

文章编号:1671-6833(2008)02-0005-05

合成纤维对沥青混合料耐水性影响的试验研究

汤寄予, 高丹盈, 张启明

(郑州大学 新型建材与结构研究中心, 河南 郑州 450002)

摘 要: 为探讨合成聚合物纤维对沥青混合料耐水性的影响, 先由马歇尔试验和车辙试验确定纤维的最佳掺量, 然后按照现行规范 JTG F40-2004 规定的浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价合成聚合物纤维对沥青混合料耐水性的改善效果。试验结果表明, 聚酯纤维、聚丙烯腈纤维对沥青混合料的浸水马歇尔残留稳定度分别提高了 4.4% 和 7.8%; 在 50 次和 75 次压实功下, 聚酯纤维对沥青混合料的冻融劈裂强度比分别提高了 4.5% 和 3.1%; 聚丙烯腈纤维分别提高了 6.9% 和 8.6%。

关键词: 纤维沥青混合料; 聚酯纤维; 聚丙烯腈纤维; 耐水性; 浸水马歇尔试验; 冻融劈裂试验

中图分类号: U 414.18; U 414.75

文献标识码: A

0 引言

水损害是沥青路面主要的早期病害类型^[1], 其根本原因是沥青混合料自身耐水损害能力不足。我国高等级公路多为半刚性基层沥青路面结构形式, 沥青层的水损害进而破坏, 使基层软化, 在日益严重的渠化交通及重载车轮荷载的反复作用下因动水压力而使基层遭到破坏, 产生唧泥、槽坑而丧失服务能力, 不得不进行大规模的维修或重建。因此, 有专家指出, 中国目前通车超过一年的高速公路几乎无一例外地发生了不同程度的水损害^[2], 致使路面寿命无法达到设计年限, 经济损失很大。为改善沥青混合料耐水损害能力, 传统的方法是选择适宜的集料及合理的级配、使用改性沥青及掺加抗剥落剂等措施, 近年来发展起来的道路专用纤维是解决沥青路面早期水损害及综合提高沥青混合料路用性能的一种新的技术途径。

笔者选用了 2 种合成聚合物纤维, 先由马歇尔试验和车辙试验确定每种纤维的最佳掺量, 然

后按照现行公路沥青路面施工技术规范 JTG F40-2004^[3] 的规定采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价纤维对沥青混合料耐水性的改善效果。根据对试验结果的分析, 结合复合材料细观力学及复合材料界面化学理论, 阐释了纤维改善沥青混合料耐水性的基本原理, 研究了纤维对浸水马歇尔残留稳定度、冻融劈裂强度比以及密级配沥青混合料耐水损害性能的影响规律。

1 试验

1.1 材料选择与基本性能

所用 SBS 改性沥青的主要技术指标如表 1 所示。粗、细集料均采用玄武岩, 各项技术指标如表 2 所示。

采用 2 种纤维: 国产的聚酯纤维和进口的德兰尼特 AS(DOLANIT AS) 聚丙烯腈纤维。聚酯纤维的技术参数如表 3 所示, 德兰尼特 AS 的技术参数如表 4 所示。填料为石灰岩矿粉, 其性能指标如表 5 所示。

表 1 SBS 改性沥青的物理性能

Tab. 1 The physical properties of SBS polymer modified bitumen

指标	针入度 /0.1mm	软化点 /℃	延度 /cm	针入度指数 /PI	闪点 /℃	溶解度(三氯乙烯) /%	RTFOT(163℃, 5 h) 试验后		
							质量损失 /%	延度 /cm	针入度比 /%
测值	57	78	35	0.094	334	99.84	0.04	25	76.32

收稿日期: 2007-12-22; 修订日期: 2008-03-18

作者简介: 汤寄予(1974-), 男, 河南淮阳人, 郑州大学讲师, 博士研究生, 主要从事纤维复合水泥及沥青混合料方面的研究工作。E-mail: tjy74@zzu.edu.cn.

表 2 集料性能指标
Tab. 2 The performance indexes of aggregates

项目	表观密度 /(g·cm ⁻³)	含泥量 /%	吸水率 /%	针片状颗粒含量 /%	洛杉矶磨耗损失 /%	与沥青黏附 性(级)	压碎值 /%
标准	≥2.50	≤3	≤2	≤15	≤28	≥4	≤26
粗集料测值	2.885	1.9	1.6	7.9	26.8	5	13.1
细集料测值	2.803	2.3	1.2	14.2			

表 3 聚酯纤维的技术参数
Tab. 3 Technical parameters of cellulose fiber

名称	纤维直径 /μm	长度 /mm	初始模量 /GPa	抗拉强度 /MPa	断裂伸长率 /%	熔点 /℃	燃点 /℃	密度 /(g·cm ⁻³)	颜色
参数	20	6	≥7.5	≥600	≥20	256	556	1.36	白色

表 4 德兰尼特 AS 的物理性能
Tab. 4 The physical properties of DOLANIT AS

名称	纤度 /dtex	纤维直径 /μm	切断长度 /mm	纤维数 /g	颜色	密度 /(g·cm ⁻³)	抗拉强度	极限拉 伸率/%
参数	1.9	13	6	870 000	白色微黄	≥1.18	>910	8~12

表 5 矿粉的物理性能
Tab. 5 The physical properties of breeze

项目	表观密度 /(g·cm ⁻³)	含水量 /%	亲水 系数	塑性 指数
标准	≥2.50	≤1	<1	<4
测值	2.724	0.2	0.85	3.7

1.2 试验设计

试验中固定一种矿料级配,首先由马歇尔试验确定无纤维沥青混合料的最佳油石比,将纤维作为外掺料,每种纤维分别按不同的掺量加入到基体混合料中进行马歇尔试验,确定纤维在每一

掺量下的最佳油石比.为确定最佳纤维掺量,由马歇尔试验确定的每种纤维不同掺量下的混合料配合比进行车辙试验,由车辙试验的动稳定度值确定纤维的最佳掺量,以此确定出纤维沥青混合料的最佳组成,最后以每种纤维最佳掺量的混合料进行耐水性评价.为探讨纤维改善耐水性的效果与压实功的关系,在冻融劈裂试验中分别成型双面 50 次击实和双面 75 次击实的试件.矿料初试级配采用公路沥青路面施工技术规范规定的级配范围中值,合成的矿料级配如表 6 所示.

表 6 矿料级配
Tab. 6 The mineral gradation %

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配范围	100	90~100	50~75	20~34	15~26	14~24	12~20	10~16	9~15	8~12
合成级配	100	96.2	77.3	51.4	36.2	27.9	16.7	12.2	9.5	7.7

纤维掺量以沥青混合料的质量百分率计,聚酯纤维的掺量分别为 0.15%、0.25%、0.35%,聚丙烯腈纤维的掺量分别为 0.1%、0.2%、0.3%.图和表中对各种沥青混合料均以字母表示:无纤维沥青混合料(Controlled Asphalt Mixture)以字母 C 代表,聚酯纤维沥青混合料(Polyester Fiber Reinforced Asphalt Mixture)以字母 PET 代表,聚丙烯腈纤维沥青混合料(Polyacrylonitrile Fiber Reinforced Asphalt Mixture)以字母 PVN 代表.

1.3 最佳油石比及最佳纤维掺量的确定

沥青混合料是由沥青矿粉胶浆和集料组成的

复合材料,由于沥青混合料各组分材料分别具有不同的物理力学性能,使得其内部组成异常复杂.不同的组分构成与相互作用使纤维沥青混合料表现出不同的力学性能和使用功能.沥青混合料的各项路用性能,尤其是高温稳定性和低温抗裂性能、耐疲劳性能之间相互制约甚至存在着矛盾.纤维掺量的增加会提高沥青混合料的低温抗裂性能、耐水性能和疲劳耐久性能,但沥青用量随之增加,即提高了纤维沥青胶浆的含量,而过量的纤维沥青胶浆将破坏集料的嵌挤结构,造成沥青混合料高温稳定性不良及路面抗滑性能丧失.所以,有关资料指出,

纤维在沥青混合料中存在一最佳掺量,而最佳掺量会因纤维类型和长径比的不同而变化^[4]。由此可见,只有合理设计纤维沥青混合料的各组分构成,即适宜的矿料级配、合理的空隙率、最佳的纤维掺量与油石比,才有可能使沥青混合料的各项路用性能达到最佳,也才有可能充分发挥各组分尤其是纤维材料的最佳效用。在矿料级配设计一定的情况下,确定最佳纤维掺量和最佳油石比成为设计纤维沥青混合料的技术关键。

试验采用马歇尔法确定最佳油石比。由经验公式初步确定对比组沥青混合料的5个沥青用量(油石比)为4%、4.5%、5%、5.5%、6%,由马歇尔试验结果,确定出对比组沥青混合料的最佳油石比为5.1%。在对比组沥青混合料最佳油石比确定的基础上再由马歇尔试验确定纤维沥青混合料的最佳油石比,不同纤维掺量下统一设定5个油石比为5.2%、5.3%、5.4%、5.5%和5.6%。由马歇尔试验结果确定的不同纤维掺量下沥青混合料的最佳油石比如表7所示。

表7 不同纤维掺量沥青混合料的最佳油石比
Tab.7 The optimal asphalt content of asphalt

		mixture with different fiber content						%
纤维类型	C	PET			PVN			
纤维掺量	0	0.15	0.25	0.35	0.1	0.2	0.3	
油石比	5.1	5.28	5.35	5.53	5.22	5.31	5.39	

由于密级配沥青混合料AC为典型的悬浮密实结构,其骨架结构往往不足,再加上纤维的加入增大了沥青用量,有可能使混合料高温稳变性过大。因此,可直接将高温稳定性做为设计密级配纤维沥青混合料确定最佳纤维掺量的控制指标。各种沥青混合料动稳定度试验结果如表8所示,由试验结果可确定聚酯纤维、聚丙烯腈纤维在沥青混合料中的最佳掺量分别为0.25%和0.2%。

表8 动稳定度试验结果

Tab.8 The test results of dynamic stability

纤维类型	C	PET			PVN		
纤维掺量/%	0	0.15	0.25	0.35	0.1	0.2	0.3
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	2 913	3 044	3 428	3 138	3 972	4 755	4 578

1.4 耐水性试验方法与试验结果

1.4.1 浸水马歇尔试验

根据公路工程沥青及沥青混合料试验规程^[5],浸水马歇尔试验方法为:将成型好的标准

马歇尔试件分成2组,一组在60℃恒温水槽中保温30~40 min后测其马歇尔稳定度 MS ;另一组在60℃恒温水槽中保温48 h后测其马歇尔稳定度 MS_1 ,由式(1)计算浸水残留稳定度 MS_0 。

$$MS_0 = \frac{MS_1}{MS} \times 100 \quad (1)$$

式中: MS_0 为试件的浸水残留稳定度,%; MS 为试件的稳定度,kN; MS_1 为试件浸水48 h后的稳定度,kN。

1.4.2 冻融劈裂试验

按规程^[5]的方法,将成型好的标准马歇尔试件分成2组:一组在25℃恒温水槽中浸水2 h后测其最大劈裂破坏荷载 P_{T1} ;另一组在(98.3~98.7) kPa真空条件下饱水15 min,然后恢复常压,试件在水中放置0.5 h,再在-18℃冰箱中冷冻16 h,然后放到60℃恒温水槽中浸水24 h,再放入25℃恒温水槽中恒温2 h,测其最大劈裂破坏荷载 P_{T2} ,由式(2)和(3)计算劈裂抗拉强度。

$$R_{T1} = 0.006287 P_{T1} / h_1 \quad (2)$$

$$R_{T2} = 0.006287 P_{T2} / h_2 \quad (3)$$

式中: R_{T1} 、 R_{T2} 分别为未经受冻融的第1组试件和经受冻融的第2组试件的劈裂抗拉强度,MPa; h_1 、 h_2 分别为第1组试件和第2组的试件高度,mm。

冻融劈裂抗拉强度比按式(4)计算。

$$TSR = 100 \times R_{T2} / R_{T1} \quad (4)$$

式中:TSR为冻融劈裂抗拉强度比,%。

2 结果分析

2.1 浸水马歇尔试验结果分析

2.1.1 纤维对马歇尔稳定度的影响

图1给出了2种合成纤维对沥青混合料马歇尔稳定度(MS)及浸水马歇尔稳定度(MS_1)的影响。由图1(a)可见,纤维对沥青混合料马歇尔稳定度有提高作用,而且对浸水马歇尔稳定度的提高作用更加显著。图1(b)可见,2种纤维对马歇尔稳定度及浸水马歇尔稳定度的提高幅度有一定区别,在最佳纤维掺量下,聚酯纤维对沥青混合料马歇尔稳定度和浸水马歇尔稳定度分别提高了2.4%和6.7%;聚丙烯腈纤维对沥青混合料马歇尔稳定度和浸水马歇尔稳定度分别提高了1.6%和9.3%。

尽管马歇尔试验的加载方式和试件受力模式的物理意义不甚明确,但由弹性力学基本原理可知,试验加载过程中试件仍处于压剪复合的应力

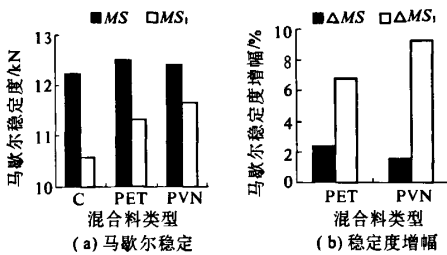


图1 纤维对马歇尔稳定度及浸水马歇尔稳定度的影响

Fig.1 Impact of fibers on Marshall stability

状态,其测值的大小能在一定程度上反应沥青混合料剪压强度及抗变形能力的高低.由复合材料细观力学原理可知,纤维沥青混合料的抗剪强度取决于纤维沥青胶浆的强度、沥青与集料间的界面强度、集料间的嵌挤强度及各自的组成比例.在沥青、集料的性能及组成不变的情况下,沥青混合料的马歇尔稳定度主要决定于纤维沥青胶浆强度,而纤维沥青胶浆的强度又取决于纤维的强度、纤维的分布系数、沥青的强度、纤维与沥青的界面强度及其各自的比例组成.在作者的试验条件下,决定马歇尔稳定度的主要参数为纤维强度及其掺量、纤维分散情况、纤维与沥青的界面强度等.合成聚合物纤维具有较高的极限强度、在沥青中有较好的分散性、与沥青性能相似而具有较好的界面性能,能提高沥青混合料的稳定度.不同类型的纤维有着不同的极限强度与分散性能,与沥青基体会形成不同的力学强度,有不同的增强效果.

2.1.2 纤维对浸水马歇尔残留稳定度的影响

图2给出了不同类型纤维对沥青混合料马歇尔

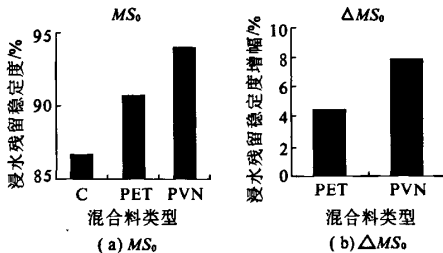


图2 纤维对浸水残留稳定度的影响

Fig.2 Impact of fibers on immersed residual Marshall stability

尔浸水残留稳定度 MS_0 的影响.由图可见,纤维对沥青混合料的马歇尔浸水残留稳定度 MS_0 有显著的改善作用,而且均能满足规范规定的大于85%的要求.且2种纤维对马歇尔浸水残留稳定度的改善效果不同,在最佳纤维掺量下,聚酯纤维、聚丙烯腈纤维对沥青混合料的马歇尔浸水残

留稳定度分别提高了4.4%和7.8%.

2.2 冻融劈裂试验结果分析

2.2.1 纤维对冻融劈裂强度的影响

图3分别比较了双面各50次、75次击实功下2种纤维对沥青混合料劈裂强度 R_{T1} 、冻融劈裂强度 R_{T2} 、劈裂强度增幅 ΔR_{T1} 及冻融劈裂强度增幅 ΔR_{T2} 的影响.由图3(a)可见,无论是经受冻融的试件或是未经冻融的试件,在不同压实功下,纤维沥青混合料的劈裂强度及冻融劈裂强度均大于对比组沥青混合料的强度值.图3(b)可见,双面各50次的压实功下,在最佳纤维掺量下,聚酯纤维对沥青混合料的劈裂强度增幅 ΔR_{T1} 及冻融劈裂强度增幅 ΔR_{T2} 分别为11.2%和15.2%;聚丙烯腈纤维对沥青混合料的劈裂强度增幅 ΔR_{T1} 及冻融劈裂强度增幅 ΔR_{T2} 分别为8%和14.4%.双面各75次的压实功在最佳纤维掺量下,聚酯纤维对沥青混合料的劈裂强度增幅 ΔR_{T1} 及冻融劈裂强度增幅 ΔR_{T2} 分别为10.9%和13.7%;聚丙烯腈纤维对沥青混合料的劈裂强度增幅 ΔR_{T1} 及冻融劈裂强度增幅 ΔR_{T2} 分别为13.0%和20.5%.

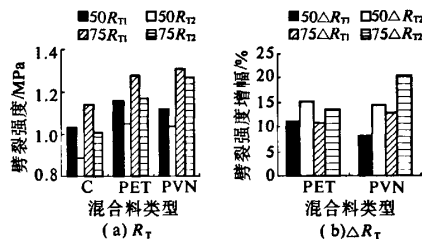


图3 纤维对劈裂强度及冻融劈裂强度的影响

Fig.3 Impact of fiber on freeze-thaw splitting strength

2.2.2 纤维对冻融劈裂强度比的影响

冻融劈裂强度比 TSR 可直接反映沥青混合料抵抗水损害破坏的能力.图4给出了在双面各50次和75次击实功下2种纤维对沥青混合料冻融劈裂强度比 TSR 及冻融劈裂强度比增幅 ΔTSR 的影响.图4(a)可见,纤维沥青混合料的劈裂强度比 TSR 均高于对比组沥青混合料的相应值.而且不同的压实条件,冻融劈裂强度比 TSR 有显著差别.各类型混合料75次压实功下的冻融劈裂强度比均大于50次压实功下的冻融劈裂强度比,说明沥青混合料的耐水性与空隙率直接相关,可见,保证沥青路面的压实度,控制空隙率,对于沥青路面提高耐水性具有重要意义.由图4(b)可见,聚酯纤维在50次压实功和75次压实功下劈拉强度比的增幅 ΔTSR 分别为4.5%和3.1%;聚丙烯腈纤维在50次压实功和75次压实功下劈拉强度比

的增幅 ΔTSR 分别为6.9%和8.6%。

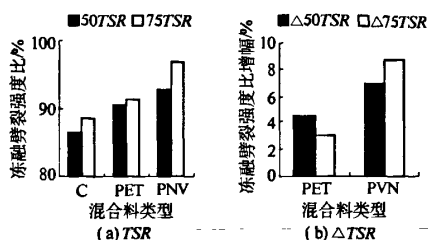


图4 纤维对劈强度及冻融劈裂强度的影响

Fig. 4 Impact of fiber on freeze-thaw splitting strength

3 结论

(1)由马歇尔试验和车辙试验确定的聚酯纤维、聚丙烯腈纤维的最佳掺量分别为0.25%和0.2%。

(2)在笔者试验的最佳纤维含量下,聚酯纤维对沥青混合料马歇尔稳定性和浸水马歇尔稳定性分别提高了2.4%和6.7%,聚丙烯腈纤维分别提高了1.6%和9.3%;聚酯纤维和聚丙烯腈纤维对浸水残留马歇尔稳定性分别提高了4.4%和7.8%。

(3)双面各50次的压实功下,聚酯纤维对沥青混合料的劈裂强度和冻融劈裂强度分别提高了11.2%和15.2%,聚丙烯腈纤维分别提高了8.0%和14.4%;双面各75次的压实功下,聚酯纤维对沥青混合料的劈裂强度和冻融劈裂强度分别提高了10.9%和13.7%,聚丙烯腈纤维分别提高了13.0%

和20.5%;50次压实功和75次压实功下,聚酯纤维对沥青混合料的劈拉强度比分别提高了4.5%和3.1%,聚丙烯腈纤维分别提高了6.9%和8.6%。

(4)试验结果可见,沥青混合料、聚酯纤维沥青混合料、聚丙烯腈沥青混合料浸水马歇尔浸水残留稳定度分别为86.6%、90.6%、93.9%,均大于规范对改性沥青混合料85%的规定;50次的压实功下冻融劈裂强度比分别为86.4%、90.5%、92.9%,均大于规范80%的规定。

(5)由于不同压实条件对沥青混合料的耐水性指标有显著影响,因此,对密级配纤维沥青混合料的耐水性合理指标的评价,尚待进一步的探讨。

参考文献:

- [1] 李平,孙鸿伟,张争奇,等.水泥与消石灰对沥青胶浆性能影响研究[J].郑州大学学报:工学版,2007,28(3):40-43.
- [2] 沙庆林.高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] JTJ F40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2005.
- [4] CHEN J S. LIN K Y. Mechanism and behavior of bitumen strength reinforcement using fibers[J]. Journal of Materials Science. 2005,40:87-95.
- [5] JTJ 052-2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].北京:人民交通出版社,2005.

Experimental Research on Impact of Synthetic Fiber on Water Resisting Property of Asphalt Mixture

TANG Ji-yu, GAO Dan-ying, ZHANG Qi-ming

(Research Center of New Style Building Material and Structure, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to investigate into the impact of synthetic fibers on water resisting property of asphalt mixture, the optimum fiber content was determined firstly through Marshall test and dynamic stability test. Subsequently, the improved impacts of fibers on water resisting property of asphalt mixture were evaluated through immersed Marshall test and freeze-thaw splitting test according to the technical specifications JTG F40-2004. The test results are that amplification of residual Marshall stability of polyester fiber and polyacrylonitrile fiber are 4.4% and 7.8% respectively, amplifications of tensile strength ratio are 4.5% and 3.1% of polyester fiber and 6.9% and 8.6% of polyacrylonitrile fiber under 50 and 75 compaction respectively.

Key words: fiber reinforced asphalt mixture; polyester fiber; polyacrylonitrile fiber; water resisting property; immersed Marshall test; freeze-thaw splitting test