

Honeywell 温拌剂在 SMA 沥青混合料中的 添加方法及性能研究*

宋小金^{1,2}, 樊亮^{3†}, 林江涛³, 李永振³

(1.湖南大学 土木工程学院,湖南 长沙,410082; 2.湖南中大建设工程检测设计有限公司,湖南 长沙,410205;
3.山东省交通科学研究院,山东 济南,250031)

摘要:基于 SMA-13 沥青混合料,对 Honeywell 温拌剂进行了干法、湿法工艺的路用性能评价,并与 SBS 改性沥青混合料进行了对比.结果表明,该温拌剂在湿法使用时,可以赋予基质沥青较高的模量和高温粘度,并在 30~65 °C 温度区间保持稳定粘弹性结构,降低沥青的温度敏感性.在干法使用时,该温拌剂可以在玄武岩颗粒表面形成裹附膜,有效提高沥青与玄武岩集料的粘附性等级;在采用基质 70 号沥青相同的生产温度下,干法添加 0.3% 的温拌剂生产的 SMA 混合料较好地满足了改性沥青混合料的相关要求,其路用性能与 SBS 改性沥青混合料相差不大,实现了一定的温拌效果.

关键词:温拌剂;沥青混合料;温拌效果;沥青-粘度;路用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

Applying Method and Performance Comparison of Honeywell Warm-mixed Additive in SMA Asphalt Mixture

SONG Xiaojin^{1,2}, FAN Liang^{3†}, LIN Jiangtao³, LI Yongzhen³

(1. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 2. Hunan Zhongda Construction Engineering Testing Co Ltd, Changsha 410205, China; 3. Shandong Transportation Institute, Ji'nan 250031, China)

Abstract: Based on SMA-13 asphalt mixture, the pavement performance of a kind of organic warm-mixed additive in dry and wet process was evaluated, and compared with that of SBS asphalt mixture. The experimental results show that the warm-mixed additive can be used as a modifier to give larger modulus and higher temperature viscosity, keep the stability of visco-elasticity structure in 30~65 °C ranges, and reduce the temperature sensitivity of neat asphalt. In dry-method application, after the surface pretreatment of basalt particles, this warm-mixed additive can effectively improve the cohesive grade between neat asphalt and aggregate. By using the same production temperature of neat asphalt, the SMA mixture with 0.3% warm-mixed additive production in dry process can meet the requirement of the modified asphalt mixture, get the pavement performance close to that of SBS asphalt mixture, and achieve a warm-mixing effect.

Key words: warm-mixed additive; asphalt mixture; warm-mixing effect; asphalt cohesive grade; pavement performance

* 收稿日期:2016-05-12

基金项目:山东省交通科技项目(2012Y01), Science and Technology Project of Transportation of Shandong Province(2012Y01)

作者简介:宋小金(1980—),男,山东荣成人,博士研究生,高级工程师

† 通讯联系人, E-mail: fanliang218@sina.com

近几年,沥青改性剂或添加剂技术层出不穷,新产品不断涌现,温拌剂即是其一.2010年,美国霍尼韦尔(Honeywell)公司宣布了一种用于沥青改性的新型聚合物温拌剂,其分子量在5 000~15 000之间,常温时为固体,在滴点温度115℃以上时发生液化,使用量为合成矿料质量的2%~3%之间,可适用于沥青改性也适用于沥青混合料干法生产中,具有降低施工温度、节能减排、性价比相对SBS改性剂高的优点^[1-2].国外研究表明,该类型温拌剂可以提升基质沥青的高温稳定性,并达到与SBS改性沥青一致的高温性能等级,且低温性能(低温蠕变劲度和蠕变速率)要优于SBS改性沥青和基质沥青;相对于传统热拌沥青混合料,SO₂排放量可减少82%,NO_x排放量减少43%,挥发性有机物VOCs减少19%,CO₂减少18%^[3].综合来看,这种改性剂具有一定的性能优势,国外的应用已具成效,我国还未对此进行太多关注.

Honeywell公司这种类型的温拌剂具有较低的滴点软化温度范围,且低于矿料的加热温度,所以这种温拌剂既适合拌合锅直投(干法)也适用于沥青的改性过程(湿法).根据这个特点,本文基于SMA-13型沥青混合料和70号道路沥青,对这种改性剂进行干法、湿法沥青混合料的生产 and 性能评价,结合常用的I-D型SBS改性沥青混合料进行综合性能对比,以探讨该改性剂的使用优势.

1 原材料

1.1 沥青与温拌剂

为了对比试验的需要,胶结料选用工地正常使

用的、满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)^[4]中I-D型的SBS改性沥青及A级道路石油沥青70号.Honeywell改性剂为7686型(简称H),为淡黄色粉末,粒度为5目,基本物理性质如表1所示,加热试验表明改性剂在160℃以上可完全液化,易流淌.

表1 Honeywell 7687 温拌剂基本物理特性

Tab.1 Basic physical properties of Honeywell 7687 type additives

Physical properties	Data
Penetration@25℃,0.1 mm	<0.5
Drop point/℃	137
Density/(g·cm ⁻³)	0.99
Rotation viscosity@150℃/(Pa·s)	4.5

1.2 集料、矿粉与纤维

SMA-13型混合料采用玄武岩质集料,其规格分别为10~15mm,5~10mm及0~3mm,填充料为石灰岩矿粉,材料产地为内蒙古大青山玄武岩料场,其物理性能指标满足JTGF40-2004规范中的相关技术要求.矿粉选择济南长青石灰岩质矿粉,洁净干燥,可以自由流淌.纤维为木质素纤维,其技术规格满足JTGF40-2004规范之规定.

2 试验安排

2.1 混合料合成与制备

按照三档集料的筛分结果,及《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)所规定SMA-13级配范围进行矿料组成设计,矿料配合比及合成级配通过率如表2和表3所示.

表2 SMA-13型沥青混合料矿料配合比

Tab.2 Mineral aggregates composition of SMA-13 type asphalt mixture

Aggregate type	10~15 mm	5~10 mm	0~3 mm	矿粉
Content/%	40	35	15	10

表3 SMA-13型矿料合成级配

Tab.3 Synthetic gradation of SMA-13 type mixture

Sieve size/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Synthetic gradation/%	100.0	96.2	64.4	25.1	20.9	17.1	14.3	12.8	12.1	10.5
Upper limit/%	100.0	90.0	50.0	20.0	15.0	14.0	12.0	10.0	9.0	8.0
Bottom limit/%	100.0	100.0	75.0	34.0	26.0	24.0	20.0	16.0	15.0	12.0
Media limit/%	100.0	95.0	62.5	27.0	20.5	19.0	16.0	13.0	12.0	10.0

表 4 SMA-13 型混合料生产参数
Tab.4 Applying parameters of SMA-13 type mixtures

Binder	Mixtype	Aggregate heating temperature/°C	Mixing temperature/°C	Compaction temperature/°C	Fiber content/%	H additive content ^① /%	Asphalt aggregate ratio ^② /%
SBS	Wet	190	170	165	0.3	—	6.1
70HD	Dry	175	155	145	0.3	0.3	6.1
70HW	Wet	175	155	145	0.3	0.3	6.1

注:①H 温拌剂掺量为合成矿料的质量分数,在湿法生产过程中,换算成沥青质量的 4.92% 进行改性沥青制备,而后进行沥青混合料的拌制。

②添加 H 温拌剂混合料的油石比,均是 70 号沥青与 H 温拌剂的质量总和与矿料质量的比值。

试验分别以 SBS 改性沥青、70+H 湿法(简称:70HW)、70+H 干法(简称:70HD)为胶结料,辅以 0.3% 的木质素纤维进行沥青混合料的拌制。参考 SBS 改性沥青在 SMA-13 混合料中的应用经验值,并为了利于三种沥青混合料的性能对比,采用马歇尔试验方法确定三种混合料的最佳油石比均为 6.1%。

三种沥青混合料的拌合压实按照表 4 参数进行,其中添加 Honeywell 温拌剂的混合料按照 70 号沥青粘温曲线得到施工温度进行混合料拌制,SBS 改性沥青按照厂家提供的参考温度进行。

2.2 性能评价试验

沥青试验主要对三种沥青(70 号、SBS 改性沥青、以及添加 H 温拌剂的沥青 70HW)的软化点、复数模量、相位角、高温粘度进行评价,其中复数模量和相位角的获取在动态剪切流变仪上进行,在剪切频率 10 rad/s,应力水平 100 Pa 条件下进行 30~65 °C 范围内的温度扫描试验^[5]。软化点和高温粘度按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)^[6]中的 T0606, T0625 进行。

沥青混合料性能试验主要包括高温车辙试验(T0719)、冻融劈裂试验(T0729)及低温弯曲试验(T0715)等,并基于粘附性等级试验(水浸法 T0616)对添加 H 温拌剂的矿料粘附性进行了评价。

3 讨论与分析

3.1 H 温拌剂对沥青性能的影响

利用湿法改性沥青的检测结果表明,70 号沥青、70HW 沥青、SBS 改性沥青的软化点分别为 46.5 °C, 53.5 °C, 76 °C, 依次升高,从这种常规指标中仅能看出 SBS 改性沥青具有较高的软化点。而在动态剪切温度扫描试验中,三种沥青性质的细微差别即可表现出来。图 1 和图 2 分别为三种沥青的复数模量、相位角随温度的变化情况,从中可以看出:

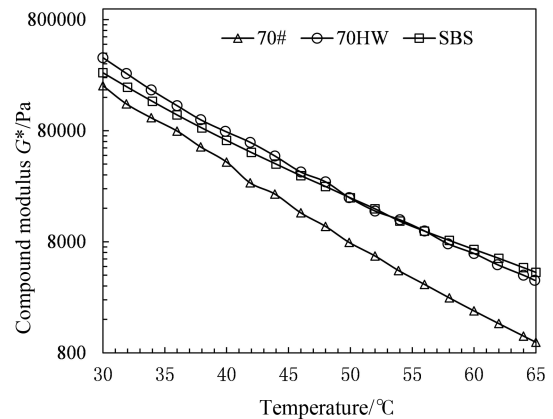


图 1 复数模量随着温度的变化

Fig.1 Compound modulus and temperature

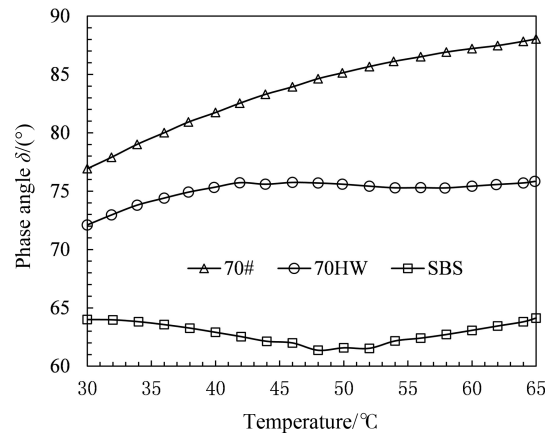


图 2 相位角随着温度的变化

Fig.2 Phase angles and temperature

1)所有沥青的复数模量均随着温度的升高而逐渐降低,并呈现指数关系。在同温度下基质 70 号沥青的 G^* 值最小,添加 4.92% H 温拌剂的 70HW 改性沥青和 SBS 改性沥青具有较高的 G^* 值;但是 70HW 和 SBS 改性沥青在 50 °C 左右发生模量大小的转变,高于 50 °C 时 SBS 改性沥青的模量,低于 50 °C 时,70HW 沥青的模量稍大。

2)尽管三种沥青的模量-温度变化规律相同,但在粘弹性组成(相位角)上存在较大的差异,在 30~

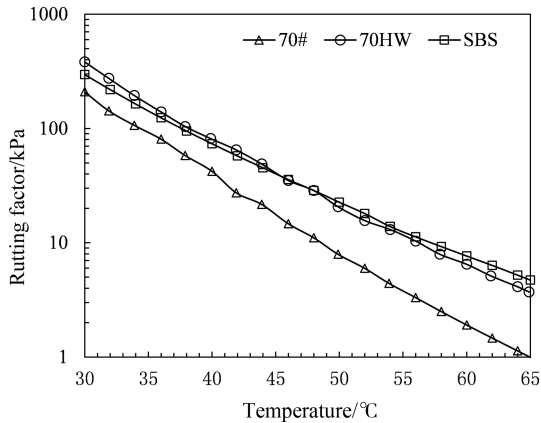


图3 车辙因子随着温度的变化

Fig.3 Rutting factors and temperature

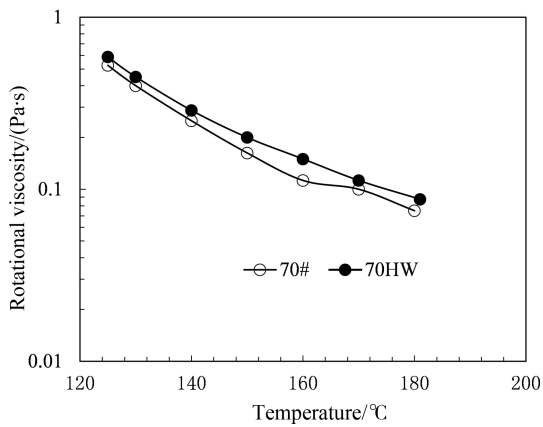


图4 粘度随着温度的变化

Fig.4 Viscosity and temperature

65 °C 范围内,70 号沥青的相位角分布在 76~90° 之间,且随着温度升高相位角趋近于 90°,逐渐呈现粘流态;70HW 改性沥青相位角分布在 74~76° 之间,随着温度升高而变化幅度很小,其粘弹性结构保持相对稳定;而 SBS 改性沥青相位角分布在 62~65° 之间,随着温度升高呈现非单调性的变化。

3)结合模量和相位角计算出沥青的车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 变化图(见图 3),发现 70 号沥青车辙因子最小;而在高于 45 °C 后,SBS 改性沥青车辙因子偏大,在低于 45 °C 时,70HW 的车辙因子则略高于 SBS 改性沥青.同时,利用旋转粘度计测试的高温粘度表明(见图 4),120~180 °C 高温区间,添加 H 温拌剂要比基质沥青的粘度高很多,说明这种温拌剂降低施工温度达到温拌的效果并不是靠沥青粘度的降低来实现的。

由此综合来看:在 30~65 °C 范围内,4.92% 的 H 温拌剂可以赋予 70 号基质沥青较高的模量值,粘弹性结构相对稳定,弹性分量相对较高;相对于

高分子量的 SBS 剂,H 温拌剂并不能使沥青达到更低的相位角,对基质沥青的弹性分量的贡献不如 SBS 改性剂.在沥青高温稳定性上,SBS 改性沥青表现会更好,但在 45 °C 以下温度,70HW 沥青较高的模量应该不利于疲劳性能和低温性能的改善.而且粘度数据表明这种温拌剂的温拌行为不是沥青粘度降低的结果。

3.2 H 温拌剂对集料粘附性能的影响

在利用 0.3% H 温拌剂进行干法生产沥青混合料时,需要先将 H 温拌剂与热集料进行预拌,而后加入 70 号沥青进行混合料的制备.试验发现,H 温拌剂熔化后会在玄武岩集料表面裹附一层膜(图 5(b)),可以有效地提高沥青与玄武岩质集料颗粒的粘附等级.为确定这一现象,本文对两份玄武岩集料(9.5~13.2 mm)进行水浸法(T0616)的粘附性等级验证和对比。

正如已有研究一样^[7],70 号沥青与玄武岩颗粒的粘附性等级常在 3 左右,图 5(c)中的未经过 H 温拌剂处理的粘附等级即是如此,但是对集料经过 0.3% H 温拌剂预处理后,同样 70 号沥青与此集料的裹附行为大为改善,粘附性等级达到 5 级(图 5(d)).由此说明,干法生产中 H 温拌剂与矿料拌合时,会在集料的表面形成一层膜,这种有机膜既能提高沥青与集料的粘附性,也可能会降低集料颗粒间的摩擦力,增加拌合过程中的润滑性,达到文献中提到的温拌效果。

3.3 H 温拌剂对沥青混合料的影响

按照表 2 和表 4 设置的合成矿料及控制参数,对 70HW, SBS 改性沥青以及基于 70 号沥青的 70HD 干法工艺进行沥青混合料试件的制备,并分别进行高温车辙、冻融劈裂和低温弯曲小梁试验,最终各评价项目的平均结果列于表 5.分析认为:

1)对于同一种 SMA 沥青混合料,采用干法、湿法添加 H 温拌剂时,可以达到与 SBS 改性沥青接近的动稳定度,但在整体抗变形能力上均不如 SBS 改性沥青;这与沥青混合料中胶结料形式有关。

表 5 中的动稳定度数据和图 6 中车辙变形曲线表明,三种沥青混合料的动稳定度均能达到相应的技术要求,而且三者的动稳定度相差不大,但在图 6 中的变形曲线中,70HD 干法形成的沥青混合料变形量最大,70HW 次之,而 SBS 改性沥青混合料变形量最小.这种动稳定度相近和整体变形量差别大的原因在于:一方面,现行规范采用压实过程末期的 45~60 min 的压实曲线计算动稳定度,且这段区

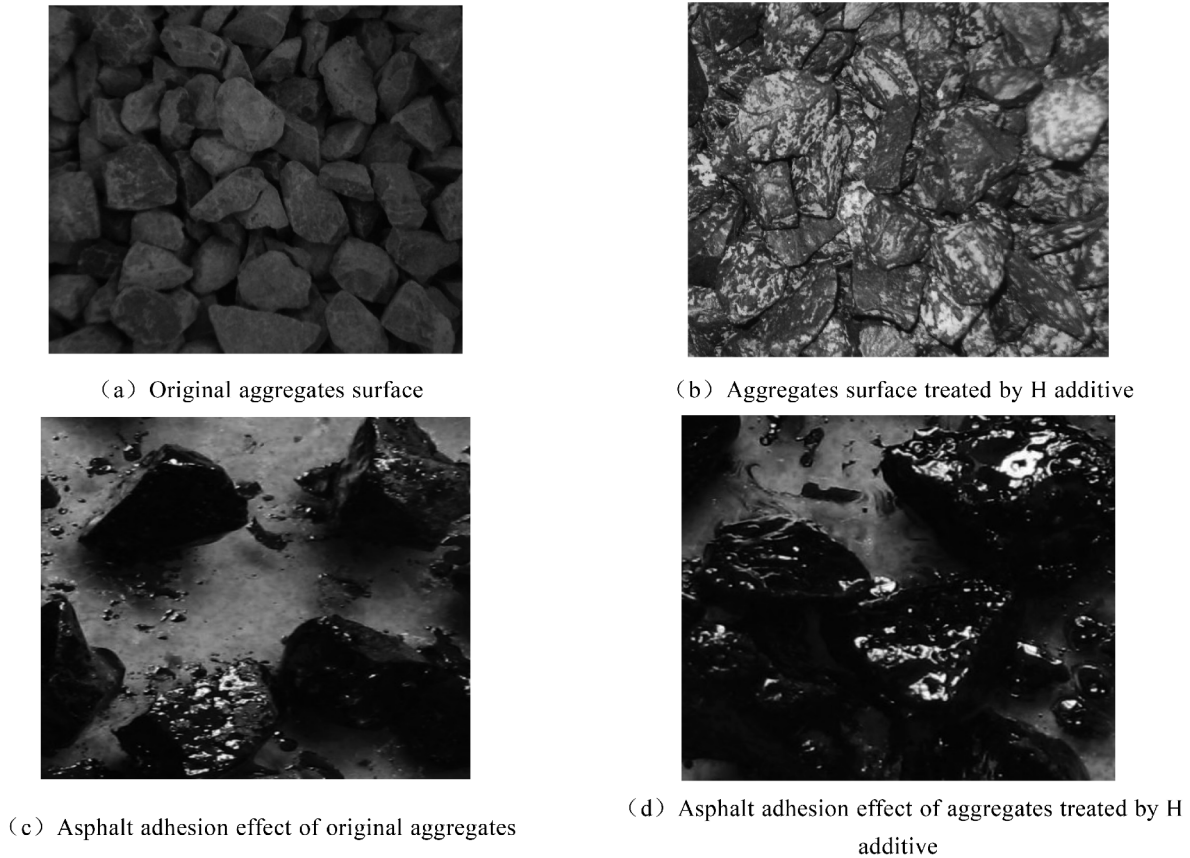


图 5 H 温拌剂对沥青粘附性的改善

Fig.5 Improvement of adhesion effect for asphalt-aggregate by H type additive

间已经处于相对稳定的变形区间,图 6 中三种沥青混合料的变形曲线在该时间范围内,彼此近似平行,则其稳定度的计算结果也会相近.这是一些文献中得到的共识,即现行规范规定的动稳定度试验并不能充分地表征不同混合料之间的差别,而压实过程的整体变形量有一定的表征意义^[8-9].所以图 6 中混合料整体变形量的差别可以反映不同胶结料

形式的不同性能,如干法混合料依靠 70 号基质沥青作为胶结料,而湿法混合料以 70HW, SBS 改性沥青为胶结料,三种胶结料的软化点和高温车辙因子已经产生了明显的差别(见图 3),因此按照库伦摩尔强度理论,同样的矿料结构下,沥青粘度越高则能带来更好的高温稳定性^[10-11],所以 SBS,70HW, 70HD 的高温稳定性有依次降低的现象.

表 5 三种沥青混合料的性能评价与对比

Tab.5 Performance evaluation and comparison of three asphalt mixtures

Performance	Evaluation index	Asphalt and method			Asphalt mixture requirement for 1~3 climate zone
		70HD	SBS	70HW	
High temperature stability@60℃	dynamic stability/ times/mm	4523	4560	4537	≥3 000
Moisture damage	TSR / %	81.5	86.9	85.8	≥80
Low temperature performance@-10℃	Max tensile strain / με	2524	2641	2340	≥2 500

2)水稳定性上,三种沥青混合料均能满足 1~3 气候分区中的沥青混合料技术要求,湿法工艺添加 H 温拌剂可以达到与 SBS 改性沥青接近的水稳定性,但是干法使用 H 温拌剂时混合料水稳定性相对

较弱.表 5 中冻融劈裂强度比数据表明,SBS 改性沥青混合料的 TSR% 值最高,70HW 沥青混合料的 TSR% 次之,但相对 SBS 差别不大,70HD 沥青混合料的 TSR% 最小,说明干法添加 H 温拌剂的混合料

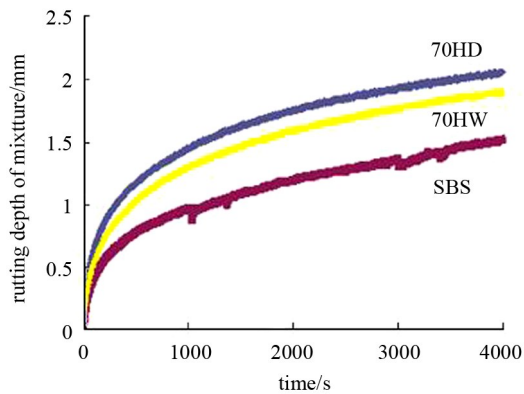


图6 三种沥青混合料的车辙变形曲线

Fig.6 Rutting depth curves for three asphalt mixtures

尽管满足水稳定性要求,但是还有改善的空间,毕竟它能够提高70号沥青在玄武岩集料表面的裹附效果,此处应对商家提供的0.3%添加量进行优化。

3)低温性能上,SBS改性沥青混合料的性能最好,70HW沥青混合料最差,尚不满足相关技术要求,个中原因仍与沥青胶结料的形式有关。按前文论述,70HW沥青胶结料在50℃以下的模量已经超过SBS改性沥青,极易造成中低温条件下的模量过大;而70号沥青和SBS改性沥青的模量相对较低,所以带来了较好的低温性能。

综合沥青混合料生产参数(表4)和上述分析,认为干法添加0.3% H温拌剂生产的SMA混合料可以较好地满足改性沥青混合料的相关要求,路用性能与SBS改性沥青混合料相差不大;但相对于SBS改性沥青混合料的生产,添加H温拌剂可以使混合料在较低的温度下生产,实现一定的温拌效果。在以H温拌剂进行湿法改性而生产沥青混合料时,容易存在低温性能不良的缺点,未来希望在温拌剂掺量优化上进行其路用性能的改善。

4 结论与建议

通过试验结果分析,可以得到如下结论:

1)Honeywell温拌剂在湿法使用时,可以提高基质沥青较高的模量和高温粘度,并在30~65℃温度区间,赋予基质沥青较为稳定的粘弹性结构,降低沥青的温度敏感性。但高温粘度数据表明其温拌效果并不是依靠粘度降低产生的。

2)Honeywell温拌剂在干法使用时,可以在玄武岩颗粒表面形成膜裹附效果,可有效提高沥青与玄武岩集料的粘附等级。混合料性能表明,在采用基质沥青相同的生产温度下,干法添加0.3%的Honeywell温拌剂生产的SMA混合料较好地满足了改性沥青混合料的相关要求,其路用性能与SBS改性沥青混合料相差不大,并实现了一定的温拌效果。

3)建议对这种新型温拌剂的使用,不能单纯依靠商家提供的掺加量,应对其在湿法改性中的加入

量进行优化,避免低温性能不良的缺点;并加强对物质组成和温拌行为机制的研究,以利于此类温拌剂的应用。

参考文献

- [1] 孙培. Honeywell Titan™聚合物改性沥青混合料性能对比研究[D].西安:长安大学,2012.
SUN Pei. Compare and study the performance of Honeywell Titan™ polymer modified asphalt mixtures [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012. (In Chinese)
- [2] 安清. SBS/Honeywell Titan™聚合物复合改性沥青改性工艺研究[D].西安:长安大学,2012.
AN Qing. Modification process of SBS/Honeywell Titan™ polymer composite modified asphalt [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012. (In Chinese)
- [3] Honeywell International Inc. Case Study: Honeywell Titan used in Texas [EB/OL]. <http://www.honeywell-titan.com/energy-and-emissions>. 2014
- [4] 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,2016
JTG F40—2004 Technical specifications for construction of highway asphalt pavements[S]. Beijing: China Communications Press, 2016. (In Chinese)
- [5] 樊亮,孔祥利,林江涛,等. 基于流变测试技术的沥青评价方法研究进展[J]. 材料导报,2012,26(1):123—128.
FAN Liang, KONG Xiangli, LIN Jiangtao, et al. Review of asphalt evaluation methods based on rheological measure technology[J]. Materials Review, 2012, 26(1): 123—128. (In Chinese)
- [6] JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].北京:人民交通出版社,2016.
JTG E20—2011 Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering [S]. Beijing: China Communications Press, 2016. (In Chinese)
- [7] 樊亮,张玉贞,王林. 沥青黏附性试验的图像分析方法初探[J]. 公路,2011(12):151—154.
FAN Liang, ZHANG Yuzhen, WANG Lin. Preliminary study on image analysis method of asphalt cohesive test[J]. Highway, 2011(12): 151—154. (In Chinese)
- [8] 李向东,吴洋. 沥青混合料动稳定度计算方法的分析与研究[J]. 华中科技大学学报:城市科学版,2006,23(s1):22—27.
LI Xiangdong, WU Yang. Calculation methods analysis of asphalt mixture dynamic stability[J]. Journal of HUST: Urban Science Edition, 2006, 23(s1): 22—27. (In Chinese)
- [9] 郑传峰,王磊,许雅智. 采用全程动稳定度评价沥青混合料高温稳定性[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2011,30(1):51—55.
ZHENG Chuanfeng, WANG Lei, XU Yazhi. Evaluation of high temperature stability of asphalt mixtures by whole process dynamic stability[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2011, 30(1): 51—55. (In Chinese)
- [10] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京:人民交通出版社,2009:280—281.
SHEN Jin'an. Road property of bitumen and bituminous mixtures[M]. Beijing: Chinese Communications Press, 2009: 280—281. (In Chinese)
- [11] 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 Chaofan, ZENG Menglan, WANG Maowen, et al. Determination of the mixing and compaction temperatures for warm mix asphalt with Sasobit[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2010, 37(8): 1—5. (In Chinese)