

布敦岩沥青改性沥青混合料试验研究

刘树堂^{1,2}, 杨永顺³, 房建果^{1,3}, 郭忠印¹

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 200092 2. 山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061;
3. 山东省交通厅 公路局, 山东 济南 250002)

摘要:通过电子探针检测,测得了布敦岩沥青的矿物组成元素主要为碳、氧、硫、硅、镁、铝、钙、钾及铁等,微观形态结构表明布敦岩沥青中有的岩矿是多孔材料,沥青和岩矿相互包容.沥青组分试验表明,跟普通石油沥青相比,该种岩沥青的沥青质含量很高而胶质含量较低.不同温度的针入度结果则揭示了布敦岩中的沥青能明显改善基质沥青的高温性能,但同时降低其低温性能.高温弯曲蠕变试验进一步证实了布敦岩沥青对沥青混合料的高温性能具有显著的改性作用.

关键词:布敦岩沥青;矿物元素;沥青组分分析;沥青混合料;性能

中图分类号:U 416.217

文献标识码:A

文章编号:0253-374X(2007)03-0351-05

Experimental Research of Bituminous Mixtures Modified by Buton Rock Asphalt

LIU Shutang^{1,2}, YANG Yongshun³, FANG Jianguo^{1,3}, GUO Zhongyin¹

(1. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China 2. School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China 3. Road Bureau of Traffic Department of Shandong Province Jinan 250002, China)

Abstract: With the electronic probe detection, it is discovered that the mineral elements of the Buton Rock Asphalt (BRA) contains carbon, oxygen, sulfur, silicon, magnesium, aluminium, autunite, kalium and iron. The microcosmic shape of BRA is also studied and the results indicate that some rock in BRA is a kind of material with many holes which adsorb asphalt in and outside their walls. Group analysis of asphalt in BRA suggests that the content of the asphaltine is very high but the pectin content is lower compared with common oil asphalt. By the analysis of the penetration at different temperatures the study shows that the asphalt in BRA can dramatically improve the high temperature performance of raw bitumen and reduce its low temperature performance at the same time. The test of bending squirm distortion at high temperature proves further that the BRA has apparent modified effects on the high temperature performance of hot mix asphalt.

Key words: Buton Rock Asphalt (BRA); mineral element; group analysis of asphalt; bituminous mixtures; performance

布敦岩沥青(Buton Rock Asphalt, BRA)是一种岩沥青,产自印度尼西亚布敦岛海底的沥青矿,该沥

青矿是一种经过了上千万年沉积的天然矿物.常温下布敦岩沥青成固体颗粒粉末状,抽提试验表明,其

中含有大约 20% 的沥青,其余 80% 为矿物成分.布敦岩沥青在印尼有应用,国内也有部分地区在工程中开始尝试,但其对沥青混合料的改性效果究竟如何,深入的研究成果目前尚不多见.本研究从布敦岩沥青的组成成分开始,通过电子探针试验分析了其所含矿物的组成元素,通过抽提、蒸馏等试验收集其中的沥青,并对该沥青进行了组分分析,通过不同温度的针入度试验及高温弯曲蠕变试验等,研究了布敦岩沥青改性沥青混合料性能的问题.

1 布敦岩沥青的矿物元素及沥青组分分析

为了不至于引起歧义和论述方便,约定布敦岩沥青(BRA)的含义是指布敦岩(BR)与其中所含纯沥青(RA)的混合体.

1.1 BRA 的组成元素分析

经电子探针检测知,该 BRA 中主要含有碳、氧、硫、硅、镁、铝、钙、钾及铁等元素.由于电子探针只能检测 5 号硼元素至 92 号铀元素之间的元素,所以氢元素不能被检测出来.由于沥青主要是碳、氢化合物,因此其中应含有大量的氢元素.

在电子探针下,对布敦岩沥青进行微观分析,该材料中沥青和岩矿的背散射电子图像如图 1 所示.背散射电子图像的亮度与材料的相对原子质量呈正比,亮度较大的为物质相对原子质量较大的元素存在区域,反之,亮度较小的为物质相对原子质量较小的元素存在区域.较大的布敦岩沥青颗粒是由较小的颗粒组成的,有的岩矿是一种多孔材料,浸透了沥青,岩矿的形态有空心球状的,有不规则的块状的,有条状的和粒状的,等等.沥青和岩矿相互包容,岩矿表面包有沥青,而岩矿内部又包含沥青.有些区域的岩矿内含有许多小孔.

图 2 为布敦岩沥青样品的背散射电子成分像.进一步的分析可知,较亮的区域中,氧和钙元素含量较高,而较暗区域中的碳、镁、铝、硅、硫及铁等元素的含量较高.

1.2 布敦岩沥青中纯沥青的化学组分分析

1.2.1 试验结果

沥青的组分直接影响着沥青的性质.为了考察布敦岩沥青中沥青组分对其性能的影响,做了沥青的四组分试验.布敦岩沥青中的纯沥青(RA)是经过抽提试验、蒸馏试验^[1]等获取的;同时,为了比较,

又选择了另外两种 AH-70 石油沥青作为对照,一种为进口沥青(用 SB 表示),另一种为国产某沥青(用 SC 表示).试验结果如表 1 所示.

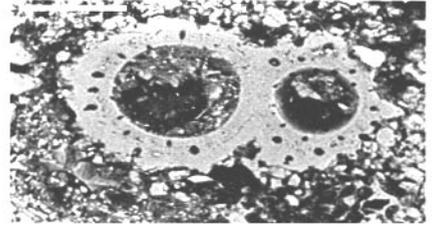


图 1 布敦岩沥青的背散射电子图像($\times 600$)

Fig. 1 Back-scattered electronic image of BRA ($\times 600$)

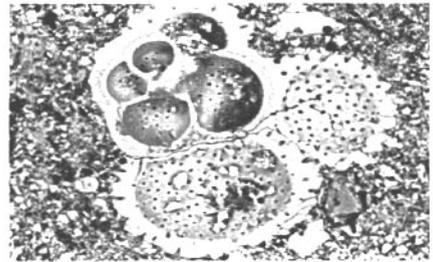


图 2 布敦岩沥青的背散射电子成分像($\times 600$)

Fig. 2 Back-scattered electronic ingredient image of BRA ($\times 600$)

表 1 沥青四组分试验结果

Tab. 1 Test result of four groups' analysis of asphalt

沥青种类	ω (沥青质)/ %	ω (胶质)/ %	ω (芳香烃)/ %	ω (饱和烃)/ %
RA	34.33	13.08	38.81	13.78
SB	6.22	26.92	56.36	10.50
SC	3.21	45.98	32.03	18.78

1.2.2 试验结果分析

沥青质是深褐色至黑色的无定性物质,在沥青中所含质量分数一般为 5%~25%,其含量的多少对沥青的流变特性、粘度、粘结力以及温度稳定性都有很大的影响^[2].当沥青中的沥青质所含质量分数增加时,沥青稠度提高,软化点上升.在三类沥青中,RA 的沥青质含量最高,达 34.33%.胶质也称为树脂或极性芳烃,有很强的极性,这一突出特性使胶质有很好的粘结力,赋予沥青以可塑性、流动性和粘结力,对沥青的延性也有很大影响^[2].胶质在沥青中所含质量分数一般占 15%~30%.从表 1 可见,RA 中胶质所含质量分数仅为 13.08%,远小于另外两种普通的石油沥青.芳香分是由沥青中最低相对分子质量的环烷芳香化合物组成的,是胶溶沥青质的分散介质,呈现深棕色的粘稠液体,在沥青中所含质量分数一般为 40%~65%^[2].由表 1 可知,RA 中芳

香分的含量处于另外两种沥青之间.饱和分是由直链烃和支链烃所组成的,是一种非极性稠状油类.饱和分对温度较为敏感,在沥青中占质量分数5%~20%.RA的饱和分含量较低,质量分数为13.78%.芳香分与饱和分都作为油分,在沥青中起着润滑和柔软作用.油分含量越多,沥青的软化点越低,针入度越大,稠度降低.在三类沥青中,RA中油分所含质量分数为52.59%,较低.

总之,跟另外两种石油沥青相比,RA组分的突出特点是沥青质含量很高,胶质含量较低,由此造成

下文试验表明的RA具有稠度高、软化点高、温度稳定性好等特性.

2 不同温度的针入度试验及结果分析

表2列出了RA、SB、SC、RA改性SB(记为RA+SB)及某改性沥青在 $T=15, 25, 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的针入度试验结果及相关计算^[1],其中RA改性SB时两者的质量配比为19:81.

表2 不同温度的针入度试验与计算结果

Tab.2 Penetration test at different temperature and the calculated result

沥青种类	不同温度针入度回归分析结果			针入度指数 I_p	当量软化点 $T_{800}/^{\circ}\text{C}$	T_{800} 应不低于/ $^{\circ}\text{C}$	当量脆点 $T_{1.2}/^{\circ}\text{C}$	$T_{1.2}$ 应不高于/ $^{\circ}\text{C}$	塑性范围 ($T_{800}-T_{1.2}$)/ $^{\circ}\text{C}$
	常数项 K	温度指数 A	相关系数 R						
RA	0.258 8	0.038 9	0.999 6	0.19	68.0	61.0	-4.6	0.5	72.6
SB	0.695 5	0.046 3	0.999 8	-0.95	47.7	47.7	-13.3	-12.8	61.0
SC	0.615 8	0.050 4	0.999 7	-1.48	45.4	47.2	-10.6	-13.3	56.0
RA+SB	0.593 0	0.043 3	0.999 4	-0.52	53.4	51.6	-11.9	-8.9	65.2
某改性沥青	0.752 3	0.038 4	0.998 3	0.27	56.0	50.1	-17.5	-10.4	73.5

2.1 沥青感温性分析

感温性是表征沥青随温度而发生性质变化幅度的指标,是描述沥青流变性能的核心指标.通常用针入度指数 I_p 表示. I_p 与针入度温度敏感性系数(以 A 表示)有如下关系:

$$I_p = \frac{30}{1 + 50A} - 10$$

由上式可知, A 的大小同样反映沥青的感温性能. A 越大,表示沥青对温度的变化越敏感,其性能就越不好.通常认为 $A \leq 0.045$,性能优; $0.045 < A < 0.055$,性能一般; $A \geq 0.055$,性能劣^[2].根据表2的结果,可判定出RA、SB、SC、RA+SB以及某改性沥青的感温性能差异,可知RA与某改性沥青的 A 值十分接近,此两者的感温性为最好.由针入度指数 I_p 的大小自然也可以看出有相同的结论.

另外由表2可见,因RA的温度敏感性较好,其对沥青的改性效果十分明显:将基质沥青的针入度指数从-0.95提高到-0.52,升幅达45.3%.

2.2 高温稳定性分析

当量软化点 T_{800} 是反映了沥青高温性能的理想指标,它不仅具有软化点表示沥青高温性能的全部优点,而且克服了蜡对沥青性能的影响,其值高,沥青的高温性能就好^[3].在五类沥青中,RA的

当量软化点 T_{800} 最高,为68 $^{\circ}\text{C}$,说明其高温稳定性最佳.前面的组分试验结果已表明,RA中的沥青质的质量分数很高,高达34.33%,而SB和SC中沥青质的质量分数分别为6.22%和3.21%,为两者的5~10倍.一般的规律是,沥青质含量高,沥青的热稳定性就好,而且国外的研究表明,在沥青质、胶质、芳香烃及饱和烃四组分中,沥青质含量的高低对软化点高低的影响最大,因此,RA良好的高温稳定性就由沥青组分作了充分的释证.正是RA良好的高温性能,使其对基质沥青的高温性能改善是明显的,将基质沥青当量软化点 T_{800} 从47.7 $^{\circ}\text{C}$ 升至53.4 $^{\circ}\text{C}$,升幅达12%.

2.3 低温性能分析

我国“八五”科技攻关专题选择了10 $^{\circ}\text{C}$ 的延度及当量脆点 $T_{1.2}$ 作为沥青低温抗裂性能指标^[3].脆点是沥青由可塑性状态转化成脆性状态的温度,当量脆点 $T_{1.2}$ 反映了沥青结合料的低温抗裂性能,用它作为评价沥青低温抗裂性能指标是适宜的,优于实测的弗拉斯脆点指标, $T_{1.2}$ 值越低,表明沥青抗裂性能越好.在五类沥青中,RA的当量脆点最高,故其低温抗裂性能最差,某改性沥青的低温性能最好.用RA改性基质沥青SB,当量脆点由-13.3 $^{\circ}\text{C}$ 上升为-11.9 $^{\circ}\text{C}$,升幅为11%,说明RA改性基质沥青

后,使沥青的低温性能降低.

2.4 塑性温度范围

软化点与脆点之间的温度范围越大,则表明沥青的可塑性温度范围越大,其温度稳定性也就越好. 五类沥青中,RA 与某改性沥青的塑性温度范围十分接近,但前者稍小,两者的温度稳定性最好,不过,RA 的塑性温度范围偏向高温区. RA 改性的基质沥青 SB,一方面使塑性温度范围增大,另一方面又使这个温度范围向高温区移动,即 RA 在改善基质沥青高温性能的同时,又降低了其低温性能.

总之,RA 在改善基质沥青高温性能方面效果是非常显著的,但在提高基质沥青高温性能的同时却又近似同幅度地降低了沥青的低温性能,不过在试验用配比下还是满足最小 $T_{1.2}$ 的要求. 因此 BRA 宜用在气温较高地区的道路工程中.

3 BRA 改性沥青混合料的路用性能试验

布敦岩沥青最经济、方便的应用途径是直接用于改性沥青混合料. 根据对工程实践的调查,本研究在进行目标配合比设计时,布敦岩沥青采用 4%(指布敦岩沥青中矿粉的质量占沥青混合料矿料总质量的百分比)的用量. 为考察 BRA 改性沥青混合料的路用性能,进行了高温性能、低温性能和水稳性能试验. 车辙试验的动稳定度平均值为 $2\,000$ 次 \cdot mm $^{-1}$,与同级配未改性沥青混合料的 900 次 \cdot mm $^{-1}$ 相比,约提高 120%,高温性能改性效果显著;低温弯曲试验结果是 BRA 改性沥青混合料的破坏应变为 $2\,667$ $\mu\epsilon$,虽满足标准要求,但与同级配未改性沥青混合料的 $2\,871$ $\mu\epsilon$ 相比表明,用 BRA 改性的沥青混合料低温性能降低约 8%;浸水马歇尔试验的残留稳定度达 113%,而冻融劈裂试验的冻融劈裂强度比为 81%,表明水稳性能满足要求.

表 3 Burgers 模型参数求解结果

Tab.3 Burgers model parameters solution result

编号	材料类别	E_1/MPa	$\eta_1/(\text{MPa}\cdot\text{s})$	E_2/MPa	$\eta_2/(\text{MPa}\cdot\text{s})$	相关系数
1	SB 沥青混合料	9.9	1 583	2.8	161	0.99
2	BRA+SB 改性沥青混合料	56.5	16 107	7.2	672	0.99
3	某改性沥青混合料	30.0	42 690	8.6	1 784	0.99

4.2 结果分析

由表 3 中 1 号和 2 号材料比较可看出,经 BRA 改性后的沥青混合料,Burgers 模型的四个参数均成

4 BRA 改性沥青混合料的弯曲蠕变性能分析

为了进一步研究 BRA 改性沥青混合料的高温变形性能,又进行了高温 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 时的弯曲蠕变试验^[1]. 同样,为了对比,试验时还选用了基质沥青 SB 沥青混合料和前述某改性沥青混合料. 三种沥青混合料均采用同一级配,但沥青用量分别为马歇尔试验确定的各自的最佳沥青用量.

4.1 试验结果

试验时,数据采集系统连续采集变形数据,并据此绘出跨中挠度随时间变化的曲线. 然后计算出小梁试件底部的弯拉应变,各组材料利用了 30 组数据,按照 Burgers 模型^[4]求得各混合料的模型参数.

图 3 为 Burgers 模型示意图.

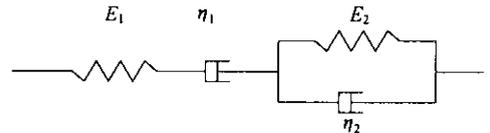


图 3 Burgers 模型示意图

Fig.3 Schematic drawing of Burgers model

Burgers 模型的蠕变方程、恢复方程分别为式 (1)(2)所示.

$$\epsilon(t) = \sigma_0 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{\eta_1} t + \frac{1}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t} \right) \right) \quad (1)$$

$$\epsilon(t) = \sigma_0 \left(\frac{1}{\eta_1} t_1 + \frac{1}{E_1} \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t_1} \right) e^{-\frac{E_2}{\eta_2} (t-t_1)} \right) \quad (2)$$

式中: E_1, E_2 为弹性模量; η_1, η_2 为粘滞系数.

根据弯曲蠕变曲线换算的弯拉应变数据,利用非线性最小二乘原理,求得方程中四个参数如表 3 所示.

倍增加,麦克斯威尔模型的瞬时弹性模量为基质沥青混合料的 5.7 倍,粘滞系数为 10 倍,而开尔文模型的弹性常数、粘滞系数分别为 2.6 倍和 4.2 倍,表

明 BRA 对沥青混合料高温性能的改善效果非常明显.2 号和 3 号材料相比,后者除了麦克斯威尔模型的瞬时弹性模量较小外,其余参数均较前者大.三种沥青混合料的高温性能也可从蠕变及恢复性能曲线直观看出,如图 4 所示.

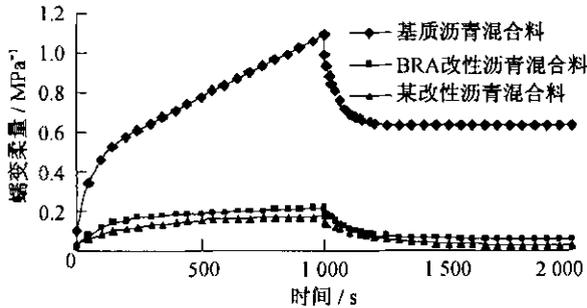


图 4 三种沥青混合料弯曲蠕变及恢复曲线

Fig. 4 Bending creep and restoration curve of three kinds of asphalt mixture

从图 4 可见,在弯曲蠕变阶段,用 BRA 改性的沥青混合料的变形远比基质沥青混合料的小;同样,在恢复阶段,其残余变形仅为基质沥青混合料的 1/10,直观地说明了 BRA 改性沥青混合料的车辙将会大幅度减小.而与某改性沥青混合料的相比,其残余变形却较大,为后者的 2.5 倍,表明后者的高温性能更好些.

5 结论

(1) 沥青的化学组分试验表明,布敦岩沥青的突出特点是沥青质含量很高,为普通石油沥青的 5~10 倍.这是布敦岩沥青稠度高、软化点高、感温性

好及对沥青混合料高温性能具有显著改善的主要内在原因.

(2) 不同温度针入度试验和高温弯曲蠕变试验结果分析表明,布敦岩沥青可显著提高沥青混合料的高温稳定性能,大幅度减少车辙量的发生,但其在提高基质沥青高温性能的同时却又近似同幅度地降低了沥青的低温性能,不过在 4% 的用量时,还能符合低温标准要求.低温弯曲试验表明,布敦岩沥青改性沥青混合料的低温性能有所降低.因此布敦岩沥青宜用于气温较高地区的道路工程,而且用量要适当,不宜太高.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程 [M]. 北京:人民交通出版社,2000.
Ministry of Communications of People's Republic of China. Standard test methods of bituminous mixtures for highway engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2000.
- [2] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法 [M]. 上海:同济大学出版社,2001.
LV Weimin. Bituminous mixtures principle and method of design [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2001.
- [3] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能 [M]. 北京:人民交通出版社,2001.
SHEN Jin'an. The pavement performance of bituminous and bituminous mixtures [M]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [4] 郭大智. 层状粘弹性体系力学 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2001.
GUO Dazhi. Layered viscoelasticity system mechanics [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2001.

(编辑 杨家琪)