建筑外墙保温隔热水性涂料的制备及其性能

张海棠

湖州绿色新材股份有限公司, 浙江 湖州 313023

DOI: 10.61369/SSSD.2025030024

摘要：本文介绍了建筑外墙保温隔热水性涂料的制备及其性能研究，分析了保温隔热涂料的定义、分类及其性能要求。然后，探讨了水性涂料的主要成分、制备工艺及配方优化策略，以提升其隔热效果和耐候性。文章详细分析了涂料的热导率、力学性能、环境稳定性及环保性能测试方法，并对实验结果进行讨论^[1]。研究表明，优化乳液和填料配比可有效提高涂层的保温隔热性能，同时降低 VOC 排放，符合绿色建筑要求。该研究为建筑节能材料的发展提供了理论与实践依据。

关键词：建筑外墙；保温隔热；涂料；制备方法

Preparation and Properties of Water-based Thermal Insulation Coating for Exterior Walls of Buildings

Zhang Haitang

Huzhou Green New Materials Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang 313023

Abstract : This article introduces the preparation and performance research of water-based coatings for building exterior wall insulation, and analyzes the definition, classification, and performance requirements of insulation coatings. Then, the main components, preparation process, and formulation optimization strategies of water-based coatings were discussed to enhance their thermal insulation and weather resistance. The article provides a detailed analysis of the testing methods for thermal conductivity, mechanical properties, environmental stability, and environmental performance of coatings, and discusses the experimental results. The research shows that optimizing the ratio of lotion and filler can effectively improve the thermal insulation performance of the coating, while reducing VOC emissions, meeting the requirements of green buildings. This study provides theoretical and practical basis for the development of building energy-saving materials.

Keywords : exterior walls of buildings; thermal insulation; paint; preparation method

引言

建筑外墙的保温隔热性能对建筑节能和室内舒适度至关重要。近年来，随着环保法规的日益严格以及人们对绿色建筑的需求不断增加，水性涂料因其低挥发性有机化合物（VOC）排放、安全环保等特点，逐渐成为建筑外墙保温隔热的理想选择。保温隔热涂料通过降低建筑外墙的热传导、反射太阳辐射、提高辐射散热能力等方式，减少建筑物内部热量的流失或外部热量的侵入，从而有效提高建筑节能效率。

一、建筑外墙保温隔热涂料的基础

（一）保温隔热涂料的定义与分类

保温隔热涂料是一种减少热传导、降低能耗并提高建筑热工性能的功能性材料，广泛用于建筑外墙、屋顶及工业设备表面，以减少热量进出，提高节能效果。随着节能环保需求增长，保温隔热涂料因其施工便捷、环保性强，成为绿色建筑的重要材料^[2]。根据其主要的隔热方式，可分为以下四类：

反射型涂料采用高反射率颜料（如二氧化钛、氧化铝），减少太阳辐射吸收，降低墙体温度，适用于高日照地区，有助于减少空调能耗。辐射散热型涂料采用高发射率材料（如氧化锌、氧化镁），增强墙体散热能力，加快热量释放，适用于高温环境，可有效降低墙体积聚温度。阻隔传热型涂料利用低导热材料（如空心玻璃微珠、气凝胶）形成热阻层，减少热量传递，适用于温度控制要求高的建筑，如住宅、办公楼。复合型涂料综合反射、辐射和阻隔功能，采用多层复合结构，适应不同气候条件，被广

泛应用于现代节能建筑^[3]。

(二) 保温隔热涂料的性能要求

建筑外墙保温隔热涂料需具备优异性能，以确保其长期稳定可靠。主要性能要求包括：

(1) 热物理性能：涂料的导热系数应 $\leq 0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，部分厂家产品甚至已实现 $\leq 0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，以降低热量传递。高太阳光反射率($>85\%$)减少辐射吸收，高远红外发射率($>80\%$)有助于散热，降低建筑温度，减少空调能耗，提高节能效率。

(2) 力学性能：外墙长期受风雨侵蚀，涂料需具备高附着力($\geq 1.0\text{MPa}$)，避免剥落起泡。同时，耐冲击、抗裂性良好，防止因温差或外力作用导致的裂纹，通常添加增强剂提升柔韧性。

(3) 耐候性：涂料需抗紫外线、耐湿热、耐腐蚀，在 -20°C 至 80°C 环境下保持稳定，不粉化、不龟裂，适用于恶劣气候条件，确保长期使用效果。

(4) 环保性能：水性涂料应低VOC($\leq 50\text{g}/\text{L}$)，无毒无害，减少污染，具备耐水耐污特性。部分高端产品具自清洁功能，可随雨水冲刷灰尘，降低维护成本。

二、建筑外墙实现保温隔热用途的水性涂料制备法

(一) 主要成分及其功能

主要由成膜物质、功能填料、溶剂和助剂四大部分组成了建筑外墙保温隔热水性涂料，各成分对涂料性能的发挥起到了关键作用，达成合理配比后涂料的隔热效果和耐久性可得到明显提高，作为水性涂料的基础成分正是成膜物质，赋予了涂层以附着力、柔韧性和耐候性的特质。目前现阶段最普遍使用的成膜物质有丙烯酸乳液和硅丙乳液，展现出极其优异的耐候性与耐水性，可凭借有效手段抵御紫外线的老化效应，进而生成坚韧且透明的涂膜，保证涂层在长时间的使用阶段中不易发生粉化及剥落现象，经由引入硅氧烷结构这一途径，实现了对涂层憎水性和透气性的提升，让涂层拥有阻止水分侵入的功效，还可维持墙体内部水汽的排放状态，防止涂层出现起泡或开裂现象^[4]。

水性保温隔热涂料的核心成分由功能填料充当，主要功能是实现热导率的降低，增进涂层的隔热功效，以空心玻璃微珠、气凝胶、二氧化钛等为代表的是常见功能填料，内部大量容纳了惰性气体，呈现出极低的导热系数值，可高效降低涂层热传导的效率。同时借助空心玻璃微珠可提升涂层的耐磨性与强度，以增强其持久耐用的特性，作为现今处在先进行列的隔热材料之一，气凝胶被检测出孔隙率高达90%以上，属于典型的纳米多孔材料，其导热系数通常在 $0.013\sim 0.025\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间，但实际市场产业化产品大多导热系数约为 $0.15\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，可显著提升涂料达成的保温隔热效果，虽说成本维持在较高值，但在满足高性能需求的建筑应用中，二氧化钛作为高反射率颜料，能够显著提升涂层对太阳光的反射效能，减少墙体热量的积聚，特别适合高日照地区使用。而气凝胶作为功能填料，虽然不属于颜料，但其具有极低的导热系数，可以有效提高涂层的隔热效果，因此也适用于需要高保温隔热性能的建筑。

(二) 制备工艺

其制备工艺对水性保温隔热涂料的最终性能影响重大，适配的制备流程可保障涂料具备稳定性、均匀性以及上佳的隔热效果，原材料预处理成为制备工艺的关键第一步，主要是针对功能填料做表面改性工作，进而提升其在水性体系里的分散性和稳定性^[5]。例如就空心玻璃微珠密度低、容易出现漂浮和沉降而言，一般需借助硅烷偶联剂或者其他表面活性剂进行处理，以达到增强其在乳液里均匀分散性的目的，接下来要进入的是分散混合这一阶段，向去离子水中添加成膜物质，之后按顺序逐步添加功能填料，随后采用高速分散机中的一种进行充分混融，该过程意在让填料在水性体系里实现均匀分布，阻止填料形成团聚或沉降现象，从而让涂料整体性能处于理想水平。

第三步是针对调配实施优化，主要是针对粘度、pH值与涂料稳定性开展调整，借助增稠剂的加入可强化涂料的流变性，令其在施工这一阶段具备良好的流动性，又能在进行涂刷后迅速促成膜的形成，防止出现流挂或者施工不平整的状况，常用增稠剂里面有纤维素醚和聚氨酯类增稠剂，前者可使涂料保水性的相关指标提高，后者可令涂料的流平性获得提升，过滤与包装为最后阶段，该阶段的主要目的是去除混合期间可能出现的杂质以及未充分分散的填料颗粒，以此来增强涂料的细腻度与施工的质量水平，筛选时往往采用80-150目的过滤网达成，使涂料达成均匀细腻的效果。

(三) 配方优化

对水性保温隔热涂料配方实施优化是提升涂层综合性能的关键要素，主要围绕对乳液含量进行精确控制、对功能填料比例进行恰当调整、对助剂进行审慎选择以及对增稠体系进行深度改进等方面展开，对配方进行合理优化可增强涂层的隔热效果，还能让其耐候性、环保程度及施工性能得以增强，进而适应不同环境条件下建筑应用的实际需要。若想提高涂层的耐候性和柔韧性优化乳液含量必不可少，以成膜物质形式存在的乳液，对涂层的附着力、抗裂性和耐水性起着直接决定性作用，涂层柔韧性可凭借较高的乳液含量获得增强，令其于温度变化剧烈的环境当中不易裂开，与此同时增强涂层对水的耐受能力，杜绝因雨水渗透造成涂层出现剥落或粉化问题，然而过高的乳液含量有降低涂层透气性的可能，影响墙体针对湿度调节的能力，因此在开展配方优化相关工作进程里，要权衡好乳液含量高低的恰当比例，以达成涂层具备充足耐候性的要求，又不会令其保温隔热的实际效果变差^[6]。

作为提升涂料隔热性能的核心策略是对功能填料比例加以调整，例如在高温气候所覆盖的地区处，可酌情增加二氧化钛的含量，借此提升涂层在太阳光方面的反射率，让涂层对热量的吸纳量降低，就寒冷地区的情形而言，可合理增加气凝胶与空心玻璃微珠二者的比例，以实现涂层导热系数的降低，实现涂层保温效果的优化^[7]。此外填料粒径及其分布的均匀性也能够影响涂层的性能表现，例如让涂层机械强度提高可采用微米级填料，涂层的密度和热阻性能会因纳米级填料而得到增强，因此在实际运用相关事物的阶段，一般会采用对不同粒径填料复配做法，借此达到十分理想的隔热效能。

三、针对建筑外墙保温隔热水性涂料性能测试做具体分析

(一) 热导率与隔热性能

作为衡量保温隔热涂料的关键指标之一热导率很关键,直接左右着涂层的隔热成效,大多采用热流计法对涂层的导热系数实施测定,保证涂层的导热系数控制在 $\leq 0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 水平,以达成减少热量传递的目的,优化建筑呈现的节能实际效果。此外为能更直观地去衡量涂层的隔热能力状况,可利用红外热像仪去监测涂层在各类不同环境温度时的热分布情形,实验往往采用厚度各异的涂层,且于高温(50°C至70°C)和低温(0°C到10°C)的环境之中检测其热流密度,以对涂层热稳定性进行观察。处于实际应用开展的阶段,决定涂料隔热能力的不只是导热系数,还跟其太阳光反射率以及远红外发射率情况密切相关,可减少太阳辐射热量吸收的是高反射率涂层这一材料,能让墙体散热加速的是高发射率涂层,借此实现整体隔热效果的优化。

(二) 力学性能与附着性

力学性能会直接左右涂层的耐久性,断定了其在长时间使用的时候是否容易出现剥落、开裂或损坏情形,作为常见力学性能测试的有拉伸试验、冲击试验和划格法测试,其目的在于评估涂层应对变形的能力和承受冲击的性能,在拉伸试验实施的阶段,评估样品在承受外力作用阶段的应变情形,从而判定涂层的延展性和抗开裂特性;冲击试验是借助对外力的施加,测定涂层在面临外界冲击时是否出现剥落或破损情形^[6]。作为评估涂层与基材粘附强度的重要手段附着力测试不可或缺,大多采用划格法(依据ASTMD3359标准)或拉拔法(依据ISO4624标准)开展测定,在建筑外墙涂料这一范畴内,应实现附着力达到 $\geq 1.0\text{MPa}$ 的情形,以保证其在面临恶劣环境时依然可以稳固地附着于墙体表面,不易脱落。

(三) 环境稳定性与耐候性

处于户外的建筑外墙经历长期暴露,需面临高温低温转换、湿度起伏、雨水冲蚀及紫外线辐射等环境状况,因此涂层具备良

好耐候性显得尤为关键,为实现模拟实际使用环境这一目标,一般会采用人工加速老化实验,凭借进行500~1000小时的老化测试,审视涂层颜色的变化、光泽维持的比率、粉化的程度与附着力的改变情形,按照实验要求涂层在历经1000h老化测试后要保持90%以上初始性能,不会出现严重的粉化、开裂与剥落情形。此外作为重要考察指标涂层的耐湿热及耐腐蚀性能不容忽视,在表现出高湿度特性的环境里,涂层存在吸水后膨胀的倾向,引起涂层的机械性能表现出下降^[9]。

(四) 环保性能

伴随绿色建筑标准的逐步提高,越来越多的目光投向建筑涂料的环保性能,应使水性保温隔热涂料呈现低VOC排放、无毒无害、可持续性较强等表现,来实现降低空气质量与人体健康受影响情况的效果,一般情况下实验采用气相色谱法检测涂层的VOC(挥发性有机化合物)含量,要求其含量不得高于50g/L,与绿色建筑标准相契合,此外需要对涂层的诸如甲醛释放量、重金属含量等指标予以测定,从而保证其满足环保法规的相关要求。除了低VOC排放这项特性外,耐水性以及耐污染性同样是衡量涂料环保性能的关键指标,处于实验室营造的条件范畴内,必须对涂层开展耐水浸泡试验,保证涂层经过长时间水浸后结构完整未受破坏,无有害的物质析出。

四、结论

建筑外墙保温隔热水性涂料在节能建筑中的应用日益广泛,其制备工艺和性能优化具有重要研究价值。本文介绍了保温隔热涂料的定义、分类及其主要性能要求,详细阐述了水性涂料的主要成分、制备工艺及配方优化策略^[10]。此外,通过热导率、力学性能、环境稳定性及环保性能的测试分析,验证了水性保温隔热涂料的应用可行性。研究表明,合理调整涂料配方,采用高效功能填料,能有效提高涂层的保温隔热性能,并满足耐候性及环保要求,为未来建筑节能技术的发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 孙振华, 吴胜南. 高层建筑外墙保温隔热施工技术的创新与应用[J]. 新城建科技, 2024, 33(09): 64-66.
- [2] 梅治国. 建筑外墙用保温隔热涂料的性能研究[J]. 广东建材, 2024, 40(07): 27-30.
- [3] 刘新惠. 民用建筑节能检测中常用外墙保温隔热材料检测方法研究[J]. 广东建材, 2024, 40(04): 46-49.
- [4] 李静宇. 建筑外墙保温隔热水性涂料的制备及其性能[J]. 衡水学院学报, 2022, 24(01): 18-21.
- [5] 陈中华, 张玲. 水性建筑隔热保温外墙涂料的研制[J]. 电镀与涂饰, 2012, 31(12): 57-62.
- [6] 王晓伟. 水性复合型外墙隔热保温涂料的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.DOI: 10.7666/d.D260524.
- [7] 陈福旺. 建筑外墙保温隔热技术探析[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2013(16).
- [8] 刘雷汉. 浅谈建筑外墙保温隔热技术[J]. 装饰装修天地, 2018, 000(001): 42.DOI: 10.3969/j.issn.1006-2122.2018.01.042.
- [9] 刘磊, 李晓虹, 王林, 等. 保温隔热材料在建筑外墙外保温中的应用研究[J]. 新型建筑材料, 2016, 43(4): 5.DOI: 10.3969/j.issn.1001-702X.2016.04.007.
- [10] 姜奇奇. 建筑外墙保温材料的开发与应用性能研究[J]. 建筑节能, 2020(5): 4.DOI: CNKI: SUN: FCYY.O.2020-05-026.