

Safety Management of Power Construction in Energy Storage and New Energy Integration Projects

Jialei Ji

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

Abstract

Against the backdrop of global energy structure transformation, the coordinated development of energy storage technology with new energy sources such as wind power and photovoltaics has become an important trend. The construction process of new energy power involves high-risk links such as high-altitude operations, large-scale lifting, and electrical equipment debugging. Coupled with the unique chemical safety risks and energy management complexity of energy storage systems, construction safety management faces multidimensional challenges. The traditional safety management mode of power engineering is difficult to adapt to the requirements of new integrated projects for technology integration, multi job collaboration, and dynamic risk control. With the expansion of project scale and technological iteration, the construction process has exposed problems such as vague division of safety responsibilities and insufficient targeted emergency plans. Although the safety standards for wind and photovoltaic construction have gradually improved, the special risks of energy storage equipment installation and commissioning have not yet formed a systematic control plan.

Keywords

energy storage; New energy; Integration project; Electric power construction; Safety management

储能与新能源融合项目电力施工安全管理

季佳磊

上海电力机械有限公司, 中国·上海 200245

摘要

全球能源结构转型背景下, 储能技术与风电、光伏等新能源的协同发展已成为重要趋势。新能源电力施工过程涉及高空作业、大件吊装、电气设备调试等高危环节, 叠加储能系统特有的化学安全风险与能量管理复杂性, 使得施工安全管理面临多维挑战。传统电力工程安全管理模式难以适应新型融合项目对技术集成、多工种协同及动态风险管控的要求。随着项目规模扩大与技术迭代, 施工环节暴露出安全责任划分模糊、应急预案针对性不足等问题。风电与光伏施工安全标准虽逐步完善, 但储能设备安装调试的特殊风险尚未形成系统化管控方案。

关键词

储能; 新能源; 融合项目; 电力施工; 安全管理

1 引言

电力施工安全是新能源产业健康发展的基础保障。风电与光伏项目在复杂地形环境中的设备吊装、线路敷设环节存在高空坠落、机械伤害等固有风险, 储能系统集成更引入了电池热失控、能量反灌等新型隐患。传统安全管理手段侧重于单一能源类型施工场景, 对多能耦合项目的复合风险识别存在滞后性。当前施工实践中, 不同专业队伍交叉作业时的安全管理协同不足, 新型储能设备安装缺乏标准化操作规范。本文针对新能源与储能融合项目的施工特点, 系统分析风电、光伏施工安全控制要点, 探索建立覆盖全生命

周期的安全管理框架。研究着重解决技术融合带来的风险叠加效应, 为构建适应新型电力系统的施工安全范式提供理论支撑。

2 风力发电施工中的安全控制

风力发电施工环节特有的高空、吊装、电气集成等复合风险特征, 要求安全控制体系必须融合工程力学原理与动态风险管理方法。风机基础施工阶段需重点把控深基坑支护结构稳定性, 基于地质勘探数据建立三维力学模型, 实时监测地基沉降与边坡位移, 防范坍塌事故^[1]。塔筒与机舱吊装作业须建立多层级锚固体系, 采用激光定位仪校准法兰对接精度, 同步控制吊具应力分布与塔筒挠度变形, 规避结构失稳风险。叶片安装环节需研发专用气动平衡装置, 抵消湍流效应引发的非对称载荷, 配套安装防扭转限位系统, 抑制高空强风环境下的共振现象。电气系统集成阶段实施绝缘强度

【作者简介】季佳磊(1992-), 男, 中国江苏启东人, 本科, 工程师, 从事起重机械的安全管理、新能源发电项目施工过程中的安全控制研究。

梯度测试,对变流器、变压器等设备开展谐波干扰评估,构建双回路接地防护网络消除电位差隐患。施工全程引入分布式光纤传感技术,对塔筒焊缝、螺栓连接点等关键部位进行应力应变连续监测,建立气象预警系统与吊装机械的智能联锁机制,动态调整作业时序。针对特殊工序开发模块化施工平台,将高空作业转为地面预装模式,同步建立施工质量电子追溯系统,实现吊装误差的数字化校正。

3 光伏发电施工中的安全控制

光伏发电施工过程呈现组件安装面广、电气连接密度高及直流系统固有风险叠加的特征,安全控制需融合材料力学特性分析与智能监测技术。组件安装环节需建立机械载荷动态计算模型,依据支架结构形变阈值设定阵列间距,研发自适应夹具消除热膨胀应力,同步优化螺栓紧固扭矩与阵列平整度,预防隐裂及热斑效应。电缆敷设阶段实施多层级绝缘强度验证,对直流线缆接头进行电场分布仿真,采用梯度式耐压测试识别局部放电隐患,配套安装防反灌隔离装置阻断异常电流回路。组串式逆变器集成时需构建电势诱导衰减预警机制,对直流侧绝缘阻抗进行实时频谱分析,设计多点均衡接地网络抑制电位差累积。施工场地管理引入分布式传感器阵列,监测作业区域风速、辐照度突变对临时支架稳定性的影响,开发光伏板边缘防滑涂层工艺降低高空搬运风险。针对双面组件特殊结构,需研发非接触式安装定位工具,避免背板玻璃受压破损,同步建立施工机械与带电设备的空间隔离模型^[2]。施工流程优化重点推进汇流箱预装模式,减少高空带电作业频次,配套开发无人机巡检系统对隐蔽工程进行三维成像质量追溯。此类技术体系需与安全规程形成闭环管理,依托边缘计算设备实现风险预测与防护装置的智能联动,构建覆盖全作业场景的动态防护架构。

4 储能与新能源融合项目的创新安全管理策略

4.1 建立安全管理体系

储能与新能源融合项目的安全管理体系构建需突破传统电力工程单维度管理模式,着力解决化学储能系统热失控风险与新能源设备动态耦合产生的复合型隐患。体系框架设计应整合电池管理系统(BMS)实时监测数据与能量管理系统(EMS)控制指令,建立多源信息融合的决策树模型,实现电池簇温度场分布、光伏阵列绝缘状态与风机振动参数的协同分析。针对储能舱体安装场景,开发三维地质建模技术预判地下水水位变化对基础沉降的影响,配套设计防渗漏双层隔离结构,同步集成可燃气体浓度梯度监测装置与主动灭火系统。体系实施过程中需编制跨专业接口管理手册,明确锂电设备热管理阈值与新能源设备启停逻辑的互锁规则,构建覆盖设备选型、施工调试到运维移交的全生命周期标准库。重点强化施工阶段能量隔离管控,在直流侧配置多级断路保护装置与极性识别系统,防止储能系统反充电引发光伏组件逆流击穿。引入数字孪生技术搭建虚拟施工平台,对吊

装路径与电缆桥架布局进行碰撞检测,优化施工工序降低多工种交叉作业风险。体系运行需建立动态更新机制,结合红外热成像巡检数据与超声波探伤结果持续修正安全阈值,开发自适应学习算法提升异常工况的预判精度。此类体系化建设将安全管理从被动响应转为主动防御,形成技术标准、操作规范与智能监控三位一体的立体防护格局。

4.2 加强安全教育培训

储能与新能源融合项目的安全教育培训需构建覆盖化学安全、电气防护与多系统交互的多维知识体系,重点强化从业人员对复合型风险源的认知与处置能力。培训框架设计应整合锂离子电池热失控传播模型、光伏阵列电势分布特征及风机机械振动谱分析等核心知识点,开发模块化课程匹配施工阶段差异化需求。针对储能系统集成环节,研发虚拟现实模拟系统还原电池簇热蔓延场景,训练作业人员掌握梯度降温与物理隔离的协同处置流程。培训实施需依托移动学习平台建立知识图谱,将能量管理系统(EMS)异常参数与应急处置动作形成动态关联,构建故障树分析工具辅助决策能力培养。技术培训侧重多源数据融合分析能力提升,指导施工人员解读电池管理系统(BMS)预警代码与光伏组串绝缘监测数据的耦合关系,掌握储能变流器(PCS)保护逻辑与新能源设备联锁机制。培训效能评估引入眼动追踪与脑电波监测技术,量化高风险操作前的认知反应速度与风险预判准确度,基于行为数据分析优化培训内容结构。特殊工种培训需集成数字孪生技术搭建三维作业场景,模拟多工种交叉作业时的能量隔离失效过程,强化对施工界面模糊地带的风险辨识^[3]。培训体系运行需建立动态更新机制,将红外热成像巡检结果与超声波探伤数据转化为教学案例,开发自适应学习算法匹配个体技能短板。此类教育培训模式突破传统单向灌输模式,形成知识内化、行为养成与应急响应的闭环提升机制,为融合项目施工筑牢人因安全防线。

4.3 利用信息化手段

储能与新能源融合项目的信息化安全管理需突破传统监控模式,着力构建多源异构数据的智能分析框架,解决设备动态耦合与能量交互带来的非线性风险预测难题。核心架构整合电池管理系统(BMS)运行日志、光伏组串绝缘参数及风机振动频谱等实时数据流,开发基于边缘计算的风险评估引擎,实现热失控前兆识别与设备劣化趋势的关联建模。针对储能舱体施工场景,部署毫米波雷达与光纤传感融合监测系统,对基础沉降偏差和结构应力集中区域进行亚毫米级精度预警。信息化平台需内置三维地理信息系统(3D-GIS),叠加地质参数与微气象模式,预判极端天气对临时施工设施的复合作用效应。重点开发数字孪生体的自适应迭代算法,将施工机械运动轨迹与带电设备安全距离约束条件实时映射至虚拟空间,生成动态风险热力图指导现场作业。系统集成阶段实施多层级权限管理,对能量管理系统(EMS)控制指令进行区块链存证,建立操作行为的智能

合约验证机制。施工人员定位系统需融合 UWB 与惯性导航技术,设置电子围栏触发能量隔离装置的自动闭锁功能,消除人员误入带电区域的风险。数据治理层面构建零信任安全架构,采用同态加密技术处理 BMS 敏感参数,设计双通道校验机制保障监测指令的完整性与时效性。

4.4 强化风险防控

储能与新能源融合项目的风险防控需针对化学储能系统动态特性与新能源设备间歇性特征,构建覆盖能量流、热力学场及机械应力的多维度预警体系。核心防控技术聚焦电池簇热失控传播路径建模,结合电化学阻抗谱分析与热辐射场仿真,开发多物理场耦合模型预测热扩散阈值,同步设计定向泄压通道与相变材料组合的梯度阻隔结构。针对新能源设备与储能系统接口区域,部署多源异构数据融合平台,将光伏组串绝缘监测信号、储能变流器谐波特征及风机塔筒振动频谱进行关联分析,生成动态风险评估矩阵。施工阶段风险防控需建立三维地质建模系统,整合地下水位波动数据与土壤电阻率参数,优化储能舱体基础防腐方案与接地网拓扑结构。重点研发动态能量隔离技术,在直流侧配置具备极性自识别功能的智能断路装置,集成磁保持继电器与霍尔传感器双重验证机制,防止施工误操作引发反灌电流。风险识别算法需嵌入边缘计算节点,实时解析电池管理系统(BMS)的电压均衡度偏移量,联动能量管理系统(EMS)调整充放电策略规避析锂风险。高空作业防控引入光纤光栅传感网络,对临时支架的挠度变化与风振效应进行毫米级监测,结合气象雷达数据预判极端天气对吊装作业的影响窗口。施工人员行为管控需开发穿戴式智能终端,融合 UWB 定位技术与惯性测量单元,构建动态电子围栏触发设备断电保护。风险数据库建设需采用区块链技术存储事故案例特征,训练深度学习模型识别隐蔽性风险模式,形成防控策略的自主进化能力。

4.5 优化施工流程

储能与新能源融合项目的施工流程优化需重构传统电力工程线性作业模式,针对化学储能设备热力学特性与新能源设施间歇性运行特征,开发多专业协同的立体化作业框架。核心逻辑在于建立基于数字孪生技术的虚拟预施工平台,将电池舱吊装路径、光伏支架基础点位与电缆桥架空间布局进行三维碰撞检测,生成最优工序链减少高空与带电区

域交叉作业频次。施工规划阶段引入地质雷达扫描与土壤介电常数分析技术,构建地下管网数字化模型,规避储能舱体基础施工对既有电力隧道的机械振动风险。模块化设计理念贯穿设备安装环节,预制标准化电池簇支架与光伏阵列连接件,采用激光定位系统提升装配精度,同步降低露天焊接与切割作业比例。施工过程动态管理需部署边缘计算节点,实时采集储能变流器(PCS)调试参数与风机塔筒应力数据,智能调整设备联调顺序避免电磁兼容性冲突。关键路径优化聚焦能量隔离方案设计,在直流侧配置具备极性自检功能的智能断路装置,集成磁保持继电器与霍尔传感器双重闭锁机制,阻断施工误操作导致的逆向电流冲击。施工界面管理需开发跨专业协同平台,将 BMS 调试协议与 EMS 控制逻辑的接口参数标准化,消除不同系统调试阶段的信息孤岛现象。质量追溯体系采用分布式账本技术,对储能电芯批次信息与光伏组件隐裂检测结果进行区块链存证,实现施工质量问题的双向溯源。施工人员动线规划融合 UWB 定位技术与惯性导航模块,构建动态电子围栏触发区域性能量隔离,同步优化重型机械回转半径与带电设备的安全裕度。

5 结语

新能源与储能技术的深度融合对电力施工安全管理提出了更高要求。风电设备高空吊装风险控制、光伏阵列电气安全防护与储能系统化学安全管理的有机整合,需要构建多维协同的管控体系。通过建立标准化的安全管理流程、强化人员专业素质培养、应用智能监测技术等手段,可有效降低施工过程风险系数。创新管理策略的实施不仅提升施工安全保障能力,更有助于缩短项目工期、控制建设成本。研究证明,动态风险评估机制与模块化施工方案相结合,能显著提高复杂工况下的应急响应效率。这些实践成果为新型电力系统建设提供了安全基准,推动新能源产业向更高效、更可持续的方向发展。

参考文献

- [1] 高锋阳,宋志翔,高建宁,等.计及光伏和储能接入的牵引供电系统能量管理策略[J].电工技术学报,2024(003):039.
- [2] 何婷.新能源电力建设项目档案管理中“4M1E”要素模式探讨[J].中文科技期刊数据库(文摘版)社会科学,2024(9):0157-0160.
- [3] 刁智伟,朱正印,黄兆浩,等.新能源及电网协调发展中储能的作用研究[J].电工技术,2023(S01):243-245.