

# 基于低速搅拌的纤维沥青性能试验研究

林广华, 匡强, 黄红明

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528000)

**摘要:** 基于低速搅拌法, 通过沥青的三大指标、短期老化、布氏粘度研究木质素纤维、玄武岩纤维对沥青常规性能的影响, 通过剪切流变 DSR、红外光谱分析其高温流变性能及微观特性。结果表明, 采用低速搅拌法, 木质素纤维、玄武岩纤维可提高 70# 基质沥青的高温、低温、短期老化性能; 纤维沥青在 66 °C 之前的稳定性不如 70# 沥青; 木质素纤维、玄武岩纤维并不会与沥青发生直接化学反应或混融而增减官能团, 纤维对沥青主要起表界面的物理作用。

**关键词:** 公路; 木质素纤维; 玄武岩纤维; 低速搅拌

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)03-0055-05

将改性增强材料(如 SBS、抗车辙剂、纤维、橡胶粉等)加入沥青混合料中, 可提高沥青路面的使用性能, 使其能适应重载交通和环境条件变化。相关研究表明玄武岩纤维吸湿性较大, 与沥青的吸附不良, 不能完全发挥玄武岩纤维的作用; 木质素纤维的吸油、增韧桥接对沥青有显著的阻滞作用, 可减弱沥青与集料的离析, 从而提高沥青混合料的路用性能。木质素纤维和玄武岩纤维对沥青性能的影响有一定的相似度。鉴于采用高速剪切法制作纤维沥青的过程中会破坏纤维的整体性, 影响其对沥青的改性效果。该文基于低速搅拌法开展木质素纤维、玄武岩

纤维对沥青性能影响的试验研究。

## 1 原材料及试验方案

### 1.1 原材料

基质沥青采用中石油 70# A 级道路石油沥青, 其技术指标检测结果见表 1。

纤维采用派尼尔公司生产的颗粒状木质素纤维和 PNE 玄武岩纤维, 前者由絮状木质素纤维加适量沥青加工而成, 其技术指标检测结果见表 2, 后者是一种高性能无机纤维, 呈金褐色, 由天然玄武岩融化、抽丝、短切等工艺制成, 其技术指标检测结果见

表 1 70# A 级基质沥青的技术指标

项目	检测结果	项目	检测结果
针入度(25 °C, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	67.7	闪点/%	272
针入度指数	-1.44	熔解度/%	99.85
软化点/°C	49.25	密度/(g · cm <sup>-3</sup> )	1.037
延度(10 °C, 5 cm/min)/cm	48.9	质量损失/%	-0.37
延度(15 °C, 5 cm/min)/cm	>100	旋转薄膜老化(163 °C, 5 h) 延度(10 °C, 5 cm/min)/cm	7.0
运动粘度(60 °C)/(Pa · s)	241.0	针入度比/%	62.9

表 3。

表 2 木质素纤维的技术指标

项目	检测结果
外观	颗粒状
吸油率	>5 倍纤维质量
耐高温热失重/%	≤6
长度/mm	≤6
pH 值	7.5±1
耐热能力	210 °C, 5 h 体积无变化

表 3 玄武岩纤维的技术指标

项目	检测结果
长度/mm	6
抗拉强度/MPa	1 050~3 500
断裂伸长率/%	≤3.1
熔点/°C	>1 350
直径/μm	7~30
弹性模量/GPa	40~100
耐热能力	210 °C, 2 h 体积无变化
密度/(g · cm <sup>-3</sup> )	2.8

## 1.2 试样制作

采用低速搅拌法制作纤维沥青试样。木质素纤维掺量为沥青质量的0.4%、玄武岩纤维掺量为沥青质量的0.3%。将加热后呈乳化状的基质沥青与纤维置入容器中,玻璃棒搅拌15 min,搅拌速度为60~120 r/min,再放置在160~170℃烘箱中热胀发育,放置时间不少于1 h。若纤维未完全打开或分布不均匀,则重新搅拌并放入烘箱中热胀发育直至纤维完全打开并分布均匀,制得纤维沥青试样。

## 1.3 试验方案

通过沥青的三大指标、短期老化、布氏粘度研究纤维对沥青基本性能的影响;通过剪切流变DSR、红外光谱分析其高温流变性能及微观特性。

## 2 纤维对沥青基本性能的影响

### 2.1 纤维沥青性能

分别测定基质沥青与纤维沥青的性能指标,结果见表4。

表4 纤维沥青试验结果

项目	各沥青的试验结果			
	70# 基质沥青	木质素纤维沥青	玄武岩纤维沥青	
针入度/(0.1 mm)	15℃	22.34	20.23	17.93
	25℃	67.70	57.80	51.23
	30℃	123.21	101.08	84.15
针入度指数	-1.44	-0.96	-0.76	
软化点/℃	49.25	51.95	52.70	
当量软化点 $T_{800}$ /℃	45.82	49.48	51.69	
当量脆点 $T_{1.2}$ /℃	-10.55	-11.38	-11.20	
布氏粘度(135℃)/(Pa·s)	1.01	1.56	1.48	
薄膜烘箱试验后	质量损失/%	-0.37	-0.24	-0.21
	针入度(25℃)/(0.1 mm)	42.58	40.90	36.21
	针入度比/%	62.90	70.76	70.69

## 2.2 纤维沥青基本性能分析

### 2.2.1 感温性能

根据15、25、30℃实测针入度,按式(1)进行线性回归得到系数A和K,由式(2)计算得到针入度指数PI。针入度与温度的回归分析结果见图1,3种沥青的针入度指数PI见图2。

$$\lg P = AT + K \quad (1)$$

$$PI = \frac{30}{1 + 50A} - 10 \quad (2)$$

式中: $\lg P$ 为不同温度条件下所测针入度的对数;A

为回归方程的斜率;T为试验温度(℃);K为回归方程的截距(常数)。

PI值越大,则沥青对温度的敏感性越小,其高温稳定性越好。从图2可看出:70#基质沥青添加纤维后,其PI值增加;3种沥青的PI值均满足规范要求,其中70#基质沥青的PI值最小,玄武岩纤维沥青的最大。说明木质素纤维、玄武岩纤维降低了70#基质沥青的温度敏感性,提高了其高温稳定性,且玄武岩纤维的温度敏感性改善效果优于木质素纤维。

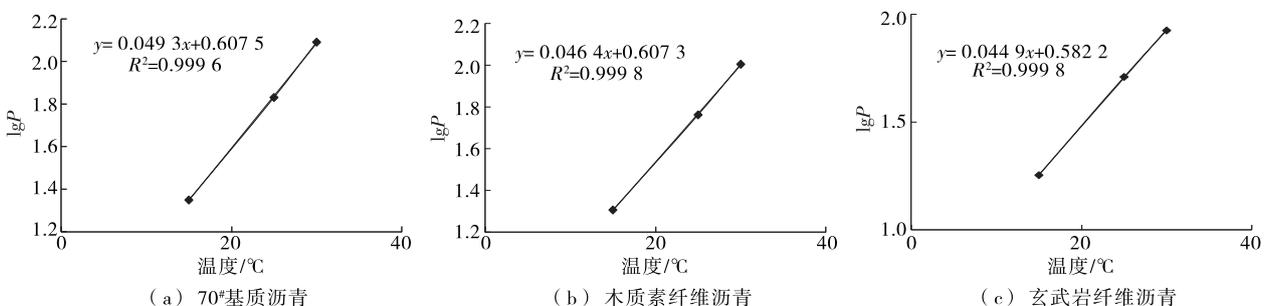


图1 沥青针入度与温度的回归分析结果

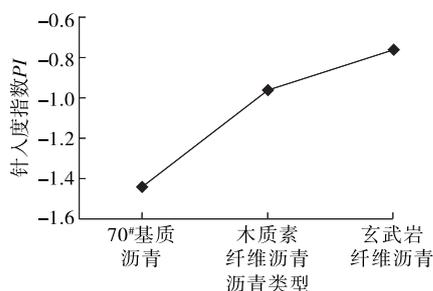


图2 3种沥青的针入度指数PI对比

### 2.2.2 高温性能

中国大部分沥青路面采用多蜡沥青,采用环球法所测软化点普遍偏高。为了减小蜡含量对沥青软化点试验结果的影响,采用当量软化点  $T_{800}$  评价沥青的高温性能,计算公式见式(3)。3种沥青的针入度见图3,软化点与当量软化点见图4。

$$T_{800} = \frac{\lg 800 - K}{A} = \frac{2.9031 - K}{A} \quad (3)$$

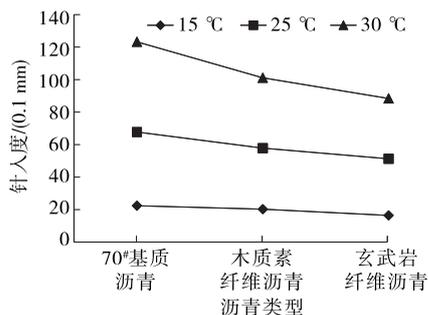


图3 3种沥青的针入度对比

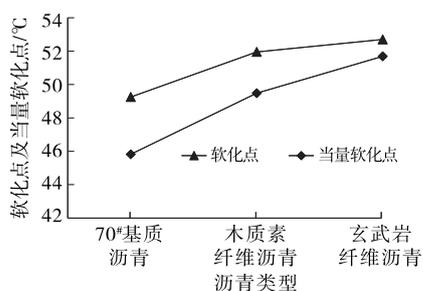


图4 3种沥青的软化点与当量软化点对比

由图3可看出:随着温度的升高,3种沥青的针入度均不同程度降低;在同一温度条件下,木质素纤维、玄武岩纤维沥青的针入度低于70#基质沥青,其中玄武岩纤维沥青的最低。表明玄武岩纤维、木质素纤维可提高70#基质沥青的稠度,改善其抵抗高温变形的能力。

从图4可看出:无论是软化点还是当量软化点,纤维沥青均比70#基质沥青高,纤维的添加改善了

70#基质沥青的高温性能;玄武岩纤维沥青的软化点及当量软化点比木质素纤维的大,说明玄武岩纤维对沥青高温性能的改善效果优于木质素纤维。综合图3、图4,木质素纤维、玄武岩纤维能有效提高70#基质沥青的高温稳定性。

### 2.2.3 低温性能

由于沥青含蜡量较高,人工操作测试脆点时经常出现“沥青脆点实测值低但低温抗裂性差”的现象,采用弗拉斯脆点评价中国多蜡沥青的低温抗裂性能不够合理。因此,采用当量脆点  $T_{1.2}$  评价沥青的低温性能,计算公式见式(4)。图5为3种沥青的当量脆点  $T_{1.2}$ 。

$$T_{1.2} = \frac{\lg 1.2 - K}{A} = \frac{0.0792 - K}{A} \quad (4)$$

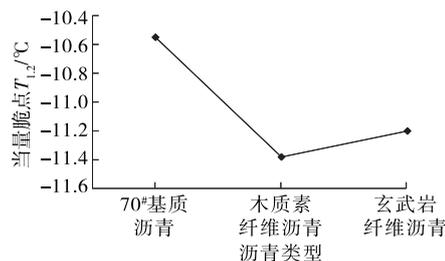


图5 3种沥青的当量脆点 T1.2 对比

从图5可看出:纤维沥青的当量脆点  $T_{1.2}$  比70#基质沥青的小,说明纤维沥青的低温性能比70#基质沥青好。究其原因,是由于纤维表面存在孔隙,可将沥青中的轻组分吸收至自身内部,温度降低时,沥青发生固化的过程中纤维对这部分轻质油分的相变起到阻碍作用,使沥青在较低温度条件下依然保持富油状态,从而降低沥青的当量脆点,改善其低温性能;同时在制备过程中,液态沥青会润湿、扩展至纤维表面裂隙中,形成机械“锚合”作用,从而增强界面结合强度。木质素、玄武岩纤维能改善沥青的低温性能,其中木质素纤维的低温性能改善效果更好。

### 2.2.4 耐老化性能

采用薄膜加热试验模拟沥青短期老化过程,试验结果见图6、图7。

从图6可看出:3种沥青在薄膜加热试验后均有不同程度的质量损失,主要原因是加热使沥青中部分活性物质与空气中的氧气发生氧化反应,质量降低;掺入木质素纤维、玄武岩纤维会降低70#基质沥青的质量损失。

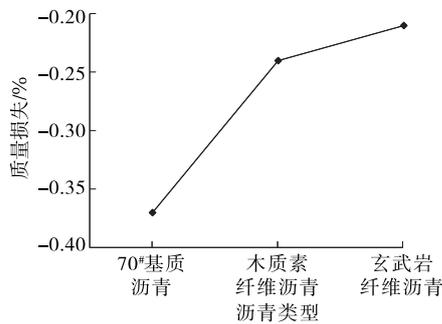


图6 3种沥青 TFOF 后质量损失对比

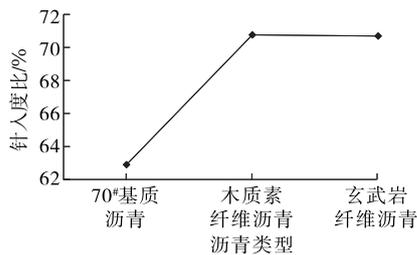


图7 3种沥青 TFOF 后针入度比对比

从图7可看出:纤维沥青的针入度比大于70#基质沥青,添加木质素纤维、玄武岩纤维可提高70#基质沥青的抗氧化及抗侵蚀能力。

### 2.2.5 布氏粘度

采用布洛克菲尔德粘度计旋转法测试沥青的表观粘度,选取27号转子,转速为20 r/min,扭矩为

10%~98%,试验结果见图8。

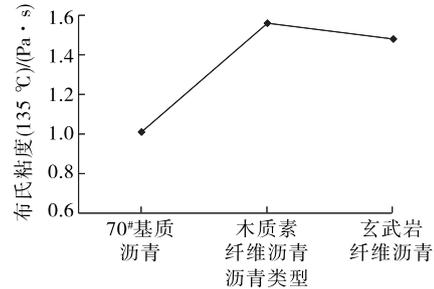


图8 3种沥青的布氏粘度对比

从图8可看出:3种沥青的布氏粘度大小为木质素纤维沥青>玄武岩纤维沥青>70#基质沥青,纤维沥青的布氏粘度比基质沥青高,说明纤维对沥青的增粘效果明显。主要是由于纤维的表面积、吸油等特性在沥青中发挥了增粘及稳定作用。

## 3 纤维沥青的高温流变性能及微观特性

### 3.1 纤维沥青的高温流变性能

通过40~90 °C温度扫描,采用动态剪切流变仪,测试70#基质沥青、玄武岩纤维沥青、木质素纤维沥青的复合模量 $G^*$ 与相位角 $\delta$ ,计算得到车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 、损失剪切模量 $G'$ ( $G'=G^*\sin\delta$ )及贮存剪切模量 $G''$ ( $G''=G^*\cos\delta$ ),结果见表5。

动态剪切流变试验中, $G^*/\sin\delta$ 反映沥青的抗

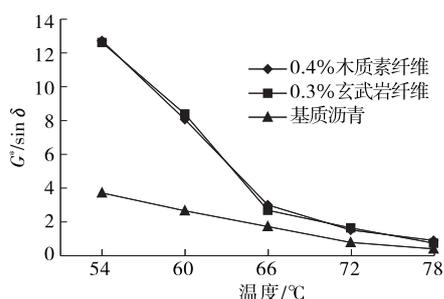
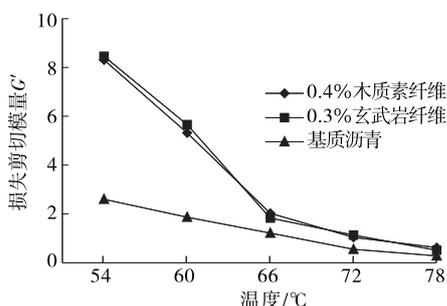
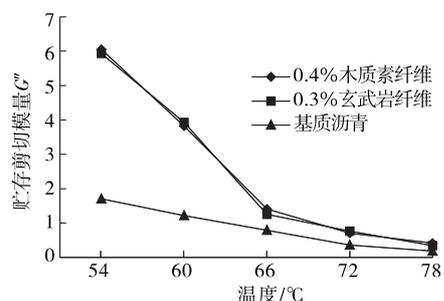
表5 3种沥青的高温流变性能试验结果

沥青类型	复合模量 $G^*/\text{kPa}$	相位角 $\delta/(\text{°})$	车辙因子 $G^*/\sin\delta$	损失剪切模量 $G'$	贮存剪切模量 $G''$
木质素纤维沥青	10.28	70.23	12.72	8.31	6.05
	6.55	71.43	8.06	5.32	3.82
	2.47	74.56	3.01	2.03	1.41
	1.26	77.58	1.52	1.04	0.71
	0.75	79.24	0.90	0.62	0.42
玄武岩纤维沥青	10.33	73.56	12.62	8.46	5.93
	6.89	74.57	8.39	5.66	3.93
	2.22	76.11	2.69	1.83	1.25
	1.37	78.24	1.65	1.14	0.76
	0.62	79.57	0.74	0.52	0.34
基质沥青	3.11	82.33	3.72	2.60	1.70
	2.23	83.54	2.66	1.87	1.22
	1.45	84.57	1.73	1.22	0.79
	0.66	85.24	0.79	0.55	0.36
	0.34	87.31	0.40	0.29	0.18

永久变形能力,其值越小,在高温状态下沥青的流动变形越大,抵抗高温变形的能力越弱,使用该沥青拌制的沥青混合料的高温性能越差。 $G^*/\sin\delta$ 与混合

料的高温性能具有一定的相关性。3种沥青的动态剪切流变试验结果见图9~11。

从图9~11可看出:1) 70#基质沥青在不同温

图9 3种沥青的车辙因子  $G^*/\sin\delta$  对比图10 3种沥青的损失剪切模量  $G''$  对比图11 3种沥青的贮存剪切模量  $G'$  对比

度条件下的车辙因子  $G^*/\sin\delta$ 、损失剪切模量  $G''$ 、贮存剪切模量  $G'$  均低于木质素纤维、玄武岩纤维沥青。2) 木质素纤维、玄武岩纤维沥青的剪切流变指标在 66、72、78 °C 温度条件下的衰减幅度降低,说明温度高于 66 °C 时纤维沥青的稳定性开始增加;温度低于 66 °C 时,纤维沥青的衰减幅度远大于 70# 基质沥青,其中木质素纤维沥青的衰减幅度比玄武岩纤维略大,说明木质素纤维沥青在温度低于 66 °C 时其温度敏感性比玄武岩纤维沥青大。3) 损失剪切模量  $G''$  越大,说明沥青的能量损失越快,贮存的能量越少,其抗疲劳性能越差。动态剪切流变试验反映的是材料线性粘弹性, $G'$  并不能完全反映沥青的疲劳性能,仅作参考。综上,纤维能有效改善沥青的高温稳定性能。

### 3.2 纤维沥青的红外光谱分析

红外光谱可用来研究物质的化学键及官能团。

选取智能型傅立叶红外光谱仪进行沥青红外光谱分析,频率为  $4\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 。3种沥青的红外光谱见图 12~14。

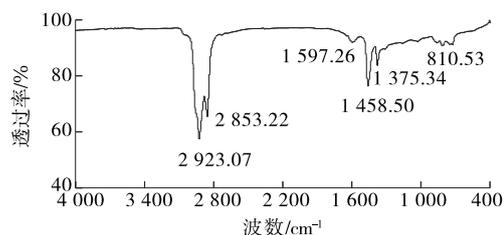


图12 70# 基质沥青的红外光谱

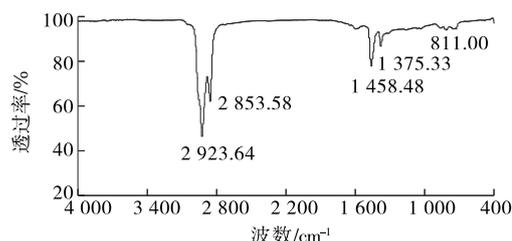


图13 木质素纤维沥青的红外光谱

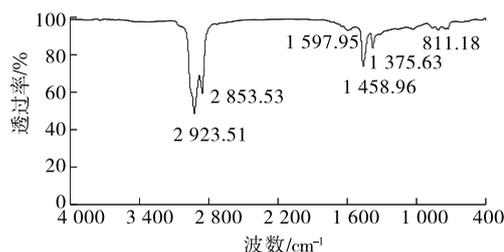


图14 玄武岩纤维沥青的红外光谱

从图 12~14 可看出:70# 基质沥青与纤维沥青的吸收峰对应的伸缩振动频率为  $2\ 923\pm 5$ 、 $2\ 853\pm 5$ 、 $1\ 597\pm 5$ 、 $1\ 458\pm 5$ 、 $1\ 375\pm 5$ 、 $810\pm 5\text{ cm}^{-1}$ ,基本一致。说明木质素纤维、玄武岩纤维在沥青中的主要作用是增稠、稳定、阻裂、增韧、加筋桥接、吸附等,并不与沥青发生直接化学反应或混融而增减官能团,纤维对沥青主要起界面的物理作用。

## 4 结论

(1) 木质素纤维、玄武岩纤维降低了 70# 基质沥青的温度敏感性,提高了其高温稳定性、稠度,改善了其抵抗高温变形的能力,且玄武岩纤维对 70# 沥青高温性能的改善效果优于木质素纤维。

(2) 木质素、玄武岩纤维能改善沥青的低温性能,木质素纤维对 70# 沥青低温性能的改善效果优于玄武岩纤维。

(下转第 62 页)

下,若在20%以上,则说明操作手法及取样有问题,全组数据应废弃。同时,在进行必要和合理的数据剔除后,仍需有足够的数量支持,要求有效数据不得小于6个,一般建议同组试件成型10个以上,严于动态模量和疲劳试验要求。

(2) 采用平均值作为修正系数。空隙率和密度数据都有量纲,不宜采用多元回归的方式进行修正。参考沥青含量试验方法的修正方式,采用对大型马歇尔空隙率(密度)直接增减的方式进行修正,以所有对应试件修正值的平均值作为最终修正系数。

(3) 修正系数用于指导日常施工,与沥青含量试验方法一样,不需每天进行修正系数试验。但修正系数不是一成不变、事先可得的,受级配、沥青用量和石料来源的影响,修正系数会发生变化,当现场出现原材料变化时,应重新安排修正系数试验。

#### 4 结论

在日后的大规模生产中,下面层马歇尔试件依旧采用 $\phi 152.4$  mm成型,采用体积法测定大型马歇尔试件空隙率 $VV_{15}$ ,根据试验方法得出的空隙率修正系数计算小型马歇尔试件( $\phi 100$  mm)的空隙率 $VV_{10}$ 。按最大理论密度 $\times(1-VV_{10})$ 计算 $\phi 100$  mm试件的标准密度 $\rho_{10}$ ,以该密度计算体积指标(矿料

间隙率、饱和度),空隙率指标相应调整为6%~10%。路面取芯采用 $\phi 100$  mm钻孔,压实度采用双控指标,要求马歇尔标准密度 $\rho_{10}$ 的压实度不小于97%、最大理论密度的压实度不小于89%。

#### 参考文献:

- [1] 上海同济检测技术有限公司.广州增城沙庄至花都北兴公路二期工程下面层作业指导书[Z].广州:广州市公路工程公司,2017.
- [2] 上海同济检测技术有限公司.广州增城沙庄至花都北兴公路二期工程下面层空隙率、标准密度修正报告[Z].广州:广州市公路工程公司,2017.
- [3] JTGF40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [4] JTGE20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [5] 韩绍宇.增韧复合改性沥青抗裂下面层的设计与应用[J].公路与汽运,2017(5).
- [6] 李耿良,黄文元.增韧改性沥青抗裂增强功能层研究[J].公路与汽运,2018(1).
- [7] 米振宇,张桓靖.改进型级配GAC-13C沥青混凝土的应用研究[J].广东交通职业技术学院学报,2013,12(2).

收稿日期:2018-01-08

\*\*\*\*\*  
(上接第59页)

(3) 木质素纤维、玄武岩纤维均可降低70#基质沥青薄膜加热试验后的质量损失,提高其抗氧化及抗侵蚀能力。

(4) 木质素、玄武岩纤维并不与沥青发生直接化学反应或混融而增减官能团,纤维对沥青主要起表界面的物理作用。

#### 参考文献:

- [1] 马敬坤.国内外沥青路面大中修最新技术[J].中外公路,2004,24(6).
- [2] Lee S Joon, Rust Jon P, Hamouda Heehmi, et al. Fatigue cracking resistance of fiber-reinforced asphalt concrete[J]. Textile Research Journal, 2005, 75(2).
- [3] 沈金安.沥青及沥青混合料的路用性能[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [4] 张冬莉,米峻,王和通,等.不同类型SMA-13混合料高温性能的影响分析[J].公路交通科技:应用技术版,2012(3).

- [5] 赵丽华,徐刚.矿物纤维对沥青混合料路用性能影响及机理分析[J].公路工程,2013,38(1).
- [6] 范文孝.玄武岩纤维增强路面材料性能试验研究[D].大连:大连理工大学,2010.
- [7] Fan Wenxiao, Kang Haigui, Zheng Yuanxun. Experimental study of pavement performance of basalt fiber-modified asphalt mixture[J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2010, 26(4).
- [8] 徐刚,赵丽华,赵晶.玄武岩矿物纤维改善沥青混合料性能研究[J].公路,2011(6).
- [9] 徐刚.纤维沥青混合料增强机理及性能研究[D].大连:大连交通大学,2012.
- [10] 于斌.纤维沥青胶浆流变特性及纤维沥青混合料路用性能研究[D].西安:长安大学,2009.
- [11] JTGF40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [12] 封浪,曾庆奎.玄武岩纤维最佳掺量和对SMA沥青混合料的路用性能的影响[J].公路交通科技:应用技术版,2015(2).

收稿日期:2018-02-15