

文章编号:1005-0523(2013)04-0069-06

## 开级配抗滑磨耗层材料堵塞行为和疏通方法

李波,孟繁宇,李淑明,王鹏,熊子益

(同济大学交通运输工程学院道路和机场工程系,上海 201804)

**摘要:**OGFC(开级配抗滑磨耗层)材料随着运营时间的增长,其空隙的堵塞程度也越来越严重。针对OGFC堵塞的特点,提出单面堵塞和双面堵塞,分别模拟OGFC材料的浅度和深度堵塞;采用高压水清洗堵塞,在室内研究了OGFC板件的堵塞行为和高压水枪的冲洗效果。实验表明,同样堵塞程度,高水压对渗水系数增长速率影响明显;渗水系数的增长遵循先快后慢,存在极限值;深层堵塞决定最终冲洗效果;疏通影响了渗水路径,表现在竖直方向上渗水量的急剧增加。

**关键词:**OGFC;堵塞;高压水清洗

**中图分类号:**U416.2

**文献标志码:**A

随着OGFC在国内的应用和发展,其优越的排水、降噪性能得到越来越多的肯定。但是OGFC(开级配抗滑磨耗层)材料在使用过程中由于其大空隙的特点,黏土、油污、橡胶颗粒极易进入孔隙内部,堵塞孔隙。雨天、晴天的反复交替加速了这种堵塞。雨天时,孔隙内的灰尘,泥沙等堵塞物质顺着雨水进入路面材料深处;晴天时堵塞物质板结,和集料粘接在一起,加上低速道路上泵吸效应不显著<sup>[1]</sup>和过境交通对结构材料的压密作用,堵塞程度越来越严重,其排水降噪性能也大幅度的衰减。大孔隙沥青混合料易于堵塞,且耐久性低于密实混凝土。堵塞物主要为灰尘、碎石及轮胎磨损物等,堵塞严重将导致排水性能丧失<sup>[2]</sup>。排水性路面因空隙率大、表面粗糙、构造深度大、防滑、抗车辙降低噪音等特点,在雨量比较大或噪声要求高的地段,铺筑该路面已受到业内人士的普遍欢迎<sup>[3-5]</sup>。排水性沥青路面良好的透水降噪性都与沥青混合料较大的空隙率有关,空隙率大小对OGFC的堵塞和清晰产生了不同的影响<sup>[6]</sup>。

Tan<sup>[7]</sup>等学者用土作为堵塞材料,制作厚度50 cm×50 cm,5 cm,7.5 cm,10 cm等不同厚度的板件,并使用渗水仪来评价渗水效果。最终把结果和Gigoud's theory(针对土工织物堵塞的简单理论模型)相关联,并找到了这二者之间很好的联系,测试结果显示透水性能的降低大体上服从指数模型。

从2002年到2011年,潘琛明<sup>[8]</sup>调查了上海浦东地区已铺筑的排水性沥青路面,部分道路从建成时期通车10个月渗水系数已降低一半,其衰减规律按线性下降。国外,堵塞路面主要是通过沥青混凝土路面恢复车,采用高压水清理和真空抽吸相结合进行清洗养护。国内,相关国产沥青混凝土路面恢复车已经开始研究使用。实际路面清洗实验显示,严重堵塞路段经过8~10次清洗后,其渗水系数从0已经恢复初始渗水系数的一半<sup>[9]</sup>。但是目前路面机能修复车依旧存在着车辆成本高,推广难,水压取值主要依赖经验,主要来源依靠进口等问题。

此外,国外研究人员<sup>[10]</sup>提出了一种新的利用“气蚀”现象来增强疏通效果,原理是利用高速水射流在静水中产生的气泡爆裂时产生的高压来使堵塞物质与沥青混合料分离。

因此,针对OGFC材料堵塞、疏通相关实验研究相对缺乏的现状,实现实验室内研究并评价OGFC材料的堵塞行为和清洗效果是有必要的。在室内模拟OGFC板件的现场堵塞情况,采用高压水枪进行清洗,研究水压大小、冲洗时间对冲洗效果的影响,探讨透水路面堵塞程度衰减规律和清洗效果,为实际透水路面

收稿日期:2013-05-09

作者简介:李波(1991—),男,硕士研究生,主要研究方向为铺面工程。

清洗提供参考和指导。

## 1 试件的准备

### 1.1 沥青混合料材料

实验所用集料的级配来自现场级配 OGFC-13<sup>[11]</sup>。2.36 mm 以上的石料为玄武岩, 2.36 mm 以下为石灰岩, 各级配密度及分级筛余如表 1 所示。该级配满足《沥青路面施工规范》中的技术要求。采用中海 AH-70 沥青, 油石比 5.3%, 聚酯纤维 0.3%。

表 1 集料级配

Tab.1 Aggregating gradation

项目	筛孔/mm										
	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.08	<0.075
表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	-	2.92	2.93	2.93	2.93	2.70	2.70	2.70	2.70	2.65	2.76
毛体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	-	2.86	2.85	2.85	2.85	2.61	2.63	2.61	2.62	2.56	2.68
通过率/%	100.00	94.00	71.20	18.90	17.30	14.90	12.90	10.30	7.80	5.10	-

考虑到所用石料的差异, 对本文级配进行了性能验证。马歇尔稳定性和流值结果见表 2, 肯塔堡飞散试验结果见表 3, 沥青析漏试验的结果见表 4。表 2~表 4 表明, 实验选用的 OGFC-13 的各项指标均满足施工规范中的技术要求, 试件的空隙率 15.1%。

表 2 马歇尔实验数据

Tab.2 Marshall experimental data

组别	质量/g	高度/mm	马歇尔稳定度/kN	指标要求/kN	流值/mm	指标要求/mm
1	1148	64.7	4.14	≥ 3.5	4.534	2~4
2	1150	63.5	3.98	≥ 3.5	2.759	2~4
3	1148.2	64.8	4.09	≥ 3.5	4.553	2~4
4	1150.1	64.5	3.66	≥ 3.5	2.811	2~4

表 3 肯塔堡飞散实验数据

Tab.3 The Kentucky Fort scattering experimental data

组别	质量/g	高度/mm	剩余质量/g	损失质量百分比/%	指标要求/%
1	1 150.8	64.7	1 018.3	11.51	≤ 20
2	1 151.9	64.0	1 026.7	10.87	≤ 20
3	1 146.9	64.6	1 017.7	11.27	≤ 20
4	1 151.2	64.0	977.1	15.12	≤ 20

表 4 析漏实验数据

Tab.4 Analysis drain experimental data

组别	烧杯质量/g	总质量/g	烧杯和粘附总质量/g	析漏损失比/%	指标要求/%
1	222.5	1 223.1	224.3	0.18	≤ 0.3
2	225.7	1 226.7	228.4	0.27	≤ 0.3
3	231.6	1 232.1	234.0	0.24	≤ 0.3
4	221.1	1 221.3	223.7	0.26	≤ 0.3

## 1.2 试验板的制备

根据马歇尔试件计算得到试件的毛体积密度为  $2.59 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,按照轮碾法成型  $30 \text{ cm}\times 30 \text{ cm}\times 5 \text{ cm}$  的沥青混合料板件。因为试件厚度对堵塞和清洗效果均有影响,上海地区 OGFC 面层厚度一般在  $4\sim 6 \text{ cm}$ ,试验中厚度取  $5 \text{ cm}$ 。

## 1.3 堵塞物质材料

实验所用堵塞剂为粘土和砂土的混合物,其级配来自排水路面机能恢复车对上海地区 9 条排水路面清洗后杂物的结果分析<sup>[8]</sup>。所取土样为上海地区建设工地开挖上来的杂土。土样经烘干,筛分后供试验取用。

表5 堵塞物质级配  
Tab.5 Plugging material gradation

项目	筛孔/mm								
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	<0.075
分计筛余/g	2	20.6	101.9	115	155.7	176.4	232.3	84.3	469.3
通过率/%	99.85	98.34	90.83	82.36	70.89	57.89	40.78	34.57	0.00
比例/%	0.15	1.52	7.51	8.47	11.47	12.99	17.11	6.21	34.57

## 1.4 高压水枪装置

实验采用的仪器设备是来源于工业用高压水枪,其工作压力在  $3\sim 12 \text{ MPa}$  之间,流量为  $10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。该水枪枪头可调节,出水形状可分为扇形和束状,考虑实验要求和实际路面清洗需求,为防止在高水压下对板件表面集料冲洗产生脱落,实验中采用扇形冲洗板件,固定高度为  $30 \text{ cm}$ ,每次匀速冲洗,保证冲洗的均匀度和可靠性,以确保实验数据的可靠。

## 2 堵塞实验的设计

### 2.1 堵塞模拟

#### 2.1.1 堵塞方法

采用湿堵(浊液加灌法)和干堵(干土堵塞法)两种堵塞方法,控制堵塞剂的量来控制堵塞程度;配合固定次数加载和固定时间干燥,定性模拟荷载和堵塞物质的固结;控制单面堵塞和双面堵塞来分别模拟运营初期和运营多年后的状况;根据实际堵塞规律,细颗粒容易进入路面内部,表面采用粗颗粒和背面采用细颗粒分别堵塞。

1) 浊液加灌法。a. 配制  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  浊液,用洒水壶均匀加灌,让堵塞物质能渗透到 OGFC 板件内部。b. 根据设定的堵塞程度,加灌相应的次数以后,放入  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  烘箱中  $1 \text{ h}$ ,以控制板件的湿度,加快土样在孔隙中的固结,加重堵塞程度。c. 重复上述过程,直至初始堵塞程度达到实验设定的初始值。

2) 干土堵塞法。配制干土样,以  $50 \text{ g}$  为一个基本单位,均匀撒在板件的表面,用少量水润湿,用土工锤轻敲,模拟适当的加载过程。

#### 2.1.2 堵塞方法问题与改进

1) 堵塞方法问题。a. 短期内浊液加灌法不能够充分堵塞板件,渗水系数从初始渗水系数  $1\ 100\sim 1\ 300 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ,至多降至  $700\sim 800 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  即趋于饱和,不满足实验中所要求的堵塞程度。b. 撒铺干土与实际路面堵塞状况差异较大,板件表面已完全被堵塞物质覆盖。c. 即使堵塞物质的采用相同的量,其初始堵塞程度也难以控制。

2) 堵塞方法改进。a. 放弃浊液加灌法,采用干土堵塞。根据实际运营道路的堵塞特点,采用双面堵塞,正面采用较大颗粒( $0.2 \text{ mm}$  和  $0.1 \text{ mm}$ )堵塞板件,背面采用小颗粒( $0.075 \text{ mm}$  和  $<0.075 \text{ mm}$ )堵塞板件。b. 板件表面用刷子刷至表面集料裸露,和真实路面状况相差不大。c. 多次重复,不断调整和控制初始程度

在同一水平上。

### 2.1.3 堵塞方案

采用双面干土堵塞,配合水润湿,土工锤加压,刷子清理至集料裸露。以50 g为一个单位,分别改变表面和背面的堵塞量,探讨不同堵塞程度和堵塞部位的影响;并在渗水仪的底部放置一个和渗水仪塑料圈内径大小相仿的容器,用来盛接垂直方向上下渗的水,用C值(垂直方向渗水量与初始堵塞程度渗水量的比例)来表征渗水路径的变化。实验共制备4块板件,其数据如表6。

其中1号板正面100 g背面50 g,2号板正面100 g,3号板正面50 g背面100 g,4号板正面50 g背面50 g。

### 2.3 水压冲洗和测量

步骤1:干净未污染板件用路面渗水仪,测量并计算渗水系数 $k$ <sup>[12]</sup>。

$$k = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \times 60$$

式中: $V_1$ 为第一次读数时水量,ml,通常为100 ml; $V_2$ 为第二次读数时水量,ml,通常为500 ml; $t_1$ 为第一次读数的时间,s; $t_2$ 为第二次读数的时间,s。

步骤2:干土堵塞板件,测量计算初始的渗水系数 $k_0$ 。

步骤3:在某一水压下对板件进行冲洗,测量并计算冲洗后的渗水系数 $k_1$ 。

步骤4:重复步骤3,依次可以得到冲洗*i*次后的渗水系数 $k_i$ 。

步骤5:改变冲洗水压大小(5,7,9 MPa),重复步骤2,3,4,得到另外一组不同水压下的渗水系数。

步骤6:改变初始的板件堵塞程度( $k_0$ ),重复步骤2,3,4,控制水压大小依旧分别为5,7,9 MPa得到另外一组不同初始堵塞程度下的渗水系数。

## 3 数据分析

1) 同样初始堵塞程度的板件在不同的水压下的冲洗效果是不一样的,高压下的冲洗效果明显高于小水压的冲洗效果。如图1,控制起始的渗水系数在200~300 mL·min<sup>-1</sup>,控制每一遍的冲洗时间为1 s,达到相同的清洗效果,9 MPa下在7次左右渗水系数已达到700 mL·min<sup>-1</sup>,冲洗次数明显减小。

同级水压下,渗水系数的增长速度总是先快后慢,每一级水压下总有一个极限值,即再增加冲洗的次数也不能明显增加其冲洗效果的渗水系数。由于板厚、板块的空隙率和板块的堵塞情况一致,因此该极限值表现了水压在深度上的清洗能力,水压越高清洗的深度越深,所需的次数越少。

2) 从图2中可以看到,冲洗多次后,背面堵塞量一样的1号板和4号板最终达到的渗水系数相差不多。但是3号板最终达到的渗水系数还是比较低的。因此最终清洗程度的大小主要取决于背面堵塞程度,背面堵得量多量少是决定最终清洗程度的关键。

3) 双面堵塞和单面堵塞的效果相差甚大。如图3,1号板和2号板的板件初始堵塞程度差异较小,但是达到一定冲洗次数后,单面堵塞的板件已经接近恢复了初始的渗水系数1 000 mL·min<sup>-1</sup>,双面堵塞的板件渗水系数依旧较小。

4) 不同水压冲洗后垂直方向渗水量的增长趋势不同,高压下增长速度较快。如图4,1号板在相同的冲洗次数中,9 MPa下垂直方向上的水的体积增长是比较快的,因此高压下对垂直方向上孔隙的疏通是比较有利的。

表6 板件堵塞数据

Tab.6 Specimens plugging data

板件序号	堵塞剂量/g	
	正面	背面
1	100	50
2	100	0
3	50	100
4	50	50

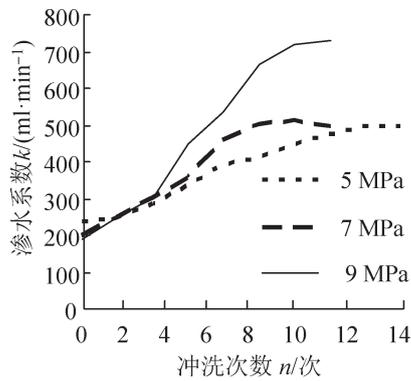


图1 各级水压下渗水系数变化图  
Fig.1 Permeability coefficient changes at different levels of water pressure

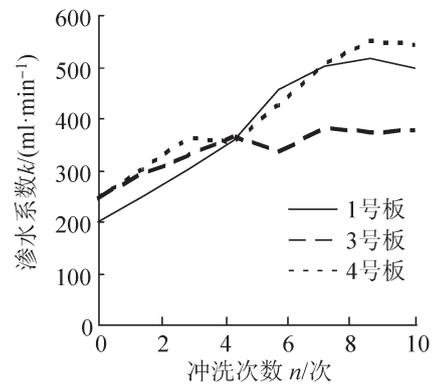


图2 7 MPa水压下不同堵塞程度下渗水系数变化图  
Fig.2 Permeability coefficient changes at different degrees of blockage under 7 Mpa

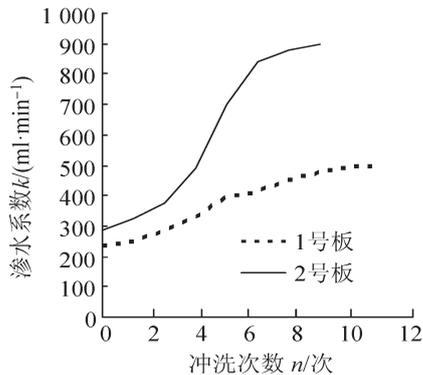


图3 7 MPa水压下单面双面堵塞渗水系数变化图  
Fig.3 Permeability coefficient changes at different sides under 7 Mpa

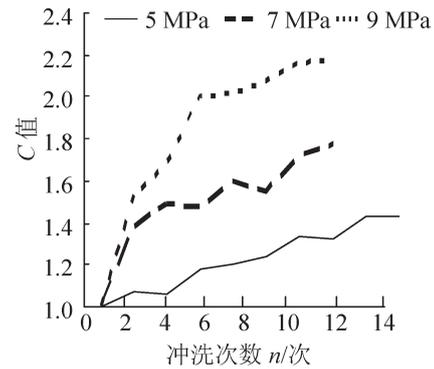


图4 各级水压下垂直渗水体积变化图  
Fig.4 Changes in vertical permeability volume under different water pressure

#### 4 结论

从室内实验出发,定量得到并比较了不同水压下的清淤能力,为实际OGFC路面清洗提供了参考;比较了不同水压冲洗下,渗水路径的变化;提出了单面堵塞和双面堵塞相对比的方法,为室内实验短期模拟OGFC路面浅度堵塞和深度堵塞提供了指导。同样初始堵塞程度板件,高水压下的渗水系数随冲洗次数的增长速率明显高于低水压;每一级水压下,渗水系数的增长速度总是先快后慢,每一级水压下总有一个渗水系数极限值,即使增加冲洗时间也不能增加渗水系数;堵塞程度和冲洗效果主要取决于板件的深层堵塞;单面堵塞下清洗后能基本恢复初始渗水能力;疏通前后,板件渗水路径发生变化,主要表现在竖直方向上渗水量的增加,且水压越大,对竖直方向的疏通效果越明显。

#### 参考文献:

[1] 魏建军,孔永健. 多孔隙低噪声沥青路面降噪机理的研究[J]. 黑龙江工程学院学报,2004,18(1):11-13,19.  
 [2] 许银行. 双层大孔隙沥青路面的堵塞行为特性研究[J]. 中外公路,2009,29(2):79-82.  
 [3] 邹艳琴,陈博,陶家朴. 多孔排水沥青路面[J]. 筑路机械与施工机械化,2010(11):43-46.  
 [4] 胡曙光,黄绍龙,张厚记,等. 开级配沥青磨耗层(OGFC)的研究[J]. 武汉理工大学学报,2004,26(8):23-25.  
 [5] 矫芳芳. 排水沥青混合料性能影响因素研究[D]. 西安:长安大学,2010.  
 [6] 王坤,陈景雅. Sasobit应用于温拌排水沥青混合料的研究[J]. 华东交通大学学报,2012,26(6):11-15.

- [7] TAN S A, FWA T F, GUWE V Y K. Laboratory measurements and anaLysis of cLogging mechanism of porous asphaLt mixes [J]. Journal of Testing and Evaluation, 2000, 28: 207-216.
- [8] 潘琛明. 排水性沥青路面机能衰变规律及功能性养护对策[J]. 交通世界: 建养机械, 2011(6): 70-72.
- [9] 李交, 闫国杰, 马利志, 等. 排水性沥青混凝土路面机能恢复车的应用[J]. 公路, 2010(12): 186-190.
- [10] ABE T, KISHI Y. Development of low-noise pavement function-recovery machine [C]//International Society for Asphalt Pavements: Ninth International Conference on Asphalt Pavements. Denmark: Danish Road Institute, 2002: 17-22.
- [11] 王明飞. 排水性沥青路面设计与施工[J]. 公路与汽运, 2011(1): 93-95.
- [12] 交通运输部公路科学研究院. JTG E20-2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011

## Exploration on Blockage and Dredging of OGFC Material

Li Bo, Meng Fanyu, Li Shuming, Wang Peng, Xiong Ziyi

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** With longer operating period, the clogging of the OGFC material is getting more and more severe. In view of the clogging characteristics of the OGFC material, this study puts forward mono-side clogging and bi-side clogging to simulate both shallow and deep clogging. By applying high-pressure water column to flush the clogging material, the study explores the clogging mechanism of OGFC material and the flushing effect of the high-pressure water sprinkler. The experimental results show that the high pressure influences the growing velocity of the permeation factor on a large scale, which grows faster in the first few minutes and has a summit throughout the whole process. The results also manifest that final flushing effect depends on the deep clogging and the permeating path is influenced by the dredging which results in the considerable increase of the total volume of vertical permeation.

**Key words:** OGFC; blockage; high-pressure water cleaning