

# 利用不同粒径玻璃微珠的复合构筑 高效隔热反射真石漆

许 栋<sup>1</sup>, 李秋平<sup>2\*</sup>, 吴 霞<sup>1</sup>, 余 骏<sup>1</sup>, 陈锐婕<sup>3</sup>, 徐满连<sup>1</sup>

<sup>1</sup>江西景新漆业股份有限公司, 江西 丰城

<sup>2</sup>宁波工程学院材料与化学工程学院, 浙江 宁波

<sup>3</sup>浙江省建工集团上海分公司, 上海

Email: \*liqiuping@nbut.edu.cn

收稿日期: 2020年11月16日; 录用日期: 2020年12月14日; 发布日期: 2020年12月21日

## 摘 要

制备了一种以不同粒径空心玻璃微珠为主要填料的水性建筑隔热反射真石漆, 探究了玻璃微珠复配粒径、总体用量等参数对涂料隔热性能的影响。采用两种不同粒径空心玻璃微珠复配的方法, 发现玻璃微珠粒径为60 μm和160 μm且复配比例等于1.2:1, 总体用量为12%时, 所得真石漆隔热性能最好, 耐碱性96 h无异常, 耐水性96 h无异常, 耐老化600 h涂层完好不起泡、不剥落, 低温稳定不变质, 施工无障碍。在碘钨灯的照射下, 采用控制单-变量法, 测得添加了空心玻璃微珠的真石漆比未添加的普通真石漆经过1 min辐射后温度要低出4.6℃。

## 关键词

玻璃微珠, 隔热, 反射, 真石漆

# Preparation and Research of High-Efficiency Thermal Insulation Coatings Using Glass Beads with Different Particle Sizes

Dong Xu<sup>1</sup>, Qiuping Li<sup>2\*</sup>, Xia Wu<sup>1</sup>, Jun Yu<sup>1</sup>, Ruijie Chen<sup>3</sup>, Manlian Xu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jiangxi Jingxin Paint Industry Co. Ltd., Fengcheng Jiangxi

<sup>2</sup>School of Materials and Chemical Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo Zhejiang

<sup>3</sup>Zhejiang Construction Engineering Group Shanghai Branch, Shanghai

Email: \*liqiuping@nbut.edu.cn

\*通讯作者。

文章引用: 许栋, 李秋平, 吴霞, 余骏, 陈锐婕, 徐满连. 利用不同粒径玻璃微珠的复合构筑高效隔热反射真石漆[J]. 材料科学, 2020, 10(12): 957-962. DOI: 10.12677/ms.2020.1012115

## Abstract

A water-based architectural heat-insulating reflective real stone paint with hollow glass beads of different particle sizes as the main filler was prepared, and the influence of glass beads particle size and overall dosage on the thermal insulation performance of the coating was explored. It is found that when the particle size of the glass beads is 60  $\mu\text{m}$  and 160  $\mu\text{m}$ , the compounding ratio is equal to 1.2:1, the total dosage is 12%, the obtained real stone paint has the best heat insulation performance. There is no abnormality in the alkali resistance for 96 hours, and the water resistance for 96 hours. The aging resistance coating for 600 hours is intact without bubbling or peeling. It is stable at low temperature and does not deteriorate. Under the irradiation of the iodine tungsten lamp, using the controlled single variable method, the temperature of the real stone paint with hollow glass beads added is 4.6°C lower than the ordinary real stone paint without addition after 1 min of radiation.

## Keywords

Glass Beads, Heat Insulation, Reflective, Real Stone Paint

Copyright © 2020 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

在外墙涂料中采用反射和辐射隔热技术可以使建筑实现夏凉冬暖的效果，是新型建筑节能材料领域的发展趋势[1] [2]。近年来，人们发现将空心玻璃微珠作为一种功能性填料加入到建筑外墙涂料中去后，能在干燥后的涂膜层中形成致密的空间隔离结构，利用微纳米级的空心玻璃微珠具有导热系数小和反射率高的特点，大大提升外墙的隔热效果，和普通涂装层相比其隔热效果明显上升[3] [4] [5] [6]。由于涂料属于复杂体系，除玻璃微珠的粒径外，其他颜填料的种类、成膜树脂的类型、涂膜的厚度都会影响最终产品的隔热性能，同时，考虑到外墙隔热涂料工作时的环境因素，在设计与生产外墙隔热涂料的时候还要综合考虑涂料的防水、防腐蚀、抗裂、反紫外线等性质[7] [8]。然而在前期的大量实验中发现，只添加了单一粒径玻璃微珠的产品起到的隔热效果并不是很理想。面对这一困境，研究人员根据 Horsfield 紧密堆积理论，提出了通过不同粒径的玻璃微珠进行复配使其在涂膜中排列更紧凑，以此来提高涂膜的隔热效果，从而解决实际应用的不足[9] [10]。本文基于上述隔热涂料的设计理念，提出了一种高效隔热反射真实漆的制备方法，重点研究了市售玻璃微珠的粒径、复配比例和总体用量对涂料隔热性能的影响。

## 2. 实验

### 2.1. 材料与设备

#### 2.1.1. 材料

去离子水；纯丙乳液，江苏李文甲化工有限公司；C-12，润泰化学有限公司；250 HBR 纤维素，上海凯茵化工有限公司；乙二醇，惠丰化工有限公司；杀菌剂，杭州宁致合成材料有限公司；防腐剂，杭

州宁致合成材料有限公司；胺中和剂，杭州宁致合成材料有限公司；白砂(90#, 80#, 70#)，上高县伊雪矿产品有限公司；菊花黄 80~120#，上高县伊雪矿产品有限公司；玻璃微珠(40  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 80  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 120  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$ , 160  $\mu\text{m}$ , 180  $\mu\text{m}$ )，中钢集团马鞍山矿院新材料科技有限公司。

### 2.1.2. 设备

高速分散机，型号 BGD740/1，广州标格达实验室仪器用品有限公司；真石漆分散机器，型号 JIZ-DX-16，永康市东之鑫工贸有限公司；真石漆喷枪，4 mm 口径，耐老化测试仪，型号 LUV-2，上海现代环境工程技术有限公司，电热鼓风干燥箱，型号 DHG-9070A，上海一恒科学仪器有限公司。

## 2.2. 隔热涂料的制备

称取一定量的水，加入 250 HBR 纤维素，高速分散机 800 转速下搅拌 5~10 min，直到纤维素完全增稠。后依次加入乳液，杀菌剂，防腐剂，醇脂十二，乙二醇，胺中和剂，搅拌 5~10 min。后依次加入白砂 90#，白砂 80#，白砂 70#，玻璃微珠(根据不同的实验目的调整用量)，后使用真石漆分散机搅拌 1 min。制备好的成品漆按照 JG/T23-2001《建筑涂料涂层试板的制备》方法制备好待喷涂样板。喷涂时，保证喷涂量一样，喷嘴与板面距离保持在 20~25 cm 之间，移动时椭圆形雾状涂料相叠部分约 1/2，一次喷成，不允许有流挂现象。

## 2.3. 表征与测试

### 2.3.1. 隔热效果测试

采用自制的检测方法，制作了一个五边密闭的正方形纸盒，里面放入温度传感器，无密闭面朝上，放上自制养护好的真石漆板材，保证其他可能会干扰的条件一致，后用碘钨灯照射真石漆板材，每次照射固定 1 min，得出温度传感器上升的温度，温度上升越大，则表明隔热效果越差。

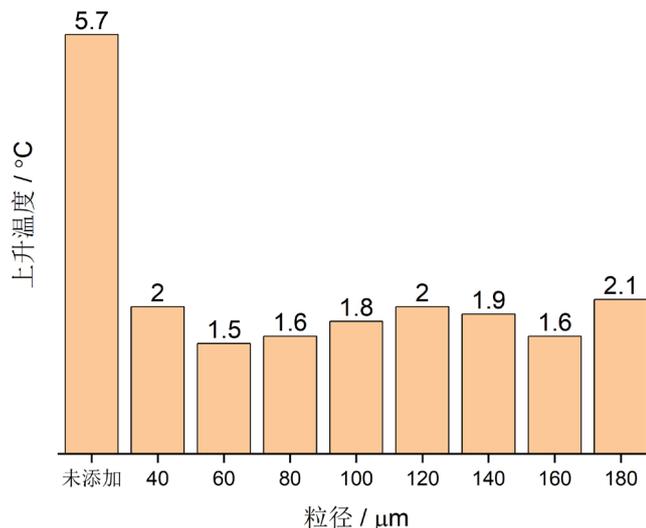
### 2.3.2. 其它性能测试

容器中状态施工性，低温储存稳定性，热储存稳定性，初期干燥抗裂性，表干时间，耐水性，耐碱性，耐人工老化性，检测方法严格按照 1999 年起草的新的行业标准 JG/T24-2000《合成树脂乳液砂壁状建筑涂料》执行。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 玻璃微珠粒径对涂膜隔热性能的影响

玻璃微珠的添加是影响涂料隔热性能的主要因素，由于市售玻璃微珠粒径从几十微米到几百微米不等，粒径太大会影响涂膜的平整性，粒径太小又会抬高生产成本，这些因素都是开发涂料产品要不得不考虑的因素。为了考查所购玻璃微珠粒径对产品隔热性能的影响，在固定玻璃微珠添加量为 10% 的条件下，我们按照预先研发的基本配方，试制了未添加玻璃微珠和分别添加了 40~180  $\mu\text{m}$  粒径范围玻璃微珠的样品，利用自行开发的测试方法，对比了不同试样的隔热性能。实验结果如图 1 柱状图所示，横坐标为添加到试样的玻璃微珠的粒径分布，柱高则为在隔热测试装置中碘钨灯下照射 1 min 传感器上升温度。通过实验数据可以得出，和空白样本相比，添加了玻璃微珠的产品隔热性能提升都非常明显。同时，从图中可以看出，玻璃微珠粒径的变化对产品隔热性能的影响差别不大。其中，添加了粒径为 60  $\mu\text{m}$  的玻璃微珠的产品隔热性能较好，在实验装置中碘钨灯下照射 1 min 后传感器仅上升了 1.5 $^{\circ}\text{C}$ ，其次是添加了粒径为 80  $\mu\text{m}$ 、160  $\mu\text{m}$  的玻璃微珠的产品。至于添加了其它粒径的玻璃微珠产品，隔热效果稍微差一些。



**Figure 1.** Comparison of thermal insulation performance of glass beads with different particle sizes  
**图 1.** 不同粒径的玻璃微珠的隔热性能比较

### 3.2. 玻璃微珠复配比列对涂膜隔热性能的影响

在添加单一粒径的玻璃微珠带来的隔热性能基本确定的情况下，为了进一步提升涂料的隔热能力，我们采取了不同粒径玻璃微珠复配的方式进一步改善产品的隔热效果。根据 Horsfield 填充理论，两种球体堆积时，当小球直径比大球直径的数值在 0.414 左右时候堆叠效果最好。根据上一步的实验结果与实际的生产情况，我们选择了粒径为 60  $\mu\text{m}$  和 160  $\mu\text{m}$  的玻璃微珠进行复配，配置了一系列二者比例从 0.4:1 到 1.6:1 范围内的隔热涂料，测试了各产品的隔热性能。从表 1 的结果来看，当 60  $\mu\text{m}$  玻璃微珠:160  $\mu\text{m}$  玻璃微珠比例在 1:1 附近时产品隔热性能较好，但是综合考虑涂膜的软硬程度，我们选定 60  $\mu\text{m}$  玻璃微珠:160  $\mu\text{m}$  玻璃微珠等于 1.2:1 的比例作为优选比例。同时，对比基于单一玻璃微珠制备的涂料产品，很明显，基于复配玻璃微珠配置的产品还能进一步隔热性能。

**Table 1.** Ratio effect of 60  $\mu\text{m}$  and 160  $\mu\text{m}$  glass beads on product performance  
**表 1.** 60  $\mu\text{m}$  和 160  $\mu\text{m}$  玻璃微珠复配比列对产品性能的影响

检测项目	60 $\mu\text{m}$ 玻璃微珠:160 $\mu\text{m}$ 玻璃微珠						
	0.4:1	0.6:1	0.8:1	1:1	1.2:1	1.4:1	1.6:1
容器中状态	搅拌无结块, 状态均匀	搅拌无结块, 状态均匀	搅拌无结块, 状态均匀	搅拌无结块, 状态均匀	搅拌无结块, 状态均匀	搅拌后偏稀	搅拌后偏稀
施工性(喷涂)	无困难	无困难	无困难	无困难	无困难	轻微不均匀	严重不均匀, 施工困难
手感	硬	硬	硬	偏软	硬	偏软	硬
表干时间	$\leq 3$	$\leq 3.5$	$\leq 2.5$	$\leq 4.5$	$\leq 2.5$	$\leq 3$	$\leq 3.5$
耐人工老化性	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化, 粉化, 变色 $\leq 1$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化, 粉化, 变色 $\leq 2$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化, 粉化, 变色 $\leq 1$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化, 粉化, 变色 $\leq 2$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化, 粉化, 变色 $\leq 1$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化, 粉化, 变色 $\leq 1$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化, 粉化, 变色 $\leq 2$ 级
上升温度/ $^{\circ}\text{C}$	1.6	1.4	1.7	0.9	1.3	1.9	2.1

### 3.3. 玻璃微珠用量对涂膜综合性能的影响

虽然,从理论上来说,玻璃微珠的用量越大其热反射性能越好,但是太多的填料将会导致涂料彻底无法有效成膜。同时,考虑到价格因素,过多的玻璃微珠用量也会导致涂料竞争优势下降,因此有必要深入考虑玻璃微珠用量对涂料综合性能的影响。在确定了玻璃微珠粒径与不同粒径玻璃微珠的复配比例优选方案之后,我们分别探究了复配比例为 1.2:1 粒径为 60  $\mu\text{m}$  和 160  $\mu\text{m}$  的玻璃微珠添加量从 4% 到 18% 范围变化之时的产品的隔热性能和其它综合性能,各含量产品检测结果如表 2 所示。研究发现随着玻璃微珠用量的增加,漆膜的隔热性能逐渐增强,其中玻璃微珠添加量为 14% 时,隔热性能最优异,但其施工性,硬度和耐人工老化性都次于添加量为 12% 的产品。所以,从综合性能数据以及成本等多角度考虑,最终选择玻璃微珠添加量为 12% 时的产品为优选产品。

Table 2. Dosage effect of glass beads on product performance

表 2. 玻璃微珠用量对产品性能的影响

检测项目	玻璃微珠用量/%							
	4	6	8	10	12	14	16	18
容器中状态	搅拌无结块,状态均匀							
施工性(喷涂)	无困难	无困难	无困难	无困难	无困难	轻微不均匀	轻微不均匀	严重不均匀,施工困难
手感	硬	硬	硬	硬	硬	偏软	偏软	偏软
初期干燥抗裂性	无裂纹	轻微裂纹						
表干时间	$\leq 2$	$\leq 2.5$	$\leq 2.5$	$\leq 2.5$	$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 3.5$	$\leq 4.5$
耐水性	无起泡、开裂、剥落,颜色无变化	无起泡、开裂、剥落,颜色无变化	无起泡、开裂、剥落,颜色无变化	无起泡、开裂、剥落,颜色无变化	无起泡、开裂、剥落,颜色无变化	无起泡、开裂、剥落,颜色无变化	无起泡、开裂、剥落,轻微发黄	无起泡、开裂、剥落,轻微发黄
耐碱性	无起鼓、开裂、剥落,颜色等变化	无起鼓、开裂、剥落,颜色等变化	无起鼓、开裂、剥落,颜色等变化	无起鼓、开裂、剥落,颜色等变化	无起鼓、开裂、剥落,颜色等变化	无起鼓、开裂、剥落,颜色等变化	无起鼓、开裂、剥落,轻微发黄	无起鼓、开裂、剥落,轻微发黄
耐人工老化性	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化,粉化,变色 $\leq 1$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化,粉化,变色 $\leq 2$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化,粉化,变色 $\leq 2$ 级	600 h 后涂层无开裂、剥落等变化,粉化,变色 $\leq 2$ 级				
上升温度/ $^{\circ}\text{C}$	2.9	2.5	1.6	1.3	1.1	0.9	1.3	1.0

## 4. 结论

本文选取了玻璃微珠作为真石漆的主要隔热填料,通过一系列的实验,探究出了空心玻璃微珠最佳复配比为 60  $\mu\text{m}$ :160  $\mu\text{m}$ ,二者比例为 1.2:1,且二者总添加量为 12% 时为隔热反射真石漆的最佳优选配方,此时它的隔热性能及综合性能最佳。考虑到市场上所售玻璃微珠产品尺寸与理论数值之间肯定会存在一定的差异,本文所选用复配的两种玻璃微珠尺寸比例(小球:大球 = 0.375)已经较为接近 Horsfield 理论所得出的结论;同时,本文所选用的玻璃微珠中小球的尺寸较小,在复配之时小球比例必须略微偏高,才能取得较好的密堆积效果,这一点也得到了实验的验证。因此,本文所配置的隔热涂料能最大化地通过不同尺寸的玻璃微珠的紧密排列,取得良好的隔热反射效果。最终,在相同的测试条件下,通过优选配方制备的真石漆在实验条件下比未添加空心玻璃微珠的产品温度低了 4.6 $^{\circ}\text{C}$ 。将该产品用于外墙涂料,可

大大降低夏天室内的温度，达到了节能减排的效果。

### 参考文献

- [1] 关有俊, 熊永强. 隔热涂料在夏热冬暖地区的应用及节能分析[J]. 涂料工业, 2013(7): 43-46.
- [2] Fantucci, S. and Serra, V. (2019) Investigating the Performance of Reflective Insulation and Low Emissivity Paints for the Energy Retrofit of Roof Attics. *Energy & Buildings*, **182**, 300-310. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.003>
- [3] 李志强. 浅淡中空填料在耐高温隔热涂料中的应用[J]. 上海涂料, 2010, 48(11): 50-52.
- [4] 余龙, 何海华. 新型水性高反射高辐射隔热涂料的制备及性能研究[J]. 涂料技术与文摘, 2012, 50(5): 13-16.
- [5] Bozsaky, D. (2018) Series of Experiments with Thermal Insulation Coatings Consisted of Vacuum-Hollow Nano-Ceramic Microspheres.
- [6] Yuan, J., Emura, K. and Farnham, C. (2015) Geometrical-Optics Analysis of Reflective Glass Beads Applied to Building Coatings. *Solar Energy*, **122**, 997-1010. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.015>
- [7] 王琳, 魏浩, 桂泰江. 影响反射隔热涂料隔热效果的因素研究[J]. 现代涂料与涂装, 2008(12): 8-11.
- [8] 张军科, 刘耀鹏. 建筑隔热涂料及其发展趋势[J]. 上海涂料, 2012, 50(12): 30-33.
- [9] 刘同年. Horsfield 填充理论在超细粉煤灰填充水泥颗粒上的运用[J]. 河南建材, 2007(4): 25-27.
- [10] 叶大年, 张金民. 非等大球体的任意堆积[J]. 地质科学, 1990(2): 127-136.