

文章编号: 1005-0523(2016)02-0022-05

# 一种具有分解汽车尾气功能的双层 OGFC 路面

吴世涛, 陈峙昂, 刘黎萍, 黄 璞

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

**摘要:**应用双层 OGFC 路面结构,将纳米二氧化钛以拌合的方式添加到双层结构的上层。通过试验测试了双层 OGFC 路面的动稳定度、渗水系数、摩擦系数和构造深度,对比了添加纳米二氧化钛的双层 OGFC 和单层 OGFC 路面的降解尾气的效果。试验结果表明,双层 OGFC 路面具有较好的使用性能;减薄添加纳米二氧化钛的沥青层厚度,对尾气降解功能的影响不显著。添加纳米二氧化钛的双层 OGFC 路面具有排水、尾气吸收的功能,研究结果可用于降低城市交通引发的大气污染,铺筑环境友好型路面。

**关键词:**双层 OGFC 路面;纳米二氧化钛;尾气吸收

**中图分类号:**U416.217      **文献标志码:**A

**DOI:**10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.02.004

汽车尾气已经成为城市空气的主要污染源之一,尾气中含有的一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>,以NO为主)会对人体的健康造成直接危害。纳米二氧化钛在紫外线的作用下,可以将大多数的有机物催化降解为H<sub>2</sub>O和CO<sub>2</sub>,将无机污染物降解为相应的无机离子等无害物质<sup>[1-2]</sup>。孙立军、徐海铭等<sup>[3-5]</sup>研究了纳米二氧化钛的涂覆和拌合的不同添加方式,并进行了室内和现场试验,表明拌合添加到沥青混合料中的方法,具有较好的降解尾气的效果,也具有较好的耐久性;OGFC级配空隙率大,光与有害物质可以深入混合料内部,有助于纳米二氧化钛催化分解有害气体。谭忆秋等<sup>[6]</sup>的研究结果表明表面光催化涂层对路面的抗滑性有较大影响,涂层的耐久性受环境温度的影响;而以掺入方式添加的到路面材料后,具有较好的降解尾气的效果<sup>[6]</sup>。孙立军、魏鹏等<sup>[3,7]</sup>分别研发了尾气降解气体反应室,孙立军课题组研发的分解尾气测试系统可以得到稳定的温度环境,并提供室内紫外线源,相比之下更为先进。

汽车行驶时产生噪音主要由轮胎与路面的摩擦以及车体与空气的动力作用这两部分组成。车辆在高速行驶时轮胎——路面噪声将成为交通噪声的主要部分。OGFC面层的多空结构能够有效降低轮胎——路面之间的噪声,降低效果可以达到5 dB以上<sup>[8-9]</sup>。研究表明,在OGFC面层厚度处在一定范围内时,面层降噪效果与面层厚度存在正相关的关系<sup>[9-10]</sup>,通常使用的OGFC面层厚度为5 cm。

纳米二氧化钛材料价格昂贵,按照徐海铭<sup>[5]</sup>提出的将纳米二氧化钛以混合料质量0.39%的含量拌合到5 cm厚OGFC面层中的方案测算,会导致道路工程的造价增加一倍。为了降低造价需要降低添加纳米二氧化钛的沥青面层的厚度,而为了保证OGFC路面的降噪性能,又需要保证OGFC面层厚度。本研究应用了双层OGFC的路面结构,上层为小粒径OGFC-10沥青混合料,下层采用大粒径的OGFC-16混合料。双层OGFC结构的上层以直接拌合的方式添加纳米二氧化钛材料,下层OGFC用以保证路面的降噪功能。但是双层OGFC结构的降解尾气的效果和使用性能仍然需要研究论证。

收稿日期:2015-09-29

基金项目:国家国际科技合作项目(2010DFB83490);上海市科技项目(10dz1200402)

作者简介:吴世涛(1991—),男,硕士研究生,研究方向为道路工程。

通讯作者:刘黎萍(1968—),女,教授,博士生导师,博士,研究方向为沥青路面结构与材料。

## 2 试件准备

### 2.1 沥青混合料试验

OGFC-10 的目标空隙率定为 20%,OGFC-16 的目标空隙率定为 18%。由于特定的空隙率要求,因此需要按照马歇尔设计法进行级配设计。在“公路沥青路面施工技术规范”给出的级配范围内,取中线、中线两侧各 2 组级配,共 5 组级配来成型马歇尔试件,分别测试空隙率<sup>[1]</sup>。去掉空隙率过大或者过小的级配,并微调级配曲线,得到 OGFC-10 和 OGFC-16 最接近于目标空隙率的级配曲线,如图 1、图 2 所示。

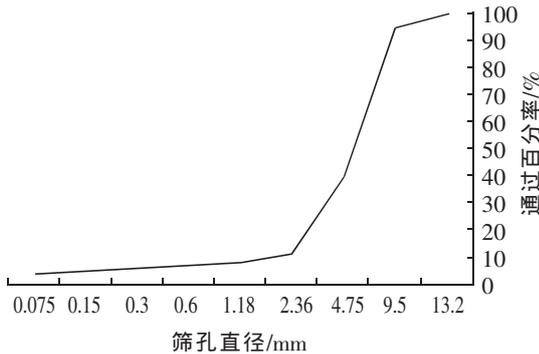


图 1 OGFC-10 沥青混合料级配曲线

Fig.1 OGFC-10 asphalt mixture gradation curve

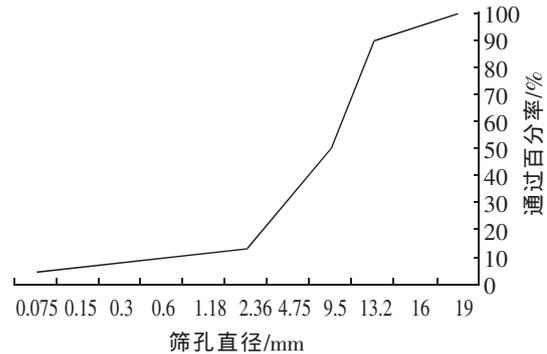


图 2 OGFC-16 沥青混合料级配曲线

Fig.2 OGFC-16 asphalt mixture gradation curve

### 2.2 沥青用量的确定

试验使用 SBS 改性沥青。对每一组初选的矿料级配,按“公路沥青路面施工技术规范”<sup>[1]</sup>给出的集料的表面积计算方式和沥青膜厚度计算方式,得到每一组沥青混合料的初试沥青用量,从而得到初试油石比。由初试油石比两侧各选 2 个油石比,共 5 组进行飞散试验、析漏试验和马歇尔稳定度试验。根据试验结果以及控制范围来选择最佳油石比,并对最佳油石比进行试验验证,结果如表 1 所示。最终,确定 OGFC-10 的最佳油石比为 4.4%,OGFC-16 的最佳油石比为 4.3%。

表 1 最佳油石比验证

Tab.1 Verification of optimal asphalt content

项目	空隙率/%	析漏/%	飞散/%	稳定度/kN
OGFC-10(油石比 4.4%)	20.46	0.17	11.38	5.66
OGFC-16(油石比 4.3%)	18.23	0.25	9.98	5.91
控制范围	18~25	< 0.3	< 20	> 3.5

### 2.3 试件制作成型

采用碾压成型机来成型板件。沥青混合料的拌和温度为 175 °C,压实温度为 150 °C。试验组是添加 TiO<sub>2</sub> 双层 OGFC 结构,由于采用了两种混合料,按照分开拌合一次成型的方式制成,混合料用量在表 2 中列出。试验组中的 TiO<sub>2</sub> 以 0.39% 的含量添加在上层。对照组为 5 cm 厚的单层 OGFC-10 结构,同样以 0.39% 的含量添加 TiO<sub>2</sub>。另对试验组和对照组分别设空白组,不添加 TiO<sub>2</sub>,其他条件相同。

表 2 试验组单个试件混合料用量表

Tab.2 Mixture quantity of single specimen for experimental group

项目	混合料类型	厚度/cm	集料总重/g	沥青用量/g	TiO <sub>2</sub> 用量/g
上层	OGFC-10	3	5 400	232.2	21.97
下层	OGFC-16	5	9 600	464.64	0

### 3 降解汽车尾气功能试验

#### 3.1 试验仪器

- 1) 试验采用 FGA-4100(5 G)型汽车尾气分析仪,检测汽车尾气中各类排放物的浓度,包括碳氢化合物(HC,主要是丙烷)、一氧化碳、氮氧化物(NO,主要是一氧化氮);
- 2) UV-A 型紫外辐照计,用来测量 365 nm 的紫外线强度值;石英玻璃容器,具有良好的光学性能,可以透过 90%左右的紫外线;
- 3) 2 瓶配置的汽车尾气,组分的含量同标准汽车尾气含量相同,1 号瓶 HC 含量为 3 000 PPmol、CO 含量 6%,2 号瓶 NO 含量 3 000 PPmol;
- 4) 紫外灯光源箱,提供稳定的紫外线辐射强度,并控制了试验温度,为室内试验的定量研究做准备。

#### 3.2 试验步骤

- 1) 将不同要求成型的试块置于石英玻璃容器底部。
  - 2) 盖上石英容器,将尾气分析仪取样端固定于容器内,并确保容器处于密闭状态。通入一定量的汽车尾气,记录下容器内各气体浓度的初始值。
  - 3) 根据试验需要,将装有纳米二氧化钛和汽车尾气的石英容器置于紫外线灯光源下,并用紫外辐照计测量紫外线辐照强度值。
  - 4) 每隔 5 min 记录容器中各气体浓度值,持续 60 min,以观测短期分解效果。
- 在测量气体含量时,汽车尾气分析仪会从箱体中抽取一部分气体,而添加等量的空气进入箱体,所以测量本身会对箱体内的气体含量造成影响;并且尾气本身会和氧气发生反应(NO 最显著),因此每组试验都设不添加纳米二氧化钛的空白组,其他试验条件都相同。对于每一次试验石英容器的内的初始气体含量始终保持相同,各组分的含量见表 3 所示。

表 3 反应箱初始气体含量  
Tab.3 Initial gas content of reaction box

成分	CO/%	HC/ppmol	NO/ppmol
含量	3.00	460.00	680.00

### 4 试验结果分析

#### 4.1 路用性能

分别测试了上层添加纳米二氧化钛的双层 OGFC、未添加纳米二氧化钛的双层 OGFC、不添加纳米二氧化钛的 AC 面层的动稳定度、渗水系数、摩擦系数和构造深度,每组设 3 个试件,具体的试验过程不再赘述,测试结果如表 4 所示。

表 4 路用性能测试结果  
Tab.4 Test results of pavement performance

试验类别	双层 OGFC (上层添加二氧化钛)	双层 OGFC (不添加二氧化钛)	AC (不添加 二氧化钛)	控制值
动稳定度/次·mm <sup>-1</sup>	9 545	9632	10 310	> 3 000
渗水系数/ml·min <sup>-1</sup>	960	974	74	—
摩擦系数/BPN	78	80	64	> 45
构造深度/mm	1.2	1.2	0.8	> 0.6

双层 OGFC 结构的动稳定度达到了 9 500 次·mm<sup>-1</sup> 以上,略低于 AC 面层,远大于路用的要求值。双层 OGFC 结构具有较好的高温抗车辙能力。

在渗水试验中双层 OGFC 试块的底部和边缘都有大量的水渗出,双层结构形成了发达的连通孔隙;OGFC-10 和 OGFC-16 的交接面上也存在充分的连通孔隙;渗水系数达到  $960 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ,双层 OGFC 结构有较好的排水性能。

对比添加二氧化钛和未添加的双层 OGFC 面层的动稳定性、渗水系数、摩擦系数以及构造深度,两者之间的差异性很小,说明添加二氧化钛对结构本身的影响很小。

#### 4.2 降解汽车尾气

在结果分析计算中,将试验组和对照组测得的浓度值减去该时刻空白组的值,用此方法来消除其他因素的影响,所以试验结果能真实反映出纳米二氧化钛降解尾气的效果。计算方法如下所示。

$$f = \frac{(m_0 - m_{1i}) - (m_0 - m_{2i})}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

其中: $f$ 为累计分解百分率; $m_0$ 为反应箱初始气体含量,试验中相同; $m_{1i}$ 为试验组或对照组*i*时刻气体含量; $m_{2i}$ 为空白组*i*时刻气体含量。

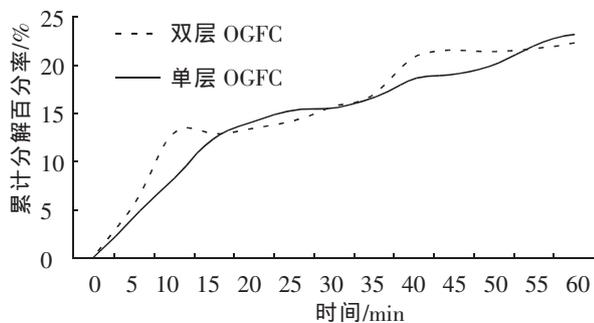


图3 CO分解效果对比  
Fig.3 Comparison of decomposition effect of CO

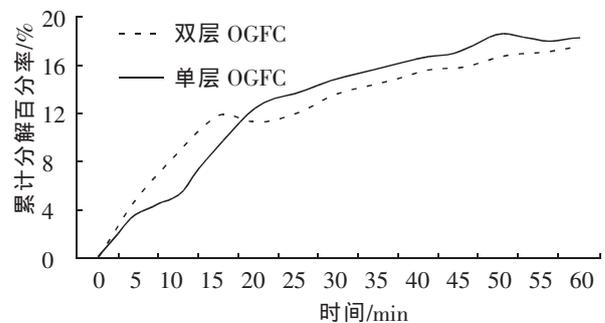


图4 HC分解效果对比  
Fig.4 Comparison of decomposition effect of HC

将尾气降解试验分析结果整理到图3、图4、图5中,添加二氧化钛的双层 OGFC 结构在紫外线作用下,对 CO、HC、NO 都有显著的分解效果。对比添加纳米二氧化钛双层 OGFC 和添加纳米二氧化钛单层 OGFC,发现对于3种主要尾气成分两者之间的变化趋势基本相一致,差异不显著。分解速度前期较快,后期较平缓,这是由于前期尾气含量较高,当含量下降后分解速度变缓慢。说明减薄含纳米二氧化钛的 OGFC 面层厚度不会对尾气的分解效果造成显著影响。

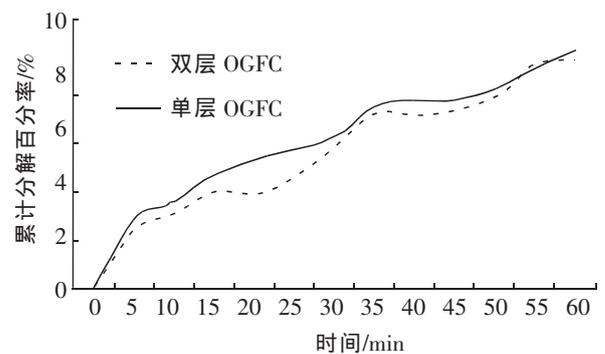


图5 NO分解效果对比  
Fig.5 Comparison of decomposition effect of NO

## 5 结论与展望

通过以上的试验研究可以得出以下结论。

- 1) 双层 OGFC 路面的具有较好的抗滑性能、高温抗车辙能力和排水性能,添加纳米二氧化钛之后性能没有降低。
- 2) 上层添加纳米二氧化钛的双层 OGFC 路面具有较好的降解尾气的效果,降低了拌合纳米二氧化钛的沥青层厚度,减少了纳米二氧化钛的使用量约 40%,提高了纳米二氧化钛的利用效率,降低了成本。
- 3) 添加纳米二氧化钛的双层 OGFC 路面具有排水、降噪、分解汽车尾气的功能,是一种行车舒适、环境

友好的路面,在城市中使用可以带来较大的社会效益。

添加纳米二氧化钛的 OGFC 的面层厚度仍然存在继续探讨的地方,由于试验条件的限制,双层 OGFC 面层的降噪功能并没有通过试验测试;在有条件的情况下应铺设试验路来实测纳米二氧化钛双层 OGFC 路面的尾气降解效果和使用性能。

#### 参考文献:

- [1] 熊心美. 复合掺杂光催化剂二氧化钛及改变其光催化性能的研究[D]. 广东:广东工业大学,2006:1-3.
- [2] 时桂杰. 光催化氧化处理水中污染物的研究现状及发展趋向[J]. 环境科学与技术,1998(3):1-4.
- [3] 孙立军,徐海铭,李剑飞,等. 纳米二氧化钛处治汽车尾气效果与应用方法的研究[J]. 公路交通科技,2011,28(4):153-158.
- [4] 李剑飞,刘黎萍,孙立军. 纳米二氧化钛对汽车尾气中碳氢化合物 HC 分解效果研究[J]. 公路工程,2010,35(2):151-155.
- [5] 徐海铭,刘黎萍,孙立军,等. 纳米二氧化钛在实际道路工程中的应用[J]. 公路工程,2011,36(4):189-192.
- [6] 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.
- [7] 魏鹏. 可降解汽车尾气的沥青混合料路面研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008:25-34.
- [8] 沈金安. 升级配多空排水型沥青路面[J]. 国外公路,1994(6):15-20.
- [9] 丁庆军,沈凡,刘新权,等. 透水型沥青路面材料的降噪性能[J]. 长安大学学报:自然科学版,2010(2):24-28.
- [10] 吴文彪,张玉富,李淑明,等. 双层多空沥青混凝土路面降噪性能研究[J]. 公路,2011(11):186-189.
- [11] 交通运输部公路科学研究院. JTG F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.

## Double-layer OGFC Pavement with the Function of Automobile Exhaust Decomposition

Wu Shitao, Chen Zhiang, Liu Liping, Huang Pu

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** This study presents a double-layer OGFC asphalt pavement structure, in which titanium dioxide was added in top layer in mixing way. Dynamic stability, permeability coefficient, friction coefficient and the texture depth were tested through pilot testing. The comparison of gas exhaustion efficiency of the double-layer OGFC and single-layer OGFC was conducted. Tests showed that the double-layer OGFC asphalt pavement had excellent road performance and reducing the thickness of asphalt containing nanometer titanium dioxide didn't affect the exhaust decomposition. Double-layer OGFC asphalt pavement with nanometer titanium is good at water drainage and exhaust decomposition. The results can be used to reduce the air pollution caused by urban traffic and construct environmentally-friendly pavements.

**Key words:** double-layer OGFC; nanometer titanium dioxide; exhaust decomposition

(责任编辑 王建华)