

Research on Key Technologies and Quality Control in Wind Power Project Construction under New Energy Context

Cailian Sheng

Shanghai Electric Machinery Co., Ltd., Shanghai, 200245, China

Abstract

With the development of renewable energy and the implementation of the “dual carbon” goals, wind power construction has expanded significantly. During this process, emerging technical challenges and quality management issues have garnered increasing attention. This study analyzes wind power projects through case studies, summarizing critical aspects including wind resource assessment, microgrid site selection, foundation pouring, and equipment installation. It identifies existing technical difficulties and proposes corresponding solutions. The effective integration of technological and managerial approaches can enhance the construction and operational efficiency of wind power projects, thereby contributing to the advancement of the wind energy industry.

Keywords

New energy development; Wind power engineering; Quality control

新能源背景下风电工程建设关键技术与质量管控研究

盛彩连

上海电力机械有限公司, 中国·上海 200245

摘要

随着新能源的发展以及“双碳”目标提出, 风电建设规模日益扩大, 在此过程中出现的一些关键技术问题及质量管理的问题也越来越受到关注。本文以风电建设项目为例进行分析, 在风资源评估、微网选址、地基浇筑和设备安装等方面进行了总结概括, 并指出了其中存在的技术难题及其解决办法。通过技术和管理的有效融合能够提升风电项目的建设和运营水平, 有助于推动风电产业的进步。

关键词

新能源发展; 风电工程; 质量管控

1 引言

在全球能源结构调整以及“双碳”目标背景下, 新能源产业发展迅速, 而风电是其中一种重要清洁能源, 在我国得到广泛应用。但是由于风电项目建设周期较长、施工环境恶劣、技术含量高等特性决定了其对施工技术和质量管理有着较高要求。目前如何在复杂地形和恶劣天气环境下保证风电项目的顺利进行并实现高质量建设成为业内关注热点问题。因此开展关于风电工程建设关键技术及其全过程的质量控制研究对于提高工程质量水平、减少后期运维成本、促进风电产业健康发展具有重要意义。

2 风电工程的介绍

风电工程(见图1)是以风能资源为基础, 在风力发电

机组中把风的动能转换为电能, 然后并入电网进行大规模供电的一系列工作。主要包括风力发电机组、塔筒及基础、升压站、集电线路以及监控运维系统等组成部分。工程建设一般包括前期测风分析、选址设计、设备采购、施工安装及并网调试等工作内容。由于风资源具有波动性和地域性特点, 风电项目大多分布在风能较充沛但是地理环境比较恶劣的地方, 比如山区、沙漠或者沿海地带, 这就给工程的设计和施工带来了一定难度^[1]。风电工程具有清洁环保、可再生以及大规模开发等特点, 在“双碳”背景下, 风电工程项目数量不断增加并且逐渐向大型化、智能化、海上化方向发展。但是由于受到自然条件限制如气候状况、地理环境以及设备运输等问题的影响使得风电工程施工难度较大, 施工组织较为困难, 因此对于工程质量把控及安全管理提出了更高要求。

【作者简介】盛彩连(1985-), 男, 中国上海人, 本科, 工程师, 从事新能源背景下风电工程建设关键技术与质量管控研究。



图1 风电工程

3 新能源背景下风电工程建设关键技术分析

3.1 风资源评估技术

风资源评估技术是风电工程项目建设的基础性关键技术，在于对拟建区域风能资源时空分布规律进行合理分析与预测。一般是以多年的测风数据为基础，如风速、风向、湍流强度以及最大瞬时风速等信息，再配合测风塔或者激光雷达等设备获得精确的数据^[2]。然后，运用数值计算以及统计的方法来研究风资源年际间的变化情况、季节性的差异以及高度上的不同特点等等。最后用专门的软件建立相应的风资源评价模型，从而得出该风电场发电能力以及经济效益的大致估算值，为项目的选位和容量规划提供参考意见。随着新能源迅速发展，风资源评估技术正朝着高精度、智能化的方向发展。一方面，利用大数据以及数值天气预报等新技术可以做到对风电场未来多年风能资源进行预测，并对其不确定性进行分析，从而使得评估结果更加准确可靠；另一方面，在充分考虑地形复杂性和尾流效应的基础上合理布置风机位置，有利于提高全场发电量。同时还需要综合考量恶劣天气以及环境因素的影响来减少项目投资建设及后期运维的风险。

3.2 微观选址技术

微观选址技术主要是针对具体场址进行精确的风能资源分析，一般需要制作高精度三维地形模型以及局地气象观测站网配合CFD（计算流体力学）来完成小尺度风场的研究工作。该方法可以解析出地形、植被、建筑物等因素对风速、风向以及湍流强度的影响作用进而得出最合适的风机位置^[3]。使用高分辨率的风速数据可以分析不同高度层上的风速剖面情况，从而评价风机运行状况及发电能力，在此基础上还可以为降低风机之间的相互影响以及涡旋效应提供参考建议，以提升整个风电场的整体产量和经济效益。此外，还需要考虑地形复杂程度以及环境保护等相关因素来进行合理的风机布局设计。通过对地形起伏变化进行研究并计算局地风压值再加上噪音、阴影振动模拟就可以得到最佳机组间距及排列形式从而减少尾流损失和能量消耗问题。运用GIS（地理信息系统）技术和多目标优化算法相结合的方式综合考量土地承载能力、施工条件以及生态保护需求等要素后就能精准筛选出合适区域，并对这些地方做出最优规划使

得风机布置，既能保证良好的产出效果又能符合安全、环保以及后期维护的要求从而实现项目的绿色可持续发展。

3.3 风机基础施工技术

风机基础一般使用钢筋混凝土筒体式基础来承担风电机组高大的塔筒以及转动叶片所产生的竖向力和横向风力，在施工上依次进行土方开挖、垫层浇筑、绑扎钢筋、支设模板以及分层浇注混凝土。为了保证混凝土的整体性和耐久性，一般会用低坍落度、高强度混凝土配合泵送工艺以及振捣器等设备防止出现蜂窝麻面或者裂缝的情况发生^[4]。对于基础底板与筒壁之间的连接部分则采用连续浇筑或是施工缝处理的方式使整个结构更加坚固结实，在施工时要对混凝土进行良好的养护以避免开裂并且依据设计荷载的不同而改变钢筋的数量及间距满足抗剪、抗弯及承载能力的要求。在软弱地基或者高风载地区，风机基础一般使用桩基或者复合基础来增加其承载能力和稳定性，在施工过程中先进行桩位放样、导向以及沉管安装工作之后再行钻孔灌注或者预制桩作业使桩端承载及摩擦力达到设计要求；复合基础把桩基同筒体基础结合起来用承台把桩体串接起来构成一个整体受力系统从而实现水平方向和竖直方向上的荷载有效传导。施工时要注意控制好桩身垂直度、桩身完整性和承台与桩底之间的刚性连接问题，还要做好土层扰动监控，避免出现差异沉降影响到整个基础结构的持久稳固程度以及风机正常运转。

3.4 塔筒安装技术

风机塔筒安装一般采取分段吊装的方法，把塔筒分成若干节在空中逐节组装起来，以减小单节重量满足起吊设备的能力要求，在施工之前要进行精确的地面放线以及吊装方案设计工作，确定吊点、吊装路线以及风速限制等。在吊装时使用履带式起重机或者塔吊将塔筒节垂直吊离地面，对准地脚螺栓位置后临时固定，然后用螺栓或者焊接的方式连接固定。主要技术有控制好吊装偏差，保证吊索受力均匀，避免塔筒承受扭矩过大导致变形问题发生，在允许风速下完成各节对接并校正垂直度，保证整个塔筒垂直度及稳定性。对于超高塔筒或者复杂地形场址一般使用滚动上升法或者是液压同步起吊方式来完成对塔筒节段逐次升高以及安装工作。滚动上升法是利用钢丝绳和液压滚升装置把塔筒一节一节地提到预定高度并固定住，以确保结构的安全性；而液压同步起吊则是借助多个同步控制点使整个塔筒一起被吊起到指定的高度上，降低风力及扭矩给塔筒带来的影响，在安装时要实时监控倾斜角度、震动情况以及应力状况等，使得各部分之间的螺栓预紧力度一致并且配合高精度测量工具校正塔筒垂直度从而保证施工质量和后期运行安全。

4 新能源背景下风电工程建设质量管控措施

4.1 设计质量控制

设计质量控制是风电工程项目质量管理的第一道防线，

在于以科学合理的流程以及多部门协作的方式保证设计方案的安全可靠性和可操作性。在具体项目上,要形成一套以规程规范为基础、结合工程实践的设计审查制度,对风机布置方式、基础形式选择、集电线路走向以及升压站布局等主要内容进行全面检查。比如在一个山区风电场项目中,设计过程中采用三维地形建模技术和风资源模拟计算方法来确定风机安装位置及基础类型并进行多种方案比较择优选用,同时组织多次专家论证会议并利用仿真软件校验改进设计参数;设计院与施工队联合开展图纸会审工作,着重审查地基承载能力是否满足要求以及能否实现有效施工,防止出现由于设计错误造成的返工现象发生。在某海上风电工程中,采用基于BIM的设计管理平台进行结构、设备及施工方案的一体化建模以及碰撞检查,在设计阶段就发现设计错误和空间冲突等问题。在对设计方案优化时,针对基础受力情况进行有限元计算并根据实地勘察资料不断调整模型参数使得设计方案更加符合实际情况。项目完成后统计表明,设计变更次数相比以往减少约30%,返工率下降了约25%,大大提高了工作效率以及工程质量。

4.2 材料进场检验

对于风电工程常用钢筋、水泥、混凝土等主要材料以及塔筒连接件等重要部件,要制定严格的进场检验制度,在实际工作中可采取“供应商准入+批次检验+现场复检”的多重控制措施来保证整个过程的质量控制。比如在某陆上风电项目中,所有进场钢筋都必须提供出厂合格证和第三方检测报告,在进入工地之后按批次进行力学性能复试并用二维码追溯系统记录下每一批次的来源信息以及相关检测结果以便日后查询核实;另外还在施工现场设立专门的试验区用来做水泥强度、含水率等方面的快速测试以确保其符合施工规范的要求。在一个大型风电项目上应用数字化材料管理系统,对材料采购、运输、验收以及使用等各环节进行集中管控,做到信息即时传递和共享,在实际操作过程中对于主要原材料采取取样送检及现场速测相结合的方法并用RFID标签标记主要部件防止误用或者混用的情况发生。该项目运行结果表明:材料不合格率从原来的3.5%下降到1.2%,由于材料原因造成的质量问题减少了大约40%,这种检验方式不仅提升了材料的质量把控能力还为风电工程的安全性和持久性奠定了良好的基础。

4.3 施工工艺管控

在实际工程中,要以风机基础浇筑、塔筒安装以及电气设备布置等工作为重点环节,制定详细的工艺规程和操作指南并做好技术交底及过程检验工作。比如在某山区风电场建设过程中,对于大体积混凝土基础施工采用分层分区浇筑法,并埋设温度监测器对混凝土内部温度变化情况进行监控,配合保温覆盖和冷却水控制方法来降低温度应力造成的危害;同时在浇注前和之后都要做模板检验以及成型

后检查,保证构件几何尺寸以及外型质量达到设计要求。在某风电场建设过程中运用移动设备及施工管理系统对重要环节进行实时记录、监控,工人按照工作顺序上传视频和检验结果,在线由监理及技术人员审核确认之后才能进入下一道工序;对于风机吊装过程使用吊装模拟技术改进施工工艺并结合即时风速监控装置把握好吊装时机减少安全隐患问题发生概率。项目结束后发现关键工序首次验收合格率达到98%以上,施工质量问题降低约35%,大大提升整个项目的质量和工作效率。

4.4 设备安装验收

在施工期间,要以风机整机安装、塔筒连接、电气系统接线等工作为重点,制定分步验收制度,把预检、过程验收和最终验收结合起来,在某陆上风电项目中对于风机安装部分,先检查基础法兰水平度以及螺栓预紧力是否达标,保证安装基准达到标准;在塔筒分节吊装时,使用扭矩扳手及液压拉伸工具对高强度螺栓逐级拧紧并用标记法校验防止漏拧或者松动的情况发生。最后在设备安装完毕之后,检查主轴对中精度以及叶片角度偏差等重要参数值是否符合规定范围之内,确保整个机组安装的质量符合设计的技术要求。在一个大容量风电场项目上,使用激光测量仪以及数字化扭矩监控装置对塔筒垂直度、螺栓紧固情况进行实时监测并把检测信息即时传输到质量管理系统中,做到全链条可追溯管控,在电气设备接收过程中利用在线绝缘试验和回路通断测试等手段对电缆接头状况进行全面排查,防止隐性问题发生。该项目实施后,设备安装一次验收合格率大于等于97%,运行初期故障下降约30%,大大提高了风机工作的稳定性和安全性。

5 结语

随着新能源行业的迅速发展,风电场建设对技术和质量提出了更高的标准。通过对于关键技术的研究以及全周期的质量控制手段进行改进和完善可以提高风电场的建设质量和运行稳定性,在今后的工作中还需要继续加强技术创新及信息技术的应用相结合,提高标准化、精细化管理水平,不断提高风电项目的可靠性、经济性和可持续性,从而更好地促进能源结构调整和绿色低碳的发展。

参考文献

- [1] 李臻宁,李春龙.新能源风电项目建设管控的关键技术与方法解析[J].模型世界,2025(17):118-120.
- [2] 杨光.大型风电工程建设中的风险管控研究[J].中国科技期刊数据库 工业A,2023(4):4.
- [3] 张海炎.风力发电工程基础及吊装施工质量管控要点探讨[J].幸福生活指南,2020(49):0182-0183.
- [4] 白宝华.新能源风电工程建设施工的管理要点[J].建筑工程技术与设计,2021(29).