

# 玻璃纤维改性排水沥青混合料路用性能分析

高颖,朱玉凤,和燕超,郭庆林

(河北工程大学土木工程学院,河北邯郸056107)

**摘要** 目的 研究玻璃纤维对排水沥青混合料路用性能的改善效果,确定玻璃纤维掺量与排水沥青混合料路用性能的规律. 方法 利用马歇尔试验、间接拉伸试验以及冻融劈裂试验评价排水沥青混合料的高温稳定性、中低温抗裂性以及水稳定性. 结果 玻璃纤维掺量为0.2%时高黏排水沥青混合料高温稳定性较好,玻璃纤维掺量为0.4%时中低温抗裂性能和水稳定性较好. 基质排水沥青混合料中玻璃纤维掺量为0.2%时高温稳定性、中低温抗裂性以及水稳定性均达到最佳. 结论 掺加玻璃纤维可以显著提高排水沥青混合料的路用性能. 玻璃纤维掺入改性排水沥青混合料具有明显的增强效果.

**关键词** 玻璃纤维;排水沥青混合料;高黏沥青;路用性能

中图分类号 TU416.217

文献标志码 A

## Performance of Pavement with Drainage Asphalt Mixture Modified by Glass Fiber

GAO Ying, ZHU Yufeng, HE Yanchao, GUO Qinglin

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, China, 056107)

**Abstract:** The effect of glass fiber on the performance of pavement with drainage asphalt mixture was studied to determine glass fiber content and its effect on road performance. The high temperature stability, middle and low temperature crack resistance and water stability of asphalt mixture were evaluated by Marshal test, indirect tensile test and freeze-thaw split test. The results show that when the content of glass fiber is 0.2%, the high viscosity asphalt mixture has better high temperature stability, and when that is 0.4%, the crack resistance and water stability of medium and low temperature are better. While the high temperature stability, medium and low temperature crack resistance and water stability of matrix asphalt mixture are the best when the glass fiber content is 0.2%. The road performance of drainage asphalt mixture added glass fiber can be significantly improved. Glass fiber mixed with modified drainage asphalt mixture has obvious enhancement effect.

收稿日期:2020-04-13

基金项目:国家自然科学基金项目(51908178);国家重点研发计划项目(2018YFF0300200);河北省自然科学基金项目(E2018402206);河北省教育厅青年拔尖人才计划项目(BJ2017034)

作者简介:高颖(1977—),女,副教授,主要从事道路工程材料方面研究.

**Key words:** glass fiber; drainage asphalt mixture; high viscosity modified asphalt; road performance

排水沥青混凝土路面属于开级配沥青磨耗层(OGFC)具有较大空隙率,可将渗入面层的水分直接排出,提高路面的抗滑能力,减少由降雨引起的溅水和水雾现象,提高可视度,利于行车安全<sup>[1-2]</sup>. 由于其多孔的特点,沥青膜受外界影响比较大,容易产生车辙、剥落、水损害等破坏. 要求使用的沥青对集料有较高黏附性及较强的抗剥离性,能以较厚的沥青膜包裹集料<sup>[3-4]</sup>. 纤维在沥青混合料中具有加筋和增韧功能,可增强对集料颗粒的握裹力,保证沥青路面的整体性而不易松散<sup>[5]</sup>. 而玻璃纤维具有价格低廉、取材方便、耐热性强等优点,将其掺入沥青混合料不仅能够改善混合料性能还可以节约成本<sup>[6]</sup>. 蔡俊华<sup>[7]</sup>、沈楸<sup>[8]</sup>、朱春风等<sup>[9]</sup>研究了玻璃纤维对沥青混合料路用性能的影响,结果表明掺加适量的玻璃纤维可显著提高沥青路面的路用性能. F. Morea 等<sup>[10]</sup>认为在沥青混合料中掺加玻璃纤维,可使混合料低温、中温抗裂能力增强,抗车辙能力也有显著提高. WU Shaopeng 等<sup>[11]</sup>对玻璃纤维改性沥青混合料的性能进行了研究,结果表明玻璃纤维对弯曲强度无显著影响,但弯曲破坏应变随玻璃纤维的增加而增大. 且玻璃纤维显著改善了混合料的抗车辙性能. A. NAJD 等<sup>[12]</sup>应用断裂潜能和临界应力强度因子的概念,研究了在开裂的沥青路面上加铺沥青面层时的抗裂性能,加入玻璃纤维能有效地提高沥青混合料稳定度,改善沥青混凝土的高温抗变形能力. 但在沥青混合料中加入过多纤维会使矿粉分散于沥青纤维之中,导致沥青纤维无法

压实,加入过少纤维不能充分发挥纤维的加筋作用,因此确定纤维在沥青混合料中的最佳掺量尤为重要<sup>[13]</sup>. 高黏改性沥青具有较大的黏度,黏结作用强,可显著改善排水沥青混合料的性能<sup>[14]</sup>. 熊子佳等<sup>[15]</sup>研究了日本高黏改性剂(TPS)对沥青及 OGFC 混合料性能的影响,TPS 能给予混合料更大的黏附性. 徐世国等<sup>[1]</sup>对自主研发的 SINO TPS 高黏沥青混合料研究发现高黏改性剂可使混合料高温稳定性、低温抗裂性及耐久性有较大改善. ZHANG Mingming<sup>[16]</sup>、程成等<sup>[17]</sup>对添加高黏改性剂的沥青混合料路用性能研究表明,在沥青混合料中添加国产高黏改性剂可大大提高混合料的高温稳定性和低温抗裂性. 李俊等<sup>[18]</sup>对不同高黏剂在多孔沥青混合料中的应用进行了对比,发现高黏剂可提高混合料的路用性能. 笔者选用玻璃纤维,将其掺入高黏排水沥青混合料和基质排水沥青混合料中,通过马歇尔试验、半圆弯拉试验、间接拉伸试验和冻融劈裂试验确定玻璃纤维掺量与基质和高黏排水沥青混合料路用性能的规律.

## 1 试 验

### 1.1 试验原材料

试验采用的基质沥青为 AH-70#沥青、高黏改性沥青是由 15% TPS 改性剂与 85% 的 AH-70#沥青剪切而成,纤维选用 12 mm 玻璃纤维. 其中 AH-70#沥青的具体性能指标与《重交通道路石油沥青标准》(GB T 15180—2010)中的要求对比如表 1 所示. 玻璃纤维物理特性指标如表 2 所示.

表 1 AH-70#沥青的性能指标  
Table 1 Base asphalt performance index

数值来源	针入度/ (25 ℃, 0.1 mm)	针入度指数	软化点/℃	动力黏度/ (Pa·s)	延度/ (15 ℃, cm)	含蜡量/%	闪点/%
实际值	68	-0.76	48	215	>100	1.8	285
规范要求	60~80	-1.5~1	>45	>180	>100	<2.2	>260

表 2 玻璃纤维的物理特性

Table 2 Physical properties of glass fiber

直径/ $\mu\text{m}$	密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	抗拉强度/ $\text{MPa}$	弹性模量/ $\text{GPa}$	断裂伸长率/%
5~8	2.5~2.7	1 000~3 000	65~86	2.7~5.3

1.2 混合料配合比设计

(1)集料级配设计

依照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004),试验所用沥青混合料矿料级配为 OGFC-13 型,矿料级配如图 1 所示。

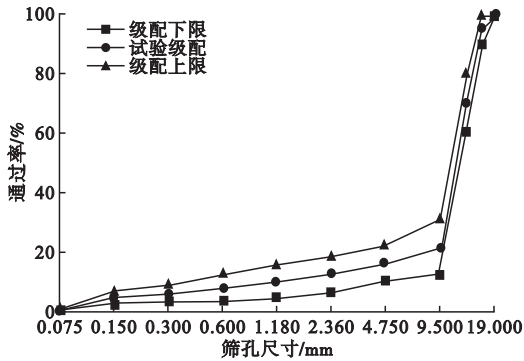


图 1 OGFC-13 级配曲线图

Fig. 1 OGFC -13 Selected gradation in experiment

(2)最佳油石比

为了满足沥青混凝土路面使用要求,根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011) 计算初始沥青用量为 4.8%. 利用体积法测得混合料毛体积相对密度和理论相对密度,并计算空隙率,通过马歇尔试验得出最佳沥青用量为 5.2%.

1.3 试验方法

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011) 要求对不同玻璃纤维掺量的混合料采用标准击实法成型试件,玻璃纤维掺量分别为 0、0.2%、0.4%、0.6%. 采用马歇尔试验的稳定度和流值来评价混合料的高温稳定性. 采用间接拉伸试验的破坏拉伸应变、劈裂强度和破坏劲度模量评价混合料的低温抗裂性能,试验温度为  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,加载速率为  $1\text{ mm/min}$ . 采用冻融劈裂试验的冻融劈裂强度比评价混合料的水稳定性,试验温度为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,加载速率为

$50\text{ mm/min}$ .

对于中温抗裂性能,采用大型击实法成型试件,利用半圆弯拉试验进行评价. 试件直径为  $150\text{ mm}$ ,支座间距为  $120\text{ mm}$ ,切口长度为  $10\text{ mm}$ ,在  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下利用万能试验机以  $50\text{ mm/min}$  速率对其指标进行测定. 根据参考文献[19-20],计算断裂能、层底最大抗拉强度、层底最大抗拉应变. 半圆弯拉试验如图 2 所示.



图 2 半圆弯拉试验

Fig. 2 Semi-circular bending test

2 结果与分析

2.1 高温稳定性

对不同玻璃纤维掺量下的基质排水沥青混合料和高黏排水沥青混合料进行马歇尔试验,测得稳定度和流值(见图 3). 从图 3 可知,随着玻璃纤维掺量从 0% 增加到 0.6%,基质沥青与高黏沥青混合料的稳定度都呈先升高后下降的趋势,流值则相反. 当玻璃纤维掺量为 0.2% 时,基质沥青混合料和高黏沥青混合料稳定度达到最大值,流值最小;当玻璃纤维掺量超过 0.2% 时,混合料的稳定度开始下降,流值上升. 这是因为玻璃纤维掺量较小时,纤维均匀分散在混合料中,沥青胶浆变稠,增强沥青胶浆的吸附性,对混合料的稳

定性起到改善作用,当纤维掺量达到饱和后,纤维在混合料中分散不均匀,容易出现结团现象,使混合料的高温稳定性变差.玻璃纤维掺量从0.4%增加到0.6%时,基质沥青混合料的流值急剧上升,说明纤维掺量过多时,基质沥青混合料的稳定性下降明显.在相同玻璃纤维掺量下,高黏沥青混合料的高温性能较基质沥青好.

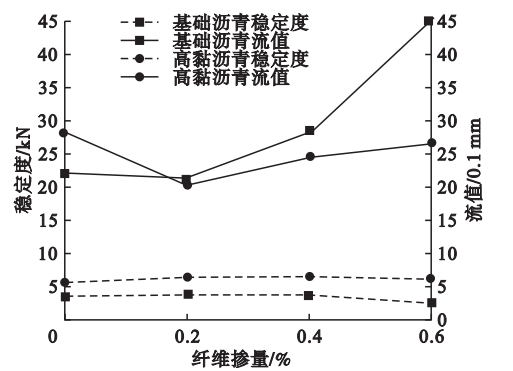


图3 不同玻璃纤维掺量下的稳定度和流值变化

Fig. 3 Variation of stability and flow value of different glass fiber content

2.2 中温性能

对不同玻璃纤维掺量下的基质排水沥青混合料和高黏排水沥青混合料进行半圆弯拉试验.断裂能、层底抗拉强度、层底抗拉应变如图4所示.

从图4(a)可知,在相同玻璃纤维掺量下,高黏沥青混合料断裂能普遍大于基质沥青混合料,这是因为高黏改性剂增强了沥青的黏结性能,使沥青与集料较好的黏附在一起,使混合料抵抗裂缝开展所需的能量增加.基质沥青混合料和高黏沥青混合料的断裂能随着玻璃纤维掺量的改变而变化,说明玻璃纤维对混合料的抗裂性能有很大影响.玻璃纤维掺量分别为0.2%、0.4%时,基质沥青混合料和高黏沥青混合料的断裂能分别达到最大值2.513 J/mm<sup>2</sup>、3.186 J/mm<sup>2</sup>,比未掺加玻璃纤维的混合料提高了49%、31%,因为玻璃纤维具有一定的抗拉强度和断裂延伸率,使沥青混合料承受变形的能力增强.随着

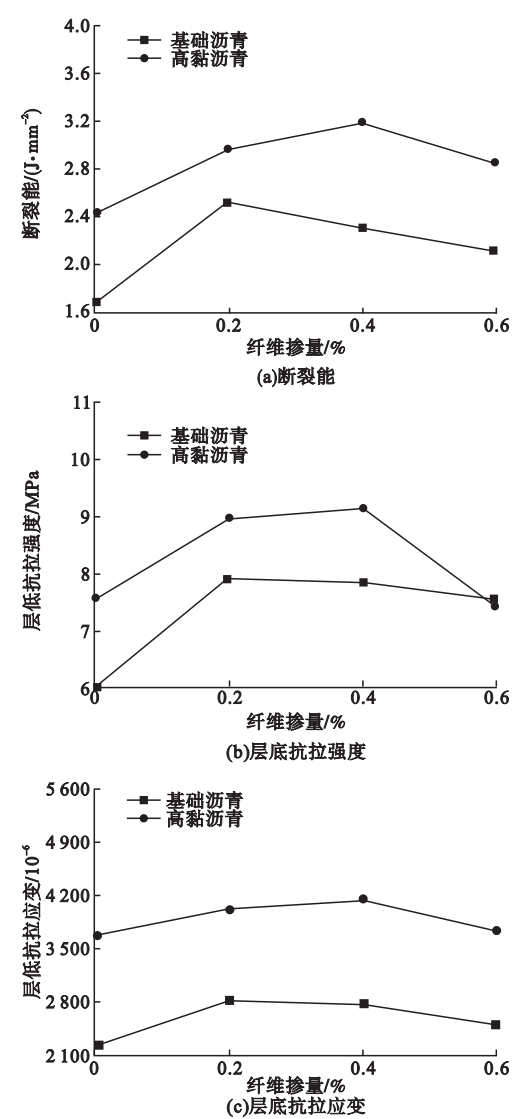


图4 不同玻璃纤维掺量下半圆弯拉试验结果

Fig. 4 Results of semi-circular bending test with different glass fiber content

玻璃纤维掺量的继续增加,断裂能逐渐下降,基质沥青混合料和高黏沥青混合料抗开裂的能力逐渐减弱.从图4(b)、图4(c)可知,随着玻璃纤维掺量的增加,基质沥青混合料和高黏沥青混合料的层底抗拉强度和层底抗拉应变先上升后下降.玻璃纤维掺量为0.2%时,基质沥青混合料层底抗拉强度和层底抗拉应变达到最大;纤维掺量为0.4%时,高黏沥青混合料层底抗拉强度和层底抗拉应变最大,较未掺加玻璃纤维的混合料分别提高了18.8%和13.8%,这是因为玻璃纤维均匀分

散在沥青混合料中,具有增强和加筋功能,使混合料的抗裂性能增强.

由图4可知,玻璃纤维掺量为0.4%时,高黏沥青混合料的中温抗裂性最佳,玻璃纤维掺量为0.2%时,基质沥青混合料的抗裂性能最好.且在相同玻璃纤维掺量下,高黏沥青混合料的抗裂性能优于基质沥青混合料.

2.3 低温性能

对不同玻璃纤维掺量下的基质排水沥青混合料和高黏排水沥青混合料进行间接拉伸试验.破坏拉伸应变、劈裂强度、破坏劲度模量如图5所示.

从图5(a)可知,当玻璃纤维掺量不大时,随着纤维掺量的不断增加,基质沥青混合料和高黏沥青混合料的破坏拉伸应变不断提高,纤维掺量为0.2%、0.4%时,基质沥青混合料和高黏沥青混合料分别达到最大值,分别是未参加玻璃纤维混合料的2.1倍、1.65倍.说明玻璃纤维的掺加对混合料的低温性能有较大改善,因为玻璃纤维自身硬度大,有一定的断裂延伸率和较高的弹性模量,在沥青混合料中掺加一定的玻璃纤维,玻璃纤维紧密搭接呈三维空间网状结构,提高了沥青混合料的抗变形能力.掺加玻璃纤维的高黏沥青混合料破坏拉伸应变比基质沥青混合料高,说明高黏改性剂与玻璃纤维复合得到的混合料抗变形能力较纤维基质沥青混合料好.从图5(b)可知,基质沥青混合料和高黏沥青混合料的劈裂强度随着纤维掺量的增加都是先上升后下降,但增长幅度和最佳掺量不同.基质沥青混合料的玻璃纤维最佳掺量在0.2%左右,其劈裂强度较未掺加玻璃纤维的混合料提升了17%;高黏沥青混合料的最佳掺量在0.4%左右.当玻璃纤维掺量从0.4%增加到0.6%的过程中,高黏沥青混合料的劈裂抗拉强度急剧下降,这是因为玻璃纤维掺量过多时,纤维在沥青混合料中分布不均匀,出现抱团现象,降低沥青混合料的低温抗裂性能.从图5(c)可知,掺加玻璃纤维

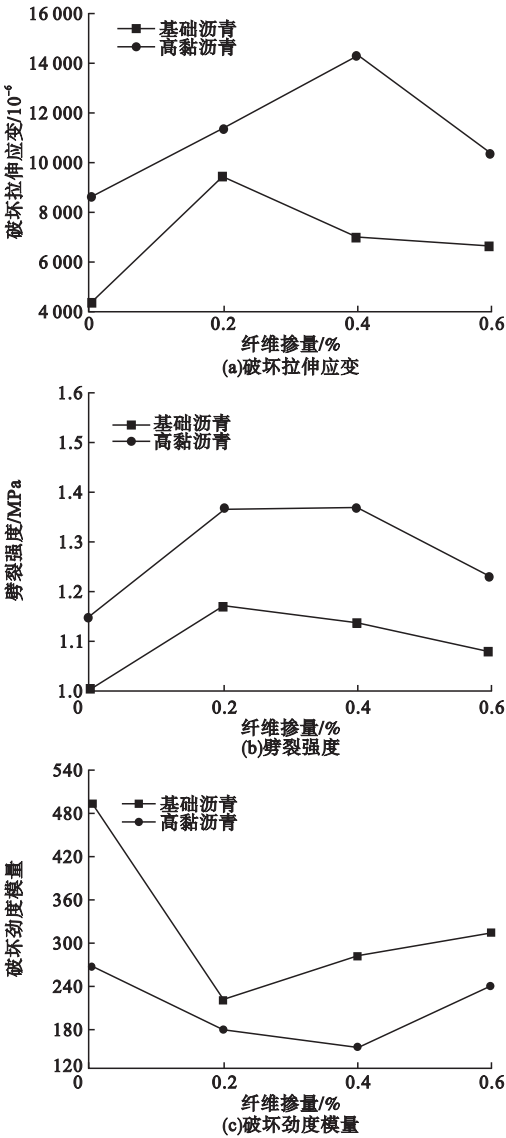


图5 不同玻璃纤维掺量下间接拉伸试验结果  
Fig. 5 Results of indirect tensile tests under different fiber content

对沥青混合料的破坏劲度模量有很大影响,随着纤维掺量的不断增加,沥青混合料的破坏劲度模量呈先下降后上升的趋势.当纤维掺量为0.2%时,基质沥青混合料的破坏劲度模量急剧下降,达到最低值;纤维掺量为0.4%时,高黏沥青混合料的破坏劲度模量最低.说明在玻璃纤维掺量分别为0.2%、0.4%时,基质沥青混合料、高黏沥青混合料的刚度分别达到最小,其韧性增强,提高了沥青混合料抵抗冷缩的能力.

从图 5 可知,玻璃纤维掺量为 0.4% 时的高黏沥青混合料低温性能最好;玻璃纤维掺量为 0.2% 时,基质沥青混合料低温性能最好. 且掺加玻璃纤维的高黏沥青混合料抵

抗低温开裂能力较基质沥青混合料强.

### 2.4 水稳定性

对不同类型的沥青混合料进行冻融劈裂试验,试验结果如表 3 所示.

表 3 沥青混合料冻融劈裂试验结果

Table 3 Experimental results of freeze-thaw split of asphalt mixture

纤维掺量/%	未冻融劈裂强度/MPa		冻融劈裂强度/MPa		冻融劈裂强度比例/%	
	高黏	基质	高黏	基质	高黏	基质
0	0.81	0.68	0.71	0.57	87.65	83.82
0.2	0.85	0.71	0.76	0.63	89.41	88.7
0.4	1.08	0.73	0.97	0.6	89.81	82.19
0.6	0.94	0.59	0.74	0.37	78.72	62.71

从表 3 可知,适量玻璃纤维的加入提高了基质沥青混合料和高黏沥青混合料的水稳定性,且在相同纤维掺量下,高黏沥青混合料冻融前后的劈裂强度比基质沥青混合料高,这是因为高黏改性剂可提高集料与纤维、集料与沥青的黏结度,使沥青、纤维、集料共同作用,增强混合料抗开裂、抗水损能力. 当玻璃纤维掺量为 0.2%、0.4% 时,基质沥青混合料和高黏沥青混合料的冻融劈裂强度比分别达到最大值. 当纤维掺量为 0.6% 时,两种沥青混合料已经不能满足规范《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)要求. 因为适量的玻璃纤维分散在混合料中,吸附大量沥青,使自由沥青减少,结构沥青增多,纤维沥青相与矿料之间的界面效应增强,使混合料饱和度增加,空隙率减小,密实性提高. 当纤维掺量过大时,纤维不能均匀地分散在混合料中,产生抱团现象并吸附大量沥青,使集料表面沥青变少,黏附性变差,抵抗开裂能力变弱,劈裂强度急剧下降. 且随着纤维的不断增加,沥青混合料的空隙率不断增大,进行真空保水时,集料与沥青之间或纤维与沥青之间有水分进入,产生动水压力,黏结力降低,使冻融后的混合料劈裂强度下降,劈裂强度比减小.

## 3 结 论

- (1)掺玻璃纤维可显著提高排水沥青混合料的路用性能.
- (2)玻璃纤维掺量为 0.2% 时,基质排水沥青混合料高温稳定性、中低温抗裂性和水稳定性较其他玻璃纤维掺量的好. 对于高黏排水沥青混合料,玻璃纤维掺量为 0.2% 时,其高温稳定性较其他掺量的好,纤维掺量为 0.4% 时,其中低温抗裂性和水稳定性最好.
- (3)掺加玻璃纤维的高黏排水沥青混合料的高温稳定性、中低温抗裂性及水稳定性较基质排水沥青混合料好.

### 参考文献

[ 1 ] 徐世国,何唯平. 排水沥青混合料高黏改性沥青研究[J]. 公路,2016,61(3):166-170.  
(XU Shiguo, HE Weiping. Research on the high-viscosity modified asphalt of porous asphalt mixture [ J ]. Highway, 2016, 61 ( 3 ) : 166-170. )

[ 2 ] 郝增恒,叶伟,周启伟. 高黏改性沥青 OGFC 混合料的路用性能对比[J]. 筑路机械与施工机械化,2018,35(4):72-76.  
(HAO Zengheng, YE Wei, ZHOU Qiwei. Comparisons on pavement performance of high-viscosity modified asphalt mixture for OGFC [ J ]. Road construction machinery and construction mechanization, 2018, 35 ( 4 ) : 72-76. )

[ 3 ] 朱曼. 高黏度改性沥青性能评价方法与应用研究[D]. 广州:华南理工大学,2015.

- (ZHU Man. The research on performance evaluation method and application of high viscosity modified asphalt [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.)
- [4] 周沛延,程志豪,黎晓,等.高粘改性剂对沥青使用性能的影响研究[J].公路交通科技(应用技术版),2015,11(11):56-58.  
(ZHOU Peiyan, CHENG Zhihao, LI Xiao, et al. Effect of high viscosity modifier on performance of asphalt [J]. Highway traffic technology(applied technology edition), 2015, 11(11):56-58.)
- [5] 唐雪莹.含纤维高粘沥青砂力学性能的研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2016.  
(TANG Xueying. The study on the mechanical property for fibrous high viscoelastic asphalt sand [D]. ShenYang: Shenyang Jianzhu University, 2016.)
- [6] 刘霁帆.玻璃纤维在隔振工程上的应用[J].工业建筑,1986(2):36-39.  
(LIU Jifan. Application of fiberglass in vibration isolation engineering [J]. Industrial buildings, 1986(2):36-39.)
- [7] 蔡俊华.玻璃纤维超薄罩面沥青混合料路用性能[J].长安大学学报(自然科学版),2019,39(5):20-27.  
(CAI Junhua. Road performance of glass fiber ultra-thin overlay asphalt mixture [J]. Journal of Chang'an university (natural science edition), 2019, 39(5):20-27.)
- [8] 沈楸,焦虎,敖顺通,等.玻璃纤维沥青混合料路用性能研究[J].价值工程,2019,38(6):96-98.  
(SHEN Qiu, JIAO Hu, AO Shuntong, et al. Study on road performance of glass fiber asphalt mixture [J]. Value engineering, 2019, 38(6):96-98.)
- [9] 朱春风.玻璃纤维改善沥青混凝土性能的理论及实验研究[D].长春:吉林大学,2007.  
(ZHU Chunfeng. The theoretical and experimental study of glass fiber improve asphalt concrete [D]. Changchun: Jilin University, 2007.)
- [10] MOREA F, ZERBINO R. Improvement of asphalt mixture performance with glass macro-fibers[J]. Construction and building materials, 2018, 164:113-120.
- [11] WU S P, YE Q S, LI N. Investigation of rheological and fatigue properties of asphalt mixtures containing polyester fibers [J]. Construction and building materials, 2008, 22(10):2111-2115.
- [12] NAJD A, 郑传超,郭进英.纤维加筋沥青混凝土断裂性能试验[J].长安大学学报(自然科学版),2005(3):28-32.  
(NAJD A, Zheng Chuanchao, Guo Jinying. Experiments of fracture behavior of glass fiber reinforced asphalt concrete [J]. Journal of Chang'an university (natural science edition), 2005(3):28-32.)
- [13] 郭寅川,陈乔森,申爱琴,等.玻璃纤维改善砾石沥青混合料路用性能[J].公路交通科技,2018,35(8):28-33.  
(GUO Yinchuan, CHEN Qiaosen, SHEN Aiqin, et al. Road performance of glass fiber-improved gravel asphalt mixture [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2018, 35(8):28-33.)
- [14] 叶伟.高粘改性沥青及排水性沥青混合料的路用性能对比试验研究[J].石油沥青,2018,32(1):38-42.  
(YE Wei. Experimental contrastive study on the road performance of high viscosity asphalt and drainage pavement asphalt mixture [J]. Petroleum asphalt, 2018, 32(1):38-42.)
- [15] 熊子佳,程金梁,邓成,等.高黏改性剂对沥青及OGFC混合料性能的影响[J].大连交通大学学报,2017,38(5):94-97.  
(XIONG Zijia, CHENG Jinliang, DENG Cheng, et al. Study of pavement performance of high viscosity modifier in asphalt and OGFC mixture [J]. Journal of Dalian jiaotong university, 2017, 38(5):94-97.)
- [16] ZHANG M M, HAO P W. Study of the technical performance on the domestic TPS high viscosity modified asphalt [C]. International conference on remote sensing. IEEE, 2011.
- [17] 程成,马翔,刘松玉.排水性沥青混合料路用性能改善措施[J].建筑材料学报,2013,16(1):164-169.  
(CHENG Cheng, MA Xiang, LIU Songyu. Measures to improve performance of porous asphalt mixture [J]. Journal of building materials, 2013, 16(1):164-169.)
- [18] 李俊,李明亮.不同类型高黏剂多孔沥青混合料路用性能对比[J].公路,2020,65(2):1-5.  
(LI Jun, LI Mingliang. Comparisons on road performance of porous asphalt mixtures with different high viscosity additives [J]. Roads, 2020, 65(2):1-5.)
- [19] 李萍,刘洋,念腾飞,等.冻融循环条件下的沥青混合料半圆弯拉试验[J].江苏大学学报(自然科学版),2018,39(1):120-124.  
(LI Ping, LIU Yang, NIAN Tengfei, et al. Semi-circular bending test of asphalt mixture under freeze-thaw cycles [J]. Journal of Jiangsu university (natural science edition), 2018, 39(1):120-124.)
- [20] STEWART C M, REYES, JES S GERARDO, GARCIA V M. Comparison of fracture test standards for a super pave dense-graded hot mix asphalt [J]. Engineering fracture mechanics, 2017, 164:262-275.  
(责任编辑:徐玉梅 英文审校:唐玉兰)