

# 一种气凝胶保温隔热涂料的节能评价研究

白永智<sup>1</sup>, 裴超<sup>1</sup>, 张粹云<sup>1</sup>, 张铭<sup>2</sup>, 刘新状<sup>2</sup>, 白芳<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中国建材检验认证集团北京天誉有限公司, 北京

<sup>2</sup>中国电子工程设计院有限公司, 北京

<sup>3</sup>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

我国是一个建筑大国, 建筑能耗每年也随之增长。现采用的保温隔热材料存在很多安全隐患, 新型保温隔热材料在保证其功能外, 从根本上杜绝了现用保温材料存在的问题。本文在基层墙体表面外涂气凝胶涂料, 测定外墙传热系数。外墙传热系数(热阻)的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3 mm涂料系统情况下, 其等效热阻能够达到0.86 (m<sup>2</sup>·K)/W, 可与35 mm模塑聚苯板的保温隔热效果相媲美。

## 关键词

气凝胶, 节能, 保温, 环保

# Energy Saving Evaluation of an Aerogel Heat Insulation Coating

Yongzhi Bai<sup>1</sup>, Chao Pei<sup>1</sup>, Cuiyun Zhang<sup>1</sup>, Ming Zhang<sup>2</sup>, Xinzhuang Liu<sup>2</sup>, Fang Bai<sup>3</sup>

<sup>1</sup>China Building Material Test & Certification Group Beijing Tianyu Co. Ltd., Beijing

<sup>2</sup>China Electronics Engineering Design Institute Co. Ltd., Beijing

<sup>3</sup>Key Laboratory of Green Processes Engineering, Institute of Processes Engineering, Chinese Academy of Science, Beijing

Received: May 18<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jun. 22<sup>nd</sup>, 2022; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

As China is a big building country, building energy consumption increases every year. There are a

文章引用: 白永智, 裴超, 张粹云, 张铭, 刘新状, 白芳. 一种气凝胶保温隔热涂料的节能评价研究[J]. 材料科学, 2022, 12(6): 624-630. DOI: 10.12677/ms.2022.126068

lot of safety risks in the heat preservation and heat insulation materials used now. The new heat preservation and heat insulation coating ensures the function itself and fundamentally puts an end to the problems existing in the heat preservation materials. In this paper, aerogel coating is applied to the surface of the wall and the heat transfer coefficient of the exterior wall is measured. The heat transfer coefficient of exterior wall (thermal resistance) test data shows that the equivalent thermal resistance of the base wall (aluminum honeycomb composite wall panel) with a large thermal resistance value can reach  $0.86 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$  when one side of the coating system is coated with 3 mm (thermal measurement), which is comparable to the thermal insulation effect of 35 mm molded polystyrene board.

## Keywords

Aerogel, 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

中国是一个发展中大国，是一个建筑大国，每年新建房屋面积高达 17~18 亿平方米，超过所有发达国家每年建成建筑面积的总和，建筑能耗也随着每年新建建筑的大量施工迅猛增长。我国出台了配套的设计、施工、检测等相关政策法规来保证新建建筑的能耗控制在一个合理的水平上，即便如此每年新建建筑中真正能称为“节能建筑”的也不足 1 亿平方米[1] [2]。建筑材料领域，在旧有建筑材料的节能潜力挖掘殆尽的情况下，新型保温隔热材料的研发及应用就成为了实现国家建筑节能大战略的新的途径，能够从根本上促进能源资源的节约和合理利用，缓解我国能源资源供应与经济社会发展的矛盾，实现经济社会的可持续发展[3] [4] [5] [6]。

新型保温隔热涂料不仅在生产过程中同传统发泡技术为主的保温节能材料相比没有温室气体排放，而且在使用的时候，其自身效果也将大幅降低建筑本身的能源消耗，同时新型保温隔热涂料还具有传统保温材料不具有的很多其他优势[3] [7]。近年来随着传统保温做法尤其是北方保温板系统的十年二十年的使用年限接近，越来越多的和外墙外保温相关的各类安全事故不断频发，保温板大范围的脱落、空鼓、现象在各地不断被报道，不但使建筑的保温隔热功能丧失，严重的还会造成人民生命财产的损失：从 2017 年伦敦高层公寓火灾[3]到 2021 年石家庄 3 月 9 日和 5 月 28 日的两场高层大火[4]，均是由于高层建筑外保温着火后火势迅速蔓延造成的人间惨剧，也同时造成了人员生命和财产的严重损失。传统的外墙保温构造做法在设计、施工、检测及验收各个环节都要求监管到位，其中一个环节出现问题就有可能造成整个外墙外保温系统的短寿和失效。在防止火灾方面，现有保温板系统体系会设置防火隔离带，但是近几年的几场火灾都表明了，在发生大型火灾时，防火隔离带根本无法阻止烟囱效应造成的火灾快速蔓延。同时随着国家对建筑节能技术指标要求越来越高，为了达到相关外墙保温性能指标，在北方地区就只能不断增加保温层的厚度，由于自重的影响进一步增加了外保温系统的脱落及空鼓的风险[8] [9] [11]。

新型保温隔热涂料在建筑领域的使用可以在以上方面大范围降低安全风险，在保证本身功能性作用的同时，避免上述传统保温材料的各类弊端，必将成为新建筑保温隔热施工领域的待选热门材料[9] [10]

[11] [12] [13]。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 35 mm 模塑聚苯板传统保温材料进行了对比。

## 2. 实验部分

### 2.1. 主要仪器设备

稳态热传递性质测定系统，购买于天津市三思特朗试验设备制造有限公司，该装置测试方法为防护热箱法，基于一维稳态热传原理构建，如图 1 所示。



Figure 1. Steady-state heat transfer property test system  
图 1. 稳态热传递性质测试系统

### 2.2. 外墙传热系数(热阻)检测

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 W/(m·K))进行传热系数试验用原墙制作，试件尺寸为 1750 × 1750 × 160 (mm)，按照标准要求养护后依据 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；在墙体表面进行涂料施工，施工完毕后继续养护后依据 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，换算试验墙体的热阻值；综合分析两组试验结果得出涂料的等效热阻值。

### 2.3. 保温隔热涂料节能性能评价

在节能评价系统中采用两个标准房屋进行不同外保温施工做法，其中一个采用保温隔热涂料施工。在相同温湿度控制条件下，通过一段时间比对测试两个不同保温做法房间的温湿度、热流、耗电量等参数并进行基于当地气候特点的节能评价分析，主要测试阶段有四个：第一阶段(空白试验无温湿度控制)；第二阶段(空白试验有温湿度控制)；第三阶段(比对试验无温湿度控制)；第四阶段(比对试验有温湿度控制)。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 常规物理性能

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)、涂膜外观、低温稳定性、对比率、耐沾污性、耐洗刷性、涂层耐温变性、透水性、耐水性、耐碱性、耐人工气候老化性、粉化、变色(白色和浅色)等，具体见表 1。

**Table 1.** Physical performance test sheet of thermal insulation coating  
**表 1.** 保温隔热涂料物理性能检测表

序号	测试项目	标准要求	测试结果	测试依据
1	容器中状态	无硬块, 搅拌后呈均匀状态	无硬块, 搅拌后呈均匀状态	GB/T9755-2014
2	施工性	刷涂二道无障碍	刷涂二道无障碍	
3	干燥时间(表干)/h	≤2	0.5	GB1728-1979
4	涂抹外观	正常	正常	GB/T9755-2014
5	低温稳定性	正常	正常	GB/T 9268-2008
6	对比率(白色和浅色)	≥0.93	0.94	GB/T239812009
7	耐水性(96 h)	无异常	无异常	GB/T 1733-1993
8	耐碱性(48 h)	无异常	无异常	GB/T 9265-2009
9	耐沾污性(白色和浅色)/%	≤15	12	GB/T 9780-2013
10	耐洗刷性(2000 次)	漆膜未损坏	漆膜未损坏	GB/T9755-2014
11	涂层耐温变性(3 次循环)	无异常	无异常	JG/T25-2017
12	透水性/ml	≤0.6	0.6	GB/T9755-2014
13	耐人工气候老化	600 h 不起泡、不剥落、无裂纹	600 h 不起泡、不剥落、无裂纹	
14	粉化/级	≤1	0	GB/T1865-2009
15	变色(白色和浅色)/级	≤2	1	
16	等效热阻, (m <sup>2</sup> ·K)/W	-	0.86	
17	传热系数, W/(m <sup>2</sup> ·K)	-	0.46	GB/T134752008

### 3.2. 传热性能分析

采用 160 mm 的铝蜂窝复合板为墙体, 对墙体涂抹涂料前后的热工数据进行检测, 见表 2 所示。

**Table 2.** Coating thickness and thermal test data of aluminum honeycomb panel substrate  
**表 2.** 铝蜂窝板基材的涂料厚度及热工检测数据

基层墙体	涂料厚度 (mm)	热表面(°C)	冷表面(°C)	加热功率 (W)	传热系数 (W/m <sup>2</sup> ·K)	热阻 (m <sup>2</sup> ·K)/W
铝蜂窝复合板(160 mm)	/	26.86	-8.76	70.49	0.782	1.278
铝蜂窝复合板(160 mm)	3	28.34	-8.82	36.80	0.571	2.141

### 3.3. 节能性能评价

由图 2 可以看出由于两个测试房均未作外保温处理, 测试期间的日平均温度变化趋势与室外温度的变化趋势趋于一致, 且两个测试房间的温度值基本重合, 单日最大温差为  $0.65^{\circ}\text{C}$ , 7 日平均温差为  $0.25^{\circ}\text{C}$ ; 由图 3 可以看出测试期间室外湿度变化较为剧烈在 46%~93% 之间波动, 两个房间由于自身墙体具有一定的保温隔热能力, 自身气密性能较好, 相对湿度变化并不剧烈; 由图 4 可以看出 7 天测试期间, 两个空白测试间的外墙内表面和外表面的温度变化也基本重合, 变化趋势与图 2 中的室外温度变化基本一致。综上所述, 本阶段测试结果较为理想, 两个测试房间在土建基础条件上无明显差异, 耗能基线相同, 满足比对测试的基本要求。分析图 4 可以看出, 经过设备校准工作后在测试期间两个空白测试房的单日耗电量基本趋于一致, 单日耗电量最大差值为  $2.57\text{ Kw/h}$ , 最小差值仅为  $0.08\text{ KW/h}$ , 7 天平均耗电量差值为  $0.99\text{ kW/h}$ , 具体如图 5 所示。

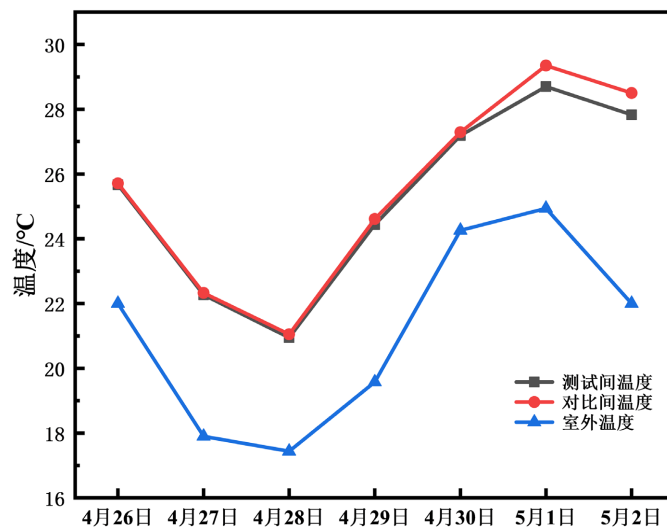


Figure 2. Temperature trend during the test

图 2. 测试期间温度变化趋势

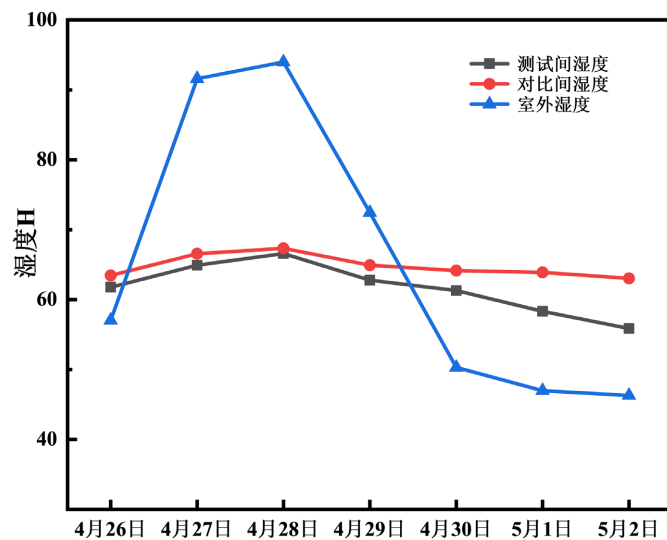


Figure 3. Humidity trend during the test

图 3. 测试期间湿度变化趋势

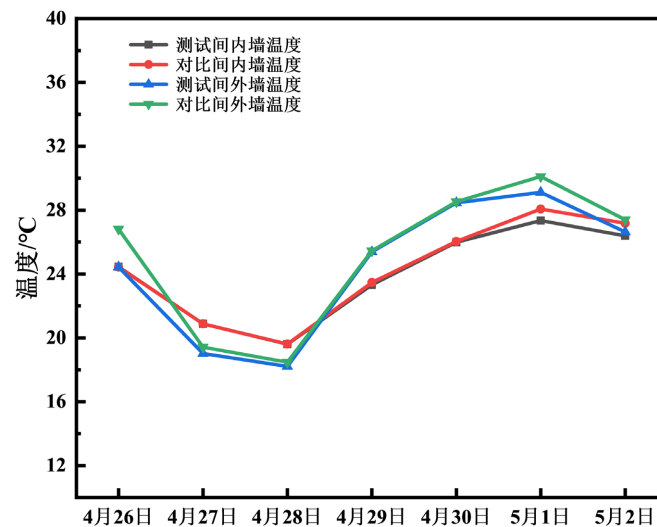


Figure 4. Test the temperature trend of the inner and outer walls of the room  
图 4. 测试房间内外壁面温度变化趋势

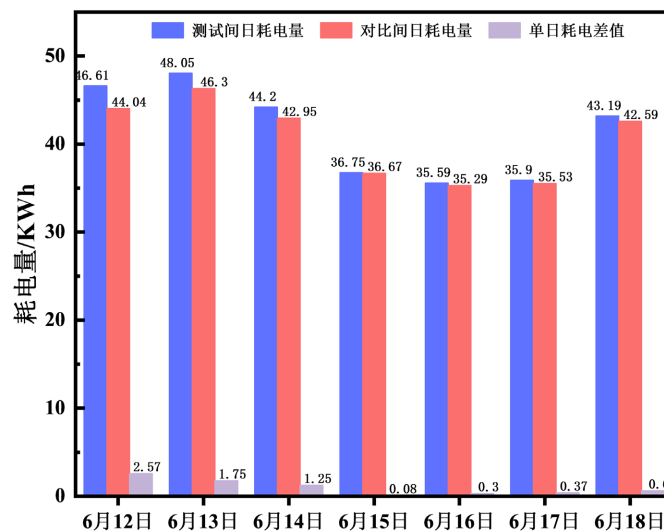


Figure 5. Comparison of power consumption during the test  
图 5. 测试期间耗电量比较

#### 4. 结论

该涂料常规性能方面能够满足涂料的基本性能指标,通过外墙传热系数(热阻)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 3 mm 涂料系统情况下,其等效热阻能够达到  $0.86 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ ,约相当于 35 mm 模塑聚苯板热阻值;通过对比法进行的节能性能评价检测数据表明在夏热冬冷地区的夏季工况下,0.4 mm 保温隔热涂料能够达到 35 mm 模塑聚苯板的保温隔热节能效果。

#### 参考文献

- [1] 张原信, 赵建卿. 二氧化硅气凝胶绝热材料应用进展[C]//2018 年全国无机硅化物行业年会暨长江经济带发展研讨会论文集, 2018: 52-55.
- [2] 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.  
<https://doi.org/10.16053/j.cnki.hnjc.2019.01.070>

- 
- [3] 张昊, 张靖岩, 李宏文. 由伦敦大火谈我国高层建筑楼群的消防安全风险及管理[J]. 消防技术与产品信息, 2018, 31(1): 1-6.
- [4] 肖方. 石家庄“3·9”众鑫大厦火灾扑救分析[J]. 中国消防, 2022(2): 63-65.
- [5] 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.  
<https://doi.org/10.19801/j.cnki.1006-9135.2019.08.008>
- [6] 魏莉. 新型高效无机隔热涂料生产技术开发[Z]. 宁波运通新材料科技有限公司, 2018-09-29.
- [7] 郝红艳. 安徽省建筑外墙保温隔热材料与系统技术标准现状[J]. 安徽建筑, 2018, 24(5): 6-7.  
<https://doi.org/10.16330/j.cnki.1007-7359.2018.05.002>
- [8] 靳玉香. 材料传热性能检测系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2018.
- [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] 墙材革新与建筑节能[J]. 墙材革新与建筑节能, 2019(11): 78.
- [11] 郑大发, 王红利. 对建筑保温隔热材料与建筑防火性能的分析[J]. 绿色环保建材, 2020(5): 12-13.  
<https://doi.org/10.16767/j.cnki.10-1213/tu.2020.05.006>
- [12] 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.
- [13] 黄祖炜, 陈越, 杨光. 建筑墙面保温隔热材料技术及热辐射技术的应用[J]. 建设科技, 2020(20): 103-106.  
<https://doi.org/10.16116/j.cnki.jskj.2020.20.025>