

# CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 用于室内装饰材料后改善室内热环境的可行性研究\*

罗 庆, 李百战, 丁 勇, 李 楠

(重庆大学“三峡库区生态环境”教育部重点实验室, 重庆 400045)

**摘要** 主要针对重庆地区夏季炎热、室内自然热环境差的情况, 探索通过在室内装饰材料中添加相变材料 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 利用 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 的相变潜热来改善装饰材料在夏季的热物理性质, 提高材料的蓄热性能, 从而降低材料的表面温度, 实现改善室内自然热环境的目的。

**关键词** CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 室内装饰 木工材料 室内热环境

## Feasible Study on Improvement of Indoor Thermal Environment Using Decoration Material Treated by CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O

LUO Qing, LI Baizhan, DING Yong, LI Nan

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045)

**Abstract** This paper explores the feasibility of improvement of natural indoor thermal environment using decoration material treated by phase change material (PCM) CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O in Chongqing. The physical performance of decoration material is changed in summer through the performance of CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, which increases capability of heat store and lowers the surface temperature of decoration material to improve natural indoor thermal environment.

**Key words** CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, indoor decoration, wood material, indoor thermal environment

### 1 研究背景

由于相变物质(PCM)相变过程中温度基本恒定及相变潜热的释放或吸收, 使其作为储能装饰材料在一个狭窄的温度范围内具有普通材料所无法比拟的热容。在普通装饰材料中添加相变物质可以增加此种材料的蓄热能力, 对于房间内气温的稳定是非常有利的。但是 PCM 的热特性(相变温度、潜热)、理化性质(容积变化、密度、化学稳定性、与基体的相容性、毒性、气味等)要符合建材的要求, 否则就可能失去应用的价值。目前国内外的研究主要集中在有机 PCM 及其混合物, 主要有烷烃、酯、醇及石蜡等 4 类<sup>[1]</sup>。

近 10 年来, 研究的热点集中于一类在使用中不需要容器的相变材料, 即定型相变材料, 其特点是在经固液相变后仍能维持在固态时的形状。定型相变材料按其相变的机理可分成两大类: 固-固相变材料和固-液相变材料。前者包括一些在晶体转变时伴随着吸热和释热的有机材料(如多元醇)和一些通过化学或紫外光交联的高聚物<sup>[2]</sup>。第二类定型相变材料实质上是一类复合相变材料, 即将低熔点的相变材料散布在熔点较高的支撑材料之中, 只要运行温度不高于支撑材料所能承受的温度, 这种材料即可维持在固体状态。将多孔建筑材料浸泡在相变材料溶液中, 待其吸饱相变材料后取出, 即是这类相变材料的一种<sup>[3]</sup>。文献[4]介绍了一种新型复合定型相变材料的制备, 这种相变材料以石蜡作为基材, 利用 HDPE(高密度聚乙烯)作为支撑材料, 其中石蜡的比例可高达 75%。定型相变材料的相变过程具有一些共同的特点: 相变材料的主体或基材多为有机类相变材料, 相变过程一

般发生在一个相对较宽的温度范围内, 而不像结晶水合盐类相变材料那样在一个明确的温度点发生相变; 由于交联或支撑网格的影响, 可忽略对流的影响, 即相变传热过程可简化为纯导热过程。定型相变类材料在建筑环境和建筑节能等领域内有重要的应用价值, 是目前相变建筑材料研究的热点问题。

重庆是夏热冬冷气候区的典型代表, 夏季炎热是其最突出的特点, 从而导致室内自然热环境差。夏季降温是解决室内环境问题的核心所在。本文探索通过在室内装饰材料中添加相变材料 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 利用 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 的相变潜热来改善装饰材料在夏季的热物理性质, 提高材料的蓄热性能, 从而降低材料表面温度, 实现改善室内自然热环境的目的。

### 2 木工材料实验分析

本文使用的是重庆市北碚化学试剂厂生产的结晶氯化钙 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 含量 98%, 分子量 219.08, 熔点 27~28℃, 实验品市场价格 12.60 元/千克。

将 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 晶体缓慢加热, 在 27℃ 时出现熔融状态, 待 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 全部融化, 维持温度恒定, 保证晶体完全处于液体状态, 将准备好的室内装饰用木工材料 150mm×150mm×2mm 浸泡其中。取样品, 切开端面, 查看 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 是否渗入。浸泡约 3h 后, CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 已基本渗入木工材料, 取出材料。在 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 还处于液体状态时, 立即清除木工材料表面残留 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 这样处理的目的是为了材料在实际应用中不影响其使用功能, 如果木工材料表面残留 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 只要木工材料低于 27℃ 时, 表面就会出

\*重庆市科委“十五”重大项目“小城镇基础设施建设关键技术研究 (No: 2004AA7008)”;“重庆大学高层次科研启动基金 (No: 0903005104972)”资助  
罗庆:男, 1976 年生, 博士, 主要从事建筑环境与相变材料研究 E-mail: luqing96@163.com

现结晶的  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ,而高于 27 时 材料表面又会结霜( 液态  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  )。木工材料浸泡前后的图片如图 1 所示。

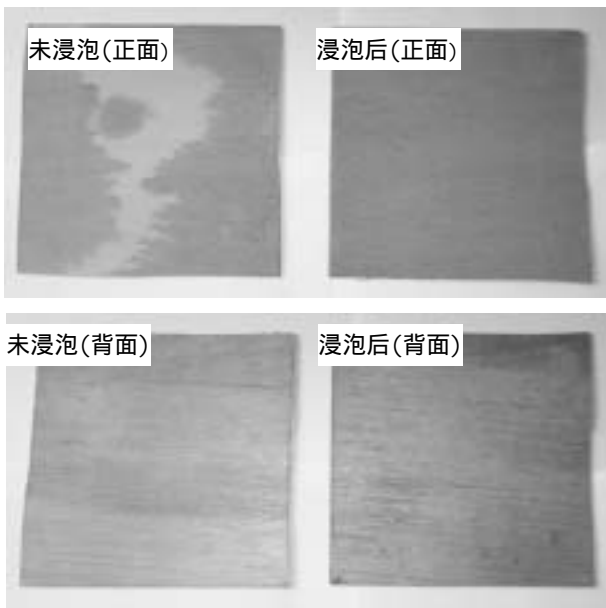


图 1 实验用木工材料

实验过程中主要使用红外线测温仪 Raynger MX™ (图 2) 测量材料表面的温度,由显示屏直接读取数据。用便携式水银温度计测量周围环境空气温度。



图 2 红外线测温仪 Raynger MX™

将浸泡  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  和没有浸泡  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  的木工材料在相同的外部热源情况下分别作对比实验,热源位于材料的正面。在相同的时间段内,同时测定两种对比材料正面和背面的温度。图 3 是两种材料的温度分布情况,1 - 未浸泡材料的正面温度,2 - 未浸泡材料的背面温度,3 - 浸泡材料的正面温度,4 - 浸泡材料的背面温度。从图中可以看出:未浸泡  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  的木工材料正面温度升温较快,而且温度一直高于浸泡  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  的木工材料,在稳定状态时,大约高 2.2 。浸泡  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  的木工材料,由于受  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  相变潜热的影响,其正面的温度在稳定时维持在 27 。

### 3 木工材料传热模型计算机模拟分析

由于研究对象是 2mm 厚的薄板,无内热源。当薄板温度保持均匀稳定时,由于薄板的高度与宽度远大于其厚度(75 倍),可以近似认为是无限大平壁,此时,可以认为沿高度与宽度两个方向温度变化很小,而只沿厚度方向发生变化,即一维稳态传热,其传热模型可以表达为:

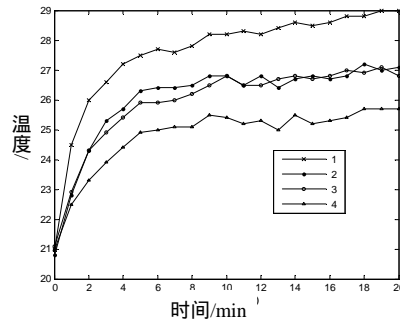


图 3 两种对比材料的温度分布

$$\frac{d^2t}{dx^2} = 0 \quad (1)$$

由第一类边界条件:  $t|_{x=0} = t_{w1}$ ,即将正面测得的温度作为已知值(未浸泡材料  $t_{w1} = 29.0$ ,浸泡后材料

$t_{w1} = 26.8$ );第三类边界条件:

$$-\lambda \frac{dt}{dx} |_{x=0.002} = \alpha_2 (t|_{x=0.002} - t_{f2})$$

,即背面对流换热系数  $\alpha_2 = 5\text{W}/\text{m}^2$ ,周围空气温度  $t_{f2} = 20.9$ 。求得薄板背面温度值,  $t|_{x=0.002} = t_{w2}$ (未浸泡材料  $t_{w2} = 27.5$ ,浸泡后材料  $t_{w2} = 26.0$ )。将计算得到的背面温度值与测试得到的背面温度值(未浸泡材料  $t_{w2} = 27.1$ ,浸泡后材料  $t_{w2} = 25.7$ )进行比较,发现计算值与测试值相差不大,因而,从理论上证实了两种材料的内部温度分布情况。图 4 和图 5 是利用 FLUENT 计算得到的两种木工材料的内部温度分布情况。



图 4 未浸泡材料在稳定时的温度分布截面图

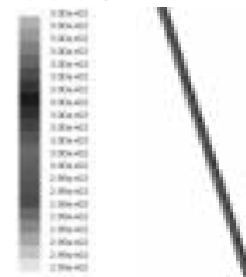


图 5 浸泡后材料在稳定时的温度分布截面图

#### 4 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 用于木工材料后改善室内热环境的可行性分析

表 1 是重庆地区夏季自然条件下,典型室内装饰木工材料表面温度分布情况,其温度基本维持在 30℃,与本文实验中的未浸泡材料的表面温度相类似。如果在这样的气候条件下,采用浸泡 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 的木工材料,从前面的实验分析可以知道,此时材料由于 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 的相变潜热的影响,表面温度可以维持在 27℃,这样可以使室内壁面温度降低 2~3℃,对于夏季极其炎热的重庆来说,可以大幅度改善室内热环境,提高人体热舒适度。

表 1 重庆地区夏季室内壁面温度分布

(2005 年 7 月 22 日)

时间	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
温度	30.5	30.5	30.2	30.2	30.3
时间	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
温度	30.2	30.5	30.7	30.8	31.0
时间	17:00	18:00	19:00		
温度	31.3	31.6	31.7		

#### 5 结论与问题探讨

从前面的分析可以看出,在重庆地区利用相变材料 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 作用于木工材料后,由于 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 的相变特

点,改变了木工材料的热物理性质,提高了材料的蓄热能力,降低了表面温度,对于改善夏季室内热环境是可行的。同时,在实验过程中,也发现一些问题值得进一步探讨:

(1) CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 的渗入过程比较烦琐,而且耗用时间多;

(2) 相变材料在熔融状态下(温度相对较高)对普通建筑材料进行浸泡,容易造成建材的形变,特别是室内装饰用木工板等轻质材料;

(3) 室内环境温度高于相变温度时,如果材料表面没有处理好,会出现壁面结霜现象;

(4) 出于对相变材料的安全性和健康性的考虑,室内住户对相变材料的心理接受程度。

#### 参考文献

- 1 马芳梅. 储能建材性质的改善及相变温度的优化. 华中理工大学学报, 1997, 25(3): 82
- 2 叶宏, 等. 利用焓法和有效热容法对定形相变材料熔解过程分析的比较研究. 太阳能学报, 2004, 25(4): 488
- 3 Salyer I O, Sircar A K. A review of phase change materials research for thermal energy storage in heating and cooling applications at the university of Dayton from 1982 to 1996. Int J Global Energy Issues, 1997, 9: 183
- 4 Ye Hong, Ge Xinshi. Preparation of polyethylene-paraffin compound as a form-stable solid-liquid phase change material. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2000, 64: 37