

# 玄武岩纤维 AC-13C 沥青混合料路用性能研究

谭敬儒<sup>1,2</sup>, 刘尊青<sup>1,2</sup>, 谢海巍<sup>1,2</sup>, 万曦<sup>1</sup>

(1.新疆农业大学 交通与物流工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2.新疆道路工程试验检测研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**为研究玄武岩纤维沥青混合料在干旱荒漠区的路用性能,对 AC-13C 型沥青混合料配合比进行设计,通过车辙试验、冻融劈裂试验分析掺入 0.4% 玄武岩纤维对沥青混合料高温性能和水稳定性的影响,通过对试验路技术状况的检测评价玄武岩纤维沥青路面的使用性能。结果表明,掺入 0.4% 玄武岩纤维能显著提升沥青混合料的高温稳定性,动稳定度是普通沥青混合料的 2.7 倍,同时可改善沥青混合料的水稳定性;玄武岩纤维沥青路面的破损状况、防滑性能与抗渗性能均优于普通沥青路面。

**关键词:**公路;玄武岩纤维;沥青混合料;配合比设计;路用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)05-0062-06

掺加纤维等材料能改善沥青路面性能,提高其强度、高低温性能及抗疲劳性能<sup>[1]</sup>。常用纤维包括碳纤维、玄武岩纤维、木质素纤维及各类合成纤维。玄武岩纤维是火山岩在高温熔融后快速拉制的连续纤维,生产过程不产生有害物质,其化学组分主要包括  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  和  $\text{CaO}$ ,其中含量较高的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  形成的紧密网络结构决定了其优异的力学性能和化学稳定性<sup>[2-3]</sup>。玄武岩纤维在沥青复合材料中以三维分散相存在,对沥青具有吸附、稳定、加筋、阻裂等作用。扫描电镜试验发现玄武岩纤维沥青胶浆中的纤维丝呈圆柱状,表面存在部分凸起、凹陷,可有效增大与沥青的接触面积;纤维间相互桥接,能避免应力集中<sup>[4]</sup>。马峰等研究了不同粉胶比、玄武岩纤维掺量和长度对沥青胶浆性能的影响<sup>[5]</sup>。邱国洲等的研究表明玄武岩纤维与沥青能充分黏结形成网络结构,增强混合料的整体强度和韧性,提升其高温稳定性<sup>[6]</sup>。郭振华等研究复合纤维对沥青混合料性能的影响,发现在混合料中同时加入海泡石、玄武岩纤维能显著提高其性能<sup>[7]</sup>。雷江等对比分析不同玄武岩纤维掺量对温拌再生沥青混合料性能的提升效果,结果显示玄武岩纤维掺量为 0.3% 时,温拌再生沥青混合料的各项路用性能明显提升,其中动稳定度提升最明显<sup>[8]</sup>。Davar A. 等发现玄武岩纤维能克服硅藻土对沥青混合料低温性能的不利影响<sup>[9]</sup>。目前有关玄武岩纤维沥青复合材料路用性能及影响因素的研究成果较

多,但玄武岩纤维沥青路面在干旱荒漠区复杂气候环境及不同交通荷载条件下的应用效果有待进一步考证。本文对新疆北疆地区沥青路面常用 AC-13C 沥青混合料进行配合比设计,通过车辙试验、冻融劈裂试验分析掺 0.4% 玄武岩纤维沥青混合料的路用性能,并对乌鲁木齐南山试验路路面破损、抗滑、抗渗性能进行检测,评价玄武岩纤维沥青路面的使用性能,为玄武岩纤维沥青混合料在干旱荒漠区的应用提供指导。

## 1 原材料性能

### 1.1 沥青

采用新疆克拉玛依 90# 基质沥青,该沥青在低温状态下的黏滞性较好,适用于新疆水稳及冻稳区、低温抗裂区沥青路面表面各层。其技术指标检测结果见表 1。

表 1 基质沥青的技术指标

检测项目	检测结果	规范要求
针入度(25℃, 5 s, 100 g)/(0.1 mm)	87	80~100
软化点/℃	45.5	≥44
10℃延度/cm	100	≥30
15℃密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.985	实测

### 1.2 集料及矿粉

粗集料采用无污染的破碎砾石,细集料采用洁

净、无杂质的水洗砂,砂粉由石灰石磨细得到。集料及矿粉的技术性能检测结果见表 2~4,均满足规范要求。

表 2 粗集料的技术指标

检测项目	不同粒径(mm)粗集料的检测结果				规范要求
	20~30	15~20	10~15	5~10	
石料压碎值/%	—	—	14.4	—	≤26
洛杉矶磨耗损失/%	—	6.3	—	—	≤28
表观相对密度	2.691	2.685	2.711	2.689	≥2.6
毛体积相对密度	2.652	2.640	2.670	2.631	—
吸水率/%	0.54	0.62	0.56	0.82	≤2
针片状颗粒含量/%	5.7	6.6	7.8	7.2	≤15
含泥量(水洗法)/%	0.3	0.4	0.4	0.5	≤1
软石含量/%	—	1	—	—	≤3

表 3 细集料的技术指标

检测项目	检测结果	规范要求
表观相对密度	2.732	≥2.5
坚固性(>0.3mm 部分)/%	4	≤12
含泥量(筛洗法)/%	0.4	≤3
棱角性(流动时间)/s	31.1	≥30

表 4 矿粉的技术指标

检测项目	检测结果	规范要求
表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.732	≥2.5
含水量/%	0.6	≤1
亲水系数	0.36	<1
塑性指数/%	3.4	<4
加热安定性	颜色无变化	实测

1.3 玄武岩纤维

采用浙江石金玄武岩纤维有限公司生产的 6 mm 短切玄武岩纤维,其物理、力学指标见表 5,其弹性模量、抗拉强度具有明显优势。

表 5 玄武岩纤维的性能指标

检测项目	检测结果	检测项目	检测结果
形状	集束状短切	断裂延伸率/%	>3.2
弹性模量/GPa	90	含水率/%	≤0.2
抗拉强度/MPa	3 000~4 840		

2 沥青混合料配合比设计

2.1 矿料级配组成

采用 AC-13C 型级配,关键筛孔为 2.36 mm,集料通过关键筛孔的百分率为 25.6%。矿料级配组成见表 6、图 1。

表 6 AC-13C 沥青混合料的级配

矿料类型和 级配类型		通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%														占比/
		31.500	26.500	19.000	16.000	13.200	9.500	4.750	2.360	1.180	0.600	0.300	0.150	0.075	%	
粗集料	10~15 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	89.6	12.2	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22	
	5~10 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	14.4	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36	
细集料	0~8 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	79.3	50.0	31.9	20.2	7.4	2.8	1.0	35	
	矿粉	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	95.3	78.3	7	
	合成级配	100.0	100.0	100.0	100.0	97.7	80.4	40.0	25.6	18.2	14.1	9.5	7.7	5.8	—	
	级配上限	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	85.0	68.0	50.0	38.0	28.0	20.0	15.0	8.0	—	
	级配下限	100.0	100.0	100.0	100.0	90.0	68.0	38.0	24.0	15.0	10.0	7.0	5.0	4.0	—	

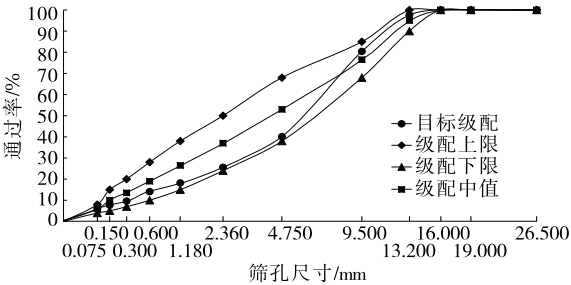


图 1 AC-13C 沥青混合料的级配曲线

2.2 最佳沥青用量

采用马歇尔设计方法确定 AC-13C 沥青混合料的最佳沥青用量。成型马歇尔试件,测定其空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度等体积参数,记录试件受压直至破坏时的最大荷载和垂直变形,计算马歇尔稳定度与流值(分别表征沥青混合料抵抗挤压变形的能力、抵抗逐步沉降变形的能力)。结合实践经验,初定油石比为 4.9%。以预估油石比为中值、

0.3%为间隔进行油石比调整,对不同油石比下 AC—13C 沥青混合料进行马歇尔试验,试验结果见表 7。

表 7 AC—13C 沥青混合料马歇尔试验结果

油石比/%	毛体积密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	最大理论密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
4.3	2.324	2.473	6.0	17.8	66.20	9.10	1.7
4.6	2.334	2.465	5.4	17.5	69.40	9.47	2.1
4.9	2.340	2.458	4.8	17.2	72.00	10.56	2.5
5.2	2.334	2.444	4.5	17.4	74.20	10.01	3.0
5.5	2.328	2.425	4.0	17.6	77.50	8.86	3.8
要求范围	—	—	3~6	$\geq 14.5$	65~75	$\geq 8$	2~4

以油石比、马歇尔试验指标分别为横、纵坐标绘制散点图,对图中各点进行三次多项式拟合,得到马歇尔物理、力学指标与油石比的关系(见图 2)。计

算得最大稳定度为 5.039%、最大密度为 4.884%、目标空隙率为 4.811%、饱和度中值对应的油石比为 4.660%,最佳沥青用量初始值  $D_{OAC1} = (5.039\% +$

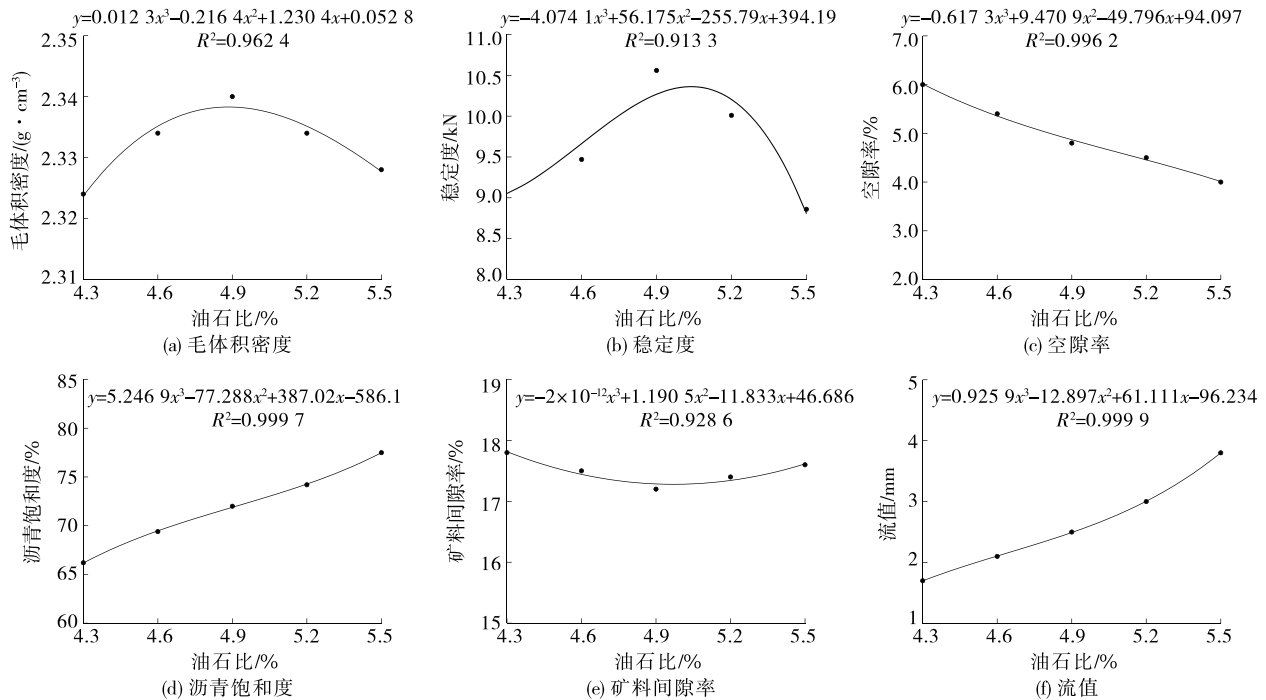


图 2 AC—13C 沥青混合料马歇尔试验结果的拟合曲线

$4.884\% + 4.811\% + 4.660\%) / 4 = 4.848\%$ 。

规范要求目标空隙率为 3%~6%,矿料间隙率不小于 14.5%,沥青饱和度为 65%~75%,稳定度不小于 8 kN。确定马歇尔各项指标符合规范要求的沥青用量区域,结合图 3,得到沥青用量最小值  $D_{OACmin} = 4.516\%$ ,最大值  $D_{OACmax} = 5.278\%$ , $D_{OAC2} = (4.516\% + 5.278\%) / 2 = 4.897\%$ 。

综上所述,最佳沥青用量  $D_{OAC} = (4.848\% + 4.897\%) / 2 = 4.872\%$ 。

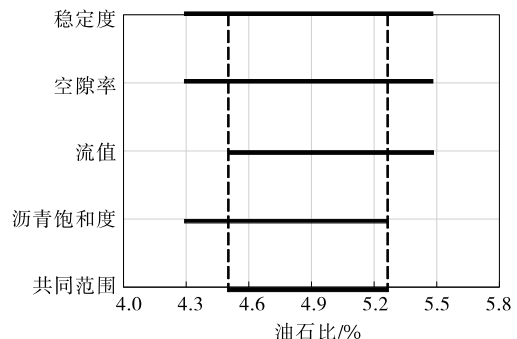


图 3  $D_{OAC2}$  沥青用量范围

3 玄武岩纤维沥青混合料的路用性能

文献[10]的研究结果表明,综合考虑各项路用性能,AC-13C 沥青混合料的玄武岩纤维最佳掺量在 0.4%左右。据此采用 0.4%玄武岩纤维掺量进行沥青混合料路用性能试验研究。

3.1 高温稳定性

沥青混合料作为一种黏弹性材料,在高温及交通荷载持续作用下沥青路面易产生车辙等永久变形。通过车辙试验研究玄武岩纤维沥青混合料的高温性能,采用轮碾法成型试件,试验温度为 60℃,轮载质量为 700 N,接地压强为 0.7 MPa。试验前,将试件置于 60℃恒温箱中保温 5~8 h。试验轮行走与试件碾压方向一致,速度为(42±1)次/min,行走距离为(230±10)mm。每组试验制作 A、B、C 3 个平行试件。车辙试验结果见表 8。

表 8 玄武岩纤维沥青混合料车辙试验结果

沥青混合料类型	试件编号	动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )	
		试验结果	均值
普通沥青混合料	A	1 237	1 101
	B	1 097	
	C	970	
玄武岩纤维沥青混合料	A	3 014	2 961
	B	2 500	
	C	3 368	

由表 8 可知:两种沥青混合料的动稳定度均符合规范要求。掺入玄武岩纤维后沥青混合料的动稳定度增大,是普通沥青混合料的 2.7 倍,玄武岩纤维能显著提升沥青混合料的高温稳定性。玄武岩纤维能吸附沥青中的轻质组分,沥青质相对增多,从而使沥青膜处于稳定状态,混合料流动能力下降;玄武岩纤维在沥青混合料中均匀分散,纤维间相互搭接形成三维网状结构,能抑制矿料间的相对滑移,增强混合料的高温抗车辙能力<sup>[11]</sup>。

3.2 水稳定性

水损坏是沥青路面早期破坏的主要形式之一,取决于沥青混合料的水稳定性。通过冻融劈裂试验测试玄武岩纤维沥青混合料的劈裂抗拉强度比(表征沥青混合料强度对水作用的敏感性)评价其水稳定性。采用击实法双面击实 50 次成型两组圆柱体试件,试件尺寸为直径(101.6±0.25)mm、高

度(63.5±1.3)mm,试验温度为 25℃。试验结果见表 9。

表 9 玄武岩纤维沥青混合料冻融劈裂试验结果

沥青混合料类型	试验分组	劈裂抗拉强度/MPa	冻融劈裂抗拉强度比/%
普通沥青混合料	第一组	0.683	76.9
	第二组	0.525	
玄武岩纤维沥青混合料	第一组	0.594	80.1
	第二组	0.476	

由表 9 可知:1) 掺入玄武岩纤维后,沥青混合料的冻融劈裂强度比为 80.1%,与普通沥青混合料相比略有增加,玄武岩纤维的加入能改善沥青混合料的水稳定性,降低其对水作用的敏感性。由于玄武岩纤维对沥青的吸附性较好,集料表面的结构沥青相对增加,沥青与集料之间的界面强度增强;同时玄武岩纤维能起到加筋作用,降低材料在水分反复冻融过程中的损伤程度,从而抑制微裂纹的产生<sup>[12]</sup>。2) 玄武岩纤维沥青混合料的劈裂抗拉强度比普通沥青混合料略有降低。结合文献[13]的研究结果,在相同击实条件下,纤维沥青混合料的空隙率比普通混合料大,水分在冻融循环时产生更大的冻胀应力,混合料的整体强度降低;玄武岩纤维的加入使沥青混合料最佳沥青用量提升,由于玄武岩纤维吸附部分游离沥青,集料间的黏附作用略有降低。综上,调整沥青用量、减小混合料内部空隙能提升玄武岩纤维沥青混合料的劈裂抗拉强度。

4 工程应用

4.1 工程概况

为了解玄武岩纤维沥青混合料在新疆北疆地区的适用性,在乌鲁木齐南山分别铺筑玄武岩纤维沥青试验路和普通沥青试验路。玄武岩纤维沥青路面结构为 3 cm AC-13C 玄武岩纤维沥青混合料+22 cm 水泥稳定碎石,试验路状况见图 4。运行一段



图 4 玄武岩纤维沥青试验路状况

时间后,对试验路路面破损、抗滑及抗渗性能进行检测,分析玄武岩纤维沥青混合料的路用性能。

4.2 路面破损状况

采用人工调查法对试验路破损状况进行检测,记录病害类型及损坏程度,结果见表 10。调查发现,试验路现有病害均为横向贯通裂缝,不同路段裂缝均有分布。由表 10 可知:玄武岩纤维沥青试验路面损坏状况指数均值为 92.8,评定为优,优于普通沥青路面。

表 10 试验路路面损坏状况评定结果

路面类型	桩号	路面损坏状况指数	评定结果
玄武岩纤维 沥青路面	K0+000—100	90.2	优
	K0+100—200	100.0	优
	K0+200—300	90.2	优
	K0+300—400	87.8	良
	K0+400—500	93.7	优
	K0+500—600	100.0	优
	K0+600—700	84.5	良
	K0+700—800	100.0	优
	K0+800—900	90.2	优
	K0+900—K1+000	91.7	优
普通沥青 路面	K1+000—100	100.0	优
	K1+100—200	86.9	良
	K1+200—300	100.0	优
	K1+300—400	88.9	良
	K1+400—500	87.8	良
	K1+500—600	100.0	优
	K1+600—700	87.8	良
	K1+700—800	83.2	良
	K1+800—900	93.7	优
	K1+900—K2+000	100.0	优

考虑到采用路面损坏状况指数评价试验路裂缝病害不够直观,采用裂缝率对不同沥青路面裂缝情况进行评价,不同路段裂缝率见图 5。由图 5 可知:玄武岩纤维沥青路面的裂缝率小于普通沥青路面,为普通沥青路面的 81%。试验路位于北疆地区,该地区年、日温差较大,沥青路面易产生温度收缩裂缝。玄武岩纤维的加入,在沥青混合料中起到桥接、加筋作用,能有效分散混合料内部集中应力,使整体受力更均匀,能延缓微裂缝的产生及进一步扩展。

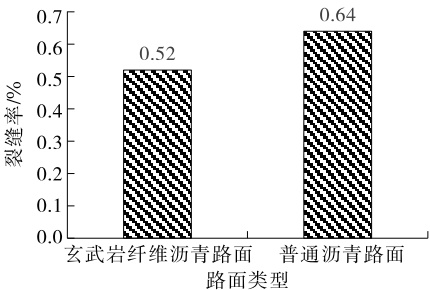


图 5 试验路裂缝率对比

4.3 路面抗滑性能

采用数字式摆式仪检测不同沥青路面测试位置前、中、后 3 个测点的摆值,取各测点检测结果的平均值作为其摩擦摆值,并进行温度(20℃)修正。试验结果见表 11。

表 11 试验路路面抗滑性能检测结果

路面类型	测试位置	20℃摆值/BPN
玄武岩纤维沥青路面	K0+200	88
	K0+500	90
	K0+800	90
	K1+200	85
普通沥青路面	K1+500	86
	K1+800	80

由表 11 可知:2 种沥青路面的抗滑性能均满足设计要求,玄武岩纤维沥青路面的摩擦摆值普遍大于普通沥青路面,其抗滑性能优于普通沥青路面。

4.4 路面抗渗性能

按照沥青路面渗水系数测试方法对试验路路面抗渗性能进行检测,检测结果见表 12。

表 12 试验路路面渗水系数检测结果

路面类型	桩号	渗水系数/(mL·min <sup>-1</sup> )
玄武岩纤维沥青路面	K0+205	20.7
	K0+495	17.0
	K0+795	81.0
	K1+195	44.0
普通沥青路面	K1+505	93.0
	K1+795	72.0

由表 12 可知:2 种沥青路面的渗水系数均符合规范对密集配沥青路面抗渗性能的要求;不同沥青路面的渗水系数无明显统计规律,玄武岩纤维沥青路面的抗渗性能总体略优于普通沥青路面。

## 5 结论

(1) 掺入 0.4% 玄武岩纤维后, 沥青混合料的动稳定度增大, 为不掺纤维沥青混合料的 2.7 倍, 玄武岩纤维能显著提升沥青混合料的高温稳定性。

(2) 掺入玄武岩纤维后, 沥青混合料的冻融劈裂抗拉强度比增大为 80.1%, 玄武岩纤维的加入能改善沥青混合料的水稳定性。

(3) 在新疆乌鲁木齐试验路工程应用中, 玄武岩纤维沥青路面的裂缝率为普通沥青路面的 81%, 摩擦摆值、渗水系数均符合要求, 玄武岩纤维沥青路面的破损状况、抗滑性能与抗渗性能均优于普通沥青路面。玄武岩纤维沥青混合料能应用于干旱荒漠地区。

## 参考文献:

- [1] 周志刚, 蔡扬发, 谭军. 聚酯纤维对橡胶改性沥青混凝土性能的影响[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2021, 18(2): 1-8.
- [2] 刘昶江, 全晓聪, 刘忠, 等. 玄武岩纤维原料特征分析[J]. 硅酸盐通报, 2020, 39(12): 3858-3865.
- [3] 白劭. 玄武岩纤维对高模量沥青混合料路用性能影响研究[J]. 公路与汽运, 2022(1): 57-60.
- [4] 郭寅川, 李震南, 申爱琴, 等. 玄武岩纤维沥青胶浆优化设计及机理分析[J]. 建筑材料学报, 2018, 21(1): 47-53.

(上接第 61 页)

## 参考文献:

- [1] 朱逸凡. 高温重载下沥青混合料高温稳定性能研究及应用[D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [2] 刘和能, 刘海鹏, 陶张志, 等. 西南地区重交通中面层抗车辙剂技术应用[J]. 公路, 2018, 63(10): 80-85.
- [3] 李闯民, 李元元. 30 号沥青 AC-20 混合料面层施工性能[J]. 公路, 2015, 60(7): 47-53.
- [4] 潘学峰. 抗车辙剂在沥青路面施工中的应用[J]. 交通标准化, 2014, 42(10): 77-79.
- [5] 成高立, 李卓琳, 罗要飞. 抗车辙剂对沥青混合料高温性能的影响分析[J]. 中外公路, 2018, 38(2): 203-207.
- [6] 张争奇, 罗要飞, 张苛. 不同抗车辙剂对沥青混合料高温性能影响研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(5): 964-970.
- [7] 苗祺, 刘德仁, 杨成, 等. 抗车辙剂掺量对 AC-16 沥青混合料路用性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2015,

- [5] 马峰, 王雨函, 傅珍, 等. 玄武岩纤维沥青胶浆高低温性能影响因素探究[J]. 化工新型材料, 2022, 50(6): 258-262.
- [6] 邱国洲, 房建宏, 徐安花, 等. 玄武岩纤维沥青混凝土高温性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(12): 3890-3896.
- [7] 郭振华, 尚德库, 郭翠莲, 等. 海泡石/玄武岩纤维复合沥青混合料性能研究[J]. 河北工业大学学报, 2005, 34(1): 5-10.
- [8] 雷江, 罗友鸿, 裴鑫雨. 玄武岩纤维提升温拌再生混合料路用性能研究[J]. 公路与汽运, 2021(6): 92-94.
- [9] DAVAR A, TANZADEH J, FADAEI O. Experimental evaluation of the basalt fibers and diatomite powder compound on enhanced fatigue life and tensile strength of hot mix asphalt at low temperatures[J]. Construction and Building Materials, 2017, 153: 238-246.
- [10] 文月皎. 玄武岩纤维沥青混合料增强机理及路用性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [11] 覃潇, 申爱琴, 郭寅川. 基于关联性的玄武岩纤维沥青胶浆及其混合料性能研究[J]. 材料导报, 2016, 30(12): 124-128+152.
- [12] 韦佑坡, 张争奇, 司伟, 等. 玄武岩纤维在沥青混合料中的作用机理[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2012, 32(2): 39-44.
- [13] 陈华鑫. 纤维沥青混凝土路面研究[D]. 西安: 长安大学, 2002.

收稿日期: 2022-07-21

34(10): 2839-2844.

- [8] 王俊杰. 高模量剂对沥青及其混合料性能的影响研究[J]. 中外公路, 2015, 35(3): 263-267.
- [9] 郭寅川, 陈乔森, 申爱琴, 等. 低标号沥青在新疆高温抗车辙地区的应用研究[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(10): 3042-3048.
- [10] 樊兴华, 薛振华. 大温差地区掺玄武岩纤维低标号沥青混合料路用性能研究[J]. 中外公路, 2020, 40(5): 286-291.
- [11] 彭伟, 彭红. 新疆岩沥青对高速公路面层抗车辙性能影响研究[J]. 公路与汽运, 2020(1): 55-58.
- [12] 周义生, 吴草森, 司徒丽新, 等. 抗车辙剂改性沥青混合料路用性能研究[J]. 公路, 2015, 60(1): 178-180.
- [13] 李闯民, 彭博, 甘新众, 等. 干法和湿法制备 TPCB 改性沥青混合料的路用性能室内试验研究[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2022, 19(2): 49-60.

收稿日期: 2022-12-02