

[文章编号] 1003—4684(2023)01-0086-04

混杂纤维沥青混合料路用性能试验研究

李向阳¹, 胡军安¹, 陈月顺¹, 蒋雷鸣²

(1 湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068; 2 中建一局(集团)有限公司西北公司, 陕西 西安 710065)

[摘 要] 将水镁石纤维和海泡石纤维单独及混合掺入 AC-13 沥青混合料中,通过车辙试验、小梁弯曲试验和浸水马歇尔试验研究了 0.3%纤维总掺量下沥青混合料的路用性能。结果表明,纤维的加入可以提高沥青混合料的高温、低温和水稳定性;并且混掺纤维沥青混合料的性能优于单掺的。水镁石和海泡石纤维以质量比 2:3 的比例混合掺入时,高温和低温性能最好;当纤维以 3:2 的比例混合掺入时,水稳定性最好。引入功效系数法确定了最佳性价比的纤维掺入方案。水镁石与海泡石纤维以 1:4 的比例加入到混合料时性价比最高。

[关键词] 沥青混合料; 混掺纤维; 路用性能

[中图分类号] U414 [文献标识码] A

沥青混凝土路面是我国公路普遍采用的一种路面形式,具有噪音低、稳定性高、易维护、抗损害能力强等优点。随着交通运输行业的快速发展,沥青混凝土的固有缺陷,如石屑剥落、低温开裂、高温车辙病害等,严重影响了道路的使用寿命和人们的出行体验。虽然目前在高等级的公路中,改性沥青混凝土路面得到了广泛的应用;但在城镇次干道、辅路、人行道和乡镇公路,普通沥青混凝土路面仍然被大量使用。

为了有效降低路面病害,纤维沥青混合料成为常采用的改善路面性能的材料之一^[1]。纤维由于其各自不同的特性,可以在沥青混合料中发挥桥接阻裂、界面增强效应和稳定沥青的作用^[2]。本文选用的水镁石纤维以氢氧化镁为主要生产原料,在中国、俄罗斯等国家均有丰富储量,纤维易从其中分离、产出量大,作为当前石棉纤维的首选替代用品及性能优异且价格低廉的一种矿物纤维,目前在沥青路面的应用较少^[3];海泡石纤维是一种可以在自然情况下获得的矿物纤维,具有比表面积大、吸放湿性好、吸附性强、阻燃隔热、耐高温,并且在使用过程中不会因为环境原因而发生腐蚀^[4]。查阅相关文献可知^[5-7],水镁石纤维由于桥联加筋作用对沥青混合料的高温稳定性有明显的性能改善,而海泡石纤维由于比表面积大对沥青表现极强吸持能力,可以有效调节沥青与胶浆的含量,对沥青混合料的高温稳定性和低温抗裂性均有较好的改善。

因此,将两种纤维混合掺入到沥青混合料中,探

究其对路面的性能改善效果,为提高普通沥青混凝土路面质量提供参考,并进一步探究其性价比。

1 试验

1.1 原材料的选择

沥青选用湖北某公司生产提供的 A 级 70# 普通沥青,其主要性能指标,见表 1。

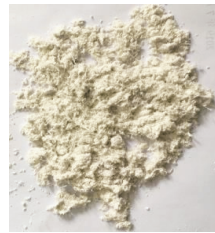
表 1 沥青的主要性能指标

技术指标	试验结果	规范要求	试验依据
针入度(25℃,100 g,5 s)	66.7	60~80	T0604
针入度指数 PI	-0.85	-1.5~+1.0	T0604
软化点/℃	47	≥45	T0606
延度(15℃,5 cm/min)	98	≤100	T0605
延度(10℃,5 cm/min)	58	≥20	T0605
溶解度/%	99.9	≥99.5	T0607

集料采用湖北京山开采的石料,矿粉来源为石灰岩碾细过筛得到。本研究选用的水镁石纤维和海泡石纤维由河北省灵寿县一家企业提供。纤维原材料见图 1。两种纤维性能指标见表 2。



(a) 水镁石纤维



(b) 海泡石纤维

图 1 纤维原材料

表 2 水镁石纤维和海泡石纤维的技术性能指标

检验项目	水镁石纤维	海泡石纤维
密度(kg/m ³)	320	460
颜色	白色	白色
纤维长度	1~5 mm	Ⅱ类 3 mm
最高使用温度(℃)	750	1700
抗拉强度(MPa)	1093	—
比表面积(m ² /g)	0.15	900

1.2 矿料级配

试验采用 AC-13 配比沥青混合料,矿料级配见表 3。合成级配曲线如图 2 所示。

表 3 沥青混合料矿料级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
16	100.0	1.18	24.3
13.2	96.0	0.6	15.5
9.5	80.8	0.3	10.7
4.75	53.0	0.15	7.6
2.36	34.8	0.075	5.1

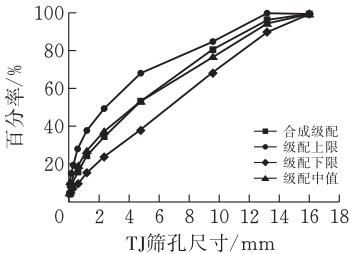


图 2 级配曲线

1.3 试验方法

本试验的试件共设计为七个组别。分别为不掺纤维,单掺 0.3%水镁石纤维,单掺 0.3%海泡石纤维,水镁石与海泡石纤维占沥青混合料总重的 0.3%的前提下以 1:4、2:3、3:2、4:1 的比例掺入^[8]。根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)^[9],采用车辙试验、小梁弯曲试验和浸水马歇尔试验对七组沥青混合料试件进行高温、低温和水稳定性试验。

1.3.1 高温性能测试 依照试验规程^[9]中 T0703—2011 介绍的方法制作成型 7 组沥青混合料车辙试件,每组 3 块。车辙板试件尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm,试件成型后需在室温条件下冷却 12 h,试验温度为 60℃,车辙板试件保温 5 h 后进行车辙试验,轮压为 0.7 MPa,轮碾速率为 42 次/min。试件成型过程如图 3 所示。

1.3.2 低温性能测试 小梁试件通过试验规程^[9]制作的车辙试件切制而来,尺寸为 250 mm×30 mm×35 mm,小梁跨径为 200 mm。试验温度-10℃,中点加载,加载速率为 5 cm/min。小梁弯曲试验如图 4 所示。

1.3.3 水稳定性测试 依据试验规程^[9]成型沥

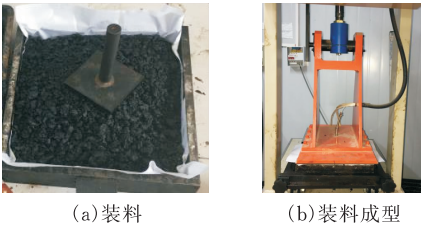


图 3 车辙板成型过程

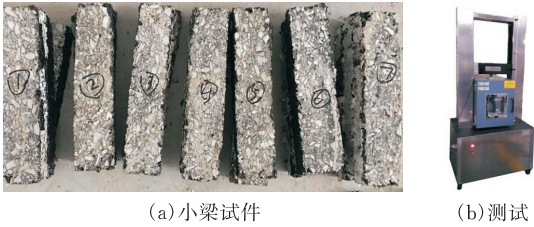


图 4 小梁弯曲试验

青混合料的浸水马歇尔试件。文献[10]研究表明,采用浸水马歇尔试验时,试件是否达到饱水状态对马歇尔残留稳定度有较大影响,而试件的饱和状态取决于浸水时间和空隙率。本文成型的马歇尔试件的空隙率在 3%~5%之间,空隙率在 4%以下的试件采用试验规程^[9]规定浸水 48h,空隙率在 4%以上的试件则浸水 72 h 后检验其水稳定性。具体做法是将试件随机分成两组,一组放入 60℃的水浴保温箱浸泡 0.5 h,另一组相同条件下水浴 48 h 或 72 h,分别测定两组试件的马歇尔稳定度,试验过程如图 5 所示。

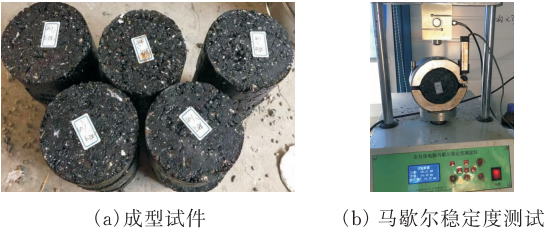


图 5 浸水马歇尔试验

2 试验结果分析

2.1 高温性能

与普通沥青混合料相比,掺入纤维后的沥青混合料动稳定度增大(图 6),车辙试件相对变形率减小(图 7),高温稳定性能得到不同程度的提升。单掺水镁石纤维时,沥青混合料的动稳定度提高 35.3%,相对变形率降低 15.4%;单掺海泡石纤维时,沥青混合料的动稳定度提高 27.8%,相对变形率降低 23.0%;当水镁石与海泡石纤维以 2:3 的比例混合掺入时,其动稳定度和相对变形率指标达到最优,这种情况下的 高温稳定性能最好,其中动稳定度比不加纤维试件组提高 48.4%,相对变形率比不加纤维试件组降低 30%。

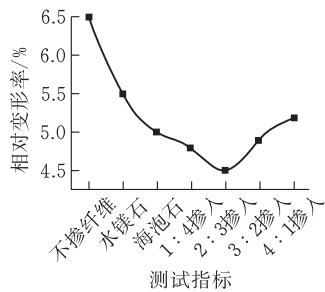


图6 以不同方式掺加纤维后混合料的动稳定度指标

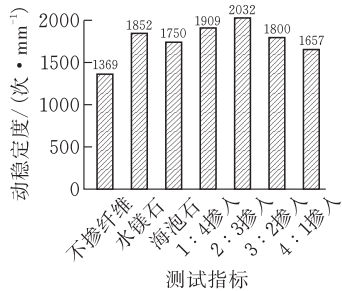


图7 以不同方式掺加纤维后混合料的相对变形率

2.2 低温性能

水镁石和海泡石纤维掺量对沥青混合料的低温性能试验结果如表4和图8所示。

表4 混合料低温试验结果

测试指标	抗弯拉强度 R_B /MPa	最大弯拉应变 ϵ_B / $\mu\epsilon$
不掺纤维	10.267	388
单掺水镁石	11.380	2702
单掺海泡石	11.422	2730
1 : 4 掺入	11.556	2907
2 : 3 掺入	11.566	2938
3 : 2 掺入	11.532	2856
4 : 1 掺入	11.483	2847

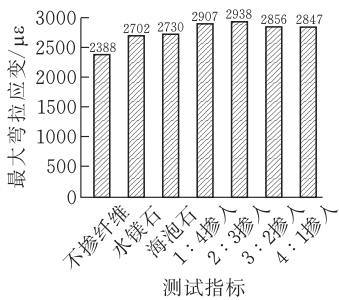


图8 以不同方式掺加纤维时的最大弯拉应变

由表4和图8可知:纤维的加入使小梁试件的抗弯拉强度和最大弯拉应变得到不同程度的提高。与不掺纤维的试件相比较,单掺海泡石纤维试件的抗弯拉强度和最大弯拉应变提升比单掺水镁石纤维要大,抗弯拉强度提升11.2%,最大弯拉应变提升14.3%;混掺纤维的小梁试件的抗弯拉强度和最大弯拉应变的提升则更加明显,其中以2:3混掺水镁石纤维和海泡石纤维时小梁的抗弯拉强度和最大弯拉应变提升效果最好,比未掺加纤维时抗弯拉强度提升12.7%,最大弯拉应变提升23.0%。

2.3 水稳定性

浸水马歇尔试验下,沥青混合料的残留稳定度结果如表5和图9所示。

表5 浸水条件下的马歇尔试验结果

测试指标	30 min 时的稳定度/kN	48 h 时的稳定度/kN	残留稳定度/%
不掺纤维	9.78	8.17	84
单掺水镁石	11.47	10.21	89
单掺海泡石	10.82	9.50	88
1 : 4 掺入	11.03	9.93	90
2 : 3 掺入	12.40	10.76	87
3 : 2 掺入	13.07	11.76	90
4 : 1 掺入	12.01	10.68	89

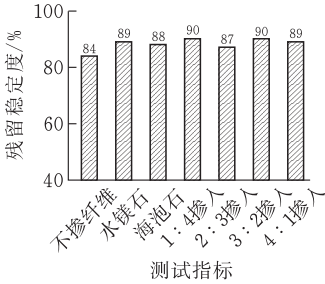


图9 不同纤维掺量下的残留稳定度

由表5和图9可知,与浸水前相比,浸水后标准马歇尔试件的稳定度均有不同程度的下降。与未添加纤维的情况相比,纤维的掺入对沥青混合料水稳定性均有所改善,但改善效果不明显,改善幅度约为4%~7%。其中水镁石与海泡石纤维以3:2和1:4的比例混合掺入时,稳定性下降的比例最小,均为10%,但对于3:2混合掺入的沥青混合料,浸水前后的稳定度均高于1:4混合掺入的沥青混合料,因此水镁石和海泡石纤维以3:2混合掺入沥青混合料的水稳定性最好。

由上述试验结果知:水镁石纤维和海泡石纤维加入沥青混合料后,可能是由于纤维的桥联加筋、吸附等作用,发挥了正混杂效应,使沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性得到了提高。

3 成本性能分析

利用功效系数法,结合总成本以及路用性能两个因素确定最佳的纤维掺入方案^[11]。对各项指标按照公式1进行合成,得出总功效系数(图10)。总功效系数的数值越大,表示混合料的性价比越高。

$$D = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}}$$

式中: D 为总功效系数 $d_i^{w_i}$ 为加权后的系数; w_i 为权数。

由图10可以看出,当水镁石纤维和海泡石纤维以1:4的比例加入时,总功效系数最大,性价比最高。

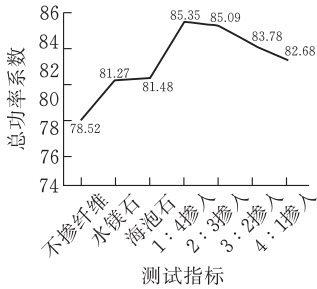


图 10 总功效系数

4 结论

本文研究了水镁石纤维和海泡石纤维单独及混合掺入对于沥青混合料高温,低温,水稳定性能的影响,主要得出以下结论:

- 1)与不掺或单独掺加水镁石或海泡石纤维相比,混掺水镁石/海泡石纤维可提升沥青混合料的路用性能。
- 2)在所有七组不同配比中,水镁石与海泡石纤维以 2 : 3 混合掺入时,沥青混合料的高温稳定性和低温抗裂性能最好,与未掺加纤维相比,沥青混合料的动稳定度、抗弯拉强度和最大弯拉应变分别提升 48.4 %、12.7 %、23.0 %。
- 3)水镁石和海泡石纤维的掺入对于沥青混合料的水稳定性提升效果不明显,效果最好的是水镁石和海泡石纤维以 3 : 2 混合掺入沥青混合料的试件组,其马歇尔试件的残留稳定度与没有加入纤维的试件组相比提高 7.1 %。
- 4)引入功效系数法对其路用性能和总成本进行分析。得到水镁石纤维与海泡石纤维以 1 : 4 的比

例加入到混合料中时性价比最高。

[参 考 文 献]

[1] 张争奇,胡长顺.纤维加强沥青混凝土几个问题的研究和探讨[J].西安公路交通大学学报,2001(01):29-32.

[2] 倪良松,陈华鑫,胡长顺,等.纤维沥青混合料增强作用机理分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2003(05):1033-1037.

[3] 杨晓凯.煤矸石粉/水镁石纤维复合改性沥青混合料路用性能研究[D].西安:长安大学,2016.

[4] 王长远,王功勋,陶涛,等.海泡石功能化绿色建材研究进展与应用现状[J].硅酸盐通报,2017,36(10):3285-3291.

[5] 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(01):5-10.

[6] 王伟.基于不同矿物纤维沥青混合料路用性能试验研究[J].湖南交通科技,2017,43(02):112-115.

[7] 熊锐,刘子铭,杨晓凯,等.煤矸石粉/水镁石纤维改性沥青混合料路用性能[J].筑路机械与施工机械化,2017,34(02):71-75.

[8] 马峰,潘健,傅珍,等.纤维沥青混合料最佳纤维掺量的确定[J].河南理工大学学报(自然科学版),2019,38(05):138-145.

[9] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[10] 周亮,栗培龙,邱欣,等.饱水状态对浸水马歇尔试验结果的影响[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2008(04):619-622.

[11] 张铁志,王立久,刘霖.混掺纤维沥青混合料路用性能试验研究[J].公路,2018,63(06):249-253.

Experimental Study on Road Performance of Brucite Fiber and Sepiolite Fiber Asphalt Mixture

LI Xiangyang¹, HU Junan¹, CHEN Yueshun¹, JIANG Leiming²

(1 School of Civil Engin., Architecture and Environment, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China ;
2 China Construction First Bureau (Group) Co., Ltd. Northwest Company, Xian 710065, China)

Abstract: Brucite fiber and sepiolite fiber were separately and mixed into AC-13 asphalt mixture. The pavement performance of asphalt mixture with 0.3% total fiber content was studied by rutting test, trabecular bending test and soaking Marshall test. The results show that the high temperature, low temperature and water stability of asphalt mixture can be improved by adding fiber. The performance of mixed fiber asphalt mixture is better than that of single mixture. When brucite and sepiolite fibers are mixed at a mass ratio of 2 : 3, their properties are the best at high and low temperatures. Water stability is best when fibers are mixed in a ratio of 3 : 2. In addition, the efficiency coefficient method was introduced to determine the optimal fiber incorporation scheme. The ratio of brucite to sepiolite fiber was 1 : 4 when it was added to the mixture.

Keywords: asphalt mixture; mixed fibers; pavement performance

[责任编辑: 裴 琴]