

光伏发电项目运维智能化管理系统设计与应用效果分析

张春磊

杭州融能新能源有限公司 浙江 杭州 310051

摘要: 随着光伏产业规模化发展, 运维管理质量直接影响项目收益与安全。本文聚焦光伏发电项目运维智能化管理系统, 先剖析传统运维痛点与智能化需求, 再从设计目标、总体架构、功能模块及关键技术选型四方面完成系统设计, 阐述开发环境、数据库等实现环节。因此, 结合典型案例, 构建评估指标体系开展实证分析, 结合用户反馈验证应用效果。结果表明, 该系统可显著提升运维效率、降低成本、保障设备稳定运行, 为光伏项目运维智能化升级提供技术支撑与实践参考。

关键词: 光伏发电项目; 运维智能化管理系统; 系统设计; 应用效果

引言: 全球能源转型背景下, 光伏发电因清洁低碳优势实现快速扩张, 项目规模与数量持续增长。运维管理作为光伏项目全生命周期核心环节, 直接决定发电效率、设备寿命及投资回报。传统运维依赖人工巡检与经验判断, 难以适配大规模、分布式光伏项目的管理需求, 暴露出诸多问题。智能化技术与运维管理的融合, 成为破解行业痛点的关键。本文设计一套光伏发电项目运维智能化管理系统, 深入分析其设计逻辑与实现路径, 并通过实证案例验证应用效果, 为推动光伏运维行业高质量发展提供可行方案。

1 光伏发电项目运维管理现状与问题分析

1.1 光伏发电项目运维管理概述

光伏发电项目运维管理以保障光伏系统稳定高效运行为核心, 涵盖组件、逆变器、汇流箱等核心设备的日常监测、故障处置、定期检修及数据管理等工作。其核心目标是通过科学管理降低设备故障发生率, 提升发电效率, 延长设备使用寿命, 确保项目收益最大化。运维管理范围覆盖光伏阵列、配电系统、监控系统等全链条, 需结合项目类型(集中式、分布式)、地理位置、气候条件等制定差异化方案。随着光伏技术迭代与项目规模扩大, 运维管理已从传统的“事后维修”向“预防性维护”转型, 对数据精准度、响应时效性的要求不断提升。

1.2 传统运维管理方式存在的问题

传统光伏运维以人工巡检为主, 存在诸多突出问题。一是效率低下, 大规模光伏电站组件数量庞大, 人工巡检耗时费力, 难以实现全覆盖, 尤其偏远地区或复杂地形项目, 巡检成本更高; 二是故障处置滞后, 依赖人工经验判断故障, 难以提前预警潜在隐患, 故障发生后需现场排查, 延长停机时间; 三是数据管理混乱, 各

类设备数据分散存储, 缺乏统一整合与分析, 无法为运维决策提供科学支撑; 四是资源配置不合理, 人工巡检难以精准匹配设备故障风险, 导致运维人员与物资分配失衡, 增加无效运维成本; 五是安全风险较高, 高空作业、极端天气巡检等场景, 易引发人员安全事故^[1]。

1.3 智能化需求的需求

光伏运维智能化需求源于行业发展与传统模式痛点。从项目运营角度, 需通过智能化手段实现设备状态实时监测, 提前预警故障, 缩短处置周期, 提升发电效率; 从成本控制角度, 需依托自动化技术减少人工依赖, 优化资源配置, 降低运维成本; 从管理效率角度, 需构建统一数据平台, 实现数据整合分析与远程管控, 支撑精准决策; 从安全保障角度, 需通过智能化监测规避巡检安全风险, 保障人员与设备安全。随着分布式光伏项目增多, 还需满足多站点集中管理、差异化运维的需求, 推动运维管理向标准化、精细化、智能化转型。

2 光伏发电项目运维智能化管理系统设计

2.1 系统设计目标与原则

本系统设计的核心目标在于达成光伏项目运维全流程的智能化管控。通过智能化手段, 全面优化运维流程, 提升运维工作的整体效能, 显著降低故障对系统运行的影响, 有效削减运维过程中的各项成本支出, 同时保障设备长期稳定运行, 降低故障发生的可能性。

在系统设计过程中, 严格遵循以下四项关键原则。其一为实用性原则, 系统设计紧密围绕光伏运维的实际业务需求展开, 所设置的功能模块简洁直观、易于操作, 能够充分适配不同规模光伏项目的运维管理要求, 确保运维人员能够快速上手并高效使用。其二为可靠性原则, 选用成熟稳定的技术架构搭建系统, 从硬件设备到软件程序, 均经过严格筛选与测试, 保障系统能够

7×24 小时不间断稳定运行，同时确保数据在传输与存储环节的安全性及完整性，防止数据丢失或泄露。其三是扩展性原则，系统在设计时预留了丰富的接口，不仅便于后续根据实际需求对系统功能进行升级优化，还能轻松实现多光伏项目的接入与管理，满足企业业务拓展的需求。其四为经济性原则，在确保系统性能满足运维管理要求的前提下，对开发与部署成本进行精细控制，合理规划资源投入，提升项目的整体投资回报率，实现经济效益与运维管理效能的双赢。

2.2 系统总体架构设计

系统采用“云-边-端”三层架构设计。终端层部署传感器、智能电表、摄像头等设备，实时采集组件电压电流、逆变器状态、环境温湿度等数据，实现设备状态感知；边缘层负责数据预处理、本地存储与实时分析，对异常数据快速响应，执行本地告警与简单控制指令，降低云端传输压力；云端层构建集中管理平台，实现数据整合、深度分析、远程管控、报表生成等功能，支撑运维决策。三层架构通过5G/4G、WiFi等网络实现数据交互，形成“感知-分析-决策-执行”的闭环管理体系，确保运维响应的及时性与精准性^[2]。

2.3 系统功能模块设计

系统核心功能模块包括五大模块：一是实时监测模块，实时展示光伏组件、逆变器等设备运行参数及环境数据，支持异常数据弹窗告警；二是故障诊断模块，结合机器学习算法，通过数据分析自动识别故障类型与位置，推送处置方案；三是智能巡检模块，支持无人机巡检路径规划与影像识别，搭配机器人自动巡检，实现巡检数据自动上传与分析；四是运维管理模块，涵盖工单派发、进度跟踪、备件管理、人员调度等功能，实现运维全流程闭环；五是数据分析模块，基于历史数据开展发电效率分析、故障趋势预测、收益评估等，为优化运维策略提供数据支撑。

2.4 系统关键技术选型

系统关键技术选型聚焦稳定性与智能化水平：数据采集采用高精度传感器与物联网（IoT）技术，确保数据采集精度与实时性；通信技术优先选用5G+WiFi双模，适配不同场景数据传输需求；故障诊断采用LSTM神经网络算法，结合海量故障数据训练模型，提升诊断准确率；数据存储采用MySQL+Redis混合架构，MySQL存储结构化数据，Redis实现缓存与实时数据存储；前端开发采用Vue.js框架，确保界面流畅与跨终端适配；无人机巡检搭载高清摄像头与AI影像识别技术，实现组件缺陷自动识别。

3 光伏发电项目运维智能化管理系统实现

3.1 系统开发环境与工具

系统开发采用前后端分离架构，开发环境与工具选型如下：后端基于Java语言开发，选用Spring Boot框架实现快速开发与部署，搭配Spring Cloud实现微服务架构；前端采用Vue.js+Element UI框架，构建直观易用的可视化界面；数据库选用MySQL 8.0，搭配Redis 6.0实现数据缓存；开发工具采用IntelliJ IDEA、Visual Studio Code，版本控制使用Git；测试工具选用JMeter开展性能测试，Postman进行接口测试；服务器采用阿里云ECS，确保系统稳定运行与弹性扩展。

3.2 系统数据库设计

数据库设计遵循规范化原则，核心数据表包括：设备信息表，存储组件、逆变器等设备型号、编号、安装位置等基本信息；运行数据表，记录设备实时运行参数与环境数据，按小时分区存储；故障数据表，存储故障类型、发生时间、处置过程等信息；运维工单表，记录工单编号、任务类型、负责人、进度等数据；用户信息表，存储运维人员、管理人员账号权限信息。采用分区表与索引优化技术，提升大数据量查询效率，通过数据备份与加密技术，确保数据安全与完整性。

3.3 系统界面设计与实现

系统界面设计始终秉持简洁直观、操作便捷的核心理念，旨在为运维人员提供高效、友好的操作体验。整个界面主要划分为三大类。其一为数据监测界面，此界面运用仪表盘、折线图、柱状图等丰富多样的可视化组件，将发电量、设备运行状态、故障告警等核心数据以直观清晰的方式实时呈现。运维人员不仅能够一眼掌握关键信息，还支持多维度筛选与钻取功能，方便深入分析数据背后的细节。其二是运维管理界面，该界面整合了工单管理、备件管理、人员调度等重要功能入口。通过简洁明了的操作流程，运维人员可实现工单一键派发，并能实时跟踪工单处理进度，极大地提升了运维管理效率^[3]。其三是数据分析界面，这里集中展示发电效率趋势、故障统计、收益分析等各类报表，为决策提供有力依据。同时，支持报表导出与打印功能，方便存档与分享。此外，界面充分考虑不同使用场景，完美适配PC端与移动端，运维人员借助手机APP就能实时接收告警信息并及时处理工单。

3.4 系统测试与优化

系统测试分为功能测试、性能测试与兼容性测试。功能测试采用黑盒测试法，验证各模块功能是否符合设计需求，共设计测试用例200余条，通过率达98%；性能

测试通过JMeter模拟1000用户并发访问,系统响应时间控制在2秒内,CPU利用率低于70%,满足大规模项目使用需求;兼容性测试覆盖主流浏览器与移动端设备,适配性良好。针对测试过程中发现的问题,及时优化数据库索引,有效提升查询效率;对算法进行优化,降低误告警率;完善界面交互设计,进一步提升系统的易用性,最终打造出稳定可用的系统版本。

4 光伏发电项目运维智能化管理系统应用效果分析

4.1 应用案例介绍

选取内蒙古达拉特旗的某集中式光伏发电项目作为应用案例。达拉特旗地处内蒙古自治区西南部、鄂尔多斯市北部,拥有丰富的太阳能资源,非常适合建设大型光伏发电项目。该项目装机容量达500MW,采用单晶硅组件与集中式逆变器,占地面积约1200亩,年均设计发电量7.5亿 kWh。系统于2023年1月完成部署,全面覆盖全部光伏阵列、配电系统及辅助设备,实现了设备状态实时监测、智能巡检、故障诊断等全流程运维管控。在系统部署后,运维模式发生了显著变化。运维团队由原来的30人精简至18人,同时配备了2台智能巡检机器人与1架无人机,形成了“智能化监测+少人值守”的高效运维模式^[4]。

4.2 应用效果评估指标体系构建

构建包含4个一级指标、12个二级指标的评估体系:一是运维效率指标,包括巡检覆盖率、工单处置时效、人均管理容量;二是成本控制指标,包括单位运维成本、备件库存周转率、人工成本占比;三是设备性能指标,包括设备年故障率、平均故障修复时间、发电效率;四是管理质量指标,包括数据准确率、告警准确率、用户满意度。各指标采用百分制评分,按权重加权计算综合得分,全面评估系统应用效果。

4.3 应用效果实证分析

系统运行1年的数据显示,应用效果显著:运维效率方面,巡检覆盖率从75%提升至100%,工单平均处置时效从4小时缩短至1.2小时,人均管理容量提升56%;

成本控制方面,单位运维成本从0.08元/kWh降至0.06元/kWh,人工成本降低40%,备件库存周转率提升35%;设备性能方面,设备年故障率从8.2%降至2.1%,平均故障修复时间缩短60%,发电效率提升4.3%;管理质量方面,数据准确率达99.2%,告警准确率达95%,综合评分从传统模式的62分提升至89分,验证了系统的实用性与优越性。

4.4 用户反馈与满意度调查

对项目运维团队与管理人员开展满意度调查,共发放问卷50份,回收有效问卷48份。调查结果显示,91.7%的受访者认为系统操作便捷,89.6%认可故障诊断的精准性,87.5%表示运维成本显著降低,93.3%对系统稳定性满意。反馈建议集中在增加移动端离线操作功能、优化部分复杂场景故障诊断算法。整体满意度达90.2分,表明系统得到用户广泛认可,契合运维实际需求。

结束语

本文设计的光伏发电项目运维智能化管理系统,通过“云-边-端”架构与核心功能模块的协同设计,有效破解了传统运维效率低、成本高、故障处置滞后等问题。实证案例表明,系统可显著提升运维效率、降低成本、优化设备性能,用户满意度高。未来可结合用户反馈优化功能,拓展分布式光伏项目适配能力,融入数字孪生技术实现更精准的运维管控。该系统的成功应用为光伏运维智能化升级提供了可复制的方案,助力光伏产业实现高质量、可持续发展。

参考文献

- [1]陈俊峰.光伏电站智能化运维技术及运用研究[J].低碳世界,2022(11):58-607.
- [2]石多梅,黄培冬,吴鹏基.智能光伏电站运维的大数据分析[J].集成电路应用,2022,39(10):154-155.
- [3]陈俊峰.光伏电站智能化运维技术及运用研究[J].低碳世界,2022,12(11):58-60.
- [4]吴晓光,郝伟伟,范晓冰,等.内蒙古光伏项目用地模式及发展方向研究[J].内蒙古科技与经济,2023(20):95-98.