

DOI: 10.19951/j.cnki.1672-9331.20220401003

文章编号: 1672-9331(2023)05-0076-08

引用格式: 关宏信, 于凯辉, 徐英杰, 等. 不同纤维及沥青复合改性BK-10混合料路用性能[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2023, 20(5): 76-83.

Citation: GUAN Hongxin, YU Kaihui, XU Yingjie, et al. Pavement performance of BK-10 mixtures modified with different fibers and asphalts [J]. J Changsha Univ Sci Tech (Nat Sci), 2023, 20(5): 76-83.

不同纤维及沥青复合改性BK-10混合料路用性能

关宏信¹, 于凯辉¹, 徐英杰¹, 闫华文^{1,2}, 杨涛³, 李兵⁴

(1. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250102; 3. 湖南建工交通建设有限公司, 湖南 长沙 410004; 4. 佛山市路桥建设有限公司, 广东 佛山 528042)

摘要:【目的】对目标空隙率为13%的半开级配沥青混合料所用沥青和纤维进行优选,以提高混合料路用性能,实现其功能性与耐久性的平衡。【方法】对不同的沥青、纤维和矿粉进行8种组合制备不同的半开级配沥青混合料,通过开展室内试验,测试各混合料的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性等路用性能,对比分析沥青、纤维和矿粉对沥青混合料路用性能的影响,并基于表面能理论以及通过开展动态剪切流变试验和延度试验,进一步分析论证复合沥青和复合纤维改善混合料路用性能的原因和效果。【结果】复合沥青与集料的黏附性最强,复合纤维与沥青胶浆结合能力最好。【结论】采用5%苯乙烯-丁二烯-苯乙烯(styrene-butadiene-styrene, SBS)与15%橡胶粉复合改性沥青,以及用复合纤维(木质素纤维与玄武岩纤维质量比为1:1)制备的半开级配沥青混合料的路用性能最优。

关键词: 道路工程; 半开级配沥青混合料; 复合纤维; 复合沥青; 路用性能

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

0 引言

长沙理工大学的吉庆在研究新型降噪橡胶沥青混合料时,发现传统的开级配大空隙降噪型沥青混合料虽然降噪性能理想,但因其原材料性能要求高、空隙大容易堵塞、施工不便、全寿命周期短等特点,制约了其发展。吉庆^[1]针对传统的沥青玛蹄脂碎石混合料(stone mastic asphalt, SMA)的级配特点,结合国内外相关经验,研发了一款空隙率为13%的沥青混合料DK-10,其降噪能力虽不输于大空隙开级配排水式沥青磨耗层OGFC-10混合料,但是在功能性与耐久性的平衡方面还有待提高。

目前,半开级配沥青混合料大多使用在超薄磨耗层上面,最具有代表性的是Novachip超薄磨耗层。冯明林^[2]通过对SMA、半开级配的Novachip以及OGFC三种级配沥青混合料的稳定性进行对

比分析,发现Novachip超薄磨耗层对不同沥青结合料的适应性好,整体稳定性好。虞将苗等^[3]、宋阳^[4]在研究沥青超薄磨耗层技术时指出,铺设了半开级配的Novachip超薄磨耗层路面在降噪、排水以及抗滑性能方面较原有路面有明显改善,路面构造深度大幅度提高,因而承载能力得以提高。由于半开级配沥青混合料性能介于密级配与开级配沥青混合料性能之间,若要将其直接用于表面层,其性能可能不能满足当下的交通需求,而沥青和纤维对沥青混合料性能有很大影响,故国内外许多学者对在半开级配沥青混合料中掺加沥青与纤维进行了大量研究。钱普舟等^[5]、MUSTY等^[6]、YANG等^[7]、李运华等^[8]结合工程实际,对实际道路使用的Novabond改性乳化沥青以及高黏度改性乳化沥青的各项性能与传统常用的苯乙烯-丁二烯-苯乙烯(styrene-butadiene-styrene, SBS)改性沥青、橡胶沥青、基质沥青的进行对比研究,发现Novabond改性乳化沥青与高黏度改性乳化沥青均

收稿日期: 2022-04-01; 修回日期: 2022-05-05; 接受日期: 2022-05-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52078062); 湖南省自然科学基金资助项目(2020JJ4604)

通信作者: 关宏信(1974—)(ORCID: 0000-0001-7264-7469), 男, 教授, 主要从事路面结构与材料方面的研究。

E-mail: guanhongxincs@163.com

具有更高的黏度,提高了混合料的整体性,使用其制成的沥青混合料具有更好的抗高温高应力的变形能力,且能有效阻止雨水侵入路面结构内部,从而延长了道路使用寿命。很多学者针对纤维对沥青混合料的影响做了研究。郭鹏等^[9]、EISA等^[10]、MASRI等^[11]通过大量室内试验得出了纤维能改善沥青混合料大部分性能的结论;崔世富^[12]、朱洪洲等^[13]从细观角度入手,得到纤维对沥青混合料的细观改性机理;马峰等^[14]、王发洲等^[15]等通过研究发现仅仅使用木质素纤维等单一纤维的传统沥青混合料已经不能满足如今的路面性能需求,将两种或两种以上的纤维进行复合得到的复合纤维沥青混合料才能满足如今道路使用需求;彭建湘^[16]将不同长度的玄武岩纤维掺入沥青混合料,并对其开展各项力学性能试验探究纤维长度对沥青混合料路用性能和抗裂性能的影响,认为玄武岩纤维的最佳长度为9 mm;展宏图等^[17]、张宏武^[18]研究了玄武岩纤维/橡胶改性沥青的高低温性能,发现玄武岩纤维对改性沥青混合料的高低温性能都有较好的提升,但对黏度的提升不明显。周志刚等^[19-20]通过恒高度重复剪切试验研究发现,聚酯纤维能够改善聚酯纤维/橡胶复合改性沥青的高温性能,并提出纤维的最佳掺量。王翠宏^[21]基于各项疲劳试验发现玄武岩纤维与布顿岩沥青复合改性能显著改善沥青混合料的疲劳性能并延缓裂缝发展,其改性机理主要是加强了沥青与集料的黏附性并提高了混合料的劲度模量。

与密级配沥青混合料相比,半开级配沥青混合料的降噪等性能提升了,但耐久性相对较差。通过上述专家学者的研究,发现可以从采用优质沥青和优质纤维角度对沥青混合料加以改善。目前,国内外学者主要对半开级配沥青混合料的某一组分进行研究,如改善沥青或者掺加纤维用以提升混合料的路用性能,几乎没有专家学者系统研究过“复合改性沥青+复合纤维”对半开级配沥青混合料路用性能的影响。因此,本文将在吉庆研发的13%空隙率的沥青混合料DK-10的基础上,选择不同的沥青和纤维进行组合,设置多个试验组,对多种组合下的13%空隙率的半开级配沥青混合料开展室内试验,使半开级配路面的功能性与耐久性达到平衡,以期半开级配沥青混合料用作路面表面层打下基础,服务于“交通

强国”战略。

1 试验方案

1.1 设计思路

根据目前研究可知,纤维和沥青对于沥青混合料的性能影响巨大。本研究选择橡胶粉+SBS复合沥青、高掺量SBS沥青、HVA高黏沥青这三类改性沥青,以及颗粒状木质素纤维、玄武岩纤维、颗粒状木质素纤维+玄武岩纤维组成的复合纤维以及AD-10纤维这4类纤维,对沥青和纤维进行多种组合,与矿料(矿料级配见表1)制备8种不同的沥青混合料,并用标号①~⑧表示,分组思路如下:组合①、②、③混合料仅矿粉不同,沥青与纤维相同;组合①、④、⑤混合料仅沥青不同,纤维与矿粉相同;组合①、⑥、⑦、⑧混合料仅纤维不同,沥青与矿粉相同。每组仅改变一个变量,以便于分析各组分对沥青混合料的影响。

具体组合如下:①:复合沥青+复合纤维+矿粉;②:复合沥青+复合纤维+水泥矿粉;③:复合沥青+复合纤维+水泥;④:HVA高黏沥青+复合纤维+矿粉;⑤:高掺量SBS沥青+复合纤维+矿粉;⑥:复合沥青+木质素纤维+矿粉;⑦:复合沥青+玄武岩纤维+矿粉;⑧:复合沥青+AD-10纤维+矿粉。在材料组合②中,使用水泥代替矿粉的比例为20%。在上述组合中,复合沥青中含5% SBS沥青与15%橡胶粉,高掺量SBS改性沥青中的SBS乳胶掺量为7%,复合纤维是由木质素纤维和玄武岩纤维按照质量比1:1复合而成的。

1.2 原材料及级配

本研究选用来自南粤物流公司的70#基质沥青,沥青改性剂选用SBS、橡胶粉以及HVA高黏改性剂,各改性剂如图1~3所示。纤维选用木质素纤维、玄武岩纤维以及AD-10纤维。粗细集料选用辉绿岩,矿粉选用石灰岩矿粉。虽然我国《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)没有推荐用于表面层的半开级配沥青混合料的级配范围,但《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03—2020)给出了PA-10的级配范围,其目标空隙率在18%以上。根据吉庆的研究,本研究将在PA-10级配的基础上,适当调整粒径为2.36和0.075 mm集料的通过率,确定如表1所示的BK-10混合料(BK为笔者自己取名)级配,该混合料目标空隙率设为13%。



图1 SBS改性剂
Fig. 1 SBS modifier



图2 80目橡胶
Fig. 2 80 mesh rubber



图3 HVA高黏改性剂
Fig. 3 HVA high viscosity modifier

表1 13%空隙率BK-10混合料级配

Table 1 The gradation of BK-10 mixture with 13% void ratio %

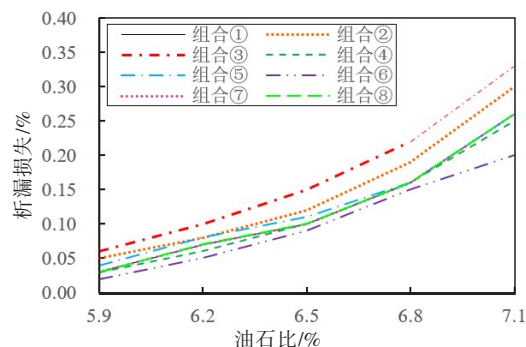
通过不同筛孔尺寸的集料质量百分比								
0.075 mm	0.15 mm	0.3 mm	0.6 mm	1.18 mm	2.36 mm	4.75 mm	9.5 mm	13.2 mm
6.6	7.3	8.1	9.7	12.4	18.0	25.3	96.5	100.0

2 最佳油石比的确定

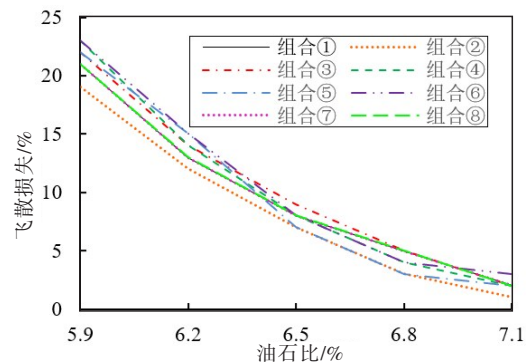
马歇尔试验法和飞散、析漏试验法是确定最佳油石比的两种常见方法,但马歇尔试验法不适用于大空隙率的沥青混合料。本试验设计的沥青混合料空隙率为13%,参考国内外半开级配沥青混合料的试验方法,本文采用飞散、析漏试验法来确定该混合料的最佳油石比。本试验设置了5.9%、6.2%、6.5%、6.8%、7.1%这5个油石比,基于表1中混合料级配,分别采用前述8种纤维沥青组合,对相应的沥青混合料开展飞散、析漏试验,试验结果如图4所示。图4展示了沥青和纤维8种组合下的BK-10沥青混合料在不同油石比下的析漏、飞散变化情况。

由图4可以看出,析漏损失随油石比的增大而增大,飞散损失随油石比的增大而减小。在图4中找到各组合析漏损失随油石比变化曲线的拐点,将该拐点对应横坐标的油石比作为油石比取值的最大容许值,同样,找到各组合飞散损失随油石比变化曲线的拐点,并将该拐点横坐标对应的油石比作为最小容许油石比,取最大容许油石比与最小容许油石比的平均值作为最佳油石比。沥青和纤维8种组合下的BK-10混合料最佳油石比见表2。本研究所设计的BK-10混合料的目标空隙率为13%,为此,按照表1中的级配和表2中的最佳油石比,制备马歇尔试件并对其进行空隙率测试,测试结果如图5所示。由图5可以看出,8种沥青混合料的空隙率在13.1%~13.4%之间,均接近目

标空隙率,符合要求。



(a) 析漏损失



(b) 飞散损失

图4 沥青和纤维不同组合下的BK-10混合料飞散、析漏损失

Fig. 4 Flying and leakage loss of BK-10 mixtures with different combinations of asphalt and fiber

表2 沥青和纤维不同组合下的BK-10混合料最佳油石比

Table 2 The optimum asphalt-aggregate ratio of BK-10 mixtures with different combinations of asphalt and fiber %

不同组合下BK-10最佳油石比							
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
6.46	6.46	6.46	6.36	6.38	6.50	6.40	6.56

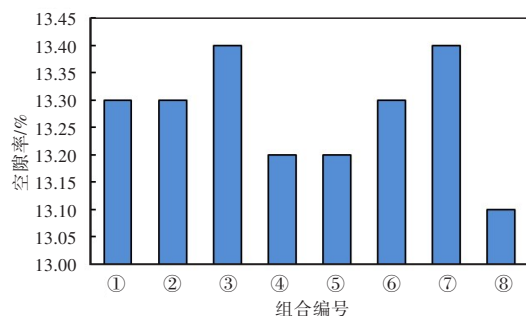


图5 纤维和沥青不同组合下的BK-10混合料空隙率

Fig. 5 Void ratio of BK-10 mixtures with different combinations of fiber and asphalt

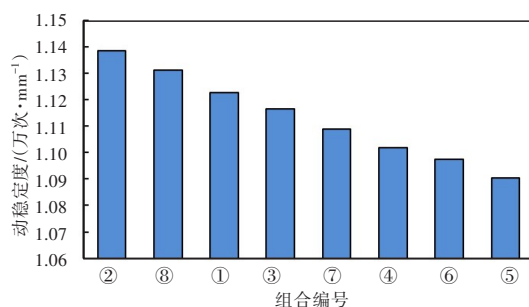


图6 纤维和沥青不同组合下BK-10的动稳定度

Fig. 6 Dynamic stability of BK-10 mixtures with different combinations of fiber and asphalt

3 沥青与纤维对BK-10混合料路用性能的影响

按照我国《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)的相关试验方法,本研究对前述纤维和沥青8种组合下的BK-10混合料开展车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,试验结果如图6~9所示。

3.1 沥青的影响分析

通过对比图6~9中组合①、④、⑤这三种混合料的性能,发现按其性能由高到低排序依次为:①、④、⑤,这说明加入复合改性沥青后的混合料高温性能最好。这是因为复合沥青的黏结性高,且与集料之间的黏附功最大,对混合料的高温性能有利;在低温性能上,组合①混合料的低温性能明显比另外两组的好,即复合沥青有利于提高BK-10的低温抗裂性;在水稳定性上,组合①混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比最大,这说明复合沥青相对于其他两种沥青能够显著改善沥青混合料的水稳定性,究其原因,在有水条件下,复合改性沥青与集料的黏附性整体好于高掺量SBS沥青和HVA高黏沥青与集料的黏附性。

3.2 纤维的影响分析

通过对比图6~9中组合①、⑥、⑦、⑧这4种混合料的性能,发现除了动稳定度,其性能由高到低排序依次为:①、⑧、⑥、⑦,而所有混合料的动稳定度都超过了10 000次/mm,而且掺加AD-10纤维的混合料高温稳定性最好,掺加复合纤维混合料的稍次之,两者差值不大,即两种纤维都可以明显改善复合改性沥青胶浆的高温流变剪切性能;在低温性能方面,加入了复合纤维的组合最有利于混合料的低温抗裂性,因为1:1复合纤维沥青胶

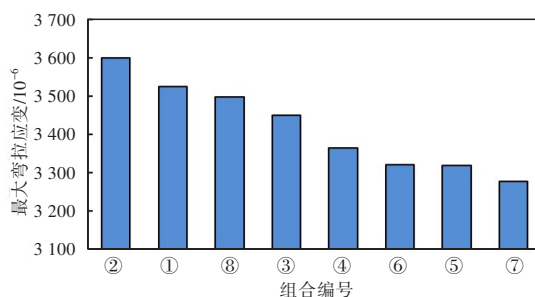


图7 纤维和沥青不同组合下BK-10最大弯拉应变

Fig. 7 The maximum flexural strain of BK-10 mixtures with different combinations of fiber and asphalt

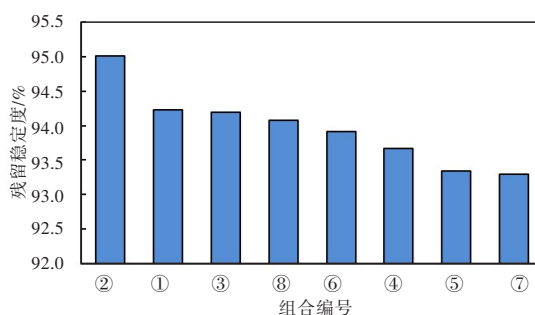


图8 纤维和沥青不同组合下BK-10残留稳定度

Fig. 8 Residual stability of BK-10 mixtures with different combinations of fiber and asphalt

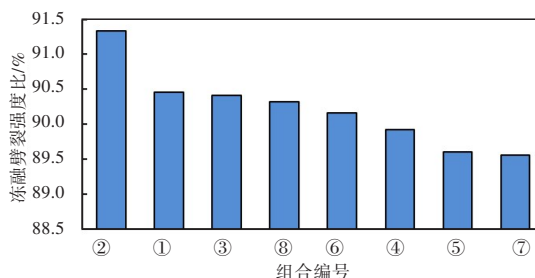


图9 纤维和沥青不同组合下BK-10冻融劈裂强度比

Fig. 9 Freeze-thaw splitting strength ratio of BK-10 mixtures with different combinations of fiber and asphalt

浆的延度值最大;在水稳定性方面,也是掺加复合纤维的BK-10混合料水稳定性最佳,这得益于复合纤维的连结和加筋作用比其他三种纤维的更优,使得沥青能牢固地附在集料表面,不易脱落。

3.3 矿粉的影响分析

通过对比图6~9中组合①、②、③这三种混合料的性能,发现按其性能由高到低排序依次为:②、①、③,这表明使用水泥来替代20%矿粉可以提升沥青混合料的高、低温性能和水稳定性,究其原因因为水泥中的氧化钙与沥青中的酸性成分发生反应,生成的产物使得沥青胶浆变得更稠,从而提升了混合料的性能。

3.4 复合沥青与复合纤维对BK-10混合料性能优化的原因分析

通过分析沥青、纤维和矿粉三个因素对BK-10混合料的影响,发现掺加了复合沥青和复合纤维的混合料性能较好,因此,接下来本研究将重点探究复合沥青和复合纤维的改性效果。

3.4.1 复合沥青与集料的黏附性

就沥青方面来看,黏附性是一个很重要的性质,尤其是对混合料的高温性能和水稳定性起到很重要的作用。本研究采用座滴法测试粗集料和所用三种沥青的接触角,通过计算得到沥青与集料在无水条件下的黏附功以及在有水条件下的剥落功,结果分别如图10、图11所示。由图10、图11可以看出,复合沥青与集料之间的黏附功和剥落功都比高掺量SBS沥青和HVA高黏沥青与集料之间的大,这说明复合沥青和集料的黏结是最强的,尤其是在有水条件下,复合沥青与集料之间的剥落功远比另外两种沥青与集料之间的大,这说明复合沥青与集料的水稳定性更好,这也是复合沥青混合料的高温性能以及水稳定性最好的主要原因。

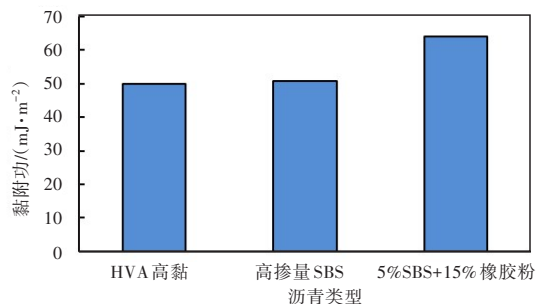


图10 无水条件下不同沥青与集料之间的黏附功

Fig. 10 Adhesion work between different asphalt and aggregates without water

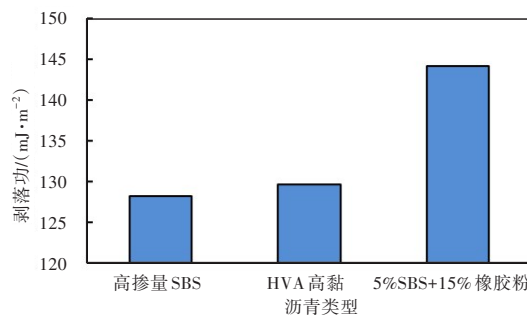


图11 有水条件下不同沥青与集料之间的剥落功

Fig. 11 Flake work between different asphalt and aggregates under water conditions

3.4.2 复合纤维对复合沥青胶浆性能的改善作用

在纤维方面,通过前文的混合料路用性能测试,发现加入AD-10纤维和复合纤维的两种混合料路用性能表现比较突出。为了探讨更深层次的原因,本研究对掺加不同纤维的复合沥青胶浆开展动态剪切流变试验和延度试验,结果如图12~14所示。由图12可以看出,掺加复合纤维时,沥青胶浆的车辙因子仅次于掺加AD-10纤维的;由图13可以看出,在同一温度下,掺加AD-10纤维的沥青胶浆复数模量最大,掺加复合纤维的沥青胶浆的复数模量与之相当,而掺加单一木质素纤维的沥青胶浆的复数模量相对最小;由图14可以看出,加入复合纤维的沥青胶浆延度最大,在一定程度上说明其具有最好的抵抗变形能力。以上试验结果表明,在沥青胶浆中掺加纤维可以提高沥青胶浆的高温抗车辙性能,其中AD-10纤维以及复合纤维对沥青胶浆的性能提升较大,且这两种纤维在提升混合料性能方面十分接近,但AD-10纤维价格远比复合纤维的高,所以采用复合纤维是最佳选择。

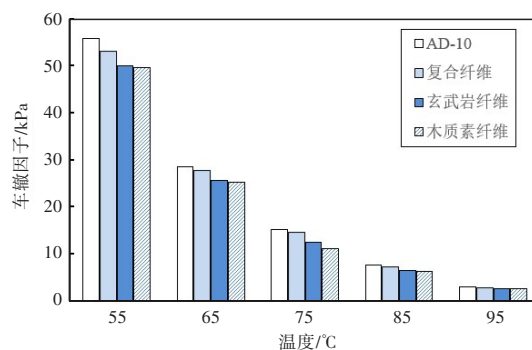


图12 掺加不同纤维的沥青胶浆在不同温度下的车辙因子

Fig. 12 Rutting factors of asphalt slurry mixed with different fibers at different temperatures

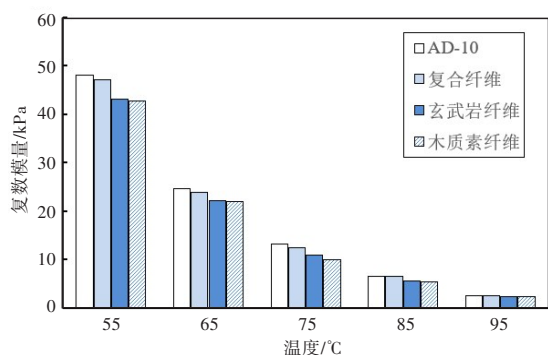


图13 掺加不同纤维的沥青胶浆在不同温度下的复数模量

Fig. 13 Complex modulus of asphalt slurry mixed with different fibers at different temperatures

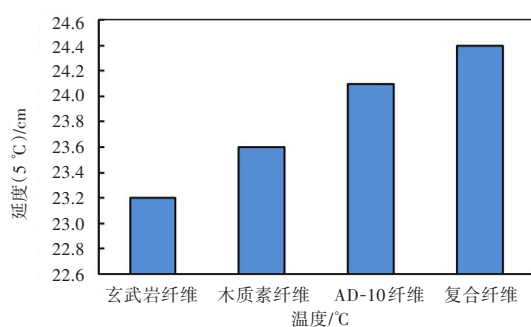


图14 掺加不同纤维的沥青胶浆的延度

Fig. 14 Ductility of asphalt slurry mixed with different fibers

综合以上试验结果及分析,本研究认为采用复合沥青+复合纤维+水泥替代20%矿粉制备的空隙率为13%的半开级配沥青混合料的路用性能最佳。

4 结论

1) 根据室内试验发现,在沥青混合料中加入复合沥青和复合纤维时其路用性能最佳。

2) 基于表面能理论的试验分析表明,复合沥青与粗集料的黏附性最佳;通过复合沥青胶浆动态剪切流变试验以及延度试验发现,复合纤维对沥青胶浆性能提升的效果最好。

3) 综合试验结果,推荐使用5%SBS+15%橡胶粉复合改性沥青和复合纤维(木质素纤维与玄武岩纤维质量比为1:1)制备的BK-10型沥青混合料。

[参考文献]

[1] 吉庆.降噪型橡胶沥青混合料DK-10材料组成研究[D].长沙:长沙理工大学,2019.

Ji Qing. Research on material composition of noise-reducing rubber-asphalt mixture DK-10 [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2019.

[2] 冯明林.高弹高黏沥青超薄磨耗层在道路改造工程中的应用[D].重庆:重庆交通大学,2014.

FENG Minglin. The application of high-elastic and high-viscous bitumen ultra-thin wear layer on the road reconstruction project [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014.

[3] 虞将苗,杨悦坤,于华洋.道路高性能沥青超薄磨耗层技术研究与应用现状[J].中南大学学报(自然科学版),2021,52(7):2287-2298. DOI: 10.11817/j.issn.1672-7207.2021.07.016.

YU Jiangmiao, YANG Nikun, YU Huayang. Research and application status of high-performance asphalt ultra-thin wearing layer technology [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2021, 52(7): 2287-2298. DOI: 10.11817/j.issn.1672-7207.2021.07.016.

[4] 宋阳. Novachip超薄磨耗层在高速公路预防性养护中的应用研究[D].广州:华南理工大学,2016.

SONG Yang. Study on application of novachip ultrathin wear layer in expressway preventive maintenance [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.

[5] 钱普舟,曹青霞,魏定邦,等. Novachip超薄罩面材料性能研究[J].公路,2016,61(4):233-238.

QIAN Puzhou, CAO Qingxia, WEI Dingbang, et al. Study on properties of novachip ultra-thin coating material[J]. Highway, 2016, 61(4): 233-238.

[6] MUSTY H, HOSSAIN M. Performance of ultra-thin bituminous overlays[C]//T&DI Congress 2014. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2014: 692-701. DOI: 10.1061/9780784413586.066.

[7] YANG R H, ZHANG C, ZHOU Q C, et al. Study on application of novachip ultra-thin layer[J]. E3S Web of Conferences, 2021, 236: 02032. DOI: 10.1051/e3sconf/202123602032.

[8] 李运华,李珍,原华.基于Novachip超薄磨耗层的高速公路沥青路面养护技术应用研究[J].公路工程,2019,44(5):156-161. DOI: 10.19782/j.cnki.1674-0610.2019.05.030.

LI Yunhua, LI Zhen, YUAN Hua. Research on maintenance technology of expressway asphalt pavement based on novachip ultra-thin wear layer[J]. Highway Engineering, 2019, 44(5): 156-161. DOI: 10.19782/j.cnki.1674-0610.2019.05.030.

[9] 郭鹏,谢凤章,孟建玮,等.掺改性木质纤维沥青及SMA-13沥青混合料性能研究[J].应用化工,2020,49(7):1634-1637. DOI: 10.16581/j.cnki.issn1671-

- 3206.20200416.015.
- GUO Peng, XIE Fengzhang, MENG Jianwei, et al. Research on performance of modified wood fiber asphalt and SMA-13 asphalt mixture [J]. Applied Chemical Industry, 2020, 49(7): 1634-1637. DOI: 10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20200416.015.
- [10] EISA M S, BASIOUNY M E, DALOUB M I. Effect of adding glass fiber on the properties of asphalt mix [J]. International Journal of Pavement Research and Technology, 2021, 14(4): 403-409. DOI: 10.1007/s42947-020-0072-6.
- [11] MASRI K A, NUR FATIN N Y, CHIN S C, et al. Utilization of bamboo fiber towards sustainable asphalt mixture [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 641(1): 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/641/1/012002.
- [12] 崔世富. 掺木质纤维的多孔沥青混合料性能研究 [J]. 中外公路, 2019, 39(2): 223-226. DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2019.02.048.
- CUI Shifu. Study on performance of the porous asphalt mixture with wood fibers [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2019, 39(2): 223-226. DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2019.02.048.
- [13] 朱洪洲, 谭祺琦, 杨孝思, 等. 纤维改性沥青混合料性能的研究现状与展望 [J]. 科学技术与工程, 2022, 22(7): 2573-2584. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1815.2022.07.003.
- ZHU Hongzhou, TAN Qiqi, YANG Xiaosi, et al. Research status and prospect of fiber modified asphalt mixture performance [J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(7): 2573-2584. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1815.2022.07.003.
- [14] 马峰, 李永波, 傅珍, 等. 复合纤维沥青混合料路用性能研究 [J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2020, 39(1): 157-163. DOI: 10.16186/j.cnki.1673-9787.2020.1.20.
- MA Feng, LI Yongbo, FU Zhen, et al. Study on road performance of composite fiber asphalt mixture [J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 2020, 39(1): 157-163. DOI: 10.16186/j.cnki.1673-9787.2020.1.20.
- [15] 王发洲, 张运华, 刘小星. 混杂纤维增强沥青混合料的性能研究 [J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2008, 23(2): 71-74. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9102.2008.02.016.
- WANG Fazhou, ZHANG Yunhua, LIU Xiaoxing. Performance of hybrid fiber reinforced asphalt mixture [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2008, 23(2): 71-74. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9102.2008.02.016.
- [16] 彭建湘. 玄武岩纤维长度对 SMA-13 各项性能的影响研究 [J]. 湖南交通科技, 2022, 48(3): 33-37. DOI: 10.3969/j.issn.1008-844X.2022.03.007.
- PENG Jianxiang. Study on effect of basalt fiber length on the properties of SMA-13 asphalt mixture [J]. Hunan Communication Science and Technology, 2022, 48(3): 33-37. DOI: 10.3969/j.issn.1008-844X.2022.03.007.
- [17] 展宏图, 柳力. 玄武岩纤维/橡胶复合改性沥青胶浆路用性能研究 [J]. 中外公路, 2020, 40(1): 253-257. DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2020.01.051.
- ZHAN Hongtu, LIU Li. Study on mucilage performance of modified asphalt composited with basalt fiber/rubber [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2020, 40(1): 253-257. DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2020.01.051.
- [18] 张宏武. 玄武岩纤维沥青混合料高温性能评价 [J]. 湖南交通科技, 2018, 44(4): 68-70, 73.
- ZHANG Hongwu. High temperature performance evaluation of basalt fiber asphalt mixture [J]. Hunan Communication Science and Technology, 2018, 44(4): 68-70, 73.
- [19] 周志刚, 蔡扬发, 谭军. 聚酯纤维对橡胶改性沥青混凝土性能的影响 [J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2021, 18(2): 1-8. DOI: 10.19951/j.cnki.csldgxbzkb.2021.02.001.
- ZHOU Zhigang, CAI Yangfa, TAN Jun. Effect of polyester fiber on performance of rubber modified asphalt concrete [J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science), 2021, 18(2): 1-8. DOI: 10.19951/j.cnki.csldgxbzkb.2021.02.001.
- [20] 周志刚, 谭军, 李雪莲. 纤维改性橡胶沥青高温稳定性试验研究 [J]. 中外公路, 2007, 27(6): 171-173. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2579.2007.06.046.
- ZHOU Zhigang, TAN Jun, LI Xuelian. Experimental study on high temperature stability of fiber modified rubber asphalt [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2007, 27(6): 171-173. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2579.2007.06.046.
- [21] 王翠宏. 玄武岩纤维与布顿岩沥青复合改性沥青混合料性能及改性机理 [J]. 公路工程, 2018, 43(1): 102-109. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0610.2018.01.019.
- WANG Cuihong. Study on performance and modification mechanism of basalt fiber and Burton rock asphalt compound modified asphalt mixture [J]. Highway Engineering, 2018, 43(1): 102-109. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0610.2018.01.019.

Pavement performance of BK-10 mixtures modified with different fibers and asphalts

GUAN Hongxin¹, YU Kaihui¹, XU Yingjie¹, YAN Huawen^{1,2}, YANG Tao³, LI Bing⁴

(1.School of Traffic & Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;
2. Shandong Academy of Transportation Research, Jinan 250102, China; 3. HNCEG Communications Construction Co., Ltd.,
Changsha 410004, China; 4. Foshan Highway & Bridge Construction Co., Ltd., Foshan 528042, China)

Abstract: [Purposes] This study explored the optimal type of asphalts and fibers used in producing the semi-open graded asphalt mixture with the target voids of 13%, in order to improve the pavement performance of the mixture and achieve the balance between functionality and durability. [Methods] The semi-open graded asphalt mixture prepared by 8 different kinds of asphalts, fibers and mineral powder was selected. Laboratory tests were carried out to test the pavement performance of each mixture such as high-temperature stability, low-temperature crack resistance and water stability, and the influence of the asphalt, fiber and mineral powder on the pavement performance of asphalt mixture was analyzed. Based on the surface energy theory, dynamic shear rheological test and ductility test, the improving mechanisms of the composite asphalt and hybrid fiber were further analyzed and demonstrated. [Findings] The adhesion of the composite asphalt and aggregate was the strongest, and the bonding ability of the hybrid fiber and asphalt mortar was the best. [Conclusions] 5% styrene-butadiene-styrene (SBS), 15% rubber powder modified asphalt and hybrid fiber (lignin fiber and basalt fiber with the mass ratio of 1:1) can provide the best pavement performance for the semi-open graded asphalt mixture.

Key words: road engineering; semi-open graded asphalt mixture; hybrid fiber; composite asphalt; pavement performance

Manuscript received: 2022-04-01; **revised:** 2022-05-05; **accepted:** 2022-05-05

Foundation item: Project (52078062) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (2020JJ4604) supported by Natural Science Foundation of Hunan Province

Corresponding author: GUAN Hongxin (1974—) (ORCID: 0000-0001-7264-7469), male, professor, research interest: pavement structure and materials. E-mail: guanhongxins@163.com

(责任编辑:刘平;校对:石月珍;英文编辑:李岳林)