

# 温拌剂 Sasobit 对 SBR 改性沥青短期 老化后性能的影响

杨侣珍

(湖南交通职业技术学院, 湖南 长沙 410132)

**摘要:** 为了减少短期热氧老化对 SBR 改性沥青低温性能的不利影响,利用温拌剂 Sasobit 的降黏作用,将其掺入到 SBR 改性沥青中,测定了温拌剂 Sasobit 降低 SBR 改性沥青拌和温度的效果,并通过针入度、软化点、延度、温度扫描和红外光谱测试评价了温拌剂 Sasobit 对 SBR 改性沥青物理、流变和老化性能的影响。研究表明:温拌剂 Sasobit 的掺入提高了 SBR 改性沥青的高温稳定性,并通过大幅降低 SBR 改性沥青的拌和温度来减少短期热氧老化对 SBR 改性沥青性能的不利影响。

**关键词:** 温拌剂 Sasobit; SBR 改性沥青; 短期热氧老化; 流变性能; 物理性能

沥青作为一种黏弹性材料,其性能主要受环境温度的影响。随着温度的降低,沥青会变硬变脆,劲度增加,延展性变差,表现出弹性固体的行为,在外界荷载的作用下,极易发生开裂。因此,沥青路面的低温开裂是中国北方以及高寒地区极易出现的路面病害。

将聚合物丁苯橡胶(SBR)用于普通沥青的改性以达到改善其抵抗低温开裂的能力已被较广泛地应用于工程实际中。原因在于 SBR 是由丁二烯与苯乙烯共聚得到的高聚物,其综合性能较好,强度较高、延伸率大,抗磨性和耐寒性亦较好,由其制备出的 SBR 改性沥青低温性能非常好。此外,SBR 与沥青之间相容性较好,基本不存在离析问题。尽管 SBR 能够明显改善沥青的低温性能,但是 SBR 改性沥青的低温延度受热氧老化的影响大,短期热氧老化后 SBR 改性沥青的低温延度明显降低,制约着 SBR 改性沥青改性效果的充分发挥。

与传统热拌沥青混合料不同,温拌沥青混合料(Warm Mix Asphalt, WMA)技术通过降低沥青在给定温度下的黏度,从而达到有效降低沥青混合料的拌和及压实温度的目的。在实现温拌的方法中,添加 Sasobit 温拌剂是应用较广泛的一种。Sasobit 是煤气化过程中生产的长链脂肪族烃,是一种固体石蜡,其熔点约为 100 ℃。在超过其熔点的温度时,Sasobit 可完

全溶于加热后的沥青胶结料中,从而降低沥青的黏度,进而降低沥青的拌和温度。温拌技术对沥青混合料拌和及压实温度的降低不仅有利于降低能耗、减少环境污染,还可以减少沥青在拌和及铺筑过程中受热氧老化的影响。这一效果恰好与 SBR 改性沥青需减少短期热氧老化对其性能的影响高度契合。

基于此,该文将研究添加 Sasobit 温拌剂对 SBR 改性沥青短期老化后性能的影响,为 SBR 改性沥青提供有效的抗短期热氧老化措施。

## 1 试验方法

### 1.1 原材料

该文采用 70# 基质沥青,其基本性质如表 1 所示。选取的 SBR 为 40 目白色丁苯橡胶 SBR1502,其基本性质如表 2 所示。温拌剂 Sasobit 的基本指标如表 3 所示。

表 1 70# 基质沥青的基本物理性质

针入度(25 ℃, 100 g,5 s)/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	延度(15 ℃, 5 cm/min)/cm	黏度(135 ℃)/ (mPa·s)
68.6	47.8	>150	437.6

收稿日期:2020-02-04(修改稿)

基金项目:湖南省教育厅科学研究项目(编号:18C1418)

作者简介:杨侣珍,女,硕士,讲师。E-mail:158130219@qq.com

表 2 SBR 的基本性质

粒度/ 目	分子量/ 万	结合苯乙烯质 量分数/%	拉伸强度/ MPa
40	20~30	21.5~35.0	21

表 3 Sasobit 的基本指标

熔点/℃	闪点/℃	密度(25℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	酸碱度
105	285	0.90	6.2

1.2 沥青制备

掺入温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青的制备过程: 首先将基质沥青加热至熔融状态, 再将 3% 的 SBR 加入基质沥青中, 在 160℃、4 000 r/min 的条件下高速剪切 40 min, 制得 SBR 改性沥青; 然后再向 SBR 改性沥青中掺入 4% 的 Sasobit 颗粒, 在 160℃、2 000 r/min 的条件下剪切 30 min, 制得掺入温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青。作为空白样, 未加温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青也经历上述相同的制备过程。

1.3 沥青老化

试验室一般采用旋转薄膜烘箱(RTFO)或薄膜烘箱(TFO)试验来模拟沥青胶结料在拌和及摊铺过程中所发生的短期热氧老化。两种老化试验的温度都规定为 163℃。然而, 该温度的设定与沥青胶结料在拌和及摊铺过程中所受的实际老化条件并不十分相符, 尤其是对于聚合物改性沥青。因此, 为了更好地模拟沥青胶结料的短期热氧老化, 该文根据等黏度原则, 将沥青黏度为 0.17 Pa·s 时所对应的拌和温度设定为沥青胶结料的短期热氧老化温度进行旋转薄膜烘箱老化试验(RTFOT), 老化时间为 85 min。图 1 为根据式(1)绘制的沥青样品的黏温曲线, 由此所确定的添加和未添加温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青的短期热氧老化温度分别为 161 和 175℃。根据等黏度原则可得, 温拌剂 Sasobit 的掺入可显著降低 SBR 改性沥青的拌和温度, 降幅可达 14℃。

$\log\log(\eta \times 10^3) = VTS\log(T + 273.15) + A$  (1)  
式中:  $\eta$  为旋转黏度(Pa·s); VTS 为黏温曲线斜率; T 为温度(℃)。

1.4 性能测试

根据 JTG E 20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的规定, 分别对老化前后的沥青样品进行 25℃针入度、软化点及 5℃延度测试。老化后的残留针入度、软化点增量和延度保留率分别按式(2)~(4)计算。

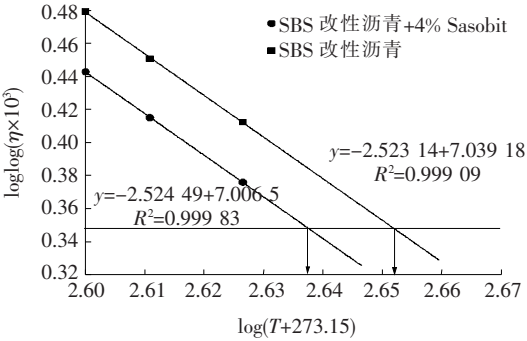


图 1 沥青样品的黏温曲线

残留针入度(%) =  $\frac{\text{老化后针入度}}{\text{老化前针入度}} \times 100$  (2)

软化点增量(℃) = 老化后软化点 - 老化前软化点 (3)

延度保留率(%) =  $\frac{\text{老化后延度}}{\text{老化前延度}} \times 100$  (4)

利用动态剪切流变仪(DSR)对老化前后的沥青样品进行温度扫描, 扫描范围为 15~70℃, 应变控制为 1%, 频率为 10 rad/s, 选用 25 mm 转子, 间隙设定为 1 mm。

SBR 改性沥青老化后的显著特征之一就是 SBR 改性剂也会随之降解, 具体表现为其包含的丁二烯(C=C)双键会发生断裂。该文利用傅里叶变换红外光谱技术对老化前后的沥青样品中所包含的丁二烯双键按式(5)进行定量测定, 丁二烯指数越小, 表明丁二烯(C=C)双键含量越少, SBR 改性沥青老化越严重。

丁二烯指数(BI) =

$$\frac{\text{丁二烯键特征峰面积}(965\text{ cm}^{-1}\text{ 为中心})}{\text{芳香烃 C-H 键特征峰键面积}(810\text{ cm}^{-1}\text{ 为中心})}$$
 (5)

红外光谱试验的具体操作步骤为: 先将溶于二硫化碳的沥青试样滴于溴化钾(KBr)薄片上, 待二硫化碳挥发后将薄片置于傅里叶变换红外光谱仪中进行扫描, 扫描次数为 32 次, 分辨率为 4 cm<sup>-1</sup>, 扫描范围为 4 000~400 cm<sup>-1</sup>。

2 试验结果与讨论

2.1 物理性能

2.1.1 针入度

针入度试验是测定沥青稠度的标准方法。通常, 沥青针入度值越小, 表明沥青稠度越大, 黏结力越强。图 2 为掺入和未掺温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青 RTFOT 老化前后针入度的变化情况。

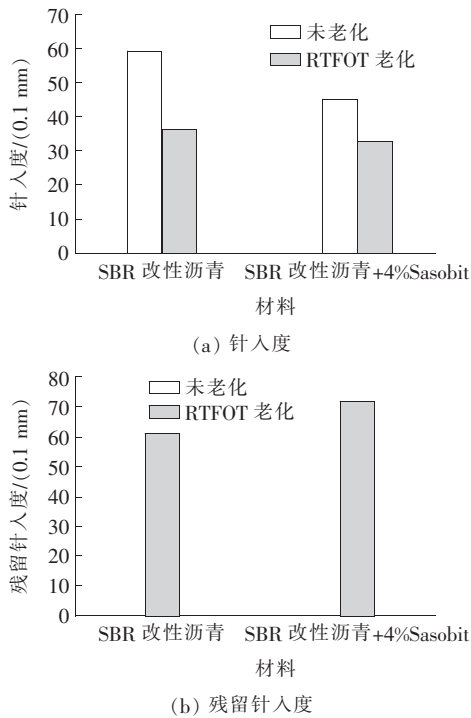


图 2 温拌剂 Sasobit 的掺入对 SBR 改性沥青 RTFOT 老化前后针入度及残留针入度的影响

由图 2 可知:与未掺温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青相比,掺入温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青的针入度明显减小,说明温拌剂 Sasobit 的掺入可以提高 SBR 改性沥青的稠度。此外,经过 RTFOT 老化后,掺入温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青的残留针入度显著高于未掺温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青,说明温拌剂 Sasobit 可以通过降低 SBR 改性沥青的拌和温度从而减弱 SBR 改性沥青受短期热氧老化的影响。

2.1.2 软化点

沥青软化点可以反映沥青在加热升温过程中逐渐变软的过程,在一定程度上表示沥青的高温稳定性能。软化点越高,表示沥青的耐热性能越好,在高温和车辆荷载的共同作用下越不容易发生变形。温拌剂对 SBR 改性沥青 RTFOT 老化前后软化点的影响见图 3。由图 3 可见:温拌剂 Sasobit 的掺入使 SBR 改性沥青的软化点由 50.8 ℃增至 61.2 ℃,显著改善了 SBR 改性沥青的高温稳定性能,从而可以减少路面高温车辙病害的发生。其原因主要是温拌剂 Sasobit 的熔点约为 100 ℃,在其熔点以下,Sasobit 呈现出一种石蜡的网格状晶体,该结构能限制沥青分子在高温下的移动,从而改善沥青的高温稳定性。但当温度超过其熔点时,Sasobit 熔化为液体并能和沥青完全相容,能大幅降低沥青的黏度,实现降低沥青拌和温度的作用。

此外,掺入温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青的软化点增量低于未掺温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青,再次证明温拌剂 Sasobit 的掺入可以降低短期热氧老化对 SBR 改性沥青的影响。

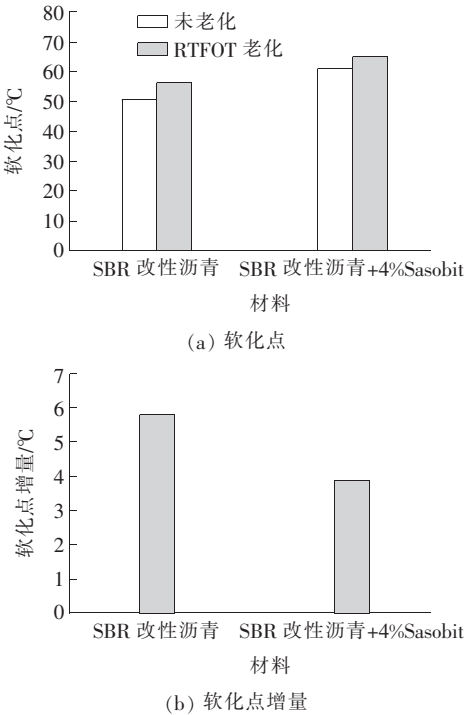


图 3 温拌剂 Sasobit 的掺入对 SBR 改性沥青 RTFOT 老化前后软化点及软化点增量的影响

2.1.3 延度

沥青的延度可以反映其在一定温度下抵抗拉伸破坏的能力,尤其是老化后沥青的低温延度与沥青路面的使用性能有着密切的关系。沥青的低温延度越大,表明沥青低温下的延展性越好,路面发生低温开裂的可能性越小。温拌剂对 SBR 改性沥青 RTFOT 老化前后延度的影响见图 4。

由图 4 可见:尽管温拌剂 Sasobit 的掺入降低了 SBR 改性沥青的延度值,但是经过 RTFOT 老化后,掺入温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青的延度值却高于未掺温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青,延度保留率达到 55.5%,显著高于未掺温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青的 29.3%。说明尽管温拌剂 Sasobit 对 SBR 改性沥青的低温性能有一定的不利影响,但由于温拌剂 Sasobit 可以通过降低沥青的拌和温度来减少短期热氧老化对 SBR 改性沥青的影响,温拌剂 Sasobit 的掺入反而改善了短期热氧老化后 SBR 改性沥青的低温性能。

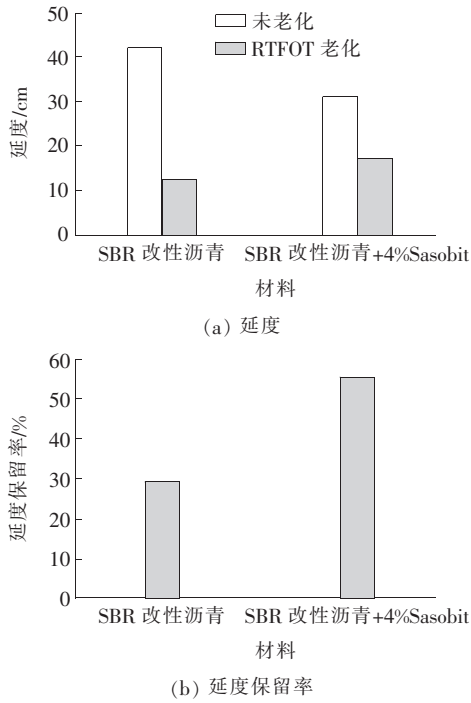


图 4 温拌剂 Sasobit 的掺入对 SBR 改性沥青 RTFOT 老化前后延度及延度保留率的影响

2.2 流变性能

复数模量可表示沥青抵抗剪切变形的能力,而相位角能反映沥青中黏性成分与弹性成分的占比情况。一般而言,给定温度下,复数模量愈大,表明沥青的劲度愈大,抵抗剪切变形的能力愈强;相位角愈小,表明沥青中弹性成分占比愈多,变形恢复能力愈强,延迟变形能力愈弱。较理想的情况是:在高温时,沥青表现出较大的复数模量和较低的相位角,具有更好的抵抗高温变形的能力;在低温时恰好与之相反,表现出较好的低温黏性变形能力。温拌剂对复数模量和相位角的影响见图 5。

由图 5 可知:温拌剂 Sasobit 的掺入提高了 SBR 改性沥青的复数模量、降低了其相位角,表明温拌剂 Sasobit 的掺入改善了 SBR 改性沥青的高温稳定性,该结果与软化点结果一致。无论是否掺入温拌剂 Sasobit,RTFOT 老化后, SBR 改性沥青的复数模量都增加而相位角都减小。但掺入温拌剂 Sasobit 后的 SBR 改性沥青的复数模量和相位角的变化幅度都小于未掺入温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青,进一步验证了温拌剂 Sasobit 的掺入可以降低短期热氧老化对 SBR 改性沥青的影响。

2.3 红外光谱结果

沥青样品 RTFOT 老化前后丁二烯指数的变化情

况见图 6。

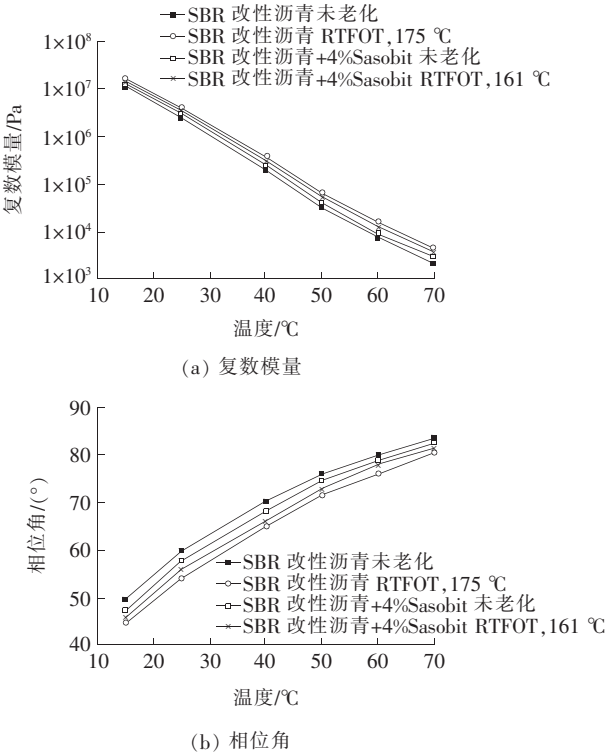


图 5 温拌剂 Sasobit 的掺入对 SBR 改性沥青 RTFOT 老化前后复数模量及相位角的影响

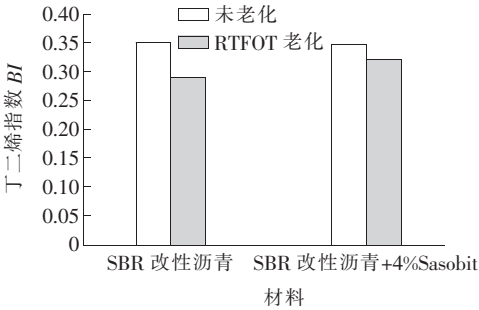


图 6 沥青样品 RTFOT 老化前后丁二烯指数(BI)的变化情况

由图 6 可知:温拌剂 Sasobit 的掺入对未老化的 SBR 改性沥青中丁二烯(C=C)双键的含量影响并不明显。经过 RTFOT 老化后,无论是否掺入温拌剂 Sasobit, SBR 改性沥青中的丁二烯(C=C)双键的含量都减小。但老化后掺入温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青的丁二烯(C=C)双键含量减少量明显小于未掺温拌剂 Sasobit 的 SBR 改性沥青,说明由于温拌剂 Sasobit 的存在而使短期老化温度的降低可有效缓解 SBR 改性剂在短期老化过程中的降解速度,从而维持了 SBR 改性沥青的改性效果。



### 3 结论

(1) 根据等黏度原则可知,温拌剂 Sasobit 的掺入可有效降低 SBR 改性沥青的拌和温度,降幅可达 14℃。

(2) 温拌剂 Sasobit 的掺入降低了 SBR 改性沥青的针入度、延度和相位角,增加了其软化点和复数模量,说明温拌剂 Sasobit 的掺入可提高 SBR 改性沥青的高温稳定性。

(3) 通过残留针入度、软化点增量、延度保留率以及老化前后复数模量、相位角和丁二烯指数变化情况可知,温拌剂 Sasobit 可通过降低 SBR 改性沥青的拌和温度来减弱短期热氧老化对 SBR 改性沥青的不利影响,维持 SBR 改性沥青的改性效果。尤其是老化后低温性能的改善。

(4) 该文研究结果可以为缓解短期热氧老化后 SBR 改性沥青低温性能的劣化,从而充分发挥 SBR 改性沥青的改性效果提供参考和借鉴。

### 参考文献:

- [1] Pérez—Jiménez F, Miró R, Martínez A, Botella R. Analysis of the Mechanical Behaviour of Bituminous Mixtures at Low Temperatures[J]. Construction and Building Materials, 2013, 46: 193—202.
- [2] Liu JY, Sun YR, Wang WY, Chen JY. Using the Viscoelastic Parameters to Estimate the Glass Transition Temperature of Asphalt Binders[J]. Construction and Building Materials, 2017, 153: 908—918.
- [3] 刘兵兵. SBR 改性剂对沥青及沥青混合料低温性能的影响研究[D]. 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2018.
- [4] 郭栋. 丁苯橡胶 SBR 与 TLA 复合改性沥青与沥青混合料性能研究[D]. 湖南大学硕士学位论文, 2018.
- [5] 杨国明, 李昊, 陈松, 等. 丁苯橡胶含量对改性沥青高低温性能影响的研究[J]. 化工新型材料, 2019(6).
- [6] 汪双杰, 台电仓. 改性沥青结合料低温性能评价指标[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2007(3).
- [7] 余剑英, 庞凌, 吴少鹏. 沥青材料老化与防老化[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2012.
- [8] 朱得斌, 蒋丽君, 张璐军. 基于粘温特性的 Sasobit 温拌再生沥青混合料施工温度研究[J]. 中外公路, 2016(3).
- [9] 吴雪柳, 周启伟, 杨波, 等. 不同温拌剂对 SBS 复合改性橡胶沥青的路用性能影响[J]. 中外公路, 2016(4).
- [10] 周启伟, 吴雪柳, 杨波. 温拌剂对橡胶沥青及沥青混合料路用性能影响分析[J]. 中外公路, 2016(4).
- [11] 吴超凡, 曾梦澜, 王茂文, 等. 添加 Sasobit 温拌沥青混合料的拌和与压实温度确定[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2017(8).
- [12] Zhao XW, Yan KZ, He WL. Effects of Sasobit/Deurex on Amorphous Poly Alpha Olefin (APAO) Modified Asphalt Binder[J]. Construction and Building Materials, 2017, 153: 908—918.
- [13] Tan YQ, Zhang L, Gong WQ, et al. Investigation of the Effects of Wax Additive on the Properties of Asphalt Binder[J]. Construction and Building Materials, 2012, 36: 578—584.
- [14] Dondi G, Mazzotta F, Simone A, et al. Evaluation of Different Short Term Aging Procedures with Neat, Warm and Modified Binders[J]. Construction and Building Materials, 2016, 106: 282—289.
- [15] Wang C, Hao PW, Ruan F, et al. Determination of the Production Temperature of Warm Mix Asphalt by Workability Test[J]. Construction and Building Materials, 2013, 48: 1 165—1 170.
- [16] 赵晓文. 温拌 APAO 改性沥青及其混合料性能研究[D]. 湖南大学硕士学位论文, 2018.
- [17] Zhang HL, Chen ZH, Li L. Effect of Nanozinc Oxide and Organic Expanded Vermiculite Compound on Antiaging Properties of SBR Modified Bitumen[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2017, 29(11).
- [18] 石希信, 彭梓骞, 刘滢, 等. 温拌剂对于沥青胶结料的性能影响初探[J]. 中外公路, 2019(3).