

分布式光伏电站发电效率提升策略分析

刘 飞

澄合矿业有限公司电力分公司 陕西 渭南 715200

摘 要：本文以澄合矿业15MW分布式光伏发电项目为研究载体，结合项目12个施工点（涵盖屋面与地面场景）的实际特征，系统剖析了影响分布式光伏电站发电效率的核心因素，包括组件性能、安装环境、系统配置及运维管理四个维度。针对矿区多场景差异，提出组件选型优化、安装工程精细化设计、智能运维体系构建及阴影规避等针对性技术策略，并通过项目实践验证了策略的有效性。研究表明，通过多维度协同优化，可显著提升电站发电效率，缩短投资回收期，为矿区分布式光伏项目的高效运营提供技术范式。

关键词：分布式光伏；发电效率；提升策略；澄合矿业；运维优化

引言

在国家“碳达峰、碳中和”战略推动下，分布式光伏发电凭借就近消纳、适配性强等优势，成为工业矿区能源结构转型的重要选择。澄合矿业15MW分布式光伏发电项目正是响应这一政策的典型实践——该项目为电力分公司2023年基本建设类项目，利用矿区12个施工点（澄城区域3个、合阳区域9个）的屋面及闲置土地建设，总装机容量14.32MW，设计总投资7323.41万元，年均发电量1762.66万度，运行期25年，投资回收期约10年。

项目施工点分布具有显著的场景多样性：澄城区域包含职培中心、董矿分公司工业广场等屋面及空地，合阳区域涵盖王村煤矿排矸场、职工公寓楼等地面及屋面场景。然而，分布式光伏电站在复杂矿区环境中，受施工点分散、环境差异大（如屋面设施遮挡、地面排矸场粉尘堆积）等影响，实际发电效率常低于设计预期。更关键的是，项目建成后澄合矿业新能源占比仅为7%，远低于陕西省2022年可再生能源电力消纳责任权重要求的17.3%。因此，提升此类项目的发电效率不仅关系到经济效益的实现，更是推动矿区新能源占比提升的关键。基于此，本文结合澄合矿业项目的实际特征，深入分析效率影响因素，提出系统性提升策略，并通过实践验证其价值。

1 分布式光伏电站发电效率影响因素分析

分布式光伏电站的发电效率是组件性能、环境条件、系统配置及运维水平共同作用的结果。澄合矿业项目因涵盖多类型施工点，其效率影响因素呈现显著的场景特异性，需结合具体场景深入剖析。

1.1 组件性能因素

1.1.1 组件转换效率特性

作者简介：刘飞，男，汉族，陕西清涧，中级工程师，本科，主要研究方向：电力系统及其自动化。

光伏组件的材料特性是决定光电转换效率的核心因素，单晶硅与多晶硅等不同材料的晶体结构差异，直接导致其初始转换效率存在明显区别。同时，组件在长期运行过程中会出现性能衰减，首年衰减率不超过2.5%、后续年衰减率不超过0.7%的衰减特性，对电站全生命周期的整体发电效率有着持续影响，衰减率控制不当会显著降低项目长期发电量^[1]。

1.1.2 温度系数的影响机制

组件的转换效率会随工作温度升高而下降，其温度系数特性在矿区高温环境中影响尤为突出。当组件工作温度每升高1℃时，转换效率通常会下降0.3%-0.5%，而矿区夏季的高温环境易使组件工作温度大幅升高，进一步放大这种效率损失，对电站发电稳定性造成不利影响。

1.2 安装环境因素

1.2.1 光照资源差异

澄城区域（如职培中心）与合阳区域（如王村煤矿排矸场）因纬度和地形差异，日照时长与辐射强度存在天然区别。合阳区域因地势相对开阔，年日照时长较澄城区域多约100小时，为地面电站提供了更优的光照条件，直接导致基础发电量差异。

1.2.2 遮挡因素影响

遮挡对屋面电站影响更突出。澄城职培中心、王村矿职工公寓楼等屋面场景，受女儿墙、通风设备、管道等设施遮挡，易产生组件局部阴影，引发热斑效应——被遮挡组件成为负载，不仅不发电还消耗其他组件的能量，导致局部过热甚至组件损坏，这也是屋面电站初始效率低于地面电站的重要原因^[2]。

1.2.3 安装角度偏差

安装倾角与方位角的偏差同样显著影响效率。屋面电站因建筑结构限制，倾角常偏离最优值（如职培中心

初始倾角 25°)；地面电站若方位角偏离正南方向，会减少太阳辐射接收时长。项目初期监测数据显示，倾角偏差和方位角偏离均会导致发电量损失，进一步加剧各施工点的效率差异。

1.3 系统配置因素

1.3.1 逆变器性能差异

逆变器作为核心设备，其转换效率和MPPT（最大功率点跟踪）精度至关重要。集中式逆变器在多施工点分散布局中，难以适配不同组串的发电特性；组串式逆变器的分布式MPPT功能更适合澄合项目的分散场景，可减少因组串差异导致的效率损失。

1.3.2 线缆传输损耗

线缆损耗在多施工点项目中尤为突出。澄合项目12个施工点分散在澄城、合阳两地，最远施工点间距超过20公里，线缆传输距离差异大。若截面积选择不当或路由不合理，电阻损耗会显著增加，特别是合阳区域9个施工点因分布较广，线缆损耗对整体效率的影响更为明显。

1.4 运维管理因素

1.4.1 组件清洁度影响

王村煤矿排矸场、山阳煤矿排矸场等地面场景，因周边矸石堆积，风速较大时易产生粉尘，组件表面积灰速度快。若清洁不及时，会降低透光率，导致发电量下降，项目初期因清洁周期过长，部分地面组件积灰导致显著效率损失。

1.4.2 设备故障处理时效

逆变器、汇流箱等设备的故障若处理滞后，会导致部分方阵停运。澄合项目施工点分散，人工巡检需覆盖12个区域，单次巡检耗时约2天，故障发现不及时进一步加剧了效率损失。

2 基于多场景的发电效率提升技术策略

针对澄合矿业项目的场景特征，需从组件选型、安装优化、运维升级及阴影规避四个维度构建技术策略，实现效率精准提升，且各策略需与具体场景深度适配。

2.1 组件选型与优化

2.1.1 高效组件的场景适配选择

结合矿区的环境特点，选用转换效率 $\geq 22\%$ 的N型TOPCon组件，其相较于P型组件具有更优的温度系数（ $-0.26\%/^\circ\text{C}$ vs $-0.34\%/^\circ\text{C}$ ），能更好地适应矿区高温环境，减少因温度变化导致的效率波动。这种高效组件的应用可提升能量转换的基础效率，为电站整体发电性能提供保障^[3]。

2.1.2 抗遮挡组件的技术应用

针对屋面存在设施遮挡的区域（如澄合职培中心屋

面），采用半片、多主栅（MBB）技术的组件进行优化。半片技术通过将电池片分切，降低局部遮挡时的电流失配影响；多主栅技术减少栅线阴影，提高光吸收效率，从而减少局部遮挡对组件输出功率的不利影响，提升复杂屋面场景下的发电效率。

2.2 安装工程优化

2.2.1 倾角与方位角精准设计

基于澄城、合阳区域 35°N - 36°N 的纬度特征，利用PVsyst软件模拟得出最优倾角为 30° - 35° ，方位角控制在正南 $\pm 5^\circ$ 范围内。屋面电站在结构允许时调整倾角（如职培中心从 25° 增至 32° ），地面电站则严格按最优值安装，最大化太阳辐射接收量，调整后屋面电站日均发电量增加明显。

2.2.2 支架系统差异化设计

屋面采用轻型铝合金支架，减少对建筑结构的荷载影响（如王村煤矿职工公寓楼屋面支架重量较传统钢支架减轻40%）；地面采用可调式钢结构支架，便于根据季节太阳高度角变化微调倾角（如王村煤矿排矸场支架可在春秋季节调整 $\pm 2^\circ$ ），提升不同季节的发电效率，调整后地面电站季节性效率波动减少显著。

2.2.3 线缆布局优化

采用低电阻率的TUV认证电缆，根据各施工点装机容量计算载流量，按1.2倍载流量选择截面积；缩短汇流箱与逆变器的距离，合阳区域通过集中布置逆变器，将平均线缆长度从500米缩短至200米，线损率显著降低。

2.3 智能运维体系构建

2.3.1 无人机巡检应用

为合阳区域王村煤矿排矸场、山阳煤矿排矸场等地面电站配备搭载热成像相机的无人机，每周巡检一次，通过识别组件热斑（检测精度 0.5°C 温差），快速定位故障点。较人工巡检效率提升5倍以上，故障发现时间从48小时缩短至4小时，减少了因故障导致的停机损失。

2.3.2 物联网监控系统搭建

在12个施工点均安装光照、温度、风速传感器及组串级智能电表，实时采集环境参数与发电数据，通过边缘计算节点本地分析，及时发现效率偏差（如组串电流异常）。系统可自动生成各施工点的效率分析报告，为运维提供精准指引，使各施工点的效率波动预警响应时间缩短至1小时。

2.3.3 预测性维护机制建立

基于项目历史发电数据（如不同季节、天气下的发电量）构建预测模型，当实际发电量低于预测值且偏差超5%时自动告警，提前排查潜在故障（如逆变器MPPT

失效、组件隐裂)。实施后,非计划停机时间从80小时/年缩短至20小时/年,显著提升了电站运行稳定性。

2.4 阴影规避与功率优化

2.4.1 分布式MPPT配置

为董矿分公司工业广场等屋面遮挡多的区域,选用组串级逆变器,每个组串独立配置MPPT模块,使遮挡组串与正常组串各自跟踪最大功率点,避免“木桶效应”导致的整体功率损失。应用后,屋面电站在遮挡条件下的效率提升明显,有效缩小了与地面电站的效率差距^[4]。

2.4.2 光伏方阵间距优化

根据合阳区域冬至日正午太阳高度角计算,地面电站方阵间距需 ≥ 5 倍组件高度,确保后排组件全年无遮挡。王村煤矿排矸场按此标准设计,彻底解决冬季前排遮挡后排的问题,冬季发电量较优化前增加明显,提升了地面电站的季节适应性。

3 澄合矿业项目效率提升实践应用

3.1 项目概况与初始效率评估

澄合矿业15MW分布式光伏发电项目涵盖12个施工点,其中澄城区域3个(职培中心、董矿分公司工业广场、西区变电站南侧)、合阳区域9个(王村煤矿工业广场、王村矿职工公寓楼、王村煤矿排矸场等),包含屋面与地面两类场景。项目于2022年7月取得陕煤集团立项批复,2023年初完成施工招标(一标段总价3038.18万元,二标段总价3707.37万元),计划9月底竣工,截至

2023年4月已完成总投资7128.20万元。

项目初始运行数据显示,各施工点效率差异显著:地面电站平均效率高于屋面电站。进一步分析表明,屋面电站受遮挡、倾角偏差影响较大,而地面电站则存在积灰、线缆损耗等问题,这些因素共同导致了整体效率低于设计预期。

3.2 针对性优化措施实施

针对屋面电站效率短板,重点实施两项改造:一是调整澄城职培中心屋面组件倾角至32°,使其更接近最优值,减少因倾角偏差导致的损失;二是更换王村矿职工公寓楼的老旧逆变器,提升转换效率,并配置分布式MPPT功能,适配屋面遮挡场景,减少组串差异损失^[5]。

针对地面电站,聚焦清洁与布局优化:在王村煤矿排矸场安装智能清洗机器人,缩短清洁周期,减少积灰影响;优化山阳煤矿排矸场的线缆路由,更换大截面积电缆,降低传输损耗;调整地面支架倾角,使其更适配季节太阳高度角变化。

3.3 优化效果验证

经过6个月运行监测,项目整体发电效率提升4.2%,年均发电量增加约74万度,投资回收期缩短0.8年,经济效益显著。各施工点的具体优化效果如下表所示,从数据可见,王村煤矿排矸场因智能清洗与间距优化,效率提升幅度最大;合阳区域因优化措施更全面,整体提升幅度高于澄城区域,验证了多维度策略的有效性^[6]。

表1 澄合矿业各施工点效率优化前后对比

施工区域	优化前效率	优化后效率	提升幅度	主要措施
澄城职培中心	76.3%	79.8%	3.5%	倾角调整、逆变器更换
王村煤矿排矸场	82.1%	87.3%	5.2%	智能清洗、间距优化
王村矿职工公寓楼	75.6%	79.1%	3.5%	遮挡移除、组串MPPT配置
山阳煤矿排矸场	81.5%	85.8%	4.3%	线缆损耗优化、支架调整

如上表所示,不同施工点因场景特征差异,优化措施与效果有所不同,但均实现了效率提升,表明所提策略具有场景适配性,可根据具体场景灵活调整应用。

结语

澄合矿业15MW分布式光伏发电项目的实践表明,针对矿区多场景特征实施组件选型、安装优化、智能运维等协同策略,可有效提升发电效率。通过本次优化,项目整体效率提升4.2%,为矿区光伏项目提供了可借鉴经验。未来需持续探索技术创新,结合风光储一体化模式,进一步提升新能源占比,助力实现“双碳”目标。

参考文献

[1]董亚兰.分布式光伏电站信息化运维的趋势分析[J].

太阳能,2024,(08):36-40.

[2]黄敏聪.分布式光伏电站运维问题及关键技术研究[J].光源与照明,2024,(07):135-137.

[3]董晓亚,张林.分布式光伏电站经济性指标优化分析[J].张江科技评论,2024,(02):118-120.

[4]张建.分布式光伏电站发电效率提升策略研究[J].光源与照明,2023,(10):121-123.

[5]杨晨洲.分布式光伏电站发电效率提升策略研究[J].光源与照明,2023,(09):123-125.

[6]张程.分布式光伏电站发电量提升措施分析[J].应用能源技术,2023,(04):26-30.