

# 风电混塔施工技术 with 质量控制研究

周浩

中电投东北新能源发展有限公司, 辽宁 沈阳 110623

DOI:10.61369/ERA.2025060032

**摘要** : 在世界范围内, 人们对清洁能源的要求越来越高, 风能被认为是一种新的可再生能源。混风塔是风电机组中的核心部件, 其建造工艺水平及质量控制效果对风电场的安全、稳定、发电效益具有重要意义。本文通过对风电混塔建造工艺的研究, 对其建造过程中的关键环节进行系统的分析, 建立起一套完整的质量管理系统, 并对常见的质量问题进行有效地处理, 从而为我国的混塔工程的高品质建设提供理论支撑和实际指导。

**关键词** : 风电混塔; 施工技术; 质量控制; 常见问题; 应对策略

## Research on Construction Technology and Quality Control of Wind Power Hybrid Tower

Zhou Hao

Northeast New Energy Development Co., LTD. Shenyang, Liaoning 110623

**Abstract** : Globally, the demand for clean energy is increasing, and wind power is considered a new renewable resource. The hybrid tower is a core component of wind turbines, and its construction technology level and quality control are crucial to the safety, stability, and power generation efficiency of wind farms. This paper studies the construction process of hybrid towers in wind power plants, systematically analyzes key stages, establishes a comprehensive quality management system, and effectively addresses common quality issues, thereby providing theoretical support and practical guidance for high-quality construction of hybrid towers in China.

**Keywords** : wind power hybrid tower; construction technology; quality control; common problems; countermeasures

## 引言

随着世界各国都在提倡绿色能源的转变, 风能因其具有的清洁和可再生的优点而被广泛关注。混风塔作为风电机组的主要承载构件, 与常规塔架相比, 具有成本低、强度高、适应性强等优势, 因此被越来越多地用于风力发电领域。但是由于风力发电系统的特殊性, 其建设过程中涉及到多个专业、多个工序, 其施工质量受到诸多因素的影响。因此开展混合风电塔架的建造工艺及质量调控研究, 是确保风电工程顺利实施, 提高风电设备运行的可靠性与耐久性的关键。

## 一、风电混塔施工技术概述

### (一) 风电混塔结构与原理

风电混塔一般是将混凝土基础部分与塔架部分结合在一起。由于其抗压能力强, 自重较大, 可对塔架整体起到稳固的支撑作用, 有效抵御风荷载下的大弯矩及水平力。而钢塔架分段, 其剪强度高、质量轻, 以及便于搬运、安装, 可在高海拔区段上灵活地适应不同的风速, 该方法利用塔架支撑风机中心点, 将收集到的风电功率传输到地面, 并保证整机在多种天气环境下的平稳运行。该结构可使混凝土与钢的材料性能相结合使塔架受力性能达

到最优, 同时也是经济合理的选择。

### (二) 风电混塔施工技术分类

风电混塔按其施工工艺及材料结合形式可分为预制拼装和现浇两种。其中预制拼装工艺是指在厂房或预制场对混凝土地基、塔架进行预制、加工, 并将其运到工地进行拼装, 该工艺施工速度快, 施工质量容易控制, 受场地环境的影响小, 但对装配的精度、运输、施工等提出更高的要求。而现浇法是指在建筑工地上先浇筑混凝土地基, 再进行塔架部分的安装, 该方法具有对场地的适应能力强、整体性能好等优点, 但是建设时间比较长, 施工管理也比较困难。

### （三）风电混塔施工工艺流程

风电混塔的施工流程包括基础施工、塔架施工和配套设备的安装。在地基建设阶段应先对工程地质情况进行调查，依据调查成果对地基进行设计，并决定地基的型式及尺寸。在此基础上，对基坑开挖、支护，保证工程的安全。然后是桩基础，为地基提供牢固的支承，在塔架建造阶段，如果是采用预制拼装的工艺，则需要首先进行塔架的制造再将其运到现场，由专业的起重设备进行吊装，最后再进行塔架间的连接。如采用现浇工艺，应先浇筑混凝土地基，待混凝土强度达到设计要求后，才能安装塔架，附属设施安装阶段主要包括电气设备安装、防雷接地系统安装等工作，确保风电机组能够正常运行并具备安全防护功能<sup>[1]</sup>。

## 二、风电混塔施工技术关键点

基础施工环节	主要工作内容	具体要点	常见方式
地质勘察与基础设计	获取地质条件信息，依此结合荷载要求进行基础设计	获取土壤类型、土层分布、地下水位、地质构造等信息；选择基础形式，确定尺寸、埋深、配筋等参数；考虑抗震要求	软土地基常用桩基础，岩石地基常用扩展基础
基坑开挖与支护	依设计尺寸和地形规划开挖，对较深基坑采取支护措施	控制开挖深度和坡度，防止超挖或边坡失稳；控制支护结构施工参数；做好基坑排水	钢板桩支护、灌注桩支护、地下连续墙支护
桩基施工技术	在地基中形成桩体	钻孔灌注桩控制钻孔速度、泥浆比重等参数；预制桩注重桩身质量和施工设备	钻孔灌注桩、预制桩

## 三、风电混塔施工质量控制体系

### （一）质量控制目标与标准

风电混塔施工质量控制的目标是确保塔筒结构安全可靠，该系统能够满足风机长周期稳定运行的要求。《风力发电场设计规范》《混凝土结构工程施工质量验收规范》《钢结构工程施工质量验收规范》等国家及行业的有关标准对其进行了质量管理，该规程对风电混塔工程的所有阶段，包括原材料、施工、竣工验收等，均有详尽的质量标准及检测方法。如在混凝土地基的强度要求方面，提出标准养护状态下各标号混凝土的抗压强度标准值，同时对塔架垂直度的误差也有明确的容许值。

### （二）质量控制组织与职责

为了实现质量控制目标，必须要有一个健全的质量管理机构。质量管理通常以工程经理为总负责人，下设技术主管、质检主管、施工组长等职位，并对每个岗位的责任进行详细的划分。其中技术主管负责制订工程的工艺计划及质量控制措施，并对工程中出现的技术难题提出建议，并予以解决；质检人员负责根据质量标准对原材料、施工工艺及最终产品进行检查、验收，发现不合格之处及时提供改正建议；施工组长应根据施工计划及质量

标准，组织工人进行施工并且保证工程质量。各个岗位之间互相配合、互相监督，才能保证工程的质量。

### （三）质量控制流程与方法

质量控制阶段	工作内容	操作要点	作用
施工前	施工图纸会审、施工人员技术交底	组织各方对施工图纸详细审查，向施工人员说明质量要求、施工工艺等	提前发现图纸问题，使施工人员明确工作标准与流程
施工过程中	旁站监督、抽样检验、平行检验	质量检验员现场监督关键工序；按比例随机抽取原材料、构配件检验；建设或监理单位独立开展平行检验	确保施工操作合规，判断原材料等质量，验证施工单位自检准确性
施工后	按标准对成品全面验收	依据质量验收标准检查成品各项指标	确定成品是否合格，决定能否进入下道工序或交付使用

## 四、风电混塔施工质量控制要点

### （一）原材料质量控制

原材料类别	关键控制环节	质量要求及操作要点
水泥	选择与检验	依工程及环境选品种、强度等级；检验安定性、凝结时间、强度等，确保符合国标
骨料（粗、细）	质量要求	颗粒级配良好，含泥量、泥块含量低，坚固性佳，提升混凝土和易性、强度、耐久性
外加剂	使用控制	依说明书控掺量，做适应性试验，保证与水泥等相容性好
钢筋	进场、存储、加工安装	进场查证明文件并抽样复验屈服强度、抗拉强度等；存储防潮生锈；加工安装按设计控尺寸、弯钩角度、绑扎间距等参数

### （二）施工过程质量控制

#### 1. 基础施工质量控制

在基础施工过程中要严格控制产品的质量，例如，对于基坑的开挖应严格控制其大小、高程，避免过深、过深，在桩基础上，要保证桩的位置和垂直度。混凝土浇筑时，应注意混凝土的塌落度、浇筑速度及振捣质量，避免混凝土离析、气孔等缺陷的产生。在砼浇筑完毕后，应及时养护以确保砼的正常生长，同时要注意地基的表面质量，有无裂缝、蜂窝麻面等缺陷并及时进行治理。

#### 2. 塔筒施工质量控制

塔筒施工质量控制重点在于预制、运输、吊装和连接环节。在塔架装配时，应对模具质量、原材料及浇注工艺进行严格控制，以保证塔架的外形和尺寸精度；在塔架吊装时，为避免塔架损坏应采取有效保护措施；在塔架的吊装中，要保证吊装装置的安全性、施工的规范性和塔架的精确定位。在塔架的连接中，不管是采用焊接或螺栓的方式，均应严格遵守施工规范以保证接头的质量。同时对塔架的垂直度也要进行检验，以保证塔架的安装达到设计的要求。

#### 3. 电气安装质量控制

电气安装是风电混塔施工的重要组成部分，风力发电机是一

种新型的风力发电设备，它的好坏直接关系到风力发电机的正常工作。在安装电器之前，必须对其进行检验和检测，以保证其运行状况以及工作性能良好。在安装时，要严格遵守电器安装图上的线路及线路，保证线路的连接正确、牢固，同时对用电设备进行接地处理，保证其接地电阻满足规定，从而保证用电设备的安全性。在设备安装完毕后，要进行试运转，并对各电器设备的功能参数进行检测<sup>[2]</sup>。

### (三) 成品质量验收与检测

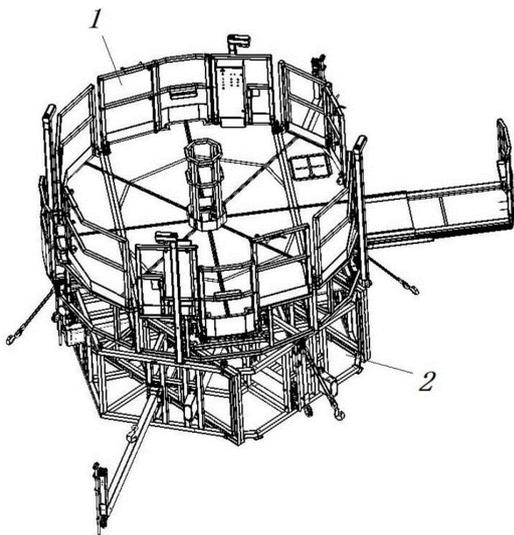
#### 1. 外观质量检查

产品的外观检验是产品质量验收中的一个重要环节。对风力混合塔架应检查地基的平整度，有无裂缝，蜂窝，麻面等缺陷；塔架表面平整，有无变形、刮花以及油漆脱落等现象；接头的强度和焊接的表面，有没有气孔和夹杂物等。产品外观质量检验以目测、量具量测为主，对产品出现的产品外观质量问题要做好记录，并及时改正。

#### 2. 内在质量检测

内部质量检查主要是对风力混合塔受力情况进行检验，以检验其是否满足设计要求。通常对内部质量进行测试的方法有非破坏性测试和载荷测试，针对混凝土内部缺陷、钢筋位置及保护层厚度、高塔焊缝质量的非破坏性检测，采用超声波回弹法检测混凝土强度，利用钢筋扫描器确定钢筋位置及保护层厚度，通过射线检测和超声检测焊缝质量<sup>[3]</sup>。载荷试验是对塔架进行仿真载荷测试，测试塔架的变形和应力等参数，从而对塔架的承载力进行评价。而产品内部质量检验应由具备相关资格的检验机构实施，其检验结果也是最终产品的质量验收的主要依据。

## 五、风电混塔施工质量问题及应对策略



一种风电混凝土塔筒安装平台的制作方法

### (一) 常见质量问题分析

风电混塔易出现地基沉降、塔架开裂和连接松动等质量问题。其中地基沉降的成因主要有地质调查不准确、地基设计不合理以及桩基施工质量不佳等，地基沉降将导致风机塔架发生倾斜，严重时还会引起风机的安全事故。同时由于混凝土配合比不合理、养护不当、温度应力和施工荷载过大，造成塔架开裂的原

因比较复杂。塔体裂纹严重影响塔架结构的强度、耐久性能，并对其寿命产生不利影响。而连接不规范、螺栓拧紧力矩不够以及焊接质量不佳，容易引起连接松动，从而降低塔架的整体性能<sup>[4]</sup>。

### (二) 质量问题预防措施

工作人员需要从设计、施工和管理三个方面着手，防止出现质量问题。在设计阶段，应加强地质调查，保证准确、可靠的地质数据，做好地基、塔架的设计，并对各种不利因素进行全面的考虑。在施工过程中，要对原材料的质量进行严格的管理，并根据施工技术规范对施工过程中的质量进行监测，及时纠正出现的问题。在管理方面，应完善质量管理体系，确定各个单位及个人的质量责任，强化对员工的培训与教育，增强员工的质量意识与技术水平。在此基础上，应加强与建设、监理等方面的联系和配合使工程质量得到有效的控制。

### (三) 质量问题处理方法

对已发生的质量问题，应及时有效地加以解决。在沉降不大的情况下，可采取注浆法和树根桩加固法；如果沉降过大，则需拆除并重建地基，针对高塔的开裂问题，如果裂纹很小可以采取表面封堵的方法，例如涂环氧树脂胶粘剂；如果出现大范围的裂纹，可以通过压浆方法对其进行修复并在缝隙中注浆，从而使塔架的强度和密封性能得以恢复<sup>[5]</sup>。如果连接处出现松动，则要将其重新紧固并且要查看螺丝、螺帽有无破损，如果有破损则要及时更换；而如有接头松动，则需重焊，并检查焊缝质量。同时在处理质量问题时，要制定详细的处理方案，并经相关部门和专家论证后实施，确保处理效果符合要求。

## 六、结语

风力发电设备的设计、制造、安装、调试等方面对风电混塔施工质量都有很大的影响。因此对施工工艺中的关键环节进行研究，建立健全的质量管理系统，以及强化整个施工过程的质量监控是保证风电混塔建造质量的有效保证，提升风电场建造水平的有效途径。本文在此基础上，提出相应的防治对策以减少风机产品的质量隐患，并且保证风机的长周期安全稳定运行。在我国，随着我国风电技术的持续发展与创新，我国的混塔建造工艺与质量管理手段也将得到进一步的改进与优化，为风力发电行业的可持续发展提供坚实的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 黄昱, 徐明华. 海上风电导管架基础施工水平度控制关键技术研究 [J]. 水电与新能源, 2024, 38(12): 85-88.
- [2] 屈江昆, 高富文. 山地风电筏板基础施工技术与管理 [J]. 价值工程, 2024, 43(32): 162-165.
- [3] 章鸣浩. 山地风电设备基础土体施工难点与关键技术研究 [J]. 大众科学, 2024, 45(18): 40-42.
- [4] 田志, 王岩松. 海上风电桩-桶结构复合灌浆施工工艺及质量控制研究 [J]. 港口技术与管理, 2023, (04): 8-13.
- [5] 韩天灵. 风电场土建工程施工技术及质量控制研究 [J]. 企业科技与发展, 2020, (12): 87-88+91.