

胶粉复合改性沥青混合料路用性能研究

章清涛¹, 李作钰^{2*}, 于悦³, 董昭², 柳久伟², 徐书东²

¹山东高速股份有限公司, 山东 济南

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

³山东高速交通建设集团股份有限公司, 山东 济南

收稿日期: 2022年1月7日; 录用日期: 2022年2月14日; 发布日期: 2022年2月24日

摘要

采用胶粉复合改性沥青与SBS改性沥青在室内开展相关材料检测和配合比设计试验, 选用同级配的AC-20C沥青混合料, 进行两者高温稳定性能、低温性能、水稳定性等路用性能对比评价。结果表明: 胶粉复合改性沥青混合料高温抗车辙性能优于SBS改性沥青混合料, 其他路用性能指标没有显著性差异。

关键词

胶粉复合改性沥青, SBS改性沥青, 配合比设计, 路用性能研究

Research on Road Performance of Rubber Powder Compound Modified Asphalt Mixture

Qingtao Zhang¹, Zuoyu Li^{2*}, Yue Yu³, Zhao Dong², Jiuwei Liu², Shudong Xu²

¹Shandong Hi-Speed Company Limited, Jinan Shandong

²Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

³Shandong Hi-Speed Transportation Construction Group Co., Ltd., Jinan Shandong

Received: Jan. 7th, 2022; accepted: Feb. 14th, 2022; published: Feb. 24th, 2022

Abstract

Use rubber powder composite modified asphalt and SBS modified asphalt to carry out related material testing and mix ratio design tests indoors, and select AC-20C asphalt mixture of the same gradation to conduct comparative evaluation of road performance of high temperature stability, low tem-

*通讯作者。

文章引用: 章清涛, 李作钰, 于悦, 董昭, 柳久伟, 徐书东. 胶粉复合改性沥青混合料路用性能研究[J]. 材料科学, 2022, 12(2): 79-86. DOI: 10.12677/ms.2022.122008

perature performance, water stability, etc. The results show that the high-temperature rutting resistance of the rubber powder composite modified asphalt mixture is better than that of the SBS modified asphalt mixture, and there is no significant difference in other road performance indicators.

Keywords

Rubber Powder Compound Modified Asphalt, SBS Modified Asphalt, Mix Design, Road Performance Research

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

国外对胶粉沥青相关技术的研究、应用比较早,但大规模适用最近 50 年的事,代表国家有美国、澳大利亚、南非等[1] [2] [3]。我国橡胶沥青是在上世纪八十年代开始研究“废轮胎胶粉”修筑沥青路面技术,但是由于废胎胶粉加工成本、缺乏工业化加工橡胶沥青设备等问题,大规模应用受到一定局限性。

胶粉沥青混合料的加工分为干法与湿法工艺[4] [5],干法工艺[6]是指胶粉与连接剂按照比例配好,在干拌时加入拌锅与集料一起干拌,然后加入沥青,胶粉颗粒作为细集料使用,由此矿料需采用间断型级配。湿法工艺[7]是指橡胶沥青预加工作为成品沥青加在拌锅内拌和,矿料为连续级配。孙大权等[8] [9]研究证实干法工艺,橡胶粉主要部分充当为集料对沥青基本没有改性作用,湿法工艺可以起到改善沥青性能的作用。胶粉复合改性沥青是将橡胶沥青与 SBS 改性沥青的各自特性进行优势融合,从而提高沥青混合料的路用性能[10]。基于此,本文以内蒙古自治区某高速公路为依托,按照马歇尔设计方法分别从高温抗车辙、水稳定性、低温抗开裂三个方面,对胶粉复合改性沥青混合料与 SBS 改性沥青混合料性能进行对比研究,为胶粉复合改性沥青混合料的进一步推广应用提供参考。

2. 原材料

2.1. 胶粉复合改性沥青

胶粉复合改性沥青为施工单位现场加工,其加工工艺流程为:1) 将 90#基质沥青升温至 165℃~175℃,泵入生产罐,按外掺 3%的比例加入芳烃油,向生产罐中按外掺 2%的比例加入 SBS4303 改性剂;2) 将基质沥青、芳烃油和 SBS 改性剂的混合物通过胶体磨高速剪切后送入发育罐,保持 170℃~175℃发育温度 2~3 小时,期间保持发育罐连续运转;3) 将成品 SBS 改性沥青泵入生产罐(须将沥青温度提升至 180℃~190℃),按外掺 18%的比例加入橡胶粉;4) 将 SBS 成品改性沥青与橡胶粉混合后通过胶体磨送入发育罐;5) 在发育罐中按外掺 0.1%的比例加入稳定剂同时保证发育罐温度在 185℃~190℃连续搅拌 2~3 小时,即完成橡胶复合改性沥青加工。依据《路用硫化橡胶粉改性沥青》指标要求检测其性能,检测结果见表 1。

2.2. SBS 沥青

SBS 改性沥青加工工艺:将 90#A 级石油沥青加热至 165℃~175℃,加入 SBS 改性剂,将基质沥青与 SBS 改性剂经导热油加热至 180℃,以 15~20 t/h 的流速通过胶体磨剪切;混合物在熟化罐进行发育,温度降至 170℃机械搅拌 12 h,以备使用。依据《公路沥青路面施工技术规范》[11] JTG F40-2004 指标要求,其性能检测结果见表 2。

Table 1. Rubber powder composite modified asphalt test results
表 1. 胶粉复合改性沥青检测结果

项目	单位	实测值	技术要求	
180℃运动粘度	Pa·s	1.6	1~3	
针入度	0.1 mm	79	60~80	
针入度指数 PI	/	1.9	≥0.6	
5℃延度 5cm/min	cm	25	≥15	
软化点(环球法)	℃	72.5	≥50	
25℃弹性恢复	%	89	≥75	
闪点	℃	240	≥230	
离析, 软化点差(℃)	℃	0.3	≤5.0	
TFOF 后残留物	质量变化	%	-0.289	≤±0.6
	25℃针入度比	%	73	≥65
	5℃延度	cm	16	≥12

Table 2. SBS modified asphalt testing index
表 2. SBS 改性沥青检测指标

项目	单位	实测值	技术要求	
135℃运动粘度	Pa·s	0.9	≤3	
针入度	0.1 mm	-0.2	60~80	
针入度指数	/	69	≥-0.4	
5℃延度 5 cm/min	cm	42	≥30	
软化点(环球法)	℃	77.5	≥55	
闪点	℃	254	≥230	
溶解度	%	99.90	≥99	
离析, 软化点差(℃)	℃	1.6	≤2.5	
25℃弹性恢复(%)	%	91	≥65	
TFOF 后残留物	质量变化	%	-0.187	≤±1
	25℃针入度比	%	77	≥60
	5℃延度	cm	38	≥20

2.3. 集料

粗细集料岩性均为玄武岩, 矿粉岩性为石灰岩, 性能检测指标均满足规范要求, 粗集料检测结果见表 3 细集料检测结果见表 4。

3. 配合比设计

3.1. 级配确定

用于对比研究的橡胶复合改性沥青混合料与 SBS 沥青混合料采用相同的 AC-20 级配, 试验采用马歇尔设计方法进行设计, 目标配合比级配曲线见图 1。

Table 3. Summary table of coarse aggregate testing results
表 3. 粗集料检测结果汇总表

检测项目	高速公路及一级公路技术指标		检测结果	
	表面层	其他层次		
洛杉矶磨耗损失(%), 不大于	28	30	15.0	
压碎值(%), 不大于	26	28	10.4	
表观相对密度	15~25 mm		2.913	
	10~20 mm		2.936	
	5~10 mm	≥2.60	≥2.50	2.947
	3~5 mm		2.869	
软石含量(%), 不大于	3	5	0	

Table 4. Summary table of fine aggregate testing results
表 4. 细集料检测结果汇总表

集料规格	检测项目	高速公路、一级公路技术指标	实测值
0~3 mm	表观相对密度	≥2.50	2.914
	砂当量(%), 不小于	≥60	62

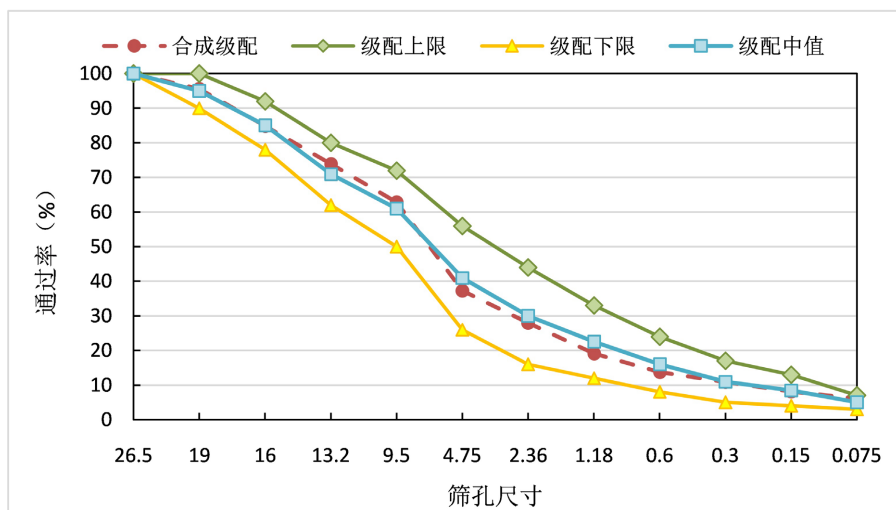


Figure 1. Mineral material synthesis grading
图 1. 矿料合成级配

3.2. 确定最佳沥青用量

分别按照马歇尔设计方法确定最佳沥青用量, SBS 改性沥青 AC20 混合料采用 4.0%、4.3%、4.6% 沥青含量, 胶粉复合改性沥青 AC20 混合料采用 5.0%、5.3%、5.6% 沥青含量进行马歇尔击实试验。SBS 沥青 AC-20 混合料的体积指标结果见表 5, 胶粉复合改性沥青 AC-20 混合料的体积指标结果见表 6。

根据上述体积指标结果, 采用图解法确定最佳沥青用量。SBS 沥青混合料最佳沥青用量 4.3%, 胶粉复合改性沥青混合料最佳沥青用量 5.3%。由于胶粉复合改性沥青的粘度高于 SBS 改性沥青, 在进行配合设计时, 胶粉复合改性沥青的沥青用量明显大于 SBS 改性沥青用量。

Table 5. SBS asphalt mixture marshall test results
表 5. SBS 沥青混合料马歇尔试验结果

沥青含量 (%)	理论最大相对密度 γ_f	试件毛体积相对密度 γ_t	空隙率 VV(%)	矿料间隙率 VMA (%)	沥青饱和度 VFA (%)	稳定度(kN)	流值(mm)
4.0	2.637	2.500	5.2	13.3	61.0	13.50	3.1
4.3	2.624	2.518	4.0	13.0	68.9	14.37	3.4
4.6	2.611	2.522	3.4	13.1	73.9	13.88	3.6

Table 6. Marshall test results of rubber powder compound modified asphalt
表 6. 胶粉复合改性沥青马歇尔试验结果

沥青含量 (%)	理论最大相对密度 γ_f	试件毛体积相对密度 γ_t	空隙率 VV(%)	矿料间隙率 VMA (%)	沥青饱和度 VFA (%)	稳定度(kN)	流值(mm)
5.0	2.627	2.494	5.1	14.9	66.0	12.62	2.8
5.3	2.614	2.510	4.0	14.6	72.7	13.69	3.1
5.6	2.602	2.522	3.1	14.5	78.8	12.83	3.4

4. 路用性能对比分析

4.1. 高温抗车辙性能

车辙试验是评价沥青混合料在规定温度下抵抗塑性流动变形能力的方法，通过板块状试件与车轮之间的往复相对运动，使试件在车轮的重复荷载作用下，产生压密、剪切、推移和流变从而产生车辙。根据确定的级配以及最佳沥青用量，室内成型沥青混合料车辙试件，采用 60℃动稳定度进行结果的评价，实验结果见图 2。

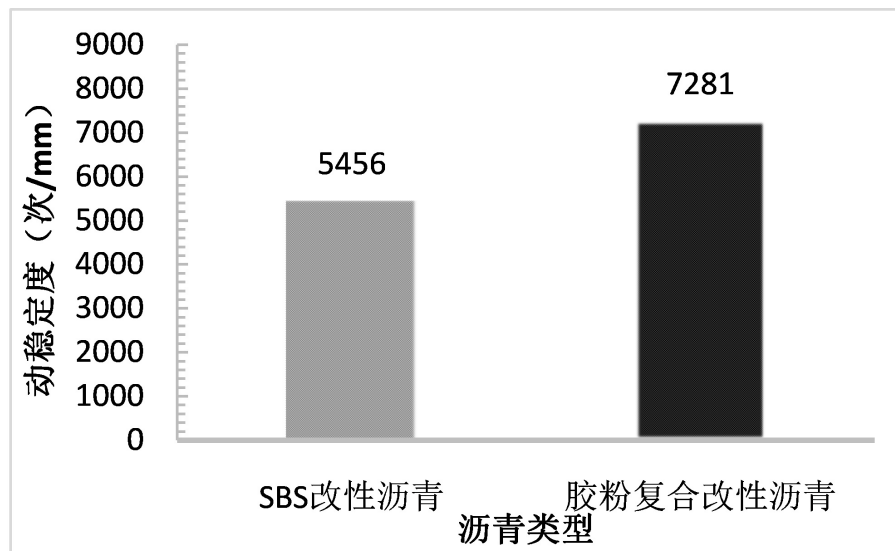


Figure 2. Dynamic stability test results
图 2. 动稳定度实验结果

从图 2 试验结果可以看出，胶粉复合改性沥青与 SBS 改性沥青沥青混合料均满足施工技术规范要求，且胶粉复合改性沥青动稳定度相对于 SBS 改性沥青动稳定度提高了 33.4%，试验结果表明前者高温稳定性

明显优于后者。

4.2. 水稳定性

水损害是沥青路面的主要病害之一。水损害是沥青路面在水和冻融反复循环的作用下，由于汽车荷载的作用，进入路面空隙的水不断产生动水压力或者真空负压抽吸的反复循环作用，水分逐渐渗入沥青与集料的空隙，使沥青粘结力降低，沥青膜从集料表面剥离，继而引发沥青混合料掉粒、松散，产生路面坑槽、变形等损坏。通过室内冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验评价混合料的水稳定性，试验结果见图3和图4。

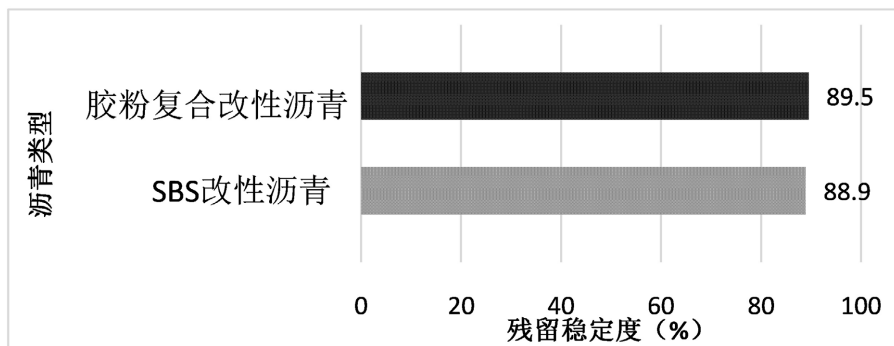


Figure 3. Results of immersed Marshall specimens

图3. 浸水马歇尔试件结果

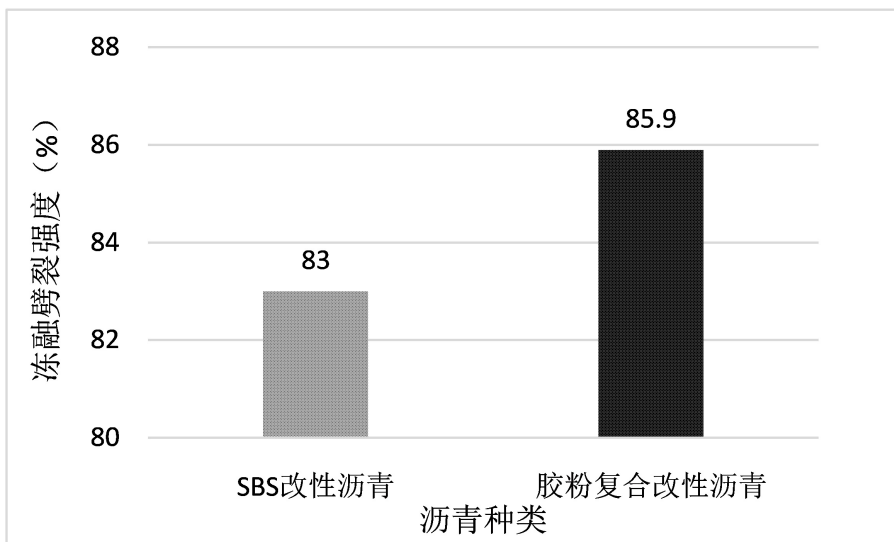


Figure 4. Freeze-thaw split test comparison

图4. 冻融劈裂试验比对

从图3、图4可以看出，胶粉复合改性沥青 AC-20C 与 SBS 改性沥青 AC-20C 混合料残留稳定度和冻融劈裂强度试验均满足施工技术规范要求，胶粉复合改性沥青的水稳定相比较于 SBS 改性沥青水稳定性冻融劈裂试验提高了 3.5%、浸水马歇尔试验提高了 0.7%，两者水稳定试验结果没有显著性差异，说明两种沥青成型的沥青混合料水稳定水平相当。

4.3. 低温性能

低温弯曲试验可以得到破坏应变、抗弯拉强度、劲度模量三个指标，并以破坏应变作为主要评价指

标。低温弯曲试验常用小梁来评价,即由轮碾成型后切制的长 $250\text{ mm} \pm 2.0\text{ mm}$ 、宽 $30\text{ mm} \pm 2.0\text{ mm}$ 、高 $35\text{ mm} \pm 2.0\text{ mm}$ 的小梁,其跨径为 $200\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ 。采用试验温度 -10°C ,加载速率为 50 mm/min 的速率。低温弯曲实验结果见图5。

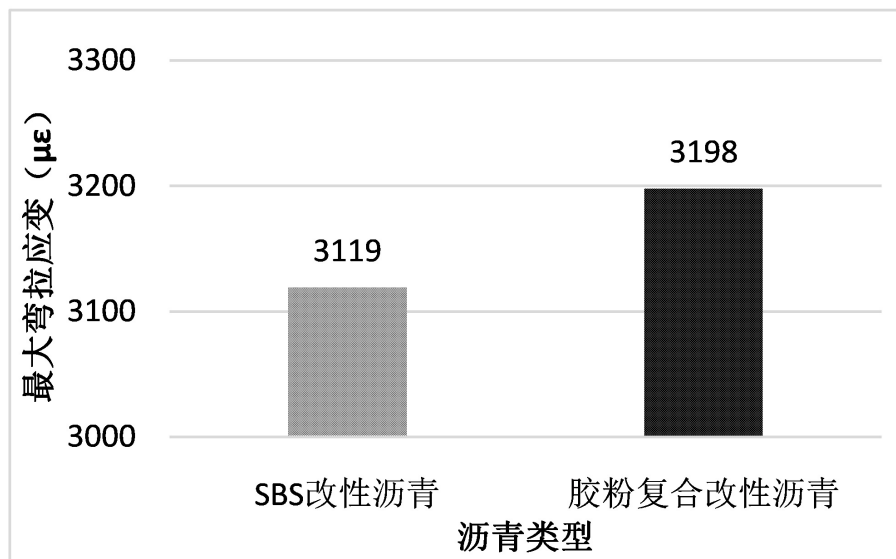


Figure 5. Low temperature bending test results
图5. 低温弯曲试验结果

根据图5可以看出,两者低温弯曲试验结果均满足施工技术规范要求[11]。胶粉复合改性沥青 AC-20C 沥青混合料的低温性能的最大弯拉应变相较于 SBS 改性沥青提高弯曲试验提高 2.5%,两者试验结果没有显著性差异,说明两者低温抗开裂性能水平相当。

5. 结论

1) 胶粉复合改性沥青混合料与 SBS 改性沥青混合料对比研究发现,高温性能胶粉沥青较 SBS 改性沥青提高了 33.4%,水稳定性提高了 3.5%、浸水马歇尔试验提高了 0.7%,低温弯曲的最大弯拉应变提高了 2.5%。综合高温、低温、水稳定性对比,胶粉复合改性沥青针对于 SBS 改性沥青高温性能优势更为明显,其他路用性能没有显著性优势。

2) 由于胶粉复合改性沥青的粘度高于 SBS 改性沥青,容易在集料表面裹敷较厚沥青膜,因此在配合比设计中胶粉复合沥青的沥青用量要大于 SBS 改性沥青,为后续胶粉复合沥青混合料配合比设计提供参考。

参考文献

- [1] 交通部公路科学研究院. 橡胶沥青及混合料设计施工技术指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] 刘润有, 张聪, 曾伟, 王朝辉. 胶粉细度及掺量对温拌沥青混合料性能的影响[J]. 施工机械&施工技术, 2011, 28(12): 51-53.
- [3] 罗鹏冲, 刘金松, 褚付克, 等. 胶粉复合改性沥青在某省道干线公路中应用[J]. 广东土木与建筑, 2021, 28(7): 81-84.
- [4] 周志刚, 陈功鸿, 张红波, 等. 橡胶粉/SBS 与高粘剂复合改性沥青的制备及性能研究[J]. 材料导报, 2021, 35(6): 6093-6099.
- [5] 吉泽中, 刘嘉伟, 徐凯. 橡胶/SBS 复合改性沥青及其混合料性能研究[J]. 新型建筑材料, 2018, 45(4): 124-128, 132.
- [6] 周乐东, 鲁斌. 不同纤维对 SBS/胶粉改性沥青混合料性能影响[J]. 石油沥青, 2020, 34(4): 48-55.

- [7] 韩君, 于晓飞, 周德洪. 废旧橡胶粉掺量对改性沥青路用性能的影响[J]. 合成材料老化与应用, 2016, 45(4): 34-36, 42.
- [8] 孙大权, 金福根, 徐晓亮, 等. 橡胶沥青路面湿法和干法技术研究进展[J]. 石油沥青, 2008, 22(6): 1-5.
- [9] 韦大川, 王云鹏, 李世武, 等. 橡胶粉与 SBS 复合改性沥青路用性能与微观结构[J]. 吉林大学学报, 2008, 38(3): 525-529.
- [10] 刘勇, 兴宇, 志刚, 等. 胶粉/SBS 复合改性沥青性能评价与改性机理[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 108-113.
- [11] 中华人民共和国交通部. JTGF40-2004. 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.