

混掺纤维改性沥青混合料的路用性能试验研究

Experimental Study on Road Performance of Mixed Fiber Modified Asphalt Mixture

孔德生, 黄桂林

(东北林业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150006)

摘要: 将不同掺量的玄武岩纤维 (BF) 和聚丙烯纤维 (PP) 单掺、混掺至沥青混合料中进行改性, 采用高温车辙、低温小梁弯曲、浸水马歇尔、冻融劈裂及弯曲疲劳等室内试验, 研究桥面铺装 AC-20 级配沥青混合料的使用性能。结果表明: BF 纤维能够有效提升沥青混合料的强度和硬度, 而 PP 纤维可以提供沥青混合料更好的柔性与黏性; 单掺 BF 纤维可以有效改善沥青混合料的高温稳定性能、低温抗裂性能以及抗疲劳性能, 单掺 PP 纤维仅改善水稳定性能的效果优于 BF, 而通过采用合理比例的 BF 与 PP 纤维混掺改性可综合提升沥青混合料的服役性能及使用寿命。

关键词: 沥青混合料; 纤维; 橡胶颗粒; 力学性能; 路用性能

中图分类号: U414 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2024) 04-0129-05

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2024.04.023

KONG Desheng, HUANG Guilin

(School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150006, China)

Abstract: Basalt fiber (BF) and polypropylene fiber (PP) with different content were mixed into asphalt mixture for modification and the high temperature rutting, low temperature trabecular bending, immersion Marshall, freeze-thaw splitting and bending fatigue were used. Laboratory tests were carried out to comprehensively investigate its road performance. the modification of AC-20 grade asphalt mixture for bridge deck pavement was studied. The results show that basalt fiber can effectively improve the strength and hardness of asphalt mixture, while PP fiber can provide better flexibility and viscosity of asphalt mixture. Single-doped BF fiber can effectively improve the high temperature stability, low temperature crack resistance and fatigue resistance of asphalt mixture. The effect of single-doped PP fiber on improving water stability is better than that of BF, and the service performance and service life of asphalt mixture can be comprehensively improved by using a reasonable proportion of BF and PP fiber.

Keywords: asphalt mixture; fiber; rubber particles; mechanical properties; road performance

0 引言

沥青路面因具有结构强度高、平整舒适度高、

施工维修简捷等特点, 在我国高等级道路及桥面铺装工程中得到了广泛的应用^[1-3]。近年来有关桥梁的检测养护结果表明, 桥面铺装层沥青路面在长期重载交通环境下容易产生车辙、开裂、拥包等病害, 给沥青路面的服役质量和使用寿命带来严重不良影响, 其原因主要为沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、抗疲劳性能低等^[4-6]。为了改善桥面铺装沥青混合料的使用性能, 国内学者开展了一些改性研究, 如顾晓燕等^[7]研究了不同掺量聚酯纤维改性

道桥技术

环氧沥青混合料的低温抗裂性能和抗疲劳性能，认为适宜的聚酯纤维掺量能够充分提升混合料的柔韧性，利于增强沥青混合料低温抗裂性能和抗疲劳性能；魏志峰^[8]采用木质素纤维和聚酯纤维对桥面铺装环氧沥青混合料进行单掺、复掺改性，发现 1.2% 木质素纤维与 1.8% 聚酯纤维复掺能够有效提升环氧沥青混合料综合性能；张永健^[9]研究了玄武岩纤维对 EA-10 级配冷拌环氧沥青混合料路用性能的影响规律，发现掺入 0.3% 玄武岩纤维能够改善混合料的路用性能、抗老化性能以及耐腐蚀性能；肖青战等^[10]将聚酯纤维与聚丙烯纤维分别单掺、复掺至桥面铺装沥青混凝土中，探讨了不同复掺纤维对环氧沥青混凝土路用性能的影响规律，认为 3% 的复掺纤维能够有效改善其路用性能。

通过将不同掺量的玄武岩纤维和聚丙烯纤维单掺、混掺至沥青混合料中进行改性，系统考察单掺、混掺纤维对 AC-20 级配沥青混合料路用性能的影响规律，研究结果为桥面铺装沥青混合料的设计及工程应用提供技术支撑。

1 试验材料及方案

1.1 原材料

沥青选用 SBS 改性沥青，其相关技术指标见表 1。粗、细集料分别选用粒径为 4.75 ~ 21 mm 和 0 ~ 4.75 mm 的玄武岩碎石，主要性能指标见表 2。填料选用石灰岩矿粉，表观相对密度为 2.72 g/cm³，吸水率为 13.7%，亲水系数为 0.41，含水量为 0.38%。纤维选用 BF、PP，其中 BF 纤维的单丝直径为 5 μm，长度为 9 mm，密度为 2.85 g/cm³，拉伸强度为 3800 MPa；PP 纤维的单丝直径为 31 μm，长度为 15 mm，密度为 0.95 g/cm³，拉伸强度为 550 MPa。

表 1 SBS 改性沥青基本技术性能			
Table 1 Basic technical performance of SBS modified asphalt			
检测项目	规范要求	试验结果	
针入度 (25 ℃) /0.1 mm	40~60	55.80	
软化点/℃	≥60	64.60	
延度 (5 ℃) /cm	≥20	39.00	
135 ℃黏度/ (Pa·s)	≤3.0	1.92	
质量变化/%	≤±1.0	0.03	
RTFOT 残留物 针入度比 (25 ℃) /%	≥65	80.00	
残留延度 (10 ℃) /cm	≥15	31.00	

表 2 集料的主要技术指标					
Table 2 The main technical indicators of aggregate					
粒径/mm	密度 / (g/cm ³)	压碎值/%	磨耗值/%	吸水率/%	砂当量/%
9.5~21	2.83	21.60	14.30	0.28	
4.75~9.5	2.76	22.80	13.70	26.00	
2.36~4.75	2.75	22.70	12.90	29.00	
0~2.36	2.72				81.00

1.2 试验方案

沥青混合料选用 AC-20 型级配进行设计，其级配曲线如图 1 所示。BF 和 PP 纤维分别采用单掺、混掺的方式添加到普通沥青混合料 (PT) 内，其中 BF 纤维的掺量分别为 0.2%、0.3%、0.4%，PP 纤维的掺量分别为 0.1%、0.2%、0.3%，按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中马歇尔试验确定出各沥青混合料的油石比，不同沥青混合料的配合比及油石比见表 3。另外，研究通过采用高温车辙试验、低温小梁弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验以及弯曲疲劳试验来评价 BF-PP 混掺纤维改性沥青混合料的路用性能。

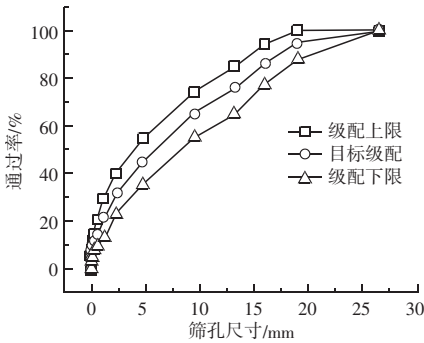


图 1 AC-20 沥青混合料级配曲线
Fig. 1 Gradation curve of AC-20 asphalt mixture

表 3 沥青混合料配合比及油石比					
Table 3 Asphalt mixture ratio and asphalt aggregate ratio					
编号	混合料类型	油石比/%	编号	混合料类型	油石比/%
1	PT	4.1	9	0.2% BF + 0.2% PP	4.2
2	0.2% BF	4.2	10	0.2% BF + 0.3% PP	4.3
3	0.3% BF	4.3	11	0.3% BF + 0.1% PP	4.2
4	0.4% BF	4.4	12	0.3% BF + 0.2% PP	4.3
5	0.1% PP	4.1	13	0.3% BF + 0.3% PP	4.3
6	0.2% PP	4.2	14	0.4% BF + 0.1% PP	4.3
7	0.3% PP	4.3	15	0.4% BF + 0.2% PP	4.4
8	0.2% BF + 0.1% PP	4.2	16	0.4% BF + 0.3% PP	4.4

2 试验结果及分析

2.1 高温稳定性能

标准试件 (300 mm × 300 mm × 50 mm) 在 60 ℃

高温环境下进行室内车辙试验,得到BF-PP混掺纤维改性沥青混合料的车辙试验结果,如图2所示。

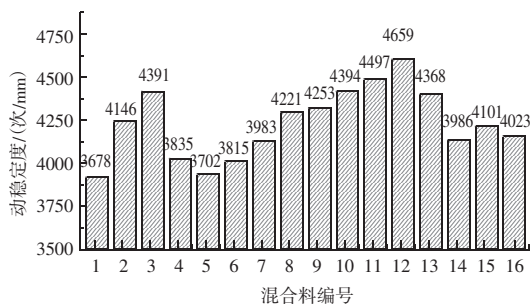


图2 混掺纤维改性沥青混合料的车辙试验结果

Fig. 2 Rutting test results of mixed fiber modified asphalt mixture

由图2可知,单掺BF或PP纤维均能提高沥青混合料的动稳定度,当BF纤维掺量为0.2%~0.4%时,沥青混合料的动稳定度较PT分别提高了12.7%、19.4%、4.3%;当PP纤维掺量为0.1%、0.2%、0.3%时,动稳定度较PT分别提高了0.65%、3.7%、8.3%,说明两种纤维单掺均能改善沥青混合料的高温稳定性能,且BF纤维的改善效果更为明显。原因是BF和PP纤维都具有加筋、增韧、桥接等作用,在沥青混合料中形成稳定的三维网状结构,限制了高温荷载下集料间的滑移,提高高温稳定性能;由于BF纤维的弹性模量、抗拉强度较PP更高,能够产生更好的加筋效果,故单掺BF纤维沥青混合料的高温稳定性较好。混掺BF和PP纤维也能增高沥青混合料的稳定度,其中0.3%BF+0.1%PP和0.3%BF+0.2%PP沥青混合料的动稳定度增幅最为显著,两者较PT分别增长了22.3%、26.7%,说明两种纤维通过合理比例混掺能够有效地提升沥青混合料高温稳定性能。原因是BF和PP纤维各自发挥不同的材料特性,BF纤维的弹性模量、抗拉强度较高,增强了混合料的强度与硬度;而PP纤维的柔性较好,一定程度提高了混合料的延展性和黏聚性,故混掺纤维可共同促进沥青混合料整体稳定性的提升。

2.2 低温抗裂性

按照JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》,采用标准小梁试件进行低温小梁弯曲试验,试验温度为-10℃。不同PF-PP混掺纤维改性沥青混合料的低温小梁弯曲试验结果如图3所示。

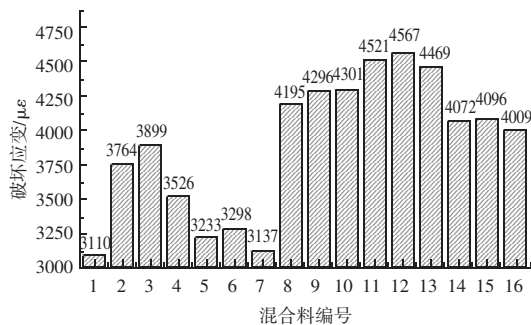


图3 混掺纤维改性沥青混合料的低温小梁弯曲试验结果

Fig. 3 Low temperature trabecular bending test results of mixed fiber modified asphalt mixture

由图3可知,在单掺纤维情形下,不同掺量BF纤维沥青混合料的破坏应变较PT增长了13.4%~25.4%,不同掺量PP纤维的破坏应变较PT仅增长了0.9%~6.1%,说明两种纤维单掺均能一定程度地提高沥青混合料的低温抗裂性能,且BF纤维的提高效果更明显。对于混掺纤维情形而言,不同掺量纤维混掺的沥青混合料破坏应变均超过了4000 με以上,其中0.3%BF+0.1%PP和0.3%BF+0.2%PP沥青混合料的破坏应变整体最高,分别达到了4521、4567 με,两者相较PT分别增长了45.4%、46.8%,说明合理比例的混掺纤维能够有效改善沥青混合料的低温抗裂性能。原因是BF纤维能够增加沥青混合料的强度与硬度,PP纤维可提高混合料的延展性及黏聚性,两种纤维协同作用使得沥青混合料的抗开裂破坏和弹性恢复能力明显提升,因而有效改善了其低温抗裂性能。

2.3 水稳定性

不同BF-PP混掺纤维改性沥青混合料的浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验结果如图4、图5所示。单掺BF纤维能够一定程度提高沥青混合料的冻融劈裂强度比,但不利于提高浸水残留稳定度。原因是BF纤维的韧性较强,在浸水作用下易与沥青材料发生界面剥落现象;单掺PP纤维则均能提高沥青混合料的冻融劈裂强度比和浸水残留稳定度,其中0.2%PP纤维的冻融劈裂强度比和浸水残留稳定度最高,较PT分别增大了3.9%、3.4%。原因是PP纤维具有良好的耐酸碱性,在浸水或冻融环境下与沥青材料交织形成稳定的三维网状结构,提高混合料的粘结能力,从而增强抗水损害性能。在混掺纤维情形下,0.3%BF+0.1%PP和0.3%BF+0.2%PP两种沥青混合

道桥技术

料的冻融劈裂强度比和浸水残留稳定度整体表现最好,其中 0.3% BF + 0.1% PP 的冻融劈裂强度比和残留稳定度较 PT 分别增长了 4.8%、3.7%,而 0.3% BF + 0.2% PP 分别增长了 4.4%、3.5%,说明合理比例混掺纤维能够有效提升沥青混合料的抗水损害性能,原因是混掺纤维不仅能够有效发挥 BF 纤维增强沥青混合料劈裂强度的特点,还能充分体现 PP 纤维裹附沥青胶浆增黏混合料的优势,有利于提高其水稳定性能。

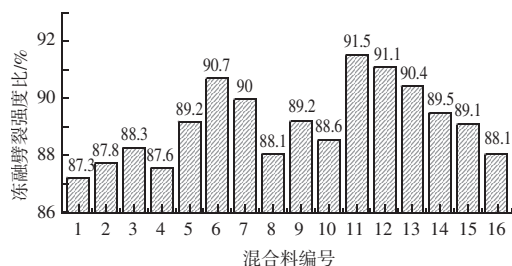


图4 混掺纤维改性沥青混合料的冻融劈裂试验结果
Fig. 4 Freeze-thaw splitting test results of mixed fiber modified asphalt mixture

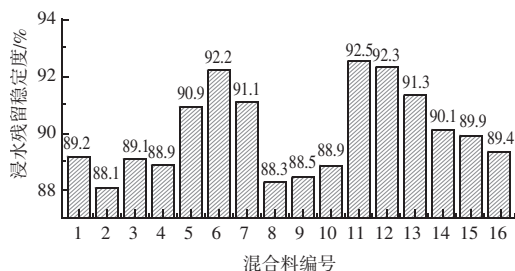


图5 混掺纤维改性沥青混合料的浸水马歇尔试验结果
Fig. 5 Immersion Marshall test results of mixed fiber modified asphalt mixture

2.4 抗疲劳性能

BF-PP 混掺纤维改性沥青混合料的抗疲劳性能采用弯曲疲劳试验进行评价,试件标准尺寸为 350 mm × 70 mm × 70 mm,试验温度为 10 ℃,应变水平为 800 $\mu\epsilon$ 。不同类型纤维改性沥青混合料的弯曲疲劳试验结果如图 6 所示。

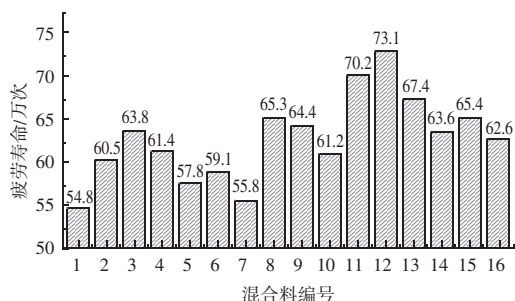


图6 混掺纤维改性沥青混合料的弯曲疲劳试验结果
Fig. 6 Bending fatigue test results of mixed fiber modified asphalt mixture

从图 6 中可以看出,单掺、混掺纤维均能提高沥青混合料的疲劳寿命,其中单掺 BF、PP 纤维沥青混合料的疲劳寿命相较 PT 分别增加了 10.3%~16.4% 和 1.8%~7.9%,而混掺纤维的疲劳寿命较 PT 增加了 11.7%~33.4%,说明外掺纤维能够改善沥青混合料的结构稳定,增强其抗疲劳性能。在不同单掺纤维沥青混合料中,0.3% BF 与 0.2% PP 的疲劳寿命表现最佳,表明纤维的掺量并非与沥青混合料疲劳寿命成正比关系。原因是外掺材料改性存在一个饱和状态,纤维不足会导致加筋效果无法充分体现,而纤维过量则会使结构失稳;在不同混掺纤维沥青混合料中,0.3% BF + 0.1% PP 和 0.3% BF + 0.2% PP 的疲劳寿命整体最高,两者较于 0.3% BF 单掺纤维沥青混合料分别增加了 10%、14.6%,表明合理比例的混掺纤维能够充分发挥各自的材料特性,从而有利于提升沥青混合料的抗疲劳性能。

3 结论

针对桥面铺装 AC-20 沥青混合料在长期的重载环境下容易出现车辙、开裂、拥包等病害问题,采用 BF 和 PP 纤维进行单掺、混掺改性,系统考察了不同类型纤维改性沥青混合料的高温稳定性能、低温抗开裂性能、水稳定性能及抗疲劳性能,得到以下结论:

(1) BF 纤维能够有效提高沥青混合料的强度和硬度,PP 纤维可以提高沥青混合料更好的柔性与黏性。

(2) 单掺 BF 纤维可以有效改善沥青混合料的高温稳定性能、低温抗裂性能以及抗疲劳性能,单掺 PP 纤维仅改善水稳定性能的效果优于 BF;采用合理比例的 BF 与 PP 纤维混掺有利于综合提升沥青混合料的服役性能及使用寿命,混掺纤维沥青混合料的适宜比例推荐为 0.3% BF + 0.1% PP 和 0.3% BF + 0.2% PP。

参考文献

- [1] 王民,李波,包广志,等.基于干法改性的浇注式沥青混合料性能试验研究[J].中外公路,2022,42(6):193-196.
- [2] 余振兵.复合改性桥面铺装沥青混合料性能试验研究[J].粉煤灰综合利用,2020,34(6):111-115.

- [3] 王盘盘,王双双,甄少华.水性环氧树脂改性乳化沥青混合料的配比设计及性能研究[J].化工新型材料,2021,49(1):273-278.
- [4] 张清利,王康明,焦长青,等.水性环氧乳化沥青在水泥混凝土桥面防水黏层的应用研究[J].公路工程,2022,47(2):83-90.
- [5] 王进勇,陈飞,程谓,等.水性环氧-乳化沥青及其混合料性能研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(1):85-91.
- [6] 李黎明,黄红明,曾国东,等.集料强度对环氧沥青混合料疲劳性能的影响[J].公路与汽运,2022(6):118-121.
- [7] 顾晓燕,高剑飞,李惠翔.聚酯纤维用于环氧树脂沥青混合料增柔及增韧技术研究[J].中外公路,2022,42(3):247-250.
- [8] 魏志峰.复掺纤维环氧沥青混凝土在桥面铺装中的应用研究[J].合成材料老化与应用,2019,48(6):58-62.
- [9] 张永健.玄武岩纤维改善冷拌环氧沥青桥面铺装材料性能研究[D].扬州:扬州大学,2022.
- [10] 肖青战,张超.复掺纤维环氧沥青混凝土的路用性能研究[J].合成材料老化与应用,2020,49(5):114-116.

(上接第96页)

参 考 文 献

- [1] 李明亮,李克钢,秦庆词,等.岩爆烈度等级预测的机器学习算法模型探讨及选择[J].岩石力学与工程学报,2021,40(增刊1):2806-2816.
- [2] 汤志立,徐千军.基于9种机器学习算法的岩爆预测研究[J].岩石力学与工程学报,2020,39(4):773-781.
- [3] 徐林生,王兰生.二郎山公路隧道岩爆发生规律与岩爆预测研究[J].岩土工程学报,1999(5):569-572.
- [4] 陶振宇,莫海鸿,吴景浓.水压致裂试验中岩石的破坏特性及判据[J].岩石力学与工程学报,1986(1):41-50.
- [5] 陈海军,邴能惠,聂德新,尚岳全.岩爆预测的人工神经网络模型[J].岩土工程学报,2002(2):229-232.
- [6] 白明洲,王连俊,许兆义.岩爆危险性预测的神经网络模型及应用研究[J].中国安全科学学报,2002(4):68-72.
- [7] 刘剑,周宗红.基于修正散点图矩阵与随机森林的岩爆等级预测[J].有色金属工程,2022,12(3):120-128.
- [8] 张乐文,张德永,邱道宏.基于粗糙集的可拓评判在岩爆预测中的应用[J].煤炭学报,2010,35(9):1461-1465.
- [9] 田睿,孟海东,陈世江,等.RF-AHP-云模型下岩爆烈度分级预测模型[J].中国安全科学学报,2020,30(7):166-172.
- [10] 黄建,夏元友,吝曼卿.基于改进组合赋权的岩爆多维云模型预测研究[J].中国安全科学学报,2019,29(7):26-32.
- [11] 龚剑,胡乃联,崔翔,王孝东.基于AHP-TOPSIS评判模型的岩爆倾向性预测[J].岩石力学与工程学报,2014,33(7):1442-1448.
- [12] 祝云华,刘新荣,周军平.基于v-SVR算法的岩爆预测分析[J].煤炭学报,2008,(3):277-281.
- [13] 贾义鹏,吕庆,尚岳全.基于粒子群算法和广义回归神经网络的岩爆预测[J].岩石力学与工程学报,2013,32(2):343-348.
- [14] 刘育林.基于SSA-SVR的煤矸石路基沉降预测模型研究[J].河北地质大学学报,2021,44(6):99-104.
- [15] 张凯,张科,李昆.主元分析-神经网络岩爆等级预测模型[J].中国安全科学学报,2021,31(3):96-104.
- [16] 吕森鹏.高地应力下地下工程岩爆机理及应用研究[D].武汉:中国科学院研究生院(武汉岩土力学研究所),2009.
- [17] 胡建华,黄鹏莅,周坦,等.岩爆倾向性的改进有限云评价模型与工程应用[J].中国安全科学学报,2022,32(2):90-98.
- [18] 邵良杉,周玉.基于MIV-MA-KELM模型的岩爆烈度等级预测[J].中国安全科学学报,2018,28(2):34-39.
- [19] 陈鹏宇,余宏明,师华鹏.基于权重反分析和标准化模糊综合评价的岩爆预测模型[J].岩石力学与工程学报,2014,33(10):2154-2160.
- [20] 胡建华,黄鹏莅,周坦,等.岩爆倾向性的改进有限云评价模型与工程应用[J].中国安全科学学报,2022,32(2):90-98.