

光伏电站的智能运维技术应用研究

马旭¹ 赵辉¹ 姚金满¹ 张轩¹ 马建军²

1. 抚顺矿业集团有限责任公司供电部 辽宁抚顺 113008; 2. 中水东北勘测设计研究有限责任公司 吉林长春 130021

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11694

[摘要] 在能源革命和数字化转型的双重驱动下,光伏电站智能化运维技术创新发展日新月异。本文系统探讨了智能运维无人机、组件自动清洗、功率预测、智能监控以及故障自动分析等关键技术在光伏电站运维中的实践应用。研究表明,智能化运维技术的深度应用显著提升了光伏电站运行效率和可靠性,有效降低了运维成本。无人机巡检实现了电站设备状态的精准感知,自动清洗系统保障了组件发电效率的持续稳定,功率预测技术为电站调度提供了科学依据,智能监控确保了设备运行的实时监管,故障诊断技术则实现了问题的快速处理。

[关键词] 光伏电站; 智能运维; 无人机巡检; 功率预测; 故障诊断

Research on the Application of Intelligent Operation and Maintenance Technology in Photovoltaic Power Stations

Ma Xu¹ Zhao Hui¹ Yao Jinman¹ Zhang Xuan¹ Ma Jianjun²

1. Fushun Mining Group Co., Ltd. Power Supply Department Liaoning Fushun 113008;

2. Zhongshui Northeast Survey, Design and Research Co., Ltd. Jilin Changchun 130021

[Abstract] Driven by the dual forces of energy revolution and digital transformation, the innovative development of intelligent operation and maintenance technology for photovoltaic power plants is advancing rapidly. This article systematically explores the practical application of key technologies such as intelligent operation and maintenance drones, automatic component cleaning, power prediction, intelligent monitoring, and automatic fault analysis in the operation and maintenance of photovoltaic power plants. Research has shown that the deep application of intelligent operation and maintenance technology has significantly improved the operational efficiency and reliability of photovoltaic power plants, effectively reducing operation and maintenance costs. Unmanned aerial vehicle inspection enables precise perception of the status of power station equipment, automatic cleaning system ensures continuous and stable power generation efficiency of components, power prediction technology provides scientific basis for power station scheduling, intelligent monitoring ensures real-time supervision of equipment operation, and fault diagnosis technology achieves rapid problem handling.

[Keywords] photovoltaic power station; Intelligent operation and maintenance; Unmanned aerial vehicle inspection; Power prediction; fault diagnosis

引言:

在全球能源转型和“双碳”目标的战略背景下,光伏发电产业实现了跨越式发展,已成为推动能源结构优化的重要力量。然而,光伏电站分布区域广、环境复杂、设备众多等特点,给传统运维模式带来巨大挑战。随着人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术的快速发展,智能化运维理念应运而生,为解决光伏电站运维难题开辟了新途径。通过将先进技术与运维实践深度融合,不仅能够提升运维效率、降低运营成本,更能实现电站的智能化、精细化管理,推动光伏产业向更高质量发展。

1 光伏电站智能化运维技术现状

目前,光伏电站智能化运维技术在多个层面取得显著进展,形成了以数据驱动为核心的智能化运维体系。一方面,大数据分析技术的深度应用使得运维人员能够对海量运行数据进行系统化处理,通过建立完善的数据模型,实现对光伏组件性能、逆变器运行状态等关键指标的实时监测与动态分析。云计算平台的引入则为数据存储与处理提供了强大支撑,使得分布式光伏电站的集中管理与远程诊断成为可能。另一方面,物联网技术与智能传感器的广泛部署,构建起全方面的设备监测网络,不仅能够实时采集环境参数、设备运行状态等多维数据,还可通过智能算法对潜在故障进行预警,为运维决策提供科学依据。然而,当前光伏电站智能化运维技

术仍面临诸多挑战与瓶颈。首先,在数据采集环节,受限于传感器精度与采样频率,部分关键参数的测量存在误差,影响后续分析结果的准确性;其次,现有的故障诊断与预测算法在复杂工况下的适应性有待提高,特别是对于多重故障的识别与分类仍显不足;此外,运维人员对新技术的掌握程度参差不齐,难以充分发挥智能化系统的潜能。

2 光伏电站智能化运维技术应用

2.1 智能运维无人机技术

光伏电站智能运维无人机技术的应用极大地改变了传统人工巡检模式的局限性。在实际应用中,采用多旋翼无人机搭载40万像素以上高清热像仪,配合可见光相机组成双光融合系统,实现对光伏组件热斑、隐裂等故障的精确识别。某大型光伏电站实践表明,采用无人机巡检后,电站故障发现效率提升了280%,运维成本降低约45%。在具体实施过程中,无人机巡检任务可分为航线规划、数据采集、图像处理三个关键环节。航线规划阶段需根据电站地形特点和组件布局,设计最优化的飞行路径,通常采用20—30米的巡检高度,确保图像分辨率达到厘米级精度。数据采集环节中,无人机以4—6米/秒的速度沿预设航线飞行,通过热成像系统获取组件表面温度分布图,同步记录可见光图像作为参照^[1]。采集数据经过智能算法处理后,系统能自动标记温差超过20℃的异常区域,并生成故障分布热力图。值得注意的是,无人机

还可搭载激光雷达设备,采集电站三维点云数据,用于建立精确的数字孪生模型。在沙漠地区光伏电站,无人机还可通过紫外成像技术识别组件表面微弧放电现象,有效预防潜在安全隐患。

2.2 光伏组件自动清洗技术

光伏组件自动清洗技术的创新应用有效解决了传统人工清洗效率低下的问题。根据中国光伏行业协会数据显示,组件表面积尘会导致发电效率降低15%~25%,在沙尘天气频发区域,这一损失甚至可达35%。现代化的自动清洗系统主要包括智能清洗机器人和固定式清洗装置两大类。智能清洗机器人采用磁吸附式行走结构,配备高精度水压控制系统,清洗压力可在0.2~0.5MPa范围内实时调节,避免对组件造成机械损伤。实际应用中,清洗机器人通过激光测距感应器实现自动避障,结合组件倾角和污染程度自适应调整清洗参数。在水资源紧缺地区,干式清洗技术通过微纳米材料制成的特殊毛刷,配合静电吸附装置,可实现无水清洁。自动清洗系统的控制策略基于深度学习算法,通过分析历史气象数据和组件发电效率曲线,智能规划最佳清洗周期。某光伏电站实践数据表明,采用智能清洗系统后,组件平均发电效率提升12.8%,年度运维成本降低超过30%。清洗设备配备自动补水系统和水质监测装置,确保清洗用水的电导率控制在50 μ S/cm以下,有效防止水垢沉积。系统还可根据组件表面温度自动调整清洗时段,避免热震损坏,延长组件使用寿命。

2.3 光伏组件功率预测技术

光伏组件功率预测技术通过融合多源数据和先进算法,实现了对发电功率的精准预测。该技术基于气象数据、历史发电数据和设备运行状态等多维信息,构建了完整的预测分析体系。研究表明,采用深度学习算法的功率预测模型,在15分钟短期预测中准确率可达92%,4小时预测准确率维持在85%以上。预测系统通过接入气象卫星云图数据,结合地面气象站实测数据,建立精细化的辐照度预测模型^[2]。同时,系统整合了组件温度、灰尘衰减、电气性能等影响因素,通过神经网络算法不断优化预测精度。在实际应用中,预测系统首先对历史数据进行清洗和标准化处理,剔除异常值和缺失值的影响。随后,通过集成学习方法融合多个子模型的预测结果,有效降低了单一模型的预测偏差。某大型光伏基地的实践数据显示,采用该预测系统后,发电计划执行偏差降低了65%,显著提升了电网调度的准确性。系统还建立了自适应修正机制,根据实际发电数据持续优化预测模型参数,确保预测精度随时间推移保持稳定。对于新建电站,预测系统通过迁移学习方法,利用相似电站的历史数据快速构建初始预测模型,大幅缩短了模型调试周期。

2.4 电站智能监控技术

电站智能监控技术构建了全方位的数字化监管体系,实现了光伏电站运行状态的实时感知与智能分析。监控系统采用分布式架构,通过部署高精度传感器网络,实现对关键设备运行参数的毫秒级采集^[3]。研究数据显示,采用智能监控系统后,电站故障响应时间平均缩短80%,设备可用率提升至99.5%以上。系统通过搭建数据采集层、网络传输层、数据处理层和应用展示层的四层架构,确保监控数据的实时性和可靠性。在数据采集端,采用工业级传感器对逆变器效率、汇流箱电流、组件温度等参数进行高频采样,采样频率可达1000Hz。监控中心通过5G专网实现数据的低延时传输,并建

立数据备份机制,确保信息安全。系统配备智能告警模块,通过设定多级告警阈值,结合设备历史运行数据,建立动态告警策略。某光伏电站实践表明,智能监控系统每年可提前发现潜在故障点超过200处,避免了重大设备损失。监控平台还整合了电站三维可视化功能,运维人员可通过虚拟巡检方式,直观掌握设备运行状态,大幅提升了运维效率。

2.5 故障自动分析与处理技术

故障自动分析与处理技术通过构建智能化诊断体系,实现了光伏电站故障的快速识别和处理。系统基于大数据分析平台,整合设备运行数据、故障记录和维修历史,建立了完整的故障知识库。实践数据显示,采用智能故障诊断系统后,故障定位准确率达到95%,平均故障处理时间缩短60%。系统采用层次分析法对故障特征进行提取和分类,建立故障诊断决策树,实现对常见故障类型的快速识别。在故障分析过程中,系统通过相关性分析方法,识别故障的传播路径和影响范围,为故障隔离提供决策支持。某大型光伏基地通过部署故障自动分析系统,年均减少停机损失约280万千瓦时。系统还建立了设备健康评估模型,通过监测关键性能指标的变化趋势,预测设备剩余使用寿命,实现预防性维护。在故障处理环节,系统根据故障类型自动生成标准化处理流程,指导现场维修人员快速完成故障排除。通过积累大量故障案例数据,系统不断优化诊断规则,提高了故障识别的准确性和智能化水平。

3 结束语

光伏电站智能化运维技术的创新应用,有力推动了光伏产业的数字化转型升级。通过各项智能化技术的深度融合与协同发展,构建起了高效、可靠的现代化运维体系。未来,随着技术的持续进步,智能运维将向着智慧化、协同化方向纵深发展,进一步释放光伏发电的经济效益和环境效益,为实现能源清洁低碳转型贡献更大力量。

【参考文献】

- [1]李会骞,吕学坤,王兴春,等.基于大数据的光伏电站智能运维技术研究[J].光源与照明,2024,(09):131-133.
 - [2]李大盼.物联网技术在光伏电站运维系统中的研究与应用[J].信息记录材料,2024,25(08):73-75.
 - [3]唐克洪,周慧,徐俊.分布式光伏电站智能化运维系统研究与应用[J].科技创新与应用,2023,13(19):193-196.
- 作者简介:马旭(1980年4月5日),性别:男,民族:满族,籍贯:辽宁黑山,职称:中级工程师,学历:本科,研究方向:输变电运维及管理。
- 赵辉(1986年12月2日),性别:男,民族:汉族,籍贯:山东曲阜,职称:中级工程师,学历:本科,研究方向:无。
- 姚金满(1979年7月5日),性别:男,民族:汉族,籍贯:辽宁凌海,职称:中级工程师,学历:在职研究生,研究方向:无。
- 张轩(1999年10月6日),性别:男,民族:汉族,籍贯:黑龙江绥化,职称:助理工程师,学历:本科,研究方向:无。
- 马建军(1989年6月30日),性别:男,民族:汉族,籍贯:吉林长春,职称:高级工程师,学历:研究生,研究方向:新能源发电。