

光伏电站运维中的智能监测与故障诊断技术应用

刘 星

浙江新能量科技股份有限公司 浙江杭州

【摘要】在光伏产业蓬勃发展的当下，电站运维成为制约其高效发展的关键。本研究深入挖掘智能监测与故障诊断技术，从搭建创新监测架构、运用先进诊断算法，到融入实际运维场景，全方位探索提升运维效率路径，助力光伏电站稳定运行，为光伏能源产业注入强劲技术动力。

【关键词】光伏电站；智能监测；故障诊断；运维技术

【收稿日期】2024 年 12 月 23 日 **【出刊日期】**2025 年 1 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250017

Application of intelligent monitoring and fault diagnosis technologies in the operation and maintenance of photovoltaic power stations

Xing Liu

Zhejiang New Energy Technology Co., Ltd, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 With the vigorous development of the photovoltaic industry, the operation and maintenance of power stations has become a key factor restricting its efficient development. This study deeply explores intelligent monitoring and fault diagnosis technologies. From building an innovative monitoring architecture, applying advanced diagnostic algorithms to integrating into actual operation and maintenance scenarios, it comprehensively explores the paths to improve operation and maintenance efficiency, facilitates the stable operation of photovoltaic power stations, and injects strong technical impetus into the photovoltaic energy industry.

【Keywords】 Photovoltaic Power Station; Intelligent Monitoring; Fault Diagnosis; Operation and Maintenance Technology

引言

近年来，光伏产业如雨后春笋般迅速崛起，光伏电站规模持续扩张。然而，随之而来的运维难题也日益凸显，传统运维手段在面对复杂多变的电站状况时力不从心。智能监测与故障诊断技术犹如一把利剑，能够精准洞察电站运行状态，快速锁定故障隐患，对提升运维效率、降低成本、保障光伏电站稳定供电至关重要，是推动光伏产业迈向新高度的核心力量。

1 智能监测与故障诊断技术基础

1.1 光伏电站运行原理与常见故障类型梳理

光伏电站依靠光伏板的光电效应，将太阳能转化为电能。常见故障类型多样，光伏板层面，可能出现热斑故障，因局部遮挡导致部分电池片发热异常，

影响发电效率甚至损坏组件；还有隐裂故障，多由安装不当或长期机械应力造成，致使光伏板内部电路断裂^[1]。电气系统方面，逆变器故障频发，如功率模块损坏，导致电能转换异常；电缆连接故障，表现为接触不良、短路等，影响电力传输稳定性，严重时甚至会引发安全事故。

1.2 智能监测技术的理论基础与技术框架

智能监测依托传感器技术、物联网技术与数据分析理论。传感器作为感知前端，采集光伏板温度、光照强度、电流电压等关键数据^[2]。物联网技术构建数据传输桥梁，将分散在电站各处传感器数据汇聚。数据分析理论则对海量数据进行挖掘，如运用时间序列分析，从历史数据中找寻规律，预测设备运行趋势。技术框架涵盖感知层、传输层与分析层。感知

层密布各类传感器，传输层采用有线、无线混合通信方式保障数据传输，分析层利用云计算强大算力，实现数据实时分析与处理。

1.3 故障诊断技术的核心算法与方法解析

故障诊断核心算法包括基于模型的算法，通过建立光伏电站精确数学模型，对比实际运行数据与模型预测值，判断故障类型与位置；机器学习算法也广泛应用，如支持向量机，对大量故障样本学习训练后，能准确识别新故障模式。方法上，采用故障树分析法，从故障现象出发，层层追溯根源，将复杂故障分解为多个子故障，便于快速定位与解决^[3]。还有红外热成像诊断法，利用设备发热异常特征，直观检测热斑等故障，提高诊断准确性与效率。

2 智能监测系统架构与实现

2.1 传感器选型与布局优化

传感器选型至关重要，温度传感器选用高精度热敏电阻型，能精准测量光伏板及关键设备温度，精度可达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。光照传感器采用硅光电池型，响应速度快，可实时感知光照强度变化。在布局上，光伏板区域按一定间距均匀布置温度、光照传感器，确保全面监测。电气设备附近，重点布置电流、电压传感器，监测电力参数^[4]。逆变器核心设备内部，嵌入振动、声学传感器，提前察觉设备运行异常，通过科学选型与布局，实现对电站全方位、精准监测。

2.2 数据采集与传输网络构建

数据采集采用分布式采集方式，各传感器就近接入数据采集终端，降低传输损耗。采集频率根据设备重要性与数据变化速率灵活调整，关键设备如逆变器数据秒级采集，光伏板数据分钟级采集。传输网络搭建为有线与无线结合，近距离、数据量大的传感器采用工业以太网传输，保障数据稳定。偏远区域或临时监测点，利用 LoRa、NB-IoT 等低功耗无线通信技术，拓宽数据传输覆盖范围，确保数据实时、准确上传至监测中心。

2.3 智能监测平台的功能设计与开发

智能监测平台具备实时监测功能，以直观图表展示电站运行参数，异常数据自动变色预警。历史数据存储与查询功能强大，支持按时间、设备等多维度查询，方便运维人员分析趋势。故障诊断辅助功能集成多种诊断算法，输入异常数据，快速给出故障诊断建议^[5]。平台开发注重用户体验，采用模块

化设计，便于功能扩展与维护，同时具备良好兼容性，能接入不同厂家设备，实现电站统一管理。

3 故障诊断技术在光伏电站的应用

3.1 基于数据分析的故障预测模型构建

基于数据分析构建故障预测模型，收集光伏电站长期运行数据，包括气象数据、设备参数等。运用深度学习算法，如长短期记忆网络（LSTM），对时间序列数据深度挖掘。LSTM 模型可捕捉数据长期依赖关系，学习设备正常运行模式。当实时数据偏离正常模式一定阈值，模型预测可能出现故障，提前数小时甚至数天发出预警，为运维人员争取检修时间，降低故障损失。为进一步提升模型精度，还会引入迁移学习技术，借鉴其他相似光伏电站数据经验，加速模型收敛，且通过定期更新数据，使模型能适应电站设备老化、环境变化等因素，持续提供精准故障预测。

3.2 故障诊断中的智能算法应用实例

在实际故障诊断中，智能算法成效显著。例如，某光伏电站出现功率骤降故障，运用决策树算法对采集的电流、电压、温度等多源数据进行分析。决策树根据数据特征构建树形结构，逐步筛选判断，快速定位故障为逆变器某功率模块损坏。运维人员依据诊断结果，及时更换模块，恢复电站正常运行，相比传统人工排查，大幅缩短故障诊断与修复时间，提升电站运维效率^[6]。

在类似场景中，随机森林算法也常被应用，其综合多棵决策树结果，降低单一决策树的过拟合风险，使故障诊断结果更具稳健性，为电站稳定运行提供更可靠保障。

3.3 多源信息融合的故障诊断策略实施

多源信息融合故障诊断策略整合光伏电站多类信息。将传感器采集的电气参数、设备运行状态数据，与无人机巡检获取的光伏板外观图像信息、红外热成像数据融合。利用信息融合算法，如 D-S 证据理论，综合各信息源证据，消除单一信息不确定性。例如，诊断光伏板故障时，结合电气参数异常与红外热成像热斑特征，更准确判断故障类型与位置，提高故障诊断可靠性，减少误判、漏判情况^[7]。同时，引入区块链技术保障多源数据的真实性与不可篡改，确保信息融合基础数据可靠，进一步提升故障诊断的可信度与稳定性。

4 智能监测与故障诊断技术的协同运作

4.1 监测数据与诊断结果的交互机制

监测数据与诊断结果交互紧密。监测系统实时采集数据上传至诊断模块，诊断模块运用算法分析数据，若发现异常，生成诊断结果反馈给监测系统。监测系统根据诊断结果，调整数据采集频率与重点，对故障区域或设备加大监测力度，获取更多详细数据，为进一步诊断与故障处理提供支撑，形成良性循环，不断优化运维决策。在这个过程中，数据传输采用加密技术保障安全，防止数据在交互中被篡改或窃取。同时，利用缓存技术，在网络短暂中断时暂存数据，待恢复后及时上传，确保监测与诊断的连续性，提升交互机制的稳定性与可靠性^[8]。

4.2 基于协同的运维决策支持系统搭建

基于协同搭建运维决策支持系统，整合监测数据、诊断结果与运维知识库。系统运用专家系统技术，将运维专家经验转化为规则库。当诊断出故障，系统根据故障类型，从规则库匹配相应处理方案，结合实时监测数据，给出详细运维建议，如维修步骤、所需工具、备件清单等，辅助运维人员快速制定决策，提高运维工作准确性与效率。为提升系统实用性，引入机器学习技术，使其能根据实际运维反馈不断优化规则库。同时，开发移动端应用，方便运维人员随时随地获取运维建议，实现远程高效运维，进一步拓展运维决策支持系统的应用场景。

4.3 智能监测与故障诊断技术协同的优势体现

智能监测与故障诊断技术协同优势明显。一方面，提前准确的故障预测与诊断，减少设备停机时间，保障电站发电稳定性，提高能源产出。另一方面，精准定位故障，避免盲目维修，降低运维成本。通过优化运维决策，合理安排人力、物力资源，提升运维效率，增强光伏电站整体竞争力，推动光伏产业可持续发展。此外，技术协同能促进光伏电站与电网更好地协同运行，在电网负荷变化时，借助智能监测与诊断快速调整发电策略，提高电力供应稳定性，为能源系统的智能化发展贡献力量。

5 技术应用的挑战与未来发展趋势

5.1 技术应用面临的难题与障碍分析

技术应用面临诸多难题，传感器长期在户外恶劣环境工作，易受温度、湿度、沙尘影响，导致精度下降、寿命缩短。不同厂家设备通信协议不统一，数

据融合与系统集成困难。海量数据处理对硬件计算能力要求高，现有监测平台可能出现数据处理延迟。而且，智能算法模型需大量标注数据训练，数据标注工作量大、成本高，制约技术推广应用。

5.2 新兴技术在光伏电站运维的潜在应用方向

新兴技术为光伏电站运维带来新契机，人工智能领域，强化学习算法可让监测与诊断系统在与环境交互中不断优化策略。物联网方面，5G 技术普及将大幅提升数据传输速率与稳定性，实现更实时、高效的远程运维。区块链技术应用于数据存储，保障数据安全、不可篡改，增强监测数据可信度，为故障诊断与责任追溯提供可靠依据。

5.3 应对挑战与推动技术发展的策略探讨

应对挑战需多方发力，研发新型抗恶劣环境传感器，提高设备可靠性。推动行业统一通信标准，促进设备互联互通。采用云计算、边缘计算结合模式，缓解数据处理压力。建立行业共享数据标注平台，降低数据标注成本。加强产学研合作，加快新兴技术研发与应用转化，制定合理技术发展路线，推动智能监测与故障诊断技术在光伏电站运维中不断完善与创新。

6 结论

本研究全面剖析了智能监测与故障诊断技术在光伏电站运维中的应用。从技术基础、系统架构搭建，到实际应用与协同运作，展现出该技术在提升运维效率、保障电站稳定运行方面的巨大潜力。尽管面临挑战，但随着新兴技术发展与应对策略实施，智能监测与故障诊断技术将持续革新，在光伏电站运维中发挥更关键作用，助力光伏能源产业迈向高质量发展新阶段。

参考文献

- [1] 周瑜.光伏电站安全标准与事故预防措施研究[J].大众标准化,2024,(22):89-91.
- [2] 卢阳,韦阳辉.光伏电站中基于物联网的设备监测与管理技术研究[J].智能物联技术,2024,56(05):141-144.
- [3] 杨静丽,郭宏雷.光伏电站有了“智能管家”[N].中国石化报,2024-09-09(008).
- [4] 杨帆.基于光伏电站的 AI 智能系统开发与应用[J].数字技术与应用,2023,41(10):220-222.

- [5] 张永伟,李贵,马玉权,等.基于高精度快速故障识别的智能光伏视频巡检系统研究[J].电力信息与通信技术,2023,21(06): 73-78.
- [6] 张明月,李桃,陈远祥,等.天然气净化厂分布式光伏发电系统的应用研究[J].太阳能,2025,(02):72-81.
- [7] 祝燕萍,徐严俨,徐呈程,等.考虑时序特性的分布式光伏与储能系统动态优化配置方法[J].电力与能源,2025,46(01):55-60.
- [8] 汤志锐,邱桂华,何引生.基于哈默斯坦模型的分布式光伏发电系统建模与参数辨识[J].自动化与仪器仪表,2025,(02):78-83.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS