

Study on Anti-Rutting Performance of Different Asphalt Pavement Materials

Linheng Zhan¹, Yingshuo Wei^{2*}

¹Dongguan City Highway Administration, Dongguan Guangdong

²Key Laboratory of Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an Shannxi

Email: *1322110183@qq.com

Received: Oct. 28th, 2018; accepted: Nov. 20th, 2018; published: Nov. 27th, 2018

Abstract

With the increase of heavy-duty vehicles and the channelization of highway traffic, rutting has become the main disease of asphalt pavement. In order to more systematically understand the anti-rutting performance of the direct-applying structure of "white plus black" pavement, this paper chooses 70#A asphalt, 70#A asphalt + PRM, SBS asphalt + PRM three materials are mixed with AC-13 asphalt mixture and the test pieces meet the requirements. The accelerated loading test of three specimens was carried out by MMLS3 tester. The sensitivity of three kinds of asphalt paving materials to rutting at different temperatures (20°C and 60°C) and different rates (2 Km/h and 9 Km/h) were analyzed. The results show that the anti-rutting performance of high modulus asphalt paving materials is obviously better than that of 70#A asphalt paving materials. Under high temperature conditions, 70#A asphalt paving materials should be carefully selected, and high modulus agents should be added. SBS asphalt and 70#A asphalt mixture have similar rutting resistance; at 60°C, 70#A asphalt + PRM overlay material is sensitive to the loading rate, and the influence of loading rate should be fully considered when selecting this material.

Keywords

Road Engineering, Anti-Rutting Performance, Accelerated Loading Experiment, "White Plus Black" Pavement

不同沥青加铺材料抗车辙性能研究

詹林衡¹, 魏英烁^{2*}

¹东莞市公路管理局, 广东 东莞

²长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安

Email: *1322110183@qq.com

*通讯作者。

摘要

目前, 旧水泥混凝土路面“白改黑”已经成为一种趋势, 但随着重载车辆的增多和公路交通渠化, 车辙已成为“白改黑”路面的主要病害, 为更加系统地了解“白改黑”路面直接加铺结构的抗车辙性能, 本文选择70#A沥青、70#A沥青 + PRM、SBS沥青 + PRM三种材料拌制AC-13沥青混合料并制作符合要求的试件。采用MMLS3试验仪对三种试件进行加速加载试验, 分析在不同温度(20℃和60℃)、不同速率(2 Km/h和9 Km/h)下3种沥青加铺材料对车辙的敏感性。结果表明: 高模量沥青加铺材料的抗车辙性能明显优于70#A沥青加铺材料, 在高温情况下, 70#A沥青加铺材料要谨慎选用, 添加高模量剂的情况下, SBS沥青和70#A沥青混合料具有相似的抗车辙能力; 在60℃下, 70#A沥青 + PRM加铺材料对加载速率比较敏感, 选择此材料时要充分考虑到加载速率的影响。

关键词

道路工程, 抗车辙性能, 加速加载实验, “白改黑”路面

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水泥路面的行车舒适性差、噪音较大;在路基、地基变形或不均匀沉降条件下, 易形成板底脱空、板块断裂破坏等病害且修复难度大、养护期较长[1]。在对旧水泥混凝土路面处理后加铺沥青面层不仅节约资源、缩短改建道路的工期、提高道路行车舒适性等一系列优点[2]。目前, 针对旧水泥混凝土路面“白改黑”改造已经成为了一种趋势。随着我国社会经济和交通运输的快速发展, 道路的交通流量迅速增大, 尤其是重载车辆的增多和公路交通渠化的进一步完善, 道路车辙已成为沥青路面的主要病害。特别是近几年各级公路的车辙出现呈现出加快态势, 严重影响了道路的使用功能和服务质量[3]。因此研究“白改黑”路面直接加铺结构的抗车辙性能是行之有效的。

郝培文等通过对沥青路面的车辙典型断面钻取芯样, 分析各结构层的变形情况, 加铺层是产生车辙的主要层位, 在高温和行车荷载的双重作用下, 加铺层尤其是加铺层下层产生严重的变形[4]。刘发水对福州地区白改黑路面病害进行调查与成因分析, 发现福州地区白改黑路面病害主要是网裂与车辙, 总结工程经验, 建议加铺层厚度大于 12 厘米, 表面层和中面层双层结构都使用改性沥青[5]。薛枫以水泥路面白改黑工程为例, 将橡胶粉作为改性剂加入到沥青混凝土原材料中, 大幅度降低了路面的温变裂缝、疲劳裂缝、反射裂缝的发生, 提高了路面抗车辙、抗永久变形能力[6]。孙立军等以室内车辙试验及加速加载试验为基础, 通过对车辙影响因素的分析建立了指数形式的沥青路面多参数车辙预估模型, 模型自变量包括抗剪强度、剪应力、加载次数、路面温度及行车速度[7]。武金婷等通过加速加载设备 MLS66 对专门修筑的试验路进行了高温、常温下超载 50%的加载试验, 发现不同温度条件下车辙发生层位不同, 建议改进中面层材料的组成设计, 采用模量较高的沥青混合料[8]。陆露等选用 SBS 改性沥青、高模量沥青进行对比试验, 结果表明, 高模量沥青混合料应用于道路交叉口将能有效地提高路面的抗车辙性能[9]。

马蓉蓉等利用 Bisar3.0 软件对高模量沥青混凝土路面结构进行力学响应分析, 采用高模量沥青可以有效地提高路面的抗车辙性能, 并建议设置在中面层, 在此基础上不建议缩减面层厚度[10]。为验证高模量沥青混凝土路面的抗车辙性能, 广东省路桥攻速修筑了 14,000 m 的高速公路, 修筑后对该条试验路进行观测, 在之后的 2 年的观测中发现, 该条道路的车辙深度明显小于相同情况下的其他道路[11]。

为了进一步验证“白加黑”路面不同加铺材料的抗车辙性能, 本文采用 MMLS3 试验仪对 70#A 沥青、70#A 沥青 + PRM、SBS 沥青+PRM 三种材料拌制的 AC-13 沥青混合料试件进行加速加载试验, 分析在 20℃和 60℃、2 Km/h 和 9 Km/h 下 3 种沥青加铺材料对车辙的敏感性。

2. 材料组成

本研究采用 2 种沥青材料分别为 70#A 基质沥青和 SBS I-C 改性沥青, 其技术指标见表 1; 集料为玄武岩, 工程技术指标见表 2; 为提高沥青混合料的整体模量, 增大沥青混凝土路面的高温稳定性能, 抵抗高温车辙变形, 参考前人经验[12], 本研究选用了法国 PR 公司生产的高模量改性剂 PR MODULE (PRM), 技术指标见表 3; 沥青混合料类型采用 AC-13, 各筛孔通过率见表 4。三种 AC-13 沥青混合料分别为: 70#A 沥青、70#A 沥青 + PRM、SBS 沥青 + PRM。高模量剂以干拌法掺入沥青混合料。

Table 1. Asphalt technical indicators

表 1. 沥青技术指标

指标	单位	SBS I-C	70#A	测试方法
针入度(25℃)	0.1 mm	66	68.6	T0604
针入度指数 PI	—	-0.12	0.05	
软化点(环球法)	℃	75.2	47.5	T0606
延度(5℃、cm/min)	cm	44	>100	T0605
旋转薄膜烘箱延度(5℃)	cm	24	9.6	

Table 2. Aggregate technical indicators

表 2. 集料技术指标

技术指标	粒径	实测值					规范值
		13.2	9.5	4.75	2.36	<2.36	
表观相对密度	g/cm ³	2.936	2.942	2.934	2.947	2.941	≧2.5
毛体积相对密度	g/cm ³	2.877	2.876	2.843	2.898	2.863	---
吸水率	%	0.741	0.784	1.092	0.843	0.672	≧2.0
针片状含量	%	4.6	5.2	5	---	---	≧20
与沥青粘附性	级		5		--	--	≧4

Table 3. PRM high modulus modifier technical indicators

表 3. PRM 高模量改性剂技术指标

种类	外观颜色	尺寸/mm	熔点/℃	密度/g·cm ⁻³	推荐用量
法国 PRM	圆柱体颗粒 灰色	直径约 5 高 1.3	175	0.930~0.965	0.6%~0.8%

Table 4. AC-13 asphalt mixture gradation design table
表 4. AC-13 沥青混合料级配设计表

筛孔粒径	通过率									
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5	13.2	16
确定级配	7	10	13.5	18	23.5	33	49	73.5	94	100

3. 加铺材料加速加载试验方法

3.1. MMLS3 加速加载试验仪

MMLS3 设备因其体积小、质量轻的特点是目前常用的室内小型加速加载仪器。MMLS3 设备主要包括: 荷载模拟器、剖面测试仪、环境控制仓、制热系统、制冷系统、湿润路面干燥系统、室内振动碾压成型机、成型试模、试槽等。加速加载试验机主要的实验参数见表 5。

Table 5. Main technical parameters of the MMLS3 accelerated loading device
表 5. MMLS3 加速加载设备主要技术参数

单轮轴重	接触面积	轮压	加载频率	路面厚度	加载位置
2.7 KN	0.6 m × 0.2 m	0.7 MPa	0~7200 次/h	0~125 mm	中间横隔板上方

与传统车辙仪相比较, MMLS3 具有的优势: 能够模拟各个湿度下的加速加载试验; 能够对加载速率进行调控, 最大速率为 27 km/h; 加载为单向加载, 更加符合实际道路中车辆的行驶状况; MMLS3 采用内部空心的橡胶轮胎, 通过调节内部的胎压来模拟实际状况; MMLS3 拥有更全面的数据, 能够表征混合料的压缩变形, 剪切变形以及破坏。更加真实的反应混合料的破坏过程。

3.2. 试验模型及测试方法

本次研究采用的试件由 5 cm 水泥混凝土板 + 5 cm 沥青层组成, 我国的车辙试验试件尺寸为 30 cm × 30 cm × 5 cm, 以此为基础制作一个 30 cm × 30 cm × 10 cm 的模具(可拆卸), 试件的制作过程为: 先浇筑 5 cm 的水泥混凝土, 然后在标准养护条件下养生 7d, 之后在上面加铺 5 cm 的沥青材料, 带试件冷却至室温时, 将模具拆掉, 之后将其切割成 10 cm × 10 cm × 10 cm 的试件。

研究表明, 车辙产生的机理主要是重载作用下沥青混凝土的剪切流动变形[13]。温度较低时, 沥青混凝土的模量相对较高, 抗车辙性能较好; 当温度升高时, 沥青混凝土的模量降低, 抗车辙性能变差。低温参考室外常温大概在 20℃左右, 高温参考车辙试验的规定温度为 60℃, 因此本次研究以 20℃和 60℃为温度变量(通过水域循环调节加速加载时试件的温度)。影响加铺结构层车辙深度的各个因素中, 除了加载温度外加加载频率也是一个重要的因素。轮胎转速对应的加载频率见表 6。选择一个高频率值和一个较低频率值进行对比研究, 对应的轮胎转速 9 Km/h 和 2 Km/h 以此为研究变量(通过对 MMLS3 轮胎转速的调节来控制加载频率)。

Table 6. Rate and frequency correspondence table
表 6. 速率与频率对应表

荷载频率(Hz)	0.4	0.889	1.333	1.778	2.222	2.667	3.111	3.556	4
电机频率(Hz)	5.3	10.67	16	21.33	26.67	32	37.33	42.67	48
转次(次/h)	800	1600	2400	3200	4000	4800	5600	6400	7200
速度(Km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9

本次研究以 10,000 次加载次数为单位元, 以 200,000 次加载次数为最终次数, 采用 3D 扫描仪测量每个加载单位的试件的车辙深度。

Handyscan300 便携式 3D 扫描仪是一个数据采集系统, 也是其自身的定位系统。采用三角测量法来实时确定自身与被扫描部件的相对位置, 测量精度为 0.001 cm, 分辨率为 0.005 cm, 具有极高的可重复性和可追踪性。

Vxelements 软件为 Handy SCAN 3D 扫描仪随附软件, 这是一款全集成的 3D 数据采集软件平台, 可以为整个 3D 扫描和测量技术系列提供支持。完成数据采集步骤之后即可自动创建并提供优化扫描文件。

试件的车辙深度为计算所得的最高点群和最低点群的平均高度之差。

采用传统的游标卡尺进行车辙深度的测量仅能测量试件边缘的车辙深度, 无法表征整体试件的形状变化。两种测量方式的车辙深度误差误差不大, 换言之采用游标卡尺对试件进行测量是可行的, 但是为了更加精确的表征加载试件的车辙深度, 应采用 3D 扫描计算车辙深度。

4. 结果与分析

4.1. 不同温度下的加速加载试验结果与分析

本实验以 20℃ 和 60℃ 为温度变量进行加速加载试验, 加载压力为 0.7 MPa, 加载荷载频率为 4 Hz, 对应的轮胎转速为 9 Km/h。得到在 20℃ 和 60℃ 温度下三种加铺材料的车辙深度与加载次数的关系(见图 1 和图 2)。

由图 1 和图 2 可知:

1) 在 20℃ 和 60℃ 的条件下, 车辙深度都随加载次数的增大而增大, 且最大的车辙深度 SBS 沥青 + PRM < 70#A 沥青 + PRM < 70#A 沥青。这说明 SBS 沥青+PRM 混合料具有最大的抵抗车辙能力, 而 70#A 沥青混合料的抗车辙能力最差。

这主要是由于 PRM 高模量剂的加入明显提高了沥青混混合料的模量, 进而提高了混合料的抗车辙能力, 而 SBS 相对于 70#A 拥有更好的抗车辙能力。

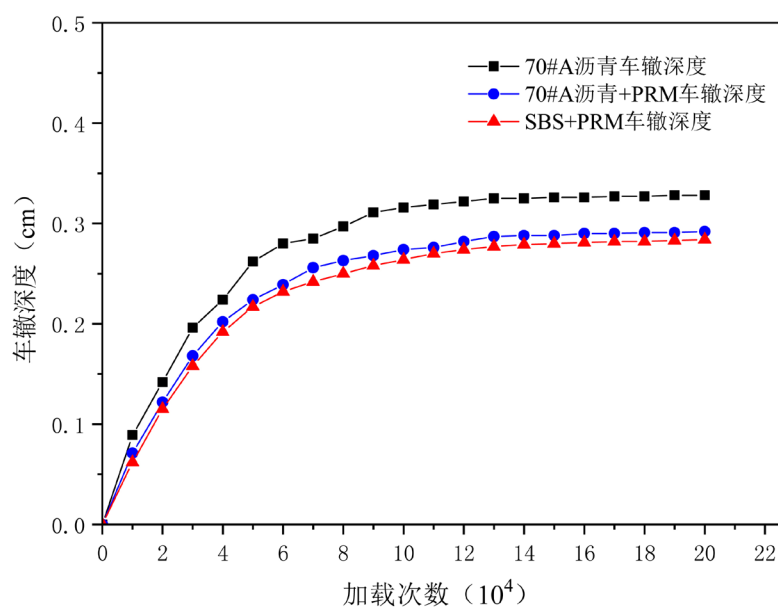


Figure 1. 20°C rut depth

图 1. 20°C 车辙深度

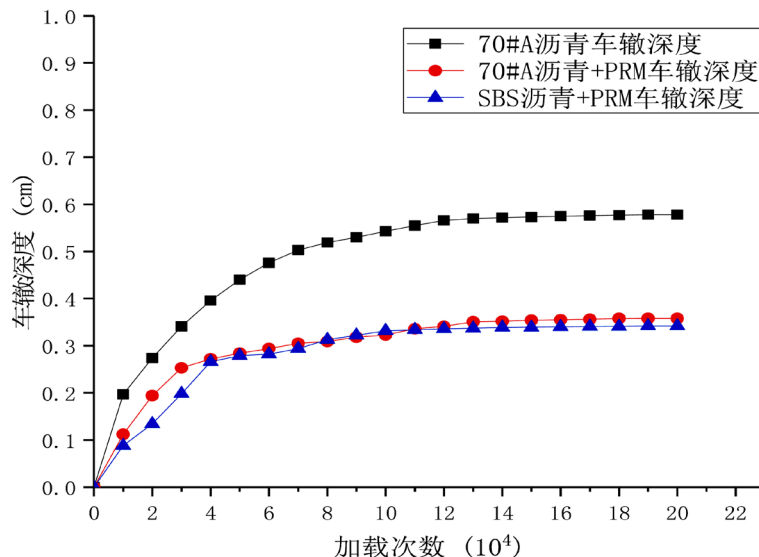


Figure 2. 60°C rut depth
图 2. 60°C 车辙深度

2) 在 20°C 和 60°C 的条件下, 70#A 沥青 + PRM 和 SBS 沥青 + PRM 混合料的车辙深度相差不大, 分别为: 0.008 cm 和 0.016 cm, 说明这两种沥青混合料在两种温度下具有相似的抗车辙能力; PRM 高模量改性剂和 SBS 改性剂都能提高沥青的抗车辙性能, 其中 PRM 高模量改性剂起决定性作用。

3) 但是, 在 60°C 的条件下, 70#A 沥青+PRM 和 SBS 沥青+PRM 与 70#A 沥青混合料的车辙深度差明显大于 20°C。这主要是由于温度的升高导致混合料内自由沥青的粘度降低混合料模量降低, 抵抗车辙能力下降。因此在高温条件下(60°C), 70#A 沥青混合料具有较差的抗车辙能力, 应谨慎选用。

为进一步分析不同温度对同一种加铺材料的影响, 现分别绘制三种加铺材料 20°C 和 60°C 的加载次数与车辙深度的关系图, 结果见图 3~5 (其中车辙减缓指的是车辙发展第一阶段与第二阶段的转折点)。

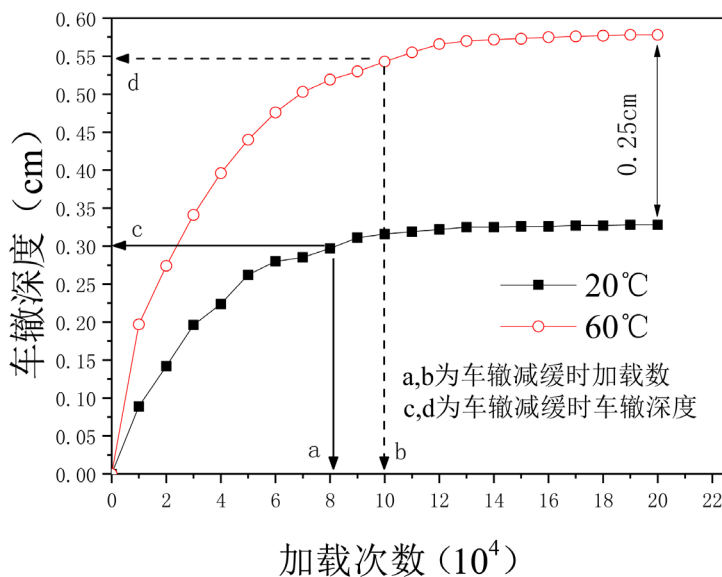


Figure 3. 70#A asphalt paving material
图 3. 70#A 沥青加铺材料

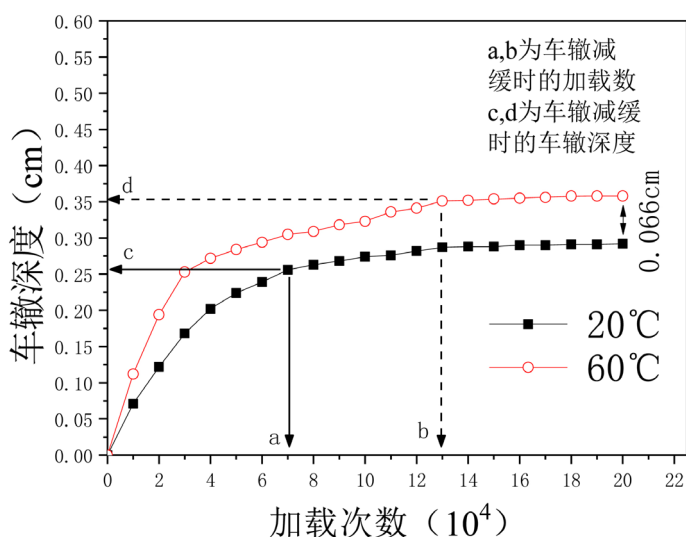


Figure 4. 70#A asphalt + PRM overlay material

图 4. 70#A 沥青 + PRM 加铺材料

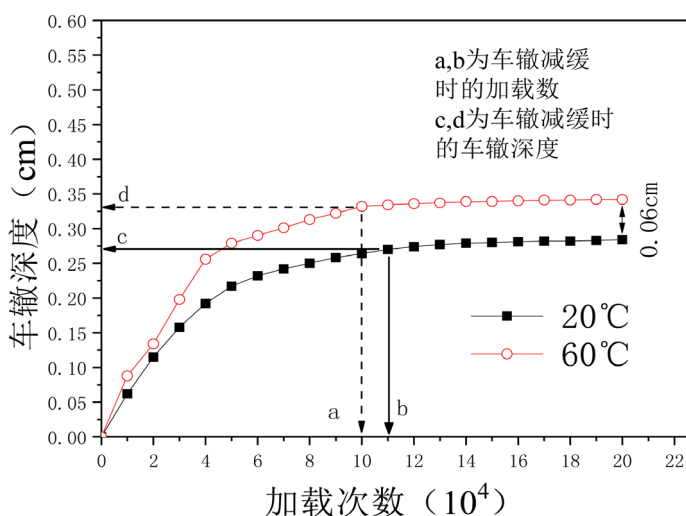


Figure 5. SBS asphalt + PRM overlay material

图 5. SBS 沥青 + PRM 加铺材料

由上图 3~5 可知:

1) 3 种混合料 20°C 和 60°C 的最大车辙深度差分别为: 0.25 cm, 0.066 cm 和 0.06 cm。其中, 70#A + PRM 和 SBS + PRM 沥青混合料相差不大, 这是由于相较于沥青对混合料抗车辙能力的影响, PRM 高模量改性剂起到决定性的作用, 从另外一个角度也证明这两种混合料具有相似的抗车辙能力。

2) 分别对比 3 种沥青混合料 20°C 和 60°C 条件下车辙深度变化曲线的斜率差可知, SBS 沥青 + PRM < 70#A 沥青 + PRM < 70#A 沥青, 说明 SBS 沥青 + PRM 混合料的感温性最小, 抗车辙能力最好, 70#A 沥青 + PRM 次之, 70#A 沥青最差。

4.2. 不同速率下的加速加载试验结果与分析

本实验以 2 Km/h 和 9 Km/h 为速率变量进行加速加载试验, 加载压力为 0.7 MPa, 加载温度为 60°C,

其中加载速率为 9 Km/h 的试验结果见上图 2。加载速率为 2 Km/h 的三种加铺材料的车辙深度与加载次数的关系(见图 6)。

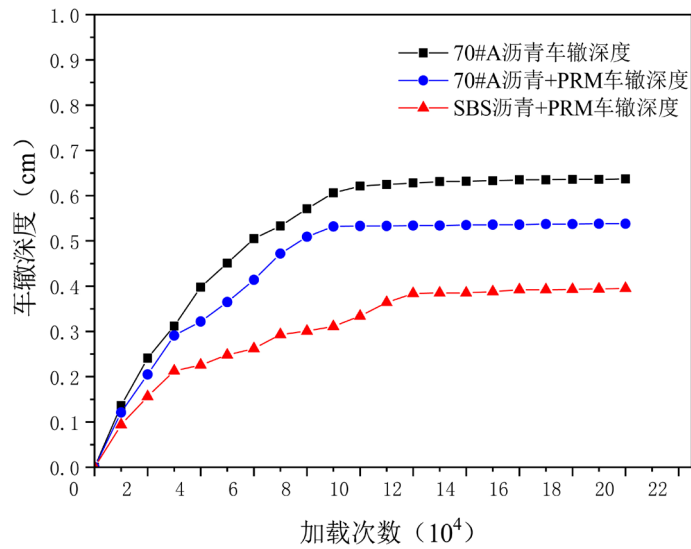


Figure 6. 2Km/h rut depth
图 6. 2Km/h 车辙深度

由上图 2 和图 6 可知:

- 1) 三种材料在不同加载速率下的车辙深度随加载次数变化规律与不同温度下的一致, 最大的车辙深度 SBS 沥青 + PRM < 70#A 沥青 + PRM < 70#A 沥青。
- 2) 在 9 Km/h 和 2 Km/h 的条件下, 70#A 沥青+PRM 和 SBS 沥青+PRM 混合料的车辙深度差分别为: 0.008 cm 和 0.143 cm, 说明 SBS 沥青+PRM 混合料的抗车辙能力优于 70#A 沥青+PRM 混合料, SBS 改性剂可以间接提高沥青的模量, 使其车辙深度可以降低约 0.1 cm。

为进一步分析加载速率对同一种加铺材料车辙深度的影响, 现分别绘制三种加铺材料在不同加载速率下加载次数与车辙深度的关系图, 见图 7~9。

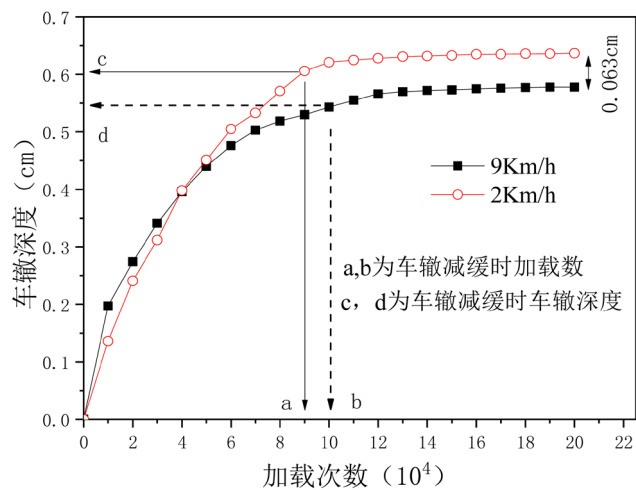


Figure 7. 70#A asphalt + PRM overlay material
图 7. 70#A 沥青加铺材料+PRM 加铺材料

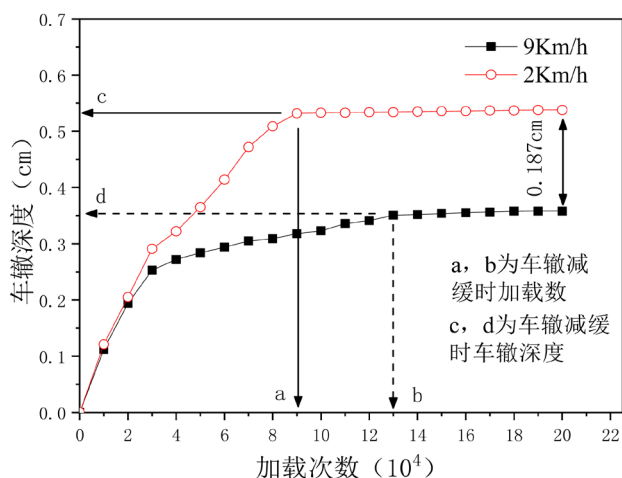


Figure 8. 70#A asphalt paving material

图 8. 70#A 沥青

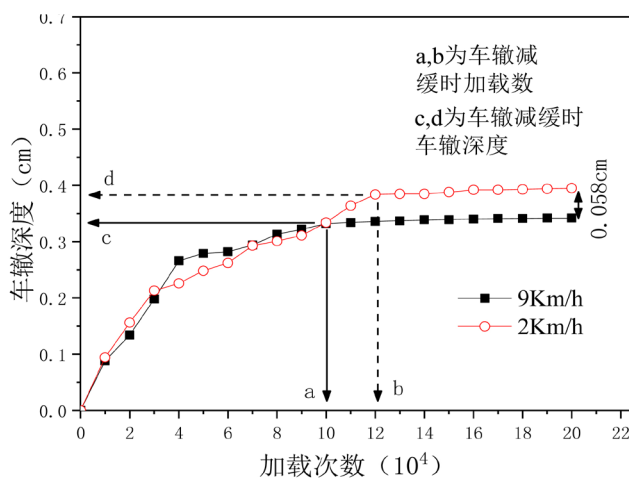


Figure 9. SBS asphalt + PRM overlay material

图 9. SBS 沥青+PRM 加铺材料

由上图 7~9 可知:

1) 对比 3 种混合料的车辙变形在加载速率 2 Km/h 都要明显大于 9 Km/h, 这是由于加载速率越慢, 荷载在混合料上的作用时间越长, 对混合料的推挤作用越大, 车辙变形也就越大。

2) 3 种混合料 2 Km/h 和 9 Km/h 的最大车辙深度差分别为: 0.063 cm, 0.187 cm 和 0.058 cm, 对加载速率的敏感性: SBS 沥青 + PRM < 70#A 沥青 + PRM < 70#A 沥青加铺材料。这主要是由于混合料的模量越大, 在相同的温度和荷载作用下模量越大其对荷载的推挤作用抵抗力就越强, 对速率的敏感性就越低。

5. 结论

通过对三种加铺材料在不同温度、不同加载速率下的加速加载试验, 来判断各种加铺材料对车辙的敏感性。主要结论如下:

1) 在常温 20℃ 下, 三种加铺层材料的抗车辙性能相差不大。但当处于高温 60℃ 下, SBS 沥青 + PRM 和 70#A 沥青 + PRM 加铺材料的抗车辙性能明显高于 70#A 沥青加铺材料, 应谨慎选用 70#A 沥青。

2) SBS 沥青 + PRM 和 70#A 沥青+PRM 两种混合料在高低温具有相似的抗车辙性能, 同时从道路建设的经济性方面考虑, 推荐采用 70#A 沥青 + PRM 作为“白加黑”路面的加铺材料。

3) 当加载速率从 9 Km/h 降低到 2 Km/h 时, 70#A 沥青 + PRM 加铺材料对加载速率的敏感性最大, 且在较低的加载速率下, 三种沥青加铺材料的车辙深度都偏大。

参考文献

- [1] 胡志斌. 沥青路面和水泥混凝土路面的优缺点[J]. 科技创新导报, 2008(2): 54.
- [2] 郑剑锋, 郑燕萍, 范文龙, 汪洋. 浅谈白加黑路面在实践过程中的应用[J]. 中国高新技术企业, 2012(21): 65-67.
- [3] 李会湘, 姜云峰. 浅析沥青路面车辙影响因素及防治措施[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(1): 23-24.
- [4] 崔文博, 郝培文. 基于 Ham-burg 车辙试验的沥青路面车辙损坏分析[J]. 中外公路, 2014, 34(1): 95-98.
- [5] 刘发水. 福州地区水泥路面沥青加铺层病害调查与分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015(36): 90-93.
- [6] 薛枫. 橡胶沥青混凝土在“白改黑”工程中的应用[J]. 中华民居(下旬刊), 2014(9): 130.
- [7] 汤文, 吴学文, 孙立军. 沥青路面车辙的多参数预估模型研究[J]. 中外公路, 2016, 36(1): 45-49.
- [8] 武金婷, 叶奋. 基于 MLS66 加速加载试验的沥青路面车辙变形分析[J]. 建筑材料学报, 2014, 17(3): 406-413.
- [9] 陆露, 王鹏. 高模量沥青在道路交叉口路面车辙防治中的应用[J]. 交通标准化, 2013(23): 39-42.
- [10] 马蓉蓉, 陈先华, 柳仁军, 何占军. 高模量沥青混凝土在路面结构中的优化[J]. 中外公路, 2014, 34(1): 277-281.
- [11] 郭林泉, 谭积青. 高模量沥青混凝土在路面车辙处理中的应用[J]. 公路交通科技, 2006(6): 90-91.
- [12] 沙爱民, 周庆华, 杨琴. 高模量沥青混凝土材料组成设计方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2009, 29(3): 1-5.
- [13] 苏凯, 孙立军. 沥青路面车辙产生机理[J]. 石油沥青, 2006(4): 1-7.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org