

新能源发电技术在低碳建筑电气系统中的集成应用与经济性评估

王光宇

河北能源工程设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 伴随着建筑领域的快速发展, 碳减排的迫切需求以及能源消耗所暴露的问题已经成为严重影响行业可持续发展的主要问题。建筑行业作为碳排放以及能源消耗的关键, 通过提升其能源利用效率, 管控碳排放, 可以进一步推动全球绿色低碳转型。基于此文章研究分析太阳能、地热能等新能源技术的集成原理与优化路径, 验证新能源集成应用的经济性可行性。研究表明, 通过优化建筑能源结构可降低建筑电气系统碳排放, 为企业带来长期稳定的经济回报。

[关键词] 新能源发电; 低碳建筑; 电气系统; 集成应用; 经济性评估

DOI: 10.33142/ucp.v3i1.19225

中图分类号: TM615

文献标识码: A

Integrated Application and Economic Evaluation of New Energy Generation Technology in Low-carbon Building Electrical Systems

WANG Guangyu

Hebei Energy Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the rapid development of the construction industry, the urgent need for carbon reduction and the problems exposed by energy consumption have become the main issues that seriously affect the sustainable development of the industry. The construction industry, as a key driver of carbon emissions and energy consumption, can further promote global green and low-carbon transformation by improving its energy efficiency and controlling carbon emissions. Based on this article, the integration principles and optimization paths of new energy technologies such as solar energy and geothermal energy are studied and analyzed to verify the economic feasibility of the integrated application of new energy. Research has shown that optimizing the energy structure of buildings can reduce carbon emissions from building electrical systems and bring long-term stable economic returns to enterprises.

Keywords: new energy power generation; low-carbon buildings; electrical system; integrated application; economic evaluation

引言

在“双碳”目标推进背景下, 建筑领域的低碳转型已成为实现碳达峰、碳中和的关键。建筑领域能耗在全球总能耗中占有很大的比例, 其中电气系统能耗比较, 碳排放强度较高。太阳能、风能、地热能等新能源发电技术具有无污染、可再生等优势, 将其与低碳建筑电气系统深度集成, 可从源头降低化石能源依赖, 契合零碳建筑的发展需求。当前, 新能源技术在建筑领域的应用中仍存在一系列不足, 如集成适配性不足、初始投资偏高等问题, 对其的规模化推广应用造成了限制。因此, 开展新能源发电技术在低碳建筑电气系统中的集成应用研究, 构建科学合理的经济性评估体系, 可以进一步推动建筑电气系统低碳转型, 提升新能源利用效率, 最终实现经济效益与环境效益双

统一, 为新能源集成方案的设计提供理论依据与实践支撑。

1 相关理论基础

1.1 低碳建筑电气系统核心特性

优先采用可再生能源供电, 通过智能控制技术提升能源利用效率, 减少能源浪费。低碳建筑供配电系统将新能源发电设备产生的电能转化为建筑可用电能; 用电负载系统能耗特性直接影响新能源集成的适配性; 储能系统为应对新能源发电的波动性问题提供了解决方案, 智能控制系统依托高效的数据处理与智能决策机制, 实现对能源的动态精准调配与全方位优化控制。

1.2 主流新能源发电技术核心特性

当前主流技术主要包括太阳能光伏发电技术、小型风力发电技术、地热能发电技术, 其核心特性如表 1 所示。

表 1 主流新能源发电技术核心特性

新能源发电技术类型	核心原理	能量密度	运行稳定性	安装适配性	维护成本	碳排放强度 (kgCO ₂ /kWh)
太阳能光伏发电	光伏效应, 将太阳能转化为电能	中等 (100~200 W/m ²)	中等 (受光照影响)	高 (可适配屋顶、幕墙)	低 (年维护成本占投资 5% 以下)	5~10
小型风力发电	电磁感应效应, 将风能转化为电能	中等 (80~150 W/m ²)	较低 (受风速影响)	中等 (需空旷场地)	中等 (年维护成本占投资 8%~12%)	10~15
地热能发电	利用地热能加热工质, 推动涡轮发电	高 (200~300 W/m ²)	高 (受地质条件影响小)	低 (需特定地质条件)	中等 (年维护成本占投资 7%~10%)	3~8

1.3 新能源与建筑电气系统集成的核心约束

新能源发电具有间歇性、波动性与建筑用电负荷的时序特性不匹配，不同新能源发电设备的输出电压、频率、功率等参数与建筑电气系统的适配性不同，易导致系统供电不稳定，影响系统运行效率。此外，新能源发电设备初始投资较高，加之安装智能控制系统会提高投资成本，制约新能源与建筑电气系统集成的推广应用。

2 新能源发电技术在低碳建筑电气系统中的集成应用模式

2.1 单一新能源集成应用模式

单一新能源集成应用模式指仅用一种新能源发电技术与建筑电气系统集成，适用于资源禀赋突出、负荷简单的低碳建筑，分三种模式：以太阳能光伏发电为核心，其基本原理是将太阳辐射能收集、吸收并转换成热能，然后通过热交换器将热能传递给工作介质，如水、空气等，从而实现热能的利用，光伏组件装于建筑屋顶等部位，经逆变器将直流电转化为交流电，接入供配电系统为负载供电，多余电能可存储或并网。智能控制系统可动态调节。该模式适配性广，适用于光照充足各类低碳建筑，安装便捷、碳排放低，但发电受光照影响大，需搭配储能系统。以地热能发电设备为核心，通过地源热泵提取地热能发电，经变压器调节后接入供配电系统。集成结构复杂，需配套多系统，适用于地质适宜、负荷大的低碳建筑，发电稳定性强、碳排放低，但初始投资高、勘察安装难度大、适配范围有限。以小型风力发电机为核心，装于建筑屋顶或周边空旷区域，经控制器转化电能接入供配电系统，多余电能存储。集成结构与太阳能模式类似，核心区别在于能源输入端和控制器替代汇流箱。该模式适用于风速稳定、空旷开阔的低碳建筑，可补充用电，但适配性有限、发电稳定性差且有噪声影响。

2.2 多新能源混合集成应用模式

多新能源混合集成应用模式采用两种及以上新能源发电技术与建筑电气系统集成，可互补优势，解决单一新能源发电的间歇性与波动性问题，提升供电稳定性与能源利用效率，适用于用电负荷复杂、资源多样的低碳建筑，主流有光伏-风力、光伏-地热能混合集成模式。光伏-地热能混合集成模式主要结合两者的优势，光伏系统供白天高峰用电，地热能系统供夜间与应急用电，形成互补。地热能发电系统经变压器等与光伏、储能系统协同，智能控制系统动态调节发电比例。该模式适用于光照足、地质适宜

的大型低碳建筑，供电稳定性强、能源利用效率高、碳排放低，但初始投资高、集成复杂度高、适配范围有限。光伏-风力混合集成模式结合两者优势，白天光照足时以光伏发电为主，夜间或阴天风速大时以风力发电为主，多余电能存储。光伏组件、风力发电机经汇流箱、控制器接入逆变器转化为交流电，经配电箱分配至负载，储能系统与逆变器连接，智能控制系统实现最优调配。其能源互补性强，能提升供电稳定性与利用效率，适配光照与风能资源均充足的郊区、山区低碳建筑，但初始投资高、控制难度大。

2.3 集成应用的优化路径

为解决新能源集成过程中适配性不足、效率偏低、稳定性差等问题，根据建筑用电负荷特性与新能源资源选择合适的新能源发电设备与集成方案，减少能源损耗。构建基于大数据、物联网的能源调度系统，实时监测新能源发电量与建筑用电负荷，优化电能的分配与存储，解决间歇性、波动性问题。根据新能源发电量与用电负荷的波动情况完善储能系统的配置，搭配应急备用电源，优化储能系统的容量与充放电策略，提升系统供电稳定性。

3 新能源发电技术集成应用的经济性评估体系

3.1 评估指标体系的构建

结合新能源集成应用的全生命周期，将评估指标分为成本指标、收益指标、综合评价指标三大类，各类指标的定义、计算方法如下，评估指标体系框架如图1所示。

3.1.1 成本指标

成本指标是经济性评估的核心基础，反映新能源集成应用全生命周期内的各项支出。

(1) 初始投资成本 (C_1): 指新能源集成系统建设过程中的各项一次性支出，计算公式为：

$$C_1 = C_{\text{设备}} + C_{\text{配套}} + C_{\text{施工}} + C_{\text{设计}} + C_{\text{调试}} \quad (1)$$

$C_{\text{设备}}$ 为新能源发电设备（如光伏组件等）购置成本，依设备功率与单位功率价格估算； $C_{\text{配套}}$ 为配套设备（逆变器）购置成本； $C_{\text{施工}}$ 按施工面积、难度算安装成本； $C_{\text{设计}}$ 、 $C_{\text{调试}}$ 分别按行业常规标准算勘察设计与调试成本。

(2) 运行维护成本 (C_2): 指新能源集成系统运行过程中的年度经常性支出，计算公式为：

$$C_2 = C_{\text{维护}} + C_{\text{耗材}} + C_{\text{人工}} + C_{\text{能耗}} \quad (2)$$

$C_{\text{维护}}$ 按初始投资成本一定比例算设备年度维护成本（光伏≤5%，风力/地热能 7%~12%）； $C_{\text{耗材}}$ 为年度耗材（如储能电池等）更换成本； $C_{\text{人工}}$ 是年度运维人工成本； $C_{\text{能耗}}$ 为配套设备年度运行能耗成本。

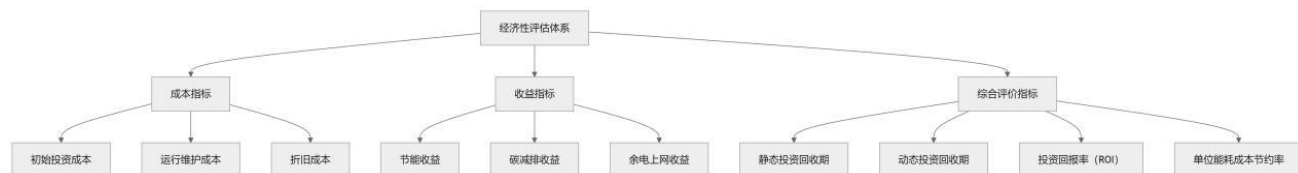


图1 新能源集成应用经济性评估指标体系框架

(3) 折旧成本 (C_3): 指新能源集成系统设备在使用过程中的价值损耗, 计算公式为:

$$C_3 = \frac{C_1 - C_{\text{残值}}}{n} \quad (3)$$

$C_{\text{残值}}$ 按初始投资成本 5%~10%算; n 为设备使用年限(光伏 25~30 年, 风力 20~25 年, 地热能 25~30 年)。

3.1.2 收益指标

收益指标反映新能源集成应用全生命周期内的各项收益。

(1) 节能收益 (R_1): 指新能源集成系统替代传统化石能源供电所节约的电费支出, 计算公式为:

$$R_1 = E \times P_{\text{电网}} \quad (4)$$

其中, E 为新能源集成系统年度发电量 (kWh), 根据新能源资源禀赋、设备效率计算; $P_{\text{电网}}$ 为当地电网销售电价 (元/kWh)。

(2) 碳减排收益 (R_2): 指新能源集成系统减少碳排放所产生的环境收益, 计算公式为:

$$R_2 = E \times \Delta\omega \times P_{\text{碳}} \quad (5)$$

$\Delta\omega$ 为新能源与传统化石能源发电碳排放强度差值 (kgCO₂/kWh), 传统化石能源按 0.8 kgCO₂/kWh 计; $P_{\text{碳}}$ 为当地碳交易价 (元/kgCO₂)。

(3) 余电上网收益 (R_3): 指新能源集成系统年度发电量超出建筑用电负荷的部分, 计算公式为:

$$R_3 = E_{\text{余电}} \times P_{\text{上网}} \quad (6)$$

$E_{\text{余电}}$ 为年度余电上网电量 (kWh); $P_{\text{上网}}$ 为当地余电上网电价 (元/kWh)。

年度总收益 (R) 计算公式为: $R = R_1 + R_2 + R_3$

3.1.3 综合评价指标

综合评价指标是基于成本指标与收益指标, 反映新能源集成应用经济性的核心参数。

(1) 静态投资回收期 (T_1): 在不考虑资金时间价值的前提下, 所期为收回初始投资成本所需的时长, 计算公式为:

$$T_1 = \frac{C_1}{R - C_2 - C_3} \quad (7)$$

其中, $R - C_2 - C_3$ 为年度净收益, 静态回收期越短, 集成方案短期经济性越佳。

(2) 动态投资回收期 (T_2): 指考虑资金时间价值 (折现率 i), 计算公式:

$$\sum_{t=1}^{T_2} \frac{R_t - C_{2t} - C_{3t}}{(1+i)^t} - C_1 = 0 \quad (8)$$

其中, R_t 、 C_{2t} 、 C_{3t} 依次代表第 t 年收益、运行维护成本、折旧成本, i 是折现率 (常取 8%~10%)。

(3) 投资回报率 (ROI): 指年度净收益与初始投资成本的比值, 计算公式为:

$$ROI = \frac{R - C_2 - C_3}{C_1} \times 100\% \quad (9)$$

(4) 单位能耗成本节约率 (η): 指新能源集成系统相比传统建筑电气系统, 计算公式为:

$$\eta = \frac{C_{\text{传统}} - C_{\text{新能源}}}{C_{\text{传统}}} \times 100\% \quad (10)$$

其中, $C_{\text{传统}}$ 为传统建筑电气系统单位能耗成本 (元/kWh), $C_{\text{新能源}}$ 为新能源集成系统单位能耗成本 (元/kWh)。

3.2 评估方法选择

结合评估指标体系的特点与新能源集成应用的实际情况, 评估指标需涵盖系统建设、运行、维护、报废全生命周期, 全面量化成本与收益。同时, 结合层次分析法 (AHP) 提升评估结果的准确性。明确新能源集成模式与评估周期, 收集设备价格、电价、碳交易价格等数据, 计算各项成本指标与收益指标的数值, 量化分析经济性, 并对比不同集成方案的评估结果, 提出最优方案。

3.3 评估结果分析

新能源集成方案均具备可行的经济性, 能够实现长期成本回收与收益增值, 可有效替代传统建筑电气供电模式。单一新能源集成模式与多新能源混合集成模式各有优劣, 其中太阳能光伏发电单一集成模式的综合经济性表现最优, 不仅初始投入相对较低, 运行维护过程中的各类支出也更为经济, 同时适配范围最为广泛。光伏-风力混合集成模式核心优势在于通过能源互补提升了供电稳定性, 适合新能源资源多样的区域应用。小型风力发电单一集成模式受自身特性与适配条件限制, 初始投入与运行维护成本偏高, 仅适用于特定资源禀赋与建筑场景。整体而言, 新能源与低碳建筑电气系统的集成应用, 通过合理选择可以最大化发挥新能源集成的经济价值。新能源与低碳建筑电气系统的集成应用, 在长期的成本节约与收益提升, 同时也符合当前“双碳”目标下建筑领域绿色转型的发展趋势。不同集成模式的经济性差异主要由技术适配性、区域资源条件及配套系统成本决定, 需结合建筑自身特性等实际情况, 选择适配性强的集成模式, 以确保评估结果的科学性与准确性, 才能推动低碳建筑电气系统的可持续发展, 充分释放新能源集成应用的经济性潜力。

4 结论与展望

随着全球能源需求增长和环境问题凸显, 太阳能光伏发电、小型风力发电、地热能发电技术, 均适合与低碳建筑电气系统集成, 新能源单一集成模式适配于用电负荷简单的建筑, 混合集成模式适配于用电负荷复杂、新能源资源多样的建筑, 可提升供电稳定性与能源利用效率, 尤其是光伏-风力混合集成模式适配性较强。构建涵盖成本、收益、综合评价指标的体系可有效量化新能源集成应用的经济性, 采用全生命周期成本-收益分析法以及层次分析法, 可以确保评估结果的科学性与可靠性。

[参考文献]

- [1]杨柄楠,李张弘泰.新能源发电的配电网供电能力研究[J].通信电源技术,2024,41(1):112-114.
- [2]闫立春.新能源分布式发电及其优化控制技术研究[J].电力设备管理,2024(20):155-157.
- [3]张耀.风光发电系统中的数字化转型技术分析[J].集成电路应用,2024,41(5):258-259.
- [4]佟德军.风力发电新能源电气系统设计与性能优化研究[J].电气技术与经济,2024(6):13-15.
- [5]刘颖,刘永胜.电池技术在可再生能源系统中的集成应用[J].上海轻工业,2024(2):183-185.
- [6]吴刚,张星,徐华利.光伏新能源技术在建筑节能中的应用[J].集成电路应用,2023,40(8):140-141.
- [7]汤阳.新型电力系统中的新能源技术综述[J].集成电路应用,2024,41(3):142-143.
- [8]贺峰.风力发电与并网技术分析[J].集成电路应用,2023,40(11):136-137.
- [9]陈俊.新能源发电技术在电力系统中的应用[J].光源与照明,2023(9):231-233.
- [10]刘锦威.新能源发电技术在电力系统中的有效应用[J].现代工业经济和信息化,2021,11(3):86-87.

作者简介:王光宇(1993.12—),毕业院校:河北建筑工程学院,所学专业:建筑电气与智能化,当前就职单位:河北能源工程设计有限公司,职务:主设,职称级别:中级。