

基于不同纤维改性的 OGFC - 13 沥青混合料路用性能研究

陈良锐, 尹晓桐

(中机中联工程有限公司, 重庆 400041)

摘要: 纤维沥青利用纤维的改性作用改善混凝土材料的路用性能。为探究 OGFC - 13 沥青混合料在各类纤维不同体积掺量条件下的路用性能表现, 本文特制备聚丙烯腈纤维、聚酯纤维、木质素纤维、玄武岩纤维 4 种纤维外掺剂的沥青混合料进行路用性能试验。研究结果表明: 1) OGFC - 13 沥青混合料随纤维掺量的增加, 其动稳定度不断增长, 当各种纤维掺量超过 0.3% 时, 动稳定度呈下降趋势; 2) 当纤维体积掺量为 0.3% 时, 含玄武岩纤维的沥青混合料动稳定度为 3 252 次/mm, 高温稳定性表现最佳; 3) 当聚酯纤维与玄武岩纤维掺量为 0.2% 时, 沥青混合料低温最大弯拉应变相同, 为 2 834, 但聚酯纤维在纤维沥青混合料低温抗裂性能方面的作用存在不稳定性; 4) 掺入纤维材料的 OGFC - 13 沥青混合料排水性能呈下降趋势, 尤其是木质纤维对渗透系数的影响最大, 当掺量为 0.2% 时, 渗水系数由 1 154 ml/s 陡降至 635 ml/s, 降幅达到 44.97%; 5) 综合来看, 玄武岩纤维在 OGFC - 13 沥青混合料中的改性效果最佳, 但其掺量体积分数应控制在 0.3% 以内。本文成果可为温拌沥青薄层罩面的工程应用提供一点借鉴。

关键词: OGFC - 13 沥青混合料; 纤维掺量; 沥青混合料路用性能; 物理试验

中图分类号: U414

文献标识码: A

文章编号: 1673 - 8993(2024)01 - 0057 - 05

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.01.011

Research on road performance of OGFC - 13 asphalt mixture based on different fiber modifications

CHEN Liangrui, YIN Xiaotong

(CMCU Engineering Co., Ltd., Chongqing 400041, China)

Abstract: Through fiber modification of fiber asphalt, the road performance of concrete materials can be improved. In order to explore the road performance of OGFC - 13 asphalt mixture under different volume contents of various fibers, 4 kinds of asphalt mixtures as polyacrylonitrile fiber, polyester fiber, lignin fiber and basalt fiber are specially prepared for road performance test. The results show that: 1) The dynamic stability of OGFC - 13 asphalt mixture increases with the increase of fiber contents, and when the fiber contents of various fibers exceed 0.3%, the dynamic stability shows a downward trend; 2) When the fiber volume content is 0.3%, the dynamic stability of the asphalt mixture containing basalt fiber is 3 252 times/mm, and the high temperature stability is the best; 3) When the content of polyester fiber and basalt fiber is 0.2%, the maximum tensile strain of asphalt mixture at low temperature is the same, which is 2 834, but the role of polyester fiber in the low temperature crack resistance of fiber asphalt mixture is unstable; 4) The drainage performance of OGFC - 13 asphalt mixture mixed with fiber material shows a downward trend, especially the wood fiber has the greatest influence on the permeability coefficient, when the content is 0.2%, the water permeability coefficient drops sharply from 1 154 ml/s to 635 ml/s, a decrease of 44.97%; 5) On the whole, the modification effect of basalt fiber in OGFC - 13 asphalt mixture is the best, but its content volume fraction should be controlled within 0.3%. The results can provide a certain reference for the engineering application of warm mix asphalt with thin layer covering.

Key words: OGFC - 13 asphalt mixture; fiber content; road performance of asphalt mixture; physical test

收稿日期: 2023 - 03 - 30

作者简介: 陈良锐(1992—), 男, 工程师, 从事道路交通设计工作。

OGFC(open graded friction course)沥青混合料因其特有的排水、降噪等优良特性,在现状道路病害处置中应用较为广泛,但因其空隙结构较大,混合料内部结构的稳定性和整体性能并不能得到保证,在旧路罩面处置中的使用寿命一般较短。研究发现,通过添加纤维材料的方式对 OGFC 沥青混合料进行改性处理,可以达到减少后期病害、增加路面使用寿命的目的^[1]。李华微^[2]对比分析了两种纤维外加剂对 OGFC-13 的路用性能的影响,从抗滑性能的角度分析发现,聚酯纤维的效果更优;王玉林等^[3]探究了木纤维掺量对再生 OGFC 沥青混合料路用性能的影响,并给出了引入废弃混合料的再生 OGFC 沥青混合料的木纤维最佳掺量;李俊峰等^[4]对比分析了高黏剂与玄武岩纤维对沥青混合料路用性能的影响研究,发现玄武岩掺量为 3% 时,OGFC-13 沥青混合料高温、水稳及抗疲劳性能最佳。为探究 OGFC 沥青混合料与不同纤维的适配程度,及其最佳体积掺量,本文通过制备不同纤维及不同体积掺量的沥青试件进行材料力学性能试验,基于纤维改性原理,分析纤维改性作用对沥青混合料路用性能的影响,并结合实际工程检测,探究最佳掺量条件下的 OGFC-13 沥青混合料各项评价指标,为类似工程提供指导意义。

1 纤维改性机制

由于纤维材料比表面积较大,在沥青混合料中,沥青质附着于外掺纤维表面上,使之形成密致网状结构,从微观上讲,细小的外掺纤维均匀无序地分布在沥青质中,通过吸附作用形成结构沥青网^[6];从宏观上来看,沥青混合料的整体黏性得到了显著提高,其路用性能得到明显改善。另一方面,纤维的交错分布,将沥青混合料内部的细微裂缝进行修补,即使沥青内部存在细小连续的裂缝,纤维材料仍能保持沥青结构的整体性能,增加沥青混合料使用寿命。

1.1 纤维沥青混合料黏度表现

剪切模量是反应黏弹性材料抗变形能力的重要参数,对于复合材料剪切模量,可通过黏度 η_c 来表征,对于纤维-沥青复合材料,可根据爱因

斯坦黏度理论^[7]得到复合材料黏度表达关系式,具体如下。

$$\eta_c = \eta_m (1 + K_e V_f) \quad (1)$$

式中: η_m 为混合料中沥青质黏度; K_e 为纤维系数,通过试验确认; V_f 为纤维体积掺量。

由式(1)可知:相比纯沥青混合料,纤维混合材料黏度更高,具体黏度与纤维掺量及纤维类型相关;掺入纤维材料后,沥青质黏度提高的作用结果仅与纤维材料本身有关^[7]。

1.2 纤维沥青混凝土弹模表现

同纤维混合料黏度表现类似,沥青混合料在增加纤维材质后,其混凝土弹性模量将发生改变,纤维增韧的结果会使混凝土内部结构发生明显变化^[8],纤维沥青混凝土复合弹性模量 G 表达形式如式(2)所示。

$$G = G_f \varphi_f + G_m (1 - \varphi_f) \quad (2)$$

式中: G_f 、 φ_f 分别为纤维材料的弹性模量和掺量体积分数; G_m 为沥青混合料弹性模量。

1.3 纤维沥青混凝土低温开裂表现

沥青混合材料低温开裂表现主要通过复合材料的抗拉强度进行体现。在沥青混凝土中掺入纤维材质后,路面结构开始产生强度。在此过程中,沥青质内部会产生微裂缝并分散在结构层中^[8]。根据纤维材料在沥青混合料内部的分散情况,可分为填充纤维和有效纤维两种类型。填充纤维的作用在于改善沥青混合料力学性能,如黏度和弹性模量等。有效纤维是指混凝土因低温产生微裂缝时作用于微裂缝之间的连续纤维。此部分纤维均匀分散在沥青混合料内部,形成均匀的乱向支撑体系,抑制了沥青混合材料低温微裂缝的发生及延展,起到了纤维阻裂效应,提高了沥青混合料低温抗裂性能。

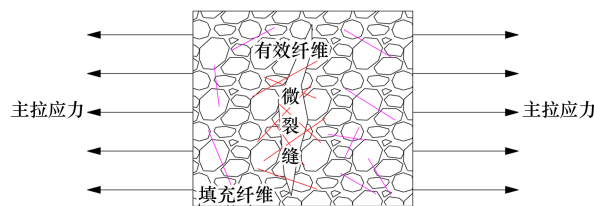


图 1 沥青混合料纤维阻裂效应

2 路用性能试验

为验证不同纤维材质及不同纤维掺量条件下的排水沥青混合料路用性能,特设计不同级配

OGFC-13 沥青混合料为研究对象, 选择最优条件下混合料矿料及配合比设计参数, 并根据规范推荐取值, 获得合成级配筛分结果, 如表 1 所示。经过计算获得最佳油石比为 4.7%。

表 1 合成级配筛分结果(质量分数) %

-0.075 mm	0.075 ~ 0.150 mm	0.15 ~ 0.30 mm	0.3 ~ 0.6 mm	0.60 ~ 1.18 mm	1.18 ~ 2.36 mm	2.36 ~ 4.75 mm	4.75 ~ 9.50 mm	9.5 ~ 13.2 mm	13.2 ~ 16.0 mm
4.7	5.8	6.5	7.5	8.2	10.7	14.3	52.2	86.1	100

根据工程经验, 选取聚丙烯腈纤维、聚酯纤维、木质素纤维、玄武岩纤维 4 种纤维材质作为试验变量, 其中前两种为合成纤维, 后两种为天然纤维材质, 纤维掺量体积分数分别为 0%、0.2%、0.3%、0.4%, 4 种纤维材料物理力学参数如表 2 所示。

表 2 纤维物理力学参数

纤维材质	直径/mm	长度/mm	长径比	抗拉强度/MPa	极限拉伸应变/%	密度/(g·cm ⁻³)
聚丙烯腈纤维	5.120	6.2	383	526	23.0	1.16
聚酯纤维	0.020	6.8	318	725	42±40	0.95
木质纤维	0.045	1.2	24	242	18.0	0.80
玄武岩纤维	0.006	6.3	349	4 253	3.2	2.80

2.1 高温稳定性评价分析

采用标准成型方法制备含不同纤维及不同体积掺量的 300 mm×300 mm×50 mm 标准试件, 在 60℃ 条件下施加 0.7 MPa 车轮荷载, 记录不同试件车辙动稳定度变化情况, 结果如图 2 所示。

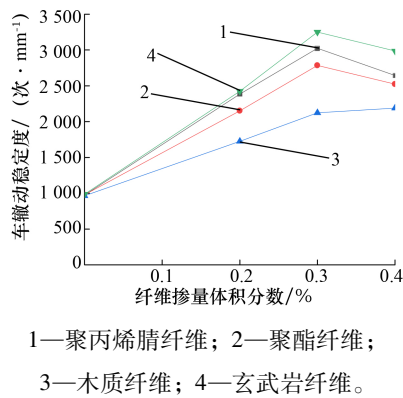


图 2 不同纤维 OGFC-13 混合料车辙稳定度变化

由图 2 可知: OGFC-13 沥青混合料在不同纤维掺量条件下的车辙稳定度变化规律具有一致性, 整体表现为随纤维掺量增加, 车辙动稳定度呈增长趋势。当纤维掺量超过 0.3% 时, 除木质纤维 OGFC 混合料动稳定度持续少量增长外, 其他 3 种纤维掺量条件下的沥青混合料高温稳定性能均呈现下降趋势。表明纤维体积掺量在沥青混合料中存在上限值, 超过后, 沥青混合料内部的骨架-空隙结构发生改变, 其性能反而降低。当纤维掺量为 0% 时, 动稳定度为 983 次/mm, 同体积分数掺量条件下,

玄武岩纤维对 OGFC-13 沥青混合料高温性能的改性效果最佳, 其最佳掺量为 0.3%。

2.2 低温抗裂性评价分析

采用标准成型方法制备含不同纤维及不同体积掺量的 250 mm×30 mm×35 mm 的棱柱体小梁若干, 在试验温度为 -10℃ 的情况下进行低温抗裂性能检测。试验过程中, 以试件破坏时的最大弯拉应变指标作为评价标准, 试验结果如图 3 所示。

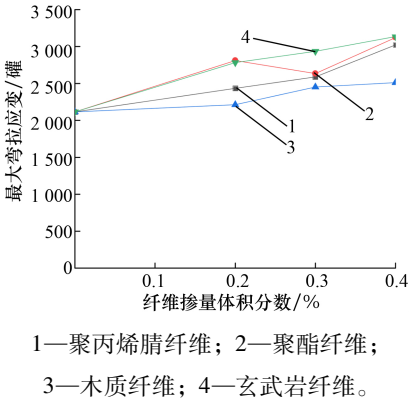


图 3 不同纤维 OGFC-13 混合料低温弯曲试验结果

由图 3 可知: 当聚酯纤维与玄武岩纤维掺量为 0.2% 时, 沥青混合料低温最大弯拉应变几乎相同, 其中玄武岩纤维随纤维体积掺量的增加, OGFC-13 沥青混合料最大弯拉应变持续增长, 当体积分数为 0.2% 时, 最大弯拉应变为 2 834, 当体积分数为 0.4% 时, 最大弯拉应变增大至 3 023, 增长率为 17%。这表明玄武岩纤维在沥青混合料

低温抗裂性能方面的改性效率是持续增长的。除聚酯纤维外,其他纤维在掺入 OGFC-13 沥青混合料后,其低温抗弯拉变形能力均呈现增长趋势,但聚酯纤维在掺量为 0.3% 时,最大弯拉应变降至 2 635,较掺量为 0.2% 时下降了 6.2%,继续增大纤维体积掺量至 0.4% 时,最大弯拉应变继续增长至 3 122,超过了同掺量条件下的玄武岩纤维改性 OGFC-13 沥青混合料最大弯拉应变。综上,聚酯纤维在纤维沥青混合料低温抗裂性能方面的作用存在不稳定性,是聚酯纤维极限拉伸应变的不确定性所导致^[10-11]。因此,在实际工程应用中,应当对聚酯纤维进行单独试验研究,确保纤维改性后的沥青路用性能稳定。

2.3 排水渗透性能评价分析

对于大空隙率的 OGFC-13 沥青混合料而言,其排水性能是工程应用过程中需要体现的重要因素。传统沥青混合料排水性能评价指标是通过渗水试验进行测定,量化指标为路面结构渗水系数,渗水系数越大,表明路面排水性能越好。利用改进后的路面排水性能试验设备(图 4)^[10],测定不同纤维改性条件下的 OGFC-13 沥青混合料排水性能,试验结果如图 5 所示。

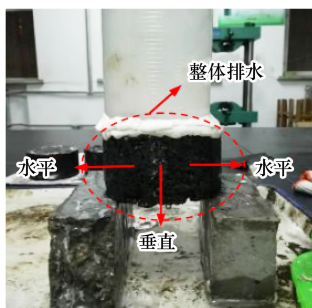
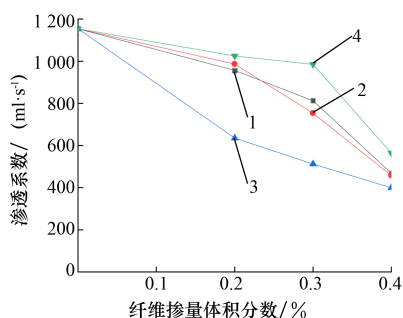


图 4 改进后的路面三向排水试验装置



1—聚丙烯纤维; 2—聚酯纤维;
3—木质纤维; 4—玄武岩纤维。

图 5 不同纤维 OGFC-13 混合料排水性能试验结果

由图 5 可知;掺入纤维材料的 OGFC 沥青混合料排水性能呈现下降趋势,但不同纤维材料改性后的大空隙率沥青材料排水性能表现存在较大差异。当木质纤维材料掺量为 0.2% 时,渗水系数由 1 154 ml/s 陡降至 635 ml/s,降幅达到 44.97%,继续增加木质纤维体积掺量,渗透系数持续下降。其他纤维掺入后的 OGFC 沥青混合料渗透系数也呈下降趋势,同掺量条件下,玄武岩纤维改性后的沥青混合料渗透系数最高。当玄武岩纤维掺量为 2% 时,渗透系数为 1 125 ml/s,降低了 11.17%,当掺量为 0.3% 时,渗透系数为 1 025 ml/s,当掺量增加至 0.4% 后,OGFC-13 沥青混合料渗透系数下降至 605 ml/s,该值已不能满足大空隙率沥青混合料排水性能需求。根据纤维改性原理分析,纤维的掺入一方面改变了沥青混合料物理力学性能,同时也在一定程度上将原有空隙结构进行了缝合,纤维之间的毛细吸水作用会降低纤维沥青混合材料渗透系数,尤其是木质纤维^[12]。

综上所述,纤维材料掺入 OGFC 沥青混合料后,其高温稳定性和低温抗裂性均能在一定程度上得到改善,但同时也会降低其排水性能。综合以上 3 项指标数据分析结果,玄武岩纤维在 OGFC-13 沥青混合料中的改性效果最佳,掺量体积分数应控制在 0.3% 以内。

3 工程应用

成都市双流区广履路工程道路全长为 1 188 m,红线宽度为 16 m,车行道宽度为 10 m,设计时速为 30 km/h,双向两车道布置,道路等级为城市支路。广履路现状路面因常年碾压,存在局部路面网裂病害。根据路面调查快报结果显示,现状广履路路面结构层为 7 cm 沥青混凝土面层+27 cm 水泥稳定碎石基层,路基为砂砾石填料,现状结构稳定。采用 OGFC-13 薄层罩面进行修复处理,罩面厚度为 4 cm,选用体积分数为 0.3% 的玄武岩纤维对排水沥青混合料进行改性处理,其物理力学参数如表 2 所示,路面摊铺完成后现场效果如图 6 所示。

施工完成后,对路面进行局部采样,测定摊铺厚度、压实度等各项物理指标,室内试验分析结果如表 3 所示。由表 3 可知:各项路用性能参数均能满足设计要求,并有足够的性能储备。



图6 广履路 OGFC-13 罩面施工效果

表3 纤维 OGFC-13 路面检测结果

检测项目	桩号方位	试验结果	平均值	技术要求 ^[13]
压实度/%	K0+115 左侧	98.9	99.0	≥98.0
	K0+115 右侧	99.1		
厚度/mm	K0+115 左侧	44.1	46.65	≥40
	K0+115 右侧	49.2		
摆式摩擦系数	K0+115 左侧	60.5	60.65	≥58
	K0+115 右侧	61.8		
渗水系数/(ml·s ⁻¹)	K0+115 左侧	952	924	≥800
	K0+115 右侧	896		
构造深度	K0+115 左侧	1.65	1.67	≥1.5
	K0+115 右侧	1.67		

(1) 车辙试验结果显示,随着纤维掺量的增加,OGFC-13 沥青混合料动稳定度不断增长,当各种纤维掺量超过 0.3% 后,动稳定度呈现下降趋势,当掺量不大于 0.3% 时,玄武岩纤维对沥青混合料高温稳定性的改性效果最佳。

(2) 当聚酯纤维与玄武岩纤维掺量为 0.2% 时,沥青混合料低温最大弯拉应变相同,但聚酯纤维在纤维沥青混合料低温抗裂性能方面的作用存在不稳定性。

(3) 掺入纤维材料的 OGFC 沥青混合料排水性能呈现下降趋势,尤其是木质纤维对渗透系数的影响最大;玄武岩纤维在 OGFC-13 沥青混合料中的改性效果最佳,但其掺量体积分数应控制在 0.3% 以内。

参考文献:

[1] 张凌云,金成,贾小龙,等. 基于 AC-13 沥青混凝土的贝雷法级配设计研究[J]. 公路,2018,63(11):105-109.

[2] 李华微. 玄武岩纤维和聚酯纤维对 OGFC-13 路用性能研究[J]. 石油沥青,2018,32(3):52-55.

[3] 王玉林,卢东,徐宁. 木质素纤维对再生透水沥青混合料路用性能研究[J]. 公路,2021,66(2):52-56.

[4] 李俊峰,李文凯,李正强,等. 玄武岩纤维排水高黏沥青

4 结 论

为探究不同纤维材质在不同体积掺量条件下对 OGFC-13 沥青混合料路用性能表现的影响,本文制备聚丙烯腈纤维、聚酯纤维、木质素纤维、玄武岩纤维 4 种纤维外掺剂的沥青混合料进行路用性能试验,得到以下结论。

混合料性能研究[J]. 公路交通科技,2022,39(9):1-8.

[5] 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(6):5-7.

[6] 刘福明,吴迪,何庆德,等. 纤维稳定剂对排水沥青混合料抗水温循环损伤能力的影响[J]. 中外公路,2023,43(1):194-198.

[7] 李俊峰,李文凯,李正强,等. 玄武岩纤维排水高黏沥青混合料性能研究[J]. 公路交通科技,2022,39(9):1-8.

[8] 任青阳,张勇,许虎,等. 砂浆中聚丙烯纤维掺量对预应力锚杆锚固性能影响研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2020,42(6):61-67.

[9] 袁祖光,梁维广,吴飞富,等. 不同纤维对新型生态排水沥青混合料性能影响评价[J]. 硅酸盐通报,2020,39(11):3719-3727.

[10] 高桂海,熊梅,钱波. 不同外掺纤维增强排水沥青混合料性能研究[J]. 中外公路,2019,39(6):182-187.

[11] 程庆庆,李泽,邵培柳. 聚酯纤维沥青混凝土抗冻融损伤性能研究[J]. 公路,2022,67(12):82-87.

[12] 成子桥,盛峰,侯利军,等. 玄武岩纤维掺量对大空隙沥青混合料路用性能的影响[J]. 材料科学与工程学报,2021,39(5):736-744.

[13] 排水沥青路面设计与施工技术规范:JTG/T 3350-03—2020[S]. 北京:人民交通出版社,2020.