

基于相变材料的建筑供暖系统蓄热特性研究

栗鹏芳

广东申菱环境系统股份有限公司 广东佛山

【摘要】随着建筑节能需求的增长，相变材料在建筑供暖系统中的应用备受关注。相变材料凭借独特的潜热蓄热特性，可有效提升建筑供暖系统的能源利用效率与稳定性。对相变材料的特性进行分析，探讨建筑供暖系统中相变材料的合理选择与系统构建方式，深入研究其蓄热特性及影响因素，并提出系统优化方向。研究表明，通过优化相变材料与系统设计，能够显著增强建筑供暖系统蓄热性能，为实现建筑低碳节能目标提供有效路径。

【关键词】相变材料；建筑供暖系统；蓄热特性；节能；系统优化

【收稿日期】2025 年 5 月 16 日

【出刊日期】2025 年 6 月 20 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250077

Research on the heat storage characteristics of building heating systems based on phase change materials

Pengfang Su

Guangdong Shenling Environmental Systems Co., Ltd, Foshan, Guangdong

【Abstract】 With the increasing demand for building energy conservation, the application of phase change materials (PCMs) in building heating systems has gained significant attention. Leveraging their unique latent heat storage properties, PCMs can effectively enhance the energy utilization efficiency and stability of building heating systems. This paper analyzes the characteristics of PCMs, explores the rational selection of PCMs and the construction methods for building heating systems, delves into the heat storage characteristics and influencing factors, and proposes directions for system optimization. Findings indicate that optimizing PCMs and system designs can significantly improve the heat storage performance of building heating systems, offering an effective pathway to achieve low-carbon and energy-efficient building goals.

【Keywords】 Phase change materials; Building heating system; Heat storage characteristics; Energy conservation; System optimization

引言

在能源危机与环保要求日益严峻的当下，建筑领域能耗问题突出，建筑供暖系统的节能优化成为关键。相变材料凭借蓄热密度高、相变过程温度稳定的特性，能有效平衡建筑供暖供需矛盾，提升能源利用率，为建筑节能提供新方向。但目前对其在建筑供暖系统中蓄热特性的深入研究仍有不足，需进一步明晰材料选择、系统构建与蓄热特性间的关系，探索系统优化路径，实现建筑供暖高效节能目标。

1 相变材料选择

在建筑供暖系统的设计与运行中，相变材料的性能无疑是决定系统蓄热效果的关键因素。有机相变材料以其卓越的化学稳定性和较高的相变潜热脱

颖而出，其中石蜡类材料堪称典型代表。这类材料在特定的温度区间内发生相变时，如同一个能量的“海绵”，能够大量吸收或释放热量。无论是在高温环境下吸收多余热量储存起来，还是在低温时将储存的热量释放，都能稳定而持续地发挥作用。更为重要的是，其化学性质稳定，在长期储存和使用过程中，不易与周围环境中的其他物质发生化学反应，这使得它的性能表现十分可靠，极大地降低了使用过程中的风险，也方便了日常的储存与管理。

无机相变材料则在导热性能方面展现出独特优势，以水合盐为代表的此类材料，在相变过程中能够像高效的热量“快递员”一样，快速地将热量传递出去。在建筑供暖系统运行时，当需要快速提升

室内温度或者快速将多余热量散发出去时，无机相变材料凭借其出色的导热性能，能够迅速响应温度变化，加快系统的热响应速度，使整个供暖系统能够更加及时、高效地满足室内温度调节的需求^[1]。这种快速导热的特性，对于提高供暖系统的整体效率和舒适度至关重要。

复合相变材料则是有机与无机材料优势结合的产物。它的诞生源于对单一材料局限性的突破，通过将有机材料与无机材料按照精心调配的比例进行混合，成功实现了性能的升级。在这个过程中，有机材料较高的相变潜热得以保留，使得复合相变材料在蓄热能力上表现出色；而无机材料优秀的导热性能也被融合进来，弥补了有机材料导热性不足的缺陷^[2]。如此一来，复合相变材料不仅能够储存更多的热量，还能更快速地将热量传递出去，有效克服了单一材料在不同工况下的性能短板，能够更好地适应建筑供暖系统复杂多变的运行环境和需求。

2 系统构建方式

在建筑供暖系统中，合理的系统构建是充分发挥相变材料效能的关键。封装技术作为其中的核心环节，其重要性犹如大厦的基石，直接决定着整个供暖系统的安全性及运行效率。将相变材料封装在特制的容器内，就像是给材料穿上了一层坚固的“防护铠甲”。这层铠甲不仅能够严丝合缝地防止材料泄漏，避免对建筑内部环境造成污染，同时还能为使用人员筑起一道坚实的安全屏障。从传热学的角度来看，科学设计的封装结构，就像精心规划的交通网络，能够优化热量传递的路径，让热能如同训练有素的车队，沿着预设的高效通道顺畅前行。

在众多封装形式中，板式封装以其独特的蜂窝状或层叠式设计脱颖而出。它就像是无数个微型热量交换站有序排列，显著增大了相变材料与空气或流体的接触面积。这种设计好比在建筑的供暖系统中增设了无数扇精巧的“热量交换窗”，让每一寸相变材料都能充分施展蓄热与放热的本领。当寒冷的冬日来临，这些“窗口”便成为温暖的使者，让材料与外界的热交换更加充分，从而大幅提升了换热效率，使供暖系统如同注入了强劲动力，高效稳定地运行。

管壳式封装则在安装与维护领域展现出无可比拟的优势。其模块化的结构设计，就像一套灵活多

变的积木组件，能够轻松适配各种复杂的建筑结构。无论是在拔地而起的新建楼宇中，还是在充满历史韵味的既有建筑改造工程里，管壳式封装都能如同“建筑的隐形守护者”，悄无声息地融入其中。在日常使用过程中，一旦遇到故障或需要进行维护保养，这种封装形式的便捷性便展露无遗^[3]。维修人员可以像拆卸组装精密仪器般，轻松地对故障部件进行检查、更换，极大地降低了维护成本和操作难度。这种“易安装、便维护”的特性，如同给建筑供暖系统上了一道长效保险，为其长期稳定运行保驾护航。

系统与建筑结构的深度集成堪称供暖系统设计的神来之笔。将相变材料巧妙地嵌入墙体、地板或天花板等建筑结构之中，就像是赋予建筑结构全新的“生命能量”，让冰冷的钢筋水泥化身成为智慧的蓄热体。这一创新设计彻底颠覆了传统供暖系统需要占用额外空间设置蓄热设备的固有模式，充分挖掘并利用了建筑本身的空间潜力。在不影响建筑使用功能和空间布局的前提下，实现了供暖系统与建筑的无缝对接与完美共生^[4]。当建筑的每个角落都成为能量存储与释放的载体，整个建筑便如同一个高效运转的生态系统，在节能与舒适之间找到了最佳平衡点，向着绿色、可持续的方向不断迈进。

3 蓄热特性分析

相变材料的蓄热特性犹如精密仪器的运转，是多种因素相互交织作用的结果，而温度无疑是掌控全局的核心“指挥官”。这类材料并非像普通物质那样随时响应热量变化，它宛如被赋予神秘“密码”的能量容器，只有当环境温度恰好踏入特定的“魔法区间”，才会触发神奇的相变反应，开始吸收或释放热量。

想象一下，温度的波动就像顽皮的精灵在肆意舞动。在温度起伏剧烈的环境中，相变材料如同被频繁按下开关的设备，不断地进行着吸热与放热的循环。这种高频次的相变过程，不仅会扰乱热量存储的精准度，更可能加速材料的“衰老”，缩短其使用寿命^[5]。而在不同的温度环境下，相变材料完成一次相变所需的时间、能够储存的热量，都会呈现出显著差异。这就好比不同季节的河流，流速与水量各不相同。因此，若想基于相变材料的供暖系统如精准时钟般稳定高效运行，就必须为相变材料量身定制适宜的温度环境，从系统架构到运行细节，

都需要进行精妙设计与严格调控。

材料填充率同样是影响蓄热特性的重要“幕后推手”。在系统设计的蓝图中,相变材料的填充并非“多多益善”的简单加法。当填充率过高时,系统内的流体流动就如同被巨石阻塞的溪流,难以顺畅前行。而流体的顺畅循环恰似人体的血液循环,是实现高效热交换的关键命脉。一旦流动受阻,热交换效率便会直线下降,整个供暖系统的运行也将陷入“疲软”状态。反之,若填充率过低,相变材料就如同空置大半的粮仓,即便潜力巨大,也无法充分发挥蓄热效能,导致资源闲置,难以满足建筑供暖的实际需求^[9]。这就需要工程师们如同经验丰富的调酒师,通过大量反复实验与严谨计算,结合系统运行的实际状况与热负荷需求,调配出最佳的材料填充比例,让蓄热性能绽放出最大光彩。

4 系统优化方向

为了进一步提升建筑供暖系统的蓄热性能,实现更高效、节能的运行目标,可以从多个方面展开优化工作。首先是改进封装结构,这是提升系统性能的重要突破口。研发新型高效的封装材料与形式是关键所在。新型封装材料不仅需要具备有良好的隔热性能,减少封装过程中产生的热阻,让热量能够更顺畅地传递,还需要具备优异的耐久性和密封性。良好的耐久性能够确保封装容器在长期使用过程中不易损坏,降低维护和更换成本;而高密封性则可以有效防止相变材料泄漏,保障使用安全。通过不断创新封装形式,例如设计更合理的传热通道、优化结构布局等,能够进一步增强传热效果,提升整个系统的运行效率。

优化系统控制策略也是不可或缺的一环。利用智能控制系统实时监测温度、流量等关键参数,就像是为供暖系统配备了一个“智能大脑”。这个“大脑”能够根据建筑实际的热需求以及外部环境的变化,迅速做出反应,自动调节相变材料的蓄放热过程^[7]。在白天太阳辐射较强、室内温度较高时,智能系统可以控制相变材料吸收多余热量进行储存;而在夜间或室外温度较低时,又能及时释放储存的热量,实现能源的精准供给。这种智能化的控制方式不仅能够提高能源利用效率,减少能源浪费,还能更好地满足用户对于室内舒适度的个性化需求。

开发高性能相变材料是从根源上提升系统性能

的重要途径。通过材料改性与复合技术,科研人员可以对相变材料的性能进行进一步优化。一方面,提高相变潜热,使材料能够储存更多的热量,增强系统的蓄热能力;另一方面,提升导热系数,加快热量的传递速度,提高系统的热响应效率。拓宽相变温度范围也是关键,让相变材料能够在更广泛的温度条件下发挥作用,增强材料的适应性和通用性^[8]。通过不断研发和创新,开发出综合性能更优的相变材料,以满足建筑供暖系统日益增长的节能需求,推动建筑行业朝着更加绿色、环保、高效的方向发展。

5 结语

相变材料在建筑供暖系统蓄热领域展现出巨大潜力。通过合理选择材料、优化系统构建与深入分析蓄热特性,已取得一定成果。未来,随着材料科学与智能控制技术的发展,高性能相变材料的研发与更高效系统的构建将成为重点。不断探索新型相变材料与系统优化方案,有望进一步提升建筑供暖系统的能源利用效率,助力建筑行业实现绿色低碳可持续发展,为解决能源短缺与环境问题提供有效支撑。

参考文献

- [1] 魏文军.公共建筑供暖、通风和空调系统节能优化设计[J].大众标准化,2025,(07):36-38.
- [2] 蒋和营,邵建涛,王月梅,等.楼宇内小型数据中心余热回收供暖系统的节能研究[J].暖通空调,2025,55(04):136-143.
- [3] 刘冬冬.建筑工程设计中的采暖设计[J].中国住宅设施,2025,(03):31-33.
- [4] 许世民,王亚雄,安胜利,等.北方严寒地区农村住宅电供暖系统蓄热水箱仿真优化及经济性分析[J].暖通空调,2025,55(03):171-176+131.
- [5] 岳虹,耿哲,张瑞锐,等.济南某办公建筑空气源热泵供暖系统设计及运行分析[J].安装,2025,(03):80-81+85.
- [6] 杨发伟,王正,钟彦明.建筑供暖系统垂直失调的原因分析及优化措施[J].四川水泥,2025,(03):133-135.
- [7] 王晓风,宋小软,黄崧,等.相变储能材料在建筑节能领域中的研究进展[J].化工新型材料,2024,52(S2):320-325+331.
- [8] 王长君,闫君,董勇,等.相变储能技术在热泵系统中的应用综述[J].综合智慧能源,2022,44(04):51-64.

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