

文章编号:1671-8879(2013)06-0016-06

# 温拌沥青混合料施工温度确定方法

魏建国<sup>1</sup>,王兆仑<sup>2</sup>,付其林<sup>1</sup>

(1. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 河南交通职业技术学院 公路学院, 河南 郑州 450052)

**摘 要:**针对温拌沥青混合性施工温度确定方法研究不足,通过粘度试验分析温度对温拌沥青表观粘度的影响规律,通过马歇尔试验分析击实温度对温拌沥青混合料空隙率、稳定度、流值等的影响规律,研究温拌沥青混合料施工温度确定方法的合理性。研究表明:基于等粘原理以普通沥青压实粘度评价温拌沥青压实粘度不合适,以稳定度为指标确定的温拌沥青混合料施工温度偏低,以空隙率为指标确定温拌沥青混合料施工温度是合理的;Sasobit 使 90<sup>#</sup> 沥青混合料和 SBS 改性沥青混合料施工温度分别降低了 20 ℃和 23 ℃;3G 使 90<sup>#</sup> 沥青混合料和 SBS 改性沥青混合料施工温度分别降低了 26 ℃和 15 ℃。

**关键词:**道路工程;温拌沥青混合料;施工温度;确定方法

中图分类号:U414.75

文献标志码:A

## Determination method of warm mix asphalt mixture construction temperature

WEI Jian-guo<sup>1</sup>, WANG Zhao-lun<sup>2</sup>, FU Qi-lin<sup>1</sup>

(1. School of Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, Hunan, China; 2. School of Highway, Henan Vocation and Technical College of Communications, Zhengzhou 450052, Henan, China)

**Abstract:** For the inadequacy of determination method and based on the results of viscosity test, the paper studied the influence of compaction temperature on the apparent viscosity of warm mix asphalt. And based on the results of Marshall test, the paper studied the influence of compaction temperature on the porosity, stability, flow value of warm mix asphalt mixture. And it studied the rationality of determination method of construction temperature of warm mix asphalt mixture. Research shows that: based on the equiviscous principle, it is not reasonable to use the ordinary asphalt compaction viscosity to evaluate the warm mix asphalt compaction viscosity, and the temperature taking stability as evaluation index is low. It is reasonable to determine the construction temperature of warm mix asphalt mixture with void ratio as evaluation index. Sasobit makes the construction temperature of 90<sup>#</sup> asphalt mixture decrease by 20 ℃ and SBS asphalt mixture decrease by 23 ℃. 3G makes the construction temperature of 90<sup>#</sup> asphalt mixture decrease by 26 ℃ and SBS asphalt mixture decrease by 15 ℃. 5 tabs, 4 figs, 16 refs.

**Key words:** road engineering; warm mix asphalt mixture; construction temperature; for determination method

收稿日期:2013-08-21

基金项目:国家自然科学基金项目(50208004);湖南省科技计划项目(2011FJ3176);

公路工程教育部重点实验室开放基金项目(KFJ090108)

作者简介:魏建国(1972-),男,河南信阳人,副教授,工学博士,E-mail:598740863@qq.com。

# 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沥青混合料的研究<sup>[2-4]</sup>。所谓温拌沥青混合料就是通过掺加温拌剂,降低沥青混合料的施工温度,并使其性能达到或接近热拌沥青混合料<sup>[5-7]</sup>。早在 20 世纪 90 年代中后期,欧洲及美国等国家相继开展了温拌沥青混合料的研究,对其路用性能进行了较多的研究;而对温拌沥青混合料施工温度研究的较少,通常根据温拌剂厂商提供的降温范围在热拌沥青混合料施工温度基础上相应的减少,以确定其施工温度<sup>[8-11]</sup>。目前,中国对温拌沥青混合料的研究基本上还处于铺筑试验路观测阶段,对温拌沥青混合料路用性能进行了较为广泛的研究,而针对温拌沥青混合料施工温度确定方法的研究不足<sup>[12-15]</sup>。为此,本文通过室内试验的方法,研究温拌沥青混合料施工温度的确定方法,并对其施工温度进行了确定,为温拌沥青混合料的施工提供参考依据。

# 1 试验材料

## 1.1 沥青

沥青是盘锦 90# 道路石油沥青和壳牌 SBS 改性沥青,其主要技术性质见表 1、表 2。

表 1 90# 沥青的技术性质  
Tab.1 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 2 SBS 改性沥青的技术性质  
Tab.2 Technical indexes of SBS asphalt

试验项目	技术标准	试验结果
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/0.1 mm	40~60	46.4
延度(5 cm/min,5 ℃)/cm	≥20	39.7
软化点(R&B)/℃	≤60	84
闪点(COC)/℃	≤230	337
弹性恢复(25 ℃)/％	≥75	96.8
TFOT(163 ℃,5 h)质量损失/％	±1.0	+0.9

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

## 1.3 集料与级配

试验采用的集料为玄武岩,矿粉为石灰岩磨制的石粉,其主要物理性能指标见表 3(含量均为质量分数)。参考了沥青混合料级配范围,设计的集料级配见表 4。

表 3 集料的物理性能指标试验结果  
Tab.3 Physical properties indicators of aggregate

项目	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	压碎 值/％	洛杉矶磨 耗损失/％	针片状 含量/％	小于 0.075 mm 的含量/％	亲水系 数/％
集料	2.893	9.3	10.6	6.9	0.2	
矿粉	2.736					0.569

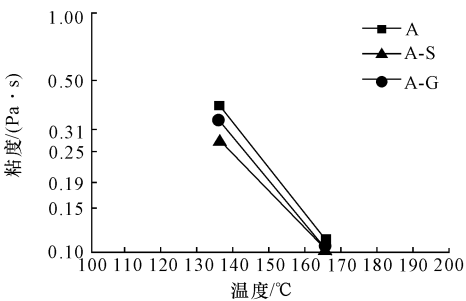
表 4 试验用的集料级配  
Tab.4 Aggregate gradation for test

集料级配	通过不同方孔筛(mm) 的质量分数/％									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13	100	97.2	78.4	47.6	32.6	21.8	16.8	11.3	8.3	6.5

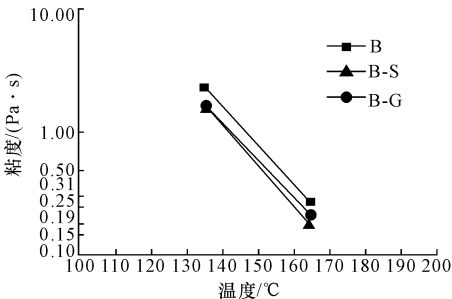
# 2 基于沥青的施工温度确定法

基于等粘原理,以未添加温拌剂的沥青施工温度粘度为标准,分别测定不同温度下温拌沥青的表观粘度,确定其粘温曲线。当温拌沥青粘度与热拌沥青施工温度粘度一致时,此时对应的施工温度即为温拌沥青混合料的施工温度。在前人对温拌剂掺量研究的基础上,Sasobit 和 3G 这 2 种温拌剂掺量分别取 4.0%和 0.6%;以 90# 沥青为基础,分别掺加 4.0%的 Sasobit 和 0.6%的 3G 温拌剂,制成 2 种温拌沥青;以 SBS 改性沥青为基础,分别掺加 4.0%的 Sasobit 和 0.6%的 3G 温拌剂,制成 2 种温拌沥青<sup>[11-12]</sup>。采用布氏旋转粘度计法,测定 4 种温拌沥青 135 ℃和 165 ℃的表观粘度,确定其粘温曲线,如下页图 1 所示;采用高速剪切粘度法,测定 4 种温拌沥青 135 ℃和 165 ℃的表观粘度,确定其粘温曲线,如下页图 2 所示。根据粘温曲线,以压实温度粘度 0.28 Pa·s 为标准,确定 2 种测定方法测试 4 种温拌沥青混合料的施工温度,见下页表 5。

从表 5 可以看出,采用布氏旋转粘度计法和高速剪切粘度法确定的 4 种温拌沥青混合料的碾压温度基本一致,碾压温度差都在 2 ℃以内,这表明采用这 2 种确定施工温度的方法具有一致性。这主要是因为,布氏旋转粘度计法与高速剪切粘度法均是基



(a) 基于90#沥青的温拌沥青粘温曲线

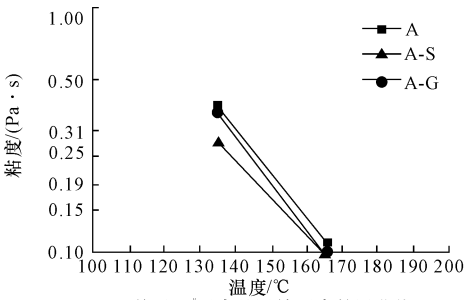


(b) 基于SBS改性沥青的温拌沥青粘温曲线

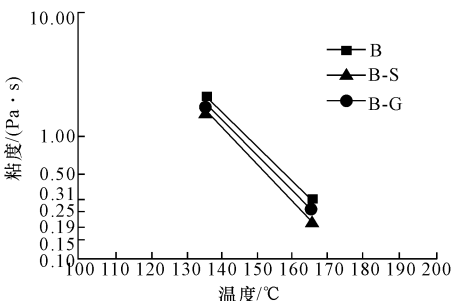
注:图中A为90#沥青,A-S为在90#沥青中参加4.0%的Sasobit制成的温拌沥青,A-G为在90#沥青中参加0.6%的3G制成的温拌沥青,B为SBS改性沥青,B-S为在SBS沥青中参加4.0%的Sasobit制成的温拌沥青,B-G为在SBS沥青中参加0.6%的3G制成的温拌沥青,下同。

图1 基于布氏旋转粘度计法的温拌沥青粘温曲线

Fig.1 Viscosity-temperature curve of warm mix asphalt based on rotational viscometer



(a) 基于90#沥青的温拌沥青粘温曲线



(b) 基于SBS改性沥青的温拌沥青粘温曲线

图2 基于高速剪切粘度法的温拌沥青粘温曲线

Fig.2 Viscosity-temperature curve of warm mix asphalt based on high-speed shear viscometer

高速剪切粘度法考虑转子速率的影响,而王志美研究表明在温度高于135℃时的转子速率对测得的沥青表观粘度基本没有影响<sup>[16]</sup>。这说明,采用布氏旋转粘度计法和高速剪切粘度法测定温拌沥青表观粘度是合适的。

表5 温拌沥青混合料施工温度

沥青种类		温拌沥青混合料碾压温度/℃	
		布氏旋转粘度计法	高速剪切粘度法
90# 沥青	A	143	143
	A-S	136	135
	A-G	140	141
SBS 改性沥青	B	165	166
	B-S	159	160
	B-G	161	163

从图1、图2可以看出,Sasobit温拌剂在一定程度上降低了沥青粘度,但降低的幅度不大。基于粘温曲线,Sasobit温拌剂使90#沥青混合料碾压温度降低了9℃,使SBS改性沥青混合料碾压温度降低了6℃,这表明基于等粘原理Sasobit温拌剂使沥青混合料施工温度降低不显著。这主要是因为,Sasobit温拌剂在100℃溶化,在沥青混合料中起润滑作用,使得沥青混合料在相对较低的温度下能够较好的压实;但在135℃以上的测定温度下,沥青粘度相对较低,溶化的Sasobit降低沥青粘度相对不明显。

3G温拌剂在一定程度上降低了沥青粘度,但降低的幅度不大。基于粘温曲线,3G温拌剂使90#沥青混合料碾压温度降低了3℃,使SBS改性沥青混合料碾压温度降低了4℃,这表明基于等粘原理3G温拌剂使沥青混合料施工温度降低不显著。这主要是因为,3G温拌剂是通过含有的表面活性剂成份改变沥青分子之间的极性、沥青分子与集料之间的表面张力来达到温拌目的,其对降低沥青粘度相对不明显。这说明,温拌沥青压实粘度与普通沥青压实粘度是不同的,基于等粘原理以普通沥青压实粘度确定温拌沥青压实粘度不合理。

### 3 基于混合料的施工温度确定法

基于等效原理,以未添加温拌剂的热拌沥青混合料的体积参数或力学参数为依据,测定不同温度下温拌沥青混合料体积和力学参数,当某一温度下温拌沥青混合料与热拌沥青混合料的体积或力学参数一致时,此时对应的温度即为温拌沥青混合料的施工温度。设计的AC-13沥青混合料,采用90#沥青时其最佳油石比为4.57%,根据布氏旋转粘度计法确定其施工温度为:拌和温度160℃、击实温度143℃;采用SBS改

于洛克菲尔德粘度计RV测定的沥青表面粘度,差异在于布氏旋转粘度计法不考虑转子速率的影响,

性沥青时其最佳油石比为 4.62%，其施工温度为:拌和温度 180℃、击实温度 165℃。Sasobit 和 3G 这 2 种温

拌剂掺量分别取 4.0%和 0.6%，不同温度下温拌沥青混合料的马歇尔试验结果如图 3、图 4 所示。

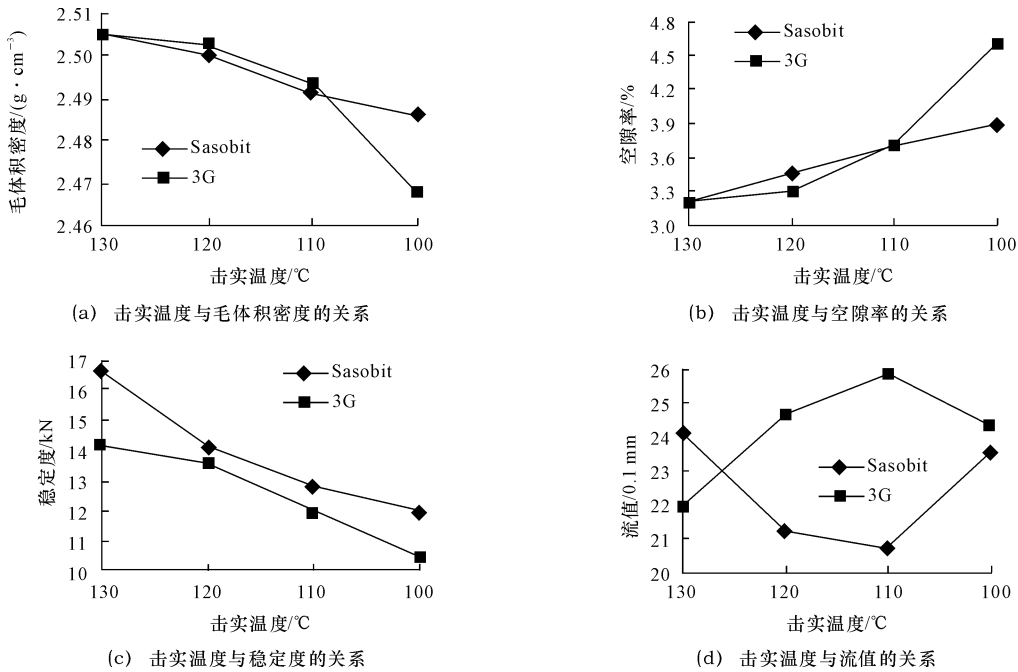


图 3 不同温度下 90# 沥青的温拌沥青混合料马歇尔试验结果

Fig. 3 Marshall test results of 90# warm mix asphalt mixture at different temperatures

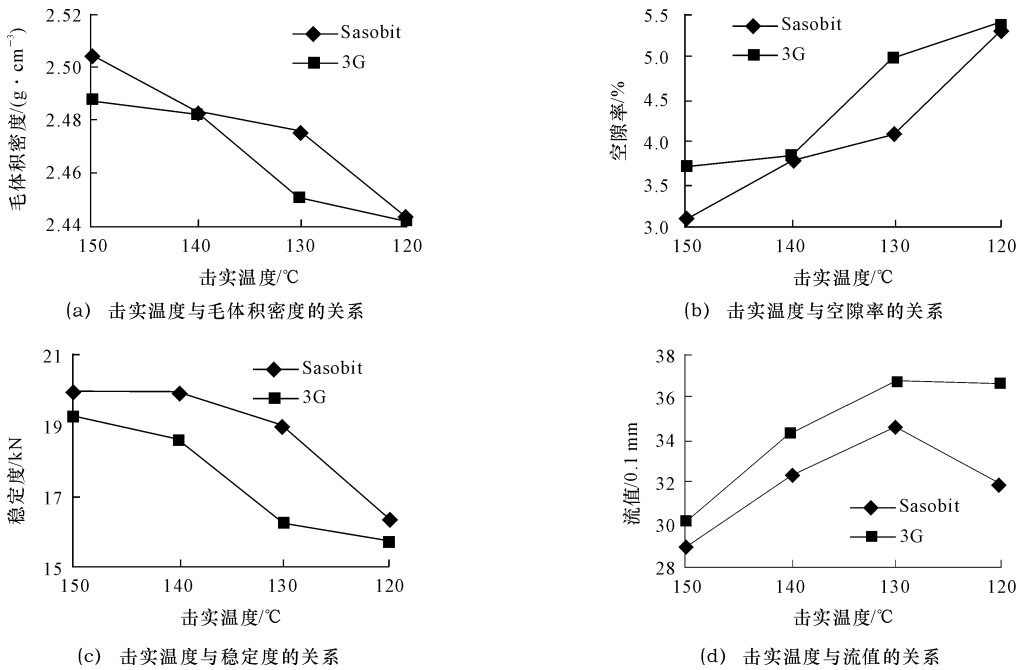


图 4 不同温度下 SBS 改性沥青的温拌沥青混合料马歇尔试验结果

Fig. 4 Marshall test results of SBS warm mix asphalt mixture at different temperatures

从图 3 (a)、(b)及图 4(a)、(b)可以看出,随着击实温度的逐渐降低,90# 沥青的 2 种温拌沥青混合料的毛体积密度呈逐渐降低趋势,其空隙率呈逐渐增大趋势;Sasobit 温拌沥青混合料温度降低至 123℃时的压实度和热拌沥青混合料在 143℃成型

的一致,3G 温拌沥青混合料温度降低至 117℃时的压实度与热拌沥青混合料的一致。SBS 改性沥青的 2 种温拌沥青混合料的毛体积密度呈逐渐降低趋势,其空隙率呈逐渐增大趋势;Sasobit 温拌沥青混合料温度降低至 142℃时的压实度和热拌沥青混合

料在 165 ℃成型的一致;3G 温拌沥青混合料温度降低至 150 ℃时的压实度与热拌沥青混合料的一致。这表明,以热拌沥青混合料压实度为控制指标时,Sasobit 使 90<sup>#</sup> 沥青混合料施工温度降低 20 ℃,使 SBS 改性沥青混合料施工温度降低 23 ℃;3G 能使 90<sup>#</sup> 沥青混合料施工温度降低 26 ℃,使 SBS 改性沥青混合料施工温度降低 15 ℃。

从图 3(c)和图 4(c)可以看出,随着击实温度的逐渐降低,90<sup>#</sup> 沥青的 2 种温拌沥青混合料的马歇尔稳定度呈逐渐降低趋势,Sasobit 温拌沥青混合料温度降低至 113 ℃时的强度与热拌沥青混合料在 143 ℃成型的一致,3G 温拌沥青混合料温度降低至 116 ℃时的压实度和热拌沥青混合料的一致。SBS 改性沥青的 2 种温拌沥青混合料的马歇尔稳定度呈逐渐降低趋势,Sasobit 温拌沥青混合料温度降低至 130 ℃时的压实度和热拌沥青混合料在 165 ℃成型的一致,3G 温拌沥青混合料温度降低至 147 ℃时的压实度和热拌沥青混合料的一致。这表明,以热拌沥青混合料强度为控制指标时,Sasobit 使 90<sup>#</sup> 沥青混合料施工温度降低 30 ℃,使 SBS 改性沥青混合料施工温度降低 35 ℃;3G 能使 90<sup>#</sup> 沥青混合料施工温度降低 27 ℃,使 SBS 改性沥青混合料施工温度降低 18 ℃。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,增加温拌沥青混合料的稳定性,从而在其压实度欠佳时亦能满足强度的要求;而 3G 温拌剂常温状态下为液态,其对沥青混合料的强度影响不大。

从图 3(d)和图 4(d)可以看出,随着击实温度的逐渐降低,90<sup>#</sup> 沥青的 2 种温拌沥青混合料的流值呈现不规律性,Sasobit 温拌剂使沥青混合料的流值减小,3G 温拌剂使沥青混合料的流值增大。随着击实温度的逐渐降低,SBS 改性沥青的 2 种温拌沥青混合料的流值呈先增大后减小的趋势,Sasobit 温拌剂使沥青混合料的流值减小。这主要是因为,蜡质的 Sasobit 温拌剂改变了沥青的组成结构,增强了沥青在常温下的脆性,以至于表现为沥青混合料流值减小;而 3G 温拌剂常温状态下为液态,增强了沥青混合料的变形能力,变现为沥青混合料的流值增大。

通过以上分析可以看出,以强度为控制指标时,达到热拌沥青混合料同等强度的温拌沥青混合料,其施工温度降幅较大;在此温度降幅范围内,温拌沥青混合料的压实度达不到热拌沥青混合料的压实度;而与热拌沥青混合料同等压实度的温拌沥青混合料,其施工温度降幅范围内,温拌沥青混合料的强度均能达到热拌沥青混合料的压实度。此外,若以流值为控制指标时,温拌沥青混合料的流值表现为不稳定性。这说明,以同等压实度为指标确定温拌沥青混合料的施工温度是合理的,由于空隙率比毛体积密度更加直观,因此建议采用以空隙率为指标确定温拌沥青混合料的施工温度。

## 4 结 语

(1)采用布氏旋转粘度计法和高速剪切粘度法测定温拌沥青表观粘度是合适的;温拌剂在一定程度上降低了沥青粘度,但降低的幅度不明显;温拌沥青压实粘度与普通沥青压实粘度是不同的,基于等粘原理以普通沥青压实粘度确定温拌沥青压实粘度不合理。

(2)击实温度对温拌沥青混合料体积与力学参数影响较大;随着击实温度的逐渐降低,温拌沥青混合料的毛体积密度呈逐渐降低趋势,其空隙率呈逐渐增大趋势,其马歇尔稳定度呈逐渐降低趋势,其流值呈现不规律性。

(3)采用马歇尔试验测定温拌沥青混合料体积参数,以空隙率为指标确定温拌沥青混合料的施工温度是合理的;以马歇尔强度为控制指标确定的施工温度是不合理的,该指标确定温拌沥青混合料的施工温度偏低。

(4)以热拌沥青混合料空隙率为控制指标,Sasobit 温拌剂使 90<sup>#</sup> 沥青混合料施工温度降低 20 ℃,使 SBS 改性沥青混合料施工温度降低 23 ℃;3G 温拌剂使 90<sup>#</sup> 沥青混合料施工温度降低 26 ℃,使 SBS 改性沥青混合料施工温度降低 15 ℃。

## 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] Capita S D, Picado-Santos L G, Martinho F. Pavement engineering materials; review on the use of warm-mix asphalt[J]. Construction and Building Materials, 2012, 36(11): 1016-1024.
- [3] Sengoz B, Oylumluoglu J. Utilization of recycled asphalt concrete with different warm mix asphalt additives prepared with different penetration grades bitumen[J]. Construction and Building Materials, 2013, 45(8): 173-183.
- [4] 裴建中, 徐丽, 张久鹏, 等. 温拌沥青混合料马歇尔变温变击实功设计方法[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(4): 1-10.
- PEI Jian-zhong, XU Li, ZHANG Jiu-peng, et al. Design method of warm mix asphalt based on Marshall test under variable temperatures and compaction times[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(4): 1-10. (in Chinese)
- [5] Hasan Z, Hamid B, Amir I, et al. Long term performance of warm mix asphalt versus hot mix asphalt[J]. Journal of Central South University, 2013, 20(1): 256-266.
- [6] Ge Z S, Zhang L. Simulation test of dynamic water pressure for warm mix asphalt[J]. Advanced Materials Research, 2012, 512-515(5): 2800-2803.
- [7] 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)
- [8] Ali A W, Abbas A R, Nazzal M, et al. Laboratory evaluation of foamed warm mix asphalt[J]. International Journal of Pavement Research and Technology, 2012, 5(2): 93-101.
- [9] Sargand S, Nazzal M D, Al-Rawashdeh A. et al. Field evaluation of warm-mix asphalt technologies[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2012, 24(11): 1343-1349.
- [10] Zelelew H, Paugh C, Corrigan M, et al. Laboratory evaluation of the mechanical properties of plant-produced warm mix asphalt mixtures[J]. Road Materials and Pavement Design, 2013, 14(1): 49-70.
- [11] Transportation Research Board. NCHRP Report 691: Mix design practices for warm mix asphalt [R]. Washington DC: Transportation Research Board National Academy Sciences, 2011.
- [12] 万成, 张肖宁, 贺玲凤, 等. 沥青混合料动态模量数值预测方法[J]. 中国公路学报, 2012, 25(4): 16-21, 28.
- WAN Cheng, ZHANG Xiao-ning, HE Lin-feng, et al. Numerical prediction method for dynamic modulus of asphalt mixture [J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25(4): 16-21, 28. (in Chinese)
- [13] 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.
- [14] 梁亚军, 黄婉利, 麻旭荣, 等. 一种成品温拌沥青的热存储耐久性[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2011, 39(12): 1816-1821.
- LIANG Ya-jun, HUANG Wan-li, MA Xu-rong, et al. Durability performance of a warm asphalt product during hot storage[J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2011, 39(12): 1816-1821. (in Chinese).
- [15] 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).
- [16] 王志美. 温拌沥青路面混合料压实特性研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.
- WANG Zhi-mei. Study on compaction characteristics of warm mix asphalt mixture [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2011. (in Chinese).