

文件名称	风力发电机组钢制塔筒技术条件		
文件代号	Q/HZ _J 030322-2024		
版本号	V1.0		
总页数	共 49 页	页 码	第 页

风力发电机组 钢制塔筒技术条件

编制： 江 强

校对： 温永奎

标准化： 张 杰

审核： 周 明

批准： 罗 书

日期： 2024-06-21

Q/HZ_J

中 船 海 装 企 业 技 术 标 准

Q/HZ_J 030322-2024

代替Q/HZ_J 002-2023 V1.1

风力发电机组钢制塔筒技术条件

2024-07-01 发布

2024-07-01 实施

中 船 海 装 发 布

目 录

前 言.....	2
1 范围.....	3
2 规范引用文件.....	3
3 术语、符号.....	6
4 总则.....	8
5 材料.....	9
6 部件加工.....	16
7 焊接.....	20
8 内附件装配.....	33
9 防腐.....	34
10 检验及验收.....	42
11 出厂资料.....	45
12 包装、标识、运输和储存.....	45
13 基础环的防水与密封.....	47

前 言

本技术条件按照GB/T1.1-2009规则起草，用于替代《Q/HZJ 002-2023 风力发电机组塔筒技术条件》 V1.1版，自本规范发布之日起上述技术条件作废。与V1.1版相比主要技术变化如下：

- 删除了Q390钢板；
- 修订了焊接质量标准；
- 增加了内附件装配要求；
- 增加了防腐配套体系方案。

本技术条件由中船海装风电有限公司（以下简称“中船海装”）塔筒事业中心提出。

本技术条件由中船海装塔筒事业中心归口。

本技术条件起草单位：中船海装塔筒事业中心。

本技术条件主要起草人：任涛、侯承宇、周扬、张杰、陈庆

本技术条件主要修订人：江鸿、秦珊珊、温永杰

本技术条件所替代标准的历次版本发布情况为：

- 《Q/HZ002-2015 风力发电机组塔筒技术条件》；
- 《Q/HZJ 002-2019 风力发电机组塔筒技术条件》；
- 《Q/HZJ 002-2023 风力发电机组塔筒技术条件》；
- 《Q/HZJ 002-2023风力发电机组塔筒技术条件》 V1.1版。

1 范围

本技术条件规定了风力发电机组钢制塔筒的制造、检验、标识、包装、贮存、运输和验收等方面的技术要求。

2 规范引用文件

下列文件中的条款通过本技术条件的引用而成为本技术条件的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本技术条件。然而，鼓励根据本技术条件达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本技术条件。

GB 50205	钢结构工程施工质量验收规范
GB 50661	钢结构焊接规范
GB 51203	高耸结构工程施工质量验收规范
GB 55006	钢结构通用规范
GB/T 222	钢的成品化学成分允许偏差
GB/T 223	钢铁及合金化学分析方法
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 232	金属材料 弯曲试验方法
GB/T 247	钢板和钢带包装、标志及质量证明书的一般规定
GB/T 470	锌锭
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 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 1184	形状和位置公差 未注公差值
GB/T 1591	低合金高强度结构钢
GB/T 1730	色漆和清漆 摆杆阻尼试验
GB/T 1731	漆膜柔韧性测定法
GB/T 1732	漆膜耐冲击测定法
GB/T 1804	一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
GB/T 2975	钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备
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 粗牙螺纹
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 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 5117	非合金钢及细晶粒钢焊条

GB/T 5118	热强钢焊条
GB/T 5210	色漆和清漆 拉开法附着力试验
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 6394	金属平均晶粒度测定方法
GB/T 8110	气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
GB/T 8170	数值修约规则与极限数值的表示和规定
GB 8923	涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级
GB/T 9286	色漆和清漆 漆膜的划格试验
GB/T 9445	无损检测 人员资格鉴定与认证
GB/T 9793	金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金
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 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 13288	涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性
GB/T 13299	钢的显微组织评定方法
GB/T 13306	标牌
GB/T 13452.2	色漆和清漆 漆膜厚度的测定
GB/T 13912	金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及实验方法
GB/T 14977	热轧钢板表面质量的一般要求
GB/T 16923	钢件的正火与退火
GB/T 17505	钢及钢产品 交货一般技术要求
GB/T 18451.1	风力发电机组 设计要求
GB/T 18838	涂覆涂料前钢材表面处理喷射清理用金属磨料的技术要求
GB/T 19072	风力发电机组 塔架
GB/T 19418	钢的弧焊接头 缺陷质量分级指南
GB/T 19748	金属材料 夏比 V 型缺口摆锤冲击试验 仪器化试验方法
GB/T 19804	焊接结构的一般尺寸公差和形位公差
GB/T 20066	钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法
GB/T 20123	钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法（常规方法）
GB/T 20124	钢铁 氮含量的测定 惰性气体熔融热导法（常规方法）
GB/T 20125	低合金钢 多元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法
GB/T 25136	钢质自由锻件检验通用规则
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 28410	风力发电塔用结构钢板
GB/T 33163	金属材料 残余应力 超声冲击处理法
NB/T 31001	风电机组筒形塔制造技术条件
NB/T 31025	风力发电机组 环型锻件
NB/T 31094	风力发电设备海上特殊环境条件与技术要求 标准
NB/T 47008	承压设备用碳素钢和合金钢锻件
NB/T 47013	承压设备无损检测
NB/T 47014	承压设备焊接工艺评定
NB/T 47015	压力容器焊接规程
NB/T 47016	承压设备产品焊接试件的力学性能检验
NB/T 47018	承压设备用焊接材料订货技术条件
YB/T 5149	铸钢丸

YB/T 5150	铸钢砂
YB/T 4159	花纹钢板
JB/T 11218	风力发电塔架塔筒 法兰锻件
JB/T56102.1	碳钢焊条、低合金钢焊条、不锈钢焊条产品质量分等 第 1 部分 碳钢焊条产品质量分级
JB/T56102.2	碳钢焊条、低合金钢焊条、不锈钢焊条产品质量分等 第 2 部分 低合金钢焊条产品质量分级
DL/T 646	输变电钢管结构制造技术条件
ISO 5817	钢、镍、钛及其合金熔焊接头缺陷的质量分级 (Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections)
ISO 9692	焊接和相关工艺 接头制备 (Welding and allied processes-Types of joint preparation)
ISO 12944	色漆和清漆—防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 (Paints and varnishes-Corrosion protection of steel structures by protective paint systems)
DIN EN ISO 1461	铁和钢预制件的热浸镀锌层 规范和试验方法 (Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications and test methods)
DIN EN 1993-1-6	钢架结构 外壳翘曲安全性分析 (Design of steel structures - Part 1-6: Strength and stability of shell structure)
DIN EN 1993-1-9	钢结构设计：疲劳 (Design of steel structures Part 1-9: Fatigue)
EN 1011	焊接 金属材料焊接指南 (Welding - Recommendations for welding of metallic materials)
QHZJ090301-2022	风力发电机组塔筒包装防护及运输工艺规程

3 术语、符号

3.1 术语

3.1.1 筒节 shell

由钢板卷制成圆筒或圆锥状的单个零件。

3.1.2 筒体 tower section

由筒节、法兰和其他零件组焊成一体的部件。

3.1.3 附件 accessory

筒体以外的其他零件或部件。

3.1.4 塔体 tube section

基础环以上、偏航回转支承以下所有筒体和附件组装成的总体。

3.1.5 基础环 foundation section

埋入地基混凝土中塔体的支承部件。

3.1.6 塔筒 tubular tower

包括塔体和基础环。

3.1.7 干膜厚度 dry film thickness; DFT

涂层硬干/固化后保持在表面的涂膜厚度。

3.1.8 额定干膜厚度 nominal dry film thickness; NDFT

技术规格书中规定的每道涂层干膜厚度或整个涂层体系的总干膜厚度。

3.1.9 最大干膜厚度 maximum dry film thickness

不至于引起涂料或涂层体系性能出现不良后果的最大可以接受的干膜厚度。

3.1.10 热轧 as—rolled; AR 或 WAR

钢材未经任何特殊轧制和/热处理的状态。

3.1.11 正火 normalized; N

钢材加热到高于相变点温度以上的一个合适的温度，然后在空气中冷却至低于某相变点温度的热处理工艺。

3.1.12 正火轧制 normalizing rolling; +N

最终变形是在一定温度范围内的轧制过程中进行，使钢材达到一种正火后的状态，以便即使正火后也可达到规定的力学性能数值的轧制工艺。

3.1.13 热机械轧制 thermomechanical processed; M

钢材的最终变形在一定温度范围内进行的轧制工艺，从而保证钢材获得仅通过热处理无法获得的性能。（1 可能会降低钢材强度值的热成型或 580℃以上温度的焊后热处理不宜应用。根据相关的技术规范，火焰矫直是允许应用的。2 热机械轧制可以包括回火或无回火状态下冷却速率提高的过程，回火包括自回火但不包括直接淬火及淬火加回火）

3.2 符号

下列符号适用于本标准：

a-间距、间隙；

b-宽度；

B-焊缝宽度；

C-焊缝余高；

d-孔径；

D-直径；

e-位移、错边、偏差；

f-挠度、凹凸值、直线度；

g-坡口宽度；

H-高度；

hf-焊角尺寸；

L-长度、轮廓尺寸；

P-倾斜、垂直度；

s-孔间距离；

t-板、壁的厚度。

4 总则

4.1 为规范风力发电机组钢制塔筒制造、检验、标识、包装、贮存、运输和验收，制定本技术条件。

4.2 塔筒主要原材料（钢板、法兰）应具有可追溯的标识及档案文件。在制造过程中，如原有标识被分割，应在材料分割前完成标识的移植。

4.3 所有原材料须有完整、合格的出厂证明。原材料标识信息应与质量证明文件一致（包括但不限于品牌、炉批号、牌号、质量等级、规格尺寸等），且质量证明书需为原件或为加盖供货单位检验公章的有效复印件（钢厂注明复印无效时等同于无质量证明书）。

4.4 焊接和无损探伤的操作、检验人员应持有相应有效期内的资格证书。

4.5 塔筒承制单位须持有压力容器生产许可证或特种设备制造许可证等。

4.6 理化试验的检验及复验需由 CNAS 且 CMA 认可的实验室执行。

4.7 供货方须通过 GB/T 19001、GB/T 24001-2016、GB/T 45001 认证并持有有效认证证书。

4.8 中船海装可同意供方提出的合理偏差申请，但中船海装不承担因此而引起的质量责任，供方仍是质量的责任主体，并承担供方产品全生命周期内的全部质量责任。

4.9 合同产品应由供方质检部门检查验收。需方、监理方有权进行抽检、复验。

4.10 风力发电机组塔筒的制造除应满足本技术条件外，还应符合国家和行业相关标准的要求；如果对同一事项要求不同，应按要求最严格者执行。

5 材料

5.1 钢板

5.1.1 塔体与基础环主体钢板只能使用热轧低合金高强度结构钢，详见表 1。

表1 塔筒与基础环原材料表

部件		材料	备注
塔筒主体	筒体	Q355C、Q355D、Q355NC、Q355ND、Q355NE、Q420ND、Q420NE、Q420MD、Q420ME	TI级探伤板； N，交货状态为正火或正火轧制； M，交货状态为热机械轧制（TMCP）； 板厚公差为 GB/T709 C 级； 具体牌号及公差要求详见图纸。
	锻造法兰	Q355NE-Z35 Q420NE-Z35	整体碾环锻造； 交货状态为正火+回火； 具体牌号及公差要求详见图纸。
	门洞局部加强板	Q355NE-Z25 Q420NE-Z25	TI级探伤板； N，交货状态为正火或正火轧制； 板厚公差为 GB/T709 C 级； 具体牌号及公差要求详见图纸。
	门框/开孔加强框	Q355NE-Z25 Q420NE-Z25	TI级探伤板； N，交货状态为正火或正火轧制； 板厚公差为 GB/T709 C 级； 具体牌号及公差要求详见图纸。
基础环主体	筒体	Q355C、Q355D、Q355NC、Q355ND、Q355NE、Q420ND、Q420NE、Q420MD、Q420ME	TI级探伤板； N，交货状态为正火或正火轧制； M，交货状态为热机械轧制（TMCP）； 板厚公差为 GB/T709 级； 具体牌号及公差要求详见图纸。
	法兰	Q355NE-Z35 Q420NE-Z35	顶法兰：整体碾环锻造、正火+回火； 底法兰：TI级探伤板，正火，最多 6 块拼焊；或整体碾环锻造，正火+回火； 具体牌号及公差要求详见图纸

5.1.2 筒体及基础环主体制造用钢板各项性能及指标应符合 GB/T1591 标准要求，塔筒主体钢板需采用镇静钢。

5.1.3 筒体、门洞加强板、门框、基础环主体厚度偏差满足 GB/T 709 中规定的 C 级要求，内附件板材（除花纹钢板）至少满足 GB/T 709 中规定的 B 级要求，内附件型材尺寸偏差满足 GB/T 11263 等相关标准。

5.1.4 钢板碳当量（熔炼分析） $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ ，其值须满足表 2 要求。当碳含量 $\leq 0.12\%$ 时，焊接裂纹敏感性指数（熔炼分析）

$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$ ，其值须满足表 2 要求。

表2 钢板碳当量CEV

牌号		碳当量 CEV(质量分数, 不大于)/%			
钢级	质量等级	公称厚度/mm			
		≤16	> 16~40	> 40~63	> 63~100
Q355	C、D	0.45	0.47	0.47	0.47
Q355N	C、D、E	0.43	0.43	0.43	0.45
Q420N	D、E	0.45	0.45	0.45	0.48
Q420M	D、E	0.43	0.43	0.43	0.47

5.1.5 对钢板厚度方向性能有要求时，其化学成分、力学性能等指标还应符合 GB/T5313 的规定。当钢板厚度≥50mm，应按 GB/T5313 规定对钢板每一炉批号进行 Z 向断面收缩率检验，其数值不应小于 25%。

5.1.6 钢板由转炉或电炉冶炼，并应进行炉外精炼。

5.1.7 钢板夏比（V 型）冲击试验的试验温度及冲击吸收能量应符合表 3 的规定。

表3 夏比（V型）冲击试验的试验温度及冲击吸收能量

材质	试验温度/℃	冲击吸收能量/J
		纵向
Q355C、Q355NC	0	34
Q355D、Q355ND、Q420ND	-20	40
Q420MD	-20	47
Q355NE、Q420NE	-40	31
Q420ME	-40	47

5.1.8 每块钢板上应标识以下信息（包括但不限于）：品牌、炉批号、牌号、质量等级、规格尺寸等。

5.1.9 塔筒及基础环主体钢板为 TI级探伤板，应按要求等级采购且入厂后按照（每一组批）总量的 10%且保证至少一张钢板进行探伤复验，检验标准 NB/T47013。

5.1.10 塔筒与基础环主体钢板表面质量等指标必须符合 GB/T14977 的 B 类 3 级要求。钢材表面不得有裂纹、折叠、结疤、夹杂和重皮；表面有锈蚀、麻点和划痕时，其深度不得大于钢板厚度公差之半，并应保证钢板允许的最小厚度。

5.1.11 锻件及厚板整体切割门框板材应进行双面（断面和侧面圆周 360°方向）UT、MT 无损检验，符合标准 NB/T47013 相应的等级要求。

5.1.12 钢板的各项检验的检验项目、取样数量、取样方法和试验方法应符合表 4 的规定。

表4 检验项目、取样数量、取样方法及试验方法

序号	检验项目	取样数量	取样方法	试验方法
1	化学成分	1 个/炉	GB/T20066	GB/T223、GB/T4336
2	拉伸试验	1 个/批	GB/T2975	GB/T228

3	冲击试验	3 个/批	GB/T2975	GB/T229
4	Z 向钢厚度断面收缩率	3 个/批	GB/T5313	GB/T5313
5	弯曲试验	1 个/批	GB/T2975	GB/T232
6	无损检测 (UT、MT)	逐件		NB/T47013、GB/T2970
7	尺寸、外形	逐件		符合精度要求的适宜量具
8	表面质量	逐件		目视及测量

5.1.13 钢板的检查和验收由供方进行，需方有权对本规范或合同中所规定的任一检验项目进行检查和验收。

组批：钢板应成批验收。每批应由同一牌号、同一质量等级、同一炉号、同一厚度、同一轧制方式、同一热处理方式的钢材组成，每批重量不大于 60 吨。

对于 Z 向钢的组批，应符合 GB/T5313 的规定。

复验与判定规则：钢板的冲击试验结果不符合规定时，抽样批次钢板应不予验收，再从该批次的剩余部分取两个抽样产品，在每个抽样产品上各选取新的一组 3 个试样，这两组试样的试验结果均应合格，否则，该批钢板应拒收。钢板拉伸试验的复验与判定应符合 GB/T17505 的规定。

钢板的其他检验项目的复验与判定应符合 GB/T17505 的规定。

力学性能与化学成分试验结果应按 YB/T081 的规定修约。

5.1.14 当采购的探伤钢板原材料进厂后复验出现不合格时，应及时针对不合格项目对该组批钢板进行逐张复验。

5.2 法兰

5.2.1 法兰（除基础环底部法兰）材料选用钢锭或连铸圆坯，由转炉或电炉冶炼，应加炉外精炼和真空脱气；不允许使用连铸板坯；当使用连铸圆坯时，法兰制造厂家应额外提供质量保证书，确认采用该材料的法兰性能不低于采用钢锭为材料时的性能；法兰不允许使用淬火钢或回火钢材锻造；应采用模铸钢锭或连铸圆坯锻造，模铸钢锭总锻比应大于等于 3，连铸圆坯的总锻造比应大于等于 5。其中径向锻造比（ K_m ）应大于等于 2.5。

5.2.2 法兰采用钢锭锻制时，钢锭头尾应有足够的切除余量，确保成品锻件无缩孔、疏松、裂纹、严重偏析等影响锻造质量的缺陷；法兰（除基础环底部法兰）应采用整体碾环锻造成型；锻件质量等级至少应符合 NB/T47008 II 级标准要求，并按标准 NB/T47013 进行 100% 超声波探伤 I 级合格。

5.2.3 表面无锻造裂纹、折叠、压痕、接缝、白点和残余缩孔等缺陷。轻微的表面缺陷允许修磨清除，但修磨面积应不大于 2cm²，深度应不大于 1mm，周边圆滑过渡。锻件的表面或内部缺陷不允许焊补。锻件表面粗糙度应不大于 Ra12.5。

5.2.4 为确保应力的均匀，同一法兰上的硬度值偏差要控制在 10HB 之内；同一批锻件的硬度值偏差要控制在 30HB 之内。

5.2.5 塔筒法兰焊接坡口形状、尺寸、预倾量应根据焊接工艺评定确定，满足焊后内倾度要求。

5.2.6 锻件交货状态为正火加回火。

5.2.7 法兰检验需按照炉批号取三组试样，沿圆周方向等分 120°取三组，第一组用于法兰厂家自检，第二组用于第三方实验室复检，第三组随成品法兰交货用于留存备份。每组试样包含的检验项目、取样数量、试验方法应符合表 5 的规定。只有在各项检验均合格后方可使用。

表5 每组试样的检验项目、取样数量、试验方法

序号	检验项目	取样数量	试验方法
1	化学成分、碳当量	1/炉	GB/T1591、GB/T222、GB/T4336
2	非金属夹杂物	1/炉	GB/T10561
3	拉伸试验	1 个轴向/批	GB/T228
4	冲击试验	3 个切向、3 个径向/批	GB/T229
5	Z 向钢法兰厚度方向断面收缩率	3 个轴向/批	GB/T5313
6	无损检测（UT、MT）	逐件	NB/T47013、GB/T6402（或 DIN EN10228-3）
7	金相检验	1 个切向、1 个轴向、1 个径向/批	GB/T6394、GB/T13299
8	表面质量	逐件	目视及测量
9	尺寸和形位公差	逐件	合适的测量器具

批次要求：同一牌号、同一冶炼炉号、同一热处理炉次、同一产品公称厚度核准范围（表6）的产品组成一个批次。

表6 锻造批次厚度标准范围

序号	公称厚度 T（mm）
1	T≤63
2	63<T≤80
3	80<T≤100
4	100<T≤150
5	150<T≤200
6	200<T≤250

7	$250 < T \leq 400$
注：公称厚度 T 为精加工后产品总高。	

试样要求：从热处理后的同批次产品中某件本体上切取，并足够用于物理性能试验、化学性能试验以及最终提供给需方用户复验。

取样部位：试样应取自完成热处理的锻件本体延伸部位，拉伸和冲击试样轴线距锻件两热处理表面的距离应不小于相应厚度尺寸的1/4，但不大于90mm。

需方应在订货合同上或图样上写明锻件采用的标准、锻件组别、钢号、相应的技术要求和检验项目。

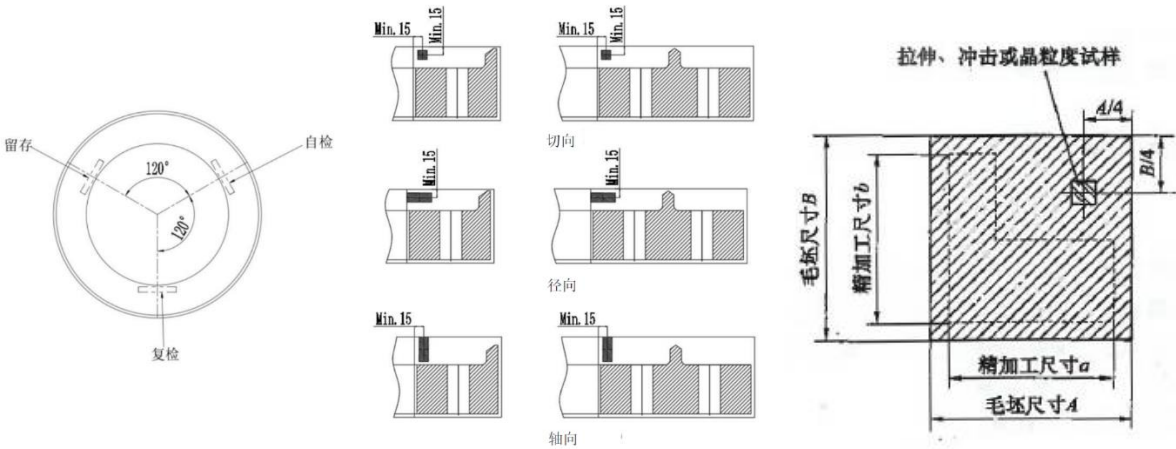
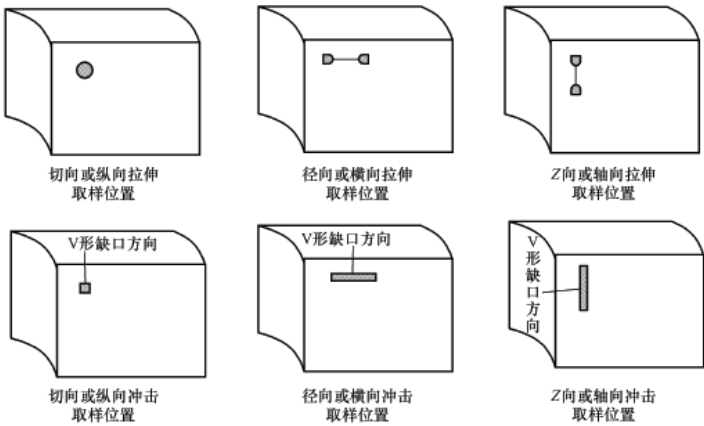


图 1 拉伸和冲击试样取样位置示例

在力学性能试验时，如果试验用试样有缺陷（除裂纹和白点之外），允许重新取样试验，作为初次试验结果。当某项力学性能初次试验不符合要求时，允许在靠近不合格试样的相邻位置取双倍试样进行复试，复试结果应全部满足要求；复试后任何一项结果不符合要求时，产品可以重新进行热处理，并重新取样试验；重新热处理的正火次数不得超过2次，回火次数不限。



5.2.8 塔筒法兰所选材料其化学成分应满足 GB/T1591 的要求，同时还需满足如下碳当量要求。

产品的最大碳当量（CEV）由下列公式计算：

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

为保证焊接性能，对于Q355材质法兰，产品分析的碳当量 $CEV \leq 0.43\%$ ；对于Q420材质法兰，产品分析的碳当量 $CEV \leq 0.48\%$ 。

化学分析用的试样按GB/T20066的规定制取，化学分析按GB/T223或GB/T4336的规定进行。

5.2.9 材料非金属夹杂物应满足 JB/T11218 要求，评定标准执行 GB/T10561。

5.2.10 法兰拉伸试验按 GB/T228 的规定执行，同时性能应符合表 7 的规定。

表7 法兰拉伸性能

牌号	屈服强度 Rel(Mpa)					拉伸强度 Rm(Mpa)			最小延伸率%		
	法兰公称厚度 T (mm)					法兰公称厚度 T (mm)			法兰公称厚度 T (mm)		
	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤250	>250 ≤400	>63 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤400	≤150	>150 ≤250	>250 ≤400
	不小于					范围			不小于		
Q355NE-Z35	325	315	295	285	275	490~630	470~630	450~630	22	21	21
Q420NE-Z35	370	360	340	330	320	520~680	500~650	500~650	19	18	18

注：①法兰公称厚度为图1中的毛坯尺寸B。

②若法兰公称厚度（总高）大于400mm，则按表注400mm拉伸性能执行。

5.2.11 法兰冲击试验按 GB/T229 的规定执行，同时试验温度和冲击吸收能量应符合表 8 的规定。

表8 法兰冲击功

牌号	冲击试验 温度℃	冲击功（切 向，三个试样 平均值，不小 于），J	冲击功（切 向，单个试样 最低值，不小 于），J	冲击功（径 向），三个试 样平均值，不 小于），J	冲击功（径 向），单个试 样最低值，不 小于），J
Q355NE-Z35	-50	50	35	30	21
Q420NE-Z35	-50	50	35	30	21

注：法兰的冲击试验结果按一组3个试样的算术平均值进行计算，允许其中有一个试验结果低于规定值，但不应低于规定的最低值，否则，应从同一产品的试样上再取3个冲击试样进行试验，先后6个试样试验结果的算术平均值不得低于规定值，允许有2个试样的试验结果低于规定值，但其中低于规定最低值的试样只允许有1个。

5.2.12 Z 向性能钢法兰厚度方向断面收缩率应符合 GB/T5313 的规定。

5.2.13 非破坏性试验：产品不得有表面缺陷，如裂纹、折叠、缩孔、斑痕、砂眼和其它影响锻件质量的缺陷。

5.2.14 超声波检验（UT）：超声波检验的法兰表面粗糙度应小于 Ra12.5，以确保在超声波检验中声波耦合良好。超声波检验至少在两个垂直的表面进行，对法兰 100%进行检验，检验结果应符合 DIN10228-3 3 级或 NB/T47013.3-2005 I 级的规定。

5.2.15 磁粉检测（MT）：磁粉探伤检测在法兰机械加工完成后进行，对法兰 100%进行检验，检验结果应符合 NB/T47013.4-2005 I 级的规定。

5.2.16 金相试验：每批法兰进行晶粒度试验，晶粒度 $N \geq 6$ 级，执行标准 GB/T6394-2002，不得有混晶组织，晶粒的形状和规格应均匀。锻造法兰带状组织应不大于 2 级，判定标准 GB/T13299。应在法兰的相应部位进行金相试验并提供不低于 $\times 400$ 的显微照片给法兰采购方。

5.2.17 低倍组织：法兰试样的横截面酸浸低倍组织应均匀，不得有肉眼可见的缩孔、气泡、夹杂、裂纹、分层、翻皮。法兰不得有白点。当在一个法兰上发现白点时，整批法兰应进行白点检查。

5.2.18 材料非金属夹杂物应满足表 9 要求，评定标准执行 GB/T10561。

表 9 非金属夹杂物最大含量（质量分数）

A (硫化物类)		B (氧化铝类)		C (硅酸盐类)		D (球状氧化物类)		DS (单颗粒球状物类)
细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	粗系
2	1	2	1	2	1	2	1	1
注：A 细+B 细+C 细+D 细 ≤ 6 ；A 粗+B 粗+C 粗+D 粗 ≤ 3.5								

5.2.19 法兰入厂探伤复验应按 NB/T47013 I 级逐件 100%UT、100%MT 进行复检。

5.3 紧固件

机械性能试验应符合 GB/T3098.1 和 GB/T3098.2 标准要求。

5.4 尼龙材质

用于电缆固定的尼龙夹块或隔环，材料为尼龙 66 或尼龙 1010，熔点不低于 150℃，同时阻燃等级需达到 UL94-V0。

6 部件加工

6.1 切割

6.1.1 塔筒焊接结构的供货方须按照订货方提供的设计图纸进行施工图转化和工艺性审查，以确认供货方对该产品质量的保障能力。供货方在工艺审查过程中，若发现尺寸偏差，板材尺寸误差及加工能力不足等问题，必须立即和设计单位及订货方联系并征求处理意见。对出现的尺寸偏差，设计单位及订货方应给供货方提供一份清晰的尺寸变更图纸。

6.1.2 金属板材切割面或剪切面应无裂纹、分层和深度大于 1.0mm 的边缘缺棱，切割面平面度控制在 0.05t 且不大于 2.0mm 之内。

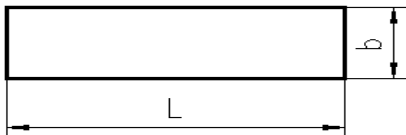
6.1.3 金属板材开口边缘应平整而无毛刺；割纹深度不大于 0.3mm，局部缺口深度不大于 1.0mm；板材的热切割边缘切口应尽量避免凹口，若出现凹口，其深度也不得大于 1mm；凡凹口深度大于 1mm 处应打磨圆滑。

6.1.4 氧乙炔割炬切割后的钢板表面必须符合 GB50205 第 7.2 节要求。

6.1.5 板材下料不允许手工切割或手工开制坡口,其他切割工艺须遵守同等的无凹口外形要求。

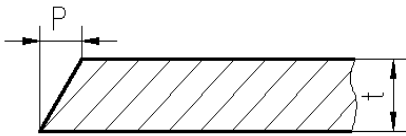
6.1.6 钢材切割尺寸的允许偏差见表 10。

表10 切割尺寸的允许偏差（mm）

项目	允许偏差		示意图
基本尺寸	长度 L	± 2.0	
	宽度 b	± 2.0	
对角线差	± 3.0		

6.1.7 钢材切割断面倾斜允许偏差见表 11。

表11 钢材切割的断面倾斜允许偏差（mm）

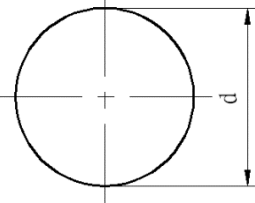
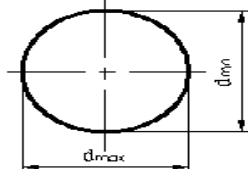
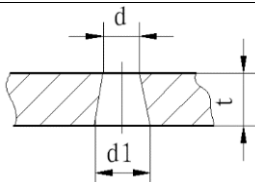
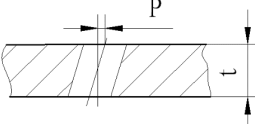
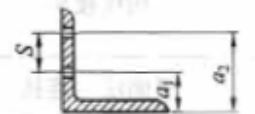
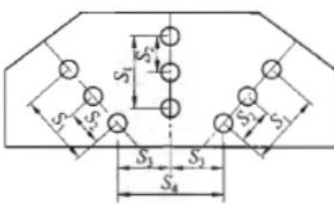
钢板厚度	允许偏差 P	示意图
$t \leq 20$	1.0	
$20 < t \leq 36$	1.5	
$t > 36$	2.0	

6.2 附件制孔

6.2.1 制孔表面不得有明显的凹面缺陷，制孔毛刺均应清除，对缺陷部位可机械打磨至符合要求，不允许堆焊修复。冲制孔的位置测量应在其小径所在平面进行。制孔的允许偏差见表12。

6.2.2 通孔、盲孔、螺栓孔和铰丝孔的外边缘必须进行工艺倒角，孔周边不能有飞边毛刺。

表12 制孔的允许偏差(mm)

项目	允许偏差		示意图
公称直径 d	涂装前	+1.0 -0.5	
	涂装后	+0.5 -1.0	
圆度 d _{max} -d _{min}	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	±0.5		
排间距离 S	±0.5		
同组内不相邻两孔距离 s ₁	±0.7		
同组内相邻两孔距离 s ₂	±0.5		
相邻组两孔距离 s ₃	±0.7		
不相邻组两孔距离 s ₄	±1.0		

法兰平面度	0.35	
法兰不圆度 $D_{1\max}-D_{1\min}$	2.0	
端面对中心跳动	0.5	

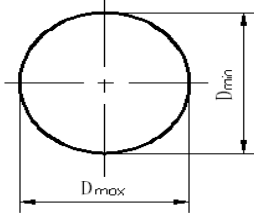
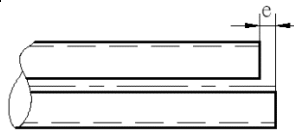
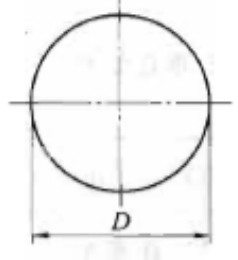
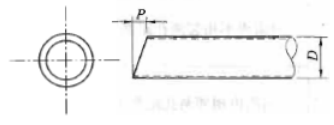
6.4 筒节

6.4.1 塔筒（或基础环）各个筒节须由一块钢板卷制而成（针对大直径且钢板较厚的筒节，若无法由一块钢板卷制而成，需提交多拼方案由设计方审核确认后方可实施），钢板卷制后其边缘应圆滑过渡，表面不得有损伤、皱褶和凹面，划痕深度不得大于 0.5mm 且不得超过其允许公差值之半；然后由数件筒节和端部法兰拼接组装成筒体（基础环）各段，筒体门框最多由两块组焊而成，详见图纸。

6.4.2 塔筒门框、风洞框及过缆框等厚板卷制结构成形后应经振动时效或热处理消除折弯加工应力。

6.4.3 筒节的制造允许偏差见表 14。

表14 筒节制造的允许偏差(mm)

项目	允许偏差	示意图
筒节周长 /mm	+6.0 -2.0	
单个筒节任意切断面 圆度公差 $D_{\max}-D_{\min}$	$D_{\max}-D_{\min}\leq 0.005D$ 且 ≤ 2 (D 为公称直径)	
筒节合口纵向位移 e /mm	1.0	
筒节直径 D /mm	+2.0 0	
筒节端面倾斜度 /mm	1.5	
塔筒各节段两个法兰 面平行度	2.0	

7 焊接

7.1 焊接工艺要求

7.1.1 筒节、法兰、门框施焊前，须按 NB/T47014《承压设备焊接工艺评定》要求进行焊接工艺评定。焊接工艺评定的全过程须在设计单位及订货方委派的监造人员或监理工程师的旁站监督下进行。焊接工艺评定合格后供货方须出具完备的焊接工艺评定报告。（如因其它原因，订货方或设计单位代表没有旁站见证，当订货方或设计单位代表到达后，供货方则须将该项目的工艺评定报告提交订货方或设计方代表确认，质量监督人员作为开工依据资料进行检查）。成熟型号产品、同原材料供方、同规格原料等工艺评定报告的有效期不得大于 2 年；焊接工艺评定报告、焊接工艺规程、施焊记录及焊工识别标识，其保存期不应少于 5 年。

供货方须根据焊接工艺评定报告及技术要求并按 NB/T47015 要求编制针对该产品的焊接工艺规程，产品的施焊范围不得超出焊接工艺评定的覆盖范围。

7.1.2 焊接工艺指导书内容应包括但不限于以下信息：

- 焊缝编号及特殊要求；
- 焊接方法（手工、自动焊等）及焊接过程中控制变形的工艺措施；
- 焊接位置及施焊顺序；
- 重要焊缝坡口几何形状和尺寸等详细信息；
- 电特性参数；
- 焊接材料牌号、型号及焊接材料的使用要求；
- 保证焊缝质量的技术要求；
- 焊缝及焊接质量检查要求等。

7.1.3 为保证焊缝焊接质量符合设计强度要求，需对焊接质量进行机械性能检验。在施焊塔体的同时，应按照筒体纵焊缝相同的要求制作筒体纵缝焊接试件，试件的厚度范围应在所代表的的工艺评定覆盖厚度范围之内，产品焊接试件应与筒体在相同焊接参数、焊接环境的条件下同时施焊，如纵向焊缝的焊接工艺评定覆盖范围不同时，应分别制作焊接试件。

7.1.4 焊接试件应满足以下要求：

1) 为了满足低温环境下焊缝的冲击韧性, 重要焊缝必须按规范 NB/T47016 做产品焊接试件试验。强度等级取决于焊接母材, 焊缝和热影响区的性能不能低于母材。焊接试件需包括将门洞位置切割下来的环缝部分。

常温型焊缝做-20℃低温冲击试验时, 接头焊缝金属及离熔合线 2mm 处的焊接热影响区的-20℃夏比 V 型缺口冲击功不低于 34J。

低温型焊缝做-40℃低温冲击试验时, 接头焊缝金属及离熔合线 2mm 处的焊接热影响区的-40℃夏比 V 型缺口冲击功不低于 34J。

超低温型焊缝做-40℃低温冲击试验时, 接头焊缝金属及离熔合线 2mm 处的焊接热影响区的-40℃夏比 V 型缺口冲击功不低于 47J。

2) 产品焊接试件允许以批代台, 10 台为一个批量, 每 10 台须选首台做产品焊接试件。产品焊接试件检验项目按 NB/T47016 《承压设备产品焊接试件的力学性能检验》中的规定执行。如试件不合格, 应加倍制作试件, 不合格的试件代表的产品焊缝不合格, 应做返修或报废。

当项目台数不足 10 台时, 批量数另行协商。

7.2 焊接施工环境要求

7.2.1 进行焊接的部件在焊缝区域必须要清洁和干燥。在焊接前须仔细去除氧化皮、锈迹、气割渣, 油脂和其他污物。在焊缝 50mm 范围内不允许有防腐涂层(如车间底漆)存在。

7.2.2 焊接环境温度应 $>0^{\circ}\text{C}$ (低于 0°C 时, 应在坡口两侧 50~100mm 范围内加热到 15°C 以上), 相对湿度 $<90\%$ 。

7.2.3 特殊情况需露天作业, 出现下列情况之一时, 必须采取有效措施, 否则不得施焊。

——风速: 气体保护焊时 $>2\text{m/s}$; 其他方法 $>10\text{m/s}$ 。

——雨雪环境。

——焊件环境温度 $<0^{\circ}\text{C}$ 。

——相对湿度 $>90\%$ 。

7.2.4 焊缝区域要根据材料类型和部件厚度充分预热。如果引入热量少或者热量散失快, 焊接件应预热, 如果局部温度过高也会影响机械性能, 施焊时应避免这些情况。

7.2.5 焊接材料的贮存仓库应保持干燥, 相对湿度应不大于 60%。

7.3 焊接材料要求

7.3.1 焊接材料须通过中国船级社或劳氏认证，焊接材料牌号必须经过焊接工艺评定确定。

7.3.2 焊接材料（焊条、焊丝、焊剂）选用等级应根据母材的标准选用，且不得低于一等品标准要求（JB/T 56102），并符合 GB/T5117《非合金钢及细晶粒钢焊条》、GB/T5118《热强钢焊条》、GB/T5293《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》、GB/T8110《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》、GB/T12470《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》等标准要求。

7.3.3 焊接材料必须与母材匹配。母材材质为 Q355，熔覆金属屈服强度不小于 390Mpa；母材材质为 Q420，熔覆金属屈服强度不小于 460Mpa。母材质量等级为 C/NC，熔覆金属冲击功不低于 34J@-20℃；母材质量等级为 D/ND/MD，熔覆金属冲击功不低于 34J@-40℃；母材质量等级为 E/NE/ME，熔覆金属冲击功不低于 47J@-40℃。

7.3.4 母材材质为 Q420，焊接材料需采用低氢型焊材，水银法熔覆金属扩散氢含量不高于 7mL/100g。焊条使用前在 300~430℃温度下烘干 1~2h，对于低氢焊条，烘干后应放置于温度不低于 120℃的保温箱中存放、待用，烘干至使用时间不超过 4h，重复烘干次数不超过 2 次。

7.3.5 所有焊接材料和金属（如焊条和气体保护焊丝）的质量应进行复验，所选用的全部焊接材料应出具质量合格证、材料数据表、力学性能报告（按炉批次号）等。

7.4 焊接施工要求

7.4.1 法兰与筒节焊接时，宜将筒节纵焊缝置于法兰的两个相邻螺栓孔跨中。

7.4.2 相邻筒节的纵焊缝宜相错 180°。

7.4.3 门框拼接焊缝宜布置在上下圆弧顶点处，若布置在直线段则需与相邻筒节对接环焊缝应相互错开，错开量不小于 200mm，如图 2 所示；门框所在筒节纵焊缝应避开门框位置，门框中线两侧各 45°范围内不允许出现筒节纵焊缝，如图 3 所示。

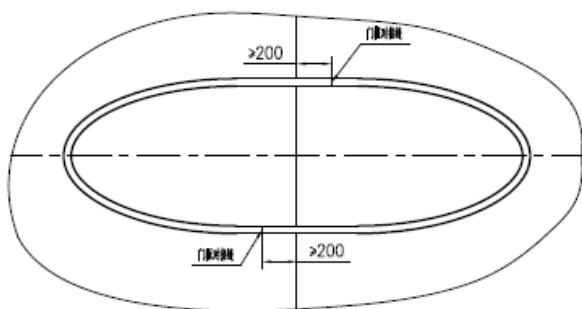


图 2

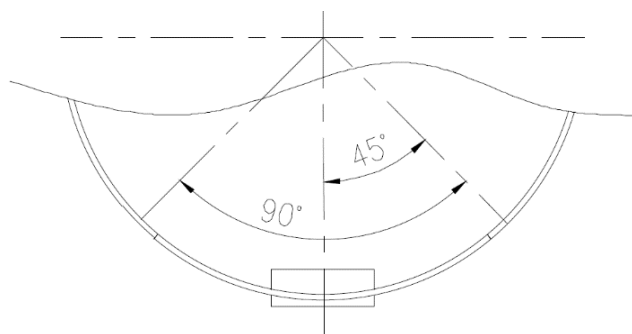


图 3

7.4.4 塔筒筒节任意处横切断面的圆度公差应满足： $D_{\max} - D_{\min} \leq 0.005D$ （ D 为公称直径）的要求，见图 4。

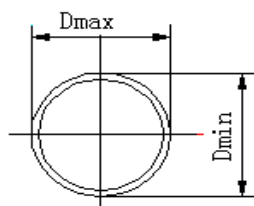


图 4

法兰焊接完成后，法兰外圆不圆度 $D_{\max} - D_{\min}$ 须小于等于 3mm（塔筒顶法兰外圆不圆度 $D_{\max} - D_{\min}$ 须小于等于 2mm）。

7.4.5 塔段组对、焊接时须在专用滚轮架上进行，单段塔筒及整体预组装后塔筒上下端面的平行度、垂直度、平面度公差要求如下：

	单段塔筒	整体预组装塔筒
高度(直高)	$\pm 10\text{mm}$	$-50 \sim +10\text{mm}$

单段塔筒两端面平行度和同轴度检测与修正：

1) 用专业高精度测距仪（精度至少 $\pm 1\text{mm}$ ）测量，或用钢琴线拉线测量（在钢琴线的一端连接弹簧秤，用 5~10kg 相同拉力）。

2) A.B.C.D 四个象限斜母线长（ A_1A_2 、 B_1B_2 、 C_1C_2 、 D_1D_2 ）及对角线长（ A_1C_2 、 A_2C_1 、 B_1D_2 、 B_2D_1 ）其相对差值 3mm 以内为合格，测量点相对位置如下图 5 所示。

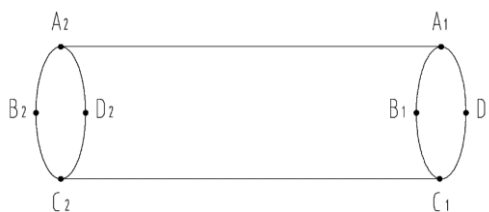


图 5

7.4.6 筒节对接时纵向钢板的翘边误差应符合表 15 的要求，见图 6。

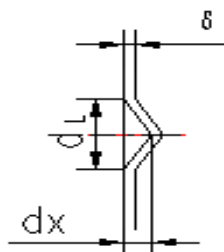


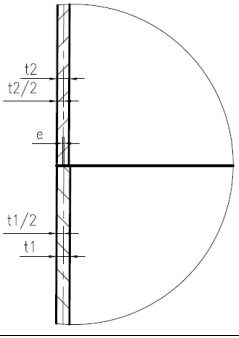
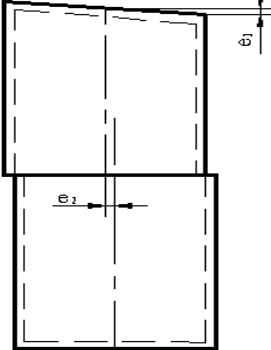
图 6

表 15 板接头翘边误差 单位：mm

板厚 δ	8	10	12	14	16	18	≥ 20
d_L	200	250	300	350	400	450	500
偏差 dx	1.0	1.5	1.8	2.0	2.4	2.5	3.0

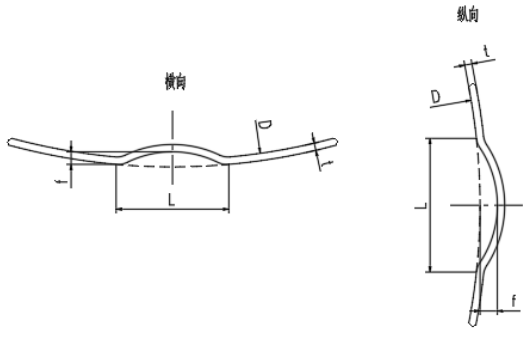
7.4.7 筒节与筒节对接应采用中径对齐，焊接件装配尺寸偏差应符合表 16 的要求。

表 16 焊接件装配尺寸偏差(mm)

项目	允许偏差	示意图
对接错边量 e (对接接头采用中对齐形式; 图纸特别指明的除外)	$e \leq 0.05t$ 且 ≤ 2.0 (t 为对接接头较薄板板厚)	
筒体法兰与轴线垂直度 e_1	3.0	
任意筒节同轴度 e_2	等于或小于 $0.2t$ 且最大值为 3.0	
筒体直线度	15.0	

7.4.8 筒体任一局部表面凹凸度应符合表 17 的要求。

表 17 筒体任意局部表面凹凸偏差表(mm)

板厚 t	基本长度范围 L	凹凸值 f	示意图
$8 < t \leq 10$	$25t$ 且小于 500	1.0	
$10 < t \leq 12$		1.5	
$12 < t \leq 14$		1.8	
$14 < t \leq 16$		2.0	
≥ 16		2.4	

7.4.9 法兰焊接应采取措施防止变形，图纸无特殊要求时，筒体法兰焊接前后平面度应符合表 18 的要求。

表 18 塔筒法兰焊接后平面度要求(mm)

项目	焊接前			焊接后		
	上法兰	中法兰	下法兰	上法兰	中法兰	下法兰
平面度	≤0.35	≤0.35	≤0.35	≤0.80	≤1.00	≤1.50
另：塔筒法兰焊接后还需满足						
法兰			任意 1 米弧长范围内平面度			
上法兰			0.5mm			
中法兰			0.7mm			
下法兰			1.0mm			
注 1：法兰与筒体 T 型焊接，测量范围为 T 型焊接接头中心线处宽度为 20mm 的环带。 注 2：法兰与筒体 L 型焊接，测量范围为法兰外边缘向内 20mm 的环带。 注 3：测量环带范围外的区域必须同时严格控制平面度，不允许存在“折弯”现象。 注 4：上法兰指与风机偏航回转支承连接的塔筒法兰，中法兰指筒体的连接法兰，下法兰指与基础的连接法兰。 注 5：不得将法兰内倾量与法兰平面度在数值上叠加作为塔筒最终检验的检测依据。						

7.4.10 图纸无特殊要求时，筒节与法兰焊接角变形量应符合表 19 的要求。

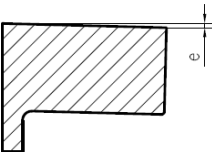
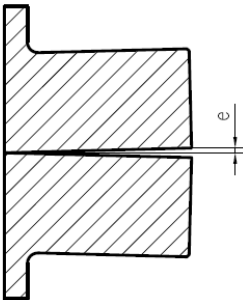
7.4.11 塔筒附件焊接应满足以下要求：

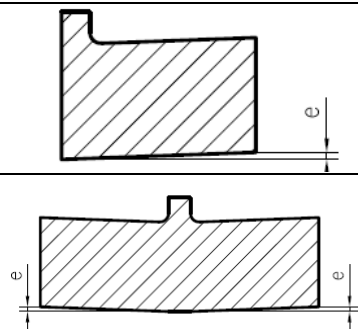
7.4.12 附件焊接应在筒体主体（包括法兰、门框）完工后进行。

7.4.13 附件的焊接位置距离筒体纵向焊缝不得少于 200mm。

7.4.14 与筒体焊接的爬梯固定柱、电缆固定柱等应保证其直线度不宜超过总长的 0.5‰或满足使用要求。

表 19 筒节与法兰焊接角变形（内倾）量(mm)

项目		允许偏差 e	示意图
筒节与法兰焊接角变形要求	上法兰	0~0.8	
	中法兰	0~1.0	

	下法兰	0~1.5	
--	-----	-------	--

T 型法兰角变形分别在法兰接触面的外圈、内圈、中圈〔即（外圈+内圈）/2〕处进行测量。

7.4.15 焊缝坡口型式和尺寸，应符合 GB/T985.1、GB/T985.2 的有关规定。

7.4.16 坡口的加工使用热切割或机加工方法，对于切割边缘的不平滑处和渣屑，应使用机加工或打磨的方法去除。

7.4.17 塔筒主体所有的纵向和环向焊缝均为对接熔透焊缝；纵向焊缝和环向焊缝必须采用 121 焊接法（埋弧焊）在平焊支架装置上进行施焊，采用双面熔透焊，一侧焊接完毕，另侧必须完全进行刨根清底（无碳弧气刨工艺除外），打磨露出焊缝坡口金属后再施焊。不同厚度的板材之间的过渡必须要顺滑，当两节对接焊的钢板厚度差大于等于 4mm 时，要开小于 1:5 的双面过渡斜坡，如下图 7、图 8 所示。

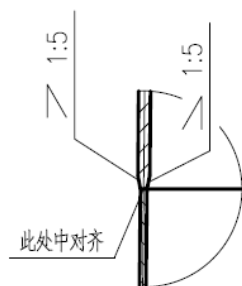


图 7

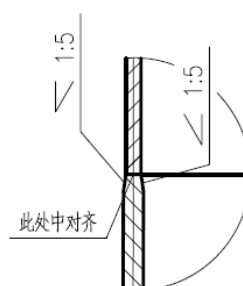


图 8

7.4.18 筒节、法兰、门框的焊接须符合 GB50017 中第 7 节和 JBJ81 的要求。

7.4.19 在焊接过程中，必须保证一致的熔合，正确熔透和平整，但不太突出的焊缝表面与母材要无缺口过渡。双面焊接时必须保证完全焊透，必须进行调节热量耗费，使得焊接融合区在 5%~10% 之间。

7.4.20 焊缝施焊必须采用尽可能最佳的顺序焊接。焊接（顺序）计划中确定的工艺必须保证进行焊接的零部件具有较低的内部应力并且可以不受限制的收缩。当多层焊接时，必须彻底

清除前一层焊道的焊渣、裂纹，包括断续定位焊缝，较大气孔或者夹渣等等，决不能焊接覆盖，而要先修复再进行下一层焊接。

7.4.21 焊接工作不允许伤害筒体，不允许在筒体的任何部位进行引弧，不允许在筒体的任意部位焊接把手或接地线部件等。

7.4.22 筒体纵缝的起端和末端必须安装用引弧板和熄弧板，引弧板的材质根据筒体的材质要求，厚度与所焊筒体的厚度一致。纵向焊缝的引出板长度至少为 100mm，且应在引弧板上调节好焊条的熔融能量损耗后才进行施焊。环向焊缝必须至少有 50mm 的焊缝重叠域。

7.4.23 塔筒与基础环装配焊装过程中，禁止野蛮、强力装配。筒体组装拼接时的码板不允许敲打拆除，只能用氧炔割炬在距板面 5mm 处割除码板，再用机械方式打磨除去。去除引、熄弧板应采用切除的方法，严禁使用敲击的方法，切除处应磨平。更不允许随意敲打焊缝。

7.4.24 附件焊接应在筒体主体（包括法兰、门框）完工后进行，附件的焊接位置不得位于筒体焊缝上，与筒体焊接的爬梯固定装置、电缆固定装置等应保证其直线度不宜超过总长度的 5‰或满足使用要求。

7.4.25 不得在焊缝间隙内嵌入金属材料。

7.4.26 焊接完毕在筒壁内侧距焊趾 50mm 显眼处打上焊工编号钢印，且应在涂装处理后清晰可见。

7.5 焊缝质量检验

7.5.1 焊缝质量分类分以下 3 个等级：

- 1) 一级焊缝：筒节纵向对接焊缝、筒节与筒节的环向对接焊缝、筒节与法兰的环向连接焊缝（不包括基础环筒节与下法兰的连接焊缝）、门框拼接焊缝、筒节与门框连接焊缝、筒节与开孔加强框的连接焊缝。
- 2) 二级焊缝：基础环底部法兰的钢板拼接焊缝及基础环筒节与下法兰的连接焊缝。
- 3) 三级焊缝：一、二级焊缝以外且设计图纸无特殊要求的其他焊缝。

7.5.2 塔筒主体焊缝（一、二级焊缝）质量应符合 ISO5817 中的 B 级要求（疲劳细节分类为 DC90 的焊缝，其质量应符合 ISO5817 中 B90 的要求；疲劳细节分类为 DC112 的焊缝，其质量应符合 ISO5817 中 B125 的要求）。

7.5.3 定位焊的质量要求及工艺措施与正式焊缝相同，对一、二级焊缝的定位焊点，应由持有相应的有效资格证书的焊工施焊。

7.5.4 焊缝内部质量

一、二级焊缝质量等级及内部缺陷应符合表 20 的规定。

表20焊缝质量等级及内部缺陷分级

焊缝质量等级		一级	二级
内部缺陷超声波探伤	评定等级	I	II
	检验等级	B 级	B 级
	探伤比例	100%	20%
内部缺陷射线探伤	评定等级	II	III
	检验等级	B 级	B 级
	探伤比例	100%	20%
注：探伤比例的计算方法应按每条焊缝计算百分比，且探伤长度不小于 200mm，当焊缝长度不足 200mm 时，应对整条焊缝进行探伤。			

7.5.5 焊缝外观质量

1) 所有焊缝必须进行 100%外观检查，在用肉眼或 5 倍放大镜检查下应满足如下要求：

焊缝与母材应圆滑过渡，焊缝和热影响区表面不允许有裂纹、开放性缩孔、气孔、夹渣、未熔合、低于焊缝高度的弧坑、深度达 0.5mm 的咬边等缺陷。

主体对接焊缝余高 $C \leq 0.1B$ 且 $\leq 2.0 \text{ mm}$ ；焊缝外形尺寸超过规定值时，应进行修磨；允许局部补焊，返修后应检查合格。

2) 一级、二级、三级焊缝外观质量标准应符合表 21 的规定。

表21 焊缝质量等级及外观缺陷分级

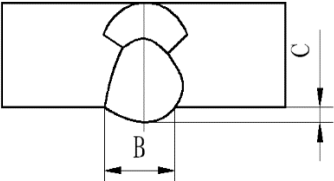
项目		允许偏差		
焊缝质量等级		一级	二级	三级
外观缺陷	未焊满	不允许	$\leq 0.2 + 0.02t$ 且 ≤ 1.0	$\leq 0.2 + 0.04t$ 且 ≤ 2.0
			每 100.0 焊缝内缺陷总长小于或等于 25.0	
	根部收缩	不允许	$\leq 0.2 + 0.02t$ 且 ≤ 1.0	$\leq 0.2 + 0.04t$ 且 ≤ 2.0
			长度不限	
	咬边	不允许	$\leq 0.05t$ 且 ≤ 0.5 ；连续长度 ≤ 100.0 且焊缝两侧咬边总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长	$\leq 0.1t$ 且 ≤ 1.0 ，长度不限
	裂纹	不允许		
	弧坑裂纹	不允许		
	电弧擦伤	不允许		允许存在个别电弧擦伤

	飞溅	清除干净		
	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 1000.0 焊缝不得超过 1 处	
	表面夹渣	不允许		深 $\leq 0.2t$, 长 $\leq 0.5t$ 且 ≤ 20.0
	表面气孔	不允许		每 50.0 焊缝内允许直径 $\leq 0.4t$ 且 ≤ 3.0 的气孔 2 个; 孔距 ≥ 6 倍孔距
	角焊缝厚度不足 (按设计焊缝厚度计)	—		$\leq 0.3+0.05t$ 且 ≤ 2.0 ; 每 100.0 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: 咬边如经磨削修整并平滑过渡, 则只按焊缝最小允许厚度值评定。				
注 3: t 为连接处薄板厚度。				

3) 焊缝感观应外形均匀、成型较好, 焊道与焊道、焊缝与基体金属间过渡圆滑, 焊渣和飞溅物进出干净。

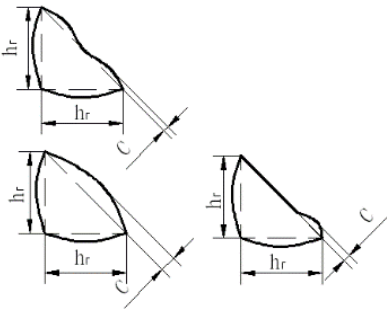
7.5.6 对接焊缝尺寸: 对接焊缝尺寸偏差应符合表 22 的规定。

表22 对接焊缝尺寸允许偏差 (mm)

项目	允许偏差		示意图
对接焊缝 余高 C	一、二级	三级	
	$C \leq 0.1B$ 且 ≤ 2.0	$B < 20$: 0~4.0	
		$B \geq 20$: 0~5.0	

7.5.7 角焊缝的焊脚尺寸: 焊脚尺寸 h_f 由设计及有关技术文件注明, 部分焊透组合焊缝和角焊缝外形尺寸允许偏差应符合表 23 的规定。

表23 角焊缝外形尺寸允许偏差 (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	

7.5.8 焊缝宽度尺寸: I 形坡口对接焊缝 (包括 I 形带垫板对接焊缝) 见图 9, 其焊缝宽度 $B=b+2a$ 。非 I 形坡口对接焊缝见图 10, 其焊缝宽度 $B=g+2a$ 。焊缝宽度应符合表 24 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（即宽窄差）值不大于 2.0mm，整个焊缝长度范围内偏差值不大于 3.0mm。

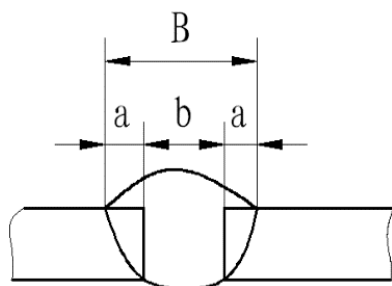


图 9 I形坡口对接焊缝

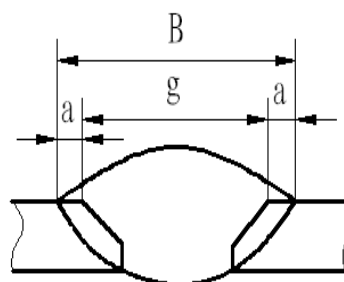


图 10 非I坡口对接焊缝

表24 焊缝宽度(mm)

焊接方法	坡口形式	焊缝宽度 B	
		$B_{\min}$	$B_{\max}$
埋弧焊	I形坡口	$b+6$	$b+16$
	非I形坡口	$g+4$	$g+10$
手工电弧焊及气体保护焊	I形坡口	$b+4$	$b+8$
	非I形坡口	$g+4$	$g+8$

注：标准 b 值为符合 GB/T985.1、GB/T985.2 标准要求的实际装配值。

7.5.9 焊缝边缘直线度: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 11，其值符合表 25 的规定。

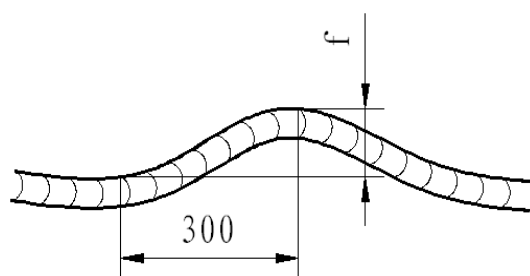


图 11 焊缝边缘直线度示意图

表25 焊缝边缘直线度偏差(mm)

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

7.5.10 焊缝表面凹凸:表面凹凸值在焊缝任意 25mm 长度范围内，焊缝余高 $C_{\max}-C_{\min}$ 的允许偏差值不大于 1.0mm，见图 12。

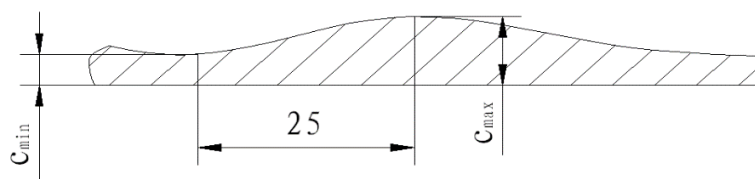


图 12 焊缝表面凹凸度示意图

7.6 焊后消除应力处理

预热温度和道间温度由焊接工艺评定确定，同时考虑钢材的化学成分、接头的拘束状态、热输入大小、熔敷金属含氢量水平及所采用的焊接方法等因素的影响。

钢板焊接最低预热温度如下表 26 所示，除预热温度外，扩散氢含量、碳当量、热输入、后热处理等可参考 EN1011 焊接金属材料焊接推荐的参数执行。

表 26 焊接预热温度表

钢材牌号	接头最厚部件的板厚 t , mm				
	$t < 20$	$20 \leq t \leq 40$	$40 \leq t \leq 60$	$60 \leq t \leq 80$	$t > 80$
Q355	/	40°C	60°C	80°C	100°C
Q420	20°C	60°C	80°C	100°C	120°C

注：

- ①“/”表示可不进行预热；
- ②当采用非低氢焊接材料或焊接方法焊接时，预热温度应比该表规定的温度提高 20°C；
- ③当母材施焊处温度低于 0°C 时，应将表中母材预热温度增加 20°C，且应在焊接过程中保持这一最低道间温度；
- ④中等热输入指焊接热输入约 15~25kJ/cm，热输入每增大 5kJ/cm，预热温度可降低 20°C；
- ⑤焊接接头板厚不同时，应按接头中较厚板的板厚选择最低预热温度和道间温度；
- ⑥焊接接头材质不同时，应按接头中较高强度、较高碳当量的钢材选择最低预热温度；
- ⑦预热的加热区域应在焊缝坡口两侧，宽度应为焊件施焊处板厚的 1.5 倍以上，且不小于 100mm。

对于 Q420 材质，焊后立即进行去氢后热处理，后热温度一般为 250°C~300°C，后热处理时间 $\geq 2\text{h}$ ，后热完成后使用保温棉/毡等包裹，使其缓慢冷却至室温。

当焊件需要进行焊后应力处理时，应根据母材化学成分、焊接类型、厚度和焊接接头的拘束度以及结构的使用条件等因素确定焊后消除应力措施，按实际生产项目技术要求执行。

7.7 焊接返工

7.7.1 焊缝探伤发现有不允许的缺陷时，应在该缺陷两端的延伸部位增加检查长度，增加的长度为该焊接接头长度的 10%，且不小于 250mm。若仍有不允许的缺陷时，则对该焊缝接头做 100% 的射线检测。

7.7.2 若塔筒主体焊缝有缺陷且不满足 7.5.2 要求，应立即对缺陷部位进行返工修补，再次行 100%的检验直至合格。

7.7.3 进行焊接施工前，应根据有关标准和规程制定返工程序及工艺，并严格遵照执行。

7.7.4 焊接返工的质量控制应和正式焊接作业的质量控制一致。

7.7.5 焊缝同一部位的返工次数不宜超过两次，如超过两次，返工次数、部位和返工情况应在产品的验收资料中体现。

8 内附件装配

- 8.1** 附件装配前应去除任何可感觉不适的毛刺、飞边、割渣等尖锐处。
- 8.2** 镀锌件安装前需对产品的材料、尺寸、孔型、镀锌质量、焊缝质量等进行检查(折弯处不得出现裂纹及刀痕)，及时剔除不合格品。
- 8.3** 平台板装配要平整，板间间隙要均匀，不许有凹凸不平 and 翘边现象。
- 8.4** 塔筒门的锁舌板或楔形块设置的位置应与门锁适配，门板封板上应安装密封条，保证门板与门框贴合紧密，同时密封条有一定的压缩量，确保门开、关顺利无阻以及防水。
- 8.5** 塔筒平台与塔筒内壁间缝隙需用自夹紧式密封胶条封闭，胶条的选型应与脚踢板适配并与塔筒内壁贴合紧密无缝隙。
- 8.6** 安全锚点具有满足 EN195 的 CE 认证证书，并提供第三方实验报告（静载 22KN，-40℃ 下，冲击功不小于 50J）。
- 8.7** 笼型桥架如涉及角度变化截断位置则需在截断处设置安全可靠的连接件连接。
- 8.8** 如无特殊要求，每层平台需各配置 2 个标准 ABC 型 4Kg 干粉灭火器。
- 8.9** 所有安全爬梯应配有钢丝绳或导轨式防坠落装置，如采用钢丝绳式则需在出厂前完成施工用临时防坠钢丝绳装配，导轨式则需于出厂前完成装配。
- 8.10** 所有于风场进行装配的附件结构的首套必须在塔筒厂内进行预装，确认无问题后拆下做好配套标记，按套打包发出，并标注所属机位。
- 8.11** 防火封堵装配参考《QHJZJ 030315—2022 风力发电机组塔筒电缆防火封堵技术规范》配置。
- 8.12** 所有螺栓紧固完成后均需做紧固标记，并于发货前进行验收确认。
- 8.13** 塔筒金属制品附件装配时，若图纸无特殊说明，螺栓连接部位的螺纹连接副紧固力矩（干摩擦时）按表 27 执行。

表 27 螺栓紧固力矩表

螺纹规格 d, mm	6	8	10	12	16	18	20	24
8.8 级螺栓力矩, Nm	6	14	29	51	126	180	254	440
不锈钢螺栓力矩 A2-70/A4-70, Nm	4	10	20	35	88	122	173	300

9 防腐

9.1 涂层设计寿命

风力发电机组塔架的设计运行年限为 20 年，塔架防腐涂层的耐久性应用类别为 ISO12944-1 的高级（H）及很高级（VH），对应的耐久性年限如表 28 所示。

表 28 防腐耐久性分类

耐久性类别	耐久性年限
高（H）	15～25 年
很高（VH）	> 25 年

9.2 腐蚀环境分类

根据 ISO 12944-2 中对于环境的分类，风力发电机组运行环境主要为 C4-CX 级别，其中 C4 主要包括中等含盐度的工业区和沿海区域；C5 包括高湿度和恶劣大气的工业区域和高含盐度的沿海区域；CX 包括具有高含盐度的海上区域以及具有极高湿度和侵蚀性大气的热带亚热带工业区域。环境分类及耐久性年限的搭配选取应参考如下方案：

- （1）若为干旱或半干旱半湿润地区：采用 C4 级环境，耐久性类别 H。
- （2）若为潮湿地区：采用 C4 或 C5 级环境，耐久性类别 H。
- （3）若为沿海地区：采用 C5 级环境，耐久性类别 VH。
- （4）若为海上或化工地区：采用 C5 级或 CX 级环境，耐久性类别 VH。

地区定义可参照如下注释执行：

表 29 地区分类定义

干旱及半干旱半湿润地区	年均相对湿度 $RH < 80\%$ 且年降雨量 $< 800 \text{ mm}$ 。
潮湿地区	年均相对湿度 $RH \geq 80\%$ ，且年降雨量 $\geq 800 \text{ mm}$ ；或位于大型淡水水域（湖泊、水库）沿岸区域范围。
沿海地区	海洋沿岸 10 km 区域范围。
海上及化工地区	海洋水域或化工大气腐蚀环境。

9.3 涂料防腐方案

9.3.1 配套体系涂料防腐方案适用于筒体、筒体焊接件、塔筒门及图纸要求的其他零部件，如涉及塔筒内外分界不明显的零部件则按高标准（外）执行，面漆颜色色标根据项目要求确定。若项目未特殊要求，则按 RAL9003 执行。

9.3.2 油漆制造厂供货时必须提交产品合格证、产品技术说明书和材料安全参数表；油漆型号、名称、颜色、有效期必须与其质量证明文件相符，并提供近 3 年配套方案对应的国家涂料监督检验中心或权威第三方检测机构的检测报告。

9.3.3 底漆、中间漆及面漆的种类和相应厚度按照油漆厂家的配套体系执行，但干膜总厚度不得低于表 30 的规定。

表 30 最小干膜厚度（um）

耐久性类别	使用环境	塔筒部位	最小干膜总厚度
H	C4	外表面	200um
		内表面	180um
	C5	外表面	260um
		内表面	200um
VH	C5	外表面	320um
		内表面	260um
	CX	外表面	380um
		内表面	320um

9.3.4 当腐蚀环境为 C4 级时，防腐方案见下表 31。

表 31 塔筒 C4 级环境类别涂料防腐方案

涂料厂商	防腐部位	涂层	牌号	干膜厚度 /um
				H
海虹老人 HEMPEL	外表面	底漆	先锋盾环氧富锌底漆 1736G	60
		中间漆	环氧厚浆漆 45880/45950	80
		面漆	聚氨酯面漆 55190/55610	60
	内表面	底面漆	环氧厚浆漆 47680/45880/45950	180
庞贝捷 PPG	外表面	底漆	环氧富锌漆 Sigmazinc109G(HS)	60
		中间漆	环氧中间漆 Sigmacover410/Sigmafast278	90
		面漆	聚氨酯面漆 Sigmadur550/Sigmadur188	50
	内表面	底漆	环氧富锌漆 Sigmazinc109G(HS)	60
		中间漆	聚氨酯面漆 Sigmadur550/Sigmadur188	120
国际 International	外表面	底漆	环氧富锌漆 Interzinc52E	60
		中间漆	环氧云铁中间漆 Intergard475HS	90
		面漆	聚氨酯面漆 Interthane990	50
	内表面	底漆	环氧富锌漆 Interzinc52E	60
		中间漆	环氧云铁中间漆 Intergard475HS	120
佐敦 Jotun	外表面	底漆	环氧富锌底漆 Barrier 80S	60
		中间漆	环氧云铁中间漆 Penguard Express/Penguard Midcoat M20(S)	90

	内表面	面漆	聚氨酯面漆 Hardtop XP	50
		底漆	环氧富锌底漆 Barrier 80S	60
		中间漆	环氧云铁中间漆 Penguard Express/Penguard Midcoat M20(S)	120
厦门双瑞 Xiamen Sunrui	外表面	底中漆	725-H53-87 厚浆环氧漆	150
		面漆	725-BS43-91 可复涂聚氨酯面漆	50
	内表面	底中漆	725-H53-87 厚浆环氧漆	180

9.3.5 当腐蚀环境为 C5 级时，防腐方案见表 32。

表 32 塔筒 C5 级环境类别涂料防腐方案

涂料厂商	防腐部位	涂层	牌号	干膜厚度/um	
				H	VH
海虹老人 HEMPEL	外表面	底漆	先锋盾环氧富锌底漆 1736G	60	60
		中间漆	环氧厚浆漆 47680/45880/45950	140	200
		面漆	聚氨酯面漆 55190/55610	60	60
	内表面	底漆	先锋盾环氧富锌底漆 1736G	60	60
		中间漆	环氧厚浆漆 47680/45880/45950	160	200
庞贝捷 PPG	外表面	底漆	环氧富锌漆 Sigmazinc109G(HS)	60	60
		中间漆	环氧中间漆 Sigmacover410/Sigmafast278	140	200
		面漆	聚氨酯面漆 Sigmadur550/Sigmadur188	60	60
	内表面	底漆	环氧富锌漆 Sigmazinc109G(HS)	60	60
		中间漆	聚氨酯面漆 Sigmadur550/Sigmadur188	160	200
国际 International	外表面	底漆	环氧富锌漆 Interzinc52E	60	60
		中间漆	环氧云铁中间漆 Intergard475HS	140	200
		面漆	聚氨酯面漆 Interthane990	60	60
	内表面	底漆	环氧富锌漆 Interzinc52E	60	60
		中间漆	环氧云铁中间漆 Intergard475HS	160	200
佐敦 Jotun	外表面	底漆	环氧富锌底漆 Barrier 80S	60	60
		中间漆	环氧云铁中间漆 Penguard Express/Penguard Midcoat M20(S)	140	200
		面漆	聚氨酯面漆 Hardtop XP	60	60
	内表面	底漆	环氧富锌底漆 Barrier 80S	60	60
		中间漆	环氧云铁中间漆 Penguard Express/Penguard Midcoat M20(S)	160	200
厦门双瑞 Xiamen Sunrui	外表面	底漆	725-H06-21 环氧富锌底漆	50	60
		中间漆	725-H53-87 厚浆环氧漆	160	200
		面漆	725-BS43-91 可复涂聚氨酯面漆	50	60

	内表面	底漆	725-H06-21 环氧富锌底漆	60	60
		中间漆	725-H53-87 厚浆环氧中间漆	160	200

9.3.6 当腐蚀环境为 CX 级时，防腐方案见表 33。

表 33 塔筒 CX 级环境类别涂料防腐方案

涂料厂商	防腐部位	涂层	牌号	干膜厚度/um	
				VH	
海虹老人 HEMPEL	外表面	底漆	先锋盾环氧富锌底漆 1736G	80	
		中间漆	环氧厚浆漆 47680/45880/45950	220	
		面漆	聚氨酯面漆 55190/55610	80	
	内表面	底漆	先锋盾环氧富锌底漆 1736G	80	
		中间漆	环氧厚浆漆 47680/45880/45950	240	
庞贝捷 PPG	外表面	底漆	环氧富锌漆 Sigmazinc109G(HS)	80	
		中间漆	环氧中间漆 Sigmacover410/Sigmafast278	220	
		面漆	聚氨酯面漆 Sigmadur550/Sigmadur188	80	
	内表面	底漆	环氧富锌漆 Sigmazinc109G(HS)	80	
		中间漆	聚氨酯面漆 Sigmadur550/Sigmadur188	240	
国际 International	外表面	底漆	环氧富锌漆 Interzinc52E	80	
		中间漆	环氧云铁中间漆 Intergard475HS	220	
		面漆	聚氨酯面漆 Interthane990	80	
	内表面	底漆	环氧富锌漆 Interzinc52E	80	
		中间漆	环氧云铁中间漆 Intergard475HS	240	
佐敦 Jotun	外表面	底漆	环氧富锌底漆 Barrier 80S	80	
		中间漆	环氧云铁中间漆 Penguard Express/Penguard Midcoat M20(S)	220	
		面漆	聚氨酯面漆 Hardtop XP	80	
	内表面	底漆	环氧富锌底漆 Barrier 80S	80	
		中间漆	环氧云铁中间漆 Penguard Express/Penguard Midcoat M20(S)	240	
厦门双瑞 Xiamen sunrui	外表面	底漆	725-H06-21 环氧富锌底漆	80	
		中间漆	725-H53-87 厚浆环氧漆	220	
		面漆	725-BS43-91 可复涂聚氨酯面漆	80	
	内表面	底漆	725-H06-21 环氧富锌底漆	80	
		中间漆	725-H53-87 环氧云铁防锈漆	220	

9.4 表面处理要求

9.4.1 应根据 ISO 12944-4 相关规定对塔筒体涂装部件的表面进行准备。基体表面处理后应干燥、无灰尘、无油污、无氧化皮、无锈迹。非机加工面喷涂前采用喷砂除锈，基体表面粗糙应达到 $Rz40\sim80\mu m$ ，并保证致密度和均匀度。喷砂用压缩空气必须干燥；砂料必须有棱角、清洁、干燥，特别是应无油污、可溶性盐类，喷砂防锈表面应达到 GB8923 之 3.2.3 项的 Sa2.5 级要求。对于个别部位喷砂达不到要求的要求时，应采用电动工具机械打磨除锈，达到 GB8923 之 3.3.3 项的 St3 级要求。喷砂所用的磨料应符合 YB/T5149、GB6485 的标准规定。建议使用钢砂、钢丸。金属砂最好是棱角砂与钢丸混合使用，混合比例为 30%，70%，棱角砂的规格为 G25、G40,钢丸的规格为 S330,可以用非金属磨料，但不准用海砂，建议使用铜矿砂或金刚砂。粒度为：16-30 目，磨料硬度必须在 40-50Rc 之间。

9.4.2 已喷砂表面在涂覆前，不允许与污染物接触；经预处理的表面应即时进行底漆涂装，一般环境下间隔时间不超过 4h，潮湿天气、含盐雾环境下，间隔时间不超过 2h。由于发生故障喷砂后停留时间过长或其他原因致使基体表面明显变质时，应再次进行打砂处理。

9.5 涂装施工工艺要求

9.5.1 涂装施工时应遵循涂料作业的相关规定，无合格证书或质保书的涂料不能施工，未经入库复验合格的涂料不能施工，在混合搅拌或稀释过程中发现涂料有分层、沉淀等现象时不能施工。

9.5.2 喷砂后 4 个小时内，钢材表面在返锈前，必须完成底漆涂装作业（在含盐雾气氛下，间隔时间不能超过 2h）。如果钢材表面有可见返锈现象，变湿或者被污染，要求重新清理达到要求。

9.5.3 同一段塔筒只允许使用同一品牌油漆配套。

9.5.4 当油漆开启后发现结皮、结块、凝胶等现象时应在设计单位和订货方、涂装施工方和油漆供货方四方临场下，共同见证取样，送有资质的涂料检测单位进行油漆技术参数指标的抽检或复验，合格后方可继续使用。

9.5.5 在喷涂过程中应注意防尘、防污染等。

9.5.6 必须遵守油漆供货厂家给出的涂漆各层之间的最短和最长间隔时间。

9.5.7 不能在高于或低于油漆供货厂家规定的部件表面和环境空气的最低和最高温度值进行涂装作业。

常温型涂料施工环境温度范围为 5℃—35℃（在喷涂表面温度高于 35℃ 时在实施喷涂工作之前请咨询油漆供应商），相对湿度≤80%；当湿度超过 85%或钢板温度低于露点以上 3℃ 时不能进行喷漆施工；当因雨、雾、冷凝、霜冻等天气条件在结构件表面形成潮气层时也不允许进行喷漆工作。

当环境温度为-10℃—5℃时，施工必须使用冬用型涂料，施工工艺及要求必须按涂料厂家提供的施工说明进行。

当环境温度低于-10℃时，不允许施工。施工单位应对施工环境进行监测和记录。

9.5.8 防腐过程中，螺纹表面应涂可清洗的防锈油并采取措施进行可靠保护以防止油漆和其他污染物玷污。

9.5.9 油漆涂装后 4 小时内严禁雨淋。

9.6 涂层控制

9.6.1 涂装过程中，应及时测定湿膜厚度以便控制每一层干膜厚度。

生产过程中所选择油漆必须满足以下要求：

1) 富锌底漆涂层干膜中锌粉颜料质量含量不得低于 80%；

2) 订货方需对油漆进行取样，并送有资质的涂料检测单位进行油漆技术参数指标的复验，其结果须符合国家相关标准要求。

9.6.2 涂层附着力试验按 10 套/次进行(首套必做)，结果应符合体系认证要求。

9.6.3 涂层漆膜应平整，颜色一致，无流挂、漏涂、针孔、气泡、裂纹等缺陷；

9.6.4 所有涂层损坏及不合格的部分都应根据原涂装体系进行修补并达到检验要求。

9.7 法兰防腐

9.7.1 塔体筒体法兰喷砂后，所有面均按 GB/T9793 火焰热喷锌，锌层厚度不小于 160±40um，法兰接触面及法兰背面螺栓孔垫圈范围（垫圈半径+5mm）不得喷涂油漆涂层。

9.7.2 如果法兰螺栓孔（光孔）不易喷锌防腐，可采用 80~100um 富锌底漆防腐。

9.7.3 其余部分（法兰外环面、法兰背面不含垫圈、法兰内环面）按涂层防腐配套方案喷涂相应油漆，防腐方案如下图 13 所示。

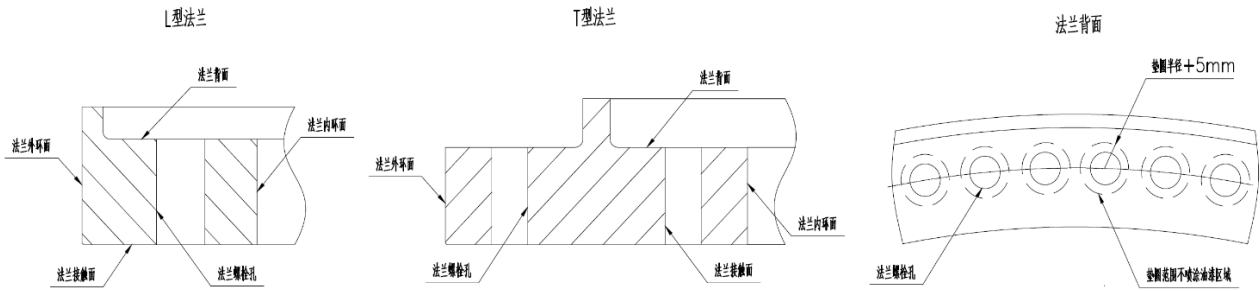


图 13 法兰防腐示意图示意图

9.8 基础环防腐

- 9.8.1 基础环上法兰上下端面按 GB/T9793 热喷锌，锌层厚 $160\pm40\mu\text{m}$ 。
- 9.8.2 基础环顶部法兰面至以下 1100mm 的范围内（不包括顶部法兰面），按照塔体防腐处理技术要求进行防腐处理。基础环距顶部法兰面 1100mm 以下的其余所有面积喷涂无机富锌底漆 $40\mu\text{m}\sim50\mu\text{m}$ ，确保运输过程中不锈蚀。
- 9.8.3 所有涂层损坏部分都应根据原涂装体系进行修补并达到检验要求。

9.9 塔筒生根件涂层防腐

与筒体焊接的生根件宜按照主筒体防腐要求与筒体一起按照筒体涂装方案进行涂装防腐。若筒壁焊接有螺柱，则螺柱焊后端面宜采用热喷锌处理，锌层厚度 $\geq120\mu\text{m}$ ，螺柱端面不允许有油漆涂层，具体按图纸要求执行。

9.10 热喷涂锌处理技术要求

- 9.10.1 喷涂用金属材料应符合以下要求：
 - 1) 金属线材应为锌或锌铝合金，直径 2mm 或 3 mm，直径公差应满足 ISO 14919 的要求；
 - 2) 锌应符合 ISO 14919 规定的 Zn99.99;锌的含量不小于 99.99%；
 - 3) 锌铝应符合 ISO14919 规定的 ZnAL15;锌的含量为 84%~86%，铝的含量 14%~16%；
 - 4) 热喷涂材料的力学性能、表面性能和可使用性应满足 ISO 14919 的要求。
- 9.10.2 热喷涂锌处理工艺要求见下表 34。

表 34 热喷涂锌处理技术要求

项目名称	技术要求
喷锌层最小局部厚度	$\geq120\mu\text{m}$

表面处理	喷射除锈后工件表面质量符合 9.3.1 要求，喷丸后应尽快进行喷涂处理、放置时间应符合 9.3.2 要求
涂层的封闭处理	构件热喷涂锌结束后的封闭处理应在 2h 内进行
涂层外观	涂层表面均匀，不允许有起皮、鼓泡、大溶滴、裂纹、掉块及其他影响涂层质量的缺陷，接头处不允许有高出平面 0.2mm 的刺锌、滴瘤、结块

9.10.3 焊接避雷螺柱须热喷锌，锌层厚度不小于 120um；其端面不允许有油漆涂层。

9.11 塔筒附件热浸锌要求

9.11.1 用于热浸锌的锌浴主要应由熔融锌液构成。熔融锌中的杂质总含量（铁、锡除外）不应超过总质量的 1.5%，所指杂质按 GB/T470 的规定。

9.11.2 热浸锌应根据各厂的设备制定酸洗、浸锌的温度、时间、钝化、清洗等工序的工艺。

9.11.3 镀锌层表面应连续、完整、无漏镀、结瘤、积锌、毛刺等缺陷。

9.11.4 若镀锌件因工艺需求开设工艺孔后进行防腐，则工艺孔应开在隐蔽处，且镀锌完成后需补焊或使用密封胶对工艺孔进行封堵。

9.11.5 镀锌层最小干膜厚度根据项目环境类别确定，详见表 35。

表 35 镀锌层最小干膜厚度要求

环境类别	局部最小干膜厚度 um	最小平均干膜厚度 um
C4	85	95
C5及CX	125	135

9.11.6 塔筒平台、钢直爬梯，吊梁及入口梯子等可拆卸的附件采用热浸锌防腐，锌层厚度应符合 9.11.5 的要求。

9.11.7 组装的钢制附件应拆开分别热浸锌防腐。

9.11.8 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 10cm²，若漏镀面积较大，应进行返镀。修复的方法可采用热喷涂镀锌或涂富锌涂层进行修补，修复层厚度应比镀锌层要求的最小平均厚度厚 30um 以上。

10 检验及验收

10.1 检验项目

检验项目包括：原材料外观质量、规格尺寸、力学性能试验及化学成分分析、钢板内部质量、零部件尺寸偏差；焊缝内、外部质量；涂层外观质量、厚度、均匀性及涂层结合性。除另有规定外，塔筒的检验项目和检验要求应符合表 35 的规定。

表 35 检验项目和要求

序号	检验项目	型式 检验	过程 检验	出厂 检验	检验要求
1	材质	○	■	*	GB/T1591
2	焊接材料	○	□	*	GB/T5117、GB/T5118、GB/T5293、 GB/T8110、GB/T12470
3	焊接工艺评定	○	—	—	NB/T47014
4	未注尺寸公差	○	—	—	GB/T1804
5	未注形位公差	○	—	—	GB/T1184、GB/T1958
6	焊接结构未注公差	○	—	—	GB/T19084
7	筒体任意截面圆度公差	○	○	*	
8	筒体表面凸凹度	○	○	*	图示
9	筒节纵向翘边误差距	○	○	*	图示
10	筒节错边量	○	○	*	图示
11	筒体两端平行度、同轴度	○	○	*	图示
12	孔的位置度	○	○	*	GB/T1958
13	法兰角变形和平面度	○	○	*	
14	产品焊接试板	○	▲10	*	NB/T47016
15	焊缝外观检测	○	○	*	目测
16	无损检测	○	○	*	NB/T47013
17	喷砂除锈	○	△20	*	GB8923
18	锌层厚度测量	○	—	△20	GB/T9793
19	锌层结合强度	○	—	△20	GB/T5210
20	漆涂层厚度的测量	○	—	△20	GB/T13452
21	漆涂层结合强度	○	—	△20	GB/T5210、GB/T9286
22	铭牌标志	○	—	○	GB/T13306

注：

①符号含义：标有“*”为文件检验（厂家提供的检验文件），标有“○”为全检，标有“—”为不做规定的检验项目，标有“△20”为抽检比例 20%，标有“□”为批检，标有“■”为第三方批检，标有“▲10”为第三方抽检比例 10%。

②本表仅作为需方型式、过程、出厂检验使用，厂家检验应根据供方质量控制和国家相关要求规范进行控制。

10.2 检验方法

10.2.1 检验设备、量具

检验设备和量具的规格及精度应能满足所测项目精度要求，并经过计量检定合格。

10.2.2 原材料质量检验

原材料外观质量采用目测检查，规格尺寸用数显卡尺，钢卷尺、超声波测厚仪等检测，内部质量主要采用超声波探伤的方法检测，力学性能用材料试验机、冲击功试验机等试验，化学成分用分析天平及相应元素试验设备。

10.2.3 部件尺寸检验

零部件尺寸相关项目可采用激光测距仪、激光测平仪及相关检具检测。

10.2.4 焊接件焊缝质量检验

1) 焊缝外部质量每 300mm 范围内测一个点，用 3 倍~5 倍放大镜和焊缝检验尺检测，需要时可采用表面探伤方法检验。

2) 焊缝内部质量检验应在焊接完成 24h 后进行，对于有冷作校正或热校正的焊缝，内部质量检验必须是在校正后进行；内部质量检验必须是在焊缝外观检验合格后执行。

3) 设计要求全焊透的一、二级焊缝内部质量宜采用超声波探伤方法检测，一级纵向与环向焊缝连接处或超声波不能对缺陷作出判断时，应采用射线探伤方法检测焊缝内部质量（见表 36），结果应符合 NB/T47013、GB/T29712、GB/T3323、GB/T11345、ISO5817 标准的规定。

4) 法兰与筒节、筒节与筒节的 T 型焊缝接头处均应进行射线探伤，每处的拍片有效长度不少于 250mm。

5) 焊缝探伤发现有不允许缺陷时，应在其延伸方向或可疑部位加倍做补充检验。如补充检验仍不合格，则应对该焊工在该焊条焊缝上所以焊接部位进行检验。

6) 经射线或超声波检测的焊缝，如有不允许的缺陷，应在缺陷清除后进行补焊，并对该部分采用原检测方法重新检查直到合格。

7) 对于板厚较厚，无法使用射线检测的 T 型接头，优先使用 PAUT 进行检测；对于 PAUT，宜在塔筒内壁进行，环焊缝 300mm，纵焊缝 150mm 内焊缝应打磨至余高不大于 0.5mm，同时 PAUT 按照 ISO 13588 执行，B 级合格。

涂装质量检查要求见表37。

表 36 焊接结合类型及探伤要求

焊接结合类型	无损检测范围			备注
	射线	超声波	磁粉	
基础环下法兰（拼接法兰）		100%	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
基础环与下法兰的连接焊缝		100%	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
筒体纵、环向对接焊缝		100%	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
T 形接头	100%	100%	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
门框拼接焊缝		100%	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
法兰与筒节的对接焊缝	法兰圆周方向加拍 5 张（抽拍）	100%	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
门框/开孔加强框与筒体的 连接焊缝		100%	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
筒体环焊缝接头重叠区		100%	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
与筒体焊接的承重附件 a		按图纸执行	100%	Ⅱ级合格（射线） Ⅰ级合格（磁粉）
①a 平台支撑、电梯吊梁、吊耳、入门梯耳板、电缆支架、M16 及以上内螺纹圆柱等承重大于 50Kg 的焊接附件。 ②对于 Q420 材质，焊接完成 72h 以后按上表进行探伤。 ③对于 Q420 材质，塔筒出厂前再次对 T 型接头及法兰环缝进行 UT 探伤，其余焊缝抽检 10%进行 UT 探伤。				

表 37 涂层质量检测

涂层性能	检验标准	涂层性能要求
涂层厚度	GB/T13452.2	达到各配套方案的厚度要求
硬度	GB/T1730	达到产品硬度指标（3 年内型式试验）
附着力	GB/T5210	拉拔法：达到 5MPa 及以上
耐冲击性	GB/T1732	用 4 倍放大镜检查无裂纹、皱皮及剥落（3 年内型式试验）
柔韧性	GB/T1731	涂层在弯曲后用 4 倍放大镜检查无网纹、裂纹及剥落等破坏现象（3 年内型式试验）
耐盐水性	GB/T1763	涂层无剥落、起皱、生锈和失光现象（3 年内型式试验）

- 1) 漆涂层厚度的测量按照 GB/T 13452.2 的方法 5 检验，每 5m² 进行一次测量。
- 2) 漆结合强度试验按 GB/T9286 有关条款执行。
- 3) 喷锌层厚度的测量及结合强度试验按 GB/T9793 有关条款执行。
- 4) 热浸镀锌层质量的检验按 DL/T646 有关条款执行。
- 5) 颜色：由业主指定，且所有涂装产品一致。
- 6) 涂层外观应不挂流、漏底、针孔、气泡等缺陷，平整光亮。

11 出厂资料

塔筒出厂时应提供以下资料（包括但不限于）：

- 1) 产品合格证；
- 2) 主要原材料出厂质量证明书及复验报告资料；
- 3) 材质抽检报告；
- 4) 原材料复验报告（钢板、法兰、焊材等）
- 5) 焊接工艺评定及焊接试板报告资料（首台提供）；
- 6) 法兰热处理工艺报告；
- 7) 无损探伤检验报告（无损检测单位资质、检测人员资质文件（项目首台提供））；
- 8) 一、二级焊缝焊接的焊工名单及代号；
- 9) 焊接资质证明（项目首台提供）；
- 10) 零部件尺寸检验报告；
- 11) 产品过程检验资料（包括但不限于表 35 涉及所有项目）；
- 12) 制造过程质量记录、成品质量验收记录；
- 13) 涂装层质量检验报告；
- 14) 随机附件清单。

12 包装、标识、运输和储存

12.2 包装

12.2.1 包装应根据风力发电机组的结构尺寸、质量大小、运输方式（铁路、公路、水路）等特点进行，保证其安全、可靠地运达目的地。

12.2.2 塔筒经检验合格后，方可进行包装。

12.2.3 其余按《HZJ090301-2022 风力发电机组塔筒包装防护及运输工艺规程》要求执行。

12.3 标识

12.3.1 生产厂家可按 GB/T13306 制作标牌，标牌内容应包括制造单位名称、产品名称、出厂编号、出厂日期。

12.3.2 同一塔筒上、下段对接标识，塔体下法兰与基础环上法兰对接标志按有关图纸要求标注。

12.3.3 各零部件在生产和安装（含现场安装）过程中的标识应具有可追溯性。

12.4 运输

12.4.1 塔筒的搬运和吊装不得有损防护层，吊装工具应采用可靠防护措施，避免与涂装层直接接触。

12.4.2 塔筒在运输过程中应捆绑牢固，捆绑索具及垫木之间应加放缓冲物，筒体两端用防雨布封堵。

12.4.3 法兰应采取用 10 号以上槽钢加工成的米字支撑或报审的其他形式进行支撑固定以防止塔筒变形，米字支撑连接孔为圆孔，开孔孔径必须与法兰孔径一致，连接螺栓为铰制孔螺栓。如吊装过程中发现法兰变形，塔筒制造厂应负责返厂修复。

12.4.4 在塔筒内各平台与筒壁之间需填充橡胶垫或木制楔形块，使平台在运输过程中始终处于固定状态，不允许平台对筒体造成损害或平台螺栓受剪。

12.4.5 塔筒发运前需检查所有螺栓防松对齐标识，若有异常情况，需重新紧固螺栓后做好防松对齐标识。

12.4.6 塔筒运输途中不允许发生拖地，不允许采用直接外力（推土机等工程机械）推法兰的形式助力。

12.4.7 其余按《HZJ090301-2022 风力发电机组塔筒包装防护及运输工艺规程》要求执行。

12.5 储存

12.5.1 塔筒只有在防腐层完成干燥的情况下才能室外储存。

12.5.2 塔筒露天储存时，表面须遮盖，防日晒雨淋，并且离开地板或者地面以上至少 150 mm。筒体底部应放置支架且固定牢固，防止大风等异常情况下滑落滚动，与筒体外壳连接处应放置缓冲物，避免油漆损伤。

12.5.3 存放地点应能避免积水浸泡塔筒，塔筒两端用防雨布封堵。

12.5.4 若防雨布破损，应及时更换，以防止灰尘雨雪进入塔筒内部。

12.5.5 塔筒长期存储时，应定期对塔筒进行 90°翻转，翻转间隔不超过 1 个月。同时定期检查塔筒变形加剧情况，如平台与筒体之间间隙变化超过 10mm，应对塔筒进行 90°翻转。

12.5.6 其余满足《QHJ090301-2022 风力发电机组塔筒包装防护及运输工艺规程》要求。

13 基础环的防水与密封

13.1 范围

本部分内容适用于中等含盐度的工业区和沿海区域（C4）、高湿度和恶劣大气的工业区域和高含盐度的沿海区域（C5）风力发电机组塔筒基础环式扩展基础密封的原理、材料、方法、要求；可以作为现场施工的指导材料。

13.2 原理

根据 DIN ISO12944、DIN 1045-3 第 8.7 章对基础钢筋混凝土进行密封和防腐蚀处理。

13.3 基础环橡胶密封圈材料

自粘橡胶

材料要求及外形尺寸如下（具体尺寸以橡胶套图纸为准）：

材 料：NR/SBR(天然橡胶/丁苯橡胶)

密 度：130-160kg/m³（0.13~0.16/g·cm⁻³）

ASTM 等级：RE41/42

晶胞结构：全封闭晶胞

吸 水 率：约 3%-6%

压 缩 率：约 20%

抗拉强度：10MPa

撕裂强度：2 MPa

抗 氧 化：7 天（50℃）

膨 胀 率：25%，50±10pphm

温度范围：-25℃~+80℃

耐 磨：中等

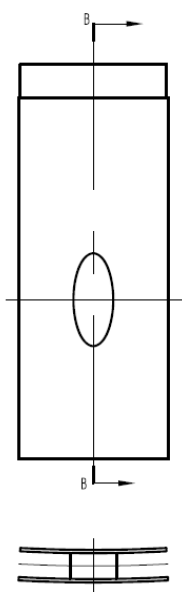


图 14 基础环上排孔用密封圈

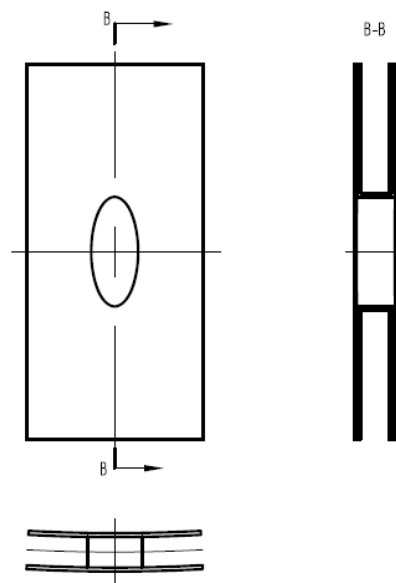


图 15 基础环下排孔用密封圈

注：1) 基础环橡胶密封圈由基础环制造厂粘贴于基础环上成套提供。

2) 橡胶密封圈也可用橡胶板粘贴形成。

13.4 密封方法

13.4.1 塔筒基础环在车间做完防腐底漆处理干燥后，即在钢筒上粘贴自粘橡胶，自粘橡胶允许变形为 1mm。这样就避免了混凝土顶部震动区的基础环钢筒钢结构和混凝土结构的刚性接触而产生缝隙，从而达到初步密封和减震的目的。

注意：布置钢筋后损坏的自粘橡胶套必须修补。

13.4.2 在预埋基础环后，其内外两侧用 Sika 防水涂料进行永久密封处理。涂装范围为基础环内部自基础环内表面与混凝土上表面交界处高、宽都为 250mm 的区域，基础环外表面宽度不小于 500mm 混凝土表面、高度与基础环内表面一致。具体密封方法参见图 16。

13.5 密封要求

密封要求为按照 1m3 类进行永久保护，要求抗紫外线、剥落，长期密封，密封期限一定要大于风机整机寿命。

对于预应力锚栓基础，基础防水与密封满足《Q/HZJ 010401 风力发电机组基础用锚栓组件技术条件》要求。

13.6 CX 区域

对于 CX（高含盐度的海上区域以及具有极高湿度和侵蚀性大气的热带亚热带工业区域）腐蚀环境，塔筒塔体底座的防水与密封按照设计院给定的方案执行。

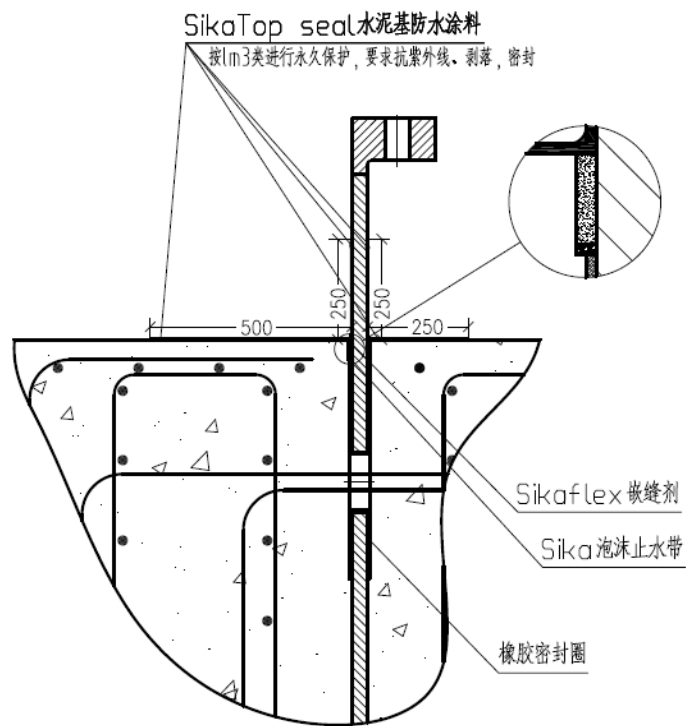


图 16