

风电塔筒制造技术及质量控制探讨

陈琨
(中国水利水电第四工程局有限公司 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 风电塔筒为连接机头与地基的筒形结构, 主要用来支撑风力发电机组、吸纳机组振动, 起到避雷减震的作用。风电塔筒的制造质量与机组的运行安全有着密切关系, 所以控制好风电塔筒质量有着积极意义。本文主要研究了风电塔筒的具体制作方案, 分析风电塔筒的焊接检测、包装和运输等内容, 对风电塔筒制作质量的管控细节进行思考, 从而更好地保障风电塔筒的制作质量。

关键词: 风电塔筒; 制造技术; 质量控制; 研究

0 引言

风力发电是一种全新的可替代性能源, 目前全球可利用的风能大概有 1300 亿千瓦, 通过对风能的使用可以更好减少二氧化碳的排放。风电塔筒对于发电机组起到支撑和吸收震动的功能, 而塔架形式主要是圆锥和圆柱等形式, 段数大致为 4 到 6 段, 总高度约 90 ~ 140m 左右。风电塔筒通常用轧制低合金钢进行制造, 有效地保障了塔筒的抗疲劳强度, 使塔筒能长期使用。其次, 筒体椭圆度、直线度、平面度等都是风电塔筒重要技术指标, 通过严格控制施工过程的工艺参数来控制精度。

1 风电塔筒制造的具体方案

1.1 材料采购和检验

钢材和法兰是塔筒制作的重要外购材料, 材料进厂后要仔细复核材质、厚度。筒体、门框和法兰材料应为镇静钢, 各项性能指标应符合 GB/T 1591 要求。对于锻造法兰采用 Q355NE, 在锻造后应满足 GB/T 5313 中的 Z35 性能级别要求。

外观验收合格后, 工作人员还需按进厂批次的 10% 进行 UT 抽检, 核查钢板、法兰内部质量, 满足法兰探伤级别 NB/T47013-2015 I 级要求, 钢板探伤级别符合 NB/T47013-2015 T1 级要求。

为严格控制钢板下料精度, 采用数控切割机进行下料。切割尺寸的偏差大小控制在合理范围内, 板宽误差 $\leq \pm 2\text{mm}$, 对角线偏差 $\leq 3\text{mm}$ 。同时为保证后期组对、装配的便利, 将筒体沿长度方向四等分, 标识装配基准线。做好钢板信息移植, 确保后期材料的可追溯性, 确保筒体纵、环缝坡口形式和坡口角度与加工工艺要求一致, 并且在组对之前打磨好坡口周边 50mm 范围。

1.2 卷板和回圆

卷制前制作 1.2m 长弧形样板, 检测弧度, 保证筒体内径和样板之间的缝隙均匀且 $\leq 2\text{mm}$ 。卷制完成后定位焊接, 合理控制错边量。筒体坡口外侧使用气体保护焊点焊固定, 装配引弧板和熄弧板。对指定批次及板厚安装焊接试板。纵缝焊接采用合理的焊接参数, 有效控制焊接线能量输入, 避免焊接变形。纵缝焊接完成后, 还需对筒体回圆, 确保筒体椭圆度小于 0.5%。卷板和回圆示意图如图 1 所示。

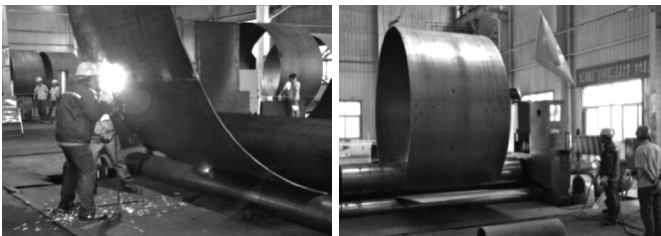


图 1 卷板、回圆示意图

1.3 纵缝焊接

熟练焊工先对筒节内缝焊接, 内缝焊接完成后, 清根处理背缝, 将焊缝根部氧化物清理, 然后焊接背缝。在焊接工作过程中, 首要注意纵缝对接间隙不能超过 1mm, 对接错台不得超过 2mm, 使用气体保护焊打底, 焊丝直径 $\phi 1.6\text{mm}$, 填充使用埋弧焊, 焊丝及焊剂牌号: H10Mn2+ SJ101。焊接作业时要将层间温度控制在 100°C 到 250°C 之间, 线能量不得高于 40kJ/cm , 这样满足熔敷金属能够承受 -40°C 的冲击功。焊接作业结束之后, 还要结合质量检测标准, 对纵缝进行超声波探伤, 使纵缝的合格等级达到 GB/T5817 B 级。检查焊缝的外观质量, 有没有咬边等质量问题, 同时采用 UT 检测焊缝内部质量。纵缝焊接质量达到合格要求之后, 切除熄弧板与引弧板。焊接时通常采用如图 2 所示的焊接机架, 提高焊接质量。

1.4 拼装

风电塔筒法兰装配是在高精度平台上完成, 作业前, 测量法兰周长、筒体管口长度, 计算错边量。拼装时, 先将

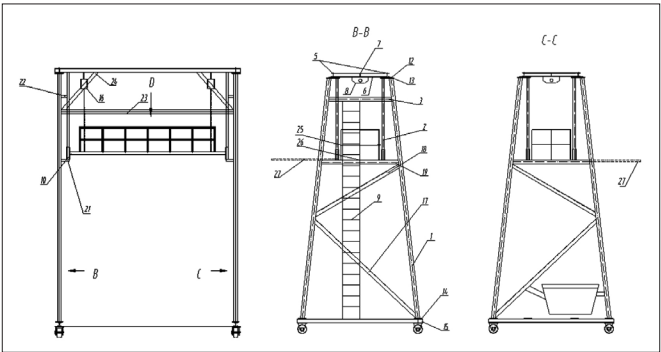


图 2 龙门焊接机架示意图

法兰放置在平台上，管口坡口往上，再将筒体落于法兰之上，纵缝位于两法兰孔之间。法兰拼装完成后，进行筒体间的大节组对，相邻筒体纵缝相错 180°。目前，筒体组对有两种形式，一种是外径对齐，一种是中径对齐。无论哪种对接方式，整段筒体组对完成后，都需在上、下法兰端口标识界限线、塔筒门安装中心线。拼装质量达标之后要对焊缝进行封



图 3 法兰组装

焊。法兰组装如图 3 所示。

1.5 环缝的焊接

环缝焊接与纵缝焊接顺序一致，焊接参数可参考下表。焊接过程注意不可以将筒体非焊接部位接地，而接地线要使用专用工装，焊材在使用前要烘干。做好预热工作，清理干净前层焊道，同一位置禁止开展两次以上的返修工作，T 字头位置 300mm 不存在焊缝接头。法兰节焊接的时候要控制好内倾度，使用铝型材贴紧法兰面，根据具体情况来调整焊

表 焊接参数

层 / 道	焊接方法	焊接材料		焊接电流		电弧电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	气体流量 (L/min)
		牌号	直径	种类 / 极性	电流 (A)			
1	SAW	H10Mn2	Φ4.0	DC/ ~	560 ~ 680	25 ~ 34	40 ~ 45	
2	SAW	H10Mn2	Φ4.0	DC/ ~	580 ~ 700	30 ~ 35	40 ~ 45	清根后焊接
3	SAW	H10Mn2	Φ4.0	DC/-	560 ~ 680	30 ~ 35	40 ~ 45	

接的顺序。

2 涂装

在涂装之前要对塔筒喷砂除锈，检验表面粗糙度，观察筒体表面是否存在损伤、锐边、铁锈等问题，粗糙度要达到 SA2.5 级要求。同时，还需对母材进行可溶盐测验，并且检测施工环境的温度、湿度等数值，每道喷砂工作不可以多于 2h，喷砂完成之后要检验好母材，涂装结束之后要检验漆膜厚度。

为更好地改善涂装质量，应满足以下要求：

- (1) 单涂层制备依据测试项目对应的测试标准中的要求，如无要求按 GB/T 1727 的规定进行；
- (2) 复合涂层制备依据各涂层体系规定的干膜厚度，干膜厚度按照 GBT 13452.2 测量，超出值不应超过设计值的 20%。每道涂层喷涂间隔 24h，养护时间至少为 7 天；

3 内件的安装

附件安装时工作人员要控制好偏差，外购件到货的时候要检查是否和清单一样，不可以出现缺少部件或者损坏的现象，在安装内部元件的时候要保障安装环境达标，结束了安装工作之后做好最后的检验。

4 风电塔筒材料的复验

筒体钢板需要根据货物总量的 10% 开展超声波复验，

技术标准按照 JB/T4730.3 所规定的二级规定。如果存在钢板超声波检验不达标的现象，那么工作人员就要反复检查好每张钢板的质量，钢板要依照炉号的化学成分和批号等开展力学性能的抽检工作，抽样率应达到 100%。每块钢板上面都要记录这些信息，分别是炉批号，件号，材质以及质量级别等。

锻造法兰磁粉的探伤检验要根据 JB/T 4730.4 的 I 级规定，锻件法兰应该按照总数的 10% 开展超声波探伤检验，锻件法兰的炉批号也要依照其相应的化学成分、力学性能等，有效地开展复验工作，等所有产品质量达标之后才可以投入到正式使用。

全部的焊接材料由焊条、气体保护焊丝和埋弧焊焊丝等组成，焊剂的质量要根据相关批次，出具质量合格证明、材料数据表格和力学性能报告书等。

5 储存和运输

储存和发货人员要掌握必备的知识，塔段的存储要使用端盖，这样可以防止塔段内部混入其他物质。在安装端盖之前要确保涂层的完整，法兰螺栓要使用防止风雨和日晒的有效措施，塔段和基础段则要标上安装图纸号，螺栓也要标识好产品型号，仓库人员要记录好存储的塔段和部件，并做好定期检查工作，防止存储物品性能的退化。在发货时要仔细核对塔段和部件，出具发货检查报告。包装塔段的时候，为了防止运输过程中塔段的变形，应该使用米字撑来固定法兰，通

过螺栓来旋紧。塔段要捆绑扎实，避免对防腐涂层的不良破坏。

6 结语

总之，随着风电塔筒制造技术的不断发展，风电塔筒制造技术的质量控制也是很关键的，本文重要分析了塔筒的制造流程，并且思考如何有效地控制其生产质量，希望可以更好地提高风力发电机组的经济效益，也可以推动风力发电的发展。

参考文献：

[1] 杨峰. 自密实混凝土风电塔筒试验模型的制作及材料力学性能试验 [D]. 大连：大连理工大学,2016.

[2] 康学军,朱镡年.埋弧自动焊在风电塔筒生产中的应用[J].机电产品开发与创新,2017(1):23-25.

[3] 龙铃.浅析风电塔筒制造技术及质量控制要求[J].低碳世界,2017(17):48-49.

[4] 华绪银.反向平衡法兰风电塔筒制作工法[J].中国新技术新产品,2020(09):60-62.

[5] 王冠,李晨,张雪,许红,王鑫,迟绍宁.风电塔筒地脚螺栓断裂失效分析[J].现代制造技术与装备,2019(11):88-90.

作者简介：陈琨（1986-），男，安徽太和人，本科，工程师，研究方向：新能源装备制造、大型钢结构焊接技术等。