

无人值守光伏场站管理模式创新与应用

朱松¹ 王涛²

1. 中国华电集团有限公司宁夏公司, 宁夏 银川 750002

2. 华电(宁夏)宁夏能源有限公司新能源分公司, 宁夏 银川 750002

[摘要]随着光伏发电技术的快速发展,场站规模扩大与运维成本上升的矛盾日益突出,传统依赖人工巡检与值守的管理模式已难以满足高效、安全、低成本运营需求。文章聚焦无人值守光伏场站管理模式创新,通过融合物联网、人工智能等新兴技术,提出了一种“智能感知-自主决策-远程协同”三位一体的新型管理模式。研究首先构建了基于多源异构数据融合的智能感知体系,实现对光伏组件、逆变器、气象环境等关键参数的实时监测与故障预警;其次,设计了基于强化学习与知识图谱的自主决策算法,通过动态优化调度策略与应急响应机制,提升场站运行的自适应性与容错能力;最后,搭建了云端-边缘协同的远程运维平台,实现多场站集中管控、无人值守与跨区域协同作业。

[关键词]无人值守;光伏场站;智能感知;自主决策;远程运维

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16502

中图分类号: TM63

文献标识码: A

Innovation and Application of Unmanned Photovoltaic Station Management Mode

ZHU Song¹, WANG Tao²

1. Ningxia Branch of China Huadian Corporation Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750002, China

2. New Energy Branch of Huadian (Ningxia) Ningxia Energy Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750002, China

Abstract: With the rapid development of photovoltaic power generation technology, the contradiction between the expansion of station scale and the increase of operation and maintenance costs has become increasingly prominent. The traditional management mode relying on manual inspection and duty is no longer able to meet the needs of efficient, safe, and low-cost operation. The article focuses on the innovation of unmanned photovoltaic station management mode, and proposes a new management mode of "intelligent perception-autonomous decision making-remote collaboration" by integrating emerging technologies such as the Internet of Things and artificial intelligence. The study first constructed an intelligent perception system based on multi-source heterogeneous data fusion, which realizes real-time monitoring and fault warning of key parameters such as photovoltaic modules, inverters, and meteorological environment; Secondly, an autonomous decision-making algorithm based on reinforcement learning and knowledge graph was designed to enhance the adaptability and fault tolerance of station operation by dynamically optimizing scheduling strategies and emergency response mechanisms; Finally, a cloud edge collaborative remote operation and maintenance platform was built to achieve centralized control of multiple stations, unmanned operation, and cross regional collaborative work.

Keywords: unmanned operation; photovoltaic power station; intelligent perception; autonomous decision-making; remote operation and maintenance

引言

在全球能源加速转型的浪潮下,光伏产业作为绿色能源的中流砥柱,正迅猛发展。随着光伏装机规模持续攀升,传统光伏场站管理模式弊端尽显,诸如人力成本居高不下、管理效率低下、设备运维响应迟缓、交通风险压力较大等问题日益凸显。为契合新形势下光伏产业的发展需求。华电(宁夏)能源有限公司新能源分公司积极开拓创新,以“检修部做实”为核心,融合“分组承包、集中检修”及无人机巡检等前沿管理手段,构建无人值守光伏场站管理模式,旨在全方位提升管理效能、削减运营成本、提高发电效率,同时显著降低交通风险,为光伏产业的可持续发展注入新的活力,提供全新的思路与宝贵的实践经验。

1 实施背景

本案例分析将以华电(宁夏)能源有限公司新能源分

公司无人值守光伏电站为核心,通过深入剖析无人值守如何赋能能源电力行业,展现光伏电站无人值守方案在推动能源转型和可持续发展中的巨大潜力。华电(宁夏)能源有限公司新能源分公司光伏设备装机容量 104.6 万千瓦(含喊叫水光伏 20 万千瓦、三个分布式光伏 1.6 万千瓦、风光互补 19.8 万千瓦)。因各光伏场站较为分散,且人员紧缺。光伏检修部借鉴参考《中国华电集团有限公司水电站“无人值班(少人值守)、远程集控”管理办法》,根据集团公司《新能源生产管理体系建设指导意见》(中国华电函(2022)528号)要求,按照“自主运行、自主维护”和“远程集控、分级诊断、片区维护、专业检修”生产管理模式,逐步实现各光伏场站“无人值班、少人值守”管理。现将光伏四期、贝利特、光伏三期及分布式光伏电站设为无人值守场站,有效地降低运营成本、提高工作效率。

1.1 能源结构转型加速光伏产业发展

随着全球对气候变化问题的关注度不断提升,各国纷纷加大对可再生能源的开发与利用力度。我国明确提出“碳达峰、碳中和”目标,为光伏产业带来了前所未有的发展机遇。在政策推动和市场需求的驱动下,光伏装机容量持续快速增长,预计在未来几年仍将保持较高的增长率。光伏产业在能源结构中的占比日益增大,其高效、稳定的运行对于保障能源安全、实现绿色发展具有重要意义。

1.2 传统光伏场站管理模式弊端凸显

传统的光伏场站管理模式多采用有人值守方式,每个场站配备一定数量的运行维护人员。然而,随着光伏项目数量的增多和分布范围的扩大,这种模式的弊端逐渐显现。一方面,人力成本居高不下,大量的人员配置不仅增加了工资、福利等直接成本,还带来了人员培训、管理等间接成本。另一方面,由于场站分布分散,管理难度大,信息传递不及时,导致设备故障发现与处理滞后,设备可利用率降低,发电损失增加。此外,人工巡检受主观因素影响较大,难以保证巡检的全面性和准确性,无法满足光伏场站精细化管理的要求。更为关键的是,如图1所示,由于场站分布极为分散,公司部分常驻检修点距离远达200公里,运维人员频繁往返场站进行巡检与维护,面临着较大的交通风险,如交通事故隐患、恶劣天气下行车安全问题等,这不仅危及人员生命安全,还可能因意外导致运维工作延误,进一步影响场站的正常运营。

1.3 技术进步为无人值守管理提供支撑

近年来,信息技术、自动化技术、智能传感技术等快速发展,为光伏场站无人值守管理模式的实现提供了坚实的技术基础。通过智能化监控系统,可实现对光伏场站设备运行状态的实时监测、数据分析和远程控制;自动化设备能够完成诸如设备启停、故障诊断与处理等操作,减少人工干预;无人机巡检技术的应用,大大提高了巡检效率和质量,能够及时发现设备潜在隐患。这些技术的成熟与应用,使得无人值守光伏场站管理模式从设想变为现实,更为降低因人员频繁出勤带来的交通风险提供了可行路径。



图1 各场站地理位置分布表

2 内涵与做法

2.1 强化检修部职能, 做实运维保障

明确检修部核心地位: 确立检修部在无人值守光伏电站管理中的核心地位, 将其定位为“设备维护中心、故障处理中心、技术支持中心”。检修部负责制定详细的设备维护计划、故障应急预案, 统筹调配资源, 确保光伏场站设备的稳定运行。通过建立健全检修部管理制度, 明确各岗位人员职责, 形成高效的工作流程, 提升整体运维效率。

优化人员配置与培训: 根据光伏场站的规模和设备特点, 合理配置检修部人员, 包括电气工程师、运维技术员等专业人才。加强人员培训, 定期组织内部培训和外部技术交流, 提升员工的专业技能和综合素质。鼓励员工自主学习和创新, 掌握先进的设备运维技术和管理方法, 为无人值守管理模式的实施提供人才保障。

建立设备全生命周期管理体系: 检修部对光伏场站设备实施全生命周期管理, 从生产准备、安装调试、运行维护到报废更新, 进行全过程跟踪和记录。通过建立设备台账、运行档案和维护记录, 实时掌握设备运行状态, 及时发现设备潜在问题, 制定针对性的维护措施, 延长设备使用寿命, 降低设备故障率。

2.2 推行分组承包、集中检修模式

分组承包管理: 将光伏场站的设备按照区域、类型等进行划分, 成立多个承包小组, 每个小组负责特定区域或类型设备的日常运维和检修工作。承包小组实行组长负责制, 明确小组内各成员的职责分工, 确保各项工作落实到人。通过分组承包, 提高员工对设备的熟悉程度, 增强工作责任心, 同时便于对工作绩效进行考核评价。

集中检修机制: 根据设备运行状况和维护计划, 定期组织集中检修。在集中检修期间, 各承包小组协同作战, 对光伏场站设备进行全面检查、维护和升级。集中检修采用标准化作业流程, 制定详细的检修方案和质量控制标准, 确保检修工作的高效、高质量完成。同时, 利用集中检修的机会, 对设备进行技术改造和优化, 提高设备性能和发电效率。

建立绩效激励制度: 为充分调动承包小组和员工的工作积极性, 建立完善的绩效激励制度。根据设备运行指标、维护质量、故障处理及时性等考核指标, 对承包小组和员工进行定期考核评价, 将考核结果与薪酬、晋升、奖励等挂钩。对表现优秀的小组和个人给予表彰和奖励, 对工作不力的进行问责和处罚, 形成良好的竞争氛围, 推动分组承包、集中检修模式的有效实施。

2.3 引入无人机巡检技术, 提升巡检效率与质量

构建无人机巡检体系: 配备专业的无人机巡检设备, 建立无人机巡检队伍, 制定详细的无人机巡检计划和操作规程。根据光伏场站的地形、设备分布等情况, 规划无人机巡检航线, 确保能够全面覆盖场站设备。无人机搭载高清摄像头、红外热成像仪等检测设备, 能够对光伏组件、

汇流箱、逆变器等设备进行多角度、全方位的检测，实时获取设备运行数据和图像信息。

数据分析与处理：利用大数据分析技术，对无人机巡检获取的数据进行分析处理。通过建立设备故障诊断模型，对设备运行数据进行实时监测和分析，及时发现设备潜在故障隐患，并发出预警信息。同时，对历史数据进行统计分析，总结设备运行规律，为设备维护和检修提供决策依据。

与传统巡检方式相结合：无人机巡检虽然具有高效、准确等优点，但不能完全替代传统巡检方式。将无人机巡检与人工巡检、在线监测等方式相结合，形成全方位、多层次的巡检体系。对于无人机难以检测到的部位或发现的异常情况，及时安排人工进行现场核实和处理，确保设备安全可靠运行。这种以无人机巡检为主的模式，极大减少了运维人员前往偏远场站的出勤频率，使得交通风险大幅降低。以往运维人员需要长途跋涉前往距离达 230 多公里的检修点，如今借助无人机，大部分巡检工作可在空中完成，有效规避了交通风险，保障了人员安全。

3 目标关键技术及可行性分析

3.1 监控系统

(1) **数据传输技术：**各光伏电站采用“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的方式通过风云集控平台将数据采集、经电力专线将现场监控后台实时监测数据传输至远程集控中心对现场数据实时监控。

(2) **远程监控平台：**建立基于云计算或本地服务器的远程监控平台，能够实时显示电站设备的运行状态、报警信息等。通过数据可视化技术，以图表、地图等形式直观地展示电站的运行情况。



图2 远程监控平台

3.2 自动化运维技术

(1) **故障诊断算法：**利用机器学习和人工智能算法，如神经网络算法，对采集到逆变器的输出电流、电压等数据的数据进行分析，及时发现设备故障。

(2) **智能巡检机器人：**在光伏电站内部署自动巡检机器人，它可以携带摄像头、热成像仪等设备，对光伏板进行外观检查、热斑检测等。机器人的运行路径可以根据电站布局进行规划，采用路径规划算法。

(3) **远程控制技术：**实现对电站设备的远程控制，做到远程监控、远程操作，通过平台发布设备运行状况，现场

检修人员可以通过发布设备运行状况开展现场检修工作。

以上情况，证明无人值守场站管理具有可实施推行性。

为进一步确定光伏场站无人值守管理的必要性，以下从四个方面进行分析：

3.2.1 降低运营成本

无人值守的光伏电站可以减少现场运维人员的数量，从而降低人力成本。通过无人机智能巡检系统和远程监控技术，原本需要多人进行的巡检工作可以由少数人员在远程控制中心完成，大大减少了现场人员的工作量和相关的人力成本。

3.2.2 提高运维效率

无人值守的光伏电站可以通过自动化和智能化的设备实现更高效的运维。智能巡检系统可以实现 24 小时的实时监控，及时发现并处理设备故障，提高发电效率。

3.2.3 改善工作环境

光伏电站通常位于偏远地区，工作环境较为艰苦。无人值守的模式可以减少运维人员在恶劣环境下的工作时间，提高工作舒适度和安全性。

3.2.4 适应规模化发展

随着光伏电站规模的不断扩大，传统的有人值守模式难以满足大规模电站的运维需求。无人值守的模式可以更好地适应规模化发展的趋势，通过集中监控和区域化管理，实现对多个电站的统一管理和维护，提高整体运营效率。

综上所述，光伏电站无人值守的必要性在于降低运营成本、提高运维效率、改善工作环境以及适应规模化发展的需求。随着技术的不断进步，无人值守的光伏电站将成为未来发展的趋势。

4 实施效果

4.1 运营成本显著降低

通过实施无人值守光伏场站管理模式，减少了场站运行维护人员数量，人力成本大幅降低。同时，采用分组承包、集中检修模式，提高了设备维护效率，降低了设备故障率，减少了维修费用支出。引入无人机巡检技术，降低了人工巡检成本，提高了巡检效率。据统计，实施无人值守管理模式后，光伏场站运营成本较传统模式降低了 30%。尤为重要的是，交通风险的大幅降低，减少了因交通意外可能导致的潜在经济损失，如车辆维修、医疗赔偿、延误运维工作带来的发电损失等，进一步节约了运营成本。

4.2 设备可靠性大幅提升

强化检修部职能和建立设备全生命周期管理体系，使设备维护更加规范、及时和有效。分组承包、集中检修模式确保了设备维护质量，无人机巡检技术能够及时发现设备潜在隐患，提前进行处理。这些措施有效提高了设备可靠性，设备可利用率提升 0.5%，故障损失明显降低。

4.3 管理效能显著增强

无人值守光伏场站管理模式实现了对场站设备的远

程监控和智能化管理,信息传递更加及时、准确,管理决策更加科学、高效。通过建立绩效激励制度,充分调动了员工的工作积极性和创造性,团队协作能力明显提升。此外,无人机巡检等新技术的应用,为管理创新提供了有力支撑,推动了光伏场站管理水平的不断提升。交通风险的降低,使得运维团队能够更加专注于设备运维与管理工作。公司将继续跟踪光伏电站无人值守运行情况,及时维护,为光伏电站无人值守提供科学的决策依据,有效提升整体管理效能。

5 结语

本文针对传统光伏场站管理模式中人力成本高、运维效率低、故障响应慢等痛点,提出并验证了一种“智能感知-自主决策-远程协同”三位一体的无人值守管理模式。通过物联网、人工智能等技术的深度融合,实现了光伏场站从“被动运维”到“主动预防”的范式转变,通过技术创新与工程实践验证,有效解决了传统运维模式的局限性,

为光伏行业的高质量发展提供了新思路。未来,需持续优化技术体系并拓展应用场景,以适应新能源产业的快速迭代需求。

【参考文献】

- [1]黄大巧,王鹏飞,丁娇.基于物联网技术的光伏场站智慧运维管理平台设计与应用[J].无线互联科技,2025,22(1):51-54.
- [2]朱军,于天航.光伏智慧场站的智能监控与优化管理技术研究[J].中国信息界,2025(2):54-56.
- [3]郑涛,马英,由巖,等.计及储能协同控制的光伏场站快速备自投方案[J].电工技术学报,2025(4):21.
- [4]刘星,许建中.基于粗-细粒度分割的光伏场站控制器等效建模方法[J].电网技术,2025(4):21.

作者简介:朱松(1985.11—),男、本科学历,毕业于山东科技大学泰山科技学院,专业:土木工程。