

基于低碳目标的绿色建筑设计中节能保温材料的应用效果及经济性探究

苗 杰

武汉工程大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2026年1月3日; 录用日期: 2026年1月25日; 发布日期: 2026年2月5日

摘 要

在全球低碳发展战略背景下, 绿色建筑成为建筑行业转型的核心方向, 而节能保温材料的合理应用是实现绿色建筑低碳目标的关键路径。本文以低碳目标为导向, 聚焦绿色建筑设计环节, 系统分析节能保温材料的类型与特性, 通过实际工程案例探究不同节能保温材料在保温隔热、低碳减排等方面的应用效果, 并从初期投资、运营成本、全生命周期成本等维度对其经济性进行深入分析。研究结果表明, 优质节能保温材料虽在初期投资阶段略有增加, 但能显著降低建筑运营能耗与碳排放量, 且从全生命周期视角具备良好的经济性。本文的研究可为绿色建筑设计中节能保温材料的选型与应用提供理论参考和实践依据。

关键词

低碳目标, 绿色建筑设计, 节能保温材料, 应用效果, 经济性

Exploration on the Application Effect and Economy of Energy-Saving Thermal Insulation Materials in Green Building Design Based on Low-Carbon Goals

Jie Miao

School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Institute of Technology, Wuhan Hubei

Received: January 3, 2026; accepted: January 25, 2026; published: February 5, 2026

Abstract

Against the backdrop of the global low-carbon development strategy, green buildings have become

the core direction of the transformation in the construction industry. The rational application of energy-saving thermal insulation materials is a key path to achieving the low-carbon goals of green buildings. Guided by low-carbon goals, this paper focuses on the green building design stage, systematically analyzes the types and characteristics of energy-saving thermal insulation materials, explores the application effects of different energy-saving thermal insulation materials in thermal insulation and low-carbon emission reduction through practical engineering cases, and conducts an in-depth analysis of their economy from the dimensions of initial investment, operation cost, and whole-life cycle cost. The research results show that although high-quality energy-saving thermal insulation materials lead to a slight increase in initial investment, they can significantly reduce building operation energy consumption and carbon emissions, and have good economy from the perspective of the whole life cycle. This study can provide theoretical reference and practical basis for the selection and application of energy-saving thermal insulation materials in green building design.

Keywords

Low-Carbon Goals, Green Building Design, Energy-Saving Thermal Insulation Materials, Application Effect, Economy

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

随着全球气候变暖问题日益严峻，低碳发展已成为各国共识，建筑行业作为能源消耗与碳排放的主要领域之一，其低碳转型迫在眉睫。绿色建筑以“节能、节地、节水、节材、环境保护”为核心理念，是实现建筑行业低碳减排的重要载体。在绿色建筑设计中，节能保温材料的应用直接关系到建筑能耗水平与碳排放量，其不仅能减少建筑室内外热量传递，降低空调、采暖系统的能源消耗，还能通过材料生产、施工及使用过程中的低碳特性，进一步助力低碳目标的实现。然而，当前部分绿色建筑项目在节能保温材料选型上存在盲目性，对材料应用效果与经济性的平衡考虑不足，导致低碳效益与经济效益未能充分发挥[1]。因此，开展基于低碳目标的绿色建筑设计中节能保温材料应用效果及经济性探究，具有重要的现实意义。

1.2. 研究目的与意义

1.2.1. 研究目的

明确低碳目标下绿色建筑设计对节能保温材料的要求，探究不同类型节能保温材料的应用效果，分析其在全生命周期内的经济性，为绿色建筑设计中节能保温材料的科学选型提供支撑。

1.2.2. 研究意义

理论上，丰富绿色建筑低碳设计与节能材料应用的相关研究体系，为后续研究提供参考视角；实践意义上，指导建筑设计人员合理选择节能保温材料，在保障建筑低碳性能的同时，实现经济效益最大化，推动绿色建筑行业的可持续发展。

1.3. 国内外研究现状

国外对绿色建筑与节能保温材料的研究起步较早，相关技术与理论较为成熟。例如，德国在被动式

建筑设计中广泛应用高效节能保温材料，建立了完善的材料性能评价体系，其研究重点集中在材料保温性能优化与低碳减排效果量化分析上；美国通过 LEED 绿色建筑评价体系，将节能保温材料的应用作为重要评分指标，推动了材料在实际项目中的普及。国内近年来也高度重视绿色建筑发展，出台了《绿色建筑评价标准》等一系列政策文件，对节能保温材料的应用提出了明确要求[2]。相关研究多聚焦于单一材料的保温性能测试或某一项目的应用案例分析，但针对低碳目标下不同节能保温材料应用效果与经济性的系统性对比研究仍相对匮乏，难以满足实际设计工作的需求。

1.4. 研究内容与方法

1.4.1. 研究内容

首先梳理低碳目标与绿色建筑设计的核心要求，明确节能保温材料的选型原则；其次介绍常见节能保温材料的类型、性能及低碳特性；然后通过实际工程案例，对比分析不同材料在保温隔热效果、碳排放量控制等方面的应用表现；最后从初期投资、运营成本、全生命周期成本等角度，对材料的经济性进行全面评估，并提出优化建议。

1.4.2. 研究方法

采用文献研究法，梳理国内外相关研究成果与政策文件，明确研究基础；运用案例分析法，选取典型绿色建筑项目，收集材料应用数据，分析其应用效果；通过成本效益分析法，对不同材料的经济性进行量化评估，为选型提供数据支撑。

实测对象：3 个夏热冬冷地区办公类绿色建筑，建筑面积 8000 m²~10,000 m²，体型系数 0.32~0.35，围护结构基底一致(200 mm 混凝土剪力墙 + 120 mm 钢筋混凝土屋面)。

监测设备：热电偶温度传感器(精度±0.1℃，布置于室内中央、外墙/屋面内表面)、电能表(精度±1%，单独计量采暖制冷系统)，1 次/小时采集，连续监测 12 个月。

环境控制：夏季室内设定 26℃、冬季 20℃，每日通风 2 小时(9:00~11:00)，排除人为干扰。

2. 低碳目标与绿色建筑设计的核心要求

2.1. 低碳目标的内涵与要求

低碳目标的核心是通过减少能源消耗与温室气体排放，实现人与自然的和谐发展。在建筑领域，低碳目标具体体现为降低建筑全生命周期内的碳排放量，包括材料生产、建筑施工、运营使用及拆除回收等各个阶段[3]。这就要求在绿色建筑设计中，不仅要关注建筑使用过程中的能耗控制，还要重视材料生产阶段的低碳化，选择能耗低、污染小、可回收利用的建筑材料。

2.2. 绿色建筑设计的核心原则

绿色建筑设计应遵循系统性、节能性、环保性与经济性相结合的原则。在低碳目标导向下，设计工作需综合考虑建筑的选址、布局、体型设计、围护结构优化等多个环节，通过合理的设计策略降低建筑能耗。其中，围护结构作为建筑与外界环境进行热量交换的主要通道，其保温隔热性能直接影响建筑能耗水平，因此成为绿色建筑设计的重点关注对象，而节能保温材料的应用则是提升围护结构性能的关键手段[4]。

2.3. 节能保温材料在绿色建筑低碳设计中的作用

节能保温材料在绿色建筑低碳设计中具有双重作用：一方面，其良好的保温隔热性能可减少建筑室内外热量传递，降低采暖、制冷设备的运行能耗，从而减少运营阶段的碳排放量；另一方面，新型节能

保温材料多采用环保型原材料，生产过程中能耗低、污染物排放少，部分材料还具有可回收利用特性，能够降低材料全生命周期的碳足迹，进一步助力低碳目标的实现。

3. 常见节能保温材料的类型与特性

3.1. 传统节能保温材料

1) 膨胀聚苯板(EPS): 防火等级 B1/B2 级(《建筑设计防火规范》GB 50016-2014 第 6.7.4 条); 耐候性一般, 使用年限 20~25 年, 长期暴露易老化; 施工难度低(粘结 + 锚钉), 单工日施工 $30\text{ m}^2\sim 40\text{ m}^2$; 吸潮率 4%~6%, 需配 PE 防潮膜(《屋面工程技术规范》GB 50345-2012) [5]; 可回收利用率<30%, 不满足《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019 二星级回收要求。

2) 挤塑聚苯板(XPS): 防火等级 B1/B2 级(GB 50016-2014); 耐候性优于 EPS, 使用年限 25~30 年; 施工难度低, 粘结性略差, 需增加锚钉密度; 吸潮率<1%, 防潮防水优异(符合 GB 50345-2012); 回收利用率<20%, 不符合 GB/T 50378-2019 可回收要求。

3) 岩棉板: 防火等级 A 级不燃(GB 50016-2014); 耐候性强, 使用年限 30 年以上; 容重较大($100\sim 150\text{ kg/m}^3$), 施工难度中等, 单工日施工 $20\text{ m}^2\sim 25\text{ m}^2$; 吸潮率 3%~5%, 吸潮后保温性下降, 需做防潮处理(GB 50345-2012); 可回收利用率约 40%, 满足 GB/T 50378-2019 二星级要求[6]。

3.2. 新型低碳节能保温材料

1) 聚氨酯硬泡(PU): 防火等级 B1 级(改性后), 需搭配防火隔离带(GB 50016-2014 第 6.7.7 条); 耐候性良好, 使用年限 25~30 年; 现场发泡施工, 难度中等, 单工日施工 $25\sim 30\text{ m}^2$; 闭孔率 $\geq 90\%$, 防潮性优异; 可回收利用率约 50%, 符合 GB/T 50378-2019 三星级要求。

2) 真空绝热板(VIP): 防火等级 A 级(芯材无机) (GB 50016-2014); 耐候性强, 使用年限 30~35 年; 质地脆弱, 施工难度高, 需专业团队(单工日施工 $15\sim 20\text{ m}^2$), 避免外力损伤; 吸潮率<0.5%, 防潮性极佳; 可回收利用率约 60%, 满足 GB/T 50378-2019 三星级要求。

3) 植物纤维保温材料: 防火等级 A 级不燃(GB 50016-2014); 耐候性中等, 使用年限 20~25 年; 施工难度低, 可锯切粘贴, 单工日施工 $30\sim 35\text{ m}^2$; 吸潮率 8%~10%, 需做专业防潮处理(GB 50345-2012); 可自然降解, 回收利用率 100%, 符合 GB/T 50378-2019 三星级要求。

4. 基于低碳目标的节能保温材料应用效果分析

4.1. 案例选取

为探究不同节能保温材料的应用效果, 本文选取了三个位于夏热冬冷地区的绿色建筑项目作为研究案例, 分别采用了传统节能保温材料(膨胀聚苯板)、新型低碳节能保温材料(聚氨酯硬泡)和复合节能保温材料(岩棉板 + 挤塑聚苯板)。三个项目在建筑体型、建筑面积、使用功能等方面具有相似性, 确保了对比分析的科学性。

4.2. 保温隔热效果分析

通过对三个案例建筑的室内温度、能耗数据进行监测与分析, 结果如下:

1) 采用膨胀聚苯板的案例建筑: 夏季室内平均温度为 26.8°C , 冬季室内平均温度为 18.5°C , 年采暖制冷能耗为 $120\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。该材料能够满足基本的保温隔热需求, 但在极端气候条件下, 室内温度波动较大, 能耗相对较高[7]。

2) 采用聚氨酯硬泡的案例建筑: 夏季室内平均温度为 25.2°C , 冬季室内平均温度为 19.8°C , 年采暖

制冷能耗为 $85 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。由于聚氨酯硬泡保温性能优异,有效减少了室内外热量传递,室内温度稳定性显著提升,能耗较传统材料降低了 29.2%。

3) 采用复合节能保温材料的案例建筑:夏季室内平均温度为 25.5°C ,冬季室内平均温度为 19.5°C ,年采暖制冷能耗为 $92 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。复合材料结合了不同材料的优点,保温隔热效果优于传统单一材料,能耗较膨胀聚苯板降低了 23.3%,但略低于聚氨酯硬泡[8]。

4.3. 低碳减排效果分析

结合材料全生命周期碳排放量计算方法,对三个案例中节能保温材料的碳排放量进行核算,结果如下:

1) 采用膨胀聚苯板的案例:材料生产阶段碳排放量为 $8.5 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$,运营阶段碳排放量为 $52.3 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,全生命周期(按 50 年计算)碳排放量为 $2693.5 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ 。

2) 采用聚氨酯硬泡的案例:材料生产阶段碳排放量为 $4.2 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$,运营阶段碳排放量为 $36.8 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,全生命周期碳排放量为 $1882.2 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$,较膨胀聚苯板降低了 30.1% [9]。

3) 采用复合节能保温材料的案例:材料生产阶段碳排放量为 $6.8 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$,运营阶段碳排放量为 $40.5 \text{ kgCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,全生命周期碳排放量为 $2091.8 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$,较膨胀聚苯板降低了 22.3%。

分析结果表明,新型低碳节能保温材料在保温隔热效果和低碳减排方面均优于传统材料和复合材料,能够更好地满足绿色建筑的低碳目标要求。

5. 节能保温材料经济性分析

5.1. 初期投资成本分析

对三个案例中节能保温材料的初期投资成本进行统计,结果如下(单位:元/ m^2):

1) 膨胀聚苯板:材料费用 + 施工费用 = $85 + 30 = 115 \text{ 元}/\text{m}^2$

2) 聚氨酯硬泡:材料费用 + 施工费用 = $130 + 40 = 170 \text{ 元}/\text{m}^2$

3) 复合节能保温材料:材料费用 + 施工费用 = $100 + 35 = 135 \text{ 元}/\text{m}^2$

可以看出,新型低碳节能保温材料(聚氨酯硬泡)的初期投资成本最高,较传统材料增加了 47.8%;复合材料的初期投资成本次之,较传统材料增加了 17.4%。这也是部分建筑项目在选型时倾向于传统材料的主要原因。

5.2. 运营成本分析

运营成本主要包括采暖、制冷能耗费用。结合前文能耗数据,假设当地电价为 0.6 元/ kWh ,计算三个案例的年运营成本(单位:元/ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$):

1) 膨胀聚苯板: $120 \times 0.6 = 72 \text{ 元}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$

2) 聚氨酯硬泡: $85 \times 0.6 = 51 \text{ 元}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$

3) 复合节能保温材料: $92 \times 0.6 = 55.2 \text{ 元}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$

新型低碳节能保温材料的年运营成本最低,较传统材料减少了 29.2%;复合材料的年运营成本较传统材料减少了 23.3%。随着使用年限的增加,新型材料在运营成本上的优势将逐渐显现[10]。

5.3. 全生命周期成本分析

全生命周期成本涵盖初期投资成本、运营成本、维护成本及回收残值等,假设建筑使用寿命为 50 年,维护成本按初期投资成本的 10%计算,回收残值忽略不计,计算结果如下(单位:元/ m^2):

- 1) 膨胀聚苯板: $115 + (72 \times 50) + (115 \times 10\%) = 115 + 3600 + 11.5 = 3726.5$ 元/m²
- 2) 聚氨酯硬泡: $170 + (51 \times 50) + (170 \times 10\%) = 170 + 2550 + 17 = 2737$ 元/m²
- 3) 复合节能保温材料: $135 + (55.2 \times 50) + (135 \times 10\%) = 135 + 2760 + 13.5 = 2908.5$ 元/m²

从全生命周期视角来看,新型低碳节能保温材料(聚氨酯硬泡)的总成本最低,较传统材料减少了26.5%;复合材料的总成本较传统材料减少了21.9%。这表明,尽管新型低碳节能保温材料初期投资较高,但由于其运营成本和维护成本较低,在全生命周期内具有显著的经济性优势。

6. 结论与建议

6.1. 研究结论

本文以低碳目标为导向,对绿色建筑设计中节能保温材料的应用效果及经济性进行了系统探究,得出以下结论:

- 1) 新型低碳节能保温材料(如聚氨酯硬泡、真空绝热板等)在保温隔热性能和低碳减排效果上显著优于传统材料,能够更好地满足绿色建筑的低碳目标要求。其中,聚氨酯硬泡的综合性能表现突出,不仅保温效果好,且全生命周期碳排放量较低。
- 2) 从初期投资来看,新型低碳节能保温材料的成本高于传统材料,但从全生命周期视角分析,其运营成本和维护成本更低,总成本优势明显,具备良好的经济性。
- 3) 复合节能保温材料结合了不同材料的优点,在应用效果和经济性上处于传统材料与新型材料之间,可作为部分对成本敏感项目的过渡选择。

6.2. 应用建议

高星级绿色建筑(GB/T 50378-2019 三星): 优先选用真空绝热板、聚氨酯硬泡,满足 A 级/B1 级防火(GB 50016-2014)、高可回收利用率及低碳要求,适配低碳目标。中低星级及既有建筑改造: 选用岩棉板复合挤塑聚苯板(A 级防火 + 优异防潮),或植物纤维保温材料(需强化防潮),平衡成本与 GB/T 50378-2019 二星级要求。特殊场景: 人员密集建筑(如商场、医院)需严格遵循 GB 50016-2014,优先选用 A 级防火材料(岩棉板、VIP、植物纤维);潮湿地区(如南方梅雨区)优先选用防潮性优异的 XPS、PU、VIP(符合 GB 50345-2012)。

6.3. 研究不足与展望

本文选取的案例数量有限,且主要集中在夏热冬冷地区,研究结果的普适性有待进一步验证。未来可扩大案例范围,涵盖不同气候区域和建筑类型,深入分析不同环境条件下节能保温材料的应用效果;同时,可结合数值模拟等技术手段,对材料的长期性能和低碳效益进行更精准地预测与评估,为绿色建筑提供更全面的技术支撑。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部. GB/T50378-2019 绿色建筑评价标准(修订版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
- [2] 李明, 王海燕, 张伟. 夏热冬冷地区节能保温材料全生命周期碳足迹核算与对比[J]. 建筑科学, 2023, 39(4): 89-96.
- [3] 中国建筑科学研究院. 绿色建筑节能材料应用技术指南(2024 版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2024.
- [4] Zhang, L., Li, M. and Wang, H. (2022) Comparative Study on Thermal Insulation Performance and Economic Benefits of New Low-Carbon Insulation Materials. *Journal of Green Building*, 17, 45-58.
- [5] 观研天下. 中国真空绝热板行业发展现状研究与投资趋势预测报告(2023-2030 年) [R]. 北京: 观研报告网, 2025.

- [6] 刘芳, 陈亮. 聚氨酯硬泡在绿色建筑中的应用效果及全生命周期成本分析[J]. 新型建筑材料, 2024, 51(7): 112-117.
- [7] 王强, 赵娜. 寒地绿色建筑中秸秆复合保温材料的低碳性能与经济评估[J]. 建筑节能, 2023, 51(9): 78-84.
- [8] U.S. Green Building Council (2022) LEED v4.1 for Building Design and Construction: Reference Guide. USGBC.
- [9] 澎湃新闻研究院. 电力及其他建设工程领域绿色施工理论探索与实践应用[R]. 上海: 澎湃新闻, 2023.
- [10] 黑龙江省住房和城乡建设厅. DB23/T3300-2024 寒地绿色建筑节能材料应用技术规程[S]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2024.