

分布式光伏发电系统中组件性能提升设计策略

朱海龙 刘伟 施敬萍

浙江嘉越能源科技有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i7.8215

[摘要] 在全球“双碳”目标推动传统能源转型压力下，可再生能源成为全球能源体系重构核心力量，分布式光伏发电作为清洁能源利用的重要形式，其组件性能直接影响系统的发电效率与经济性。本文围绕分布式光伏组件性能提升需求，从材料优化、结构创新、系统集成优化及智能管理四个维度，提出针对性设计策略，并结合实际应用案例进行分析，为提升分布式光伏系统可靠性与经济性提供理论与实践参考。

[关键词] 分布式光伏发电；光伏组件；材料优化；智能管理

Design strategy for improving component performance in distributed photovoltaic power generation system

Zhu Hailong Liu Wei Shi Jingping

Zhejiang Jiayue Energy Technology Co., LTD.

[Abstract] Driven by the global 'dual carbon' goals, which are pushing for a transition from traditional energy sources, renewable energy has become a key force in reshaping the global energy system. Distributed photovoltaic (PV) power generation, as a significant form of clean energy utilization, directly impacts the efficiency and economic viability of the system through the performance of its components. This paper addresses the need to enhance the performance of distributed PV modules by proposing targeted design strategies from four perspectives: material optimization, structural innovation, system integration optimization, and intelligent management. It also analyzes these strategies through practical application cases, providing theoretical and practical references to improve the reliability and economic efficiency of distributed PV systems.

[Key words] distributed photovoltaic power generation; photovoltaic module; material optimization; intelligent management

国际能源署即 IEA 数据显示，2023 年全球光伏发电量占比为 5.6%，其中分布式光伏发电靠着靠近用户侧消纳、能利用碎片化空间、减少电网传输损耗等特别优势，在能源结构里占重要位置。然而，分布式光伏系统在实际应用里面临多重挑战，一方面，组件长时间处在复杂环境下暴露着，高温沙尘盐雾等致使光电转换效率年均衰减 1.5%至 3%，大幅减少系统整个生命周期收益；另一方面，分布式场景当中组件安装位置散开、光照条件不一样，传统集中式系统不易达成精细化管理，局部

阴影遮挡能造成 15%至 30%的发电量损失。因此，分布式光伏发电组件性能提高设计策略，能突破现有技术瓶颈，把组件效率提高 10%至 20%，将使用寿命延长到 30 年以上，对推动能源结构清洁化转型、降低度电成本、实现“双碳”目标有战略意义。

一、分布式光伏发电系统简述

(一) 系统定义

分布式光伏发电系统身为现代能源体系里的重要创新成

果，在用户这边附近建造、运转，以用户端自己使用为主、多的电量上网，而在以配电网系统平衡调节作为特征的光伏发电设施中。比集中式光伏电站，它有明显独特优势，在经济性上，就近发电及用电模式大幅降低了电力传输损耗，降低电网建设跟维护成本，例如，某工业园区建设的分布式光伏发电系统，借助内部消纳电力，每年省下的输电损耗成本超百万。同时，分布式光伏发电系统规模能灵活调节，从几 kW 的家庭家用系统到数 MW 的商业楼宇运用，可满足多样的能源要求，这灵活性让它能充分利用城市闲置屋顶墙面等空间资源，达成能源高效使用。在供电可靠性方面，分布式光伏发电系统有重要意义。电网碰到自然灾害或故障的时候，分布式系统能单独运行，保证关键负载电力供给，变成应急供电的关键力量，此外，它建设周期短，安装方便，能快速应对能源需求，给能源供给给予及时补充。

(二) 系统组成与工作原理

分布式光伏发电系统组成恰似精密配合的有机整体，主要由光伏组件、逆变器、支架、控制器、储能设备以及电气连接部件组成。其中，光伏组件作为核心发电单元，借助光伏效应把太阳能转成直流电，例如，一块标准的 200W 多晶硅光伏部件，在理想光照情形下，每小时能产生约 0.2 度直流电。逆变器承担把直流电转化为符合电网或负载要求的交流电这一关键任务。它转换效率给系统整体性能造成显著影响，当下市场里先进逆变器转换效率能达 98% 以上，支架用来支承及固定光伏组件，恰当的支架设计可保证组件用最佳角度接受光照，提升发电效率，控制器监控系统运行状态，依照光照强度、电池电量等参量，调整组件的工作方式，达成最大功率点跟踪，让组件一直保持高效发电情形。在光照资源多但用电需求不稳定场景中，储能设备能把多余电能存起来，光照不足或用电高峰放出来，确保电力能稳定供给，提升系统稳定跟可靠性程度。系统工作流程紧密有序，白天光伏组件在光照里产生直流电，直流电经逆变器转成交流电后，优先供应本地负载去用；若有剩余电量，就能借并网装置传送到电网。晚上或者光线不足的时候，配备了储能装置，能靠储能装置放电去满足负载需要；若无储能设备，则由电网供电。

(三) 系统应用场景

分布式光伏发电系统靠着它特有优势，在很多领域获得广泛运用，在工业厂房领域，大型制造企业屋顶面积大得很，给

分布式光伏发电供给了理想安装地点。像某个汽车制造企业，在厂房屋顶装了 5MW 分布式光伏发电系统，年发电能达 500 万度，满足企业大概 30% 的用电需求，大幅减少了企业用电成本，减少了碳排放，提高企业绿色形象，商业建筑领域，商场、写字楼这类商业建筑用电量多且用电时段集中，分布式光伏发电系统能缓解高峰时段用电压力。例如，某大型商场装的分布式光伏发电系统，满足部分公共区域照明用电，还借智能控制系统把多余电量存储或者并网，达成能源高效运用。居民住宅方面，户用分布式光伏系统近些年发展快速，对某农村地方来说，一些农户于自家屋顶装设了小型分布式光伏发电系统，除应付家庭平常用电外，多余电量卖给电网，每年能给农户添数千元收入，变成农村居民增收的新办法。

二、分布式光伏发电系统中组件性能提升设计策略

(一) 从基础突破提高光电转换效率

光伏材料光电转换效率取决于对光子吸收效率、载流子分离效率以及复合损耗控制，基于此，能靠引入高禁带宽度材料、优化界面钝化层结构、构建多结叠层体系等办法，提高材料光-电转换性能。例如，PERC 钝化发射极及局部背场电池技术借在硅片背面沉积氧化铝钝化层达成，降低电子复合损耗，把单晶硅电池转换效率从传统的 19% 提升到 23% 以上；钙钛矿材料有直接带隙、载流子迁移率高的特性，它的理论转换效率能达到 33%，变成下一代光伏材料研究热点。隆基绿能推 Hi-MO6 组件用 TOPCon 隧穿氧化层钝化接触电池技术，在 n 型硅片背面做超薄氧化硅隧穿层和掺杂多晶硅层的制备，构成钝化接触结构，让电池转换效率冲破 25.7%，在甘肃敦煌 10MW 分布式项目里，这组件比传统 PERC 组件发电量提高 12.3%，度电成本降了 0.08 元每千瓦时。此外，纤纳光电搞出的钙钛矿-晶硅叠层组件，把钙钛矿层和 PERC 电池层叠放一起集成，实验室效率达 29.5%，在某工商业分布式项目运用里，单位面积发电数量比单晶硅组件提升 35%。

(二) 加强环境适应性和能量捕获效率

组件结构设计得兼顾光吸收效率、机械强度还有散热性能。双面发电结构借着在组件背面用透明背板或者玻璃，让组件能借助地面反射光以及散射光来发电，理论上能增添 20% 至 30% 的发电量；而优化封装工艺，采取高透光率 EVA 胶膜、耐候性背板能减少光衰减，提高组件长久可靠度。此外，针对分布式场景里组件或许面临的风沙、盐雾等环境难题，经由边框

密封设计、表面疏水处理等办法,能增强组件环境耐受性,

晶科能源 TigerNeo 双面双玻组件用“玻璃-电池片-玻璃”三明治架构,背面用高透光钢化玻璃,搭配 AI 光学设计优化的电池排列,让组件双面发电系数超 85%。在某项目里,该组件处于地面铺设反光膜情形下,首年发电量比单面组件提高 22.6%,因双玻结构耐候性,组件 25 年衰减率把控在 8.5% 以内,此外,阿特斯搞出的中空玻璃背板组件,在背板里嵌入微结构空气层,让组件散热系数下降 15%,在广东沿海高温高湿区域应用之际,组件温度比传统组件低 5-8℃,发电效率提高 3.2%。

(三) 借助多组件协同提高能量利用率

分布式光伏体系里,组件串并联设置、MPPT 最大功率点跟踪算法以及逆变器匹配程度直接关乎能量捕获效率,依据群体智能理论,借着构建多组件协同控制模型,能动态调节各组件工作点,防止局部阴影、温度差别致使的“热斑效应”。例如,用分布式 MPPT 技术,给每个组件或者子串配上单独控制器,能让系统发电效率提高 5% 至 15%;基于遗传算法优化串并联拓扑设计,可依照光照分布特性自行适应调整组件连接方法,把系统输出功率最大化。阳光电源 SG100HX-M 分布式逆变器运用“组串式 MPPT+智能功率优化”技术,每个 MPPT 通道能支持 6 至 8 串组件单独控制,搭配 AI 功率预估算法,能实时弥补因组件参数不同、阴影遮蔽致使的功率损耗。在某工业园区屋顶项目里,该系统在部分组件被树叶挡住时,整体发电量比集中式 MPPT 系统提高 9.7%,此外,华为 FusionSolar 智能光伏解决办法借由 iSolarCloud 平台,监测园区内 500 多个组件的实时电流-电压曲线,借助神经网络算法预估各组件最大功率点,动态调整逆变器工作参数,让系统综合效率提高 7.3%,故障诊断准确比率超 98%。

(四) 凭借数字技术达成性能动态优化

借助物联网、大数据跟 AI 技术,搭建组件性能智能管理系统,能达成从故障预警至性能优化的全生命周期管理,借助布设高精度传感器采集部件温度、电流、电压等即时数据,借助机器学习算法构建性能衰减预测模型,能提早辨认隐裂、热斑等潜在故障;基于强化学习的动态调度策略呢,能依据光照、温度变动自适应调节组件工作参数,达成效率即时优化。例如,BP 神经网络模型能借助分析组件 3 个月运行数据,预估它未来 6 个月的衰减趋向,准确率超 92%。固德威的 GW-iMars 智慧能

源管控系统,在组件级布置智能终端,实时收集每块部件的电性能数据,且上传到云端平台做 AI 剖析。在某工业园区项目当中,系统靠着识别 23 块有隐裂的组件,占比 3.1%,提前进行更换,避免了局部失效致使的串电压下降问题,让系统年发电量提高 4.2%,此外,正泰新能源弄出的“光伏云脑”系统,借助数字孪生技术给每块组件打造虚拟模型,结合天气预报讯息,提前 24 小时调节组件倾角跟工作电压,在浙江温州渔光互补项目里,让组件在多云天气之下能量捕获效率提高 18.5%,等效年发电数量增多 12 万 kWh。

结论

综上所述,分布式光伏组件性能提高要从材料、结构、系统和管理四个层面一同创新,材料优化靠突破光电转换极限奠定效率基础,结构创新靠环境适应性设计保证长期可靠运作,系统集成优化靠多组件协同提能量利用率,智能管理通过数字技术达成性能动态调控。未来,随着钙钛矿与晶硅叠层技术、智能微电网控制这般前沿技术的发展,分布式光伏组件性能朝更高效率、更低衰减、更智能化方向发展,给“双碳”目标达成予以更强支持,提议在实际工程当中,结合应用场景特性,像光照资源、气候状况、安装方式,组合选用策略搭配,实现经济与可靠的最优平衡。

[参考文献]

- [1]朱绣峰.基于智能算法的光伏发电系统设计与性能评估[J].光源与照明,2025(01):156-158.
- [2]邹誉靖.基于光伏组件的多光源互补发电系统优化[J].光源与照明,2025,(01):117-119.
- [3]黎金锋,王志新,王亮,等.计及户用分布式光伏电站的智能家庭能效管理系统控制策略研究[J].电器与能效管理技术,2014.
- [4]李宝强,卢阳.面向变电站综合控制的分布式光伏发电并网策略研究[J].现代电子技术,2024(22).
- [5]黎金锋,王志新,王亮,等.计及户用分布式光伏电站的智能家庭能效管理系统控制策略研究[J].电器与能效管理技术,2014(09):52-57.

作者简介:朱海龙,出生年月:1990年7月,男,汉族,籍贯:浙江省衢州市,学历:本科,职称:工程师,研究方向:电气系统及其自动化。