

文章编号: 0451-0712(2006)02-0140-05

中图分类号: U414.01

文献标识码: A

福塔纤维沥青混合料的路用性能评价

曹丽萍¹, 袁 峻¹, 孙立军¹, 崔 毅², 杨 硕²

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室 上海市 200092; 2. 北京特希达科技有限公司 北京市 100011)

摘 要: 福塔纤维(FORTA[®]AR)是一种新型的聚合物有机纤维,它由聚丙烯(Polypropylene)和芳纶(Kevlar)按照质量比3:1混合而成。对掺加0.045%福塔纤维、0.3%的德兰尼特纤维(Dolanit)以及不加纤维的沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性以及水稳定性等路用性能进行了评价,结果表明福塔纤维沥青混合料具有优良的路用性能;继而福塔纤维改善沥青混合料路用性能的机理进行了分析。

关键词: 福塔纤维; 路用性能; 性能评价

随着经济建设的高速发展,现代交通对沥青路面的使用性能提出了越来越高的要求,越来越多的新型材料进入到了沥青路面材料技术领域。纤维是近年来国际上出现的一种非常引人注目的新型沥青混合料添加剂、稳定剂,并且已经普遍应用在沥青路面工程中^[1]。早在20世纪80年代,欧美一些国家就针对沥青混凝土中加入纤维展开了应用研究,开发了如Arbocel、德兰尼特纤维Dolanit AS、博尼维纤维Bonifiber以及Fiberpave等专利产品,并得到了大规模的应用,国内对纤维的应用也相继展开^[2,3]。

福塔纤维(FORTA[®]AR)是一种新型的聚合物有机纤维,它由聚丙烯(Polypropylene)和芳纶(Kevlar)按照质量比3:1混合而成^[4]。曾经以其优良的性能成功用于水泥混凝土当中,但是目前对其在沥青混凝土中的应用还研究得比较少。为此,本文主要针对掺加0.045%福塔纤维、0.3%的德兰尼特纤维以及不加纤维的沥青混合料进行了高温稳定性、低温抗裂性以及水稳定性等路用性能的性能评价,继而福塔纤维改善沥青混合料路用性能的机理进行了初步分析。

1 试验材料

1.1 沥青

试验中采用的沥青为壳牌70号重交基质沥青,

其各项技术指标均满足规范要求。

1.2 集料

试验中采用的粗集料为辉绿岩,细集料为花岗岩。经测试,粗细集料和矿粉的各项技术指标均满足规范要求。

1.3 纤维

试验中采用的福塔纤维由黄色的芳纶纤维和棕色的聚丙烯纤维两种纤维组成,长度为38 mm,掺量为混合料总质量的0.045%。试验中还采用了白色的德兰尼特纤维进行对比,其长度为6 mm,掺量为混合料总质量的0.3%。表1中给出了两种纤维的主要物理化学性能;图1中给出了试验中采用的福塔纤维样品,左图为手工分散均匀的福塔纤维,右图中每个小包装为试验前准备好的一个试件所需的纤维。从表1中可以看出,芳纶纤维的抗拉强度非常高,远高于聚丙烯和德兰尼特。它主要起到提供强度的作用,而聚丙烯则起到帮助芳纶分散的作用,同时熔化的部分聚丙烯也可以起到改性的作用。

表1 纤维的主要物理化学性能

纤维名称	颜色	长度 mm	抗拉强度 Pa	熔点 ℃	容重 g/cm ³	形状
芳纶	黄色	38	2 755	262	1.44	单丝纤维
聚丙烯	棕色	38	631	167	0.91	束状纤维网
德兰尼特	白色	6	>910	240	>1.18	单丝纤维

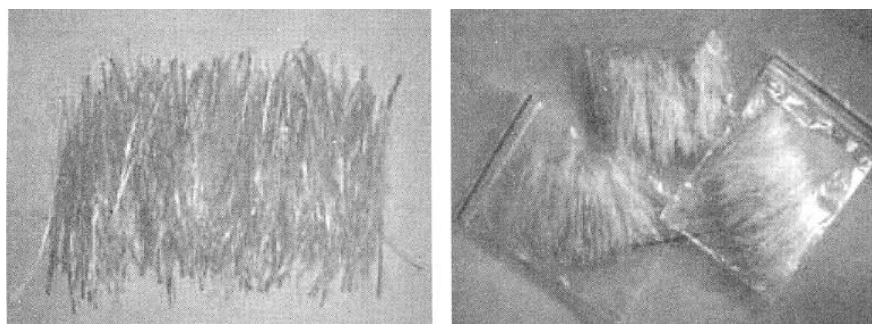


图1 分散好的福塔纤维

2 确定最佳油石比

2.1 级配

采用的级配为《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-97)中的AK-13A型级配中值,《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)推荐的AC13级配范围及本研究采用的级配,如表2和图2所示^[5,6]。

表2 AC13级配范围及设计级配

粒径/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC13上限/%	100	100	85	68	50	38	28	20	15	8
AC13下限/%	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4
设计级配/%	100	95	70	41.5	30	22.5	16.5	12.5	8.5	6

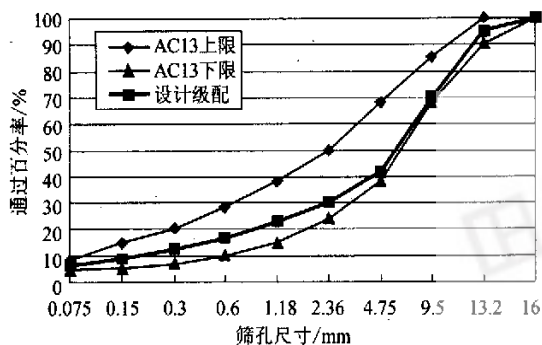


图2 级配曲线

2.2 拌和工艺的确定

(1) 福塔纤维的拌和工艺。

由于福塔纤维比较长,而芳纶纤维的长径比又非常大,这样就导致纤维难于在沥青混合料中分散。因此,有必要首先对福塔纤维进行预处理,处理的方法为:将芳纶纤维和聚丙烯纤维分开,称取每个试件所需的每种纤维的质量;把芳纶单丝束拆成单根单丝,将聚丙烯拉断为约每2~5根主要丝构成的网状

体,并将两种纤维均匀地混合在一起。另外,为了取得良好的拌和效果,对福塔纤维沥青混合料的室内拌和工艺进行了大量的摸索,分别进行了不同拌和方式的对比:

①纤维不经过处理直接与石料干拌30 s,加入沥青拌和90 s,加入矿粉拌和90 s;

②纤维经过人工预处理与石料干拌30 s,加入沥青拌和90 s,加入矿粉拌和90 s;

③石料与沥青拌和90 s,在混合料上摊铺一层混合均匀的纤维并用矿粉覆盖,用刮刀将锅底的混合料覆盖到矿粉上,且避免刮刀和纤维直接接触,再搅拌90 s。

对于方法①,由于纤维未经过处理,在试验室的拌和条件下无法将聚丙烯纤维网打开,导致无法帮助芳纶均匀分散。对于方法②,干拌时纤维不能均匀地分散,此时再加入沥青,未完全分散的纤维吸附大量沥青,粘结成团,在后续拌和中即使延长拌和时间也无法拌和均匀。对于方法③,先将石料与沥青拌和,使得沥青均匀包裹在石料表面,此时再加入纤维与矿粉并用矿粉覆盖纤维,一方面避免了纤维吸附大量沥青粘结成团的现象,同时矿粉的存在有助于纤维的均匀分布。因此,经过综合比较,决定采用方法③作为本文的拌和工艺,纤维掺量为0.045%,拌和温度为155℃。

(2) 德兰尼特纤维的拌和工艺。

采用常见的拌和工艺:纤维与石料干拌30 s,加入沥青拌和90 s,加入矿粉拌和90 s。

2.3 确定最佳油石比

采用马歇尔试验方法,分别确定3种沥青混合料的最佳油石比,并在最佳油石比下进行马歇尔试验,试验结果如表3所示。

从试验结果可以看出,福塔纤维的马歇尔稳定

表 3 不同沥青混合料的马歇尔试验结果

种类	最佳油石比 %	毛体积密度 g/cm ³	空隙率 %	沥青饱和度 %	稳定度 kN	流值 0.01 mm	矿料间隙率 %
不加纤维	4.2	2.413	5.3	64.7	9.8	33.7	15.0
福塔纤维	4.25	2.410	5.4	64.7	13.0	32.1	15.3
德兰尼特	4.4	2.392	5.8	63.9	12.5	36.8	15.2

度比较大,要远远大于不加纤维的普通沥青混合料,也大于德兰尼特纤维沥青混合料。这是因为一方面福塔纤维比较长,接近集料最大公称粒径的 3 倍,远大于德兰尼特纤维的长度,而且其强度非常高。将其掺加到沥青混合料中后,会在混合料中形成三向随机分布,形成纵横交织的空间网络。通过“桥接”、“加筋”的作用,提高了沥青与矿料间的界面强度,使混合料整体强度有所提高。因而,福塔纤维的马歇尔稳定度要远大于普通沥青混合料,也大于德兰尼特纤维沥青混合料。

3 高温稳定性

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)中的 T0719—1993 进行了车辙试验,采用动稳定度来评价各种沥青混合料的高温稳定性,试验结果如表 4 所示。

表 4 各种沥青混合料的车辙试验结果

混合料类型	DS/(次/mm)			DS 平均值 次/mm
	1	2	3	
不加纤维	1 568	1 436	1 116	1 373
福塔纤维	2 259	1 940	2 044	2 081
德兰尼特	2 229	2 075	2 520	2 275

从表 4 中可以看出福塔纤维和德兰尼特纤维沥青混合料的动稳定度要远大于普通沥青混合料,但是福塔纤维要略小于德兰尼特纤维,其原因如下。

(1)通常认为,在荷载和温度的作用下,沥青混合料的压密变形和剪切流动变形造成了路面的永久变形。纤维能够吸附及稳定沥青,使沥青的稠度增大,有效阻止或减少了沥青在高温时的流动,使沥青混合料的塑性变形降低,混合料具有较高强度与劲度,改善了混合料的抗车辙性能。同时,纤维对沥青的稳定作用使得纤维与细集料形成了有效的网格,对矿料之间的滑移起了有效的阻碍和约束作用,从而增强了矿质骨料的相对稳定,减少了剪切变形和竖向变形的产生,即高温变形减少。

(2)由于福塔纤维的掺量仅为 0.045%,而德兰尼特纤维的掺量却达到了 0.3%,两者相差将近 7 倍,因而德兰尼特纤维在混合料中的数量更多些,吸附的沥青也更多,其高温稳定性略好,但同时造价也更高。

4 水稳定性

采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验分别对 3 种沥青混合料的水稳定性进行了研究。

4.1 浸水马歇尔试验

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)中的 T0709—2000 进行了浸水马歇尔试验,试验结果如表 5 所示。

表 5 浸水马歇尔试验结果

沥青混合料类型	浸水前稳定度 kN	浸水后稳定度 kN	残留稳定度比 %
不加纤维	10.2	9.6	94.1
德兰尼特	12.0	11.3	94.2
福塔纤维	12.5	11.9	95.2

4.2 冻融劈裂试验

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)中的 T0729—2000 进行了冻融劈裂试验,试验结果如表 6 所示。

表 6 冻融劈裂试验结果

沥青混合料 类型	冻融前劈裂强度 MPa	冻融后劈裂强度 MPa	冻融劈裂强度比 %
不加纤维	0.959	0.708	73.8
德兰尼特	0.932	0.696	74.7
福塔纤维	1.140	0.904	79.3

从浸水马歇尔试验看出,3 种沥青混合料的残留稳定度比都很高,相差不大,而其中福塔纤维沥青混合料浸水 30 min 和 48 h 的稳定度都是最大的,残留稳定度比也比较高。

从冻融劈裂试验的结果可以看出:无论是冻融

前后,福塔纤维的劈裂强度都比较高。经过冻融,掺加福塔纤维的沥青混合料的水稳定性要优于不掺加纤维的沥青混合料和德兰尼特纤维的沥青混合料。这是由于福塔纤维可以吸附部分沥青,从而增大沥青用量,混合料的颗粒间的界面粘结强度增大,降低了水对沥青胶浆的浸蚀破坏作用;同时福塔纤维比较长,在混合料中形成了三维网状分布,对混合料有一定的加筋作用,因而提高了混合料的劈裂强度,其水稳定性要优于德兰尼特纤维。

5 低温抗裂性能

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)中的 T0715—1993 进行了小梁低温弯曲试验,试验温度为 -10°C ,加载速率 50 mm/min ,试验设备为 MTS—810 材料试验机。试验结果如表 7 所示。

表 7 小梁弯曲试验结果

类型	抗拉强度 R_B MPa	弯拉应变 ϵ $\times 10^{-3}$	弯曲劲度模量 S_B MPa
不加纤维	10.10	1.531	6 657
德兰尼特	8.87	2.244	3 964
福塔纤维	9.99	2.740	3 722

从表 7 可以看出,在低温条件下,加入纤维后,沥青混合料的破坏弯拉应变增大,弯曲劲度模量减小,沥青混合料的抗低温变形能力增强。另外,与不加纤维的普通沥青混合料相比,福塔纤维的强度虽有所降低,但是幅度并不大;同时,福塔纤维沥青混合料的弯拉应变要远大于德兰尼特纤维沥青混合料。因而,掺加福塔纤维后,在强度少量降低的同时提高了混合料的抗变形能力,改善了沥青混合料的低温性能。

在沥青混合料中掺加福塔纤维后,纤维与纤维,纤维与周围基体发生复杂的相互作用,显著影响材料的韧性和破坏过程。本研究中混合料级配的公称最大粒径为 13.2 mm ,福塔纤维长度为 38 mm ,几乎为公称最大粒径的 3 倍。福塔纤维在沥青混合料基体内呈三向随机分布,较长的纤维纵横交错包络在集料外部形成了纵横交织的空间网络。当沥青混合料在低温下产生孔隙以及裂纹时,均匀分布于沥青胶浆中的纤维跨越这些孔隙及裂纹,形成桥梁纤维,使得裂纹扩展的能量释放率减少,裂纹的扩展受到

了纤维的约束,对沥青基体裂纹扩展起到了阻滞的作用。同时,较长的福塔纤维会在混合料中形成桥梁作用,从而为混合料提供了一定的强度。因此在沥青混合料中添加福塔纤维,能提高其在低温下的抗裂性能。

6 结论

目前,路用的纤维很多,福塔纤维是一种新型的聚合物有机纤维,曾成功用于水泥混凝土当中,但是对其在沥青混凝土中的应用研究还较少,为此本文从以下几个方面进行了研究:

- (1)首先对文中采用的试验材料进行了介绍;
- (2)进行了配合比设计,并对福塔纤维沥青混合料的拌和工艺进行了摸索;
- (3)对掺加福塔纤维的沥青混合料的高温性能、水稳定性以及低温性能进行了研究,同时与普通沥青混合料和德兰尼特沥青混合料进行了对比;
- (4)对福塔纤维改善沥青混合料性能的机理进行了初步研究。

经过研究得到以下结论:

- (1)福塔纤维加入沥青混合料后,混合料最佳油石比增加,马歇尔稳定度提高;
- (2)福塔纤维沥青混合料高温性能远优于普通沥青混合料,略低于德兰尼特纤维沥青混合料;
- (3)福塔纤维沥青混合料的水稳定性要优于普通沥青混合料和德兰尼特纤维沥青混合料;
- (4)福塔纤维沥青混合料的低温性能要优于普通沥青混合料和德兰尼特纤维沥青混合料;
- (5)福塔纤维长度为 38 mm ,几乎为公称最大粒径的 3 倍,在沥青混合料基体内呈三向随机分布,纵横交错包络在集料外部形成了空间网络,起到“桥接”和“加筋”的作用,从而提高了混合料的强度,增加了混合料的抗水敏感性,改善了低温抗变形能力。

参考文献:

- [1] Serfass J P, Samanos J. Fiber-Modified Asphalt Concrete Characteristics, Applications and Behavior [J]. AAPT. 1995, 64.
- [2] 陈华鑫, 张争奇, 胡长顺. 纤维沥青路用性能混合料 [J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(2).
- [3] 彭波, 戴经梁, 李文瑛. 利用博尼维加加强沥青混合料性能研究 [J]. 公路交通技术, 2002, (2).
- [4] FORTA®AR-A Three Dimensional Reinforcement

投 稿 须 知

《公路》月刊于1956年创刊,由中华人民共和国交通部主管,是中国公路行业出版最早的中央级技术类科学技术期刊,是公路运输类中文核心期刊,是交通部和全国优秀科技期刊。

1. 本刊刊登的内容以实用科学、实用技术为主,兼顾理论研究、科学实验与标准规范,还包括方针、政策、管理等内容,对技术水平领先、有创造性、适用推广价值较高的文章优先刊登。

2. 投寄本刊的稿件,可以是原稿,也可以是打印稿或E-mail文稿(作者必须与原稿核对无误),具体格式请参照本刊近期出版的《公路》杂志。稿件请作、译者自留备份,本刊概不退稿。若文章被采用,本刊即行寄样刊和稿酬,不再另发“用稿通知”。

3. 文稿应有“摘要”和“关键词”。“摘要”为全文的浓缩,以提供文章内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切地记述文章重要内容。“关键词”为“摘要”的浓缩,可选3~8个。

4. 文章中科技术语和名词,请用规定的通用词语。文章内容应符合国家标准和各种行业标准要求,应使用法定计量单位。公式、图表应清晰准确,符合国家标准要求。各级标题应明确、清晰。

5. 文章中摘编、引用他人作品,请遵守《著作权法》规定在参考文献中写出。

6. 文章著作权,除《著作权法》另有规定外,属于作者。署名作者的人数和顺序由作者自定。

7. 文章题目、摘要及关键词、作者的姓名和工作单位名称,要求作者翻译成英文。

8. 来稿请注明作者的真实姓名、作者本人的详细信息、工作单位和详细地址、电话。作者本人的详细信息,包括:学历、简历、身份证号码。请作、译者注意:来稿作者信息不详者,稿件一律不采用。

9. 所有来稿文责自负。

10. 投稿方式:

您可直接将稿件寄给本刊,地址见本刊“目次”页;您还可通过E-mail:paper@chn-highway.com投稿。通过E-mail投稿的作者请注意留下详细联系地址及电话,否则本刊不接受投稿。

《公路》杂志社

for Asphaltic Concrete [A]. Report of Field Testing
[R], Texas, Austin.

[5] JTJ F40—2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
[6] JTJ 014—97, 公路沥青路面设计规范[S].

Mechanical Performance Evaluation of FORTA[®]AR Fiber-Reinforced Asphalt Mixture

CAO Li-ping¹, YUAN Jun¹, SUN Li-jun¹, CUI Yi², YANG Shuo²

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Texida Technology Co., Ltd., Beijing 100011, China)

Abstract: FORTA[®]AR fiber is a new type of polymer organic fiber, and it consists of Polypropylene and Kevlar by the mass ratio 3 : 1. The high temperature performance, low temperature performance and water stability are evaluated for asphalt mixture with 0.045% Forta fiber, with 0.3% Dolanit fiber and without fiber. The results indicate that FORTA[®]AR reinforced asphalt mixture has excellent performance. Then, the mechanism that FORTA[®]AR fiber reinforces asphalt mixture is analyzed.

Keywords: FORTA[®]AR fiber; performance in pavement; performance evaluation.