

填料在乳胶漆墙面涂料中对能源的影响

本研究评估了三种不同的无机填料如何影响外墙涂料对阳光的反射能力。虽然外墙涂料具有更好的太阳反射率和热辐射性能可以为建筑使用者节约能源，但改变反射填料可能会对涂料的物理和机械性能产生无意的影响。在调整配方时，必须考虑成本节约与功能性能之间的平衡。适当的开发和测试工作可以帮助公司放心地进行这些调整。

1 为什么反射率和热辐射很重要

图1中的图表说明了太阳反射率和热辐射之间的区别。涂层反射太阳能、热量和阳光的能力可以防止热量被吸收到建筑结构中。涂层的热辐射是指它将热量从建筑物表面辐射出去的能力。减少进入建筑物的太阳热和辐射热，可以降低能源使用量，延长暖通空调设备的使用寿命。

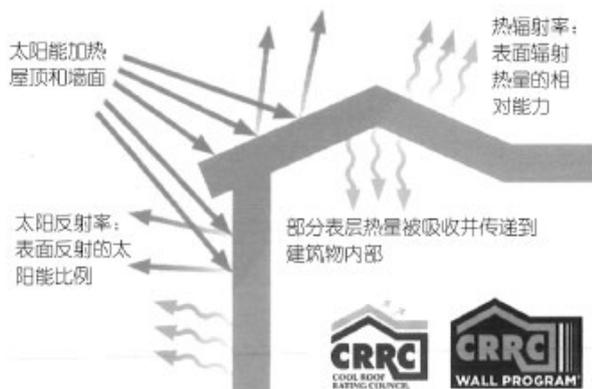


图1 太阳反射率和热辐射率示意图

在宏观层面上，对暖通空调系统的需求减少可以提高旺季的电网稳定性，并改善空气质量。空调使用量的减少也减少了为城市供电所需的化石燃料发电量，吸收热量的减少也减少了城市热岛效应（图2）。

当城市环境中的温度高于周边地区时，就会产生城市热岛。地表温度高会导致空气温度升高，尤其是在夜间。热岛会增加与热有关的不适、疾病和死亡。它们还会导致空调使用量增加，从而增加能源成本和空气污染。城市热岛对弱势社区的影响更大。

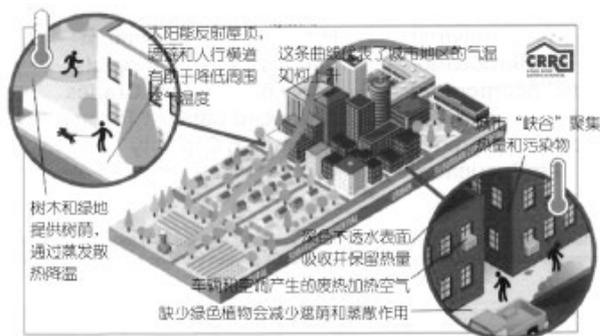


图2 城市热岛

测试太阳反射率的方法有多种，包括美国建筑标准协会（ASTM）的测试方法以及美国凉爽屋顶评级委员会（CRRC）的测试方法。表1 列出了各种产品的使用方法。

2 什么是CRRC

凉爽屋顶评级委员会(CRRC)是一个非营利性组织，致力于开发公平、准确和可信的方法，用于评估和标注屋顶和外墙产品的热辐射特性。CRRC的使命是将与凉爽表面相关的客观、科学信息引入有关热岛、极端高温和建筑环境中能源使用影响的重要讨论和明智决策中。

3 对照配方

本研究采用了标准的外墙面乳胶漆涂料筛选配方。本研究的变量是3%的三种不同填料：氧化锌、碳酸钙和二氧化钛。除了3%的填料变量外，所有配方都含有5%的二氧化钛。配方在LightninLIV08高速密炼机内混合。混合物的搅拌转速为500r/min，在最后一个循环中加入Texipol时转速增至800r/min。表2列出了全部配方。

4 物理性能测试

氧化锌涂层具有最高的物理性能。所有涂料都具有非常好的物理性能，适用于乳胶漆墙面涂料的应用。图3-图8显示了物理性能比较。碳酸钙试品具有最高的

表1 太阳能反射率测试方法

测试方法	设备	产品	屋顶	墙壁
ASTMC1549	便携式反射仪	大多数(除以下外)	空气质量1.5(SSRv5)或1.5E(SSRv6)	1.590(空气质量1.5, 倾斜90°), 在配有GV-9EPROM的SSRv6上
CRRC-1, 测试方法#1	便携式反射仪	瓷砖, 木, 杂色的东西	空气质量1.5(SSRv5)或1.5E(SSRv6)	1.590(空气质量1.5, 倾斜90°), 在配有GV-9EPROM的SSRv6上
CRRC瓷砖模板法	便携式反射仪	瓷砖	空气质量1.5(SSRv5)或1.5E(SSRv6)	不适用
ASTME903(含E891)	光谱仪	任何	空气质量1.5	全局90°(空气质量1.5, 倾斜90°)
ASTME1918	日射强度计	任何	注: 室外测试	不适用
ASTMC1864	便携式反射仪	定向反射材料	空气质量1.5(SSRv5)或1.5E(SSRv6)	不适用
CRRC骨料测试法	便携式反射仪	骨料产品	空气质量1.5(SSRv5)或1.5E(SSRv6)	不适用
CRRC定向半球太阳反射率测试法	410-solar-i	大多数(除了以上)	E891BN(空气质量1.5)	G197GT90(空气质量1.5, 倾斜90°)

表2 墙面涂料配方

材料	质量百分比%		
	变体1	变体2	变体2
乳胶	89.00%	89.00%	89.00%
Texipol	1.00%	1.00%	1.00%
二氧化钛	5.00%	5.00%	8.00%
氧化锌	3.00%	0.00%	0.00%
碳酸钙	0.00%	3.00%	0.00%
石蜡油	1.00%	1.00%	1.00%
Irganox1010	1.00%	1.00%	1.00%

粘度。这可能会影响应用中的喷洒速率。所有涂层均通过了低温柔韧性测试(表3)。

表3 低温柔韧性

-10°C(0.5芯棒)时的低温柔韧性	氧化锌	碳酸钙	二氧化钛
-26°C(0.5芯棒)时的低温柔韧性	通过	通过	通过

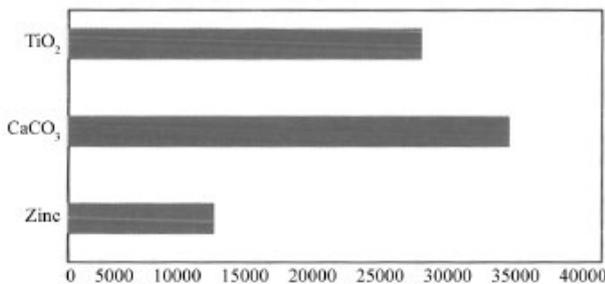


图3 粘度 (cPs)

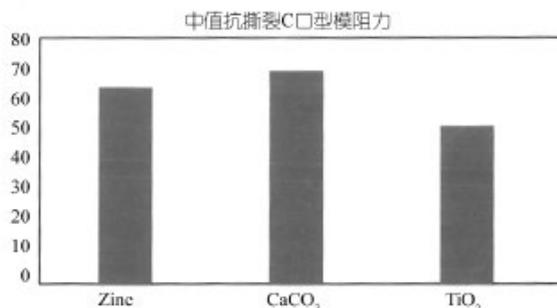


图4 ASTMD624, C型抗撕裂强度 (磅/英寸)

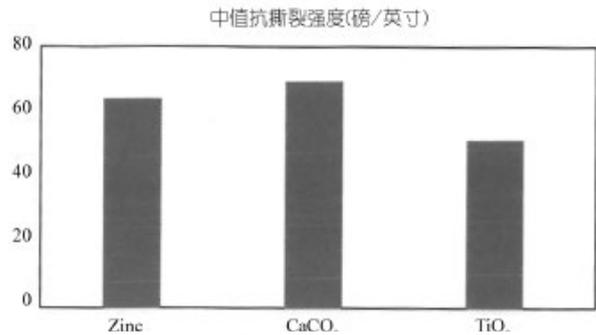


图5 ASTMD412C型模具, 断裂应力中值 (磅/平方英寸)

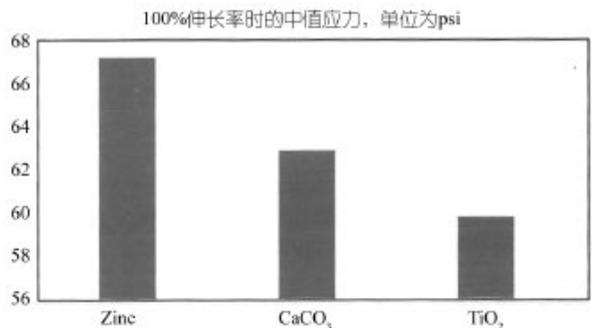


图6 ASTMD412C型模具, 100%伸长率下的应力 (psi)

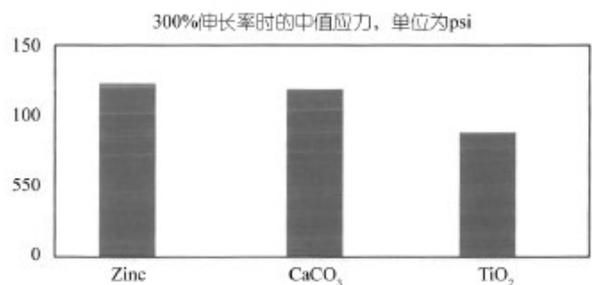


图7 ASTMD412C型模具, 300%伸长率下的应力 (psi)

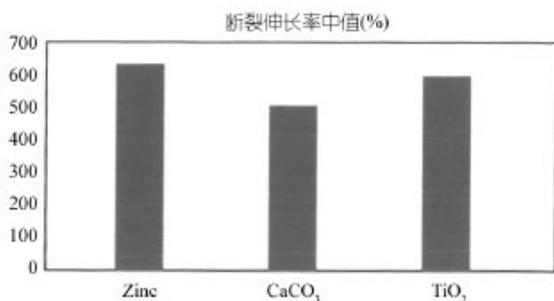


图8 ASTMD412C型模具，断裂伸长率(%)



图10 在瓷砖上使用的太阳能反射仪装置

5 实验室老化测试

CRRC根据ASTMD7897《屋顶材料实验室污垢和风化标准实施规程》提供快速评级，以模拟自然暴露对太阳反射率和热辐射的影响。快速评级包括一个可选的产品评级过程，当屋顶涂料产品在经历三年的自然天气时，该过程为其提供临时实验室老化值。

然而，CRRC目前不提供外墙面涂料产品的快速评级，因为ASTMD7897是专门针对屋顶涂料产品的。寻求CRRC评级的外墙产品在三个不同的气候区以90°朝南的角度暴露在自然中风化三年。然而，本研究使用了ASTMD7897程序作为代理，以表明污垢和紫外线暴露如何影响所评估配方的太阳反射率和热辐射率。

试品尺寸为4英寸×4英寸，在此基础上进行初始太阳反射率和热辐射测量。初始测量结束后，将试品放入QUV（紫外老化试验箱）老化24h。在QUV老化24h后，使用一种液体、粘土和其他成分的混合物弄脏试品，这种混合物类似于北美发现的土壤/泥土，方法是将土壤混合物直接喷洒到正在老化的试品上。图9展示了用于该测试的仪器。土壤干燥后，将试品放回QUV中再老化24h。QUV老化结束后，取出试品并在红外灯下烘干。再次测量太阳反射率和热辐射率。图10显示了本研究使用的便携式反射仪装置。图11提供了ASTMD7897所规定的模拟现场曝晒的概要。

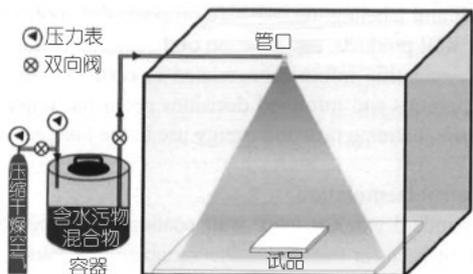


图9 ASTMD7897中的污物处理仪器

1. 在污染后通过风化装置进行暴露测试
 - 总计24小时（2个周期）
 - 第一周期：在0.89 W/m²/nm和60°C的UVA-340的条件下照射8小时，并在50°C下进行4小时的水蒸气凝结。
 - 第二周期：空气干燥。
2. 污物
 - 模拟由灰尘、盐、有机物和酸反应或的水性混合物
 - 颗粒总质量为8±1 mg/cm²
 - 在红外灯下干燥。
3. 污染处理后通过风化装置进行暴露测试
 - 总计24小时（2个周期）
 - 其中，1个周期包括在0.89 W/m²/nm和60°C的条件下照射8小时，以及在50°C下进行4小时的水蒸气凝结。
 - 随后，进行空气干燥。

图11 ASTMD7897模拟现场暴露总结

综上所述模拟了暴露于外部环境三年后的太阳反射率和热辐射率，表明了测试材料保持结构冷却的效果。这些测量值可用于CRRC评级程序，直到三年现场老化结果可用，此时这些结果将用于评级程序。

本研究的太阳反射率和热辐射数据如图12所示，太阳反射系数（SRI）如图13所示。图14-19分别显示了三种涂层在污损和老化前后的情况。

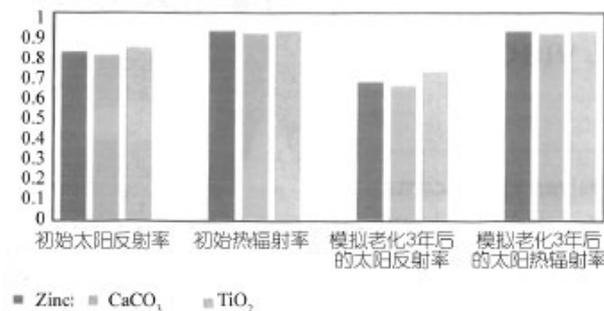


图12 反射率和热辐射率

总之，含8%二氧化钛的批次表现最好，初始太阳反射率为0.82，热发射率为0.90，SRI为103。按照ASTMD7897标准进行污损处理后，批次3的太阳反射率为0.71，热辐射值为0.90，SRI为87；其次是含有氧化锌的批次1和含有碳酸钙的批次2。

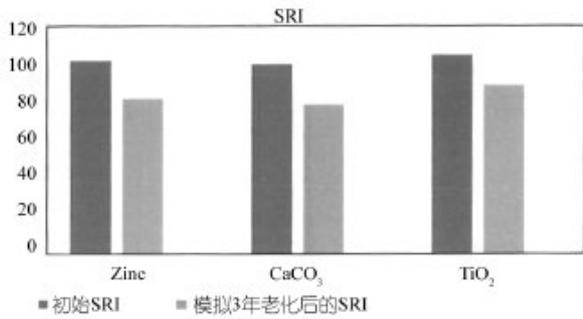


图13 太阳反射系数 (SRI)

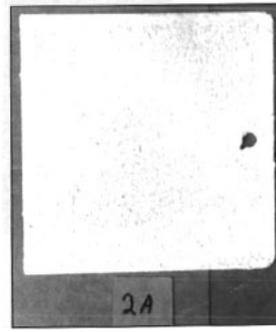


图18 初始TiO₂涂层

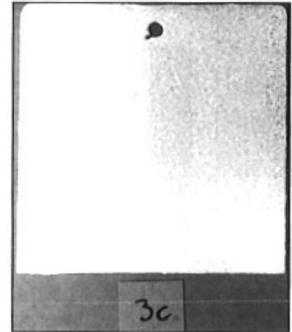


图19 污损的TiO₂涂层

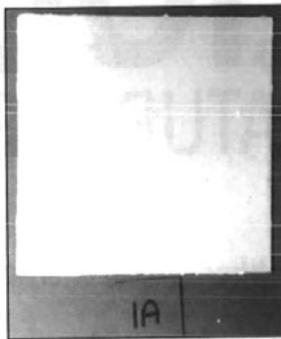


图14 初始氧化锌涂层

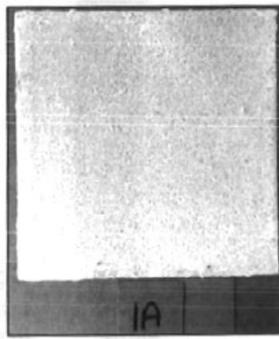


图15 污损的氧化锌涂层



图16 初始CaCO₃涂层

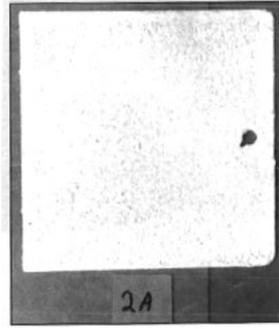


图17 污损的CaCO₃涂层

与其他两批相比，第3批明显更白、更亮。含有全部二氧化钛的第3批可以帮助建筑物在夏季和炎热的日子里保持凉爽，从而节约能源。在三个批次中，碳酸钙的效果最差，但它通常用作此类涂料的填料，而且价格低于其他填料。所有批次的涂料在此应用中都具有优异的物理性能。

作为外墙涂料，二氧化钛可为建筑物带来最佳的能源效率。成本和重力问题促使人们进一步开发部分替代品，同时还能获得反射和热辐射性能。

在过去的十年中，技术和测试程序得到了极大的改进。这使我们能够更好地预测墙面或屋顶涂层的性能。

摘编自《RubberWorld》No.11/2023

章羽

