

保温隔热材料的发展方向与性能检测研究

吴风桦¹, 李洋², 刘平^{2*}

¹浙江恒特工程质量检测有限公司, 浙江 嘉兴

²江苏科技大学土木工程与建筑学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2026年3月20日; 录用日期: 2026年4月14日; 发布日期: 2026年4月23日

摘要

随着建筑节能标准的提升和“双碳”目标的深入推进, 保温隔热材料的性能检测与质量控制成为建筑工程中的重要环节。本文以岩棉板、岩棉条及柔性橡塑管为研究对象, 结合检测报告数据与相关标准, 分析其在尺寸偏差、密度控制、导热系数、吸水率等方面的性能表现, 探讨当前保温材料的发展方向与检测技术要点。研究表明, 岩棉制品在尺寸精度、导热性能和吸水率方面均符合国家标准要求, 柔性橡塑管的检测设备逐步专业化。未来保温材料应向复合化、绿色化、精准化方向发展, 检测技术也应同步提升, 以适应新型墙体材料和保温系统的应用需求。

关键词

保温隔热材料, 岩棉板, 岩棉条, 柔性橡塑管, 性能检测, 导热系数, 吸水率

The Development Directions and Performance Testing of Thermal Insulation Materials

Fenghua Wu¹, Yang Li², Ping Liu^{2*}

¹Zhejiang Hengte Engineering Quality Testing Co., Ltd., Jiaxing Zhejiang

²School of Civil Engineering and Architecture, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu

Received: March 20, 2026; accepted: April 14, 2026; published: April 23, 2026

Abstract

With the improvement of building energy efficiency standards and the in-depth advancement of the “dual carbon” goals, the performance testing and quality control of thermal insulation materials have become critical aspects of construction engineering. This paper takes rock wool boards, rock wool

*通讯作者。

文章引用: 吴风桦, 李洋, 刘平. 保温隔热材料的发展方向与性能检测研究[J]. 材料科学, 2026, 16(4): 249-256.

DOI: 10.12677/ms.2026.164091

strips, and flexible rubber-plastic pipes as the research objects. Based on test report data and relevant standards, it analyzes their performance in terms of dimensional deviation, density control, thermal conductivity, and water absorption. The development trends of current insulation materials and key points of testing technology are also discussed. The research indicates that rock wool products meet national standard requirements in terms of dimensional accuracy, thermal conductivity, and water absorption, while the testing equipment for flexible rubber-plastic pipes is becoming increasingly specialized. In the future, insulation materials should develop towards compositeness, greenness, and precision. Correspondingly, testing technologies must also be upgraded simultaneously to meet the application demands of new-type wall materials and insulation systems.

Keywords

Thermal Insulation Materials, Rock Wool Board, Rock Wool Strip, Flexible Rubber-Plastic Pipe, Performance Testing, Thermal Conductivity, Water Absorption

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. 研究背景与意义

进入 21 世纪, 全球能源消耗持续增长, 化石燃料的过度使用导致二氧化碳排放量不断攀升, 气候变化已成为全人类共同面临的紧迫问题。欧盟气候法明确提出, 到 2030 年二氧化碳排放量需减少 55%, 并在 2050 年实现气候中和。要实现这一目标, 必须大幅降低建筑和工业领域的能源消耗, 而保温隔热材料正是实现节能减排的关键技术路径。

国际能源署的数据显示, 建筑供暖和制冷是能源消耗和温室气体排放的主要驱动因素。在冬季, 热量通过墙体、屋顶和门窗散失; 在夏季, 太阳辐射热通过围护结构进入室内。采用高效的保温隔热材料, 能够显著降低建筑的热量损失和得热, 从而减少供暖和制冷设备的运行能耗。保温隔热材料是指用于抵抗热流传递的材料或材料的复合体, 既包括防止热量外流的保温材料, 也包括阻止外部热量进入的隔热材料, 二者统称为绝热材料。这类材料广泛应用于建筑围护结构、工业热工设备、航空航天器、冷链物流等领域, 在减少能量损失、提高能源效率方面发挥着关键作用。研究表明, 采用良好绝热材料的建筑可节省 25%~50% 的能源消耗。

随着全球能源消耗和温室气体排放问题日益严峻, 开发高效、环保的隔热材料已成为材料科学领域的重要课题。岩棉制品因其优异的防火、保温、吸音性能, 广泛应用于屋面、外墙及管道保温系统中; 柔性橡塑管则因其良好的柔韧性和防结露性能, 常用于空调、给排水管道的保温。本文结合浙江恒特工程质量检测有限公司提供的岩棉板检测报告及相关设备图片, 系统分析这三类材料的性能特点与检测方法, 探讨保温隔热材料的未来发展方向。

1.2. 国内外研究现状

1.2.1. 岩棉板的应用与发展

岩棉板凭借其优异的防火性能, 应用研究呈现出多维度拓展。在木结构建筑中, 覆有岩棉板的墙体耐火极限远超标准要求, 正成为替代传统石膏板的防火解决方案。传统岩棉板易受潮导致保温性能下降。最新专利技术通过在板内集成加热机构, 主动去除入侵湿气以保障长期保温效果。

1.2.2. 岩棉条的应用与发展

在国外,岩棉条是岩棉板的深加工产品,随薄抹灰外墙外保温系统的普及而兴起。欧洲为解决岩棉板纤维分层、抗拉强度不足的问题,通过摆锤法和打褶技术,使纤维呈三维交叉分布,形成了岩棉条的雏形。在国内,随着 GB50016-2014《建筑设计防火规范》的实施,对保温材料燃烧性能和抗拉强度要求提高,岩棉条作为防火隔离带和高层建筑保温层的首选材料,被迅速推广应用。

1.2.3. 柔性橡塑管的应用和发展

柔性橡塑料管在国外起源于 20 世纪 30 年代的美国,最早用于军工和航空领域。70 年代能源危机后,橡塑材料以其优异的闭孔结构和自熄性,在欧美建筑暖通空调管道保温领域迅速普及。在国内柔性橡塑管起步较晚。1990 年代开始引进国外技术和生产线。2000 年后,随着中央空调市场的爆发式增长,柔性橡塑管材的产能和技术快速提升。

1.2.4. 保温隔热材料的研究方法

从现有文献发现[1]-[3],对保温材料主要研究其性能指标、适用范围以及在绿色建筑中的应用。随着国家政策的出台而提升。从最初以材料导热系数检测为主,到要求对完整墙体系统进行传热系数测试,即岩棉条复合保温结构墙体传热系数研究。同时由设计值向实测值过渡研究指出,实际工程中围护结构保温性能与设计值符合性较差,长期使用后差异更为显著,因此逐步建立“设计值-实验室值-现场值”三级比对机制,推动现场检测标准的应用。保温隔热材料需要研究其性能衰减机理,由于环境因素的影响材料的性能会发生改变。热湿环境下的界面劣化、材料本征老化、热桥效应放大、微观结构退化,但针对长期服役(10 年以上)的定量衰减模型研究仍较为缺乏,是未来需重点关注的方向。

1.2.5. 保温隔热材料的发展方向

未来保温材料将向多功能复合方向发展,如岩棉防水层、橡塑与阻燃层复合,以提升综合性能。当前检测标准同步升级,同时检测尺寸偏差、密度、导热系数和吸水率等多项指标,体现了对材料综合性能的评价导向。在绿色低碳方面,2025 年发布的 GB/T 35609-2025 标准新增“低碳属性”指标,要求量化产品碳足迹。同时,智能制造技术的应用显著提升了岩棉等产品的尺寸精度与密度均匀性。研究表明,通过多尺度结构设计与仿生学原理开发可持续材料,是突破性能瓶颈、实现隔热效率与环保效益统一的核心路径。

2. 岩棉板的性能检测与分析

2.1. 检测信息与依据

该岩棉板样品是委托浙江恒特工程质量检测有限公司进行模拟检测,用于性能验证。本次检测的岩棉板样品型号规格为 100~1200 × 600 × 65,实际尺寸 1200 mm × 600 mm × 65 mm,试样数量为 3 张。根据检测报告,岩棉板的检测依据包括《建筑用岩棉绝热制品》GB/T 19686-2015、《矿物棉及其制品试验方法》GB/T 5480-2017 和《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定防护热板法》GB/T 10294-2008。检测项目涵盖尺寸允许偏差、密度允许偏差、导热系数、体积吸水率(全浸)等¹。

2.2. 尺寸允许偏差与密度检测

尺寸偏差和密度允许偏差是岩棉制品的基础检测项目。检测报告中,三块试样的长度偏差为+2、+1、0 mm,宽度偏差为+3、+2、+1 mm,厚度偏差为+1、0、+1 mm,均在标准允许范围内(长度+10/-3 mm,

¹该检测报告编号为 JN2025BYM00004, 出具日期为 2025 年 06 月 24 日。

宽度 $+5/-3$ mm, 厚度 $+3/-3$ mm)。密度偏差分别为 $-3%$ 、 $-2%$ 、 $-3%$, 符合 $\pm 10%$ 的要求, 表明材料成型均匀性良好。数据记录如表 1 所示。

Table 1. Test results for dimensional deviation and density deviation of rock wool board (mm)

表 1. 岩棉板尺寸偏差与密度偏差检测结果(mm)

试样编号	长度偏差	宽度偏差	厚度偏差	密度偏差(%)	结论
1	2	3	1	-3	符合
2	1	2	0	-2	符合
3	0	1	1	-3	符合

2.3. 导热系数

导热系数是衡量保温材料性能的关键指标。检测报告显示, 岩棉板在平均温度 25°C 下的导热系数为 $0.0376 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 低于标准限值 $0.040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 符合要求。检测采用双试件防护热板法, 测试过程规范, 数据可靠。研究表明, 孔隙率 $\geq 90\%$ 且孔径 $< 100 \text{ nm}$ 时, 气体对流与固体传导显著减弱, 可有效降低导热系数。下图 1 为一款平板导热系数测试仪的设备界面, 反映了导热系数测试的常见参数设置与结果显示方式, 图中显示导热系数为 $0.0601 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$, 试样尺寸为 $100 \times 100 \times 5 \text{ mm}$ 。



Figure 1. Interface of the thermal conductivity tester for flat specimens

图 1. 平板导热系数测试仪界面

2.4. 体积吸水率(全浸)

吸水率影响材料的耐久性和保温稳定性。检测结果如表 2 所示, 结果表明四组试样的体积吸水率分别为 1.70% 、 1.66% 、 1.72% 、 1.68% , 平均值为 1.69% , 远低于标准限值 5.0% 。检测过程中严格遵循 GB/T 5480-2017 标准, 试样在 105°C 下干燥至恒重, 浸水后称重计算吸水率, 结果准确。

Table 2. Test results for volumetric water absorption of rock wool board**表 2.** 岩棉板体积吸水率检测结果

试样编号	体积(cm ³)	干燥质量(g)	吸水后质量(g)	吸水率(%)
1	2620	248.8	293.3	1.70
2	2620	249.2	292.6	1.66
3	2613	249.0	293.9	1.72
4	2640	251.3	295.5	1.68
平均	-----	-----	-----	1.69

2.5. 恒质过程与数据可追溯性

检测报告中附有恒质过程原始记录,详细记录了试样在干燥过程中的质量变化。试样在 105℃ 下经多次称量,确保达到恒重状态,提升了检测结果的科学性和可追溯性,如表 3 所示。

Table 3. Mass recording of constant mass process (Unit: g)**表 3.** 恒质过程质量记录(单位: g)

时间点	试样 1	试样 2	试样 3	试样 4
6/18 10:50	252.5	253.0	252.5	255.2
6/18 12:50	249.9	250.4	250.1	252.5
6/18 14:50	248.8	249.2	249.0	256.3
6/18 16:50	248.8	249.2	249.0	251.3

3. 岩棉条的性能检测特点

岩棉条作为岩棉板的衍生制品,具有更高的抗拉强度和压缩性能,适用于外墙外保温系统。国内外学者对岩棉外墙外保温系统进行了广泛研究,张敏敏等[4]研究了岩棉条复合保温结构墙体传热系数,指出岩棉条宽度对复合墙体的传热系数的影响规律。表明岩棉条宽度增加会显著降低墙体的保温性能。而传热系数会随着岩棉条宽度增加而增大。检测报告中针对尺寸小于 200 mm 的岩棉条,用以岩棉条宽度为正方形、不同厚度的试样进行全浸吸水率测试,体现了检测方法的灵活性。

陈丽华等[5]也根据此方法研究了岩棉条在浸泡后的抗拉强度。实验中将岩棉条裁切成 150 mm × 150 mm 的小样,每组试样由 10 个小样组成,采用全浸泡的方法,将试样浸入 50 mm 水下,浸泡时间分别为 7 d 和 28 d,在浸泡过程中水温保持(23 ± 5)℃。结果如图 2 所示。

样品编号	原始拉伸强度/kPa	浸泡 28 d 拉伸强度/kPa	拉伸强度保留率/%	
岩板棉	样品 A	24.1	21.9	90.9
	样品 B	13.2	7.6	57.6
	样品 C	12.8	8.4	65.6
	样品 D	11.2	4.4	39.3
岩棉条	样品 E	320.9	317.1	98.8
	样品 F	327.8	356.0	108.6

Figure 2. Tensile strength of rock wool after immersion in water for 28 days**图 2.** 岩棉水中浸泡 28 d 后的拉伸强度

岩棉制品的检测项目还包括酸度系数、纤维平均直径、渣球含量、有机物含量、热荷重收缩温度、燃烧性能等。对于外墙外保温用岩棉制品，还需检测压缩强度、水蒸气透过性等指标。

4. 柔性橡塑管的检测与设备

柔性橡塑管作为管道保温常用材料，其吸水率和导热系数同样关键。柔性泡沫橡塑绝热制品的检验依据包括 GB/T 17794-2021《柔性泡沫橡塑绝热制品》。管材类产品的抽样基数为 6 米，其中 3 米为检验样品，3 米为留样备查。

图 3 为一台“柔性泡沫真空吸水率测定仪”，可用于测试橡塑材料在真空状态下的吸水性能，反映材料的密实性和防水能力。图中显示“工作停止”、“放气阀”等操作面板，适用于柔性橡塑材料的吸水率测试。



Figure 3. Flexible foam vacuum water absorption tester
图 3. 柔性泡沫真空吸水率测定仪

柔性橡塑管的检测项目通常包括导热系数、真空吸水率、压缩永久变形、氧指数、表观密度等。随着建筑管道保温要求的提高，柔性橡塑材料的检测技术正向专业化、自动化方向发展。

5. 结果与讨论

5.1. 与现有文献的对比与融合

5.1.1. 岩棉板性能的验证与延伸

本文测得的岩棉板导热系数(0.0376 W/(m·K))与张敏敏等对岩棉条复合保温墙体中岩棉材料导热系数(0.043 W/(m·K))的测定值相比略优，这主要源于密度差异，本文 120 kg/m³，文献是 109 kg/m³，以及纤维排列致密化程度的提升。更致密的纤维结构可有效抑制辐射传热与气体对流，从而降低导热系数。在吸水率方面，本文全浸法测得体积吸水率 1.69%，与田雨薇[6]研究中岩棉板憎水率 ≥ 98%的结论相互印证，表明通过表面疏水处理可有效控制吸水率，保障长期保温稳定性。这一发现延伸了文献[6]中关于岩棉憎水性能的论述，从定性描述走向了定量验证。

5.1.2. 检测方法的标准化与一致性

本文采用的检测方法(GB/T 10294-2008 防护热板法、GB/T 5480-2017 恒重法)与现有文献所使用的方法高度一致，表明当前岩棉制品检测已形成较为统一的技术路径。值得注意的是，本文在导热系数测试中采用了双试件法并详细记录了恒质过程(表 3)，这一精细化操作在现有文献中较少体现。石鑫淼等

[7]指出, 压缩易变形纤维类保温材料的导热系数测试存在偏差风险, 而本文通过规范的恒重处理与多点厚度测量, 有效降低了此类误差。柔性橡塑管检测采用 GB/T 17794-2021 标准与真空吸水率测定仪(图 2), 与王华伟等[8]关于聚合物复合材料需结合真空环境模拟实际工况的论述相呼应, 反映了检测方法随材料特性差异化的技术导向。

5.2. 研究的优势与不足

本文基于完整的检测报告与原始记录, 系统呈现了岩棉板在尺寸偏差、密度控制、导热系数、体积吸水率等关键指标上的实测结果, 数据详实、过程可追溯, 为岩棉制品的性能验证提供了典型范例。在检测方法层面, 通过展示恒质过程记录、多测点厚度测量及小尺寸试样处理等精细化操作, 揭示了检测细节对结果准确性的关键作用, 弥补了现有文献对检测操作关注不足的空白。在此基础上, 本文构建了岩棉板、岩棉条与柔性橡塑管三类材料的对比分析框架, 明确了不同材料在检测标准、方法与性能指标上的差异, 为工程选材与质量控制提供了系统性参考。检测结果亦印证了文献中关于岩棉制品工艺改进(如打褶技术、纤维三维分布、表面疏水处理)的相关论述, 表明当前岩棉制品已具备满足更高节能标准的技术能力。

然而, 本研究也存在一定局限性。样品为委托送检, 非工程现场随机抽样, 且生产厂家信息缺失, 研究结果仅能代表该批次样品, 难以全面反映市场整体质量水平。同时, 受报告内容限制, 检测项目未涵盖压缩强度、垂直于表面的抗拉强度、酸度系数、长期吸水量、水蒸气透过性等对系统安全性与耐久性具有关键影响的指标, 缺乏多维度的检测。

5.3. 未来研究方向

针对上述不足, 未来研究应从以下方面进行深化: 一是加强工程现场随机抽样检测, 建立“设计值 - 实验室值 - 现场值”三级比对数据库, 更真实反映实际工程中保温材料的性能水平; 二是拓展检测项目, 强化抗拉强度、水蒸气透过性、冻融循环耐久性等指标的测试, 并结合加速老化试验构建长期性能衰减预测模型; 三是引入多物理场数值模拟, 量化分析岩棉条与粘结层、锚固件之间的热桥效应, 为构造节点优化提供理论支撑。

6. 保温隔热材料的未来发展趋势

6.1. 多学科交叉设计

融合仿生学与多物理场耦合机制, 开发宽温域、抗疲劳的多功能材料。研究表明, 仿孤雌草卷须的卷曲纳米纤维气凝胶拉伸应变达 150%, 导热系数仅增加 3.1%, 突破了“隔热 - 力学”性能权衡难题。

6.2. 绿色制备技术

推广水基溶胶 - 凝胶法、常压干燥工艺, 利用农业废弃物(如木质素、纤维素)降低原料成本与碳排放。生物质纤维素气凝胶年节能可达 23.1 kWh/m², 适配不同气候带需求。

6.3. 数字化与智能化检测

借助数字孪生技术模拟材料在复杂工况下的性能, 实现微观结构精准预测与工艺优化。装配式建筑外墙接缝防水技术的研究也表明, 应发展智能化水平高、检测结果可靠的无损检测技术。

7. 结论

岩棉板在尺寸允许偏差、密度控制、导热系数及体积吸水率等关键性能指标上均表现出良好的稳定

性, 其恒质过程的数据可追溯性也为工程应用提供了可靠保障; 岩棉条凭借其独特的结构特性, 在性能检测中展现出与岩棉板不同的侧重点与优势; 柔性橡塑管的检测结果则验证了其在特定应用场景下的适用性及相关检测设备的有效性。综合来看, 保温隔热材料的性能检测需针对不同材料类型制定差异化方案, 以确保检测结果的准确性与工程应用的安全性。同时, 结合保温隔热材料未来在多学科交叉设计、绿色制备技术及数字化与智能化检测等方面的发展趋势, 未来的性能检测工作应进一步加强对新型材料微观结构与宏观性能关联机制的研究, 推动检测技术与材料研发的深度融合, 为行业的可持续发展提供更有力的技术支撑。根据上述试验, 可以得到以下结果。

(1) 岩棉板在尺寸偏差(长度 $+2/+1/0$ mm、宽度 $+3/+2/+1$ mm、厚度 $+1/0/+1$ mm)、密度偏差($-3\% \sim -2\%$)、导热系数(0.0376 W/(m·K))和体积吸水率(1.69%)等方面均符合 GB/T 19686-2015 标准要求, 表现出良好的保温性能和工艺稳定性。

(2) 岩棉条的检测需根据其尺寸特点采用相应方法, 对于小尺寸试样可采用宽度为正方的试样进行测试。

(3) 柔性橡塑管的检测设备逐步专业化, 真空吸水率测定仪等专用设备的应用提高了检测精度和效率。

(4) 检测过程的规范化、记录的可追溯性为材料质量控制提供了有力保障, 恒质过程记录、多测点厚度测量等细节体现了检测工作的严谨性。

(5) 未来保温材料应向复合化、绿色化、精准化方向发展, 检测技术也应同步提升, 以适应新型墙体材料和保温系统的应用需求。

参考文献

- [1] 李建斌, 杨重年, 张涛, 等. 环保型保温材料在住宅楼外墙施工中的应用[J]. 居舍, 2026(6): 49-51.
- [2] 贾文亮, 李梅. 保温隔热材料在绿色建筑中的应用[J]. 居舍, 2025(17): 28-30.
- [3] 董庚. 绿色建筑外墙节能保温材料应用[J]. 居舍, 2025(16): 34-36.
- [4] 张敏敏, 刘元彬, 王功振, 等. 岩棉条复合保温结构墙体传热系数研究[J]. 建筑节能(中英文), 2024, 52(9): 38-41+49.
- [5] 陈丽华, 杨超, 张剑红, 等. 建筑外墙外保温用岩棉耐水性和耐久性试验研究[J]. 新型建筑材料, 2015, 42(5): 78-80.
- [6] 田雨薇. 建筑工程岩棉外墙外保温系统施工技术[J]. 砖瓦, 2026(2): 171-174.
- [7] 石鑫淼, 王莹莹. 防护热板法测试压缩易变形纤维类保温材料导热系数修正[J]. 建筑技术, 2026, 57(1): 108-113.
- [8] 王华伟, 郎晓波. 房屋保温隔热用聚合物复合材料的研究进展[J]. 合成材料老化与应用, 2025, 54(6): 74-77.