

文章编号:1005-0523(2014)05-0019-05

# 两种温拌剂对SBS改性沥青胶结料高低温性能的影响研究

彭刚,姚城熙,徐波,于新

(河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098)

**摘要:**通过室内试验,采用软化点试验和动态剪切流变试验对添加 Evotherm 和 Sasobit 温拌剂的 SBS 改性沥青的高温性能进行评价;采用延度试验和弯曲梁流变试验对添加 Evotherm 和 Sasobit 温拌剂的 SBS 改性沥青的低温性能进行评价。试验结果表明:掺加 Evotherm 和 Sasobit 两种温拌剂后,SBS 改性沥青的软化点最大增幅为 9.5%和 25.4%、Fail Temperature 值最大增幅为 9%和 20.4%,两种温拌剂使其高温性能得到较大的改善;相比之下,Sasobit 温拌剂对 SBS 改性沥青的高温性能改善更为显著,使其软化点和 Fail Temperature 值最大增幅为 25.4%和 20.4%;但同时 Sasobit 也使其延度和弯曲流变性能降低,低温抗裂性能变差,Evotherm 对其低温性能的不利影响较小。

**关键词:**温拌剂;改性沥青;高低温性能

**中图分类号:**U416.217

**文献标志码:**A

温拌沥青路面和传统的热拌沥青路面相比性能相当,却可以降低施工温度 20~50℃,节约能源 30%,同时大幅度减少 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等气体的排放。在能源日趋紧张,对减排要求越来越高的“低碳时代”,温拌技术在沥青路面建设中得到了越来越多的应用<sup>[1]</sup>。国外已有相当一部分的沥青路面采用了温拌技术,取得了良好的应用效果<sup>[2-4]</sup>。2002 年美国开始关注温拌沥青技术。2004 年以后,以美国沥青技术研究中心(NCAT)为代表的著名研究机构,选取 3 个具有代表性的温拌沥青技术,展开了综合性的室内外研究工作。2008 年,美国公路合作研究组织启动了 3 个温拌沥青混合料设计方法研究课题<sup>[5-6]</sup>。

我国的温拌剂技术始于 2005 年在北京昌平铺筑的第一条温拌沥青混合料路面。2006 年西部交通建设科技项目《温拌沥青混合料应用技术研究》立项,在各地组织实施多条试验路。2008 年 7 月,浦东路桥公司完成了针对 SMA 的温拌性能评估,得出的动稳定度和抗疲劳显著改善的结论与 NCAT 和交通部公路科研院的研究结论基本吻合。研究表明,温拌技术能够有效提高沥青混合料的施工和易性,降低沥青混合料的生产施工操作温度。课题组结合项目的工程实际,选用 Evotherm 和 Sasobit 两种温拌剂,研究他们对 SBS 改性沥青的高温和低温性能的影响。

## 1 试验材料

1) 沥青采用 SBS 改性沥青。按规范<sup>[7]</sup>对 SBS 改性沥青的基本性能指标进行了测试,试验结果如表 1 所示。

2) 温拌剂:Sasobit 是一种固体石蜡,在通常状态下以薄片或粉末的形式存在,熔点约为 100℃,25℃的密度约为 0.94 g·cm<sup>-3</sup>,在使用过程中可直接加入到热沥青中,只需要经过简单搅拌即可完全溶于热沥青。Evotherm 温拌技术是基于乳化平台的一种温拌技术,通过化学表面活性剂,配置成乳化皂液直接加入拌

收稿日期:2014-06-20

基金项目:国家自然科学基金(51278173);江苏省科技下项目(BK2011746)

作者简介:彭刚(1988—),男,硕士研究生,研究方向为路面结构与材料;于新(1975—),男,教授,博士,研究方向为路面结构与材料。

表1 SBS改性沥青性能指标  
Tab.1 Properties of the SBS modified asphalt

检验项目	SBS改性沥青		
	技术要求	检验结果	
针入度(25℃, 100g, 5s)/0.1mm	50~70	69.9	
针入度指数PI	≤0	-0.14	
延度(5℃, 5 cm·min <sup>-1</sup> )/cm	≥25	34.7	
软化点(T <sub>R&amp;B</sub> )/℃	≥65	68.8	
密度(15℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	实测记录	1.018	
溶解度(三氯乙烯)/%	≥99	99.7	
RTFOT	质量损失/%	≤1	0.6
试验后	针入度比(25℃)/%	≥65	70.2
(163℃, 75min)	延度(5 cm·min <sup>-1</sup> , 5℃)/cm	≥20	21.2
PG分级	实测记录	PG70-22	

缸,与热沥青、热石料进行混合搅拌。

## 2 试验方法与试验结果分析

### 2.1 软化点

软化点是沥青的三大性能指标之一,指的是沥青从粘塑状态到粘流状态转变的临界温度,在实质上反映的是沥青的等粘温度。软化点常用于评价沥青的高温性能,软化点高,高温稳定性良好<sup>[8]</sup>。实验采用上海昌吉地质仪器有限公司生产的SYD-2806E型全自动沥青软化点试验器。

对添加不同掺量 Evotherm 和 Sasobit 温拌剂的 SBS 改性沥青胶结料进行软化点试验,其测试结果如表2所示。

从上表可以看出:Sasobit 和 Evotherm 温拌剂的掺入都会在一定程度上提高 SBS 改性沥青的软化点,从软化点这个指标看,温拌剂的掺入能够改善 SBS 改性沥青的高温性能。相比之下,Sasobit 温拌剂使 SBS 改性沥青软化点的增幅更明显,3% Sasobit 剂量时增幅已经达到 25.4%;而 Evotherm 温拌剂的剂量达到 9% 时,增幅仅为 9.5%。

从机理上分析,Sasobit 作为一种有机蜡,加入 SBS 改性沥青中促使沥青中形成一种大蜡晶结构,并与 SBS 改性沥青之间发生化学反应,使得 SBS 改性沥青胶体结构发生变化,引起软化点显著升高。

### 2.2 破坏温度

Superpave 沥青规范采用  $G^*/\sin\delta$  作为评价沥青的高温性能指标,与以往的针入度、粘度指标相比有了很大的进步,因为它处在动荷载作用下,表征了沥青的动粘弹性质<sup>[9-10]</sup>。通过 DSR 温度扫描试验,取得试验温度在 25~80℃ 范围内对应的车辙因子 ( $G^*/\sin\delta$ ),并对曲线进行回归分析,得到 SBS 改性沥青在车辙因子 ( $G^*/\sin\delta$ ) 为 1 kPa 时的破坏温度,由此判断掺加温拌剂后的 SBS 改性沥青的高温性能。破坏温度值越大,表明材料的高温性能越好。试验使用美国 TA-AR1500<sup>EX</sup> 型动态剪切流变仪。

分别对不同的沥青试样进行车辙因子 ( $G^*/\sin\delta$ ) 测试,以确定不同温拌剂掺量下的 SBS 改性沥青胶结料的破坏温度,车辙因子测试结果如表3所示。

表2 SBS改性沥青软化点

Tab.2 Softening point of the SBS modified asphalt

沥青类型	掺量/%	软化点/℃
未添加温拌剂	0	69.2
	3	86.8
	5	89.7
Sasobit 温拌剂	4	87.9
	5	89.7
	9	75.8
Evotherm 温拌剂	10	75.5
	11	75.1

表3 SBS改性沥青车辙因子  
Tab.3  $G^*/\sin\delta$  of the SBS modified asphalt

温度/℃	未添加温拌剂	Evotherm温拌剂			Sasobit温拌剂		
	0%	9%	10%	11%	3%	4%	5%
80	0.414 1	1.479	1.662	1.747	1.997	2.721	3.198
75	0.740 1	2.332	2.434	2.547	3.157	4.527	5.086
70	1.309	3.455	3.569	3.703	5.910	9.648	12.06
65	2.203	5.202	5.324	5.457	12.01	19.74	26.32
60	3.564	8.049	8.188	8.335	21.63	33.27	44.25
55	6.401	13.11	13.32	13.6	35.66	52.60	75.77
50	12.19	22.44	22.7	23	58.00	83.57	111.5
45	23.65	39.58	39.96	40.78	96.18	125.2	173.4
40	51.09	72.10	72.84	73.27	156.8	206.1	270.6
35	109.7	138.1	139.3	140.8	275.4	340.2	398.5
30	224.8	298.6	299.8	302.3	534.4	665.0	706.4
25	427.4	568.3	590.1	59 177	1 218	1 482	1 536

从表3中得到从25℃~80℃范围内的不同的温度(T)对应的车辙因子( $G^*/\sin\delta$ ),建立车辙因子对数值( $\log(G^*/\sin\delta)$ )~温度T曲线图,如图1、图2所示。

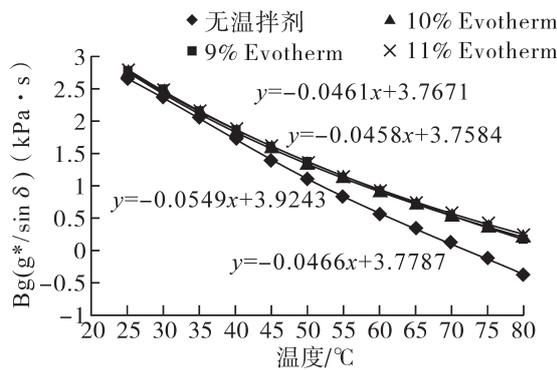


图1 掺加/未掺加 Evotherm 的SBS改性沥青  
 $\log(G^*/\sin\delta)$ -T关系图

Fig.1 Logarithm of the  $G^*/\sin\delta$  of SBS modified asphalt with/without the Evotherm

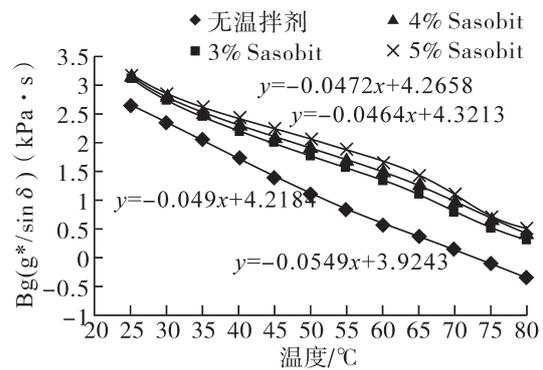


图2 掺加/未掺加 sasobit 的SBS改性沥青  
 $\log(G^*/\sin\delta)$ -T关系图

Fig.2 Logarithm of the  $G^*/\sin\delta$  of SBS modified asphalt with/without the sasobit

根据回归拟合的公式,计算  $G^*/\sin\delta=1\text{kPa}$  时的温度,即 fail temperature。计算结果如表4所示。

表4 SBS改性沥青破坏温度

Tab.4 Fail temperature of the SBS modified asphalt

温拌剂类型	未添加温拌剂	Evotherm温拌剂			Sasobit温拌剂		
温拌剂掺量/%	0	9	10	11	3	4	5
破坏温度/℃	71.48	81.08	81.72	82.06	86.09	90.38	93.13

分析表4:随着温拌剂掺量的增加,SBS改性沥青的破坏温度逐渐增大。掺加9%的 Evotherm 温拌剂后,SBS改性沥青破坏温度的增幅达到13.4%,高温性能得到改善,当 Evotherm 的掺量继续增加至10%和11%时,其破坏温度与9%掺量时的变化不明显。掺加3%的 sasobit 温拌剂后,SBS改性沥青的破坏温度明显提升,增幅达到20.4%。随着 sasobit 温拌剂的掺量继续增加至4%和5%时,其破坏温度值继续增加,但幅

度不大。两者相比,sasobit使SBS改性沥青的破坏温度值提升更为显著,改善效果更好。

### 2.3 延度试验

延度反映了沥青胶结料的延伸性能,体现了沥青路面抵抗低温开裂的能力。具有方法简单、结果直观等优点,一直为众多国家所采用,尤其在我国,延度是评价胶结料低温性能的一项主要指标。实验采用LYY-7C型调温调速沥青延伸仪。

对添加不同的沥青试样进行延度试验,试验温度为5℃,其测试结果如表5所示。

从表5可以看出:SBS改性沥青的延度随着Evotherm剂量的增加而增大,掺加9%的Evotherm温拌剂后,SBS改性沥青的延度增幅为25.4%,说明Evotherm温拌剂能够在一定程度上提高SBS改性沥青的延度。而SBS改性沥青的延度随着Sasobit剂量的增加而减少且低于未添加温拌剂时的沥青延度,延度指标显示Sasobit温拌剂的加入对SBS改性沥青的延度影响是不利的,这是因为Sasobit是一种石蜡,当胶结料温度低于熔点时,Sasobit会在沥青中结晶析出网状的晶格结构,增大沥青的粘度使得沥青变硬变脆。

### 2.4 弯曲梁流变试验

美国SHRP沥青结合料路用性能规范里,提出了在弯曲梁流变仪(Bending Beam Rheometer,简称BBR)上进行的弯曲梁流变试验,评价沥青结合料的低温抗裂性能,试验参数蠕变劲度 $S$ 和蠕变速率 $m$ 能很好的反映沥青胶结料的低温性能。规范规定蠕变劲度 $S$ 不能过大,同时松弛速率 $m$ 不能太小。在Superpave设计体系和沥青结合料路用性能规范中要求的是60 s时的 $S$ 值和 $m$ 值<sup>[11]</sup>。试验采用美国CANNON公司生产的弯曲梁流变仪。

BBR试验选用-12℃,-18℃,-24℃的蠕变劲度 $S$ 和蠕变速率 $m$ 作为沥青胶结料低温抗裂性能的评价指标。试验所得60 s的 $S$ 和 $m$ 值如表6所示。

表6 SBS改性沥青试验60 s的 $S$ 和 $m$ 值  
Tab.6 Creep stiffness  $S$  and  $m$ -value of the SBS modified asphalt

温拌剂类型		-12℃		-18℃		-24℃	
		蠕变劲度/MPa	$m$	蠕变劲度/MPa	$m$	蠕变劲度/MPa	$m$
无温拌剂	0%	41.1	0.452	130	0.361	380	0.268
	9%	25.3	0.498	114	0.353	385	0.271
Evotherm 温拌剂	10%	37.7	0.474	125	0.342	423	0.258
	11%	40.6	0.461	136	0.331	457	0.232
Sasobit 温拌剂	3%	32.8	0.492	184	0.341	417	0.258
	4%	54.7	0.451	237	0.329	558	0.225
	5%	46.3	0.443	242	0.318	662	0.201

通过表6可以看出:随着Evotherm温拌剂剂量的增加,SBS改性沥青的劲度模量也随之增加,这表明,SBS改性沥青的弯曲流变性能在变差,Evotherm温拌剂会对SBS改性沥青的低温性能产生不利影响。在-18℃条件下,当Evotherm温拌剂剂量 $\geq 11\%$ 时,劲度模量 $S$ 值才大于未添加温拌剂的SBS改性沥青的劲度模量,说明温拌剂只有达到一定的剂量才会对SBS改性沥青产生不利的影响。总体来说,Evotherm对BBR试验结果影响并不显著。

随着 Sasobit 温拌剂剂量的添加,SBS 改性沥青的弯曲流变性能在变差,在 $-12^{\circ}\text{C}$ 时,当 Sasobit 温拌剂剂量 $\geq 4\%$ 时劲度模量才大于未添加温拌剂的 SBS 改性沥青劲度模量,低温性能才降低。总体来说,Sasobit 温拌剂的添加对 SBS 改性沥青的低温性能是不利的。

### 3 结论

1) 通过分析和比较不同 Evotherm 和 Sasobit 掺量下的 SBS 改性沥青的软化点和 fail temperature 值,可以看出两种温拌剂都可以较为显著地提高其高温性能,但 Sasobit 对其改善效果更为明显。

2) 从延度指标来看,Evotherm 温拌剂可以在一定程度上提高 SBS 改性沥青的延度;Sasobit 温拌剂使 SBS 改性沥青的延度降低。从蠕变劲度模量  $S$  值和蠕变曲线斜率  $m$  值来看,Evotherm 温拌剂对 SBS 改性沥青的低温抗裂性能影响不大;Sasobit 温拌剂的添加对 SBS 改性沥青的低温性能会产生不利影响。

3) 两种温拌剂相比,Sasobit 温拌剂对 SBS 改性沥青的低温性能影响较为明显,而 Evotherm 对其低温性能影响较小,并且延度指标作为 SBS 改性沥青的低温性能评价指标不大适合。使其软化点和破坏温度值的最大增幅为 25.4% 和 20.4%。

#### 参考文献:

- [1] 孙大权,王锡通,汤士良,等. 环境友好型温拌沥青混合料制备技术研究进展[J].石油沥青,2007,21(4):54-57.
- [2] JOE W B, CINDY E, ANDREW W. A synthesis of warm-mix asphalt[R]. Texas: Texas Transportation Institute and Texas A&M University System College, 2007.
- [3] DIFENDERFER S, MCGHEE K, DONALDSON B. Installation of warm mix asphalt projects in virginia[R]. Virginia: Virginia-Transportation Research Council, 2007.
- [4] 孙国生. 欧美温拌沥青混合料技术现状[J]. 建设机械技术与管理, 2010(8):68-70.
- [5] THOMAS P H. Summer of training warm mix asphalt[Z]. Washington D. C.: Federal Highway Administration, 2011.
- [6] 程一鸣. 美国温拌沥青混合料研究进展及设计方法综述[J]. 标准解读与应用, 2013(17):8-11.
- [7] 中华人民共和国行业标准. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程(JTG E20-2011)[S]. 北京:人民交通出版社, 2011.
- [8] 赵军,刘兆平,曹卫东,等. 高弹性改性沥青的路用性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2010,65(5):102~105.
- [9] 吕天华,章毅. 布敦岩沥青改性沥青高温动态流变性能研究[J]. 华东交通大学学报, 2010,27(4):13~17.
- [10] 徐鸿飞. 基于重复蠕变恢复试验的沥青高温性能评价指标研究[D]. 济南:山东建筑大学, 2012.
- [11] 栾自胜,雷军旗,屈仆,等. SBS 改性沥青低温性能评价方法[J]. 武汉理工大学学报, 2010(2):15-18.

## Effects of Two Warm Mix Agents on High and Low Temperature Performance of SBS Modified Asphalt Binder

Peng Gang, Yao Chengxi, Xu Bo, Yu Xin

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Through the indoor experiments, this study evaluates the high and low temperature performance of SBS modified asphalt binder with Evotherm and Sasobit by softening point test, dynamic shear rheological test, ductility test and bending beam rheological test. Test results indicate that the maximum elevatory amplitude of softening point of SBS modified asphalt with Evotherm and Sasobit is 9.5% and 25.4%, while Fail Temperature values is 9% and 20.4%, the high temperature performance is greatly improved with Sasobit being more remarkable for this point. Meanwhile, Sasobit can also lower its ductility and bending rheological property and its low-temperature cracking resistance, while Evotherm has less adverse effects on its low-temperature properties.

**Key words:** warm mix agent; modified asphalt; high and low temperature performance