

Research on Power Generation Efficiency Optimization of Double-Sided Double-Glass PV Modules under Complex Lighting Conditions

Peng Du

Yunnan Energy Investment Co., Ltd., Three Gorges Group, Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

To address the performance fluctuations of photovoltaic systems under complex lighting conditions, this study focuses on optimizing the power generation efficiency of double-sided double-glass PV modules. By integrating photovoltaic mechanisms with practical application environments, the research systematically analyzes the impact of factors such as uneven illumination, shading, and reflective conditions on module efficiency. Optimization strategies are proposed from aspects including installation tilt angle, mounting height, ground reflectivity, and module arrangement. The study demonstrates that through rational design and parameter synergy optimization, the power generation capacity and operational stability of double-sided double-glass PV modules can be effectively enhanced under complex lighting conditions. The findings provide a reference for the engineering design and efficient operation of photovoltaic systems.

Keywords

bifacial double-glass photovoltaic; sunlight; power generation efficiency

双面双玻光伏组件在复杂光照条件下的发电效率优化研究

杜鹏

三峡集团云南能源投资有限公司, 中国·云南昆明 650000

摘要

针对复杂光照条件下光伏系统发电性能波动的问题, 本文围绕双面双玻光伏组件的发电效率优化开展研究。结合双面发电机理与实际应用环境, 系统分析了光照不均、遮挡、反射条件变化等因素对组件发电效率的影响, 并从安装倾角、安装高度、地面反射率及组件布置等方面提出相应优化对策。研究表明, 通过合理设计和参数协同优化, 可有效提升双面双玻光伏组件在复杂光照条件下的发电能力与运行稳定性。相关研究成果为光伏系统的工程设计与高效运行提供了参考依据。

关键词

双面双玻光伏; 光照; 发电效率

1 引言

随着光伏发电规模化应用不断推进, 复杂光照环境(如多云、遮挡、反射不均等)对组件发电性能的影响日益突出。双面双玻光伏组件凭借正反两面同时受光、结构稳定性高及环境适应性强等优势, 在提升单位面积发电量方面展现出显著潜力。然而, 其实际发电效率受地面反射率、安装高度、倾角及光照分布变化等多因素耦合影响。开展双面双玻光伏组件在复杂光照条件下的发电效率优化研究, 对于充分挖掘其发电潜能、降低度电成本并推动光伏系统高效、可靠运行具有重要的理论意义和工程价值。

2 双面双玻光伏组件的概述

双面双玻光伏组件是高性能光伏组件, 核心为双面电池片, 正反两面都采用玻璃封装结构, 正面直接承接太阳直射光, 背面能有效借助地面及环境反射光, 完成双面发电作业, 明显增加单位面积发电量, 双玻结构比传统背板组件机械强度更高、耐候性更优良、使用寿命更长久, 能切实缓解水汽渗透、紫外老化和热衰减等问题, 实操过程中, 双面双玻光伏组件可灵活匹配各类安装方式和应用场景, 可全面适配地面电站、农业光伏、分布式及高反射率环境, 电池与封装技术不断进步, 这类组件已成为拉动光伏系统综合效率和经济性提升的关键发展方向之一。^[1]

【作者简介】杜鹏(1988-), 男, 中国河南商丘人, 本科, 工程师, 从事新能源光伏、风电项目建设与管理研究。

3 双面双玻光伏组件在复杂光照条件下发电效率优化的意义

3.1 提升系统发电量

在复杂光照条件下，双面双玻光伏组件的发电过程同时受到直射光、散射光及反射光的共同影响，光照强度与入射角呈现出明显的时空不均匀特征。通过对发电效率进行系统性优化，可以更充分地激发组件正反两面的受光潜力，使原本难以有效利用的散射光和环境反射光转化为可观的电能输出。这种优化不仅能够缓解复杂光照带来的不利影响，还可在相同装机容量和占地条件下显著提升整体发电量，为光伏系统实现“多发电、稳发电”奠定基础。发电效率优化有助于减少光照波动引起的功率损失，提高系统在非理想气象条件下的能量捕获能力，使年均发电量更加稳定可控。同时，更高的发电量意味着单位组件和系统投资所对应的电能产出增加，有利于提升电站整体运行水平与能源利用效率。这对于推动双面双玻光伏组件在多样化应用场景中的规模化应用具有重要支撑作用。

3.2 降低度电成本

通过针对复杂光照环境开展发电效率优化研究，可以有效提升组件对直射光、散射光及地面反射光的综合利用水平，在不显著增加硬件投资的前提下提高系统的实际发电量。由于度电成本本质上取决于系统全寿命周期内的总发电量与总投入，当单位装机容量所对应的发电量增加时，固定投资、运维费用和土地成本将被更多电量所分摊，从而显著拉低单位电能的生产成本。^[1]这种“以效率换成本”的路径，在复杂光照条件普遍存在的实际应用场景中尤为具有现实意义。从长期运行角度来看，双面双玻光伏组件在结构可靠性和耐久性方面具有天然优势，配合发电效率优化策略，有助于进一步降低度电成本。一方面，通过优化安装参数、阵列布局和运行管理方式，可减少因遮挡、热损失和光照不均引起的能量损耗，提高系统的年等效利用小时数；另一方面，更稳定、更高效的发电性能能够降低组件衰减和故障带来的隐性成本，减少维护频次和停机损失。随着发电量持续提升与运行风险逐步降低，光伏系统在全生命周期内的经济性将得到明显改善，从而实现度电成本的持续下降，增强双面双玻光伏组件在市场的竞争优势。

3.3 增强环境适应性

双面双玻光伏组件通过正反两面同时参与发电，本身具备较强的光能获取能力，但其优势的充分发挥依赖于针对环境特征的发电效率优化。通过优化组件布置方式、安装参数及运行策略，可有效提升组件对多云、雾霾、反射不均等复杂光照条件的适应能力，使系统在非理想环境下仍能保持较高的能量转换效率。这种优化过程有助于减少外部环境变化对发电性能的冲击，增强系统在多样化自然条件下的运行韧性。复杂光照条件广泛存在于山地、城市分布式、农业光伏及高纬度地区，若组件对环境变化敏感，将严重制约其推

广应用。^[2]通过发电效率优化，可以提升系统对地面反射率差异、季节性光照变化以及周边环境反射条件的适应能力，使组件在不同区域、不同气候条件下均能稳定运行。同时，更强的环境适应性意味着系统对极端天气和长期环境变化的抵抗能力增强，有助于降低发电波动和运行风险。这不仅提高了光伏系统的可靠性和可预测性，也为双面双玻光伏组件在复杂多变环境中的规模化部署提供了坚实保障。

3.4 优化组件布置方案

双面双玻光伏组件同时依赖正面直射光与背面反射光，其布置方案不仅决定受光面积，还影响反射光的获取效果。通过开展发电效率优化研究，可以系统分析不同安装高度、倾角、方位角及阵列间距对双面发电增益的影响，从而形成更加科学合理的组件布置方案。这种针对复杂光照特性的优化，有助于减少遮挡和光照不均带来的能量损失，使组件在有限空间内实现更高效的光能利用。合理的布置不仅能够增强组件对环境反射光的捕获能力，还可改善阵列内部的通风与散热条件，降低热损耗对发电效率的影响。在复杂地形或多样化应用场景中，通过效率优化形成的布置策略，可以提高设计方案的适应性和可复制性，减少盲目经验设计带来的不确定性。最终，科学的组件布置方案能够在保障系统安全与可靠运行的同时，实现发电效率的持续提升，为双面双玻光伏组件的规模化应用提供有力支撑。

4 双面双玻光伏组件在复杂光照条件下发电效率优化的对策

4.1 优化安装倾角

太阳高度角随时间和季节持续发生变化，固定倾角配置不合理，易使直射光入射角偏离最佳范围，以此减少正面受光效率，结合不同地区纬度、气候特征、全年太阳辐照分布规律，全系统优化组件倾角，能让组件更长时间贴近最佳受光状态，恰当的倾角可提升雨水冲刷与灰尘自清洁效果，降低污染遮挡造成的发电损耗，复杂光照环境下维持稳定度较好的能量输出。^[4]倾角太小会压缩背面接收地面反射光的角度区间，倾角过大可能增多阵列遮挡和空间浪费，全面兼顾地面反射率、安装高度及阵列间距等因素，同步调整倾角参数，可优化正面直射光和背面反射光的平衡状态，面对复杂光照环境，该类优化策略能强化系统对散射光和反射光的利用能力，把双面发电优势充分发挥，选对安装倾角，既能提升组件瞬时发电效率，也能拉高年均发电效率，也为光伏系统在各类应用场景的高效运行筑牢关键支撑。

4.2 合理设置高度

安装高度直接影响组件背面接收地面反射光的能力，当高度过低时，背面视场受限，反射光利用不足，双面发电优势难以充分体现；而高度过高则可能增加支架成本和结构风险，且对发电增益提升有限。通过结合光照分布特征、地面反射条件及场地空间限制，对组件高度进行科学优化，可

以在保证结构安全性和经济性的前提下,显著改善背面受光环境。在复杂光照条件下,这种高度优化有助于减少局部遮挡和反射不均带来的影响,使组件在不同时间段均能获得较为稳定的光能输入。适当提高组件高度可以改善阵列下方和背面空气流通条件,增强自然散热能力,降低组件工作温度对转换效率的不利影响。同时,合理的高度设置能够减少地面物体、植被或积雪对背面受光的干扰,提高系统在季节变化和复杂气象条件下的适应性。通过在设计阶段将安装高度与倾角、阵列间距等参数进行协同优化,可形成更加完善的系统配置方案。最终,科学设置组件高度不仅有助于充分发挥双面双玻光伏组件的发电潜力,也为复杂光照环境下光伏系统的高效、稳定运行提供了可靠保障。

4.3 提升地面反射率

双面双玻光伏组件不只凭借正面接收直射光和散射光,背面发电能力强弱,绝大部分由地面对太阳辐射的反射水平决定,地面反射率数值偏低时,大量可利用光能遭吸收或散失,背面受光条件欠缺,整体发电效率难有提升,对组件下方及周边地表条件做优化调整,比如采用高反射率材料铺设、适度使用浅色砾石或功能性反射膜,可明显强化地面对太阳辐射的二次反射能力。面对复杂光照环境,该类手段可增强散射光和低角度入射光的利用效率,让背面发电在多云、弱光等条件下依旧发挥正向作用,从系统运行和工程应用的层面出发,提升地面反射率还可改善光伏阵列的整体受光均匀性与发电稳定性,高反射率地面可降低不同组件因反射条件差异引发的发电不平衡,减少局部功率损耗与系统波动风险。恰当挑选并安置反射材料,能在不显著加大系统复杂程度的基础上实现持续稳定的发电增益,频繁遇到复杂光照条件的应用场景,对地面反射率提升措施和组件安装高度、倾角及阵列间距等参数做协同优化,利于建设更高效、更可靠的双面发电体系,以系统化措施提升地面反射率,可充分激发双面双玻光伏组件的背面发电能力,为复杂光照环境里光伏系统发电效率的稳步提升提供有效支撑。

4.4 减少遮挡影响

建筑物、支架结构、植被生长及相邻组件阴影均会造成光照分布不均,让组件局部电池片呈低辐照状态,由此引发功率损耗甚至热斑风险,直面这个问题,依靠系统分析光照路径和遮挡来源,设计阶段合理规划组件布置、阵列朝向,

能有效降低固定遮挡对正反两面受光造成的干扰。^[5]面对复杂地形或分布式应用场景,充分兼顾太阳高度角随季节变化的特性,研判遮挡时段和遮挡范围,可降低关键时段发电损失,保持组件全天及全年的有效受光比例处于较高水平,从运行管控和系统调优层面出发,消减遮挡影响需结合动态管控与综合设计手段。用合理方式控制阵列间距和行距,能杜绝组件互相遮挡,侧重在低太阳高度角条件下获取背面反射光,强化周边环境管控,比如定期修剪植被、规范规划设备布局,还可减少非计划性遮挡造成的发电效率损失,面对复杂光照条件,把遮挡优化和安装高度、倾角及地面反射率等因素结合考量,利于创建更均衡的受光环境,用系统化方式降低遮挡干扰,既能提高双面双玻光伏组件的瞬时发电效率,也能提升其年均发电效率,还可提升系统运行的安全性和稳定性,为光伏电站长期高效运行筑牢坚实后盾。

5 结语

双面双玻光伏组件在复杂光照条件下的发电效率优化具有重要的理论意义和现实价值。通过在安装参数、组件布置、地面反射条件及遮挡控制等方面开展系统性优化研究,可有效提升光能利用效率,增强系统对复杂环境的适应能力,实现发电性能与运行稳定性的协同提升。相关对策的实施不仅有助于充分发挥双面双玻光伏组件的技术优势,也为降低光伏发电成本、提高能源利用水平提供了有力支撑。随着技术进步和应用经验的不断积累,双面双玻光伏组件在多样化复杂光照场景中的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1] 杨新科,胡湘江,吴克明.双面双玻组件与平单轴支架在渔光互补光伏电站的优化组合运用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(11):3.
- [2] 李永鑫,苑海涛.双玻双面光伏组件在降雪天气时的运行情况[J].太阳能, 2020(10):5.
- [3] 韦安 韦海峰 张彦虎 邹绍坤 卞子龙.柔性光伏支架场景下双面双玻光伏组件隐裂风险的实验研究[J].太阳能, 2024(5).
- [4] 余国森,刘松,吴限.双玻双面组件发电量计算方法及影响因素分析[J].电气传动自动化, 2020, 42(1):2.
- [5] 李永鑫,苑海涛.双玻双面组件与传统光伏组件的运行情况比较分析[J].农村电气化, 2020(4):2.