

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.02.057

不同结合料对沥青混合料路用寿命的影响

付小红¹, 明杏芬¹, 胡其志²

(武昌工学院,湖北 武汉 430065; 2. 湖北工业大学)

摘要:为了降低沥青路面建设成本,提高沥青路面使用寿命,该文研究不同黏合材料改性沥青的性能及其混合料的路用性能。采用红外光谱分析仪(IR),对不同黏结剂的微观结构进行了分析。通过马歇尔试验优化配合比,得到橡胶粉的最佳用量为18%,最佳油石比为7.3%;分析不同黏合材料的沥青混合料的路用性能,结果表明:相比于SBS改性沥青混合料,ARAC-13橡胶沥青混合料的路用性能更好,而细度为20目的橡胶沥青混合料的抗疲劳性、水稳定性高于40目的橡胶沥青混合料。最后,通过跟踪采用不同黏合材料铺筑的沥青混合料试验路面,分析路面损坏状况指数PCI变化趋势。

关键词:细度;微观结构;配合比优化;路用性能;PCI;衰变规律

目前,使用废旧轮胎制成的橡胶粉在道路方面的应用得到了许多研究者广泛关注,对于废旧轮胎的再利用,有利于解决环境污染和废物堆积问题以及提高沥青混合料的路面性能,因此使用橡胶粉来改性沥青是一个未来发展的趋势。采用橡胶沥青混合料具有提高路面寿命、降低路面反射率、减少交通噪声、降低维护成本、减少污染环境等诸多优点。王岚等研究了粒状橡胶改性剂对表面混合物高温敏感性的影响,用胶粉改性的沥青具有更好的抗车辙性能。有些改性沥青尽管能改善沥青混合料的性能,但是存在缺点,例如SBR改性沥青能提高沥青路面的低温抗裂性,但其高温稳定性不好;SBS改性沥青能改善沥青路面高温稳定性,但SBS改性剂的价格昂贵,不利于推广使用。

综上所述,相比SBS改性沥青、SBR改性沥青,橡胶沥青对路面性能的改善起着至关重要的作用,橡胶粉的掺入能够改变沥青混合料的结构状态,也有效地提高了橡胶沥青混凝土路面的整体弹性,并且对橡胶沥青混凝土路面的抗车辙能力起到提高作用。刘培荣分析不同橡胶沥青指标对其橡胶沥青混合料路用性能的影响,控制橡胶沥青可提高路面使用寿命。为降低路面成本,充分利用资源,解决公路建设中的问题,对橡胶沥青的研究具有深远意义。因此,该文针对不同细度橡胶沥青和SBS改性沥青的微观结构及其混合

料的路用性能进行研究,以提高路面使用寿命,改善路用性能,节约建设成本。

1 材料组成和微观分析

1.1 材料

(1) 橡胶沥青。基质沥青采用90#A级石油沥青,试验室确定了橡胶粉掺量为18%。并对20目、40目的橡胶沥青及SBS改性沥青进行性能试验,结果如表1所示。

(2) 集料。粗集料和细集料均为石灰岩,其中粗集料的粒径有两种规格:10~15 mm和5~10 mm;细集料的粒径为0~5 mm。

(3) 填料。为提高橡胶沥青混凝土的黏附性,可在混合料中加入少量水泥作为填料。该文采用硅酸盐水泥(P.O. 32.5级)。

1.2 配合比设计

(1) 级配确定。从橡胶沥青混合料的耐久性方面考虑,优化级配设计,可以提高橡胶沥青与集料的黏附性,使得橡胶沥青路面的抗脱落能力得到提高。因此,对集料的级配进行设计,通过试验分析得到最佳级配,如图1所示。

(2) 最佳油石比。根据确定的设计级配,采用

收稿日期:2020-07-17(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(编号:51609081);武昌工学院2019年度科学研究项目(编号2019KY03);湖北省教育厅科学技术研究计划项目(编号:B2020276)

作者简介:付小红,女,硕士,讲师。E-mail: 154785784@qq.com

表 1 橡胶沥青性能试验结果

沥青类型	针入度/ (0.1 m)	软化点/ ℃	回弹率 (25 ℃)/%	动力黏度/ (Pa·s)	5 ℃ 延度/cm
普通沥青	72.1	52.1	65.4	0.65	11
20 目橡胶沥青	57.0	64.0	72.3	2.90	16
40 目橡胶沥青	60.2	58.0	76.5	3.20	14
SBS 改性沥青	65.3	54.2	66.5	0.78	21

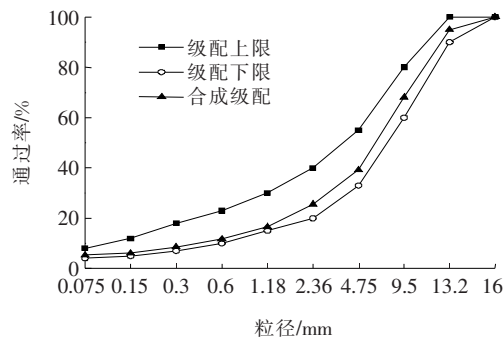


图 1 沥青混合料合成级配图

6.9%、7.1%、7.3%、7.5%和7.7%共5个油石比进行马歇尔试验,当油石比为7.3%时,马歇尔试验得到的空隙率最接近于设计的空隙率,因而最佳油石比为7.3%。并对所选定油石比为7.3%的ARAC-13橡胶沥青混凝土进行试验验证,试验结果符合设计文件要求,同时也经过试验分析得出SBS改性沥青的最佳油石比为4.8%。

1.3 微观结构分析

采用红外光谱分析基质沥青、20目橡胶沥青、40目橡胶沥青和SBS改性沥青的微观结构。不同的化学基团对红外辐射波长具有其自身的吸收度,红外光谱分析不同的官能团可以呈现独特的红外吸收峰值。通常用于沥青材料的红外分析,是检测材料主要官能团的有效方法。

图2为不同黏合材料的傅里叶红外光谱分析结果。在比较差异之前,可以观察到4种沥青之间的一些相似之处:红外光谱曲线在2980、2852、1453和1377 cm⁻¹处有明显的特征峰值;其中2980和2852 cm⁻¹处的特征峰值属于饱和烃及其衍生物的C—H键和—CH₂—键的伸缩振动;1453、1377 cm⁻¹属于烷烃中C—H键的弯曲振动。比较橡胶沥青与基质沥青,800~950 cm⁻¹附近的强度略有不同,在934~848 cm⁻¹的基质沥青中有两个明显的特征峰,而橡胶沥青曲线在800~950 cm⁻¹附近变得平缓;特征峰为800~950 cm⁻¹,属于芳香化合物的=C—H键的平面外

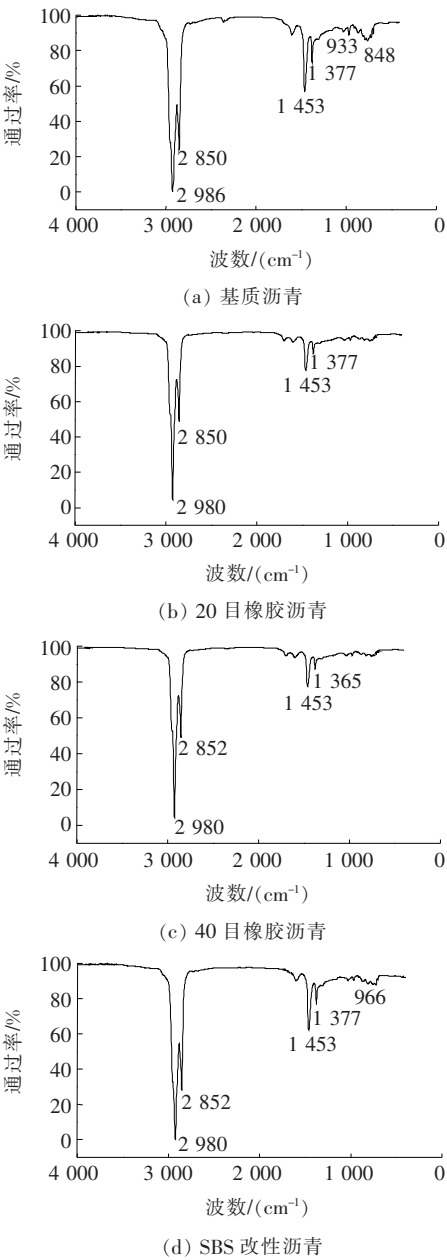


图 2 不同黏合材料红外光谱分析结果

弯曲振动。因此,可以得出在基质沥青中掺入橡胶粉主要发生物理变化而非化学反应的结论;橡胶屑与沥青的化学反应较弱,只有部分芳香族化合物消失。

SBS 改性沥青的红外光谱与其他沥青的光谱结果基本相同,其特征峰为 966 cm^{-1} ,是 SBS 改性剂本身的属性。从微观结构分析不同黏合材料的性能,可以更好地了解不同沥青混合料的路用性能。

2 沥青混合料路用性能研究

2.1 混合料高温稳定性分析

为了分析橡胶沥青混合料和 SBS 改性沥青混合料的高温稳定性,该文通过车辙试验分析其性能,制成标准尺寸试件 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 50\text{ mm}$,在进行车辙试验时需要保证车轮的方向与成型试件碾压的方向一致。不同黏合材料组成的混合料车辙试验结果见表 2 及图 3。

表 2 混合料车辙试验结果

温度/ ℃	荷载/ MPa	车辙深度/mm		
		ARAC-13 (20 目)	ARAC-13 (40 目)	SBS
50	0.7	1.285	1.311	1.329
	1.0	1.467	1.497	1.598
	1.4	1.983	1.981	1.984
60	0.7	1.496	1.536	1.573
	1.0	1.794	1.828	1.968
	1.4	2.472	2.645	2.659
70	0.7	1.890	1.934	1.982
	1.0	2.402	2.545	2.767
	1.4	3.667	3.827	4.065

由表 2 和图 3 可知:① 当温度为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,在荷载为 0.7 、 1.0 、 1.4 MPa 作用下 ARAC-13 橡胶沥青混合料的动稳定度要大于 SBS 改性沥青混合料的动稳定度,但当温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,二者的动稳定度相近;② ARAC-13 橡胶沥青混合料的车辙深度小于 SBS 改性沥青混合料;但是在不同的温度下及随着荷载作用的增大,20 目和 40 目的 ARAC-13 橡胶沥青混合料的动稳定度相接近,差别很小;③ ARAC-13 橡胶沥青混合料的高温性要优于 SBS 改性沥青混合料,在沥青混合料中掺入橡胶粉能够提高沥青混合料的黏弹性,使得高温稳定性提高。

2.2 混合料低温抗裂性分析

在分析不同黏合材料组成的混合料时,温度应控制在 $(0\pm 0.1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,通过 MTS-Landmark 试验

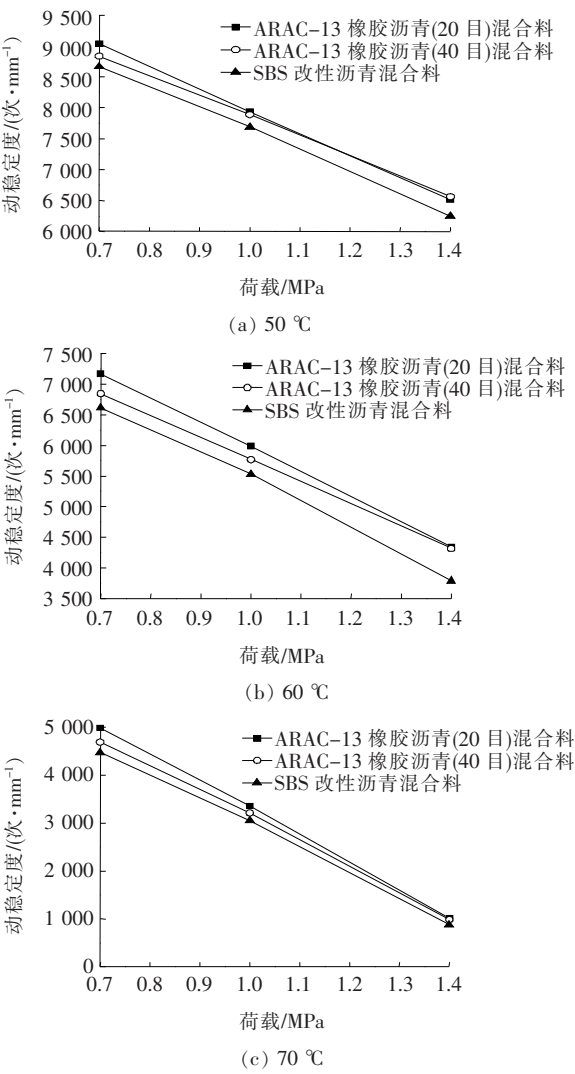


图 3 不同荷载下的动稳定度

机对试件加载,频率为 10 Hz ,分析试件的低温弯曲变形状况。该试验共有 3 组试件分别为 20 目橡胶沥青混合料、40 目橡胶沥青混合料和 SBS 改性沥青混合料,每组有 3 个试件,取其平均值,沥青混合料试验结果见表 3。

表 3 混合料低温弯曲试验结果

混合料类型	抗弯拉强度/ 度/MPa	弯拉应变/ $\mu\epsilon$	弯拉劲度 模量/MPa
ARAC-13 橡胶 沥青(20 目)	6.21	4 680	1 918.4
ARAC-13 橡胶 沥青(40 目)	8.89	4 310	2 231.6
SBS 改性沥青	9.58	3 980	2 867.2

由表 3 可知:3 种沥青混合料的极限破坏应变值均大于 $2\,500\text{ }\mu\epsilon$,满足规范要求,橡胶沥青混合料(40

目)的弯拉应变为 4 310 με,仍大于 SBS 改性沥青的弯拉应变值。当橡胶粉为 20 目时,橡胶沥青混合料的弯拉应变比 SBS 改性沥青混合料高了 17.6%,橡胶沥青混合料的低温性能较好。随着橡胶粉细度增大,使得混合料弯拉劲度模量也随之变大;但是较低的弯拉劲度模量能够使得沥青混合料具有较好的柔韧性,有利于提高沥青路面低温抗裂性。

2.3 混合料水稳定性分析

选用冻融劈裂试验作为评价沥青混合料水稳定性的方法,在一定条件下对 3 种沥青混合料进行循环冻融作用,记录沥青试件破坏时的荷载,计算不同沥青混合料的试件劈裂抗拉强度,评价其水稳定性,冻融劈裂强度比计算公式见式(1)~(3):

$$R_1 = \frac{0.006\ 287p_1}{h_1} \tag{1}$$

$$R_2 = \frac{0.006\ 287p_2}{h_2} \tag{2}$$

$$TSR = \frac{R_1}{R_2} \times 100 \tag{3}$$

式中:R₁、R₂ 分别为冻融前、后试件劈裂抗拉强度(MPa);p₁、p₂ 为冻融前、后试件的荷载值(MPa);h₁、h₂ 为冻融前、后试件的高度(mm);TSR 为劈裂强度比。

得到的试验结果见表 4。

从表 4 可以看出:3 种沥青混合料冻融劈裂强度

表 4 混合料冻融劈裂试验结果

混合料类型	劈裂强度/MPa		冻融劈裂强度比/%
	冻融前	冻融后	
ARAC-13 橡胶沥青(20 目)	0.88	1.06	92
ARAC-13 橡胶沥青(40 目)	0.93	1.03	88
SBS 改性沥青	0.58	0.75	77

比分别为 92%、88%、77%。根据冻融劈裂强度比可以得到 ARAC-13 橡胶沥青(20 目)>ARAC-13 橡胶沥青(40 目)>SBS 改性沥青,橡胶沥青混合料更适合采用 20 目的橡胶沥青作为黏合材料。橡胶沥青混合料的水稳定性能较好,分析原因是基质沥青中掺入橡胶粉能够吸收饱和芬和轻质油分芳香芬,使得沥青中的沥青酸和酸酐的含量增加,以此提高了沥青与集料的黏附性,沥青混合料水稳定性能得到改善。

2.4 混合料疲劳性能分析

疲劳试验中所采用的是应变控制的方法,通过建立不同应变下沥青混合料的疲劳寿命与能量消耗累积的关系,评价 3 种沥青混合料的疲劳性能。荷载作用下所消耗的能量按式(4)计算,试验结果见表 5。

$$\omega = \pi \epsilon \sigma \sin \varphi \tag{4}$$

式中:ω 为消耗的能量;ε 为应变振幅;σ 为应力振幅;sinφ 为荷载应力和应变相位移。

表 5 混合料疲劳试验结果

混合料类型	微应变/ με	初始刚度/ MPa	结束刚度/ MPa	累计作用 次数/次	累计消耗能/ MPa
ARAC-13 橡胶沥青(20 目)	300	4 524.6	2 596.6	114 538	64 029
ARAC-13 橡胶沥青(40 目)	300	4 530.0	2 387.4	108 048	58 798
SBS 改性沥青	300	5 546.0	2 860.5	64 295	34 928

从表 5 可以看出:ARAC-13 橡胶沥青混合料疲劳作用次数大于 SBS 改性沥青混合料疲劳作用次数,这是由于橡胶粉使得沥青混合料的柔韧性得到提高,可以延长橡胶沥青混合料疲劳寿命;20 目的橡胶沥青混合料疲劳作用次数大于 40 目的橡胶沥青混合料,说明橡胶粉的粒径越小,橡胶改性沥青混合料的疲劳寿命越好。

3 沥青混合料路用性能跟踪监测分析

为了研究不同黏合材料改性沥青混合料的路用性

能衰减规律,研究其混合料的使用性能随时间发展趋势规律,可以采取某项沥青路面破损程度进行评价。以某公路段路面养护为依托工程,3 种沥青混合料试验路段的路面结构如表 6 所示,监测沥青混合料的路面状况变化数据,考察沥青混合料路面使用性能的衰变规律。

该文选用沥青路面破损状况指数 PCI 作为评价路用性能指标,其范围为 0~100。从沥青混合料试验路段选取 2014—2018 年一定时间间隔的 9 组路面损坏状况指数 PCI 监测数据,对不同黏结材料改性沥青混合料铺筑的路面使用状况性能衰变进行分析,图 4

为 3 种沥青混合料路面试验路段 *PCI* 衰减变化趋势。

表 6 3 种沥青混合料路段路面结构

层位	厚度/cm	材料
上面层	5	橡胶沥青混合料(20 目 ARAC-13)
		或橡胶沥青混合料(40 目 ARAC-13)
		或 SBS 改性沥青混合料
中面层	7	普通沥青混合料(LAC-20)
连接层	6	密级配沥青碎石(ATB-25)
基层	15	厂拌水泥稳定碎石
底基层	22	厂拌水泥稳定碎石
垫层	20	级配碎石

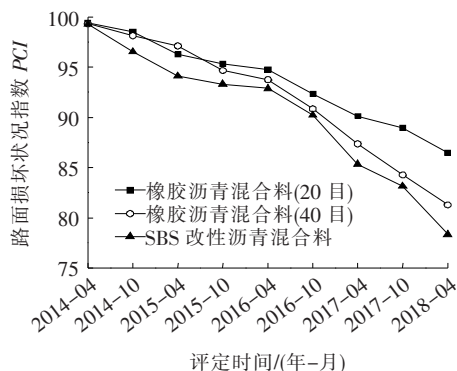


图 4 3 种沥青混合料路面试验路段 *PCI* 衰减变化趋势

从图 4 可知:随着沥青混合料路面使用时间的增加,路面服务水平逐渐下降,路面损坏状况评价指标 *PCI* 随之衰减,呈现先慢后快的发展趋势,在 2014—2015 年路面损坏状况指标 *PCI* 衰减速率较慢,而随着路面损坏严重,路面损坏状况指标 *PCI* 衰减速率迅速加快。3 种沥青混合料路面状况整体呈衰减的趋势,SBS 改性沥青混合料路面性能衰减最快,在 2018 年时 *PCI* 为 78.34,而 20 目、40 目橡胶沥青混合料路面损坏性能指数 *PCI* 分别为 86.47、81.28。根据 3 种沥青混合料路面损坏状况指数 *PCI* 可知:SBS 改性沥青混合料铺筑的路面使用性能效果最差,在前期路面使用过程中,40 目和 20 目的橡胶沥青混合料路面状况性能衰减变化基本相同,而在路面使用几年后,40 目的橡胶沥青混合料路面性能突然衰减加快。综上所述,相对于 40 目的橡胶沥青混合料及 SBS 改性沥青混合料路面破损状况来说,使用 20 目的橡胶沥青混合料铺筑的路面具有非常好的使用性能。

4 结论

通过对不同黏合材料的微观结构进行分析,以及

其改性的沥青混合料进行路用性能研究,通过跟踪其混合料铺筑成的试验路面,分析了沥青路面损坏状况指数 *PCI* 变化趋势。得出如下主要结论:

(1) 结合红外光谱分析仪对不同黏合材料的微观结构进行了分析,得出在基质沥青中掺入橡胶粉,主要发生了物理变化而非化学反应;SBS 改性沥青的红外光谱与橡胶改性沥青的光谱结果基本相同,其中出现新的特征峰为 966 cm^{-1} ,是 SBS 改性剂本身的属性。

(2) 通过对不同黏合材料改性的沥青混合料路用性能进行研究,发现橡胶沥青混合料的各项路用性能较好,20 目的橡胶沥青混合料的疲劳性、水稳定性高于 40 目的橡胶沥青混合料,说明随着橡胶粉细度减小,橡胶沥青混合料疲劳寿命和水稳定性将会提高。

(3) 通过对 3 种沥青混合料路面的路面损坏状况指数 *PCI* 跟踪监测,分析得出 SBS 改性沥青混合料路面性能衰减最快,采用 40 目橡胶沥青混合料铺筑的路面在使用几年后会突然衰减加快,而 20 目的橡胶沥青混合料路面使用性能最好。

参考文献:

- [1] Sienkiewicz M, Kucinska-Lipka J, Janik H, et al. Progress in Used Tyres Management in the European Union: A Review[J]. Waste Management, 2012(10).
- [2] 董立文,冯小伟. 适用于高寒地区的橡胶沥青混合料间断级配范围的优化探讨[J]. 中外公路, 2017(2).
- [3] 徐东,王新宽,陈博. 橡胶沥青混合料老化再生及其路用性能研究[J]. 武汉理工大学学报, 2012(10).
- [4] 高诗龙,洪盛祥. 基于 Superpave 设计方法的橡胶沥青混合料老化特征研究[J]. 中外公路, 2016(6).
- [5] 镇方宇. 橡胶沥青混合料路用性能与施工工艺的研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2014.
- [6] 曹卫东,吕伟民. 废旧轮胎橡胶混合法改性沥青混合料的研究[J]. 建筑材料学报, 2007(1).
- [7] 张允平,韩冰. 工厂化橡胶沥青混合料的设计和应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2011(5).
- [8] 王岚,胡江三,陈刚. 聚合物改性沥青微观结构及高温性能试验研究[J]. 公路工程, 2014(5).
- [9] 刘培荣. 橡胶沥青性能对橡胶沥青混合料路用性能的影响[J]. 中外公路, 2018(2).
- [10] 黄彭,吕伟民,张福清. 橡胶粉改性沥青混合料性能与工艺技术研究[J]. 中国公路学报, 2001(A1).
- [11] JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [12] 沈金安. SMA 路面设计与铺筑[M]. 北京:人民交通出版社, 2003.