

新能源光伏发电场运维安全防误控制技术

刘连军

华电绿能乌鲁木齐发电有限公司，新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市，830000；

摘要：新能源光伏发电场运维安全防误控制技术是保障电站安全稳定运行的关键，其核心在于通过智能化、自动化和规范化手段降低人为操作风险。全球能源结构正处于转型的重要阶段，光伏发电以其能源质量高、安全可靠无污染、建设周期短等优势，成为推动能源绿色发展的关键力量。然而，在光伏发电规模扩大趋势下，运维安全问题日益突出，许多发电厂面临着光伏组件遮挡、温度过高、发电功率波动大等诸多挑战，而针对出现的问题，深入探究运维安全防误控制技术，或将成为许多光伏发电厂的重要发展方向。

关键词：新能源；光伏发电场；运维安全防误控制

DOI：10.69979/3041-0673.25.12.024

光伏电站防误控制需融合技术升级、流程标准化及人员培训，通过智能化手段实现从被动响应到主动预防的转变。光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式，备受社会各界关注，发电场运维安全要求也日益提高。

1 新能源光伏发电场智能化的监控系统

1.1 系统核心架构

四级分层架构，源控终端层：部署组件优化器、逆变器及高精度传感器，实时采集单台机组电压、电流、温度等数据。厂区网络层：采用光纤环网聚合数据，传输时延低于40毫秒，支持千级电站并发接入。紧急监控层：集成新能源稳控装置，执行功率损失统计、策略优化及故障预决策。调度控制层：与电网主站联动，实现AGC/AVC控制、调度指令毫秒级响应。多系统融合设计，兼容视频监控、微气象监测、消防报警、门禁管理等子系统，打破数据孤岛。支持主流光伏组件、逆变器及储能设备无缝接入，适配集中式与分布式场景。

1.2 智能分析功能

故障预测与诊断，基于LSTM神经网络构建设备健康模型，提前72小时预警逆变器老化、组件热斑等故障，准确率超92%。智能算法3分钟内定位组串级故障（如熔断器熔断），自动生成诊断报告。发电效率优化，动态调整光伏板角度与逆变器参数，优化最大功率点跟踪（MPPT），阴雨天发电效率可达晴天的70%~80%。阴影损失评估模块通过光照模拟算法精确计算遮挡损失，误差率≤2%。智能巡检革新，无人机自动规划路径，搭载红外热成像仪识别组件隐裂、脏污，清扫效率较人工提升2倍。机器人适配45°倾斜板阵及沙尘环境，实现零人工干预清洁。

1.3 安全防护体系

电气安全防控，防孤岛保护装置（如AM5SE-IS）在电网断电时0.2秒内切断并网点，避免电压/频率失控。防逆流系统通过光纤通信协调多节点功率，防止电流反灌。环境风险预警，微气象系统实时监测风速、温度、辐照度，联动视频监控跟踪极端天气设备状态。火灾预警模块融合温感数据与视频分析，毫秒级触发断电保护。

1.4 技术演进方向

预测性维护深化：AI算法融合卫星遥感与无人机数据，提升隐性缺陷识别精度。无人化运维：清洁机器人能源自供给技术（光伏板自动充电）适配无电网场景。电网协同升级：强化一次调频、高电压穿越能力，满足新型电力系统要求。

2 新能源光伏发电场防误的操作设计

2.1 核心防误闭锁技术

五防强制闭锁体系，防误分合断路器：操作回路串联逻辑闭锁节点，非授权操作自动断开控制回路。防带负荷拉合刀闸：实时监测电流电压，带负荷状态自动闭锁操作机构，防带电挂接地线：验电模块与接地操作联动，检测到带电立即触发声光报警并闭锁，防带地线合闸：接地刀闸/地线未拆除时，闭锁关联断路器合闸回路，防误入带电间隔：带电区域门禁加装电磁锁，与五防系统联动解锁，分层控制架构。站控层：五防主机存储全站设备逻辑关系，支持图形化模拟预演与操作票自动生成，间隔层：测控装置直采设备状态（非经重动继电器），确保闭锁信号零延时响应，设备层：组件阵列设红外感应装置，人员误入非作业区自动触发语音警示。

2.2 操作流程管控

操作票闭环管理，生成：五防系统基于任务逻辑自动生成操作序列，禁止调用历史票或典票，执行：逐项扫码验证设备二维码，操作超时或顺序错误立即闭锁下一步骤，操作过程硬约束，严格执行“三对照”（任务、方式、操作票），“五不干”（无票/无监护/设备不清等禁止操作），停电操作后强制验电流程，接地线装设位置与操作票绑定 GIS 坐标。

2.3 特殊场景防护

分布式光伏防逆流，并网点装设 AM5SE-IS 防孤岛装置，电网断电后 0.2 秒内切断并网线路，组件阵列检修防护，组串级直流分断开关与运维工单联动，未签发电子工作票时自动闭锁物理操作手柄，极端天气应急闭锁，微气象系统监测到风速 >14m/s 或雷暴预警，自动冻结全场遥控操作权限。

2.4 智能化升级方向

AI 逻辑校核：深度学习历史操作数据，自动识别非常规操作序列并提示风险，数字孪生预演：在三维模型中模拟误操作后果，强化人员风险认知，区块链审计：操作记录上链存储，实现防篡改的全生命周期责任追溯。

3 新能源光伏发电场运维安全防误控制技术实现细节

3.1 新能源光伏发电场智能化监控实现方法

全域数据感知技术，多源传感网络，组件级监测：在汇流箱部署高精度传感器，实时采集组串电压/电流（ $\pm 0.5\%$ 精度）及背板温度数据，环境感知：微气象站同步监测辐照度、风速、温湿度，误差 $\leq 3\%$ ，设备状态跟踪：逆变器内置 IoT 模块上传运行效率、故障代码及功率输出波动曲线。立体巡检体系，无人机巡检：搭载红外热像仪（分辨精度 0.1°C）自动识别组件热斑与隐裂，覆盖效率达 20MW/天，机器人清扫：沙地自适应底盘+光伏自充电设计，45° 坡道作业无人工干预。核心智能分析引擎。预测性维护，基于设备历史数据构建健康度模型，提前 72 小时预警逆变器 IGBT 老化（准确率 92%），阴影损失模拟算法融合卫星遥感与三维建模，发电量预测误差 $\leq 2\%$ ，安全联动控制，主动防护机制，防孤岛装置（如 AM5SE-IS）0.2 秒切断异常并网点，火灾预警融合温感探头与视频烟火识别，联动喷淋系统启动，环境自适应策略，沙尘暴预警自动调整组件倾角至避风模式，极端温度下动态限制逆变器输出功率，可视化

化运维平台，数字孪生体构建，GIS 地图集成电站三维模型，动态渲染设备状态与能流分布，故障设备自动高亮闪烁，影响范围拓扑着色显示。移动端协同，工单推送至手机 APP，支持扫码验收与电子签名，运维人员定位与应急资源调度实时可视。

3.2 新能源光伏发电场防误操作设计技术手段

硬件层防误技术，五防闭锁系统，电气闭锁：操作回路串联闭锁节点，非授权操作自动切断控制电源（如带负荷拉刀闸时电流检测模块触发闭锁）。机械联锁：高压开关柜设置挡板闭锁装置，柜门未关严时切断操作电源；箱变接地刀闸与柜门机械联动，未合闸禁止开门。感应防护：组件阵列部署红外感应器，人员误入非作业区自动触发语音警报。智能终端认证，手持终端需蓝牙配对+生物识别（指纹/人脸），操作时同步校验地理围栏（有效距离 < 3 米）。远程解锁需双重确认：系统授权后验证设备电流为零状态。特殊场景逻辑定制，防孤岛保护：AM5SE-IS 装置实时监测电网参数，断电 0.2 秒内切断并网点。极端天气闭锁：微气象系统检测风速 $> 14m/s$ 或雷暴预警，自动冻结全场遥控权限。操作流程数字化管控，操作票闭环管理，生成：系统基于任务逻辑自动生成操作票，禁止人工修改关键步骤。执行：逐项扫码验证设备二维码，顺序错误或超时立即闭锁后续操作。审计：区块链存储操作记录，实现不可篡改追溯。强制约束机制，执行“三对照”（核对任务、方式、操作票）与“五不干”原则（无票/无监护等禁止操作）。停电后必须验电，接地线位置绑定 GIS 坐标，偏离 > 1 米触发告警。设备级联动防护，检修防误，组串级直流分断开关与电子工单联动，未签发工作票时操作手柄自动锁死。火灾应急闭锁，温感模块 $> 85^\circ\text{C}$ 联动视频分析，毫秒级触发区域断电并闭锁重启指令。智能化演进方向，AI 逻辑预判：学习历史操作数据，自动拦截非常规序列（如漏验电）。

3.3 新能源光伏发电场数据加密与访问控制方法

数据传输加密技术，通信协议加密，端到端加密：组件级传感器至监控中心的传输采用 AES-256 加密算法，密钥动态轮换周期 ≤ 24 小时。VPN 隧道：场站与云平台间建立 IPSec VPN，防止数据窃听与篡改，轻量级 TLS 协议：逆变器等低算力设备采用 TLS 1.3 精简协议栈，资源占用降低 40%，专用加密装置，纵向加密网关：升压站与光伏阵列间部署微型纵向加密装置（响应延迟 $< 5\text{ms}$ ），实现 IEC 104 协议级保护，FPGA 硬件加速：电

场可编程阵列实时加密电流特性曲线，吞吐量达 10Gbps，权限动态管控，RBAC 模型（基于角色访问控制）：

“巡检员-工程师-管理员”三级角色，权限隔离率 100%，紧急操作需双角色授权（如远程停电命令），区块链审计：操作记录上链存证，篡改检测响应<1 秒。网络隔离与协议安全，区域边界防护，协议转换隔离：规约转换器将 Modbus/CANopen 转为 IEC 61850，阻断非法协议穿透，物理单向传输：生产控制大区与管理信息大区间部署光电隔离装置，数据传输单向可控，攻击主动防御，虚假数据注入检测：LSTM 模型实时分析功率曲线异常（误报率≤0.5%）。端口动态隐藏：非服务时段自动关闭非必要通信端口。物理层安全增强，设备实体防护，汇流箱/逆变器加装电子锁，开锁需扫码验证电子工单，无人机巡检数据存储模块采用自毁式加密芯片，空间访问控制，组件阵列部署红外围栏，人员误入触发声光报警并同步上传位置，核心机房实行生物识别+地理围栏双认证（误差<1 米）。

4 新能源光伏发电场运维管理机制

4.1 组织架构与职责

人员配置标准，按电站容量配置：每 10MW 配置 1.2~1.5 名运维人员，最低不少于 4 人（站长 1 人、副站长 1 人、值长 2~4 人、电气专工若干），全员需持证上岗：特种作业证（高压/低压）、高压进网许可证、调度运维证书，职责分工，站长：统筹安全责任制度执行，监督运维计划落实，自动化运维专工：负责设备故障诊断、配合电网调度机构检查，巡检员：执行日常设备巡查与数据记录。特色管理机制，双角色授权：远程停电等高风险操作需站长与电气专工双重确认，闭环工单系统：故障自动生成维修任务，分配至 AR 眼镜辅助作业并扫码验收。

4.2 智能运维技术应用

实时监控与诊断，部署 AI 诊断平台：LSTM 模型预警设备老化（准确率 92%），随机森林算法定位组串级故障，无人机红外巡检：热成像精度 0.1℃，自动识别组件热斑与积灰。资源优化工具，三维数字孪生体：动态展示设备状态与能流分布，模拟误操作后果，移动运维 APP：实时推送工单、备件库存及人员定位信息。区块链应用，操作记录上链存储，实现防篡改审计追溯（响应<1 秒）。

5 新能源光伏发电场运维安全防误控制技术发展趋势

5.1 智能诊断与预测性防御

AI 深度应用。LSTM 模型实时分析设备运行数据，预测组件热斑、逆变器故障等隐患，准确率>92%。随机森林算法定位组串级故障，故障响应时间缩短至<15 分钟。数字孪生预演。构建三维动态模型模拟误操作后果（如电弧短路），辅助运维人员风险感知。硬件防护升级，生物识别强化，操作终端集成指纹/人脸识别+地理围栏（误差<1 米），非授权人员触发声光报警。感应技术迭代，红外感应器联动门禁系统，人员误入带电区自动切断操作电源。无人机搭载 0.1℃ 精度热成像仪，自动识别积灰、热斑等异常。

5.2 安全体系重构

区块链审计闭环，操作记录上链存证，篡改检测响应<1 秒，实现全流程不可逆追溯。防孤岛保护升级，AM5SE-IS 装置 0.2 秒内切断并网点，联动微气象系统冻结极端天气下遥控权限。标准化强制约束，执行“五不干”原则（无票/无监护等禁止操作），接地线位置偏离>1 米触发告警。

5.3 运维模式演进

AR 辅助操作，维修人员通过 AR 眼镜接收工单，实时叠加设备参数与操作指引，误操作率下降 70%。分布式自主运维，区域化部署智能运维节点，就近响应故障，减少人工干预环节。

总之，新能源光伏发电产业发展背景下，社会各界对其运维安全防误控制环节的重视程度也在提高，对保障发电场运行质量和效率具有重要价值。在实际使用过程中，运维人员需注重采用一系列先进的技术手段，包括智能监控、数据分析、自动化控制等，并深入分析出现的技术问题，制定具体的解决策略，以此实现光伏发电场运行状态的实时监控和预警目标，推动新能源光伏发电领域的可持续发展。

参考文献

- [1] 刘峰. 新能源发电场站智能运维技术研究. 2022.
- [2] 王梦升. 浅谈新能源光伏发电场运维安全防误控制技术. 2023.