

文章编号: 1674-599X(2020)01-0033-05

橡胶沥青性能试验及影响因素分析

冯明林¹, 冯正翔², 郑伟³, 冯志强⁴

(1. 河南省交通规划设计研究院股份有限公司, 河南 郑州 450000;

2. 江苏省无锡交通高等职业技术学院 交通工程学院, 江苏 无锡 214151;

3. 浙江绩丰岩土技术股份有限公司, 浙江 杭州 310000; 4. 河南交通职业技术学院, 河南 郑州 450000)

摘要:为进一步分析橡胶沥青性能,结合SHRP体系试验要求,采用室内标准试验方法(JTG E20—2011),对胶粉种类、掺量、拌合温度及基质沥青选择等影响因素展开了分析。研究表明:橡胶沥青对胶粉种类和细度具有选择性。胶粉越粗,改性后的沥青性能越优,且货车轮胎胶粉改性后的沥青软化点、老化前(后)的车辙因子、抗疲劳因子及蠕变劲度均优于小车轮胎胶粉的;16%~18%掺量的20目货车轮胎胶粉改性沥青在177℃时的黏度为1.7~3.2 Pa·s,比较适宜施工的需要;升高拌和温度会使得橡胶沥青的高温性能和抗疲劳性能下降,建议拌合温度控制在180℃以内;从车辙因子和抗疲劳因子反映的程度上看,沥青标号越高,经过胶粉改性后的沥青性能指标越低。

关键词: 废旧轮胎; 橡胶沥青; 性能试验; 影响因素; 分析

中图分类号: U414

文献标志码: A

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2020.01.006

Rubber asphalt performance test and analysis of influencing factors

FENG Ming-lin¹, FENG Zheng-xiang², ZHENG Wei³, FENG Zhi-qiang⁴

(1. Henan Provincial Communications Planning & Design Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;

2. Jiangsu Wuxi Communication Higher Vocational and Technical College, School of Traffic Engineering, Wuxi 214151, China;

3. Zhejiang Jifeng Geotechnical Co., Ltd., Hangzhou 310000, China;

4. Henan Communications Vocational and Technical College, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to further analyze the performance of rubber asphalt, this paper combines the requirements of SHRP system test is considered, using indoor standard test method (JTGE20—2011) to analyze the influencing factors such as rubber powder type, dosage, mixing temperature and matrix asphalt selection. The results show that rubber asphalt is selective for the type and fineness of rubber powder. The coarser the rubber powder is, the better the asphalt performance is, and the softening point of the asphalt is modified by truck tire rubber powder, rutting factor and anti-fatigue factor before and after aging, and the creep stiffness S are better than those of the car tire rubber powder. 16% to 18% of the 20-mesh truck tire rubber powder modified asphalt has 177 °C viscosity of 1.7~3.2 Pa·s, and is more suitable for construction needs. As the mixing temperature increases, the high temperature performance and fatigue resistance of the rubber asphalt decrease. It is recommended that the mixing temperature can be controlled within 180 °C. From the reaction degree of rutting factor and anti-fatigue factor, the higher the asphalt marking is, the lower the asphalt performance index is after rubber powder modification.

Key words: waste tire; rubber asphalt; performance test; influencing factor; analysis

收稿日期: 2019-07-12

基金项目: 河南省交通运输厅科技计划项目(2017J1)

作者简介: 冯明林(1985-),男,河南省交通规划设计研究院股份有限公司工程师。

随着汽车行业的飞速发展，使得废旧轮胎的黑色污染日趋严重。但是，经过特殊生产工艺将其研磨成胶粉颗粒并通过干拌或湿拌的方法加入到沥青混合料中，不仅实现了绿色交通发展的理念，也改善了沥青路面的使用质量。方烁^[1-3]等人将橡胶粉添加到沥青中，发现胶粉在提高沥青复数剪切模量、降低相位角的同时，沥青混合料抗车辙性能和疲劳性能也得到改善。程其瑜^[4-6]等人研究了不同橡胶粉掺量改性沥青破坏温度的变化情况。发现：当橡胶粉掺量从 10%增加到 20%时，破坏温度大大提升。张争奇^[7]等人将 SBS 与胶粉共同用于基质沥青的复合改性，结合二者的优点，提高了沥青的整体性能。橡胶沥青的研究分析是一个不断深化的过程，作者根据美国公路战略研究计划 (Strategic Highway Research Program, 简称为 SHRP) 体系试验的要求，拟继续展开对橡胶沥青性能试验及其影响因素的分析。

1 原材选择及橡胶沥青制备

1.1 原材料选择

本次试验橡胶粉选用深圳路海威 20 目橡胶粉，含水率为 0.55%，检测密度为 1.15 g/cm³ (满足 1.10~1.20 g/cm³ 要求)；基质沥青为中海油道路 70# 石油沥青，检测结果分别见表 1,2。

表 1 橡胶粉筛分结果

筛孔尺寸/mm	通过率/%	技术要求/%
2.0	100.0	100
1.18	100.0	65~100
0.6	90.4	20~100
0.3	38.7	0~45
0.075	1.2	0~5

表 2 基质沥青检测结果

Table 2 Matrix asphalt test results

数据类型	针入度(25 °C, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	延度(5 cm/min, 15 °C)/cm	软化点(环球法)/°C	闪点(开口)/°C	含蜡量(蒸馏法)/%	密度(15 °C)/(g·cm ⁻³)	溶解度(三氯乙烯)/%	薄膜加热试验后		
								质量损失/%	针入度比/%	延度 15 °C/cm
测试结果	67	>150	54.7	279	1.05	1.010	99.9	-0.031	65	103
技术要求	60~80	≥100	≥46	≥230	≤2	实测记录	≥99.5	≤0.6	≥65	≥80

1.2 橡胶沥青的制备

橡胶沥青是在已有研究成果的基础上加以改进的。为了便于胶粉与基质沥青的有效胶联，将发

育溶胀时间适当延长，促使胶粉吸收基质沥青中轻组分更加彻底，以增加沥青和胶质的含量。橡胶沥青的制备工艺流程如图 1 所示。

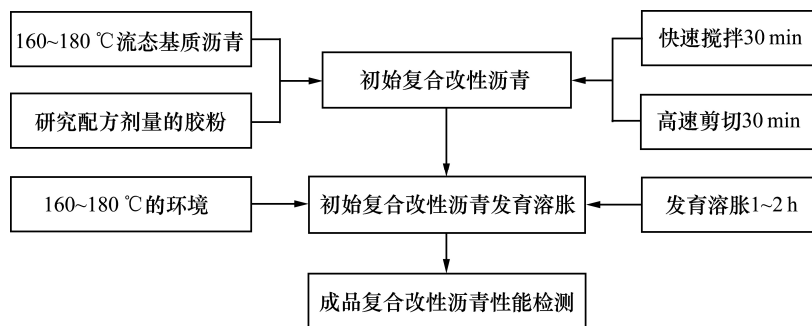


图 1 橡胶沥青的工艺流程

Fig. 1 Process diagram of rubber modified asphalt

2 胶粉物理性能的影响分析

废胎胶粉按其来源不同，分为货车轮胎(斜交胎)和小轿车轮胎(子午胎简称为：小车轮胎)2 大类。它们的物理性差异在于细度。为了分析的严谨

性，胶粉统一取不同轮胎的胎背部位置胶粉。在对 70# 石油沥青进行改性时，先设定 20% 的掺量。温度为 170 °C 时沥青测试指标汇总见表 3。

当基质沥青加入胶粉后，由于胶粉与沥青网格结构体系的形成及二者之间化学传质作用，其指标均得到不同程度的改善。从表 3 中可以看出，货车

表 3 沥青测试指标汇总

Table 3 Asphalt test index

轮胎类型	沥青车辙因子/kPa							沥青弯曲蠕变劲度/MPa		沥青弯曲蠕变速率	
	软化点/℃	25℃弹性恢复/%	76℃原样	82℃原样	旋转薄膜老化后 76℃	旋转薄膜老化后 82℃	加速老化后 31℃	-18℃	-24℃	-18℃	-24℃
20 目货车	71.9	90	9.897	7.485	10.784	8.198	289	91	232	0.317	0.224
40 目货车	76.3	89	8.026	5.603	9.835	6.574	252	94	208	0.321	0.271
60 目货车	73.1	89	7.121	4.772	8.011	5.354	311	72	183	0.306	0.266
20 目小车	66.9	80	5.594	3.585	5.654	3.568	342	128	309	0.314	0.271
40 目小车	65.8	81	3.801	2.489	4.232	2.732	309	134	302	0.345	0.287
60 目小车	61.1	73	3.226	2.107	4.227	2.574	301	139	347	0.345	0.270
Superpave 指标要求	—	—	≥1.0	≥1.0	≥2.2	≥2.2	≤5 000	≤300	≤300	≥0.1	≥0.1

轮胎胶粉改性后的沥青在常温和高温性能方面均超过了小车轮胎胶粉的。即在同目数的前提下,除了弹性恢复差别不大以外,货车轮胎胶粉改性沥青的软化点是小车轮胎胶粉改性沥青的 1.1~1.3 倍,其老化前车辙因子 $G^*/\sin \delta$ 是小车轮胎胶粉改性沥青的 1.5~2.0 倍,其老化后车辙因子 $G^*/\sin \delta$ 是小车轮胎胶粉改性沥青的 1.6~2.1 倍;货车轮胎胶粉改性沥青的抗疲劳因子 $G^*\sin \delta$ 在 300 kPa 左右,只占到上限 5 000 kPa 的 6%,且均小于小车轮胎胶粉改性沥青的。此外,货车轮胎胶粉改性沥青的低温蠕变劲度均为小车轮胎胶粉改性沥青的 65%~75%。表明:货车胶粉改性后的橡胶沥青整体优势更加明显。

对比不同细度胶粉改性沥青各项指标可以看出,20 目胶粉改性沥青的高温性能优于 40 和 60 目

胶粉改性沥青的,它们的低温和抗疲劳性能相差不大。胶粉的改性原因是胶粉与沥青形成了网格结构体系和二者之间的化学传质。20 目胶粉的粒径较大,熔胀后与沥青形成的网格状态更显著,对橡胶沥青相对流动的黏滞阻力更大,进而表现出沥青的黏度较大,高温性能更优。因此,综合考虑,20 目货车轮胎胶粉的改性效果较佳。

3 胶粉掺量的影响分析

橡胶沥青的改性离不开对胶粉掺量的分析。本试验选取 20 目货车轮胎胶粉的 4 种胶粉掺量(12%,16%,20%和 24%),在 170℃以 70#石油沥青为基质沥青的基础上,对改性后沥青性能指标进行了分析。不同橡胶粉掺量橡胶沥青性能指标见表 4。

表 4 不同橡胶粉掺量橡胶沥青性能指标

Table 4 Performance index of rubber asphalt with different contents of rubber powder

胶粉掺量/%	软化点/℃	25℃弹性恢复/%	沥青车辙因子/kPa					沥青弯曲蠕变劲度/MPa		沥青弯曲蠕变速率	
			76℃原样	82℃原样	旋转薄膜老化 76℃	旋转薄膜老化 82℃	加速老化后 31℃	-18℃	-24℃	-18℃	-24℃
12	60.1	81	2.658	1.505	4.583	2.862	427	216	369	0.300	0.249
16	63.6	86	4.949	3.226	7.508	5.341	339	144	329	0.312	0.252
20	74.3	89	10.564	7.601	11.661	8.246	291	92	228	0.327	0.227
24	88.2	92	18.235	13.715	24.689	18.126	337	50	175	0.332	0.268
Superpave 指标要求	—	—	≥1.0	≥1.0	≥2.2	≥2.2	≤5 000	≤300	≤300	≥0.1	≥0.1

从表 4 中可以看出,在胶粉掺量增加的同时,橡胶沥青高、低温性能及抗老化性能均明显增加。即:胶粉掺量增加一倍,软化点提高 46.8%,弹性恢复提高 13.5%,车辙因子提高 6~8 倍,-18℃劲度模量减少 75%。表明:胶粉掺量不断增加,对于

提高橡胶沥青整体性能是有利的。其原因是胶粉用量的增加使得混溶体系网格结构更显著。在高温、高速剪切时,胶粉用量越高,胶粉与沥青的传质过程越明显,化学改性幅度越大。从沥青施工性能的角度出发考虑,沥青黏度过高,在泵送及混合料拌

合与摊铺过程中都会带来一定的负面影响。美国亚利桑那州规定^[8]，当橡胶沥青在 177 °C 的黏度处在 1.5~4.0 Pa·s 之间时，施工的各项环节将处于最优状态。因此，本试验针对 4 种掺量的橡胶沥青进行了 177 °C 的黏度检测，其结果如图 2 所示。

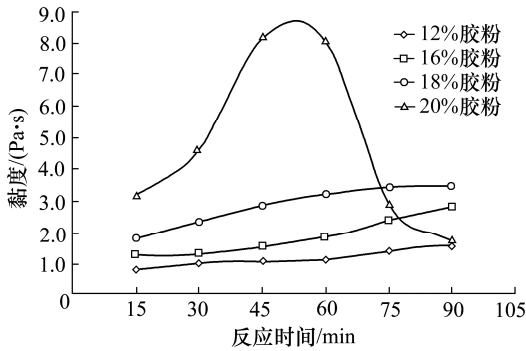


图 2 不同反应时间下橡胶沥青 177 °C 黏度指标

Fig. 2 Viscosity index of rubber asphalt at 177 °C under different reaction period

橡胶沥青在使用过程中会有一个发育溶胀的过程，反应时间在 60 min 左右，60 min 前、后沥青的黏度对施工尤为重要。从图 2 中可以看出，当胶粉掺量为 16% 和 18%、反应时间为 60 min、温度为

177 °C 时的黏度为 1.7~3.2 Pa·s，处在 1.5~4.0 Pa·s 范围之内，平缓的黏度曲线为橡胶沥青的施工提供了保障。而当胶粉掺量达到 20%、反应时间为 60 min、温度为 177 °C 时的黏度达到 8.1 Pa·s，远超过规范要求的 4.0 Pa·s，必将给施工带来一定的困难。因此，从施工的便易性出发，16%~18% 的胶粉掺量比较合适。

4 拌和温度的影响分析

新型物质材料的微观结构变化多与温度有关^[9-11]。橡胶沥青的拌和温度直接关系到胶粉与基质沥青的熔融速度和程度^[12]，反映出沥青指标的变化。在 18% 胶粉掺量下，不同拌和温度下橡胶沥青试验结果见表 5。

分析蠕变劲度和蠕变速率数据可见，在 175 °C 温度下，橡胶沥青的低温性能相对较差，而软化点和弹性恢复指标变化不明显，车辙因子 $G^*/\sin \delta$ 和抗疲劳因子 $G^* \cdot \sin \delta$ 的变化较为明显。即：随着拌和温度的升高，车辙因子降低，抗疲劳因子升高。表明：拌和温度过高时，橡胶沥青的高温性能和抗疲劳性能下降，建议拌和温度控制在 180 °C 以内。

表 5 不同拌和温度下橡胶沥青性能的检测结果

Table 5 Performance test results of rubber asphalt under different mixing temperatures

拌和温度/°C	软化点/°C	25 °C 弹性恢复/%	沥青车辙因子/kPa					沥青弯曲蠕变劲度/MPa		沥青弯曲蠕变速率	
			76 °C 原样	82 °C 原样	旋转薄膜老化 76 °C	旋转薄膜老化 82 °C	加速老化后 31 °C	-18 °C	-24 °C	-18 °C	-24 °C
165	75.4	82	11.364	9.269	12.709	9.165	251	63.8	168.4	0.31	0.25
175	72.2	84	10.555	7.542	11.554	8.242	289	92.4	225.3	0.32	0.23
185	76.1	84	9.698	7.098	10.371	7.397	293	74.2	218.4	0.31	0.26
Superpave 指标要求	—	—	≥1.0	≥1.0	≥2.2	≥2.2	≤5 000	≤300	≤300	≥0.1	≥0.1

5 基质沥青类型的影响分析

不同的基质沥青标号是具有不同的内部组分。在胶粉改性过程中，本试验将 2 种标号的基质沥青

作为研究对象，选取胶粉掺量为 18%，拌和温度为 175 °C，对 20 目的货车轮胎胶粉进行了试验，其试验结果见表 6。

沥青标号较高时，轻组分的含量较高。从表 6 中可以看出，基质沥青在胶粉改性后的低温性能虽

表 6 不同基质沥青下橡胶沥青性能检测结果

Table 6 Performance test results of rubber asphalt under different kinds of the matrix asphalt

沥青标号	软化点/°C	25 °C 弹性恢复/%	沥青车辙因子/kPa					沥青弯曲蠕变劲度/MPa		沥青弯曲蠕变速率	
			76 °C 原样	82 °C 原样	旋转薄膜老化 76 °C	旋转薄膜老化 82 °C	加速老化后 31 °C	-18 °C	-24 °C	-18 °C	-24 °C
70#	72.6	89	10.544	7.879	11.685	8.136	287	94	231	0.331	0.224
90#	69.9	91	6.895	5.536	7.169	5.234	189	87	191	0.389	0.332
Superpave 指标要求	—	—	≥1.0	≥1.0	≥2.2	≥2.2	≤5 000	≤300	≤300	≥0.1	≥0.1

然都满足 PG 低温等级-34 的要求, 但是 70[#]基质沥青改性后的性能指标优于 90[#]的, 其车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 和抗疲劳因子 $G^*\cdot\sin\delta$ 反映得较为明显。因此, 在橡胶沥青应用研究中, 可根据不同区域、气候条件及路面受力情况, 综合考虑后, 对基质沥青作出选择。

6 结论

根据 SHRP 体系试验要求, 完善了橡胶沥青的制备工艺, 分析了胶粉对沥青改性过程中的各种影响因素, 得出的结论为:

1) 橡胶沥青对胶粉种类和细度具有选择性。①从胶粉型号上看, 胶粉越粗, 高温熔胀后与沥青形成的网格状态越显著, 改性后沥青性能越优, 20 目的胶粉优于 40 目和 60 目的。②从胶粉种类上看, 货车轮胎胶粉改性后橡胶沥青的软化点是小车轮胎胶粉的 1.1~1.3 倍。老化前货车轮胎胶粉的车辙因子是小车轮胎胶粉的 1.5~2.0 倍, 老化后货车轮胎胶粉的车辙因子是小车轮胎胶粉改性沥青的 1.6~2.1 倍。货车轮胎胶粉的抗疲劳因子只占到上限要求的 6%, 货车轮胎胶粉的蠕变劲度为小车轮胎胶粉改性沥青的 65%~75%, 整体货车胶粉优势明显。

2) 随着胶粉掺量的增加, 橡胶沥青高、低温性能以及抗老化性能明显增加。从施工的便易性考虑, 16%~18%的胶粉掺量比较合适。

3) 随着拌和温度的升高, 车辙因子降低, 抗疲劳因子升高, 建议拌合温度控制在 180 °C 以内。

4) 沥青标号较高时, 轻组分的含量较高。70[#]基质沥青经过胶粉改性后的性能指标优于 90[#]的, 车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 和抗疲劳因子 $G^*\cdot\sin\delta$ 反映得较为明显。即: 增加基质沥青标号, 可提高橡胶沥青的低温性能、抗老化性能及抗疲劳性能; 反之, 橡胶沥青的高温性能有所下降。

参考文献(References):

[1] 方烁,张广泰,叶奋.基于活化温度的橡胶沥青流变及微观性能研究[J].公路工程,2019,44(4):63-66,89.(FANG Shuo,ZHANG Guang-tai,YE Fen. Study on rheological and microscopic properties of rubber asphalt based on

activation temperature[J]. Highway Engineering, 2019, 44(4): 63-66,89.(in Chinese))

- [2] 李铁成,胡超峰,冯明林,等.复合改性橡胶沥青应力吸收层应用技术研究[J].公路与汽运,2019(1):72-74,164.(LI Tie-cheng,HU Chao-feng, FENG Ming-lin,et al.Study on the application technology of the composite-modified rubber asphalt stress-absorbing layer[J]. Highways & Automotive Application, 2019(1): 72-74, 164. (in Chinese))
- [3] 李林涛.复合改性橡胶沥青及其应力吸收层性能研究[J].交通科学与工程,2018,34(4):6-10.(LI Lin-tao.Study on properties of the composite-modified rubber asphalt and its stress absorbing layer[J]. Journal of Transport Science and Engineering,2018,34(4): 6-10.(in Chinese))
- [4] 程其瑜,祝谭雍,黄晓明,等.稳定型橡胶沥青厂拌热再生混合料性能研究[J].公路工程,2019,44(3):54-60.(CHENG Qi-yu,ZHU Tan-yong, HUANG Xiao-ming,et al. Study on the performance of the hot recycled mixture in stable rubber asphalt plant[J]. Highway Engineering, 2019,44(3): 54-60.(in Chinese))
- [5] 张鹏,尹振羽.废旧轮胎再生橡胶粉对沥青物理性能及流变性能的影响[J].山东科技大学学报:自然科学版,2019,38(2):57-64.(ZHANG Peng, YIN Zhen-yu. Effect of waste tire recycled rubber powder on physical properties and rheological properties of asphalt[J].Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science,2019,38(2): 57-64.(in Chinese))
- [6] 张晓亮,陈华鑫,张奔,等.不同来源橡胶粉对橡胶沥青性能影响[J].长安大学学报:自然科学版,2018,38(5):1-8.(ZHANG Xiao-liang,CHEN Hua-xin, ZHANG Ben, et al.Effect of rubber powder from different sources on performance of rubber asphalt[J].Journal of Chang'an University:Natural Science Edition,2018,38(5):1-8.(in Chinese))
- [7] 张争奇,方滢,李卓琳.脱硫橡胶沥青和普通橡胶沥青性能试验分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2019,34(3):75-78.(ZHANG Zheng-qi,FANG Ying,LI Zhuo-lin. Experimental analysis of the performance of desulfurized rubber asphalt and ordinary rubber asphalt[J].Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2019, 34(3): 75-78.(in Chinese))

(下转至第 55 页)

- expressway[J].Journal of Tongji University:Natural Science,2015,43(4):555-561.(in Chinese))
- [9] 夏坚,宗周红,杨泽刚,等.基于 GPS 的大跨斜拉桥车辆荷载模型[J].中国公路学报,2016,29(1):44-52.(XIA Jian,ZONG Zhou-hong,YANG Ze-gang,et al.GPS-based vehicle load model for long-span cable-stayed bridges[J].China Journal of Highway and Transport,2016,29(1):44-52.(in Chinese))
- [10] 鲁乃唯,刘扬,肖新辉.实测车流作用下大跨桥梁荷载效应极值外推法[J].交通运输工程学报,2018,18(5):47-55.(LU Nai-wei,LIU Yang,XIAO Xin-hui.Extreme value extrapolation method for load effects of long-span bridges under measured traffic flow[J].Journal of Transportation Engineering, 2018, 18(5): 47-55. (in Chinese))
- [11] 鲁乃唯,刘扬,Mohammad N.交通量持续增长下大跨桥梁时变极值外推分析[J].工程力学,2018,35(7):159-166.(LU Nai-wei, LIU Yang, Mohammad N. Time-varying extreme value extrapolation analysis of long-span bridges under continuous traffic growth[J]. Engineering Mechanics,2018,35(7):159-166.(in Chinese))
- [12] Leahy C,Obrien E,O'Connor A.The effect of traffic growth on characteristic bridge load effects[J].Transportation Research Procedia,2016,14:3990-3999.
- [13] 邱国阳,朱立伟.基于动态称重算法的车辆荷载分布规律的研究[J].公路工程,2018,43(6):257-262.(QIU Guo-yang,ZHU Li-wei. Research on vehicle load distribution based on dynamic weighing algorithm[J]. Highway Engineering,2018,43(6):257-262.(in Chinese))
- [14] 李元吉,鲁乃唯,罗媛.随机车流作用下拱桥荷载效应极值外推与校验[J].中外公路,2018(4):101-105.(LI Yuan-ji, LU Nai-wei,LUO Yuan.Extrapolation and verification of extreme load effect of arch bridge under random traffic flow[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2018(4): 101-105.(in Chinese))
- [15] 鲁乃唯.随机车流下悬索桥加劲梁动力响应概率模型与可靠度研究[D].长沙:长沙理工大学,2014.(LU Nai-wei. Study on the probability model and the reliability of dynamic response of the stiffening beam of the suspension bridge under random traffic flow[D]. Changsha:Changsha University of Science & Technology, 2014.(in Chinese))

(上接第 37 页)

- [8] 王筵铸,王旭东,张龙生,等.橡胶沥青配伍性及黏附性能研究[J].公路交通科技,2019,36(3):34-41,72.(WANG Yan-zhu,WANG Xu-dong,ZHANG Long-sheng,et al. Study on the compatibility and adhesion properties of rubber asphalt[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2019, 36(3): 34-41, 72. (in Chinese))
- [9] 张广泰,方烁,叶奋.双螺杆挤出胶粉改性沥青流变性能研究[J].中国公路学报,2019,32(5):57-63,99.(ZHANG Guang-tai,FANG Shuo,YE Fen.Study on rheological properties of twin-screw extrusion rubber modified asphalt[J].China Journal of Highway and Transport,2019,32(5):57-63,99.(in Chinese))
- [10] 徐鸥明,张鸿,曹志飞,等.经济型低胶粉掺量橡胶沥青混合料路用性能研究[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2019,38(5):52-56.(XU Ou-ming,ZHANG Hong,CAO Zhi-fei,et al.Study on road performance of economical low-gase powder rubber asphalt mixture[J].Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2019, 38(5):52-56.(in Chinese))
- [11] 祝谭雍,程其瑜,许兵,等.稳定型橡胶沥青再生应力吸收层技术性能研究[J].公路交通科技,2018,35(12):35-41.(ZHU Tan-yong,CHENG Qi-yu,XU Bing,et al.Study on technical performance of stabilized rubber asphalt regenerated stress-absorbing layer[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 35(12):35-41.(in Chinese))
- [12] 杨茂军.胶粉表面处治对橡胶沥青中高温性能影响研究[J].公路,2019,64(2):33-38.(YANG Mao-jun.Study on the effect of rubber powder surface treatment on high temperature performance of rubber asphalt[J].Highway, 2019,64(2):33-38.(in Chinese))