

植物纤维增强沥青混合料性能试验研究

郭彦强^{1,2*}, 向豪¹, 徐鹏¹, 弓锐¹

(1.西安公路研究院有限公司, 陕西 西安 710065; 2.西安华泽道路材料有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要:纤维具有高强度、高模量和耐高温等优点,已经成为道路行业中广泛使用的改性材料。为了进一步探究玉米秸秆纤维在道路中使用的可能性,对玉米秸秆进行处理并作为改性材料与沥青混合。研究了不同纤维掺量对改性沥青的影响,包括针入度、软化点、车辙和低温蠕变性等;设置对照组,选择纤维掺量为1.0%、2.0%和3.0%的3种试样进行了力学测试。结果表明,随着纤维掺量的增大,软化点、高温性能、低温性能分别提高17.9%、79.6%和36.8%,针入度降低了37.4%;综合考虑沥青混合料的马歇尔稳定性和间接抗拉强度指标,优选秸秆纤维掺量为2%。

关键词:路面工程;植物纤维;改性沥青;沥青混合料

中图分类号:U444

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2024)S1-0129-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.S1.024

Experimental study on properties of plant fiber reinforced asphalt mixture

GUO Yan-qiang^{1,2*}, XIANG Hao¹, XU Peng¹, GONG Rui¹

(1.Xi'an Highway Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710065, China;

2.Xi'an Huaze Road Materials Co., Ltd., Xi'an 710065, China)

Abstract: Fiber has the advantages of high strength, high modulus and high temperature resistance, and has become a widely-used modified material in the road industry. In order to further explore the possibility of using corn straw fiber in the road, this study deal with corn straw as a modified material and mixes it with asphalt. The influences of different fiber addition amount on modified asphalt are studied, mainly including penetration, softening point, rutting and low temperature creep test. The control group is set, and three samples with fiber contents of 1.0%, 2.0% and 3.0% respectively are selected for mechanical test. It is shown that with the increasing fiber content, the softening point, high temperature performance and low temperature performance of modified asphalt are increased by 17.9%, 79.6% and 36.8%, respectively, and the penetration is reduced by 37.4%. Considering Marshall stability and indirect tensile strength index of asphalt mixture, the optimum straw fiber content is 2%.

Key words: pavement engineering; plant fiber; modified asphalt; asphalt mixture

近年来随着农业的快速发展,玉米秸秆作为我国农业生产中的一种重要副产物生产量巨大。而只有少量的玉米秸秆被用于家庭燃料和牲畜饲养,绝大多数玉米秸秆被焚烧,造成了严重浪费,产生的粉尘危害环境。随着环保理念和资源利用技术大力提高,玉米秸秆的应用领域逐渐扩大,其中道路领域便是重要方向之一^[1]。玉米秸秆作为一种可再生资源,其高强度、高模量、耐高温等特点使其在道路领域具有广泛的应用前景。目前,玉米秸秆在道路改性中的应用主要表现在改善沥青混凝土的力学性能、抗变形能力和耐久性等方面^[2]。

沥青混凝土(AC)由沥青、集料和空隙组成,由于沥青与集料之间的强附着力,它提供了优异的稳定性和改善的机械性能,因此被广泛用于制造柔性路面。然而,巨大的交通荷载反复施加在路面上,造

成路面破损,并且在湿度和温度的影响下,破损影响大大加剧,这会给柔性路面造成严重的缺陷,如沥青排水、疲劳裂纹和永久变形(车辙)。因此,为了提高沥青混凝土的力学性能,学者进行了大量的研究,其中沥青混凝土混合料中掺入纤维是最有效的方法之一^[3]。然而,随着玉米秸秆在道路改性中的掺量增大,其对沥青混凝土孔隙率、路用性能等方面的影响也逐渐显现,采用机械剪切的方式,通过湿法制备并改性,以此扩大玉米秸秆纤维在沥青路面中的应用范围^[4]。基于多种沥青混合料的类型,通过分析玉米秸秆纤维的微观机理,研究在多孔沥青混合料的级配设计、力学测试得出纤维掺量为0.3%时,多孔沥青混合料的高温性能和水稳性能均能得到较大的提高^[5]。同时,对于纤维改性沥青混合料的路用性能,通过车辙试验、马歇尔试验等进行测试,分

收稿日期:2024-03-11;修回日期:2024-06-12;

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划(2022KJXX-44)

作者简介:郭彦强(1987-),男,硕士,高级工程师,主要从事化工和道路新材料研发及成果转化等工作,通讯联系人,029-87885617,gyqguyan@126.com。

析了不同掺量对混合料性能的影响,为工程应用提供了思路^[6-7]。

因此,本文研究玉米秸秆纤维改性沥青的性能,分别从软化点、针入度、高温性能和低温性能 4 个方面进行测试,分析改性沥青性能随纤维掺量的变化规律,按照马歇尔法设计最佳沥青含量,通过分析不同掺量比例下的力学性能变化,分别进行马歇尔稳定性和间接抗拉强度试验。探讨纤维改性沥青性能的变化规律,为秸秆纤维在沥青混合料中更好的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料性能指标

材料的基本性能指标目前没有路用规范要求,本文参考 JTIT 533—2020《沥青路面用纤维》对纤维进行取皮、浸泡、破碎等处理后,对其进行检测和评价,测得玉米秸秆纤维的物理性能如表 1 所示。

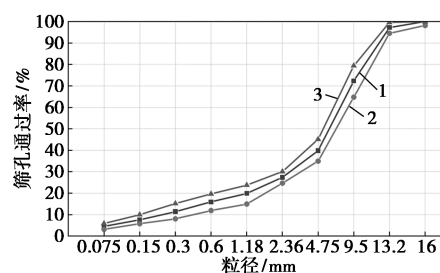
表 1 玉米秸秆纤维的物理性能

指标	检测值	规范要求
密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.3	—
纤维长度/mm	3.0~5.5	≤ 6
质量损失/%	3.8	≤ 5
吸油率/倍	5.4	5~9
pH	7.0	6.5~8.5
灰分含量/%	5.5	13~23

本研究使用的沥青为西安国琳实业有限公司提供的 SBS70# 改性沥青,技术指标如表 2 所示。骨料是沥青混合物的主要成分,本文粗集料选用陕西渭南市石灰石,细集料为机制砂,矿粉为石灰石磨成粉。各组成部分的各项技术指标均符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)的要求。本研究采用 AC-13 沥青混合料,混合料中各种矿料百分含量如下:9.5~16 mm 为 22%; 4.75~9.5 mm 为 35%; 2.36~4.75 mm 为 16%; 机制砂为 22%; 矿粉为 5%。级配曲线如图 1 所示。

表 2 改性沥青的物理性能

指标	检测值	规范要求
针入度(25℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	73.8	60~80
针入度指数 PI	0.041	≥ -0.4
软化点 $T_{R\&B}$ /℃	79.5	> 75
运动粘度(135℃)/(Pa·s)	2.13	1.8~3.0
闪点/℃	251	≥ 230



1—合成级配;2—级配下限;3—级配上限

图 1 AC-13 沥青混合料级配曲线图

1.2 试验设计

将玉米纤维进行筛选处理后,采用其形成的植物纤维作为沥青混凝土的添加剂。将植物纤维切割成 3~6 mm 的长度,并添加到沥青中。为了改善秸秆与基体之间的黏结效果,将秸秆放入碱溶液进行预处理。在加入纤维之前,将沥青加热到 150~160℃。加入纤维后,将混合物搅拌 10 min 直至混合均匀。当纤维沥青准备与集料混合时,可以储存并重新加热。为了防止玉米纤维在试件制样过程中被溶解,需要控制纤维和沥青的混合温度必须低于玉米秸秆的燃点温度。研究纤维掺量对改性沥青软化点、针入度、高低温性能的影响。

为了测试沥青混凝土的力学性能,选定纤维掺量分别为 1.0%、2.0%、3.0%。试验方案设计见表 3。

表 3 实验方案设计

组别	试件编号	纤维掺量
1	FA0	沥青
2	FA1	沥青+1.0%纤维
3	FA2	沥青+2.0%纤维
4	FA3	沥青+3.0%纤维

2 结果与讨论

2.1 纤维改性沥青性能

(1) 软化点和针入度试验

对改性沥青胶浆的软化点和针入度进行测试,结果如图 2 所示,随着纤维掺量的增加,软化点呈上升趋势,当掺量从 0 增加到 4% 时,软化点增加较慢,增幅为 4.7%;当掺量从 4% 增加到 7% 时,软化点大幅度增大,增幅为 11.6%;整体而言,软化点增幅 17.9%。说明玉米秸秆纤维素的加入可以明显改善改性沥青的软化点。这是因为纤维素分子链上的羟基、羰基、羧基等极性基团,在高温条件下能够与沥

青分子之间发生相互作用,使纤维素的极性基团进入沥青分子链,从而使得沥青分子间的聚集程度降低,分子链自由运动的空间增大,导致沥青的软化点明显上升。

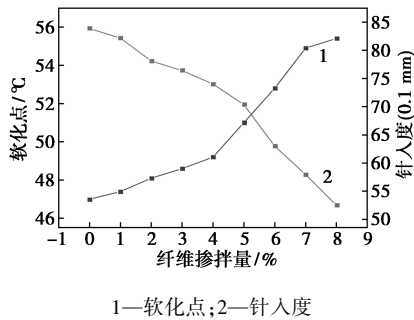


图2 改性沥青针入度和软化点试验

由图2可知,随着纤维素的加入,沥青胶浆的针入度会降低。当纤维掺量从0增加到5%时,针入度降低幅度为16.1%,随着掺量达到8%时,针入度迅速降低,降低幅度为37.4%。原因主要是因为纤维素纤维的加入使得沥青的高温性能提高,同时也保留了沥青的低温柔韧性。而纤维素纤维具有较低的吸油值,改性沥青中加入纤维素纤维后能够减少对改性剂的消耗,使沥青在软化点提高的同时保持较低的针入度。

(2) 高低温性能

夏季沥青路面温度能达到60~65℃,高温下车辙是路面主要的损坏形式,同时在高海拔地区易存在低温导致开裂。因此,为了测定秸秆纤维改性沥青的稳定性,分别进行了高低温性能试验。改性沥青的高低温性能测试见图3。

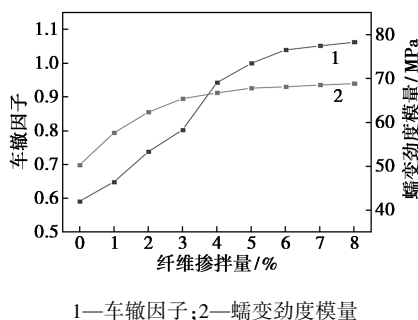


图3 改性沥青的高低温性能测试

由图3可知,改性沥青的车辙因子随着纤维掺量的增多而快速增大,当掺量增大到8%时,车辙因子的增幅为79.6%,说明纤维素纤维的加入改善了沥青混合料的力学性能和高温稳定性。主要是因为纤维具有高强度、高模量等特性,能够有效增强沥青的韧性,从而减少车辙等永久变形,进一步

提高沥青混凝土路面的性能。同时,低温性能的测试温度为-10℃,随着纤维掺量由0增加到8%时,沥青胶浆的劲度模量从50.3 MPa增大到68.8 MPa,增幅为36.8%。这主要是纤维的加入增加了混合料的阻尼性能,纤维与集料的吸附力增强,纤维之间的凝聚力也得到改善,从而使劲度模量增大。

2.2 混合料力学性能

马歇尔试件的稳定性试验和间接拉伸强度试验结果对比如图4所示。

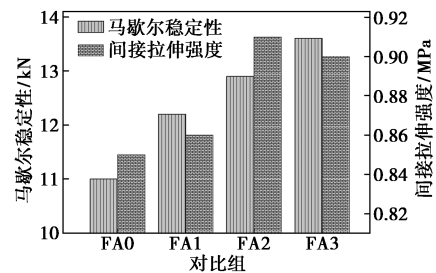


图4 马歇尔稳定性和间接拉伸强度试验结果对比

由图4可知,无纤维沥青混凝土试件FA0的稳定性为11.0 kN,与对照组相比,FA1、FA2、FA3样品的稳定性分别提高了10.9%、14.5%和23.6%。玉米秸秆纤维能够有效地增强沥青的韧性,同时纤维的加入可以改善改性沥青的均匀性和稳定性,减少离析现象的发生。这一总体趋势与之前研究结果一致,此前的试验结果显示,沥青混凝土中加入纤维可使马歇尔稳定性提高15%~30%。无纤维的空白试样的拉伸强度为0.85 MPa,FA1、FA2、FA3试样的孔隙度值分别增加了1.18%、5.9%和7.1%。可以看出,相比于传统常用的钢纤维(增大40%~60%),秸秆纤维的拉伸强度的增大幅度较小,主要是纤维直径和长度较小,纤维与集料的吸附力减少,间接拉伸强度增大幅度不明显。当纤维掺量继续增大后,导致混合料内部应力分散,使得混合料的整体刚度较小。从马歇尔稳定性和间接拉伸强度综合考虑,FA2为优选,即纤维掺量为2%。

综上,玉米秸秆纤维素能改善沥青混合料的力学性能,同时,在添加纤维素时,应确保纤维素纤维在沥青混合料中的均匀分散,以最大限度地发挥其性能提升作用。因此,玉米秸秆纤维在沥青混合料中的应用需要合理控制纤维的掺量,以充分发挥其性能优势。本研究为玉米秸秆纤维在沥青混凝土路面材料中的应用提供了理论支持。

(下转第137页)

图 10(a)结果表明,新胭脂红对膨润土表面电荷无明显影响,说明该示踪剂在膨润土表面吸附较小。该结果与前面的吸附热力学和吸附动力学结果一致。推断其主要原因可能是新胭脂红与膨润土之间仅存在较弱的范德华力。

图 10(b)结果表明,亚甲基蓝对膨润土表面电荷会产生明显影响。随着亚甲基蓝浓度的增加,膨润土 zeta 电位从负值变为正值,说明该示踪剂在膨润土表面吸附较强。该结果与前面的吸附热力学和吸附动力学结果一致。推断其主要原因可能是亚甲基蓝与膨润土之间不仅存在较弱的范德华力,而且由于亚甲基蓝分子带正电荷,膨润土表面带负电荷,二者之间还存在较强的静电作用。

4 结论

(1) 吸附结果表明,膨润土对 AR 和 MB 两种染料油田示踪剂的吸附过程均更加符合伪二级动力学模型和 Langmuir 等温吸附模型,表明膨润土与染料油田示踪剂之间的作用以化学作用为主,并属于单分子层吸附。膨润土对 AR 的吸附较弱,其吸附量约为 0.73 mg/g;膨润土对 MB 具有较强的吸附性能,其吸附量约为 928 mg/g。

(2) FT-IR 光谱和 XRD 测试结果表明,所用膨润土主要成分为蒙脱石及部分石英、云母和方解石。条件考察结果表明,pH 会影响染料示踪剂的紫外吸收,矿化度对染料示踪剂的紫外吸收几乎不产生影响。

(3) Zeta 电位结果及机理分析表明,AR 主要通过范德华力与膨润土发生作用,因而吸附较弱。MB

(上接第 131 页)

3 结论

通过将玉米秸秆进行处理后形成纤维掺入沥青,测试改性后的沥青基本性能,分析植物纤维对沥青软化点、针入度、高低温性能的影响;同时,分析改性沥青混合料的力学性能变化规律,得出主要结论如下:

(1) 将纤维掺入沥青中,随着纤维掺量的增大,纤维改性沥青的软化点会增大,当掺量为 8% 时,增幅为 17.9%;而改性沥青的针入度会降低,掺量为 8% 时,降幅为 37.4%。

(2) 纤维对沥青的高低温性能都有一定程度的改善,其中高温性能增大明显。当掺量增大到 8% 时,车辙因子的增幅为 79.6%,蠕变劲度模量增幅为 36.8%。

主要通过静电引力与膨润土中的 Al—O、Si—O 键发生作用,因而产生较强吸附。

参考文献

- [1] 邢洁正,杨富财.油藏动态监测技术及发展研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(16):163-165.
- [2] 汪洋,黄延明,同鑫,等.剩余油研究方法综述[J].特种油气藏,2023,30(1):14-21.
- [3] 中国海洋石油集团有限公司,中海油能源发展股份有限公司.一种利用示踪剂监测油井产量的方法:CN111005714A[P].2020-04-14.
- [4] 翟伟,刘东强,陆路春,等.一种石油示踪剂及其应用,油田示踪的方法:CN202011468879.4[P].2022-01-28.
- [5] 孙晓娜,卫喜辉,谢明英,等.示踪剂技术在海上复杂驱动类型油田开发中的应用[J].石油地质与工程,2022,36(2):62-65.
- [6] Shi X, Yan L, Fan S, *et al.* Indoor synthesis of carbon quantum dots and its potential applications study as tracers in oilfields [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2022, 213: 110325.
- [7] Serres-Piole C, Preud'Homme H, Moradi-Tehrani N, *et al.* Water tracers in oilfield applications: Guidelines [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2012, 98: 22-39.
- [8] Sheng S, Duan Y, Wei M, *et al.* Analysis of interwell connectivity of tracer monitoring in carbonate fracture-vuggy reservoir: Taking T-well group of tahe oilfield as an example [J]. Geofluids, 2021, (1): 5572902.
- [9] 李新丹,王孟江,常国栋,等.分层示踪剂监测技术在河南油田稠油水驱油藏的研究与应用[J].石油地质与工程,2022,36(4):109-112.
- [10] Rong Y, Pu W, Zhao J, *et al.* Experimental research of the tracer characteristic curves for fracture-cave structures in a carbonate oil and gas reservoir [J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, 31: 417-427.
- [11] 马承胜,甘牧原,韦振宁,等.膨润土物理性能对生球落下强度的影响[J].烧结球团,2022,47(3):43-50.
- [12] 马旭.膨润土粒径及浓度对钻井液流变性能的影响研究[J].西部探矿工程,2023,35(7):110-112,119. ■

(3) 综合分析沥青混合料的马歇尔稳定性和拉伸强度,提出玉米秸秆纤维的合理掺量为 2%。

参考文献

- [1] 王琨,徐豪,胡朋,等.改性玉米秸秆纤维沥青胶浆路用性能研究[J].武汉理工大学学报,2023,45(4):33-40.
- [2] 李振霞,陈渊召,周建彬,等.玉米秸秆纤维沥青混合料路用性能及机理分析[J].中国公路学报,2019,32(2):47-58.
- [3] 陈飞,张林艳,李先延,等.天然纤维沥青混合料研究与应用进展[J].应用化工,2022,51(5):1472-1479.
- [4] 徐豪,王琨,樊丽然,等.新型沥青混合料掺加料玉米秸秆纤维的制备工艺及改性方法[J].山东交通学院学报,2023,31(2):102-108.
- [5] 梁若翔,孟勇军.玉米秸秆纤维在多空沥青混合料中的应用[J].西部交通科技,2022,(4):7-10,27.
- [6] 黄学文,程菊海,杨阳.秸秆植物草毯在高速公路边坡防护中应用研究[J].公路,2017,62(1):220-225.
- [7] 李旺明.玉米秸秆纤维改良沥青混合料路用性能研究[J].西部交通科技,2020,(12):77-79. ■