

光伏电站的自动化运维与远程通信技术应用

郑廷富

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司, 贵州 毕节 553100

DOI:10.61369/EPTSM.2025030011

摘 要 : 在世界新能源格局转变为清洁能源的背景下, 光伏电站的规模不断扩张, 传统的运营管理模式已经很难适应新的要求。本文以光伏电站的自动化维护和远程通讯为研究对象, 对其体系结构和关键技术进行了深入的剖析, 对其技术选择和实现途径进行了探索。以实例说明技术运用的成效, 针对技术、管理及经济上的问题提供相应的解决方案。研究表明, 将远程通讯与自动运维相结合, 可以大幅提高光伏电站的运行效率, 提高发电效率并且减少发电成本, 对于促进光伏行业的可持续发展有着十分重要的意义。

关 键 词 : 光伏电站; 自动化运维; 远程通信技术; 智能监测; 故障诊断

Application of Automation Operation and Maintenance and Remote Communication Technology in Photovoltaic Power Station

Zheng Tingfu

Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., Ltd. of State Power Investment Corporation Group, Bijie, Guizhou 553100

Abstract : Against the background of the global energy transformation towards clean energy, the scale of photovoltaic power stations is expanding continuously, and the operation and maintenance mode can hardly adapt to the new requirements. This paper takes the automated maintenance and remote communication of photovoltaic power stations as the research object, deeply analy its system structure and key technologies, and explores its technology selection and implementation paths. The effectiveness of the technology application is explained by examples, and corresponding solutions are provided for technical, management and economic problems. The study shows that the combination of remote communication and automatic operation and maintenance can greatly improve the operation efficiency of photovoltaic power stations, improve power efficiency and reduce power generation costs, which is of great significance for promoting the sustainable development of the photovoltaic industry.

Keywords : photovoltaic power station; automated operation and maintenance; remote communication technology; intelligent monitoring; fault diagnosis

引言

随着世界能源危机与环保问题的日益突出, 光伏作为一种清洁、可再生的新能源, 已成为新一代能源发展的重要趋势。近几年, 光伏发电装机不断攀升, 2023年将新增装机1.5亿千瓦, 累计装机规模已居全球第一。但随着电站规模的增大, 传统的人工巡检和经验管理方式已显现出效率低下、成本高昂、故障响应缓慢等问题, 已成为制约光伏发电企业经济效益与可持续发展的重要因素。

电力系统的自动化运行和远程通讯技术的兴起, 光伏发电系统维护管理方式的革新带来了新的机遇。利用智能监测、故障诊断、预测维修等方法, 对电厂设备进行实时监测和精确管理, 远程通讯为电厂提供有效的数据传送和遥控手段, 使得操作人员不必到现场就能了解电厂的运行状况。本文对光伏发电系统的运行机理、应用效果和挑战进行深入剖析, 采用理论分析和实证研究的方式, 对产业的技术升级和运营模式的创新具有重要的借鉴意义。

一、光伏电站自动化运维技术

(一) 自动化运维系统架构

1. 数据采集层

数据采集层是自动化运维系统的基础, 该系统的核心工作就

是采集各种设备的工作状态和环境参数。在电池模块方面, 通常采用电压和电流传感器对电池的发电特性进行实时监控, 并利用温度传感器对电池的表面温度进行检测, 从而对电池的热斑效应进行评估。由此设计一种新型的太阳能电池系统, 通过采集太阳能电池的光强、温度、湿度、风速等数据, 为研究太阳能电池的发电效率提

作者简介: 郑廷富 (1993.07—), 男, 汉族, 贵州六枝人, 学历或职称: 本科, 助理工程师, 研究方向或工作领域: 从事光伏通讯及自动化专业。

供重要的依据。比如，一座大规模的光伏电站，通过在每个光伏单元阵列之间布置多个传感器，以每秒1次的频率对各个单元的工作状态进行精确的监控，保证系统中的异常信息能够被及时地捕获。

2. 数据传输层

数据传输层负责将采集到的数据高效稳定地传输到数据处理中心，光纤以其高带宽、低时延、抗干扰等优点，被广泛地应用于大规模光伏电站建设内部骨干网。而在边远地区、地形复杂、布线难度大的地方，采用无线通讯技术具有明显的优势。采用4G、5G通讯技术，可以达到较快的数据传送速度，达到实时监测的要求；低功耗的广域网技术，如LoRa，非常适合小数据量和功耗敏感的传感节点。比如，在中国西北戈壁滩上，工作人员将4G和光纤混组网，既能满足实时的数据传输，又能减少工程造价。

3. 数据处理与管理层

数据处理和管理是整个生产过程中的“大脑”，它承担着对大量数据的深入分析和价值发掘的任务。在硬件上，为了满足海量的数据存储和计算的需要，一般都是使用高性能的服务器集群来建立数据处理中心，该软件将数据的存储、清理和分析等功能模块结合起来，采用大数据分析的方法实现对设备运行数据的多维度分析。通过构建装备性能评价模型，实现对电站发电效率、部件损耗率等关键参数的实时估算，为运营管理决策提供依据。比如，一座光伏电站经过一系列的数据处理，发现在一定的时间周期内，逆变器的效率不断降低，经过分析确定是散热风机的故障，并采取相应的维修措施避免更大的损失。

（二）自动化运维关键技术

1. 智能监测技术

智能监测技术针对光伏电站运行中存在的问题，基于机器学习与深度学习的智能监控方法，以光伏组件为研究对象，采用卷积神经网络（CNN）对其进行建模，实现组件表面裂纹、粉尘覆盖等故障特征的提取。申请人所在课题组通过搭载热成像的无人机获取部件表面的温度信息，并采用深度学习方法对部件表面的热斑进行自动识别，达到95%以上的精度。另外，通过智能监控技术，可以实时地分析环境因子，比如通过气象预报来预测发电功率的变化，从而预先调整运行和维护策略。

2. 故障诊断技术

光伏发电系统的故障有多种，主要有光伏组件的短路、逆变器的故障，以及汇流箱的故障等。故障诊断是指通过对设备的工作状态进行分析，从而迅速地对其进行定位和故障诊断。而故障诊断算法通过预先设置的门限，并结合相应的逻辑规则对系统进行故障诊断，通过建立一个设备的数学模型，并将其与实际操作数据进行比较，从而实现故障的诊断。近年来，以人工智能为基础的故障诊断技术得到了快速发展，例如使用长短期记忆网络（LSTM）对时序数据进行分析，可以有效地预测逆变电源的功率波动等故障。

3. 预测性维护技术

预测维修是指通过分析装备的历史与实际操作信息，对装备的剩余寿命及失效概率进行预测，从而达到从被动维护到主动维护的目的。通过对设备振动、温度、电流等多个参数的变化趋势进行分析，并利用PSO对预测模型进行优化，以提高预测精度。

采用预测维修技术，使逆变器的平均失效周期由120天提高到180天，维修费用减少30%，进而建立一套科学的检修方案，有效地降低机组的非正常停工时间，提高机组的发电效率。

二、远程通信技术在光伏电站的应用

（一）远程通信技术选型

1. 不同通信技术特点

各种远程通讯技术在性能和成本上都有自己的特色，4G/5G具有高传输速率和低延迟的特点，其理论峰值速率可以达到10Gbps，能够满足高清视频监控和数据实时传输的要求，但是其网络覆盖受限，应用成本高。卫星通讯不受地域条件的制约，适合在边远地区使用，存在着延迟大，带宽受限等缺点^[1]。光纤通讯以其带宽高、损耗小、抗干扰能力强等特点而被广泛应用于大规模光伏发电系统的内部网中，但存在着铺设成本高，建设困难的问题。LoRa具有低功耗、大范围覆盖等优点，能够在几十米的范围内进行数据传输，非常适合应用于对能量需求较高的传感节点进行通讯。

2. 光伏电站场景适配性分析

由于光伏电站的地理位置、规模以及对数据传输的要求，选择合适的通讯方式是至关重要的。在城区外围或通讯条件较好的区域，应优先采用4G/5G通讯方式，以满足高速数据传输需求；针对偏远山区和沙漠地区的大规模光伏电站，可以将卫星通信和无线自组织网络联合起来，以保证稳定的数据传输。LoRa是一种适合于小型数据采集的传感器；针对青藏高原地区地形复杂、人口稀少等问题，提出基于卫星通信和4G备用网络的混合组网方法，以保证电网和监测中心之间的可靠通讯。

（二）远程通信系统实现

1. 通信网络搭建

建立光伏电站的远距离通信网，需要从内网和外网两个方面进行全面的考虑。在企业内部网中，设备之间的互联一般是通过工业以太网或者无线网状网来实现的。在大规模的光伏发电系统中，为了提高系统的可靠性，可以在某个链路发生故障的情况下，将系统中的数据自动转入备用链路进行传输^[2]。在对外连线上，依据通讯技术的选择，通过运营商基站和卫星地面站等设备与因特网相连，并与远端监测中心或云端进行数据交换。比如，一座光伏电站以工业级路由器为入口，通过4G网络将其内部设备的数据转化成标准的通讯协议，并将其上载到云端，使操作人员可以通过移动端的APP，实时了解电厂的工作状况。

2. 数据安全保障

在远程通讯系统中，数据安全性是一个非常关键的问题，它关系到数据的传输与存储。为了有效地保护用户的信息安全，可以基于SSL/TLS的安全认证方法，在数据的存储上，采取分布式的存储方式，使数据在不同的节点上分布，从而增强了数据的冗余性，增强系统的抗干扰能力。在此基础上，设计一套严格的权限控制机制，为不同的用户设定相应的权限，从而有效地避免用户的非法访问。定期检查和修补网络的漏洞，并使用IDS、防火墙等设备来保证通讯网络的安全。

三、光伏电站自动化运维与远程通信技术应用的挑战与对策

（一）技术挑战

1. 系统集成难题

由于光伏电站的设备多为多家生产厂家生产，通讯协议及接口规范不一，难以整合。比如，一些光伏组件使用 Modbus，逆变电源使用 IEC61850，为了实现不同规格之间的数据交换，必须研制专门的转换模块。另外，新老设备之间的兼容性也给系统的整合带来困难，要解决这个问题，就必须建立一个标准化的通讯标准，并促使各设备制造商采纳标准化的接口与协议，设计通用的通讯中间件，以支持各种协议器件之间的数据交换和互连。

2. 数据处理压力

随着光伏电站规模的不断扩大，传感器数目的不断增多，海量的数据也呈现出爆炸式的增长，这对数据的处理造成很大的压力。现有的数据处理平台已经很难适应对海量数据进行实时存储和分析的要求，利用云计算技术与边缘计算技术的融合，可以有效地减轻系统的运行负荷。边缘计算通过对数据的局部预处理，剔除冗余的信息，并将其上载到云平台以供深入分析。比如将边缘计算节点部署到分布式光伏电站，实时处理各节点的运行数据，只向云平台上载异常及统计分析，以降低数据传输和云计算负担^[9]。

3. 通信稳定性问题

边远地区的通讯基础设施较差，存在信号微弱、网络覆盖不足等问题，且暴雨、沙尘等恶劣天气也会对通讯品质造成不利影响。为了保证通信的稳定，可以采取多链路的备用方案，例如 4G 网络、卫星网络和无线网络网络，在其中一条线路失效后，可以自动切换到其它线路上。在设备选择方面，选用高可靠的通讯模组，强化通讯装置的保护，增强通讯器材的适应性。

（二）管理挑战

1. 运维人员技能要求转变

随着自动化运行和远程通讯技术的广泛使用，对运行维护人员的业务能力提出更高的要求。传统的运行维护人员对设备的运行和机器维护非常熟悉，但是在数据分析、程序设计、网络通讯等方面却很欠缺。通过对网络维护人员进行有针对性的训练，包括对机器学习算法、通讯网络管理等进行培训，以提高其数字技

术水平。同时引入具有一定背景的技术人员，充实运营管理队伍，促进运营管理由“经验”到“数据驱动”的转型。

2. 安全管理风险

由于远程通讯技术的广泛使用，使得光伏电站面临着网络攻击和数据泄露等方面的威胁。黑客可以藉由侵入通讯网络、修改装置的控制命令、盗取电厂的操作资料等方式达到破坏通讯网络之目的。同时建立健全的安全管理体系，定期对系统进行安全评价和漏洞检测，加强对人员的安全教育，避免由于人为错误而造成的安全事故，通过加密、访问控制、入侵检测等技术，建立一套完整的网络安全防御系统^[4]。

（三）经济挑战

1. 前期建设成本高

自动维护和远程通讯系统的建设涉及到传感器、通讯设备和服务器等硬件的购置，同时还需要进行软件的开发和部署，因此需要投入大量的前期资金。通过对体系结构的合理规划，分阶段进行施工，减少一次投资的压力，申请清洁能源发展专项基金、通过融资租赁等方式购买设备，以减轻企业的财务压力。

2. 投资回报周期长

虽然自动化运行和远程通讯可以改善电厂的发电效率，减少运行维护费用，但是其初期投资巨大，导致投资回收期的延长。在此基础上，基于电力市场交易和数据服务的新思路，即通过优化运营管理策略，提升电厂的运行效率并扩大电厂的收益来源，进而强化工程造价控制，对运营费用进行精细化管理，缩短投资回收期。

四、结语

将光伏发电系统的自动化运行和远程通讯技术用于光伏发电系统的智能化和高效率发展是非常重要的。在此基础上，结合工程实例，提出一种基于分布式电源的分布式发电系统，可有效提高电站运行效率，提高发电效率以及减少发电成本。但是该技术的实用化还面临着技术整合、数据处理和安全管理等多重挑战，今后，还需要加大技术研究和创新力度，健全产业标准，培训专业人员，促进光伏发电系统的自动化运行和远程通讯技术的深入应用，为“双碳”战略的实施做出贡献。

参考文献

- [1] 刘刚，许艾，徐延明，等. 变电站自动化设备远程运维关键技术研究与应用 [J]. 电力信息与通信技术, 2025, 23(01): 68-75.
- [2] 邱帅. 光伏电站智能化运维技术的分析与应用 [J]. 通信电源技术, 2024, 41(21): 225-227.DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2024.21.075.
- [3] 张伟. 基于 5G 通信技术的变电站远程监控与运维方案探索 [J]. 通信电源技术, 2024, 41(13): 197-199.DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2024.13.066.
- [4] 卫伟，范军太，焦岚轶，等. 继电保护远程运维管控技术研究与应用 [J]. 煤炭技术, 2021, 40(06): 197-201.DOI: 10.13301/j.cnki.ct.2021.06.053.
- [5] 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(01): 51-54.
- [6] 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与实现 [J]. 电工技术, 2024, (23): 122-126.DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2024.23.029.
- [7] 田昕泽. 含高比例分布式光伏的配电网无功电压控制策略 [D]. 南京邮电大学, 2023.DOI: 10.27251/d.cnki.gnjdc.2023.000251.
- [8] 王金涛，冷智涛，刘海洋，等. 新能源场站主动支撑技术研究及应用 [J]. 新型电力系统, 2024, 2(04): 458-476.DOI: 10.20121/j.2097-2784.ntps.N20240006.
- [9] 沈宁. 基于数据驱动的智能电网光伏能源预测方法研究 [J]. 能源与环境, 2024, 46(11): 193-197+204.DOI: 10.19389/j.cnki.1003-0506.2024.11.030.
- [10] 李书勇. 特高压混合多端直流实时数字仿真试验关键技术与应用研究 [D]. 华南理工大学, 2023.DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2023.005735.