

光伏技术在建筑一体化设计中的节能效益 评估与优化策略

朱齐清

中国建筑科学研究院有限公司深圳分公司

摘要：随着国家双碳政策及《建筑节能与可再生能源利用通用规范》的实施，节能减碳与可再生能源利用已成为工程建设领域的强制性应用要求。为此，本文通过项目实践拟总结论述光伏技术如光伏玻璃幕墙、屋顶光伏系统、光储直柔系统等技术在现代建筑中的集成应用，这类光伏系统技术不仅优化了建筑的能源效率，还与建筑功能及形式的高度集成，提高建筑的经济性和可持续性。同时在实际应用中也面临着一些挑战，因此提出了多功能材料研发、智能化系统集成以及政策与市场机制配合等优化策略，以推动光伏技术的进一步发展和应用，实现建筑的能效最大化和可持续发展。

关键词：光伏技术；建筑一体化设计；节能效益；优化策略

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.18.102

引言

在全球范围内，建筑行业正面临着前所未有的挑战和机遇。资源紧缺和环境保护的日益受到重视，建筑业的可持续发展成了一个不可回避的议题。建筑业是全球能源消耗的重要组成部分。《2022中国建筑能耗与碳排放研究报告》指出，2020年全国建筑全过程能耗总量为22.7亿tce，占全国能源消费总量比重为45.5%。因此，探寻与发展可再生清洁能源的利用，替换传统化石能源，以及有效减少建筑能耗，提高能源效率，成了业界和学术界共同关注的焦点。在这一背景下，光伏技术由于其清洁、可再生的特性，成了实现建筑能效提升的重要手段。因此，本文旨在探讨光伏技术在建筑一体化设计中的应用，评估其在节能方面的效益，并提出优化策略。

一、太阳能光伏技术概述

（一）光伏技术的基本原理

在探索可持续能源的范畴中，太阳能是取之不尽、用之不竭的清洁能源。每年，太阳辐射的能量比燃烧130万吨标准煤所消耗的能量还要多，太阳能光伏核心原理植根于光电效应，即当光线照射到特定材料上时，激发电子跃迁产生电流^[1]。此过程是将太阳能直接转化为电能的清洁方式，涉及的不仅仅是能量的转换，更是对自然法则的巧妙应用。

（二）光伏建筑一体化技术（BIPV）

光伏建筑一体化（BIPV），是太阳能发电的一种新概念，简单讲就是将太阳能光伏发电产品安装在建筑围护结构外表面来提供电力。太阳能光伏旨在将太阳能发电（光伏）产品集成至建筑中，以实现建筑的可持续

性。它既可以实现发电，还可以作为一种建材，直接应用于建筑构件，以取代传统的建筑材料，提高建筑的可持续性。光伏技术的融入，不仅为建筑设计提供了更多创造的可能性，从视觉和功能角度增强了建筑的美感，与建筑有机融为一体，更重要的是将建筑转变为动态的能源单元，实现对自然资源的积极利用。

二、光伏技术在建筑一体化设计中的应用

在建设项目规划设计阶段，光伏建筑一体化设计的主要目标是确保光伏发电设备都能够满足实际的使用需求，同时避免资源的浪费。最大限度地利用可再生能源，达到一定的经济和社会效益。下面列举当前主要的光伏技术在建筑领域的应用方式。

（一）光伏玻璃幕墙

光伏玻璃幕墙系统是建筑外立面与太阳能光伏发电技术的一种创新结合。该技术不仅美化了城市景观，还有效转换太阳能为电能，减少建筑的能源消耗。光伏玻璃幕墙的核心优势在于其双重功能：一方面起到传统幕墙的作用，保证室内采光和隔热效果；另一方面，其内置的光伏组件能够生成电能，实现能源的自给自足。在设计过程中，光伏玻璃幕墙与建筑的功能和空间布局有机结合，设计师需考虑建筑的朝向、周边环境与光照条件，以优化光伏组件的布局和效率。另外，透明度的调整不仅响应室内外视觉效果的需求，也考虑到光伏发电的效能，实现建筑美学与功能性的完美融合。尽管光伏玻璃幕墙系统的初期投资和维护成本较高，但其长远的能源收益和环境价值是不容忽视的。

（二）屋顶光伏系统

屋顶光伏系统，作为一种广泛应用的建筑集成光伏（BIPV）技术，能够有效利用建筑屋顶空间产生电力，同时不影响建筑的总体美观^[3]。该系统不仅减少了建筑对外部电网的依赖，还能通过减少电能传输损失提升能源利用效率。在实施屋顶光伏系统时，设计需要与建筑的结构和功能需求紧密集成。例如，在建筑设计初期，结构工程师需考虑屋面光伏组件荷载，此外，屋顶光伏的布局应考虑到建筑的总体设计，以免阻碍屋顶的其他用途如屋顶休闲活动或绿化。为了达到最优的能效，系统的朝向、倾斜角度及阴影影响也需被细致评估。当前，随着技术的进步，屋顶光伏系统的成本正在逐渐降低，而其耐用性和效率正在不断提高。国际上许多国家通过政策支持和技术创新，大力推广屋顶光伏的应用，这不仅促进了能源的可持续发展，也为建筑行业提供了新的发展方向。

（三）光储直柔系统

光储直柔系统 (PV Direct Flex Systems) 是一种先进的建筑集成光伏技术, 它不仅产生电力, 还具备储存和直接使用电力的能力, 极大地提高了能源的自给自足率和使用效率。这种系统通过将光伏发电与高效能量储存技术相结合, 使建筑能在太阳光照不足时也能持续供电, 实现了能源的优化配置和利用。在建筑设计中, 光储直柔系统的应用需要与建筑的空间和功能需求紧密协调, 需考虑如何将能量储存设备集成到建筑结构中, 注重对位置、净高、面积、消防等技术要求, 避免占用宝贵的使用空间。同时, 系统的设计也须考虑到美学和建筑安全, 确保光伏组件和储能设备与建筑的高度融合。此外, 光储直柔系统的实施还需考虑与建筑智能化系统的集成问题, 通过智能控制系统, 可以实现能量的实时监控和管理, 优化能源使用效率, 减少浪费。

三、光伏技术在建筑一体化设计中的节能效益评估

(一) 效能转换与节能潜力

在分析光伏技术在建筑一体化设计中的节能效益时, 关键在于评估其效能转换的效率及节能潜力。效能转换的核心在于太阳能到光能的光电转换效率。这一效率直接影响着建筑能耗的降低程度及能源自给自足的可能性。现代光伏材料如单晶硅和多晶硅的发展, 使得光电转换效率不断提高。此外, 节能潜力也受到安装位

置、气候条件及建筑物方位等因素的综合影响, 使系统的每个环节都趋于高效。

(二) 综合环境效益

探讨光伏技术在建筑一体化设计中的节能效益, 不仅涉及直接的能源节约, 更包括其对整体环境的综合影响^[4]。使用太阳能作为主要能源的建筑减少了对化石燃料的依赖, 进而降低了温室气体排放和其他污染物的生成。以太阳能为动力的建筑在减少二氧化碳排放方面尤为显著, 这对于缓解全球气候变化和改善地方空气质量至关重要。除了直接的排放降低, 建筑一体化光伏系统还有助于改善建筑物的热环境表现^[3]。例如, 光伏系统可以作为天然的遮阳结构, 减少建筑物的热负荷, 降低空调等冷却系统的能耗。

(三) 经济效益与可持续性

在评估光伏技术的经济效益时, 初始投资成本虽然相对较高, 但长远来看, 由于节能减排的效果, 其综合成本效益显著。表1为合肥地区某项目采用屋顶BIPV与普通彩钢瓦屋顶、BAPV屋面发电的经济性对比。从表中可以看出, BIPV具有明显的经济优势。此外, 光伏建筑的普及也推动了新型绿色建材的开发和相关产业链的形成, 进一步促进了绿色经济发展。

尽管光伏技术在建筑一体化设计中带来了显著的节能效益, 但也面临着诸多挑战。详见图1。

表1 合肥地区某工业厂房三种不同屋面形式的经济性对比

项目	普通彩钢板屋面	彩钢板附加	BIPV 屋面
屋顶面积 (m ²)	2000	2000	2000
建筑寿命 (年)	30	30	30
组件安装容量 (kW)		300 (铺设率按 75% 计算)	350 (铺设率按 85% 计算)
单位造价 / 投资 (元 / 平方米; 元 / W)	80 元 / 平方米	3.5 元 / W	4 元 / W
总投资 (万元)	48 (按寿命期更换 2 次累计计算)	163 (含初始投资, 寿命期内彩钢板 2 次拆装成本)	140
发电收益 (万元)		587 (电价按 0.7 元 / kWh 计算)	685 (电价按 0.7 元 / kWh 计算)
综合收益 (万元)	-48	424	545

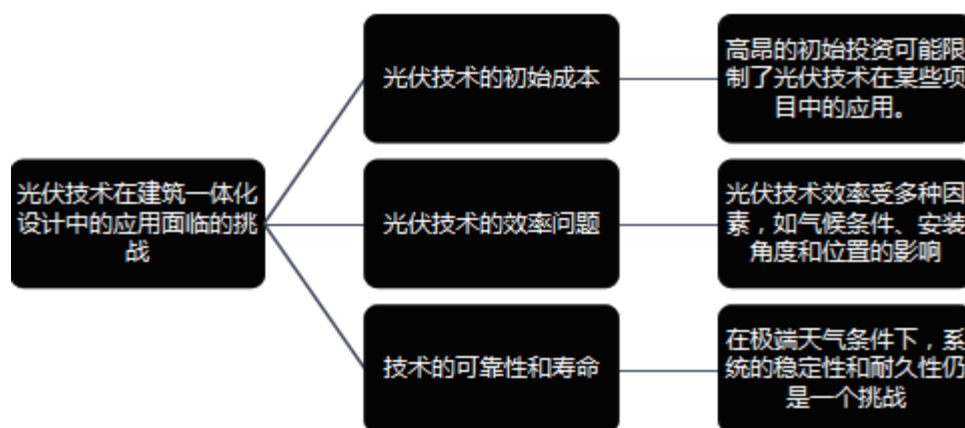


图1 光伏技术在建筑一体化设计中的挑战

四、光伏技术在建筑一体化设计中的优化策略

(一) 多功能性光伏建筑材料的研发

多功能性光伏建筑材料的研发,不仅能够推动能源科技的前沿发展,而且对建筑学领域也提出了新的设计挑战与机遇。研发重点应放在提高光电转换效率与环境适应性的新材料上。例如,透明光伏薄膜可以整合到窗户玻璃中,不仅不影响建筑的透光性,还能产生电能。这类材料的开发需结合纳米技术、材料科学和表面工程等多学科知识,以确保其不同气候条件下的稳定性与长期的能效表现。设计光伏材料时,其结构必须与建筑功能深度融合。例如,将光伏组件设计成可动态调整的遮阳设施,既能最大化日照捕捉,又能根据内部空间需求调节光照,有效降低建筑的能耗^[5]。这种设计思路不仅提升了建筑的功能性,还通过增加互动性,提高了用户体验。在新材料的开发过程中,必须对其生命周期内的环境影响进行全面评估。这包括但不限于材料的制造、运输、安装、使用和最终回收。

(二) 智能化光伏系统的集成

智能化光伏系统的集成代表了技术进步和环境责任的结合。智能化光伏系统依赖于精密的数据监控和分析技术。系统通过安装在光伏板上的传感器收集实时数据,如光照强度、温度和电流强度等。这些数据通过高级数据分析技术进行处理,优化发电效率和预测维护需求。同时,集成的智能化光伏系统能够自动调整其运行策略,以适应不同的能源需求和环境条件。这种自适应管理不仅提高了能源使用的灵活性,而且增强了系统对于不稳定天气变化的应对能力。例如,系统可以在电力需求低时自动减少能源的输出,或者在预测到高电力需求时增加储能设备的充电。另外智能化光伏系统的集成还需要与建筑的整体设计和功能完美协调。这要求建筑师和工程师在设计阶段就考虑光伏组件的布局和集成方式。合理的设计不仅可以最大化光伏系统的能源捕获效率,还可以确保建筑的美观性和功能性。

(三) 绿色建筑与光伏技术的协同优化

绿色建筑与光伏技术的协同优化正成为提高能源效率和环境可持续性的重要策略。成功的光伏集成开始于建筑设计前期阶段。建筑师需考虑建筑方位、功能布局以及本地气候条件,以确保光伏系统的最大效能。此外,建筑的遮阳系统和窗户设计应与光伏布局相协调,以减少能耗同时增加自然光利用,实现采光和温控的双重优化。绿色建筑的设计原则要求考虑建筑全生命周期内的环境影响。光伏技术的集成应与建筑材料的选择和能源消耗管理相结合。使用环保材料和高效的光伏系统可以显著降低建筑的碳足迹。为了进一步提升光伏系统的性能和建筑的环境效益,研发和应用创新技术是不可或缺的。这包括发展更高效的光伏电池技术,如异质结或钙钛矿太阳能电池,这些技术能在较低的光照条件下

仍保持较高的效率。

(四) 政策与市场机制的配合

政策与市场机制的有效配合是推动技术创新和应用普及的关键因素。政府政策对于促进光伏技术在建筑领域的应用起到了至关重要的推动作用。通过制定针对性的激励政策,如税收减免、财政补贴、以及提供研发资金支持等,政府可以降低企业和消费者采纳新技术的初始成本和风险。例如,一些国家实行的“绿色信贷”政策,为那些采用可持续技术的建筑项目提供了低利率贷款,这极大地加速了绿色建筑和光伏技术的市场渗透。而市场机制在调控供需关系、价格机制以及技术进步方面发挥着基础性作用。在光伏技术领域,有效的市场机制可以通过竞争促使技术快速进步和成本降低。此外,通过建立绿色认证和标准,市场还能够促进消费者对绿色建筑和光伏产品的认知和接受度,从而推动技术的普及和应用。为了实现政策与市场机制的有效配合,需要跨部门之间的密切协作。这包括能源、建筑、财政以及环保等多个政府部门的合作,以确保政策的连贯性和执行力。

结语

本文通过深入探讨光伏技术的基本原理、在建筑一体化设计中的应用、节能效益评估以及相应的优化策略,提供了对这一领域全面而深入的理解。光伏技术的系统集成虽存在设计和初始投资的挑战,但其带来的长期环境和经济效益是显而易见的。因此,我们呼吁建筑业、政策制定者和研究人员共同努力,推动这一领域的创新和发展。通过推广普及光伏技术与建筑一体化的有效应用,不仅能够实现节能减排的目标,还能促进经济的可持续发展,为建设更绿色、更美好的未来做出贡献。

参考文献

- [1] 金宇航. 碳中和导向的光伏建筑一体化设计技术研究[D]. 东南大学, 2022.
- [2] 卢德海, 邬敏杰. 光伏建筑一体化设计要点实践[J]. 建筑电气, 2023, 42(09): 32-35.
- [3] 马立, 周典, 王宇鹏, 等. 从“耗能”到“产能”: 新能源导向下的光伏建筑一体化设计研究[J]. 当代建筑, 2023, (08): 50-53.
- [4] 师劭航, 褚英男, 何逸, 等. 整体设计导向的国际建筑光伏一体化技术策略研究[J]. 建筑技艺, 2021, 27(08): 49-53.
- [5] 李志军. 关于太阳能光伏发电技术与建筑施工的一体化设计研究[J]. 低碳世界, 2020, 10(11): 84-86.

作者简介: 朱齐清, 1982.06.24, 男, 汉族, 湖南, 本科, 中级, 研究方向: 建筑设计与管理、建筑技术、节能与绿色低碳。