

探究风力发电工程施工现场管理

陈小伟

西北水利水电工程有限责任公司 陕西 西安 710100

摘要: 风力发电工程项目施工现场管理是保障项目安全、质量、进度与成本目标实现的核心环节。基于此, 本文从风力发电工程项目施工管理挑战入手, 针对风力发电工程项目的施工现场管理进行了讨论, 提出了一些有效的措施, 涉及进度、质量、安全以及成本四个方面, 以显著提升施工现场管理的协同性与响应速度, 有效降低安全风险、质量缺陷与成本超支概率, 为风力发电工程的高效建设与可持续运营提供理论支持与实践指导。

关键词: 风力发电工程; 项目施工; 现场管理

引言

在全球能源结构转型与“双碳”目标驱动下, 风力发电作为清洁能源的主力军, 其装机规模持续扩大, 技术迭代加速。然而, 风力发电工程项目具有施工环境复杂、技术要求高、交叉作业多、建设周期长等特点, 施工现场管理面临安全风险难控、质量隐患难溯、进度滞后难调、成本超支难防等挑战。传统管理模式依赖人工经验与事后检查, 已难以适应大规模、高效率的工程建设需求。因此, 如何通过技术创新与管理优化, 构建覆盖全要素、全流程的施工现场管理体系, 成为提升风力发电项目竞争力的关键。

1 风力发电工程项目施工管理挑战

风力发电工程项目施工管理面临多重挑战, 其复杂性源于项目规模扩大、技术迭代加速及环境适应性要求的提升。(1) 安全风险高是首要挑战, 风力发电设备的大型化趋势显著增加了高空作业的频次与难度, 塔筒安装高度普遍超过百米, 叶片吊装需在强风环境下精准对接, 作业人员长期处于高空悬挑平台或狭窄操作空间, 坠落风险持续存在。同时, 大型起重机、自升式平台等设备的操作对操作人员技能与协同能力要求极高, 设备倾覆、重物坠落等事故易引发连锁性安全事件。(2) 质量管控难体现在多维度精度要求上, 风机基础作为承载上部结构的根基, 其沉降均匀性直接影响塔筒垂直度与机组运行稳定性, 地质条件差异大、混凝土浇筑工艺控制不当均可能引发不均匀沉降。塔筒作为高耸结构, 其垂直度偏差需控制在千分之一以内, 焊接变形、法兰平面度超差等问题易导致动态载荷分布失衡, 加速设备疲劳损伤。(3) 进度协调复杂源于供应链与施工逻辑的双重约束, 风机关键部件如齿轮箱、发电机的全球采购模式导致设备到货时间存在不确定性, 运输延误或质量缺陷会直接打乱现场安装计划^[1]。土建、电气、机械等多专

业交叉作业需精准衔接, 基础养护周期、吊装窗口期与电气调试时序的冲突易造成工序停滞。(4) 成本控制压力大反映在全链条资源优化难题上, 钢材、铜材等大宗商品价格波动直接影响材料成本, 汇率变动与物流成本上升进一步压缩利润空间。施工过程中的质量缺陷或安全违规易引发返工, 不仅造成直接材料与人工浪费, 还可能因延误工期触发高额违约金。运维前移成本的增长同样显著, 为降低后期维护难度, 施工阶段需投入更多资源进行设备预调试、数据采集系统部署及可维护性设计优化, 这些隐性成本对项目经济性构成持续挑战。

2 施工现场管理关键要素与实施策略

2.1 进度管理优化

(1) 动态计划编制以BIM技术为核心构建4D施工模拟体系, 将三维模型与时间维度深度融合, 通过虚拟建造过程提前识别工序冲突与资源错配问题。在基础施工阶段, BIM模型可模拟混凝土浇筑顺序与养护周期对后续塔筒安装的影响, 自动生成最优施工时序; 在设备安装阶段, 4D模拟能精准计算叶片吊装与电气调试的并行作业窗口, 避免因空间交叉导致的停工等待^[2]。进度预警系统基于模拟数据设定关键节点阈值, 当实际进度偏离计划值超过设定比例时, 系统自动触发预警并生成纠偏方案。(2) 关键路径控制聚焦于吊装作业、电缆敷设等决定项目总工期的瓶颈工序。吊装作业受设备到货时间、天气窗口及机械性能三重约束, 需建立多维度资源倾斜机制: 优先调配大吨位起重机、高精度激光定位仪等关键设备, 确保叶片与塔筒对接的毫米级精度; 组建跨专业协同团队, 提前完成法兰平面度检测、螺栓预紧力校准等前置工作, 缩短单机吊装周期。(3) 弹性缓冲机制是应对外部不确定性的核心保障, 需针对天气、供应链中断等风险设计多层次应急预案。针对风力发电项目对气候的高度敏感性, 建立分级天气响应制度: 小风天气

用于高空作业与设备调试,大风天气转为地下电缆敷设或室内组件组装,极端天气则启动全面停工检查与设备加固。供应链中断的缓冲通过双源采购与战略库存实现,关键部件如齿轮箱、发电机同时与两家供应商签订供货协议,并保持30天安全库存量,当主供应商延迟交货时,立即启动备用供应链并调用库存以维持施工连续性。此外,预留总工期5%-10%的弹性时间作为风险储备,当突发风险导致进度延误时,通过压缩验收环节时间或优化工序衔接来消化延误,确保项目按期交付。

2.2 质量管理强化

(1) 标准化作业流程是质量管控的基础,针对塔筒焊接、叶片安装等关键工序制定标准化操作程序(SOP),将工艺参数、操作步骤、验收标准转化为可执行的书面文件。塔筒焊接SOP需明确焊接方法、电流电压范围、层间温度控制等核心参数,规定焊缝外观检查与无损检测的频次与标准,确保焊接接头力学性能满足设计要求;叶片安装SOP则聚焦叶根对接间隙、螺栓预紧力、法兰同心度等关键指标,通过扭矩扳手校准、激光对中仪应用等手段消除人为操作误差,保障叶片气动性能与结构安全。标准化文件需配套可视化操作指南与培训考核机制,确保一线人员掌握关键控制点,减少因操作随意性导致的质量波动。(2) 全过程质量追溯依托RFID技术实现材料与构件生命周期的精准管理。在原材料进场阶段,为钢材、涂料等关键材料粘贴RFID标签,记录供应商信息、批次号、质检报告等数据^[3]。在构件加工环节,通过固定式读写器自动采集焊接时间、操作人员、检测结果等过程信息,形成不可篡改的电子档案。在现场安装阶段,利用手持终端扫描构件标签,关联施工位置、安装时间、验收记录等数据,构建从“原材料-构件-整机”的完整追溯链。当质量缺陷发生时,可通过追溯系统快速定位问题环节,分析是材料批次缺陷、加工工艺偏差还是安装操作失误导致,为责任认定与改进措施提供数据支撑,同时避免缺陷扩散引发的系统性风险。(3) 第三方检测机制通过引入独立于施工方的专业机构,对关键质量节点进行客观验证。无损检测环节委托具备CNAS认证的实验室,采用超声波探伤、磁粉检测等技术对塔筒焊缝、叶片根部等隐蔽部位进行100%覆盖检查,确保内部缺陷无遗漏。载荷试验阶段由第三方机构按照国际标准实施静态与动态载荷测试,验证机组在极端工况下的结构强度与运行稳定性,避免因设计或制造缺陷导致的倒塔、断轴等重大事故。

2.3 安全管理创新

(1) 风险分级管控以LEC法为核心,通过量化作业条

件危险性实现风险精准识别。针对高空坠落、触电、机械伤害等高发风险,从事故发生可能性(L)、暴露于危险环境的频率(E)、事故后果严重性(C)三个维度进行评分,将风险划分为重大、较大、一般、低四个等级。对重大风险如塔筒高空作业、叶片吊装等,实施“一风险一预案”管理,明确责任人、管控措施与应急资源。对较大风险如电缆敷设、变压器安装等,通过增加巡检频次、设置隔离屏障等手段降低风险等级。对一般与低风险则纳入日常安全检查范围,确保风险始终处于可控状态。风险评估需结合工程进度动态更新,当施工环境、作业内容或设备状态发生变化时,及时重新计算风险值并调整管控策略。(2) 智能监控系统依托AI技术实现安全行为的实时识别与预警^[4]。在施工现场部署高清摄像头与边缘计算设备,通过深度学习算法对视频流进行实时分析,自动识别未佩戴安全帽、未系安全带、违规进入危险区域等不安全行为,并立即触发语音警报与短信通知。系统可关联人员身份信息与作业许可,当无证人员试图操作大型设备或进入受限空间时,自动锁定设备并阻止作业,从源头消除违规操作风险。同时,智能监控平台集成气象数据与设备状态信息,当风速超过安全阈值或起重机倾角异常时,自动推送预警信息至管理人员终端,指导现场采取停工避险或设备加固措施,提升安全管控的主动性。(3) 应急能力建设通过VR模拟演练与急救物资网络构建快速响应机制。VR技术可还原高空坠落、触电事故等真实场景,让作业人员在虚拟环境中体验应急处置流程,掌握逃生路线、急救技能与设备操作方法,解决传统演练成本高、风险大的问题。演练数据同步上传至管理平台,通过分析操作时长、决策准确性等指标,针对性优化应急预案。急救物资网络以“10分钟救援圈”为目标,在施工现场、生活区与关键作业点配置智能急救箱,内置AED除颤仪、止血包等物资,并通过物联网技术实时监控库存与有效期。当事故发生时,系统自动定位最近急救资源并规划最优送达路径,同时联动附近医护人员与车辆,确保伤员在黄金时间内获得救治,最大限度降低事故损失。

2.4 成本管理精细化

风力发电工程项目成本管理精细化需贯穿项目全生命周期,通过成本建模、动态监控与供应链协同实现资源高效配置与风险可控。(1) 全生命周期成本模型以项目全周期视角整合施工、运维及退役阶段成本,构建覆盖设备采购、安装调试、运行维护到最终拆除的完整成本预测体系。施工阶段重点核算基础施工、塔筒吊装、叶片安装等直接成本,同时纳入临时设施、安全措

施等间接成本。运维阶段结合设备可靠性数据与历史维护记录,预测备品备件更换、定期检修及突发故障处理等费用。退役阶段则评估设备拆除、场地恢复及残值回收等成本。通过建立各阶段成本关联机制,避免因施工阶段质量缺陷或设计冗余导致运维成本激增,或因退役规划不足引发额外环境治理费用,实现全周期成本最优。(2)动态成本监控依托挣值分析(EVM)技术实现成本与进度的同步管控。挣值分析通过比较计划工作预算成本(BCWS)、已完成工作预算成本(BCWP)与已完成工作实际成本(ACWP)三个核心指标,量化成本偏差($CV=BCWP-ACWP$)与进度偏差($SV=BCWP-BCWS$),当CV或SV超过预设阈值时,系统自动触发预警并定位偏差根源。若成本超支由材料浪费导致,则加强现场物资管控。若因进度滞后引发人工成本增加,则优化工序衔接或增加资源投入。并且,挣值分析可预测项目完工成本(EAC),通过调整后续工作资源分配或压缩非关键路径时间,确保总成本控制在预算范围内。动态监控需与进度管理系统集成,实现成本数据与施工日志、资源消耗记录的实时关联,提升偏差分析的精准度。(3)供应链协同优化通过实施JIT(准时制)模式减少库存积压与二次搬运成本。与关键供应商建立战略合作伙伴关系,基于项目进度计划共享需求预测与生产排程信息,实现设备到货与施工需求的精准匹配^[5]。塔筒、叶片等大型构件采用“直送现场”模式,避免在仓储环节的堆放与转运;电缆、螺栓等标准件实施“按需补货”,根据施工进度分批次供应,降低库存资金占用。此外,优

化现场物流布局,设置临时堆场与配送路径,减少构件吊装前的二次搬运距离,降低机械台班与人工成本。供应链协同需配套信息共享平台,实时跟踪物料状态与运输进度,当供应链中断风险出现时,快速启动备用供应商或调整施工顺序,确保成本与进度双重目标实现。

结语

综上所述,风力发电工程项目施工现场管理的优化是一个系统性工程,需以技术为支撑、以流程为纽带、以数据为驱动,实现安全、质量、进度与成本的动态平衡。未来,随着物联网、大数据、人工智能等技术的深度融合,施工现场管理将向智能化、无人化方向演进,进一步推动风力发电工程从“规模扩张”向“质量效益”转型。行业需持续探索管理创新与实践应用,为全球清洁能源发展贡献我们的智慧与方案。

参考文献:

- [1]李辉.风力发电项目安装阶段监理安全管控重点及对策[J].电工技术,2024,(S2):600-602.
- [2]汪建波.风电工程安全管理的难点及对策[J].云南水力发电,2024,40(01):173-176.
- [3]何勇,李子奇.风力发电项目安装阶段监理安全管控重点及对策[J].建设监理,2023,(10):22-24.
- [4]张元海,杨鸿云,李锴.浅谈风力发电工程项目建设安全管理思路及措施[J].中国设备工程,2025,(08):59-60.
- [5]崔伟强,刘裴,张卫诚.海上风力发电机组自动化安全监测设备安装施工要点[J].西北水电,2022,(03):117-122.