

文章编号:1671-6833(2008)02-0010-04

聚酯纤维改性 Superpave 的应用研究

刘建兰¹, 张忠歧², 刘本学³

(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. 中交集团 第二公路工程局有限公司, 陕西 西安, 710064; 3. 郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州, 450001)

摘 要: 针对聚合物纤维改性 Superpave 混合料特点, 通过不同剂量聚酯纤维改性 Superpave 沥青混合料的马歇尔试验、水稳定性和高温动稳定度试验, 综合工程经济性, 确定合适的纤维剂量为 1.5‰。足尺疲劳试验和低温弯曲试验结果表明: 聚合物纤维改性 Superpave 沥青混合料具有很强的低温抗裂性和抗反射裂缝能力, 聚酯纤维改性 Superpave 混合料适宜于铺筑在旧路罩面中。最后, 提出了合理的施工工艺; 渗水性试验表明: 这类混合料应加强施工压实。

关键词: 聚酯纤维; Superpave 混合料; 足尺疲劳试验; 低温弯曲试验; 防反射裂缝性能

中图分类号: U 416.216 **文献标识码:** A

0 引言

沪宁高速公路扩建工程, 采用“两侧拼宽为主, 局部分离”的方法将原双向四车道扩建为双向八车道。对于大部分病害比较轻微的老路基层, 需要在其上铺筑 Sup-25 沥青下面层。而老路基层的病害, 或多或少, 迟早总是要反射到沥青面层上的, 因此如何改善 Sup-25 下面层的防反射裂缝性能是改造中所面临的关键问题。

聚酯纤维具有抗腐蚀能力强、质量轻、抗拉强度高、防磁、防电、耐热性与耐久性良好等特点, 而聚酯纤维沥青混合料可以使路面的抗弯、抗拉和抗剪能力都得到明显改善, 能够减少裂缝宽度, 延缓裂缝发展^[1-4]。Superpave 是一种嵌挤密实型混合料, 用聚酯纤维改性 Superpave 能够在多大程度上改善其防反射裂缝性能, 其应用的效果如何, 笔者对此展开系统研究。

1 原材料性能

沥青为 A-70 石油沥青, 其性能指标如表 1 所示。集料采用镇江茅迪公司生产的石灰岩, 其各项技术性能符合 Superpave 设计要求, 如表 2 所示。聚酯纤维是英国 ADFIL(英丹)纤维工业公司生产的克耐维纤维, 该纤维在 -40~250℃ 的温度

内不脆化、不软化、不变形、不缠绕, 当每吨沥青混合料加入 2 kg 时将有 4 亿根以上纤维以三维立方体方式对混合料进行加强, 提供巨大的内聚力, 因此具有较好的防止反射裂缝性能, 比较适合老路反射裂缝的处理。

表 1 AH-70 道路石油沥青指标

Tab.1 AH-70 index of road asphalt

检验项目	AH-70
针入度(25℃, 100 g, 5 s)/0.1 mm	72
延度(5 cm/min, 15℃)/cm	160
软化点(环球法)/℃	47
密度(15℃)/(g·cm ⁻³)	1.029

表 2 集料性质试验结果

Tab.2 Aggregate property test results %

试验项目	试验值	Superpave 要求
粗集料棱角性	100	100
细集料棱角性	47.8	>45
细长扁平颗粒	7.0	<10
洛杉矶磨耗值	21.1	<35~45
安定性	2	<10~20
黏土含量(砂当量)	82	>50

2 配合比设计

2.1 设计思路

首先不加聚酯纤维进行 Sup-25 目标配合比

收稿日期:2008-03-20; 修订日期:2008-04-30

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200531881213)

作者简介:刘建兰(1974-), 男, 江西泰和人, 长安大学博士研究生, 主要从事路面材料、路面结构研究。E-mail: Ljl343728@163.com.

设计,确定最佳级配组成.然后在不改变 Sup-25 级配的基础上,添加不同含量的聚酯纤维进行体积指标及路用性能试验,综合考虑路用性能、造价,最终确定聚酯纤维添加量.

2.2 体积设计

选择粗、中、细 3 组级配进行试配,经过优化,最终采用的 Sup-25 级配如表 3 所示,油石比为 4.0%.其性能验证如表 4 所示.

表 3 Sup-25 级配

Tab.3 Sup-25 gradation

筛孔尺寸/mm	37.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75
通过率/%	100	98.3	85.5	73.2	57.9	36.6
筛孔尺寸/mm	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	25.2	16.7	11.6	8.0	5.9	5.0

表 4 Sup-25 性能验证试验

Tab.4 Sup-25 performance test

试验名称	指标	试验值	要求
车辙试验	动稳定度/(次·mm ⁻¹)	1 636	≥800
浸水马歇尔试验	残留稳定度/%	91.6	≥75
AASHTO T283 试验	TSR/%	89.92	≥80

由表 5 可以看出,该级配高温稳定性和抗水损害性能都满足要求,可作为设计的目标配合比.在不改变原级配的基础上,对 1.5‰、2‰、2.5‰ 聚酯纤维添加量的混合料分别进行了试验.在试验过程中,应注意:①聚酯纤维与骨料的干拌时间要延长 15 s.②试验温度比普通沥青混合料提高 5 ℃.试验后其体积指标如表 5 所示,路用性能验证如表 6 所示.

表 5 聚酯纤维改性 Sup-25 体积指标

Tab.5 Volume index for polyester fiber modified Sup-25

聚酯纤维掺量/‰	0.0	1.5	2.0	2.5	Suppave
标准最大理论密度/(g·cm ⁻³)	2.549	2.538	2.534	2.530	—
毛体积密度/(g·cm ⁻³)	2.448	2.435	2.434	2.430	—
孔隙率为 4% 的油石比/%	4.0	4.2	4.3	4.5	—
初始压实度(8 次)/%	84.8	84.1	84.1	85.4	≤89
设计压实度(100 次)/%	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0
最大压实度(160 次)/%	96.9	96.8	96.7	97.2	≤98
VMA/%	12.1	12.2	12.3	12.5	≥12
VFA/%	66.9	67.2	67.4	68.0	65~75
F/A	1.33	1.36	1.39	1.43	0.6~1.2

表 6 聚酯纤维改性 Sup-25 性能验证

Tab.6 Polyester fiber modified Sup-25 performance

聚酯纤维掺量/‰	动稳定度/(次·mm ⁻¹)	残留稳定度/%	TSR/%
0.0	1 633	91.1	89.88
1.5	1 978	93.5	90.78
2.0	2 151	94.7	90.96
2.5	2 233	94	90.67
标准	≥1 000	≥80	≥75

由表 5、表 6 可以看出,聚酯纤维用量从 0.0‰增大到 2.5‰,动稳定度在不断增大,残留稳定性和劈裂强度比的变化不太明显,而所有纤维用量下的混合料体积指标和性能验证指标均能满足 Suppave 的设计要求,因而均可以作为目标配合比的设计结果.但是随着聚酯纤维用量的增加,油石比也在增加.纤维用量由 0.0‰增加到

1.5‰时动稳定度增长较快.经过综合考虑性价比,决定采用 1.5‰聚酯纤维、4.2% 油石比的 Sup-25 沥青混凝土作为施工方案.

3 聚酯纤维改性 Suppave 抗裂性分析

3.1 防反射裂缝性能

铺设在旧路上的 Sup-25 混合料,由于温度应力和荷载应力的反复作用,旧路上的微细裂纹可能会反射到面层中来.因此防反射裂缝是混合料的设计目标.为了模拟反射裂缝的形成过程,采用足尺疲劳试验来评价沥青混合料的防反射裂缝性能.试验装置如图 1 所示:图中 A、B 两块板是混凝土板,A 板固定,B 板可移动,A 板和 B 板之间间隔 5 mm,用来模拟旧路基层的裂缝.在 A、B 两板的上面分别铺筑 8 cm 厚的面层,采用平板压实仪振实,压实控制在最大理论密度的 95%.试

验台架主要由动力系统构成,试验时,动力系统在 B 板施加水平的等幅交变荷载 P , 荷载频率 6 次/min. 使 A、B 两板间的缝隙按一定的频率和一定的相对位移张开和闭合. 在试验过程中注意观察反射裂缝的发展,当沥青面层反射裂缝贯通时,记录总的加载次数.

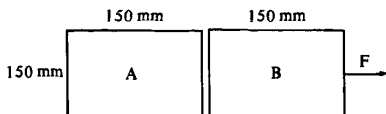


图 1 足尺度疲劳试验平面示意图

Fig.1 Full-scale fatigue test plane sketch

在试验过程中发现沥青砼反射裂缝最早出现在下层水泥砼板缝的周围,表现为一些相对独立的微细裂纹,随着作用次数的增加,这些微细裂纹逐渐变大并相互连接起来,不断向上发展,最后发展成垂直贯通的裂缝.表 7 为足尺疲劳试验加载次数的结果.

表 7 足尺疲劳试验加载次数

Tab.7 Repeated loading number for Full-scale

温度/℃	fatigue test 次	
	加载次数 (Sup-25)	级配类型(聚酯纤维改性 Sup-25)
5	278	387
15	356	428
25	477	556

从表 7 可以看出,掺加聚酯纤维后,Sup-25 的疲劳次数有大幅度的增加,分别提高 39.2% (5℃),20.2% (15℃),16.6% (25℃),说明聚酯纤维改性 Sup-25 后防反射裂缝性能有了很大改善.另外,随着温度的升高,聚酯纤维改性的效果在降低,从 39.2% 下降到 16.6%.这充分说明聚酯纤维改性 Sup-25 后,改善了其防反射裂缝的温度敏感性,聚酯纤维的防反射裂缝性能是由纤维的桥接阻裂作用产生的.当混合料在外力作用下产生裂缝时,均匀分散的纤维在裂尖处起到了桥接作用,从而有效地阻止了裂纹的产生和发展.沥青砼属于黏弹性体,其性能随着温度的变化而变化.但是聚酯纤维则不同,其在低温下依然有较好的韧性,因此,用聚酯纤维改性的 Sup-25 在较低温度下依然会有较好的防反射裂缝性能.

3.2 低温性能

低温性能是与防反射裂缝性能比较相关的一个性能.如果低温性能好,则在低温时抗裂能力就强,防反射裂缝的能力也愈强.在衡量沥青混合料

的低温性能时,笔者采用弯曲应变能密度来评价,其值由下式计算

$$d_w/d_e = \int_0^{\epsilon_y} \sigma_{ij} d\epsilon_{ij}$$

式中: d_w/d_e 为弯曲应变能密度.其临界值是应力应变曲线下的面积; σ_{ij} 为应力分量; ϵ_{ij} 为应变分量.弯曲应变能密度越大,材料发生破坏所需要的能量也越大,材料的抗裂性能就越好.计算时首先根据试验结果绘出应力-应变曲线关系图,然后用三次抛物线进行回归,根据回归方程计算临界应变能密度.江苏沪宁高速沿线所属地区的极端最低气温为 -10℃,试验时选择 -5、-10、-15℃ 3 种温度进行,加载速率为 50 mm/min,结果如表 8 所示.

表 8 弯曲应变能密度测定表

Tab.8 Bending strain energy test

温度/℃	应变能密度 (Sup-25)	kg/m ³ 级配(聚酯纤维 改性 Sup-25)
-5	9.38	11.92
-10	11.48	14.77
-15	13.25	15.55

可以看出,聚酯纤维改性 Sup-25 后弯曲应变能密度大大增加,这种现象可以由断裂力学的观点来解释^[5].断裂力学认为复合材料内部存在着大量的银纹.银纹是材料表面或内部的一些缺陷在受到应力集中时引发的细微纹痕,当形变进一步发展,取向伸直的纹痕发生断裂,就转化为微裂缝,重复荷载的作用下,微裂缝发育成熟,最终引起断裂破坏.对于聚酯纤维沥青混合料,在银纹转化成裂纹时,由于在界面处存在大量的纤维,吸收和消耗了混合料断裂所需要的能量,延缓了裂缝的进一步发展.

4 施工性能

聚酯纤维改性 Sup-25 的施工中,关键在于拌和时纤维的添加及摊铺时的碾压密实.在拌和楼取料口投放纤维.投放 1.5‰ 的聚酯纤维,在骨料开始投放干拌的同时将聚酯纤维投入搅拌锅.施工拌和过程中派专人确保每盘混合料均添加适量纤维.与普通 Sup-25 拌和时间不同的是:①比正常情况下干拌时间延长 3~5 s,②湿拌时间以观察成品混合料中纤维的分布情况确定.最终确定拌和时间为 40 s,其中干拌 5 s,湿拌 35 s.骨料加热温度为 180℃,沥青加热温度为 160℃,生

产出的混合料温度为(165~175)℃.成品沥青混合料色泽一致,纤维分布均匀,各项试验指标均能符合要求.

与不添加聚酯纤维的 Sup-25 沥青混凝土施工不同的是,碾压要求比较高.摊铺温度 165~170℃,碾压温度 155~160℃,摊铺速度为 1.5~2 m/min.同时初压三台 DYNAPAC 双钢轮提高一遍压实,即 3 遍;复压四台 XP260 胶轮各 3 遍;终压 BW202、VSH102 各 1 遍.

5 结束语

(1)加入纤维后,相同的击实功或压实功时所得混合料的空隙率均大于未加纤维的混合料,表明纤维的存在需增大压实功,因此施工过程中应适当增加沥青混合料的压实功,以确保 Superpave 混合料的密实度.

(2)聚酯纤维的加入能够有效改善 Superpave 的高温性能,但是对于水敏感性的改善则不明显.

(3)聚酯纤维的加入能够有效改善 Superpave 的防反射裂缝性能,适宜于铺筑在改、扩建工程中的旧路基层上,以延缓反射裂缝的产生.

(4)聚酯纤维的加入能够有效改善 Superpave 防反射裂缝的温度敏感性.

(5)加入聚酯纤维后渗水合格率降低,是由于纤维的加入导致连通孔隙增多引起较严重的侧渗,因此,对于旧路罩面,如果对表面排水要求较严,则应严格控制现场施工,确保渗水合格.

参考文献:

- [1] KUO S S, ARMAGANI J M, SCHERLING D. Accelerated pavement performance testing of Ultra-Thin fiber reinforced concrete overlay[J]. Recycled Concrete Aggregate and Patching Materials, 2002, (6): 315-318.
- [2] KWANG W K, YOUNG S D, SUNGBIN L. Mode I reflection cracking resistance of strengthened asphalt concretes[J]. Construction and Building Materials, 1999, (3): 1421-1425.
- [3] REED B F, JAMES L, BURATI J R. Polyester fibers in asphalt paving mixtures[J]. AAPT, 1996: 65.
- [4] SERFASS J R. Application and behavior of fiber modified asphalt[J]. AAPT, 1995: 64.
- [5] 丁智勇,黄杰,彭波,等.纤维沥青混合料性能研. 郑州大学学报:工学版. 2007, 28(2): 11-14.
- [6] 陈华鑫,张争奇,胡长顺.纤维沥青路用性能机理[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2002, 22(6): 5-7.
- [7] 陈文,廖卫东,薛永杰,等.聚合物纤维改性高性能沥青混凝土的研究[J]. 武汉理工大学学报. 2003, 25(12): 44-46.
- [8] 彭波,勒明,袁万杰.纤维增强沥青混合料性能的研究[J]. 重庆交通学院学报. 2002, 21(4): 27-30.
- [9] 傅博峰,周志刚,陈晓鸿,等.沥青路面水损害疲劳破坏过程的数值模拟分析. 郑州大学学报:工学版. 2006, 27(1): 51-58.

Research on the Application of Polyester Fiber Modified Superpave Mixture

LIU Jian-lan¹, ZHANG Zhong-qi², LIU Ben-xue³

1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. The Second Highway Engineering Bureau, Chinese Communications Construction Group, Xi'an 710075, China; 3. School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Directed at the features of polymer fibers modified for Superpave mixture, based on Marshall tests, water stability test, dynamic stability test and project economic feasibility for different polyester-fiber contents modified Superpave mixtures, the optimum fiber content is chosen to be 1.5‰. The results of full-scale fatigue test and low-temperature tensile test show that polyester fiber modified Superpave mixture has an excellent performance in low-temperature anti-cracking and anti-reflection-cracking performance. Therefore, the polyester fiber modified superpave mixture is suitable for the overlay of the old pavement. In the end, some proposals to the construction are given, and through the permeability tests we especially suggest that the compaction of polyester fiber modified Superpave mixture be strengthened in the construction.

Key words: polyester fiber; Superpave mixture; full-scale fatigue test; low-temperature tensile test; anti-reflection-cracking performance