

# 基于 Deurex 的温拌 SBS 改性沥青性能研究

孙小男<sup>1</sup>, 刘进选<sup>2</sup>, 宋小金<sup>3</sup>

(1.山东省交通科学研究院, 山东 济南 250102; 2.中建八局第一建设有限公司;  
3.湖南中大建设工程检测技术有限公司)

**摘要:** 温拌沥青混合料相对于热拌沥青混合料是一种环境友好型的路面材料。该文为研究有机添加剂类温拌沥青的综合性能,采用 Deurex 有机温拌剂对 SBS 改性沥青进行温拌,通过常规指标试验及高、低温流变性能试验,研究了不同 Deurex 掺量对 SBS 改性沥青性能的影响规律,并和 Sasobit 温拌沥青性能进行了对比分析。结果表明:采用 Deurex 对 SBS 改性沥青进行温拌处理后,沥青黏度有明显降低,施工和易性得到提高。沥青的软化点及车辙因子都有所增大,沥青混合料在高温下的稳定性会相应提升。Sasobit 温拌沥青的高温性能较好,而 Deurex 温拌 SBS 沥青的低温性能更佳。

**关键词:** 道路工程; 温拌沥青; 常规性能; 流变性能

传统热拌沥青需要较高的拌和及摊铺温度,会给环境和施工人员带来一定的不良影响。此外,高的拌和温度也会消耗更多的能源。因此,沥青混合料温拌技术作为一种节能环保技术备受青睐。目前,实现对沥青的温拌主要有3种途径:发泡降黏、乳化沥青降黏以及有机添加剂降黏。其中,发泡降黏沥青对生产设备的要求较高,且产品质量难以控制。而采用乳化沥青降黏技术生产的温拌沥青,一般酸性较强,沥青与集料的黏附力较弱,从而导致沥青混合料的水稳定性很差。因此,有机添加剂降黏技术是目前应用比较广泛的温拌技术。

温拌沥青的性能与温拌剂密切相关。常见的温拌剂有 Sasoflex、EC120 和 Sasobit 等。其中,Sasobit 应用和研究比较多。李中秋通过试验验证了 Sasobit 可以显著降低沥青路面的施工温度;吴耀东认为 Sasobit 在降低了沥青黏度的同时,改善了沥青的高温性能,而低温性能略有降低;张争奇对多种温拌沥青进行对比试验,发现 Sasobit 可以提高 SBS 改性沥青混合料的高温稳定性和水稳定性。从已有的研究可以发现:Sasobit 降黏效果显著,同时一定程度上改善了沥青的高温性能,但其对沥青的低温性能有较大的负面影响。近年来,Deurex 作为一种新材料,相关研究发现,其对沥青同样具有良好的降黏效果,且掺入沥青后,沥青的低温性能明显优于 Sasobit 的添加。此外,相对于聚

烯烃类温拌剂 Sasobit,通过生物技术生产的 Deurex 更具环保优势。因此,研究 Deurex 温拌沥青性能具有重要的意义。目前对 Deurex 温拌沥青性能研究相对甚少,主要集中在基质沥青方面。因此,该文选用 Deurex 为温拌剂,研究不同比例的 Deurex 掺量对 SBS 改性沥青性能的影响规律,并和 Sasobit 温拌 SBS 改性沥青性能进行对比。

## 1 试验部分

### 1.1 原材料

所用改性沥青为茂名产 SBS 改性沥青,其基本性能见表1。

试验采用深圳某公司生产的 Sasobit 以及德国 Deurex 微化蜡公司生产的 Deurex 作为沥青温拌剂。Sasobit 常温下为白色或淡黄色的半透明固体颗粒,熔点为 105℃,25℃时其密度为 0.96 g/cm<sup>3</sup>,是一种聚烯烃类改性剂。Deurex 主要是从植物中提取,化学成分主要为植物蜡和游离蜡,呈橄榄绿色,片状颗粒。23℃时密度为 1.02 g/cm<sup>3</sup>,熔点为 125℃。

### 1.2 制备温拌 SBS 改性沥青

试验时,每组取 400 g SBS 改性沥青置于称量筒内,在 165℃的油浴中进行预热。加热至熔融状态后,取定量的温拌剂缓缓加入称量筒,加热温度调整并保

收稿日期:2019-03-12

基金项目:湖南省交通科技项目(编号:201705)

作者简介:孙小男,男,大学本科,工程师.E-mail:sunxiaonan44@126.com

表 1 SBS 改性沥青基本性能参数

技术指标	单位	规范值	实测值	试验方法
针入度 25 ℃,100g,5 s	0.1 mm	40~60	55	T0604
针入度指数 PI		≥0	0.3	T0604
延度(5 ℃,5 cm/min)	cm	≥20	32	T0605
软化点	℃	≥60	75	T0606
旋转黏度(135 ℃)	cp	≤3 000	2 563	T0625
闪点	℃	≥230	265	T0611
弹性恢复(25 ℃)	%	≥75	85	T0622

持在(155±5)℃,高速剪切仪设定在 3 000 r/min,高速剪切 40 min。剪切结束后,保持原有温度,静置 10 min。试验采用两种温拌剂,取不同掺量(2%~4%,外掺),分别制备 3 组温拌沥青试样,并保留一组 SBS 改性沥青空白对照组。

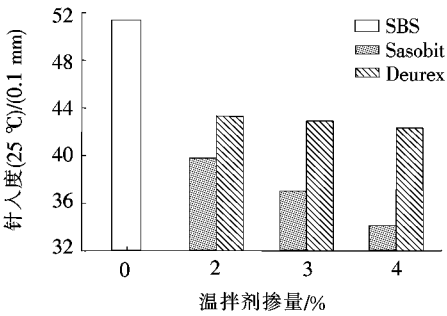
1.3 材料性能测试

按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的 T0604、T0605、T0606 和 T0625 的有关试验规程测试 SBS 复配温拌沥青的针入度(25℃)、延度(15℃)、软化点和布氏旋转黏度。同时,依据 AASHTO T315 规范,对沥青进行流变性能测试,试验在德国 Anton Paar 公司生产的 Physical MCR—101 型动态剪切流变仪上进行。试验采用控制应变模式,角频率  $\omega$  取 10 rad/s,温度扫描范围 30~90℃,温升速率 2℃/min,试样直径 25 mm,厚度 1 mm。

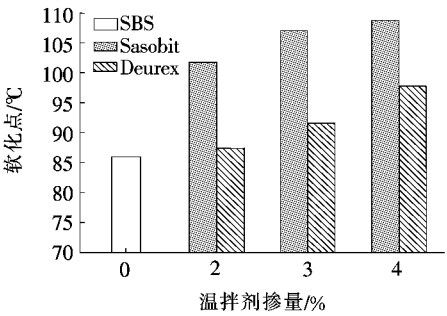
2 常规性能分析

两种温拌沥青的常规性能试验结果如图 1 所示。

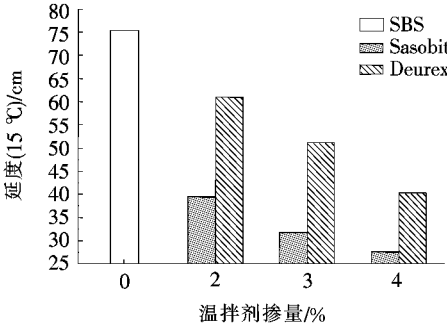
由图 1(a)可知:温拌 SBS 改性沥青的针入度明显降低,下降幅度与掺量成正相关关系。对比于 Deurex 而言,Sasobit 对沥青针入度的影响更为显著。由图 1(b)可见:各组温拌沥青软化点均高于原 SBS 改性沥青。值得注意的是,Sasobit 对软化点的影响效果要大于 Deurex。此外,两者的有效掺量也有所区别。掺量在 3% 以下时,Sasobit 作用效果明显,当掺量超过 3%,Deurex 对软化点的影响开始逐步体现,与此同时,Sasobit 的作用效果趋于稳定。由图 1(c)可以看出:随着温拌剂掺量增加,两种温拌沥青的延度递进减小。二者对比,Deurex 对沥青针入度的影响较小,而 Sasobit 可以大幅提高软化点。Deurex 温拌沥青的延度要大于同掺量的 Sasobit,这说明 Deurex 温拌沥青能承受更高的塑性变形。



(a) 针入度



(b) 软化点



(c) 延度

图 1 温拌沥青常规性能

分析试验结果可知:温拌剂对 SBS 改性沥青的影响是两方面的。一方面,软化点有所提高,反映出温拌沥青的高温性能相对于 SBS 改性沥青有所提升;另一方面,其他两大指标显示其低温性能有所降低。

### 3 温拌剂对 SBS 沥青流变性能的影响

#### 3.1 黏度

对 7 组沥青试样在 4 个温度下进行旋转黏度测试,结果如图 2 所示。

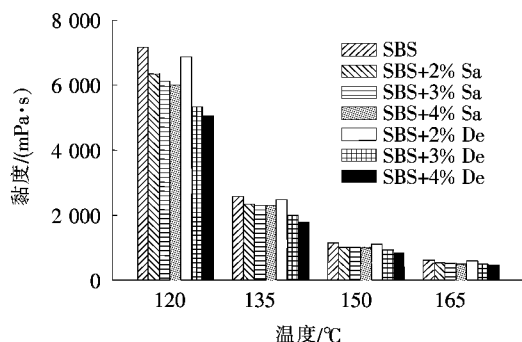


图 2 不同掺量及温度下改性沥青的黏度变化

由图 2 可以看出:相对于原 SBS 沥青,温拌沥青的黏度都出现下降,说明 Sasobit 及 Deurex 降黏效果十分显著。而在相同温度下,Deurex 在不同掺量下的黏度变化较大。当温度高于 135℃ 后,沥青黏度因 Sasobit 掺量变化所带来的影响已极其微小。此外,Sasobit 在低掺量(2%)时,降黏作用已比较明显,而 Deurex 在此掺量下降黏效果还不够清晰。掺量增加到 3%,Deurex 的降黏效果才开始显现。

图 3 反映了两两种温拌剂在 135℃ 时降黏效果的对比,直观体现了两种温拌剂的降黏能力。黏度下降率的定义如式(1)所示:

$$R = \frac{V_{\text{SBS}} - V_{\text{WMA}}}{V_{\text{SBS}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $R$  为黏度下降率; $V_{\text{SBS}}$  为 SBS 沥青旋转黏度; $V_{\text{WMA}}$  为温拌沥青旋转黏度。

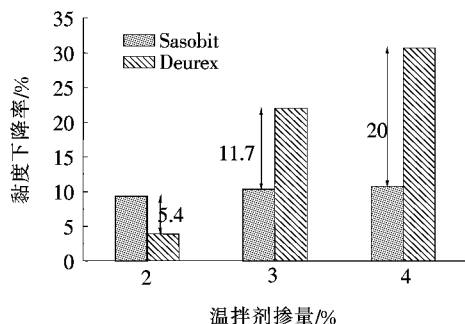


图 3 不同掺量的改性沥青黏度下降率(135℃)

在 135℃ 测试温度下,当 Sasobit 和 Deurex 掺量为 2% 时,两者的降黏效果均不十分明显,此时,Saso-

bit 的降黏效果甚至优于 Deurex,当掺量高于 3% 时,Deurex 的降黏作用开始体现,降黏作用大幅高于 Sasobit。Sasobit 的降黏效果整体上逊色于 Deurex,说明采用 Deurex 进行温拌的 SBS 改性沥青在 135℃ 有着更低的黏度,因此沥青路面摊铺及压实所需要的温度可以有所降低。

#### 3.2 高温性能指标

##### 3.2.1 复数模量

各组沥青试样复数模量  $G^*$  测试结果如图 4 所示。掺入两种温拌剂后,各组温拌改性沥青的复数模量均有增加,表明沥青的弹性性能得到提升,沥青的抗车辙能力变强。但不同温拌剂对  $G^*$  的影响存在明显差异。Sasobit 对  $G^*$  的提升更为明显,掺量从 2% 增加到 4%,复数模量相对于 SBS 沥青已经增加了 100% 以上。而 Deurex 对复数模量的贡献则小得多,虽然变化趋势与掺量成正相关,但最大增加率不超过 30%。表明使用 Sasobit 进行温拌后的 SBS 改性沥青,高温稳定性要优于 Deurex 类温拌沥青。

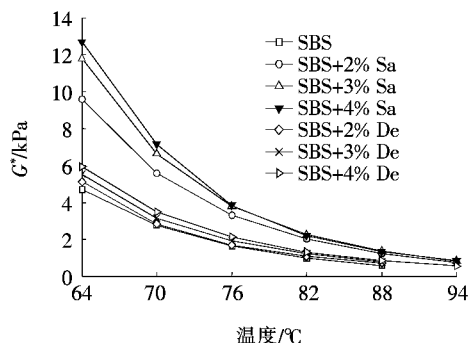


图 4 不同温度下改性沥青复数模量变化规律

##### 3.2.2 相位角

图 5 为温拌沥青相位角随温度的变化情况。相位角的变化反映沥青中黏性部分与弹性部分的相互转化情况。

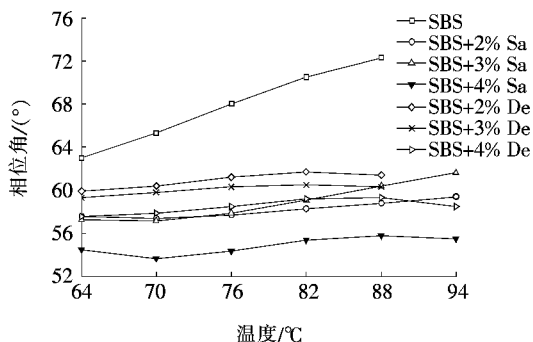


图 5 温度对改性沥青相位角的影响规律

从图 5 可以看出:SBS 改性沥青的相位角最大,其

相对于温度的变化率也是最大的。在进行温拌之后,6组温拌 SBS 改性沥青的相位角都有大幅降低。随着温度升高,整体上虽逐步增大,但变化速率很小,说明在添加温拌剂后,沥青中弹性部分增加,沥青高温稳定性得到提高; Sasobit/Deurex 温拌沥青的温度敏感性都明显降低,且随着掺量的增加,感温性逐渐下降。在沥青路面服役期间,感温性越小越有利于路面在各种极端气候下正常工作。通过数量关系对比,可以发现 Sasobit 温拌沥青高温稳定性更高。

### 3.2.3 车辙因子

短期老化前后各组沥青试样的车辙因子变化情况如图 6、7 所示。

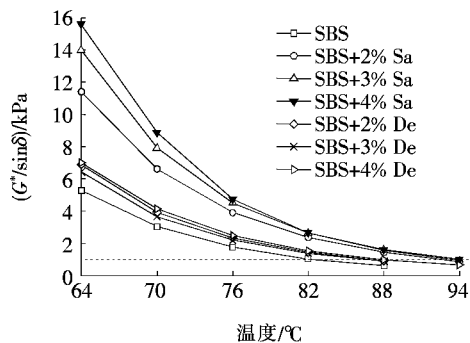


图 6 温拌沥青车辙因子变化规律

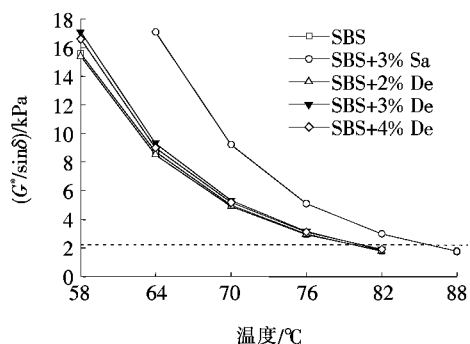


图 7 短期老化后温拌沥青车辙因子变化规律

由图 6、7 可知:掺入 Sasobit/Deurex 后,车辙因子增大,沥青混合料在高温下抵抗永久变形能力、动稳定度得到增强。而在短期老化后,除了 SBS+3% Sasobit 的 PG 高温等级达到了 PG 82,其他 4 种沥青均为 PG 76,3 种经 Deurex 温拌的 SBS 改性沥青,其车辙因子在 SBS 改性沥青的周围浮动,整体略大于原 SBS 沥青。至此,各组沥青的高温流变性能有如下次序: Sasobit>Deurex>SBS。

### 3.3 低温性能指标

#### 3.3.1 劲度模量

图 8 为沥青劲度模量  $S$  随试验温度的变化情况。

由图 8 可以看出:5 组沥青试样的劲度模量与温度的变化呈负相关关系。温度一定时,同种温拌剂掺量越大,劲度越高。劲度模量的含义是指在规定时间和测试温度下,材料内部应力  $\sigma$  与产生总应变  $\epsilon$  的比值。不同材料在产生相同应变时,劲度模量较大者,内部应力较大,沥青混合料在低温下发生开裂的几率就更大。

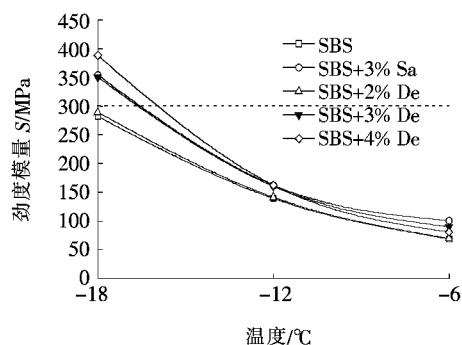


图 8 温拌沥青劲度模量变化规律

#### 3.3.2 蠕变速率

图 9 为 5 种沥青的蠕变速率  $m$  值随温度的变化情况。

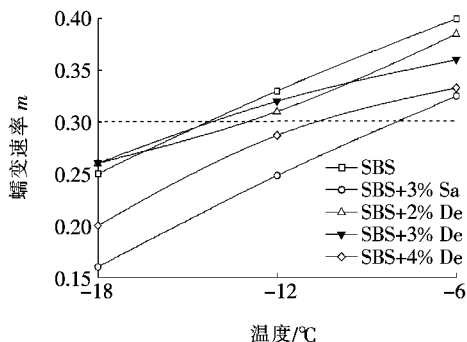


图 9 温拌沥青蠕变速率变化规律

由图 9 可见:伴随着温度的降低,各组沥青的蠕变速率  $m$  值均逐渐减小。 $m$  值越小,沥青的应力消散能力越弱,在低温下的抗裂性能越差。值得注意的是,3% Sasobit+SBS 温拌改性沥青的  $m$  值小于其他 4 组对照试样,可以认为 Sasobit+SBS 温拌改性沥青的应力消散能力低于 Deurex+SBS 温拌改性沥青。

综上所述,SBS 改性沥青的低温性能受到了两种温拌剂的负面影响。加入温拌剂后,沥青劲度模量变高,应力消散能力下降,低温抗裂性能变差。

#### 3.3.3 低温测力延度

测力延度试验可由具有拉力传感器的延度仪和输出装置进行,试验过程与普通延度试验保持相同。在试件拉伸变形期间,1 s 采集一个拉力峰值。测力延度曲线与横坐标轴所包络的面积定义为黏韧性( $T$ ),单

位为  $\text{N} \cdot \text{cm}$ 。利用测力延度试验,可同时对  $5^\circ\text{C}$  的低温延度与黏韧性进行测试。测试结果如图 10、11 所示。孙大权经研究得出结论,测力延度是一种评价沥青低温性能简单而有效的方法,黏韧性指标可用来评价沥青的低温性能。

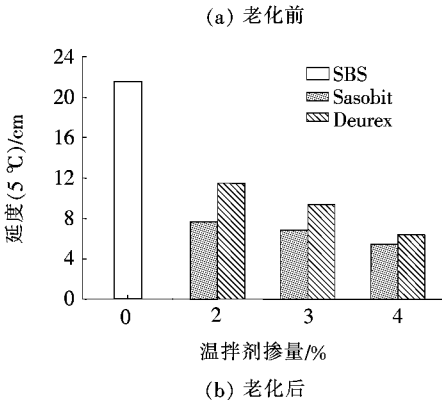
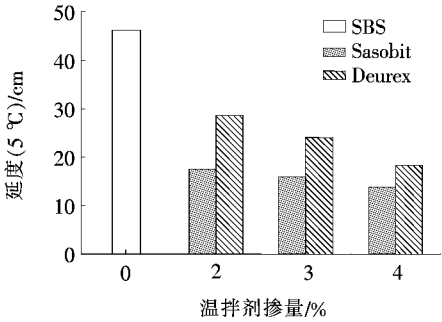


图 10 改性沥青短期老化前后  $5^\circ\text{C}$  延度

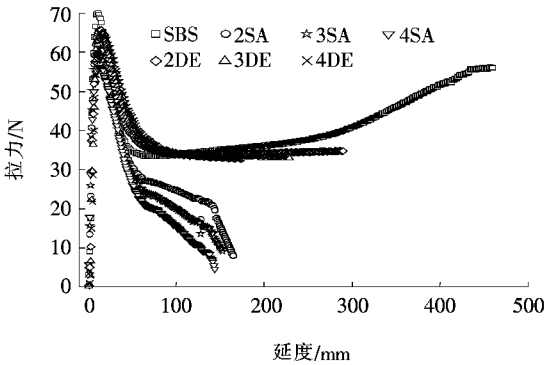


图 11 改性沥青测力延度曲线

从图 10 可以看出:老化前后各沥青试样在  $5^\circ\text{C}$  的延度均呈现出较大下降,基于 Deurex 温拌的 SBS 改性沥青延度变化较为明显,而 Sasobit 类则较为平稳。由此分析可知,Deurex 在同等质量下,对沥青的降黏效果显著。同时,其质量的改变对沥青的低温延展性影响较大。无论是老化前还是老化后,两种温拌沥青在温拌剂质量增加的情况下延度随之降低的趋势是不变的,而老化过程对延度的破坏作用是显而易见的。

由图 11 可以看出:黏韧性是从做功与能量的角度对沥青在低温下的性能进行评价,结合表 2 的计算数据,黏韧性越大的沥青,在试验后段,拉力值会随着延度的增大而增大,或者保持平稳,而对于 Sasobit 类黏韧性较小的沥青,在延度达到某一点后,拉力仍然会迅速减小,两种不同的情况恰好反映了不同种类的温拌沥青,在低温下受拉力作用时,其内部抵抗变形的能力,拉力随延度越大,意味着内部分子间的联结越紧密,越不容易受到破坏,反之,在低温下受拉破坏的可能性就越大。

表 2 改性沥青黏韧性测试结果

沥青种类	延度( $5^\circ\text{C}$ )/mm	黏韧性/( $\text{N} \cdot \text{mm}$ )
SBS	460	19 251
2SA	165	4 849
3SA	153	4 160
4SA	144	3 557
2DE	290	10 696
3DE	229	8 561
4DE	174	6 762

注:2SA 代表 2% 掺重的 Sasobit;2DE 代表 2% 掺量的 Deurex,其余意义同此。

根据测力延度试验,以低温黏韧性为指标进行低温性能排序: $\text{SBS} > 2\text{DE} > 3\text{DE} > 4\text{DE} > 2\text{SA} > 3\text{SA} > 4\text{SA}$ ,结果显而易见,未进行温拌处理前,SBS 沥青的低温性能最优,使用 Deurex 为温拌剂的改性沥青,低温性能整体优于 Sasobit 温拌,而对于两种温拌剂,掺量越多,对其低温性能越不利。

3.4 PG 分级

根据高温流变试验以及低温流变试验结果,可以得到不同沥青的 PG 温度等级,如表 3 所示。

表 3 改性沥青 PG 分级

沥青种类	高温等级/ $^\circ\text{C}$	低温等级/ $^\circ\text{C}$	PG 分级
SBS	76	-22	PG 76-22
SBS+3%Sa	82	-16	PG 82-16
SBS+2%De	76	-22	PG 76-22
SBS+3%De	76	-22	PG 76-22
SBS+4%De	76	-16	PG 76-16

由表 3 可以看出:Sasobit 对改善 SBS 改性沥青的高温性能有积极作用,掺量为 3% 时,其 PG 高温等级可达到  $82^\circ\text{C}$ ,而在同等掺量下,Deurex 温拌沥青的低温表现较好,在低温下对应力的松弛扩散能力较强,其

PG 低温等级达到了 $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。Deurex 掺量不大于 $3\%$ 时,PG 分级表现与温拌前 SBS 改性沥青相同,说明了在较低的温拌剂掺量下,不仅有效地降低了沥青制备与拌和所需温度,而且温拌沥青在高、低温下路用性能依然可以保持较高的水平。

#### 4 改性机理与降温范围

以中国现行的石油沥青四组分分析方法为基础,将基质沥青和温拌沥青分别分离成饱和分、芳香分、胶质和沥青质 4 个组分,而沥青四组分的含量对沥青黏度有不同程度的影响,增加沥青质与胶质会使高温下沥青的旋转黏度得到提高,而增加饱和分或芳香分等轻质成分会使沥青的高温黏度有所下降。DSC 检测结果表明:Sasobit 与 Deurex 加入沥青后,与作为胶核的沥青质争夺胶质,并与胶质、沥青质相互混溶,破坏沥青原有的胶体平衡,形成新的胶团逐步向作为轻组分的芳香分和饱和分转变,在分子间形成新的胶体平衡体系。因此,这两种改性沥青的温拌机理在于:当温度超过其熔点,温拌剂完全熔化,充分溶解于沥青胶结料中,由于新的胶体体系的形成,使胶结料的黏度降低,从而使沥青混合料的拌和与压实工作可以在较低的温度下完成。当拌和温度低于温拌剂的熔点时,其在沥青胶结料中形成网格晶状结构,这种结构保证了沥青胶结料在高温下有较高的稳定性,间接提高了沥青混合料抵抗永久变形的能力。

由于该文所采用的 SBS 改性沥青一般在 $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上才有较好的流动性,因此,在制备普通 SBS 改性沥青混合料时,拌和温度不宜低于 $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,压实温度也高于规范推荐的 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,而采用 Sasobit 与 Deurex 温拌后的 SBS 改性沥青,Sasobit 与 Deurex 分别在 $105$ 、 $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 就已完全熔化,试验及实践证明,温拌改性沥青的制备与沥青混合料的拌和温度可下降 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5 结论

(1) 两种温拌剂对 SBS 改性沥青均有着良好的降黏作用。Sasobit 在掺量较小时,降黏效果较好。但超过一定掺量后,降黏效率明显降低。Deurex 在掺量较小时,降黏作用体现不明显,而掺量超过 $3\%$ 后,降黏效果要明显优于 Sasobit。

(2) 由于 Sasobit 和 Deurex 在其熔点温度下方都

可以在沥青内形成网格晶状结构,促进沥青胶结料在高温下的稳定性,因此,温拌剂的加入显著改善 SBS 改性沥青的高温性能,且 Sasobit 温拌 SBS 改性沥青的高温性能更好。

(3) Sasobit 和 Deurex 对 SBS 改性沥青的低温性能都有不利影响,二者比较发现,相对于 Sasobit,Deurex 对 SBS 改性沥青低温性能的负面影响要小得多,沥青混合料抗低温开裂能力较强。

(4) 温拌剂的掺入对降低沥青制备、拌和过程中所需要的温度有明显作用,温拌剂掺量越大,降黏效果越明显,但对沥青路用性能有消极影响,在低掺量下,可以做到能源集约与高等级路用性能的兼顾,Deurex 建议掺量不高于 $3\%$ 。

#### 参考文献:

- [1] 吕威.温拌改性剂对沥青及沥青混合料路用性能影响研究[D].长安大学硕士学位论文,2012.
- [2] 杨树人.温拌添加剂对沥青和沥青混合料性能的影响[D].重庆交通大学硕士学位论文,2008.
- [3] 李中秋,马敬坤.Sasobit 改性剂对沥青改性的室内试验分析[J].公路交通科技,2004(10).
- [4] 吴耀东.降粘剂 Sasobit 对温拌沥青的性能影响与评价[J].北方交通,2011(2).
- [5] 张争奇,宋亮亮,陈飞.不同温拌剂对沥青混合料性能影响研究[J].武汉理工大学学报,2014(3).
- [6] Zhao X, Yan K, He W, et al. Effects of Sasobit/Deurex on Amorphous Poly Alpha Olefin (APAO) Modified Asphalt Binder [J]. Construction & Building Materials, 2017, 154:323-330.
- [7] 宋昭睿,曹东伟,张海燕,等.基于生物热解油的沥青材料及混合料性能研究[J].公路交通科技(应用技术版),2014(5).
- [8] 张争奇,崔文社,马良,等.SBS 改性沥青软化点试验特性[J].长安大学学报(自然科学版),2007(6).
- [9] 张恒龙,史才军,余剑英,等.多聚磷酸对不同沥青的改性及改性机理研究[J].建筑材料学报,2013(2).
- [10] 王恒斌,葛折圣.布敦岩沥青改性沥青胶浆高温动态流变性能的试验研究[J].公路交通科技,2008(9).
- [11] 赵仁,曹荣吉.沥青胶结料路用性能评价指标的研究[C].全国公路科技创新高层论坛,2006.
- [12] 王琨,郝培文.BBR 试验的沥青低温性能及粘弹性分析[J].辽宁工程技术大学学报,2016(10).
- [13] 朱春阳,杨毅,刘学建.不同标号沥青的弯曲梁流变试验对比分析研究[J].中外公路,2007(4).
- [14] 张蕴.温拌沥青机理研究[D].东南大学硕士学位论文,2013.