称直径大 0.3mm 的试孔器检测，其他尺寸用塞尺、钢直尺、钢卷尺、经纬仪、水准仪等检测。

11.2.6 镀锌层均匀性用硫酸铜试验方法检测；附着性用落锤试验方法检测；镀锌层厚度用金属涂层测厚仪检测。

11.3 抽样原则

11.3.1 无特殊要求情况下，抽样原则采用 GB/T 2828.1 中一般检验水平，检验等级的选择见表 24。

表 24 检验等级（合格/不合格）选用表

检验项目	钢材质量			零件及构件尺寸				焊缝质量			试组装质量			镀锌层质量			
	外观质量	外形尺寸	材质	主材	接头件	连接板	腹材	外观质量	外形尺寸	内部质量	螺栓孔同心度	构件就位率	主要控制尺寸	外观质量	厚度	均匀性	附着性
检验水平	I		II	II	I		II			—			—				
合格质量水平 AQL	0.40			4.0				0.65			—			—			
不合格质量水平 RQL	—										10			10			

11.3.2 钢材质量、零件及构件尺寸质量、焊接件质量及焊缝质量等项目的抽样方案：660kV 及以下电压等级的钢管塔采用 GB/T 2828.1 中正常检验一次抽样方案，750kV 及以上电压等级的钢管塔采用 GB/T 2828.1 中加严检验一次抽样方案。

11.3.3 镀锌层质量和试组装质量采用 GB/T 2829 中判别水平 I 的一次抽样方案。

11.4 抽样方法及样本大小的确定

11.4.1 由几个投产批或投产批的一部分组成的检验批次为一个交检批。由制造方根据钢管塔加工工序进行抽样检验；有驻厂监造要求时，由制造方检验人员与驻厂监造人员共同进行抽样检验，分别填写检验记录。

11.4.2 抽样样本大小按表 25~表 29 确定。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 1/2 之后进行。

表 25 钢材/零件材质、钢材/零件/构件外观质量、钢材/零件外形尺寸抽样表

交检批批量范围 件	样本大小 ^{a, b} 件	判定数 件			
		500kV (660 kV) 及以下		750kV 及以上	
		A_c	R_e	A_c	R_e
≤500	20	0	1	0	1
501~1200	32	0	1	0	1
≥1201	50	0	1	0	1

^a 此处抽样指在试组装或镀锌前对材质标识进行的复核，以及对入厂检验报告的核查。
^b 钢材/零件按钢材材质类别、零件类别分别进行抽样。

表 26 构件尺寸检验抽样表

检验项目	主材			接头件			连接板			腹材			
	<51	51~90	>90	<16	16~25	>25	<91	91~150	>150	<501	501~1200	>1200	
交检批批量范围件													
样本大小件	8	13	20	3	5	8	5	8	13	20	32	50	
500kV (660kV) 及以下	A_c	1	1	2	0	0	1	0	1	1	2	3	5
500kV (660kV) 及以下	R_e	2	2	3	1	1	2	1	2	2	3	4	6
750kV 及以上	A_c	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	2	3
	R_e	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	3	4

表 27 焊缝质量（外观、外形尺寸及内部质量）检验抽样^{a, b}表

交检批批量范围件	<8	9~15	16~25	26~50	51~90	91~150	151~280	281~500	501~1200	>1200	
	样本大小件	2	3	5	8	13	20	32	50	80	125
500kV (660kV) 及以下	A_c	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	R_e	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3
750kV 及以上	A_c	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	R_e	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

^a 焊缝内部质量抽样样本大小可参照此表选取，但无论样本大小多少， $A_c=0$ ， $R_e=1$ 。
^b 此处焊缝内部质量抽检是指在试组装或镀锌前对工序检验报告的抽样复核。

表 28 试组装检验抽样表

检验项目	不合格质量水平 RQL	样本大小基	判定数组	
			A_c	R_e
构件就位率	10	1	0	1
螺栓孔同心度		1	0	1
主要控制尺寸		1	0	1

表 29 锌层外观质量、厚度检验抽样表

交检批批量范围件	构件规格与抽样样本数				判定数件	
	$\delta < 5$	$5 \leq \delta < 8$	$\delta \geq 8$	合计	A_c	R_e
500 及以下	8	8	4	20	1	2
501~1200	12	12	8	32	2	3
1201 以上	15	15	10	40	3	4

11.5 零件/构件项次规定及合格率的计算方法

11.5.1 零件/构件项次规定见表 30，焊接件项次规定见表 31。

表 30 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	孔形	孔位	制弯	清根铲背	切角切肢	钢管开槽	标识	焊缝
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	以焊缝长度200mm为一个项次
钢板件	2	以边计数	4	1	—				—	—		—	
钢管支	1	2	—	1	2	—	1	—	—	以钢管数	1		
法兰件	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。

表 31 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	腹管插板中心偏移		以插板数计
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	
		变坡部位主管与支管法兰距离	2
		主管左右两侧支管法兰距离	1
		支管偏移	以支管数计
支管长度			
10	插板、U形板	装配偏移	1
		倾角	以开口数计

11.5.2 零件/构件项次合格率计算公式为：

$$X_L = \Sigma h_s / \Sigma j_s \times 100\% \quad (1)$$

式中：

X_L ——零件/构件项次合格率；

Σh_s ——总合格项次数；

Σj_s ——总检测项次数。

11.5.3 焊接件项次合格率计算公式为：

$$H_L = (\Sigma h_s + \Sigma h_{ds}) / (\Sigma j_s + \Sigma d_s) \times 100\% \quad (2)$$

式中：

H_L ——焊接件项次合格率；

Σh_s ——构件总合格项次数；

Σj_s ——构件总检测项次数；

Σh_{ds} ——总合格焊道数；

Σd_s ——总检测焊道项次数。

11.5.4 试组装就位率计算公式为：

$$J_L = \Sigma h_{js} / \Sigma z_{js} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

J_L ——试组装就位率；

Σh_{js} ——总合格件数；

Σz_{js} ——总试组装件数。

11.5.5 螺栓孔同心度计算公式为：

$$T_L = \Sigma h_{ks} / \Sigma z_{ks} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

T_L ——螺栓孔同心度；

Σh_{ks} ——总合格孔数；

Σz_{ks} ——总试组装孔数。

11.6 判定原则

11.6.1 零件/构件判定

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：

- a) 项次合格率低于规定值；
- b) 钢材质量不合格或与设计要求不符合；
- c) 接头处孔向相反；50%及以上孔准距超标；
- d) 过酸洗严重，接头处孔被酸腐蚀超标；
- e) 加工工艺与本标准或设计要求不符合；
- f) 放样错误造成的零件、构件尺寸超标；
- g) 控制尺寸与图纸不符合所涉及的相关件；
- h) 焊缝内部质量不满足要求。

11.6.2 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 (R_c)，则产品判定为不合格。

11.7 合格证

产品出厂前应由制造方检查和验收并签发产品质量合格证书。有驻厂监造要求时，应提请驻厂监造人员进行见证，并出具出厂见证单。

12 包装、标记、贮存和运输

12.1 包装

12.1.1 设计或合同有要求时，包装之前，宜使用耐老化的材料对镀锌层通气孔进行封堵。

12.1.2 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。

12.1.3 钢管塔应单基包装，根据塔材编号、规格大小包装若干捆，应满足以下要求：

- a) 大规格管件可单独包装，小规格管件宜按段分别打捆包装。
- 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) 连接包装宜采用螺栓穿入的方式。
- d) 包装材料应做防腐处理，每捆质量不宜超过 3t。

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

12.2 标记

12.2.1 钢管塔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（必要时）-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，字体高度为 8mm~18mm。材料厚度不大于 8mm 的钢材，钢印深度为 0.3mm~0.6mm；材料厚度大于 8mm 的钢材，钢印深度为 0.5mm~1.0mm。钢印附近的钢材表面不得产生明显的凹凸面缺陷，并不应在边缘存在裂纹或缺口，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。
- b) 钢印位置设置应避开制孔、铣刨、制弯和焊接部位。
- c) 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 32。

表 32 材质代号标记方法

性能等级	标 记 方 法			
	强 度 等 级			
	Q235	Q345	Q420	Q460
B	—	H	P	T
C	C	HC	PC	TC
D	D	HD	PD	TD

- d) 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下端的钢管内壁。
- e) 一端是法兰，另一端是插板的钢管构件，构件号应以钢印压在插板上。
- f) 两端是插板的钢管构件，构件号标记在其中一端的插板上。
- g) 应在主材法兰上标出安装方向，标记采用“△”钢印，指向铁塔安装的向心方向。

12.2.2 除满足合同要求外，还应在包装完成后的塔材上，在钢管构件的主杆体或包装捆的明显位置做标记，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。

12.3 贮存

12.3.1 镀锌成品钢管构件贮存场所，应选择无污染的环境，且地面平整、坚实，无积水的场区。

12.3.2 构件应按单基存放，应有防止构件变形的措施。

12.4 运输

12.4.1 运输中应注意装、卸方法，不能损坏包装或使产品变形、损坏。钢管塔构件装车应合理分别码放，设计的支撑点应能防止构件在运输过程中出现变形。

12.4.2 应保证钢管塔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、镀锌层磨损或产品变形。

13 技术资料

13.1 输电线路钢管塔加工后，制造方向用户提供原材料及产品质量证明书等技术资料。

13.2 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) 产品原材料入厂复检报告。
- d) 零件的入厂复检报告。
- e) 有要求时，零件、原材料监造见证单、第三方检验报告单。
- f) 构件的加工检验报告。
- g) 焊缝无损检验报告；一级焊缝第三方检测报告（要求时）。
- h) 试组装检验报告。
- i) 防腐处理及其检验报告。
- j) 竣工图等（要求时）。

13.3 产品出厂证明文件（随货同行资料）：

- a) 产品合格证。
- b) 装车清单。
- c) 监造单位出具的出厂见证单（要求时）。

13.4 钢管塔制造方归档（移交）资料目录：

- a) 产品合格证。
- b) 供货明细表。
- c) 产品质量检验报告。
- d) 材料代用清单。
- e) 产品监造证明（要求时）。
- f) 竣工图（要求时）。
- g) 要求的其他资料。

附录 A (规范性附录)

输电线路钢管塔用法兰技术条件

A.1 适用范围

本附录规定了输电线路钢管塔用法兰的类型、材料、技术要求、制造工艺、尺寸公差及试验、检验、包装方面的要求。

本附录适用于锻造加工或经碾压扩径成型的板式平面法兰及带颈法兰，以及平板割制的板式平面法兰。

A.2 法兰类型

A.2.1 输电线路钢管塔用法兰按外形可分为带颈法兰和板式平面法兰。

A.2.2 带颈法兰按照连接形式可分为带颈对焊法兰、带颈平焊法兰，见图 A.1。输电线路钢管塔用带颈法兰主要为带颈对焊法兰。

A.2.3 板式平面法兰按照连接形式可分为有加劲板法兰、无加劲板法兰，见图 A.2。

A.2.4 法兰代号表示方法见表 A.1。

A.3 法兰材料

A.3.1 法兰材质包含 Q235、Q345、Q420、Q460 等，其化学成分应符合表 A.2 的规定，细化晶粒的元素应在质量证明书中注明含量，钢材、钢坯的化学成分允许偏差应符合 GB/T 222 的规定。锻造法兰应选用相同材质的钢坯进行锻造加工；板式平面法兰可以采用锻造加工，也可选用相同材质钢板进行割制（不得使用连铸坯），厚度大于或等于 40mm 的板式平面法兰应选用 Z 向钢，其性能满足 GB/T 5313 的要求。

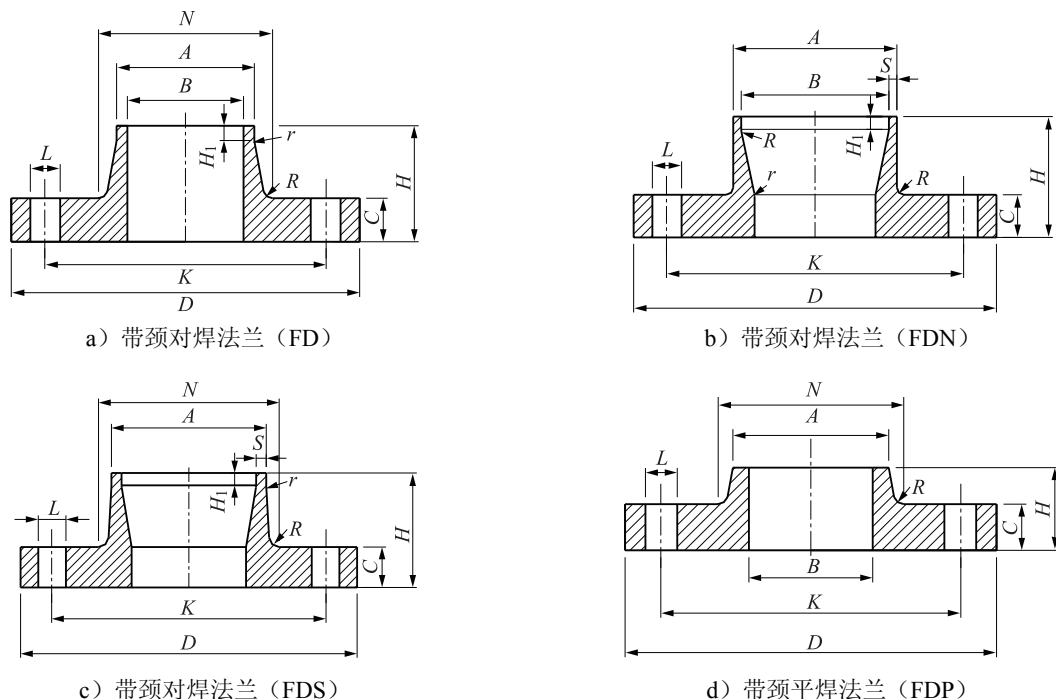


图 A.1 钢管塔用带颈法兰



图 A.2 钢管塔用板式平面法兰连接的有加固板法兰和无加固板法兰

表 A.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	对焊法兰	内直外坡	—
				对焊法兰	内坡外直	N
					内外双坡	S
		平焊法兰		P		
		板式平面法兰	B	有加固板法兰	Y	
无加固板法兰	W					

表 A.2 法兰的化学成分

牌号	C≤	Si≤	Mn	P≤	S≤	V≤	Nb≤	Ti≤	Als≥	碳当量 ^c ≤
Q235B	0.20 ^a	0.35	1~1.40	0.045	0.045	—	—	—	—	—
Q345B	0.20	0.50	1~1.70	0.035	0.035	0.15	0.07	0.20	0.015	0.44
Q345C	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，碳当量计算公式为：
 $C_{EV} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$

A.3.2 锻造法兰用钢坯应采用电炉或转炉冶炼，加炉外精炼。

A.3.3 锻造法兰用钢坯宜使用初轧坯，经供需双方协商，也可采用连铸坯，连铸坯应满足 YB/T 2011 或 YB/T 4149 的要求。初轧坯应有足够的切除量，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 规定的 2 级要求。本技术条件中未明确规定的应符合 YB/T 004 的相关规定。

A.3.4 锻造法兰用钢坯应有炉号、材质标识，钢坯的检验项目、试验方法、取样数量和合格标准见表 A.3。所选用钢坯需经复验合格后方可投入生产。

A.3.5 合格钢坯与不合格钢坯应有明确的标识区分。

表 A.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	见表 A.2
2	低倍组织检验	GB/T 226、GB/T 1979	每炉批两个	见 A.4.3

A.4 技术要求

A.4.1 交货状态。

A.4.1.1 除平板割制加工的板式平面法兰外，法兰一般以正火、正火加回火状态交货。

A.4.1.2 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。

A.4.1.3 法兰按设计图纸重量交货。

A.4.2 化学成分及力学性能。

A.4.2.1 法兰化学成分应满足表 A.2 的要求。

A.4.2.2 法兰力学性能应在最终热处理后进行，满足表 A.4 的要求。

表 A.4 法兰力学性能要求

牌号	抗拉强度 MPa	屈服强度 ^a ≥ MPa				伸长率≥ %		冲击吸收能量 $A_{KV} \geq$ J
		法兰厚度 C mm						
		C≤16	C>16~40	C>40~63	C>63~80	C≤40	C>40~80	
Q235	370~500	235	225	215	215	26	25	27
Q345	470~630	345	335	325	315	20	19	34
Q420	520~680	420	400	380	360	19	18	34
Q460	550~720	460	440	420	400	17	16	34

^a 带颈法兰轴向试样的拉伸试验性能均按 C≤16mm 的要求。

A.4.2.3 锻造法兰冲击试验温度应满足表 A.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，其值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%。

A.4.2.4 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、55mm×10mm×5mm 试样的夏比 V 形缺口冲击功，应分别不小于规定值的 75%、50%。

A.4.3 金属平均晶粒度：锻造法兰应进行金相组织检验，金属平均晶粒度按 GB/T 6394 进行评定，应不小于 6 级。

A.4.4 非金属夹杂物：锻造法兰非金属夹杂物应按检验组批进行检验，按 GB/T 10561 中 JK 系列评级图评级，其 A、B、C、D、Ds 各类夹杂物的级别分别不大于 2.0 级。按其中最严重者判定。

表 A.5 锻造法兰夏比（V 形）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

A.4.5 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。

A.4.6 法兰粗糙度：法兰全部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 $Ra \leq 12.5\mu\text{m}$ 。

A.5 制造工艺

A.5.1 带颈法兰应采用锻造加工而成，不得采用钢板直接机加工成型。板式平面法兰宜采用锻造加工，当采用平板割制时，钢板应无分层缺陷。

A.5.2 锻坯加热过程中，应优先考虑采用煤气加热或电加热，同时应按照材质制定相应的加热工艺规范，严格控制加热温度、加热速度、保温时间和入炉数量。料块应避免放置于局部高温区域，不得过热、过烧。在加热过程中应使用计量合格的测温仪进行测温。钢材始锻温度小于或等于 1200°C ，终锻温度大于或等于 850°C ，超出此温度区间，不应继续进行锻造加工。

A.5.3 采用锻造加工时，法兰应在有足够能力的锻压机上锻造成型，以保证锻件内部充分锻透。法兰锻造比应大于 3，锻造比计算按 GB/T 8541 中的规定执行。

A.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、夹渣等影响最终产品质量的缺陷，同时要保证机加工所需的最小加工量。

A.5.5 锻件热处理设备应经过检测，并满足 GB/T 9452 规定的 III 类炉子的保温、控温精度要求，合格后使用。应根据锻件的厚度进行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。正火后出炉的锻件要按材质、炉号、品种、规格分别摆放，应采取措施，避免同炉法兰及同一法兰不同部位的冷却速度出现明显的差异。最终热处理冷却后做材质颜色标识，不同热处理批次的产品应分开存放。

A.5.6 热处理后法兰锻件应达到 NB/T 47008 中 III 级锻件检验要求，进行硬度检验和表面无损检测。

A.5.7 硬度检验时，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 40HB，同一批锻件硬度差不超过 50HB。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 个点。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）。

A.5.8 表面无损检测按 NB/T 47013.4 或 NB/T 47013.5 进行，锻件不允许存在裂纹、白点和线形缺陷，允许存在圆形缺陷，但应满足：磁粉检测时， $d \leq 2.0\text{mm}$ 的缺陷应少于或等于一个；渗透检测时， $d \leq 1.5\text{mm}$ 的缺陷应少于或等于一个。

A.5.9 锻件粗加工后（未加工螺栓孔）应沿锻件外周及法兰密封面对锻件进行超声波检测，超声波检测按 NB/T 47013.3 进行，单个缺陷当量平底孔直径为 II 级合格；密集区缺陷当量直径为 I 级合格；由缺陷引起底波降低量为 I 级合格；密集区缺陷面积占检测总面积之比为 II 级合格。

A.5.10 当通过磁粉检测后的法兰产品对焊接造成影响时，应进行消磁处理。采用渗透检测时，检测完成后应进行清洗，保证产品交付时表面洁净。

A.5.11 锻件的机加工，应按照先粗加工、再细加工的原则进行，保证产品粗糙度满足要求。

A.5.12 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。

A.5.13 法兰制造过程中不得进行补焊。

A.6 外形尺寸允许偏差

A.6.1 带颈法兰尺寸允许偏差应符合表 A.6 的规定。

表 A.6 带颈法兰尺寸允许偏差

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

A.6.2 板式平面法兰尺寸允许偏差应满足表 A.7 的要求。

表 A.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	相邻两螺栓孔的弦距	段与段连接法兰	± 0.7
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弦距	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	所有规格	± 2.0

表 A.7 (续)

序号	项 目	尺寸范围	允许偏差 mm
5	法兰外径 D	$D \leq 200\text{mm}$	± 2.0
		$D = 200\text{mm} \sim 600\text{mm}$	± 3.0
		$D = 600\text{mm} \sim 1200\text{mm}$	± 4.0
		$D \geq 1200\text{mm}$	± 5.0
6	法兰内径 B	$B = (A + 4) \text{ mm}$	± 1.0
7	螺栓孔直径 L	所有规格	$0 \sim +0.8$

A.7 检验

A.7.1 检验组批

锻造法兰的检验批由同一熔炉号、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，同一钢材批号加工的产品为一个检验批。

A.7.2 检验项目与要求

A.7.2.1 法兰检验项目及试验方法应符合表 A.8 的规定。带颈法兰取样位置如图 A.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。

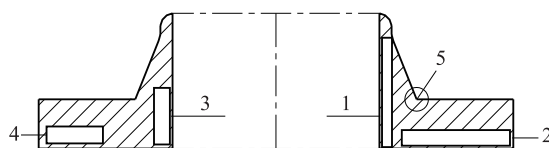
表 A.8 法兰的检验项目、试验方法和取样数量

序号	检验项目	试验方法	取样位置、数量	合格标准
1	金属拉伸试验 ^a	GB/T 228.1	每批两个，轴向一个，径向一个	见表 A.4
2	金属冲击试验 ^a	GB/T 229	每批六个，轴向三个，径向三个	见表 A.4、表 A.5
3	金属平均晶粒度测定	GB/T 6394	每批一个	见 A.4.3
4	非金属夹杂物评定	GB/T 10561	每批一个	见 A.4.4
5	硬度检验	GB/T 231.1	100%	见 A.5.7
6	超声波无损检测	NB/T 47013.3	100%	见 A.5.9
7	磁粉、渗透检测	NB/T 47013.4 或 NB/T 47013.5	100%	见 A.5.8
8	外观质量	肉眼或放大镜	100%	见 A.4.5
9	尺寸及公差	量尺或专用工具	100%	见表 A.6、表 A.7 及图纸

^a板式平面法兰仅做一个方向的拉伸、冲击试验。

A.7.2.2 法兰制造单位应对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；钢管塔制造方应确认法兰制造质量证明文件，并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，合格后方可入库使用。

A.7.2.3 法兰制造单位进行的拉伸试验、冲击试验所用试样，应从产品取样，经与需方协商同意也可代样加工，但必须保证试样的锻造工艺、锻造比、热处理工艺与产品加工工艺相同，且代样尺寸应与该批法兰的厚度基本一致。钢管塔制造方应从法兰取样进行拉伸、冲击试验。



说明:

- 1——轴向拉伸;
- 2——径向拉伸;
- 3——轴向冲击;
- 4——径向冲击;
- 5——金相组织检验。

图 A.3 带颈法兰取样位置示意图

A.7.3 判定规则

A.7.3.1 外观质量或尺寸偏差不合格时, 该法兰不合格。

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

A.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 2 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。

A.7.3.4 金相组织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。

A.7.3.5 无损检测不合格时, 该法兰不合格。

A.8 包装、标识及质量合格证明文件

A.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。

A.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。每件法兰产品应具有唯一的标识。

A.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 B
(规范性附录)

输电铁塔用 8.8 级、10.9 级热浸镀锌螺栓及配套螺母技术条件

B.1 范围

本附录规定了 8.8 级、10.9 级热浸镀锌螺栓及配套螺母的制造、检验要求。

本附录适用于输电线路铁塔用 M10~M64 的 8.8 级、10.9 级热浸镀锌螺栓及配套螺母的制造和检验。

B.2 技术要求

B.2.1 螺栓外螺纹采用滚压螺纹工艺制造，不得采用车削方式加工螺纹；与 8.8 级、10.9 级螺栓配套的螺母，采用镀后攻丝，所留大间隙能容纳外螺纹表面上的热浸镀锌层，螺母不允许重复攻丝。

B.2.2 对 8.8 级、10.9 级螺栓及配套螺母均应进行淬火并回火处理，螺栓材料可选用 40Cr、42CrMo、35CrMo、40CrNiMoA 等合金结构钢材料，其化学成分和力学性能应符合相应标准的规定。

B.2.3 螺母用钢应满足表 B.1 规定，宜选用 35CrMo 等合金钢材料。

表 B.1 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
8 ^a	0.58	0.25	0.060	0.150
10 ^a	0.58	0.30	0.048	0.058

^a 因内螺纹加大攻丝尺寸，其保证荷载会有所降低，选材时可考虑选用高性能材料，以提高螺母的保证荷载并使其符合标准规定。

^b 为改善螺母的机械性能，必要时可增添合金元素。

B.2.4 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。严禁采用酸洗的方法除油、除锈及除锌返镀。8.8 级、10.9 级螺栓不允许重复镀锌。镀锌后应及时进行离心处理。

B.2.5 应对 10.9 级螺栓按照 GB/T 3098.17 的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生产 10.9 级热浸镀锌螺栓与配套螺母。

B.2.6 应在热浸镀锌 48h 后按 DL/T 284 规定的螺栓生产批，进行 20% 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，则应对该批次螺栓进行 100% 检验。

B.2.7 8.8 级、10.9 级镀锌螺栓与配套螺母的检验和判定按 DL/T 284 的规定执行。

B.2.8 螺栓与配套螺母加工中所用的计量器具（包括检验器具、热处理温度测量与控制仪表、热电偶）均应检定合格，并在有效期内使用。

附录 C (规范性附录)

薄壁管对接焊缝超声波检测与质量评定

C.1 范围

本附录规定了输电线路钢管塔薄壁管对接焊缝的手工超声波检测方法和质量评定要求。

本附录适用于输电线路钢管塔中直径大于或等于 159mm，壁厚大于或等于 4mm 且小于或等于 8mm 的薄壁管纵向对接焊缝，以及与带颈法兰环向对接焊缝采用 A 型脉冲发射法进行的超声波检测。

C.2 一般要求

C.2.1 检测人员。从事输电线路钢管塔薄壁管对接焊缝超声波检测的人员应取得 UT II 级及以上资格证书或其他等同的资格证书，并经过本标准规定内容的专项培训与考核，取得专项检验资格。

C.2.2 检测设备。

C.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。

C.2.2.2 检测仪应满足 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，仪器性能要求如下：

- a) 工作频率为 0.5MHz~10MHz。
- 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%。

C.2.2.3 探头出厂时应有性能参数说明书。双晶爬波探头、双晶（单晶）斜探头技术要求如下：

- a) 爬波探头频率为 2.5MHz，爬波探头的晶片面积一般不大于 50mm²，且任一边长原则上不大于 8mm。
- b) 爬波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) 爬波探头曲率应尽量与被检测管径相匹配，探头前沿长度应小于或等于 5mm。
- d) 斜探头所用频率为 5MHz，技术要求应符合 DL/T 820 的规定。
- e) 斜探头 K 值（角度）选取参照表 C.1 的规定。条件允许时，应尽量采用较大 K 值的探头。

表 C.1 推荐采用的斜探头 K 值（角度）

板厚 T mm	K 值（角度） mm
$4 \leq T < 6$	3.0~2.7 (72°~70°)
$6 \leq T < 8$	2.8~2.5 (70°~68°)

C.2.2.4 超声波检测仪和探头的系统性能要求如下：

- 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，对于频率为 5MHz 的探头，应不大于 2.5mm。
- d) 仪器和探头的系统性能应按 JB/T 9214 和 JB/T 10062 的规定进行测试。

C.3 检测方法

C.3.1 检测准备

C.3.1.1 检测时机及抽检率的选择应符合合同、技术文件的要求。检测前应编制工艺卡（格式参见表 C.2），按工艺卡要求检验。

表 C.2 薄壁管对接焊缝超声波检测工艺卡

项目名称		编号	
构件类别		检验比例	
焊件规格		焊缝类别	<input type="checkbox"/> 环向 <input type="checkbox"/> 纵向
焊接方法	坡口形式	检验时机	
检验标准		验收标准	
仪器型号		耦合剂	
探头型号/规格		对比试块	
检测面		探头扫查速度	
补偿		检测灵敏度	
检测方法： <input type="checkbox"/> 爬波 <input type="checkbox"/> 横波 <input type="checkbox"/> 爬波+横波			
检测工艺要点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探头修磨； 2. 每次检测前和检测结束均应对扫描比例、灵敏度进行校核； 3. 探头每次使用前应校准前沿距离、折射角和主声束偏离； 4. 扫查方式； 5. 检测方法； 6. 缺陷位置标识方法； 7. 缺陷当量或指示长度的测定； 8. 缺陷的判定。 		
	距离-波幅曲线	检测示意图	
编制：	日期：	审核：	日期：
		批准：	日期：

C.3.1.2 环焊缝检测采用以爬波检测为主的检测方法，当需要对缺陷进行定位时，应采用横波辅助检测。纵焊缝检测采用爬波检测。

C.3.1.3 环焊缝爬波检测面为钢管侧管外壁、环焊缝横波检测面为钢管侧管外壁和法兰侧内壁，纵焊缝爬波检测面为钢管纵向焊缝的一侧，如图 C.1 所示。

C.3.1.4 焊缝的表面质量应经外观检测合格。检测面内所有影响超声波检测的锈蚀、飞溅和污物等都应予以清除（清除范围不小于 40mm），其表面粗糙度不应超过 6.3 μ m。表面的不规则状态不得影响检测结果的正确性和完整性，否则应做适当的处理。

C.3.2 扫查覆盖率

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

C.3.3 探头的扫查速度

探头的扫查速度不应超过 50mm/s。

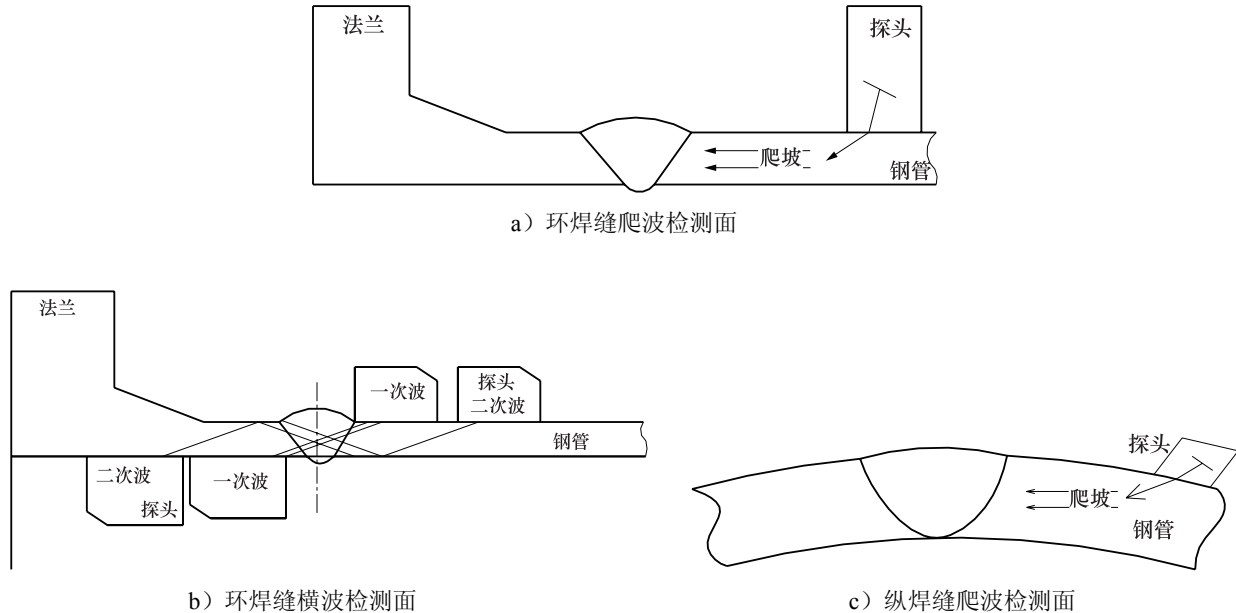


图 C.1 检测面示意图

C.3.4 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。

C.3.5 灵敏度补偿

应采用曲率半径与工件相同或相近的参考试块对比进行曲率补偿。

C.3.6 系统校准与复核

C.3.6.1 一般要求。系统校准应在标准试块上进行，校准时应使探头主声束垂直对准反射体的反射面，以获得稳定和最大的反射信号。

C.3.6.2 仪器校准。每隔 3 个月至少对仪器的水平线性和垂直线性进行一次测定，测定方法按 JB/T 9214 的规定执行。

C.3.6.3 探头测定。检测前应对探头前沿距离、 K 值、主声束偏离、灵敏度余量和分辨力等主要参数进行测定。横波斜探头测定按 JB/T 10062 的有关规定进行，并满足其要求。

C.3.6.4 检测前仪器和探头系统的测定。检测前仪器和探头系统的测定应符合下列要求：

- 使用仪器-爬波探头系统，检测前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。
- 使用仪器-斜探头系统，检测前应测定前沿距离、 K 值和主声束偏离，调节或复核扫描量程和扫查灵敏度，并满足 JB/T 9214 的规定。

C.3.6.5 检测过程中仪器和探头系统的复核。出现下列情形之一时，应进行仪器和探头系统的复核：

- 校准后的探头、耦合剂和仪器调节旋钮发生改变。
- 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。

C.3.6.6 检测结束时仪器和探头系统的复核。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 3 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。

C.4 试块

C.4.1 试块类型

C.4.1.1 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 C.2。

C.4.1.2 采用 BBG 试块作为爬波检测和横波检测的对比试块，其形状和尺寸应符合图 C.3 的要求。其中，试块的 R_1 值应与被检管径相近，适用范围见表 C.3。管子外径大于或等于 325mm 时，按平板检测。

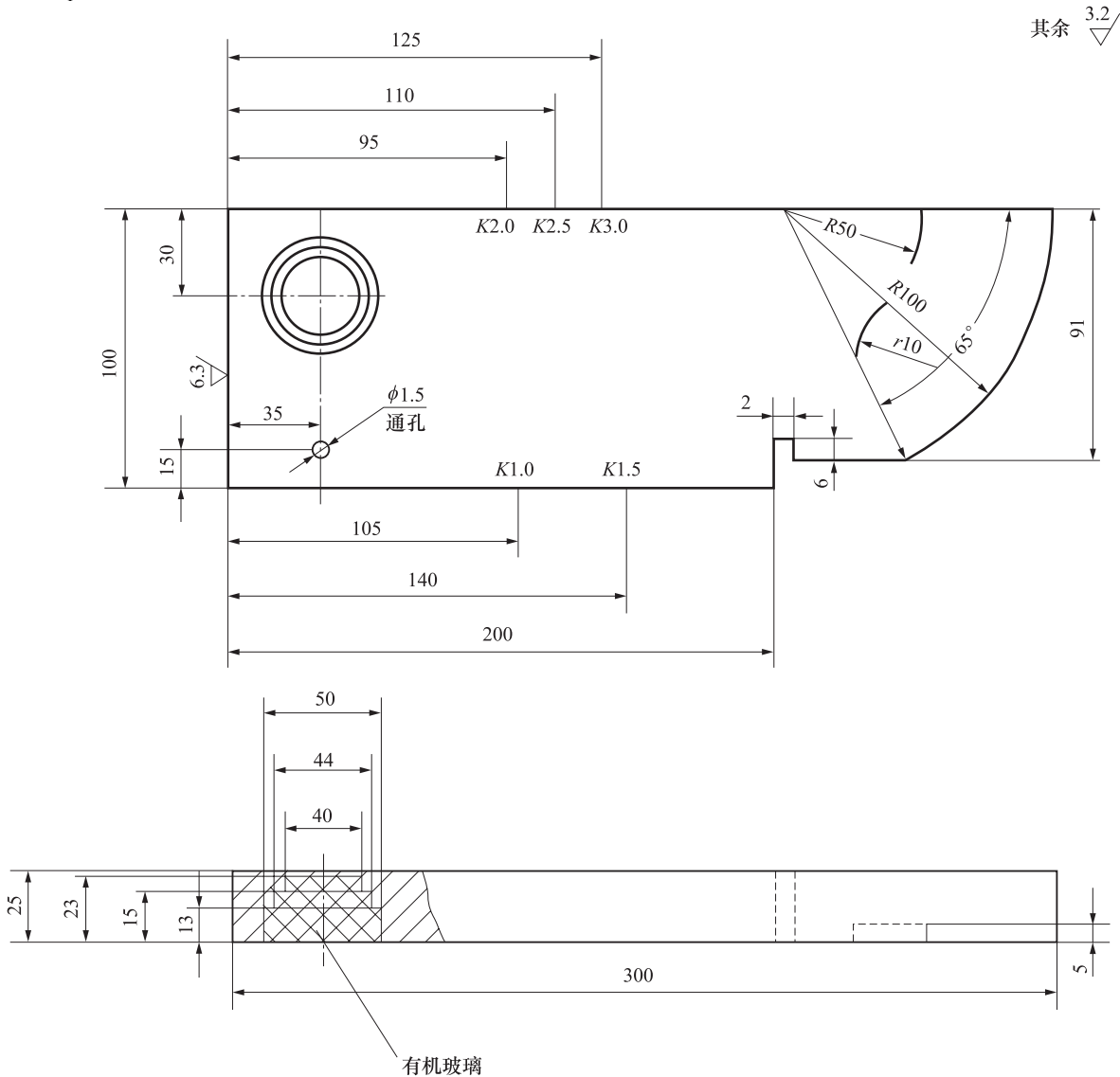
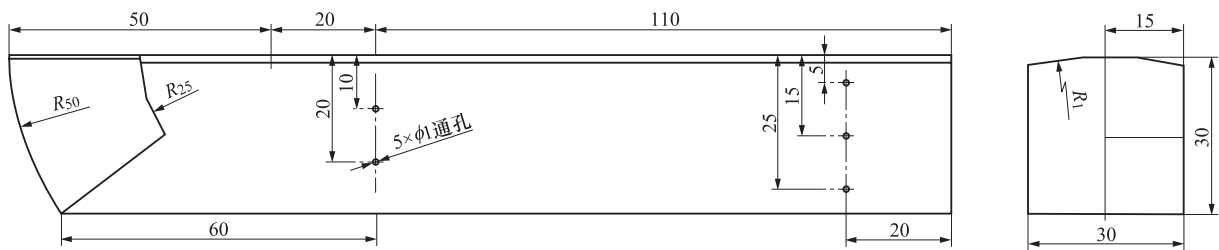


图 C.2 CS-IA 试块

表 C.3 BBG 试块的适用范围

试块编号	试块的 R_1 值 mm	适用管径 D 范围 mm
1	80	$159 \leq D < 219$
2	110	$219 \leq D < 273$
3	140	$273 \leq D < 325$

C.4.1.3 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或添加，也可采用其他形式的等效试块。



注：单位 mm。

图 C.3 BBG 试块

C.4.2 制造要求

C.4.2.1 试块应采用与被检工件声学性能相同或近似的材料制成，该材料用直探头检测时，不得有大于或等于 $\phi 1$ mm 平底孔当量直径的缺陷。

C.4.2.2 试块的其他制造要求应符合 JB/T 8428 和 GB/T 11259 的相关规定。

C.5 爬波距离-波幅曲线

C.5.1 绘制方法

在 BBG 试块上，探头对准深度为 2mm 或 5mm 的 $\phi 1$ mm 通孔，探头距离 $\phi 1$ mm 通孔 10mm 为 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，依据测量结果绘制距离-波幅曲线，如图 C.4 所示，将 DAC 曲线衰减 10dB 为评定线。

C.5.2 爬波距离-波幅曲线的灵敏度选择

扫查灵敏度不低于最大声程处的评定线灵敏度。

C.6 横波距离-波幅曲线

C.6.1 绘制方法

横波距离-波幅曲线应按所用探头和仪器在 DL-I 试块上实测的数据绘制而成，该曲线簇由评定线和 DAC 线组成。评定线与 DAC 线之间增益 10dB，如图 C.5 所示。如果距离-波幅曲线绘制在荧光屏上，则在检测范围内不低于荧光屏满刻度的 20%。

C.6.2 横波距离-波幅曲线的灵敏度选择

扫查灵敏度不低于最大声程处的评定线灵敏度。

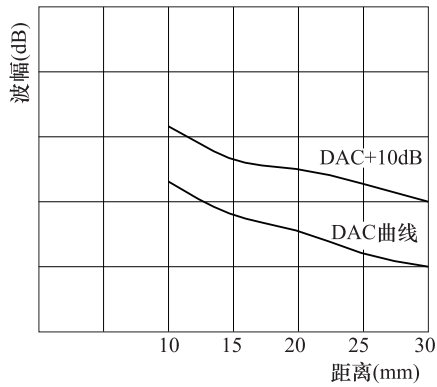


图 C.4 爬波距离-波幅曲线

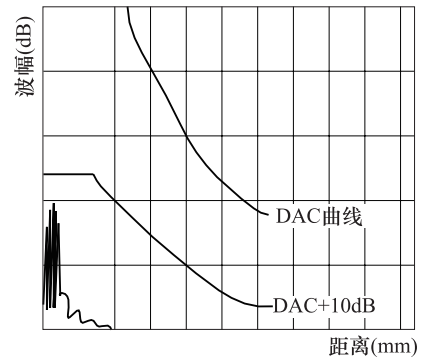


图 C.5 横波距离-波幅曲线

C.7 扫查方式

C.7.1 爬波检测

C.7.1.1 环焊缝检测时，爬波探头声束中心线应垂直于焊缝中心，放置在钢管侧检测面上，距离焊缝中心 15mm~20mm 沿环向扫查，如图 C.6 所示。在保持探头平行焊缝做环向移动的同时，还应做 10°~15°的左右转动。

C.7.1.2 纵焊缝检测时，爬波探头声束中心线应垂直于焊缝中心，放置在钢管侧检测面上，距离焊缝中心 15mm~20mm 沿直线扫查，如图 C.7 所示。在保持探头平行焊缝做左右移动的同时，还应做 10°~15°的转动。

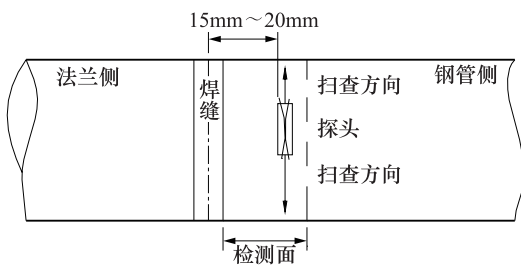


图 C.6 爬波环向扫查（环焊缝）

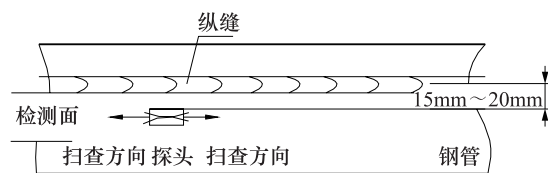


图 C.7 爬波直线扫查（纵焊缝）

C.7.2 横波检测

C.7.2.1 斜探头应垂直于焊缝中心线放置在检测面上做锯齿形或矩形扫查，如图 C.8 所示。

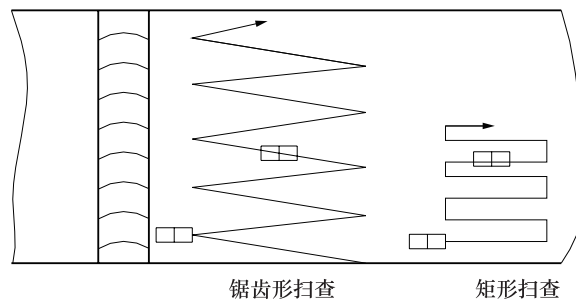


图 C.8 横波锯齿形扫查、矩形扫查

C.7.2.2 探头前后移动的范围应保证扫查到全部焊接接头截面，在保持探头垂直焊缝做前后移动的同时，还应做 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的左右转动。

C.8 缺陷定量检测

C.8.1 缺陷定量检测要求

对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当量。

C.8.2 缺陷位置测定

缺陷位置应以获得缺陷最大反射波的位置为准。

C.8.3 缺陷最大反射波幅的测定

将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置，测定波幅大小，并确定它在距离-波幅曲线图中所处的区域。

C.8.4 缺陷定量

C.8.4.1 缺陷当量尺寸，应依据距离-波幅曲线或试块对比来确定。

C.8.4.2 缺陷指示长度 ΔL ，采用以下方法来检测：

- 当缺陷反射波只有一个高点，且位于评定线以上时，用 6dB 法测其指示长度。
- 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，用端点 6dB 法测其指示长度。

C.8.5 缺陷评定

C.8.5.1 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，有怀疑时，应采取改变探头 K 值、增加检测面、观察动态波形并结合结构工艺特征做判定，或辅以其他检测方法做综合判定。

C.8.5.2 缺陷指示长度小于 5mm 时，按 5mm 计。

C.8.5.3 相邻两缺陷在一直线上，其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。

C.9 质量评定

C.9.1 根据焊接接头的缺陷类型、缺陷波幅的大小及缺陷的指示长度来评定焊接接头的质量，并出具检验报告（格式参见表 C.4）。

表 C.4 钢管塔薄壁管对接焊缝超声波检验报告

报告编号：

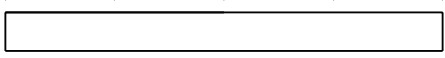
项目名称		构件编号	
构件类别	<input type="checkbox"/> 主材 <input type="checkbox"/> 辅材 <input type="checkbox"/> 连接件	焊缝类别	<input type="checkbox"/> 环向 <input type="checkbox"/> 纵向
材质		规格	
焊接方法		<p style="text-align: center;">环焊缝缺陷位置图（展开图）</p> <p style="text-align: center;"> 0° 90° 180° 270° 360° ↓ ↓ ↓ ↓ ↓  </p> <p style="text-align: center;">0°指环焊缝与纵焊缝交点，从法兰侧面向钢管顺时针展开</p>	
检验标准			
验收标准			
仪器型号			
探 头			
耦 合 剂			

表 C.4 (续)

试块	<div style="text-align: center;"> <p>纵焊缝缺陷位置图</p> </div>				
灵敏度					
补偿					
焊缝编号	缺陷编号	缺陷深度	缺陷反射波幅度 DAC±××dB	缺陷指示长度 (mm)	结果
检验结论					
检验员:	级别:	日期:	审核:	级别:	日期:

C.9.2 出现下列情形之一时，评定为不允许缺陷：

- a) 检测人员能判定为裂纹、未焊透、未熔合或密集性缺陷等危害性缺陷。
- b) 爬波检测时，缺陷反射波幅高于横通孔 DAC+14dB；横波检测时，缺陷反射波幅高于横通孔 DAC-4dB。
- c) 缺陷反射波幅高于评定线，且缺陷累计指示长度大于 5mm。

中国电力企业联合会标准
输电线路钢管塔加工技术规程
T / CEC 137 — 2017

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

*

2017年10月第一版 2017年10月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 3印张 91千字

*

统一书号 155198·469 定价 **25.00** 元

版权专有 侵权必究
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换



中国电机工程学会官方微信



中国电力出版社官方微信