文章编号:1674－2869(2017)01－0069－05

剑麻纤维对高模量沥青混合料低温性能的改善

艾　畅[1],阳　汉[1],吴冷雷[1],王明辉[1],白　桃[1*],张德育[2]
1. 武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074;
2. 南京工程学院建筑工程学院,江苏 南京 211167

摘　要:采用弯拉应变作为剑麻纤维高模量沥青混合料低温性能的评价指标,考察了剑麻纤维长度及其掺量对高模量沥青混合料低温性能的影响. 同时,对剑麻纤维高模量沥青混合料的高温性能和水稳定性进行了验证. 结果表明,在剑麻纤维掺量为0. 3%条件下,纤维长度能够明显影响弯拉应变值;其中6 mm长的剑麻纤维对高模量沥青混合料的弯拉应变值比不掺加剑麻纤维的高模量沥青混合料增幅高达123%. 在剑麻纤维长度为6 mm的条件下,弯拉应变值随着剑麻纤维掺量的增大呈现出先增大后减小的变化趋势;其中0.3%掺量的剑麻纤维对高模量沥青混合料低温性能改善效果最为突出. 此外,剑麻纤维的添加对高模量沥青混合料的高温和水稳定性能均有一定程度提升.

关键词:剑麻纤维;高模量;沥青混合料;低温性能
中国分类号:U416　　**文献标识码**:A　　**doi**:10. 3969/j. issn. 1674-2869. 2017. 01. 012

Improvement of Low Temperature Performance of High Modulus Asphalt Mixture by Sisal Fiber

AI Chang[1], YANG Han[1], WU Lenglei[1], WANG Minghui[1], BAI Tao[1*], ZHANG Deyu[2]
1. School of Resource and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;
2. School of Civil Engineering and Architecture, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China

Abstract: The influences of the length and mass fraction of sisal fiber on the low temperature performance of high modulus asphalt mixture (HMAM) were investigated by selecting the bending strain as the evaluation index, and the high temperature performance and water stability of HMAM of sisal fiber were also explored. The results demonstrate that the bending strain of the HMAM was significantly affected by the fiber lengths when the mass fraction of sisal fiber keeps at 0.3%, and it increases by 123% compared to that with no sisal fiber as the length of sisal fiber is 6 mm. The bending strain of HMAM increases first and then decreases with the mass fraction of sisal fiber increasing when the length of sisal fiber keeps at 6 mm, and the sisal fiber with mass fraction of 0.3% possesses the best enhancement effect on the low temperature performance of HMAM. We also find that the sisal fiber can improve the performance of high temperature and water stability of the HMAM.

Keywords: sisal fiber; high modulus; asphalt mixture; low temperature performance

收稿日期:2016-05-12
基金项目:湖北省高等学校省级大学生创新创业训练计划项目(201410490019);沥青路面结构特性与材料设计关联性的理论研究项目(201373113);江苏省基础研究计划(自然科学基金)(BK20140109)
作者简介:艾　畅, 硕士研究生. E-mail:1512507609@qq.com
***通讯作者**:白　桃,博士,副教授. E-mail: 2775531860@qq.com
引文格式:艾畅,阳汉,吴冷雷,等. 剑麻纤维对高模量沥青混合料低温性能的改善[J]. 武汉工程大学学报,2017,39(1):69-73.
AI C, YANG H, WU L L, et al. Improvement of low temperature performance of high modulus asphalt mixture by sisal fiber [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2017, 39(1):69-73.

高模量沥青混合料可有效降低沥青混凝土的剪切变形，增强其抗变形能力. 然而，模量的提高会相应降低其低温抗裂性能[1]. 为满足实际需求，国内外进行了大量研究来提高沥青混合料的低温抗裂性能，其中掺加纤维等改性剂是较为有效的手段[2]. 诸多学者分别研究了废尼龙丝[3]、玄武岩矿物纤维和PE改性剂[4]、聚酯纤维[5-6]、棉桔梗纤维[7]等纤维对普通沥青混合料及高模量沥青混合料低温抗裂性的改善作用. 同时，程英伟[8]研究在不同掺量下剑麻纤维对沥青混合料的各项技术指标的影响，得出了剑麻纤维的最佳掺量. 杨瑞华[9]通过试验综合确定了剑麻纤维的最佳用量，并进行了相关路用性能验证.

然而，掺加剑麻纤维到高模量沥青混合料中来改善低温抗裂性能的研究不多见. 同时，剑麻纤维是一种绿色环保的可再生资源，具有质地坚韧、拉伸强度高、耐磨损、耐酸碱、抗腐蚀及耐低温等多种优点，其中经济性最为突出[10-12]. 所以本文通过添加剑麻纤维到高模量沥青混合料中，对其低温性能拟开展相关研究，并对其高温性能以及水稳定性能进行验证.

1 试验部分

1.1 试验材料

1.1.1 *沥青* 本研究选取沥青为70#基质沥青，所选沥青检测结果如表1所示.

表1 70#基质沥青检测技术指标

Tab. 1 Technical indices for 70# bitumen

类别 test item	针入度 penetration(25 ℃,100 g,5 s) / 0. 1 mm	延度(15℃) ductility(15 ℃) / cm	软化点 softening point / ℃
测量结果	79. 4	>200	46. 8
技术要求	60 ~ 80(T0604)	≥100(T0605)	≥43(T0606)

1.1.2 *矿质混合料* 本研究采用的粗集料为辉绿岩，细集料为辉绿岩机制砂，填料为石灰岩矿粉. 依照《公路工程集料试验规程》(JTG E42—2005)[13]所规定的方法对其进行力学指标的测试，试验检测结果如表2和表3所示.

表2 粗细集料检测技术指标

Tab. 2 Technical indices for both the coarse and fine aggregates

技术指标 technical indices	压碎值 crushing value / %	洛杉矶磨耗值 los angeles abrasion value / %	吸水率 water absorption / %	针片状颗粒含量 elongated particles / %	表观相对密度 apparent relative density / (g·cm^{-3})	砂当量 sand equivalent
测试结果	14.5	17.3	0.3	15.3	3.16	68
技术标准	≤28(T0316)	≤30(T0317)	≤3. 0(T0308)	≤18(T0312)	≥2. 5(T0304)	≥60(T0334)

表3 矿粉检测技术指标

Tab. 3 Technical indices for mineral filler

技术指标 technical indices	表观相对密度 apparent relative density / (g·cm^{-3})	粒径范围 particle size range / %			外观 appearance	亲水系数 hydrophilic coefficient
		<0.6 mm	<0.15 mm	<0.075 mm		
测试结果	2.88	100	96.21	82.78	无团粒结块	0.65
技术标准	≥2.50(T0352)	100(T0351)	90~100(T0351)	75~100(T0351)	无团粒结块	<1(T0353)

1.1.3 *外掺剂* 本试验抗车辙剂为黑色颗粒状固体，可以大幅提高沥青混合料的高温抗变形能力. 但是，抗车辙剂的掺加会导致沥青混合料的模量增大，从而导致沥青混合料低温抗裂性降低. 所以，抗车辙剂的掺量不宜过多. 一般情况下，沥青混合料中抗车辙剂掺量为沥青混合料质量百分比的0.3%~0.5%[14]，本试验所用抗车辙剂掺量为0.4%.

本研究选用的剑麻纤维是一种多细胞纤维，其单纤维细胞细长，端部渐尖，纤维壁光滑无特殊的节纹加厚，外观呈浅黄色. 试验中通过手工裁剪，获得不同的纤维长度(4 mm、6 mm、8 mm)，如图1所示.

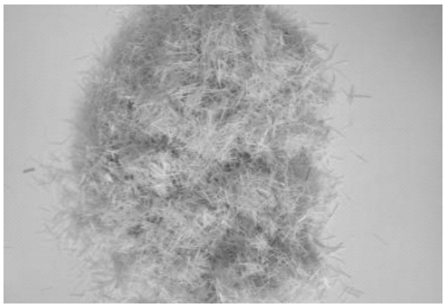

图1 剑麻纤维图
Fig. 1 Image of sisal fiber

1.2 矿料级配

本试验采用沥青混合料AC-20级配范围[15],同时借鉴美国Superpave级配设计方法避开“限制区”[16],选取通过级配禁区上方级配作为本试验的目标级配. 级配筛孔通过率如表4所示. 最后采用马歇尔试验方法,确定出目标级配沥青混合料的最佳沥青用量为4.2%.

表4 沥青混合料AC-20级配范围
Tab. 4 Gradation range for AC-20 asphalt mixture

级配类型 gradation type	通过百分率 different size sieve passing ratio rate / %											
	26.5 mm	19 mm	16 mm	13.2 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.075 mm
级配上限	100	100	92	80	72	56	44	33	24	17	13	7
级配中值	100	95	85	71	61	41	30	22. 5	16	11	8. 5	5
目标级配	100	96	87	73	63	47	39	31	22	15	8. 5	5
级配下限	100	90	78	62	50	26	16	12	8	5	4	3

2 结果与讨论

2.1 剑麻纤维高模量沥青混合料低温性能

评价沥青混合低温抗裂性能试验方法有很多,本文采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》[17](JTG E20—2011)低温小梁弯曲试验方法来评价高模量沥青混合料的低温抗裂性能,评价指标主要是弯拉应变. 按照马歇尔试验确定试件的实测密度成型板式试件,然后将试验件切割成30 mm×35 mm×250 mm的小梁试件,试验温度为−10 ℃,加载速率为50 mm/min,在UTM-100材料试验机中进行小梁3点弯曲试验.

2.1.1 剑麻纤维长度影响 本试验所用剑麻掺量拟定为相应沥青混合料质量百分比的0.3%,通过掺加不同长度的剑麻纤维(4 mm、6 mm、8 mm)分别进行低温小梁弯曲试验,以破坏应变为指标来探究不同长度的剑麻纤维对混合料低温抗裂性能的影响规律,试验结果如图2所示.

由于掺加的剑麻纤维的直径较小,在沥青混合料中均匀分散后会呈三向网状分布,这样可以阻碍裂纹的扩展,约束裂纹的进一步发展,使得沥青混合料的低温抗裂性能得以提升. 掺入纤维后,同应变条件下承受的应力增大,基体材料初裂应变减少. 从图2可以看出:掺加剑麻纤维后,沥青混合料最大弯拉应变有明显提升. 其中,掺6 mm长的剑麻纤维沥青混合料弯拉应变增加幅度最大,达到123%. 其他长度纤维的沥青混合料弯拉应变增幅在46%~49%之间.

通过现场试验观察,8 mm长的纤维实验室拌合分散性较差,容易结块,不利于纤维分散构成空间网状结构. 对比6 mm和4 mm剑麻纤维对沥青混合料低温性能增强效果可以看出,4 mm长的纤维空间连接效果不如6 mm,其对裂纹扩展的阻滞作用偏低. 当裂纹扩展时6 mm长的纤维可以承受较大应力,当应力达到最大破坏应力时,还能维持一定的水平阶段,所以弯拉应变最大,效果最好.

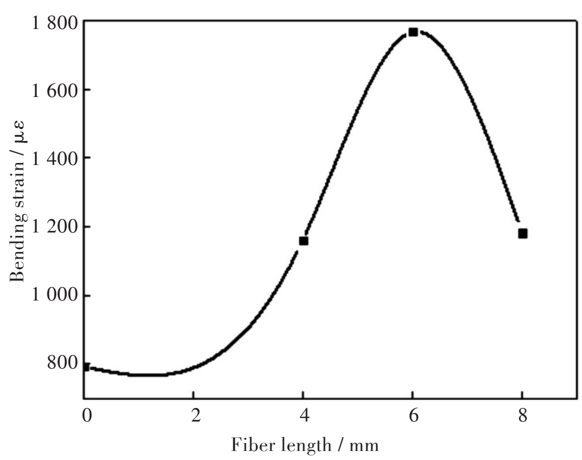

图2 纤维长度与低温弯拉应变的关系
Fig. 2 Relationship between fiber length and bending strain of low temperature

2.1.2　剑麻纤维掺量影响　采用6 mm长剑麻纤维，调整其掺量分别为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%和0.5%. 进行低温小梁弯曲试验，探究不同掺量对混合料低温抗裂性能的影响规律，试验结果如图3所示.

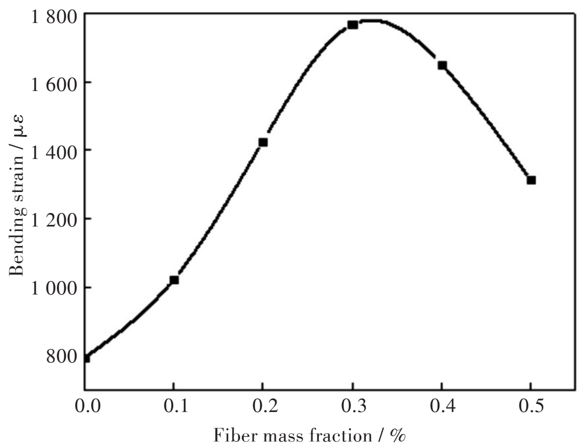

图3　纤维掺量与低温弯拉应变的关系

Fig. 3　Relationship between fiber mass fraction and bending strain of low temperature

从图3可以看出：掺加剑麻纤维后，沥青混合料最大弯拉应变呈现增大后减小的趋势. 这是由于随着纤维掺量的增加，其在沥青混合料中的分散性越差，而且会结团成束，不利于纤维分散构成空间网状结构，从而使得沥青混合料的低温抗裂性能下降. 所以，本试验中0.3%掺量的剑麻纤维其分散效果最佳，对沥青混合料的低温抗裂性能改善效果最好.

2.2　其他路用性能测试

2.2.1　高温性能　本文采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》[17]（JTG E20—2011）中高温车辙试验来评价高模量沥青混合料的高温性能. 由2.1节可知，在6 mm长0.3%掺量的剑麻纤维以及4.2%油石比条件下，高模量沥青混合料的低温性能最佳. 本节对此组合进行高温车辙试验，以动稳定度为评价指标，来验证其高温稳定性. 分两组进行对比试验，其中A组为不加纤维，B组为掺加6 mm剑麻纤维，油石比均为4.2%，试验结果见表5.

表5　高温车辙试验结果

Tab. 5　Results of high temperature rutting test

试验方案 test item	动稳定度 dynamic stability / (s/mm)	规范要求 technical requirement / (s/mm)
A	6 586	≥2 800
B	8 873	≥2 800

从表5可以看出，添加剑麻纤维后动稳定度有所增加，且满足规范要求. 由于掺加的纤维能够吸附并稳定沥青，能有效减少沥青在高温状态下的流动，使得沥青混合料的塑性变形减小，从而提高混合料的抗车辙能力. 同时，纤维在混合料中呈三向网状分布，对混合料起到一种“加筋”作用，有效的阻碍矿料之间的滑移，减少变形的产生，从而提高了高温性能.

2.2.2　水稳定性能　本研究选取冻融劈裂试验来评价沥青混合料的水稳定性，评价指标主要是残留强度比TSR. 同样选用上述A和B组合进行对比试验，试验结果见表6.

表6　冻融劈裂试验结果

Tab. 6　Results of freeze-thaw splitting test

试验方案 test item	抗拉强度比 tensile strength ratio / %	规范要求 technical requirement / %
A	88.2	≥80
B	92.5	≥80

从表6可以看出，添加剑麻纤维后残留强度比有所增加，且满足规范要求. 因为加入纤维后，其有效沥青膜厚度增大，有效阻碍了水对沥青的剥离作用，同时剑麻纤维表面粗糙，有众多竖向条纹，有利于提高与沥青之间的黏结性.

3　结　语

在高模量沥青混合料中掺加剑麻纤维，采用低温小梁试验进行其低温性能改善试验研究，得到如下结论：

1）掺加剑麻纤维对高模量沥青混合料低温抗裂性能有明显提升，作用效果与纤维长度关联性比较强，以6 mm长的剑麻纤维高模量沥青混合料低温抗裂性能增强幅度最大，其弯拉应变增幅高达到123%.

2）随着纤维掺量的增大，混合料的弯拉应变呈先增大后减小的变化趋势，对于选定级配，6 mm长0. 3%掺量的剑麻纤维对高模量沥青混合料低温性能改善效果最佳.

3）掺加剑麻纤维对高模量沥青混合料高温性能以及水稳定性能均有一定程度提升.

参考文献：

[1]　赵锡娟. 高模量沥青混凝土材料组成及路用性能研究[D]. 西安：长安大学，2009.

[2] 李树军. 纤维沥青混合料增强机理及路用性能研究[J]. 交通科技，2015(5)：106-109.
LI S J. Research on reinforcement mechanism and road performance of fiber asphalt mixture[J]. Transportation Science & Technology，2015 (5)：106-109.

[3] 尹继明，吕凡任，王超. 废尼龙丝增强沥青混合料性能的试验研究[J]. 施工技术，2015，44(24)：67-72.
YIN J M，LYU F R，WANG C. Improving the performance of asphalt mix by addition of waste nylon fiber [J]. Construction Technology，2015，44 (24)：67-72.

[4] 张剑波，彭杰，张怀宇，等. 纤维复合沥青增强特性及增强机理研究[J].公路，2016(1)：62-67.

[5] 安静. 聚酯纤维改性沥青混合料路用性能研究[J]. 公路工程，2015，40(6)：247-251.
AN J. The effect of polyester fiber on road performance of asphalt mixture[J].Highway Engineering，2015，40(6)：247-251.

[6] 王宏. 聚酯纤维对硬质沥青混合料增韧性及改性机理试验研究[J].公路，2016(3)：160-166.

[7] 李魏巍. 棉桔梗纤维沥青混合料路用性能研究[D]. 西安：长安大学，2015.

[8] 程英伟，何晓明.纤维沥青混合料的纤维掺量及路用性能研究[J].筑路机械与施工机械化，2012，29(11)：50-53.
CHENG Y W，HE X M. Study on fiber content and road performance of fiber asphalt mixture [J]. Road Machinery & Construction Mechanization，2012，29 (11)：50-53.

[9] 杨瑞华，周前程. 剑麻纤维沥青混合料最佳纤维掺量试验研究[J]. 山西建筑，2015，41(17)：85-86.
YANG R H，ZHOU Q C. Experimental study on optimal dosage of fiber in asphalt mixture with sisal fiber[J]. Shanxi Architecture，2015，41(17)：85-86.

[10] 关鹏. 剑麻纤维沥青混凝土路面性能研究[D]. 武汉：武汉轻工大学，2010.

[11] 黄琼念，覃峰，马福荣，等. 剑麻纤维水泥混凝土复合材料性能试验的研究[J]. 广西大学学报(自然科学版)，2008，33(1)：27-30.
HUANG Q N，QIN F，MA F R，et al. Experimental study on the composites performance of sisal fiber-cement concrete[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition)，2008，33(1)：27-30.

[12] 卢珣，章明秋，容敏智，等. 剑麻纤维增强聚合物基复合材料[J]. 复合材料学报，2002，19(5)：1-6.
LU X，ZHANG M Q，RONG M Z，et al. Sisal reinforced polymer composites [J]. Acta Materiae Compositae Sinica，2002，19(5)：1-6.

[13] 交通部公路科学研究所. 公路工程集料试验规程：JTG E42-2005 [S]. 北京：人民交通出版社，2005.

[14] 周义生，吴革森. 抗车辙剂改性沥青混合料路用性能研究[J]. 公路，2015(1)：178-180.

[15] 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范：JTG F40-2004 [S]. 北京：人民交通出版社，2005.

[16] 张争奇，赵战利，张卫平. 矿料级配对沥青混合料低温性能的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版)，2005，25(2)：1-5.
ZHANG Z Q，ZHAO Z L，ZHANG W P. Effect of aggregate gradation on performance of asphalt mix at low temperature [J]. Journal of Changan University (Natural Science Edition)，2005，25(2)：1-5.

[17] 交通部公路科学研究所. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程：JTG E20-2011 [S]. 北京：人民交通出版社，2011.

本文编辑：苗　变