

# 双面发电组件地面反射率对系统增益贡献研究

王 棚

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450001

**摘 要：**研究双面发电组件地面反射率对系统增益的贡献。分析不同地面反射率下组件的受光特性，通过理论计算与模拟实验相结合，探究反射率与系统增益间的量化关系。明确反射率对发电效率的影响机制，为提高双面发电系统性能提供科学依据，助力光伏产业高效发展。

**关键词：**双面发电组件；地面反射率；系统增益

## 引言

随着光伏技术发展，双面发电组件应用渐广。地面反射光对其发电增益有重要作用，但地面反射率与系统增益的关系尚待深入研究。明确两者关联，能优化组件布局与系统设计，提升发电效率，对光伏行业的成本降低和可持续发展意义重大。

## 一、研究背景与意义

### （一）双面发电组件发展现状

双面发电组件凭借其能吸收正反两面太阳光的特性，在光伏产业中的应用占比持续提升，成为推动光伏系统效率升级的重要方向。相较于传统单面组件仅能利用正面直射光，双面组件背面可接收地面反射光、天空散射光等，理论发电效率更高。近年来，随着光伏技术的进步，双面组件的生产成本逐步降低，产品性能不断优化，如通过改进电池片结构、优化封装材料，提升背面光吸收效率与长期可靠性。目前，双面组件已广泛应用于大型地面光伏电站、分布式光伏项目等场景，尤其在地面开阔、反射条件较好的地区，其优势更易发挥。但在实际应用中，双面组件的系统增益受多种因素影响，地面反射率作为关键影响因素之一，其对系统增益的具体贡献程度尚未形成统一、精准的量化结论，相关研究仍需进一步深化，以更好地指导双面组件的工程应用。

### （二）地面反射率研究的重要性

地面反射率研究对充分发挥双面发电组件性能、提升光伏系统经济效益具有重要意义。地面反射率直接决定双面组件背面可接收的反射光强度，不同地面覆盖材料（如草地、砂石、反光膜等）的反射率差异较大，会导致双面组件系统增益出现明显不同。若缺乏对地面反射率的系统研究，在项目设计阶段可能无法合理选择地

面覆盖方案，导致双面组件的增益潜力未被充分挖掘，或因地面反射率设计不当造成资源浪费。此外，准确把握地面反射率对系统增益的贡献规律，可为双面光伏电站的选址、布局优化提供科学依据，如在反射率较高的地区优先推广双面组件，或通过改善地面反射条件提升现有电站的发电效率。同时，相关研究成果还能为双面组件的产品设计优化提供参考，推动组件背面结构与地面反射特性更适配，进一步提升双面组件的综合性能，促进光伏产业向高效化、精细化方向发展。

## 二、相关理论基础

### （一）双面发电原理

双面发电组件的发电原理基于光生伏特效应，其核心在于具备能从正反两面吸收光能并转化为电能的电池结构。双面组件的正面与传统单面组件类似，可直接吸收太阳直射光与天空散射光，光子照射到正面电池片上，激发半导体材料中的电子产生定向移动，形成电流。组件背面则通过特殊的透明背板或玻璃材质，接收地面反射光与环境散射光，这些光线穿透背板或玻璃后，照射到背面电池片上，同样能激发电子运动产生额外电流。双面组件的正背面电池电路通常采用串联或并联方式连接，形成整体发电回路，最终通过逆变器将直流电转化为交流电并入电网。与单面组件相比，双面组件的发电效率不仅取决于正面光强，还与背面接收的反射光强度密切相关，背面光强越大，额外产生的电能越多，系统整体增益越显著，这一特性是双面组件区别于传统组件的核心优势。

### （二）地面反射光传播理论

地面反射光传播理论是理解地面反射率如何影响双面组件系统增益的关键，主要涉及反射光的产生、传播路径与能量损耗规律。地面接收太阳直射光与天空散射

光后，会通过漫反射或镜面反射的方式将部分光线反射至双面组件背面。漫反射是地面反射的主要形式，反射光向各个方向均匀传播，其强度与地面材料的反射率正相关，反射率越高，单位面积地面反射的光能量越多。镜面反射则仅在地面覆盖光滑材料（如反光膜）时较为明显，反射光具有特定的传播方向，需通过优化组件安装角度使背面能有效接收。反射光在传播过程中会经历能量损耗，主要包括大气散射损耗与传播距离损耗，大气散射会导致部分反射光偏离传播方向，无法到达组件背面；传播距离越长，光线能量衰减越明显，因此组件安装高度、组件与地面的距离会影响反射光的最终接收强度。此外，地面反射光的光谱分布与入射光存在差异，不同波长的光线反射率不同，这也会对双面组件背面的光电转换效率产生影响，需在理论研究中充分考虑。

### 三、研究方法与实验设计

#### （一）实验场地选择

实验场地选择需综合考虑地面类型多样性、光照条件稳定性与环境干扰可控性，以确保实验结果的代表性与可靠性。首先，场地需涵盖多种典型地面覆盖类型，如自然草地、砂石地、水泥地面、不同材质的反光地面等，每种地面类型设置独立的实验区域，便于对比不同反射率对系统增益的影响。其次，场地需位于光照充足且光照条件稳定的区域，避免周边高大建筑物、树木遮挡阳光，减少阴影对实验数据的干扰；同时，该区域的气候条件应具有代表性，如选择温带或亚热带地区，确保实验结果能适用于多数双面光伏电站的应用场景。此外，场地需具备良好的基础设施条件，如便于安装双面组件、铺设数据采集线路，且周边无强电磁干扰源，避免影响数据采集设备的正常运行。实验场地还需划分出空白对照区域，用于监测自然环境参数（如光照强度、温度、风速），为后续数据分析提供环境基准数据，确保实验结果的准确性。

#### （二）反射率测量方法

反射率测量需采用科学、精准的方法，确保获取不同地面类型的真实反射率数据。常用的测量方法为光谱反射率测量法，使用便携式光谱仪进行数据采集，测量时需将光谱仪探头垂直对准地面，在不同时间段（如上午、中午、下午）多次测量，取平均值以减少光照角度变化对测量结果的影响。测量过程中需严格控制测量距离与环境条件，探头与地面的距离保持固定，避免距离变化导致测量误差；同时，需在无云、无风的天气条件下进行测量，防止云层遮挡改变入射光强度，或风吹动

地面杂物影响测量准确性。对于大面积地面区域，需采用网格布点测量法，将地面划分为若干均匀网格，在每个网格中心位置进行测量，确保测量结果能代表整个区域的平均反射率。此外，还需测量地面反射光的光谱分布，使用光谱仪记录不同波长光线的反射率数据，分析光谱特性对双面组件背面发电效率的影响，为后续系统增益分析提供更全面的反射率数据支撑。

#### （三）系统增益监测方案

系统增益监测方案需围绕双面组件的发电量、运行参数与环境参数展开，构建完整的监测体系。首先，在不同地面类型的实验区域安装相同规格的双面发电组件，组建独立的小型光伏系统，每个系统配备相同型号的逆变器与数据采集器，确保除地面反射率外，其他影响因素保持一致。数据采集器需实时采集组件正面与背面的发电量、输出电压、输出电流等参数，同时记录环境参数如太阳辐照度、环境温度、组件表面温度等，采集频率设置为每小时一次，确保能捕捉到不同时间段的系统运行变化。其次，设置单面组件对照组，在相同实验场地安装与双面组件参数一致的单面组件，监测其发电量，通过对比双面组件与单面组件的发电量差异，计算不同地面反射率下的系统增益值。监测周期需涵盖完整的季节周期，如持续监测一年，以分析不同季节光照条件、地面覆盖状态变化对系统增益的影响，确保实验结果能反映长期运行中的系统增益规律，为双面组件的实际应用提供可靠的数据参考。

### 四、实验结果与分析

#### （一）不同反射率下的发电数据

实验监测获取的不同反射率下的发电数据，清晰呈现了地面反射率对双面组件发电量的影响差异。在高反射率地面区域，双面组件的总发电量显著高于中低反射率地面区域。从单日发电数据来看，高反射率地面的双面组件在上午与下午时段的发电量提升尤为明显，这两个时段太阳高度角较低，地面反射光更易被组件背面接收，额外补充了背面发电量；而在正午太阳高度角较高时，虽然正面发电量占比提升，但高反射率地面仍能为背面提供稳定的反射光，使得总发电量保持优势。中反射率地面的双面组件发电量介于高反射率与低反射率之间，其背面发电量贡献相对稳定，受时段影响较小。低反射率地面的双面组件背面发电量贡献最低，部分时段甚至接近单面组件的发电量水平，仅在光照条件较好的正午时段，背面才有微弱的反射光补充。对比不同季节的数据发现，夏季高反射率地面的双面组件发电量优势

更显著，冬季因光照强度减弱，各反射率地面的发电量差异相对缩小，但高反射率地面仍能保持一定的发电量领先。

## （二）反射率与系统增益的关系

通过对实验数据的分析，明确了反射率与双面组件系统增益之间的正相关关系，且这种关系存在一定的变化规律。当地面反射率从低水平逐步提升时，系统增益呈现快速增长趋势，即反射率每提升一定幅度，系统增益的增长幅度较大；但当反射率提升至较高水平后，系统增益的增长速率逐渐放缓，趋于平缓，表明存在一个反射率阈值，超过该阈值后，单纯提升反射率对系统增益的贡献效率会降低。从季节角度看，相同反射率条件下，夏季的系统增益高于冬季，这是因为夏季光照强度大，地面反射光的能量密度更高，能更有效地提升组件背面发电量；而冬季光照强度弱，即使反射率较高，反射光的能量补充效果也有限。此外，组件安装高度对反射率与系统增益的关系有一定影响，在相同反射率下，适当提升组件安装高度能增加系统增益，因为更高的安装高度可减少地面阴影遮挡，让组件背面接收更多反射光；但安装高度过高会增加成本，且当高度超过一定范围后，系统增益的提升效果会减弱。综合来看，反射率是影响系统增益的关键因素，但需结合季节、安装高度等因素，才能实现系统增益的最优提升。

## 五、结论与展望

### （一）研究成果总结

本研究通过实验与分析，得出关于双面发电组件地面反射率对系统增益贡献的核心成果。首先，明确了地面反射率与双面组件系统增益呈正相关关系，高反射率地面能显著提升系统增益，其中高反射率地面的系统增益明显高于中低反射率地面，且在光照充足的季节与时段，这种增益优势更突出。其次，发现反射率对系统增益的贡献存在阈值效应，当反射率提升至一定水平后，系统增益增长速率放缓，过度追求高反射率可能导致投入与收益不成正比。再者，验证了组件安装高度与季节因素对反射率贡献效果的影响，适当提升安装高度可增强反射率的增益效果，夏季反射率的增益贡献优于冬季。最后，通过对比不同地面类型的发电数据，确定了不同场景下的最优地面反射率选择范围，为双面光伏电站的

地面设计提供了具体参考，如大型地面电站可优先选择高反射率地面以最大化系统增益，分布式项目在空间有限时可选择中反射率地面平衡成本与收益。

### （二）应用建议与未来研究方向

基于研究成果，提出双面发电组件实际应用的建议，并明确未来研究方向。在应用建议方面，针对大型地面光伏电站，建议在选址与设计阶段优先选择高反射率地面材料，并结合当地光照条件优化组件安装高度，以充分发挥双面组件的增益优势；对于分布式光伏项目，若地面空间有限，可选择中反射率地面材料，在控制成本的同时获取一定的系统增益；自然草地等低反射率地面则更适合对发电量要求不高或成本敏感的小型项目。在未来研究方向上，可进一步探索不同反射率材料的长期稳定性与经济性，分析反射材料老化对系统增益的影响，为材料选择提供更长期的参考；还可研究复杂地形下反射率与系统增益的关系，拓展研究成果的应用场景。

## 结束语

本研究揭示了双面发电组件地面反射率对系统增益的贡献规律。明确了反射率与系统增益的量化关系，为实际应用提供了理论支持。后续可进一步拓展研究范围，优化组件设计与系统配置，推动双面发电技术在更广泛场景高效应用，促进光伏产业持续进步。

## 参考文献

- [1] 何亚文, 李友才, 李志文, 等. 基于PVsyst系统的光伏电站单晶PERC型双面双玻组件发电效益影响因素分析[J]. 能源研究与管理, 2025, 17(02): 166-171+183.
- [2] 韩硕. 高效双面光伏组件建模及发电性能研究[D]. 东南大学, 2023.
- [3] 潘巧波, 何梓瑜, 李昂. 基于PVsyst的“跟踪支架+双面组件”光伏发电系统的发电量评估方法研究[J]. 太阳能, 2023, (04): 30-35.
- [4] 本刊综合. 高效双面发电组件用聚烯烃封装材料[J]. 今日科技, 2021, (07): 33.
- [5] 刘正新. 双面发电太阳能电池标定及检测技术研究. 上海市, 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 2021-04-23.