

# 一种成品温拌沥青的热存储耐久性

梁亚军<sup>1,2</sup>, 黄婉利<sup>2</sup>, 麻旭荣<sup>2</sup>, 许志鸿<sup>1</sup>

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804; 2. 中国石化 上海沥青销售分公司, 上海 200050)

**摘要:** 对一种由温拌剂改性生产的成品温拌沥青进行了沥青性能、混合料性能和现场热存储耐久性能评价, 并与基质沥青进行了对比。该温拌沥青与基质沥青的技术性能指标(包括粘度)相当, 但温拌沥青能够提高混合料的施工和易性, 降低施工温度, 且其温拌混合料性能不低于热拌沥青混合料的技术要求。在生产现场, 温拌沥青经过长期高温储存后, 仍能降低混合料的施工温度, 具有较好的热存储耐久性。

**关键词:** 温拌沥青; 温拌沥青混合料; 热存储耐久性

**中图分类号:** U 416.217

**文献标识码:** A

## Durability Performance of a Warm Asphalt Product During Hot Storage

LIANG Yajun<sup>1,2</sup>, HUANG Wanli<sup>2</sup>, MA Xurong<sup>2</sup>, XU Zhihong<sup>1</sup>

(1. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Shanghai Asphalt Sales Branch Company of Sinopec, Shanghai 200050, China)

**Abstract:** Comparison with base asphalt, an evaluation was made of the performance of warm asphalt modified by the surfactant based warm-mix additives in asphalt properties, mixture performance and asphalt durability after hot storage. The technical indicators (including viscosity) of this warm asphalt were on the same level with base asphalt. But the warm asphalt could improve mixture workability, reduce compaction temperature. And the performance of its warm mix asphalt (WMA) was not less than the hot mix asphalt (HMA) technology requirements. At the production site, the warm asphalt after a long-term storage at high temperature could still reduce compaction temperature, so it had good thermal storage durability. According to such evaluation results, the WMA technology using the warm asphalt directly is feasible.

**Key words:** warm asphalt; warm mix asphalt; asphalt durability after hot storage

成品的温拌沥青至少需满足以下两项基本性能要求: ①降温效果显著, 同时沥青性能及其混合料性能良好; ②具有良好的热存储耐久性, 即温拌沥青所采用的温拌剂在高温下不会因产生化学变化而改变沥青的路用性能, 对沥青混合料操作温度的降低作用比较持久, 满足生产和应用过程中的高温储存要求。为此, 本文针对中国石化的成品温拌沥青进行了相关性能评价试验, 并与基质沥青(镇海炼化生产的 70 号 A 级道路沥青)进行了对比。

## 1 温拌沥青及其混合料路用性能试验

### 1.1 温拌沥青性能分析

按照我国试验规范<sup>[1]</sup>和美国沥青路用性能规范(AASHTO MP1)的要求对温拌沥青进行相关指标试验, 并与基质沥青进行了对比, 试验结果见表 1。

表 1 试验结果中, 无论是三大指标(针入度、软化点和延度), 还是沥青使用性能等级, 两种沥青的试验结果均相当, 说明采用现行的沥青评价方法无法区分该温拌沥青和基质沥青。单从技术标准来看, 需要开发不同于传统沥青的温拌沥青指标。

### 1.2 温拌沥青混合料性能试验

与热拌沥青混合料相比, 温拌沥青混合料的拌和成型温度不同, 而配合比设计和性能试验的技术要求相同。对 70 号温拌沥青和 70 号基质沥青分别按照温拌混合料和热拌混合料的温度要求成型试件, 并进行沥青混合料性能试验, 试验结果见表 2。混合料试验过程中, 按照《公路沥青路面施工技术规范》<sup>[2]</sup>和河北省质量技术监督局《温拌沥青混合料施工技术指南》<sup>[3]</sup>的要求, 确定试验温度如下:

收稿日期: 2010-10-22

第一作者: 梁亚军(1981—), 男, 工程师, 博士生, 主要研究方向为沥青路面材料. E-mail: Lyjun0106@hotmail.com

通讯作者: 许志鸿(1939—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向路面工程. E-mail: xuzhh1939@163.com

- (1) 热拌沥青混合料的拌和温度为 155 ℃,成型温度为 145 ℃.
- (2) 温拌沥青混合料的拌和温度为 125 ℃,成型温度为 115 ℃.
- (3) 统一最佳沥青用量,均采用热拌沥青混合料(70 号基质沥青)的配合比设计结果.

- (4) 混合料压实不足会导致空隙率大,水稳定性差.采用 70 号基质沥青,在 115 ℃ 温度下成型马歇尔试件,进行冻融劈裂试验,与 70 号温拌沥青对比.
- (5) 所有试件成型前先在成型温度下保温 2 h,减小温度差异的影响.

表 1 基质沥青与温拌沥青主要技术指标试验结果  
Tab.1 Results of major technical indicators test of asphalt and warm asphalt

沥青种类	针入度/ 0.1 mm	针入度 指数	软化点/ ℃	10 ℃ 延度/ cm	135 ℃ 粘度/ (Pa · s <sup>-1</sup> )	薄膜加热试验后 10 ℃ 延度/cm	沥青使用 性能等级
70 号基质沥青	65	-1.20	48.5	60.2	0.51	10.7	PG64-22
70 号温拌沥青	66	-1.16	49.0	59.5	0.50	11.0	PG64-22

表 2 热拌沥青混合料与温拌沥青混合料技术指标试验结果  
Tab.2 Results of technical indicators test of hot mix asphalt and warm mix asphalt

项目	级配	成型温度/ ℃	最佳沥青用 量/%	孔隙率/ %	马歇尔稳定 度/kN	浸水马氏残留 稳定度/%	冻融劈裂强 度比/%	动稳定度/ (次 · mm <sup>-1</sup> )	低温弯曲破坏 应变/10 <sup>-6</sup>
70 号温拌沥青	AC-13	115	4.8	3.5	9.8	86.3	88.9	1 785	2 431
70 号基质沥青	AC-13	145	4.8	3.7	11.2	84.5	82.6	1 376	2 227
	AC-13	115	4.8	5.6			70.2		
规范要求 <sup>[2]</sup>				3~5	≥8	≥80	≥75	≥1 000	≥2 000

表 2 的试验结果中:①对于传统的基质沥青,混合料空隙率随着成型温度的下降而增大,冻融劈裂残留强度比降低,表明施工温度对采用传统沥青的混合料压实度和性能影响较大;②对于温拌沥青,与基质沥青相比,其混合料的成型温度较低,但空隙率没有明显变化,混合料的性能没有下降,并完全符合技术标准要求.

表 1 和表 2 试验结果表明,该温拌沥青能够在不牺牲性能的前提下实现混合料施工温度的下降.

2 温拌沥青对沥青混合料操作温度的降温效果

国外温拌沥青产品较多,比如通过在沥青中添加低熔点的合成蜡或相对低分子质量酯类化合物(比如 Sasobit 改性剂)来生产温拌沥青.研究资料<sup>[4]</sup>表明,沥青中添加 3.0%~3.5%(质量分数,下同)的 Sasobit 可以降低沥青的高温粘度,实现沥青混合料拌和、压实温度的降低.

降低沥青的高温粘度,是温拌沥青的常规做法.但表 1 所示试验结果中,本文的成品温拌沥青 135 ℃ 粘度并未下降.为此,进一步测试各种沥青的粘温曲线,并采用旋转压实成型方法比较混合料的压实

效果,对本文的温拌沥青、基质沥青和添加质量分数为 3.0%的 Sasobit 沥青进行了降温效果的比较.

2.1 沥青的粘温曲线

3 种沥青在不同温度条件下的粘度试验结果如表 3 所示.

表 3 不同温度下不同沥青的粘度  
Tab.3 Viscosity of different asphalts at different temperatures

项目	不同温度下沥青的粘度/(Pa · s <sup>-1</sup> )				
	85 ℃	110 ℃	125 ℃	135 ℃	150 ℃
70 号基质沥青	12.42	1.35	0.79	0.51	0.27
70 号温拌沥青	12.69	1.34	0.78	0.50	0.27
70 号基质沥青 + 3.0%Sasobit	18.30	0.87	0.51	0.27	0.17

从表 3 可以看出:Sasobit 能够降低基质沥青在高温条件下的粘度(110 ℃ 以上),并增大基质沥青的低温粘度(85 ℃ 以下);而本文的温拌沥青与基质沥青在高温条件和低温条件下的粘度基本相当;可见该温拌沥青不是通过降低沥青的粘度来实现沥青混合料操作温度的降低.

2.2 不同温度条件下沥青混合料的旋转压实试验

采用相同的级配(AC-13),相同的沥青用量(4.8%),在不同成型温度下采用旋转压实成型试

件,测试其空隙率,试验结果见图 1.

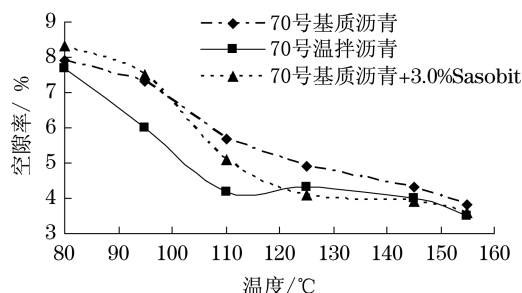


图 1 试件空隙率与成型温度关系曲线

Fig.1 Curve of volume of air voids in samples and compaction temperatures

从图 1 可以看出:

(1) 3 种沥青混合料的空隙率均随着成型温度的降低而增加,但空隙率随温度变化的幅度不同;成型温度低于 80 °C 以后,3 种沥青混合料均难以压实,空隙率大小也将趋于一致.

(2) 对于 70 号基质沥青,随着混合料成型温度的降低,空隙率几乎呈直线上升,沥青的粘温曲线性质与其压实效果有很好的相关性.

(3) Sasobit 能够降低基质沥青的高温粘度,增大基质沥青的低温粘度,因此 Sasobit 沥青混合料的空隙率和温度关系曲线与基质沥青混合料的空隙率温度曲线有交叉;成型温度高于 95 °C 时,Sasobit 能降低沥青的粘度从而改善沥青混合料的施工和易性;成型温度低于 95 °C 时,Sasobit 因增加了沥青的粘度而不利于混合料的施工和易性.

(4) 对 70 号温拌沥青,成型温度从 155 °C 下降到 110 °C 过程中,混合料空隙率变化不大,空隙率温度曲线比较平滑;成型温度进一步从 110 °C 下降到 80 °C 过程中,空隙率增加较快,但始终低于基质沥青混合料的空隙率,表明本文的温拌沥青能够显著改善混合料的施工和易性,降温效果好.

(5) 成型温度为 95 °C 时,Sasobit 温拌沥青混合料试件的平均空隙率为 7.5%,本文的温拌沥青混合料试件的平均空隙率为 6.0%,表明在较低温度条件下施工时,该温拌沥青更容易压实,比 Sasobit 沥青略具优势.

### 2.3 降温机理分析

上述试验结果表明,沥青粘度的降低不是实现混合料施工温度降低的唯一作用机理.国外对温拌沥青结合料及其混合料的施工和易性进行了相关研究评价.文献[5]研究了一种能够较好评价沥青结合料施工和易性(或润滑性能)的试验方法,通过装有

专用测试夹具的动态剪切流变仪(dynamic shear rheometer),测试了不同试验温度、加载速率和正应力下的沥青结合料的摩擦系数,并初步评估了沥青结合料摩擦系数与沥青混合料施工和易性的相关性.研究发现,当试验温度低于正常施工温度时,温拌剂通过降低沥青结合料的摩擦系数来提高混合料的压实效果.文献[6]进一步深入研究了温拌沥青结合料的摩擦系数对混合料施工和易性的影响,并评估了沥青等级、试验温度与沥青结合料润滑性能之间的敏感性.从文献[6]的试验数据可以看出,当试验温度较高时,不同等级沥青(温拌沥青和传统沥青)的粘度和摩擦系数均维持在一个较低的水平,混合料的施工和易性都比较良好.当试验温度下降到一定程度时(110~90 °C),传统沥青的粘度与摩擦系数均开始迅速增大,其混合料的施工和易性变差;与传统沥青这种变化趋势相反的是,温拌沥青的摩擦系数并没有随着温度降低、粘度增大而迅速增大,其摩擦系数仍维持在一个较低的水平,混合料的施工和易性仍然较好.研究结果表明,沥青混合料施工和易性不仅取决于结合料的粘度,当温度较低时,结合料内在的摩擦系数对混合料施工和易性的改善起到关键作用.

### 3 温拌沥青的热储存耐久性研究

由于室内对沥青样品加热保存不能很好地模拟现场实际热储存的沥青状态,因此,利用生产企业成熟的产学研条件,本文对生产现场温拌沥青的热储存耐久性进行了跟踪考察.具体试验方案如下:

(1) 生产企业准备 50 m<sup>3</sup> 储罐两个,带加热、保温和搅拌装置;分别准备温拌沥青和基质沥青 20 t;储存温度 135 °C,储存周期 30 d.

(2) 通过温拌沥青和基质沥青的主要性能指标的对比,判断温拌剂随着储存时间延长对沥青性能的影响.沥青性能试验项目主要为针入度、软化点、135 °C 粘度和薄膜烘箱加热试验(thin film oven test, TFOT)老化前后的 10 °C 延度.

(3) 对两种沥青进行混合料性能对比试验,通过空隙率和冻融劈裂实验强度比来评价温拌剂降温作用的耐久性.沥青混合料的级配、沥青用量与表 2 相同,马歇尔试件的成型温度统一为 115 °C.为了保证混合料级配的一致性,各档集料经过筛分后分档配料拌制沥青混合料,试件成型前先在成型温度下保温 2 h.

试验结果见图 2 和图 3.

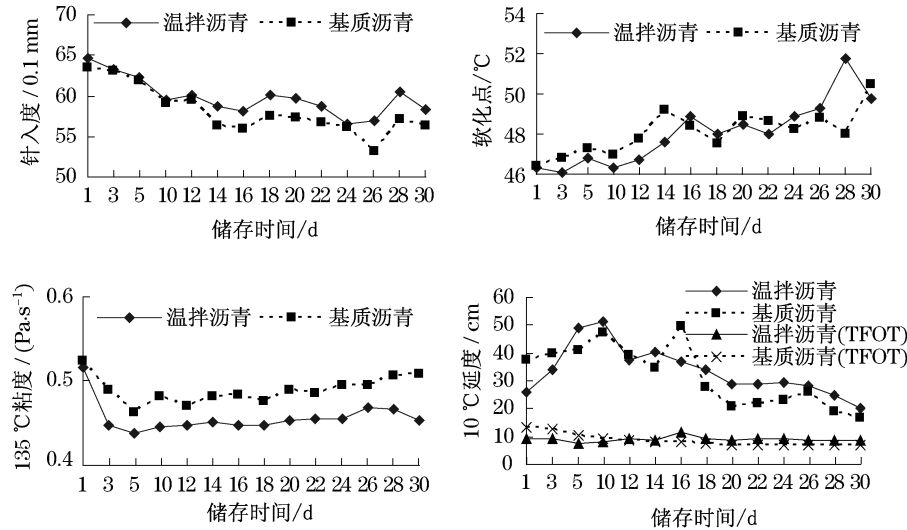


图 2 温拌沥青的性能与高温储存时间关系曲线(储存温度:135 °C)

Fig.2 Curves of warm asphalt performance and storage time (stored at 135 °C)

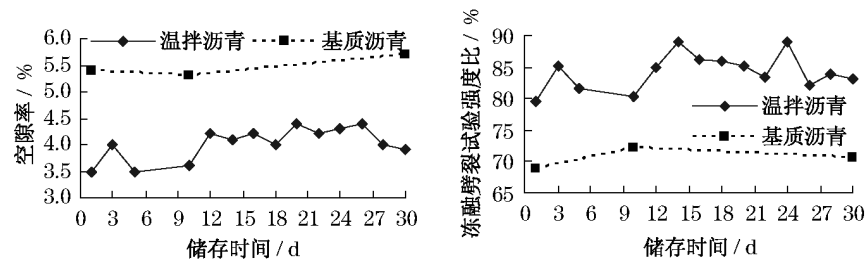


图 3 沥青混合料性能与沥青高温储存时间关系曲线(沥青储存温度:135 °C;沥青混合料成型温度:115 °C)

Fig.3 Curves of asphalt mixtures performance and asphalt storage time(asphalt stored at 135 °C; asphalt mixtures compacted at 115 °C)

从图 2 沥青性能试验可以看出:

(1) 温拌沥青和基质沥青经过长期高温储存后均产生了老化.随着高温储存时间的延长,两种沥青的针入度和 10 °C 延度降低、软化点增加,但各主要指标的变化幅度基本相当.另外两种沥青 TFOT (thin film oven test)后 10 °C 延度的变化幅度不大,表明正常的高温储存在一定周期内不会影响沥青老化后的低温性能.但由于沥青会产生老化趋势,建议长期不使用时应常温储存.

(2) 两种沥青的 135 °C 粘度的变化不大,经过高温储存后,温拌沥青的粘度略低于基质沥青的粘度.

(3) 经过高温储存后,两种沥青的各主要性能指标的变化趋势、变化幅度均基本相当,表明高温老化是影响沥青性能衰减的主要原因,所采用的表面活性型温拌剂对沥青的性能没有负作用,具有较好的稳定性.

从图 3 混合料试验结果可以看出:

(1) 从空隙率与沥青储存时间的关系来看,对于温拌沥青,混合料成型温度为 115 °C 时,空隙率在 3.5%~4.4% 的范围内波动,符合我国技术标准的要求;而对于基质沥青,相同条件下成型的混合料试件的空隙率超过了 5.0%,不满足我国技术标准的要求.

(2) 从冻融劈裂实验强度比与沥青储存时间的关系来看,对于温拌沥青,混合料成型温度为 115 °C 时,冻融劈裂实验强度比始终在 78%~90% 间波动,满足我国技术标准的要求;而对于基质沥青,相同条件下成型的混合料试件的冻融劈裂实验强度比低于 75%,不满足我国技术标准的要求.

(3) 上述试验结果表明:长期高温储存后,温拌沥青的降温效果仍然比较明显,其混合料性能也比较良好,具有很好的耐久性.

## 4 结论

对一种由温拌剂改性生产的成品温拌沥青进行了沥青性能、混合料性能和现场热储存耐久性能评价,并与基质沥青进行了对比,结论如下:

(1) 采用表面活性型温拌剂生产的成品温拌沥青与基质沥青的技术指标和路用性能基本相当. 温拌沥青和采用温拌沥青作为结合料的温拌沥青混合料完全符合我国热拌沥青混合料的技术规范的要求,满足降温不牺牲性能的使用要求.

(2) 沥青粘温曲线试验和不同成型温度的沥青混合料空隙率试验结果表明,本文所采用的温拌沥青能够显著降低混合料的操作温度,但其降温机理不是降低沥青的粘度.

(3) 该成品温拌沥青具有良好的热储存耐久性. 经过长期高温储存后,温拌沥青的性能与相同条件的基质沥青相当;使用该温拌沥青仍能够起到降低混合料操作温度的作用,且温拌混合料的性能良好. 因此,直接采用该温拌沥青成品作为结合料的温拌技术是可行的.

## 参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. JTJ 052—2000 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,2000.

Ministry of Transport of PRC. JTJ052—2000 Standard test methods of bituminous mixtures for highway engineering[S]. Beijing:China Communications Press,2000.

[2] 中华人民共和国交通部. JTJ F40—2004 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,2005.

Ministry of Transport of PRC. JTJ F40—2004 Technical specification for construction of highway asphalt pavements[S]. Beijing:China Communications Press,2005.

[3] 河北省交通厅. DB13/T1014—2009 温拌沥青混合料施工技术规范[S]. 石家庄:河北省质量技术监督局,2009.

Department of Transport of Hebei Province. DB13/T1014—2009 Guideline of warm mix asphalt for pavement construction [S]. Shijiazhuang: Quality and Technical Supervision of Hebei Province Press,2009.

[4] 王晓磊,张久鹏,肖维,等. Sasobit 改性剂在沥青混凝土路面低温施工中的应用分析[J]. 公路,2007(3):137.

WANG Xiaolei, ZHANG Jiupeng, XIAO Wei, et al. Application of sasobit modified additive to low temperature construction of asphalt concrete pavement[J]. Highway,2007(3):137.

[5] Hanz A, Faheem A, Mahmoud E, et al. Measuring effects of warm-mix additives using a newly developed asphalt binder lubricity test for the Dynamic Shear Rheometer [C/CD] // Proceedings of the 89<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D. C.: Transportation Research Board of the National Academies,2010.

[6] Andrew J Hanz, Enad Mahmoud, Hussain Bahia. Asphalt lubricity test evaluation and relationship to mixture workability[C/CD] // Proceedings of the 90<sup>th</sup> annual meeting of the Transportation Research Board. Washington D. C.: Transportation Research Board of the National Academies,2011.

(上接第 1810 页)

[16] Gomes G, May A, Horowitz R. A microsimulation model of a congested freeway using VISSIM[C/CD]. Washington D C: 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board,2004.

[17] 邵春福,张魁麟,许娟. 基于计算机模拟的动态交通分配模型的分布式并行算法[J]. 交通运输工程与信息学报,2003,1(1):94.

SHAO Chunfu, ZHANG Kuilin, XU Juan. A distributed and parallel algorithm of dynamic traffic assignment based on computer simulation[J]. Journal of Transportation Engineering and Information,2003,1(1):94.

[18] 刘瑞琪. 基于微观交通仿真的交通分配方法研究[D]. 西安:长安大学交通运输与管理学院,2006.

LIU Ruiqi. Research on Traffic Assignment based on micro-

simulation[D]. Xi'an: Chang'an University. Transportation Planning and Management,2006.

[19] 高利平,刘明君,孙壮志,等. 区域交通流信息诱导效果的仿真研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2008,8(4):63.

GAO Liping, LIU Mingjun, SUN Zhuangzhi, et al. Simulation on impact of information guidance on regional traffic flow [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2008,8(4):63.

[20] 秦旭彦. 基于仿真的动态交通分配模型研究及实现[D]. 北京:清华大学土木工程学院,2008.

QIN Xuyan. Research and implementation of simulation based dynamic traffic assignment model [D]. Beijing: Tsinghua University. Civil Engineering,2008.