

文章编号:1671-6833(2007)02-0011-04

纤维沥青混合料性能研究

丁智勇^{1,2}, 黄杰³, 彭波¹, 戴经梁¹, 陈忠达¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 3. 开封市公路管理局, 河南 开封 475003)

摘要: 通过对纤维沥青混合料的一系列性能试验, 研究了纤维沥青混合料的高、低温性能和水稳定性。试验证明, 掺纤维后沥青混合料高温稳定性增强, 既吸附沥青又具有明显加筋作用的聚合物纤维效果较显著; 纤维沥青混合料低温抗裂性提高, 水稳定性改善, 其中木质素纤维掺量合适的沥青混合料低温和水稳性效果明显。通过对混合料高温车辙试验结果的分析表明, 采用“车辙变形的时间累积”指标和动稳定度指标综合使用可以更有效地评价混合料的车辙试验。

关键词: 纤维沥青混合料; 高温稳定性; 水稳定性; 车辙变形的时间累积

中图分类号: U 416.217

文献标识码: A

0 引言

为解决高等级公路沥青路面常见的病害, 各国公路工作者进行了很多探索, 提出了一些能够尽量兼顾路面各种使用性能的混合料, 如 SMA 骨架大粒径混合料和纤维沥青混合料等等。纤维可以改善沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性能^[1], 施工时工艺也较简单, 很有应用前景。但是路用纤维的种类有多种, 纤维沥青混合料的使用性能也因所掺纤维的种类、纤维掺量的多少而变化, 不同种类的纤维对沥青混合料性能改善情况如何、常规性能试验方法对纤维沥青混合料适应性怎么样等这些问题都有待进一步研究。笔者通过对几类化学性质不同的纤维进行试验研究, 分析各类纤维的作用, 根据试验结果总结提出新的评价指标。试验中采用兰炼 AH-90 沥青(25℃针入度 91.3 mm, 15℃延度 82.8 cm, 10℃延度 24.7 cm, 软化点 47.0℃, 针入度指数 -0.49, 蜡含量 1.1%)、闪长岩石料(压碎值 13.9%, 磨耗值 25.0%)和石灰岩矿粉, 级配取 AC13I 中值, 纤维选用目前工程中常见的几类: 聚丙烯腈纶类纤维 A、聚酯纤维 B、木质素纤维 C。

1 纤维沥青混合料高温稳定性研究

1.1 纤维沥青混合料车辙试验结果

车辙试验依据《公路工程沥青及沥青混合料

试验规程》(JTJ 052-2000)进行, 按最佳沥青用量下的马歇尔试件密度成型车辙板, 试验温度为 60℃, 轮压 0.7 MPa, 车辙试验结果如表 1 所示, 车辙试验变形曲线见图 1。

表 1 纤维沥青混合料车辙试验结果

Tab.1 Wheel tracking test result of fiber asphalt mixture

纤维类型	混合料编号	最佳沥青用量/%	纤维掺量/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
无纤维	无纤维	5.10	0.0	832
A	A1	5.26	0.2	2 082
	A2	5.28	0.3	2 301
B	B1	5.23	0.1	946
	B2	5.30	0.2	1 241
C	C1	5.25	0.2	821
	C2	5.30	0.3	1 159
	C3	5.54	0.4	1 066

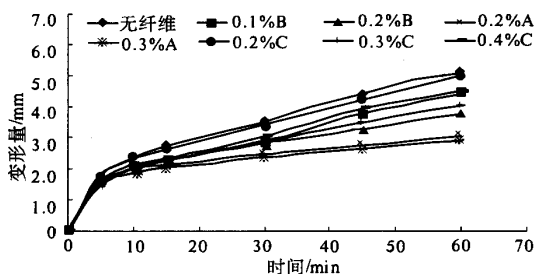


图 1 纤维沥青混合料车辙试验变形曲线

Fig.1 Distortion curve of wheel tracking test

收稿日期:2006-12-24;修订日期:2007-03-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50608006);河南省行业联合攻关项目(2003013)

作者简介:丁智勇(1977-),男,陕西西安人,长安大学讲师,博士研究生,主要从事路面工程与材料研究。

1.2 纤维改善混合料高温稳定性机理的分析

从纤维掺入后改变了沥青化学组分的角度分析,由于纤维材料的比表面积很大,使得沥青中的油分被吸附,相当于沥青质相对增多^[2],从而使沥青的黏度增大,提高了沥青高温时的稳定性.

其次,沥青吸附在纤维表面可以产生结构沥青膜,使得混合料沥青中结构沥青的比例增加.沥青中活性较大的酸性树脂组分与纤维表面产生的物理浸润、吸附甚至化学键作用,使沥青呈单分子状排列在纤维表面,形成结合力牢固的结构沥青界面层^[3],如图2所示.结构沥青比界面层以外的自由沥青粘性大,耐热性好.空间随机分布的纤维表面形成的结构沥青网,增大了混合料中结构沥青比例,混合料的高温稳定性得到提高.

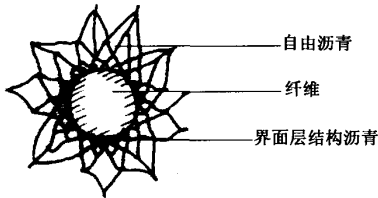


图2 纤维与沥青界面作用示意
Fig.2 Interface between fiber and asphalt

从纤维的力学加筋性能方面分析,就像钢筋能显著提高混凝土的断裂韧度和断裂能一样^[4],纤维在沥青混合料中分散于粗细集料和沥青胶浆之间,对混合料所受的荷载有分散、传递作用,对集料颗粒产生约束和阻碍作用,可以减少颗粒之间的相对滑移.特别是在纤维的模量较高、纤维的长细比较大时(如聚合物类纤维A和B),这种加筋作用就会更加明显.

1.3 以动稳定度为指标进行比较

掺纤维沥青混合料的动稳定度都有提高.纤维A和B使混合料的动稳定度提高很显著.B2动稳定度提高49%以上,A1动稳定度提高了150%,可见聚合物纤维对沥青混合料的抗车辙能力有很明显的改善.

掺加纤维C的沥青混合料动稳定度也有一定的增加,C2和C3分别提高了39%和28%.C纤维的加入使混合料的最佳沥青用量增加不少,但是由于C纤维对沥青的吸附作用使混合料内结构沥青增加,并没有降低混合料的高温稳定性.文献[5]也认为在SMA和OGFC当中木质素纤维可以很好地起到增加最佳沥青的作用.但C3的动稳定度没有C2大,这可能是C纤维对沥青的吸附稳定作用被沥青用量的增加抵消了,对于这种靠吸附稳定沥青来提高混合料高温性能的纤维来说,掺量过大反而对混合料高温稳定性有害.

1.4 “车辙变形的时间累积”概念的提出

通过对纤维沥青混合料进行多次的车辙试验,发现动稳定度高时混合料的车辙变形量却不一定小,这是因为动稳定度指标只和车辙试验后15 min车辙变形的速率有关^[6],车辙试验的前45 min情况并没有体现出来.

比较无纤维混合料和C1,发现无纤维混合料动稳定度大一些,但车辙总变形量也大.应该采用能说明整个车辙高温变形发展和变形总量大小的指标,可以采用整个车辙变形曲线和坐标轴之间所夹的面积来衡量车辙变形随时间的发展情况和车辙的严重程度,称为“车辙变形的时间累积”.根据图1所示的车辙试验变形曲线,计算得到各种混合料车辙变形的时间累积数值列入表2.

表2 纤维沥青混合料车辙变形的时间累积
Tab.2 Time cumulation of wheel tracking test deformation

混合料类型	无纤维	B1	B2	A1	A2	C1	C2	C3
车辙变形的时间累积/(mm·min)	204.5	172.6	160.0	139.9	135.3	197.8	165.8	177.5

按动稳定度大小各种纤维沥青混合料的高温稳定性的排名为:C1<无纤维<B1<C3<C2<B2<A1<A2;按“车辙变形的时间累积”数值大小各种纤维沥青混合料的高温稳定性的排名为:无纤维<C1<C3<B1<C2<B2<A1<A2.

对比可知,按“车辙变形的时间累积”和动稳定度两个指标,混合料高温稳定性的排列是有所不同的.从图1可以看出,按“车辙变形的时间累积”排列的顺序和混合料实际变形情况是一致

的.只采用动稳定度作为车辙试验的唯一指标,区分不出混合料高温稳定性确实好,和混合料在试验早期变形较大,但由于试验中试件厚度有限,混合料后期变形发展缓慢,这种实际上高温稳定性并不好的情况.而用“车辙变形的时间累积”就可以发现这种情况.建议对混合料车辙试验采用动稳定度和“车辙变形的时间累积”这两个指标综合考虑,以作为车辙试验评价纤维沥青混合料高温稳定性的依据.

2 纤维沥青混合料低温抗裂性能研究

试验按试验规范(JTJ 052 - 2000)进行,将轮辙成型的试件切割成 40 mm × 40 mm × 250 mm

的小梁采用 MTS 材料试验机进行试验,试验温度为 -10 ℃,加载速率为 50 mm/min,试验结果如表 3 所示.

表 3 纤维沥青混合料低温弯曲试验结果
Tab.3 Result of low - temperature bending test

纤维类型	混合料编号	纤维掺量/%	抗弯拉强度/MPa	最大弯拉应变	弯曲劲度模量/MPa
无纤维	无纤维	0.0	9.558	0.002 579	3 706.088
A	A1	0.2	10.080	0.003 033	3 323.442
	A2	0.3	10.179	0.003 303	3 081.744
B	B1	0.1	10.650	0.003 172	3 357.503
	B2	0.2	10.830	0.003 311	3 270.915
C	C1	0.2	10.266	0.002 650	3 873.962
	C2	0.3	10.740	0.002 852	3 765.778
	C3	0.4	10.985	0.003 012	3 647.078

从试验结果可以发现,加入纤维后混合料的抗弯拉强度和最大弯拉应变均随着纤维含量的增加而提高,这说明纤维对于沥青混合料的低温抗裂性能有改善作用. 掺 B 纤维的混合料抗弯拉强度比掺 A 纤维的高,但如果从破坏弯拉应变来看 B2 和 A2 几乎相同,这两种聚合物纤维到底哪种抗裂性能更好还较难下结论.

比较各种混合料低温弯曲劲度模量,掺 A 和 B 纤维的混合料低温弯曲劲度模量比无纤维的混合料小,体现出了低温下掺这两种纤维的混合料柔韧性增加,这是纤维加筋增韧作用的体现.

纤维 C 使得混合料的最佳沥青用量增加较大,而在低温情况下沥青用量的增加对混合料的抗裂性能提高有显著作用,所以掺 C 纤维的混合料的低温抗弯拉强度都有较大提高,C3 的劲度模量也比无纤维混合料小.

3 纤维沥青混合料水稳性研究

3.1 残留稳定度试验

试验按规范(JTJ 052 - 2000)的规定进行,试验结果见表 4.

表 4 纤维沥青混合料残留稳定度试验结果
Tab.4 Result of residual stability test

纤维类型	混合料编号	纤维掺量/%	MS/kN	MS ₁ /kN	MS ₀ /%
无纤维	无纤维	0.0	8.32	6.72	80.77
A	A1	0.2	9.95	8.48	85.23
	A2	0.3	10.05	8.73	86.87
B	B1	0.1	9.76	8.66	88.73
	B2	0.2	10.27	9.27	90.26
C	C1	0.2	9.07	8.62	95.03
	C2	0.3	9.24	8.87	96.00
	C3	0.4	8.33	7.55	90.64

从试验结果可以看出,纤维的加入使得混合料的残留稳定度值 MS₀ 均有提高,掺 C 纤维效果最好,但 C3 的残留稳定度有所下降,纤维 C 掺量不宜过多.

3.2 冻融劈裂试验

试验严格按规范(JTJ 052 - 2000)的规定进行,采用自动劈裂强度试验仪进行试验,试验数据如表 5 所示.

表 5 纤维沥青混合料冻融劈裂试验结果
Tab.5 Splitting test result after cycle of freezing and hawing

纤维类型	混合料编号	纤维掺量/%	R ₁ /MPa	R ₂ /MPa	TSR/%
无纤维	无纤维	0.0	0.626	0.343	54.82
A	A1	0.2	0.701	0.380	54.19
	A2	0.3	0.722	0.400	55.43
B	B1	0.1	0.664	0.372	56.03
	B2	0.2	0.726	0.392	54.02
C	C1	0.2	0.680	0.362	53.17
	C2	0.3	0.697	0.385	55.30
	C3	0.4	0.702	0.397	56.55

从试验结果看,加入纤维后的大部分混合料冻融劈裂强度比都有所增加,这说明纤维掺入改善了混合料的水稳性. 分析原因有:首先,纤维的加入使混合料的最佳沥青用量增加,增加了试件中矿料表面沥青膜的厚度,减少了沥青在矿料表面的剥离;其次,纤维和沥青间的黏附性要比矿料和沥青间的黏附性好得多,纤维加入后提高了混合料整体的抗水损能力;最后,纤维的掺入使混合料中结构沥青比例增加,结构沥青与矿料间的界面作用强烈,也有利于混合料的水稳性.

试验中发现,击实后的纤维沥青混合料马歇尔试件的空隙率比无纤维混合料试件的空隙率要

高一些(尤其是掺入较长的纤维时)。冻融劈裂试验中试件经过抽真空后,混合料中的空隙充分地吸水饱和,在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水冻结后对空隙壁产生冻胀应力,经过冻融循环后混合料的强度因此减弱。纤维沥青混合料试件空隙率较大,受到的冻胀破坏作用更明显,所以试件的劈裂强度下降幅度较大,这种减弱甚至抵消了纤维对混合料水稳性的提高,使得有些纤维沥青混合料冻融劈裂强度比降低,所以试验结果中有一部分纤维沥青混合料比无纤维沥青混合料的冻融劈裂强度比还要低一些。在纤维沥青混合料的施工中一定要注意混合料空隙率的控制,否则可能导致水稳性严重下降。

聚合物纤维对沥青混合料的高温、低温和水稳性改善都较明显,但是参加聚合物纤维后混合料的成本要大幅提高^[7],只有在经济条件允许的重要工程上才适合大规模使用;木质素纤维价格便宜,用量适宜时改善低温和水稳性的效果不错,可以在合适的地区大规模使用。

4 结论

(1)掺纤维沥青混合料的动稳定度都有提高。既吸附稳定沥青,又有明显加筋作用的聚合物纤维(A和B)使得混合料的动稳定度提高很显著;掺木质素纤维C的动稳定度也有所提高,掺量过大时(如0.4%)动稳定度有所下降。

(2)提出了“车辙变形的时间累积”这个指标,和动稳定度指标综合使用可以更有效地评价

纤维沥青混合料的车辙试验。

(3)从低温试验结果来看,掺A、B和C3种纤维的沥青混合料低温抗裂性能都有改善,纤维掺量越大改善越明显;木质素纤维C掺量较大时混合料的低温性能可以和掺聚合物纤维的相当。

(4)纤维的加入使沥青混合料的水稳性提高,C纤维效果较好但掺量不宜过多,掺入较长的纤维时需要注意控制混合料空隙率以避免降低混合料水稳性。

参考文献:

- [1] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海:同济大学出版社,2001.
- [2] 林贤福,陈志春. 沥青的纤维增强改性剂的研究[J]. 公路,1999,(1):34-38.
- [3] 李海军. 纤维在SMA中的作用机理分析与试验研究[D]. 上海:同济大学,1998.
- [4] 高丹盈,王占桥,朱海堂. 钢纤维高强混凝土断裂性能的试验研究[J]. 郑州大学学报(工学版),2004,25(1):1-5.
- [5] 彭波,袁万杰,陈忠达. 用车辙系数评价沥青混合料的抗车辙性能[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2005,33(12):84-86.
- [6] 黄彭. 木质素纤维在沥青混合料中的应用研究[J]. 石油沥青,1998,12(4):9-15.
- [7] 马翔,倪富健,顾兴宇,等. 聚脂纤维沥青混合料路用性能研究分析[J]. 公路交通科技,2006,23(1):24-27.

Study on Fiber Asphalt Mixture Performance

DING Zhi-yong^{1,2}, HUANG Jie³, PENG Bo¹, DAI Jing-liang¹, CHEN Zhong-da¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 3. Highway Administration of Kaifeng City, Kaifeng 475003, China)

Abstract: This paper studies the fiber asphalt mixture capability through a series of the capability experiments, such as high and low temperature stability, water stability. Through the analysis of experiment results, the polymer fiber has strong ability to improve such stabilities. Cellulose fiber has strong ability to improve low-temperature and water stability when it be used suitably. It also puts forward a new index "time cumulation of wheel tracking deformation" to appraise wheel tracking test, and this appraisal method is better than the index of dynamic stability.

Key words: fiber asphalt mixture; temperature stability; water stability; time cumulation of wheel tracking deformation