

DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2023.04.045

沥青路面涂层的光反射及汽车尾气降解效果分析

尚文勇¹,周政²,陈俊³

(1.延安公路管理局,陕西延安 716000;2.江苏交科交通设计研究院有限公司,江苏淮安 223001;

3.河海大学土木与交通学院,江苏南京 210098)

摘要:为了对比常见路面涂层填料的光反射和尾气降解效果,分别制备 Nano-TiO₂、Nano-ZnO、Micro-TiO₂ 为填料的 3 种路表涂层,采用自行开发的光反射率测试仪,进行不同填料掺量下涂层的反射率测试,确定填料最佳掺量;在填料最佳掺量下,对 3 种涂层沥青混合料的反射率进行测试,对比 Nano-TiO₂、Nano-ZnO、Micro-TiO₂ 对光反射效果;采用自行开发的尾气浓度分析仪,测试 3 种涂层在光催化条件下对气体 CO、HC、NO_x 的降解率,比较 3 种填料的降解效果。结果表明:沥青混合料反射率为 5.46%~6.11%;反射涂层中填料最佳掺量为 30%;涂刷涂层后,混合料反射率大幅下降,相同涂层用量下 3 种填料反射效果优劣排序为:Micro-TiO₂>Nano-ZnO>Nano-TiO₂,0.9 kg/m² 用量时 Micro-TiO₂ 涂层的反射率达 59%;填料对尾气降解效果的优劣排序为:Nano-TiO₂>Nano-ZnO>Micro-TiO₂;其中涂层对 3 种尾气中的 NO_x 降解效果最明显。

关键词:道路工程;沥青路面;反射涂层;汽车尾气降解;反射率

中图分类号:U414

文献标志码:A

0 引言

沥青路面因良好的行车舒适性和维修便利性,已经成为中国高等级公路的主要路面形式。但由于

沥青路面对太阳辐射的反射率较低,路表往往吸收大量的太阳辐射热量^[1-3],导致夏季路面温度很高,甚至达到 70℃ 以上。沥青路面高温不仅造成车辙、拥包等永久变形,影响行车安全,还加剧城市热岛效应,降低人体舒适性^[4-5]。此外,随着汽车保有量的不

(3) 0.9MS+0.1PP 普通混凝土相较于素混凝土,抗压强度提升了 25.7%,劈裂强度提升了 44.6%,抗折强度提升了 19.96%。

(4) 橡胶集料以 20% 的掺量替代部分天然细集料时,混凝土的相关力学性能有所下降,但在保障混凝土设计强度等级要求下,可实现建材成本节省和资源可循环利用。

参考文献:

[1] 陈玉良.橡胶混凝土力学性能研究[D].武汉:湖北工业大学,2015.
[2] 熊辉,刘洪辉.掺钢纤维和矿渣的高性能再生混凝土性能研究[J].中外公路,2020,40(1):206-211.
[3] 周兴宇,杨鼎宜,李玉寿,等.多尺度聚丙烯纤维混凝土力学性能及损伤演化研究[J].混凝土与水泥制品,2020(4):49-53.

[4] 薛刚,武春风,胡小龙.塑钢纤维-橡胶混凝土应力-应变关系试验研究[J].硅酸盐通报,2016,35(11):3796-3802.
[5] 黄智德,段瑞斌,向振宇,等.塑钢纤维橡胶混凝土的配制及力学性能研究[J].混凝土与水泥制品,2015(7):58-61.
[6] 朱江,李旭东,张东升.不同分布的钢纤维改性橡胶混凝土性能研究[J].混凝土,2013(3):69-72.
[7] 吕志恒,程铭,蒋喜生,等.玻璃纤维和聚丙烯纤维改善混凝土微观结构研究[J].中外公路,2020,40(6):267-270.
[8] 张岩.钢纤维改性橡胶混凝土力学性能试验研究[D].武汉:湖北工业大学,2015.
[9] 张恒.多尺度纤维混杂对水泥混凝土性能的影响[J].中外公路,2016,36(6):284-287.
[10] 顾万,肖鹏,康爱红,等.混掺纤维混凝土桥面铺装材料性能试验研究[J].混凝土与水泥制品,2019(6):53-58.
[11] 何桥敏,周丽.不同钢纤维掺量及黏结剂对混凝土性能的影响[J].中外公路,2018,38(5):267-270.

收稿日期:2022-08-20(修改稿)

作者简介:尚文勇,男,大学本科,高级工程师.E-mail:swy716000@163.com

断增加,汽车尾气排放逐渐增多,由此引起的大气环境污染问题日趋严重。

针对路面低反射和汽车尾气污染问题,近年来道路工作者分别开展了热反射涂层、光催化降解尾气等方面的研究。在热反射涂层方面,郑木莲等^[6]、曹雪娟等^[7]以金红石型钛白粉(TiO_2)、 ZnO 为填料,制备了反射涂层,显示出良好的路面降温效果;王赫^[8]比较了纳米级和微米级填料对沥青混合料降温效果的影响。在光催化降解尾气方面,谭忆秋等^[9]对比了涂覆和掺入二氧化钛两种方式对尾气的降解效果,认为涂层更为经济和有效;钱国平等^[10]开发了一种纳米二氧化钛基路面涂层材料,获得了其对NO的降解率;郭重霄等、周大焘等^[11-12]也进行过类似的研究。

从以上文献可以看出,无论是路面反射涂层还是光催化涂层, TiO_2 、 ZnO 是两种最常用的填料,但是目前关于两者降温降解效果的差异以及纳米级与微米

级填料对降温降解效果的影响,并没有深入研究。为此,本文制备以纳米和微米 TiO_2 、 ZnO 为填料的涂层,通过测试沥青混合料涂层反射率、涂层尾气降解率,对比分析填料种类、尺寸对降温降解效果的影响。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本文采用的涂层包括基料和填料。基料为透明的E51型环氧树脂胶YT-CC301,它由室温固化全透明环氧树脂(A组分)和全透明环氧固化剂(B组分)按1:1配制而成,技术性质如表1所示;填料分别为粒径405 nm的氧化锌(Nano-ZnO)、1 020 nm的氧化钛(Micro- TiO_2)和100 nm的氧化钛(Nano- TiO_2),它们分别与环氧树脂混合搅拌,制成3种热反射涂料。

表1 环氧树脂胶YT-CC301性能参数

组分	配比前		配比后(A:B=3:1)				完全固结后				
	色度	黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	可操作 时间/min	初固时 间/h	终固时 间/h	硬度 (Shore D)	耐温区 间/ $^{\circ}\text{C}$	抗压强 度/ MPa	抗弯强 度/ MPa
A	<1	2 000~4 000	1.05	500~600	25	5	12	90	-40~110	294	216
B	<1	80	0.98								

注:上述参数均为环境温度25 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度70%RH下测得。

3种沥青混合料(AC-13、SMA-13、OGFC-13)中集料采用玄武岩,填料为石灰石矿粉,AC-13采用90 $^{\#}$ 基质沥青,SMA-13和OGFC-13采用由90 $^{\#}$ 基质沥青和5.4% SBS制备而成的改性沥青。

1.2 反射率测试方法

对AC-13、SMA-13、OGFC-13成型车辙板,并采用图1所示自行开发的装置测试混合料的反射率,该装置包括碘钨灯光源、双辐射传感器。其中,碘钨灯功率均为500 W,其波长与太阳可见光和红外光波长相当,范围为0.34~2.5 μm ;双辐射传感器的测试波长范围均为0.3~3 μm ,其中朝上的入射传感器,测试太阳辐射的入射强度 I ,朝下的反射传感器,测试由路面反射出的辐射强度 R ,反射率 A 按式(1)计算。有关该装置的测试方法,见文献[13]。

$$A = \frac{R}{I} \times 100\% \quad (1)$$



图1 光反射率测试仪

1.3 尾气降解效果测试方法

采用图2所示的装置实现尾气产生,以及紫外线下CO、HC、 NO_x 浓度测定。该装置由关东电机R3800、主箱、尾气分析仪组成,其工作原理是:电机产生尾气,并由软管输送到主箱内,主箱内放置混合料试件,在紫外光源的辐射下,以光触媒为催化剂降

解箱内尾气,并通过尾气分析仪每隔 10 min 测量一次主箱内 CO、HC、NO_x 浓度值。



(a) 电机



(b) 主箱



(c) 真空泵和尾气分析仪

图2 尾气测试装置实物图

2 涂层的光反射效果分析

2.1 无涂层时沥青混合料反射率

在室温 15 °C, 碘钨灯高度 25 cm 条件下对 AC-13、SMA-13、OGFC-13 分别进行 5 次反射率测试,图 3 为 5 次反射率均值与离散程度。3 种不同级配的沥青混合料的反射率为 5.46%~6.11%, 沥青混合料较低的反射率,说明达到路表的太阳辐射中绝大部分被路面吸收,只有很少反射到大气环境中。另一方面,不同类型混合料的反射率差异不明显,可见沥青混合料的反射率极大程度上取决于其表面的黑色,而表面纹理和粗糙度对沥青混合料的反射率影响不大。

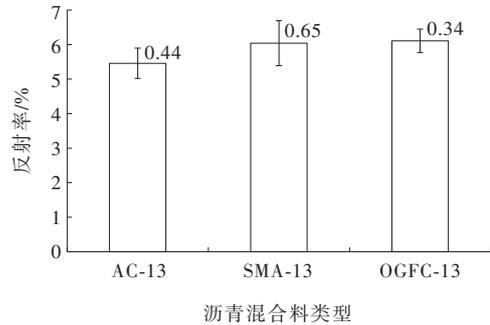


图3 3种沥青混合料反射率

2.2 涂层中填料掺量对反射率影响

为了确定反射涂层中填料的最佳用量,在 AC-13 试件上涂刷不同填料掺量的涂层,并测量反射率。考虑到当填料掺量大于 60% 时,多余的填料就无法溶解于环氧树脂基体中,本部分填料掺量分别为 0、10%、20%、30%、40%、50% 和 60%,结合郑木莲等的研究^[5],涂层用量为 0.9 kg/m²,涂层为 3 层,每层用量 0.3 kg/m²。图 4 为 AC-13 不同填料掺量下的涂层反射率。

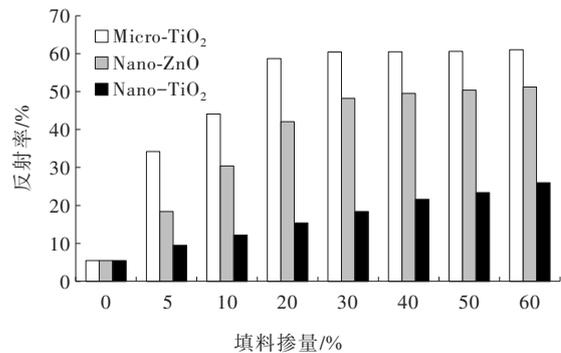


图4 填料掺量与涂层反射率的关系

由图 4 可知:① 当填料掺量从 0 增加到 30% 时,涂层反射率迅速增加;随着填料掺量从 30% 进一步增加到 60%,反射率仅略有提升,尤其是 Micro-TiO₂ 和 Nano-ZnO,因此本文将填料的最佳掺量确定为 30%;② 相同填料掺量的涂层反射率基本为 Micro-TiO₂>Nano-ZnO>Nano-TiO₂,这可能与填料颗粒粒径有关,有研究发现当填料粒径与光波长的 1/2 相当时,填料对光的散射效果最明显。本文 Micro-TiO₂ 和 Nano-ZnO 的粒径分别是 1 020 nm 和 405 nm,正处于碘钨灯波长(0.34~2.5 μm)一半的范围内,体现了良好的光线反射效果。

2.3 涂层厚度对反射率的影响

以填料掺量 30%, 分别制备 Micro-TiO₂、

Nano-ZnO、Nano-TiO₂ 涂料,并在沥青混合料板上涂覆 3 层,每层用量 0.3 kg/m²,涂刷后 AC-13、SMA-13 和 OGFC-13 试件见图 5。在涂刷过程中,发现涂层浆液堵塞了 OGFC-13 试件的连通孔隙,导致其排水性能和降噪性能大大下降,因此本文仅测试 OGFC-13+Micro-TiO₂ 涂层的反射率。

对图 5 试件进行室内反射率测试,并与不含涂层的混合料进行比较,结果见图 6。

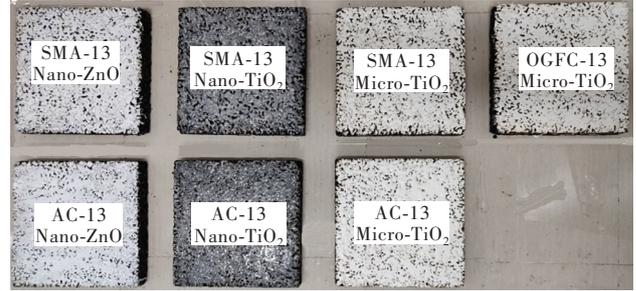


图 5 涂覆涂层后的 AC-13、SMA-13 和 OGFC-13 试件

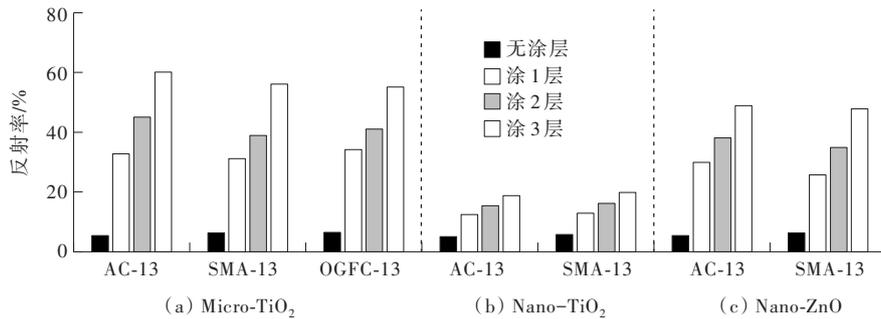


图 6 各试件涂层前后的反射率变化

由图 6 可知:无论是哪种填料,有涂层的沥青混合物比无涂层的沥青混合物反射率更大。且随着涂层材料用量的增加,测得的反射率也增加。这表明太阳辐射可以被 Micro-TiO₂、Nano-TiO₂ 和 Nano-ZnO 的细颗粒反射。此外,明显可以发现 3 种涂层中 Micro-TiO₂ 涂层的反射率最大。当涂层用量仅为 0.3 kg/m² 时,AC-13、SMA-13 和 OGFC-13 试件的反射率分别增大至 32.8%、31.2% 和 34.2%。而涂覆 Nano-TiO₂ 涂层的沥青混合物试件的反射率最低,当涂层用量为 0.9 kg/m² 时,AC-13 和 SMA-13 试件的反射率分别为 18.8% 和 19.9%,仍小于仅 1 层 Micro-TiO₂ 涂层的试件。可见,Micro-TiO₂ 是沥青混合料涂层的有效反射填料。

3 涂层的尾气降解效果分析

对涂有 0.9 kg/m² 涂层的 AC-13 试件,采用图 2 的测试仪,进行紫外线照射,并测试涂层光催化下 CO、HC、NO_x 浓度,图 7 为降解 60 min 过程中 CO 浓度的变化。

由图 7 可以看出:随着紫外线照射和光触媒填料的降解,CO 浓度逐渐降低,3 种填料均有降解 CO 的效果。但是,由于图 2 中电机稳定性问题,所产生尾

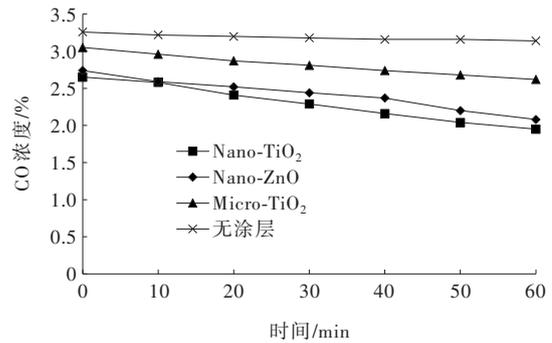


图 7 CO 浓度随时间的变化

气中初始浓度不完全相同,导致按图 7 难以直观对比 3 种填料降解效果的差异。为此,按式(2)计算 60 min 内每 10 min 时刻的降解率,并计算 CO、HC、NO_x 在不同时刻的累计降解率 η ,结果如图 8 所示。

$$\eta = \sum_{0}^{6} (C_i - C_{i+1}) / C_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中: C_i 为 i 时刻的浓度值, $i=10 \text{ min}, 20 \text{ min}, \dots, 60 \text{ min}$ 。

从图 8(a) 可知:随着光催化时间的增长,光催化下 3 种涂层对 CO 的降解率逐渐提高,当光催化 60 min 时,Micro-TiO₂、Nano-TiO₂ 和 Nano-ZnO 对 CO 的降解率分别达到了 14.1%、26.42%、24.09%,体现了良好的降解效果。而且相同紫外光照时间下,3 种涂层的降解效果排序是: Nano-TiO₂ > Nano-ZnO > Micro-TiO₂。值得注意的是,即使是内含没有涂层沥

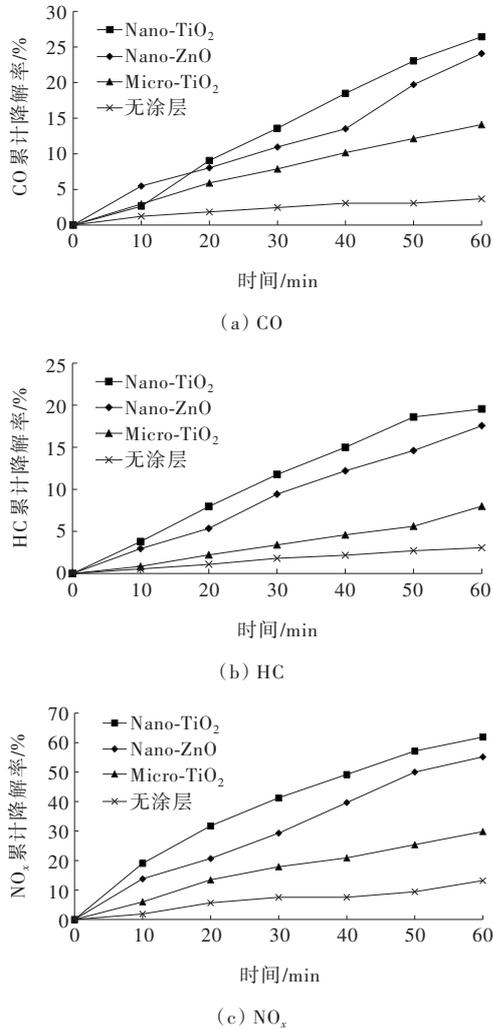


图8 CO、HC、NO_x在不同时刻的累计降解率

青混合料的箱体,在紫外线照射下,其内部气体中CO也被一定程度地降解了。这是因为紫外线本身对CO有一定的分解效果,并非沥青混合料的作用。

由图8(b)、(c)可以看出:无论是HC还是NO_x, Nano-TiO₂涂层的降解效果最好, Micro-TiO₂的降解效果最差,这与图8(a)对CO降解效果的排序一致。此外,比较涂层对CO、HC、NO_x的降解率可知,涂层对NO_x的降解最为明显,对HC的降解效果较差,如Nano-TiO₂在60 min内可将61.9%的NO_x降解,而对HC只降解了19.54%。

4 结论

(1) 从提高沥青混合料光反射率看,涂层优劣排

序为:Micro-TiO₂>Nano-ZnO>Nano-TiO₂。

(2) 从尾气降解效果看,涂层优劣排序为: Nano-TiO₂>Nano-ZnO>Micro-TiO₂。

(3) TiO₂、ZnO等光触媒材料对尾气CO、HC、NO_x的降解效果是:NO_x>CO>HC。

参考文献:

- [1] 彭义东.城市热岛与地表参数的关系及其尺度效应研究[D].重庆:重庆邮电大学,2017.
- [2] LI H, HARVEY J, HOLLAND T J, et al. The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management[J]. Environmental Research Letters, 2013, 8(1): 015023.
- [3] 冯锡荣. 沥青路面降温涂层材料优化设计及其性能研究[J]. 中外公路, 2020, 40(3): 253-258.
- [4] GHASAN S, MAJEED A, RATNASAMY M. The effect of binder type and temperature differential on the rutting performance of hot mix asphalt[J]. International Journal of Applied Engineering Research, 2017, 12(17): 6841-6852.
- [5] DEL CARPIO JAV, MARINOSKI D L, TRICHÊS G, et al. Urban pavements used in brazil: Characterization of solar albedo and temperature verification in the field[J]. Solar Energy, 2016, 134: 72-81.
- [6] 郑木莲, 何利涛, 高璇, 等. 基于降温功能的沥青路面热反射涂层性能分析[J]. 交通运输工程学报, 2013, 13(5): 10-16.
- [7] 曹雪娟, 唐伯明, 朱洪洲. 降低沥青路面温度的热反射涂层性能研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2010, 29(3): 391-394.
- [8] 王赫. 沥青路面热反射涂层性能及应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [9] 谭忆秋, 李洛克, 魏鹏, 等. 可降解汽车尾气材料在沥青路面中的应用性能评价[J]. 中国公路学报, 2010, 23(6): 21-27.
- [10] 钱国平, 王娜, 周大焘. 纳米TiO₂基路面功能涂层降解NO试验研究[J]. 交通科学与工程, 2016, 32(1): 29-38.
- [11] 郭重霄, 郝培文. 二氧化钛光催化剂在沥青路面中的应用[J]. 中外公路, 2013, 33(5): 271-275.
- [12] 周大焘. 纳米TiO₂涂覆式沥青路面NO_x降解及耐久性性能研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2004.
- [13] 陈俊, 周政, 孙志林, 等. 太阳辐射下彩色路面反射率和内部温度的室内测试分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2020, 52(9): 159-166.