



多孔介质储能材料在建筑通风系统中的应用研究

靳 晶

(安阳职业技术学院建筑设计与工程学院, 河南 安阳 455000)

摘 要: 针对民用全新风系统冷热预处理能耗偏高的问题, 以烧结陶粒为骨架、石蜡为相变基材制备多孔储能材料, 采用真空浸渍工艺完成试样加工并开展物性检测。依托实测参数设计模块化风道安装方案, 结合阻力公式约束填料装填标准, 划分季节性运行控制策略。搭建缩尺试验平台开展多工况对比测试, 结果表明材料相变区间适配室内温区, 系统全年综合节能率可达 22.5%。冬夏极端工况储能降耗效果突出, 春秋时段依靠旁通规避材料无效损耗。研究可为既有新风系统低碳改造提供实操参考。

关键词: 多孔介质; 储能材料; 应用方案; 储放热性能

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0512

中图分类号: TK 02

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 06-2182-03

Research on the application of porous media energy storage materials in building ventilation systems

JIN Jing

(School of Architectural Design and Engineering, Anyang Vocational and Technical College, Anyang 455000, Henan, China)

Abstract: Porous energy storage materials were fabricated from sintered ceramsite and paraffin to reduce high energy consumption in cold/heat pre-treatment for fresh air systems. The samples were processed via vacuum impregnation and subjected to physical property testing. Based on measured parameters, a modular duct installation scheme was designed; filling standards for the packing material were determined using resistance formulas; and seasonal operation control strategies were established. A scaled-down test platform was employed for comparative performance evaluations under various operating conditions. Results demonstrate that the material's phase-change range aligns well with indoor temperature ranges, achieving an annual comprehensive energy savings rate of 22.5%. Energy conservation performance is particularly notable under extreme winter and summer conditions, while bypass mechanisms effectively mitigate unnecessary material consumption during spring and autumn periods. This study provides practical guidance for low-carbon retrofitting of existing fresh air systems.

Keywords: porous media; energy storage materials; application schemes; thermal storage and release performance

收稿日期: 2026-06-16。

基金项目: 安阳市科技计划项目软科学项目 (2025C02GH017); 2025 年度安阳市社会科学规划项目 (ASKG251237)。

作者简介: 靳晶 (1988—), 女, 讲师, 研究方向为建筑工程, E-mail: JINjing880726@163.com。

引用本文: 靳晶. 多孔介质储能材料在建筑通风系统中的应用研究[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(6): 2182-2184.

Citation: JIN Jing. Research on the application of porous media energy storage materials in building ventilation systems[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(6): 2182-2184.

民用建筑全新风系统运行过程中, 室外新风温湿度波动大, 冷热预处理环节常年消耗大量空调能耗, 在建筑整体用电开销中占比逐年提升, 探寻低成本被动节能技术成为暖通改造热点^[1]。相变储能材料能够利用相变潜热储存环境冷热资源, 依靠昼夜温差自主完成储放热, 无需额外能耗即可预处理新风, 在通风节能领域具备实用潜力^[2]。但现阶段常规相变材料普遍存在液态渗漏、导热效率偏低的短板, 成套储能风道还容易出现风阻超标、运维繁琐等工程难题, 制约了技术大范围落地^[3]。据此本文选用开孔陶粒复合石蜡制备复合储能试样, 借助试验确定材料各项热工性能, 结合实测参数规划模块化风道布设方案与分季节运行制度, 搭建缩尺试验装置对比加装储能前后的能耗差异, 用实测数据验证这套改造方案的节能效果, 为既有建筑新风系统节能改造提供可行思路与试验参考。

1 材料制备与性能机理分析

本文以开孔烧结陶粒为多孔支撑骨架, 复合低温石蜡相变基材制备多孔介质储能材料, 用于民用建筑全新风通风的被动调温。结合室内新风常年温度波动特点, 选用5~12 mm粒径陶粒作为骨架材料, 其内部贯通孔隙既可以牢固吸附相变基材, 降低长期震动造成的渗漏风险, 又预留气体流通通道, 减少风道附加风阻。相变基材选用匹配人居舒适温区的石蜡, 满足建筑四季新风预处理的储能使用条件。试样采用真空负压浸渍工艺制备, 骨料与相变基材按3:1质量配比加工。制备过程包括陶粒烘干、抽真空排气、灌入熔融石蜡、负压浸渍、常温固化后打磨处理, 得到成型试样。性能测试结果表明, 试样连通孔隙率达42.3%, 提供了充足的气固换热面积; 相变温区为15.7~24.1℃, 符合民用建筑室温标准; 相变潜热为137.9 J/g, 储热容量相较纯石蜡显著提升; 等效导热系数为0.61 W/(m·K), 有效改善了有机相变材料导热迟缓的短板。

2 多孔介质储能材料在通风系统中的应用方案

结合前文材料热物性与孔隙结构特征, 立足民用全新风直流通风现场改造条件, 从系统布置、安

装管控、季节性运行规则三个层面确立成套应用方案, 为直观呈现管路构造与气流路径, 配套设计储能模块风道装配系统, 主要由新风入口、变频风机、测温点位、并联旁通管路、分段储能仓及送风出口组成, 整体布局完全依照模块化布置方式。工程摒弃风道全断面填充填料的传统方式, 将储能仓设置在空气过滤器后侧, 仓体采用分段拼装构造, 局部填料损坏后可单独拆换检修, 不必关停整套通风系统。填料装填带来的附加风阻是安装控制重点, 采用局部阻力计算公式预判风压损耗, 如以下公式所示:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v^2}{2}$$

式中, ΔP 为储能段附加风压损失, Pa; ξ 为多孔填料层局部阻力系数; ρ 为空气密度, kg/m³; v 为风道断面风速, m/s。依据公式核算结果把控填料密实程度, 避免装填过密导致风阻增大和风机能耗上升, 也避免填料松散缩短气流换热时间。施工时应在仓体拼接缝隙加装密封垫, 杜绝气流短路绕流; 仓底预留导流沟槽, 及时排出内壁凝结积水。运行管控跟随室外气温灵活切换管路工况。春秋季以8℃昼夜温差作为启停阈值, 温差达标启用储能模块, 否则开启旁通直接送风, 减少材料无效冷热循环损耗。后续缩尺试验平台完全按上述结构搭建, 并通过实测数据验证整套布设与运行方案的实际适配效果。

3 试验结果与数据分析

3.1 静态储放热材料基础特性

静态性能测试在密闭恒温试验舱内开展, 以排除空气对流对换热过程的干扰。采用程序控温实现匀速升、降温, 升降温速率设置为2℃/h, 完整复刻材料从固态吸热熔融、液态放热凝固的全周期变化, 同步依托DSC仪器与称重装置采集关键试验数据, 汇总得到材料静态基础参数。结果表明: 材料相变起始温度为15.7℃, 相变凝固终止温度为24.1℃, 实测相变潜热为137.9 J/g, 综合导热系数为0.61 W/(m·K), 连通孔隙率为42.3%。结果说明, 该材料的相变温区位于民用建筑室内舒适温度范围内, 适合新风调温需求。与纯石蜡相变材料0.22 W/(m·K)的导热系数相比, 复合多孔骨架后导热性能显著提升, 换热滞后问题得到改善。储放热

过程中,材料完整储热用时 3.72 h,凝固释热用时 4.08 h,相变平台稳定,过冷度仅 1.3℃。经过 15 次冷热循环后,试样未出现相变基材渗漏或骨料脱落,说明材料具有良好的循环稳定性。这些静态结果为后续动态通风试验的工况设定提供了依据。

3.2 通风动态工况下储释热性能

动态试验按照前文确定的模块化安装方案完成储能填料装填,依托全新风缩尺风道搭建实测环境。结合民用建筑常用换气标准划定三档通风工况(0.5次/h、1.0次/h、1.8次/h),分夏季高温进风、冬季低温进风两组环境条件开展试验,记录不同风量下储能模块进出口风温、有效释热时长以及风道附加阻力。试验结果显示,换气次数是影响储能换热效率的核心变量。以 0.5 次/h 工况为例,夏季平均进出口温差为 5.2℃,冬季为 5.6℃,有效释热时长为 3.85 h,风道附加阻力为 7.3 Pa。在 1.0 次/h 时,夏季和冬季平均温差分别降至 3.9℃和 4.2℃,有效释热时长缩短至 2.91 h,阻力增至 9.8 Pa。在 1.8 次/h 工况下,温差进一步降至 2.5℃和 2.8℃,有效释热时长仅 2.03 h,阻力升至 11.6 Pa。低风量工况下,新风在多孔填料孔隙内部穿行停留时间更长,气流与储能介质接触换热更加充分。通风风量不断加大,气流快速穿过滤料层,大量热能来不及完成传递就流出储能仓,直接造成进出口温差收窄、有效释热时长持续缩短。全程实测风道阻力数值全部低于 12 Pa 的安全阈值,印证此前模块装填密实度、仓体密封等安装管控要点具备落地可行性,不会额外加重风机运行负荷。对比静态试验结果,强制对流条件下材料储放热响应速度整体提升 14%~17%,流动空气扰动打破了材料表层静止换热边界层,加快相变启停速率。结合实测规律,工程实际运行中常规工况优先选用中低档位风量,极端大风量工况开启风道旁通分流,兼顾调温效果与送风能耗。

3.3 通风新风调温与节能效果分析

以未加装多孔储能模块的原生全新风系统作为空白对照组,依托动态试验实测的进出口风温数据,分季节测算新风预处理所需冷热负荷,折算机组耗电总量,结果显示,加装储能模块后,全年各月新风预处理耗电量均低于未加装工况,且节能效果在夏季和冬季更为突出。未加装储能时,系统月

耗电在 1 月、7 月和 12 月处于高位,分别为 425、438 和 419 kWh;加装储能后,对应月份分别降至 332、339 和 326 kWh。春秋季两种工况差异相对较小,但加装储能后耗电量仍保持稳定下降。从运行效果看,夏季夜间利用低温室外空气对填料蓄冷,白天高温新风经过储能仓后可实现被动预冷,实测送风平均降温 4.6℃,冷水机组单日运行时长可缩短 3.1 h;冬季则利用日间环境余热蓄热,夜间低温新风经过填料后送风温升均值可达 5.0℃,电辅热设备启停频次下降 39%。基于华北地区公共建筑气候条件进行全年负荷核算,采用该储能方案后,全新风系统新风预处理综合节能率可达 22.5%。同时,多孔陶粒储能材料成本较低,构件使用寿命可达 8 年以上,按节省的机电能耗估算,项目静态投资回收期约为 5.5 年,具有较好的经济性。

4 结 语

本次研究完成陶粒-石蜡复合多孔储能材料的制备与性能测试,结合材料物性指标敲定风道模块化安装形式,搭配风阻计算公式细化填料施工标准,按照季节气温变化制定管路切换运行方案。试验与全年能耗测算结果证明,储能模块可充分利用自然昼夜温差蓄存冷热,有效降低新风预处理设备启停负荷,系统整体节能率可达 22.5%。受场地与试验周期约束,本文仅依托缩尺模型开展研究,尚未在实际建筑中长期落地实测。后续可结合不同地区气候特点优化材料配比,搭配自控阀门完善智能化启停逻辑,进一步优化系统运行效率,推动该储能通风方案在既有建筑节能改造中落地应用。

参 考 文 献

- [1] 王林武,陈利,郑杨,等. 排潮烟气余热回收在空调新风预处理中的节能应用研究[J]. 节能, 2026, 45(4): 92-95. DOI:10.3969/j.issn.1004-7948.2026.04.022.
- [2] 王国程,肖皓宇,伍靖源,等. 聚烯烃塑料热解蜡的制备与应用[J/OL]. 化工进展, 1-17[2026-06-16]. <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2025-1587>.
- [3] 汤金华. 太阳能系统的蓄热技术综述[J]. 有色冶金设计与研究, 2023, 44(6): 26-29. DOI:10.3969/j.issn.1004-4345.2023.06.007. TANG J H. Overview of thermal storage technology for solar energy system[J]. Nonferrous Metals Engineering & Research, 2023, 44(6): 26-29. DOI:10.3969/j.issn.1004-4345.2023.06.007.