

玄武岩纤维沥青混合料路用性能研究

王丽<sup>1</sup>, 张健<sup>2</sup>, 薛冰<sup>2</sup>

(1.河南高速公路发展有限责任公司 周口分公司, 河南 周口 466000;

2.河南交院工程技术有限公司, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 为评价玄武岩纤维的掺入对沥青混合料性能的改善效果,通过动态剪切试验、拉伸试验对未掺玄武岩纤维和掺 6% 沥青质量的玄武岩纤维的沥青胶浆的抗剪性能、延展性以及 AC-13C 沥青混合料和掺玄武岩纤维的沥青混合料的路用性能展开研究。结果表明,纤维的掺入可改善沥青胶浆的抗剪切能力和高温稳定性;纤维掺量为沥青混合料质量的 0.4% 时,沥青混合料的高温稳定性、低温抗开裂能力、水稳定性等路用性能最优。

**关键词:** 公路;玄武岩纤维;纤维胶浆;沥青混合料;路用性能

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)01-0075-03

玄武岩纤维由玄武岩在一定工艺条件下加工而成,与其他类型纤维相比,具有密度大、强度高、耐腐蚀及耐老化性能好、与沥青相容性好、易拌和均匀、吸附沥青能力强等优点,且生产及施工过程中环境污染程度低,是一种新型低碳环保材料。为改善沥青路面的使用性能,参考钢纤维应用于水泥砼的成功经验,该文将玄武岩纤维以一定掺量加入沥青混合料中,分析玄武岩纤维的掺入对沥青混合料路用性能的改善机理并确定其最佳掺量。

1 沥青混合料级配设计

1.1 原材料

粗、细集料均采用玄武岩,矿粉为石灰岩粉;沥青采用 SBS 改性沥青,其相关性能试验结果见表 1;玄武岩纤维为 GBF17  $\mu\text{m}$ -12 mm 短切纱(见图 1),其相关性能试验结果见表 2。

表 1 SBS 改性沥青的主要技术指标

项目	技术指标	
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/(0.1 mm)	62	
延度(5 ℃,5 cm/min)/cm	47	
软化点(环球法)/℃	76.5	
运动粘度(135 ℃)/(Pa·s)	1.63	
闪点/℃	362	
弹性恢复(25 ℃)/%	93	
密度(15 ℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.024	
溶解度(三氯乙烯)/%	99.83	
TFOT 后残留物	针入度比/%	73
	质量损失/%	0.21

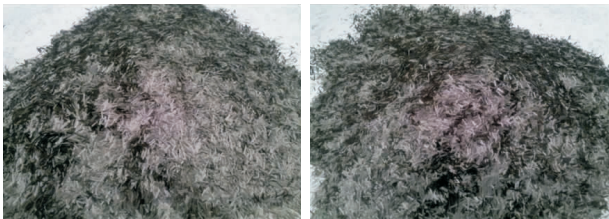


图 1 GBF17  $\mu\text{m}$ -12 mm 型玄武岩纤维

表 2 玄武岩纤维的主要技术指标

项目	技术指标
纤维直径/ $\mu\text{m}$	17
短切长度/mm	12
密度/(g $\cdot$ cm $^{-3}$ )	2.57
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	$>1\ 450$
耐酸性	强
导热、导电能力	弱
吸湿率/%	$<0.1$
抗拉强度/MPa	2 800~3 800
吸油率/%	181.6
分散性	好

1.2 AC-13C 型沥青混合料配合比设计

选用 AC-13C 型沥青混合料展开研究,其级配范围和目标级配见表 3,关键筛孔为 2.36 mm,集料通过关键筛孔的百分率为 36.1%。

对未掺玄武岩纤维和掺 0.4% 沥青混合料质量的玄武岩纤维的 AC-13C 沥青混合料进行设计,其最佳油石比和马歇尔试验结果见表 4。

表3 AC-13C型沥青混合料的级配范围和目标级配

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%								
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	85	68	50	38	28	20	15	8
级配下限	90	68	38	24	15	10	7	5	4
目标级配	94.6	74.6	54.3	36.1	24.2	17.9	12.3	9.3	5.5

表4 沥青混合料的最佳油石比及马歇尔试验结果

混合料类型	最佳油石比/%	毛体积相对密度	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
未掺纤维 AC-13C	4.9	2.509	4.8	15.3	68.4	11.47	3.2
掺 0.4% 纤维 AC-13C	5.1	2.496	5.1	15.6	67.1	13.46	3.4

## 2 玄武岩纤维沥青胶浆性能分析

将加热好的沥青放进高速剪切机里并迅速掺入6%沥青质量的玄武岩纤维,以由慢到快的速度搅拌30 min,制备纤维沥青胶浆进行高温性能和低温性能研究。

### 2.1 高温性能

进行动态剪切试验(DSR),将沥青胶浆试件置于振动板和固定板之间,进行一定周期的旋转,振动板对试件施加应力时沥青胶浆的抗剪切强度通过DSR系统测得。不同试验温度下未掺玄武岩纤维和掺玄武岩纤维沥青胶浆的动态剪切强度见表5。

表5 沥青胶浆不同温度下的抗剪切强度

沥青类型	不同温度(℃)下抗剪切强度/kPa		
	70	76	82
未掺纤维沥青胶浆	2.12	1.34	0.91
掺 6% 纤维沥青胶浆	2.73	1.84	1.26

由表5可知:随着温度的升高,两种沥青胶浆的抗剪切强度都降低,其原因是沥青胶浆随温度升高由粘塑状态变成流塑状态,粘度降低,抗剪切性能下降;相同试验温度下,玄武岩纤维的掺入能改善沥青胶浆的抗剪切能力。

### 2.2 低温性能

通过拉伸试验检测沥青胶浆的拉伸强度及断裂延伸率,评价其延展性能。将烘制好的沥青胶浆倒入钢槽板试模中进行浇模,在室温下静置24 h后脱模,再静置于(20±1)℃高低温恒温水浴中2 h,然后进行低温性能试验。未掺玄武岩纤维和掺玄武岩

纤维沥青胶浆的试验结果见表6。

表6 两种沥青胶浆的拉伸试验结果

沥青类型	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%
未掺纤维沥青胶浆	0.46	826
掺 6% 纤维沥青胶浆	1.41	149

由表6可知:掺6%玄武岩纤维沥青胶浆的抗拉伸强度明显大于未掺纤维的沥青胶浆,但断裂延伸率试验结果相反。这是因为玄武岩纤维的掺入对沥青胶浆起到加筋作用,改善了其抗拉伸强度,降低了其延展性能。

## 3 沥青混合料路用性能分析

### 3.1 高温稳定性

依据JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》对不同玄武岩纤维掺量沥青混合料进行动稳定度试验,试验结果见图2。

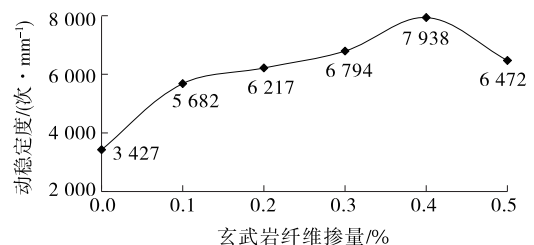


图2 不同纤维掺量沥青混合料动稳定度试验结果

由图2可知:随着纤维掺量的增加,沥青混合料的动稳定度先升高后降低,纤维掺量为0.4%时动稳定度达到最优。这是因为纤维在沥青混合料中起到加筋作用,增强了混合料的抗剪切变形能力,改善

了混合料的高温抗车辙性能;由于玄武岩纤维对沥青有较强的吸附能力,纤维掺量超过 0.4% 时混合料中自由沥青含量下降明显,包裹在矿料之间的沥青膜变薄,混合料的高温抗车辙能力下降。

### 3.2 低温抗裂性能

常用的评价沥青混合料低温抗开裂性能的方法包括小梁弯曲与间接拉伸试验。采用小梁弯曲试验评价不同玄武岩纤维掺量混合料的低温抗开裂性能,试验结果见图 3。

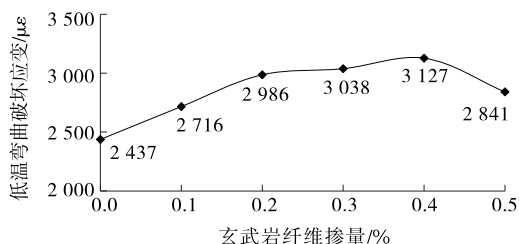


图 3 不同纤维掺量沥青混合料低温弯曲试验结果

由图 3 可知:随着纤维掺量的增加,沥青混合料的低温弯曲破坏应变先升高后降低,纤维掺量分别为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4% 及 0.5% 时,低温弯曲破坏应变依次提高 11.4%、22.5%、24.7%、28.3% 和 16.6%。这是因为玄武岩纤维的掺入增强了沥青混合料中矿料之间的粘结性能,改善了混合料抗低温开裂的性能。

### 3.3 水稳定性

沥青混合料水稳定性是评价沥青路面抗水毁能力的重要指标,常用评价方法包括沥青与集料的附着性试验、浸水马歇尔试验及冻融劈裂试验等。采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验开展沥青混合料水稳定性研究,不同玄武岩纤维掺量混合料的试验结果见图 4、图 5。

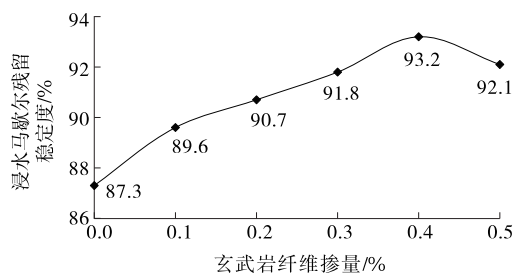


图 4 不同纤维掺量沥青混合料浸水马歇尔试验结果

由图 4 和图 5 可知:随着玄武岩纤维掺量的增加,沥青混合料的浸水马歇尔残留稳定性和冻融劈裂残留强度比显著提高,纤维掺量分别为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4% 及 0.5% 时,残留稳定性依次提高

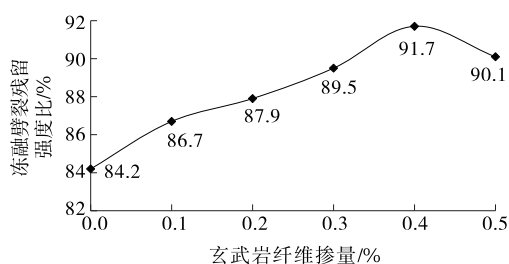


图 5 不同纤维掺量沥青混合料冻融劈裂试验结果

2.6%、3.9%、5.2%、6.8% 和 5.9%,残留强度比依次提高 3.0%、4.4%、6.3%、8.9% 和 7.0%。这是因为玄武岩纤维对沥青具有较强的吸附作用,其掺入提高了混合料的饱和度,降低了矿料间隙率,使马歇尔试件更密实,混合料的抗水毁能力增强。纤维掺量为 0.4% 时,沥青混合料的抗水毁能力最优。

## 4 结论

(1) 随着温度的升高,未掺玄武岩纤维和掺 6% 玄武岩纤维沥青胶浆的抗剪切强度都降低;掺 6% 玄武岩纤维沥青胶浆的抗拉伸强度显著大于未掺纤维的沥青胶浆,但断裂延伸率试验结果相反。

(2) 随着玄武岩纤维掺量的增加,沥青混合料的动稳定性和低温弯曲破坏应变先升高后降低,浸水马歇尔残留稳定性和冻融劈裂残留强度比显著提高;纤维掺量为 0.4% 时,沥青混合料的各项路用性能都达到最优。

### 参考文献:

- [1] 胡志钊,陈州.纤维沥青胶浆及沥青混合料路用性能试验研究[J].公路工程,2014,39(4).
- [2] 赵丽华.玄武岩纤维对沥青混合料性能影响机理的研究[D].大连:大连理工大学,2013.
- [3] 覃潇,申爱琴,郭寅川.玄武岩纤维沥青胶浆性能试验研究[J].建筑材料学报,2016,19(4).
- [4] 刘朝晖,向宇,柳力,等.偶联改性玄武岩纤维沥青胶浆流变性能研究[J].公路,2016(7).
- [5] 任贵明,顾兴宇,田平.玄武岩纤维沥青胶浆疲劳性能研究[J].公路交通科技:应用技术版,2012(4).
- [6] 郝孟辉,郝培文,杨黔,等.玄武岩短切纤维改性沥青混合料路用性能分析[J].广西大学学报:自然科学版,2011,36(1).
- [7] 马士宾,虞秋富,魏凯,等.基于响应面法的沥青路面大修结构优化研究[J].公路工程,2015,40(3).
- [8] 陈永慧.新型玄武岩纤维对沥青混合料路用性能影响

(下转第 151 页)

表 6 光面爆破参数

项目	参数值
周边眼间距 $E/\text{cm}$	40~55
周边眼抵抗线 $W/\text{cm}$	50~60
相对距离 $E/W$	0.8~0.85
装药集中度 $/( \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} )$	0.25~0.35

24 h 可完成 1.5~2.0 个工作循环,平均掘进进尺为 4.0 m 左右;在Ⅲ、Ⅳ级围岩地段每 24 h 可完成 2.0~2.5 个循环,每循环掘进进尺 5 m 左右。与加固前平均进尺 1.2 m/d 相比,隧道进口软弱围岩段掘进速度显著提高,节约工期将近 2/3。按该方法进行隧道开挖,围岩只发生少量弹性变形,无塑性流动变形、破坏和坍塌,偶有小掉块,拱顶下沉量在规范及设计要求范围内,自稳性良好。爆破后Ⅴ、Ⅵ级围岩地层加固段开挖面周边钻孔痕迹保存率达 75%,Ⅲ、Ⅳ级围岩地段周边钻孔痕迹保存率达 85%。

#### 4 结语

富水圆砾石软弱围岩浅埋微断面隧道快速开挖综合技术的关键为:1) 通过改进的长螺旋钻机按照高压旋喷原理,通过旋喷+搅拌方式在原始圆砾石地层中形成咬合排桩幕墙结构体系,解决富水圆砾石地层条件下的止水问题,并满足防护体系受力要求,达到快速进洞条件。2) 应用竖向旋喷搅拌桩+外侧袖阀管注浆技术使原本松散结构的圆砾石地层形成较密实的钙质胶结致密整体或块状结构,改善隧道围岩的稳定性。加固后的Ⅴ、Ⅵ级围岩段按照Ⅲ级围岩进行光面水压爆破设计,实现“软隧硬打”,

解决进度缓慢的难题。3) 采用斜眼掏槽水压爆破技术解决炮眼深度受微断面限制及爆破夹制作用大、效果差、效率低的难题,提升钻爆效率,同时解决隧道内扬尘问题,实现微断面隧道的快速、环保施工。4) 采用 150 型电动液压扒渣机+小型农用自卸车组合出渣,并在微断面隧道中改造并增设避车洞形成会车道,解决洞内交通问题,减少循环作业时间,大幅度提高出渣效率。

#### 参考文献:

- [1] 徐伟.水压爆破在铺子山隧道施工中的应用[J].公路与汽运,2014(3).
- [2] 李沛盈.软弱围岩浅埋隧道施工工法研究[J].东北水利水电,2016(1).
- [3] 陈发本,杨卓,黄德镛.考虑渗流场作用下的富水隧道稳定性影响因素分析[J].交通科学与工程,2013,29(3).
- [4] 张拥法.高寒冬季富水圆砾石地层长螺旋旋喷搅拌桩止水幕墙施工技术[J].市政技术,2018(2).
- [5] 杨兆仁.袖阀管注浆加固地层原理浅析[J].科技信息,2011(8).
- [6] 李得,杨溢,李睿,等.多级复式楔形掏槽在大断面隧洞掘进中的应用研究[J].爆破,2017,34(1).
- [7] 胡海英.小断面隧道施工关键技术[J].山西建筑,2009,35(17).
- [8] 李拉普.水压光面爆破在隧道掘进中的应用[J].铁道建筑技术,2009(5).
- [9] 张春涛.浅埋段偏压软弱围岩双连拱隧道施工动态过程研究[J].公路与汽运,2018(5).

收稿日期:2018-06-05

(上接第 77 页)

研究[D].西安:长安大学,2014.

- [9] 仰建岗,刘燕,林天发.玄武岩纤维沥青混凝土路用性能研究[J].筑路机械与施工机械化,2015,40(1).

(上接第 146 页)

ground Space Technology,2005,20(3).

- [12] 林存刚,夏唐代,梁荣柱,等.盾构掘进地面沉降虚拟镜像算法[J].岩土工程学报,2014,36(8).
- [13] 施有志.双孔平行地铁隧道开挖的复变函数解析解与数值分析[D].泉州:华侨大学,2013.

- [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,2010.

收稿日期:2018-05-10

- [14] 韩凯航,张成平,王梦恕.浅埋隧道围岩应力及位移的显式解析解[J].岩土工程学报,2012,36(12).

- [15] 魏纲,徐日庆.软土隧道盾构法施工引起的纵向地面变形预测[J].岩土工程学报,2005,27(9).

收稿日期:2018-08-15