

文章编号:1671-8879(2013)06-0022-06

# 温拌沥青胶浆流变性能研究

李宏志<sup>1,2</sup>, 郑健龙<sup>1</sup>

(1. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 河南高速公路发展有限责任公司, 河南 郑州 450016)

**摘 要:**为了研究温拌沥青胶浆流变性能,通过动态剪切流变试验,研究了投料顺序、温拌剂类型、温拌剂掺量、沥青类型和粉胶比等因素对温拌沥青胶浆流变性能的影响规律。研究结果表明:矿粉与温拌剂的添加顺序对温拌沥青胶浆的流变性能基本没有影响;Sasobit 降低了温拌沥青胶浆的流变性能,3G 提高了其流变性能;随着温拌剂掺量的增大,沥青粘度的增加和粉胶比的增大,温拌沥青胶浆的流变性能显著降低。

**关键词:**道路工程;温拌沥青胶浆;流变性能;影响因素

**中图分类号:**U414

**文献标志码:**A

## Research on rheological properties of warm mix asphalt mortar

LI Hong-zhi<sup>1,2</sup>, ZHENG Jian-long<sup>1</sup>

(1. School of Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, Hunan, China; 2. Henan Expressway Development Co Ltd, Zhengzhou 450016, Henan, China)

**Abstract:** In order to study the rheological properties of warm mix asphalt mortar, based on the results of dynamic shear rheological test, the effects of mixing procedure, warm mix agent type, warm mix agent dosage, asphalt type and ratio of filler were analyzed on the rheological properties of it. The research shows that mixing procedure of filler and warm mix agent has almost no influence on the rheological properties. Sasobit reduces the rheological properties of warm mix asphalt mortar, but 3G improves the rheological properties; and the rheological properties of warm mix asphalt mortar decrease with warm mix agent dosage, asphalt viscosity and ratio of filler to asphalt increase. 4 tabs, 5 figs, 12 refs.

**Key words:** road engineering; warm mix asphalt mortar; rheological properties; influence factor

## 0 引 言

热拌沥青混合料大规模施工不仅消耗了大量的能源,而且排放出大量的废气和粉尘,严重影响了生态环境和施工人员的健康<sup>[1]</sup>。国内外许多道路专家

认为解决这一问题的基本途径是降低沥青混合料在生产过程中的温度,因此许多国家相继展开了对温拌技术的研究<sup>[2-3]</sup>。所谓温拌技术就是通过掺加温拌剂,降低沥青在施工中的粘度,使得沥青混合料能在较低的温度下施工<sup>[4]</sup>。Diefenderfer 等开发了多

收稿日期:2013-03-24

基金项目:国家自然科学基金项目(50208004)

作者简介:李宏志(1968-),男,河南上蔡人,河南高速公路发展有限责任公司教授级高工,长沙理工大学工学博士研究生,E-mail:185850222@qq.com。

种类型的温拌剂,并对温拌沥青混合料的应用技术进行了研究<sup>[5-6]</sup>;吴超凡等对温拌沥青混合料的施工温度进行了研究<sup>[7]</sup>;张海等研究了温拌沥青混合料的路用性能<sup>[8-9]</sup>;郑传峰等研究了 SEAM 对沥青流变特性的影响<sup>[10]</sup>;陆兆峰等研究了天然岩沥青对沥青流变特性的影响<sup>[11]</sup>。可见,目前国内外对温拌沥青混合料路用性能及应用技术进行了较为广泛的研究,而针对温拌沥青胶浆性能的研究仍显不足。为此,本文通过室内试验的方法,研究温拌沥青胶浆的制备工序和沥青胶浆的流变性能,并对其流变性能影响因素进行了分析,为温拌技术的推广和应用提供参考依据。

## 1 原材料技术特性

### 1.1 沥青

沥青是青岛安邦路法提供的 70# 沥青、90# 沥青和 SBS 改性沥青,其主要技术性质见表 1~表 3。

### 1.2 温拌剂

温拌剂 Sasobit 为南非 SASOL-WAX 公司生产,其技术指标为:25 ℃时密度为 0.94 g/cm<sup>3</sup>,135 ℃时粘度为 0.012 Pa·s,凝固点为 100 ℃,闪点约为 290 ℃;温拌剂 Evotherm 3G 为美德维实伟克公司生产,其技术指标为:25 ℃时密度为 0.997 g/cm<sup>3</sup>,25 ℃时导热性为 2.2 μs/cm,介电常数为 2~10。

### 1.3 矿粉

试验采用的矿粉为石灰岩磨制的石粉,其主要物理性能指标见表 4。

表 1 70# 沥青的技术性质

Tab. 1 Technical indexes of 70# asphalt

试验项目	技术标准	试验结果
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/0.1 mm	60~80	62
延度(5 cm/min,15 ℃)/cm	≥100	>150
软化点(R&B)/℃	≤46	46.5
闪点(COC)/℃	≤260	341
TFOT(163 ℃,5 h)质量损失/%	±0.8	+0.07

表 2 90# 沥青的技术性质

Tab. 2 Technical indexes of 90# asphalt

试验项目	技术标准	试验结果
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/0.1 mm	80~100	84.7
延度(5 cm/min,15 ℃)/cm	≥100	>130
软化点(R&B)/℃	≤44	44.8
闪点(COC)/℃	≤245	292
TFOT(163 ℃,5 h)质量损失/%	±0.8	+0.07

表 3 SBS 改性沥青的技术性质

Tab. 3 Technical indexes of SBS modified asphalt

试验项目	技术标准	试验结果
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/0.1 mm	30~60	56
延度(5 cm/min,5 ℃)/cm	≥20	44
软化点(R&B)/℃	≤60	77
闪点(COC)/℃	≤230	337
弹性恢复(25 ℃)/%	≥75	97
TFOT(163 ℃,5 h)质量损失/%	±1.0	+0.01

表 4 矿粉的物理性能指标

Tab. 4 Physical properties indicators of aggregate

试验项目	技术标准	试验结果
表观密度/(t·m <sup>-3</sup> )	≥2.5	2.706
含水量/%	≤1	0.4
粒度范围小于 0.6 mm/%	100	100
粒度范围小于 0.15 mm/%	90~100	99.64
粒度范围小于 0.075 mm/%	75~100	85.63
亲水系数	<1	0.68
塑性指数/%	<4	2.5

## 2 温拌沥青胶浆的制备

美国 SHRP 计划开发了动态剪切流变仪(DSR),以测定沥青结合料的复数剪切模量  $G^*$  和相位角  $\delta$ ,提出了以抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  评价沥青结合料的流变性能。在温拌沥青胶浆制备过程中需要往沥青中加入温拌剂和矿粉,取同样掺量的温拌剂和矿粉按照投料顺序的不同制备温拌沥青胶浆,用动态剪切流变仪(DSR)测定温拌沥青胶浆抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$ ,分析投料先后顺序对其流变特性的影响。在前人对温拌剂掺量研究的基础,Sasobit 和 3G 这 2 种温拌剂掺量分别取 4.0%和 0.6%上,在粉胶比 1.2 下,按照不同投料顺序添加到沥青中<sup>[12]</sup>。在 160 ℃条件下高速搅拌 30 min,制成不同的温拌沥青胶浆,其抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  的试验结果见下页图 1。图中:A 为 70# 沥青;B 为 SBS 沥青;1.2 为粉胶比;S-4 为 Sasobit 的掺量 4%;G-0.6 为 3G 的掺量 0.6%,字符先后顺序表示投料顺序,下同。

从图 1 可以看出,温拌剂与矿粉不同顺序添加到沥青中,不同温拌沥青胶浆的  $G^*/\sin(\delta)$  值基本一致,投料顺序对制备的温拌沥青胶浆流变性能影响不明显。这主要是因为先将矿粉加入到沥青中,少量的沥青被矿粉吸附,大量的沥青为自由沥青;随着温拌剂的加入,在高温状态下温拌剂不仅吸附

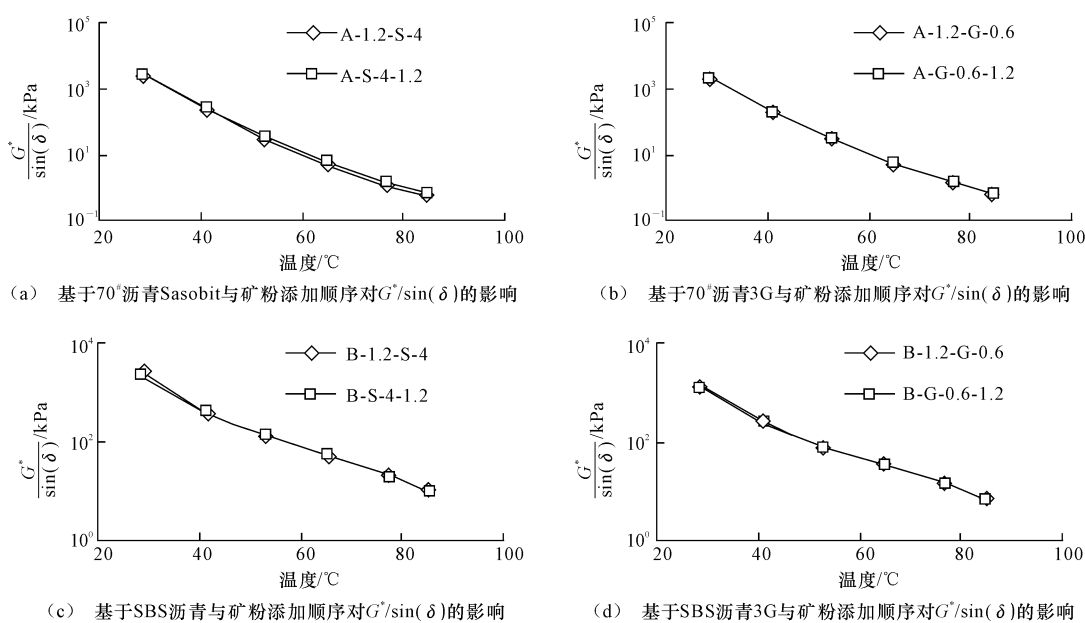


图1 投料顺序对温拌沥青胶浆  $G^*/\sin(\delta)$  的影响

Fig. 1 Influences of mixing procedure on  $G^*/\sin(\delta)$  of warm mix asphalt mortar

自由沥青中与其结构近似的饱和组分,也会吸附被矿粉吸附的沥青中与其结构近似的饱和组分,进而溶解于其中,形成较为均匀稳定的胶浆。因此,先加矿粉形成均匀稳定的胶浆与后加矿粉形成稳定的胶浆流变性能基本一致。

3 温拌沥青胶浆流变性能及影响因素

3.1 温拌剂类型的影响

不同类型的温拌剂其温拌机理不同,对温拌沥青胶浆的流变性能影响也不同。采用动态

剪切流变仪(DSR)测定沥青胶浆粘性和弹性,以抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  为指标评价温拌沥青胶浆的流变性能。DSR 试验参数为:试样厚度为 1 mm,直径  $\varphi=25$  mm,试验温度为 65 °C,采用应变式控制模式应变值  $\gamma=12\%$ ,试验频率  $\omega=10$  rad/s,下同。Sasobit 和 3G 两种温拌剂掺量分别为 4.0%和 0.6%,粉胶比 1.2,制成不同的温拌沥青胶浆,其抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  的试验结果见图 2。

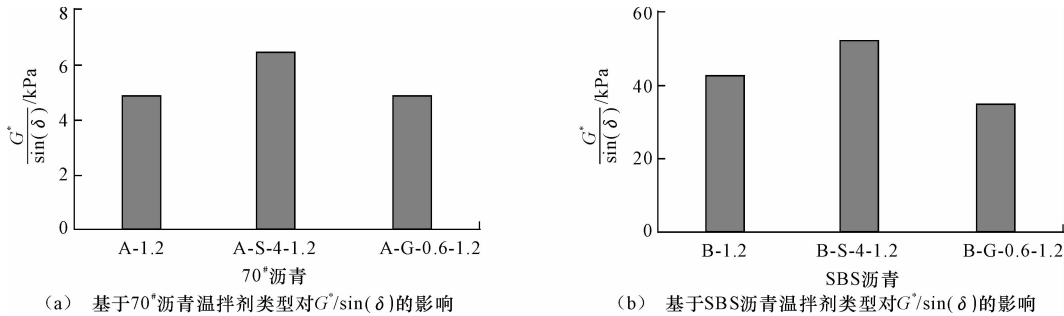


图2 温拌剂类型对温拌沥青胶浆  $G^*/\sin(\delta)$  的影响

Fig. 2 Influences of warm mix agent types on  $G^*/\sin(\delta)$  of warm mix asphalt mortar

从图 2 可以看出,Sasobit 温拌剂加入到粉胶比为 1.2 的沥青胶浆中,其  $G^*/\sin(\delta)$  值显著增大,A-S-4-1.2 的  $G^*/\sin(\delta)$  值比 A-1.2 的增大了 1.3 倍,B-S-4-1.2 的  $G^*/\sin(\delta)$  值比 B-1.2 的增大

了 1.2 倍;这表明 Sasobit 温拌剂对沥青胶浆的流变性能有显著影响,能够显著降低了沥青胶浆的流变性能。这主要是因为,在常温状态下,Sasobit 温拌剂会在沥青中形成网状的晶格结构,增加沥青的稳定

性,从而进一步提高了温拌沥青胶浆的粘度。这说明,Sasobit 温拌剂不仅在高温下可以降低沥青混合料的施工温度,而且可以在常温状态下提高沥青路面的抗车辙性能。

3G 温拌剂加入到粉胶比为 1.2 的沥青胶浆中,其  $G^*/\sin(\delta)$  值有一定程度的减小,A-G-0.6-1.2 的  $G^*/\sin(\delta)$  值与 A-1.2 的基本一致,B-G-0.6-1.2 的  $G^*/\sin(\delta)$  值比 B-1.2 的降低了 20%;这表明 3G 温拌剂对沥青胶浆的流变性能有一定的影响,其在一定程度上提高了沥青胶浆的流变性能。这主要是因为,在常温状态下,3G 温拌剂为液态,其含有的表面活性剂成份改变了沥青分子之间的极性,降低了

沥青分子与矿粉之间的表面张力,从而降低沥青胶浆的粘度。这说明,3G 温拌剂虽然在高温下降低了沥青混合料的施工温度,但在常温状态下一定程度上降低了沥青路面的抗车辙性能。

### 3.2 温拌剂掺量的影响

不同掺量的温拌剂对温拌沥青胶浆的流变性能影响不同,采用动态剪切流变仪(DSR)测定沥青胶浆粘性和弹性,以抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  为指标评价温拌沥青胶浆的流变性能。不同掺量的 Sasobit 温拌剂,在粉胶比 1.2 下,制成不同的温拌沥青胶浆;在试验温度 65℃下,其抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  的试验结果见图 3。

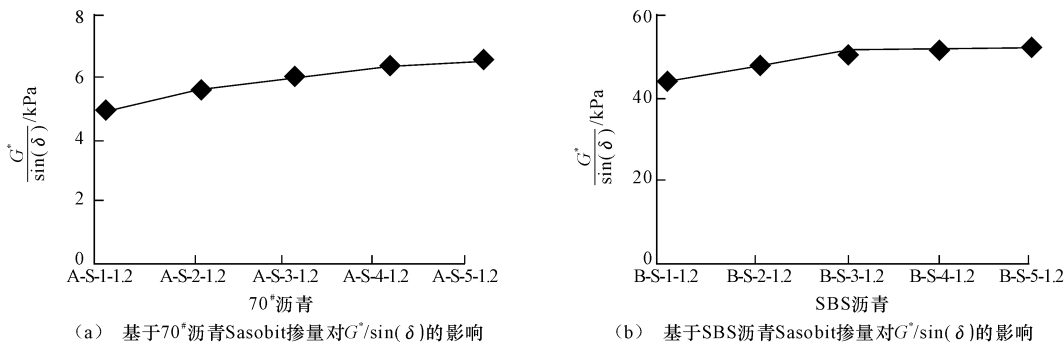


图 3 Sasobit 掺量对温拌沥青胶浆  $G^*/\sin(\delta)$  的影响

Fig. 3 Influences of sasobit dosage on  $G^*/\sin(\delta)$  of warm mix asphalt mortar

从图 3 可以看出,随着 Sasobit 温拌剂掺量的增加,温拌沥青胶浆的  $G^*/\sin(\delta)$  值逐渐增大;对于 70# 沥青,当掺量小于 4% 时,其  $G^*/\sin(\delta)$  值增长幅度较大,当掺量大于 4% 时,其  $G^*/\sin(\delta)$  值趋于稳定;对于 SBS 沥青,当掺量小于 3% 时,其  $G^*/\sin(\delta)$  值增长幅度较大,当掺量大于 3% 时,其  $G^*/\sin(\delta)$  值趋于稳定。这表明 Sasobit 掺量对沥青胶浆的流变性能有显著影响,随着温拌剂掺量的增大其流变性逐渐降低。这主要是因为 Sasobit 在高温下吸附沥青中与它结构相近似的饱和组分,形成稳定的溶液;当温度降低后,Sasobit 与部分被它吸附又溶解它的饱和组分一起逐渐结晶析出,进而锁定了这些饱和的油类、蜡类组分,从而降低了沥青胶浆的流变性能;当温拌剂过量时,其锁定的饱和组分量有限,其流变性能趋于稳定。这说明,在一定范围内提高 Sasobit 温拌剂掺量可以提高沥青路面的抗车辙能力,但掺量过大时不能进一步提高沥青路面的抗车辙性能。

### 3.3 沥青类型的影响

不同沥青类型对温拌沥青胶浆的流变性能影响不同,采用动态剪切流变仪(DSR)测定沥青胶浆粘性和弹性,以抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  为指标评价温拌沥青胶浆的流变性能。基于 Sasobit 温拌剂掺量为 4%,在粉胶比 1.2 下,制成不同沥青种类的温拌沥青胶浆;在试验温度 65℃下,其抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  的试验结果如图 4 所示。

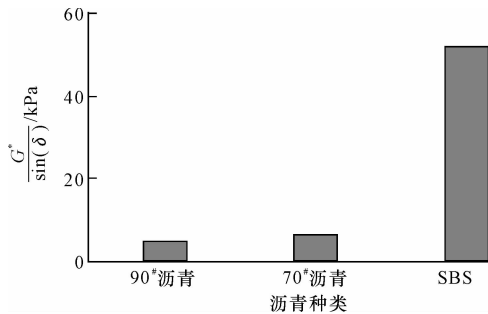


图 4 沥青类型对温拌沥青胶浆  $G^*/\sin(\delta)$  的影响

Fig. 4 Influences of asphalt types on  $G^*/\sin(\delta)$  of warm mix asphalt mortar

从图 4 可以看出,70# 沥青胶浆的  $G^*/\sin(\delta)$  值是 90# 沥青胶浆的 1.3 倍,SBS 改性沥青胶浆的  $G^*/\sin(\delta)$  值是 90# 沥青胶浆的 9.8 倍。这表明沥青种类对温拌沥青胶浆流变性能有显著影响,随着沥青粘度的增大,温拌沥青胶浆的流变性能降低。这主要是因为虽然 Sasobit 在一定比例上提高了各种沥青的粘度,但并没有改变各种沥青粘度的排列顺序,温拌沥青胶浆的流变性能由沥青自身的粘度决定。这说明,沥青自身的粘度决定着温拌沥青胶浆的流变性能,通过采用粘度大的改性沥青能显著

提高温拌沥青路面的抗车辙能力。

3.4 粉胶比的影响

不同粉胶比对温拌沥青胶浆的流变性能影响不同,采用动态剪切流变仪(DSR)测定沥青胶浆粘性和弹性,以抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  为指标评价温拌沥青胶浆的流变性能。Sasobit 温拌剂掺量为 4%,制成不同粉胶比的温拌沥青胶浆;在试验温度分别为 65℃、75℃和 85℃下,抗车辙因子  $G^*/\sin(\delta)$  的试验结果如图 5 所示。

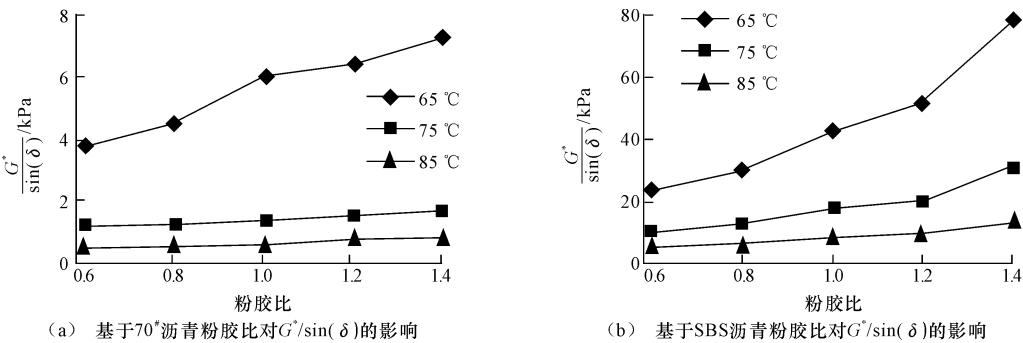


图 5 不同粉胶比的温拌沥青胶浆  $G^*/\sin(\delta)$  值

Fig. 5 Influences of different ratios of filler on  $G^*/\sin(\delta)$  of warm mix asphalt mortar

从图 5 可以看出,在同一温度下,Sasobit 温拌剂加入到 70# 沥青和 SBS 改性沥青形成的温拌沥青胶浆,随着粉胶比的逐渐增大,2 种温拌沥青类型的温拌沥青胶浆  $G^*/\sin(\delta)$  值呈逐渐增大趋势。这表明粉胶比对温拌沥青胶浆的流变性能有显著影响,粉胶比的增大显著降低其流变性能。这主要是因为随着粉胶比的增大,较多的矿粉需要更多的温拌沥青去裹覆,结构性沥青增多,自由性沥青减少,形成的温拌沥青胶浆的流动性能降低。这说明,通过采用较大的粉胶比可以有效地提高温拌沥青路面的抗车辙性能。

在不同温度下,70# 沥青和 SBS 改性沥青 2 种温拌沥青胶浆,随着温度的逐渐升高,2 种温拌沥青类型的温拌沥青胶浆  $G^*/\sin(\delta)$  值均呈逐渐降低趋势,基于 65℃ 温度每升高 10℃,温拌沥青胶浆  $G^*/\sin(\delta)$  值降低了 70% 左右。这表明温度对温拌沥青胶浆的流变性能有显著影响,温度升高显著提高了其流变性能。这表明在高温地区应采用一定抗车辙措施以提高温拌沥青路面的抗车辙能力。

4 结 语

(1)温拌剂和矿粉添加到沥青中的顺序对制备的温拌沥青胶浆流变性能影响不明显,在施工过程中温拌剂采用湿法和干法得到的温拌胶浆流变性能基本一致。

(2)温拌剂类型对温拌沥青胶浆的流变性能有显著影响。Sasobi 显著降低了沥青胶浆的流变性能,在常温状态下提高了沥青路面的抗车辙性能;3G 略微提高了沥青胶浆的流变性能,在常温状态下略微降低了沥青路面的抗车辙能力。Sasobit 掺量对沥青胶浆的流变性能有显著影响,随着温拌剂掺量的增大其流变性能降低;在一定范围内提高 Sasobit 掺量可提高沥青路面的抗车辙能力,但掺量过大时不能进一步提高其抗车辙性能。

(3)沥青种类对温拌沥青胶浆流变性能有显著影响,随着沥青粘度的增大,温拌沥青胶浆的流变性能降低;沥青自身的粘度决定着温拌沥青胶浆的流变性能,通过采用粘度大的改性沥青能显著提高温拌沥青路面的抗车辙能力。

(4)粉胶比对温拌沥青胶浆的流变性能有显著影响,粉胶比的增大显著降低了其流变性能;通过采用较大的粉胶比可有效提高沥青路面的抗车辙性能。温度对温拌沥青胶浆的流变性能有显著影响,温度升高显著提高了其流变性能;在高温地区应采用一定抗车辙措施以提高温拌沥青路面的抗车辙性能。

## 参考文献:

## References:

[1] 刘至飞,吴少鹏,陈美祝,等. 温拌沥青混合料现状及存在问题[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(4): 170-173.

LIU Zhi-fei, WU Shao-peng, CHEN Mei-zhu, et al. Status and problems of warm mix asphalt[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 31(4): 170-173. (in Chinese)

[2] 叶 奋,王宝松,贾晓阳,等. 成型温度对温拌沥青混合料水稳定性的影响[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(3): 302-306.

YE Fen, WANG Bao-song, JIA Xiao-yang, et al. Influence of compaction temperature on the moisture susceptibility of warm asphalt mixture [J]. Journal of Building Materials, 2009, 12(3): 302-306. (in Chinese)

[3] Joe W, Cindy E, Andrew W. A synthesis of warm-mix asphalt[R]. Texas: Texas Transportation Institute, 2007.

[4] 张 镇,孙立军. Evotherm 温拌沥青混合料控制指标研究[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(8): 29-33.

ZHANG Zhen, SUN Li-jun. The control indicates research of evotherm warm-mix asphalt[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 31(8): 29-33. (in Chinese)

[5] Diefenderfer S, McGhee K, Donaldson B. Installation of warm mix asphalt projects in Virginia[R]. Virginia: Virginia Transportation Research Council, 2007.

[6] Hurley G P. Evaluation of sasobit for use in warm mix asphalt [R]. Auburn: Auburn University, 2005.

[7] 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, 2010, 37(8): 1-5.

WU Chao-fan, ZENG Meng-lan, WANG Mao-wen, et al. Determination of the mixing and compaction temperatures for warm mix asphalt with sasobit[J]. Journal of Hunan University: Natural Science Edition, 2010, 37(8): 1-5. (in Chinese)

[8] 张 海,李冬松,欧阳伟,等. 基于乳化平台的 Evotherm 温拌沥青混合料性能[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2009, 25(2): 240-243.

ZHANG Hai, LI Dong-song, OUYANG Wei, et al. Properties research on warm mix asphalt based on evotherm[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science Edition, 2009, 25(2): 240-243. (in Chinese)

[9] 张 镇,刘黎萍,汤 文. Evotherm 温拌沥青混合料性能研究[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(4): 438-441.

ZHANG Zhen, LIU Li-ping, TANG Wen. Research on performance of evotherm warm-mix asphalt[J]. Journal of Building Materials, 2009, 12(4): 438-441. (in Chinese)

[10] 郑传峰,仵 磊,张 力,等. SEAM 改性沥青流变特性[J]. 吉林大学学报:工学版, 2011, 45(5): 1284-1289.

ZHENG Chuan-feng, NIE Lei, ZHANG Li, et al. Rheological properties of SEAM modified asphalt binder[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2011, 45(5): 1284-1289. (in Chinese)

[11] 陆兆峰,何兆益,秦 旻,等. 天然岩沥青改性对沥青流变性能的影响[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版, 2009, 28(3): 543-547.

LU Zhao-feng, HE Zhao-yi, QIN Min, et al. Influence of rock asphalt modified bitumen on asphalt rheological property[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2009, 28(3): 543-547. (in Chinese)

[12] Transportation Research Board. NCHRP Report 691: Mix design practices for warm mix asphalt [R]. Washington DC: Transportation Research Board National Academy Sciences, 2011.