

建筑节能材料导热系数检测技术对比与应用分析

杨万清*

(深圳市宝利检测有限公司, 深圳 518109)

摘要: 本文对建筑节能材料导热系数检测技术进行了系统研究, 分析了稳态法和动态法的技术特点、应用现状及存在的问题, 探讨了影响检测准确性的因素, 并提出了优化策略。研究发现, 新型传感器技术的应用显著提升了检测精度和效率。通过设备校准、环境控制、样品处理及测试方法优化, 可有效提高检测准确性。研究成果为建筑节能材料的研发与应用提供了重要支持, 推动了建筑节能领域的发展。

关键词: 建筑节能材料; 导热系数; 检测技术; 优化策略

0 引言

建筑节能是实现可持续发展的重要措施, 准确检测建筑节能材料的导热系数是确保建筑节能效果的关键环节。本文系统研究了稳态法和动态法两种主要的导热系数检测技术, 分析了其技术原理、应用现状以及存在的问题, 深入探讨了材料特性、检测设备与环境条件等因素对检测准确性的影响, 在此基础上, 提出了设备校准、环境控制、样品处理及测试方法优化等策略, 以提高检测的准确性和可靠性。本研究旨在为建筑节能材料检测技术的改进提供理论支持和实践指导。

1 建筑节能材料导热系数检测技术分类

1.1 稳态法检测技术

稳态法是建筑节能材料导热系数检测中的一类重要技术, 其原理基于一维稳态热传导理论, 通过精确测量试样两侧的温差以及通过试样的热流密度计算出导热系数。常见的稳态法包括热流计法、防护热流计法和防护热板法等。热流计法利用标准热流计测量热流传递情况, 适用于中低导热材料, 精度可达 $\pm 5\%$, 相关测试标准为 ASTM C518。防护热板法则是通过在试样周围设置防护加热器, 使试样处于更加均匀的热环境中, 以提高测量精度, 适用于低导热材料 [导热系数范围 $0.01\sim 1\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$], 精度可达 $\pm 3\%$, 其测试标准为 ASTM C177 和 ISO 8302^[1]。

1.2 动态法检测技术

动态法, 又称为非稳态法, 主要依据瞬态热传导原

理, 通过测量材料在受热过程中温度随时间的变化情况来推算导热系数。典型的动态法包括热线法、热脉冲法和瞬态平面热源法。热线法以线热源对试样进行瞬态加热, 适用于液体、粉末以及各向同性固体等材料, 精度在 $\pm 7\%$ 左右, 对应的测试标准为 ASTM D5930。热脉冲法则是利用加热器对试样进行脉冲加热, 通过测量放置在加热器两侧试件的温度变化来计算导热系数, 该方法测定时间短, 通常每次试验仅需 $10\sim 20\text{ min}$, 且测定范围广, 可适用于密度在 $30\sim 3000\text{ kg/m}^3$ 的干燥和潮湿的块状及粉状保温材料。瞬态平面热源法采用平面探头对试样进行瞬态加热, 记录温变响应, 适用于各向异性材料和复合材料的测试, 精度约为 $\pm 10\%$, 其测试标准为 ISO 22007^[2]。

2 检测技术应用现状及问题分析

2.1 检测技术应用现状

在建筑节能材料导热系数检测领域, 各类检测技术的应用已初具规模, 但整体仍处于发展阶段。目前市场上有众多检测机构提供相关服务, 但机构间的检测水平和服务质量参差不齐。一些大型检测机构拥有先进的检测设备和专业的技术团队, 能严格按照国家标准进行检测, 而部分小型检测机构则在设备精度、人员素质等方面存在不足^[3]。在检测标准的执行方面, 虽然国家已经出台了一系列相关的检测标准, 但由于不同地区、不同行业的具体要求存在差异, 导致检测标准在实际应用中未能得到统一和规范的执行。此外, 部分检测人员对检测标准和流程不够熟悉, 或在实际操作中未能严格遵守规范, 直接影响检测结果的准确性和可靠性。

* 通信作者: 杨万清, 工程师, 技术负责人, 研究方向为幕墙、节能材料检测。E-mail: 514505212@qq.com

2.2 检测技术应用中的问题分析

①检测标准不统一。由于不同地区、不同行业对建筑节能材料导热系数检测的要求存在差异，导致检测机构在实际操作中面临诸多困惑^[4]。②检测设备的局限性。尽管现有设备在技术上已经取得了显著进步，但在实际应用中仍存在一些问题。③检测结果的误差^[5]。导热系数检测结果的准确性受到多种因素的影响，如样品的制备质量、检测环境的温湿度波动、设备的校准状态等。

3 导热系数检测技术准确性的影响因素

3.1 材料特性对导热系数检测准确性的影响

材料的密度、孔隙率、含水率、分子结构及化学成分等因素对导热系数检测准确性具有显著影响。以密度为例，材料密度越大，导热系数通常越高，反之则越低。对于含孔隙的材料，孔隙率越大，导热系数越低，但孔隙的连通性会使导热系数升高。含水率的变化对导热系数影响极大，水的导热系数约为 $0.6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，远高于空气的 $0.026 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，材料受潮后孔隙内水分增加，导热系数显著上升，冰的导热系数是水的4倍，材料中水分冻结后导热系数进一步增大^[6]。此外，材料的分子结构和化学成分也会影响导热系数，如玻璃体物质的导热系数低于晶体物质。

3.2 检测设备与环境条件对导热系数检测准确性的影响

设备的加热功率波动、温度测量误差等都会直接导致检测结果的偏差^[7]。例如，热流计法中，设备对样品平整度要求高，样品表面的尖锐颗粒可能损坏传感器，且每次测量需校准标定，不同季节测定样品的重复率较低。环境条件同样至关重要，温度和湿度的变化会影响材料的热物理性能，进而影响检测结果^[8]。气流的存在可能引入对流换热，干扰正常的热传导过程，导致检测数据失真。

4 提高导热系数检测准确性的优化策略

4.1 设备校准与环境控制策略

设备校准是确保导热系数检测准确性的基础，可采用标准样品校准、积分球法校准和比较法校准等方式^[9]。例如，使用已知导热系数且稳定的材料作为标准样品，放入导热系数测试仪中，按照设定的测试条件进行测量，将测量结果与标准值对比，计算仪器误差并进行修正。在实际操作中，导热系数测定仪的示值误差应不超过 $\pm 3\%$ （或制造商规定的技术指标）。环境控制方面，温度和湿度的稳定至关重要。温度波动会影响材料的热物理性能和仪器的测量精度，因此需配备高精度的恒温设备，将测试环境温度控制在设定值的 $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内^[10]。湿度方面，可通过

除湿器和加湿器等设备将相对湿度控制在 $\pm 2\%$ 的范围内，以减少湿度变化对样品导热性能的影响^[11]。

4.2 样品处理与测试方法优化策略

样品的制备和安装直接影响导热系数的测量结果，样品表面需平整光滑，无裂缝、气泡等缺陷，否则会影响热流的均匀传递，导致测量结果出现偏差^[12]。对于粉末或颗粒状样品，应采用压片、成型等方法制备成形状规则、尺寸精确的样品。实际操作中，样品的尺寸精度应控制在 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 以内，以确保测量的准确性^[13]。安装时，确保样品与仪器测量探头或加热源接触良好，避免空隙或接触不良。在测试方法选择上，应根据样品性质、测试需求和仪器特点综合考虑。例如，稳态法适用于低至中等导热系数 $[0.01\sim 2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 材料的精确测量，而瞬态法则更适合高导热系数 $[大于 2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 材料的快速测量。同时，优化测试参数如加热功率、测试时间、温度梯度等，可提高测量的准确性和重复性^[14]。例如，在瞬态热线法中，适当增加加热功率可提高样品的温度响应速度，但需避免过高的功率导致样品过热或损坏。实际应用中，加热功率应控制在样品承受范围内，一般不超过 100 W ，以确保样品在测试过程中的完整性和测量结果的可靠性。

5 优化检测技术对建筑节能材料研发与应用的推动作用

5.1 研发阶段的推动作用

研发新型保温材料时，通过高精度的导热系数检测技术，研发人员可以精确掌握材料的热物理性能，为材料的改性与优化提供可靠依据。例如，新型无机钙基相变材料在固相下的导热系数为 $0.3512 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，液相下为 $0.5221 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，而在相变过程中，可显著提升至 $1.3637 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。这表明该材料具有较高的导热性能，使其在建筑节能领域具有广阔的应用前景^[15]。同时，先进的检测技术还能帮助研发人员及时发现材料潜在的问题，如某些保温材料在长期使用过程中可能出现导热系数升高的现象，通过长期稳定性检测，研发人员可以针对性地改进材料配方或生产工艺，提高材料的耐久性^[16]。此外，在研发过程中，精准的检测可以减少因材料性能不符合预期而导致的重复试验次数，节省原材料和时间成本。例如，通过优化测试参数如加热功率、测试时间、温度梯度等，可提高测量的准确性和重复性，减少因测试误差导致的资源浪费^[17]。同时，通过快速、高效的检测方法，研发人员能够更快地筛选出具有潜力的材料配方，将更多资源集中投入到有前景的研发方向上，提高研发资源的利用效率。将相变材料添加到水泥砂浆中，可制备成水泥基复

合储热材料。随着相变材料含量的增加,复合材料的导热系数逐渐降低,与普通水泥砂浆相比,其导热系数可降低15.8%~65.8%,这为研发人员提供了明确的方向,即通过调整相变材料的含量来优化材料的隔热性能^[18]。

5.2 应用阶段的推动作用

在建筑节能材料的应用阶段,优化检测技术确保材料实际应用效果与设计相符,提升建筑节能效果。在建筑工程中,通过严格的质量检测,施工方可以筛选出符合节能标准的材料,避免因材料性能不足导致的能源浪费。例如,在外墙保温系统施工中,对保温材料的导热系数进行精确检测,可以确保保温系统的实际保温效果达到设计要求,降低建筑物的能耗。在夏季,该材料能有效反射太阳光,降低室内温度,减少了空调的使用频率,进一步降低了能耗^[19]。同时,优化检测技术有助于延长材料使用寿命。通过对材料的耐久性检测,用户可以了解材料在不同环境条件下的性能变化,从而采取合理的维护措施,延长材料的使用寿命。此外,优化检测技术推动节能材料市场的健康发展。准确的检测结果为市场监管提供依据,防止不合格产品流入市场,维护市场秩序。如某大型商业综合体在建筑设计阶段就充分考虑了节能环保的需求,大量采用了新型节能环保材料。其中,外墙保温材料采用了高效保温隔热材料,使得建筑在冬季保温性能提升了30%,夏季隔热性能提升了25%,该建筑还采用了节能玻璃和遮阳系统,有效降低了建筑能耗。经过实际运行数据对比,该商业综合体的能耗相比传统建筑降低了20%以上,实现了显著的节能效果^[20]。这不仅保护了消费者权益,也激励企业投入更多资源进行技术研发和产品质量提升,促进节能材料行业的良性竞争和可持续发展。

6 结束语

本文系统探讨了建筑节能材料导热系数检测技术的分类、应用现状及问题、准确性影响因素、优化策略以及对研发与应用的推动作用。通过深入分析各类检测技术的特点与适用范围,明确了当前检测技术在实际应用中存在的不足,并提出了针对性的优化策略。这些策略的实施不仅有助于提高检测结果的准确性,还能为建筑节能材料的研发与应用提供更可靠的数据支持,推动建筑节能技术的发展。未来,随着检测技术的不断进步和优化,建筑节能材料的性能评估将更加精准,为实现建筑领域的节能减排目标提供有力保障。

参考文献

[1] MEZA A, QUISPE G, RAYMUNDO C. Design and

- construction of a prototype for measuring the thermal conductivity of insulating materials, plastics and metals according to ASTM C177 with staged heating [C]// Intelligent Human Systems Integration 2021. Cham: Springer, 2021: 645-650.
- [2] 张鑫. 建筑外墙节能保温材料与检测技术[J]. 陶瓷, 2020, (8): 90-91.
- [3] 孙美钗. 建筑节能检测之常用保温材料检测技术及其应用[J]. 四川水泥, 2020, (6): 98.
- [4] 梁正荣. 建筑工程新型墙体节能材料的检测分析[J]. 工程建设与设计, 2020, (15): 19-20.
- [5] 焦丽, 赵雅楠. 新型节能材料在装配式建筑中的研究与应用[J]. 居舍, 2025, (8): 54-56+96.
- [6] 时国华, 高宇琪, 赵岳天, 等. 气凝胶材料外保温超低能耗建筑节能模拟[J]. 建筑节能(中英文), 2025, 53(1): 38-43.
- [7] 刘聪颖, 吴静, 申衡, 等. 新型建筑保温材料的研究进展与应用前景[J]. 居业, 2024, (11): 211-213.
- [8] 蒋荣琪. 建筑节能材料检测常见问题及质量监控管理研究[J]. 实验室检测, 2024, 2(11): 93-95.
- [9] 秦楠. 保温材料在住宅建筑中的应用及其质量控制[J]. 居舍, 2024, (30): 49-51.
- [10] 刘琛, 唐磊, 王志, 等. 高层建筑屋顶球体结构节能材料研究[J]. 工程建设与设计, 2024, (18): 194-196.
- [11] 王洲杰, 黄艳妮. 建筑节能降耗系统相变储能砂浆特性[J]. 当代化工, 2024, 53(7): 1605-1608+1613.
- [12] 周洋航. 建筑节能材料检测存在的问题与改进措施[J]. 石材, 2023, (12): 105-107.
- [13] 林飞燕. 建筑墙体的纤维增强聚氨酯保温材料制备及性能研究[J]. 砖瓦, 2022, (10): 144-146.
- [14] 彭慧蕴, 陈吉明, 罗利明, 等. 膨胀蛭石的微波法制备及在建筑节能减碳中的应用[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(4): 30-37.
- [15] 杨效田, 王彩龙, 刘俊艳, 等. 六水合氯化钙基相变材料对岩棉保温板储能和保温性能的影响[J]. 兰州理工大学学报, 2024, 50(1): 27-34.
- [16] 张克丽. 建筑外墙节能保温材料的选用研究[J]. 居舍, 2025, (8): 77-79.
- [17] 张卫伟. 装配式建筑用新型外墙保温材料改性优化研究[J]. 粘接, 2025, 52(3): 86-89.
- [18] 王磊, 任苗. 建筑相变储热水泥基材料国内外研究进展[J]. 水利科学与寒区工程, 2023, 6(3): 16-22.
- [19] 彭银加. 新型节能墙体材料在房屋建筑工程中的应用[J]. 陶瓷, 2024, (9): 158-161.
- [20] 李月香, 马军霞, 王蒙. SiO₂高效节能气凝胶隔热材料的制备及性能研究[J]. 功能材料, 2024, 55(7): 7224-7230.