

文章编号:1005-0523(2014)04-0001-05

采用动态流变剪切方法评价改性乳化沥青高温性能的研究

杜晓博, 彭 坤, 张宏超

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 为了对改性乳化沥青高温性能及影响因素进行更好地评价, 选用直接加热蒸发法获取SBR及SBS改性乳化沥青残留物。在此基础上, 进行多应力重复蠕变恢复试验, 探讨温度、胶乳含量及胶乳种类3个因素对改性乳化沥青高温性能的影响。研究表明, 随着温度的升高, SBR改性乳化沥青残留物高温抗变形能力变弱; 随着胶乳含量的增加, SBR改性乳化沥青残留物高温抗变形能力变强; SBS改性乳化沥青高温性能优于SBR改性乳化沥青。

关键字: 道路工程; 高温性能; MSCR; 改性乳化沥青

中图分类号: U414

文献标志码: A

凭借具有常温施工、节约能源、保护环境及施工便利等优点, 改性乳化沥青技术现已广泛用于微表处、稀浆封层及冷再生等工程^[1]。但由于该技术在我国起步较晚, 改性乳化沥青相关路用性能研究较少。近年来交通荷载急剧增长, 对沥青高温性能提出了更高的要求, 如何评价改性乳化沥青高温性能进而指导工程应用变得极其重要。

当前改性沥青高温性能评价指标基本沿用了普通沥青的评价指标, 主要有以下几种: 60℃粘度和软化点; 车辙因子 $G^*/\sin\delta$; 零剪切粘度ZSV^[2]。但是相关研究表明, 它们均与改性沥青混合料抗车辙性能评价指标相关性较小^[3-5], 用来评价改性沥青高温性能并不合适。MSCR试验是近几年提出的一种动态流变剪切方法, 它可较好地评价改性沥青的高温性能。研究表明, 其评价指标与足尺ALF试验测得的沥青混合料车辙深度相关性较高, 相关系数可达0.8以上^[3,6]。因此本文选用多应力重复蠕变恢复试验, 以期更好地评价改性乳化沥青的高温性能。

1 原材料参数及制备

1.1 改性乳化沥青制备

本文采用AH-70#沥青, 试验指标见表1。利用实验室小胶体磨(如图1所示)分别生产SBR改性乳化沥青及SBS改性乳化沥青。

1.2 改性乳化沥青残留物获取

改性乳化沥青由于兼具乳化沥青的乳液状态, 并伴有聚合物改性剂的存在, 评价其性能时, 一般需先将乳化沥青做脱水处理, 获取沥青残留物, 然后方能评价。改性乳化沥青性能评价受残留物获取方法影

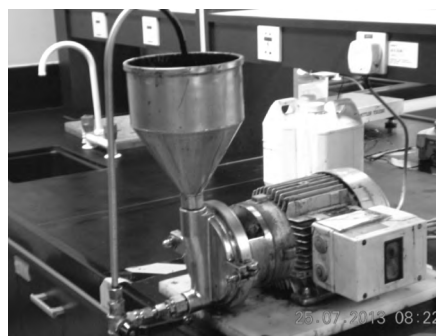


图1 实验室胶体磨

Fig. 1 Laboratory colloid mill

收稿日期: 2014-04-05

基金项目: 上海市科技启明星项目(10QA1407200)

作者简介: 杜晓博(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为道路工程; 张宏超(1975—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为道路材料、路面结构设计。

响较大,通常要求残留物在获取过程中老化程度小,且操作简单易行。当前残留物获取方法主要有蒸馏法、低温减压蒸馏法^[7-8]、烘箱蒸发法以及直接加热蒸发法。通过对比不同获取方法得到的残留物的老化程度及各方法的操作性,最终选择直接加热蒸发法作为本文残留物获取的试验方法。

表1 AH70#基质沥青试验指标

Tab. 1 AH70# Matrix asphalt test index

指标	单位	测试值	技术要求	试验方法
针入度(25℃,5s,100g)	0.1 mm	74.9	60~80	T0604-2011
针入度指数PI		-0.76	-1.5~+1.0	T0604-2011
15℃延度	cm	>100	≥100	T0605-2011
软化点	℃	48.1	≥46	T0606-2011
密度(15℃)	g·cm ⁻³	1.031	实测	T0603-2011

2 试验方法与方案

2.1 MSCR试验方法

2.1.1 试验简介

MSCR试验使用动态剪切流变仪并采用应力控制模式。选用0.1 kPa和3.2 kPa两种蠕变应力水平进行连续测试,每个应力水平进行10个周期,每个周期10 s,分为1 s的蠕变阶段和9 s的卸载恢复阶段,试验总时间为200 s^[9-10]。试验温度采用PG分级温度。通过试验可以得到每个应力水平下各个蠕变恢复周期的初始应变 γ_0 、蠕变阶段的总应变 γ_1 以及恢复阶段后的残余应变 γ_{nr} 。

采用重复蠕变恢复试验一方面是考虑到其应力控制模式与实际路面荷载加载模式相近,均属于间歇式加载;另一方面是由于该应力控制模式下加载间歇时间内延迟弹性变形得到部分恢复,测得的残余变形更接近于粘性流动变形,这对于评价弹性恢复性能较好的改性沥青来说是十分重要的。采用0.1 kPa和3.2 kPa两种应力水平进行测试可用来评价不同改性沥青的应力敏感性。

2.1.2 评价指标

1) 不可恢复蠕变柔量 J_{nr} 。由Burgers模型本构方程^[11]可知,每个应力水平下各蠕变恢复周期的不可恢复蠕变柔量 J_{nr} 可由公式1得出

$$J_{nr} = \frac{\gamma_{nr} - \gamma_0}{\tau} \quad (1)$$

式中: τ 为蠕变应力。

J_{nr} 越小,表明粘性流动变形越小,那么改性沥青高温性能抗变形能力越好。取10个周期的平均值可以得到每个应力水平下的不可恢复蠕变柔量 $J_{nr,0.1}$ 和 $J_{nr,3.2}$ 。在此基础上,采用蠕变柔量差值变化率 $J_{nr,diff}$ 评价不可恢复蠕变柔量的应力敏感性。见公式2

$$J_{nr,diff} = \frac{J_{nr,3.2} - J_{nr,0.1}}{J_{nr,0.1}} \times 100\% \quad (2)$$

2) 恢复率 R 。恢复率 R 表示瞬时弹性变形占总变形的比例,即弹性性能^[12]。如公式3

$$R = \frac{\gamma_1 - \gamma_{nr}}{\gamma_1 - \gamma_0} \quad (3)$$

R 值越大,说明弹性变形占总变形比例越大,不可恢复变形所占比例越小,弹性越好。这可以在一定程度上反应沥青的抗变形能力。此外还可采用恢复率差值变化率 R_{diff} 评价恢复率的应力敏感性,见公式4。一些研究认为它反映了聚合物网络结构在沥青中的形成程度^[13]。其值越小说明聚合物网络结构越完整。

$$R_{\text{diff}} = \frac{|R_{0.1} - R_{3.2}|}{R_{0.1}} \times 100\% \quad (4)$$

2.2 试验方案

温度、胶乳含量及种类是影响改性沥青高温抗变形能力的3个重要因素。因此,本文对温度、胶乳含量及种类3种变量条件下的改性乳化沥青残留物进行MSCR试验,得到各个评价指标随各因素的变化趋势,从而对改性乳化沥青高温抗变形能力进行评价。

3 试验结果与分析

3.1 温度

本试验采用SBR胶乳,掺量为3%。试验温度分别为58,64,70,76℃。此外设置一组25℃室温条件下的试验作为参照。在0.1 kPa和3.2 kPa应力水平下进行MSCR试验,结果见表2。

表2 不同温度条件下 $J_{\text{nr},0.1}$ 、 $J_{\text{nr},3.2}$ 和 $J_{\text{nr,diff}}$ 结果

Tab. 2 The result of $J_{\text{nr},0.1}$, $J_{\text{nr},3.2}$ and $J_{\text{nr,diff}}$ under different temperature conditions

温度/℃	$J_{\text{nr},0.1}/\text{kPa}^{-1}$	$J_{\text{nr},3.2}/\text{kPa}^{-1}$	$J_{\text{nr,diff}}/\%$
25	0.001 9	0.002 0	6.106 3
58	0.585 3	1.085 9	85.541 5
64	1.300 3	2.783 2	114.046 9
70	2.611 2	6.769 7	159.253 8
76	4.414 0	14.628 8	231.417 1

从表2可以看出, $J_{\text{nr},0.1}$ 和 $J_{\text{nr},3.2}$ 均随着温度的升高而增大,表明随着温度的升高,SBR改性乳化沥青的永久变形增大。在25℃常温条件下, $J_{\text{nr},0.1}$ 和 $J_{\text{nr},3.2}$ 基本相等,这是由于试样在常温时为线性粘弹性体,其不可恢复蠕变柔量对应力敏感性很小。58℃~76℃范围条件下,温度相同时, $J_{\text{nr},0.1}$ 均显著小于 $J_{\text{nr},3.2}$ 。这应该是由于高温条件时3.2 kPa应力水平下试样为非线性粘弹性体,0.1 kPa应力水平下则趋近于线性粘弹性体,两者所处的力学状态不一样,应力和应变的本构关系式是不一样的。因此得到的不可恢复蠕变柔量相差较大,即 $J_{\text{nr,diff}}$ 较大。此外,随着温度的升高,与之对应的 $J_{\text{nr,diff}}$ 的值也随着温度的升高而变得更大。这说明,随着温度的升高,改性乳化沥青不可恢复蠕变柔量对应力更敏感。究其原因,还是由于温度升高导致沥青粘弹性性质及粘弹性比例发生变化导致的。

3.2 胶乳含量

胶乳采用SBR胶乳,试验温度为64℃。胶乳含量分别为0,1%,3%,5%。采用直接加热蒸发法获得SBR改性乳化沥青的残留物。另取相应的基质沥青作为对比。将上述样品分别在0.1 kPa和3.2 kPa应力水平下进行MSCR试验,结果见表3。

表3 不同胶乳含量时MSCR试验结果

Tab. 3 The result of MSCR test under different content of latex

胶乳含量/%	J_{nr}			R		
	$J_{\text{nr},0.1}/\text{kPa}^{-1}$	$J_{\text{nr},3.2}/\text{kPa}^{-1}$	$J_{\text{nr,diff}}/\%$	$R_{0.1}/\%$	$R_{3.2}/\%$	$R_{\text{diff}}/\%$
基质沥青	7.092 8	7.665 9	8.080 6	1.527 2	0.028 1	98.157 8
0	4.971 9	6.301 3	26.736 8	7.478 3	0.370 1	95.050 9
1	2.794 7	5.258 8	88.17	28.459 9	2.690 9	90.545 0
3	1.300 3	2.783 2	114.05	51.591 7	17.365 4	66.340 6
5	0.512 2	1.563 8	205.33	68.166 8	27.314 5	59.929 9

从表3可以看到,随着胶乳含量的增加, $J_{\text{nr},0.1}$ 和 $J_{\text{nr},3.2}$ 均随之减小, $R_{0.1}$ 和 $R_{3.2}$ 均随之增加。这说明随着胶

乳含量的增加, SBR 改性乳化沥青弹性成分增加, 残留永久变形变小, 其高温性能随着胶乳含量的增加而得到改善。两种应力水平下, $J_{nr, diff}$ 随胶乳含量的增加而增大, 说明胶乳含量越高, 不可恢复蠕变柔量对应力越敏感; R_{diff} 随之减小, 说明胶乳含量的增加使得恢复率对应力的敏感性减小。这是由于胶乳含量的增加使得沥青中聚合物网络更加完整。此外, 胶乳含量为 0 的乳化沥青残留物的 $J_{nr, diff}$ 较基质沥青来说有较大增加, 说明乳化工工艺及残留物获取方法对不可恢复蠕变柔量的应力敏感性也存在影响。

3.3 胶乳种类

选取 SBS 与 SBR 两类改性乳化沥青进行 MSCR 试验, SBS 改性乳化沥青(先改性后乳化方法制得)及 SBR 胶乳改性乳化沥青改性剂含量均为 3%。试验温度为 64 ℃。试验结果见表 4。

表 4 SBS 和 SBR 改性乳化沥青 MSCR 试验结果

Tab. 4 The MSCR test results of SBR and SBS modified emulsified asphalt

胶乳种类	$J_{nr, 0.1}/kPa^{-1}$	$J_{nr, 3.2}/kPa^{-1}$	$J_{nr, diff}/\%$	$R_{0.1}/\%$	$R_{3.2}/\%$	$R_{diff}/\%$
SBS(3%)	1.658 1	2.508 6	85.05	48.539 5	29.552 3	39.117
SBR(3%)	1.300 3	2.783 2	114.04	51.591 7	17.365 4	66.341

从表 4 可以看出, $J_{SBS, nr, 0.1}$ 大于 $J_{SBR, nr, 0.1}$ 。可认为在此条件下, SBR 改性乳化沥青抵抗永久变形的能力要优于 SBS 改性乳化沥青。同样地, $R_{SBS, 0.1}$ 小于 $R_{SBR, nr, 3.2}$ 。说明此条件下 SBR 改性乳化沥青弹性性能优于 SBS 改性乳化沥青。与之相反, 在 3.2 kPa 应力水平下, SBS 改性乳化沥青的弹性性能和抵抗永久变形的能力要优于 SBR 改性乳化沥青。此外, SBS 改性乳化沥青的 $J_{nr, diff}$ 及 R_{diff} 均远小于 SBR 改性乳化沥青的, 说明 SBS 改性乳化沥青不可恢复蠕变柔量及恢复率的应力敏感性都较小。考虑到实际的交通荷载, SBS 改性乳化沥青的高温性能要优于 SBR 改性乳化沥青。

4 结论

1) $J_{nr, 0.1}$ 和 $J_{nr, 3.2}$ 均随温度的升高而变大, 说明随着温度升高, 改性乳化沥青残留物产生的变形随之增大, 抗变形能力变小。 $J_{nr, 0.1}$ 和 $J_{nr, 3.2}$ 均随胶乳含量的增加而变小, 说明胶乳含量的增加可以减小改性乳化沥青残留物的永久变形, 改善其高温性能。

2) 温度及胶乳含量均对不可恢复蠕变柔量的应力敏感性存在影响, 温度越高, 胶乳含量越多, 残留物不可恢复蠕变柔量对应力越敏感。

3) 胶乳含量越大, 残留物中聚合物网络结构越完整, 残留物的弹性越大, 恢复率也就越大, 恢复率对应力越不敏感。

4) 综合考虑各项指标, SBS 改性乳化沥青高温性能优于 SBR 改性乳化沥青。

参考文献:

- [1] 万欣, 陈梦成. 微表处在某高速公路中的应用[J]. 华东交通大学学报, 2007, 24(2): 30-32.
- [2] 郭咏梅, 倪富健. 改性沥青高温性能评价方法研究进展[J]. 公路工程, 2012, 37(6): 81-84.
- [3] JOHN A, D'ANGELO. The relationship of the MSCR test to rutting, road materials and pavement[C]//ICAM 2009, Road Materials and Pavement Design, 2009: 61-80.
- [4] 曾赞, 郭淑华. 零剪切粘度与沥青高温性能的关系[J]. 石油沥青, 2003, 17(4): 21-26.
- [5] 徐鸿飞. 基于重复蠕变恢复试验的沥青高温性能评价指标研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2012.
- [6] EYAD M, CHIEN WEI HUANG, JOHN D'ANGELO, et al. Characterization of asphalt binder resistance to permanent deformation based on nonlinear viscoelastic analysis of multiple stress creep recovery (MSCR) Test [C]//Asphalt Paving Technology:

- Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions, 2009,(78):535-562.
- [7] ASTM D244-09. Standard Test Methods for Emulsified Asphalts[S].2000.
- [8] ASTM D244-00. Standard Test Methods for Emulsified Asphalts[S].2009.
- [9] AASHTO TP-09. Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer(DSR) [S].2009.
- [10] ASTM D7405-10a. Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer [S].2010.
- [11] 张肖宁,孟建军,邹桂莲. 基于重复蠕变的改性沥青高温指标[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2008,36(2):23-27.
- [12] 张金喜,王超. 基于多应力蠕变回复试验的沥青结合料高温性能评价[EB/OL]. 中国科技论文在线[2013-03-11].<http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201303-402>.
- [13] ALIREZA K, AMIR K. Rheological characteristics of SBR and NR polymer modified bitumen emulsions at average pavement temperatures[J]. Construction and Building Materials, 2013(47):1099-1105.

Evaluation on High Temperature Performance of Modified Emulsified Asphalt Based on Dynamic Rheological Shear Method

Du Xiaobo, Peng Kun, Zhang Hongchao

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201800, China)

Abstract: In order to evaluate the high temperature performance and influence factors of modified emulsified asphalt, this paper obtains residues from SBR/SBS modified emulsified asphalt by direct thermal evaporation method, and then carries out the MSCR test to study the influence of temperature, latex content and latex type on the high temperature performance of modified emulsified asphalt. The data shows that rutting resistance of SBR modified emulsion residue under high temperature decreases with temperatures going up, and increases with latex content increasing. It finds out that the high temperature performance of SBS modified emulsion residue is better than that of SBR modified emulsion.

Keywords: road engineering; high temperature performance; MSCR; modified asphalt emulsion