

不同类型温拌剂对沥青胶结料指标及混合料性能影响研究

季正军¹, 王光勇¹, 田璐², 孙岳¹

¹山东省交通科学研究院, 山东 济南

²山东泰山路桥工程公司, 山东 泰安

Email: 408798688@qq.com

收稿日期: 2020年11月8日; 录用日期: 2020年11月23日; 发布日期: 2020年11月30日

摘要

传统的热拌沥青混合料施工温度高, 加热各种材料需耗费大量能源, 对环境造成污染的同时也违背了节能减排的理念。本文选用国内较为常见的两种不同类型温拌剂, 分别制备基质与改性温拌沥青胶结料, 通过温拌沥青性能指标试验结果, 对其降温和降粘机理进行分析, 确定温拌剂的最佳掺量。进行了温拌沥青混合料设计, 确定不同温拌剂的成型温度, 并进行了温拌沥青混合料的路用性能研究。

关键词

温拌剂, 胶结料性能指标, 成型温度, 路用性能

Study on the Influence of Different Warm Agents on Asphalt Binder Index and Mixture Performance

Zhengjun Ji¹, Guangyong Wang¹, Lu Tian², Yue Sun¹

¹Shandong Transportation Institute, Jinan Shandong

²Shandong Taishan Road and Bridge Engineering Company, Tai'an Shandong

Email: 408798688@qq.com

Received: Nov. 8th, 2020; accepted: Nov. 23rd, 2020; published: Nov. 30th, 2020

Abstract

Traditional hot mix asphalt mixture construction temperature is high, heating all kinds of materials need to consume a lot of energy, causing environmental pollution, but also against the con-

cept of energy conservation and emission reduction. In this paper, two different types of warm agents are used in China to prepare matrix and modified warm mix asphalt binder respectively. Through the performance index test results of warm mix asphalt, the cooling and viscosity reduction mechanism is analyzed to determine the optimal amount of warm mix. The design of warm mix asphalt mixture was carried out, the forming temperature of different warm mix was determined, and the pavement performance of warm mix asphalt mixture was studied.

Keywords

Warm Agents, Performance Index of Cementing Material, Mold Temperature, Pavement Performance

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在高速公路建设中, 沥青路面基于其良好的路用性能得到广泛的应用。目前, 沥青路面大部分采用传统的热拌施工模式, 其中, 70#基质沥青混合料的拌和温度达到 $150^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$, 现场施工温度达到 145°C 以上, 改性沥青混合料的拌和温度达到 $175^{\circ}\text{C}\sim 185^{\circ}\text{C}$, 现场施工温度达到 165°C 以上。如此之高的生产温度, 不仅消耗了大量的资源, 对环境造成了污染, 同时高温加热沥青产生的有毒气体会对现场施工人员的身体健康带来负面影响[1]。

基于资源节约型、环境友好型社会建设的理念, 节能减排和环境保护被提升到一个新的高度。热拌沥青混合料的劣势越来越突出, 亟需通过降粘技术将沥青混合料从热拌向温拌转变。国外对于温拌技术的研究已经相对成熟, 为我们提供了丰富的经验和很好的借鉴意义, 但是, 基于各国国情不同、温拌技术不同、生产和施工工艺不同, 国内仍需要对温拌技术进行研究和改进, 以达到适用性[2]。本文针对温拌剂对沥青胶结料的指标影响、温拌剂的掺配比例以及温拌沥青混合料的成型温度、压实功、路用性能等几个方面进行进一步研究。

2. 温拌沥青胶结料性能指标研究

本文选用两种温拌产品类型, 分别为 Sasobit (Sa)温拌剂和 Leadcap (Le)温拌剂, 研究了不同掺量温拌剂对沥青性能指标的影响, 同时根据试验结果确定了两种温拌剂的最佳掺量。

其中, 基础沥青选用中海 A 级 70 号沥青和 I-D 型 SBS 改性沥青, 指标见表 1。

Table 1. Conventional index of base asphalt

表 1. 基础沥青常规指标

指标项目	70 沥青	SBS 改性沥青
25℃针入度, 0.1 mm	67	54
软化点, °C	46	74
5℃延度, cm	/	35
10℃延度, cm	/	/
60℃粘度, Pa.s	201	/
135℃粘度, Pa.s	/	3

Continued

	闪点, °C	344	330
	密度, g/cm ³	1.037	1.033
	质量变化, %	0.03	-0.06
TFOT	残留针入度比, %	67	83
	残留延度, cm	9@10°C	25@5°C

根据厂家提供的添加范围, Sa 按照 1%、2%、3%、4% 掺量进行沥青混兑, Le 按照 1.5%、2% 掺量进行沥青混兑。

1) Sasobit 对基质沥青性能指标的影响

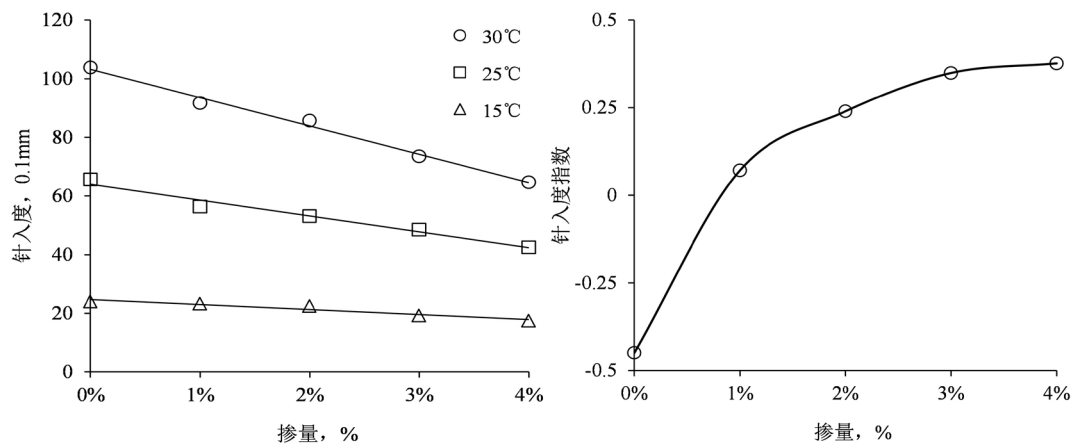


Figure 1. Changes of penetration index and penetration index of Sa with different content

图 1. 不同掺量 Sa 时针入度与针入度指数的变化

由图 1 可看出, 随着 Sa 温拌剂掺量的增加, 15°C、25°C、30°C 三个温度下的针入度均呈现出递减的趋势, 针入度的降低幅度从大到小依次为 30°C > 25°C > 15°C。随着 Sa 温拌剂掺量的增加, 针入度指数呈现出递增的趋势, 掺量 1% 时增幅较大, 之后增幅趋于平稳。可以看出, 掺加 Sa 温拌剂之后, 沥青标号已经降低。

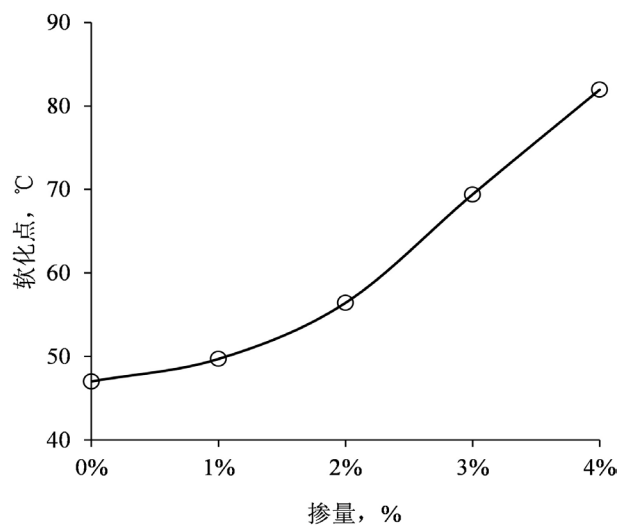


Figure 2. Change of softening point with different content of Sa

图 2. 不同掺量 Sa 时软化点的变化

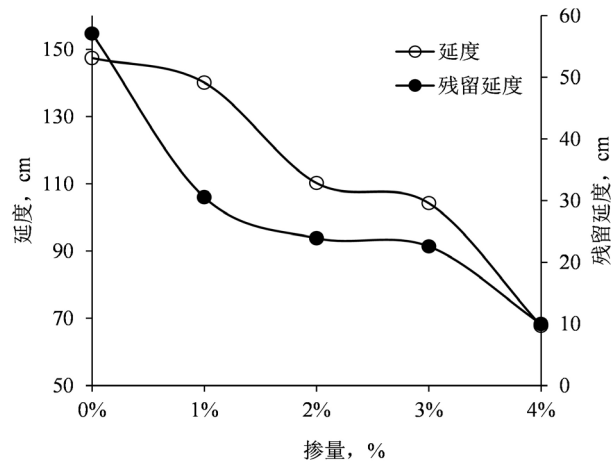


Figure 3. Change of 15°C ductility with different content of Sa
图 3. 不同掺量 Sa 时 15°C 延度的变化

由图 2 可以看出, 软化点指标随着 Sa 温拌剂掺量的增加呈现出增大的趋势, 综合考虑针入度的变化规律, 表明 Sa 温拌剂对沥青的高温性能有一定的提升。由图 3 可以看出, 15°C 延度、残留延度均随着 Sa 温拌剂掺量的增加有所降低, 当 Sa 掺量达到 4% 时, 15°C 延度值已经超出规范范围, 表明 Sa 温拌剂对沥青的低温指标影响系数较大。

因此, 综合考虑 Sa 温拌剂对基质沥青针入度、延度、软化点的影响规律, 保证沥青性能满足各项技术指标要求, 初步给定 Sa 温拌剂掺量控制在 3% 以内。

2) Leadcap 对基质沥青性能指标的影响

Le 作为韩国产的一种温拌剂, 与 Sa 温拌剂的分子结构有所区别, 也注定了两种温拌剂对沥青的性能有着不同的影响。为探讨 Le 对沥青性能指标的影响, 本文选取 1.5% 和 2% 两个不同掺量, 分别测定两个掺量下基质沥青的指标性能变化。检测结果如下。

由图 4 可以看出, 随着 Le 温拌剂掺量的增加, 基质沥青针入度逐渐降低, 但是软化点趋于平稳, 变化并不大, 可见掺加 Le 温拌剂对基质沥青的高温性能影响不大。由图 5 可以看出, 通过 Le 温拌剂对延度的影响图可看出, Le 温拌剂可显著提高基质沥青的 10°C 延度, 但随着掺量的增加并没有呈现出一定的趋势规律。另外, Le 温拌剂对基质沥青的 15°C 延度作用并不明显, 随着掺量增加其数值基本保持不变。因此, 综合 Le 温拌剂对基质沥青指标性能的影响, 初步给定掺量为 1.5%。

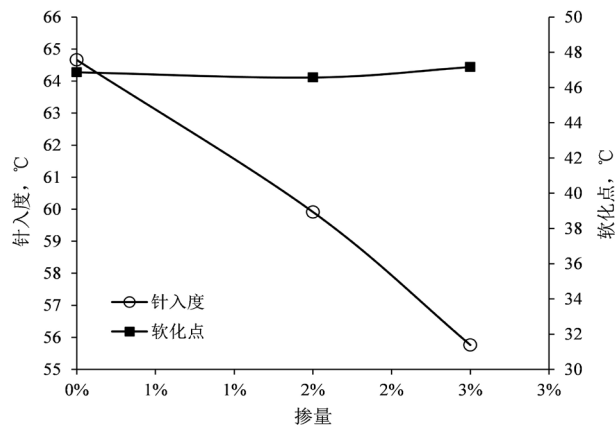


Figure 4. Effect of Le on penetration and softening point
图 4. Le 对针入度和软化点的影响

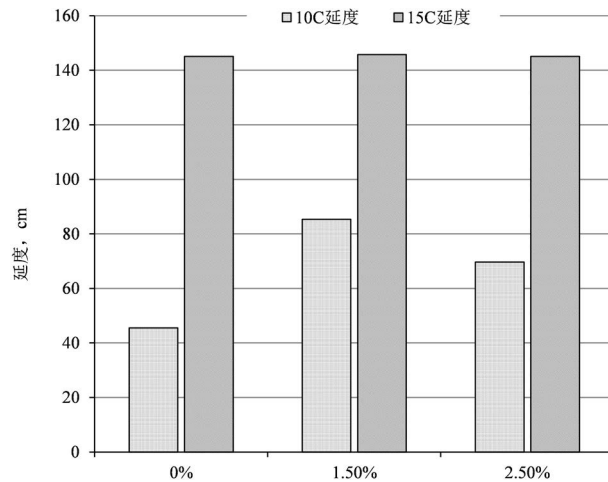


Figure 5. Effect of Le on ductility
图 5. Le 对延度的影响

3) 两种温拌剂对 SBS 改性沥青性能指标的影响

前面两节已经针对温拌剂对基质沥青指标的影响规律进行了研究，并初步给出了温拌剂建议掺量。本节将参考两种温拌剂的建议掺量，研究温拌剂对 SBS 改性沥青性能指标的影响。表 2 为参加不同种、不同量温拌剂后 SBS 改性沥青性能指标的试验结果。

Table 2. Test results of SBS modified asphalt mixed with warm mix agent

表 2. 掺加温拌剂的 SBS 改性沥青试验结果

项目	针入度/0.1 mm	软化点/°C	5°C 延度/cm
SBS 原样	48	84	31
SBS + Sa	42	80	13
SBS + Le	50	74	32
I-D 技术要求	40~60	≥60	≥20

注：Sa 温拌剂掺量为沥青质量的 3%；Le 温拌剂为沥青质量的 1.5%。

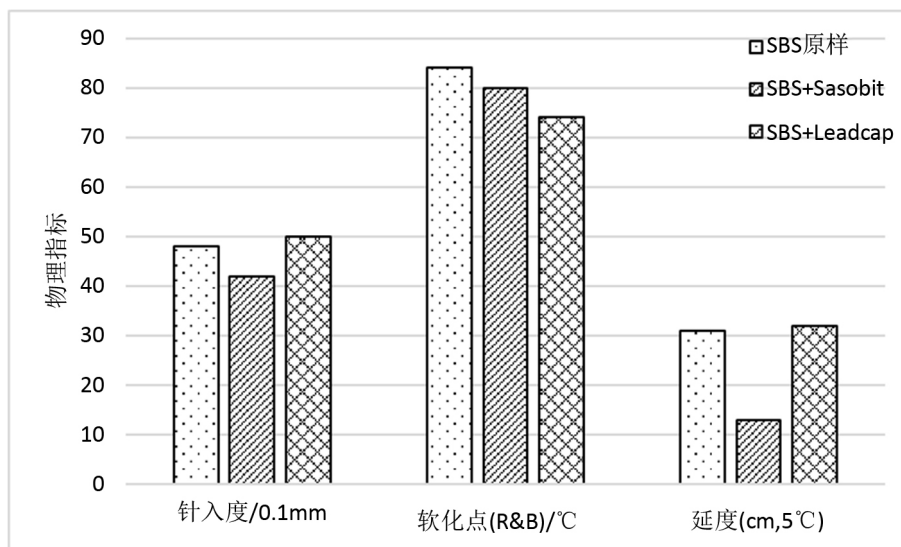


Figure 6. Effect of warm mix agent on SBS modified asphalt index
图 6. 温拌剂对 SBS 改性沥青指标的影响

由对比图 6 可知：当基础沥青为 SBS 改性沥青时，两种温拌剂对沥青常规指标的影响有所不同。针入度方面，Le 温拌剂提高了基础沥青的针入度，而 Sa 温拌剂则降低了沥青的针入度；软化点方面，两种温拌剂都不同程度上降低了基础沥青的软化点，其中 Le 温拌剂对沥青软化点的降低幅度较大；延度方面，Le 温拌剂对 SBS 改性沥青的延度影响不明显，而 Sa 则显著降低了改性沥青的延度。从这个角度来讲，Sa 温拌剂体现出与基质沥青一致的影响规律。

综上所述，Sa 温拌剂掺量为 3% 时，SBS 改性沥青的针入度和软化点有所降低，但均能满足技术指标要求，延度降低幅度较大，已超出规范范围，因此，Sa 温拌剂与 SBS 改性沥青配伍时，建议适当降低其掺量至 2%。Le 温拌剂对 SBS 改性沥青的粘度有一定的降低作用，提高了针入度指标，降低了软化点指标，延度指标与原样 SBS 改性沥青基本一致，因此，Le 温拌剂与 SBS 改性沥青配伍时，建议其掺量为 1.5%。

3. 温拌沥青混合料设计

根据前一章节确定的最佳温拌剂掺量，制备温拌 SBS 改性沥青，进行沥青混合料的拌制，并进行路用性能研究。

3.1. 混合料级配设计

依照密级配 AC-20 进行热拌沥青混合料配合比设计，采用 Superpave 的设计方法，所用集料均为石灰岩，原材料各项技术指标满足规范要求。设计结果见表 3、图 7。

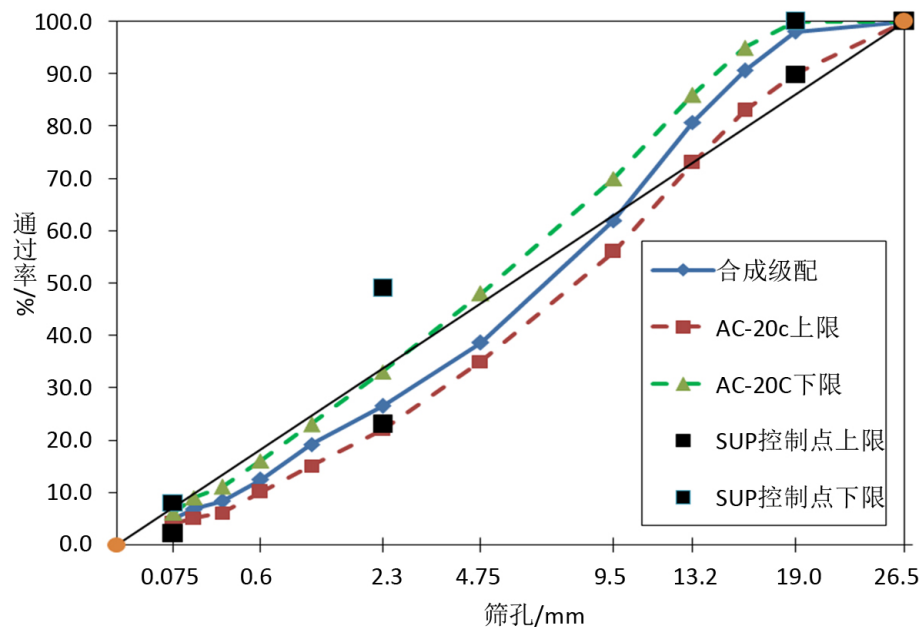


Figure 7. AC-20 composite grading curve
图 7. AC-20 合成级配曲线

Table 3. Design parameters of hot mix proportion
表 3. 热拌混合料配合比设计参数

体积指标	最佳沥青含量 OAC (%)	毛体积密度 γ_f (g/cm ³)	最大理论密度 γ_t (g/cm ³)	空隙率 VV (%)	矿料间隙率 VMA (%)	沥青饱和度 VFA (%)
数值	4.4	2.442	2.543	4.0	13.6	70.7

3.2. 温拌混合料成型温度的确定

根据相关研究表明, 温拌沥青混合料成型温度的确定可以借鉴热拌沥青混合料体积指标参数, 对温拌沥青混合料采用不同的成型温度, 在其混合料体积指标与热拌沥青混合料体积指标相同或相近时, 认为此时的成型温度适用于该种温拌剂[3] [4]。

空隙率是沥青混合料设计中最重要体积参数之一, 因此本文选择“旋转压实成型温度 - 空隙率”法确定温拌沥青混合料最佳压实温度, 即保证温拌沥青混合料与热拌沥青混合料具有相同的空隙率。采用旋转压实仪进行试件的成型, 来模拟实际施工过程中的压实状态[5]。试验具体步骤如下:

①进行热拌沥青混合料的试件制备, 成型温度控制在 160℃~165℃, 对试件进行体积指标测试, 测定空隙率为 4.0%。

②采用制备完成的温拌 SBS 改性沥青, 按照 125℃、135℃、145℃、155℃四个温度分别拌制温拌沥青混合料并成型[6], 每种温拌剂、每个温度分别成型 4 个试件, 测定每个试件的空隙率并计算其平均值, 结果见表 4。

Table 4. Void ratio of warm mix rotary compaction specimen

表 4. 温拌混合料旋转压实试件的空隙率

空隙率/%	压实温度及对应空隙率(%)			
	125℃	135℃	145℃	155℃
Sa 温拌	5.0	4.2	3.9	3.3
Le 温拌	5.1	4.4	3.8	3.2

注: 温拌混合料与热拌混合料均旋转压实 100 次, 沥青含量为 4.4%。

绘制出两种温拌剂在不同成型温度下的试件空隙率与成型温度曲线图, 如图 8 所示。

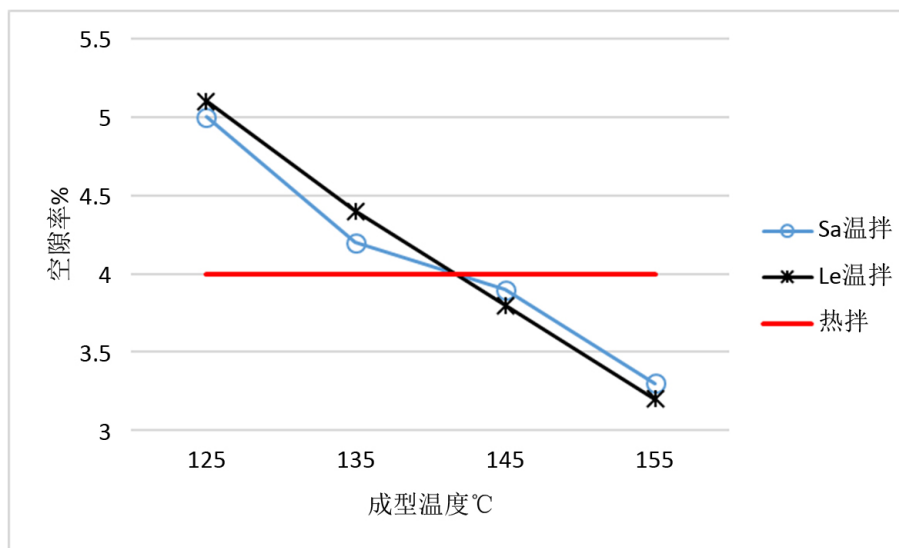


Figure 8. Voidity-temperature curve of warm mix asphalt mixture

图 8. 温拌沥青混合料空隙率-温度曲线

可以看出, 两种温拌沥青混合料的空隙率 - 成型温度曲线走势是一致的, 随着成型温度的升高, 试件空隙率呈现出接近线性的降低; 其中, Le 温拌沥青混合料试件空隙率下降幅度大于 Sa 温拌沥青混合

料, 印证了 Le 温拌剂对 SBS 改性沥青有一定的降粘作用; 通过空隙率 - 成型温度曲线图可看出, 两种温拌沥青混合料与热拌沥青混合料的试件空隙率相交于 135℃~145℃, 表明在这个温度区间内, 温拌沥青混合料的体积指标接近于热拌料; 为了保证温拌沥青混合料的性能指标稳定, 确定 Sa、Le 两种温拌沥青混合料最佳成型温度为 140℃~145℃。

4. 温拌沥青混合料路用性能

本节参照第 1、2 章节确定的两种温拌剂掺量及温拌沥青混合料的成型温度成型所需试件, 分别对不同温拌混合料的路用性能(高温稳定性能、低温抗裂性能、水稳定性)进行研究, 并与热拌沥青混合料性能进行对比[7] [8]。

4.1. 高温性能

在最佳成型温度下成型车辙板试件, 规格为 300 mm × 300 mm × 50 mm, 进行高温车辙试验, 试验温度为 60℃, 轮压为 0.7 MPa [9]。车辙试验结果如表 5 所示。

Table 5. Rutting test results
表 5. 车辙试验结果

类型	HMA	Sasobit	Leadcap
试验值(次/mm)	>6000	>6000	4950
规范[10]要求		>2800 次/mm	

注: HMA 代表热拌沥青混合料。

Sa 温拌沥青混合料的动稳定度 > 6000, Le 温拌沥青混合料的动稳定度为 4950, 二者均满足规范对热拌沥青混合料动稳定度的要求。Le 温拌沥青混合料的动稳定度与 HMA 相比降低了 18%, 而 Sa 温拌沥青混合料的动稳定度与 HMA 相当, 表明 Sa 温拌剂对沥青混合料的高温性能有利[11]。

4.2. 低温性能

低温抗裂性能采用低温弯曲试验来评价, 试验温度-10℃, 加载速率 50 mm/min, 试验仪器采用 UTM 万能试验机, 试件小梁尺寸为长 × 宽 × 高 = 240 mm × 30 mm × 35 mm。低温弯曲试验结果如表 6 所示。

Table 6. Low temperature bending test results
表 6. 低温弯曲试验结果

类型	HMA	Sasobit	Leadcap
破坏应变/($\mu\epsilon$)	2657	2350	2598
规范要求		>2500 $\mu\epsilon$	

由试验数据可知, 热拌沥青混合料的破坏应变为 2657, Le 温拌沥青混合料的破坏应变为 2598, 能够满足技术指标要求, 而 Sa 温拌沥青混合料的破坏应变较小, 低于规范标准。印证了沥青掺加 Sa 温拌剂后低温性能差的结论, 进一步表明, Sa 温拌混合料低温性能的提高需要适当降低 Sa 温拌剂的掺量[12] [13]。

4.3. 水稳定性

水稳定性评价采用冻融劈裂试验[14], 试验结果见表 7。

Table 7. Results of freeze-thaw splitting test
表 7. 冻融劈裂试验结果

类型	HMA	Sasobit	Leadcap
冻融劈裂强度比(TSR/%)	81.5	80	84
规范要求		>80%	

由试验结果可得, Sa 和 Le 两种温拌混合料的冻融劈裂强度比(TSR)均能满足规范技术指标要求, 且与热拌沥青混合料相当。

4.4. 汉堡轮辙试验

汉堡试验已经成为我国评价沥青混合料的水稳定性及抗车辙性能最为严酷的试验之一, 为进一步评价温拌沥青混合料在加载状态下的高温水稳定性能, 笔者对两种温拌沥青混合料进行了汉堡轮辙试验并与热拌沥青混合料进行了对比。试验试件均采用旋转压实仪成型, 试验结果见表 8。

Table 8. Results of Hamburg wheel rut test
表 8. 汉堡轮辙试验结果

试验项目	碾压 10,000 次变形(mm)	碾压 20,000 次变形(mm)	拐点(次/mm)
Sasobit	5.09	6.34	不出现拐点
Leadcap	4.61	5.67	不出现拐点
HMA	3.17	4.32	不出现拐点

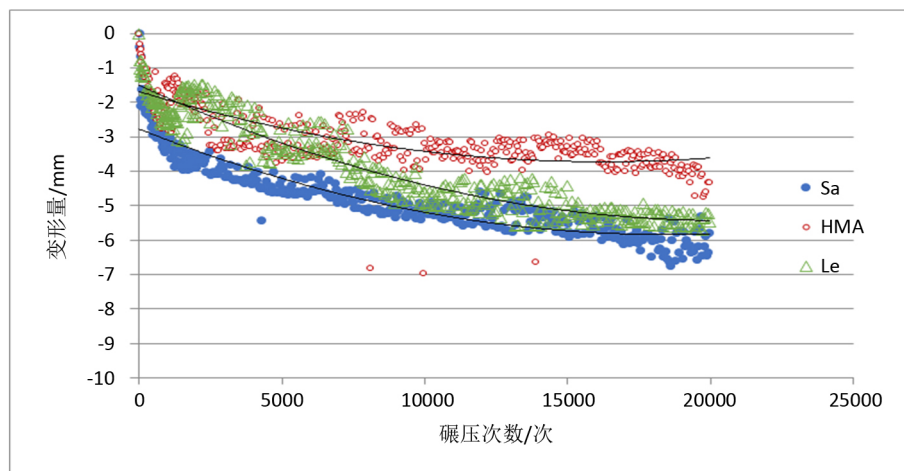


Figure 9. Hamburg wheel rut test curve
图 9. 汉堡曲线

三种沥青混合料的最大轮辙深度均满足技术指标要求; 由曲线图 9 可看出, Sa 和 Le 温拌沥青混合料的轮辙变形曲线与热拌沥青混合料基本一致, 且均未出现剥落拐点, 表明两种温拌沥青混合料中集料与沥青粘附性较好, 具有良好的抗水损害能力; 同样的碾压次数下, 两种温拌沥青混合料试件的变形量均大于热拌沥青混合料试件, 其中, Sa 温拌混合料试件的轮辙深度最大, 表明其高温状态下抗水损害能力较差。

5. 结论

1) 选用了两种温拌剂, 通过对不同掺量下沥青指标检测结果的分析研究, 论证了两种温拌剂对沥青

指标的影响规律,确定了两种温拌剂的最佳掺量。

2) 进行温拌沥青混合料的设计,选用“旋转压实成型温度-空隙率”法作为温拌沥青混合料成型温度的判定依据,结果表明,在 $135^{\circ}\text{C}\sim 145^{\circ}\text{C}$ 这个温度区间内,温拌沥青混合料的体积指标接近于热拌沥青混合料,为了保证温拌沥青混合料的性能指标稳定,确定Sa、Le两种温拌沥青混合料最佳成型温度为 $140^{\circ}\text{C}\sim 145^{\circ}\text{C}$ 。

3) Sa温拌沥青混合料高温稳定性较好,Le温拌沥青混合料低温抗裂性、抗水损害能力要优于Sa温拌沥青混合料;低温性能试验结果表明,Sa温拌混合料低温性能的提高需要适当降低Sa温拌剂的掺量;进行了汉堡轮辙试验,表明Le温拌沥青混合料高温状态下的抗水损害综合性能优于Sa温拌沥青混合料。

参考文献

- [1] 田锐敏. 温拌改性沥青及其混合料性能综合试验评价研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2019.
- [2] 柳浩, 张书芳, 等. 美国温拌沥青混合料技术考察综述[J]. 市政技术, 2009, 27(4): 332-333.
- [3] 周刚, 王庆, 孙潜, 刘秘强. 聚酯纤维温拌再生沥青混合料性能及压实温度研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019, 38(6): 55-60.
- [4] 王福满. 不同温拌剂对沥青性能及混合料降温效果影响研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2016.
- [5] 周燕, 陈拴发, 郑木莲, 等. 温拌沥青混合料压实特性研究[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(1): 63-64.
- [6] 陈伟, 王林, 胡宗文. 温拌SBS沥青混合料成型温度确定及水稳定性研究[J]. 公路, 2012(3): 118-119.
- [7] 季正军, 江照伟, 闫翔鹏, 夏雨. 温拌剂对沥青混合料性能影响分析[J]. 山东交通科技, 2020(1): 37-40+60.
- [8] 刘素梅, 周泽宁, 徐礼华, 卞欢. EC130温拌剂掺量对温拌沥青混合料性能影响研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2019, 52(5): 414-418+470.
- [9] JTG E20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [10] JTG F40-2004 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [11] 宋云连, 吕鹏, 张扬, 刘恒. 温拌沥青混合料高温性能试验研究[J]. 公路工程, 2018, 43(5): 69-73+180.
- [12] 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(自然科学版), 2017, 36(10): 37-44.
- [13] 李长成, 闫洁. 温拌剂沥青混合料的路用性能研究[J]. 公路, 2018, 63(12): 264-268.
- [14] 郭平, 祁峰, 弥海晨. 温拌沥青混合料的路用性能[J]. 长安大学学报自然科学版, 2010(3): 10-13.