

文章编号: 1005-0523(2010)04-0013-05

布敦岩沥青改性沥青高温动态流变性能研究

吕天华, 章毅

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要:采用动态剪切流变仪对布敦岩沥青(BRA)改性沥青高温动态流变性能进行试验研究。结果表明,BRA 改性沥青的温度敏感性随岩沥青掺量的增加而降低;岩沥青掺量达到 20% 时,BRA 改性沥青的 PG 分级要高于基质沥青一个温度等级;掺量达到 40% 时,BRA 改性沥青的车辙因子接近于 SBS 改性沥青;车辙试验结果与车辙因子关系表明岩沥青掺量的增多提高了沥青混合料的动稳度,车辙因子适用于评价 BRA 改性沥青的高温性能。

关键词:道路工程;BRA 改性沥青;高温流变特性;DSR;PG 分级

中图分类号:U414

文献标识码:A

布敦岩沥青(BRA;Buton Rock Asphalt)源自印度尼西亚布敦岛海底的沥青矿,是一种经万年沉积而成的天然矿物,其沥青含量在 20% 左右,其余为石灰岩类矿物质。研究表明,布敦岩沥青中的矿物质吸收沥青的能力很强,能够加强沥青与矿料的粘附作用,提高混合料的抗车辙、水稳定和抗老化性能,而且施工工艺简便,在国内外许多工程中得到应用^[1-5]。我国已将天然岩沥青作为一种特殊的改性沥青纳入规范,但仍没有相应的技术标准以及混合料的设计要求,对岩沥青改性效果的评价,尚未建立统一的标准和方法。为此,本文采用动态剪切流变仪对 BRA 改性沥青高温动态流变性能进行试验研究,通过对试验中几个关键指标的分析以评价不同掺量下 BRA 改性沥青的高温动态流变性能,可为 BRA 改性沥青混合料的组成设计提供参考依据。

1 原材料

1.1 试验原材料

原材料采用上海建设机场道路工程有限公司提供的 70# 基质沥青和布敦岩沥青,布敦岩沥青的技术指标如表 1 所示。

表 1 布敦岩沥青的技术指标

技术指标	测试值	印尼国家标准
沥青含量/%	26	≥18.0
表观相对密度/g·cm ⁻³	1.76	1.70~1.90
灰分/%	74	≤82.0
矿物质颗粒最大尺寸/mm	1.98	≤2.0

1.2 BRA 改性沥青试样的制备

BRA 改性沥青的制备选用 4 个掺量:10%,20%,30%,40%(岩沥青相对于基质沥青的质量百分数),采用高速剪切搅拌机在 175 °C 恒温下 30 min 剪切搅拌而成。测定基质沥青和各个掺量下 BRA 改性沥青的三大指标,结果如表 2 所示。

收稿日期:2010-04-18

中国知网 <https://www.cnki.net>

作者简介:吕天华(1985-),男,硕士研究生,研究方向为道路与铁道工程。

表2 BRA 改性沥青的基本指标

岩沥青掺量/%	25℃针入度/0.1 mm	软化点/℃	15℃延度/cm	5℃延度/cm
0	72.0	50.0	>100	10
10	57.0	52.3	46	10
20	51.0	55.4	30	6
30	46.0	56.2	29	5
40	41.0	56.8	20	4

由表2可见,随着岩沥青掺量的逐渐增大,25℃针入度逐渐变小,软化点增大,5℃和15℃的延度皆逐渐变小。BRA 改性沥青的 PI 值呈线性上升趋势,岩沥青掺量每增加10%,针入度指数提高0.15左右。这是由于布敦岩沥青的沥青质含量很高,为普通石油沥青的5~10倍^[2],随着岩沥青掺量的增大,沥青质含量明显增多,从而使得改性后沥青胶团的极性增强,使胶体结构由溶胶型逐步向溶-凝胶型和凝胶型转变,沥青结合料变稠变硬。

2 高温动态剪切流变试验结果分析

试验采用应变控制模式,应变值为12%,角速度为10 rad·s⁻¹,试验方法按AASHTO T315要求进行。在不同温度下,分别测定基质沥青和BRA 改性沥青的复数剪切模量、相位角和车辙因子。

2.1 复数模量指数 GTS

复数剪切模量 G^* 表征了材料重复剪切变形时的总阻力,为剪应力和剪应变最值之比,它包括弹性(可恢复)部分和粘性(不可恢复)部分。不同掺量的BRA 改性沥青在各测试温度下的 G^* 值如表3所示。

表3 BRA 改性沥青的复数模量 G^* kPa

温度/℃	岩沥青掺量/%				
	0	10	20	30	40
52	7 415.5	8 737.8	1 1587.5	14 345.2	16 632.5
58	3 099.0	3 698.0	4 818.3	5 847.1	6 946.0
64	1 396.0	1 664.5	2 147.5	2 873.3	3 095.3
70	664.9	784.2	1 010.8	1 330.3	1 463.0
76	340.8	388.5	516.3	655.7	731.2
82	179.5	206.7	274.0	335.4	393.5

由于针入度评价体系描述沥青性能的适用温度范围较窄,不适于改性沥青,而 G^* 是对沥青本身动力弹性模量和损失模量的定量描述,可忽略沥青改性与否而对所有的胶结料进行统一的评价,采用复数模量 G^* 回归得到的复数模量指数 GTS 与针入度指数相比,在描述沥青感温性能的科学性和可靠性上有一定的优势^[3]。

取温度的对数作为横坐标(以绝对温度表示),复数剪切模量 G^* 的双对数作为纵坐标作出关系图1,可以看出具有很好的线性关系,即公式(2.1),并且得到不同掺量下BRA 改性沥青的 GTS 值,见表4。

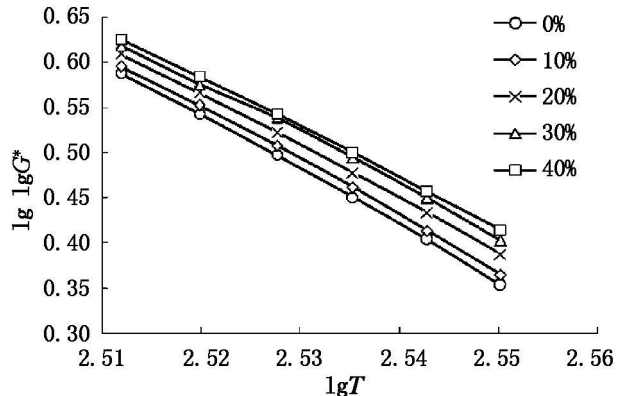
$$\lg \lg G^* = GTS \cdot \lg T + C \quad (2.1)$$

式中: G^* —复数模量, Pa;

T —测试温度, K(以绝对温度表示);

C —常数;

GTS —复数模量指数,表示沥青在高、中温区的

图1 $\lg G^*$ 与温度的关系曲线

感温性。

表4 BRA 改性沥青的 GTS 值

参数	岩沥青掺量/%				
	0	10	20	30	40
GTS	-6.104	-6.03	-5.784	-5.603	-5.518
C	15.920	15.740	15.140	14.690	14.490
R^2	0.998	0.998	0.999	0.997	0.999

由图1和表4可以看出, GTS 值都为负数,随着BRA掺量的增加而变大, GTS 的绝对值逐渐减小,当掺量由0%增加至4%时, GTS 减小约10%,这表明随着BRA掺量的增加,复数剪切模量受温度影响的变化趋势减小,BRA改性沥青的温度敏感性逐渐降低。

2.2 相位角

相位角 δ 是应力应变之间的时间滞后,是材料弹性与粘性成分比例的指标。相位角越大,对应的材料粘性成分就越大,越易产生永久性变形。图2为各岩沥青掺量下BRA改性沥青相位角与温度的关系曲线。

由图2可见,同一测试温度下,相位角 δ 随着岩沥青掺量的增大而逐渐减小,意味着岩沥青的掺入改善了沥青胶浆的弹性性能,掺量越多,相同的荷载作用下沥青可恢复变形的比例也要增多^[6],表明BRA改性沥青抗剪切变形能力的增强;同一掺量下,温度越高, δ 值越大,当试验温度达到82℃高温的时候,基质沥青和BMA改性沥青的相位角都接近于90°,即此时的沥青胶浆已经基本丧失了弹性恢复的能力。

2.3 车辙因子

复数剪切模量 G^* 的倒数称为复数剪切柔量 J^* , J^* 的虚数部分称为损失剪切柔量,剪切损失柔量的倒数即为车辙因子 $G^*/\sin \delta$,车辙因子越大,表示剪切损失柔量越小,即材料由于能量耗散产生的永久变形越小,故SHRP规范将其定义为车辙因子,作为反映沥青结合料的永久变形能力即高温性能指标。图3为各掺量下BRA改性沥青的车辙因子随温度变化的关系曲线。用车辙因子 $G^*/\sin \delta$ 对不同掺量BRA改性沥青的高温PG分级结果见表5。

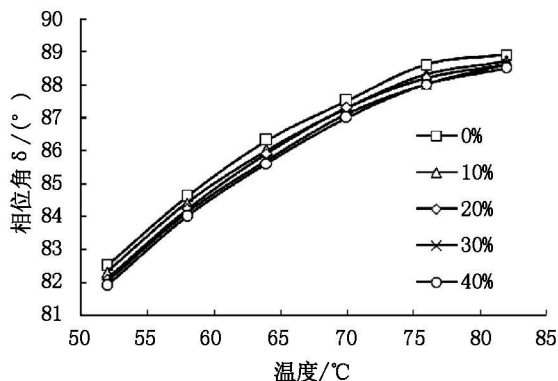


图2 相位角 δ 与温度的关系曲线

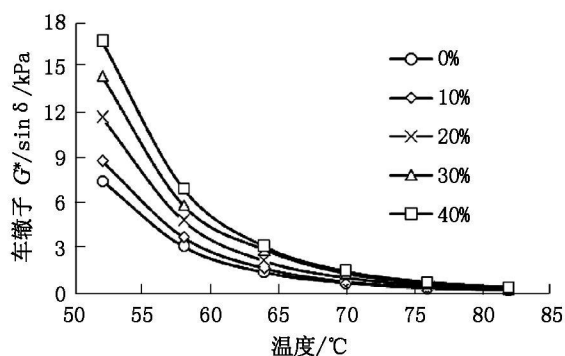


图3 车辙因子 $G^*/\sin \delta$ 与温度的关系曲线

由图3可见,在同一掺量下,BRA改性沥青的车辙因子 $G^*/\sin \delta$ 随着温度的升高而减小,这是因为温度越高,沥青由弹性向粘性转化的部分越多。同一测试温度下,BRA改性沥青的车辙因子 $G^*/\sin \delta$ 均随着BRA的掺量的增大而增大,表明BRA改性沥青的高温性能随着岩沥青掺量的增加而提高。布敦岩沥青中含有74%的矿物质,矿物质的硬度很大,当掺入到基质沥青后,就会提高基质沥青的硬度。硬度越大的沥青,高温时由弹性转化为粘性的部分越少,从而沥青的高温抗剪切变形能力越强。因此,经过岩沥青改性后的基质沥青的高温性能得到明显改善,且掺量越多高温性能越好。

表5 不同掺量BRA改性沥青的PG分级

指标	温度/°C	岩沥青掺量/%				
		0	10	20	30	40
原样沥青	PG 高温等级	64	64	70	70	70
	临界温度	66.8	67.7	70	72.4	73.2
TFOT 后	PG 高温等级	70	70	70	70	76
	临界温度	73.1	74.9	75	75.5	79.1
	PG 高温分级	64	64	70	70	70

注:原样沥青的临界温度是指车辙因子为 1.0 MPa 时所对应的测试温度,薄膜烘箱老化残留物的临界温度是指车辙因子为 2.2 MPa 时所对应的测试温度。

由表 5 可见,当岩沥青的掺量在 20% 以上时,BRA 改性沥青的 PG 分级要高于基质沥青一个温度等级,由于 SHRP 高温分级区间较大,因此出现 20%,30%,40% 三个掺量在同一等级上的结果。但是从表 6 中依然可以看出,岩沥青掺量越大,临界温度越高,充分反映了岩沥青改性沥青的高温性能随着 BRA 掺量的增加而提高的特征。

BRA 改性沥青与 SBS 改性沥青车辙因子的比较如图 4 所示,当岩沥青的掺量达到 40% 时,BRA 改性沥青的车辙因子接近于 SBS 改性沥青的车辙因子。

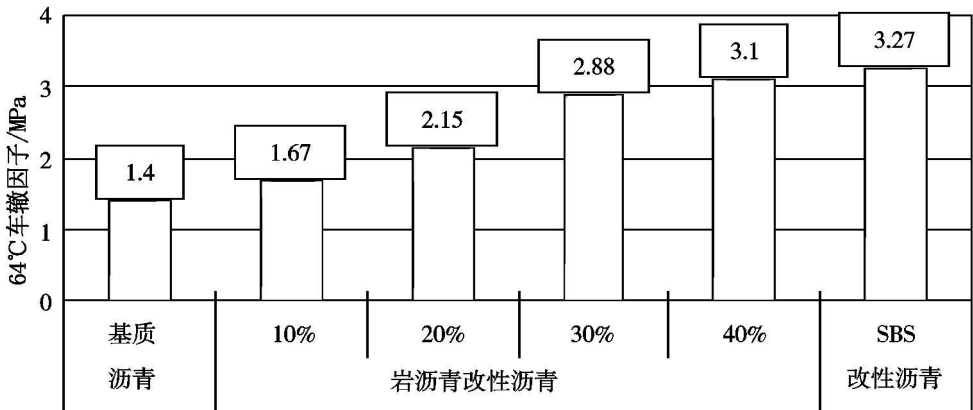


图 4 BRA 改性沥青与 SBS 改性沥青车辙因子的比较

3 车辙试验

采用 AC-20 和 SMA-13 两种级配,对不同岩沥青掺量下的沥青混合料进行车辙试验,结果如表 6 所示。

表 6 60 °C 动稳定度试验结果

混合料类型	岩沥青掺量/%				
	0	10	20	30	40
AC-20	2 274	3 029	3 231	3 520	3 621
SMA-13	2 368	3 247	3 865	3 938	3 987

由表 6 可见,随着岩沥青掺量的增加,BRA 改性沥青混合料的动稳定度逐渐提高,掺量为 40% 时 AC-20 和 SMA-13 混合料的动稳定度分别为未掺加岩沥青时的 1.59 倍和 1.68 倍。这是因为布顿岩沥青中所含沥青的分子量高达 9 000,而普通道路石油沥青的分子量仅为 3 000,巨大的分子量使得岩沥青的内聚力增大。将 BRA 加入到普通道路石油沥青中时,在高温及小分子作用下,BRA 大分子胶束破裂,使其表现出许多活性点,这些活性点迅速与小分子结合形成半聚合作用^[4],最终形成以 BRA 大胶束分子为中心,普

通沥青小分子填充包围的新结构。这种新结构的表面电荷密度较低,使得改性沥青与矿物颗粒表面的吸附力增强^[5],故而能够提高沥青混合料的高温抗剪切变形能力。图5为60℃时BRA改性沥青的车辙因子与两种沥青混合料(AC和SMA)动稳定度的回归关系,可见车辙因子与动稳定度呈良好的线性正相关,相关系数分别达0.745和0.824,说明车辙因子适用于评价BRA改性沥青的高温性能。

总体来说,由于岩沥青是一种感温性低的硬质沥青,在溶入基质沥青后,将降低基质沥青的感温性,使原沥青变硬且高温时的弹性比例增多,这些因素造成BRA改性沥青在高温条件下具有更好的粘结性,提高了沥青混合料的抗剪切变形能力,达到改善混合料高温性能的目的。

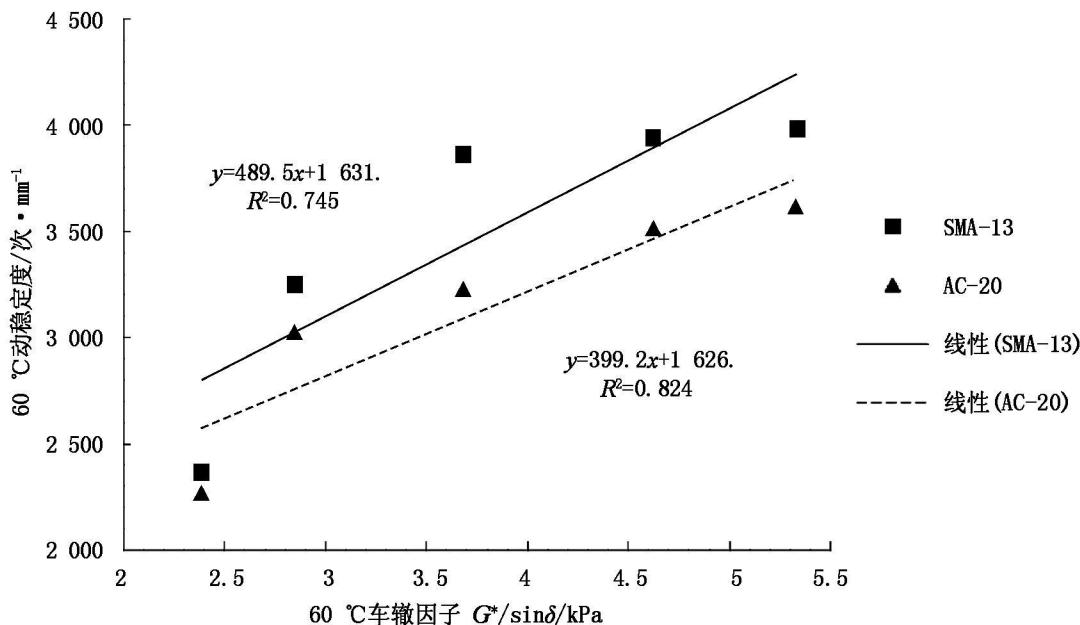


图5 60℃车辙因子与动稳定度回归关系

4 结语

(1) 复数剪切模量测试结果表明,随着布敦岩沥青掺量增加,复数模量指数绝对值减小,BRA改性沥青的温度敏感性降低。

(2) 车辙因子指标显示,当岩沥青的掺量达到20%时,BRA改性沥青的PG分级要高于基质沥青一个温度等级;掺量达到40%时,BRA改性沥青的车辙因子接近于SBS改性沥青。

(3) 车辙试验结果表明,随着岩沥青掺量的增多,BRA改性沥青混合料的动稳定度逐渐增大,高温性能得到明显改善。

(4) BRA改性沥青车辙因子与BRA改性沥青混合料动稳定度呈线性正相关,表明车辙因子适用于评价BRA改性沥青的高温性能。

参考文献:

- [1] 王玮. BRA改性沥青及其混合料性能研究[D]. 长沙理工大学硕士学位论文, 2008.
- [2] 刘树堂, 杨永顺, 等. 布敦岩沥青改性沥青混合料试验研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 35(3): 351-355.
- [3] 钟科. 岩沥青路用性能研究[D]. 交通部公路科学研究院: 道路与铁道工程, 2006.
- [4] 杜群乐, 王庆凯, 王国清. 布敦岩改性沥青路用性能评价的研究[J]. 公路, 2005(8): 133-135.
- [5] 邓鹏飞. 布敦岩沥青性能研究[D]. 北京交通大学硕士学位论文, 2008.
- [6] 钟科, 曹东伟, 刘清泉. 岩沥青改性沥青胶结料流变特性研究[J]. 公路交通科技, 2007, 24(7): 15-19. (下转第21页)

Numerical Analysis on the Influence of Filling Speed on the Soft Soil Embankment Distortion

Zuo Wei, Tu Wenjing

(Institute of Road Bridge and Geotechnical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on plaxis software, FEM model for new building Peng-hu highway K41+200 soft soil subgrade is established. Through analyzing stability and deformation of the case in the condition of different filling speed and intervals, the paper shows the settlement changes before and after construction, and compares the settlement changes with different filling speed to verify the influence of filling speed on the quality of embankment construction.

Key words: filling speed; soft soil embankment; quality of construction; stability; settlement and distortion

(责任编辑 王全金)

(上接第 17 页)

A Research on Dynamic Rheology Properties of Buton Rock Asphalt Modified Asphalt Binder at High Temperature

Lv Tianhua, Zhang Yi

(The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Dynamic rheology properties of Buton rock asphalt modified asphalt binder at high temperature are studied by means of dynamic shear rheometer. Results show that the temperature sensibility of BRA modified asphalt binder becomes lower and lower as the content of BRA increases; that the PG classification of BRA modified asphalt is higher than that of base asphalt when the admixture ratio of BRA reaches 20%; that the rutting factor of BRA modified asphalt cement is close to that of SBS modified asphalt cement, when the admixture ratio of BRA reaches 40%. The relationship between rutting factor and results of wheel track test shows that increase in asphalt content of asphalt mixtures can improve the dynamic stability and rutting factor is suitable to evaluate BRA high temperature properties.

Key words: road engineering; BRA modified asphalt binder; rheology performance at high temperature; DSR; PG classification

(责任编辑 王全金)