

AH-1 温拌剂对 SBS 改性沥青路用性能的影响

赵林飞

[苏交科(广州)交通规划设计有限公司, 广东 广州 510000]

摘要: 为了研究与比较自行研发的 AH-1 温拌剂对 SBS 改性沥青路用性能的影响, 对比不同掺量的 AH-1 与 Sasobit 的路用性能差异, 应用常规的沥青性能试验对针入度、延度和软化点进行测试, 通过沥青旋转黏度试验和变温击实马歇尔试验确定最佳成型温度, 根据规范对 SMA-13 型混合料按照最佳拌合及成型温度制作马歇尔试件, 测定各项指标。结果显示: 掺入 AH-1 和 Sasobit 均增加了 SBS 改性沥青的软化点, 减小了延度和针入度; 4% 的 AH-1 比普通热拌沥青混合料的拌合温度降低 25℃, 且降温效果比 Sasobit 要好; AH-1 增加了沥青混合料的高温性能, 降低了混合料的低温和水稳性能, 但仍然满足规范要求。

关键词: 温拌剂; 降温效果; 黏温曲线; 空隙率; 最佳击实温度

中图分类号: U416.217

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0224-05

0 引言

传统热拌沥青混合料的拌合温度在 140 ~ 190℃ 之间, 造成了大量的温室气体排放。同时, 不断上涨的能源价格、全球变暖和更严格的环境法规导致人们对温拌沥青(WMA)技术越来越感兴趣。温拌沥青混合料因为其低排放量、无污染、绿色环保等优点成为目前国内外研究的重点课题。使用 WMA 黏合剂可降低混合料的拌合和压实温度, 提高施工便利性, 从而降低因高温加热而产生的燃油消耗和排放。国外在 1995—1999 年开始了第一次温拌沥青混合料的实验路铺筑^[1]。传统的温拌剂主要包括微晶蜡, 在沥青混合料拌合过程中作为外加剂添加到沥青中^[2-4]。由于微晶蜡的加入, 可以降低沥青混合料拌合温度的同时, 通过冷却时固化成为均匀分布的微颗粒来增加沥青混合料的刚度。此外, 市面上常见的 Sasobit 降黏剂也可以使沥青的黏度下降, 提高沥青混合料的高温稳定性, 但是将劣化沥青混合料的抗水损害能力和低温抗裂性能^[5-6]。另一方面, 化学改性剂 Evotherm 也是温拌改性沥青的研究热点。化学改性剂 Evotherm 可以用作乳化剂或者界面结合剂, 与表面活性剂、高分子聚合物改性剂组合可以提高沥青混合料的界面结合性能、更高的施工和易性和有效降低拌合温度。但是 OMR 等^[7]研究表明, 在温拌沥青混合料中使用 Evocotherm 改性剂将导致

沥青混合料的弹性模量和拉伸强度下降。

由于现阶段的温拌沥青技术还存在一些问题以及造价方面的原因, 推广受到限制^[8-10]。本研究采用自行研发的 AH-1 温拌剂与 Sasobit 进行对比, 对其路用性能进行评价。研究结果为道路节能减排技术提供了技术参考, 以促进有机降黏剂在道路养护行业的发展。

1 实验部分——温拌沥青材料

(1) 沥青。本研究采用中石化东海 SBS 改性沥青。

(2) 温拌改性剂。本公司自行研发的 AH-1 温拌剂, 主要成分为轻质油机三种非离子型表面活性剂复合而成, 是合成长链饱和碳氢化合物的混合物, 次要成分是脂类物质。碳链长度位于 12-19, HLB 为 4-8。

Sasobit 是降黏型温拌剂, 白色或淡黄色固体, 具有较细的晶体结构。AH-1 与 Sasobit 具有类似的温拌作用效果, 通过升温将改变沥青内部四组分含量, 增加沥青内部轻质组分比例, 从而达到降温效果^[11]。Sasobit 示意图和 AH-1 温拌剂示意图分别如图 1、图 2 所示, 对应技术指标见表 1。



图 1 Sasobit 示意图

收稿日期: 2022-02-26

作者简介: 赵林飞(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事道路路面铺装养护工作。



图 2 AH-1 温拌剂

表 1 温拌剂物理指标

名称	表观形态	密度(25℃)/(g·cm ⁻³)	闪点/熔点/℃	黏度(20℃)/(mPa·S)
AH	棕黑色液体	0.87	260	270
Sasobit	白色固体颗粒	0.93	103	—

(3)集料与级配组成。集料选用玄武岩,本文热、温拌混合料拟采用 SMA-13 级配进行马歇尔试验。其中,SMA-13 级配组成取规范中值,最佳油石比为 4.5%,级配见表 2。级配曲线如图 3 所示。

表 2 SMA-13 级配组成

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
	规范	100	90~100	50~75	20~34	15~26	14~24	12~20	10~16	9~15
目标	100	95	62.5	27	20.5	19	16	13	12	10

SBS 改性沥青中,Sasobit 按 5%的掺量加入,均在 160℃左右用高速剪切机在 1 000 r/min 下搅拌 20min,保证 AH-1 和 Sasobit 充分融入到沥青之中。对 SBS 改性沥青掺量(3%、4%、5%AH-1)、SBS 改性沥青+5%Sasobit 和未做添加的 SBS 改性沥青进行常规性能测试,测试结果见表 3。

表 3 温拌沥青常规性能指标

沥青种类	针入度 25℃/0.1 mm		软化点 /℃		延度 /mm	
	测值	降低比例	测值	升高比例	测值	降低比例
SBS	58	0%	67.7	0%	33.1	0%
SBS+3%AH-1	51	12.1%	71.3	5.3%	25.4	23.3%
SBS+4%AH-1	45	22.4%	80.2	18.5%	20.3	38.7%
SBS+5%AH-1	40	31.0%	93.7	38.4%	16.2	51.1%
SBS+5%Sasobit	33	43.1%	101.6	50.1%	7.3	77.9%

由表 3 可知,AH-1 和 Sasobit 对 SBS 改性沥青的常规性能影响较为显著。随着 AH-1 温拌剂掺量的增加(3%、4%、5%),SBS 改性沥青的针入度从 58 mm 分别下降为 51 mm、45 mm、40 mm,最大下降幅度达 43.1%。表明 AH-1 对 SBS 改性沥青的稠度具有一定的影响,AH-1 冷却后生成的微晶蜡导致针入度的

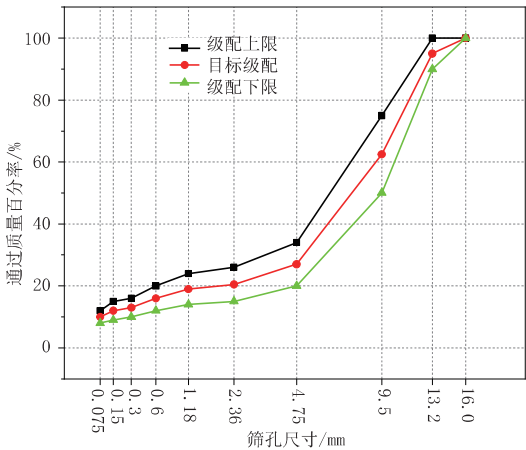


图 3 SMA-13 级配曲线

(4)纤维。选用市面上常见的短切玄武岩纤维,其高模量和较大的表面积成为沥青增强材料的重要部分,选用掺量为 4%。

2 温拌剂对沥青性能的影响

2.1 温拌剂对沥青常规性能的影响

将 AH-1 分别按 3%、4%和 5%的掺量加入到

下降。另外,随着 AH-1 掺量的增加,SBS 改性沥青的软化点逐步提升,从 67.7℃上升至 93.7℃,上升幅度达 38.4%。软化点指标一定程度反映了 SBS 改性沥青的高温性能,即 AH-1 的加入显著提升了 SBS 改性沥青的温度稳定性。最后,随着 AH-1 的加入,其延度从 33.1 mm 下降至 16.2 mm,下降幅度达 51.1%。表明 AH-1 SBS 改性沥青冷却后,内部均匀的微晶蜡将作为外来异物影响沥青的整体性,导致其内部出现应力集中点,劣化延度指标。与此同时,相较于同等掺量的 Sasobit,AH-1 对 SBS 改性沥青的劣化程度较小。

2.2 温拌剂对沥青黏度的影响

有机降黏剂的主要工作原理是降低沥青的黏度以满足降温效果。

在 120℃、135℃、150℃、165℃和 180℃等 5 种不同温度下,根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)^[12]要求,对上述掺量的 SBS 改性沥青进行布什黏度试验,以基质原样沥青作为对照组,分析温拌剂对 SBS 改性沥青黏度的影响。为尽可能避免试验误差,每组掺量试件取 3 个平行试

件结果,试验结果如图 4 所示。

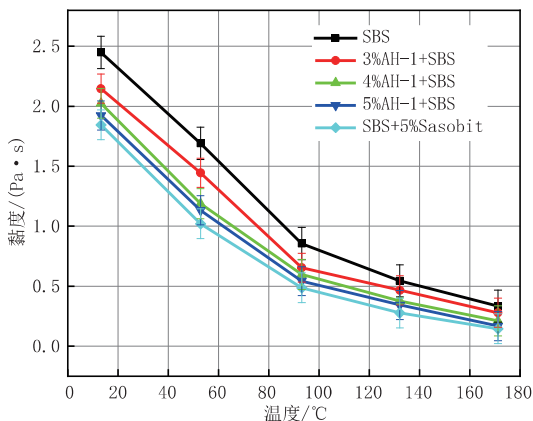


图 4 温拌 SBS 改性沥青黏温曲线

由图 4 可知,在相同温度下,随着 AH-1 温拌剂掺量的升高,其 SBS 改性沥青黏度在不断下降,且下降幅度逐渐加快。在 150℃下,5%AH-1 SBS 改性沥青的黏度为 0.52 Pa·s,与 SBS 改性沥青 0.77 Pa·s 相比,下降了 0.25 Pa·s,下降幅度达 24.7%。且 4%AH-1 的降黏效果与 5%Sasobit 降黏剂降黏效果相当,说明 AH-1 温拌剂的降黏效果比 Sasobit 要好。另外,随着温度的升高,两种温拌剂的降黏效果在不断减弱。当温度超过 160℃,两者的黏温曲线下下降速率趋近于 0。其原理为,随着温度的升高,两种有机降黏剂内部的极限基团,如 C=O 基团与沥青中胶质的结合能力下降,轻质组分比例变化程度不大,故效果不明显。我国现行的规范标准将 0.17Pa·s ± 0.02 Pa·s 时的温度作为基质沥青混合料的拌合温度范围,将 0.28Pa·s ± 0.03 Pa·s 时的温度作为压实成型的温度;对于 SBS 改性沥青混合料的拌合和成型温度应该根据施工现场实际情况和当地条件确定^[11]。因此,需要进一步采用其他技术指标对比两款温拌剂对 SBS 改性沥青的温拌效果,本文采用体积指标法确定最佳成型温度。

3 温拌剂对沥青混合料性能的影响

3.1 温拌沥青混合料的降温效果

对于沥青混合料而言,在拌合及成型过程中的空隙率指标十分重要,将极大影响沥青混合料的力学性能和路用性能^[13]。将不同掺量和种类的温拌 SBS 混合料与热拌 SBS 混合料分别在 140℃、150℃、160℃、170℃下,通过马歇尔标准击实试验击实成型,利用等体积原则,采用等空隙率作为控制指标,比较 AH-1 温拌剂的降温效果^[14]。试验结果如图 5 所示。

由图 5 可知,随着成型温度的升高,无论何种掺

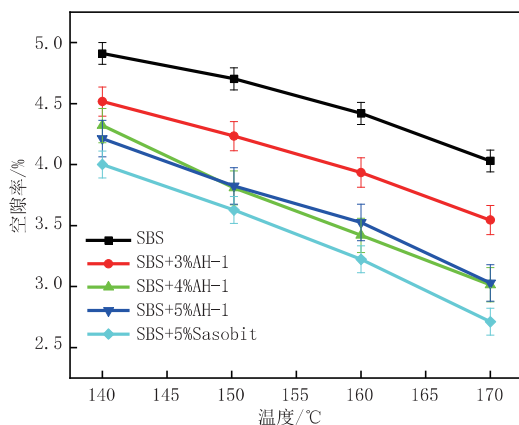


图 5 混合料空隙率与成型温度的关系

量的 AH-1 或 Sasobit 温拌剂,空隙率都在逐渐下降。在 150℃的温度下,添加 3%、4%、5%AH-1 的 SBS 改性沥青较基质 SBS 沥青的空隙率从 4.72%下降为 4.24%、3.84%、3.75%。添加 4%AH-1 温拌剂在相同温度下对空隙率的降低效果与 5%掺量的 Sasobit 相当,都明显低于 SBS 改性沥青。从空隙率角度发现,AH-1 温拌剂比 Sasobit 具有更好的降温效果。《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)规定,要求 SMA 混合料马歇尔试件的空隙率为 3%~4%,故以 4%的空隙率作为控制指标。由此可以看出,在等体积原则下,加入 5%Sasobit 的温拌沥青混合料可以降温 25℃,加入 4%AH-1 与加入 5%Sasobit 的降温效果相当,加入 5%的 AH-1 可以降温 30℃,说明 AH-1 温拌剂不仅降温效果比 Sasobit 好,且掺量较低、造价小,具有很好的应用潜力。

通过不同掺量温拌剂 AH-1 和 Sasobit 对 SBS 常规性能(针入度、延度、软化点)、布什黏度和压实特性空隙率等指标的系统分析,发现两种温拌剂对 SBS 改性沥青均有较好的降温效果,且 4%AH-1 的降温效果与 5%Sasobit 的降温效果一样。

3.2 温拌沥青混合料的高温稳定性

车辙试验作为我国评价沥青混合料高温性能最普遍的手段被研究者广泛使用。本文采用车辙试验研究混合料质量比不同掺量(3%、4%、5%)AH-1 的 SBS 沥青和 5%Sasobit SBS 改性沥青高温稳定性的影响。其中,车辙试验条件为:轮压 0.7 MPa ± 0.05 MPa,实验温度为 60℃ ± 1℃,轮碾速度为 42 次/min,记录加载 45 min 和 60 min 的车辙深度。

以动稳定度作为试验结果,计算公式如下:

$$DS = \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times N \times C_1 \times C_2 \quad (1)$$

式中:DS 为动稳定度(次/mm); t_2 、 t_1 为试验时间, t_1 =

45 min, $t_2 = 60$ min; d_1 、 d_2 为 t_1 、 t_2 时间对应的车辙深度(mm); N 为碾压速率, 本文取 42 次/min; C_1 、 C_2 分别为试验机类型系数和试件系数, 本文均取 1。

每组混合料作 3 次平行试验, 取 3 次试验的平均值作为最终试验结果。

测试结果如图 6 所示。

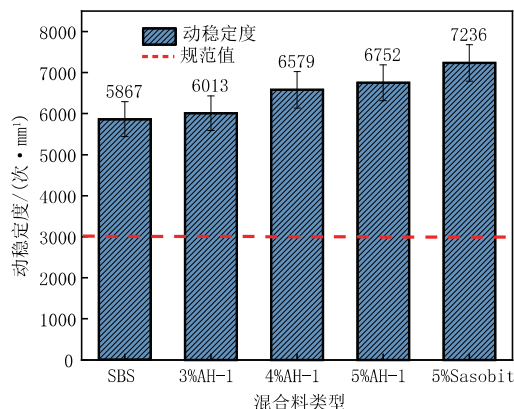


图 6 车辙试验结果

由图 6 可知, AH-1 温拌剂和 Sasobit 均能显著提高 SBS 改性沥青的动稳定度, 增加其高温稳定性。随着 AH-1 掺量的增加(3%、4%、5%), SBS 改性沥青混合料的动稳定度从 5 867 次/mm 提升至 6 013 次/mm、6 579 次/mm、6 752 次/mm, 提升幅度达 2.48%、12.13%、15.10%。而 5% Sasobit SBS 改性沥青混合料的动稳定度为 7 236 次/mm, 较 SBS 改性沥青提升幅度达 23.33%。分析认为, 在温度较高时, 两种温拌剂均在沥青中析出微晶蜡三维加固结构, 阻止了沥青混合料界面之间的相对滑移, 从而提高了沥青混合料的抗车辙性能。与此同时, Sasobit 温拌剂的高温改性作用比同掺量下的自制 AH-1 作用更好, Sasobit 的高温性能提高效果较 AH-1 更为明显。

3.3 温拌沥青混合料的低温开裂性能

通常采用沥青混合料弯曲试验测试沥青混合料的低温性能。试验温度为 $-10^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 加载速率为 50 mm/min。记录荷载-位移曲线并计算弯拉强度和弯拉应变。

计算公式如下:

$$R_B = \frac{3LP_B}{2bh^2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_B = \frac{6bd}{L^2} \quad (3)$$

$$S_B = \frac{R_B}{\varepsilon_B} \quad (4)$$

式中: R_B 为试件的抗弯拉强度(MPa); ε_B 为试件的最

大弯拉应变 ($\mu\varepsilon$); S_B 为试件破坏时的弯曲劲度模量(MPa); b 为试件的宽度 (mm); h 为试件的高度 (mm); L 为试件的跨径(mm); P_B 为试件破坏时的最大荷载(N); d 为试件破坏时的跨中挠度(mm)。

每组混合料作 3 次平行试验, 取 3 次试验的平均值作为最终试验结果。

实验结果如图 7 所示。

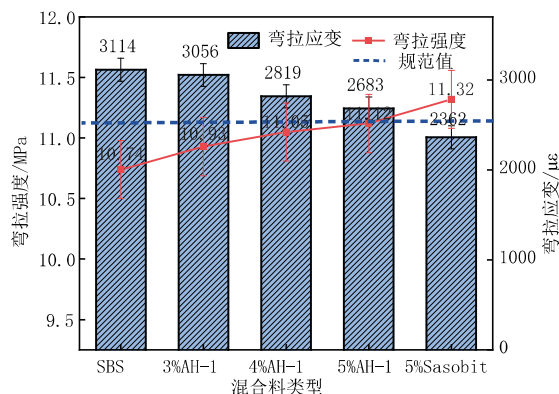


图 7 低温弯曲试验结果

如图 7 所示, AH-1 温拌剂和 Sasobit 的加入都对 SBS 改性沥青的低温抗裂性能有劣化影响。

随着 AH-1 掺量的增加(3%、4%、5%), SBS 改性沥青混合料的弯拉应变从 3 114 $\mu\varepsilon$ 下降至 3 056 $\mu\varepsilon$ 、2 819 $\mu\varepsilon$ 、2 683 $\mu\varepsilon$, 下降幅度达 1.86%、9.47%、16.06%。而 5% Sasobit SBS 改性沥青混合料的弯拉应变为 2 362 $\mu\varepsilon$, 较 SBS 改性沥青下降幅度达 24.14%。弯拉应变代表沥青混合料抵抗开裂的能力, 其弯拉应变越小, 沥青混合料越硬, 低温抗裂性能越差。分析认为, 有机降黏剂中含有微晶蜡的成分结晶将劣化 SBS 混合料低温性能。与此同时, Sasobit 的降低幅度明显大于 AH-1, 且低于规范值 2 500 $\mu\varepsilon$, AH-1 虽然对沥青混合料的低温性能有不利影响, 但仍然满足规范要求。

3.4 温拌沥青混合料的水稳定性

沥青混合料的水稳定性采用浸水马歇尔残留稳定度进行测定。其中一组马歇尔试件在 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 条件下保温 30 min, 测试其稳定度记为 MS ; 另一组置于 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 条件下保温 48 h, 测试试件的马歇尔稳定度记为 MS_1 , 根据式(5)计算浸水残留稳定度 MS_0 。

$$MS_0 = \frac{MS_1}{MS} \times 100 \quad (5)$$

式中: MS_0 为浸水残留稳定度(%); MS 为水浴 30 min 的马歇尔稳定度(kN); MS_1 为水浴 48 h 的马歇尔稳定度(kN)。

每组混合料做 3 次平行试验,取 3 次试验的平均值作为最终试验结果

实验结果如图 8 所示。

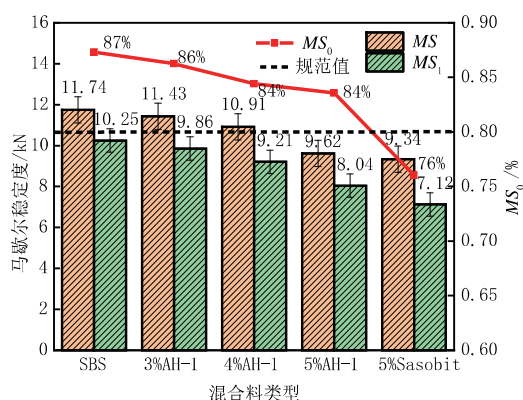


图 8 浸水马歇尔残留稳定度

如图 8 所示,AH-1 温拌剂和 Sasobit 的加入都对 SBS 改性沥青的抗水损害性能有劣化影响。随着 AH-1 掺量的增加(3%、4%、5%),SBS 改性沥青混合料的浸水马歇尔稳定度从 10.25 kN 下降至 9.86 kN、9.21 kN、8.04 kN,下降幅度达 3.81%、10.14%、21.56%。而 5%Sasobit SBS 改性沥青混合料的浸水马歇尔稳定度为 7.12 kN,较 SBS 改性沥青下降幅度达 30.53%。另外,AH-1 掺量(3%、4%、5%)和 5% Sasobit 的浸水残留物稳定度分别为 86.2%、84.4%、83.5%、76.2%,较 SBS 改性沥青混合料的浸水残留物稳定度 87.3% 分别下降了 1.0%、2.8%、3.7% 和 11.1%。说明加入 AH-1 温拌剂或者 Sasobit 会对沥青混合料的水稳定性产生不利影响,尤其是掺加了 5%Sasobit 的温拌沥青混合料,其浸水马歇尔残留稳定度比低于规范要求,需要采取一定的抗水损害措施。

4 结 语

(1)AH-1 和 Sasobit 对沥青的常规性能有很大影响,两者均对沥青的高温性能有改善作用,对沥青的低温性能有不利影响,且 Sasobit 的影响程度较 AH-1 大。

(2)AH-1 和 Sasobit 均能大幅度降低沥青的高

温黏度,4%掺量的 AH-1 与 5%掺量的 Sasobit 降黏效果相当,但采用黏温曲线确定 SBS 温拌沥青的拌合和成型温度不可靠。从经济效益上确定 4%AH-1 作为最佳温拌剂种类和掺量。

(3)通过等体积法确定 4%AH-1 温拌沥青混合料比原样沥青混合料的拌合和成型温度低 25℃,与 5%Sasobit 的降温效果相近,但 AH-1 温拌沥青混合料高温稳定性优于 Sasobit。同时,AH-1 对低温抗裂性能的劣化程度相对较小,且满足规范使用要求。后续将对 AH-1 SBS 温拌改性沥青的低温性能作相应的改善。

参考文献:

- [1] 于江,张飞,王克新,等.温拌沥青混合料技术研究分析[J].公路工程,2015,40(2): 80-82,131.
- [2] 夏漾,曾梦澜,朱沅峰,等.掺 Sasobit 的温拌沥青混合料路用性能试验研究[J].公路工程,2009,34(2): 22-26.
- [3] 季节,罗晓辉,徐世法.Sasobit 改性沥青的结构与性能研究[J].中国公路学报,2011,24(5): 18-25.
- [4] 孔令云,徐燕,成志强.基于表面能的 Sasobit 影响 WMA 劈裂强度机理研究[J].建筑材料学报,2015,18(4): 669-673.
- [5] 李伟.两类温拌剂 SBS 沥青混合料路用性能研究[J].中外公路,2016,36(1): 293-298.
- [6] 黄刚,张霞,黄涛.基于降黏与表面活性的温拌沥青及混合料性能对比[J].重庆交通大学学报,2017,36(10): 37-44.
- [7] Cheraghian G, Falchetto A C, You Z, et al. Warm mix asphalt technology: An up to date review[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 268: 122128.
- [8] 李源渊,宋晓燕,周卫峰,等.温拌剂对沥青及沥青混合料性能的影响研究[J].中外公路,2012,32(4): 311-315.
- [9] 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,2014,36(3): 53-58.
- [10] 范群保,谢东,焦丽亚. LF-2 温拌剂降温效果研究[J].公路,2017,11: 25-29.
- [11] 王恕超.温拌沥青改性机理及评价方法研究[D].西安:长安大学,2010.
- [12] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [13] 赵黎明,颜加俊,段冲.表面活性类温拌剂降温效果评价方法研究[J].公路,2016,12: 210-213.
- [14] 侯晓晶. Sasobit 对高模量沥青混合料压实特性和路用性能的影响[J].公路工程,2017,42(2): 291-295,308.