光伏发电智能运维系统的设计与实现

赵海啸
大唐（内蒙古）能源开发有限公司　内蒙古 鄂尔多斯　017000

摘　要　光伏发电作为一种清洁、可再生的能源，已成为当前能源转型的重要组成部分。随着技术进步和成本下降，光伏发电得到了广泛应用，并逐渐成为重要的电力来源之一。随着光伏电站的规模不断扩大，如何有效地管理和运维这些庞大、分布广泛的系统，已成为行业面临的重要问题。传统的人工巡检、设备维护和故障处理方式，往往无法满足现代光伏发电系统日益复杂的需求，尤其是在面对日益严峻的能源安全和环境保护要求下，提升光伏电站的运维效率已成为亟待解决的课题。本文重点探讨光伏发电智能运维系统的设计与实现，分析其在数据采集、故障诊断、系统维护等方面的技术对策，旨在推动光伏发电行业向更加高效、智能、绿色的方向发展。

关键词　光伏发电；智能运维系统；设计；对策

Design and Implementation of an Intelligent Operation and Maintenance System for Photovoltaic Power Generation

Zhao Hai-xiao
Datang (Inner Mongolia) Energy Development Co., Ltd., Ordos 017000, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Abstract　Photovoltaic power generation, as a clean and renewable energy source, has become a vital component of the current energy transition. With technological advancements and cost reductions, photovoltaic power generation has gained widespread application and gradually emerged as a significant source of electricity. As the scale of photovoltaic power stations continues to expand, effectively managing and maintaining these large and widely distributed systems has become a critical challenge for the industry. Traditional methods such as manual inspections, equipment maintenance, and fault handling often fail to meet the increasingly complex demands of modern photovoltaic power generation systems, especially under the growing pressures of energy security and environmental protection. Improving the operational efficiency of photovoltaic power stations has become an urgent issue to address. This paper focuses on the design and implementation of an intelligent operation and maintenance system for photovoltaic power generation, analyzing technical solutions in areas such as data acquisition, fault diagnosis, and system maintenance. The aim is to promote the development of the photovoltaic power generation industry toward greater efficiency, intelligence, and sustainability.

Key words　Photovoltaic Power Generation; Intelligent Operation and Maintenance System; Design; Countermeasures

智能运维系统集成了物联网、云计算、大数据和人工智能等技术，实现了对光伏电站设备的实时监控、故障诊断和远程控制，显著提升了运维自动化水平与响应效率。然而，系统在实际应用中仍面临挑战：数据采集的精度与稳定性是其运行基础，但光伏电站常位于偏远地区，复杂的环境条件和设备差异对数据采集设备的准确性与可靠性构成考验；同时，故障诊断与预测技术在光伏领域的应用尚处于探索阶段，现有模型与算法难以完全适应复杂多变的光伏运行环境。

1　智能运维系统在光伏发电中的重要性

随着能源转型的深化，光伏发电作为清洁可再生能源得到广泛应用。智能运维系统通过实时监控与数据采集，全面掌握光伏组件、逆变器及配电系统等关键设备的运行状态。基于实时数据分析，系统可快速识别潜在故障与性能下降，实现预警防控，从而减少电量损失与停机风险。同时，系统借助大数据与人工智能技术，可识别组件遮挡、积污等问题，并提出优化建议，提升发电效率与系统利用率。通过持续监测与预防性维护，智能运维系统有助于延长设备寿命、保障光伏系统长期稳定运行，为可再生能源的可持续发展提供有效支撑[1]。

2　智能运维系统在光伏发电中存在的问题

2.1 数据采集精度稳定性问题

光伏发电系统数据采集精度和稳定性影响智能运维系统的好坏。由于光伏发电设施大多分布在偏远地区，环境因素（天气、温度、湿度、光照等）都会对传感器的性能产生很大影响，造成数据采集不准确或中断。极端气候条件下，风沙、雨水、温差等会干扰传感器，造成传感器采集数据失真或者丢失。光伏组件运行参数（电压、电流、功率等）对精度要求较

高，数据一旦出现偏差，就会造成故障诊断不准确或者发电效能被低估。另外，随着光伏电站规模增大，设备种类数量增加，数据采集设备种类和数量增多，进一步加重了系统中数据传输的复杂性、稳定性问题。

2.2 故障诊断预测能力不足

智能运维系统的故障诊断与预测功能，对于系统的长期稳定运行起着十分重要的作用。但是，现有的智能运维系统还是存在着不少的不足之处。首先，光伏发电系统故障种类繁多，主要有光伏组件故障、逆变器故障、电气连接故障等，各类故障的表现形式也不一样。当前的故障诊断模型很难对不同类型的故障做出准确的判断，特别是对复杂的或者早期的故障，预测能力较差。其次，很多故障诊断系统采用的是一些基于以往数据的统计模型，不能及时对当前的数据进行深层次分析，并且自我优化的能力较弱，无法处理突然出现的系统异常。

2.3 系统维护升级复杂性高

智能运维系统的维护和升级影响其长期的稳定运行。随着技术不断地更新，智能运维系统也必须不断进行维护和优化。但是光伏发电系统包含多种设备和多种技术，系统的升级和维护会遇到复杂的问题。智能运维系统一般由数据采集模块、数据分析模块、故障诊断模块、远程监控模块等组成，各个模块需要分别进行更新和维护。因为系统高度集成、复杂，修改一个模块可能会引发其他模块兼容性问题，维护成本较高。光伏发电规模不断增大，智能运维系统需要具有很强的扩展性。但是由于系统架构在开始的时候并没有考虑到以后可能产生的需求，所以后期的升级一般要对原来的系统做较大的改动，甚至会涉及现有设备和技术的更换[2]。

2.4 环境因素影响数据传输

环境要素对光伏发电系统数据传输稳定情况有着明显的影响，尤其是那些分布比较散乱的光伏电站，数据传输链路是否稳定成了系统运作时的重要问题。光伏电站一般建在阳光充沛的开阔地，会碰到风沙、暴雨、温差变化等自然条件的考验，这就会造成设备被毁坏或者传输线路被干扰。强风或者沙尘暴会损坏传感器，从而影响到数据采集的精确性。在恶劣的气候条件下，电力线路也会出现故障，进而影响到数据传输的连续性。

2.5 系统扩展性灵活性不足

光伏发电智能运维系统在规模扩大、技术升级的过程中，常常会出现扩展性、灵活性不够的问题。随着光伏电站规模的增大，原来的智能运维系统已经不能满足更大的数据采集、处理和存储需求了。现有的系统在初期设计的时候并没有考虑到以后的发展需要，所以当光伏电站进行扩建、新增设备或新模块时，系统必须做烦琐的适配工作。系统架构缺乏灵活性，在面对新增设备或者技术的时候，可能会出现需要大范围重构的情况，从而造成系统更新周期长、成本高。新技术不断涌现，5G通信、人工智能算法等的发展，使得现有的系统技术迭代速度无法跟上光伏产业的发展，造成智能运维系统不能及时地使用新的技术或者设备。

3 智能运维系统在光伏发电中的应用对策

3.1 提升数据采集精度稳定性技术

光伏发电系统中数据采集的精度与稳定性直接决定了智能运维系统的整体性能。提升这两方面需从硬件与传感器入手：采用高精度传感器，如基于激光或红外技术的温度、辐照度传感器，可有效降低环境干扰，确保在极端温湿度条件下仍保持测量准确。同时，传感器布置需科学规划，避免因位置不当导致误差累积。数据传输系统的稳定性亦至关重要。通过采用可靠通信协议、抗干扰设计及5G、LoRaWAN等技术，可保障数据高速、可靠传输，增强实时性与完整性。此外，系统应具备定期自校准功能，对传感器进行检测与校准，以应对硬件长期运行产生的衰减，确保持续稳定运行[3]。

3.2 强化故障诊断预测技术

智能运维系统中的故障诊断与预测能力直接影响光伏发电系统的运维效率。为了加强这一技术，必须从数据分析、模型构建、数据融合等方面入手。表1为技术提升的具体策略。

表1 故障诊断与预测能力的具体方法和作用

技术提升方向	具体措施	作用
数据分析与模型构建精度提升	使用深度学习和机器学习算法对历史数据进行训练，构建精准的故障诊断模型	提高故障诊断准确性，提前识别潜在故障并提供预警，减少系统停机时间
多维度数据融合	融合温度、湿度、功率输出等传感器数据，并结合环境数据（如气象预报、光照强度等）	更全面地分析系统运行状态，提升故障预测精度
专家系统技术应用	结合经验数据与实时数据，应用专家系统对常见故障进行分类与识别	快速识别故障类型，帮助运维人员精准定位问题，减少维修时间和停机时间

3.3 优化系统维护升级技术

随着光伏发电系统的发展和技术的进步，智能运维系统怎样进行有效的维护和升级也成为一个亟需解决的问题。为了简化系统的维护流程，应该使用模块化的设计。把系统分成多个相互独立可以互换的模块，在不影响整体系统的条件下，可以对各个模块做灵活的维护升级。当某个模块的功能需要更新的时候，只需要管理员更新该模块而不必重新创建整个系统，减少维护的工作量，提高效率。另外，使用云计算技术可以简化系统的升级。系统维护、升级都可以远程进行，不需要到现场，大大提高了运维效率。云平台还具有自动化的系统诊断和修复功能，可以及时发现系统潜在的故障或者性能下降的问题，并且可以自动完成优化。为了应对系统规模不断增大带来的挑战，系统升级应该有良好的扩展性。利用开放架构和标准接口使新技术可以无缝接入现有的系统当中[4]。

3.4 应对环境因素通信技术

光伏发电系统通常分布在偏远地区，面临复杂多变的自然环境，环境因素对数据传输与系统通信提出了极大的挑战。为了确保系统的通信稳定性与数据的可靠传输，需要采取一系列技术措施，见表2。

表2 应对环境因素对通信影响的技术方案

技术方向	具体措施	作用
改进通信硬件	选择抗干扰能力强、适应恶劣环境的无线通信设备，如LoRa、5G、卫星通信等	提高系统通信稳定性，确保数据在复杂环境下的可靠传输
加密技术与防护机制	在通信链路中引入加密技术与防护机制，确保数据传输的安全性，抵御外界攻击与自然干扰	增强数据传输安全性，提高系统抗干扰能力
优化数据传输协议	采用高效可靠的数据传输协议，如MQTT协议、TCP/IP协议，减少延迟与丢包现象	保证数据传输的实时性与完整性，减少通信过程中的丢包和延迟
边缘计算技术应用	在数据采集端应用边缘计算技术，进行初步数据处理，减少对远程服务器的依赖	降低带宽需求，提高通信效率，确保在网络带宽受限的环境下也能高效传输数据

3.5 增强系统扩展性灵活性技术

光伏发电系统的规模不断增大，智能运维系统要具有较强的扩展性、灵活性，以适应越来越复杂的设备种类以及运维需求。因此，系统架构的灵活性设计就显得十分重要。使用微服务架构可以使系统模块化，具有更好的扩展性。各个功能模块各自独立运行，可以单独扩展或者替换，无须对整个系统做大规模改动。当新的设备类型或者新技术被引入的时候，只需要在现有的架构上增加相应的模块，不需要重新构建现有系统。另外，使用标准接口以及开放协议可以使新的设备、技术快速接入现有的系统之中，从而达到无缝整合的目的。开放性的结构使系统能够很好地适应新的要求，可以及时更新。云平台具有更好的扩展性。将数据的存储、处理、分析转移到云端之后，就可以对大量数据实施即时处理并加以储存，而且系统能够迅速扩展。云平台按照需要动态地对计算资源进行分配，保证系统在任何负载下都能正常工作[5]。

4 结束语

综上所述，在光伏发电中，智能运维系统有着十分重要的现实意义。光伏电站的系统精度、稳定性和效率得到提升之后，光伏电站的运行可靠性与发电能力就能得到很大程度的提高。虽然目前智能运维系统在数据采集、故障诊断、系统维护等各方面还存在许多问题，但是通过不断改进相关技术，特别是在数据采集精度、故障预测和诊断能力、系统扩展性等方面的提高，能够很好地解决这些问题。对环境因素的通信技术革新，还给光伏发电系统在偏远、恶劣的环境里高效运转提供了保证。智能运维系统会越来越智能、自动化，自适应能力和可扩展性更强，能适应不断扩大的光伏电站规模和多样化运维需求。

参考文献

[1]胡伟,邹江,胡耀蓉,等.基于华为盘古大模型的光伏场站智能运维系统设计及实现[J].电工技术,2024(23):122-126.

[2]刘志其,李博,任大磊,等.基于物联网技术的分布式光伏电站智能运维系统[J].通讯世界,2024,31(6):106-108.

[3]范清亮,刘甲明,付美,等.基于云网一体化的分布式光伏智能运维系统[J].自动化应用,2023,64(11):90-91,94.

[4]张淇昶,王宇.基于物联网技术的分布式光伏电站智能运维系统[J].物联网技术,2023,13(1):137-139.

[5]郭宝甫,舒逸石,李瑞生,等.分布式扶贫光伏智能运维服务系统设计及工程应用[J].电测与仪表,2019,56(7):84-88.

（本文编辑 杜宇琪）