

建筑光伏一体化（BIPV）系统效能评估

廖显容

重庆同芳轩工艺品有限公司 重庆

【摘要】建筑光伏一体化（BIPV）系统作为绿色建筑与可再生能源结合的重要形式，其系统效能直接影响到建筑的能源利用效率与可持续发展水平。本文围绕 BIPV 系统的效能评估展开研究，旨在构建一套科学、合理的评估体系，涵盖发电性能、建筑适配性及环境经济性等多个维度。通过案例分析与数据对比，揭示影响系统效能的关键因素，并提出优化建议，为 BIPV 技术的推广与应用提供理论支持和实践指导。

【关键词】建筑光伏一体化；系统效能；可再生能源；绿色建筑；效能评估

【收稿日期】2025 年 3 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250144

Performance evaluation of building integrated photovoltaic (BIPV) systems

Xianrong Liao

Chongqing Tongfangxuan Crafts Co., Ltd., Chongqing

【Abstract】 As an important form of integration between green buildings and renewable energy, the system performance of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) directly affects the energy utilization efficiency and sustainable development level of buildings. This paper focuses on the performance evaluation of BIPV systems, aiming to construct a scientific and reasonable evaluation system covering multiple dimensions such as power generation performance, building adaptability, and environmental economy. Through case studies and data comparison, the key factors affecting system performance are revealed, and optimization suggestions are proposed to provide theoretical support and practical guidance for the promotion and application of BIPV technology.

【Keywords】 Building integrated photovoltaic (BIPV); System performance; Renewable energy; Green building; Performance evaluation

引言

在全球能源结构转型与“双碳”目标推动下，建筑光伏一体化（BIPV）系统因其兼具发电功能与建筑美学的特点，成为新型建筑能源系统的重要发展方向。然而，当前 BIPV 系统的实际运行效果参差不齐，缺乏统一、系统的效能评估标准，制约了其大规模推广应用。如何科学评估 BIPV 系统的综合性能，不仅关系到技术选型与工程设计，也直接影响项目的投资回报与长期运行稳定性。建立一套全面、可操作的效能评估体系具有重要现实意义。本文将从技术、经济与环境等多角度出发，探讨 BIPV 系统效能评估的核心要素，为后续研究与实践提供参考。

1 BIPV 系统效能评估的基本内涵与挑战

建筑光伏一体化（BIPV）系统作为将光伏发电技术与建筑设计深度融合的一种新型绿色能源应用

形式，其效能评估不仅涉及发电性能的量化分析，还需综合考虑其在建筑功能、结构安全、环境适应性及经济可行性等方面的集成表现。从基本内涵来看，BIPV 系统效能评估旨在通过多维度指标体系，全面衡量系统在实际运行中对能源转换效率、建筑用能优化以及整体可持续发展贡献的能力。这一过程涵盖了对系统组件性能、安装方式、运行维护机制及其与建筑生命周期匹配度的综合判断。

当前，BIPV 系统在推广过程中面临诸多评估层面的挑战。一方面，由于 BIPV 产品类型多样，包括光伏幕墙、光伏屋顶、光伏遮阳板等不同形式，其在不同气候区域和建筑应用场景下的性能差异显著，缺乏统一的评估标准与测试方法，导致数据可比性差。另一方面，传统建筑评价体系未能充分纳入光伏发电系统的动态运行特征，使得评估结果难以准

确反映 BIPV 在实际使用中的综合效益。系统初期投资成本高、回报周期长的问题也对经济性评估提出了更高要求,亟需建立兼顾技术先进性与经济合理性的评估模型。

从实践角度出发, BIPV 系统效能评估应结合具体工程案例进行实证研究,借助长期监测数据与模拟分析工具,提升评估的科学性和可操作性。可通过引入能量回收率 (ERR)、单位面积年发电量、系统寿命周期碳排放强度等关键性能指标,构建适用于不同类型 BIPV 项目的评估框架。评估过程中还应关注系统在极端天气条件下的稳定性、运维策略的有效性以及与智能电网、储能系统的协同潜力,从而为 BIPV 技术的优化设计、政策制定与市场推广提供有力支撑。

2 关键影响因素识别与作用机制分析

建筑光伏一体化 (BIPV) 系统效能的发挥受到多种因素的共同影响,其作用机制复杂且相互关联。从技术层面来看,组件性能是决定系统发电效率的核心因素之一,包括光伏材料类型(如单晶硅、多晶硅、薄膜电池等)、转换效率、温度系数及衰减率等关键参数。不同材料在光照响应、热稳定性和耐久性方面表现各异,直接影响系统的长期运行稳定性与能量输出水平。安装方式和建筑朝向也显著影响光照接收角度和辐照强度,进而改变整体发电能力。垂直安装的光伏幕墙与倾斜屋顶光伏板在年发电量上存在明显差异,需结合地理纬度与太阳轨迹进行优化设计。

除了技术因素,环境条件对 BIPV 系统效能的影响同样不可忽视。气候区域差异决定了系统的日照时数、太阳辐射强度及环境温度变化范围,这些都会对光伏组件的实际输出功率产生动态影响。高温环境下,组件的输出电压下降,导致系统效率降低;而在高湿度或盐雾环境中,组件封装材料可能加速老化,增加故障率。在评估系统效能时,必须考虑当地气象数据对系统性能的长期作用机制,并通过仿真建模或实测数据分析来量化其影响程度。周围遮挡物(如相邻建筑、树木或设备)造成的阴影效应也会引发组件失配,形成“热斑”现象,进一步削弱系统整体效能。

在经济与管理维度,系统的设计合理性、运维策略以及政策支持等因素也在效能评估中扮演重要角色。设计阶段若未充分考虑组件清洁维护通道、电气连接可靠性及逆变器匹配度,将导致后期运维

成本上升并影响发电连续性。高效的监测与维护机制可提升系统可用率,延长使用寿命,从而提高投资回报率。国家或地方对 BIPV 项目的补贴政策、上网电价机制及绿色建筑认证体系的激励导向,也间接影响了系统在实际应用中的综合效益。在进行效能评估时,应将上述多维因素纳入统一分析框架,揭示其内在作用路径,为 BIPV 系统的优化配置与科学评估提供理论依据和技术支撑。

3 评估指标体系的构建与权重设定

构建科学合理的建筑光伏一体化 (BIPV) 系统效能评估指标体系,是实现系统性能量化分析与综合评价的关键环节。该体系需涵盖发电性能、建筑适配性、环境影响及经济性等多个维度,确保评估结果既能反映系统的能源转换效率,又能体现其在建筑全生命周期中的适用性和可持续性。在发电性能方面,常用指标包括系统峰值功率、年发电量、能量回收率 (ERR)、容量系数等,这些参数能够有效衡量 BIPV 组件在实际运行条件下的输出能力与稳定性。还需结合组件类型、安装倾角、方位角等因素进行动态建模,以提高评估的准确性与可比性。

在权重设定方面,应依据评估目标和应用场景的不同,采用层次分析法 (AHP)、熵值法或主成分分析等方法对各指标赋予权重,从而体现不同因素在整体效能评估中的相对重要性。在绿色建筑认证导向的项目中,环境效益类指标如单位面积碳减排量、全生命周期碳足迹等可能占据较高权重;而在商业投资驱动的应用场景下,则更关注投资回收期、净现值 (NPV) 和内部收益率 (IRR) 等经济性指标的比重。建筑适配性作为 BIPV 区别于传统光伏系统的重要特征,其权重设置也应充分考虑结构承载力、热工性能、采光与遮阳协调性等因素,确保系统在满足发电功能的同时不削弱建筑的基本使用价值和美学效果。

从实践应用来看,评估指标体系的构建必须兼顾标准化与灵活性,能够在不同类型 BIPV 系统之间建立横向比较的基础。一方面,可通过引入标准化评分模型,将各项指标转化为无量纲数值,并结合多属性决策方法进行综合评分,提升评估结果的可视化程度与可操作性;另一方面,针对特定区域或建筑类型的特殊需求,应允许对指标内容和权重进行适度调整,以增强评估体系的适应性和指导意义。在寒冷地区,系统抗冻性能和冬季发电衰减率

等指标的权重可适当上调;而在高密度城市环境中,阴影遮挡对系统发电效能的影响则应被重点考量。

4 典型应用场景下的效能实证分析

建筑光伏一体化 (BIPV) 系统在不同应用场景中的效能表现存在显著差异,其实际运行效果不仅受到组件性能和系统设计的影响,还与建筑功能定位、区域气候条件以及能源管理模式密切相关。通过对典型应用场景的实证分析,能够更全面地揭示 BIPV 系统在真实运行环境下的综合效能特征及其优化潜力。

在公共建筑领域,如学校、医院或政府办公楼等场景中, BIPV 系统多以屋顶光伏或光伏遮阳构件的形式集成于建筑结构之中。此类建筑通常具有较大的屋顶面积和稳定的用电负荷,适合构建自发自用型分布式光伏发电系统。在此类应用中,系统的发电曲线与建筑日间用电高峰较为匹配,有助于提升能源自给率并降低电网依赖度。由于建筑使用周期长、维护管理相对规范, BIPV 系统的长期运行稳定性得以保障,有利于发挥其全生命周期内的节能效益。

在商业综合体和高层写字楼中, BIPV 的应用形式更加多样化,常采用光伏幕墙、光伏采光顶或立面装饰性光伏组件等方式实现建筑美学与能源功能的融合。这类场景对 BIPV 产品的外观设计、透光性能及结构安全性提出了更高要求。在实际运行过程中,系统需面对城市复杂光照环境带来的挑战,如周边建筑物遮挡、玻璃反射造成的光照不均等问题。通过引入智能监测系统和能量管理系统,可以有效优化电能调度策略,提高整体能源利用效率,并为建筑运营方提供数据支撑,辅助制定节能改造方案。

住宅类项目中, BIPV 系统主要应用于别墅屋顶、阳台围护结构或社区公共设施中,形成“户用+社区级”复合型能源供给模式。该类应用强调系统的模块化设计、安装便捷性和经济可承受性,尤其适用于新建绿色住宅小区或低能耗示范工程。在实际运行中,用户侧储能技术的引入进一步提升了 BIPV 系统的能源自主调节能力,增强了居民对可再生能源的认知与接受度。结合“光伏+热泵”、“光伏+电动车充电”等多能互补模式,也拓展了 BIPV 系统的应用边界,提高了单位面积的能源产出密度。

从区域分布来看, BIPV 系统在不同气候带的实际效能呈现差异化趋势。在光照资源丰富的西部地区,系统年发电量较高,投资回报周期相对较短;而在东

部高湿多雨区域,则需重点考虑组件抗老化性能、逆变器防护等级及系统清洁维护机制。通过对多个典型应用场景的效能对比分析,不仅可以识别影响系统性能的关键因素,还能为不同地区的 BIPV 项目规划、选型评估及政策引导提供实践依据,从而推动该技术在多元化建筑环境中的高效应用与持续优化。

5 结语

建筑光伏一体化 (BIPV) 系统作为集能源生产与建筑功能于一体的创新技术,其效能评估对于推动绿色建筑发展和可再生能源利用具有重要意义。本文围绕 BIPV 系统效能评估的核心要素,探讨了其基本内涵、关键影响因素、指标体系构建及典型应用场景下的运行表现。系统效能受技术性能、环境条件、设计策略及管理机制等多重因素影响,需通过科学评估实现优化配置。未来应进一步完善评估标准,强化实证研究,提升 BIPV 在不同建筑场景中的适应性与经济性,助力城乡能源结构绿色转型。

参考文献

- [1] 全国人大代表钟宝申:大力发展光伏建筑一体化系统完善 BIPV 标准体系[J].中国勘察设计,2025,(03):35.
- [2] 陈川洪,李伟岩,王兵.BIPV 消防安全关键技术研究进展与展望[J].今日消防,2025,10(02):31-33.
- [3] 田麒惠,王睿达,袁子皓,等.光伏建筑一体化系统设计探究[J].中国建筑装饰装修,2025,(04):86-88.
- [4] 李大才,郑建业,匡磊,等.光伏建筑一体化系统设计与电气应用[J].光源与照明,2025,(01):147-149.
- [5] 赵子鑫,钟美慧.基于 BIM 电气仿真的光伏建筑电力系统一体化设计分析[J].江西电力职业技术学院学报,2024,37(12):13-16.
- [6] 刘激,曾焯,张磊,等.建筑光伏一体化系统优化调控[J].建筑电气,2024,43(12):44-50.
- [7] 祝侃,张赞,田炜,等.多类型光伏与建筑一体化系统发电性能实验研究[J].建筑科学,2024,40(12):80-85.
- [8] 周创,端木琳,李祥立.光伏建筑一体化外观评价方法与模型[J].华中建筑,2024,42(07):49-54.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS