

不同存储条件对 SBS 改性沥青流变性能的影响

宋江春¹, 符适¹, 虞浩^{2*}, 詹贺²

(1. 江苏高速公路工程养护有限公司, 江苏 淮安 223005; 2. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要:采用沥青常规性能试验、布氏旋转黏度试验、DSR 试验分析不同存储条件对 SBS 改性沥青高低温流变性能和疲劳性能的影响,通过沥青流变性能衰减规律得到不同存储条件下的允许存储次数,并根据各项指标随存储时间的敏感变化程度优选出可以反映 SBS 改性沥青性能衰减的关键指标。试验结果表明:SBS 改性沥青经过多次存储后高低温性能和疲劳性能均发生了不同程度的衰减,“170℃~室温”比“150~130℃”存储条件的沥青衰减程度较大,建议 SBS 改性沥青采用“150~130℃”的存储条件,其允许存储次数为 3 次,“170℃~室温”的允许存储次数仅为 1 次。通过对比各项性能指标的敏感变化程度,推荐 60℃零剪切黏度为 SBS 改性沥青高温性能的主要评价指标。

关键词:SBS 改性沥青; 存储条件; 动态剪切流变试验; 高温性能; 60℃零剪切黏度

中图分类号: U414 **文献标志码:** A

受路面超载、交通量增加和自然气候的影响,中国每年约有 12% 的沥青路面面临大中修养护,高速公路沥青路面养护工程具有沥青混合料拌和量小、施工零散分布、运距长的特点,使用上存在诸多不确定因素,在沥青用量较少、短期内不施工或者雨雪天气等环境下难免会面临 SBS 改性沥青反复存储加热的问题。SBS 改性沥青的热储存稳定性问题一直是其质量控制的关键要素,相关研究表明 SBS 改性沥青在存储过程中性能会发生一定衰减^[1-4]。孟令国等^[5]采用室内试验模拟表明 SBS 改性沥青的高温存储状态、存储温度和加热次数对 SBS 改性沥青的稳定性具有较大影响;钱喜红^[6]、陈军等^[7]研究了存储时间和对 SBS 改性沥青高温流变性能的影响;原健安等^[8]研究了 SBS 改性沥青高温存储后软化点的变化规律,结果表明 SBS 改性沥青高温性能衰减与基质沥青自身性能密切相关;周昆等^[9]研究表明 SBS 改性沥青经高温存储后分离严重,稳定性较差。为了延缓 SBS 改性沥青的性能衰减,通常会把存储温度降低,若长时间内不施工则会把沥青的存储温度降至室温,待再次使用时将其加热至高温流动状态^[4]。

为了研究不同存储条件对 SBS 改性沥青流变性能的影响,该文在室内制备了两种模拟现场存储条件的沥青,采用三大指标试验、布氏旋转黏度试验、DSR 试验研

究不同存储条件下沥青高低温性能和疲劳性能的衰减规律,并确定 SBS 改性沥青在不同存储条件下的允许存储次数,根据各项指标随存储次数的敏感变化程度优选出能体现 SBS 改性沥青性能衰减的关键指标。

1 原材料与试验

1.1 原材料

以 SBS 掺量为 5.0% 的 SBS 改性沥青为研究目标,SBS 改性沥青性能检测结果见表 1。

表 1 SBS 改性沥青性能检测结果

指标	单位	测定结果	技术要求 ^①
软化点	℃	88.3	≥60
25℃针入度	0.1 mm	63	50~70
135℃黏度	Pa·s	2.905	≤3.0
失效温度	℃	83.2	—
60℃零剪切黏度(ZSV)	Pa·s	37 866	—
5℃延度	cm	40.4	≥30
极限疲劳温度	℃	12.63	—

注:① DB32 T1087—2008《江苏省高速公路沥青路面施工技术规范》。

1.2 试验方案

根据 SBS 改性沥青的现场存储情况,将其分为两

收稿日期:2021-10-10(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(编号:51708178);江苏省交通运输科技项目(编号:2016T07-2)

作者简介:宋江春,男,高级工程师。E-mail:songjc2@sohu.com

* 通信作者:虞浩,男,硕士,助理研究员。E-mail:yu2010hao@163.com

种工况:一种为高温条件下储存一段时间后直接降至室温,即在 170 °C 储存 1 d,然后降至室温,记为“170 °C~室温”;另一种为中温条件下储存一段时间后低温储存,即在 150 °C 储存 1 d,然后降至 130 °C 储存 1 d,记为“150~130 °C”。

室内试验采用的沥青模拟储存罐是根据养护单位沥青储存罐的尺寸缩放设计的。采用自制尺寸为 $\phi 10.2 \text{ cm} \times 10.5 \text{ cm}$ 的卧式沥青模拟储存罐,模拟现场尺寸为 $\phi 2.55 \text{ m} \times 10.5 \text{ m}$ 的卧式沥青储存罐,采用恒温浴槽对模拟储存罐进行保温加热,试验验证室内模拟储存和现场存储沥青的性能衰减程度相关性较好。将 SBS 改性沥青的存储循环次数设为 1~4 次,分别对不同工况、不同存储次数的沥青取样进行三大指标、135 °C 布氏旋转黏度、DSR ($TS, 40 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$)、DSR (ZSV, 60 °C) 和极限疲劳温度测试。

1.3 试验方法

(1) 常规性能试验:沥青的三大指标测试按照 JTG E20-2011 进行。

(2) 布氏旋转黏度测试:布氏旋转黏度可以较好地表征 SBS 改性沥青施工和易性,135 °C 布氏旋转黏度依照 AASHTOT 316-04 的 Brookfield 黏度计测试。

(3) 动态剪切流变仪 (DSR) 测试:采用 TA-AR1500ex DSR 进行温度扫描,温度范围为 40~80 °C,间隔温度为 5 °C,得到车辙因子 $G^* / \sin\delta$ 和疲劳因子 $G^* \sin\delta$,并计算失效温度和极限疲劳温度^[5]。

2 结果与讨论

2.1 高温性能

2.1.1 软化点

两种存储条件下 SBS 改性沥青软化点的变化规律如图 1 所示。

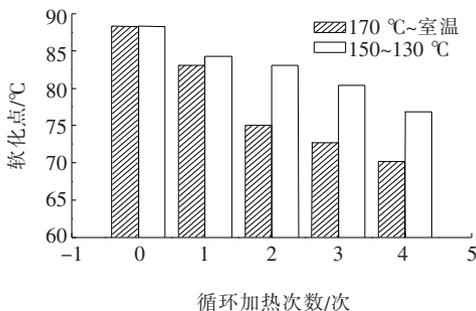


图 1 软化点随循环加热次数的变化图

由图 1 可知:随着循环加热次数的增加 SBS 改性

沥青的软化点不断下降,相比于“150~130 °C”存储条件,“170 °C~室温”工况对 SBS 改性沥青软化点的影响较大,4 次循环作用下软化点降低了 18.1 °C。SBS 改性沥青在经受骤冷骤热后软化点下降明显,温度变化较为缓慢的情况下性能衰减不明显。

2.1.2 135 °C 黏度

两种存储条件下 SBS 改性沥青的 135 °C 黏度变化规律如图 2 所示。

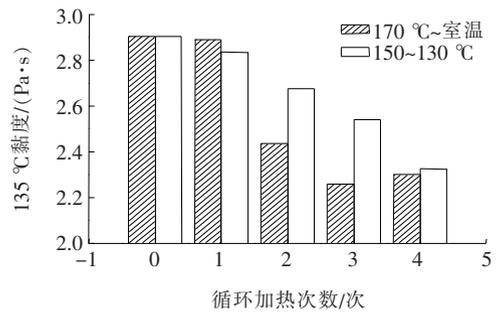
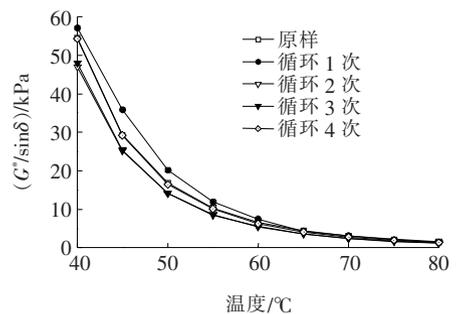


图 2 135 °C 黏度随循环加热次数的变化图

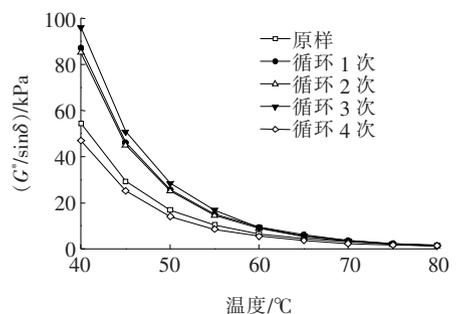
由图 2 可知:随着循环加热次数的增多,SBS 改性沥青的 135 °C 黏度整体呈下降趋势,“170 °C~室温”比“150~130 °C”的 135 °C 黏度降低幅度大,高温性能衰减较快。两种工况下,SBS 改性沥青循环加热 4 次后其 135 °C 黏度均大于 2.2 Pa·s,满足技术要求。

2.1.3 失效温度

图 3 为两种存储条件下在测试温度为 40~80 °C 范



(a) 170 °C~室温

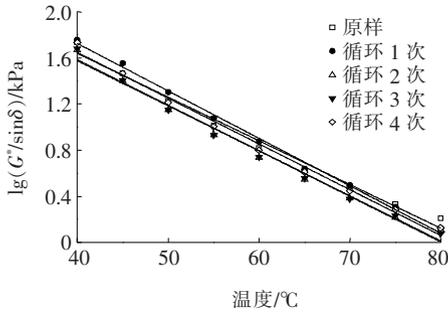


(b) 150~130 °C

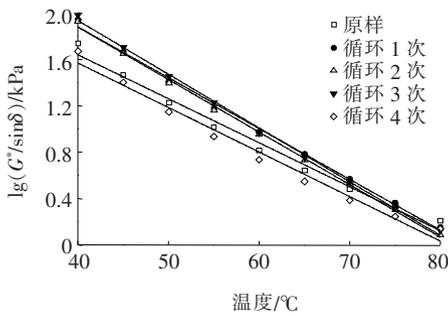
图 3 $G^* / \sin\delta$ 与温度的关系曲线

围内车辙因子($G^* / \sin\delta$)随温度的变化曲线。

SBS 改性沥青的 $\lg(G^* / \sin\delta)$ 随温度变化曲线如图 4 所示。



(a) 170 °C ~ 室温



(b) 150 ~ 130 °C

图 4 $\lg(G^* / \sin\delta)$ - 温度关系图

根据图 4 的拟合结果,计算当 $G^* / \sin\delta = 1$ kPa 时对应的温度,即为失效温度,结果见图 5。

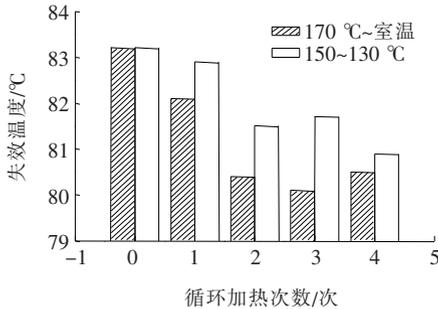


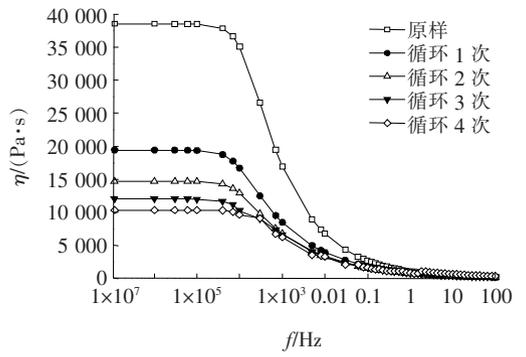
图 5 失效温度随循环加热次数的变化图

由图 5 可知:随着循环加热次数的增加,SBS 改性沥青失效温度整体呈现降低的趋势。两种存储条件下 SBS 改性沥青的失效温度变化幅度不同,“170 °C ~ 室温”工况降低幅度相对较大。

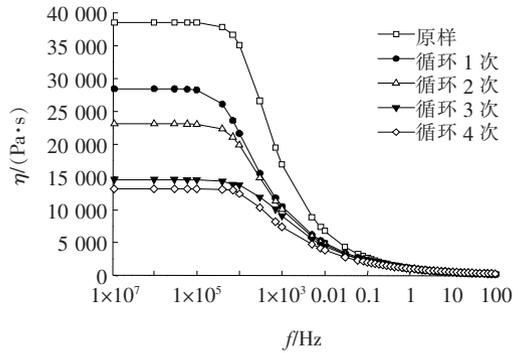
2.1.4 60 °C 零剪切黏度

采用 Carrera 模型多项式拟合得到了不同工况下沥青的零剪切黏度^[10-11],结果见图 6。

图 7 为不同存储条件下 SBS 改性沥青 60 °C 零剪切黏度的变化规律。



(a) 170 °C ~ 室温



(b) 150 ~ 130 °C

图 6 扫描频率与黏度的关系曲线

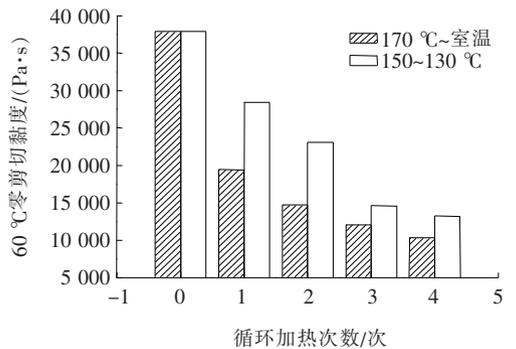


图 7 60 °C ZSV 随循环加热次数的变化图

由图 7 可知:随着循环加热次数的增多,SBS 改性沥青的 60 °C 零剪切黏度整体下降,在相同循环次数下“170 °C ~ 室温”工况较“150 ~ 130 °C”下降幅度大。

随着循环加热次数的增加,SBS 改性沥青的高温性能指标均有所降低,其主要原因为 SBS 改性剂溶胀后可以与沥青形成致密的空间网络结构,形成的 SBS 相和沥青相的双连续结构体系使沥青的高温性能得到改善。SBS 改性沥青高温性能降低的原因主要有两个:① 大分子的 SBS 聚合物在高温下发生降解,导致体系的整体黏度降低;② SBS 与基质沥青所形成的空间网络结构可能发生了一定破坏,体系的稳定性有所

降低,进而高温性能衰减。

2.2 低温性能

2.2.1 针入度

两种存储条件下 SBS 改性沥青针入度的变化规律见表 2。

表 2 针入度随循环加热次数的变化规律

循环加热次数/ 次	针入度/(0.1 mm)	
	170 °C~室温	150~130 °C
0	63	63
1	59	61
2	52	58
3	46	53
4	42	50

由表 2 可知:随着循环加热次数的增加,SBS 改性沥青的针入度均有所降低,“170 °C~室温”较“150~130 °C”的针入度降低幅度大。根据 SBS 改性沥青的性能指标要求,在“170 °C~室温”循环过程中,SBS 改性沥青的允许循环加热次数为 2 次,其 25 °C 针入度由 63 降至 52(0.1 mm),降幅为 17.5%;在“150~130 °C”工况下,SBS 改性沥青的允许循环加热次数为 4 次,其 25 °C 针入度由 63 降至 50(0.1 mm),降幅为 20.6%。

针入度下降的原因与高温性能下降基本一致,同时多次高温储存会导致沥青发生一定老化,沥青重组分含量升高,导致低温性能变差。其中多次骤升骤降会使沥青发生较大程度老化,低温性能下降更为迅速。

2.2.2 5 °C 延度

不同存储条件下 SBS 改性沥青的 5 °C 延度变化规律见表 3。

表 3 5 °C 延度随循环加热次数的变化规律

循环加热次数/ 次	延度/cm	
	170 °C~室温	150~130 °C
0	40.4	40.4
1	36.1	37.2
2	20.3	33.4
3	11.7	30.5
4	9.3	25.4

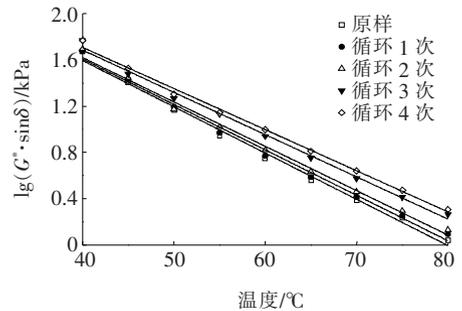
由表 3 可知:随着循环加热次数的增多,其 SBS 改性沥青的 5 °C 延度整体呈现降低的趋势,即其低温性能逐渐变差。同时发现,“150~130 °C”较“170 °C~

室温”工况的 SBS 改性沥青 5 °C 延度变化缓慢。

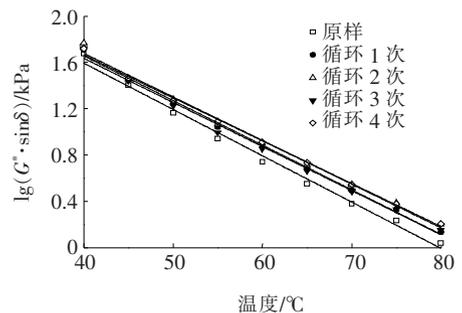
在“170 °C~室温”工况下,当循环 1 次后其 5 °C 延度为 36.1 cm,增加至 2 次后其 5 °C 延度降至 20.3 cm,已经不能满足相关指标的要求,这种情况下只能循环 1 次;在“150~130 °C”工况下,当循环 3 次后 5 °C 延度为 30.5 cm,增加至 4 次后 5 °C 延度降至 25.4 cm,已经不能满足技术指标要求,为此这种情况下只能循环 3 次。

2.3 疲劳性能

对不同循环条件和不同循环次数下的 SBS 改性沥青进行温度扫描试验,疲劳因子 $G^* \sin \delta$ 随温度的变化见图 8。



(a) 170 °C~室温



(b) 150~130 °C

图 8 疲劳因子随循环加热次数的变化图

由图 8 可知: $\lg(G^* \cdot \sin \delta)$ 与温度均存在较好的线性关系。利用线性回归公式计算出不同循环次数下所得 SBS 改性沥青的极限疲劳温度如图 9 所示。由图 9 可知,随着循环加热次数的增多,SBS 改性沥青的极限疲劳温度不断升高,抗疲劳性能逐渐降低,且“170 °C~室温”比“150~130 °C”下降的幅度要大。

2.4 SBS 改性沥青性能评价指标优选

采用多项指标描述了不同存储工况对 SBS 改性沥青的性能衰减规律,对 SBS 改性沥青各项性能指标随循环加热次数的变化进行线性回归,得到各项性能指标的敏感变化斜率,根据敏感变化斜率的大小确定

各项性能指标的变化敏感度,进而优选出合适的性能评价指标(表 4)。

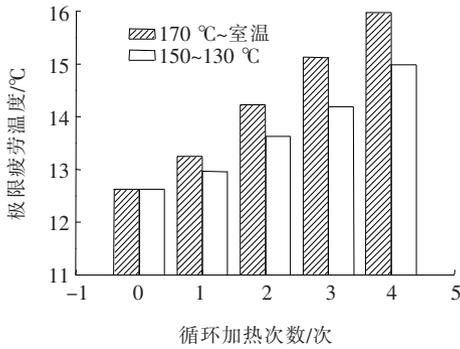


图 9 极限疲劳温度随循环加热次数的变化图

表 4 存储条件对 SBS 改性沥青性能的影响

工况	循环次数/次	软化点/°C	25 °C 针入度/(0.1 mm)	135 °C 黏度/(Pa·s)	失效温度/°C	60 °C ZSV/(Pa·s)
170 °C ~ 室温	0	88.3	63	2.905	83.2	37 866
	1	83.1	59	2.890	82.1	19 424
	2	75.0	52	2.435	80.4	14 701
	3	72.7	46	2.260	80.1	12 065
150 °C ~ 130 °C	0	88.3	63	2.905	83.2	37 866
	1	84.3	61	2.835	82.9	28 446
	2	83.1	58	2.675	81.5	23 093
	3	80.4	53	2.540	81.7	14 621
	4	76.8	50	2.325	80.9	13 229

不同存储条件下各项性能指标的变化敏感程度见图 10。

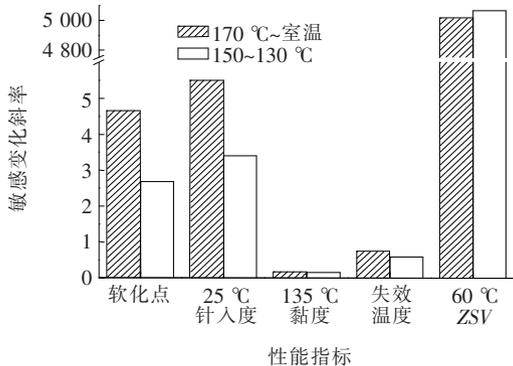


图 10 不同工况下各性能指标变化敏感程度对比图

由图 10 可知:“170 °C~室温”较“150~130 °C”的各项性能指标随储存时间的敏感变化斜率大,即 SBS 改性沥青的性能变化幅度越大。同时,从敏感变化斜

率上可以看出:各项性能指标对循环加热次数的敏感程度上由大到小的顺序为:60 °C ZSV、25 °C 针入度、软化点、失效温度、135 °C 黏度。通过各项性能指标敏感变化斜率对比分析,推荐以 60 °C 零剪切黏度指标为主、软化点和针入度指标为辅评价 SBS 改性沥青的性能变化。

3 结论

研究了两种不同工况下 SBS 改性沥青高低温、疲劳性能的变化规律,得到以下结论:

(1) 从高温性能来看,随着循环加热次数的增加,SBS 改性沥青的软化点、135 °C 黏度、失效温度和 60 °C 零剪切黏度整体呈现下降趋势,高温性能有所衰减,随循环次数的增多,“170 °C~室温”较“150~130 °C”降低的幅度增大,高温性能衰减速率较快。

(2) 从低温性能来看,随着循环加热次数的增加,SBS 改性沥青的针入度、5 °C 延度均有所下降,“170 °C~室温”较“150~130 °C”工况的低温性能衰减大。

(3) 对极限疲劳温度而言,循环加热次数越多,SBS 改性沥青的极限疲劳温度越高,抗疲劳性能下降越快。

(4) 从两种不同工况下 SBS 改性沥青性能对比来看,建议 SBS 沥青存储时采用中温下储存一段时间后低温储存,即在“150~130 °C”工况下存储,允许存储次数不超过 3 次,“170 °C~常温”工况下允许存储次数最高为 1 次。

(5) 通过各项性能指标敏感程度变化斜率的对比分析可知,推荐以 60 °C 零剪切黏度为主、常规性能软化点和针入度为辅评价 SBS 改性沥青的性能变化。

参考文献:

- [1] 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),2007,27(6):6-10.
- [2] 彭剑,孙宁,凌俊,等. SBS 改性沥青老化特性及模拟老化试验方法研究[J]. 公路工程,2019,44(1):63-69,119.
- [3] 徐国其,翟博超,胡力群,等. 高黏度改性沥青储存稳定性试验研究[J]. 公路,2019,64(7):246-251.
- [4] 李林萍,郭欣,于江,等. SBS 复合改性沥青存储稳定性与常规性能的灰色关联分析[J]. 科学技术与工程,2017,17(35):318-324.
- [5] 孟令国,江瑞龄,祝争艳. SBS 改性沥青及其混合料稳定性研究[J]. 公路交通科技(应用技术版),2017,13(10):18-21.