

煤矿区域光伏发电开发与运维探析

赵 奕

国能科环新能源有限责任公司 北京 100143

摘 要：煤矿区域拥有大面积沉陷区与闲置场地，为光伏发电提供了独特的空间载体。本文围绕煤矿区域光伏的开发条件、建设体系、运维管理与优化路径展开分析。系统梳理了沉陷区地质特征、粉尘环境与电力接入条件对光伏开发的影响，构建了涵盖场址规划、设备选型与施工组织的开发体系，搭建了常态化运维管理框架，并提出了智能化运维与协同运营的优化方向，为煤矿区域光伏的高效开发与长期稳定运行提供技术参考。

关键词：煤矿区域；光伏；开发体系；智能运维；协同运营

引言：城镇建设用地正由增量扩张向存量挖潜转变，煤矿区域沉淀了大量可供利用的沉陷区与闲置场地，光伏发电的引入为这类空间赋予了新的能源功能。煤矿场地在电力接入、用电消纳与基础设施方面具备天然优势，但地质不稳定、高粉尘与强腐蚀等特殊条件也对开发与运维提出了更高要求。围绕煤矿区域光伏发电的适配条件、开发体系、运维模式与优化路径展开系统分析，对于推动矿区能源转型与土地集约利用具有重要的实践价值。

1 煤矿区域光伏发电适配基础与开发条件

1.1 煤矿区域光伏建设空间资源特征

煤矿区域蕴含着规模可观的闲置场地与采煤沉陷区，工业广场、排矸场、关闭井口周边及塌陷水域共同构成了光伏系统布设的潜在载体^[1]。这类空间大多远离城镇建成区，土地权属关系相对清晰，获取成本处于较低水平，为光伏的规模化铺展提供了充裕的用地保障。矿区内部道路与运输线路所形成的线性空间亦可作为光伏廊道加以利用，进一步延展了光伏阵列的布设范围。矿区既有建筑屋顶面积广阔且结构稳固，屋顶分布式光伏的开发潜力不容忽视，这类空间资源在各类煤矿区域中具有较高的普遍适用性。

1.2 政府政策支持煤矿光伏建设

近几年，如何改善废旧矿区的生态环境，成为摆在政府面前的一道难题。利用矿区渣堆土地，对渣堆土地进行治理，建设光伏电站，完善场地、护坡、挡板、围栏、绿化等配套设施建设，安装太阳能电池板进行光伏发电，既防止水土流失，又提升土地利用效益。利用煤矿土地建设光伏符合政府“谁治理，谁受益”的基本原则，既化解历史矿山治理财政压力，也实现生态保护与

经济发展协同共进。

1.3 煤矿场地光伏开发适配性优势

煤矿场地在电力接入与消纳层面具有天然便利条件，矿区内部变电站与输电线路已具备较高容量，光伏电站可实现就近并网，大幅缩减线路投资与输电损耗。煤矿企业自有用电负荷稳定，用电时段与光伏出力高峰高度重叠，自发自用模式可显著提升电力消纳比例，减少弃光现象的发生概率。部分矿区已形成完善的道路与排水网络，光伏组件的运输安装与日常巡检均可依托既有基础设施完成，有效降低了项目建设所需投入。

1.4 煤矿区域光伏开发制约要素

采煤沉陷区的地质不稳定性构成光伏开发面临的主要技术瓶颈，地表持续变形可能导致支架基础偏移乃至组件脱落，设计阶段需预留充足的结构安全余量，推高了工程造价。受运煤车辆扬尘、煤矸石倒运、已填埋矸石自燃等因素影响，光伏场区粉尘与烟气污染突出，颗粒物沉积速度快，组件表面常有褐色油性物质、白色硬质钙化沉淀物，不透光、不溶于水。普通清水清洗无法清除，可能引发组件表面局部过热，存在热斑损伤的潜在风险。矿井水与酸性废水对光伏支架的金属构件具有腐蚀作用，材料选型需兼顾耐腐蚀性能与经济成本，进一步增加了技术方案的复杂程度。

2 煤矿区域光伏发电开发体系构建

2.1 光伏场址空间规划与布局设计

光伏场址的空间规划需综合考量矿区地形地貌、沉陷程度与既有设施分布状况，将可用场地划分为优先开发区、适度开发区与限制开发区三个层级^[2]。沉陷深度

较浅且地表趋于稳定的区域适宜布置固定式光伏阵列。规划过程中应充分利用矿区已有道路与运输通道作为光伏组件的运输路径,减少新建临时道路对地表的二次扰动。建筑屋顶与工业广场的光伏布局需结合屋顶荷载能力与建筑朝向进行优化,使光伏阵列获得最大太阳辐射接收量。场址规划还应预留运维通道与设备检修空间,避免因布局过于紧凑而影响后期管理工作的开展。

2.2 光伏系统设备选型与配置

设备选型应针对矿区高粉尘、强腐蚀与地质不稳定等特殊环境进行针对性适配。光伏组件宜选用表面自洁能力较强的产品,以延缓灰尘覆盖带来的发电效率损失。逆变器配置在地形起伏较大的沉陷区采用组串式逆变器可有效降低失配损耗。支架应选用在酸碱度偏高的矿区环境中具备更长的使用寿命的材质。电气设备的防护等级应高于常规电站标准,以应对矿区特殊气候条件对设备运行稳定性的影响。

2.3 光伏工程施工组织与建设模式

施工组织应充分依托矿区既有基础设施条件,利用已有道路网络与吊装场地来降低施工准备阶段的投入。建设模式可采用 EPC 总承包或分段承包两种方式,EPC 模式在工期控制与质量管理方面具有一定优势,分段承包则有利于发挥专业施工队伍的技术特长。施工进度安排需避开煤矿生产的高负荷时段,减少光伏施工与矿区正常生产之间的相互干扰。沉陷区光伏电站的基础施工需采用可调节桩基或螺旋锚固等适应性基础形式,以应对地表持续变形带来的结构安全风险。施工过程中应建立严格的环境保护措施,防止施工废水与固体废弃物对矿区生态环境造成二次污染。

2.4 煤矿场地光伏一体化开发整合方式

光伏开发与矿区生态修复的一体化整合,是提升土地综合利用价值的重要途径。光伏与矿区建筑的一体化整合体现在屋顶分布式与幕墙光伏的协同部署,使既有建筑在不增加占地面积的前提下实现能源供给的部分自给。光伏系统与矿区微电网的整合可提升矿区供电的可靠性与经济性,减少对外部电网的依赖程度。矿热联产与光伏发电的耦合模式能够在供暖季实现能源的梯级利用,提升矿区整体能源利用效率。各类整合方式的推进需建立在统一的规划协调机制之上,避免各系统之间因缺乏衔接而产生功能冲突。

3 煤矿区域光伏发电常态化运维体系搭建

3.1 光伏设备日常巡检与养护内容

光伏设备的日常巡检涵盖组件表面清洁度、支架连

接件紧固状态、电缆接头温升情况及逆变器运行参数等核心指标。矿区高粉尘环境导致组件表面积灰速率显著高于一般地区,巡检周期应较常规电站适当缩短,重点关注组件热斑与隐裂的早期识别^[3]。支架系统在沉陷区长期承受地表微变形带来的附加应力,巡检中需逐一检查螺栓松动与焊缝开裂情况,发现异常应立即加固处理。电气设备的养护侧重于接线端子的防腐处理与密封件的老化更换,逆变器散热风扇与滤网需定期清理以保障散热通道畅通。采取合理使用清洁措施可以及时去除光伏组件表面尘土、污渍等遮挡物,提高日照辐射利用率,有效预防热斑效应。选用光伏板专用中性除油、除垢清洗剂,采用高压微水+毛刷机械清洗,缺水或禁水区域优先使用干式除尘刷、无尘吸附辊,或在光伏电站安装清洗机器人,进行定期清洗维护。

3.2 煤矿特殊场景光伏设备故障处置

沉陷区地表持续变形可能引发支架基础下沉与组件排列错位,故障处置需采用可调节底座与柔性连接件来适应地基的缓慢移动,避免刚性结构因应力集中而发生断裂。矿区酸性水体对金属构件的腐蚀会加速支架与电气设备的老化进程,故障排查时应将腐蚀程度作为重要判断依据,受损部件需更换为耐酸等级更高的替代材料。粉尘导致的热斑效应若处置不及时可能引发组件烧毁甚至火灾,应急预案中应明确火灾初期的断电隔离与灭火操作流程。

3.3 光伏系统运行过程动态管控方式

动态管控依托智能监控平台对发电功率、组件温度、逆变器效率及电网接入状态等参数进行全天候采集与分析。数据异常预警机制可在发电效率出现陡降时自动触发告警,运维人员据此快速定位故障点位并启动处置程序。矿区气象条件变化剧烈,沙尘暴与极端低温对光伏出力的影响需纳入管控模型,通过短期功率预测来优化储能充放电策略。沉陷区地表变形数据应与光伏系统运行数据进行关联分析,当变形速率超过设定阈值时自动调整支架可调节机构的补偿量。动态管控平台还应整合矿区生产调度信息,在煤矿检修或停产期间灵活调整光伏系统的运行模式,实现能源供给与矿区生产节奏的协同匹配。

3.4 运维团队配置与标准化作业流程

运维团队应按照区域分布与技术分工进行配置,每个运维单元需配备电气、机械与监测三个专业方向的技术人员,确保故障处置能够覆盖光伏系统的全部技术领域。矿区地理位置偏远且交通条件受限,运维团队宜

采取驻场与巡回相结合的工作模式,驻场人员负责日常巡检与紧急处置,巡回人员承担定期深度检测与设备更换任务。标准化作业流程应将巡检路线、检测项目、养护操作与故障处置步骤逐一细化,形成可执行的操作手册,减少因人员变动带来的技术断层风险。团队培训需针对矿区特殊环境进行专项设计,使运维人员熟练掌握沉陷区支架调节、高粉尘环境清洗与酸性水体防腐等关键操作技能。

4 煤矿区域光伏开发运维优化路径

4.1 开发建设环节精细化优化策略

开发建设环节的精细化优化需从勘察、施工到并网的全链条入手。勘察阶段可引入高精度地质雷达对沉陷区地下结构进行探测,获取地表变形速率与地下水位变化等关键参数,为基础设计提供可靠依据^[4]。施工阶段应针对矿区特殊地质条件制定相应施工准备措施。并网验收阶段应建立发电效率与设计值的对比分析机制,对偏差较大的区域进行针对性排查与整改,确保电站投运达产。

4.2 运维管理模式创新升级方向

运维管理模式的创新升级应聚焦于智能化与无人化两个维度。智能运维平台可集成无人机巡检、红外热成像与大数据分析等技术手段,实现对光伏设备状态的远程感知与故障预判。无人机搭载高清摄像与红外传感器定期飞越光伏阵列,自动识别热斑、隐裂与积灰等异常状况,巡检效率较人工方式大幅提升。无人化运维的落地依托高可靠通信网络,矿区偏远区域可通过部署专网基站补齐信号短板。依托 AI 运维与预测性维护理念,系统全面采集光伏设备电压、电流、温度、工况等全量运行数据,借助算法模型开展深度学习,挖掘数据背后的运行规律与异常特征。运维模式由此从被动抢修转为主动预判,精准识别潜在故障隐患并提前统筹检修。该模式能有效减少非计划停机损耗,更好辅助光伏发电进入电力市场交易。

4.3 光伏系统与煤矿协同运营优化

煤矿光伏发电有两种上网模式,一是依托送出线路接入大电网,二是采用“自发自用”模式,与煤矿场地协同运营,在能源调度层面实现深度融合,将光伏出力曲线与煤矿生产用电负荷进行匹配分析,在用电低谷时段引导储能系统充电,在用电高峰时段供电,实现能源的充分利用。

光伏电站参与煤矿供电需注意煤矿执行双回路供电安全保障措施,配置两路相互独立的供电线路。两路电源互为备用、自动切换,可有效规避单回路断电风险,

保障井下及生产设备连续稳定运行。光伏电站为煤矿供电,必须在设计阶段提前与矿区运营协同规划。

此外,光伏系统与煤矿可在空间利用与安全管理实现深度融合,空间利用层面可将光伏阵列与矿区绿化带、排水沟渠进行一体化设计,使光伏场地兼具发电与生态修复双重功能。安全管理层面需建立光伏运维与煤矿生产的联合调度机制,在矿区爆破、大型设备运输等高风险作业时段临时调整光伏区域的人员进出管控策略,避免两类作业在空间与时间上产生交叉冲突。

4.4 长效运维保障体系完善思路

长效运维保障体系的完善应着眼于制度建设、技术储备与人才培养三个支撑维度。制度层面需建立覆盖设备全生命周期的运维档案管理制度,记录每一台设备从安装到退役的全部运行与维修信息,为后续检修决策提供数据依据。技术储备层面应跟踪光伏组件衰减规律与支架材料老化特征,建立矿区环境下设备寿命预测模型,提前规划备品备件的采购与储备计划。人才培养层面需构建分层级的技术培训体系,使运维人员从基础操作技能到复杂故障诊断能力均能得到持续提升。运维经费的保障机制应纳入项目全生命周期成本测算,避免因后期资金不足导致运维质量下降,最终影响光伏电站的长期发电收益。

结束语

煤矿区域光伏发电的开发与运维是一项涉及空间规划、工程建设与长期管理的系统性工作。从沉陷区场址选择到设备选型配置,从常态化巡检养护到智能化动态管控,各环节相互衔接构成完整的技术链条。光伏系统与矿区生产的协同运营能够实现能源供给与用电需求的精准匹配,立体化开发与生态修复的融合则进一步拓展了矿区土地的综合利用价值。持续完善运维保障体系与技术手段,将推动煤矿区域光伏发电向更高效率与更长周期的方向稳步迈进。

参考文献

- [1] 颜世凡. 分布式光伏发电项目光伏组件衰减特性及其运维优化策略研究 [J]. 现代制造技术与装备,2025,61(6):133-135.
- [2] 李宇豪. 屋顶分布式光伏发电系统的并网调试与智能运维技术 [J]. 电力系统装备,2024(5):33-35.
- [3] 杨汝俊,马永玲,范宗强. 浅议文化公益场馆屋顶分布式光伏并网发电系统运维管理 [J]. 机电信息,2022(3):62-64.
- [4] 郑梦超,刘润宝. 分布式光伏智能运维及管控平台 [J]. 电工技术,2026(2):49-51,54.