

# 温拌橡胶沥青与沥青混合料性能研究

许加实<sup>1</sup>, 邓廷权<sup>1,2</sup>, 张大斌<sup>1,2</sup>

(1.广西交通科学研究院有限公司, 广西 南宁 530000; 2.广西道路结构与材料重点实验室, 广西 南宁 530000)

**摘要:** 为对温拌橡胶沥青与沥青混合料的性能进行评价, 分别将橡胶粉、Sasobit 加入基质沥青中制备橡胶沥青和温拌橡胶沥青, 针对 3 种沥青及其混合料的高温、低温及水稳性能等进行试验研究。结果表明, 橡胶沥青的高温 and 低温性能均明显优于基质沥青, 加入 Sasobit 后产生明显的温拌效果, 且高温性能进一步增强、低温性能则有所降低; 橡胶沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性及水稳定性均优于普通沥青混合料, Sasobit 对其高温稳定性有利, 对其低温抗裂性和水稳定性则有不影响, 但影响不大; 车辙因子对沥青高温性能评价的有效性优于软化点。

**关键词:** 公路; 温拌橡胶沥青; 高温性能; 低温性能

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)05-0068-04

随着经济的快速发展, 中国汽车保有量逐年增加, 废旧轮胎数量也不断攀升, 大量废弃轮胎对环境造成严重污染。国内外大量研究表明将废旧轮胎磨细为橡胶粉对沥青进行改性能显著改善沥青的高温、低温及抗疲劳等性能, 但橡胶沥青的粘度较大, 其混合料施工温度往往比普通沥青混合料高 20 ℃ 左右, 大大增加了施工难度和施工中有有害气体排放。为解决这一技术难题, 近年来已有学者提出将温拌技术应用于橡胶沥青混合料, 但关于这方面的研究仍不够系统和深入。为此, 该文对温拌橡胶沥青与沥青混合料的高温、低温及水稳性能等进行研究, 为其在公路工程中的推广应用提供依据。

## 1 原材料的技术特性

(1) 沥青。基质沥青选择 A 级 90# 沥青, 其主要技术指标检测结果及规范要求见表 1。

表 1 基质沥青的主要技术指标检测结果及规范要求

指标	试验结果	规范要求	
针入度(25 ℃)/(0.1 mm)	88.2	80~100	
延度(15 ℃)/cm	>100	>100	
软化点(R&B)/℃	51.5	≥45	
60 ℃动力粘度/(Pa·s)	175	≥160	
溶解度/%	99.8	≥99.5	
蜡含量/%	1.5	≤2.2	
RTFOT 后	质量变化/%	0.65	±0.8
	针入度比/%	64	≥57

(2) 橡胶粉。橡胶粉采用常温研磨法生产, 细

度为 40 目, 掺量为沥青质量的 20%, 其主要技术指标检测结果及规范要求见表 2。

表 2 橡胶粉的主要技术指标检测结果及规范要求

指标	试验结果	规范要求
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.21	1.10~1.30
金属含量/%	0.03	<0.05
纤维含量/%	0.35	<1
灰分/%	5.1	≤8
炭黑含量/%	33	≥28
橡胶烃含量/%	57	≥42

(3) 温拌剂。选用 Sasobit 作为温拌剂, 掺量为沥青质量的 3%, 其主要技术指标见表 3。使用时仅需将其加入沥青进行简单机械搅拌即可。

表 3 Sasobit 的主要技术指标

指标	试验结果
外观	白色粉末
135 ℃运动粘度/(Pa·s)	0.013
滴熔点/℃	115
闪点/℃	280
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.92

(4) 集料及级配。集料采用广东产玄武岩, 矿粉采用石灰岩磨细矿粉, 其各项指标均满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求。油石比为 6.4%, 混合料类型为《橡胶沥青及混合料设计施工技术指南》中的 ARHM13, 其级配见表 4。

表 4 试验用集料的级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	规范要求通过率/%
16.000	100.0	100
13.200	96.1	95~100
9.500	69.2	62~71
4.750	28.3	25~35
2.360	22.7	20~28
1.180	17.1	15~23
0.600	14.2	12~19
0.300	11.3	10~15
0.150	8.5	8~12
0.075	6.8	6~10

## 2 温拌橡胶沥青性能分析

### 2.1 高温性能

目前国内常用针入度、软化点及车辙因子( $G^* / \sin \delta$ )作为沥青高温性能评价指标。由于橡胶在沥青中存在溶胀现象,进行针入度试验时误差较大,仅采用软化点和车辙因子对基质沥青、橡胶沥青和温拌橡胶沥青的高温性能进行评价。其中软化点采用环球法(R&B)测定,车辙因子通过 DSR 试验测定(应变 10%,剪切频率 10 rad/s,试验温度 64 ℃)。结果见图 1、图 2。

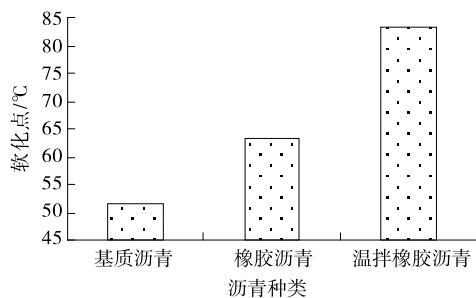


图 1 3 种沥青的软化点测试结果

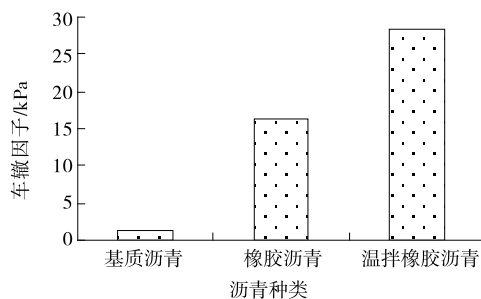


图 2 3 种沥青的车辙因子测试结果

由图 1、图 2 可知:1) 橡胶能明显改善沥青的高

温性能。使用橡胶对基质沥青改性后,软化点和车辙因子均明显提高,软化点升高 22.7%,车辙因子增加 13 倍。这是由于将橡胶颗粒加入沥青后发生溶胀现象而形成三维网状结构,改善了沥青的高温性能。2) Sasobit 能进一步改善橡胶沥青的高温性能。加入 Sasobit 后,橡胶沥青的软化点升高 31.5%,车辙因子升高 74.0%。这是因为 Sasobit 会吸收沥青中的轻质组分,从而增强沥青的粘稠度。

### 2.2 低温性能

采用 SHRP 计划中提出的 BBR 试验对基质沥青、橡胶沥青和温拌橡胶沥青的低温性能进行评价,评价指标为劲度模量  $S$  和蠕变速率  $m$ 。其中: $S$  为试验过程中应力与应变的比值,其值越大,表明沥青的脆性特征越明显,低温性能越差; $m$  为蠕变一时间曲线上某点切线的斜率,其值越大,表明沥青的变形能力越好,能较好地抵消低温下产生的收缩应力,开裂概率降低。时间  $t$  为 60 s 时 3 种沥青的  $S$  和  $m$  值测试结果见图 3、图 4。

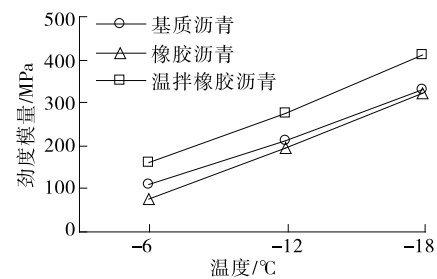


图 3 3 种沥青的低温劲度模量测试结果

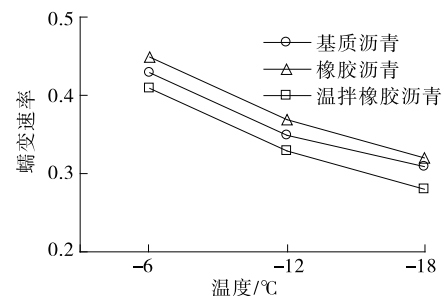


图 4 3 种沥青的低温蠕变速率测试结果

由图 3、图 4 可知:1) 橡胶能改善沥青的低温性能,但随着温度的降低改善效果逐渐减弱。加入橡胶后,−6 ℃ 条件下劲度模量降低 29.7%,蠕变速率升高 4.7%;温度为 −18 ℃ 时,劲度模量仅降低 3.3%,蠕变速率升高 3.2%,随着温度的降低,两者的差值逐渐减小。2) Sasobit 对橡胶沥青的低温性能不利。加入 Sasobit 后,3 种温度下橡胶沥青的劲度模量平均值增加 42.8%,蠕变速率平均值降低

10.5%,这是因为低温下 Sasobit 在沥青中以固体存在,增加了沥青的硬度。

### 2.3 粘度

粘度是沥青最为重要的流变性能之一,可用于评价橡胶对沥青高温性能的改善作用,也可用于评价温拌剂对橡胶沥青的温拌效果。采用布氏旋转粘度计在 135℃ 条件下分别测定基质沥青、橡胶沥青和温拌橡胶沥青的粘度,结果见图 5。

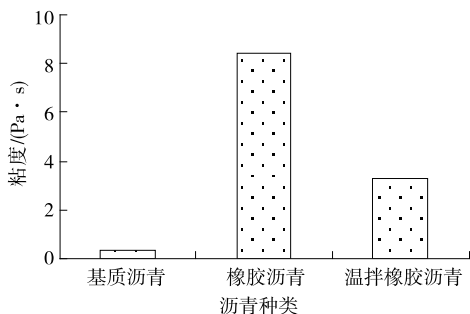


图5 3种沥青的粘度测试结果

由图5可知:1) 加入橡胶对基质沥青改性后, 135℃粘度增加25倍,表明其高温性能增强,这与软化点和车辙因子测试结果一致。2) Sasobit对橡胶沥青有良好的温拌效果。加入Sasobit后,橡胶沥青的135℃粘度降低60.6%,表明添加Sasobit能明显改善橡胶沥青的可拌和性能和可压实性能。这是由于135℃已超过Sasobit的熔点,此时其在沥青中熔化发挥降粘作用。

## 3 温拌橡胶沥青混合料性能分析

### 3.1 高温稳定性

按照JTGE20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》,分别对采用基质沥青、橡胶沥青和温拌橡胶沥青拌制的混合料进行车辙试验,以动稳定度评价其高温稳定性。试件采用轮碾法成型,成型温度分别为160、180和160℃,尺寸为30cm×30cm×5cm,试验温度为60℃。结果见表5。

表5 3种沥青混合料的动稳定度测试结果

混合料类型	动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )
普通(基质)沥青混合料	1 353
橡胶沥青混合料	4 830
温拌橡胶沥青混合料	5 650

由表5可知:1) 采用橡胶对沥青改性能显著提高混合料的高温稳定性,且加入温拌剂后效果进一

步增强。使用橡胶沥青拌制的混合料,其动稳定度比普通沥青混合料提高2.6倍;加入温拌剂后,其动稳定度比橡胶沥青混合料提高17.0%。2) 采用车辙因子对沥青的高温性能进行评价的效果比软化点更好。将3种沥青的软化点和车辙因子与动稳定度进行相关性分析,结果(见图6和图7)表明车辙因子的相关性更好, $R^2$ 值达到0.924,比软化点提高18.9%。这是因为沥青中含有蜡成分,且其熔点较低,在软化点测定过程中随着温度的升高蜡会吸热熔化,导致软化点测定出现假象,特别对于温拌橡胶沥青,Sasobit本身含有蜡组分,会导致软化点测定值的真实性继续降低;而用于车辙因子测定的DSR试验考虑了荷载、温度等的影响,与实际工程更贴合,且车辙因子本身考虑了沥青弹性恢复的影响,因而效果更好。

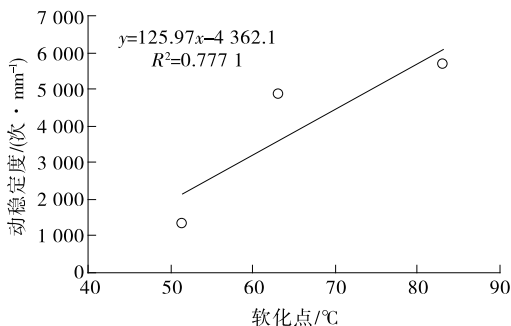


图6 软化点与动稳定度的相关性

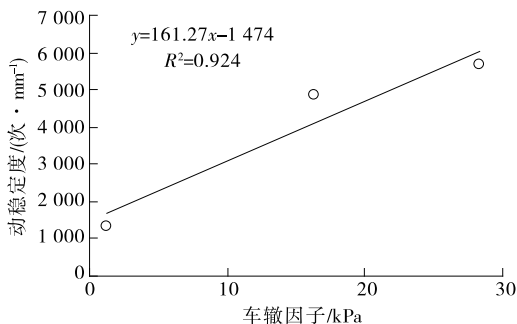


图7 车辙因子与动稳定度的相关性

### 3.2 低温抗裂性

按规范要求分别对采用基质沥青、橡胶沥青和温拌橡胶沥青拌制的混合料进行低温小梁弯曲试验,以最大拉应变评价其低温抗裂性。试件尺寸为25cm×3cm×3.5cm,试验温度为-10℃。结果见表6。

由表6可知:1) 采用橡胶沥青拌制的混合料,其低温最大拉应变比普通沥青混合料提高60.0%,表明橡胶沥青混合料的低温抗裂性明显增强,与

表 6 3 种沥青混合料的低温最大拉应变测试结果

混合料类型	最大拉应变/ $\mu\epsilon$
普通(基质)沥青混合料	2 722
橡胶沥青混合料	4 354
温拌橡胶沥青混合料	3 875

BBR 试验结果一致。2) Sasobit 对橡胶沥青混合料的低温抗裂性有不利影响。加入 Sasobit 后,混合料的低温最大拉应变下降 11.0%,但相对于 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》对冬严寒区用改性沥青混合料低温最大拉应变不小于 3 000  $\mu\epsilon$  的要求,其值仍有较大富余。

3.3 水稳定性

按规范要求分别对采用基质沥青、橡胶沥青、温拌橡胶沥青拌制的混合料制备标准马歇尔试件进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,以残留稳定性和冻融劈裂强度比评价其水稳定性,结果见表 7。

表 7 3 种沥青混合料的水稳定性测试结果

混合料类型	残留稳定度/%	冻融劈裂强度比/%
普通(基质)沥青混合料	81.2	77.2
橡胶沥青混合料	88.2	85.3
温拌橡胶沥青混合料	85.1	81.3

由表 7 可知:1) 采用橡胶沥青拌制混合料能明显提高其水稳定性。与普通沥青混合料相比,橡胶沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比分别升高 7.0%、8.1%。这是由于采用橡胶对沥青改性增强了沥青的粘度,从而增强了其与集料的粘附效果。2) Sasobit 对橡胶沥青混合料的水稳定性有不利影响,但影响不大。加入 Sasobit 对橡胶沥青改性后,混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比分别下降 2.9%、4.0%,但仍满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》对潮湿或湿润区用改性沥青混合料残留稳定度不小于 85%、冻融劈裂强度比不小于 80%的要求。

4 结论

(1) 使用橡胶粉对沥青进行改性能明显改善其高温和低温性能,但对低温性能的改善效果随温度的降低逐渐减弱;在橡胶沥青中加入 Sasobit 后粘度明显降低,有良好的温拌效果,且高温性能得到进一步增强,低温性能则略有降低。

(2) 橡胶沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性及水稳定性均明显优于普通沥青混合料;加入 Sasobit 后高温稳定性进一步提高,低温抗裂性和水稳定性则有所降低,但降低幅度较小。

(3) 车辙因子与动稳定度的相关性达到 0.924,比软化点提高 18.9%,对沥青高温性能评价的有效性更好。

参考文献:

[1] Palit S K, Reddy K S, Pandey B B. Laboratory evaluation of crumb rubber modified asphalt mixes[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2004, 16(1).

[2] 刘红瑛.干法橡胶沥青混合料性能试验研究[J].中外公路, 2012, 32(6).

[3] 黄卫东,王翼,高川,等.橡胶沥青混合料的疲劳性能[J].同济大学学报:自然科学版, 2009, 37(11).

[4] 崔巍.橡胶沥青混凝土断级配设计方法与路用性能研究[J].武汉理工大学学报, 2015, 37(3).

[5] 李晓燕,平路,汪海年,等.基于国内外试验方法的橡胶沥青性能测试[J].交通运输工程学报, 2015, 15(1).

[6] 张伟.橡胶沥青及其混合料路用性能研究[D].西安:长安大学, 2011.

[7] 周启伟,吴雪柳,杨波.温拌剂对橡胶沥青及沥青混合料路用性能影响分析[J].中外公路, 2016, 36(4).

[8] 王笑凤,曹荣吉.橡胶沥青的改性机理[J].长安大学学报:自然科学版, 2011, 31(2).

[9] 魏唐中,于新.温拌橡胶沥青化学组分与粘度之间的灰关联分析[J].公路与汽运, 2013(1).

[10] 谢冬喜,李智,张志强.基于 CAVF 法的温拌橡胶沥青混合料性能研[J].公路与汽运, 2015(3).

收稿日期:2017—03—30

\*\*\*\*\*

(上接第 67 页)

术指标的影响分析[J].公路交通科技:应用技术版, 2015(5).

[9] 李中秋,马敬坤.Sasobit 改性剂对沥青改性的室内试验分析[J].公路交通科技, 2004, 21(10).

[10] 涂蓉,张肖宁.应用 SAK 添加剂综合改善沥青性能的

试验评价[J].石油沥青, 2009, 23(8).

[11] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

收稿日期:2017—05—03