

光伏组件轻量化发展与研究进展

王 艳

新疆兵安电力建设有限责任公司 新疆 图木舒克 844000

摘 要：本文探讨了光伏组件轻量化技术的发展与研究进展。光伏组件作为光伏发电系统的核心，其轻量化对于提升运输安装便捷性、降低成本具有重要意义。文章首先介绍了光伏组件的结构、工作原理及轻量化基础，详细阐述了单玻组件、双玻组件以及轻质柔性组件在轻量化方面的进展。同时，分析了轻量化技术面临的可靠性、成本及标准化等挑战。也探讨了轻量化光伏组件在屋顶光伏系统、农业用地光伏应用、建筑一体化光伏以及航空航天领域的应用前景，指出轻量化技术将为光伏产业的发展注入新的活力。

关键词：光伏组件；轻量化；封装材料；技术研究；发展趋势

1 光伏组件轻量化技术基础

1.1 光伏组件的结构与工作原理

光伏组件作为光伏发电系统的核心部件，其结构与工作原理是理解轻量化技术的基础。光伏组件主要由光伏电池、封装材料、边框和背板等部分组成。光伏电池是实现光电转换的关键，目前常见的有晶体硅电池和薄膜电池。晶体硅电池以硅片为基础，通过PN结的光电效应将太阳光能转化为电能；薄膜电池则是在玻璃、塑料等柔性或刚性衬底上沉积光电材料制成，具有成本低、可大面积制备等优势。封装材料用于保护光伏电池，提高组件的稳定性和使用寿命，常见的有EVA（乙烯-醋酸乙烯共聚物）、POE（聚烯烃弹性体）等。边框为组件提供机械支撑和保护，背板则起到防潮、绝缘和耐候性的作用。了解这些结构组成后，其工作原理是当太阳光照射到光伏电池上，光子与电池材料中的电子相互作用，产生电子-空穴对，在电池内部电场的作用下，电子和空穴分别向电池的两极移动，从而形成电流，实现光能到电能的转化。

1.2 轻质封装材料介绍

在光伏组件轻量化进程中，轻质封装材料发挥着关键作用。传统的封装材料如EVA虽然具有良好的粘接性能和光学性能，但在重量方面存在一定劣势。近年来，新型轻质封装材料不断涌现。例如，一些高性能的有机聚合物材料，其密度相较于传统材料大幅降低，同时具备优异的耐候性和电气绝缘性能，能够在保证光伏组件性能的前提下，有效减轻组件重量。还有纳米复合材料，通过在基体材料中添加纳米级的增强相，如纳米粒子、纳米纤维等，不仅可以提高材料的强度和韧性，还能降低材料的整体密度。另外，气凝胶材料也逐渐应用于光伏组件封装，其具有极低的密度和出色的隔热性

能，能够在实现轻量化的同时，提升组件的保温效果，减少能量损耗，为光伏组件的高效稳定运行提供保障。

1.3 轻量化技术的实现方法

实现光伏组件的轻量化需要综合运用多种技术方法。从材料替换角度，除了采用上述轻质封装材料外，还可使用轻质的边框材料，如铝合金边框替代传统的钢材边框，在保证组件结构强度的同时减轻重量。在结构设计方面，优化光伏组件的内部结构，采用更合理的电池排列方式和封装结构，减少不必要的材料使用，提高组件的单位面积功率输出，从而间接实现轻量化^[1]。例如，采用超薄硅片技术，在不影响电池光电转换效率的前提下，降低硅片厚度，减少硅材料的用量。同时，发展柔性光伏组件技术也是实现轻量化的重要途径，柔性组件可采用柔性衬底材料，如塑料薄膜等，使其重量大幅减轻，并且具有可弯曲、易安装等优点，适用于更多特殊场景，如建筑一体化应用等，拓展了光伏组件的应用范围。

2 光伏组件轻量化发展与研究进展

2.1 单玻组件轻量化进展

近年来，单玻组件通过优化玻璃材质与厚度实现显著减重。传统单玻组件多采用较厚的玻璃，而如今，高透光、高强度的超薄玻璃逐渐应用其中。这些超薄玻璃在保证足够的抗冲击性和耐候性前提下，大幅降低了组件重量。例如，部分企业研发出厚度仅为2.0mm的超薄玻璃用于单玻组件，与传统3.2mm玻璃相比，重量减轻约37.5%，同时仍能满足户外复杂环境下的使用要求。在封装材料方面，新型轻质封装胶膜的应用也助力单玻组件轻量化。这些胶膜不仅具有良好的粘接性能，还具备较轻的质量，进一步降低整体重量。在边框设计上，采用新型铝合金材料和优化的结构设计，在保证组件机械强

度的同时,减轻了边框重量。单玻组件轻量化进展不仅提升了运输和安装的便捷性,还降低了系统成本,使其在分布式光伏项目中更具竞争力。

2.2 双玻组件轻量化趋势

双玻组件以其良好的耐候性和更长的使用寿命,逐渐成为光伏市场的重要发展方向,轻量化则是其关键发展趋势。在玻璃材料上,双玻组件开始尝试使用更薄的玻璃片。通过对玻璃成分和生产工艺的改进,研发出的超薄双玻组合,在保证组件可靠性的同时,有效减轻了重量。例如,一些企业采用两片2.5mm的超薄玻璃组成双玻组件,相比传统的3.2mm+3.2mm双玻配置,重量减轻了约20%。同时,为了弥补因玻璃变薄可能导致的强度下降问题,采用先进的强化技术,如化学钢化、物理钢化等,增强玻璃的抗冲击和抗弯曲能力。在封装技术上,也在不断探索创新,采用更轻薄、高性能的封装材料,减少封装层的重量;双玻组件的内部结构设计也在不断优化,通过合理布局电池片和连接线路,减少不必要的材料使用,进一步推动轻量化进程^[2]。

2.3 轻质柔性组件的研究

轻质柔性组件作为光伏领域的新兴研究方向,具有独特的优势和广阔的应用前景。这类组件主要采用柔性衬底材料,如聚酰亚胺(PI)、聚乙烯对苯二甲酸酯(PET)等,替代传统的玻璃衬底,使得组件重量大幅降低,同时具备可弯曲、可折叠的特性。在电池技术方面,研究人员致力于开发适用于柔性衬底的高效光伏电池,如铜铟镓硒(CIGS)薄膜电池、有机光伏电池等。CIGS薄膜电池具有较高的光电转换效率,且能够在柔性衬底上制备,与柔性衬底结合后,形成的轻质柔性组件重量可低至传统玻璃基组件的1/5-1/3。有机光伏电池则具有材料来源广泛、可溶液加工、成本低等优点,在轻质柔性组件研究中也备受关注。随着研究的不断深入,轻质柔性组件有望在建筑一体化光伏、便携移动电源、航空航天等特殊应用领域取得突破。

3 光伏组件轻量化技术挑战

3.1 可靠性问题

在追求光伏组件轻量化的过程中,可靠性成为关键难题。随着组件重量减轻,其内部结构与材料性能也随之改变,进而影响长期稳定性。例如,采用超薄玻璃或轻质封装材料后,组件抵御外部环境侵蚀的能力可能下降,如在高温、高湿、强紫外线等恶劣条件下,更容易出现脱层、老化等问题,降低发电效率甚至导致组件损坏。此外,轻量化设计可能使组件的机械强度降低,难以承受大风、积雪等自然荷载,增加了运行风险。

3.2 成本问题

成本是制约光伏组件轻量化技术推广的重要因素。一方面,研发和生产轻质材料及新型组件的前期投入巨大。比如,高性能的轻质封装材料和特殊的制造工艺往往需要高额研发费用和先进生产设备,这使得组件成本大幅上升。另一方面,目前轻量化组件的市场规模相对较小,尚未形成规模效应,导致单位生产成本居高不下。而市场上传统组件价格相对较低,消费者对价格敏感,使得轻量化组件在价格竞争中处于劣势^[3]。

3.3 标准化与认证问题

当前,光伏组件轻量化技术缺乏统一的标准化与认证体系。不同企业采用的轻量化技术和材料各不相同,导致组件性能和质量参差不齐。没有明确的标准,就难以对轻量化组件的安全性、可靠性和性能进行准确评估,这给市场监管和产品推广带来困难。另外,国际上缺乏统一的认证标准,使得轻量化组件在国际贸易中面临诸多障碍,影响了技术的全球化发展。

4 光伏组件轻量化技术的市场应用与前景

4.1 屋顶光伏系统

在屋顶光伏系统中,光伏组件轻量化技术有着不可比拟的优势。从民用住宅到工商业建筑,屋顶光伏的普及正逐步改变能源利用模式,而轻量化组件是这一变革的重要推动力。对于民用住宅而言,传统重型光伏组件安装时,需对屋顶进行加固,增加了施工难度与成本,还可能破坏屋顶原有结构。而轻量化组件重量大幅降低,安装更为简便。以某款轻质柔性光伏组件为例,其重量仅为传统玻璃基组件的三分之一,安装时仅需简单固定,无需复杂屋顶改造,极大降低了居民安装屋顶光伏的门槛。这使得更多家庭能够实现自发自用、余电上网,既满足自身用电需求,又能获得额外经济收益;在工商业领域,大面积屋顶为光伏电站建设提供了广阔空间。轻量化组件在安装效率上优势明显,能大幅缩短施工周期,减少人力成本。比如某大型工厂屋顶光伏项目,采用轻量化单玻组件后,安装效率提升40%,整个项目工期缩短20天,有效减少对工厂正常生产的影响。此外,对于老旧建筑或承载能力有限的屋顶,轻量化组件无需大规模加固,降低了项目实施难度与成本。随着分布式光伏政策的大力扶持以及民众环保意识增强,屋顶光伏市场前景广阔;轻量化组件凭借安装便捷、成本可控等优势,预计未来市场占有率将持续攀升,成为屋顶光伏的主流选择。

4.2 农业用地光伏应用

在农业用地开展光伏项目,实现农光互补,是能源

与农业协同发展的创新模式，而轻量化光伏组件在其中发挥着关键作用。在农田场景中，传统重型光伏组件安装复杂，占用大量土地，还可能影响农作物生长。轻量化组件则能很好地解决这些问题，其重量轻、体积小，安装灵活，可采用抬高式或平铺式安装，不影响农作物正常生长。例如，在某蔬菜种植基地，采用轻质柔性光伏组件，通过支架将组件抬高1.5米，下方土地正常进行蔬菜种植，既利用太阳能发电，又保障了农作物的光照和生长空间，实现了土地的高效利用；在鱼塘等水产养殖区域，漂浮式光伏电站是常见应用形式。轻量化组件因重量轻，对漂浮结构承载要求低，可降低建设与维护成本。同时，光伏组件的遮阳作用能减少水面蒸发，调节水温，利于水产养殖。如某大型鱼塘漂浮式光伏项目，采用轻量化双玻组件，漂浮材料用量减少30%，且通过合理布局，实现了光伏发电与水产养殖的互利共赢，提升了整体经济效益。

4.3 建筑一体化光伏（BIPV）

建筑一体化光伏（BIPV）是光伏技术与建筑行业融合的前沿领域，轻量化光伏组件是实现BIPV的关键要素。在建筑外立面应用中，轻量化组件可替代传统幕墙、遮阳板等建筑装饰材料。传统幕墙仅具装饰和围护功能，而轻量化光伏组件不仅具备这些功能，还能发电。例如，某高端写字楼外立面采用轻质薄膜光伏组件制成的幕墙，不仅外观现代时尚，还能满足写字楼部分用电需求，实现了建筑美观与能源利用的完美结合；在屋顶建筑方面，轻量化组件可直接作为屋顶材料，实现发电、防水、隔热等功能一体化。传统屋顶光伏需额外安装组件，增加屋顶重量且可能影响防水性能。而轻量化光伏组件采用模块化设计，直接铺设形成完整屋顶结构。如某绿色住宅小区屋顶采用轻量化光伏瓦，既具备良好发电性能，又实现了防水、隔热、隔音等功能，提升了屋顶综合性能和建筑品质。然而，BIPV目前面临成本较高和专业人才短缺的问题。轻量化组件研发和生产成本相对较高，导致BIPV项目初始投资大；同时，BIPV系统设计、施工和维护需跨学科专业知识，相关人才匮乏。但随着技术进步和产业规模扩大，成本有望降低，人才培养体系也将逐步完善，BIPV市场前景依然十分广阔，轻量化组件将在其中扮演核心角色^[4]。

4.4 航空航天领域的光伏应用

在航空航天领域，对设备重量要求严苛，光伏组件轻量化技术显得尤为重要。卫星在太空运行需长期稳定的能源供应，且要尽可能减轻自身重量以增加有效载荷。轻量化光伏组件成为卫星能源系统的理想选择。例如，某新型遥感卫星采用了最新研发的轻质高效光伏组件，重量比传统组件减轻了40%，在有限的卫星表面积上，提供了更稳定且充足的电力，保障了卫星各类精密设备的正常运行，提升了卫星的工作效率和使用寿命；在高空无人机方面，轻量化光伏组件可延长其续航时间，拓展应用范围。高空无人机常用于气象监测、地理测绘等任务，对能源需求大且要求设备轻便。采用轻量化光伏组件后，无人机能在飞行过程中持续充电，执行任务的时间大幅增加。比如，某款用于气象监测的无人机，装备轻量化光伏组件后，续航时间从原来的8小时提升至15小时，能够更全面、深入地收集气象数据，为气象研究和预报提供更准确的信息。随着科研投入的增加和技术的不断突破，轻量化光伏组件在航空航天领域的应用前景将更加广阔，为太空探索和高空作业提供更强大的能源支持。

结束语

综上所述，光伏组件轻量化技术的发展与研究对于推动光伏产业的进步具有重要意义。随着轻质封装材料的不断涌现和轻量化技术的不断创新，光伏组件的重量得以大幅降低，安装效率和使用寿命得以显著提升。未来，随着技术的进一步突破和成本的逐步降低，轻量化光伏组件将在更多领域得到广泛应用，为可再生能源的推广和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]王栋.废旧光伏组件回收再利用问题探究[J].产业与科技论坛,2019,18(09):66-67.
- [2]陈登峰.分布式光伏发电系统电气设计与性能优化研究[J].光源与照明,2024,(03):99-101.
- [3]陆琨.可再生能源发电中光伏系统的性能评估与优化策略[J].现代盐化工,2024,51(01):69-71+74.
- [4]金胜利,郭振兴,干建丽,等.光伏电站组件清洁技术研究综述[J].能源工程,2023,43(05):1-11.