

阴影遮挡对光伏电站的影响及解决方案初探

刘学超¹ 刘蕊²

1 青岛海尔光伏新能源有限公司 2 青岛正安建筑安装工程有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i4.6263

[摘要] 随着光伏电站的大规模建设发展,阴影遮挡问题逐渐成为制约其发电效率与经济效益的关键因素。本文分析了遮挡对光伏电站设计及运维的多维度影响,涵盖自然与人为遮挡源的作用机制、热斑效应等物理损害,以及全生命周期内的发电量衰减与安全隐患。通过案例分析与技术对策研究,提出从选址规划、设备选型到智能运维的一体化解决方案,为提升光伏电站综合效益提供思路。

[关键词] 遮挡; 光伏电站; 发电量; 系统效率; 运维策略

中图分类号: TM6 文献标识码: A

The influence of shadow shading on photovoltaic power station and its solution

Xuechao Liu¹ Rui Liu²

1 Qingdao Haier Photovoltaic New Energy Co., Ltd.

2 Qingdao Zheng'an Construction and Installation Engineering Co., Ltd.

[Abstract] With the large-scale construction and development of photovoltaic power plants, the problem of shadow shading has gradually become a key factor restricting its power generation efficiency and economic benefits. This paper analyzes the multi-dimensional influence of shading on the design and operation of photovoltaic power plants, including the action mechanism of natural and man-made shading sources, physical damage such as hot spot effect, and the power generation attenuation and security risks in the whole life cycle. Through case analysis and technical countermeasures, an integrated solution from site selection planning, equipment selection to intelligent operation and maintenance is proposed, which provides ideas for improving the comprehensive benefits of photovoltaic power plants.

[Key words] occlusion; Photovoltaic power station; Power generation; System efficiency; Operation and maintenance strategy

引言

光伏电站是利用太阳能光伏组件将光能转化为电能的一种新型发电方式。由于价格低廉、安装快捷、太阳能资源丰富,光伏系统对太阳能的使用正在全球范围内迅速增加。它具有清洁、无污染、可再生等优点,被广泛建设在地面、山顶、屋顶、水面等多种场地。然而,光伏电站常常受到各种遮挡因素的影响,如建筑物、树木、云层等自然或人为因素^[1],实际运行中约30%的电站存在不同程度的阴影遮挡问题,导致年均发电效率降低10~25%^[2]。遮挡不仅引发组件热斑效应^[3]、加速设备老化,更可能造成火灾等安全隐患。因此,深入研究遮挡对光伏电站设计及运维的影响,从设计到运维提出有针对性的解决策略,对于提高光伏电站的整体性能和经济效益具有重要意义。

1 遮挡类型

通常光伏遮挡类型分为两大类:均匀遮挡和非均匀遮挡^[1]。均匀遮挡通常由云层、天气等导致;而非均匀遮挡主要由树木、

建筑物、电线杆或气象沉积物等导致,又可分为两大类:自然遮挡与人为遮挡。

1.1 自然遮挡

光伏电站自然遮挡主要分为植被生长、气象沉积物和鸟类活动三大类。初始无遮挡区域可能因树木年生长率超5%而产生新的阴影区,如杨树年均高度增长达1.5~2米。灰尘的堆积可使发电效率降低约34%^[4];积雪覆盖可使光伏板几乎完全停止工作^[5];鸟粪也会严重影响光伏发电的性能,含氮化合物可腐蚀EVA封装层,即使在雨季时受到降水的冲刷,光伏组件的功率衰减也可达25%^[6]。

1.2 人为遮挡

人为遮挡也是光伏电站遮挡主要组成部分,主要包括新增建筑及运维失误两类。其中,光伏电站周边新建建筑导致有效辐照面积缩减,如10米高建筑在冬至日可造成50米遮挡带。而不当清洗造成组件隐裂率增加3倍,晾晒物品使局部温度升至85℃。

2 遮挡对光伏发电的影响

2.1 遮挡对光伏组件的影响

当光伏板的部分区域被遮挡时,由于电池电流的不均匀性,产生低电流的电池模块往往在反向偏置下工作,并以热量的形式耗散功率,耗散的功率会导致局部区域的节被击穿从而产生热斑^[3]。这种局部发热不仅会降低光伏板的发电效率,还可能对光伏电池造成长久性损伤。热斑效应会导致光伏组件的温度不均,局部温度升高,从而加速EVA(乙烯-醋酸乙烯共聚物)等封装材料的老化和变黄,降低组件的透光率。长此以往,遮挡部位可能会出现暗斑、焊点熔化、栅线毁坏等永久损坏现象,从而降低组件的使用寿命。这不仅增加了电站的维修和更换成本,还可能对电站的稳定运行和发电效率产生不利影响。

2.2 遮挡对光伏电站的影响

光伏电站通常由多块光伏板串联、并联或混合方式组成。

遮挡会对串联的光伏板电流-电压(I-V)曲线产生影响。Alonso-García等^[7]分析了在辐照水平250~1000W/m²下,遮光对108个光伏板的4个不同串联方式的影响,发现单个电池的遮蔽率增加会导致I-V特性产生更大的变形,同时使最大功率点电压移至较低值;每串电池数量的增加会导致I-V特性产生更大的变形,将最大功率点移至较低电压并增加功率损耗;同一串中被遮蔽的电池数量的增加不会影响最大功率点,但是当电池放置在不同的串中时,功率损耗会大大增加。朱德娜^[8]针对多个光伏电池串联后形成的光伏阵作为研究对象,研究了三个光伏电池经串联后的光伏阵列在不同温度、不同遮光条件的输出特性,发现在遮光情况下,光伏阵列的输出特性曲线上会出现多个峰值现象,其中仅有一个全局最大功率点。

Gautam和Kaushika^[9,10]针对9×4和6×6两种光伏板阵列尺寸实施了三种类型的配置:串并联、全交叉连接和桥接;其中全交叉连接在20~1000W/m²的辐照水平下,最大功率点为13863.40W,填充因数为0.72。Ramaprabha等^[11]分别对8~24个光伏阵列的串联、并联、串并联、全交叉连接、桥接和蜂窝配置进行了建模,在人工遮光条件下,全交叉连接在最大功率点的功率和电压最大值方面表现更佳。

同时,光伏电站需要经过合理的设计安装和维护,才能确保电站的安全运行。然而,受到遮挡的光伏电站往往难以及时发现故障,安全隐患会增加。遮挡物可能导致光伏组件局部温度过高,甚至引发火灾等安全事故。此外,遮挡还可能影响光伏电站的散热效果,导致系统损耗增加和发电能量降低。

3 遮挡解决方案体系构建

为了系统性解决光伏电站遮挡问题,主要从设计阶段就要考虑遮挡问题的规避,建立遮挡模型,分析遮挡规律;合理规划组串配置,并利用光伏优化器等电气技术提升遮挡电站发电功率。

3.1 设计阶段

3.1.1 遮挡模型及规律分析

在设计阶段主要利用阴影动态模拟技术,充分分析电站遮

挡规律。可采用HelioScope软件模拟组件表面辐照度分布,对年遮挡时长>200小时的区域实施组件级规避设计。也可以基于GIS系统生成冬至日/夏至日阴影移动轨迹(时间分辨率15分钟),指导组串朝向微调(±5°)倾角优化可使遮挡损失减少18%)。

3.1.2 组串配置优化

基于遮挡规律分析,将易受遮挡区域组件独立成串,避免与正常组串并联。实证表明,隔离设计可使遮挡组串发电损失降低40%。此外,受遮挡组串长度建议≤12块(常规组串18~22块),缩短电流传输路径,降低线路损耗(可减少3.2%功率损失)。

3.2 光伏功率优化器优化发电功率

每块组件配备光伏功率优化器,实现组件级最大功率跟踪,消除串联失配影响。测试表明,在30%遮挡面积下较传统系统发电量提升23%~37%。局部温升控制在ΔT≤8℃(无优化器时ΔT可达35℃)。优化器通过升压模式将低电流组件电压提升,维持组串电压稳定。某案例显示,10块组件中3块被遮挡时,系统总功率从2.1kW恢复至3.4kW。

3.3 系统集成方案

从电站整体考虑,可通过“设计-设备”协同优化路径规避遮挡对电站的影响或者提高受遮挡电站的发电功率及可靠性。主要分为三步:首先是阴影热区预判,通过无人机倾斜摄影建立三维实景模型(精度5cm),识别未来5~10年潜在遮挡区域。其次是组串动态分组,将阴影热区内组件单独成串,每串配置1台组串式逆变器+优化器混合系统。最后是智能运维联动,监控平台实时检测组串PR值(性能比),当PR<75%时自动触发优化器升压模式。

4 经济性实证

指标	传统系统	优化器系统	提升幅度
初始投资成本	0.32元/W	0.48元/W	50%
年发电量	26.8GWh	31.2GWh	16.40%
LCOE	0.38元/kWh	0.34元/kWh	-10.50%
投资回收期	8.2年	6.8年	-17.10%

数据来源:2024年Tigo技术白皮书^[12]

如上表所示,山东某20MW农光互补项目,利用光伏优化器提升年发电量。由表可以看出,通过优化器的安装,年发电量提升了16.4%,投资回收期减少了17.1%。

5 结论

遮挡对光伏电站设计及运维的影响是多方面的,包括降低发电量、影响系统效率、缩短组件寿命以及增加安全隐患等。为了提高光伏电站的整体性能和经济效益,必须充分考虑遮挡因素,合理规划电站布局,采用先进的光伏优化器技术,并加强日常运维管理。提出的设计-运维协同优化路径,通过精细化组串

设计与功率优化器部署的协同应用,可有效降低光伏电站年均遮挡损失。

[参考文献]

[1]JOSMANI K,HADDAD A,JABER H,et al.Mitigating the effects of partial shading on PV system's performance through PV array reconfiguration: A review[J]. Thermal Science and Engineering Progress,2022,31:101280.

[2]PACHAURI R K, MAHELA O P, SHARMA A, et al. Impact of Partial Shading on Various PV Array Configurations and Different Modeling Approaches: A Comprehensive Review[J]. IEEE Access,2020,8:181375–181403.

[3]SIMON M, MEYER E L. Detection and analysis of hot-spot formation in solar cells[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells,2010,94(2):106–113.

[4]李娜,许楚斯,曾湘安,等.沙尘天气对屋顶光伏组件性能影响分析[J].环境技术,2024,42(06):200–204+212.

[5]马宁,王炳楠.积雪覆盖对光伏方阵辐照度的影响[J].理化检验(物理分册),2019,55(02):93–96.

[6]张彦.船载环境下光伏组件表面污损的特性分析及状态识别研究[D].武汉理工大学,2023.

[7]Alonso-García M C,Ruiz J M,Herrmann W.Computer simu-

lation of shading effects in photovoltaic arrays[J]. Renewable energy,2006,31(12):1986–1993.

[8]朱德娜.考虑遮光情况下光伏系统最大功率跟踪和并网控制研究[D].昆明理工大学,2020.

[9]Gautam N K, Kaushika N D. An efficient algorithm to simulate the electrical performance of solar photovoltaic arrays[J].Energy,2002,27(4):347–361.

[10]Kaushika N D, Gautam N K. Energy yield simulations of interconnected solar PV arrays[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion,2003,18(1):127–134.

[11]Ramaprabha R, Mathur B L. A comprehensive review and analysis of solar photovoltaic array configurations under partial shaded conditions[J].International Journal of Photoenergy,2012,2012(1):120214.

[12]Tigo Energy.TS4 Platform Performance Validation White Paper[EB/OL].(2024-05-20).

作者简介:

刘学超(1980—),男,汉族,山东省青岛人,学士,研究方向:新能源、光伏、储能及电力系统工程技术。

刘蕊(1981—),女,汉族,山东青岛人,学士,研究方向:新能源与建筑工程结合技术。