

玄武岩纤维对高模量沥青混合料路用性能影响研究

白劭

(湖南建工交通建设有限公司, 湖南 长沙 410004)

摘要: 通过室内性能试验对 6 组沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和抗疲劳性能进行综合评价, 分析玄武岩纤维对高模量沥青混合料的改善机理和对高模量沥青混合料路用性能的影响。结果表明, 高模量沥青混合料具有良好的高温稳定性、抗水损害和抗疲劳性能, 但低温性能不佳; 掺入玄武岩纤维能提高高模量沥青混合料的高温抗车辙、低温抗开裂能力和抗疲劳性能, 但会对其水稳定性产生不利影响。

关键词: 公路; 玄武岩纤维; 高模量沥青混合料; 路用性能

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)01-0057-04

美国和法国的研究人员为提高沥青路面的高温稳定性和抗疲劳能力, 提出在路面结构承重层采用高模量沥青混合料的方法, 不但增强了沥青路面的耐久性, 还可减薄结构层厚。工程实践表明, 高模量沥青混合料用于高速公路或国省道的长大纵坡及公路交叉口处的效果很好。高模量沥青混合料具有很好的抗车辙和抗疲劳特性, 但其低温性能有所不足, 这是制约其在低温季冻区推广应用的因素之一。因此, 有必要通过掺加其他可以改善低温性能的改性剂进行改良, 确保其在具有良好抗高温和抗疲劳性能的同时具有很好的低温抗裂能力。

玄武岩纤维由玄武岩矿石在 1 500 °C 温度条件熔融状态下拉丝而成, 是一种强度高、耐久性好、绿色环保、性能稳定的天然矿物材料。玄武岩纤维用于沥青改性有利于改善混合料的低温和疲劳性能, 增加沥青混合料的柔韧度, 改善沥青路面的抗开裂能力。该文针对高模量沥青混合料低温性能相对差的特点, 开展掺加玄武岩纤维改善其路用性能研究。

1 试验原材料及试验方案

1.1 试验原材料

(1) 沥青。选用中石化 70# A 级道路石油沥青和壳牌 SBS-I-D 改性沥青, 其各项技术性能(见表 1、表 2)满足规范要求。

(2) 集料。粗、细集料选用棱角性好、针片状含量少、强度高、集料性质呈碱性、与沥青有较好黏附性的石灰岩; 填料选用石灰岩经过磨细后得到的矿粉。矿料的技术性能符合规范要求。

(3) 玄武岩纤维(BF)。选用浙江某公司产的

表 1 AH-70# 基质沥青的技术性能测试结果

检测项目	检测结果	规范要求
针入度(25 °C, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	68.1	60~80
软化点/°C	52.2	≥46
延度(5 cm/min, 15 °C)/cm	>100	≥100
相对密度(15 °C)	1.052	实测
薄膜烘箱 15 °C 残留延度/cm	22.3	≥15
老化 质量损失/%	0.16	±0.8
25 °C 针入度比/%	72	≥61

表 2 壳牌 SBS-I-D 改性沥青的技术性能测试结果

检测项目	检测结果	规范要求
针入度(25 °C, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	45.8	30~60
软化点/°C	73.7	≥60
延度(5 cm/min, 15 °C)/cm	28.4	≥20
薄膜烘箱 5 °C 残留延度/cm	18.1	≥15
老化 质量损失/%	-0.27	±1.0
25 °C 针入度比/%	76	≥65

短切纤维, 纤维长度 6 mm, 技术指标见表 3。

表 3 玄武岩纤维的技术指标

检测项目	检测结果	技术要求
断裂伸长率/%	2.41	≤3.1
断裂强度/MPa	2 190	≥1 500
吸油率/%	52.6	≥50
耐热性, 断裂强度保留率/%	88	≥85

(4) 外加剂。采用辽宁交科院研制的路宝牌高模量外加剂(HM), 其外观为黑色颗粒状, 技术指标见表 4。采用厂家推荐的剂量 0.4%, 加入方法与其他沥青改性剂类似, 即利用高速剪切机使高模量剂在热熔沥青中分散均匀, 制备高模量改性沥青。

表4 路宝牌高模量外加剂的技术指标

技术指标	技术要求	试验方法
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0.91~0.95	GB/T 1033
颗粒直径/mm	3~5	—
拉伸强度/MPa	18~20	GB/T 1040
断裂伸长率/%	≥ 120	GB/T 1040
熔体流动速率/[$\text{g} \cdot (10 \text{ min})^{-1}$]	≥ 1	GB/T 3682

1.2 试验方案

对基质沥青、0.4% HM、0.2% BF+0.4% HM、

0.4% BF+0.4% HM、0.6% BF+0.4% HM、SBS 改性沥青 6 种沥青混合料进行常规车辙试验、低温弯曲试验、冻融劈裂试验和四点弯曲疲劳试验,以普通沥青和 SBS 改性沥青混合料作为参照组,分析玄武岩纤维用量对高模量沥青混合料性能的影响。

1.3 配合比设计

研究表明,沥青路面的车辙问题主要与中面层有关,取决于混合料的结构性质和面层厚度。选取 AC-20C 级配作为沥青路面中面层对沥青混合料性能进行研究,合成级配见表 5。

表5 AC-20C 型矿料级配

集配类型	下列筛孔(mm)的通过率/%											
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
级配上限	100.0	92.0	80.0	72.0	56.0	44.0	33.0	24.0	17.0	13.0	7.0	
级配下限	90.0	78.0	62.0	50.0	26.0	16.0	12.0	8.0	5.0	4.0	3.0	
级配中值	95.0	85.0	71.0	61.0	41.0	30.0	22.5	16.0	11.0	8.5	5.0	
合成级配	97.5	88.5	75.5	66.5	48.7	37.0	27.8	20.0	14.0	10.8	6.0	

根据以往的工程实例预估普通沥青混合料 AC-20C 级配的油石比为 4.2%,以 0.5% 的间隔左右各取 2 组油石比即 3.2%、3.7%、4.2%、4.7%、5.2%,分别进行马歇尔试验,得到空隙率、毛体积相

对密度、饱和度、流值和稳定度等物理力学指标,通过绘制各油石比与马歇尔指标的关系曲线得到最佳油石比 OAC 为 4.3%。以同样的方法可得到其他沥青混合料的最佳油石比 OAC(见表 6)。

表6 不同沥青混合料的马歇尔试验结果

沥青混合料类型	最佳油石比/%	最大理论相对密度	毛体积相对密度	空隙率/%	矿料间隙率/%	饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
基质沥青	4.3	2.538	2.425	4.2	13.3	69.2	12.3	32.3
0.4% HM	4.5	2.533	2.429	4.3	13.6	69.4	15.2	29.3
0.2% BF+0.4% HM	4.7	2.527	2.418	4.3	13.8	69.8	15.2	29.1
0.4% BF+0.4% HM	4.8	2.521	2.412	4.4	14.0	71.0	15.4	28.8
0.6% BF+0.4% HM	5.0	2.412	2.413	4.4	14.2	70.4	15.4	28.5
SBS	4.5	2.538	2.410	4.2	13.4	69.4	13.8	31.8

2 试验结果与分析

2.1 高温稳定性

沥青混合料作为一种黏弹性材料,夏季高温时在车辆荷载不断作用下易发生永久变形,如车辙等。研究表明,高模量沥青混合料对抵抗车辙变形有一定效果。以动稳定度 DS 作为高温性能评价指标,分析玄武岩纤维对高模量沥青混合料高温性能的影响。室内成型长、宽为 300 mm、厚 60 cm 的车辙板,试验温度 60 $^{\circ}\text{C}$,试验结果见图 1。

从图 1 可看出:6 种沥青混合料的动稳定度大小为 0.6% BF+0.4% HM>0.4% BF+0.4% HM>0.2% BF+0.4% HM>0.4% HM>SBS>基质沥青,

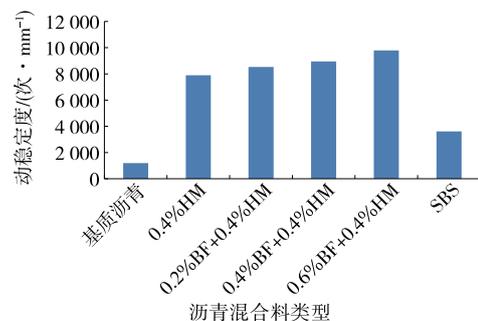


图1 车辙试验结果

0.4% HM 的动稳定度是 SBS 改性沥青的 1.2 倍、基质沥青的 5.6 倍,说明高模量沥青混合料的高温稳定性得到很大改善;随着玄武岩纤维的不断加入,高模量沥青混合料的动稳定度持续增加,掺 0.6% 玄武

岩纤维的动稳定度相对于 0.4%HM 提高 24%，说明玄武岩纤维能改善高模量沥青混合料的高温性能。主要原因是玄武岩纤维加入后与沥青胶结在一起形成缠绕的结构沥青，不但降低了沥青的流动性，也增大了沥青的比表面积，从而增加了沥青的黏度，增强了高模量沥青混合料的高温性能。

2.2 低温抗裂性

沥青路面在外界温度骤降时，结构内外因温差过大会产生应力集中而发生路面开裂，导致路面结构承载力和行车舒适性下降，容易产生交通隐患。为保证新建或改建道路的路面质量能长期不受低温影响而发生破坏，需对路面材料进行优化。研究表明，高模量沥青混合料由于自身模量较大易产生低温开裂。采用低温弯曲试验对掺玄武岩纤维的高模量沥青混合料进行试验，试验温度 -10℃，试验结果见图 2。

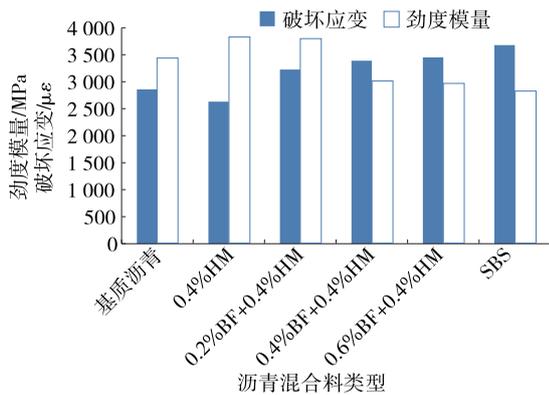


图 2 低温弯曲试验结果

从图 2 可看出：相对于基质沥青，0.4%HM 沥青混合料的破坏应变减小，劲度模量增加，说明高模量沥青混合料的低温性能不足；掺入玄武岩纤维后，高模量沥青混合料的破坏应变增加，劲度模量减小，且随着玄武岩纤维用量的增加，破坏应变增加，劲度模量逐渐减小，说明加入玄武岩纤维可有效增强高模量沥青混合料的低温性能。0.6%玄武岩纤维用量的低温性能接近于 SBS 改性沥青。这是由于玄武岩纤维与沥青形成一定的空间网络结构，增加了低温韧性，缓解了温度应力对混合料的影响。

2.3 水稳定性

由于冻融劈裂试验更符合沥青路面服役过程的实际状况，采用冻融劈裂试验对掺加玄武岩纤维的高模量沥青混合料水稳定性进行评价，评价指标为冻融劈裂强度比。试验结果见表 7、图 3。

从表 7、图 3 可看出：0.4%HM 沥青混合料的冻

表 7 冻融劈裂试验结果

沥青混合料类型	未冻融劈裂强度 / MPa	冻融后劈裂强度 / MPa	冻融劈裂强度比 / %
基质沥青	1.126	0.989	87.8
0.4%HM	1.658	1.552	93.6
0.2%BF+0.4%HM	1.652	1.526	92.4
0.4%BF+0.4%HM	1.635	1.499	91.7
0.6%BF+0.4%HM	1.642	1.463	89.1
SBS	1.246	1.141	91.6

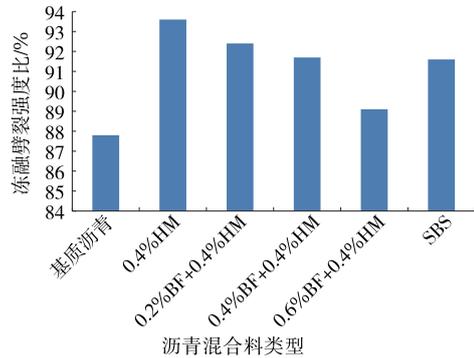


图 3 冻融劈裂强度比对比

融劈裂强度比相对于基质沥青提高 6.6%，相对于 SBS 提高 2.2%；在 0.4%HM 的基础上掺入玄武岩纤维，冻融劈裂强度比随玄武岩用量的增加逐渐减小，表明高模量沥青混合料本身具有很好的水稳定性，但玄武岩纤维会对其抗水损害性能产生不良影响。这是由于玄武岩纤维与沥青形成相互缠绕的空间结构黏附于集料表面，一定程度上阻挠了细小集料填补骨料间的空缺，在冻融循环试验过程中水分会浸入这些空缺，在低温条件下发生冻胀反应，破坏沥青与集料的黏附结构，使混合料发生水损害。

2.4 抗疲劳性能

采用 MTS 万能材料试验机对添加玄武岩纤维的高模量沥青混合料进行四点弯曲试验，试验温度 15℃，采用应变控制模式。为更直观地反映不同类型沥青混合料的疲劳寿命，选择单一小应变水平 500 με 进行试验。一般认为试件的劲度模量下降到初始劲度模量的 50% 时，试件所受荷载重复作用次数即为其疲劳寿命。试验结果见表 8、图 4。

从表 8、图 4 可看出：0.4%HM 沥青混合料的疲劳寿命是基质沥青的 4.7 倍，在 0.4%HM 的基础上以 0.2% 的幅度加入玄武岩纤维，高模量沥青混合料的疲劳寿命逐渐增加，掺 0.2%BF 时疲劳寿命已超过 SBS 改性沥青，掺 0.6%BF 时疲劳寿命是 SBS 的 1.8 倍、基质沥青的 14 倍，说明高模量沥青混合料自

表8 四点弯曲疲劳试验结果

沥青混合料类型	疲劳寿命/次			
	试件 1	试件 2	试件 3	平均值
基质沥青	9 153	9 964	10 163	9 760
0.4% HM	44 682	47 538	45 618	45 946
0.2% BF+0.4% HM	97 496	90 762	85 795	91 351
0.4% BF+0.4% HM	114 596	109 835	115 025	113 152
0.6% BF+0.4% HM	145 290	132 843	129 708	135 947
SBS	73 619	75 947	72 290	73 952

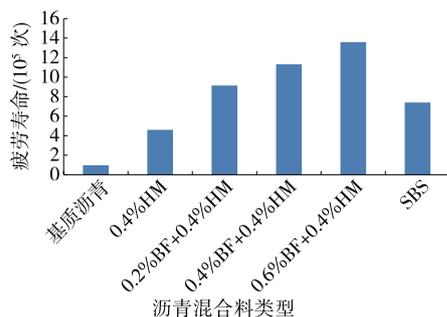


图4 疲劳寿命对比

身具有良好的抗疲劳特性,加入玄武岩纤维后其疲劳性能进一步得到大幅改善。一方面,由于玄武岩纤维与沥青形成的网络结构增大了沥青膜厚度,增强了沥青与集料的黏结性,加之纤维本身具有加筋增韧作用,阻碍了裂缝的进一步扩展,改善了其抗疲劳性能;另一方面,玄武岩纤维本身的弹性模量较大,加入混合料后提高了柔性成分,疏散了一部分应力,使混合料产生裂缝的概率减小,从而提高了其抗疲劳性能。

3 结论

(1) 6种沥青混合料的动稳定度大小为0.6%BF+0.4%HM>0.4%BF+0.4%HM>0.2%BF+0.4%HM>0.4%HM>SBS>基质沥青,高模量沥青混合料自身具有良好的高温稳定性,掺入玄武岩纤维后其高温性能优势更显著。

(2) 玄武岩纤维能改善高模量沥青混合料的低温性能不足问题,0.6%玄武岩纤维用量时的低温性能趋于SBS改性沥青。

(3) 高模量沥青混合料本身具有很好的抗水损害性能,但掺入玄武岩纤维会对其抗水损害性能产生不良影响。

(4) 高模量沥青混合料自身具有良好的抗疲劳特性,加入玄武岩纤维后,0.6%玄武岩纤维用量时的疲劳寿命是SBS的1.8倍、基质沥青的14倍,大幅改善了其疲劳性能。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李洪斌.高模量沥青混合料路用性能的试验研究[J].公路,2011(2):123-126.
- [3] LEE H J, LEE J H, PARK H M. Performance evaluation of high modulus asphalt mixtures for long life asphalt pavements[J]. Construction and Building Materials, 2007, 21(5): 1079-1087.
- [4] SIM Jongsung, PARK Cheolwoo, MOON Do Young. Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures[J]. Composites Part B: Engineering, 2005, 36(6): 504-512.
- [5] LUO X, XU J Y, BAI E L, et al. Study on the effect of basalt fiber on the energy absorption characteristics of porous material[J]. Construction and Building Materials, 2014, 68(15): 384-390.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 许珊珊.玄武岩纤维沥青胶浆性能及其界面粘结特性研究[D].扬州:扬州大学,2018.
- [9] 范文孝,康海贵,郑元勋.玄武岩纤维改性沥青混合料路用性能试验研究[J].东南大学学报(英文版),2010,26(4):614-617.
- [10] 陈建荣,叶俊,吴逢春,等.短切玄武岩纤维沥青混合料疲劳性能研究[J].公路,2013(11):188-191.

收稿日期:2020-12-09

(上接第56页)

段共聚物改性沥青中改性剂含量的检测方法[J].科学与技术,2019,19(36):54-61.

- [5] 高妮妮.改性沥青SBS剂量快速检测方法研究[D].西安:长安大学,2013.

- [6] 张海波,王富强.基于ANN预测模型快速检测改性沥青SBS含量的方法研究[J].道路工程,2020(7):1-3+44.

收稿日期:2020-12-18