

# 基于沥青 SARA 组成的 SBS 改性沥青高温性能研究

王勤芳<sup>1</sup>, 曾海<sup>2\*</sup>, 杨耀<sup>1</sup>

1 中国石油大学(北京)化学工程与环境学院, 北京 102249

2 中国石油辽河石化分公司, 盘锦 124022

\* 通信作者, zenghai@petrochina.com.cn

收稿日期: 2019-07-02

**摘要** 本文选取 4 种不同油源的基质沥青, 采用高速剪切法制备苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SBS)改性沥青, 通过沥青软化点试验、动态剪切流变试验(DSR)以及多重应力蠕变恢复试验(MSCR)考察了 SBS 剂量与基质沥青四组分(SARA)组成对改性沥青高温性能的影响。结果发现, 改性沥青的高温性能随着 SBS 剂量的增加而不断增强; 基质沥青中沥青质含量高, 饱和分含量低时, 改性后高温性能更好, 而饱和分含量较高时, 改性沥青的高温性能随 SBS 剂量的增加改善速度更快; 基质沥青对改性沥青高温性能的影响在 SBS 剂量较低时显著, 而 SBS 剂量较高时, SBS 对改性沥青高温性能的影响更加明显; 在 DSR 试验中 SBS 剂量为 5.0%, 低测试角频率(0.1~1.0 rad/s), 测试温度为 70 °C 时, III 号沥青改性后的抗流动变形能力最好; 动态剪切流变试验和多重应力蠕变恢复试验在评价改性沥青高温性能时有较好的相关性。

**关键词** SBS 改性剂; 基质沥青; 改性沥青; 车辙因子; 高温性能

## High-temperature performance study of SBS modified asphalt based on SARA fractions

WANG Qinfang<sup>1</sup>, ZENG Hai<sup>2</sup>, YANG Yao<sup>1</sup>

1 College of Chemical Engineering and Environment, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

2 PetroChina Liaohe Petrochemical Company, Panjin 124022, China

**Abstract** In this study, four kinds of neat asphalt with different oil sources were selected, and Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) modified asphalt was prepared by a high shear method. This study was to investigate the influence of the separation of four SARA fractions and the dosage of SBS polymer on the high temperature performance of modified asphalt in the Softening Point test, Dynamic Shear Rheometer (DSR) and Multiple Stress Creep Recovery (MSCR). The results revealed that the dosage of SBS polymer and SARA fractions had significant effects on the high-temperature performance of modified asphalt. With increasing dosage of SBS polymer, the high-temperature performance of modified asphalt improved continuously. The higher the content of asphaltenes and the lower the content of saturates, the better the high-temperature performance of SBS modified asphalt. The results also indicated that a high saturates content can cause the high-temperature performance of the modified asphalt to improve faster with an increase of the SBS polymer. When the dosage of SBS polymer was low, the neat asphalt has a significant effect on the high temperature performance of the modified asphalt, whereas the influence of SBS polymer is more obvious. The anti-flow deformation ability of III-SBS modified asphalt was the best at high SBS dosage (5.0%), low test oscillation frequency (0.1 ~ 1.0

引用格式: 王勤芳, 曾海, 杨耀. 基于沥青 SARA 组成的 SBS 改性沥青高温性能研究. 石油科学通报, 2019, 04: 440-449

WANG Qinfang, ZENG Hai, YANG Yao. High-temperature performance study of SBS modified asphalt based on SARA fractions. Petroleum Science Bulletin, 2019, 04: 440-449. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2019.04.039

rad/s) and high test temperature (70 °C). The dynamic Shear Rheological test and Multiple Stress Creep Recovery test had a good positive correlation on evaluating the SBS modified asphalt.

**Keywords** SBS modifier, neat asphalt, modified asphalt, high-temperature performance

**doi:** 10.3969/j.issn.2096-1693.2019.04.039

SBS改性沥青的品质受到基质沥青的化学组成、SBS嵌段比、SBS类型、SBS添加量、化学添加剂种类及用量等的影响,其中基质沥青化学组成与所添加组分的相容性,是影响改性沥青性能及其稳定性的重要因素<sup>[1]</sup>。筵玉涛等<sup>[2]</sup>通过DSR实验研究了SBS的形状对改性沥青车辙因子( $G^*/\sin\delta$ )的影响,结果发现:星型SBS改性沥青车辙因子明显大于线型SBS改性沥青,但星型SBS改性沥青较线型SBS改性沥青加工困难;牛冬瑜等<sup>[3]</sup>通过沥青常规试验与荧光显微镜测试研究了工艺关键参数对SBS改性沥青性能的影响,结果发现:对与沥青相容性较好且相对分子量较大的SBS,加工工艺参数推荐剪切时间90 min,剪切温度180 °C,发育时间2 h;对与沥青相容性较差且相对分子量较小的SBS,加工工艺参数推荐剪切时间60 min,剪切温度170 °C,发育时间不宜大于4 h;王兆力<sup>[4]</sup>通过单因素变量法对不同剂量的改性沥青性能进行研究,结果发现:改性剂的剂量控制在4.5%左右时较为合适。涂娟等<sup>[5]</sup>通过沥青常规分析研究了添加剂对SBS改性沥青性能的影响,结果发现:稳定剂能使分散的SBS在沥青中形成稳定的空间网络结构,添加剂量占SBS的5.0%左右时效果最佳。目前,基质沥青四组分组成对SBS改性沥青高温性能影响的研究较少,用软化点、SHRP规范中的车辙因子( $G^*/\sin\delta$ )评价SBS改性沥青高温性能的研究比较多,而用MSCR试验评价高温性能的研究比较少。本文选取4种不同油源的基质沥青,旨在通过环球法软化点试验、DSR试验、MSCR试验考察基质沥青四组分组成与SBS剂量对改性沥青高温性能的影响,并分析软化点试验、DSR试验、MSCR试验在评价改性沥青高温性能时的相关性。

## 1 试验部分

### 1.1 原材料

本实验选取的4种沥青编号为:I、II、III、IV,其性质如表1与表2所示。聚合物选用编号为3501F

的线型SBS,其性质如表3所示。SBS的添加量分别为2.0%、3.0%、4.0%、5.0%,稳定剂添加比例为定量0.25%。

### 1.2 试样制备

本实验中采用高速剪切机来制备SBS改性沥青,方法如下:基质沥青加热至180 °C,将SBS加入到基质沥青中,高速剪切机以3000 r/min的转速剪切30 min后加入稳定剂,继续剪切20 min后再加入一次稳定剂,继续剪切20 min后将转速调至1000 r/min,使其在该转速下剪切1 h后装入器皿,等待后续测试。

表1 基质沥青的物理性质

Table 1 Physical properties of neat asphalts

指标	I	II	III	IV	测试方法
软化点/°C	46.5	46.1	44.2	44.6	T 0606-2011
针入度 (25 °C)/0.1mm	88.9	84.5	95.6	92.5	T 0604-2011
延度(10 °C)/cm	>150	>150	>150	>150	T 0605-2011

表2 基质沥青的四组分含量

Table 2 SARA fractions of neat asphalts

指标	I	II	III	IV	测试方法
饱和分(S)/wt%	16.25	9.09	21.35	13.43	
芳香分(A)/wt%	33.39	51.76	35.95	32.28	薄层色谱
胶质(R)/wt%	48.05	35.16	41.44	52.87	法
沥青质(At)/wt%	2.31	3.99	1.26	1.42	

表3 SBS聚合物的性质

Table 3 Properties of SBS polymer

SBS 聚合物	性质
形状	线型
外观	多孔胶粒状
苯乙烯与丁二烯嵌段比	31/69
比重	0.94
挥发分/%	0.25
灰分/%	0.3

### 1.3 性能测试

#### 1.3.1 软化点试验

软化点是世界上大多数国家表征沥青高温性能指标之一,在理论上,软化点是一种等黏温度,反应了沥青的黏度特性,软化点高说明沥青的等黏温度高,沥青混合料的高温稳定性好。本论文采用环球法测试沥青的软化点。

#### 1.3.2 动态剪切流变试验

原样沥青的动态剪切流变试验(DSR),以车辙因子( $G^*/\sin\delta$ )作为评价沥青高温性能指标, $G^*/\sin\delta$ 越大,表示高温抗永久变形能力越强,即混合料的高温稳定性越好<sup>[6]</sup>。 $G^*/\sin\delta$ 中 $G^*$ 是动态剪切复数劲度模量, $G^*$ 越大表示沥青的抗流动变形能力越强;相位角 $\delta$ 是沥青结合料的弹性(可恢复部分)与黏性(不可恢复部分)成分的比例指标。本次DSR试验中,角频率的范围为:0.1~100 rad/s,剪变速率为12%。

#### 1.3.3 多重应力蠕变恢复(MSCR)试验

多重应力蠕变恢复试验(MSCR):在0.1 KPa和3.2 KPa剪切应力下分别进行10次蠕变恢复试验,蠕变1 s,恢复9 s,试验温度为从低至高,然后根据采集的应变计算不同应力下的 $J_{nr}$ 以及 $J_{nr-diff}$ <sup>[7]</sup>。 $J_{nr}$ 为不可恢复蠕变柔量,主要表征沥青结合料的抗车辙性,通常较高的 $J_{nr(3.2KPa)}$ 值表示较低的车辙性能。 $J_{nr-diff}$ 是不可恢复蠕变柔量随应力的变化率,表征改性沥青应力敏感性。其计算方法如式(1)与式(2)所示:

$$J_{nr} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_0}{\delta} \quad (1)$$

$$J_{nr-diff} = \frac{J_{nr(3.2KPa)} - J_{nr(0.1KPa)}}{J_{nr(0.1KPa)}} \quad (2)$$

其中: $\varepsilon_0$ ——为初始变形;

$\varepsilon_r$ ——为经过9 s恢复后剩余变形;

$\delta$ ——为剪切应力, KPa;

$J_{nr}$ ——为不可恢复蠕变柔量,  $KPa^{-1}$ ;

$J_{nr-diff}$ ——为不可恢复蠕变柔量相对差异, %。

## 2 结果与讨论

### 2.1 软化点试验结果

根据试验结果,绘制出了SBS改性沥青的软化点随SBS剂量变化关系曲线,如图1所示。

从图1可以看出,随着SBS剂量的增加,4种不同系列改性沥青的软化点有相同的变化趋势,但变

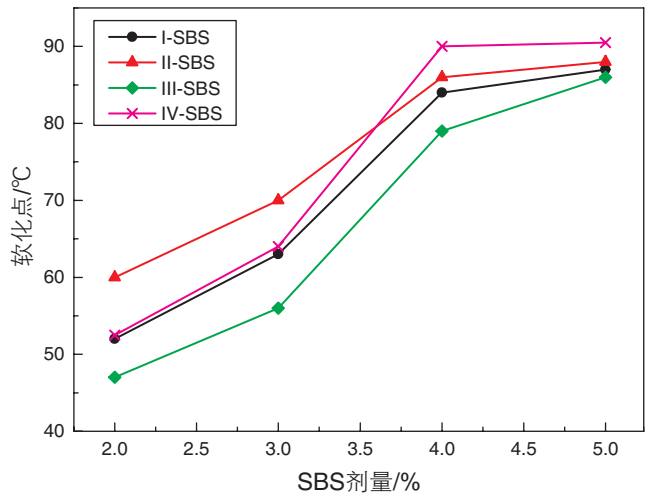


图1 软化点随SBS剂量变化关系曲线

Fig. 1 The softening point change with SBS dose

化幅度不尽相同。SBS剂量由2.0%提高到3.0%时,I、II、III、IV4个系列改性沥青的软化点分别提高了11℃、10℃、9℃、11.5℃;当剂量由3.0%提高到4.0%时,I、II、III、IV4个系列改性沥青的软化点分别提高了21℃、16℃、23℃、26℃;当剂量由4.0%提高到5.0%时,I、II、III、IV4个系列改性沥青的软化点分别提高了3℃、2℃、7℃、0.5℃,可以看出,当SBS剂量由3.0%提高到4.0%时,4个系列改性沥青的软化点均增加最快。

在较低SBS剂量下,改性沥青体系中沥青为连续相,SBS为分散相,SBS会吸附沥青中部分轻组分使其发生溶胀,这导致沥青中小分子含量相对减少。同时,SBS的加入及溶胀也增加了沥青分子的运动阻力,从而使改性沥青的高温稳定性得以提高。但由于剂量比较低,SBS改性剂对沥青小分子的吸附作用未充分发挥,沥青中仍有相对较多的小分子存在,这使得SBS改性剂与沥青没能达到稳定的互锁状态。随着SBS剂量的增加,改性沥青中SBS与沥青的相态会发生变化,由沥青为连续相、SBS为分散相的相态逐渐转化为沥青与SBS均为连续相。在此状态下,SBS的微相分离结构作用得以充分发挥,其微区相互缠绕交联形成互锁的网络结构,作用效果最好,此时软化点的增长加快,表现在软化点变化曲线上就是其曲线斜率增大。而当剂量继续增加时,由于沥青中能被吸附的小分子已被吸附稳定,表现为软化点的增长幅度降低。

就本试验中改性沥青软化点的变化过程而言,4个系列改性沥青的增加幅度由大到小顺序为:III > IV > I > II,主要原因在于基质沥青性质的差异。从表2可以

看出：I、II、III、IV 这 4 种基质沥青中饱和分含量从大到小的顺序为：III>I>IV>II，分析发现，基质沥青中饱和分含量越多，改性沥青的软化点提高越快。

结合图 1 与表 2 可以看出，在一定 SBS 剂量下，饱和分、芳香分与胶质基本相同的条件下，随着基质沥青中沥青质含量的增加，改性沥青的软化点随之增大。这就说明，一定条件下，基质沥青中沥青质含量越高，改性沥青的高温性能更好，但随着 SBS 剂量的增加，基质沥青中沥青质含量对改性沥青高温性能的影响逐渐减弱。从图 1 可以看出，SBS 剂量在 2.0%~3.0% 时，II 系列改性沥青的软化点大于 IV 系列改性沥青的软化点，而 SBS 剂量在 4.0%~5.0% 时，IV 系列改性沥青的软化点则大于 II 系列改性沥青。这说

明 SBS 在较低剂量时，基质沥青对改性沥青高温性能的影响最突出，而 SBS 在较高剂量时，基质沥青对改性沥青高温性能的影响会逐渐减弱，改性剂的影响则逐渐加强。

## 2.2 动态剪切流变试验结果

### 2.2.1 车辙因子 ( $G^*/\sin\delta$ )

张国强<sup>[8]</sup>等人通过对改性沥青软化点与车辙动稳度之间相关性的分析，发现采用软化点指标在评价改性沥青高温性能时，表现出一定的局限性。本文采用车辙因子 ( $G^*/\sin\delta$ ) 来进一步表征改性沥青的高温抗永久变形能力，在角频率为 10 rad/s 时，以  $\lg(G^*/\sin\delta) - T$  作图，如图 2~图 9 所示。

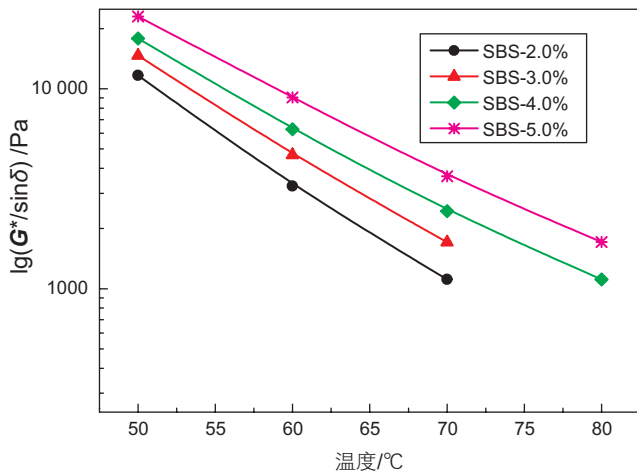


图 2 I 系列改性沥青的  $\lg(G^*/\sin\delta)$  随温度变化关系曲线  
Fig. 2 The  $\lg(G^*/\sin\delta)$  of the modified asphalt I with temperature

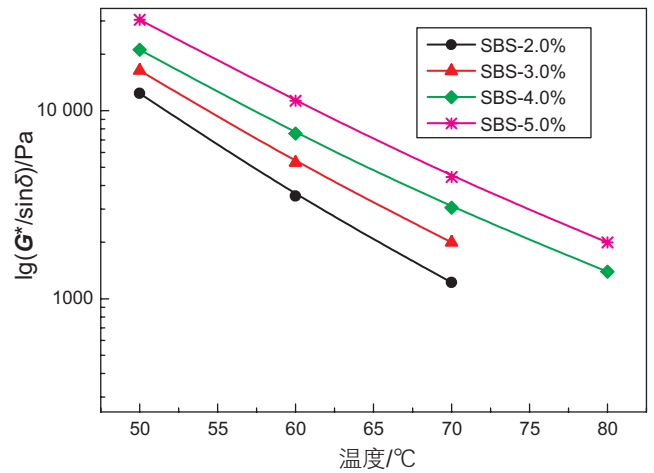


图 3 II 系列改性沥青的  $\lg(G^*/\sin\delta)$  随温度变化关系曲线  
Fig. 3 The  $\lg(G^*/\sin\delta)$  of the modified asphalt II with temperature

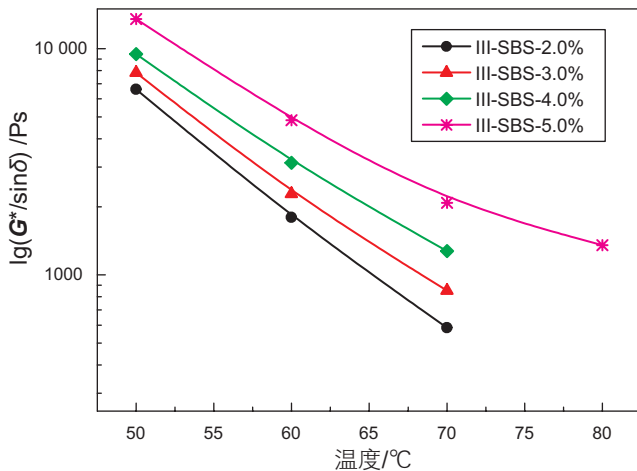


图 4 III 系列改性沥青的  $\lg(G^*/\sin\delta)$  随温度变化关系曲线  
Fig. 4 The  $\lg(G^*/\sin\delta)$  of the modified asphalt III with temperature

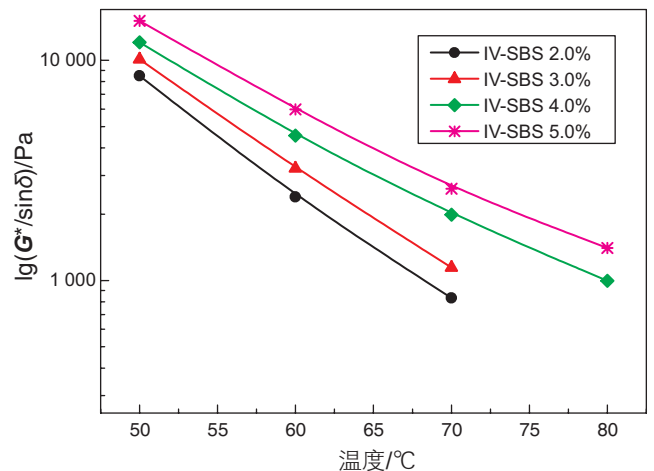


图 5 IV 系列改性沥青的  $\lg(G^*/\sin\delta)$  随温度变化关系曲线  
Fig. 5 The  $\lg(G^*/\sin\delta)$  of the modified asphalt IV with temperature

图2~图5分别表示I、II、III、IV系列改性沥青的车辙因子随温度和SBS剂量变化关系曲线。从图中可以看出,在SBS剂量一定时,随着温度的升高,4种系列改性沥青的 $\lg(G^*/\sin\delta)$ 表现出了相同的变化趋势,均随之减小。说明高温能使改性沥青的抗车辙能力减弱,即温度越高,改性沥青的抗永久变形能力越弱。同时,从图2~图5亦可看出,在相同温度下,随着SBS剂量的增加, $\lg(G^*/\sin\delta)$ 不断增加,这表明,较高的SBS剂量对沥青高温抗车辙能力有更好的改善作用。

图6~图9分别展现了SBS剂量为2.0%、3.0%、4.0%和5.0%下,4个系列改性沥青的 $\lg(G^*/\sin\delta)$ 随温度变化的关系曲线。可以看出,在同一SBS剂量下,相同温度时,4个系列改性沥青的 $\lg(G^*/\sin\delta)$ 大小不

同,从大到小的顺序是II>I>IV>III,对照表2中基质沥青的四组分含量数据可以看出,沥青质含量相对较高的基质沥青,其改性沥青的 $\lg(G^*/\sin\delta)$ 也相对较高,即沥青质含量较高的沥青改性后高温抗车辙能力也相对较强。

### 2.2.2 改性沥青的复数模量

为了进一步考察4个系列改性沥青的高温性能,本文继续分析了动态剪切流变试验中角频率对复数模量( $G^*$ )的影响。图10和图11分别列出了温度为60℃、70℃时,相同SBS剂量下,不同系列改性沥青的复数模量随角频率的变化关系曲线,其中,每幅图中右下角的小图是对该图中角频率为0.1~1.0 rad/s范围内 $G^*$ 随角频率变化关系曲线的放大。

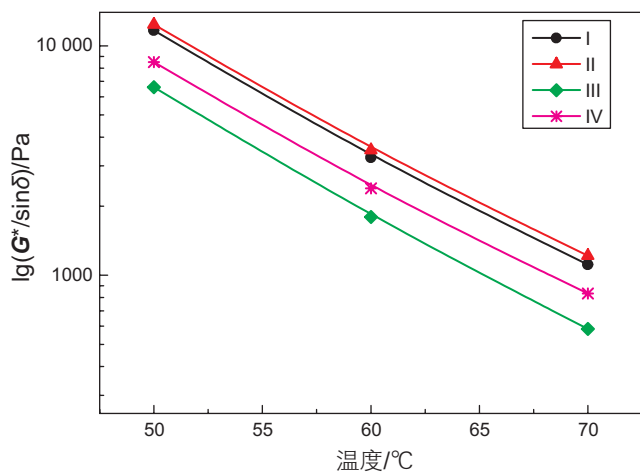


图6 SBS剂量为2.0%下 $\lg(G^*/\sin\delta)$ 随温度变化关系曲线  
Fig. 6 The  $\lg(G^*/\sin\delta)$  with temperature at the SBS dose of 2.0%

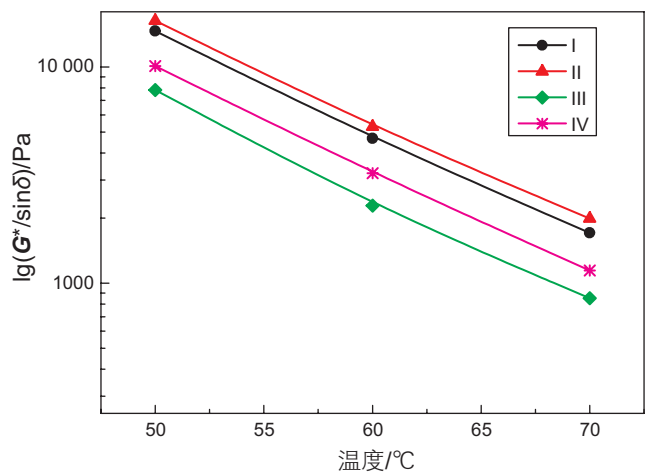


图7 SBS剂量为3.0%下 $\lg(G^*/\sin\delta)$ 随温度变化关系曲线  
Fig. 7 The  $\lg(G^*/\sin\delta)$  with temperature at the SBS dose of 3.0%

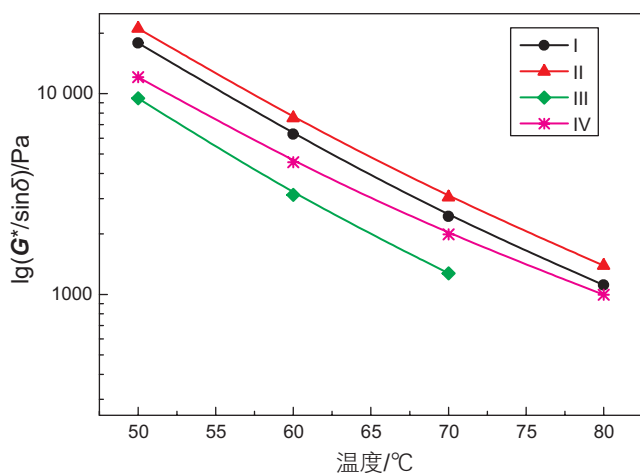


图8 SBS剂量为4.0%下 $\lg(G^*/\sin\delta)$ 随温度变化关系曲线  
Fig. 8 The  $\lg(G^*/\sin\delta)$  with temperature at the SBS dose of 4.0%

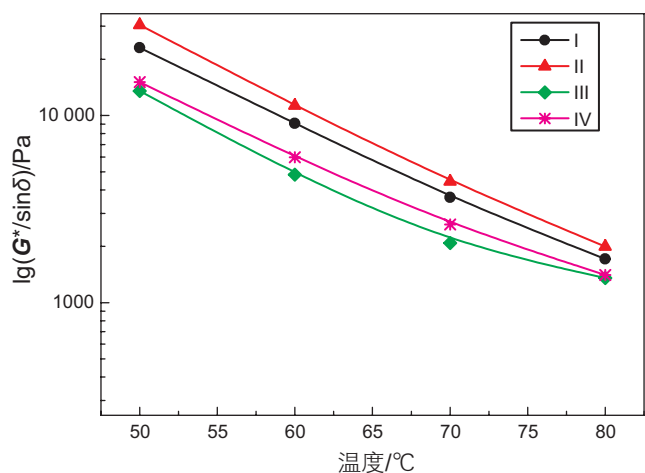


图9 SBS剂量为5.0%下 $\lg(G^*/\sin\delta)$ 随温度变化关系曲线  
Fig. 9 The  $\lg(G^*/\sin\delta)$  with temperature at the SBS dose of 5.0%

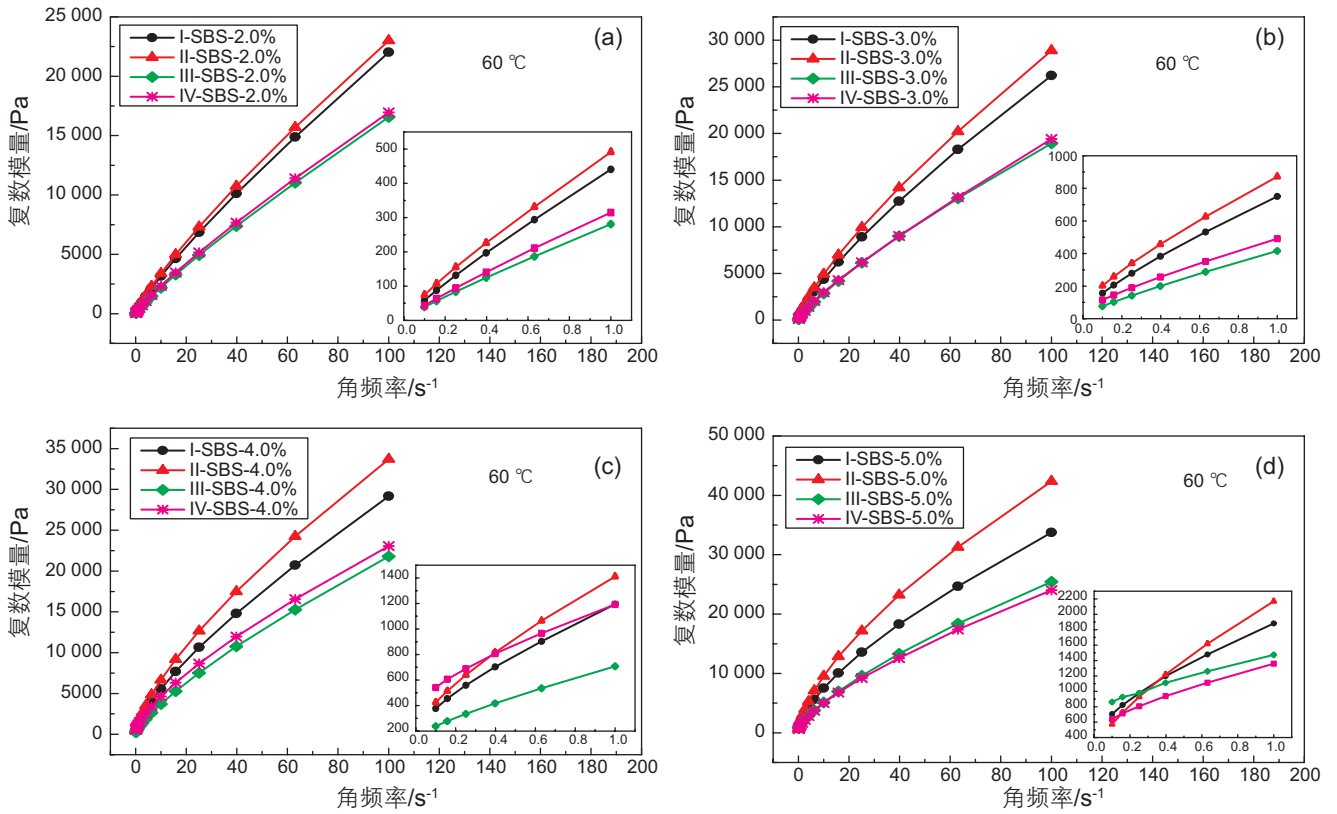


图 10 相同SBS剂量下改性沥青 60 °C复数模量随角频率变化关系曲线

Fig. 10 The complex modulus of modified asphalt with radian frequency at the same SBS dose at 60 °C

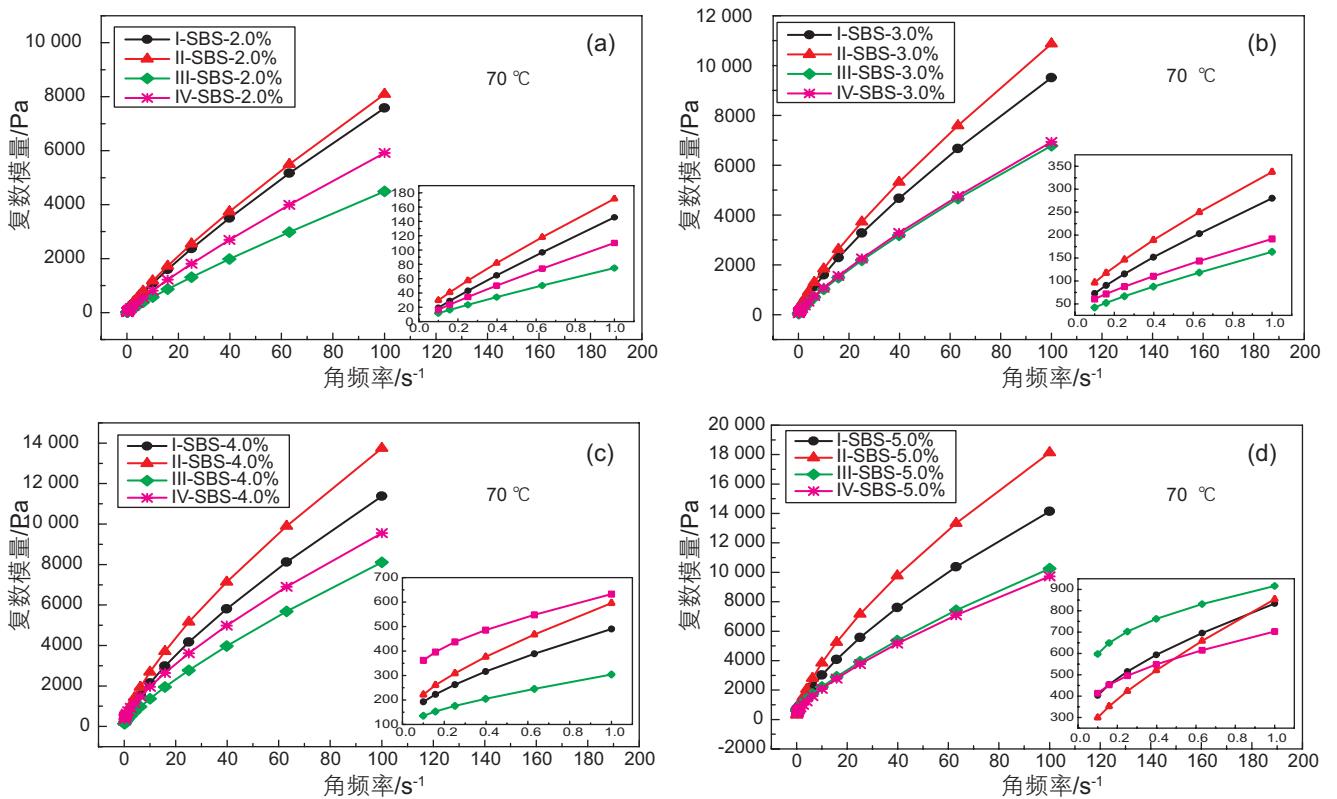


图 11 相同SBS剂量下改性沥青 70 °C复数模量随角频率变化关系曲线

Fig. 11 The complex modulus of modified asphalt with radian frequency at the same SBS dose at 70 °C

从图 10 可以看出,随着角频率的增加,改性沥青的  $G^*$  不断增大,这说明,在较高频率时,改性沥青在该温度下抗流动变形能力更强。图 10(a)和图 10(b)可以看出,角频率在 0.1~100 rad/s 范围内,SBS 剂量在 2.0%、3.0% 时,4 个系列改性沥青的  $G^*$  大小顺序均是  $II > I > IV > III$ 。但 SBS 的添加量为 4.0%,角频率低于 0.43 rad/s 时,IV 系列改性沥青的  $G^*$  超过了 II 系列改性沥青,成为 4 种改性沥青中最高。在 SBS 剂量为 5.0% 时,不管在高频还是低频下,III 系列改性沥青的  $G^*$  均大于 IV 系列改性沥青,而角频率小于 0.3 rad/s 左右时,III 系列改性沥青的  $G^*$  在 4 个系列改性沥青中最高。

鉴于以上的发现,本文又考察了温度在 70 °C 时  $G^*$  随角频率的变化关系。从图 11 中可以看出,70 °C 下的复数模量随角频率的变化趋势与 60 °C 时不同的是:在 SBS 剂量为 4.0%,角频率为 0.1~1.0 rad/s 时,IV 系列改性沥青的  $G^*$  在 60 °C 和 70 °C 均为 4 种系列改性沥青中的最大者;而在 SBS 剂量为 5.0%,角频率

为 0.1~1.0 rad/s 时,III 系列改性沥青的  $G^*$  仅在 70 °C 表现为最大,即在 70 °C 时,III 系列改性沥青的  $G^*$  值大于其他 3 个系列改性沥青,低频范围较 60 °C 时更大。这说明,与其他 3 个系列改性沥青相比,III 系列改性沥青在更高温度下的抗流动变形能力表现更加突出。

### 2.3 多重应力蠕变恢复试验结果

为了更好地评价 SBS 改性沥青的高温性能,本部分采用 MSCR 试验,研究了 SBS 剂量、温度和基质沥青对改性沥青高温性能的影响,在 MSCR 试验中, $J_{nr(3.2KPa)}$  主要表征沥青结合料的抗车辙性能,通常较高的  $J_{nr(3.2KPa)}$  值表示较低的车辙性能, $J_{nr-diff}$  表示沥青的抗敏感性能,值越大,改性沥青对应力越敏感。

图 12 与图 13 分别是同系改性沥青的  $J_{nr(3.2KPa)}$  与  $J_{nr-diff}$  随温度与 SBS 剂量变化关系曲线,图中 (a)~(d) 分别是 I、II、III 和 IV 系列改性沥青的试验数值。图 14 与图 15 分别是温度为 64 °C 时不同系列改性沥青的  $\lg(J_{nr(3.2KPa)})$  与  $J_{nr-diff}$  随 SBS 剂量的变化关系曲线。

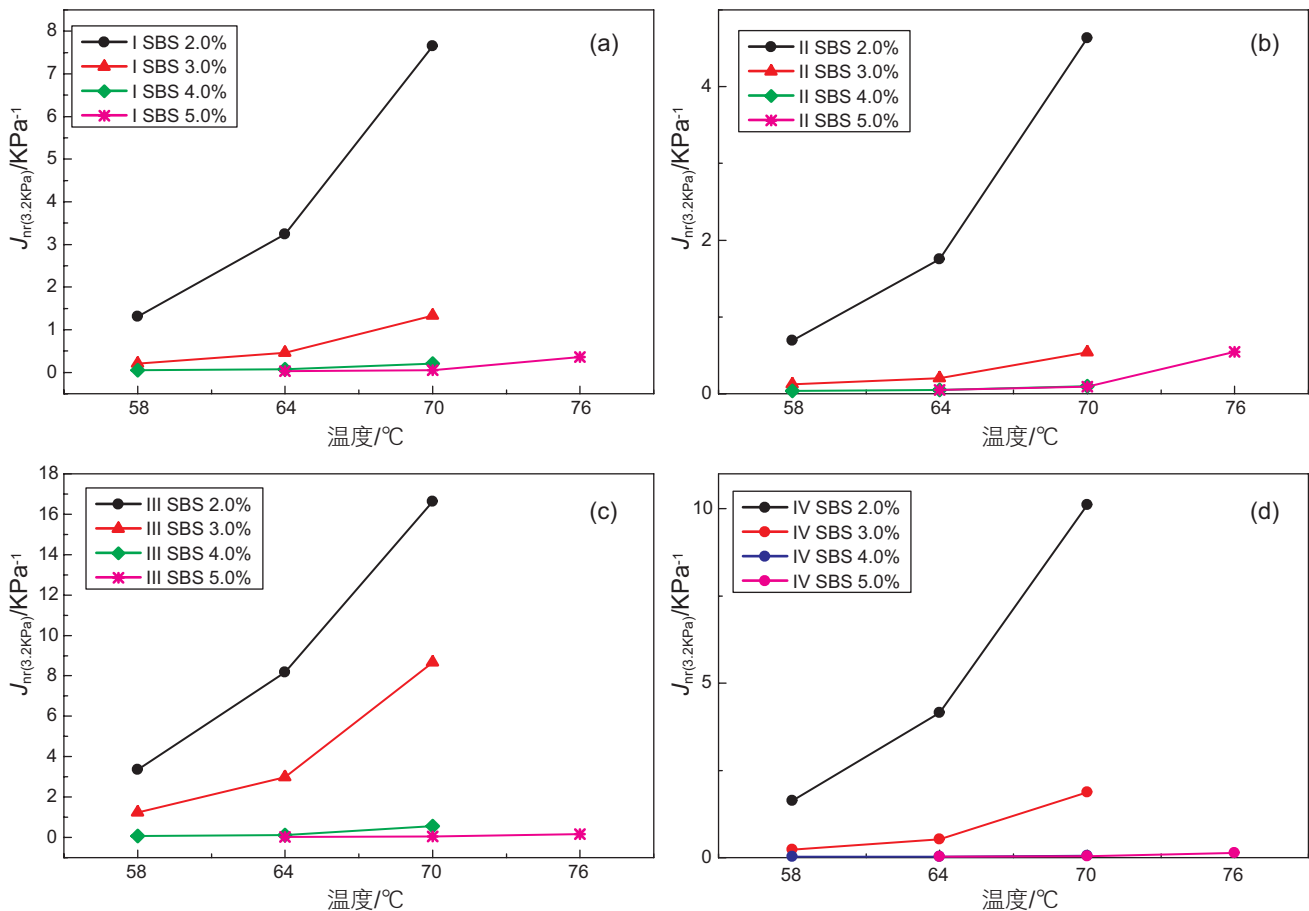


图 12  $J_{nr(3.2KPa)}$  随温度与 SBS 剂量的变化关系曲线

Fig. 12 The curves of  $J_{nr(3.2KPa)}$  with temperature and SBS dose

从图 12~图 13 可以看出, SBS 改性沥青的  $J_{nr(3.2KPa)}$  和  $J_{nr-diff}$  均随温度的升高而不断增加, 随 SBS 剂量的增加而呈现下降趋势, 这说明, 随着温度升高, 改性沥青的抗车辙能力与应力敏感性均逐渐降低, 而随着

SBS 剂量的增加, 改性沥青的抗车辙能力与应力敏感性均不断增强。

从图 14~图 15 可以看出来, 在温度为 64 °C 时, SBS 剂量从 2.0% 提高到 4.0% 时, 4 个系列改性沥青

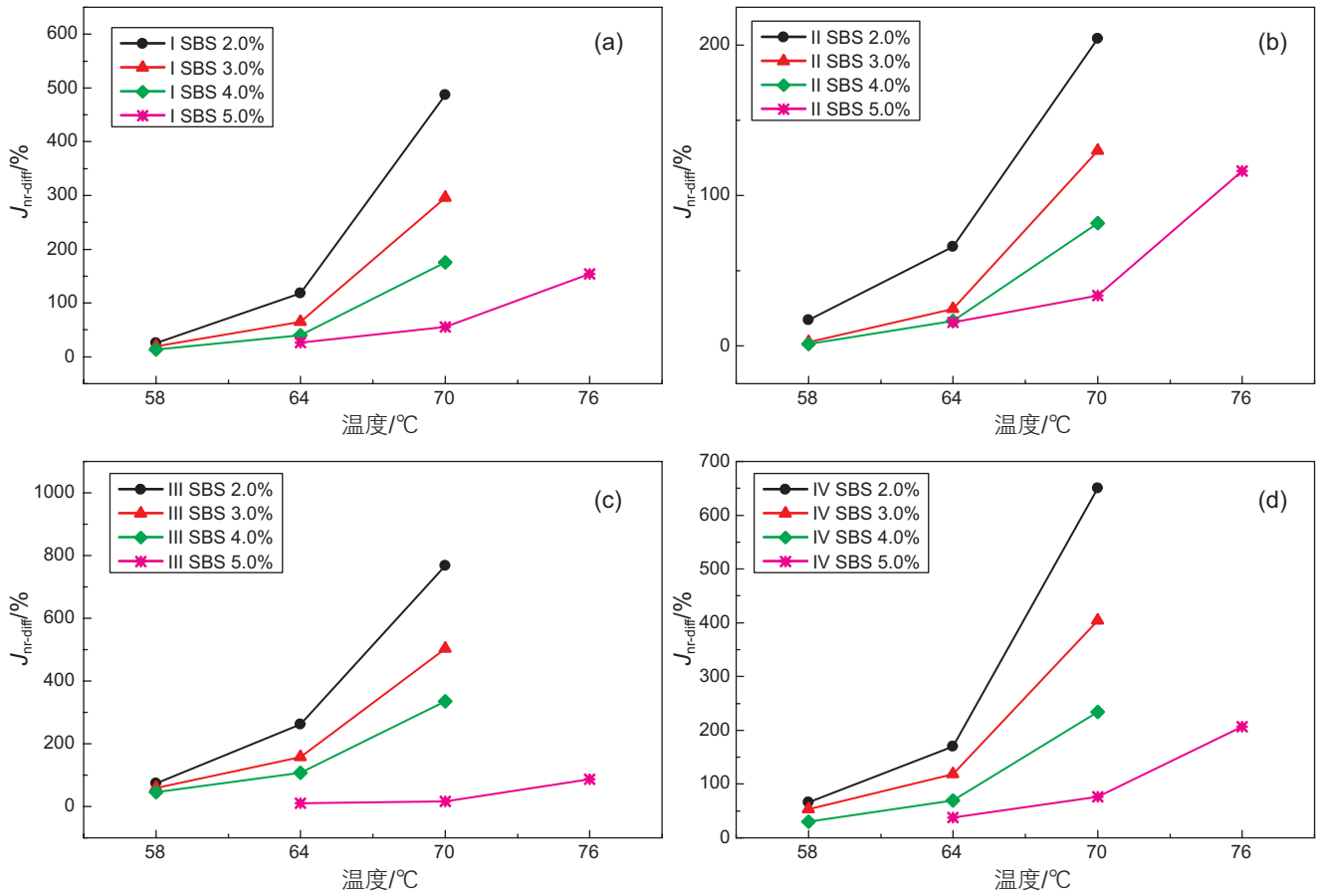


图 13  $J_{nr-diff}$  随温度与 SBS 剂量的变化关系曲线  
Fig. 13 The curves of  $J_{nr-diff}$  with temperature and SBS dose

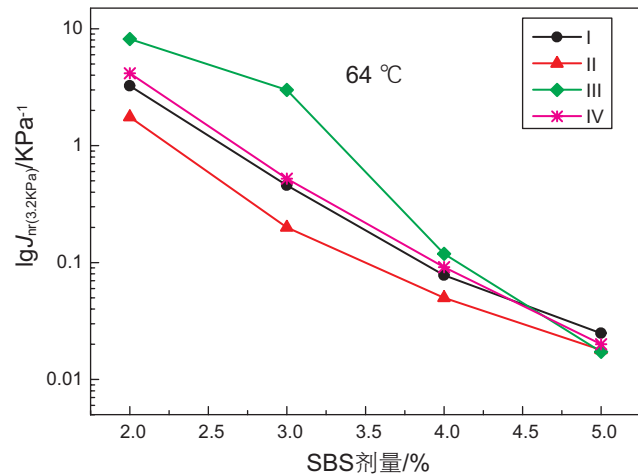


图 14  $\lg J_{nr(3.2KPa)}$  随 SBS 剂量变化关系曲线  
Fig. 14 The curves of  $\lg J_{nr(3.2KPa)}$  with SBS dose

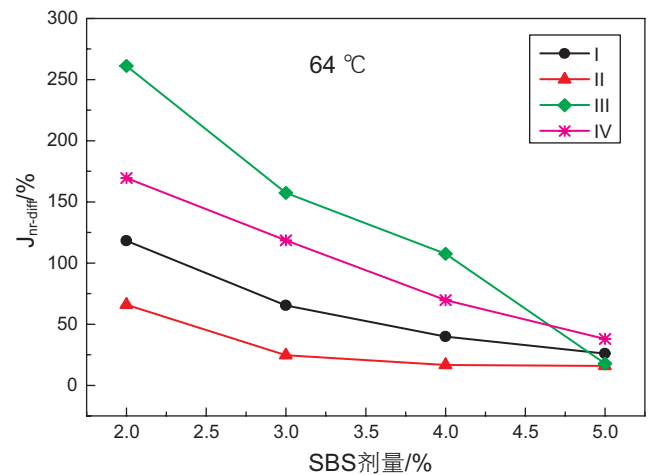


图 15  $J_{nr-diff}$  随 SBS 剂量变化关系曲线  
Fig. 15 The curves of  $J_{nr-diff}$  with SBS dose



的 $\lg(J_{nr(3.2KPa)})$ 与 $J_{nr-diff}$ 大小顺序均为 $III > IV > I > II$ , 而SBS剂量在5.0%时, III系列改性沥青的 $\lg(J_{nr(3.2KPa)})$ 低于II系列改性沥青, 而 $J_{nr-diff}$ 低于I系列改性沥青, 与II系列改性沥青的 $J_{nr-diff}$ 相近。这说明, 在SBS剂量为2.0%~4.0%下, 4个系列改性沥青的抗车辙能力和应力敏感性大小顺序均为:  $II > I > IV > III$ , 而SBS剂量为5.0%时, III系列改性沥青的抗车辙能力大于II系列改性沥青, 应力敏感性大于I系列改性沥青, 与II系列改性沥青相近。而从 $\lg(J_{nr(3.2KPa)})$ 和 $J_{nr-diff}$ 的降低幅度来看, III系列改性沥青的降低幅度在4个系列改性沥青中最大, 对照表2中基质沥青的四组分组成发现, III号基质沥青四组分组成中饱和分含量为21.35 wt%, 在4种基质沥青中含量最高。这说明, 饱和分含量较高的基质沥青, SBS改性后的沥青抗车辙能力与应力敏感性提高幅度较大。这主要是因为饱和分含量高的基质沥青, 小分子含量相对较多, 能溶胀的SBS分子量也更多, 高温性能随SBS剂量的变化速度就会提高更快。另外, 从图14可以看出, 不同系列改性沥青的抗车辙能力在低SBS剂量(2.0%和3.0%)时, 相差较大, 而在高SBS剂量(4.0%和5.0%)时相差较小, 即SBS剂量低时, 基质沥青对改性沥青高温性能影响显著, 而在高SBS剂量时, SBS对改性沥青高温性能的影响逐渐明显。

4个系列基质沥青中沥青质含量顺序为 $II > I > IV > III$ , 饱和分含量顺序为 $III > I > IV > II$ , 这说明, II号基质沥青中的大分子与极性成分含量最多, III号的最少, 从而在低SBS剂量时II系列改性沥青的高温性能较好, III系列改性沥青的较差, 而当SBS剂量增多时, 由于III号沥青的小分子含量最多, 当其他沥青吸附稳定之后, III号沥青还可以继续吸附, 这就导致在更高的SBS剂量时, III系列改性沥青的网络结构更加

发达。所以, SBS在高剂量时, III系列改性沥青的高温性能与II系列改性沥青的接近, 甚至在一些测试条件下超过II系列改性沥青的高温性能。

### 3 结论

本文中所述的3种评价改性沥青高温性能的方法中, 软化点表现出了一定的局限性, 表现在试验结果上: IV系列改性沥青在SBS剂量为4.0%时, 软化点超过II系列, 成为最高, 而DSR与MSCR试验结果则没有出现这一现象, 这也在另一方面说明了动态剪切流变试验和多重应力蠕变恢复试验在评价改性沥青高温性能时有较好的相关性。本试验中基质沥青与SBS剂量对改性沥青高温性能的影响情况如下。

随着SBS剂量的增加, 改性沥青的高温性能逐渐增大, 剂量在3.0%~4.0%左右时, 软化点改善最明显。

基质沥青中沥青质含量高, 饱和分含量低时, SBS改性后高温性能更好, 而饱和分含量较高时, 改性沥青的高温性能随SBS剂量改善速度更快。3种评价方法中, II系列改性沥青的高温性能在这4个系列中最好, 观察II号沥青中四组分分配比例发现, 饱和分、芳香分、胶质、沥青质含量分别在9 wt%、52 wt%、35 wt%、4 wt%左右时, 制备的改性沥青高温性能相对更好。

基质沥青对改性沥青高温性能影响在SBS剂量较低时显著, 而SBS剂量较高时, SBS对改性沥青高温性能的影响更加明显; 通过MSCR与DSR试验发现, SBS剂量为5.0%时, III系列改性沥青的高温性能与II系列改性沥青的相近。DSR实验中, 在70 °C时的低频率(0.1~1.0 rad/s)下, III系列改性沥青的抗流动变形能力最好。

### 参考文献

- [1] 曹炳铨, 刘庆勋. SBS改性沥青质量影响因素分析及对策[J]. 石油沥青, 2014, 28 (05): 63-68. [CAO B C, LIU Q X. Analysis on influence factors of SBS modified asphalt quality and countermeasures[J]. Petroleum Asphalt, 2014, 28 (05): 63-68.]
- [2] 筵玉涛. SBS改性沥青车辙因子影响因素分析[J]. 中国建材科技, 2014, 23 (06): 51-53. [YAN Y T. Analysis the Influence factors of SBS modified asphalt rutting factor[J]. China Building Materials Science & Technology, 2014, 23 (06): 51-53.]
- [3] 牛冬瑜, 韩森, 陈凯, 徐鸥明. 加工工艺关键参数对SBS改性沥青性能影响[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2014, 34 (03): 7-16. [NIN D Y, HAN S, CHEN K, XU O M. Study on influences of key process parameters on SBS modified asphalt[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2014, 34 (03): 7-16.]
- [4] 王兆力, 曹贵, 张星宇. SBS改性剂对改性沥青性能的影响[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2015, 11 (08): 22-23. [WANG Z L, CAO G, ZHANG X Y. Effect of SBS modifier on the performance of modified asphalt[J]. Highway Transportation Science and Technology (Applied Technology Edition), 2015, 11 (08): 22-23.]
- [5] 涂娟, 范春华, 陈颖娣, 江国其. 添加剂对SBS改性沥青性能影响研究[J]. 石油沥青, 2011, 25 (05): 12-16. [TU J, FAN C H, CHEN

- Y D, WANG G Q. Influence of additives on properties of SBS modified asphalt[J]. Petroleum Asphalt, 2011, 25 (05): 12-16.]
- [6] 高建华, 魏志峰, 楚晓辉, 李玉梅. SHRP法评价胶粉及胶粉复合改性沥青性能[J]. 中外公路, 2011, 31 (05): 250-252. [GAO J H, WEI Z F, CHU X H, LI Y M. Evaluation of properties of rubber powder and rubber powder composite modified asphalt by SHRP method[J]. China & Foreign Highway, 2011, 31 (05): 250-252.]
- [7] 蔡莉莉. 利用多应力重复蠕变恢复(MSCR)方法评价改性沥青胶结料高温性能[J]. 石油沥青, 2013, 27 (06): 21-24. [CAI L L. Evaluation on high temperature performance of modified asphalt binder with multi-stress repeated creep recovery (MSCR) method[J]. Petroleum Asphalt, 2013, 27 (06): 21-24.]
- [8] 张国强, 黄卫东. 不同改性沥青的软化点及动稳定度的评价与分析[J]. 石油沥青, 2001 (03): 33-36. [ZHANG G Q, HUANG W D. Evaluation and analysis of softening point and dynamic stability to different modified asphalt [J]. Petroleum Asphalt, 2001 (03): 33-36.]

(责任编辑 韩晔华 编辑 马桂霞)