

分布式光伏系统的技术创新与应用

郭铁城

中国电建市政建设集团有限公司

摘要：分布式光伏系统不仅能够有效缓解能源供应压力，减少温室气体排放，还能促进能源利用效率的提高和能源结构的优化。分布式光伏系统在城市、农村、工业等多场景的广泛应用，推动了区域经济的发展和能源的公平利用。然而，随着应用规模的扩大，分布式光伏系统在技术和应用方面仍面临诸多挑战，迫切需要通过技术创新和优化策略，提升系统的效率、可靠性和经济性，实现更广泛和深入的应用。本论文将围绕分布式光伏系统的技术创新与应用展开，旨在探讨当前技术发展中的关键问题和前沿技术，并提出针对性地优化策略。

关键词：分布式光伏系统；系统规模；故障检测

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.24.121

随着全球能源需求的不断增长和环境问题的日益严峻，寻求可持续的清洁能源解决方案已成为全球共识。在此背景下，太阳能光伏（PV）技术因其资源丰富、清洁环保和技术日渐成熟等优点，逐渐成为可再生能源利用的重要方式之一。尤其是分布式光伏系统，作为光伏发电的重要形式，因其具备灵活性和独立性，能够分散安装在用户侧，直接供电给当地用户，减少了长距离输电的损耗，迅速在全球范围内得到广泛应用和推广。

一、分布式光伏系统的发展现状

近年来，分布式光伏系统材料的合格率呈现出波动性提升的趋势，反映了技术和质量控制的不断进步。具体来看，太阳能电池的合格率在2021年至2024年间略有波动，但整体保持在54%至58%之间。逆变器的合格率显著提高，从2021年的48%增至2023年的59%，2024年略微回落至58%。智能电网的合格率在2023年达到峰值68%，但2024年下降至51%。光伏组件和封装材料的合格率也逐年提升，光伏组件从2021年的44%提高到2023年的58%，2024年略降至53%；封装材料则从48%稳步提升至2024年的59%，这些数据表明，尽管存在一定的波动，但分布式光伏系统整体上在技术质量方面有显著改善，推动了其在实际应用中的可靠性和效能提升。

二、分布式光伏系统的技术创新

（一）组件技术

高效太阳能电池技术在分布式光伏系统中的应用对

表1 分布式光伏系统材料合格率

	2021年	2022年	2023年	2024年
太阳能电池	58%	54%	54%	55%
逆变器	48%	55%	59%	58%
智能电网	45%	54%	68%	51%
光伏组件	44%	56%	58%	53%
封装材料	48%	55%	57%	59%

于提高发电效率具有至关重要的作用。近年来，通过对光伏材料和制造工艺的不断改进，高效太阳能电池的转换效率显著提升。单晶硅和多晶硅太阳能电池的效率逐步接近其理论极限，而新兴的钙钛矿太阳能电池由于其低成本和高效率的特性，备受关注，这种新型材料的应用有望进一步降低光伏系统的发电成本。^[1]与此异质结太阳能电池凭借其在高温条件下的优异性能，成为研究的热点，凭借在传统硅基太阳能电池上叠加一层非晶硅薄膜，异质结电池有效减少了电子复合，显著提高了电池的开路电压和填充因子。对于分布式光伏系统而言，高效太阳能电池不仅意味着更高的能量输出，还在一定程度上减少了占地面积，提升了空间利用率。新型光伏材料的发展为光伏产业注入了新的活力，特别是有机光伏材料和量子点光伏材料的研究进展迅速，有望实现更高的光电转换效率。

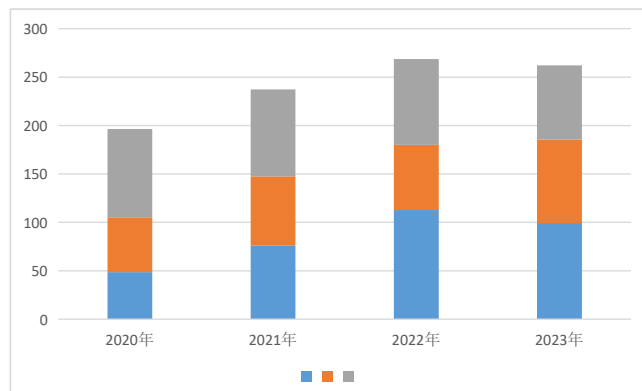


图1 组件技术历年应用情况

（二）电力电子技术

电力电子技术是分布式光伏系统的核心组成部分，逆变器技术的发展直接影响到系统的转换效率和稳定性。现代逆变器技术的发展呈现出高效化、智能化和模

块化的趋势。高效化方面，通过采用新型半导体材料如碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN），逆变器的功率转换效率大幅提升，同时体积和重量显著减少。^[2]智能化方面，智能逆变器能够实现自我诊断、远程监控和故障预警，提升了系统的可靠性和维护效率。模块化方面，模块化逆变器设计使得系统的安装和维护更加简便灵活，适应不同规模和类型的光伏系统需求。电力电子模块的集成与优化也是提升分布式光伏系统性能的重要环节，凭借集成更多功能模块，如直流/直流变换器、能量管理模块等，可以实现更高效的能量转换和管理。优化设计的电力电子模块不仅能提高系统的整体效率，还能降低功率损耗，提升系统的稳定性和寿命。最大功率点追踪（MPPT）技术作为光伏系统中至关重要的一环，通过实时调节系统的工作状态，确保光伏组件始终在最大功率点工作，最大化电能输出。现代MPPT技术的发展涵盖改进算法和提高响应速度。^[3]传统的扰动观察法和导纳增量法逐渐被更为先进的算法如人工神经网络和模糊逻辑控制所取代，这些先进算法能够更精确地追踪最大功率点，尤其在复杂的环境条件下表现优异。快速响应的MPPT技术可以在光照条件突变时，迅速调整系统状态，确保光伏系统的稳定输出。电力电子技术的不断进步，使得分布式光伏系统在不同应用场景中的适应性和可靠性不断提高，为其广泛推广应用提供了坚实的技术基础。

（三）能量管理系统

智能能量管理系统在分布式光伏系统中扮演着至关重要的角色，其核心功能是通过实时数据采集和分析，对光伏发电、储能设备和负载进行优化控制。^[4]随着物联网和大数据技术的快速发展，智能能量管理系统能够实现精确的能量调度和优化，提高整个系统的效率和可靠性，凭借使用高级算法和预测模型，智能能量管理系统可以根据天气预报和历史数据，提前调节光伏发电和储能设备的工作状态，确保在不同环境条件下的最优运行。系统可以通过负载管理技术，智能调节用户用电设备的运行状态，实现峰谷电价的优化和能源成本的降低。储能系统的集成与优化是提升分布式光伏系统稳定性和灵活性的重要手段，凭借合理配置储能系统，可以有效解决光伏发电的间歇性和不稳定性问题，保证电力供应的连续性。^[5]近年来，锂离子电池由于其高能量密度和长寿命，成为分布式光伏系统储能的主流选择。与此液流电池和超级电容等新型储能技术的发展，也为分布式光伏系统提供了更多选择。储能系统的优化不仅涉及储能设备的选择和配置，还涵盖能量管理策略的优

化，凭借智能控制算法，可以实现光伏发电和储能设备的最佳匹配，最大化系统的整体效益。实时监测与控制技术在分布式光伏系统的高效运行中发挥着关键作用，凭借部署先进的传感器和监控设备，可以实时监测光伏组件的发电状态、储能设备的充放电情况和负载的用电情况，这些实时数据通过传输网络汇集到中央控制系统，经过处理和分析后，生成最优的控制策略，实时调整系统的运行状态。先进的控制算法和快速响应的控制设备，使得分布式光伏系统能够在复杂多变的环境条件下，保持高效、稳定地运行，凭借远程监控和管理平台，运维人员可以实时掌握系统的运行状态，及时发现和处理故障，降低运维成本，提高系统的可靠性和寿命。能量管理系统的智能化和优化，为分布式光伏系统的高效运行提供了有力支持，推动了光伏技术的进一步发展和应用。

三、分布式光伏系统的应用创新

（一）分布式光伏系统在城市中的应用

建筑一体化光伏（BIPV）作为分布式光伏系统在城市中的重要应用形式，具有高度的集成性和美观性。BIPV通过将光伏组件直接集成到建筑物的外墙、屋顶或窗户中，实现发电与建筑功能的有机结合，这种技术不仅可以提供清洁能源，还能起到隔热、防水、降噪等作用，提升建筑的整体性能和能源利用效率。光伏组件作为建筑材料的一部分，不仅减少了传统建筑材料的使用量，也降低了建筑的整体碳排放。随着技术的进步和成本的下降，BIPV在高层建筑、商业综合体和公共建筑中的应用逐渐增多，成为绿色建筑的重要标志。光伏屋顶系统在城市中的应用广泛，主要通过居民住宅、商业楼宇和公共设施的屋顶安装光伏组件，实现就地发电和就地消纳。城市建筑密集且屋顶资源丰富，使得光伏屋顶系统具有很大的发展潜力。光伏屋顶系统不仅可以为用户提供清洁电力，降低用电成本，还能通过并网实现电力的双向流动，向电网输送多余的电力。现代光伏屋顶系统多采用智能逆变器和能量管理系统，能够实时监测发电和用电情况，优化系统运行。城市分布式能源网络是通过将多个分布式光伏系统与储能设备、负荷控制设备和智能电网技术相结合，形成一个高效、可靠、灵活的能源网络。该网络能够有效整合城市中的分布式能源资源，实现能源的优化配置和智能调度，凭借分布式能源网络，城市中的各类能源用户可以共享清洁能源，提升整体能源利用效率，减少对传统电网的依赖。智能电网技术在城市分布式能源网络中的应用，使得系统能够实时响应负荷变化和电力市场需求，优化能源流动和

价格机制。分布式光伏系统在城市中的应用，推动了城市能源结构的绿色转型，提升了能源利用效率和环保效益，为建设低碳城市提供了有力支持。

（二）分布式光伏系统在农村和偏远地区的应用

农业光伏互补系统在农村和偏远地区的应用，充分利用了土地资源和太阳能资源的互补性，通过在农田、渔场或牧场上方架设光伏组件，实现农业生产和光伏发电的双重收益，这种系统不仅可以提供稳定的电力供应，减少农村地区对传统能源的依赖，还能改善农田的微气候环境，提高农作物的产量和质量。在渔业光伏互补系统中，光伏组件可以为水产养殖提供遮阳，降低水温波动，改善养殖环境。农业光伏互补系统的推广，有助于农村经济的可持续发展，提高农民的收入水平，促进农村地区的能源转型。偏远地区电力供应解决方案是针对电网覆盖不足或不稳定的农村和边远地区，通过建设分布式光伏系统和储能设备，实现独立供电或微电网供电，这些地区通常面临电力供应不足、电价高昂的问题，分布式光伏系统的应用，可以显著改善当地居民的用电条件，提高生活质量，凭借配置合适的储能系统，分布式光伏系统能够在夜间或阴雨天持续供电，保障电力供应的连续性和稳定性。社区微电网在农村和偏远地区的应用，通过将多个分布式光伏系统、储能设备和负荷控制设备有机结合，形成一个小规模的独立电力系统，为社区居民提供可靠的电力供应。社区微电网能够实现电力的就地生产和消纳，提高能源利用效率，减少对外部电网的依赖，凭借智能能量管理系统，社区微电网可以实现负荷的智能调控，优化电力供应和需求，降低电力成本。在紧急情况下，社区微电网还可以作为备用电源，保障居民的基本用电需求。分布式光伏系统在农村和偏远地区的应用，推动了农村能源结构的多元化和绿色转型，提高了农村地区的能源自给率和能源安全，为实现乡村振兴和脱贫攻坚提供了重要支撑。

（三）分布式光伏系统在工业中的应用

工业园区光伏系统通过在工业园区的屋顶、停车场和空闲土地上安装光伏组件，为工业企业提供清洁电力，降低企业的用电成本和碳排放。工业园区通常拥有大面积的建筑屋顶和广阔的空地，适合大规模光伏系统的部署。工业园区光伏系统可以实现发电和用电的就地平衡，减少电力传输损耗，提高能源利用效率。现代工业园区光伏系统多采用智能化管理平台，实时监测和调控系统的运行状态，优化发电和用电匹配。工商业屋顶光伏系统是通过在工厂、仓库、商场等工商业建筑的屋顶安装光伏组件，实现清洁电力的生产和消费，

这类系统不仅可以为企业提供稳定的电力供应，降低用电成本，还能通过余电上网获得额外的经济收益。工商业屋顶光伏系统的应用，可以有效利用建筑的闲置屋顶资源，减少企业对传统电力的依赖，提高能源利用率。智能逆变器和能量管理系统的应用，使得工商业屋顶光伏系统能够实时监测发电和用电情况，优化系统运行和维护。工业过程中的能源管理是通过引入分布式光伏系统和智能能量管理平台，实现对工业生产过程中能量流动的实时监控和优化调度。工业企业的能耗大、用电负荷波动大，通过分布式光伏系统的应用，可以削峰填谷，平衡用电负荷，降低电力成本。智能能量管理平台可以根据生产计划和能源价格，优化光伏发电和电力消耗，最大化系统效益。工业企业还可以通过与电网互动，参与电力市场交易，获得额外的经济收益。分布式光伏系统在工业中的应用，不仅提升了企业的能源利用效率和经济效益，还促进了工业企业的绿色转型和可持续发展，凭借分布式光伏系统的广泛应用，工业企业可以实现清洁能源的自给自足，减少碳排放，提升企业的社会责任形象，为实现工业领域的低碳发展目标贡献力量。

结论

未来，分布式光伏系统将呈现出智能化、模块化和高效化的发展趋势。智能化方面，随着物联网和人工智能技术的进步，分布式光伏系统的管理和控制将更加智能和高效，实现实时监测、故障诊断和优化调度。模块化方面，标准化的模块设计将使得系统的安装和维护更加便捷，提高系统的可扩展性。高效化方面，新材料和新工艺的发展将进一步提升光伏组件的转换效率，降低系统成本。

参考文献

- [1] 于程水. 天津地区分布式光伏系统优化布置及经济性研究[J]. 铁道建筑技术, 1-4.
- [2] 郑培城, 周云海, 陈潇潇, 张泰源. 基于改进模块化指数的有源配电网电压分布式控制策略[J]. 现代电子技术, 2024, 47(12): 138-144.
- [3] 黄克华, 翁家恩, 刘璐. 智能分布式光伏技术赋能纺织产业绿色发展[J]. 棉纺织技术, 1-5.
- [4] 李一诺, 刘玮, 魏兴慎, 王琦. 网络攻击场景下含分布式光伏配电网的脆弱性研究[J]. 综合智慧能源, 2024, 46(05): 50-57.
- [5] 雷阳, 聂思聪, 吕小秀, 何信林, 王海强, 倪继文. 分布式光伏接入火电厂厂用系统的安全经济性分析[J]. 热力发电, 2024, 53(05): 93-100.