

橡胶沥青黏度衰减规律研究

王 春¹, 张益铭¹, 张振兴², 罗志宝³

(1. 长安大学 道路结构与材料交通行业重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 陕西长达征途交通科技有限公司, 陕西 西安 710061; 3. 鄂尔多斯市路泰新材料科技发展有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 014399)

摘 要: 随着我国经济的快速发展, 汽车保有量激增, 废旧轮胎的处理成为亟待解决的环境与资源问题。为促进废旧轮胎的有效回收利用, 通过橡胶沥青布氏旋转黏度试验、Haake 黏度试验和混合料性能试验, 分析了橡胶沥青的黏度衰减规律及其对橡胶沥青混合料路用性能的影响。研究表明, 采用不同橡胶粉的橡胶沥青黏度均会随着时间的增长而逐渐降低, 且会对成品混合料路用性能产生影响, 因此橡胶沥青生产完成后不宜长时间储存。此外, 布氏旋转黏度与 Haake 黏度试验结果变化规律完全一致, 说明 2 种方法都可用于橡胶沥青的黏度测试与评价。

关键词: 道路工程; 废旧轮胎; 橡胶沥青; 黏度衰减; 路用性能

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)06-0315-04

Study on Viscosity Attenuation Law of Rubber Asphalt

WANG Chun¹, ZHANG Yiming¹, ZHANG Zhenxing², LUO Zhibao³

(1. Key Laboratory of Road Structure and Material Transportation, Changan University, Xi'an 710064, China; 2. Shaanxi Changda Zhengtu Transportation Technology Co., Ltd., Xi'an 710061, China; 3. Erdos Lutai New Material Technology Development Co., Ltd., Erdos 014399, China)

Abstract: With the rapid development of economy in China, the number of cars has increased rapidly, and the disposal of waste tires has become an urgent environmental and resource problem. In order to promote the effective recycling and utilization of waste tires, through the Brinell rotational viscosity test, Haake viscosity test and mixture performance test of rubber asphalt, the viscosity attenuation law of rubber asphalt and its impact on the pavement performances of rubber asphalt mixture are analyzed. The research results indicate that the viscosity of rubber asphalt using different rubber powders will gradually decrease with the time increase, and it will also have an impact on the pavement performance of the asphalt mixture. Therefore, it is not advisable to store rubber asphalt for a long time after its production is completed. In addition, the changes in Brinell rotational viscosity and Haake viscosity test results are completely consistent, which indicates that both methods can be used for viscosity testing and evaluation of rubber asphalt.

Keywords: road engineering; waste tires; rubber asphalt; viscosity attenuation; pavement performance

0 引 言

随着我国经济的不断发展, 近年来汽车保有量迅速增长, 截至 2023 年底, 全国机动车保有量已达 4.35 亿辆。与此同时, 我国废旧轮胎产生量也在不断增加, 截至 2023 年底, 废旧轮胎产生量已超 1 000 万 t, 且每年仍在以 8%~10% 的速度递增。由于缺乏充分合理的回收利用途径, 目前对于废旧轮胎的回收利用率仅为 50% 左右, 这不仅不利于环境保护, 也是对

资源的一种极大浪费。

而利用废旧轮胎加工的橡胶粉对沥青进行改性, 不仅可改善沥青路用性能^[1-5], 而且可以有效提高废旧轮胎的回收利用率, 因而对橡胶沥青进行研究具有重要意义^[6-8]。目前, 国内外对橡胶沥青路用性能的研究都已相对比较成熟, 有关橡胶沥青的研究多集中于橡胶沥青在道路工程中应用技术的改进, 其常用的表征方法主要是通过传统的力学指标来评价橡胶沥青的高温流变性能和低温抗裂性能^[9]。由于橡胶沥青中的废胶粉和基质沥青处于一种混合状态, 废胶粉并不能完全溶解在基质沥青中, 导致沥青的大分子比例增加, 从而不宜采用 135 ℃黏度以及针入度、软化点、延度等常规指标来评价橡胶

收稿日期: 2025-02-17

基金项目: 鄂尔多斯市科技重大专项(2022EEDSKJZDZX013)

作者简介: 王春(1984—), 男, 博士, 高级工程师, 从事路面结构与材料教学与科研工作。

沥青的适用性^[10-15]。目前国内外一般都将在170~180℃下通过布氏旋转黏度试验得到的表观黏度作为橡胶沥青的性能评价基准指标,再辅以弹性恢复、软化点、针入度等指标作为评价橡胶沥青性能的参数^[10,16-18]。因此,针对橡胶沥青的黏度进行试验研究,对于提高橡胶沥青加工质量,保障橡胶沥青混合料施工和易性具有重要实际意义。

1 试验材料

1.1 橡胶粉

该试验选择了2种厂家生产的0.6 mm粒径胶粉,用CR1和CR2表示。2种胶粉筛分结果和化学成分检测结果见表1、表2。

表1 胶粉筛分试验结果		
筛孔尺寸/mm	通过率/%	
	CR1 实测值	CR2 实测值
2	100.0	100.0
1.18	97.9	87.6
0.6	51.5	36.0
0.3	21.4	13.8
0.15	6.9	6.2
0.075	3.6	1.4

表2 胶粉化学成分测试结果			单位: %
项目	CR1 实测值	CR2 实测值	
橡胶烃含量	63	55	
炭黑含量	24	30	
灰分含量	8	8	
纤维含量	0.01	0.01	
金属含量	0	0	
丙酮抽出物	6.61	6.92	
水分	0.69	0.67	

1.2 基质沥青

本试验选择了壳牌A-90基质沥青,其技术指标见表3。

表3 90#沥青试验结果			
检验项目	试验结果	规范要求	
针入度(25℃,100 g,5 s)/(0.1 mm)	87.47	80~100	
软化点/℃	45.75	≥45	
10℃延度/cm	>100	≥20	
TFOT(或RTFOT)后残留物	质量变化/%	±0.8	
	针入度(25℃)/%	≥57	
	延度(10℃)/cm	≥8	

1.3 矿料

粗集料(9.5~16 mm、4.75~9.5 mm 2档)为闪长岩,细集料和矿粉为石灰岩,其密度等技术指标见表4。

表4 矿料密度试验结果			
检验项目		表观相对密度实测值	规范要求
粗集料	9.5~16 mm	3.005	≥2.6
	4.75~9.5 mm	2.995	
机制砂(0~2.36 mm)		2.705	≥2.5
矿粉		2.707	≥2.5

1.4 级配

沥青混合料级配采用SMA-13,其合成级配曲线见图1。

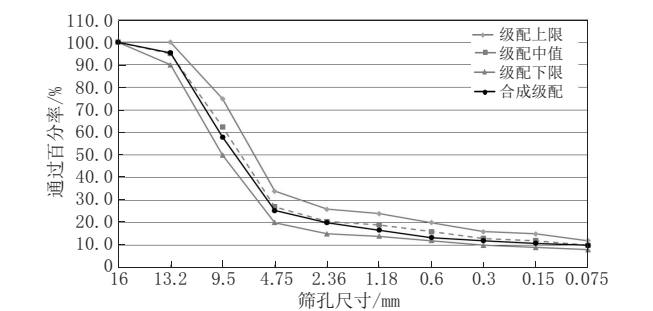


图1 SMA-13沥青混合料合成级配曲线

2 试验方法

2.1 橡胶沥青制备工艺

橡胶粉掺量为外掺21%。先将基质沥青快速升温到190~195℃,采用高速剪切机边搅拌边添加已称量的橡胶粉,搅拌和发育温度控制在(180±5)℃,搅拌发育45 min后开始取样检测黏度及其他指标。

2.2 橡胶沥青黏度检测

橡胶沥青黏度在试验室一般采用布氏旋转黏度仪检测,而工程现场一般采用便携式Haake黏度计检测。由于Haake黏度计检测指标稳定性稍差,在实际工程应用中一般需采用布氏旋转黏度进行校正。为了对比,本文同时采用2种方法进行测试,测试温度均为180℃。其中布氏旋转黏度测试采用27#转子、50 r/min转速。

橡胶沥青其他技术指标采用常规方法进行检测。

2.3 橡胶沥青混合料路用性能验证

采用马歇尔试验方法确定SMA-13沥青混合料最佳油石比后,采用浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验、车辙试验等对橡胶沥青混合料的水稳和高低温稳定性进行验证,并对橡胶沥青混合料制备完成后储存不同时间成型的车辙板试件进行车辙试验,验证其黏度衰减规律。

3 试验结果分析

3.1 橡胶沥青黏度试验结果

橡胶粉改性沥青随着储存时间的增加,黏度会下降,为了研究其黏度变化规律,本文对橡胶沥青储存时间为45 min、2~8 h的黏度进行了测试,试验结果如图2所示。

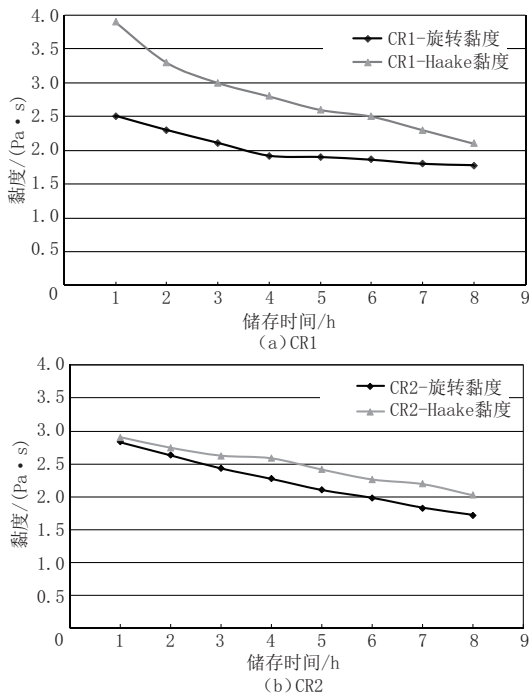


图2 橡胶沥青黏度衰减检测结果

由图2可知,橡胶沥青的黏度确实会随着储存时间的增加而逐渐衰减,这是因为橡胶沥青的黏度会受到橡胶粉溶胀和降解过程的影响。在橡胶粉加入初期,橡胶粉的溶胀作用大于降解作用,导致黏度增加。随着反应的进行,到达转折点后,橡胶粉的降解作用大于溶胀作用,导致黏度开始下降。当黏度趋于平稳时,说明橡胶粉的溶胀和降解已经基本结束。提高反应温度可以加快橡胶粉在沥青中的溶胀和降解反应过程,同时发育时间的延长和反应温度的升高都会导致黏度下降的幅度增大。因此,可以通过选择合适的反应温度和发育时间来控制橡胶粉改性沥青的降解转化率和黏度范围。图2中橡胶沥青黏度没有增大的过程,说明本文选择的2种橡胶粉在橡胶沥青发育45 min以后,橡胶粉的降解作用都已经大于溶胀作用了。

不同胶粉的成分不同,其降解速率不同,因此黏度衰减规律也不同,可能是线性的,也可能是多项式。如表5所示,掺加胶粉CR1的橡胶沥青黏度随着时间的衰减呈2次方程变化,在储存的前4 h衰减

较快,之后趋于平缓;掺加胶粉CR2的橡胶沥青黏度随着时间的衰减呈线性变化,在试验时间范围内没有出现转折点。但不同测试方法测出来的橡胶沥青黏度变化规律是一致的,如图3所示,旋转黏度与Haake黏度的线性相关性非常高,相关系数达到了0.95以上,说明采用Haake黏度仪进行橡胶沥青的黏度测量也是可靠的,不过测试结果相比旋转黏度要偏大一些,因此在实际使用时应以旋转黏度为准进行标定。

表5 橡胶沥青 Haake 黏度与旋转黏度相关关系

检测指标		拟合方程	相关系数 R^2
CR1	Haake 黏度	$y = 0.0244x^2 - 0.4494x + 4.2125$	0.978 3
	旋转黏度	$y = 0.0186x^2 - 0.2669x + 2.75$	0.986 3
CR2	Haake 黏度	$y = -0.121x + 3.0093$	0.989 8
	旋转黏度	$y = -0.1582x + 2.9357$	0.991 1

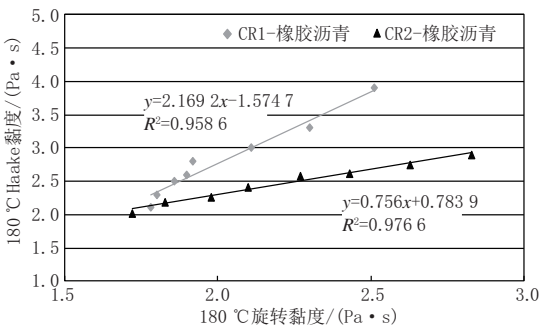


图3 Haake 黏度与旋转黏度关系曲线

3.2 橡胶沥青技术指标试验结果

根据已有研究结果,采用黏度、锥入度、软化点和回弹恢复4个指标来评价橡胶沥青技术特性较为适宜。因此本文对橡胶沥青储存45 min、4 h、8 h的锥入度、软化点、回弹恢复指标进行了测试,试验结果如表6所列。

表6 橡胶沥青技术指标检测结果

检测指标	胶粉名称	45 min	4 h	8 h
锥入度 (25 °C, 150 g)/ (0.1 mm)	CR1	46.5	56.2	63.7
	CR2	41.4	44.4	
软化点/°C	CR1	68.7	62.0	43.3
	CR2	65.0	615	
25 °C回弹恢复/%	CR1	27.3	25.8	20.0
	CR2	32.9	30.7	

由表6可知,随着储存时间的增长,橡胶沥青的锥入度增大、软化点减小、回弹恢复降低。这与其黏度随时间增长表现出来的衰减规律较为一致,说明储存时间不仅会影响橡胶沥青黏度,也会影响其高低温技术性能,因此橡胶沥青生产完成后应尽快使用,不宜长时间储存。

3.3 橡胶沥青混合料路用性能验证结果

按照马歇尔试验方法,确定 SMA-13(外掺法添加占混合料质量 0.2% 的木质素纤维和 0.25% 的

高模量剂)最佳油石比为 6.5%。在最佳油石比下,混合料各项体积指标和路用性能见表 7、表 8。

表 7 SMA-13 沥青混合料在最佳油石比下的马歇尔试验结果

油石比/%	毛体积相对密度	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm	析漏试验/%	飞散试验/%
6.5	2.511	4.1	18.4	77.2	9	2.4	0.05	5.5

表 8 SMA-13 沥青混合料路用性能试验结果

胶粉名称	60℃车辙试验(动稳定度)/(次·mm ⁻¹)	水稳定性		-10℃低温弯曲破坏应变/(μm·m ⁻¹)
		残留稳定度/%	冻融劈裂强度比/%	
CR1	11 058	94.2	92.8	4 270
CR2	9 814	93.0	91.9	4 378

由表 8 可知,橡胶沥青混合料高、低温及水稳定性等各项指标完全满足 JTG F40 对于冬严寒、夏炎热且多雨地区沥青混合料的技术要求。为了验证橡胶沥青黏度随着时间衰减后是否会影响混合料路用性能,在施工过程中,对采用以上 2 种橡胶粉的沥青混合料分别在拌和楼和摊铺现场取样,对其进行 60℃车辙试验(动稳定度),其中拌和楼取样的混合料相当于橡胶沥青生产后储存 45 min 时对应的黏度,摊铺现场取样的混合料相当于橡胶沥青生产后储存 2 h 左右时对应的黏度。试验结果如表 9 所示。

表 9 不同时间衰减后 SMA-13 沥青混合料车辙试验结果

胶粉名称	油石比/%	60℃车辙试验(动稳定度)/(次·mm ⁻¹)		降幅/%
		拌和楼取样	摊铺现场取样	
CR1	6.5	10 318	9 270	10.2
CR2		9 875	9 001	8.9

由表 9 可知,橡胶沥青黏度不仅会在储存过程中衰减,即使拌成混合料后在高温运输摊铺过程中仍然会衰减,以致于混合料高温抗变形能力也有一定程度下降。因此,橡胶沥青在实际工程应用过程中,应限制其储存时间。即使已经拌和成混合料也不宜长时间储存,应尽量在短时间内铺筑完成,以免影响沥青路面使用性能。

4 结 语

(1)橡胶沥青的黏度随着储存时间的增长会逐渐衰减,且不同橡胶粉对沥青黏度衰减均有显著影响。

(2)同一温度条件下,Haake 黏度与旋转黏度测试结果的线性相关性非常高,说明采用 Haake 黏度仪进行橡胶沥青的黏度测量也是可靠的,不过在实际使用时应以旋转黏度为准进行标定。

(3)橡胶沥青的黏度会在高温储存过程中不断衰减,为了保证混合料性能不受太大影响,应限制橡胶沥青生产完成后的储存时间不超过 4 h。

(4)在混合料高温储存过程中,橡胶沥青黏度仍会衰减,且会影响混合料高温性能。因此在实际工程应用中,橡胶沥青混合料成品料不建议储存,应即拌即用。

参考文献:

[1] 陈朝辉.橡胶沥青存储稳定性衰减规律影响因素研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2019,43(5):977-980.

[2] 陈琨,吕正龙,刘开琼.基于 LCA 的橡胶沥青再生路面节能减排效果研究[J].公路,2016,61(5):204-211.

[3] 杨西海,吴永强,肖检生,等.橡胶沥青技术在高速公路工程节能减排中的作用[J].公路交通科技(应用技术版),2011,7(12):54-55.

[4] KHIAMI A K, BAKHSI B, HOJJAT V. Evaluating the rutting performance of geosynthetic reinforced pavement containing rubberized asphalt mixtures[J]. Journal of Testing & Evaluation, 2017, 46 (2): 245-251.

[5] ZAGHLOUL S, HOLLAND T. Evaluation and comparative analysis of rubberized asphalt performance in California[C]//Transportation Research Board 87th Annual Meeting, Washington D.C., 2008: 1617-1633.

[6] 谈海斌.胶粉/废机油复合改性沥青的制备及高温流变性能优化[J].公路工程,2023,48(4):145-150.

[7] 彭建湘,张冬梅,刘斌.橡胶粉与 SBS 复合改性沥青黏弹性性能试验研究[J].公路工程,2022,47(3):131-136.

[8] 茆一鸣,田永静,沈菊男.废胶粉和塑料(EVA)双改性沥青性能研究[J].公路工程,2022,47(2):149-153;192.

[9] 张庆,侯德华,史纪村.橡胶沥青的微观表征方法及其微观特性综述[J].材料导报,2019,33(增刊2):247-253.

[10] 李宁利,赵新坡,孙吉书,等.基于表观黏度的橡胶沥青老化动力学[J].合成橡胶工业,2016,39(3):229-233.

[11] 齐亚妮,张广泰.橡胶沥青路用性能的技术指标对比研究[J].中国市政工程,2013(2):54-57.

[12] 纪淑贞,黄卫东,王冀.温度对橡胶沥青储存性能的影响[J].上海公路,2011(1):62-66.

[13] 天津市市政工程研究院.废轮胎胶粉改性沥青及混合料成套技