

粉胶比对橡胶沥青胶浆高温性能的影响研究

钟志锋¹, 郭兴文¹, 周浩²

(1. 河海大学 力学与材料学院, 江苏 南京 211100; 2. 福建省交通科学技术研究所, 福建 福州 350002)

摘要: 为了研究不同粉胶比对橡胶沥青胶浆高温性能的影响, 选择石灰岩矿粉作为填料, 粉胶比掺量为0.2、0.4、0.6、0.8。胶浆高温性能的评价指标选择 Fail temperature 和 ZSV, 通过 DSR 试验对不同胶浆进行研究。试验结果表明: 随着粉胶比的增加, 橡胶沥青胶浆的 Fail temperature 和 ZSV 值均逐渐变大, 而且增大幅度较大, 橡胶沥青胶浆的高温性能得到明显的改善; 利用环境扫描电镜对胶浆进行扫描, 发现添加矿粉的橡胶沥青胶浆光滑、细腻, 矿粉被橡胶沥青包裹均匀。

关键词: 粉胶比; 橡胶沥青胶浆; 高温性能; 石灰岩矿粉; Fail temperature; ZSV

中图分类号: U41

文献标识码: A

Study of the influence about the high temperature performance of crumb rubber modified asphalt mortars by powder/asphalt ratio

ZHONG Zhi-feng¹, GUO Xing-wen¹, ZHOU Hao²

(1. College of Mechanics and Materials, Hohai University, Jiangsu Nanjing 211100, China; 2. Fujian Research Institute of Communications Science and Technology, Fujian Fuzhou 350002, China)

Abstract: In order to study different powder/asphalt ratios effect on high temperature performances of mortar, this paper chooses limestone as the filler, and powder/asphalt ratio is 0.2, 0.4, 0.6, 0.8. Mortar high temperature performance evaluation index selects Fail temperature and ZSV through DSR test. The test results show that with the increase of powder/asphalt ratio, Fail temperature and ZSV value of the mortar increase gradually, and the amplitude is larger. High temperature performance of the mortars improves obviously. By using environmental scanning electron microscopy search for those mortars, the results show that crumb rubber modified asphalt mortar of powder is smooth and delicate, the powder is covered uniformly by crumb rubber.

Key words: powder/asphalt ratio; crumb rubber modified asphalt mortar; high temperature performance; limestone powder; Fail temperature; ZSV

废旧轮胎粉制成的橡胶沥青混合料应用于路面,不仅可以有效改善路面的使用状况、提高路面平整度、延长路面寿命,还可以降低车辆行使噪音和增加路面的美观度。但在橡胶沥青应用过程中,也逐渐出现了高温性能改善不明显、水损害等问题,在高温季节极易产生车辙等病害^[1],严重地威胁着沥青路面的适用性和耐久性。因此对橡胶沥青胶浆在高温下的性能研究,一直都是沥青路面耐久性研究的重点和难点问题。目前,学者^[2-5]多从各个因素研究如何改善橡胶沥青胶浆高温的稳定性能。石灰岩矿粉作为一种碱性耐热

性能高的填料,研究其不同掺量对橡胶沥青胶浆高温性能的影响,对于橡胶沥青混合料的运用和推广将产生较大的推动作用,为此本文将研究在实际工程中石灰岩矿粉掺量对橡胶沥青胶浆高温性能的影响。

1 原材料

1.1 道路石油沥青

采用韩国双龙 70#道路石油沥青,根据规范及 SHRP 试验方法,对其进行性能检测,试验结果如

表1所示。

表1 70#道路石油沥青的性能检测结果

Tab. 1 Performance test results of road asphalt

测试项目	技术要求	检测结果
针入度(25℃、100 g、5 s)/0.1 mm	60 ~ 80	67.8
延度(15℃、5 cm/min)/cm	≥ 40	69
软化点/℃	≥ 46	49.0
闪点(开口)/℃	≥ 230	262
含蜡量/%	≤ 3	1.83
密度(15℃)/(g/cm ³)	实测记录	1.031
溶解度(三氯乙烯)/%	≥ 99.5	99.8
旋转薄膜老化试验	质量损失/%	≤ 0.8
	针入度比/%	≥ 58
163℃、75 min	延度(15℃)/cm	≥ 15
	PG 分级	64 ~ 22

1.2 橡胶粉

采用的废胶粉是江苏常州生产的货车轮胎胶粉(20目),以废旧轮胎为原材料,在常温下经过粉碎、分离、除金属、筛选等活化和脱硫工序处理制成的黑色粉末状物质^[6]。

1.3 填料

采用的矿粉为实际工程中使用的石灰岩矿粉。按照《公路工程集料试验规程》(JTG E42 - 2005)相关试验的要求进行试验,其基本技术性能测定结果如表2所示。

表2 矿粉的基本技术性能测定结果

Tab. 2 Determination results of basic technical powder performance

填料种类	视密度	亲水系数	<0.075 mm 含量
矿粉	2.71	0.89 (<1)	90.4

所用矿粉外观无团粒结块,制备胶浆的矿粉都是过0.075 mm筛以下的矿粉。

1.4 橡胶沥青胶浆的制备

选取外掺18%的橡胶粉作为改性剂,将20目的橡胶粉分3次缓慢加入到70#道路石油沥青中制备橡胶沥青,其中搅拌温度控制在(175 ± 5)℃,搅拌速率控制在1 000转/min,拌制时间约为45 min^[7]。在制备好的橡胶沥青中人工加入矿粉,采用人工搅拌,不断搅拌到橡胶沥青胶浆混合料均匀即可^[8]。由于不同矿粉掺量对橡胶沥青胶浆高温性能影响不同,本文分别选择0.2、0.4、0.6、0.8矿粉粉胶比(矿粉质量/橡胶沥青质量)的橡胶沥青胶浆。

2 高温性能评价指标

2.1 Fail temperature

SHRP中提出采用动态剪切流变仪(DSR),测定沥青胶结料的复数模量(G^*)和相位角(δ)来评价沥青胶结料的粘弹特性。对于沥青路面而言,希望沥青路面在温度较高时具有足够的弹性,以便于路面恢复变形,因而 G^* 越大、 δ 越小越好。因此,Superpave中规定原样沥青车辙因子至少为1.0 kPa^[9]。而矿粉作为橡胶沥青胶浆的组分之一,对胶浆的车辙因子有必然的影响。因此定义当未老化的沥青胶浆 $G^*/(\sin\delta) = 1.0$ kPa时的温度为fail temperature^[10-11]。因为 $G^*/(\sin\delta)$ 越大越好^[12],所以fail temperature越大越好。通过频率扫描试验得到10 rad/s时的 $G^*/(\sin\delta)$ 。

2.2 零剪切粘度

高温下车辙变形是一个缓慢的过程,因此用零剪切粘度来评价橡胶沥青胶浆的高温性能比较合理。得到零剪切粘度的方法有很多^[13],本文采用C. Desmazes^[14]等人提出的蠕变恢复试验法得到橡胶沥青胶浆的零剪切粘度。张肖宁^[15]等人研究发现只有剪应力不超过牛顿流体范围,胶结料才能达到稳定的粘流状态。C. Desmazes等人发现只有蠕变应力不高于30 Pa时,沥青才能获得足够低的剪切速率进入牛顿流体区域。因此,本试验采用25 Pa的应力,60℃的温度,蠕变1 000 s,恢复1 h。

本文采用fail temperature、零剪切粘度对掺加矿粉(粉胶比为0、0.2、0.4、0.6、0.8)的橡胶沥青胶浆进行高温流变性评价及分析。其中,两种评价方法的试验数据均是通过美国TA-AR1500EX型动态剪切流变仪DSR得到的,25 mm平行板间距均取3.5 mm。

3 试验结果分析

3.1 Fail temperature 试验结果与分析

通过对不同橡胶沥青胶浆进行不同温度下的频率扫描试验(40℃~80℃,步长为10℃),确定不同温度下10 rad/s时的 $G^*/(\sin\delta)$ 。然后建立车辙因子对数($\log(G^*/(\sin\delta))$)与温度 T 的半对数关系曲线图,对得到的曲线进行回归分析,如图1所示。

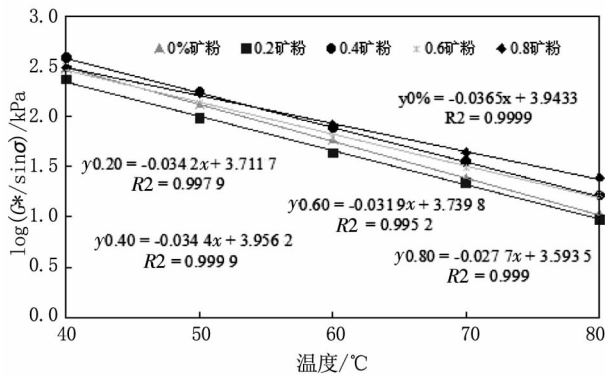


图1 不同矿粉橡胶沥青胶浆车辙因子与温度的半对数关系图

Fig.1 Logarithm of the $G^*/\sin \delta$ of CRMA mastic

根据拟合的回归直线,得到不同橡胶沥青胶浆在 $G^*/(\sin \delta) = 1.0$ kPa 时的 fail temperature (如表 3 所示)。据 fail temperature 来评价不同橡胶沥青胶浆的高温性能。

表 3 不同矿粉橡胶沥青胶浆的 fail temperature(°C)

Tab.3 Failure temperatures of CRMA mastic(°C)

不同粉胶比	0	0.25	0.4	0.6	0.8
相关系数	0.999 9	0.997 9	0.999 9	0.995 2	0.999 0
fail temperature	108.0	108.5	115.0	117.2	129.7

从表 3 可以看出,不同橡胶沥青胶浆的车辙因子与温度的半对数曲线相关性很高,均大于 0.99,添加矿粉制备的橡胶沥青胶浆随着粉胶比的增加, fail temperature 逐渐增大,表明橡胶沥青胶浆的高温性能逐渐得到改善,如粉胶比为 0.8 时的 fail temperature 较粉胶比为 0 时的 fail temperature 增加了 20.1%。

3.2 零剪切粘度试验结果与分析

通过对不同橡胶沥青胶浆进行蠕变及蠕变恢复试验,其中,柔量与时间的关系见图 2。

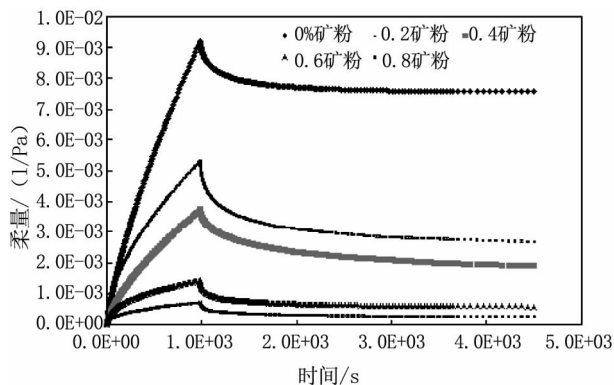


图2 不同矿粉粉胶比下橡胶沥青胶浆的蠕变及蠕变恢复试验结果

Fig.2 Compliance of CRMA with different filler/asphalt ratio

根据公式 $\eta_0 = \lim_{t_{creep} \rightarrow \infty} \frac{t_{creep}}{J_{recovery}}$, 计算蠕变恢复阶段时的零剪切粘度 ZSV, 计算结果见表 4。

表 4 不同矿粉橡胶沥青胶浆在蠕变恢复阶段的 ZSV(Pa·s)

Tab.4 ZSV values of CRMA with different filler/asphalt ratio

不同粉胶比	0	0.25	0.4	0.6	0.8
ZSV	1.30	3.65	5.16	1.63	3.56
	$\times 10^5$	$\times 10^5$	$\times 10^5$	$\times 10^6$	$\times 10^6$

从图 2 和表 4 可以看出,随着粉胶比的增加,橡胶沥青胶浆在蠕变恢复阶段的 ZSV 逐渐变大。当粉胶比为 0.8 时的 ZSV 值约是粉胶比为 0.25 时的 10 倍,说明随着粉胶比的增加,橡胶沥青胶浆的高温性能明显提高。

3.3 高温性能的改善机理分析

为了清晰地分析石灰岩矿粉对橡胶沥青胶浆微观形态的影响,本文还将通过对不同橡胶沥青胶浆进行环境扫描试验(ESEM),从微观角度分析总结沥青胶浆高温性能提高的原因。试验扫描照片如图 3 所示。

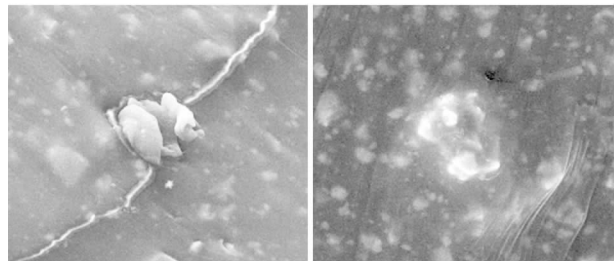


图3 不同矿粉粉胶比下橡胶沥青胶浆的ESEM图(左为0.4,右为0.8)

Fig.3 Rubber asphalt mortar under different mineral powder glue than the ESEM figure (left 0.4, right 0.8)

从图 3 可以看出,添加矿粉的橡胶沥青胶浆光滑、细腻,矿粉被橡胶沥青裹覆均匀,这正是因为矿粉与沥青会发生体积增强作用和物化反应。而随着粉胶比的增加,沥青与矿粉生成的“结构沥青”数量增多,形成的相体结构更加稳定,粘附作用更强,从而使橡胶沥青胶浆的高温性能更好。

4 结论

1) 随着矿粉粉胶比的增加,橡胶沥青胶浆的 fail temperature 和蠕变恢复阶段的零剪切粘度均逐渐变大,而且增加的幅度比较大,橡胶沥青胶浆的高温性能得到明显的改善。

2) 添加矿粉的橡胶沥青胶浆光滑、细腻,矿粉

被橡胶沥青裹覆均匀,这正是因为矿粉与沥青会发生体积增强作用和物化反应。随着粉胶比的增加,沥青与矿粉生成的“结构沥青”数量增多,形成的相体结构更加稳定,粘附作用更强,从而使橡胶沥青胶浆的高温性能更好。

参考文献:

- [1] 凌天清,肖川,夏玮. 高温下橡胶沥青胶浆特性及矿料级配优化分析[J]. 土木建筑与环境工程, 2010, 32(5):47-52.
- [2] 刘丽. 沥青胶浆技术性能及评价方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
- [3] 杨跃焕,吴英彪,乔建刚. 泡沫沥青温拌再生混合料试验研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2014, 31(1):32-35.
- [4] 黄卫东,王伟,黄岩,等. 橡胶沥青混合料高温稳定性影响因素试验[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2010, 38(7):1023-1028.
- [5] 徐欧明,韩森,于静涛. 露石混凝土改善桥面铺装结构稳定性研究[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(1):22-24.
- [6] 刘日鑫. 胶粉改性沥青材料[D]. 昆明:昆明理工大学, 2002.
- [7] YU XIN, WANG YUHONG, LUO YILIN. Impacts of types and application rates of warm mix additives on CRMA [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2013, 7(25):939-945.
- [8] 李智慧. 沥青胶浆高低温性能评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2005.
- [9] 方伽俐,黄卫东. 沥青结合料零剪切粘度简介[J]. 中外公路, 2003, 23(6):83-86.
- [10] SHEN J, AMIRKHANDANIAN S. The influence of crumb rubber modifier (CRM) microstructures on the high temperature properties of CRM binders [J]. The International Journal of Pavement Engineering, 2005, 6(4):265-271.
- [11] APEAGYEI A K, GRENFELL J R A, AIREY G D. Application of Fickian and non-Fickian diffusion models to study moisture diffusion in asphalt mastics [J]. Materials and Structures, 2015, 48(5):1461-1474.
- [12] 吴慧彦,同鑫. 沥青高温性能评价新指标[J]. 中外公路, 2011, 31(3):263-266.
- [13] 罗怡琳,于新,孙文浩. 橡胶沥青零剪切粘度确定方法的研究[J]. 公路工程, 2012, 37(5):218-221.
- [14] DESMAZES C, LECOMTE M, LESUEUR D, et al. A protocol for reliable measurement of zero-shear-viscosity in order to evaluate the anti-rutting performance of binders [C]// Proceedings of the papers submitted for review at 2nd euraspalt and eurobitume congress, Barcelona, Spain. 2000: 20-22.
- [15] 张肖宁. 沥青与沥青混合料的粘弹力学原理及应用 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.

(责任编辑 王利君)

(上接第15页)

参考文献:

- [1] 齐吉琳,马巍. 冻土的力学性质及研究现状[J]. 岩土力学, 2010, 01:133-143.
- [2] 吴志坚,车爱兰,陈拓,等. 青藏铁路多年冻土区桥梁桩基础地震响应的试验研究与数值分析[J]. 岩土力学, 2010, 11: 3516-3524.
- [3] 汪海年,窦明健. 青藏高原多年冻土区路基温度场数值模拟[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2006(4):11-15.
- [4] 王建州,李生生,周国庆,等. 冻土上限下移条件下高温冻土桩基承载力分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, S2:4226-4232.
- [5] 杜晓燕,叶阳升,张千里,等. 季节性冻土区高速铁路路基冻深研究[J]. 中国铁道科学, 2015(2):11-17.
- [6] 汪海年,窦明健. 青藏高原多年冻土地区路基热稳定性影响因素分析[J]. 公路, 2005(5):1-5.
- [7] 高捷,滕念管. 温差对磁浮双跨轨道梁变形的影响[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2015, 32(2):24-27.
- [8] 李韧,杨文,季国良,等. 40年来藏北高原五道梁地区地表加热场的变化特征[J]. 太阳能学报, 2005(6):868-873.
- [9] 王伟,孙斌祥,杨丽君,等. 基于数学特征方程的冻土应力-应变模型分析[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2008(3):398-401.
- [10] 白刚刚,吴英波. 青海省曲麻莱县融冻泥流地质灾害浅析[J]. 青海环境, 2013(2):90-91, 108.
- [11] 卢廷浩. 岩土数值分析 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.

(责任编辑 李军)