

新能源电力工程施工技术及其关键问题研究

刘风海

中国石油集团电能有限公司电力技术服务公司 黑龙江 大庆 163000

摘要：本文聚焦新能源电力工程施工技术领域，深入探讨其重要性，系统梳理风力发电、光伏发电、储能电站及新能源并网工程四大主流施工技术体系。针对施工环境适配、技术协同、质量安全管控、成本进度控制等关键问题展开分析，并提出复杂环境适配、技术协同优化、质量安全强化、成本进度协同管控等针对性解决方案，旨在为新能源电力工程的高质量建设提供理论支撑与实践指导。

关键词：新能源电力工程；施工技术；关键问题

引言：在全球能源转型与“双碳”目标驱动下，新能源电力工程已成为能源体系变革的核心载体。截至2025年，我国风电、光伏累计装机容量突破12亿千瓦，储能装机规模达6000万千瓦，新能源发电量占比超35%。然而，新能源电力工程具有技术密集、场景多样、安全要求高等特点，其施工技术水平直接影响项目全生命周期效益。本文通过系统分析主流施工技术体系，揭示施工过程中的关键问题，提出创新解决方案，为行业高质量发展提供参考。

1 新能源电力工程施工技术的重要性

新能源电力工程施工技术是实现能源转型与可持续发展的关键支撑，从技术突破层面看，风力发电领域，10MW以上海上风机单机容量较5年前增长3倍，叶轮直径突破250米，其基础施工需控制桩身垂直度误差 $\leq 1/500$ ，混凝土养护期延长至28天以确保25年防腐寿命；光伏发电领域，单晶PERC电池与双面发电技术使组件效率突破23%，较传统技术提升40%，但要求支架安装倾斜角误差 $\leq \pm 0.3^\circ$ ，否则将导致发电量损失超5%。从经济性角度分析，施工技术水平直接影响项目收益：据统计，施工缺陷导致的发电损失约占项目全生命周期收益的8%-12%，而采用智能化施工设备与标准化工艺可使工程质量合格率提升至98%以上，施工周期缩短15%-20%。新能源电力工程多分布于偏远地区或复杂环境，如海上风电需应对8级以上大风、浪高超3m等恶劣海况，高原光伏电站昼夜温差达30℃，这对施工技术的环境适应性提出更高要求^[1]。

2 新能源电力工程主流施工技术体系

2.1 风力发电工程施工技术

风力发电工程施工技术涵盖基础施工、塔筒安装、风机调试三大核心环节。基础施工方面，陆上风电采用灌注桩基础时，成孔直径需 $\geq 1.5\text{m}$ ，沉渣厚度 \leq

50mm，钢筋笼安装误差 $\leq 100\text{mm}$ ，以确保基础承载力满足25年设计寿命；海上风电导管架基础采用Q345钢材，防腐涂层厚度 $\geq 800\mu\text{m}$ ，焊接接头需通过100%超声波探伤检测，防止海水腐蚀导致结构失效。塔筒安装环节，分段吊装采用1000吨级履带吊，每段垂直度误差 $\leq 1/1000$ ，法兰面间隙 $\leq 0.3\text{mm}$ ，高强度螺栓扭矩控制在设计值 $\pm 3\%$ 以内，避免因连接松动引发振动疲劳。风机调试阶段，变桨系统定位精度需 $\leq \pm 0.5^\circ$ ，发电机空载电流误差 \leq 设计值5%，通过“单机-集群-并网”三级调试，确保功率曲线符合IEC标准，实现最大风能捕获。

2.2 光伏发电工程施工技术

光伏发电工程施工技术包括支架安装、组件敷设、电气系统集成三大模块。支架安装环节，热镀锌钢结构支架锌层厚度 $\geq 80\mu\text{m}$ ，倾斜角误差 $\leq \pm 0.5^\circ$ ，采用不锈钢螺栓（M8×25）连接，扭矩8-10N·m，防止因连接松动导致支架变形；分布式光伏屋顶配重块需满足抗10级阵风、0.3kN/m²雪荷载要求，确保结构安全。组件敷设阶段，采用MC4连接器（IP67防护等级），组件间隙 $\geq 10\text{mm}$ 防止热斑效应，串联方式按20-24块/串设计，接线后绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ ，避免直流侧短路风险。电气系统集成方面，集中式逆变器采用IP20防护等级，间距 $\geq 1.5\text{m}$ 便于散热；变压器接地电阻 $\leq 4\Omega$ ，并网调试分低压→高压→满负荷三阶段，功率因数 ≥ 0.95 ，防孤岛保护动作时间 $\leq 0.2\text{s}$ ，确保电网安全稳定运行^[2]。

2.3 储能电站工程施工技术

储能电站工程施工技术聚焦电池舱安装、PCS（储能变流器）与变压器集成、系统调试三大领域。电池舱安装环节，混凝土基础强度等级 $\geq \text{C25}$ ，水平度误差 $\leq \pm 2\text{mm/m}$ ，接地电阻 $\leq 1\Omega$ ；磷酸铁锂电池PACK安装时极柱间隙 $\leq 0.5\text{mm}$ ，铜排镀锡厚度 $\geq 5\mu\text{m}$ 防止氧化，确保电池组均衡性。PCS与变压器集成阶段，PCS采用IP20

防护等级，输入输出电缆采用屏蔽设计，接线端子扭矩 $12\sim15\text{N}\cdot\text{m}$ ；变压器绕组绝缘电阻 $\geq 2000\text{M}\Omega$ （ 10kV 等级），冷却系统压力测试 $\geq 0.3\text{MPa}/24\text{h}$ 无泄漏，防止设备过热损坏。系统调试环节，电池SOC（荷电状态）精度误差 $\leq \pm 2\%$ ，充放电效率 $\geq 90\%$ ，PCS功率控制误差 $\leq \pm 1\%$ ，通过离网→并网→满负荷测试，能量转换效率 $\geq 85\%$ ，满足电网调峰调频需求。

2.4 新能源并网工程施工技术

新能源并网工程施工技术涵盖并网箱施工、电缆敷设、调试与验收三大环节。并网箱施工阶段，选址需远离易燃易爆物，基础混凝土浇筑水平度误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，箱体垂直度偏差 $\leq 1.5\text{mm}$ ；防雷接地采用镀锌角钢（ $L50\times 50\times 5$ ），埋深 $\geq 0.6\text{m}$ ，接地电阻 $\leq 4\Omega$ ，防止雷击损坏设备。电缆敷设环节，塔筒内电缆垂直固定间距 $\leq 1.5\text{m}$ ，弯曲半径 ≥ 15 倍直径；海底电缆埋深 $\geq 1.5\text{m}$ ，采用ROV（遥控潜水器）实时监测锚害风险，确保电缆安全运行。调试与验收阶段，并网前需测试低电压穿越能力（LVRT），在电网电压跌落至20%额定值时保持0.625s不脱网；通过AGC/AVC（自动发电控制/自动电压控制）测试，响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，满足电网调度要求。

3 新能源电力工程施工关键问题分析

3.1 施工环境适配性问题

新能源电力工程多分布于复杂自然环境中，施工环境适配性成为首要挑战。自然环境挑战方面，海上风电施工需应对8级以上大风、浪高超3m等恶劣海况，导致年有效作业天数不足180天，增加施工周期与成本；高原光伏电站昼夜温差达 30°C ，混凝土养护需采用电热毯+保温棚复合工艺，否则易因收缩裂缝影响结构强度。生态保护压力方面，风电场建设可能影响鸟类迁徙路线，通过GIS（地理信息系统）模拟优化布局，减少对生态的干扰；光伏电站施工需控制粉尘排放 $\leq 80\text{mg}/\text{m}^3$ ，噪声 $\leq 55\text{dB}$ （昼间），满足环保要求^[3]。

3.2 施工技术协同性问题

新能源电力工程涉及地质、机械、电气等多专业交叉作业，技术协同性成为关键瓶颈。多专业交叉作业方面，风电工程中塔筒安装与电气接线需同步进行，但传统二维图纸易导致空间冲突，据统计，未采用BIM技术的项目返工率高达23%；光伏电站施工中，支架安装与组件敷设需协调倾斜角与间距，否则将影响发电效率。技术标准差异方面，光伏组件IEC标准与国内GB标准在盐雾试验时长（ $1000\text{hvs}800\text{h}$ ）、湿冻循环次数（50次vs30次）等方面存在差异，增加设备选型与检测难度。

3.3 施工质量与安全管控问题

施工质量与安全管控直接关系项目长期运行稳定性，隐蔽工程隐患方面，风电基础钢筋笼焊接接头无损检测合格率仅85%，导致后期混凝土开裂风险增加；光伏电站直流侧绝缘故障占电气事故的62%，主要因电缆接头压接不实，引发短路火灾。高空作业风险方面，风机叶片吊装高度超150m，坠落事故率是地面作业的5倍；塔筒内垂直运输需使用防坠器，但现场使用率不足70%，安全管控存在漏洞。

3.4 施工成本与进度管控问题

施工成本与进度管控是项目经济效益的核心指标。材料价格波动方面，2024年光伏组件价格从1.2元/W涨至1.8元/W，导致EPC总承包成本增加15%；海上风电导管架用钢量占项目总重的40%，钢材价格波动直接影响投资回报率。工期延误因素方面，风电项目因设备到货延迟、土地征用纠纷等导致的工期延误率达38%，平均延误时间62天，增加财务成本约800万元/项目。

4 新能源电力工程施工关键问题解决方案

4.1 复杂环境施工适配策略

针对海上、高原等复杂环境，需通过智能化设备与生态修复技术实现精准适配。在海上风电领域，传统地质勘查依赖人工船只，受风浪影响大、数据精度低，而无人船搭载多波束测深仪与侧扫声呐后，可实现24小时连续作业，数据采集效率提升40%，且定位精度达 $\pm 0.1\text{m}$ ，为导管架基础精准施工提供依据。高原光伏电站施工中，低温环境导致混凝土初凝时间延长3倍以上，易引发冻害，自加热混凝土搅拌车通过内置燃油加热系统，可在 -15°C 环境下将混凝土入模温度稳定控制在 5°C 以上，确保28天强度达标率100%。生态修复方面，风电场边坡修复采用植被混凝土基材（PCM），通过添加保水剂（持水能力提升5倍）与有机肥（氮磷钾含量 $\geq 15\%$ ），使植被覆盖率从30%提升至85%，水土流失率降低90%；光伏电站创新“光伏+农业”模式，在组件下方种植耐阴作物（如食用菌、中药材），土地综合利用率提高60%，单位面积收益增加300元/年，实现生态保护与经济效益的协同发展^[4]。

4.2 施工技术协同优化策略

通过BIM技术与标准化工艺打破专业壁垒，提升施工协同效率。在风电工程中，BIM模型集成地质雷达扫描数据、结构有限元分析结果与电气系统拓扑图，通过碰撞检测功能提前发现127处设计冲突（如电缆桥架与塔筒平台空间重叠），避免返工成本280万元；光伏电站采用4D施工模拟（3D模型+时间维度），动态优化支架安装顺序（从“分区作业”调整为“流水线作业”）与组件敷设

路径,使单日安装量从1200块提升至1800块,工期缩短18天。标准化工艺方面,制定《海上风电导管架安装规范》等12项行业标准,明确高强度螺栓扭矩(M36螺栓预紧力矩 $3500\text{N}\cdot\text{m}\pm 5\%$)、焊接工艺参数(Q345钢材预热温度 $100\text{-}150^{\circ}\text{C}$)等关键指标,并通过智能扭矩扳手(数据实时上传至云端)与焊接机器人(一次合格率99.2%)确保执行到位,施工合格率从92%提升至97%,质量波动率降低60%。

4.3 质量与安全管控强化策略

构建全生命周期追溯体系与智能预警系统,实现质量安全可控在控。光伏组件生产环节植入RFID芯片,记录硅片批次、层压温度、EL测试图像等200余项数据,质量追溯时间从72小时缩短至10分钟,不良品定位准确率100%;风机塔筒安装采用智能扭矩扳手(精度 $\pm 1\%$),数据实时上传至区块链平台,确保1200余颗高强度螺栓紧固力矩100%合格,避免因螺栓松动导致的振动疲劳事故。安全风险预警方面,“智慧工地”系统集成AI摄像头(识别未佩戴安全带、安全帽等违规行为,准确率95%)、UWB定位基站(实时追踪人员位置,危险区域电子围栏报警)与气体检测仪(监测CO、H₂S浓度,超标自动切断电源),形成“人-机-环”立体防控网络。

4.4 成本与进度协同管控策略

建立动态成本数据库与关键路径优化模型,实现资源高效配置。动态成本数据库涵盖钢材、光伏组件、风机叶片等20类主要材料的历史价格(5年数据)、市场供需指数与区域运输成本,通过机器学习算法预测未来3个月价格波动(准确率92%),为集中采购(2024年光伏

EPC项目通过平台采购降低成本8%)与库存优化提供依据;进度管控方面,采用P6软件构建包含4000余项活动的网络计划,识别出“塔筒吊装-叶片安装-电气调试”为关键路径(占总工期65%),通过增加1台1000吨级履带吊(资源日成本增加2万元)将单台风机安装周期从7天压缩至5天,使某100MW海上风电项目工期缩短22天,节约财务成本(贷款利息+设备租赁费)320万元。同时,开发“成本-进度”联动分析模块,当进度偏差超5%时自动触发资源调配预案,确保项目始终处于最优经济运行区间。

结束语

新能源电力工程施工技术正朝着智能化、标准化、绿色化方向演进。通过应用BIM技术、智能化施工设备、全生命周期质量追溯等创新手段,可有效解决施工环境适配、技术协同、质量安全管控等关键问题。未来需进一步推动跨学科技术融合,加强国际标准对接,构建覆盖设计、施工、运维的全链条技术体系,为全球能源转型提供中国方案。

参考文献

- [1]张平,胡辉标.新能源电力工程施工技术及其关键问题研究[J].模型世界,2024(31):164-166.
- [2]卫雅婧,刘树成,李立军,兰士衡.新能源电力工程管理现状及对策[J].电站系统工程,2023,39(01):75-76.
- [3]余剑锋.浅析电力节能措施及电气新能源开发路径[J].现代工业经济和信息化,2022,12(9):60-61+68.
- [4]饶晨.新能源电力工程施工技术研究与应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(30):106-108.