

集中式光伏电站运维管理与发电效率提升策略研究

杨 勇

中核汇能新疆能源开发有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：在“双碳战略全面推进的背景下，我国集中式光伏电站装机规模持续攀升，已成为新型电力系统的核心组成部分。集中式光伏电站具备规模化布局、设备集群化运行、运维范围广、户外工况复杂等特征，设备运维管理水平直接决定电站发电效率、运行稳定性与经济效益。当前多数集中式光伏电站存在核心设备性能衰减、故障频发、运维模式粗放、精细化管控缺失等问题，造成系统发电效率偏低、运维成本居高不下。本文以光伏组件、汇流箱、逆变器、箱变四大核心设备为研究对象，系统剖析各类设备典型故障与运维短板，构建全生命周期精细化运维管理体系，同时从智能运维、参数优化、环境适配、系统升级、制度管控多维度搭建发电效率提升体系，为集中式光伏电站降本增效、安全稳定运行提供理论支撑与实践参考。

关键词：集中式光伏电站；核心设备；运维管理；精细化管控；发电效率

1 引言

双碳转型背景下，光伏因清洁可再生、资源充足成为新能源核心。集中式光伏电站多落地荒漠、山地，单机容量大、并网层级高，是电力保供与降碳关键支撑。其设备总量多、点位分散、运维范围广，常年经受风沙、高低温、雨雪霜冻侵蚀，核心设备易老化故障、性能衰减。当前国内集中式光伏普遍沿用人工巡检、故障后抢修的粗放运维模式，标准不一、故障处置滞后、缺少预维护，设备故障频发，发电效率无谓损耗达5%~15%，大幅拉低电站收益与产能利用率。本文梳理光伏核心设备运维难题，重构运维逻辑，配套精细化运维方案，深挖增效路径，推动电站运维标准化，最大化发电产能。

2 集中式光伏电站核心设备运行故障与运维现存问题

集中式光伏发电系统由光伏组件阵列、汇流箱、逆变器、箱式变压器及配套监控、线路设备组成，各设备逐级完成光能转换、电能汇集、交直流变换、升压并网全过程。任一设备出现故障或性能衰减，都会造成发电链路中断、功率损耗增加，最终导致整体发电效率下降^[1]。当前电站运维工作针对性不足、精细化程度低，各类核心设备均存在典型运维短板。

2.1 光伏组件运维现存问题

光伏组件是光电转换的核心单元，其运行状态直接决定基础发电效率。当前组件运维主要存在四大问题：一是表面污染遮挡严重，户外环境中的沙尘、鸟粪、落叶、积雪长期附着板面，大幅降低透光率，极易引发局部热斑效应，未及时清洁的组件可造成8%~12%的发电损耗；二是隐性故障与老化问题突出，长期高低温交替、

风沙冲刷会导致组件玻璃开裂、封装胶老化、电池片隐裂、PID电势诱导衰减等问题，传统人工巡检难以识别隐性缺陷，造成组件功率持续衰减；三是运维操作不规范，盲目清洁、高压水枪冲刷、硬质工具擦拭等不当操作易划伤板面、损坏封装层，加速设备老化；四是阵列匹配性差，老旧电站多存在组件型号混杂、衰减速率不一的问题，串联支路功率失衡，形成木桶效应，拉低整列发电功率^[2]。

2.2 汇流箱运维现存问题

汇流箱作为连接光伏组件与逆变器的中间核心设备，承担直流电能汇集的关键作用，其运行异常会直接导致单支路甚至多支路发电中断。当前汇流箱运维短板较为突出：一是密封防护性能衰减，长期户外运行致使箱体密封胶条老化、接线端口松动，沙尘、雨水易侵入箱体，引发线路氧化、虚接、短路，造成支路电流异常、发电功率骤降；二是监测模块失效，电流、电压、温度监测模块长期运行易出现数据漂移、监测失灵，后台无法精准定位故障支路，大幅增加排查难度；三是支路配件运维滞后，支路熔断器熔断、断路器误跳闸等高频小故障排查不及时，导致电站长期缺支发电；四是防雷接地运维缺失，接地装置锈蚀、接地电阻超标，雷雨天气易产生感应过电压，损毁设备元器件，影响系统稳定运行。

2.3 逆变器运维现存问题

逆变器负责直流电与交流电的转换及最大功率点跟踪（MPPT），是调控发电功率、保障电能质量的核心设备，转换效率直接决定系统电能利用率。其运维现存问题主要包括：一是散热系统运维缺失，长期高负荷运行

导致防尘网堵塞、散热片积尘、风扇卡顿,设备内部高温易触发降功率保护甚至停机,造成发电中断;二是故障预警滞后,传统运维仅依托基础后台监测,无法提前识别直流过压、漏电流超标、功率不足等隐性故障,多为故障停机后被动维修,发电量损耗严重;三是参数适配性不足,光照、温度环境变化后,MPPT参数未动态调整,导致逆变器无法稳定工作在最大功率点;四是定期校准与老化运维缺失,元器件长期运行老化衰减,未及时校准参数、更换配件,设备转换效率逐年下降。

2.4 箱变运维现存问题

箱式变压器承担低压交流电升压并网功能,是电能输送的关键设备,运行稳定性直接影响并网效率。箱变运维现存短板:一是精细化巡检不足,户外布置的箱变易出现柜体密封不严、雨水渗漏、壳体锈蚀等问题,人工巡检难以发现内部端子松动、绝缘层老化等细微隐患;二是温负荷管控缺失,夏季高温高负荷工况下,箱变散热不畅、油温及绕组温度超标,易出现过载降容、跳闸停机等问题,降低变电效率;三是预防性试验流于形式,绝缘测试、直流电阻检测、耐压试验等常规试验落实不到位,无法提前排查设备潜在故障;四是运维台账不规范,故障处置、检修改造记录不完善,无法实现设备全周期溯源,重复故障频发。

3 集中式光伏电站核心设备精细化运维管理提升策略

针对四大核心设备的故障特征与运维短板,秉持“预防为主、防治结合、精准管控”的原则,建立标准化、精细化、常态化的全周期运维体系,规范各设备运维流程与标准,从源头降低设备故障率,保障设备最优运行状态,为发电效率提升筑牢设备基础。

3.1 光伏组件运维管理提升策略

针对组件积污、老化故障、阵列失配问题,搭建清洁、故障检测、衰减管控、阵列优化全流程运维体系。施分区差异化清洁:依据场区环境制定清扫规范,使用低压软水与专用毛刷,禁用硬物、腐蚀药剂;结合辐照、积污、发电损耗确定清扫周期,减少无效作业。依托红外热成像、IV检测排查热斑、隐裂、PID衰减等隐性缺陷,轻微故障及时修复,衰减超20%组件集中更换;配套PID抑制装置与定期电位修复,减缓功率衰减。统一阵列内组件型号与功率,定期对比支路输出,重组失衡支路消除短板;建立组件全生命周期台账,实现运行状态溯源与故障预判。

3.2 汇流箱运维管理提升策略

围绕汇流箱密封防护、支路运行、监测精度、防雷接地四大核心维度,建立精细化支路运维体系。一是常

态化防护运维,每季度检查箱体密封胶条、接线端口状态,更换老化密封配件,加固接口、除锈补漆,做好防水防尘防腐处理,杜绝外界环境侵蚀内部线路。二是精准开展支路运维,每月逐支路检测电流、电压参数,对比分析运行差异,及时排查处理熔断器熔断、线路虚接、支路短路等故障,更换老化失效的断路器、熔断器,避免长期缺支发电。三是校准监测设备精度,每半年对汇流箱电压、电流、温度监测模块进行校准,更换数据漂移、监测失灵的模块,保障后台数据精准,为故障定位、效率分析提供可靠支撑。四是强化防雷接地运维,每季度检测接地电阻与防雷模块运行状态,清理接地装置锈蚀杂物,雷雨季节前完成专项防雷检测,及时更换失效器件,防范雷电冲击损坏设备,保障电能汇集系统稳定运行^[3]。

3.3 逆变器运维管理提升策略

以优化散热性能、精准参数调控、提前故障预警、延缓设备老化为核心,建立逆变器标准化运维机制。一是落实月度散热专项养护,及时清理防尘网、散热片积尘,检查散热风扇运行状态,更换卡顿、异响故障风扇;夏季高温时段提前开展散热排查,按需加装辅助散热设备,杜绝高温降功率、停机问题。二是动态优化运行参数,依托智能监控系统,实时采集光照、温度、组件功率数据,动态微调MPPT跟踪参数,保障设备持续锁定最大功率点;优化弱光工况启停参数,降低待机损耗,提升弱光发电利用率。三是建立智能预警与快速处置机制,实时监控逆变器输入输出功率、温度、漏电流等核心参数,设置多级预警阈值,实现故障提前预判,建立故障台账分类整改,降低故障复发率。四是定期校准与老化运维,每半年校准设备转换效率、电能质量参数,每年开展整机性能检测,及时更换老化电容、控制元器件,延缓设备性能衰减,保障转换效率稳定。

3.4 箱变运维管理提升策略

针对箱变受潮、过热、绝缘老化、故障频发等问题,构建巡检、试验、管控、台账一体化运维体系。一是细化巡检标准,实行每日远程监测、每周现场巡检制度,重点排查柜体密封、接线端子、绝缘层、油温、接地装置等关键部位,及时修复密封破损、端子氧化松动等细微隐患。二是落实预防性试验,每半年开展绝缘电阻、直流电阻、接地电阻检测,每年完成耐压、变比试验,精准排查绝缘老化、设备损耗超标等潜在隐患,杜绝突发性停机故障。三是优化负荷与温度管控,高温高负荷时段实时监测箱变运行参数,合理调控并网功率,避免设备长期过载、超温运行,对老旧高损耗箱变开展

升级改造,提升变电效率。四是完善全生命周期台账,详细记录巡检数据、试验报告、故障处置、检修改造信息,通过数据分析预判设备老化趋势,实现被动维修向主动预防性运维转型。

4 集中式光伏电站发电效率综合提升策略

精细化设备运维是发电效率提升的基础,为进一步挖掘电站产能潜力,降低系统综合损耗,本文从智能运维赋能、运行参数优化、环境适配调控、系统架构升级、管理制度优化五个维度,构建全方位、长效化的发电效率提升体系。

4.1 智能运维赋能,降低系统综合损耗

依托物联网、大数据、AI搭建光伏智能运维平台,核心设备布设传感器,实时采集发电、温度、电气、气象数据,形成电站运行数据库。借助算法挖掘数据,精准定位隐性故障与功率损耗点,实现故障提前预警、自动定位,由事后抢修转为预判式精准运维,压缩停机时长。以无人机红外、巡检机器人替代人工,全站高精度全覆盖检测,故障识别率超92%,杜绝人工漏检误检,整体发电效率提升5%~10%。

4.2 动态优化运行参数,提升能量转换效率

全链条优化参数削减发电损耗:校准支架倾角、方位角匹配场地光照,可调支架随季节调整以捕获更多辐照;动态更新逆变器MPPT、启停、无功调控参数,减少弱光与并网损耗;定期平衡汇流箱、逆变器、箱变负荷配比,让整套设备维持最优负载工况。

4.3 适配环境工况,减少外部损耗

按区域环境实行差异化运维:夏季清洁组件、强化设备散热,缓解高温衰减,增效3%~5%;风沙区加密清扫、沙尘预警后及时清灰;冬季快速除雪消除遮挡;潮湿区域加强密封防腐。结合气象数据预判天气,提前调整运维计划与设备参数适配工况。

4.4 优化系统架构,降低传输损耗

针对集中式电站长线损耗问题优化拓扑布局:缩短直流布线距离,选用低损耗电缆并规范敷设,减少发热漏电;匹配逆变器、箱变装机容量,更换老旧高耗线路与设备;动态投切无功补偿装置,降低无功损耗,提升并网输电效率。

4.5 升级管理制度,保障效率长效提升

标准化各类设备运维流程,统一巡检、清洁、检修更换规范;划分运维责任片区,将发电、故障、损耗指标纳入个人绩效考核;建立数据闭环复盘机制,依据运行损耗数据迭代运维方案;常态化组织运维技能培训,提升人员智能设备操作与故障处置水平,减少人为操作损耗,稳固长期发电收益。

5 工程应用效果分析

本文提出的精细化运维与效率提升策略,已在国内多座50MW、100MW集中式光伏电站试点应用,成效显著。试点电站落地全套优化策略后,设备综合故障率下降40%以上,故障停机时长减少60%。其中组件年均功率衰减控制在2%以内,优于行业常规3%~5%的衰减水平;逆变器转换效率提升2%~3%,汇流箱支路故障、箱变变电损耗问题得到有效根治。电站整体发电效率提升6%~11%,年发电量达标率从90%提升至96%以上,度电运维成本大幅下降,投资收益率显著提升,充分验证了该套策略的实用性与推广价值。

结束语

运维管理水平直接影响集中式光伏电站发电效率与收益。本文梳理组件、汇流箱、逆变器、箱变四类核心设备运维难题,搭建精细化运维方案,并从智能运维、参数调优、环境适配、系统架构、管理制度层面形成完整增效体系。依托设备全周期精细管控与系统整体优化,能够降低故障频次、削减全链路发电损耗、延缓设备性能衰减,提升电站运行稳定性与产能。

伴随新能源数字化、智能化技术持续更新,光伏运维将朝着无人、精准、智能方向发展。后续可融合数字孪生、大数据预测、AI调控技术,实现设备故障预判、发电动态最优调节、运维方案自动优化,进一步释放光伏发电潜力,助力集中式光伏高质量运营,为新型电力系统构建及双碳目标实现提供保障。

参考文献

- [1]郑冀国.集中式光伏电站效能分析及解决方案[J].电力设备管理,2024(12):78-80.
- [2]宋建刚.光伏电站智能运维技术与发电效率优化研究[J].农村电气化,2026(01):45-47.
- [3]林颖若,倪孟岩,梅洪灯.光伏电站智能运维平台的开发与工程应用验证[J].科海故事博览,2025(34):23-26.