

低温地区桥面纤维浇注式沥青混合料的低温性能研究

Study on Low Temperature Performance of Bridge Deck Fiber Pouring Asphalt Mixture in Low Temperature Area

卜春锋

(河南中平交科研究设计院有限公司, 河南 平顶山 467000)

摘要: 为了研究低温地区钢桥面铺装纤维浇注式沥青混合料的低温抗裂性能, 选用基质、SBS、浇注式及纤维浇注式沥青混合料为研究对象, 针对不同低温情况下的各沥青混合料进行低温小梁弯曲试验、低温弯曲蠕变试验以及低温劈裂试验, 得出以下结论: (1) 基质、SBS、浇注式及纤维浇注式沥青混合料的劲度模量、弯曲蠕变柔量及劈裂极限应变随着温度的降低均呈逐渐减小变化, 而低温劈裂强度则呈先增后减变化; (2) 纤维的掺入能够明显增强浇注式沥青混合料的低温抗裂性能, BF纤维对浇注式沥青混合料的低温抗裂性能改善效果优于PF和LF纤维; (3) 纤维浇注式沥青混合料的低温劈裂试验变化规律表现较于低温小梁弯曲和弯曲蠕变试验更为敏感, 故建议采用低温劈裂试验来评价低温地区纤维浇注式沥青混合料的低温稳定性能。

关键词: 低温地区; 钢桥面铺装; 纤维; 浇注式沥青混合料; 低温抗裂性能

中图分类号: U416 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249 (2023) 05-0050-05

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2023.05.008

BU Chunfeng

(Henan Zhongping Jiaoke Research and Design Institute Co., Ltd., Pingdingshan 467000, China)

Abstract: In order to study the crack resistance of asphalt mixture of steel deck pavement in low temperature area, select the matrix, SBS, pouring type and fiber pouring type asphalt mixture, conduct low temperature trabecular bending test, low temperature bending creep test and low temperature splitting test for each asphalt mixture at different low temperatures, here's the following conclusions: (1) The strength modulus, bending creep flexibility and splitting limit strain of the substrate, SBS, pouring type and fiber pouring type asphalt mixture are all gradually decreasing with the decrease of temperature, the low-temperature splitting strength increased first and then decreased; (2) The incorporation of fiber can significantly enhance the low temperature crack resistance of poured asphalt mixture, the improvement effect of BF fiber on the low temperature crack resistance of poured asphalt mixture is obviously better than that of PF and LF fiber; (3) The change pattern of low temperature splitting test of fiber pouring asphalt mixture is more sensitive than that of low temperature trabecular bending and bending creep test. Therefore, it is recommended to evaluate the low temperature stability of fiber pouring asphalt mixture in cold areas.

Keywords: low temperature area; steel bridge deck pavement; fiber; pouring asphalt mixture; low temperature crack resistance

0 引言

浇注式沥青混合料具有良好的密实、防水、耐久及抗变形等性能, 故广泛应用于我国钢桥面铺装工程之中^[1-2]。当浇注式沥青混合料用于低温

作者简介: 卜春锋 (1982—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事道路桥梁及市政道路设计研究方向工作。

收稿日期: 2022-08-19

地区钢桥面铺装工程时，首先需要考虑其低温稳定性能是否符合使用要求，由于我国北方地区的交通、气候条件较为复杂，使得一些浇注式沥青混合料钢桥面铺装结构出现早期开裂、维修养护严重等难题，因此如何改善低温地区浇注式沥青混合料的使用性能成为了重要课题^[3-5]。纤维是一种优良的稳定剂型材料，在改善沥青混合料抗开裂、抗变形性能等方面具有独特的优势，近年来纤维浇注式沥青混合料逐渐得到推广与应用，但关于其在低温地区的低温稳定性方面的研究较为欠缺^[6-8]。基于此，本文选择了基质、SBS、浇注式及纤维浇注式沥青混合料为研究对象，针对不同低温情况下的各沥青混合料进行低温小梁弯曲试验、低温弯曲蠕变试验以及低温劈裂试验，详细探讨了低温地区纤维浇注式沥青混合料的低温性能及评价指标，旨在低温地区同类桥面铺装纤维浇注式沥青混合料的施工应用提供重要参考。

1 原材料及试验方案

1.1 试验材料

沥青选用 SBS 改性沥青与 TLA 复配的混合沥青（质量比为 60:40）、普通基质沥青以及 5% SBS 改性沥青，其中混合沥青的性能指标如表 1 所示；粗集料采用 3~5 mm 和 5~10 mm 的玄武岩碎石，细集料采用 0~3 mm 的石灰石机制砂，粗细集料的各项技术指标均满足 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求；矿粉采用无团粒结块的石灰石粉，其技术指标检测结果及标准如表 2 所示。纤维选用木质素纤维（LF）、玄武岩纤维（BF）、聚酯纤维（PF），三种不同性质纤维的技术指标如表 3 所示。

表 1 沥青结合料的性能指标

Table 1 Performance indexes of asphalt binder

项目	规范值	检测值	试验方法
针入度 (25 °C, 100 g, 5 s) /0.1 mm	25~50	27	JTG E20-2011
软化点/°C	≥70	79	
延度 (10 °C, 5 cm/min) /cm	≥10	28.5	
灰分含量/%	18~27	23.1	
存储稳定性 (163 °C, 48 h)	≤2.5	1.3	
RTFOT 质量变化/%	-1~1	0.02	

表 2 矿粉的性能指标

Table 2 Performance indexes of mineral powder

项目	规范要求	检测结果	试验方法
表观密度/ (g/cm ³)	≥2.5	2.71	JTG F40-2004
含水量/%	≤1.0	0.2	
<0.6 mm	100	100	
<0.15 mm	90~100	99	
<0.075mm	70~100	96	

表 3 三种纤维的性能指标

Table 3 Performance indicators of the three fibers

项目	木质素纤维	玄武岩纤维	聚酯纤维
颜色	灰	灰褐	白
单丝直径/μm	-	6	7
长度/mm	6	6	7
密度/ (g/cm ³)	0.96	2.63	1.16
熔点/°C	240	2700	350
断裂伸长率/%	-	570	12.8
断裂强度/MPa	-	3517	5.6

1.2 级配设计

沥青混合料的矿料级配设计如表 4 所示。浇注式沥青混合料按照级配设计与初拟油石比在室内成型试件，然后对成型试件的刘埃尔流动度 (240 °C)、贯入度 (60 °C) 及弯曲极限应变 (-10 °C) 等指标进行测试 (见表 5)，同时确定出最佳油石比为 7.8%。

表 4 沥青混合料矿料级配设计

Table 4 Grade design of asphalt mixture material

孔径/mm	通过率/%	孔径/mm	通过率/%
13.2	100	0.6	38.6
9.5	98.2	0.3	31.9
4.75	71.5	0.15	29.2
2.36	57.8	0.075	25

表 5 浇注式沥青混合料的性能测试结果

Table 5 Performance test results of poured asphalt mixture

项目	试验结果	技术要求
240 °C 刘埃尔流动度/s	11	≤20
60 °C 贯入度/mm	3.68	≤4.0
-10 °C 弯曲极限应变/με	10.1×10 ⁻³	≥8×10 ⁻³

1.3 试验方法

按照标准号和名称对调 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》、JTG E20-2011《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》和 JTG D50-2017《公路沥青路面设计规范》中推荐的低温小梁弯曲、低温劈裂及低温弯曲蠕变等试验方法，分别对基质沥青、改性沥青、浇注式沥青混合料的低温抗裂性能展开系统测试，其中小梁弯曲试验和弯曲蠕变试验均采用 50 mm/min 的加载速率进行

材料科学

单点加载, 两者的试件尺寸分别为 250 mm×30 mm×35 mm、300 mm×300 mm×50 mm; 劈裂试验采用 1 mm/min 的加载速率进行等应变加载, 试件尺寸采用标准的马歇尔试件。试验共设计了 -20 °C、-15 °C、-10 °C、-5 °C 四种寒冷温度, 三种纤维的掺量参考文献^[9-12]分别设计为 4%、6%、8%, 为了便于表述, 试验将不同沥青混合料分为 JZ (基质沥青)、SBS (改性沥青)、JZS (浇注式沥青)、LF-JZS (木质素纤维浇注式沥青)、BF-JZS (玄武岩纤维浇注式沥青)、PF-JZS (聚酯纤维浇注式沥青) 六组, 针对低温地区不同沥青混合料的低温抗裂性能展开系统研究。

2 低温抗裂性试验结果及分析

2.1 低温小梁弯曲试验

采用低温小梁弯曲试验中的劲度模量指标来评价沥青混合料的低温抗裂性能, 劲度模量表征着沥青混合料的柔韧性能, 其值越大则表明低温抗裂性能越差^[13-14]。通过对沥青混合料进行低温小梁弯曲试验, 得到不同温度下的低温劲度模量变化规律如图 1 所示。

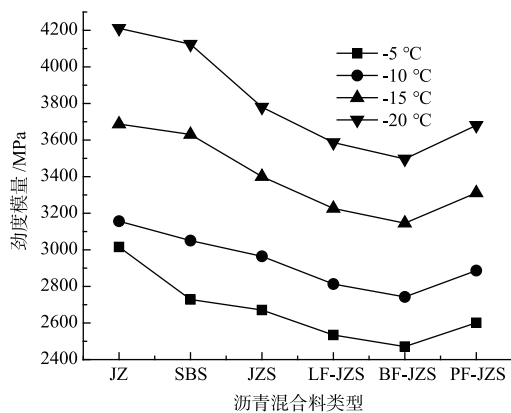


图 1 低温小梁弯曲试验结果

Fig. 1 Results of low-temperature trabecular bending test

根据图 1 可知, 随着温度的降低, 不同沥青混合料的劲度模量均呈逐渐增大变化趋势, 说明了温度越低沥青混合料的低温抗裂性能表现越差, 原因是沥青混合料随温度的降低逐渐变硬, 其力学性能也由黏弹性状态逐渐转化成弹塑性状态, 致使沥青混合料的柔韧性被削弱, 故低温抗裂性能下降。在相同低温情形下, 不同沥青混合料的

劲度模量从大到小依次均为: JZ>SBS>JZS>PF-JZS>LF-JZS>BF-JZS, 表明基质沥青混合的低温抗裂性能最差, 其次为 SBS 改性沥青混合料, 而浇注式及纤维浇注式沥青混合料则较优; 对于纤维浇注式沥青混合料而言, 3 种纤维的掺入均能有效提升浇注式混合料的低温抗裂性能, 原因是浇注式沥青混合料的胶浆外存在较多的自由沥青, 而纤维的掺入吸收了一部分自由沥青, 致使骨料间的滑移约束增大, 故荷载与低温耦合作用下沥青混合料的低温抗裂性能增强; 3 种纤维浇注式沥青混合料中 BF-JZS 的低温抗裂性能优于 PF-JZS 和 LF-JZS, 原因是玄武岩纤维的滑移约束能力较优, 使得混合料的空间网状结构更为稳定, 故 BF-JZS 沥青混合料的低温抗裂性能最佳。

2.2 低温弯曲蠕变试验

通过对不同温度下的沥青混合料进行低温弯曲蠕变试验, 得到其弯曲蠕变柔量变化曲线如图 2 所示。

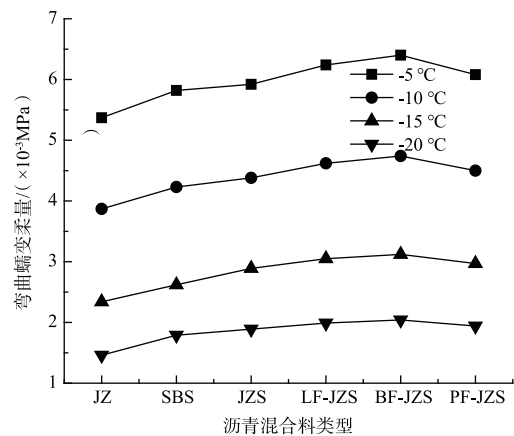


图 2 低温弯曲蠕变试验结果

Fig. 2 Results of low-temperature bending creep test

由图 2 可知, 不同沥青混合料的弯曲蠕变柔量均随着温度的降低呈逐渐减小变化趋势, 其中当温度由 -5 °C 降至 -15 °C 时, 弯曲蠕变柔量的减幅明显, 即沥青混合料失去柔性的速率较快, 而当继续降温至 -20 °C 时, 失去柔性速率有所减缓, 说明温度越低沥青混合料的低温稳定性越差。在相同低温情况下, 各沥青混合料的弯曲蠕变柔量从小到大依次均为: JZ>SBS>JZS>PF-JZS>LF-JZS>BF-JZS, 表明浇注式、纤维浇注式沥青混合

料的低温抗裂性能优于基质与 SBS 改性沥青混合料；纤维浇注式沥青混合料的低温抗裂性能均高于浇注式沥青混合料，且 BF-JZS 的低温抗裂性能最优，说明纤维的掺入均能改善浇注式沥青混合料的低温抗裂性能，原因是纤维加筋于自由沥青与骨料间，使得沥青混合料的空间网状结构更加稳定，故其低温稳定性得到增强。

2.3 低温劈裂试验

2.3.1 低温劈裂强度

通过对不同温度下的沥青混合料进行低温劈裂试验，得到劈裂强度的变化规律如图 3 所示。

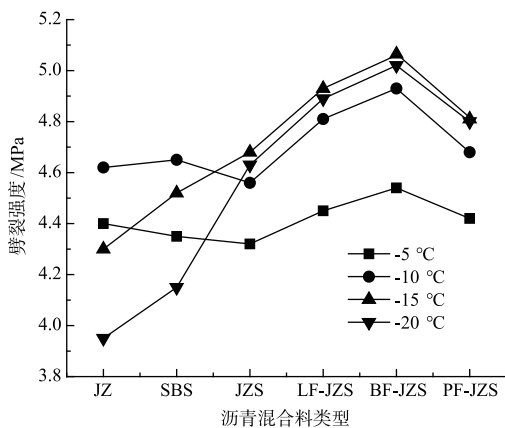


图 3 低温劈裂强度试验结果
Fig. 3 Results of low-temperature splitting strength test

由图 3 可知，随着温度的降低，不同沥青混合料的低温劈裂强度均呈先增后减的变化趋势，但其破坏强度在出现极值时对应的温度值各不相同，其中基质与 SBS 的破坏强度在 $-5 \sim -10$ °C 温度范围内随温度降低逐渐增大，浇注式及纤维浇注式的破坏强度在 $-5 \sim -15$ °C 温度范围内逐渐增大，即温度在一定限度范围内降低时，不同混合料的破坏强度呈增大变化，但当温度低于该限度范围时破坏强度则逐渐减小，浇注式及纤维浇注式的破坏强度极值大于基质与 SBS，说明浇注式及纤维浇注式沥青混合料的低温抗裂性能更优，原因是浇注式及纤维浇注式沥青混合料的脆点更低，在荷载与低温耦合作用下抗裂性更强，故在低温环境下结构更为稳定。不同低温情形下纤维浇注式沥青混合料的低温劈裂强度均高于其余沥青混合料，说明浇注式沥青混合料内掺入纤维能有效增

强其低温抗裂性能；BF-JZS 沥青混合料的低温劈裂强度高于 PF-JZS 和 LF-JZS，原因是 BF 的抗断裂强度最好，能够快速分散荷载应力，因而低温抗裂性能表现最优。

2.3.2 低温劈裂极限应变

通过对不同温度下的沥青混合料进行低温劈裂试验，得到劈裂极限应变的变化规律如图 4 所示。

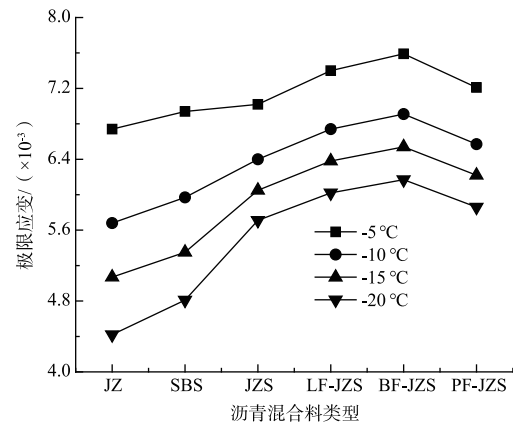


图 4 低温劈裂极限应变试验结果
Fig. 4 Results of low-temperature splitting limit strain test

从图 4 可以看出，随着温度的降低，沥青混合料的劈裂极限应变均逐渐减小，其中温度由 -5 °C 降至 -10 °C 时，劈裂极限应变的降幅较快，而当温度继续降低其劈裂极限应变的降幅则有所减缓。在相同低温情况下，不同沥青混合料的劈裂极限应变从小到大依次均为：JZ > SBS > JZS > PF-JZS > LF-JZS > BF-JZS，说明浇注式、纤维浇注式沥青混合料的低温抗裂性能优于基质与 SBS 改性沥青混合料，同时三种纤维的掺入均能有效提升浇注式沥青混合料的低温抗裂性能，原因是纤维具有一定的加筋抑滑作用，促进了沥青混合料结构稳定，因此增强了其低温稳定性能。

综合上述可知，不同纤维浇注式沥青混合料的低温小梁弯曲和弯曲蠕变的试验结果呈一定的规律性，无法明显的反应其低温抗裂性能，而低温劈裂试验的变化规律表现更为敏感，因此建议采用低温劈裂试验来评价低温地区纤维浇注式沥青混合料的低温稳定性能。

3 结论

(1) 随着温度的降低, 基质、SBS、浇注式及纤维浇注式沥青混合料的劲度模量、弯曲蠕变柔量及劈裂极限应变均呈逐渐减小变化, 而低温劈裂强度则随之呈先增大后减小变化。

(2) 纤维的掺入吸收了胶浆外存在的一部分自由沥青, 致使骨料间的滑移约束增大, 同时纤维加筋于自由沥青与骨料间, 使得沥青混合料的空间网状结构更加稳定, 故浇注式沥青混合料的低温抗裂性能得到提升。

(3) BF 纤维对浇注式沥青混合料的低温抗裂性能改善效果优于 PF 和 LF 纤维。

(4) 低温小梁弯曲和弯曲蠕变的试验结果呈一定的规律性, 无法明显的反应其低温抗裂性能, 而低温劈裂试验的变化规律表现更为敏感, 建议采用低温劈裂试验来评价低温地区纤维浇注式沥青混合料的低温稳定性能。

参 考 文 献

- [1] 姚鸿儒. 聚合物改性浇注式沥青在祁连山路大桥铺装的应用 [J]. 上海公路, 2022 (2): 19-22+68+164-165.
- [2] 阳晏, 刘朝辉, 阳昊, 等. 浇注式沥青混合料摊铺中宽幅钢箱梁温度应力分析 [J]. 公路与汽运, 2021 (4): 154-156+159.
- [3] 闫东波, 林路宇, 张俊波, 等. 浇注式沥青混合料 GA 和 GMA 性能对比研究 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2022, 41 (1): 122-126.
- [4] 姬枫. 水泥/纤维改良花岗岩残积土路基性能试验研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2021, 35 (1): 113-117+128.
- [5] 周伟, 李娣, 万建军. 浇注式沥青铺装材料高温性能研究 [J]. 公路, 2020, 65 (8): 91-94.
- [6] 潘友强, 张志祥, 徐肖龙. 复合浇注式钢桥面沥青铺装的路用性能 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2019, 36 (4): 85-89+111.
- [7] 魏志峰. 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.
- [8] 张志飞, 李洪玲, 谢永辉, 等. 浇注式沥青混凝土钢桥面铺装结构低温抗裂性能研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2020 (12): 43-44.
- [9] 陈华明, 王志祥. 纤维对浇注式沥青混合料性能的影响 [J]. 公路交通科技, 2021, 38 (7): 1-8.
- [10] 薛朝辉. 玄武岩纤维改性沥青胶浆低温性能研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2020, 34 (6): 89-93.
- [11] 莫正华, 杨森, 刘攀, 等. 矿料对浇注式沥青混合料 GA10 性能的影响研究 [J]. 西部交通科技, 2022 (1): 5-7+57.
- [12] 王民, 樊向阳, 王滔, 等. 无损状态下钢桥面沥青铺装材料变形恢复特性 [J]. 材料导报, 2021, 35 (S1): 269-273.
- [13] 王民, 尚飞, 肖丽, 等. 钢桥面浇注式沥青铺装复合梁疲劳损伤规律分析 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2021, 40 (3): 84-88+102.
- [14] 王民, 肖丽, 胡德勇, 等. 钢桥面浇注式+SMA 组合结构车辙变形深度预估 [J]. 中国公路学报, 2021, 34 (6): 10-18.

E-mail: fmhzhly@163.com.