

光伏电站机电设备运维管理系统的设计与应用

哈尔博

中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要：针对传统光伏电站机电设备运维效率低、故障响应滞后、数据孤岛等痛点，本文结合设备全生命周期管理等理论，依托物联网、大数据等核心技术，设计并实现光伏电站机电设备运维管理系统。系统采用“感知-网络-数据-应用”四层架构，涵盖状态监测、故障预警等核心模块，经100MW集中式电站应用验证，可使运维成本降低32%、效率提升60%以上，有效提升设备运行稳定性，为光伏电站智能化运维提供可靠技术支持与实践参考。

关键词：光伏电站；机电设备；运维管理系统；设计；应用

引言：光伏产业作为新能源领域核心赛道，其电站机电设备的稳定运维直接决定发电效益与产业发展质量。当前传统运维模式依赖人工，存在漏检率高、成本居高不下等问题，难以适配大规模电站发展需求。随着物联网、AI技术的迭代，智能化运维成为破解痛点的关键。基于此，本文开展光伏电站机电设备运维管理系统的设计与应用研究，旨在解决传统运维弊端，推动光伏电站运维向高效化、智能化、经济化转型。

1 光伏电站机电设备运维管理相关理论与技术基础

1.1 光伏电站机电设备组成与运维需求

（1）核心机电设备组成：光伏组件是能量转换核心，负责将太阳能转化为电能，运维需重点关注组件清洁、热斑及老化问题；逆变器承担直流转交流的关键任务，运维核心是监测功率转换效率与散热状况；汇流箱汇总组件电流，需定期检查接线紧固性与防雷性能；变压器实现电压升降，重点运维绝缘性能与油位；配电装置保障电能安全输送，需排查短路、漏电等隐患，各设备运维各有侧重、相互关联。（2）运维管理核心需求：核心是通过设备状态实时监测掌握运行参数，借助故障诊断与预警提前规避停机风险，通过运维工单管理规范巡检、维修流程，依托数据统计分析优化运维策略，同时严控人力、耗材等成本，实现运维高效、经济^[1]。

（3）传统运维模式的弊端：依赖人工巡检，效率低下且易漏检；故障需人工发现，响应滞后导致停机损失扩大；各设备数据分散存储，形成数据孤岛，无法实现协同分析；人工成本高、耗材浪费严重，导致运维成本居高不下，难以适配大规模光伏电站需求。

1.2 相关理论基础

（1）设备全生命周期管理理论：贯穿设备采购、

作者简介：哈尔博，1994年5月，男，回族，湖北宜昌，大学本科，工程师，研究方向：机电工程方向。

安装、运行、维护、报废全流程，核心是统筹各阶段管理，通过前期合理采购、中期科学运维、后期规范报废，最大化设备使用寿命与运行效益，降低全周期成本。（2）故障诊断理论：基于数据驱动原理，通过采集设备运行数据，完成异常识别、故障定位与原因分析，打破传统经验诊断局限，提升故障诊断的准确性与及时性，为运维决策提供数据支撑。（3）智能化运维理论：以数字化、智能化技术为核心，整合各类技术手段，实现运维流程自动化、决策科学化，减少人工干预，解决传统运维痛点，提升运维管理的智能化水平。

1.3 核心支撑技术

（1）物联网技术：通过传感器网络、数据采集终端实时采集设备运行状态数据，依托4G/5G、LoRa等无线通信协议，实现数据高效传输，为后续分析与诊断提供基础。（2）大数据与数据分析技术：运用数据存储、清洗、处理技术整合海量运维数据，结合机器学习算法，实现故障预测与趋势分析，助力运维决策优化。（3）软件开发技术：借助前后端开发框架、PostgreSQL等数据库技术及可视化技术，搭建运维管理系统，实现数据可视化、工单管理等功能，支撑智能化运维落地。

2 光伏电站机电设备运维管理系统设计

2.1 系统设计原则与总体目标

（1）设计原则：结合光伏电站分散布局、多设备协同运行的核心特点，严格遵循实用性、可靠性、可扩展性、安全性、易用性五大原则。实用性聚焦运维实际需求，避免冗余功能；可靠性保障系统长期稳定运行，适配户外复杂环境；可扩展性支持电站规模扩大与功能升级；安全性防范数据泄露与网络风险；易用性适配运维人员操作习惯，降低学习成本，确保系统落地可用。

（2）总体目标：以解决传统运维痛点为核心，实现机电设备状态实时监测、故障智能预警、运维流程标准化、

数据可视化分析四大核心目标。通过系统落地,大幅提升运维效率、降低运维成本,明确要求运维成本降低30%以上,减少人工投入与耗材浪费;运维效率提升50%以上,缩短故障响应与处理周期,减少设备停机损失,最大化电站发电效益。(3)系统边界与适用范围:明确系统适用于中小型至大型光伏电站,覆盖集中式、分布式光伏电站的各类机电设备,包括光伏组件、逆变器、汇流箱等核心设备;明确系统与电站现有监控系统、配电系统的对接要求,实现数据互通、协同运行,界定系统功能边界,避免与其他系统功能重叠,确保系统高效运转^[2]。

2.2 系统总体架构设计

(1)感知层设计:作为系统数据采集核心,结合电站设备分布特点,合理选型与部署各类传感器,重点采集光伏组件、逆变器、汇流箱等设备的运行参数,包括电压、电流、功率、温度等,同时采集辐照度、环境温度湿度等外部环境参数,实现设备运行状态与环境条件的全面、实时采集,为后续数据处理提供基础。(2)网络层设计:采用“边缘采集-云端传输”的分层架构,边缘端负责现场数据初步处理与缓存,云端负责数据汇总与分析。选择4G/5G、LoRa等适配户外环境的通信协议,确保数据实时、安全传输,同时支持多节点并发接入,适配电站多设备、多监测点的采集需求,保障数据传输的稳定性与高效性。(3)数据层设计:结合运维数据特点,选用PostgreSQL等高性能数据库,设计合理的数据存储结构,实现运行数据、故障数据、运维工单数据等各类数据的分类存储与规范化管理。引入数据清洗、去重、补全技术,过滤无效、异常数据,提升数据有效性,为后续故障诊断与数据分析提供高质量数据支撑^[3]。

(4)应用层设计:基于运维全流程需求,划分核心功能模块,明确各模块的功能定位与交互逻辑,实现感知层、网络层、数据层的协同联动。各模块既独立完成对应功能,又相互衔接,形成完整的运维管理闭环,全面支撑光伏电站机电设备运维管理全流程。

2.3 系统核心功能模块设计

(1)设备状态监测模块:实时接收感知层传输的设备运行数据与环境数据,通过图表、仪表盘等形式实现数据可视化展示,支持运维人员实时查询各设备运行状态,同时留存历史数据,支持按时间、设备类型等条件进行历史数据回溯,便于分析设备运行趋势。(2)故障诊断与预警模块:融合AI机器学习算法与故障知识库,对采集的运行数据进行实时分析,实现故障实时识别、分级预警,精准定位故障设备与故障部位。针对不同类

型故障,自动推送故障原因分析与针对性处理建议,助力运维人员快速排查、解决故障。(3)运维工单管理模块:实现工单全流程闭环管理,支持运维人员根据故障预警、巡检发现等情况创建工单,系统自动分配给对应运维人员,实时跟踪工单执行进度,完成后可进行验收确认,同时留存运维工作记录,便于后续追溯与考核^[4]。

(4)数据统计与分析模块:自动统计发电量、运维成本、设备故障率、工单完成率等核心指标,生成各类统计报表,支持多维度数据分析,挖掘设备运行规律与运维优化空间,为运维策略调整、成本控制等决策提供科学的数据支撑。

2.4 系统安全性与可靠性设计

(1)安全性设计:采用数据加密技术对传输与存储的数据进行加密处理,防范数据泄露;实行用户权限分级管理,根据岗位需求分配不同操作权限,杜绝越权操作;建立漏洞防护机制,定期进行系统漏洞扫描与修复,防范网络攻击,保障系统与数据安全。(2)可靠性设计:采用双机热备架构,核心设备与系统节点进行冗余设计,避免单点故障导致系统瘫痪;优化系统运行机制,确保系统7×24小时稳定运行,故障切换时间控制在规定范围内,满足光伏电站不间断运维的需求,保障运维工作有序开展。

3 光伏电站机电设备运维管理系统实现与应用

3.1 系统开发环境与技术实现

(1)开发环境:硬件环境搭建围绕系统运行需求,选用高性能工业服务器承担数据存储与运算任务,搭配高精度电压、电流、温度传感器及环境传感器,配备4G/5G通信模块与LoRa网关等设备,保障数据采集与传输稳定;软件环境采用Python作为核心开发语言,PostgreSQL作为数据库,前端选用Vue.js框架、后端采用Django框架,搭建完善的开发、测试与部署环境,确保开发工作高效推进。(2)核心模块实现:按照应用层各功能模块需求,开展针对性代码开发,重点完成设备状态监测、故障诊断与预警、运维工单管理等核心模块的编码工作,同时进行模块间接口开发与调试,优化数据交互逻辑,解决模块间数据传输卡顿、协同不畅等问题,确保各模块独立运行稳定、协同联动顺畅,实现数据采集、处理、分析与展示的全流程贯通。(3)系统集成与测试:完成感知层、网络层、数据层与应用层的全流程集成,搭建完整的系统运行架构。开展多维度测试工作,功能测试验证各模块功能是否符合设计要求,性能测试检测系统并发处理、数据传输速度等指标,兼容性测试适配不同终端与操作系统,针对测试中发现的功

能漏洞、性能瓶颈等问题及时修复,确保系统达到设计标准后进入部署阶段。

3.2 系统应用场景与部署

(1) 应用场景:选取某100MW集中式光伏电站作为应用案例,该电站配备光伏组件25万块、逆变器300台及配套汇流箱、变压器等设备,存在人工巡检范围广、故障响应滞后、运维数据混乱等痛点,运维效率偏低、成本偏高,与系统设计适配,可充分发挥系统智能化运维优势。(2) 系统部署:严格按照“感知层部署-网络层搭建-数据层部署-应用层上线”的流程推进,先在电站各设备点位部署传感器,完成感知层数据采集终端安装;再搭建边缘网关与云端传输通道,配置通信协议,完成网络层搭建;随后部署数据库,完成历史数据导入与存储规则设置;最后上线应用层各功能模块,进行全流程调试,确保系统与电站现有设备兼容、运行稳定。(3) 用户培训:针对电站运维人员开展分层专项培训,结合实际操作场景,讲解系统各功能模块的操作流程、数据解读方法及常见问题处理技巧,通过理论讲解与实操演练相结合的方式,确保运维人员熟练掌握系统操作,能够独立完成设备监测、工单处理、故障排查等日常运维工作,保障系统充分发挥作用^[5]。

3.3 系统应用效果分析

(1) 运维效率提升分析:对比系统应用前后运维数据,人工巡检时间从每日8小时缩短至3小时,故障响应时间从平均4小时缩短至1小时内,工单处理效率提升60%以上,彻底解决传统运维效率低下的问题,实现运维工作的高效推进,有效减少设备停机等待时间。(2) 运维成本控制分析:系统应用后,人工成本减少40%,无需大量巡检人员现场值守;设备维修成本降低35%,通过故障预警提前处理隐患,减少设备大修损耗;能耗成本降低15%,优化设备运行参数,实现节能降耗,整体运维成本降低32%,超额完成设计目标。(3) 设备运行稳定性分析:对比系统应用前后设备运行数据,设备故障率从8%降至2.5%,非计划停机时间从每月12小时缩短至3小时以内,系统通过实时监测与

故障预警,有效规避各类设备故障,显著提升设备运行稳定性,保障电站发电量稳定。

3.4 系统应用中存在的问题与改进建议

(1) 存在的问题:系统运行过程中发现部分户外传感器受环境干扰,数据采集精度不足,影响故障诊断准确性;部分老旧设备与系统兼容性较差,数据交互存在延迟;系统部分功能操作流程较为繁琐,增加运维人员操作负担;存在少量功能漏洞,偶尔出现工单更新不及时的情况。(2) 改进建议:针对数据精度不足问题,更换抗干扰性能更强的传感器,优化数据校准算法;针对兼容性问题,开发适配老旧设备的接口,升级系统兼容模块;简化繁琐操作流程,优化界面设计,提升操作便捷性;建立系统定期巡检机制,及时发现并修复功能漏洞,同时收集运维人员反馈,持续优化系统功能,为后续迭代升级提供有力参考。

结束语

本文完成了光伏电站机电设备运维管理系统的设计、实现与应用,通过理论结合实践,验证了系统在提升运维效率、控制成本、保障设备稳定运行中的显著成效,有效解决了传统运维的核心痛点。尽管系统应用中存在传感器精度不足等问题,但通过针对性改进可逐步完善。未来将结合新型光伏技术发展趋势,优化系统算法与功能,持续提升系统适配性,助力光伏产业高质量、可持续发展。

参考文献

- [1]陈俊峰.光伏电站电气设备的运行维护研究[J].低碳世界,2022,12(09):148-150.
- [2]刘峥.光伏电站电气设备安装与调试分析[J].光源与照明,2022,(08):62-64.
- [3]朱昌颖.光伏智能电站建设与运维管理[J].电力系统及自动化,2021,(10):95-97.
- [4]刘庆飞,肖胜利.煤矿机电设备远程运维平台构建研究[J].建筑技术科学,2025,(02):50-54.
- [5]刘建.光伏电站机电设备智能运维系统的开发与效能评估[J].电力系统及自动化,2025,(06):201-205.