

相变材料在建筑墙体中的蓄热调温机理研究

朱敏杰

上海益宇建设集团有限公司 上海

【摘要】随着建筑能耗问题日益突出，相变材料在建筑墙体中的应用成为研究热点。相变材料凭借其在特定温度下发生相态转变并吸收或释放大量潜热的特性，能有效调节室内温度，降低建筑能耗。本文深入剖析相变材料在建筑墙体中的蓄热调温机理，详细探讨影响其性能的诸多因素，全面介绍常见的应用方式，并对应用效果进行综合评估。研究成果有望为相变材料在建筑领域的广泛应用及建筑节能水平的提升提供有力理论支撑。

【关键词】相变材料；建筑墙体；蓄热调温；热物性；应用效果

【收稿日期】2025 年 3 月 14 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 10 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000154

Research on thermal storage and temperature regulation mechanisms of phase-change materials in building walls

Minjie Zhu

Shanghai Yiyu Construction Group Co., Ltd., Shanghai

【Abstract】 With the growing prominence of building energy consumption issues, the application of phase-change materials in architectural walls has become a research hotspot. Leveraging their characteristic of undergoing phase transitions at specific temperatures to absorb or release latent heat, these materials effectively regulate indoor temperatures and reduce building energy consumption. This paper provides an in-depth analysis of the thermal storage and temperature regulation mechanisms of phase-change materials in building walls, examines various factors influencing their performance, comprehensively introduces common application methods, and conducts a comprehensive evaluation of practical effects. The research findings are expected to provide robust theoretical support for the widespread application of phase-change materials in construction and the enhancement of building energy efficiency.

【Keywords】 Phase-change materials; Building walls; Thermal storage and temperature regulation; Thermal properties; Application effectiveness

引言

在全球能源需求持续增长和环保意识不断增强的背景下，建筑节能至关重要。建筑能耗中，通过围护结构散失的热量占比较大。相变材料作为一种新型建筑材料，能在温度变化时储存或释放能量，对降低建筑能耗、提升室内热舒适性意义重大。如何深入理解并优化其在建筑墙体中的蓄热调温机理，成为亟待解决的关键问题。

1 相变材料在建筑墙体中的蓄热调温原理

相变材料在建筑墙体中的蓄热调温机制，源于其独特的物理特性。当外界环境温度波动并触及相变材料的临界温度区间时，材料内部会发生相态转变。以固-液相变过程为例，在温度上升阶段，相变材料分子获

得足够能量，原本规则紧密的固态排列被打破。分子开始挣脱原有束缚，间距逐渐增大，排列趋向无序化，最终转变为液态。这一过程中，相变材料吸收大量热量并以潜热形式储存，有效延缓墙体温度上升，进而降低室内温度增幅。反之，当环境温度下降，分子运动动能减弱，分子间作用力促使分子重新有序排列，从液态回归固态，释放此前储存的潜热，补充墙体散失的热量，减缓室内温度下降速度。

从微观结构变化角度分析，相变过程本质上是分子结构与分子间作用力的协同调整。在固态时，分子依靠较强的作用力紧密排列，形成稳定的晶格结构。随着温度升高，分子获得额外能量，开始剧烈振动并逐渐摆脱原有位置约束^[1]。当温度达到相变临界值，分子动能

足以克服分子间作用力,分子间距显著增大,材料相态由固态转变为液态。这一转变需要吸收大量能量以破坏原有分子间的相互作用,从而实现热量的高效储存。

相变材料与建筑墙体的结合方式对其性能发挥具有重要影响。目前常见的结合形式包括封装嵌入和材料混合两种。封装嵌入是将相变材料封装在特定容器内,再嵌入墙体结构中。这种方式能够有效保护相变材料,避免其与外界环境直接接触,延长使用寿命。封装材料和墙体材料会增加热传递路径的热阻,影响热量传递效率^[2]。相比之下,材料混合是将相变材料直接与建筑材料混合制成复合材料。这种方式可使相变材料与墙体更紧密结合,缩短热传递距离,提高热交换效率。但混合过程中需充分考虑两种材料的相容性,避免因物理或化学性质差异影响墙体的力学性能和耐久性。不同的结合方式各有利弊,实际应用中需根据建筑需求和使用环境综合选择。

2 影响相变材料在建筑墙体中性能的因素

相变材料自身的热物性参数是决定其性能的核心要素。相变温度必须与建筑所处环境温度变化规律和室内热舒适需求相匹配。若相变温度设定不当,相变材料将无法在关键温度区间发挥作用。在高温地区的夏季,若相变材料的相变温度高于室内常见高温,材料就无法及时吸收热量,导致室内温度调控失效。相变潜热则直接影响材料的蓄热能力,相变潜热越大,单位质量的相变材料在相变过程中储存或释放的热量就越多,其调温效果也就越显著。导热系数同样重要,它决定了热量在相变材料中的传递速度。过高的导热系数可能导致热量快速散失或吸收,不利于维持室内温度稳定;而过低的导热系数则会影响材料的响应速度。

建筑墙体自身的结构和材料特性也会对相变材料性能产生显著影响。墙体厚度直接影响热阻大小,较厚的墙体虽然保温性能较好,但热量传递速度较慢,会降低相变材料的响应速度。墙体材料的导热系数同样关键,导热系数大的墙体材料会加速热量传递,可能导致相变材料过早或过晚发生相变,影响调温效果。墙体的透气性也是重要因素^[3]。若墙体透气性过强,热量会通过空气对流快速散失,削弱相变材料的蓄热效果;而透气性过弱,则可能导致室内空气品质下降。墙体的构造形式,如单层墙、复合墙等,也会改变热量传递路径,进而影响相变材料与墙体间的热交换效率。

外界环境因素对相变材料性能的影响同样不容忽视。环境温度的波动幅度和频率直接决定了相变材料的工作强度。在温度波动频繁且幅度较大的环境中,相

变材料会频繁发生相变,这不仅是会加速材料老化,缩短使用寿命,还可能导致室内温度波动加剧,影响热舒适性。太阳辐射强度是另一个重要因素,它直接作用于墙体表面,影响墙体温度变化^[4]。在太阳辐射强烈的地区,墙体表面温度升高迅速,相变材料可能提前进入相变状态,且相变过程更为剧烈。环境湿度、风速等因素也会通过影响墙体表面的热交换过程,间接影响相变材料的性能。在评估和应用相变材料时,需全面考虑外界环境因素,制定针对性的优化策略。

3 相变材料在建筑墙体中的常见应用方式

将相变材料封装成特定单元并嵌入建筑墙体,是目前广泛采用的应用方式。相变胶囊是其中的典型代表,它通过将相变材料包裹在微小的胶囊壳内,形成分散均匀的相变单元。这些胶囊可以与多种墙体材料,如混凝土、石膏等混合使用,在不影响墙体结构性能的前提下,大幅增加相变材料与墙体的接触面积,提高热交换效率。相变板则是另一种常见的封装形式,它将相变材料制成较大尺寸的板材,安装在墙体的关键部位,如内外墙之间或外墙内侧。相变板具有较大的蓄热面积,能够高效储存和释放热量,且安装灵活,可根据建筑的实际需求调整安装位置和数量。这种封装嵌入方式不仅能有效保护相变材料,还便于后期维护和更换,适用于新建建筑和既有建筑改造。

将相变材料与建筑材料直接混合制备成复合材料墙体,是实现高效蓄热调温的重要途径。在实际应用中,通过将相变材料与水泥、砂等基材混合,可以制备出相变储能混凝土;与石膏混合,则可制成相变储能石膏板。这种混合方式使相变材料均匀分布在墙体材料中,形成一个整体,缩短了热传递路径,提高了热交换效率。通过调整相变材料与建筑材料的混合比例,可以精确调控复合材料墙体的热性能,以满足不同建筑的使用需求^[5]。对于保温要求较高的建筑,可以适当增加相变材料的比例;而对于强度要求严格的部位,则需在保证性能的前提下控制相变材料的添加量。这种应用方式需要特别关注相变材料与建筑材料的相容性,确保混合后不会对墙体的力学性能和耐久性产生负面影响。

在建筑墙体表面涂抹含有相变材料的涂层,为既有建筑节能改造提供了便捷方案。这种涂层通常由相变材料、粘结剂和其他功能性添加剂组成,可以直接涂刷在墙体表面,形成一层具有调温功能的保护层。当墙体表面温度发生变化时,涂层中的相变材料迅速响应,通过相变过程吸收或释放热量,有效调节墙体表面温度。涂层施工简便,无需对墙体结构进行大规模改动,

成本相对较低,尤其适用于既有建筑的节能升级^[6]。涂层的性能受厚度和耐久性的制约。过薄的涂层蓄热能力有限,难以满足长时间调温需求;而耐久性不足则可能导致涂层剥落、开裂,影响相变材料性能发挥。

4 相变材料在建筑墙体中应用效果的评估

室内温度变化监测是评估相变材料调温效果的直观方法。通过对比安装相变材料墙体的建筑与普通墙体建筑的室内温度数据,可以清晰地反映相变材料的实际效能。在实际监测过程中,需在不同季节、不同天气条件下,对两种建筑室内多个点位进行持续温度测量,并绘制详细的温度变化曲线。对比分析显示,安装相变材料墙体的建筑在温度调控方面具有显著优势。在夏季高温时段,普通墙体建筑室内温度可能迅速上升并超出人体舒适范围,而相变材料墙体建筑由于材料的蓄热作用,室内温度上升速度明显减缓,且能长时间维持在相对舒适的温度区间。

能耗监测是评估相变材料节能效果的重要手段。通过在建筑的供暖、空调等能耗设备上安装计量装置,系统记录安装相变材料墙体前后的能耗数据,可以量化评估相变材料对建筑能耗的影响。研究表明,相变材料墙体的应用能够显著降低建筑的供暖和空调能耗^[7]。在夏季,相变材料通过吸收室内多余热量,减少了空调系统的开启频率和运行时间,降低了电能消耗;在冬季,其释放储存的热量,减少了供暖设备的运行时长和输出功率,实现了显著的节能效果。

室内热舒适性评估是衡量相变材料应用效果的关键环节。热舒适性是人体对室内热环境的综合主观感受,涉及温度、湿度、风速等多个环境参数。为全面评估相变材料对室内热舒适性的影响,需采用主客观相结合的评估方法。一方面,通过问卷调查、现场访谈等方式,收集建筑使用者对室内热环境的主观评价;另一方面,利用专业设备对室内温度、湿度、平均辐射温度等客观参数进行精确测量。在此基础上,运用热舒适评价模型,如 PMV (预测平均投票数) 模型,对室内热舒适性进行量化分析^[8]。评估结果表明,安装相变材料墙体的建筑能够有效减少室内温度波动,为使用者提供更加稳定、舒适的热环境,显著提升了室内热舒适性

和使用者满意度。

5 结语

相变材料在建筑墙体中的应用,在调节室内温度、降低建筑能耗和提升热舒适性方面成效显著。具体来说,在夏季高温时段,相变材料通过吸收并储存热量,延缓热量进入室内,有效降低空调使用频率;冬季寒冷时,其释放储存的热量,减少供暖能耗。未来,需深入研究开发相变潜热更高、导热性更佳且耐久性强的相变材料,优化其与墙体的复合工艺与结合技术。加强不同气候区的应用研究,制定针对性的设计标准和规范,以推动相变材料在建筑领域的广泛应用,助力建筑行业向绿色、节能、可持续方向发展。

参考文献

- [1] 安相峰.住宅建筑免拆模板复合墙体施工技术[J].居舍,2025,(22):25-28.
- [2] 张仁彬.装配式混凝土建筑施工技术要点与现场质量控制措施[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(21):130-132.
- [3] 仝海峰.绿色建筑施工技术的应用与效果分析[J].陶瓷,2025,(06):187-190.
- [4] 侯文强,于倩.纸蜂窝结构在装配式建筑非承重墙体中的工程应用[J].华东纸业,2025,55(06):7-9.
- [5] 张晓娜,马金山,赵巧玲.纸基环保材料在绿色建筑中的应用研究[J].华东纸业,2025,55(06):64-66.
- [6] 王芳英.建筑墙体保温材料的应用及有效性检测[J].技术与市场,2025,32(06):186-189.
- [7] 陈磊.建筑工程中现浇保温免拆模墙体施工技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(11):124-126.
- [8] 张力川.高层建筑外墙保温材料的应用与管理研究[J].居舍,2025,(17):170-172.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS