

# Research on the Modification of Road Marking Coatings Based on Improved Weather Resistance and Wear Resistance

Hua Song

Nanjing Xinliang Transportation Facilities Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211100, China

## Abstract

To address the issue of shortened service life caused by insufficient weather resistance and wear resistance in road marking coatings, this study investigates performance enhancement through material modification. First, the microscopic mechanisms of coating aging and wear are analyzed, identifying ultraviolet radiation, thermal-humid cycling, and vehicular loading as the primary factors leading to performance degradation. Based on this, suitable weather-resistant modifiers and wear-resistant fillers are selected, and the formulation of composite modified coatings is optimized. By preparing modified samples and designing accelerated aging and wear tests, the effects of UV aging and thermal-humid cycling on coating performance are systematically studied, along with the wear characteristics under different loading conditions. The results indicate that the modified materials effectively delay the photo-oxidative degradation of the coating matrix and enhance the surface abrasion resistance. This study provides a theoretical basis for the formulation design and engineering application of high-performance road marking coatings.

## Keywords

road marking coatings; weather resistance; wear resistance; modification mechanism; performance evaluation

# 基于耐候性与耐磨性提升的公路标线涂料改性研究

宋华

南京鑫亮交通设施有限公司, 中国·江苏南京 211100

## 摘要

针对公路标线涂料在服役过程中因耐候性与耐磨性不足导致使用寿命偏短的问题, 本文开展基于材料改性的性能提升研究。首先分析涂料老化与磨损的微观机理, 明确紫外辐射、温湿循环及车辆荷载是性能衰减的主要诱因。在此基础上, 筛选适宜的耐候改性剂与耐磨填料, 优化复合改性涂料的配比方案。通过制备改性试样并设计加速老化与磨损试验, 系统研究紫外老化、温湿循环对涂料性能的影响规律, 探讨不同载荷条件下的磨损特性。结果表明, 改性材料能够有效延缓涂料基体的光氧降解进程, 增强涂层表面抗磨削能力。本文为高性能公路标线涂料的配方设计与工程应用提供了理论依据。

## 关键词

公路标线涂料; 耐候性; 耐磨性; 改性机理; 性能评价

## 1 引言

公路标线属于道路交通安全管理的关键形成局部, 其可视性与耐久性同行车安全以及道路通行效率休戚相关。传统标线涂料长时间置于户外之后极易发生粉化、褪色以及剥落之类的老化状况, 受到车辆不断碾压和磨损的影响, 反光能力和识别度会极速下滑。因此, 提升标线涂料的耐候性和耐磨性就成了道路工程材料界的研究焦点。改性技术把功能性的添加剂或者填料加入到涂料基体当中, 可以明显加强涂层对于环境的适应能力和力学方面的性能<sup>[1]</sup>。本文先做理论剖析, 再深入探究改性材料的作用原理、配方优化的办法以及性能评定的方式, 希望给公路标线涂料的技术革新提供科

学依据。

## 2 耐候性与耐磨性提升的理论基础

### 2.1 涂料老化与磨损的机理分析

公路标线涂料处于户外服役环境时, 会受到紫外辐射、温度变化、水分侵蚀以及车辆轮胎不断摩擦的影响。紫外光促使涂料基料高分子链发生断裂和交联现象, 造成涂层表面出现微裂纹并且慢慢粉化。在温湿交替的过程中, 水分渗透涂层内部使界面结合力减弱, 冻融现象令涂层结构更为松散。而磨损现象体现为轮胎与标线表面存在微观切割以及疲劳脱落的情况, 粗糙峰相互碰撞致使材料渐渐从基体剥离。这些老化和磨损机理相互关联, 共同决定了标线涂料的服役期限。

### 2.2 改性材料对性能提升的作用机制

改性材料通过物理共混或者化学键合的方式融入到涂

【作者简介】宋华(1971-), 男, 中国江苏泰州人, 从事化学工程研究。

料基体当中,从诸多方面来加强耐候性和耐磨性。耐候改性剂像紫外吸收剂以及受阻胺光稳定剂,可以捕捉自由基并且遮挡有害的紫外光,推迟高分子材料的光氧降解反应。耐磨填料比如陶瓷微粉和纤维状材料,在涂层里塑造起加强骨架,提升涂层的硬度及其抗剪切能力。改性材料还能够提升涂料与路面基层之间的附着力,缩减界面的瑕疵,进而防止因应力集中而产生的涂层剥离现象<sup>[2]</sup>。复合改性策略依靠多组分的协同作用,达成耐候性和耐磨性的共同改良。

### 3 改性材料筛选与配方设计

#### 3.1 耐候改性剂与耐磨填料的优选

耐候改性剂的筛选要着重关注它对紫外光的吸收效率及其与涂料基料的相容性。受阻胺类光稳定剂由于自由基捕获力强且持久性佳,所以被列为首选,紫外吸收剂则用于遮挡短波紫外线。耐磨填料的选取需综合考量硬度、粒径分布以及与树脂的浸润性。高硬度陶瓷填料可突出优化涂层抗划伤能力,纤维状填料则通过桥接效应来约束裂纹扩展。填料粒径过大时会减小涂层的致密度,粒径过小时又难以起到加强效果,因而必要确定恰当的粒径范围。

#### 3.2 复合改性涂料的配比优化

复合改性涂料的配比改良需协调耐候性与耐磨性相互制约的关系。耐候改性剂添加量少时抗老化效果不突出,添加量过多也许会影响涂料的施工性能及力学强度。耐磨填料的掺入量要控制在合理范围内,填料加入过量会造成涂层脆性增大,并且与基料结合不好。基料、改性剂和填料存在协同作用,所以要形成多目标改良准则,把耐候性指标和耐磨性指标当作评定依照。通过调节各组分的相对含量,可以促进改性涂料在老化速率和磨损速率上达成理想兼顾。

### 4 试样制备与试验方法

#### 4.1 改性标线涂料的制备工艺

改性标线涂料的制作采用高速分散与研磨结合的工艺路线。先按照比例把基料树脂和溶剂混匀,然后在搅拌下慢慢加入耐候改性剂,确保其完全溶解或者分散到树脂体系当中。接着加入耐磨填料和助剂,提升搅拌速度来达成各组分的均匀分布。混合好的浆料要经过三辊研磨机加工,让填料颗粒变得越发细小,而且改良其在基料里的分散状况<sup>[3]</sup>。在制作的时候还要控制好温度,防止改性剂发生分解,能得到流动性佳且储存稳定的改性标线涂料。

#### 4.2 耐候性加速试验方法

耐候性加速试验把紫外老化试验箱和温湿循环试验箱结合使用。紫外老化试验按有关标准来设置辐照强度以及温度循环参数,模仿自然环境当中太阳紫外辐射给涂层带来的逐步损害效果。温湿循环试验安排高温高湿和低温干燥相互轮换运行的状态,探究涂层在温度和水分不断交替影响下抵抗开裂和脱落的能力。在试验期间定时采集样品,检测涂层的色差、粉化程度以及附着力等参数,根据性能衰退曲线评

判各种改性方案的耐候性能好坏。

#### 4.3 耐磨性测试方法

耐磨性评定可采用旋转橡胶砂轮法或者线性磨耗试验法。评定之前要将改性涂料均匀涂抹在标准底板上,并彻底使其固化。评定期间需施加预设的载荷,还要控制好磨耗行程。通过测量涂层在指定磨耗次数前后质量的减小量或者厚度的减小量,以此来评判其耐磨性能。若想模仿实际交通荷载所包含的各种复杂状况,可以设置不同等级的载荷以及不同的磨耗介质展开对比评定。评定完毕之后应当查看磨痕的形态,剖析涂层发生磨损的原因是磨粒磨损、疲劳脱落还是黏着传递。

#### 4.4 微观表征与性能测试方法

要想了解改性材料改善涂料性能的深层原理,就要做微观层面的表征分析。用扫描电子显微镜来观察涂层断面以及被磨损表面的细微形态,分析填料的分布状况以及磨损之后裂纹的延伸方向。通过红外光谱分析可以监测到涂料基料在经过紫外老化前后特征官能团发生的变化,以此来评判光氧降解的程度。利用热重分析去考量改性涂料是否稳定,看填料和基料二者之间有没有热适应性。接触角测定能够表现涂层表面的湿润情况,从侧面显示出它抵抗水分渗透的能力。上述微观表征和后面的宏观性能检测相互验证,有助于形成起改性效果和微观结构之间的联系。

### 5 耐候性试验结果分析

#### 5.1 紫外老化对涂料性能的影响

紫外老化会引发涂料表面产生大幅的光氧降解反应,高分子主链发生断裂,造成涂层力学性能下滑。辐照时间不断增长时,未经过改良的涂料会出现较为明显的颜色改变和表面粉化情况,光泽度明显下降。紫外辐射先破坏涂料表层的树脂基料,使得填料颗粒失去包裹而暴露在外表面。加入了紫外吸收剂和光稳定剂的改良涂料,可以有效地抑制自由基链式反应,延迟表面降解的速度。长时间辐照之后,改良涂层仍然保留较好的完整性和颜色稳定性。

表 4-1 改性前后涂料的耐候性试验结果对比

评价指标	未改性涂料	改性涂料
色差 ( $\Delta E$ )	较大	显著减小
粉化等级	较高	保持较低水平
附着力保留率	较低	明显提高
预估服役寿命	基准	明显延长

#### 5.2 温湿循环下的性能演变

温湿循环时,水分渗入涂层内部,并聚集在涂料与基底界面处。高温下水分膨胀形成内应力,低温下水分结冰造成体积膨胀力,二者交替影响致使界面结合强度逐步减小。未改性的涂层经过多次温湿循环之后,会产生起泡现象,局部发生剥落,附着力大幅下降。而含有疏水性组分的改性涂料以及添加了增强剂的涂层,其水分渗透途径变少,抗拉强

度有所加强。完成循环试验之后,改性涂层的附着力保留率明显优于未改性的涂层,表明其对于温湿老化的抵抗能力得到了提升。

### 5.3 改性涂料的耐候性评价

综合紫外老化和温湿循环试验的结果来看,改性涂料在各个评价指标上都要优于未改性涂料。色差变化的幅度大幅缩减,粉化等级一直保持在比较低的水平,这显示出耐候改性剂起到了预期的保护作用。按照加速老化试验来推算等效的服役年限,改性涂料的预期使用寿命被明显延长<sup>[4]</sup>。往涂料里加入耐候改性剂,并没有给涂料的施工性能带来不良影响,涂层的干燥速度和流平性仍然符合施工需求。所以,所给出的改性配方在加强耐候性方面有着突出的效果。

## 6 耐磨性试验结果分析

### 6.1 不同载荷下的磨损特性

涂层的磨损量随着载荷的增多而呈非线性增长态势。在小载荷情况下,磨损大多体现为表面微凸体被磨平,当载荷加大时,磨粒压入的深度变大,切削效果变强,材料去除的比率明显提升。未经过改性的涂层在承受较高载荷的时候,会出现大面积的涂层脱落现象,其磨损机理由磨粒磨损转为疲劳剥层。而经过改性的涂层因为硬质填料具备承载能力,即便处于较高的载荷之下,其表面的形态仍然能够维持较为完整。载荷对于磨损特性产生影响,体现在摩擦系数的变动情况当中,在高载荷状态下,摩擦系数逐步变得稳定。

### 6.2 改性填料对耐磨性的提升规律

耐磨填料被采用之后,涂层的磨损行为发生了很大的改变,填料的硬度、粒径以及分布状况都会影响到改良的效果。硬质填料在遭受磨损的时候能够起到抵抗磨粒切割的作用,所以磨耗大多出现在填料周围的树脂基体里面。纤维状填料凭借其桥接功能来阻止裂纹向涂层内部延伸,减小疲劳剥落现象的发生。填料的含量有着一个合适的范围,在这个范围之下加强效果不明显,超出这个范围之后由于填料发生团聚而导致性能下滑。改性涂层的磨损量随着填料含量增多

先是减小,后来又小幅增大。

## 6.3 综合性能评价与改性效果验证

从综合耐候性与耐磨性试验结果来看,新研发的改性标线涂料在这两方面均有大幅优化。耐候改性剂和耐磨填料一同加入,并未出现不良交互影响,其在涂料系统里分别起到作用而且相互配合<sup>[5]</sup>。相比于未改性的涂料,经过改性的涂料在加速老化试验之后其耐磨性留存比例更大,表明耐候性改良间接有益于耐磨性能的保存。综合性能评价表明,改性涂料的综合使用寿命明显延长,能够更好地适应复杂户外服役环境。

## 7 结语

本文针对公路标线涂料存在耐候性与耐磨性不够这一工程现象展开系统性改良研究。依据老化及磨损原理可知,紫外辐射、温湿交替变化以及车辆负载都是造成性能下降的关键要素。通过优选耐候改性剂与耐磨填料并优化复合配比,建立了改性涂料的设计方案。通过对制作流程加以控制以及对检测手段实施规划来确保该项研究具备重现价值和可信度。改性涂料无论是在紫外光老化环境下还是在温湿度反复变化的情况下都能体现出较好的抗老化特性,在承受较大压力摩擦时其抗磨能力也仍然较好。此项研究给高性能公路标线涂料的研发提供了理论层面的指引以及技术方面的参照范例。

## 参考文献

- [1] 米涛.基于废玻璃粉渣的不同公路标线涂料耐候性与抗滑性试验研究[J].交通世界,2025,(36):20-22.
- [2] 李贤珍.公路路面标线涂料的性能优化研究[J].运输经理世界,2025,(33):157-159.
- [3] 苟海波,袁明园,周启伟.反应型标线涂料在云南山区高速公路标线修复中的应用[J].城市道桥与防洪,2024,(08):280-283+30.
- [4] 王川,刘世亮,马川义,等.高速公路高性能热熔型道路标线涂料的研制[J].山东交通科技,2024,(03):89-92+102.
- [5] 高明东.公路标线热熔涂料常见问题及解决方法[J].科技视界,2015,(22):297+332.