

ICS 29.020
CCS K 90

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 646-2021

代替 DL/T 646-2012

输变电钢管结构制造技术条件

**Manufacturing technical requirements for
steel tubular structures of transmission line and substation**

2021-01-07 发布

2021-07-01 实施

国家能源局 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、符号	2
4 总则	4
5 材料	4
6 零件加工	5
7 焊接	12
8 焊接件装配	17
9 矫正	19
10 试组装	20
11 热浸镀锌和热喷涂锌	22
12 检验	23
13 包装、标志、贮存和运输	27
14 技术资料	28
附录 A (规范性附录) 热浸镀锌层均匀性试验 硫酸铜试验方法	29
附录 B (规范性附录) 热浸镀锌层附着性 落锤试验方法	31
附录 C (规范性附录) 热浸镀锌层厚度测试 金属涂镀层测厚仪测试方法	32
附录 D (规范性附录) 热浸镀锌层附着量测试 溶解称重试验方法	33

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定起草。

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这些专利的责任。

本标准代替 DL/T 646-2012《输变电钢管结构制造技术条件》。本标准与 DL/T 646-2012 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 增加了部分术语和定义、符号；
- 修改了钢材材质代号标识要求；
- 调整、增减了部分项目及其偏差要求；
- 补充了锻造法兰的质量要求；
- 修改了镀锌层厚度等部分项目的检验规则；
- 增加了技术资料要求。

本部分由中国电力企业联合会提出。

本部分由全国架空线路标准化技术委员会（SAC/TC 202）归口。

本标准起草单位：电力工业电力设备及线路器材质量检验测试中心、青岛汇金通电力设备股份有限公司、常熟风范电力设备股份有限公司、国网冀北电力有限公司物资分公司、重庆江电电力设备有限公司、温州泰昌铁塔制造有限公司、重庆瑜煌电力设备制造有限公司、南京大吉铁塔制造有限公司、安徽宏源铁塔有限公司、河北三恩金属结构有限公司。

本标准主要起草人：蔡鹏毅、吴水文、安太武、马敏、侯滨、王茂法、赵金元、符必川、李丹、张宝拴、赵雪建、梁力。

本标准的历次版本发布情况为：

- DL/T 646-1998、DL/T 646-2006、DL/T 646-2012。

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）。

输变电钢管结构制造技术条件

1 范围

本标准规定了输变电钢管杆、钢管塔及钢管构支架制造过程中的材料、加工、检验、包装、标志、贮存和运输等要求。

本标准适用于采用热浸镀锌或热喷锌及锌合金涂层防腐处理的输变电钢管结构产品,其他类似钢管结构产品可参照执行。

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 95 平垫圈 C级
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 470 锌锭
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- 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 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 805 扣紧螺母
- 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 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 3091 低压流体输送用焊接钢管
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母
- GB/T 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带
- GB/T 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分:X和伽玛射线的胶片技术
- GB/T 3524 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢带
- GB/T 4842 氩
- 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 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 5780 六角头螺栓 C级
- GB/T 6052 工业液体二氧化碳
- GB/T 6170 I型六角螺母

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 9448 焊接与切割安全
GB/T 9793 热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金
GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
GB/T 13793 直缝电焊钢管
GB/T 29711 焊缝无损检测超声检测焊缝中的显示特征
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 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 1401 输变电钢管结构用钢管制造技术条件
HG/T 3728 焊接用混合气体 氩-二氧化碳
HG/T 3668 富锌底漆
JG/T 203 钢结构超声波探伤及质量分级法
JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
NB/T 47009 低温承压设备用合金钢锻件
NB/T 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

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

零件 part

组成部件或构件的最小单元，如法兰、加劲板等。

3.1.2

部件 component

由若干零件组成的单元，如钢管和法兰组成的焊接件等。

3.1.3

构件 element

由零件或由零件和部件紧固联接组成的钢结构基本单元。

3.1.4

装配 assembling

按规定的精度和技术要求，将零件连接或固定在一起成为部件的过程。

3.1.5

试组装 trial assembling

为检验钢管结构或零件、部件是否满足设计及安装质量要求进行的组装。

3.1.6

钢管杆 steel pole

由单根或多根钢管主杆组成的钢管结构。

3.1.7

钢管塔 steel tubular tower

主材采用钢管构件, 其他部件用钢管或圆钢、型钢等构件组成的空间塔架(桁架)结构。

3.1.8

钢管构支架 steel tubular substation structures

主柱用钢管, 横梁用钢管或型钢组成的构架或钢管设备支架。

3.1.9

对接焊缝 butt weld

在焊件的坡口面间或一零件的坡口面与另一零件表面间焊接的焊缝, 也称坡口焊缝。

3.1.10

角焊缝 fillet weld

沿两直交或近直交零件的交线所焊接的焊缝。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

a — 间距、间隙、准距

b — 宽度

B — 焊缝宽度

C — 焊缝余高

d — 孔直径

D — 直径、对边尺寸

DN — 钢管公称直径

e — 偏心、位移、错边

E — 角焊缝有效厚度

f — 挠度、弯曲矢高、直线度、变形、平面度、预拱

g — 坡口宽度

H — 塔高度

h — 高度

h_f — 焊脚尺寸

L — 轮廓尺寸、长度

P — 倾斜、垂直度

r — 内径

R_a 、 R_z — 粗糙度

S — 孔间距离

S_b — 孔端距

S_g — 孔边距

t — 厚度

Z — 角焊缝未焊透尺寸

α — 角度

ϕ — 圆钢直径

4 总则

- 4.1 输变电钢管结构制造及检验应符合设计文件和本标准的要求，当需要变更设计时，应征得设计单位的同意，并签署设计确认文件。
- 4.2 采用新技术、新工艺、新材料时，应经过试验及验证评定合格。
- 4.3 输变电钢管结构制造中所涉及到角钢的加工技术要求，除本标准规定项目外，其余按 GB/T2694 标准执行。
- 4.4 在本标准中未规定的应符合国家和行业有关标准的规定。

5 材料

5.1 钢材

- 5.1.1 钢材应按设计文件或合同约定的规格和等级选用，质量指标应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 702、GB/T 706、GB/T 709、GB/T 1591、GB/T 3091、GB/T 3274、GB/T 3524、GB/T 8162、GB/T 13793、DL/T 1401 的规定，且应具有出厂质量合格证明书，并经抽检合格后使用。若采用正火轧制或热机械轧制钢材应征得设计部门的确认。钢材取样批次、数量应符合产品标准的要求。采用进口钢材时其质量应符合合同规定。
- 5.1.2 当设计要求采用厚度方向性能钢板时，其质量指标应符合 GB/T 5313 标准规定的要求。
- 5.1.3 钢材应具有可追溯标记，在制造过程中，如原有可追溯标记被分割，应于材料分割前完成标记的移植。
- 5.1.4 热轧钢板和钢带尺寸、外形、重量及允许偏差，当设计或合同无特殊要求时，应符合 GB/T 709 的 N 类偏差规定。
- 5.1.5 钢材表面不应有裂缝、折叠、结疤、夹杂和重皮；表面有锈蚀、麻点、划痕时，其深度不应大于该钢材厚度负允许偏差值的 1/2，且累计误差应在负允许偏差范围内。
- 5.1.6 型钢不应有大于 5mm 的毛刺。型钢表面缺陷允许清除，但不应横向清除，清除处应圆滑无棱角，清除宽度不应小于清除深度的 5 倍，清除后的型钢尺寸偏差不应超出合同约定的负允许偏差。

5.2 紧固件

- 5.2.1 紧固件规格、等级及防腐形式应按设计文件要求选用，产品质量应符合 GB/T 41、GB/T 95、GB/T 805、GB/T 3098.1、GB/T 3098.2、GB/T 5780、GB/T 6170、DL/T 284 等的规定。
- 5.2.2 8.8 级及以上的高强度螺栓应有强度和塑性试验的合格证明。
- 5.2.3 紧固件镀锌层厚度应符合 DL/T 284 的规定。

5.3 焊接材料

5.3.1 焊条质量应符合 GB/T 5117 的规定,埋弧焊焊丝、焊剂应符合 GB/T 5293 的规定,气体保护焊焊丝应符合 GB/T 8110 和 GB/T 10045 的规定。

5.3.2 焊条表面药皮不应有脱落、受潮现象;焊丝表面应光滑平整,不应有毛刺、划痕、锈蚀和氧化皮或其他对焊接性能或焊接设备操作性能有不良影响的杂质存在。

5.3.3 焊接气体使用的氩气应符合 GB/T 4842 的规定,纯度应不低于 99.99%,二氧化碳应符合 GB/T 6052 的规定,混合气体应符合 HG/T 3728 的规定。

5.3.4 每种焊材首次使用前应进行熔敷金属力学性能试验。

5.3.5 焊接材料管理应符合 JB/T 3223 的规定。

5.4 防腐处理材料

5.4.1 锌锭、锌丝质量要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存应符合 GB/T 470 的规定。应具有出厂质量合格证明书,并经复检合格。

5.4.2 用于表面修复处理的富锌涂层材料应符合 HG/T 3668 标准要求。

6 零件加工

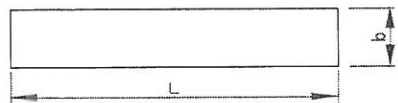
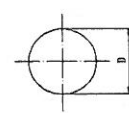
6.1 切割

6.1.1 钢材切割面或剪切面应无裂纹、分层和大于 1.0mm 的边缘缺棱,切割面平面度应为 $0.05t$ (t 为被切钢材厚度),且不应大于 2.0mm,割纹深度不应大于 0.3mm,局部缺口深度不应大于 1.0mm。切割面上的熔瘤、挂渣、飞溅物等应清除干净。

6.1.2 切割允许偏差应符合表 1 规定。

表 1 切割允许偏差

单位: mm

项 目				允 许 偏 差	示 意 图
零件基本尺寸	长度	与高颈 法兰对接	$L \leq 8000$	± 1.5	
			$L > 8000$	± 2.0	
		其他	$L \leq 8000$	± 2.0	
			$L > 8000$	± 3.0	
	宽度 b			± 2.0	
圆盘直径 D				$\pm D/100$ 且 $ D/100 \leq 3.0$	
环形板		宽度 b		± 2.0	
		内圆半径 r		$+2.0$ 0	
		平面度		2.0	

6.1.3 钢板、圆钢切割的端面倾斜允许偏差应符合表 2 规定。

6.1.4 钢管下料端面倾斜及开槽允许偏差应符合表 3 规定。直缝钢管开槽应避开钢管纵向焊缝,切割面应平整,开槽根部宜圆弧过渡,不应出现根部过切割,当开槽尺寸超过允许偏差时,不得补焊。

表 2 钢板、圆钢下料端面倾斜允许偏差 单位: mm

钢板厚度	圆钢直径	允许偏差	示意图
$t \leq 20$	$\varphi \leq 95$	1.0	
$20 < t \leq 36$	$95 < \varphi \leq 180$	1.5	
$t > 36$	$\varphi > 180$	2.0	

表 3 钢管下料端面倾斜及开槽允许偏差 单位: mm

项 目		允许偏差	示 意 图
端面倾斜	$D \leq 219$	1.0	
	$219 < D \leq 426$	1.5	
	$426 < D \leq 508$	2.0	
	$D > 508$	2.5	
开槽	开槽长度 L	+2.0 0	
	开槽宽度 b	+2.0 0	
	开槽倾角 α	1.0°	
	开槽中心线偏斜 e	1.0	
注：与高颈法兰对接时，允许偏差最大不大于 1.5。			

6.2 标识

- 6.2.1 具有连接作用的零件应有产品型号、零件号、材质代号, 并应以钢字模压印作标识。部件还应有企业标识、工程代号(必要时)标识, 工程代号在合同或招标文件中应统一规定。钢材材质代号标识应符合表 4 的规定。
- 6.2.2 标识的钢印应排列整齐, 字形不得有缺陷, 字体高度应为 8mm~18mm。材料厚度不大于 8mm, 钢印深度宜为 0.3mm~0.6mm; 材料厚度大于 8mm, 钢印深度宜为 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, 边缘不得有裂纹或缺口。
- 6.2.3 钢印不得压在孔位或制弯部位, 焊接部件的钢印不得被覆盖。
- 6.2.4 必要时应标记出法兰的安装方向。

表 4 钢材材质代号标识

钢材牌号	钢材质量等级		
	B	C	D
Q235	/	FC	FD
Q355	H	HC	HD
Q420	P	PC	PD
Q460	/	TC	TD
注: Q235B材料不标识。			

6.3 制孔

6.3.1 制孔表面不得有明显的凹面缺陷，大于 0.3mm 的毛刺应清除，制孔后孔壁与零件表面的边界交界处，不应有大于 0.5mm 的缺棱或塌角。

6.3.2 制孔的允许偏差应符合表 5 的规定。

表 5 制孔允许偏差

单位: mm

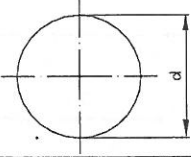
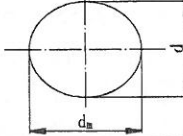
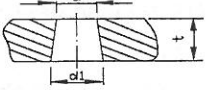
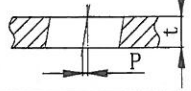
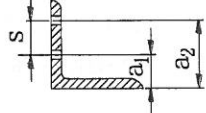
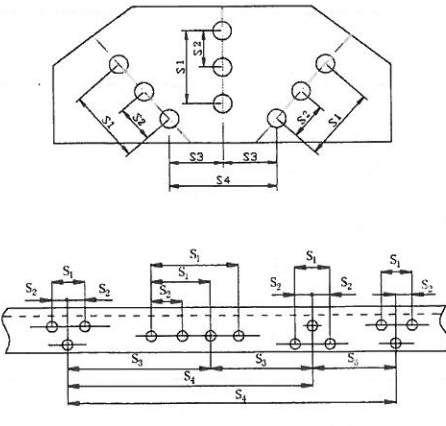
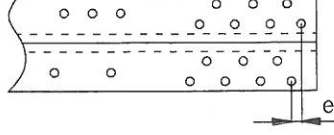
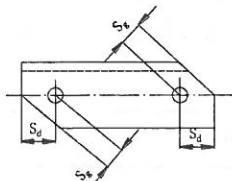
项目		允许偏差	示意图
孔直径 d	防腐前	+0.8 0	
	防腐后	+0.5 -0.3	
圆度 $d_m - d$		1.2	
孔上下直径差 $d_1 - d$		0.12t	
孔垂直度 P		0.03t 且不大于 2.0	
准距 a_1, a_2		± 1.0	
排间距离 S		± 1.0	
孔间距	同组内不相邻两孔距离 S_1	± 1.0	
	同组内相邻两孔距离 S_2	± 0.5	
	相邻组两孔距离 S_3	± 1.0	
	不相邻组两孔距离 S_4	± 1.5	
角钢接头处两面孔位偏差 e		1.0	

表 5 (续) 制孔允许偏差

单位: mm

项目		允许偏差	示意图
端 边 距	端距和边距 S_d	± 1.5	
	切角边距 S_g	± 1.5	
注 1: 孔圆度中 d 为标称孔径。 注 2: 冲孔孔径的测量位置应在其小径所在平面内进行。			

- 6.3.3 制孔工艺不得采用火焰切割或等离子切割。
- 6.3.4 当钢材材质为 Q235 且厚度大于 16mm、钢材材质 Q355 且厚度大于 14mm、钢材材质为 Q420 且厚度大于 12mm、钢材材质为 Q460 的所有厚度均不得采用冲孔工艺。
- 6.3.5 挂线孔应采用钻孔工艺。
- 6.3.6 当采用激光切割工艺制孔时, 钢材厚度不应大于 30mm。钢材材质为 Q420 钢材厚度不应大于 25mm、钢材材质为 Q460 钢材厚度不应大于 20mm。孔壁表面不应有大于 0.6mm 的凹线或凸线, 粗糙度 R_a 不应大于 $25 \mu m$ 。
- 6.3.7 运行在 $-20^\circ C$ 及以下的输变电钢管结构产品不应采用激光切割工艺制孔。

6.4 制管

- 6.4.1 钢板制弯后管的内外表面应光滑, 边缘应圆滑过渡, 表面不得有损伤、褶皱和凹面, 划道、刮伤深度应小于壁厚允许负偏差 $1/2$, 且不应大于 0.5mm。引起应力集中的尖锐划伤应打磨平, 表面修磨后的实际厚度应符合钢管厚度负偏差要求。
- 6.4.2 钢板制管允许偏差应符合表 6 的规定。

表 6 钢板制管允许偏差

单位: mm

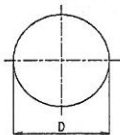
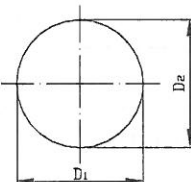
项 目			允许偏差	示意图
钢板制管 直径 D	对接接头、 带颈法兰连接	$D \leq 500$	± 1.0	
		$D > 500$	± 2.0	
	插接接头		$\pm D/100$ 且 $ D/100 \leq 3.0$	
	平面法兰连接		± 3.0	
钢板制管 圆度 D_1-D_2	对接接头、 带颈法兰连接	$D \leq 500$	1.0	
		$D > 500$	2.0	
	插接接头		$D/100$ 且 不大于 3.0	
	平面法兰连接		2.0	

表 6 （续） 钢板制管允许偏差

单位：mm

项 目			允许偏差	示意图
棱边宽度 b			± 2.0	
多边形钢管制弯角度 α			$\pm 1^\circ$	
同一截面上的对边尺寸 D	对接接头	$D \leq 500$	± 1.0	
		$D > 500$	± 2.0	
	插接接头		$\pm D/100$ 且 $ D/100 \leq 3.0$	
	其他处		± 5.0	
直线度 f			$L/1500$ ，且不大于 5.0	
局部凸起或凹陷 f			300 长度内不大于 3.0	
单节杆段上下两截面轴向扭转 α			2°	

6.5 法兰

6.5.1 法兰形式

法兰形式分为带颈法兰（包括对焊法兰与平焊法兰）和平面法兰（包括有颈法兰与无颈法兰）。

6.5.2 法兰外观

表面应无毛刺、划痕、裂纹、夹层、折叠、夹渣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，不应减小其有效承载面积。

6.5.3 带颈法兰采用全平面接触形式时，连接接触面表面粗糙度 Ra 不应大于 $6.3\mu m$ 。

6.5.4 采用锻造工艺制作的法兰应满足以下要求。

6.5.4.1 锻造法兰应按设计文件要求的规格和等级选用，且不应低于 NB/T 47008、NB/T 47009 中的Ⅲ级标准，质量指标应符合本标准及技术协议的要求，应具有出厂质量合格证明书，并经抽检合格后使用。

6.5.4.2 锻件超声波检测

锻件在制孔前、粗车后应沿锻件外周及法兰密封面对锻件进行超声波检测。超声波检验应按 NB/T 47013.3 执行，单个缺陷当量平底孔直径应为Ⅱ级合格，密集区缺陷当量直径应为Ⅰ级合格，由缺陷引起底波降低量应为Ⅰ级合格。密集缺陷面积占检测总面积之比为Ⅱ级合格。

6.5.4.3 锻件表面无损检测

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 标准要求采用磁粉检测或渗透检测进行，不允许存在裂纹、线形缺陷；对于圆形缺陷，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， $d \leq 2.0mm$ 的圆形缺陷不应大于 1 个；渗透检测时， $d \leq 1.5mm$ 的圆形缺陷不应大于 1 个。

6.5.4.4 锻件宜以正火加回火状态交货。

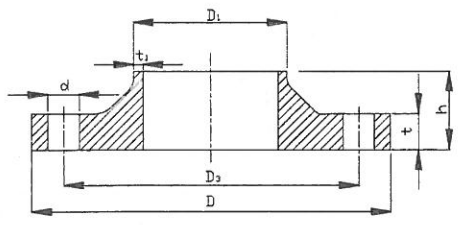
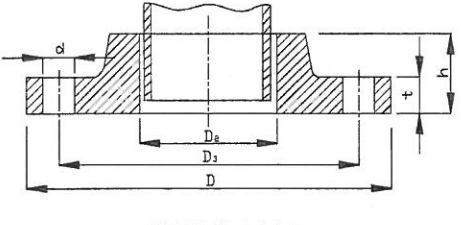
6.5.4.5 锻造法兰在制造过程中不得补焊。

6.5.5 法兰尺寸允许偏差应满足以下要求。

6.5.5.1 带颈法兰尺寸允许偏差应符合表 7 规定。

表 7 带颈法兰尺寸允许偏差

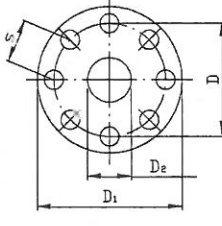
单位: mm

项 目		允许偏差	示意图
法兰厚度 t	所有规格	+1.0 0	 对焊法兰示意图  平焊法兰示意图
法兰高度 h	所有规格	± 1.0	
法兰颈部厚度 t_1	所有规格	± 0.5	
对焊法兰焊端外径 D_1	$DN < 150$	± 0.5	
	$150 \leq DN < 600$	± 1.0	
	$DN \geq 600$	± 1.5	
平焊法兰内径 D_2	$DN < 125$	+0.5 0	
	$DN \geq 125$	+1.0 0	
法兰外径 D	所有规格	± 1.0	
螺栓孔中心圆直径 D_3		± 1.0	
相邻两螺栓孔的间距		± 0.5	
任意两螺栓孔之间的间距		± 1.0	
注: DN 为钢管公称直径			

6.5.5.2 平面法兰尺寸允许偏差应符合表 8 规定。

表8 平面法兰尺寸允许偏差

单位: mm

项 目		允许偏差	示意图
连接法兰相邻两螺栓孔的间距 S		± 0.5	
连接法兰螺栓孔 中心圆直径 D	$D \leq 1500$	± 1.0	
	$D > 1500$	± 1.5	
地脚法兰相邻 两螺栓孔的间距 S	$D \leq 1500$	± 1.0	
	$D > 1500$	± 1.5	
地脚法兰螺栓孔中心圆直径 D		± 2.0	
法兰外径 D_1		± 2.0	
法兰内径 D_2		$+1.0$ 0	

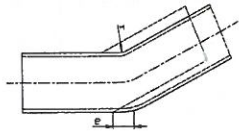
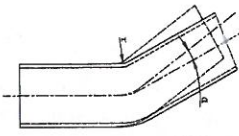
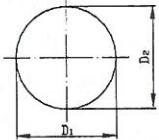
6.6 制弯

6.6.1 钢管制弯

- 6.6.1.1 钢管制弯最小弯曲半径不宜小于 1.5 倍的钢管直径。
- 6.6.1.2 钢管制弯后，表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 0.5mm，钢管最薄处不应小于原厚度的 90%。
- 6.6.1.3 钢管热弯后宜自然冷却，必要时采取适当保温措施使其缓冷。
- 6.6.1.4 钢管制弯后，制弯处应进行无损探伤检测，不应出现裂纹或分层。
- 6.6.1.5 钢管制弯允许偏差应符合表 9 规定。

表 9 钢管制弯允许偏差

单位: mm

项 目	允许偏差	示意图
曲点(线)位移 e	± 5.0	
制弯角度 α	$\pm 0.5^\circ$	
制弯处圆度 D_1-D_2	$2D/100$, 且不大于 10.0	

6.6.2 零件制弯

6.6.2.1 零件制弯可采用室温下冷变形加工或均匀热变形加工。碳素结构钢在环境温度低于 -16°C 、低合金结构钢在环境温度低于 -12°C 时，不应冷变形加工。钢板冷弯的最小弯曲半径为 2 倍板厚。

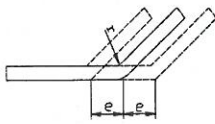
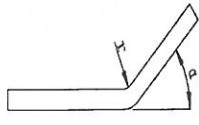
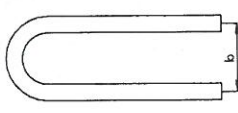
6.6.2.2 零件弯曲后，弯曲边缘应圆滑过渡、弯曲外弧面不应有裂纹和明显的折皱、凹面和损伤，划痕深度不应大于 0.5 mm，角钢边厚度最薄处不应小于原公称厚度的 70%，钢板最薄处不应小于原公称厚度的 90%。对于出现的制弯裂纹不应补焊修复。

6.6.2.3 挂线板及挂线角钢的制弯必须采用热弯，制弯完成后自然冷却。

6.6.2.4 制弯允许偏差应符合表 10 的规定。

表 10 制弯允许偏差

单位: mm

项 目	允许偏差	示意图
曲点(线)位移 e	≤ 2.0	
弯曲角度 α	$\pm 0.5^\circ$	
U 形板开口尺寸 b	$+2.0$ 0	

7 焊接

7.1 焊接工艺评定

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，在焊接施工前应按 GB 50661 进行焊接工艺评定，并编制焊接工艺规程和焊接作业指导书。焊接件的施焊范围不应超出焊接工艺评定的覆盖范围。

7.2 焊工资格

7.2.1 焊工应经过专门的基本理论和操作技能培训并考试合格取得合格证书。

7.2.2 焊工焊接的钢材种类、焊接方法和焊接位置等均应与焊工本人考试合格项目的适用范围相符。

7.3 焊接的基本规定

7.3.1 焊缝质量等级

焊缝质量等级应符合设计文件要求。设计文件无明确要求时，焊缝质量等级要求如下：

a) 一级焊缝：插接杆外套管插接部位纵向焊缝设计长度加 200mm、钢管与钢管或钢管与法兰的环向对接焊缝、连接挂线板的对接和主要 T 接焊缝。

b) 二级焊缝：钢管塔横担与主管连接的连接板沿主管长度方向焊缝、钢板的对接焊缝，且应对焊缝内部质量施行 100%无损检测。无劲法兰、有劲法兰或者带颈法兰与杆体连接的角焊缝、钢管杆杆体与横担连接处的焊缝、连接挂线板角焊缝、钢管与钢管相贯连接焊缝、环形加强板对接焊缝等应符合二级焊缝外观质量要求。

c) 三级焊缝：钢管的纵向焊缝（应完全熔透），设计图纸无特殊要求的其他焊缝。

7.3.2 杆身或横担的纵焊缝应布置在钢管的中和轴附近。

7.3.3 定位焊的质量要求及工艺措施应与正式焊缝相同，应由持有效资格证书的焊工施焊。

7.3.4 焊接现场环境应符合下列要求：

a) 焊条电弧焊，其焊接作业区最大风速不宜超过 8m/s，气体保护电弧焊不宜超过 2m/s，如果超出上述范围，应采取有效措施以保障焊接电弧区域不受影响。

b) 当焊接作业区处于下列情况之一时严禁施焊：

——相对湿度大于 90%；

——焊件表面潮湿或暴露于雨、冰、雪中；

——焊接作业条件不符合 GB/T 9448 的规定。

c) 焊接环境温度低于 0℃，应采取加热或防护措施，应确保接头焊接处各方向不小于 2 倍板厚且不小于 100mm 范围内的母材温度，不低于 20℃或规定的最低预热温度二者的较高值，且在焊接过程中不应低于这一温度。

7.3.5 焊缝间隙内不得嵌入金属材料。

7.3.6 一、二级焊缝焊接完毕应在距焊趾 50mm 明显位置打上焊工编号钢印，若部件仅由一名焊工独立施焊，只须在该部件明显位置打上焊工编号钢印，且应在防腐处理后清晰可见。

7.3.7 需打磨的焊缝应保证焊缝有效熔深。

7.4 焊缝坡口

7.4.1 焊接坡口形式和尺寸，应符合 GB/T 985.1、GB/T 985.2 的有关规定。对图纸有特殊要求的坡口形式和尺寸，应根据图纸并结合焊接工艺评定确定。

7.4.2 焊接坡口应优先采用机械方法加工，采用火焰切割时应保证焊缝坡口处平整、无毛刺、无裂纹、无气割熔瘤、无氧化层、夹层等缺陷。

7.5 焊缝质量

7.5.1 焊缝外观质量

7.5.1.1 焊缝感观应外形均匀、成型较好，焊道与焊道、焊缝与基体金属间圆滑过渡，焊渣和飞溅物清除干净。

7.5.1.2 影响镀锌质量的焊缝缺陷应修磨或补焊，且补焊的焊缝应与原焊缝间保持圆滑过渡。

7.5.1.3 当焊缝外观出现下列情况之一时，应进行表面缺陷无损检测：

- a) 外观检查发现裂纹时，应对该批中同类焊缝进行 100% 的表面无损检测；
- b) 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) 设计图纸规定采用表面无损检测时；
- d) 检查人员认为有必要时。

7.5.1.4 焊缝外观质量应符合表 11 的规定。

表 11 焊缝质量等级及外观缺陷分级

单位：mm

项 目		允许偏差		
焊缝质量等级		一级	二级	三级
外 观 缺 陷	未焊满 (指不足设计要求)	不准许	$\leq 0.2+0.02t$ 且 ≤ 1.0	$\leq 0.2+0.04t$ 且 ≤ 2.0
			每 100.0 焊缝内缺陷总长小于或等于 15.0	
	根部收缩	不准许	$\leq 0.2+0.02t$ 且 ≤ 1.0	$\leq 0.2+0.04t$ 且 ≤ 2.0
			长度不限	
	裂纹	不准许		
	未熔合	不准许		
	咬边	不准许	深度 $\leq 0.05t$ ，且 ≤ 0.5 ；连续长度 ≤ 100.0 ，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
	弧坑裂纹	不准许		允许存在个别长度 ≤ 5.0 的弧坑裂纹
	电弧擦伤	不准许		允许存在个别电弧擦伤
	飞溅	清除干净		
	接头不良	不准许	缺口深度 $\leq 0.05t$ 且 ≤ 0.5	缺口深度 $\leq 0.1t$ 且 ≤ 1.0
			长度每 1000.0 焊缝不得超过 1 处(不足 1000.0 的以每条焊缝计)	
	焊瘤	不准许		
	表面夹渣	不准许		深度 $\leq 0.2t$ 长 $\leq 0.5t$ ，且 ≤ 20.0
	表面气孔	不准许		每 50.0 焊缝内允许直径 $\leq 0.4t$ ，且 ≤ 3.0 的气孔 2 个，孔距 ≥ 6 倍孔径

注 1：咬边如经磨削修整并平滑过渡，则只按焊缝焊脚尺寸值评定。

注 2：t 为连接处较薄的板厚。

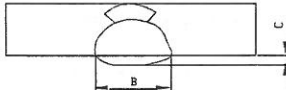
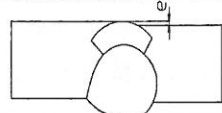
注 1：咬边如经磨削修整并平滑过渡，则只按焊缝焊脚尺寸值评定。

注 2：t 为连接处较薄的板厚。

7.5.2 焊缝外形尺寸

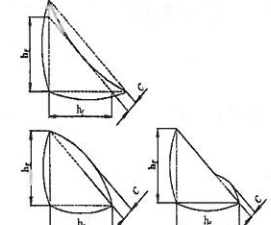
7.5.2.1 对接焊缝及完全熔透组合焊缝尺寸偏差应符合表 12 规定。

表 12 对接焊缝及完全熔透组合焊缝尺寸允许偏差 单位: mm

项目	允许偏差		示意图
对接焊缝余高 C	一级、二级	三级	
	B<20: 0~3.0 B≥20: 0~4.0	B<20: 0~3.5 B≥20: 0~5.0	
对接焊缝错边 e	e<0.1t 且≤2.0	e<0.15t 且≤3.0	

7.5.2.2 角焊缝焊脚尺寸 h_f 值应由设计或有关技术文件注明, 部分熔透组合焊缝和角焊缝外形尺寸允许偏差应符合表 13 规定。

表 13 部分熔透组合焊缝和角焊缝外形尺寸允许偏差 单位: mm

项目	允许偏差	示意图
焊脚尺寸 h_f	$h_f \leq 6$: 0~1.5 $h_f > 6$: 0~3.0	
角焊缝余高 C	$h_f \leq 6$: 0~1.5 $h_f > 6$: 0~3.0	

7.5.2.3 角焊缝焊脚尺寸 h_f 设计未作规定时, 圆管 T、K、Y 形节点的角焊缝焊脚尺寸应符合表 14 规定。

7.5.2.4 焊缝的宽度尺寸

I 形坡口对接焊缝、包括 I 形带垫板对接焊缝见图 1, 其焊缝宽度 $B=b+2a$ 。非 I 形坡口对接焊缝见图 2, 焊缝宽度 $B=g+2a$ 。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不应大于 3.0mm, 整个焊缝长度范围内偏差值不应大于 4.0mm。焊缝宽度应符合表 15 的规定。

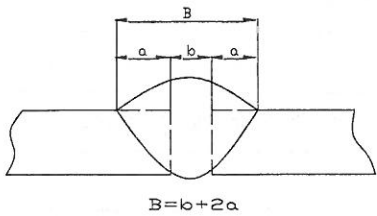


图 1 I 形坡口对接焊缝

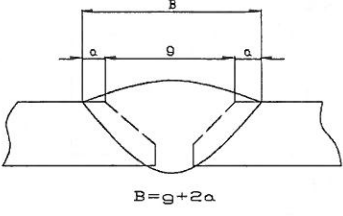


图 2 非 I 形坡口对接焊缝

表 14 圆管 T、K 和 Y 形节点的角焊缝焊脚尺寸

单位: mm

α	最小焊脚尺寸 h_f		
	$E=0.7t$	$E=t$	$E=1.07t$
根部 $\leq 60^\circ$	$1.5t$	$1.5t$	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 $>120^\circ$	$t(\text{切边})$	$1.4t(\text{切边})$	开坡口 $60^\circ\sim 90^\circ$ (焊透)

当 $\alpha > 120^\circ$ 时边缘应切掉以便增加焊喉厚度

注 1: 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, Z 值为根部角焊缝未焊透尺寸, Z 值由工艺评定确定;

注 2: 根部间隙为 $0\sim 5\text{mm}$, 当根部间隙大于 1.6mm 时, 适当增加 h_f 值;

注 3: 本表适用 $\alpha \geq 30^\circ$ 。

表 15 焊缝宽度

单位: mm

焊接方法	焊缝形式	焊缝宽度 B	
		$B_{\min}$	$B_{\max}$
埋弧焊	I 形焊缝	$b+8$	$b+28$
	非 I 形焊缝	$g+4$	$g+14$
手工电弧焊及气体保护焊	I 形焊缝	$b+4$	$b+8$
	非 I 形焊缝	$g+4$	$g+8$

注: 表中 b 值为符合 GB/T985.1、GB/T985.2 规定的实际装配值。 g 为坡口面宽度。

7.5.2.5 焊缝边缘直线度 f , 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 3, 其值符合表 16 规定。

表 16 焊缝边缘直线度偏差

单位: mm

焊接方法	焊缝边缘直线度偏差值 f
埋弧焊	3.0
手工电弧焊及气体保护焊	2.0

7.5.2.6 焊缝表面凹凸, 在焊缝任意 25mm 长度范围内, 焊缝余高 $C_{\max}-C_{\min}$ 的允许偏差值不大于 2.0 mm, 见图 4。

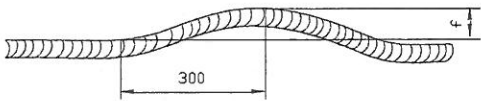


图3 焊缝边缘直线度示意图

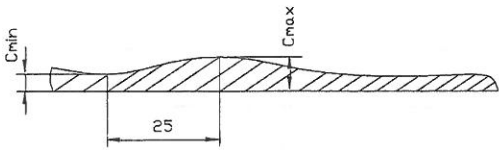


图4 焊缝表面凹凸示意图

7.5.3 焊缝内部质量

7.5.3.1 焊缝内部质量检验应在焊接完成 24h 后并经外观检测合格再进行。焊后热处理时，焊缝内部质量检验应在热处理后进行。

7.5.3.2 一级、二级焊缝内部质量宜采用脉冲反射法超声波检测，结果应符合 GB/T 11345、GB/T 29711、GB/T 29712、JG/T 203 等标准要求；当脉冲反射法超声波检测不能对缺陷做出判断时，可辅以其他方法。

7.5.3.3 焊缝内部局部无损检测发现疑似裂纹、未熔合或未焊透等危害性缺陷时，应对该条焊缝进行全部检测。如发现其他不准许缺陷，应在其延伸方向或可疑部位作补充检测，补充检测的长度不应小于原焊缝长度的 10%，且不应小于 200mm，经补充检测仍不合格，则应对该焊工在该条焊缝的全部焊接部位进行检测。

7.5.3.4 经射线或超声波检测的焊缝，如有超标的缺陷，应在缺陷清除后补焊，并对该部分焊缝采用原检测方法重新检测。

7.5.3.5 一、二级焊缝质量等级及内部缺陷分级应符合表 17 的规定。设计未注明焊缝质量等级按三级焊缝质量要求检验。

表 17 焊缝质量等级及内部缺陷分级

焊缝质量等级			一级	二级
超声波检测	灵敏度设定	$t \geq 8\text{mm}$	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 2 级
	检测与评定	$t < 8\text{mm}$	JG/T203	JG/T203
	检测比例		100%	20%
射线检测	检测技术等级		GB/T 3323.1 B 级	GB/T 3323.1 B 级
	验收等级		GB/T37910.1 1 级	GB/T 37910.1 2 级
	检测比例		100%	20%

注：t 为母材厚度

7.5.3.6 探伤检测比例的计算方法应按每条焊缝计算百分比，且探伤长度不应小于 200mm，当焊缝长度不足 200mm 时，应对整条焊缝探伤。

7.6 焊接返工

7.6.1 进行焊接返工前，应制定返工程序及返工工艺，并严格遵照执行。

7.6.2 焊接返工的质量控制应和正式焊接作业的质量控制相同。

7.6.3 焊缝同一部位的返工次数不宜超过 2 次，如超过 2 次，返工次数、部位和返工情况应在产品的

验收资料中说明。

8 焊接件装配

8.1 装配前，零、部件应经检验合格。焊缝坡口及边缘每边 30mm~50mm 内的铁锈、毛刺和油污等影响焊接质量的表面缺陷应清除干净。

8.2 焊接件装配应采取防止焊接变形的措施。

8.3 焊接件装配允许偏差应符合表 18 规定。

表 18 焊接件装配允许偏差

单位: mm

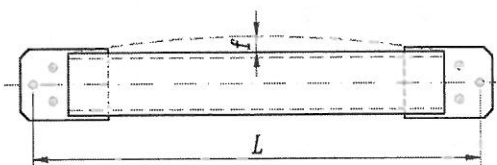
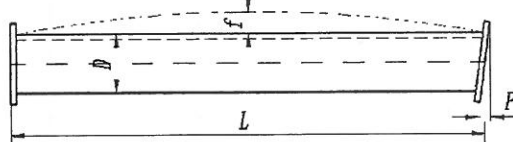
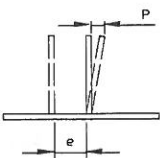
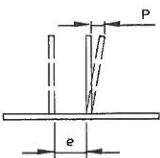
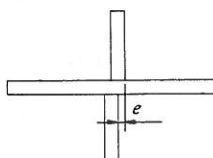
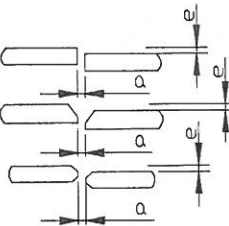
项目			允许偏差	示意图
部件 长度 L	钢管杆		+L/1000 0	
	钢管塔及 钢管构支架	L≤8000	±2.0	
		L>8000	±3.0	
直线度 f			L/1500 且不大于 5.0	
法兰面对轴线 倾斜 P	D<1000		1.5	
	1000≤D≤2000		1.5D/1000	
	D>2000		3.0	
连接板位移 e	有孔		1.0	
	无孔		3.0	
连接板倾斜 P	有孔		1.0	
	无孔		3.0	
“十”字对接板错边 e			1.0	
钢管纵焊缝纵向位移 e			3.0	
对接接头错口 e			t/10 且不大于 2.0	
间隙 a			±1.0	

表 18 (续) 焊接件装配允许偏差

单位: mm

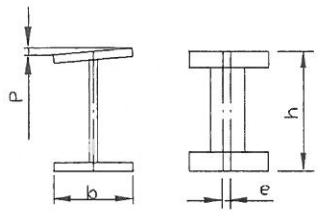
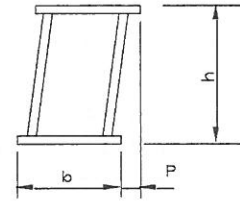
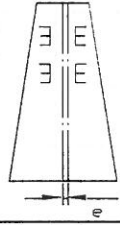
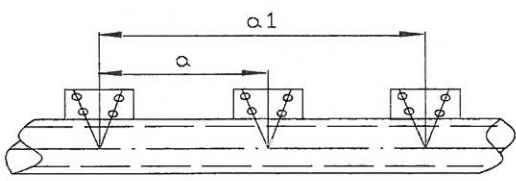
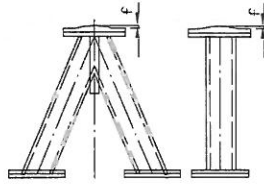
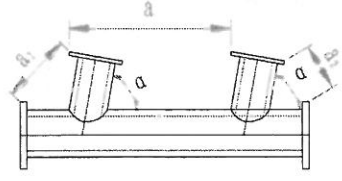
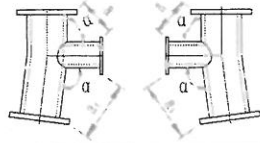
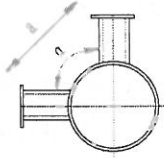
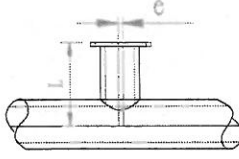
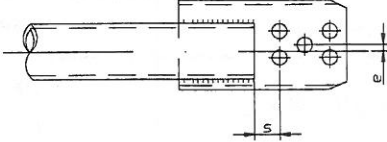
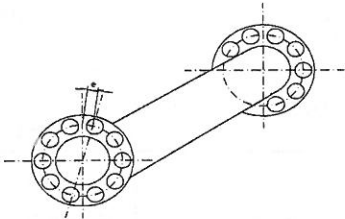
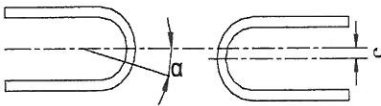
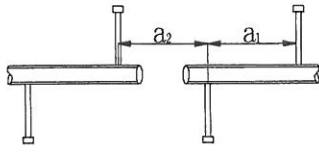
项目		允许偏差	示意图
H 型焊 接件	高度 h	± 2.0	
	垂直度 P	$b/100$ 且不大于 2.0	
	中心偏移 e	2.0	
箱型焊 接件	箱形截面高度 h	± 2.0	
	箱形截面宽度 b	± 2.0	
	垂直度 P	$b/200$ 且不大于 3.0	
钢管杆横担座中心偏移 e		3.0	
相邻两组连接板间距 a		± 1.0	
不相邻两组连接板间距 a_1		± 1.5	
钢管构支架节点柱顶板平面度 f		2.0	
相贯 连接	主管与支管之间角度 α	$\pm 0.5^\circ$	
	主管与支管法兰距离 a_1 、 a_2	± 1.5	
	主管纵中心线方向上支管法兰 距离 a	± 1.5	

表 18 (续) 焊接件装配允许偏差

单位: mm

项目		允许偏差	示意图
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 、 a_1	± 2.0	
	主管左右两侧支管法兰距离 a	± 2.0	
	支管法兰偏移 e	1.0	
	支管长度 L	± 1.5	
插板孔中心与钢管中心线偏差 e		1.0	
插板孔与钢管端距 s		+2.0 0	
法兰盘旋转变位 e		1.0	
U 形板 与钢管装配	装配偏移 e	1.0	
	插板与管轴线倾角 α	1.0°	
相邻脚钉间距 a_1		± 5.0	
段间脚钉间距 a_2 (不包含插接式钢管杆)		± 10.0	

9 矫正

9.1 矫正后的零部件不允许出现表面裂纹, 不应有明显的凹面和损伤, 表面划痕深度不应大于该钢材

- 厚度允许负偏差的 1/2，且不应大于 0.5mm。
- 9.2 部件一次热矫正后仍未达到要求时，不应在原位置进行重复加热。
- 9.3 镀锌件的矫正应采取措施防止锌层受到破坏。

10 试组装

- 10.1 试组装可采用卧式或立式。试组装前应制订试组装方案，包括安全、质量控制措施等。
- 10.2 当分组多段组装时，一次组装的段数不宜少于三段，分段部位应保证有连续段组装，且保证每个部件号均应经过试组装。
- 10.3 试组装时各零部件应处于自由状态，不得强行组装。
- 10.4 试组装螺栓规格应和实际所用螺栓相同，螺栓数量应保证部件的定位需要，且每组孔不应少于该组螺栓孔总数的 30%，并不少于 3 个。当采用比螺栓公称直径大 0.3mm 的通规检查通孔率时，每组孔的通孔率应为 100%。
- 10.5 对于有更改的零件、部件，必须重新进行组装。
- 10.6 试组装允许偏差应符合表 19 的规定。
- 10.7 脚钉排布方位、间距及脚钉形式应符合设计要求，设计无要求时，下端第一个脚钉距离地面的高度应为 2.0m。

表 19 试组装允许偏差 单位: mm

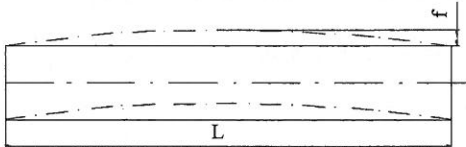
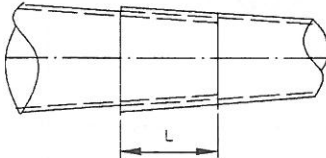
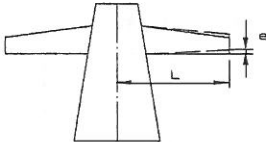
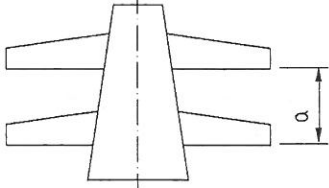
项目	允许偏差	示意图
法兰连接钢管杆总长度 L	$+L/1000$ 0	
直线度 f	$L/1000$	
钢管杆插接长度 L	0 $-L/10$	
插接式钢管杆插接面贴合率	$\geq 75\%$ 周长 且棱边间局部间隙不应大于 3.0	
钢管杆横担、支架端部垂直位移 e (横担、支架对主材中心线垂直度)	$L/150$	
钢管杆同侧相邻横担端部垂直距离 a (插接钢管杆控制同节横担之间距离)	$+10.0$ 0	

表 19 (续) 试组装允许偏差

单位: mm

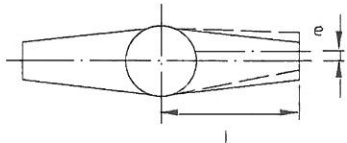
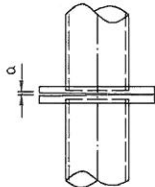
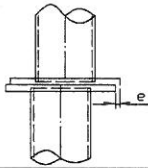
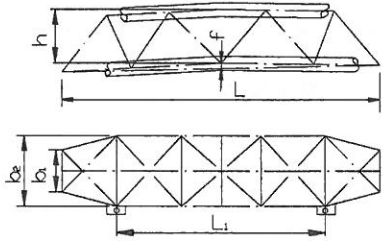
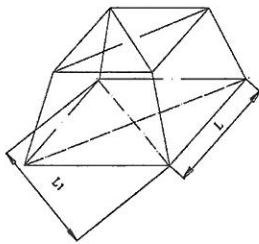
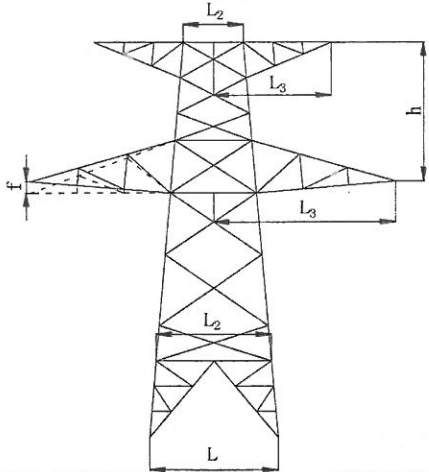
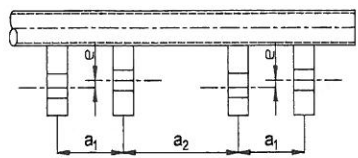
项目			允许偏差	示意图
钢管杆横担支架在同一平面内水平位移 e			$5L/1000$ 且不大于 10.0	
法兰连接的 局部间隙 a	钢管杆		3.0	
	钢管塔 及钢管构支架		2.0	
法兰对口错边 e			2.0	
构 架 梁	横梁中心拱度 f		$+L/2000$ 0	
	总长 L	≤ 24000	+3.0 -7.0	
		> 24000	+5.0 -10.0	
	宽度 b_1 、 b_2		± 3.0	
	断面高度 h		± 3.0	
	挂点距离 L_1		± 10.0	
根开尺寸 L			$\pm L/2000$	
根开对角线尺寸 L_1			$\pm L_1/2000$	
挂点与铁塔中心 水平距离 L_3	钢管塔		$\pm L_3/1000$	
	钢管杆		± 10.0	
钢管塔挂线点之间垂直距离 h			$\pm h/500$	
横担/地线支架预拱 f	立式		+20.0 - $f/10$	
	卧式		+20.0 0	
钢管塔垂直度偏差			$H/750$	

表 19 （续）试组装允许偏差 单位：mm

项目	允许偏差	示意图
塔身断面尺寸 L_2	± 5.0	
组装间隙	2.0	
结构平面扭曲	10.0	
挂线孔同心度偏差 e	1.0	
挂线板间距 a	$+2.0$ 0	

11 热浸镀锌和热喷涂锌

11.1 用于热浸镀锌的锌浴应由熔融锌液构成。除铁、锡除外，熔融锌中的杂质总含量不应超过总质量的 1.5%，所指杂质应符合 GB/T 470 的规定。

11.2 镀锌层表面应连续、完整，并且具有实用性光滑，不得有过酸洗、漏镀、结瘤、积锌、毛刺等缺陷。

镀锌颜色一般呈灰色或暗灰色。

11.3 镀锌层厚度和镀锌层附着量应符合表 20 规定。

表 20 镀锌层厚度和镀锌层附着量

镀件厚度 mm	厚度最小值 μm	最小平均值	
		附着量 g/m^2	厚度 μm
$t \geq 5$	70	610	86
$t < 5$	55	460	65

注：在镀锌层的厚度大于规定值的条件下，被镀制件表面可存在发暗或浅灰色的色彩不均匀。

11.4 镀锌层应均匀，作硫酸铜试验，耐浸蚀次数不应少于 4 次，且不露铁。

11.5 镀锌层应与金属基体结合牢固，应保证在无外力作用下没有剥落或起皮现象。经落锤试验，镀锌层不应凸起或剥离。

11.6 浸锌过程部件热变形时，弯曲变形不应大于 $L/1500$ （ L 为部件长度）。

11.7 修复的总漏镀面积不应超过每个镀件总表面积的 0.5%，每个修复漏镀面不应超过 10cm^2 ，若漏镀面积较大，应进行返镀。修复方法可采用热喷涂锌或涂富锌涂层进行修补，修复层的厚度应比镀锌层

要求的最小平均值厚 $30\mu\text{m}$ 以上。对运输和安装中少量损坏部位,可采用含锌量大于 90%的环氧富锌涂料进行修复。

11.8 钢管部件的防腐处理宜采用热浸镀锌。当部件较大,采用热浸镀锌有困难时,可采用热喷涂进行防腐处理,其技术要求应符合表 21 规定。

表 21 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、无油污、无氧化皮、无锈迹,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 $R_z 40\mu\text{m} \sim 80\mu\text{m}$ 。
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,接头处不允许有高出平面 0.2mm 的锌刺、滴瘤、结块。

12 检验

12.1 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。

12.2 检验项目

检验项目包括:原材料外观质量、外形尺寸、无损检测、力学性能试验及化学成分分析,零部件尺寸偏差,焊缝内、外部质量,试组装,锌层外观质量、厚度、附着性(采用热喷锌防腐的部件应检验锌层结合性)、均匀性、标识和包装。

12.3 检验要求

12.3.1 检验人员应经过专门的基本理论和操作技能培训考试合格,并持证上岗。

12.3.2 无损检测人员应由国家授权的专业考核机构考核合格,其相应等级证书应在有效期内,并按考核合格项目及权限从事无损检测和审核工作。

12.3.3 检验设备和量具的量程及准确度应能满足检测项目精度要求,并经过计量检定(校准)合格,且在有效期内。主要检验设备及量具要求应符合表 22 规定。

表 22 主要检验设备及量具要求

检验项目	检验设备	精度或测量范围
钢材、焊缝外观质量	放大镜	5 倍
钢材外形尺寸、孔径	游标卡尺	0mm~150mm 或以上
长度、孔组间距	钢卷尺	3m、10m、30m 或以上
孔间距	钢直尺	0mm~300mm 或以上

表 22 主要检验设备及量具要求

检验项目	检验设备	精度或测量范围
孔准距	数显卡尺或专用卡尺	0mm~150mm 或以上
间隙	塞尺	0.05mm~1.0 mm
弧度	半径样板 (R 规)	R7.0mm-R14.5mm 或以上
牙距	牙规	符合 GB/T5780 的规定
焊缝外形尺寸	焊缝检验尺	0mm~40mm 或以上
钢材冲击功试验	摆锤冲击试验机	0J~150J 或以上
	低温槽	-40℃~+20℃ 或以上
	缺口拉床、投影仪	符合 GB/T 229 的规定
钢材拉伸及弯曲试验	材料试验机	00kN~600kN 或以上; 精度: 1 级
	冷弯模具	3mm~75mm
焊缝内部质量	超声波探伤仪及试块	0mm~100mm
角度	万能角度尺	0°~320°, 分度值为 2'
锌层厚度	金属涂镀层测厚仪	0μm~1000μm
密度	密度计	650 kg/m ³ ~2000kg/m ³
锌层附着性试验	锌层附着性试验装置	符合附录 B 要求
紧固件机械性能试验	紧固件机械性能试验模具	满足 M12~M24 紧固件机械性能试验的要求
紧固件硬度性能	洛氏硬度计	0~100HRB; 0~40HRC
化学成分分析	化学成分分析设备	符合相关试验方法对应标准要求
质量	精密天平	0g~100g 或以上; 精度: 0.001 g

12.4 检验方法

12.4.1 钢材质量

12.4.1.1 钢材外形尺寸检测

角钢边宽度用游标卡尺在长度方向上每边各测量3点, 分别取其算术平均值; 角钢厚度用游标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。钢板厚度应测量3点, 取其算术平均值。测试时, 测试点应均匀分布, 离边缘距离应不小于10mm。钢管直径应在两端部十字方向测量, 两端分别满足要求。圆钢直径在长度方向上两端距端部25mm处及中间任意部位沿十字方向测量, 共6个点取算术平均值。

12.4.1.2 钢材理化试验

力学性能试验可用材料试验机、冲击功试验机等, 化学成分可用满足相关标准要求的试验仪器分析试验。

12.4.2 锻造法兰

12.4.2.1 外观质量用5倍放大镜或目测检查；直径用量尺或专用工具在法兰十字方向测量几何尺寸取其算术平均值；法兰的厚度和带颈法兰高度沿圆周测3点取其算术平均值。

12.4.2.2 超声波检验应符合NB/T 47013.4的规定。

12.4.3 零部件尺寸检测

零部件尺寸检测可采用钢卷尺、钢直尺、角度尺、卡尺等。

12.4.4 焊缝质量检测

12.4.4.1 焊缝外部质量检测可采用5倍放大镜和焊接检验尺，表面质量检测可采用表面探伤方法。

12.4.4.2 设计要求全焊透的一、二级焊缝的内部质量宜采用超声波检测方法，超声波不能对缺陷做出判断时，应采用射线检测方法。采用超声波检测时，应符合GB11345、GB/T 29711、GB/T 29712、JG/T203的规定；采用射线检测时，应符合GB/T3323.1及GB/T37901.1的规定。

12.4.5 锌层质量检测

12.4.5.1 热浸镀锌

a) 镀锌层外观质量用目测检查。

b) 镀锌层均匀性用硫酸铜试验方法检验，见附录A。

c) 镀锌层附着性用落锤试验方法检测，见附录B。

d) 镀锌层厚度用金属涂层测厚仪测试方法检测，见附录C，当发生争议时以溶解称重试验方法（见附录D）测试镀锌层附着量作为仲裁试验方法。测试结果按各测试点所测得的数据以算术平均值计算。同一焊接件上出现不同厚度材料时，以厚一档为标准进行平均值判定。

12.4.5.2 热喷锌的锌层外观质量用目测；热喷锌结合性检测采用切割试验方法；热喷锌锌层厚度检测采用十点法用金属涂层测厚仪测试方法，可按照GB/T9793执行。

12.4.6 试组质量检测

12.4.6.1 零部件及螺栓就位情况对照图纸目测检查。

12.4.6.2 同心孔通孔率用比螺栓公称直径大0.3mm的试孔器检测，整体的长度（宽度）、挂线点间距离、横担间距离等用钢卷尺检测。

12.4.6.3 法兰连接间隙用塞尺测量，插接式钢管杆插接面贴合率采用0.3mm塞尺测量。

12.4.6.4 横担预拱及构架梁预拱用经纬仪或水准仪和钢直尺检测。

12.4.6.5 采用立式试组时整塔垂直度采用经纬仪检测。

12.4.6.6 结构面平面扭曲用水准仪和或线绳和钢直尺检测。

12.5 抽样方案和判定原则

12.5.1 抽样原则

12.5.1.1 无特殊要求情况下，采用GB/T 2828.1一般检验水平II。

12.5.1.2 钢材质量、零部件尺寸、焊接件及焊缝质量等的抽样方案：660kV及以下电压等级的钢管结构产品应采用GB/T 2828.1正常检验一次抽样方案，750kV及以上电压等级的钢管结构产品应采用GB/T 2828.1加严检验一次抽样方案。

12.5.1.3 锌层和试装质量采用GB/T 2829的判别水平I的一次抽样方案。

12.5.2 检验批

检验批可由几个投产批或投产批的一部分组成。出厂检验批可根据实际情况确定。需方验收检验批的大小应由供需双方合同约定。

12.5.3 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，检测项目及质量特性划分应符合表23规定。

表 23 检验项目及质量特性划分

项 目 名 称			分类		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
零 部 件 尺 寸	主材	角钢		√	—	—	≥95
		钢管结构（含横担）		√	≥90	≥90	—
	接头	角钢、连板		√	—	—	≥95
		钢管结构		√	≥90	≥90	-
	连板			√	—	—	≥90
	腹材	角钢		—	—	—	≥85
		钢管结构		√	≥85	≥85	—
	钢材外观				√	—	—
钢材外形尺寸				√	—	—	—
钢材材质			√		—	—	—
焊缝外观 ^(a)				√	≥90	100	—
焊缝外形尺寸				√	≥95	100	—
焊缝内部质量			√		—	—	—
锌层外观				√	—		
锌层厚度				√	—		
锌层附着性			√		—		
锌层均匀性			√		—		
试装同心孔率				√	≥96		
试装部件就位率				√	≥99		
试组装 ^(b)	主要控制尺寸		√		—		
	其他组装项目			√	允许两项不合格		

注 a：焊缝外观：表 11 中根据不同焊缝等级划分，不允许出现偏差的项目为 A 类，其余为 B 类。

注 b：试组装项目：表 19 中钢管杆插接长度、钢管塔垂直度为 A 类项，其余为 B 类项。

12.5.4 质量水平

输变电钢管结构产品 B 类检验项目质量水平应符合表 24 选用。

表 24 B 类检验项目质量水平（合格/不合格）选用

检验项目	钢材质量		零部件尺寸				焊缝质量		试组装		锌层质量	
	外观	外形尺寸	主材	接头	连板	腹材	外观	外形尺寸	同心孔率	就位率	外观	厚度
接收质量限 AQL	0.40		4.0				0.65		—	—	—	—
不合格质量水平 RQL	—	—	—	—	—	—	—	—	10			

12.5.5 判定原则

12.5.5.1 零部件判定

- a) A 类项目的实测点必须全部合格，B 类项目的实测点应根据零部件类别满足不低于表 23 所规定的合格标准，但不合格的实测点应基本合格（基本合格标准系指虽然与标准偏差有微小的出入，但不影响它的使用和设计效果），判定该项目合格。
- b) 项合格率应根据零部件类别满足不低于表 23 所规定的合格率，则判定该零部件合格。
- c) 当受检零部件出现下列情况之一时，该零部件判定为不合格：
- 项目或项次合格率低于表 23 规定值；
 - 钢材质量不合格或不符合设计要求；
 - 角钢接头处孔向相反；50%及以上孔准距超标；
 - 过酸洗严重，接头孔被酸腐蚀超标；
 - 加工工艺不符合本标准或设计要求；
 - 放样错误；
 - 焊接件中部件尺寸与焊缝有一方面不合格则焊接件不合格；
 - 控制尺寸与图纸不符所涉及的相关件。

12.5.5.2 综合判定

A 类项有 1 项不合格，则产品判定为不合格；B 类项有 1 项大于或等于不合格判定数（Re），则产品判定为不合格。

13 包装、标志、贮存和运输

13.1 一般规定

- 13.1.1 包装应牢固，保证在运输过程中包捆不松动，避免部件之间、部件与包装物之间相互磨擦而损坏锌层。
- 13.1.2 钢管管体的突出部分，如法兰、节点板等，应采用有弹性、牢固的包装物包装。
- 13.1.3 包装前可使用耐老化橡胶塞、耐老化塑料塞或其他有效方法封堵镀锌工艺孔。

13.2 标记

除满足合同要求外，还应在钢管部件的主杆体的明显位置作标记，标注工程的客户名称、塔型号及收货单位，标记内容还应满足运输部门的规定。

13.3 贮存

- 13.3.1 钢管部件储存场所，应选择地面平整坚实无积水的场区。
- 13.3.2 部件在存放时，应有防止部件变形的措施。

13.4 运输

钢管部件的运输应保证在运输过程中具有可靠的稳定性, 部件之间或部件与车体之间应有防止部件损坏、锌层磨损和防止产品变形的措施。

14 技术资料

产品出厂时应具备(但不限于)下列资料

——产品合格证。

——产品质量检验报告, 并应包含下列内容:

- 抽检方案;
- 原材料质量证明书及复检报告;
- 试组装检验记录;
- 零部件检验记录;
- 焊接件检验记录;
- 焊缝无损检测报告;
- 镀锌检测记录。

——设计变更单及材料代用说明。

——焊缝二次或多次返修部位及复检记录。

附录 A
(规范性附录)

热浸镀锌层均匀性试验 硫酸铜试验方法

A.1 硫酸铜溶液的制备和用量

A.1.1 硫酸铜溶液的制备：将 36g 五水硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 加入 100mL 的蒸馏水中，加热溶解后再冷却至室温，每升溶液加 1g 氢氧化铜或碱式碳酸铜 [$\text{Cu}(\text{OH})_2$ 或 $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$] 搅拌均匀，静置 24h 以上，过滤或吸出上面澄清的溶液备用。

硫酸铜溶液在温度 18℃ 时的密度应为 $1.18\text{g}/\text{cm}^3$ ，否则应采用硫酸铜溶液或蒸馏水调整。

A.1.2 硫酸铜溶液的用量：按试样表面积不少于 $8\text{mL}/\text{cm}^2$ 。

A.1.3 配置的硫酸铜溶液可以用于多次试验，但最多不应超过 15 次。

A.2 试样的制备

A.2.1 应按材质、材料规格、产品形状选取有代表性的试样。

A.2.2 试样切成适当大小后，应与产品在同一工艺条件下镀锌。

A.2.3 试样测试面积不应小于 100cm^2 。钢板试样尺寸应为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。先将试件的两端各去掉 5cm，然后分别从试件的两端和中间共取 3 个试样。试样加工时不应损坏镀层表面。

A.2.4 螺栓、螺母应取原件做硫酸铜试验。

A.3 试验条件

A.3.1 用于试验的容器不得与硫酸铜溶液发生化学反应，并应有足够容积使试样在溶液中浸没，试样外缘距容器壁应不小于 25mm。

A.3.2 试验时硫酸铜溶液的温度应为 $18^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。

A.4 试验程序

A.4.1 试样表面处理：将准备好的试样用四氯化碳、苯等有机溶剂擦拭，用流水冲洗、净布擦干，将试件露出的基本金属处涂以油漆或石蜡，方可进行试验。

A.4.2 浸蚀试验：将表面处理好的试样浸入硫酸铜溶液中，此时不得搅动溶液，也不得移动容器。1min 后取出试样，用毛刷除掉试样表面或孔眼处的沉淀物，用流水冲洗、净布擦干，立即进行下一次浸蚀，直至试验浸蚀终点为止。

A.5 浸蚀终点及耐浸蚀试验次数

经上述试验，试样的基本金属上产生红色金属铜时应作为试验浸蚀终点。但下列情况不作为浸蚀终点：

DL/T646-201×

- a) 距试样端部 25mm 内有金属铜附着;
 - b) 试样棱角处有金属铜附着;
 - c) 试样由于镀锌后划、擦伤的部位及周围有金属铜附着的;
 - d) 试样在用无锋刃的器具将附着的金属铜刮掉后下面仍有金属锌的。
- 确定耐浸蚀试验次数时, 作为试验浸蚀终点的那次不得计入。

A. 6 试剂

应采用分析纯试剂。

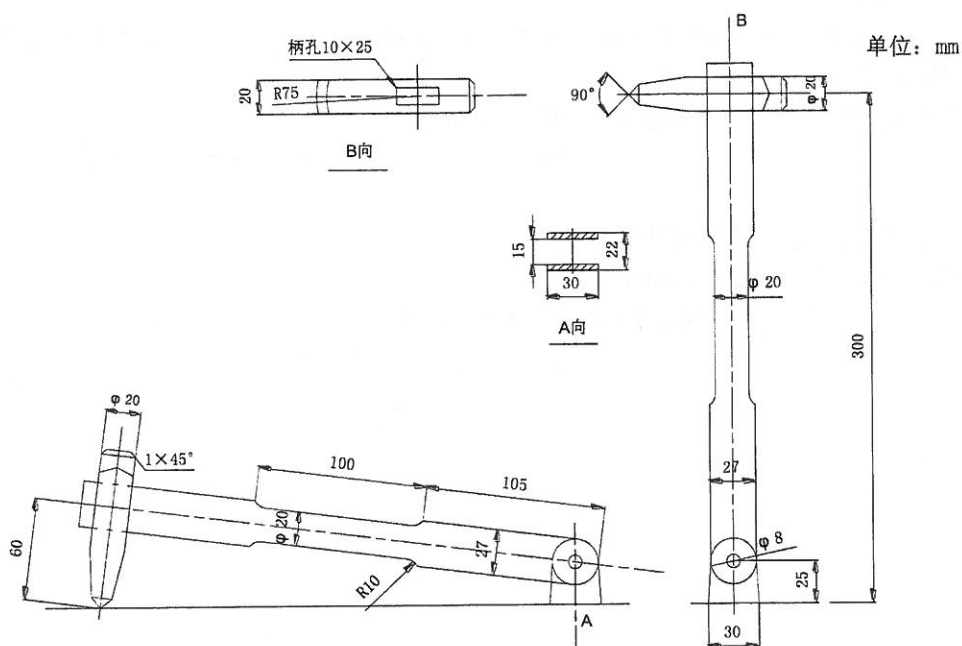
附 录 B
(规范性附录)
热浸镀锌层附着性 落锤试验方法

B1 试验装置

锤击试验装置如图 B.1 所示。试验用的锤子应安装在固定的木制试台上，试验面应保持与锤底座同样高度。

B2 试验规则

试件应置于水平，调整试样，使打击点距离试样边、角及端部不小于 10 mm，锤头面向台架中心，锤柄与底座平面垂直后自由落下，以 4 mm 的间隔平行打击 5 点。检查锌层表面状态，打击处不得重复打击。



注 1：锤头用 45 号钢；重量 210g，锤刃硬度（肖氏）40 以上。

注 2：锤柄用橡木；重量约 70g。

注 3：底座钢板厚 15 mm，长宽 250 mm×250 mm，材质 Q235。

注 4：重量的偏差：±1g，几何尺寸偏差：±1mm。

图 B.1 锤击试验装置

附录 C

(规范性附录)

热浸镀锌层厚度测试 金属涂镀层测厚仪测试方法

C.1 应用金属涂镀层测厚仪时, 应经标准厚度试片校正后再使用。

C.2 测试时, 测试点应均匀分布, 角钢及钢板离边缘距离不应小于 10mm, 钢管离边缘距离不小于 50mm, 测试点数目应符合下列规定:

- a) 角钢试样每面测试 3 处各 1 点, 4 面共 12 点。
- b) 钢板试样每面测试 6 处各 1 点, 2 面共 12 点。
- c) 钢管组焊件在钢管两端各测 4 点, 另在连板、法兰等零件上随机测 10 点 (每个零件不少于 2 点), 共 18 点。
- d) 测试结果按各测试点所测得的数据以算术平均值计算。同一焊接件上出现不同厚度材料时, 以厚一档为标准进行平均值判定。

C.3 镀锌层厚度测定后, 镀锌层附着量按式 (C.1) 计算:

$$P_A = \delta \times \rho \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

P_A —镀锌层附着量, 单位为克每平方米 (g/m^2);

δ —镀锌层厚度, 单位为微米 (μm);

ρ —锌的密度 (ρ 取值 7.2), 单位为克每立方厘米 (g/cm^3)。

附录 D
(规范性附录)

热浸镀锌层附着量测试 溶解称重试验方法

D.1 溶解溶液制备和用量

D.1.1 溶解溶液制备: 将 3.5g 六次甲基四胺 (乌洛托品) 溶解于 500mL 密度为 1.19 g/cm³ 的浓盐酸中, 用蒸馏水稀释至 1000mL。

D.1.2 溶解溶液的用量: 按试样表面积不少于 10mL/cm²。

D.2 试样制备

D.2.1 试样尺寸

试样测试面积不小于 100cm²。

D.2.2 试样制取

先将试件的两端各去掉 5cm, 然后分别从试件的两端和中间共取 3 个试样。试样加工时不应损坏镀层表面。

D.3 试验条件

D.3.1 试验用容器不得与溶解溶液发生化学反应, 并应有足够容积使试样在溶解溶液中完全浸没。

D.3.2 试验时溶解溶液温度不得高于 38℃。

D.4 试验程序

D.4.1 试样表面处理及溶解前称重: 将准备好的试样用四氯化碳、苯等有机溶剂擦拭, 用流水冲洗、净布擦干, 再将试样以乙醇洗净、充分干燥后进行溶解前称重 (准确至试样镀锌层重量的 1%)。

D.4.2 试样溶解及溶解后称重: 将表面已处理好的试样浸入溶解溶液中, 观察试样表面析氢反应, 以氢气析出平缓无变化时作为镀层溶解过程的终点。将试样取出以流水冲洗, 用硬毛刷除去表面附着物, 再将试样以乙醇洗净、迅速干燥后进行溶解后称重 (准确至试样镀锌层重量的 1%)。溶解后应测量试样的表面积 (准确至试样表面积的 1%)。

D.5 试样结果的计算

镀锌层附着量按式 (D.1) 计算:

$$P_A = (m_1 - m_2) 10^{-6} A^{-1} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

P_A —镀锌层附着量, 单位为克每平方米 (g/m²);

m_1, m_2 —溶解前、后试样质量, 单位为克 (g);

A —溶解后试样表面积, 单位为平方毫米 (mm²);

镀锌层厚度按式 (D.2) 计算:

$$\delta = P_A \times \rho^{-1} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

δ —镀锌层厚度, 单位为微米 (μm);

P_A —镀锌层附着量, 单位为克每平方米 (g/m²);

DL/T646-201×

ρ —锌的密度 (ρ 取值 7.2), 单位为克每立方厘米 (g/cm^3)。

D. 6 试剂

应采用分析纯试剂。
