

基于多系统集成的无人值守场站智能运维体系构建与应用研究

窦才

辽宁大唐国际新能源有限公司, 辽宁沈阳, 110000;

摘要: 本文围绕新能源场站运维的智能化转型需求, 针对传统人工运维模式的局限及现有系统间数据孤岛问题, 开展基于多系统集成的无人值守场站智能运维体系构建研究。通过跨系统数据接口标准化设计实现信息互通, 搭建设备状态感知与分层预警模型提升故障识别能力, 建立智能运维任务调度机制优化资源配置。该体系可推动运维模式从被动响应转向主动预警, 有效提升运维效率、降低运营成本, 为新能源产业规模化发展提供技术支撑。

关键词: 多系统集成; 无人值守场站; 智能运维体系; 设备状态感知

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.043

引言

随着新能源产业的快速扩张, 风电场、光伏电站等场站数量激增且分布日益广泛, 传统依赖人工巡检的运维模式已难以应对规模化发展带来的成本高、效率低、安全风险大等挑战。无人值守场站作为行业转型的重要方向, 其智能运维体系的构建成为关键, 但当前各场站系统间存在数据孤岛、协同不足等问题, 制约了运维智能化水平的提升。多系统集成能打破信息壁垒, 实现设备状态感知、数据实时共享与智能决策的一体化, 是解决上述痛点的核心路径。

1 无人值守场站智能运维的必要性

1.1 传统场站运维模式的痛点分析

传统场站运维依赖人工巡检, 面临三大核心痛点: 第一, 人工巡检需大量人力投入, 偏远场站差旅成本占比高, 故障解决效率有限; 第二, 人工抄表易产生误差, 故障响应耗时较长, 跨区域调度增加额外成本; 第三, 人工巡逻难以覆盖全场景, 设备早期隐患易被遗漏, 小故障可能演变为大事故。这些问题导致传统模式难以适应新能源场站规模化发展需求。

1.2 无人值守模式对运维效率的提升价值

无人值守模式借助智能监测与调度, 显著提升运维效率。实时数据采集替代人工巡检, 故障发现时间大幅缩短, 非计划停机情况减少^[1]。智能调度系统可根据任务需求分配资源, 响应时效明显提升。远程操控功能减少技术人员现场值守需求, 人均管理设备数量增加, 运维成本降低。该模式还能实现设备全生命周期管理, 延长设备使用周期, 从根本上优化运维效能。

1.3 智能运维体系构建的行业发展趋势

智能运维体系构建已成为行业发展必然趋势, 如今多部门推动充电设施与智能运维技术融合, 支持民营经济参与相关领域建设。技术上, 物联网、AI 与大数据深度应用, 推动运维从被动抢修转向主动预警。智能运维系统能精准识别故障, 降低设备故障发生频率。未来, 多系统集成将成为核心方向, 打破数据孤岛, 实现设备状态感知、智能决策与远程操控的一体化, 支撑新能源产业高质量发展。

2 基于多系统集成的无人值守场站智能运维体系的构建策略

2.1 跨系统数据接口标准化设计

(1) 确定统一的协议框架。选择 IEC61850 作为核心标准, 该协议覆盖电力系统自动化全场景, 其三层架构(站控层、间隔层、过程层)可适配无人值守场站的多系统交互需求。站控层与间隔层采用 MMS 协议传输非实时数据, 间隔层与过程层采用 GOOSE 协议传输实时控制信号, 采样值通过 SV 协议传递, 确保不同系统间数据传输的一致性。

(2) 完成数据模型的标准化映射。将场站设备功能抽象为逻辑节点(LN), 每个逻辑节点对应特定功能单元, 如电流测量用 MMXU、断路器控制用 CSWI。逻辑节点包含数据对象(DO), 如 MMXU 中的电流值(A)、电压值(V)等。通过 SCL 文件定义逻辑节点与物理设备的映射关系, 确保不同厂商设备的数据格式统一^[2]。

(3) 进行接口适配改造。针对现有非标准设备, 开发协议转换网关。网关需支持 Modbus、DNP3 等传统协议与 IEC61850 的双向转换, 实现老旧设备的数据接入。同时, 在设备端部署轻量化边缘代理, 将私有数

据格式转换为标准逻辑节点格式，确保数据在传输前已完成标准化处理。

(4) 开展一致性验证。建立接口测试平台，模拟多系统交互场景。测试内容包括数据传输延迟(GOOSE信号需小于4ms)、格式兼容性(不同厂商设备的逻辑节点识别率达100%)、异常处理能力(断网后数据缓存与恢复)。验证通过后方可投入实际运行。

2.2 设备状态感知与预警模型搭建

(1) 实施多源数据采集部署。在关键设备上安装异构传感器，主轴轴承处部署三轴振动传感器(量程±5g, 频响0.5-20kHz)，电机绕组处安装温度传感器(精度±0.5℃)，配电柜内加装电流传感器(采样率1kHz)。同时，集成SCADA系统的历史运维数据(故障记录、维修工单)与环境数据(风速、温度、湿度)，形成全维度数据集。

(2) 进行特征提取与选择。对振动数据采用快速傅里叶变换(FFT)转换为频域特征，识别轴承磨损的特征频率(如内圈故障频率、外圈故障频率)。对温度数据采用滑动窗口分析，提取趋势变化率与突变值^[3]。对电流数据计算谐波畸变率，捕捉电机绕组异常。通过相关性分析筛选关键特征，如振动幅值、温度梯度、电流谐波等，降低模型复杂度。

(3) 构建分层预警模型。底层采用规则引擎，基于预设阈值(如振动幅值超过1mm/s触发一级预警)快速识别明显异常。中层采用机器学习模型，如随机森林分类器，输入关键特征预测故障类型(如轴承磨损、绕组老化)，准确率需达90%以上。顶层采用深度学习模型，如长短期记忆网络(LSTM)，基于时序数据预测设备剩余寿命，提前7天发出预警。

(4) 实现模型动态优化。定期将实际故障数据反馈至模型训练库，每季度更新一次模型参数。结合设备工况(如负载率、转速)调整预警阈值，例如夏季高温时放宽温度阈值5℃，避免误报。建立模型效果评估机制，当预警准确率低于85%时，重新进行特征选择与模型训练，确保预警的可靠性。

2.3 运维任务智能调度机制建立

(1) 任务优先级动态划分。建立三级优先级体系，一级任务为设备紧急故障，比如变压器跳闸，需15分钟内响应；二级为重要设备预警，比如风机轴承温度超标，2小时内处理；三级为常规巡检，比如光伏板清洁，48小时内完成^[4]。优先级判定依据故障影响范围、设备重要性、预警等级三个维度，通过加权评分模型自动计算，影响范围权重0.4，设备重要性0.3，预警等级0.3。

(2) 资源匹配模型构建。整合运维人员技能库，

比如高压电工、风机运维师、工具库，比如绝缘测试仪、振动分析仪、车辆调度系统数据。模型根据任务类型匹配对应技能人员，结合地理位置计算响应时间，比如30公里内优先派车，确保资源利用率最大化。

(3) 动态调度算法部署。采用遗传算法优化调度路径，考虑多任务并行处理，比如同一区域多个三级任务合并执行。算法实时更新任务状态，每5分钟重新计算最优调度方案。部署轻量化算法引擎在边缘端，减少云端计算延迟，响应时间控制在1秒内。

(4) 闭环反馈优化机制。建立调度效果评估指标：任务完成率目标99%、响应超时率目标<1%、资源空闲率目标<5%。每月分析指标数据，调整优先级权重与资源匹配规则，比如夏季光伏板清洁任务优先级提升。将运维人员反馈，比如工具适用性纳入模型迭代，持续优化调度精度。

2.4 远程操控与现场联动流程优化

(1) 权限分级管控体系搭建。设置四级操作权限，超级管理员可执行所有操作、高级运维师远程操控核心设备、普通运维员负责常规参数调整、观察员仅查看数据。权限申请需经双人审批，操作日志全程留痕，包括操作人、时间、内容、结果，日志保存期限不少于3年。

(2) 远程操作流程标准化。制定“三确认一反馈”流程，也即是确认设备状态、确认操作指令，确认安全防护措施以及操作完成后反馈执行结果。对高风险操作，比如变压器分闸，需启动视频监控同步验证，确保操作环境安全。

(3) 现场联动响应机制建立。部署移动运维终端支持离线作业，当远程操作无法解决故障时，自动生成现场工单推送至终端。工单包含故障位置、设备信息、预处理建议，比如携带绝缘手套。建立“1+N”联动模式，也即是1名现场人员主导作业，N名远程专家提供技术支持，通过视频通话实时指导。

(4) 应急处置预案迭代优化。针对常见故障，比如风机叶片结冰、配电柜短路制定标准化预案，明确处置步骤与责任分工。每季度开展模拟演练，记录处置时长与问题点，比如预案步骤模糊。将演练结果与实际故障处置数据结合，更新预案内容，比如优化结冰叶片除冰顺序，确保预案有效性。

3 基于多系统集成的无人值守场站智能运维体系的应用实践

3.1 某风电场基本情况

某风电场位于荒漠边缘地带，总装机容量70兆瓦(含28台2.5MW风力发电机组)，年均发电量约1.3亿千瓦时，可满足当地十万户家庭全年用电需求。该区

域风沙活动频繁，对设备稳定性要求高，风电场因此部署智能设备 300 余台，包括多旋翼无人机、四足巡检机器人、轨道式变电室巡检机器人及各类传感器，覆盖风机叶片、变压器、配电室等 5000 余个关键巡检点位。场站采用全时段无人值守模式，依托自研智能运维系统实现设备状态实时监控、故障预警与远程决策，全面替代传统人工巡检与现场值守模式，为多系统集成智能运维体系提供典型应用场景。

3.2 智能运维体系现场实施步骤

第一步，部署智能感知设备。在风机叶片前缘/后缘、主变压器油枕/套管、配电室开关柜等关键区域，安装多旋翼无人机机巢、四足巡检机器人（搭载红外热像仪、声学传感器）、轨道巡检机器人及光纤振动传感器、温度传感器、电流互感器等多类型设备，实现振动、温度、电流、局部放电等 12 类关键数据的实时采集，采样频率达每秒 10 次，确保设备状态无死角监测。

第二步，搭建数据集成平台。基于 IEC61850 协议完成智能设备、SCADA 系统、电网调度平台的接口标准化改造，搭建含边缘计算节点、数据清洗模块、统一数据库的集成平台，实现跨系统数据秒级同步，消除设备层与调度层的信息孤岛，平台日均处理数据量达 10TB。

第三步，优化运维调度流程。建立三级任务优先级

体系（紧急故障>常规巡检>设备保养），采用遗传算法动态分配巡检资源，例如突发变压器放电故障时，优先调度最近的四足机器人与无人机协同作业，合并同区域的常规巡检任务，平均响应时间从原 1 小时缩短至 25 分钟。

第四步，构建远程决策机制。设置四级操作权限（查看/预警/操作/审批），制定“三确认一反馈”远程操作流程（确认故障位置、确认操作方案、确认安全措施，操作后反馈结果），建立“1 名远程工程师+N 名现场应急人员”的联动模式，确保高压设备远程操作的安全性与高效性。

第五步，迭代应急处置预案。针对叶片雷击损伤、变压器油位异常、开关柜放电等 15 类常见故障制定标准化处置预案，每季度开展 2 次模拟演练（如模拟叶片裂纹故障的无人机识别与远程报修流程），结合实际故障数据优化预案的响应步骤与资源配置，预案执行准确率提升至 95%。

3.3 体系应用实效评估与分析

体系应用后，风电场运维效能显著提升，多维度指标均优于传统模式，具体如表 1 所示。数据表明，多系统集成智能运维体系不仅解决传统模式下效率低、成本高、风险大的痛点，还为风电场规模化、集约化运营提供了可行的技术方案，具备在同类场站推广的价值。

表 1 传统运维与智能运维模式对比

指标	传统运维	智能运维	提升幅度
单台风机巡检时间	2 小时	40 分钟	67%
巡检准确率	约 85%	98%	13%
安全事故发生率	较高	降低 90%	-
年均巡检工时	较多	节约 3000 小时	-
人力成本	高	下降 27%	-

4 结语

综上所述，文章所构建的基于多系统集成的无人值守场站智能运维体系，通过标准化数据接口、智能感知预警与动态调度机制，有效破解了传统运维模式的痛点，为新能源场站的高效运营提供了完整解决方案。该体系的应用不仅推动运维模式向主动化、智能化转型，更助力行业实现降本增效与安全升级的双重目标。随着技术的持续迭代，体系将进一步融合前沿技术，拓展应用场景，为新能源产业的规模化、高质量发展注入更强动力。

参考文献

[1] 白岭. “无人值守”新能源场站管理要素分析[J].

中国电力企业管理, 2024, (03): 70-71.

[2] 张占源, 胡运涛, 陈万有, 等. 无人值守场站改造构想[J]. 智能制造, 2021, (S1): 75-78+93.

[3] 黄长伟, 孙庆轩, 文励洪. 无人值守充电场站远程监控系统开发[J]. 深圳职业技术学院学报, 2021, 20(05): 19-25.

[4] 李鹏, 曾路, 张喻鹏, 等. 基于现场经验的场站无人值守阶段特征研究[J]. 山东化工, 2024, 53(06): 175-178.

作者简介: 窦才 (1987.01-), 男, 汉族, 黑龙江佳木斯人, 本科, 工程师, 研究方向: 新能源。