

建筑电气设计中光伏发电系统的成本效益分析及应用策略

王绍熠

广州市第三市政工程有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025120060

摘 要： 本文围绕建筑一体化光伏系统展开。阐述了组件、逆变器选型及相关标准分析，介绍成本构成、LCC模型、量化关系建立等。还涉及算法优化、电价政策影响、环境价值评估等内容。强调不同因素对系统经济性和运行效益的影响及优化方法

关 键 词： 建筑光伏系统；经济性；优化

Cost-Benefit Analysis and Application Strategy of Photovoltaic Power Generation System in Building Electrical Design

Wang Shaoyi

Guangzhou NO.3 Municipal Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article focuses on the integrated photovoltaic system in buildings. It discusses the selection of modules and inverters, along with relevant standards analysis, and introduces the cost structure, LCC model, and the establishment of quantitative relationships. The article also covers algorithm optimization, the impact of electricity price policies, and environmental value assessment. It emphasizes the influence of various factors on the economic efficiency and operational benefits of the system, as well as the methods for optimizing these factors

Keywords： building photovoltaic system; economy; optimization

引言

随着全球对清洁能源的需求日益增长，光伏发电作为一种可持续的能源解决方案在建筑领域的应用备受关注。2020年我国发布的《关于促进光伏产业链健康发展有关事项的通知》强调了光伏产业的重要性及规范发展的要求。2025年广州市发布了《广州市城中村改造项目改造主体工作评估实施细则（试行）》，进一步明确了新模式下城中村改造的要求，其中绿色建筑评估标准分合格、良好、优秀档次，分别要求新建住宅项目光伏覆盖率不小于5%、10%、15%，新建公共机构和公共设施屋顶光伏安装面积不小于40%、45%、50%。

建筑一体化光伏系统融合了多种技术，从组件选型到系统配置，从成本分析到环境效益评估，都需要综合考虑多种因素。为实现能源高效利用，确保系统与建筑电气协调，本文将广州某城中村改造项目光伏发电系统的建设为例，阐述在实际工程中光伏发电系统的成本效益对比及应用策略。^[9]

一、项目概况及光伏发电基础条件

本项目位于广州市，采用分布式住宅光伏系统，共采用140块550Wp单晶硅标准组件，分别设置15kW、17kW逆变器各两组。光伏组件寿命按25年考虑，储能电池按7~10年考虑。广州地区年等效利用小时数约为1000~1100小时，总装机容量为77kWp，系统年发电量估算为80850kWh/年。根据住宅白天用电特征，假设光伏系统无储能时自发自用率为40%，其余60%余电上网。广州居民阶梯电价关键参数如下：

表1.1 广州居民阶梯电价关键参数

单位 时段	元 /kWh
峰时电价	0.98
平时电价	0.6
谷时电价	0.3
余电上网电价	0.45

（综合加权估算，自用平均电价为0.65元 /kWh。）

二、方案一：仅并网光伏系统（不配置储能）

光伏发电系统采用仅并网光伏系统，不配置储能方案，其优点是系统简单、技术成熟、初始投资低、投资回收期较短、维护方便；缺点是能源自给率有限（尤其夜间完全依赖电网），无法规避夜间高峰电价，对电网依赖性依然较强。该方案系统配置与成本投入、收益与效益分析测算结果如下：

表 1.2 初始总投资估算

总装机容量 (kWp)	单位综合造价 (元 /Wp)	初始总投资估算 (元)
77	3.8	292600

（注：单位综合造价包含组件、逆变器、支架、电缆、施工及并网等。）

表 1.3 收益效益分析

	系统年发电量 (kWh/年)	发自用率	自用电平均电价 (元 /kWh)	年发电收益 (元)
自用部分	80850	40%	0.65	21021
余电上网部分	80850	60%	0.45	21829.5
年总电费收益				42850.5
年运维成本（元）				2926
年净收益（元）				39924.5
静态投资回收期 (年)				7.3
25年周期内总净 收益估算（元）				705512.5

三、方案二：并网光伏和储能系统

光伏发电系统采用并网光伏，配置储能方案。该方案按满足夜间基础负荷设计，配置容量为 40kWh 的磷酸铁锂电池系统。其优点夜间用电大部分自给，降低对电网依赖，其发自用率提升；缺点是系统复杂性高，需要专业维护。该方案系统配置与成本投入、收益与效益分析测算结果如下：

表 1.4 蓄电池初始总投资估算

蓄电池容量 (kWh)	单位造价 (元 /Wp)	储能初始投资 估算（元）	系统总初始投 资（元）	二次电池投资 估算（元）
40	1.5	60000	352600	42000

（注：考虑第 7 年末需更换电池，假设届时成本下降 30%）

表 1.5 收益效益分析

	系统年发电量 (kWh/年)	发自用率	自用电平均电价 (元 /kWh)	年发电收益 (元)
自用部分	80850	80%	0.65	42042
余电上网部分	80850	20%	0.45	7276.5
年总电费收益				49318.5
年运维成本（元）				3526
年净收益（元）				45792.5
静态投资回收期 (年)				7.7

25年周期内总净收益估算（元）				1144812.5
系统投资总成本				394600
总净收益（元）				750212.5

四、方案对比分析

表 1.6 方案对比成本投入、收益与效益分析

对比项目	方案一	方案二	对比结论
初始总投资	29.26 万元	35.26 万元	储能方案增加投资 6 万元，增幅 20.5%
年发电量	8.09 万 kWh	8.09 万 kWh	相同
发自自用率	40%	80%	储能方案大幅提升 1 倍以上
年电费收益	4.29 万元	4.9 万元	储能方案年收益增加 0.61 万元
年净收益	3.99 万元	4.57 万元	储能方案年净收益高 0.58 万元
静态投资回收期	7.3 年	7.7 年（未计电池更换）	方案一回收略快
25年周期总净收益	约 70.6 万元	约 75 万元	储能方案长期总收益更高
能源独立性	低，依赖电网	高，可部分离网运行	储能方案具备断电保供能力
抗电价波动风险	较弱	强，尤其未来峰谷价差扩大时	储能方案战略价值高
系统复杂度	低，成熟	高，需专业维护	方案一运维更简便

五、光伏系统经济性分析

依据上述两个方案对比分析，在蓄电池寿命期限内，储能放电收益无法抵消储能总投资成本。从财务投资角度来看，“仅并网光伏”方案是目前更经济、更稳妥的选择。其投资回收期更短，初始资金压力更小，内部收益率更高。对于以节约电费、获取稳定回报为首要目标的住宅项目，推荐此方案。^[1]

六、基于实际工程中光伏发电系统技术应用综合分析

1. 在实际工程中，光伏发电系统还应考虑与建筑电气适配性。根据 GB51348《民用建筑电气设计标准》，对光伏发电系统接入容量限制及防逆流保护配置原则进行分析至关重要。在接入容量方面，需综合考虑建筑用电负荷、电网承载能力等因素，以确保光伏发电系统与建筑电气系统的协调运行，避免因接入容量过大对电网造成冲击^[2]。

2. 光伏系统的初始投资成本主要由多个部分构成。组件购置

成本是重要组成部分，其价格受多种因素影响，如组件的类型、效率和品牌等^[3]。逆变器的购置成本也不可忽视，其性能和功率大小决定价格差异。支架的成本取决于材质和设计，需满足光伏组件的安装要求并确保稳定性。BOS（Balance of System）设备购置成本涵盖了诸如电缆、汇流箱、配电柜等一系列配套设备。此外，不同的安装方式会导致施工费用存在差异。^[5]

3.建立清洗周期、故障率、设备更换的 LCC 模型时，需考虑多方面因素。对于清洗周期，要依据当地环境条件确定合理频率，以减少灰尘等对光伏组件发电效率的影响，从而控制成本^[4]。故障率方面，要统计不同组件在实际运行中的故障概率，考虑其维修成本及对发电收益的影响。设备更换则要预估设备的使用寿命，结合更换成本及可能的技术升级成本进行综合建模。储能系统循环寿命对成本影响显著，较短的循环寿命会增加更换频次及成本，需深入分析其影响因子，以便在设计阶段优化系统配置，提高成本效益。^[6]

4.并网电价政策影响分析，标杆电价与市场化交易模式对投资回收期存在差异化影响。标杆电价相对稳定，为投资者提供了较为明确的收益预期，在一定程度上降低了投资风险，使得投资回收期的计算相对简单和可预测^[7]。然而，市场化交易模式下，电价会随着市场供需关系等多种因素波动，这增加了收益的不确定性，进而使投资回收期的评估更为复杂。投资者需要综合考虑市场趋势、政策导向等多种因素来预测收益情况，以确定合理的投资回收期。不同的电价政策影响着光伏发电项目的经济效益，在建筑电气设计中需充分考虑这些因素，以优化光伏发电系统的应用策略。

5.储能容量优化配置，基于负荷需求特性构建电池容量与光伏渗透率的匹配模型对于确定边际效益最大化的配置方案至关重要。首先需准确分析负荷需求特性，包括不同时间段的用电负荷

变化规律等^[10]。通过对这些特性的深入了解，建立起电池容量与光伏渗透率之间的合理关系模型。在模型构建过程中，要考虑到光伏发电的间歇性和不稳定性以及负荷需求的波动性，以确保模型能够真实反映实际情况。通过不断优化模型参数，找到使边际效益达到最大的电池容量和光伏渗透率的配置组合，从而实现储能容量的优化配置，提高建筑光伏系统的经济性和运行效率。^[8]

6.并网点选择与保护配置，在建筑光伏系统中，并网点选择至关重要。需综合考虑建筑结构、用电负荷分布以及电网接入条件等因素。合理的并网点应使光伏发电系统能够高效地向建筑内部负载供电，并确保电能质量。

七、总结

在建筑电气设计中，光伏发电系统的研究涉及多方面。不同建筑类型需有与之适配的光伏系统最优配置模式，这是提高成本效益的关键。储能系统成本下降带来商业模式的变革，为光伏发电系统的应用提供了新的机遇和思路。然而，当前研究在动态电价响应机制方面存在不足，这可能影响系统成本效益的进一步提升。未来，数字孪生技术在系统优化中的应用前景值得期待，其有望为光伏发电系统在建筑电气设计中的应用提供更精准、高效的支持，从而实现更好的成本效益，推动建筑电气设计中光伏发电系统的可持续发展。

参考文献

- [1] 马皓臻. 光伏瓦片发电系统综合效益评价研究 [D]. 华北电力大学 (保定), 2022.
- [2] 江明达. 光伏建筑系统综合效益评估研究 [D]. 天津大学, 2022.
- [3] 申延. 建筑屋顶光伏发电系统的研究与应用 [D]. 广西大学, 2021.
- [4] 刘依明. 光伏发电系统的控制策略研究 [D]. 济南大学, 2021.
- [5] 王琦. 光伏发电系统建模及调频策略研究 [D]. 湖北工业大学, 2021.
- [6] 毛阔, 章帆. 建筑光伏系统发电功率短期预测方法研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(4): 126-128.
- [7] 王有新. 光伏发电系统及电站电气设计分析 [J]. 光源与照明, 2024(3): 96-98.
- [8] 张建忠, 尹文龙, 马凯, 等. 学校建筑光伏应用及效益分析 [J]. 江苏建筑, 2024(2): 141-144.
- [9] 邵博文, 孙佳碧, 戴磊. 光伏发电窗系统电气设计与分析 [J]. 建筑技术, 2021, 52(9): 1126-1128.
- [10] 林振. 风力发电与光伏发电储能系统优化设计及经济性分析 [J]. 电气技术与经济, 2024(4): 221-223.