

陶瓷微珠保温隔热材料的隔热性能研究及应用

白永智¹, 裴超¹, 张粹云¹, 张铭², 刘新状², 白芳³

¹中国建材检验认证集团北京天誉有限公司, 北京

²中国电子工程设计院有限公司, 北京

³中国科学院过程工程研究所, 绿色过程与工程重点实验室, 北京

收稿日期: 2022年5月18日; 录用日期: 2022年6月22日; 发布日期: 2022年6月29日

摘要

在能源短缺和环境污染日益严重的今天, 节能降耗、提高经济效益变得越来越重要。从保温材料出发, 节约建筑能耗迫在眉睫。本研究针对纳米陶瓷珠保温隔热材料进行了全面测试。研究表明, 外墙加涂7 mm 涂层, 等效热阻能够达到0.744 (m²·K)/W, 整体墙体的传热系数已能够满足外墙传热系数限值的最小要求。

关键词

隔热材料, 节能, 保温, 环保

Research and Application of Thermal Insulation Performance of Ceramic Microsphere Thermal Insulation Material

Yongzhi Bai¹, Chao Pei¹, Cuiyun Zhang¹, Ming Zhang², Xinzhuang Liu², Fang Bai³

¹China Building Material Test & Certification Group Beijing Tianyu Co. Ltd., Beijing

²China Electronics Engineering Design Institute Co. Ltd., Beijing

³Key Laboratory of Green Processes Engineering, Institute of Processes Engineering, Chinese Academy of Science, Beijing

Received: May 18th, 2022; accepted: Jun. 22nd, 2022; published: Jun. 29th, 2022

Abstract

Nowadays, energy shortage and environmental pollution are becoming more and more serious. It is more and more important to save energy, reduce consumption and improve economic efficiency. Starting from insulation materials, saving building energy consumption is imminent. In this

文章引用: 白永智, 裴超, 张粹云, 张铭, 刘新状, 白芳. 陶瓷微珠保温隔热材料的隔热性能研究及应用[J]. 材料科学, 2022, 12(6): 609-614. DOI: 10.12677/ms.2022.126066

study, the thermal insulation materials of nano ceramic beads were tested comprehensively. The results show that the equivalent thermal resistance can reach $0.744 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ when the outer wall is coated with 7 mm coating, and the heat transfer coefficient of the whole wall can meet the minimum requirements of the outer wall heat transfer coefficient limit.

Keywords

Thermal Insulation Material, Energy Conservation, Heat Preservation, Environmental Protection

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

在能源短缺和环境污染日益严重的今天，节能降耗、提高经济效益变得越来越重要。建筑能耗约占社会总能耗的 30%~40%，可见，建筑节能势在必行，优化建筑保温隔热体系迫在眉睫[1] [2]。

我国传统的建筑保温隔热措施是采用“穿棉衣”的方式给建筑物穿上“外保温”的保温材料或“内保温”的保温材料，其中常用的是有机类保温材料，例如聚苯乙烯泡沫塑料等；鉴于“有机材料保温性能好而防火性能差”，有些建筑物采用了无机保温材料，例如水泥发泡保温板、岩棉保温材料等[3] [4] [5]。但是我国冬期取暖的范围是以秦岭 - 淮河这条线划分的，线以北地区建筑物强制要求采取保温措施，线以南地区建筑物则没有强制保温要求。众所周知，我国长江流域属于夏热冬冷地区，由于湿度大，人们的热舒适度体验明显更差，为应对此问题，建筑应采用什么样的保温隔热措施呢？经过多年的探索，发现采用保温隔热涂料是一种有效的方法。新型保温隔热材料中的保温隔热涂料因其节能环保、使用方便和保温隔热效果好等优点越来越受到人们的青睐[4] [5] [6] [7]。在全球范围内，新型保温隔热材料的研发正朝着高效节能、隔热保温薄层、防水外护一体化方向发展。近年来，国内也悄然掀起一股保温隔热涂料的研发与应用热潮，根据保温隔热涂料在夏热冬冷地区建筑保温的应用效果，可以清晰地看出未来保温隔热涂料的应用势在必行[8] [9] [10] [11]。本文按照国家标准对涂料的基本性能进行了测试，并以铝蜂窝墙板为墙体，对涂料的传热系数进行了测试，并与模塑聚苯板传统保温材料进行了对比。

2. 实验部分

2.1. 实验目的

通过对保温隔热涂料常规物理性能、墙体应用领域的基本性能、热工性能、燃烧性能的检测，证明该产品不仅满足涂料本身的属性，同时能够满足目前建筑物外围护结构相关热工和燃烧性能。

2.2. 主要仪器设备

外墙外保温耐性检测装置、稳态热传递性质测定系统、建筑材料单体燃烧实验设备、建筑材料燃烧热值实验仪。

2.3. 外墙保温系统性能检测

2.3.1. 耐候性

- 1) 实验墙体制备完成后养护 28 天；

- 2) 实验墙体有基层墙体和被测保温系统构成, 尺寸应为 $3000\text{ mm} \times 2000\text{ mm}$, 面积不小于 6 m^2 ;
- 3) 实验第一阶段: 高温 - 淋水循环 80 次, 每次 6 h, 其中升温 3 h, 淋水 1 h, 最后静置 2 h;
- 4) 实验第二阶段: 状态调节且应持续至少 48 h;
- 5) 实验第三阶段: 加热 - 冷冻循环 5 次, 每次 24 h, 首先升温 8 h, 其次降温 16 h;
- 6) 每 4 次高温 - 淋水循环和每次加热 - 冷冻循环后, 应观察实验墙体出现裂缝、空鼓、脱落等情况并做记录。

2.3.2. 耐冻融性

- 1) 试样制备数量为 3 件, 本次实验将涂料涂刷于模塑聚苯板上烘干后进行实验;
- 2) 实验步骤一: 首先冻融循环 30 次, 每次为 24 h;
- 3) 实验步骤二: 每 3 次循环后观察试样出现裂缝、空鼓、脱落等情况并进行记录。

2.3.3. 抹面层不透水性

- 1) 试样有保温层和抹面层构成, 试样尺寸为 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$, 保温层采用模塑聚苯板厚度为 60 mm, 抹面层为本次实验用涂料, 试样数量为 2 个;
- 2) 将试样中心的保温层除去并刮干净, 直至刮到抹面层的背面, 刮除部分的尺寸为 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$;
- 3) 将试样周边密封, 使抹面层朝下浸入水槽中。应使试样浮在水槽中, 底面所受压强应为 500 Pa;
- 4) 浸水时间达到 2 h 时应观察水透过抹面层的情况;
- 5) 2 个试样浸水 2 h 时均不透水时, 应判定为不透水。

2.3.4. 吸水量

- 1) 试样制备尺寸为 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$, 数量为 3 个;
- 2) 试样在标准养护条件下养护 7 天后, 将试样四周做密封防水处理;
- 3) 按照下列步骤进行三次循环
 - A、在试验环境下的水槽中浸泡 24 h, 试样防护层朝下浸入水中, 浸入深度为 3~10 mm;
 - B、在 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的条件下干燥 24 h。
- 4) 完成循环后, 试样应在试验环境下再放置不少于 24 h;
- 5) 剩余试验过程及计算可参照 GB/T 29906-2013。

2.4. 外墙传热系数(热阻)检测

- 1) 采用铝蜂窝墙板(构造为铝蜂窝板 40 mm + 岩棉 80 mm + 铝蜂窝板 40 mm) (传热系数约为 $0.75\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) 进行传热系数实验用原墙制作, 试件尺寸为 $1750 \times 1750 \times 160\text{ (mm)}$, 按照标准要求养护 28 天后依据 GB/T13475-2008《绝热稳态传热性质的测定标定和防护热箱法》进行外墙传热系数检测, 换算原墙的热阻值;
- 2) 按照委托方要求在墙体表面进行涂料施工, 施工完毕后继续养护 28 天后依据 GB/T13475-2008《绝热稳态传热性质的测定标定和防护热箱法》进行外墙传热系数检测, 换算实验墙体的热阻值;
- 3) 综合分析两组实验结果得出送检涂料的等效热阻值。

2.5. 燃烧性能检测

A (A2)级燃烧性能实验分为两个单独的实验, 单体燃烧和燃烧热值, 实验结束后, 依据 GB8624-2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》进行燃烧分级。

2.5.1. 单体燃烧实验

将委托方送来涂料在硅酸钙板上进行涂刷，试样尺寸为长翼 1500 × 1000 (mm)，短翼为 1500 × 500 (mm)，在充分养护后依据 GB/T20284-2006《建筑材料或制品的单体燃烧实验》进行单体燃烧性能实验，实验共进行 3 次，取平均值作为判定依据。

2.5.2. 燃烧热值实验

取少量样品干燥后放入燃烧热值实验仪依据 GB/T14402-2007《建筑材料及制品的燃烧性能 - 燃烧热值的测定》进行实验，实验共进行 3 次，取平均值作为判定依据。

3. 结果与讨论

3.1. 常规物理性能分析

涂料的常规性能主要包括容器中状态、施工性、干燥时间(表干)、初期干燥抗裂性、低温稳定性(3 次)、耐冲击性、耐水性、耐碱性、粘接强度(标准状态、浸水后)、柔韧性等，测试样品如图 1 所示。



Figure 1. Sample drawing
图 1. 样品图

3.2. 传热性能分析

在低热阻基材(混凝土)材料表面涂刷时，受基材含湿率，蓄热能力等影响，实际等效热阻的提升并不明显，约为 $0.335 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ，约相当于 15 mm 模塑聚苯板(导热系数按照 $0.041 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 计算)；通过对混凝土基材检测的具体数据分析，经过充分养护的混凝土墙体单侧涂刷涂料后，检测样品的热测表面温度提升了 $5.4^\circ\text{C} \sim 7.6^\circ\text{C}$ ，加热功率能够从 334.1 W 减少到 150.4 W，如图 2 所示。传热系数也从裸墙的 3.70 能够最大降低到 1.67，绝对值减少了 55%，热阻值改变的相对较小是因为混凝土裸墙的热阻值绝对值较小，约为 $0.270 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ，如果更有效的评价隔热涂料在低热阻材料上的作用是下一步应该具体研究的一个方向；在混凝土基材单侧涂刷 5 mm 涂料和双侧个涂刷 3 mm 涂料的检测结果各项数据都十分接近，表明在低热阻基材单侧或者双侧涂刷涂料对最终结果影响不大，测试结果如图 3 所示。

在高热阻基材(铝蜂窝板)上涂刷涂料后，检测数据表明热阻的提升表现的更明显，目前采用测试结果如图 4、图 5 所示，表明前期送检的涂料产品在单侧涂刷 7 mm 后，整体热阻相对于基材能够增大 $0.744 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ，相当于 30 mm 模塑聚苯板(导热系数按照 $0.041 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 计算)，而在加厚到 10 mm 后，热阻增大了 $0.986 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ，相当于 40 mm 模塑聚苯板(导热系数按照 $0.041 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 计算)；通过对铝蜂窝板基材的检测分析，涂料厚度并不是线性增长，越厚越好，10 mm 时传热系数为 0.434，热阻为 2.304，相比较 7 mm 检测结果热阻仅仅增大了 $0.24 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ，随着涂料厚度的逐渐增加并不能带来热阻值的更明显的提升，应该类似于管道保温材料确定一个经济厚度值。

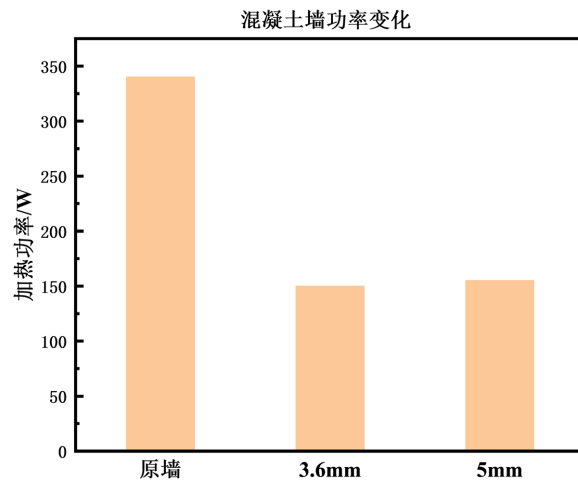


Figure 2. Heating power comparison diagram

图 2. 加热功率对比图

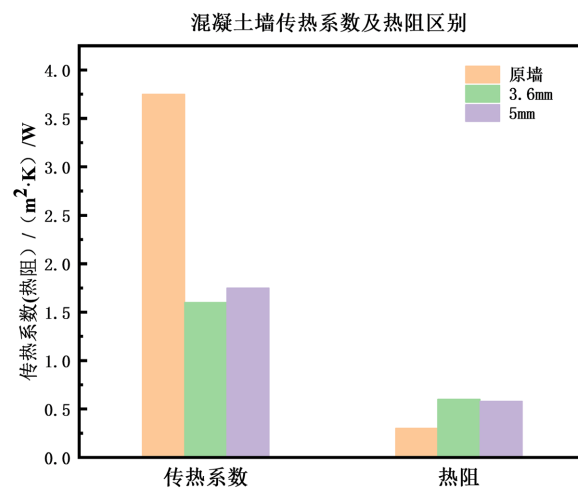


Figure 3. Contrast diagram of heat transfer coefficient and thermal resistance

图 3. 传热系数及热阻对比图

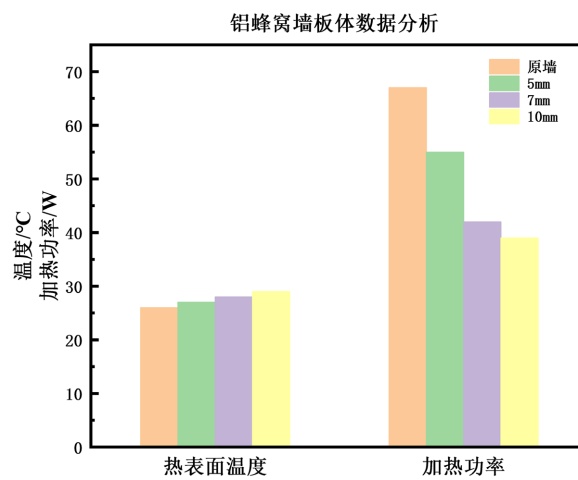


Figure 4. Heating power comparison diagram

图 4. 加热功率对比图

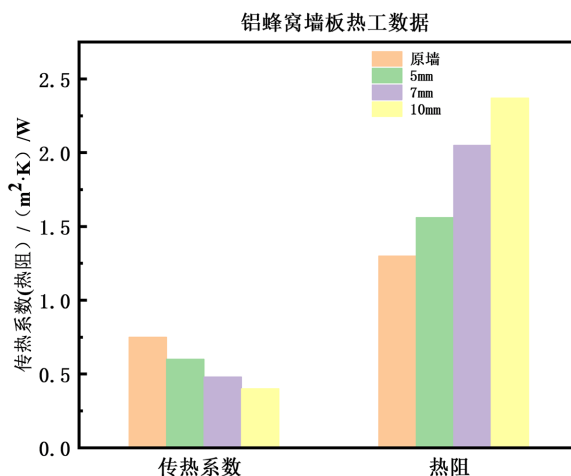


Figure 5. Contrast diagram of heat transfer coefficient and thermal resistance
图 5. 传热系数及热阻对比图

3.3. 燃烧性能分析

对涂料单体燃烧以及燃烧热值进行了实验研究。研究表明, 单体燃烧增长速率指数为 2.6 W/s, 600 s 的总放热量为 0.1 MJ, 火焰横向蔓延长度 LFS 未达到试样长翼边缘, 燃料的总燃烧热值为 0.3 MJ/kg。上述结果均能够满足建筑材料燃烧性能 A2 级要求。

4. 结论

本研究针对纳米陶瓷珠保温隔热材料进行了全面测试。涂料常规性能方面能够满足涂料的基本性能指标, 并在挥发性有机物、甲醛、重金属含量方面均能达到要求。除此之外, 在保温系统检测方面, 耐候性、耐冻性、不透水性均能达到要求。外墙传热系数(热阻)多次检测数据表明在自身热阻值较大的基层墙体(铝蜂窝复合墙板)单侧(热测)涂刷 7 mm 涂料情况下, 其等效热阻能够达到 0.744 (m²·K)/W, 约相当于 30 mm 模塑聚苯板热阻值; 单侧(热测)涂刷 10 mm 涂料情况下, 其等效热阻能够达到 0.986 (m²·K)/W, 约相当于 40 mm 模塑聚苯板热阻值; 若采用本次测试的 160 mm 厚铝蜂窝板作为基材, 涂刷 7 mm 厚涂料整体墙体的传热系数已能够满足外墙传热系数限值的最小要求。

参考文献

- [1] 苏俊溪, 张博. 常用外墙保温隔热材料的“双碳”贡献及经济效益评价[J]. 居舍, 2022(10): 48-50.
- [2] 韩凤凤. 《纳米陶瓷微珠保温隔热材料》系列标准试验论证会召开[N]. 中国建材报, 2021-10-11(001).
- [3] 宋京. 建筑外墙外保温隔热材料防火性能分析[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(9): 125-126.
- [4] 《纳米陶瓷微珠保温隔热材料》系列标准编制组成立暨第一次工作会议召开[J]. 砖瓦, 2021(1): 38.
- [5] 王拓, 曹杨, 张新玉. 保温隔热材料在建筑外墙外保温中的实践研究[J]. 中国高新科技, 2020(22): 42-43.
- [6] 王燕, 王思怡, 冯需. 硅基气凝胶保温隔热材料与建筑节能技术的融合分析[J]. 粘接, 2020, 44(11): 39-42.
- [7] 李泳杞, 陈云霞, 韩泽群, 苏小丽, 施玮, 曾涛. 蛭石基保温隔热材料的研究进展[J]. 广东化工, 2020, 47(12): 85-86.
- [8] 墙材革新与建筑节能[J]. 墙材革新与建筑节能, 2019(11): 78.
- [9] 董晶亮, 卢普光, 丁杨, 王中平, 黄神恩. 屋面保温隔热材料耐候性试验设计[J]. 塑料, 2019, 48(4): 115-117+121.
- [10] 李小英. 浅议如何建立规范有序的建筑保温隔热材料市场[J]. 墙材革新与建筑节能, 2019(8): 36-37.
- [11] 熊晓强, 秦炜, 赵财军. 生态节能材料及智能建筑材料探讨[J]. 河南建材, 2019(1): 127-128.