

Study on the key differences and difficulties in operation and maintenance of centralized and distributed photovoltaic power stations

Wei Zhang Hongxi Du Zheng Fu

No.8, Hunnan Road, Hunnan District, Shenyang City, Liaoning Province, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

In the context of global energy transition, the installed capacity of photovoltaic power generation continues to expand. Centralized and distributed power stations face differentiated operation and maintenance models due to differences in application scenarios. Centralized power stations rely on “vertical management + intelligent technology,” achieving large-scale operation and maintenance through SCADA systems and AI algorithms. However, high-voltage grid connection and cross-regional coordination increase complexity. Distributed power stations, on the other hand, focus on “grid-based collaboration + lightweight tools.” While they can flexibly adapt to user needs, they are constrained by equipment heterogeneity and localized services. Research findings indicate that centralized O&M must balance high-voltage system risks with grid coordination, while distributed O&M needs to address data integration and hidden fault challenges. The common pain points for both lie in the contradiction between O&M costs and efficiency.

Keywords

photovoltaic power station; operation and maintenance; key differences; difficulties

集中式与分布式光伏电站运维重点差异及难点研究

张威 杜宏曦 付峰

辽宁省沈阳市浑南区浑南二路八号, 中国·辽宁 沈阳 110000

摘要

全球能源转型背景下, 光伏发电装机规模持续扩大, 集中式与分布式电站因应用场景差异面临运维模式分化。集中式电站依赖“垂直化管控+智能化技术”, 通过SCADA系统与AI算法实现规模化运维, 但高压并网与跨区域协调推高复杂度; 分布式电站则以“网格化协作+轻量化工具”为核心, 虽灵活适配用户需求, 却受设备异构性与本地化服务制约。研究发现, 集中式运维需平衡高压系统风险与电网协同, 分布式运维需破解数据整合与隐性故障难题, 而两者共性痛点集中于运维成本与效率的矛盾。

关键词

光伏电站; 运维; 重点差异; 难点

1 引言

目前, 全球能源结构加速向低碳化转型, 光伏发电作为清洁能源的重要组成部分之一, 装机规模不断扩大。集中式的光伏发电站凭借其规模化效应与高效发电率, 成为大基地项目的主流选择; 分布式的光伏发电站依托“自发自用+余电上网”的模式渗透至工商业屋顶、户用住宅以及农光互补等领域。然而, 随着集中式与分布式光伏电站的快速普及, 其运维复杂性与技术需求差异日益凸显。集中式光伏电站需要应对大规模设备集群管理、极端环境适应性及电网调峰协同等挑战; 分布式光伏电站受制于设备分散性、用

户侧利益协调及配电网承载能力限制。现有研究多聚焦单一场景, 缺乏对集中式与分布式光伏电站运维体系的全方位对比与难点系统性的分析。为此, 本研究从运维模式、技术应用及管理策略维度切入, 对比分析集中式与分布式光伏电站的运维重点差异, 揭示其背后的技术与管理逻辑, 并提出差异化应对策略。

2 集中式与分布式光伏电站运维模式对比

2.1 管理体系与组织架构差异

2.1.1 集中式: 垂直化、集约化管控体系

集中式光伏电站的运维管理是以规模化和标准化为核心, 集中式光伏电站通常采用中央监控加区域维检的垂直管理体系。集中式光伏电站在建设初期时就会规划统一的监控中心, 使用数据采集与监视控制系统对全电站的设备进

【作者简介】张威(1972-), 男, 中国辽宁抚顺人, 本科, 工程师, 从事新能源研究。

行实时监测，监测范围包括有逆变器、汇流箱、箱变等关键的节点，从而形成中央决策区域执行的层级结构。例如，在 1GW 的集中式光伏电站中可能会划分多个运维区域，在每个运维区域中配置专业的团队负责设备巡检、故障处理以及数据上传等工作，同时，还会依托智能化平台来实现跨区域资源调配与应急响应。这种模式需要借助高度标准化的流程，来确保运维效率与安全。

2.1.2 分布式：网格化、协作式运维网络

分布式光伏电站的运维管理特征呈现的是分散化和多主体协同，其通常采用业主自治加第三方协作或者区域代理运维的模式。由于分布式光伏电站的规模小，而且较为分散，其运维的主体包括业主自委、专业公司外委或混合合作模式，例如，在工商业屋顶的分布式电站可能由业主自行完成基础清洁与简单的故障排查，复杂的问题则是委托第三方运维商进行处理。这种模式的灵活性比较高，但是管理复杂度和难度大，需要协调多方的利益，而且缺乏统一的技术标准与数据接口，容易导致运维响应延迟或者责任推诿等问题。

2.2 技术应用与设备管理策略差异

2.2.1 集中式：智能化、自动化技术驱动

集中式光伏电站的技术应用是以全生命周期数据驱动为导向，其中强调智能化和自动化。集中式光伏电站的核心设备通常配备的有远程诊断模块，结合 AI 算法实现故障预测和发电优化功能。例如，集中式光伏电站可以通过机器学习分析历史发电数据，预判组件衰减的趋势，然后制定预防性的维护计划。集中式的光伏发电站的储能系统与电网调度深度耦合，其中的技术复杂程度显著高于分布式光伏电站。

2.2.2 分布式：轻量化、适配性技术适配

分布式光伏电站的技术应用更侧重于用户侧的需求响应与快速修复，其以轻量化的工具与灵活适配为核心。分布式光伏电站的设备大多具备有即插即用的特性，运维的相关工具以移动终端和轻量化的平台为主，例如，分布式光伏电站可以通过手机 APP 来实时查看发电数据，接收预警信息等。分布式光伏电站也有着不同品牌逆变器混用数据接口标准不统一，导致多个发电站之间的数据整合与分析出现困难。另外，屋顶光伏的电气安全与建筑结构安全需要定制化的解决方案，相比较集中式的光伏发电站而言，技术门槛比较高。

2.3 运维流程与协作机制差异

2.3.1 集中式：全流程标准化与专业化分工

集中式光伏电站的运维流程强调的是标准化和专业化的分工，运维流程中涵盖的有预防性维护、故障消缺、调度响应等环节。例如，集中式光伏电站的设备需要定期巡检，且要按照统一的标准执行，故障的处理需要通过中央调度中心协调技术、物资以及人力资源，确保能够做到快速响

应。集中式光伏电站通常还会建立完善的运维知识库与应急预案，通过大数据分析优化维护的周期，并与电网调度系统进行深度协同，实现发电计划与复合需求的动态匹配。

2.3.2 分布式：碎片化响应与多方协作

分布式光伏电站的运维流程则呈现出碎片化和快速响应的特征，其需要应对多主体协作的难题。例如，在业主自为的模式下，分布式光伏电站的运维人员需要同时处理技术问题以及和业主进行沟通，第三方的运维人员则需要协调设备的供应商、电网公司以及业主的利益，这意味着分布式光伏电站的流程灵活性虽然高，但是规范性却有不足。另外，分布式光伏电站的故障修复，需要依赖于本地化的服务网络，需要建立快速的响应机制，但是分布式光伏电站目前缺乏统一的运维质量评估标准。

3 运维重点差异分析

3.1 设备维护策略的差异

3.1.1 集中式光伏电站

集中式光伏电站的设备维护以系统性、标准化为核心，强调电站全生命周期的设备健康管理。^[1]集中式光伏电站的维护策略基于规模化设备集群的特性，需要建立统一的维护标准和流程。例如，集中式光伏电站中的关键设备需要按照固定的周期来进行预防性的试验（如绝缘电阻测试，接地电阻检测），然后还要通过 SCADA 系统实时采集设备的运行数据，之后结合 AI 算法预测设备老化的趋势，集中式光伏电站的组件清洗还需要采用机械化的设备来应对，大面积组件表面积灰的问题，而且维护的团队需要具备高压电作业的资质，定期执行电缆耐压测试等专项检测。

3.1.2 分布式光伏电站

分布式光伏电站的设备维护需要以快速修复和用户侧需求为导向，注重灵活性和经济性。分布式光伏电站的设备维护大多依赖远程诊断和本地化服务相结合的方式，比如，维护人员通过智能配电箱监测逆变器的运行状态，在发出故障告警信号时派遣技术人员进行专门处理。分布式光伏电站在屋顶的光伏组件的清洗，常常由业主自行完成。但是分布式光伏电站中不同品牌逆变器混用的现象导致设备维护的标准难以统一，专业的维护人员也可能会忽视隐性的故障。

3.2 技术应用深度的差异

3.2.1 集中式光伏电站

集中式光伏电站构建了全栈技术体系，以智能化、集成化为特征。集中式光伏电站的核心设备集成了边缘计算模块，可以自主执行故障诊断和功率优化，其依托了无人机巡检 AI 图像识别等技术，大幅提高了设备组件热斑检测的精度。集中式电站的储能系统和电网进行了深度的协同调度，其技术的复杂度显著高于分布式光伏电站。

3.2.2 分布式光伏电站

分布式光伏电站的技术应用偏向于轻量化和场景适配,要求低成本和易用性。分布式电站的设备大多采用即插即用的设计,运维的工具以移动终端 APP 为主,APP 支持查询发电量,解读故障代码等基础功能。分布式光伏电站在部署的过程中,需要应对复杂的建筑环境,所以需要定制化的监测方案。这就导致分布式光伏电站难以实现精细化的能效管理,比较依赖于第三方平台提供数据分析服务。

3.3 安全管理与并网要求的差异

3.3.1 集中式光伏电站

集中式光伏电站的安全管理需要遵循严格的电力行业规程,需聚焦于高压系统风险防控之上。^[2]集中式电站的并网环节涉及到升压站、高压开关站等一系列设施,需要执行继电保护定值整定、电能质量测试等复杂流程,而且还要和电网调度中心建立实时的通信机制。集中式电站的防雷接地系统还需要满足跨区域一致性的要求,接地的电阻通常需要控制在 4Ω 以内,并且还需要定期进行冲击耐压试验。

3.3.2 分布式光伏电站

分布式光伏电站的安全管理方面需要侧重用户侧安全和电网适应性。分布式电站的并网要以低压侧接入为主,重点防范反送电风险,例如,分布式电站可以通过智能断路器实现双向潮流监测,并配置防逆流的装置。对于在居民屋顶安装的光伏电站,需要简化安全操作的流程,还需培训用户,使用户可以掌握基础的安全技能。

4 运维难点及应对策略

4.1 集中式电站: 高压系统风险与电网协同复杂性

4.1.1 难点

集中式光伏电站因为涉及到高压并网等原因,需要应对电网波动、谐波污染、无功补偿等一系列复杂问题,例如,大规模的逆变器集群有可能会引发电网的频率波动,这时就需要通过动态无功补偿装置实时进行调节,但是设备响应的延迟可能会导致电能的质量不达标。^[1]另外,集中式电站与电网调度中心的通信协议差异也容易造成数据解析的错误,影响有功或无功指令执行精度。

4.1.2 策略

在技术层面,集中式光伏电站可以部署无人机加机器人巡检系统,减少高危区域人工操作的风险;在管理层面,集中式光伏电站可以和电网公司共同建立故障预警协同体系,共享故障数据和气象信息通过 AI 算法预测电网波动,并提前调整;在标准层面,应当统一集中式光伏电站和电网调度中心的通信协议接口,开发智能配电终端支持双向潮流监测,从而确保故障隔离时间小于等于 200ms。

4.2 分布式电站: 设备异构性与数据整合困难

4.2.1 难点

分布式光伏电站设备的品牌混杂,有华为、阳光、固德威等逆变器品牌并存,不同品牌之间数据接口的协议不统一,导致多电站的数据难以进行整合分析。布置在屋顶的分布式光伏电站会有阴影遮挡、积灰等问题存在,传统的巡检难以精准的定位热斑,这时就需要依赖红外热像仪进行逐点排查,导致效率较低。

4.2.2 策略

首先要技术标准化,开发轻量化的巡检管控平台,减少人工判读的误差。然后建设数据中台,构建边缘计算网关统一采集不同品牌设备数据并转化为标准化格式。最后还要创新运维的模式,推行模块化的备件库,降低因备件短缺导致的电站停机损失。

4.3 两者共有: 运维成本与效率的平衡

4.3.1 难点

集中式的光伏电站虽然规模效应显著,但是设备的复杂程度高,维护周期长,标准化程度高;分布式光伏电站虽然有点多面广的特性,但是需要高频次的巡检,还有本地化服务网络不完善,平均故障修复时间长的缺点,甚至于分布式电站权责纠纷率也很高。

4.3.2 策略

集中式光伏电站可以采用集中监控加区域维检的模式,划分 500MW 以上区域运维中心,建立健全两小时巡检圈,及时消除电站缺陷,提高电站运维水平。分布式光伏电站可以建立线上监控和线下快修的网格体系,开发智能诊断的知识库,通过移动端实现工单闭环管理,缩短故障维修时间。

5 结论

集中式和分布式光伏电站的运营差异本质上是规模效应和灵活性的博弈,二者在设备维护、技术应用和安全管理上的差异,反映了能源转型中集中管控和分布式自治的矛盾。未来,随着虚拟电厂,数字孪生等技术的普及,两类运维模式将逐步打破边界,但是无论技术如何演进,核心逻辑始终不变,只有将标准化与个性化相结合,效率与安全并重,才能让光伏发电真正成为可持续的能源支柱。

参考文献

- [1] 艾勇兵. 新能源光伏电站发展现状及规划设计[J]. 光源与照明, 2025, (01): 153-155.
- [2] 江川. 分布式光伏电站并网对区域电网电压与电流稳定性的影响[J]. 电力设备管理, 2025, (01): 79-81.
- [3] 袁杰. 新能源光伏电站项目建设管理思考[J]. 冶金与材料, 2020, 40(06): 155-156.