

短期老化法制备 RAP 的再生沥青混合料路用性能

黄军瑞,张兆杰,苑兆迪,张欢

山东省交通科学研究院,山东 济南 250102

摘要:为研究再生沥青混合料的路用性能,采用短期老化法模拟苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(styrene butadiene styrene,SBS)改性沥青、岩沥青(rock asphalt,RA)改性沥青混合料的老化,将老化后的材料作为废旧沥青混合料(reclaim asphalt pavement,RAP),制备 SBS 再生沥青、RA 再生沥青、普通再生沥青混合料,对比研究三者和普通 AC-20 沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、抗车辙性及水稳定性。试验结果表明:2 种改性再生沥青混合料的高温动稳定度相近,优于其他 2 种沥青混合料;AC-20 混合料的低温性能最佳,略高于 2 种改性再生沥青,普通再生沥青的低温性能最差;改性再生沥青的汉堡车辙试验性能优于其他 2 种沥青混合料,普通沥青混合料的车辙深度出现拐点。改性再生沥青混合料的低温性能和水稳定性未明显劣化,高温性能与常规再生沥青混合料相当,满足沥青混合料的性能要求。

关键词:SBS 改性沥青;RA 改性沥青;再生沥青混合料;短期老化法;路用性能

中图分类号:TU416.217;TV431+.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-0032(2023)04-0098-06

引用格式:黄军瑞,张兆杰,苑兆迪,等.短期老化法制备 RAP 的再生沥青混合料路用性能[J].山东交通学院学报,2023,31(4):98-103.

HUANG Junrui, ZHANG Zhaojie, YUAN Zhaodi, et al. Road applications performance of reclaimed asphalt mixture prepared RAP by short-term aging method[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2023, 31(4):98-103.

0 引言

我国公路建设发展迅速,截至 2022 年底,我国的公路总里程已达 535.48 万 km,沥青路面约占 90%^[1]。公路养护里程急剧上升,路面翻修过程中产生大量废旧沥青混合料(reclaim asphalt pavement,RAP),长期堆放易造成严重的环境污染。我国交通运输量逐年递增,2022 年完成营业性货运量 506.63 亿吨,客运量 55.87 亿人次,公路营业性货运量和客运量分别占 73.3%、63.5%。其中,货运方面以重载交通居多,对沥青路面的性能提出更高要求。

通常公路改扩建项目中会在沥青中下面层铺设厂拌热再生沥青混合料^[2-4],研究老化改性沥青混合料的性能可知,改性再生沥青混合料在间接拉伸试验中的耐久性和低温性能较好^[5]。研究多种改性沥青老化再生原理及老化过程中各类改性剂组成的变化可知,改性沥青老化后不应再增加高标号沥青和再生剂,否则易造成改性沥青软化^[6];改性沥青在短期老化过程中,SBS 改性剂可减缓老化速度,对沥青性能的影响相对较小^[7]。但现有文献中研究对象相对单一,分析改性沥青的再生机理较多,研究不同类型改性再生沥青混合料的路用性能较少^[8]。

本文采用短期老化模拟法模拟苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(styrene butadiene styrene,SBS)改性沥青、岩沥青(rock asphalt,RA)改性沥青的老化,拌和制备再生沥青混合料,通过浸水高温车辙试验、低温弯曲试验、水稳定性试验等对比不同类型 AC-20 沥青混合料的路用性能,分析改性-再生 AC-20

收稿日期:2022-05-11

第一作者简介:黄军瑞(1996—),男,山东枣庄人,助理工程师,工学硕士,主要研究方向为道路工程材料,E-mail:17862982276@163.com。

对沥青混合料路用性能的影响。

1 再生沥青混合料的模拟制备

1.1 试验原材料

RA是天然沥青,常温下为黑褐色粉末状,在生产及运输过程中易受潮,受潮的RA不仅影响自身性状,还会对施工道路带来安全隐患^[9-10]。RA的含水率为1.54%,满足含水率不大于2%的技术要求^[11]。工程中岩沥青与矿料的质量比通常为0.03~0.04^[12-14],为减小试验的变量,采用70#基质沥青进行改性,SBS改性剂与基质沥青的质量比、RA与基质沥青的质量比均设为0.035。SBS改性沥青、RA改性沥青各指标的技术要求及检测结果如表1、2所示。结果表明,2种改性沥青均符合技术要求。

表1 2种改性沥青各指标的技术要求

材料	针入度(25℃, 100 g, 5 s), /(0.1 mm)	延度(70#, 10℃; 改性沥青 5℃)/cm	软化点/℃	TFOT或RTFOT后残留物			溶解度/%	闪点/ ℃
				质量 变化/%	残留针入 度比/%	残留延度(70#, 15℃;改性沥青 5℃)/cm		
70#基质沥青	60.0~80.0	≥15.0	≥45.0	≤±8.00	≥61.0	≥6	≥99.5	≥260
SBS改性沥青	40.0~60.0	≥20.0	≥60	≤±1.0	≥61.0	≥15	≥99.0	≥230
RA改性沥青	50.0~70.0		≥50	≤±1.0	≥50.0			≥230

表2 2种改性沥青各指标的检测结果

材料	针入度(25℃, 100 g, 5 s), /(0.1 mm)	延度(70#, 10℃; 改性沥青 5℃)/cm	软化点/℃	TFOT或RTFOT后残留物			相对 密度	溶解 度/%	闪点/ ℃
				质量 变化/%	残留针入 度比/%	残留延度(70#, 15℃;改性沥青 5℃)/cm			
70#基质沥青	70.6	50.8	62.0	0.08	63.0	12	1.015	99.8	298
SBS改性沥青	47.0	34.0	70.0	0.21	85.0	19	1.020	99.6	310
RA改性沥青	60.2	101.0	52.2	0.12	62.1	14	1.031		296

采用石灰岩为原材料和填料,表观相对密度不小于2.500,吸水率不大于3.0,采用水洗法检测粒径小于0.075 mm的质量分数不大于1.0,按粒径分为0~5 mm、>5~10 mm、>10~20 mm 3档,测试结果如表3所示。矿粉的表观相对密度为2.650。

1.2 改性沥青混合料的级配设计

采用热熔法制备SBS改性沥青。制备RA改性沥青时,需将RA过方孔筛,筛孔边长为1.18 mm,防止沥青在剪切过程中不均匀沉降;将70#基质沥青加热至150~160℃,将筛好的RA粉末按设计质量比加入70#基质沥青,搅拌约40 min,放入转速为10 000 r/min的剪切机中剪切60 min,在剪切过程中升温至170℃。

为减少试验中的误差,SBS改性沥青混合料、RA改性沥青混合料均采用同一级配。对0~5 mm、>5~10 mm、>10~20 mm石灰岩和矿粉进行筛分试验,确定改性沥青混合料的级配,各组成成分的通过率如表4所示。

表3 原材料和填料测试结果

粒径/mm	表观 相对密度	吸水 率/%	粒径小于0.075 mm 颗粒的质量分数/%
0~5	2.675		
>5~10	2.749	0.47	0.8
>10~20	2.730	0.39	0.3

表4 AC-20级配及集料通过率

筛孔边长/mm	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-20 规范级配下限/%	90.0	83.0	73.0	56.0	35.0	22.0	15.0	10.0	6.0	5.0	4.0
AC-20 规范级配上限/%	100.0	95.0	86.0	70.0	48.0	33.0	23.0	16.0	11.0	9.0	6.0
级配中值/%	95.0	89.0	79.5	63.0	41.5	27.5	19.0	13.0	8.5	7.0	5.0
>10~20 mm 石灰岩通过率/%	93.1	74.3	48.0	7.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3
>5~10 mm 石灰岩通过率/%	100.0	100.0	100.0	98.0	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0~5 mm 石灰岩通过率/%	100.0	100.0	100.0	100.0	97.3	66.0	47.5	30.1	17.1	12.5	8.8
改性沥青混合料合成级配/%		100.0	98.0	76.8	38.9	26.3	19.4	14.1	9.9	8.3	5.0

1.3 再生沥青混合料

采用文献[15]室内短期老化方法对 AC-20 进行模拟老化。将制备的 SBS 改性沥青、RA 改性沥青分别置于试样盘中,用试验铲把混合料摊铺开,摊铺面质量约为 $(20\pm 1)\text{kg}/\text{m}^2$,将试样盘置于 $135\text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱内,加热通风老化约 4 h。为使 2 种改性混合料充分老化,通风加热期间需每 h 搅拌 1 次混合料,以达到沥青混合料在施工过程中形成的老化状态^[16]。

将模拟老化的 SBS 改性沥青混合料、RA 改性沥青混合料作为 RAP,进行再生沥青混合料配合比设计,RAP 与新沥青的质量比为 0.2^[17],分别制备 SBS 再生沥青混合料、RA 再生沥青混合料。模拟老化的 AC-20 与新 AC-20 的质量比为 0.2,二者拌和制备普通再生沥青混合料。

2 再生沥青混合料的路用性能分析

2.1 高温稳定性

采用车辙试验评价沥青混合料的高温稳定性,按文献[15]要求将混合料制成 $30\text{ cm}\times 30\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 的车辙板,A-20、普通再生沥青、SBS 再生沥青、RA 再生沥青的动稳定度分别为 1 241、2 461、3 008、2 869 次/mm。

普通再生沥青的高温性能较好,动稳定度约为 AC-20 的 2 倍,原因是 RAP 中的沥青老化严重,重质组分较高,沥青整体较硬;2 种改性再生沥青的高温性能优于普通再生沥青,原因是混合料中有老化后的改性沥青,2 种改性沥青的黏度相对较大,改性再生沥青的黏度和劲度进一步增大。

2.2 低温抗裂性

采用低温弯曲试验评价 4 种沥青混合料的低温性能,将车辙板试件沿行车方向加工为 $250\text{ mm}\times 30\text{ mm}\times 35\text{ mm}$ 的小梁试件,试验机加载速率为 $50\text{ mm}/\text{min}$,温度为 $-10\text{ }^\circ\text{C}$,结果如表 5 所示。文献[15]中要求冬冷区(温度为 $-9\sim 21.5\text{ }^\circ\text{C}$)沥青混合料的破坏应变不小于 2×10^{-3} 。

由表 5 可知:4 种沥青混合料均满足规范要求,破坏

表5 各混合料低温弯曲试验结果

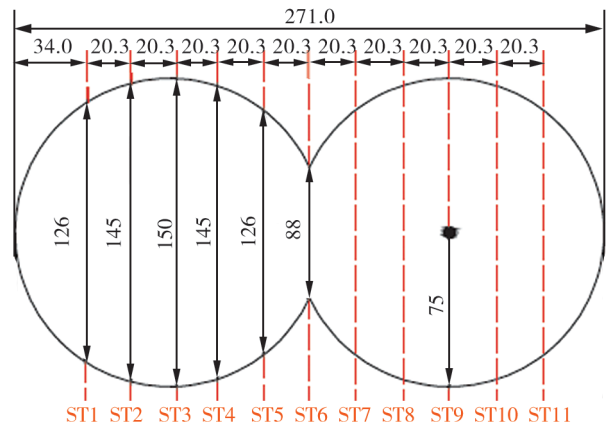
混合料类型	破坏应变/ 10^{-3}	劲度模量/GPa
AC-20	2.996	2.68
普通再生沥青	2.268	5.59
SBS 再生沥青	2.759	3.12
RA 再生沥青	2.888	2.96

应变由大到小依次为 AC-20、RA 再生沥青、SBS 再生沥青、普通再生沥青。普通再生沥青混合料中沥青老化后,轻质组分流失,沥青变硬变脆,且不能较好地融合新掺入的沥青,低温性能较差^[18];改性-再生沥青混合料含部分改性沥青,老化后的性能整体优于基质沥青,SBS 改性沥青、RA 改性沥青的低温性能较好^[19],在混合料老化过程中,改性沥青的性能未明显下降,改性再生沥青的低温性能未明显降低。

2.3 抗车辙性能和水稳定性

采用汉堡车辙试验评价沥青混合料抗车辙性能和水稳定性^[20],将4种混合料通过SGC成型制备 $\Phi 150\text{ mm}\times 170\text{ mm}$ 的标准试样,并加工成图1试样。ST1~ST11为试验点位,ST3、ST9为记录点。

将试件置于50℃水浴中碾压,设定轮碾机碾压10 000次,或试样车辙深度为12.7 mm时停止试验,结果如表6所示。ST3、ST9点处汉堡车辙数据如图2所示。由图2可知:碾压第10 000次时的车辙深度从大到小依次为AC-20沥青混合料、普通再生沥青混合料和2种改性再生沥青混合料,2种改性再生沥青混合料的碾压车辙深度相当。改



单位:mm。

图1 汉堡车辙试验试样及点位分布

性再生沥青混合料的抗车辙性能整体优于AC-20沥青混合料、普通再生沥青混合料。AC-20沥青混合料的车辙深度出现拐点,碾压第10 000次时车辙深度最大,说明AC-20沥青混合料的抗车辙性能最差;2种改性再生沥青混合料的浸水高温稳定性最好;普通再生沥青混合料中含RAP,沥青老化后黏附性下降,水稳定性降低,仍有一定抵抗车辙的能力,未出现拐点;改性再生沥青混合料中的改性沥青老化后仍具有良好的黏附性^[21],抗车辙能力有一定提高,改性再生沥青混合料具有良好的抵御高温水损坏的能力。

表6 汉堡车辙试验结果

混合料类型	5 000次车辙深度/mm		10 000次车辙深度/mm		拐点出现时的碾压次数	
	ST3	ST9	ST3	ST9	ST3	ST9
AC-20	4.93	5.67	7.82	8.45	6 228	6 139
普通再生沥青	5.59	4.30	6.94	6.34	无拐点	无拐点
SBS再生沥青	4.03	4.86	5.40	6.04	无拐点	无拐点
RA再生沥青	4.48	4.27	6.38	5.88	无拐点	无拐点

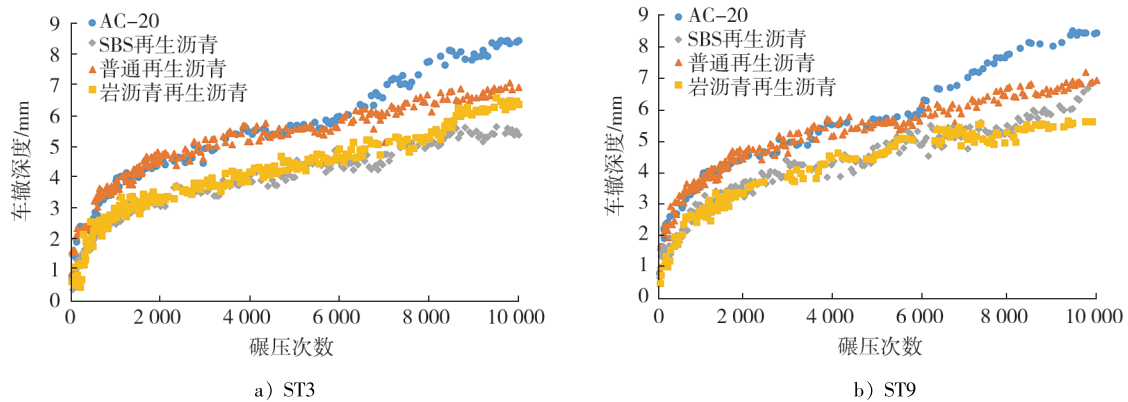


图2 ST3、ST9点处车辙深度与碾压次数的关系

3 结论

1)采用室内短期老化法模拟制备RAP,拌和制备SBS再生、RA再生、普通再生沥青混合料,再生沥青混合料的高温稳定性比AC-20沥青混合料好,改性再生沥青混合料的高温性能最佳,改性沥青老化后仍起一定作用。

2)再生沥青混合料因沥青老化后轻质组分流失,整体变硬变脆;改性再生沥青混合料的低温抗裂性

能无明显劣化。

3) 3种再生沥青混合料在汉堡车辙试验中均未出现拐点,表明三者具有良好的水稳定性及浸水高温稳定性,SBS再生沥青和RA再生沥青混合料的稳定性能相当,均优于AC-20和普通再生沥青混合料。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 2022年交通运输行业发展统计公报[R/OL]. (2023-11-07)[2023-06-21]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202306/content_6887539.htm.
- [2] 郭德栋,张圣涛,李晋,等. 厂拌热再生过程中旧矿料颗粒的迁移行为[J]. 山东大学学报(工学版),2018,48(2):46-52.
GUO Dedong, ZHANG Shengtao, LI Jin, et al. Migration behavior of reclaimed mineral aggregate in process of central plant hot recycling[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2018, 48(2): 46-52.
- [3] 倪晖,郭德栋. REOB改性乳化沥青冷再生混合料压实特性[J]. 山东交通学院学报,2019,27(3):43-47.
NI Hui, GUO Dedong. Study on compaction characteristics of cold regeneration mixture of REOB modified emulsion asphalt[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2019, 27(3): 43-47.
- [4] 王腾,黄军瑞. 高掺量RAP材料的厂拌热再生混合料设计及应用[J]. 山东交通学院学报,2019,27(3):48-54.
WANG Teng, HUANG Junrui. Study on design and application of heat-regenerated mixtures with high content of RAP[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2019, 27(3): 48-54.
- [5] JING H J, GONG Y, ZHANG Y Q, et al. Mix ratio optimization design method for hot in-place recycled asphalt mixtures[J]. DYNA, 2020, 95(5): 553-560.
- [6] 刘占良,王广山. 再生SBS改性沥青混合料的低温性能与细观参数[J]. 筑路机械与施工机械化,2018,35(1):46-49.
LIU Zhanliang, WANG Guangshan. Low temperature performance and mesoscopic parameters of recycled modified asphalt mixture[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2018, 35(1): 46-49.
- [7] 李立寒,张明杰,祁文洋. 老化SBS改性沥青再生与机理分析[J]. 长安大学学报(自然科学版),2017,37(3):1-8.
LI Lihan, ZHANG Mingjie, QI Wenyang. Regeneration of aged of SBS modified asphalt and its mechanism analysis[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2017, 37(3): 1-8.
- [8] 姚晓光,王燕,许涛,等. SBS改性沥青老化模拟及再生研究[J]. 武汉大学学报(工学版),2019,52(12):1070-1078.
YAO Xiaoguang, WANG Yan, XU Tao, et al. Research on aging simulation and recycling of SBS modified asphalt[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2019, 52(12): 1070-1078.
- [9] 周晓静,阚涛,乔弘,等. 浇注式岩沥青改性硬质沥青的基本性能试验研究[J]. 山东交通学院学报,2017,25(4):43-48.
ZHOU Xiaojing, KAN Tao, QIAO Hong, et al. Experimental study on basic properties of hardened asphalt modified by pouring rock asphalt[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2017, 25(4): 43-48.
- [10] YAN K Z, LI Y R, LONG Z W, et al. Mechanical behaviors of asphalt mixtures modified with European rock bitumen and waste cooking oil[J]. Construction and Building Materials, 2022, 319: 125909.
- [11] 张凯伟. 天然岩沥青改性沥青及其混合料技术性能研究[D]. 郑州:郑州大学,2018.
ZHANG Kaiwei. Study on technical performance of natural rock asphalt modified asphalt and its mixture[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018.
- [12] 马炎沛. 布敦岩沥青混凝土低温开裂特性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古工业大学,2021.
MA Yanpei. Study on the low temperature cracking characteristics of asphalt concrete in Bouton rock[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology, 2021.
- [13] 穆翔宇. 伊朗岩沥青制备防腐涂层的试验研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2021.
MU Xiangyu. Experimental study on anti-corrosion coating of Iranian[D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2021.
- [14] 中华人民共和国交通运输部,交通运输部公路科学研究院. 岩沥青改性沥青混合料施工技术规范:DB41/T 1466—2017[S]. 北京:人民交通出版社,2017.
- [15] 中华人民共和国交通运输部,交通运输部公路科学研究院. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20—2011[S]. 北京:人民交通出版社,2017.

- [16] 郭猛,任鑫,焦峪波,等. 沥青及沥青混合料老化与抗老化研究综述[J]. 中国公路学报,2022,35(4):41-59.
GOU Meng, REN Xin, JIAO Yubo, et al. Review of aging and antiaging of asphalt and asphalt mixtures[J]. China Journal of Highway Transport, 2022, 35(4):41-59.
- [17] 左锋,叶奋,宋卿卿. RAP掺量对再生沥青混合料路用性能影响[J]. 吉林大学学报(工学版),2020,50(4):1403-1410.
ZUO Feng, YE Fen, SONG Qingqing. Influence of RAP content on road performance of recycled asphalt mixture[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2020, 50(4):1403-1410.
- [18] 陈龙,支鹏飞,李晋,等. 新-旧沥青界面融合实测与耗散粒子动力学模拟[J]. 山东大学学报(工学版),2022,52(3):61-69.
CHEN Long, ZHI Pengfei, LI Jin, et. al. Measurement and dissipative particle dynamics simulation of interface diffusion between virgin and aged asphalt[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2022, 52(3):61-69.
- [19] 王如先. 天然沥青对道路石油沥青路用性能的影响研究[J]. 华东交通大学学报,2018,35(4):21-29.
WANG Ruxian. Effect of natural asphalt on the pavement performance of road petroleum asphalt[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2018, 35(4):21-29.
- [20] 张争奇,罗要飞,张苛. 沥青混合料汉堡车辙试验评价研究综述[J]. 材料导报,2017,31(3):96-105.
ZHANG Zhengqi, LUO Yaofei, ZHANG Ke. Review on hamburg wheel-track device evaluation of asphalt mixture[J]. Materials Report, 2017, 31(3):96-105.
- [21] 徐青杰. 沥青-集料黏附性能多尺度分析与评价方法研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2020.
XU Qingjie. Multi-scale analysis and evaluation method of asphalt-aggregate adhesion[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2020.

Road applications performance of reclaimed asphalt mixture prepared RAP by short-term aging method

HUANG Junrui, ZHANG Zhaojie, YUAN Zhaodi, ZHANG Huan

Shandong Transportation Institute, Jinan 250102, China

Abstract: In order to study the pavement performance of reclaimed asphalt mixture, the short-term aging method is used to simulate the aging of styrene butadiene styrene (SBS) modified asphalt and rock asphalt (RA) modified asphalt mixture. The aged materials are used as reclaimed asphalt pavement (RAP) to prepare SBS recycled asphalt, RA recycled asphalt, and ordinary recycled asphalt mixture. The high temperature stability, low temperature crack resistance, rutting resistance, and water stability of these three mixtures are compared with conventional asphalt mixture. The experimental results show that the high temperature dynamic stability of the two modified-recycled asphalt mixtures is similar and better than the other two asphalt mixtures. The conventional mixture has the best low temperature performance, slightly higher than the two modified-recycled mixtures, and the ordinary recycled has the poorest low temperature performance. The Hamburg wheel track test performance of the modified-recycled asphalt mixture is better than the other two asphalt mixtures, and there is a turning point in the rut depth of the ordinary asphalt asphalt mixture. The low temperature performance and water stability of the modified-recycled asphalt mixture do not significantly deteriorate, and the high temperature performance is comparable to that of the conventional recycled asphalt mixture, meeting the performance requirements of the asphalt mixture.

Keywords: SBS modified asphalt; RA modified asphalt; reclaimed asphalt mixture; short-term aging method; pavement performance

(责任编辑:王惠)