

相变储能墙体在夏热冬冷地区的热工性能优化

李艳秋

枣庄市台儿庄区综合行政执法局 山东枣庄

【摘要】相变储能墙体在建筑节能领域具有重要应用潜力，尤其在夏热冬冷地区，其独特的热工性能可有效改善室内热环境、降低建筑能耗。本研究聚焦于夏热冬冷地区相变储能墙体的热工性能优化，深入分析相变材料特性对墙体热性能的影响，通过构建精确的传热模型模拟不同工况下墙体的热传递过程，探索相变材料种类、相变温度、墙体结构形式等因素与热工性能的关联。结果表明，合理选择相变材料及优化墙体结构，能显著提升墙体的蓄热、隔热能力，有效平抑室内温度波动，降低空调与供暖系统运行时长及能耗。本研究为夏热冬冷地区建筑节能设计中相变储能墙体的高效应用提供了理论依据与实践指导。

【关键词】夏热冬冷地区；相变储能墙体；热工性能；相变材料；建筑节能

【收稿日期】2025 年 6 月 13 日

【出刊日期】2025 年 7 月 11 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250336

Thermal performance optimization of phase-change energy storage walls in hot summer and cold winter regions

Yanqiu Li

Zaozhuang City Taierzhuang District Comprehensive Administrative Law Enforcement Bureau, Zaozhuang, Shandong

【Abstract】Phase-change energy storage walls demonstrate significant potential for building energy conservation, particularly in regions with extreme thermal variations. Their unique thermal performance effectively improves indoor thermal comfort and reduces energy consumption. This study focuses on optimizing the thermal performance of phase-change energy storage walls in hot summer and cold winter regions. By analyzing how phase-change material properties influence wall thermal performance, we developed precise heat transfer models to simulate thermal conduction processes under various operating conditions. The research explores correlations between material types, phase transition temperatures, wall configurations, and thermal performance. Results indicate that strategic selection of phase-change materials combined with optimized wall structures can significantly enhance thermal storage and insulation capabilities. These improvements effectively stabilize indoor temperature fluctuations while reducing the operational duration and energy consumption of HVAC systems. This study provides theoretical foundations and practical guidance for efficient application of phase-change energy storage walls in building energy conservation design for hot summer and cold winter regions.

【Keywords】Hot summer and cold winter regions; Phase-change energy storage walls; Thermal performance; Phase-change materials; Building energy conservation

引言

夏热冬冷地区夏季闷热、冬季湿冷，建筑能耗问题突出。传统建筑围护结构难以有效应对该地区复杂多变的气候条件，导致室内热舒适度欠佳且能源消耗量大。相变储能墙体作为一种新型建筑围护结构，利用相变材料在物态转变时吸收或释放大潜热的特性，可动态调节室内温度，有望为解决该地区建筑能耗与热舒适问题提供有效途径。因此，深入研究相变储能墙体在夏热冬冷地区的热工性能优化具有重要的现实意义。

1 相变储能墙体材料选择与热特性分析

相变材料作为相变储能墙体的核心要素，其热特性对墙体整体热工性能起着决定性作用。在夏热冬冷地区，材料选择需综合考量多个关键参数，以确保墙体在复杂气候条件下有效发挥储能调节功能。相变温度是首要关注指标，其必须与该地区室内期望温度范围精准匹配。夏季高温时，相变材料需迅速吸收并储存热量，降低室内温度上升速率；冬季低温环境下，则需及时释放热量，维持室内温度稳定。石蜡类相变材料因相

变温度处于 20 - 30℃ 区间, 与夏热冬冷地区气候特点较为契合, 且具备较高的潜热, 因而在储能能力方面表现突出。但该材料的热导率较低, 成为制约其热量传递效率的关键因素。

为改善石蜡热导率不足的问题, 可通过添加高导热添加剂的方式进行优化。纳米碳管与金属粉末是常用的添加剂, 它们能够有效提升相变材料的热传导效率。纳米碳管凭借独特的纳米级管状结构, 在相变材料内部构建高效的热传导通道, 显著增强材料的热传递能力。金属粉末则利用自身良好的导热性能, 与相变材料混合后, 形成导热网络, 加快热量传递速度^[1]。通过这种方式, 不仅解决了相变材料热导率低的问题, 还能提升墙体整体的热响应速度, 使其在温度变化时更及时地发挥蓄热、放热功能, 实现对室内温度的有效调节。

除了热导率和相变温度, 相变材料的稳定性、耐久性以及其他建筑材料的相容性也是材料选择时不可忽视的因素。稳定性好的相变材料能够在长期使用过程中保持性能稳定, 减少因材料性能衰退而导致的储能效率下降问题。良好的耐久性确保材料在反复相变过程中不发生物理或化学性质的显著变化, 延长墙体的使用寿命。与其他建筑材料的相容性则关系到相变材料能否在墙体结构中稳定存在并有效发挥作用^[2]。在实际应用中, 需通过大量试验和研究, 综合评估不同相变材料的各项性能指标, 筛选出最适合夏热冬冷地区的相变储能墙体材料。

2 相变储能墙体结构设计对热工性能的影响

墙体结构形式直接决定了相变材料在墙体中的分布状态, 以及其与其他建筑材料协同工作的方式, 进而对墙体热工性能产生深远影响。目前, 常见的相变储能墙体结构主要有均质型和封装型两种。均质型结构是将相变材料均匀混入建筑基体, 如混凝土、石膏等, 形成一体化的相变墙体。这种结构的优势在于相变材料能够在墙体中均匀分散, 使得热量在墙体内部的存储与释放更加均匀, 有助于维持室内温度的稳定性。当相变材料含量过高时, 会对墙体的力学性能产生负面影响, 降低墙体的承载能力和耐久性。在采用均质型结构时, 需严格控制相变材料的添加比例, 在保证热工性能的确保墙体的力学性能满足建筑设计要求。

封装型结构则是将相变材料制成板材、胶囊等形式, 再嵌入墙体中。这种结构能够有效保护相变材料, 避免其在使用过程中发生泄露, 影响墙体性能和室内环境。封装型结构便于精确控制相变材料在墙体中的位置和用量, 可根据建筑的实际需求进行灵活设计。在

墙体外侧设置相变材料层, 夏季可优先吸收室外传入的热量, 减少热量向室内传递; 冬季将相变材料层布置在靠近室内一侧, 使其能够更高效地向室内释放储存的热量。通过合理设计封装材料的导热性能和厚度, 还能进一步优化相变材料与墙体其他部分的热交换效率, 提升墙体整体热工性能。

墙体的结构设计不仅仅涉及到单一的材料选择, 更重要的是要关注各层材料的厚度以及它们之间的组合顺序。这些因素对于整个墙体的性能有着至关重要的影响^[3]。每种材料都有其独特的热阻和蓄热系数, 这些参数决定了材料在热传递过程中的表现。通过科学而合理地搭配不同材料, 我们可以优化墙体的整体热工性能。

通过增加保温层的厚度, 我们可以显著降低墙体的导热系数, 从而减少热量在墙体中的传递。这样, 墙体在冬季能够更好地保持室内热量, 而在夏季则能有效阻挡外界的热量进入, 从而提高室内环境的舒适度。合理地调整相变材料层与保温层的相对位置, 可以使墙体在不同季节发挥出更好的储能和保温效果^[4]。相变材料能够在温度变化时吸收或释放热量, 从而调节室内温度, 减少对空调和暖气的依赖。

3 相变储能墙体热工性能模拟与分析方法

在夏热冬冷地区复杂多变的气候条件下, 准确评估相变储能墙体的热工性能是推动其工程应用的关键环节。由于实际环境中的热传递过程涉及多种复杂因素, 单纯依靠实验测试难以全面掌握墙体的热工特性, 因此需借助数值模拟手段进行深入研究。数值模拟通过建立包含相变传热过程的数学模型, 将相变材料固液相变时的能量变化、热传导、对流换热等物理现象进行量化描述, 从而能够模拟不同季节、不同天气条件下墙体温度分布、热流传递及室内热环境的变化情况。

常用的模拟软件如 ANSYS、EnergyPlus 等, 具备强大的计算和分析功能。ANSYS 软件在处理复杂的热传导和相变传热问题方面表现出色, 能够精确模拟相变材料在不同工况下的热力学行为, 为研究人员提供详细的温度场、热流场分布数据。EnergyPlus 则侧重于建筑能耗模拟, 可综合考虑建筑围护结构、室内设备、室外气候等多种因素, 模拟相变储能墙体对建筑整体能耗的影响^[5]。通过这些软件, 研究人员可以设置不同的参数组合, 分析相变材料特性、墙体结构、室外气候参数等因素对墙体热工性能的影响规律。

在模拟过程中, 可针对具体工况进行专项分析。模拟不同相变温度的材料在夏季典型日的墙体温度响应,

通过对比分析不同材料的温度变化曲线,确定最适宜该地区夏季工况的相变温度范围;在冬季供暖期,对比不同结构墙体的热损失情况,找出热损失较大的部位和原因,进而优化墙体结构设计,减少热量散失。还可以模拟不同通风策略、遮阳措施等对相变储能墙体热工性能的影响,为实际工程应用提供多维度的科学依据^[6]。通过数值模拟与实验测试相结合的方式,能够更全面、准确地评估相变储能墙体的热工性能,为其设计和优化提供有力支持。

4 夏热冬冷地区相变储能墙体热工性能优化策略

基于相变储能墙体材料选择、结构设计及模拟分析的研究成果,可制定一系列针对夏热冬冷地区的热工性能优化策略。在材料研发方面,需持续投入资源,致力于开发高性能相变材料。通过改进材料配方和制备工艺,提高相变材料的热导率,使其在热量传递过程中更加高效;增强材料的稳定性,减少因长期使用和环境因素导致的性能衰退;延长材料的使用寿命,降低维护和更换成本。还需探索低成本相变材料制备方法,提高其性价比,为大规模工程应用创造条件。

在结构设计层面,应根据不同建筑的功能需求和朝向特点,定制个性化的墙体结构方案。对于南向墙体,由于其在冬季能够接收较多的太阳辐射热量,可适当增加相变材料层厚度,充分利用太阳能进行蓄热,减少冬季供暖能耗;北向墙体因日照时间短、热量散失快,则需优化保温层与相变层的组合方式,提升墙体的保温性能,降低热量损失^[7]。还可结合建筑的空间布局和使用功能,对墙体结构进行针对性设计,如在人员活动频繁的区域,加强相变材料的布置,提高室内热舒适性。

智能控制技术的引入为相变储能墙体的性能优化提供了新的途径。通过安装温度传感器、湿度传感器等设备,实时监测室内外环境参数,并结合相变材料的相变特性,利用智能控制系统自动调节墙体的工作状态。当室外温度适宜且相变材料处于蓄热阶段时,自动开启通风系统,加强空气流通,促进相变材料与外界的热交换,提高蓄热效率;在室内温度过高或过低时,根据相变材料的储能状态,合理控制空调等设备的运行,实现能源的高效利用^[8]。完善相关建筑热工设计规范,将相变储能墙体的热工参数计算方法和设计标准纳入其

中,为工程设计人员提供统一的技术依据,推动相变储能墙体在夏热冬冷地区建筑领域的广泛应用。

5 结语

相变储能墙体在夏热冬冷地区展现出良好的热工性能优化潜力。通过合理选择相变材料、优化墙体结构、借助精准模拟分析及实施有效优化策略,可显著提升其调节室内温度、降低建筑能耗的能力。未来,应进一步加强相变材料研发创新,深入研究墙体与建筑整体系统协同运行机制,结合智能化技术实现相变储能墙体自适应调控,同时完善标准规范体系,促进其大规模工程应用,为该地区建筑节能与可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 王钧哲,陈国杰,张舒言,等.相变材料在建筑节能领域的研究现状[J].居舍,2025,(20):54-57+68.
- [2] 刘田,冯申.储能材料在建筑设计中的运用分析[J].居舍,2025,(19):111-113.
- [3] 刘民安,马艺歌,刘振鑫,等.向异性热导率对相变储能墙体传热特性的影响[J].节能,2025,44(02):1-4.
- [4] 刘红霞,吴炎平,黄高明,等.相变储能墙体热工性能评价方法及节能效果试验研究[J].江西建材,2023,(05):84-86+89.
- [5] 辛嵩,赵志文,张震,等.相变储能墙体应用于避难硐室的基础试验研究[J].煤矿安全,2023,54(03):26-32.
- [6] 陈璞,蒋达华,徐玉珍,等.相变材料选用及储能墙体节能研究进展[J].化工新型材料,2023,51(02):207-212.
- [7] 樊智轩,赵运超,丁云飞,等.相变储能材料用于建筑墙体的研究进展[J].化工新型材料,2022,50(07):225-228.
- [8] 陈美含.档案库房中相变储能墙体的适应性分析[J].中国档案,2022,(05):32-33.

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/>

