

无锡太阳能光伏建筑一体化技术研究

天翼¹ 张妍² 方一舟³ 孙春建³ 费锋⁴ 严峰⁴
王永刚⁴ 曾威¹ 郑小波¹ 王海刚¹

1. 无锡太湖明珠建设咨询有限公司; 2. 无锡市滨湖区胡埭镇人民政府; 3. 无锡市富安建设发展有限公司;
4. 无锡市滨湖区建设工程质量安全监督站

摘要: 本文聚焦无锡太阳能光伏建筑一体化 (BIPV) 技术, 结合当地亚热带季风气候与多样建筑风格, 探讨其应用与发展。首先阐述光伏发电原理及 BIPV 系统组成, 接着分析无锡在公共建筑 (如无锡交响音乐厅、光子芯片研究院)、工业建筑和民用建筑中的应用现状, 总结光伏组件与建筑外观融合、系统与建筑结构集成、电气安全及智能控制等关键技术要点。研究发现, 该技术在无锡虽前景广阔, 但面临成本高、可靠性待提升等挑战, 针对性提出对策, 为无锡绿色建筑发展及“双碳”目标实现提供参考。

关键词: 太阳能光伏; 建筑一体化 (BIPV); 关键技术; 绿色建筑

引言

随着全球对可持续发展的关注度不断提升, 建筑领域的节能减排愈发重要。太阳能光伏建筑一体化 (BIPV) 技术将太阳能光伏发电与建筑相结合, 既能满足建筑的电力需求, 又能减少对传统能源的依赖, 降低碳排放, 为建筑行业的绿色转型提供了有效途径。无锡作为经济发达且注重生态建设的城市, 积极推动太阳能光伏建筑一体化技术的应用与发展, 对其关键技术的研究具有重要的现实意义。

无锡地处长江三角洲平原, 北纬 31° 07' — 32° 02', 东经 119° 33' — 120° 38' 之间, 属于亚热带季风气候, 四季分明, 光照资源较为丰富, 年平均日照时数在 1900~2200h 左右, 这为太阳能光伏建筑一体化技术的应用提供了良好的自然条件。同时, 无锡的建筑风格多样, 既有现代的高楼大厦, 也有传统的江南水乡建筑, 不同类型的建筑对 BIPV 技术的应用提出了多样化的需求。

1 光伏建筑一体化技术原理

1.1 光伏发电原理

太阳能光伏发电基于半导体的光电效应。当太阳光照射到光伏电池上时, 光子与半导体材料中的原子相互作用, 产生电子—空穴对。在光伏电池的内建电场作用下, 电子和空穴分别向电池的两极移动, 从而形成电流。常见的光伏电池材料有晶体硅和薄膜太阳能电池材料^[1-4]。晶体硅电池具有较高的光电转换效率, 技术成熟, 在市场上占据主导地位; 薄膜电池则具有成本低、可柔性化等优势, 在一些特定的建筑应用场景中具有独特的价值。

1.2 光伏建筑一体化系统组成

光伏建筑一体化系统主要由光伏组件、电气系统、建筑结构及相关配件组成。光伏组件是核心部件, 直接将太阳能转化为电能, 其类型包括光伏屋顶瓦、光伏幕墙玻璃、光伏采光顶等, 这些组件不仅要具备良好的发电性能, 还需满足建筑的外观、防水、隔热等要求。电气系统包括逆变器、控制器、配电箱和线缆等, 负责将光伏组件产生的直流电转换为交流电, 并实现电力的分配、控制和传输。建筑结构则需要设计和施工时充分考虑光伏系统的安装和承载, 确保整个建筑的安全性和稳定性。相关配件如连接件、密封材料等, 用于保证光伏组件与建筑结构之间的可靠连接和防水密封性能。

2 无锡光伏建筑一体化应用现状

2.1 公共建筑应用案例

2.1.1 无锡交响音乐厅

无锡交响音乐厅的主厅屋顶采用了独特的太阳能龙鳞屋顶创新技术, 在国内尚属首创。屋顶覆盖面积达 7000m², 配备约 12000~13000 块太阳能电池板, 装机容量达到 1240kW, 可实现年均发电量 120 万 kWh。这些龙鳞状的光伏板相互搭接, 屋顶呈曲面, 能在各个角度迎合日光照射生产电力, 并提供遮罩, 有助于调节室内气温、湿度^[5]。光伏板表面采用带有独特高分子材料涂层的钢化玻璃, 添加钙钛矿量子点, 提升了发电效率并防眩光。光伏板之间的连接点采用三向变轴调节支座, 实现了与建筑屋顶的完美结合。该项目不仅满足了音乐厅部分用电需求, 还成为科技绿色的代表建筑, 在美学与功能性上达到了高度统一。

2.1.2 无锡光子芯片研究院

作为全市首个新建分布式光伏发电实时并网项目,无锡光子芯片研究院在建筑领域开启了“碳”索高品质绿色建筑新纪元。项目在建设阶段即获评省高标准绿色三星建筑,将光伏组件与幕墙融为一体,达成光伏遮阳一体化。通过屋面规划面积为 1400m^2 的光伏组件,实现高效供电,年发电量预计达20万kWh时,每年可减少二氧化碳排放约200t。凭借高性能围护结构、高效用能设备以及智能化技术,实现了进一步的能耗压缩与减排,在绿色建筑实践方面为无锡的公共建筑树立了标杆。

2.2 工业建筑应用案例

在无锡的一些工业园区,部分厂房也积极应用了光伏建筑一体化技术。例如,无锡中欧低碳产业园在新建办公楼屋顶新建光伏电站,采用BIPV安装方式,使用光伏组件搭配专利防水梁,对屋面进行全面覆盖,并在建筑顶部南侧立面安装光伏幕墙,项目所发电量基本能够供给办公楼现有用电。这种应用不仅降低了企业的用电成本,还响应了节能减排的号召,提升了企业的绿色形象。

2.3 民用建筑应用案例

虽然在民用建筑领域,光伏建筑一体化的大规模应用尚未普及,但已有一些试点项目。如部分新建住宅小区,在屋顶或阳台等位置安装了光伏组件,为居民提供部分生活用电,如照明、热水供应等。一些别墅项目也采用了光伏瓦等产品,在实现发电功能的同时,保持了建筑外观的美观与协调性。随着居民环保意识的提高和相关技术成本的降低,未来光伏建筑一体化在民用建筑领域具有广阔的发展空间。

3 无锡光伏建筑一体化关键技术要点

3.1 光伏组件与建筑外观融合技术

3.1.1 色彩与纹理设计

在无锡的建筑中,尤其是具有江南水乡特色的传统建筑和一些追求独特美学的现代建筑,对光伏组件的色彩和纹理要求较高。在一些古镇的建筑改造中,需要光伏组件的颜色与传统的青瓦颜色相近,以保持古镇的整体风貌。通过对光伏组件表面涂层和封装材料的研发,可以实现多种颜色和纹理的选择。如采用纳米技术制备的特殊涂层,不仅可以改变光伏组件的外观颜色,还能提高其抗污、耐磨性能。对于纹理设计,可以模拟传统建筑材料的质感,如石材的纹理、木材的纹理等,使光伏组件更好地融入建筑整体外观。

3.1.2 造型设计

针对不同建筑的造型需求,研发多样化的光伏组件造型。对于曲面屋顶,如无锡交响音乐厅的龙鳞屋顶,采用可弯曲的光伏组件,通过特殊的结构设计,使其能够贴合曲面,实现发电功能与建筑造型的完美统一。对于建筑立面,可以设计出具有立体感的光伏幕墙组件,如采用凹凸造型的光伏玻璃,不仅增加了建筑的美观性,还能在一定程度上提高光伏组件的采光面积,提升发电效率。此外,还可以将光伏组件与建筑的遮阳构件、雨棚等相结合,设计出兼具多种功能的建筑部件。

3.2 光伏系统与建筑结构集成技术

3.2.1 结构承载设计

在无锡的建筑中,不同类型的建筑结构对光伏系统的承载能力要求不同。对于钢结构建筑,如一些工业厂房和现代化的商业建筑,需要考虑光伏系统的安装对钢结构的荷载增加影响。通过结构力学分析,合理设计钢结构的截面尺寸和连接方式,确保能够安全承载光伏系统的质量。对于混凝土结构建筑,如住宅和公共建筑,要在建筑设计阶段就预留好光伏系统的安装位置,并对混凝土结构进行加固设计,保证结构的稳定性。例如,在屋面安装光伏组件时,要对屋面的混凝土板进行承载计算,必要时增加钢梁或加固钢筋,以承受光伏组件和安装支架的质量。

3.2.2 防水与密封技术

光伏系统与建筑结构的连接处容易出现漏水问题,尤其是在无锡这样雨水较为充沛的地区。因此,防水与密封技术至关重要。在光伏组件的安装过程中,采用专用的防水密封胶和密封条,对组件与建筑结构之间的缝隙进行密封处理。例如,在光伏幕墙与建筑主体结构的连接部位,先安装防水垫片,再涂抹密封胶,确保雨水不会渗入建筑内部。对于屋顶光伏系统,采用防水卷材和防水涂料相结合的方式,对屋顶进行全面防水处理,并在光伏组件的边缘和接缝处进行重点密封,防止雨水渗漏对建筑结构和光伏系统造成损害。

3.3 光伏系统的电气安全与智能控制技术

3.3.1 电气安全技术

光伏系统在运行过程中存在电气安全风险,如漏电、短路等。为确保无锡建筑中光伏系统的电气安全,首先要选择符合国家标准的电气设备和线缆,确保其绝缘性能良好。在系统设计时,合理设置接地保护和漏电保护装置,当发生漏电故障时,能够迅速切断电源,保护人员和设备安全。例如,在光伏电站的配电箱中

安装漏电保护器, 对整个系统的漏电电流进行实时监测。同时, 对光伏组件的边框和支架进行接地处理, 确保其与建筑的接地系统可靠连接, 降低触电风险。

3.3.2 智能控制技术

为提高光伏系统的发电效率和稳定性, 采用智能控制技术。通过安装传感器, 实时监测光照强度、温度、风速等环境参数以及光伏系统的发电功率、电压、电流等运行参数。根据这些参数, 智能控制系统自动调整光伏组件的角度、逆变器的工作状态等, 以实现光伏系统的最优运行。例如, 在光照强度变化较大时, 通过智能跟踪系统调整光伏组件的朝向, 使其始终保持最佳的采光角度。同时, 智能控制系统还可以实现远程监控和管理, 通过手机 APP 或计算机客户端, 用户可以随时随地了解光伏系统的运行情况, 及时发现和解决问题。

4 无锡光伏建筑一体化技术发展面临的挑战与对策

4.1 技术成本问题

尽管光伏技术不断发展, 但目前光伏建筑一体化系统的初期投资成本仍然较高。这主要包括光伏组件、电气设备以及安装施工等方面的费用。高昂的成本限制了其在无锡建筑市场的大规模推广应用。

问题对策: 一方面, 政府和企业应加大对光伏技术研发的投入, 推动技术创新, 提高光伏组件的光电转换效率, 降低生产成本。例如, 鼓励科研机构和企业开展合作, 研发新型的光伏材料和制造工艺。

另一方面, 通过规模化生产和优化产业链, 降低光伏产品的价格。在设计和施工环节, 提高设计的科学性和施工的标准化程度, 降低安装成本。例如, 采用标准化的光伏组件安装支架和施工流程, 提高施工效率, 减少人工成本。

4.2 系统可靠性问题

光伏系统长期暴露在户外环境中, 受到无锡地区的光照、温度、湿度以及风雨等自然因素的影响, 可

能导致设备性能下降和故障率增加。此外, 光伏系统与建筑的结合也可能存在兼容性问题, 影响系统的可靠性。

问题对策: 加强对光伏系统设备和材料的质量监管, 建立严格的质量检测标准和认证体系。在选择光伏组件和电气设备时, 优先选用质量可靠、性能稳定的产品。建立完善的系统维护和保养机制, 定期对光伏系统进行检测和维护, 及时发现和解决潜在问题。制定详细的维护计划, 定期对光伏组件进行清洗、检查电气连接部位等。此外, 在系统设计阶段, 充分考虑光伏系统与建筑的兼容性, 进行模拟分析和测试, 确保系统的可靠性。

5 结语

BIPV 技术在无锡应用前景广阔, 公共、工业、民用建筑案例均体现其节能减排与提升建筑价值的作用。但面临成本、可靠性、政策与市场等挑战。通过各方协作, 加大研发、完善政策、推广技术与提升可靠性, BIPV 有望广泛应用, 助力无锡绿色建筑发展与“双碳”目标实现, 推动城市建设向绿色、低碳、智能方向迈进。

参考文献:

- [1] 张健良. 新能源光伏发电技术的应用及未来发展趋势分析 [C]// 中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集 (七). 国家能源集团山东石横热电有限公司; 2024:80-82.
- [2] 黄燕佳. 光伏新能源技术在电气节能中的应用效果调研分析 [C]// 中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集 (三). 深圳市泽塔电源系统有限公司; 2024:241-242.
- [3] 李峰. 光伏工程技术应用于高层建筑面临的挑战与应对策略 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025(7):92-94.
- [4] 李云虎. 新能源光伏发电助力农业设施节能减排策略 [J]. 环境与生活, 2025(4):78-81.
- [5] 朱金津. 碳中和导向的气候适应性办公建筑设计研究 [D]. 南京: 南京工业大学, 2024.