

文章编号:1671-6833(2009)04-0098-05

## 高模量沥青混合料路用性能试验研究

刘 强<sup>1</sup>, 秦建军<sup>2</sup>, 翁效林<sup>1</sup>, 戴经梁<sup>1</sup>, 蒋应军<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 716000; 2. 河南中原高速公路股份有限公司, 河南 郑州 450007)

**摘 要:** 对硬沥青混合料、70#沥青混合料、SBS 改性沥青混合料分别进行高温稳定性(为 0.7 MPa 下 50 ℃、60 ℃、70 ℃ 3 个温度状况下的车辙试验)、低温抗裂性(小梁低温弯曲试验)、水稳性(冻融劈裂试验、残留稳定度试验)、疲劳性能(APA 疲劳试验)的全面对比试验. 试验结果表明, 高模量沥青混合料具有较好的抗车辙性能; 在 -5 ℃ 时极限荷载约 14 000 N, 表明了其仍然具有良好的低温抗裂性能; 冻融劈裂试验表明, AC-20C(30#) 沥青混合料具有高的冻融劈裂强度比, 具有较好的水稳定性.

**关键词:** 高模量; 沥青混合料; 路用性能; 试验研究

中图分类号: U 416 文献标识码: A

### 0 引言

随着我国交通运输的快速发展、重车和轮压的增大, 沥青路面的早期破坏非常严重, 而车辙成为沥青路面早期破坏中最严重的破坏形式<sup>[1]</sup>. 车辙不仅使路面变形, 破坏路面的平整度, 而且轨道状的车辙将会严重危害行车的安全, 因为高速行驶的车辆遇到车辙槽中的水会产生漂移, 造成行车危险; 同时车辙加深, 使方向盘难以控制, 增加行车的危险性<sup>[2-4]</sup>.

已有研究表明<sup>[5-6]</sup>: 沥青混合料的高稳定性能有 60% 依赖于矿料级配的嵌挤作用, 另外 40% 来自于沥青结合料本身. 由于硬沥青作结合料的沥青混凝土结构层有较高的模量, 具有较强的抗高温车辙和向下层传递荷载的能力, 适用于重载交通条件下的高等级公路路面结构<sup>[8-10]</sup>. 而稠沥青与集料有良好的粘结性能, 有效提高抵抗荷载的作用, 提高抗水损害性能和抗疲劳性能. 同时, 硬沥青与改性沥青相比可以降低工程建设成本和施工难度. 因此, 笔者就高模量沥青混合料开展了相关试验研究, 通过试验结果验证高模量沥青的路用性能.

### 1 高温性能试验研究

车辙试验是评价沥青混合料高温抗车辙性能最有效、最直观的方法. 试验按《公路工程沥青及

沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)的试验规程 T0719-1993 进行, 不同级配类型的沥青混合料的车辙试验结果如表 1.

表 1 沥青混合料车辙试验结果  
Tab. 1 Asphalt mixture rutting test results

级配类型及沥青	动稳定度 /(次·mm <sup>-1</sup> )	试验温度 /℃	轮胎压力 /MPa
AC-20C(30#)	5 457	60	0.7
AC-20C(70#SBS)	4 562	60	0.7
AC-25C(30#)	6 565	60	0.7
AC-25C(70#)	797	60	0.7

从表 1 可以看出: 高模量沥青混合料 AC-25C(30#)、AC-20C(30#) 具有良好的抗车辙性能, 比 70#SBS 改性沥青混合料的抗车辙性能要好, 并超过规范要求的大于 2 800 次; 相比之下, 普通 70#的沥青混合料抗车辙性能较差. 车辙试验结果表明: 硬质沥青 AC-20C、AC-25C 混合料不仅能够满足规范要求, 而且具有良好的高温抗车辙性能.

### 2 低温性能试验研究

#### 2.1 低温弯曲试验

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)的规定, 将轮碾成型的车辙板试件切割成长 250 mm ± 2.0 mm, 宽 30 mm ± 2.0 mm, 高 35 mm ± 2.0 mm 的棱柱体小梁, 其跨

收稿日期: 2009-04-21; 修订日期: 2009-07-01

基金项目: 2008 年度交通运输部行业联合科技攻关项目(2008353333200)

作者简介: 刘 强(1971-), 男, 河南许昌人, 长安大学博士研究生, 主要从事路面结构与材料方面的研究.

径为 200 mm ± 0.5 mm, 试验结果如表 2 所示。

表 2 不同类型沥青混合料的低温弯曲试验结果

Tab. 2 different types of asphalt mixture at low temperature bend test results

沥青混合料类型	破坏荷载 /kN	跨中扰度 /mm	弯拉强度 /MPa	极限应变	劲度模量 /MPa
AC-20C(30#)	1.280	8.825	10.714	0.004 843	2 285.975
AC-25C(30#)	1.130	12.575	9.225	0.006 602	1 416.252
AC-25C(70#)	1.075	12.675	8.776	0.006 654	1 352.600
AC-20C(70#SBS)	1.563	15.475	12.755	0.008 124	1 580.054

表 2 表明: SBS 改性沥青混合料路面低温弯拉强度最好, 其次是 30# 高模量沥青混合料 AC-20C、AC-25C。30# 高模量沥青混合料 AC-20C 和 AC-25, 低温时的破坏弯拉应变极限应变分别为 0.004 843、0.006 602, 破坏时弯曲劲度模量为 2 285.975 MPa、1 416.252 MPa, 可见, 高模量沥青混合料的低温时抗弯拉应变较小, 劲度模量较大, 抗低温性能要弱于 AC-25C(70#) 和 AC-20C(70#SBS) 沥青混合料, 但依然能够满足相应的规格要求, 即河南地区普通沥青混合料低温弯拉破

坏应变不小于 2 000  $\mu\epsilon$ , 改性沥青混合料低温弯拉破坏应变不小于 2 500  $\mu\epsilon$ , 同时混合料位于路面的中下面层, 处于有利的路面结构层次。

## 2.2 极限拉伸试验

为了分析 30# 高模量沥青混合料低温抗裂性能, 采用的试验设备为美国产的 MTS-810 型电液伺服试验系统, 对几种沥青混合料进行不同温度下极限拉伸试验, 通过极限拉伸破坏荷载大小和位移变形来研究沥青混合料的低温性能。其试验结果如下表 3 所示。

表 3 沥青混合料极限拉伸破坏试验结果

Tab. 3 Ultimate tensile failure of asphalt mixture test results

混合料类型	-15 °C		-5 °C		5 °C	
	荷载/N	位移/mm	荷载/N	位移/mm	荷载/N	位移/mm
AC-20(30#)	8 186	0.787	14 029	1.702	9 040	1.399
AC-25(30#)	9 667	0.867	14 753	2.136	8 601	1.242
AC-20(70#SBS)	16 789	1.636	15 603	2.275	10 492	1.159
AC-25(70#)	8 610	0.823	13 400	1.375	9 623	1.083

通过对 AC-20(30#)、AC-25(30#)、AC-20(70#SBS)、AC-25(70#) 沥青混合料的小梁 MTS 极限拉伸试验结果可以得出: 在 -15 °C、-5 °C、5 °C 温度下, AC-20(30#)、AC-25(30#)、AC-25(70#) 沥青混合料的极限拉伸破坏荷载较为接近, 具有相同水平的抗荷载破坏能力, 其中 -15 °C、5 °C 下, 极限破坏荷载约为 9 000 N, 表明了高模量沥青混合料仍具有良好的低温抗裂性能; 而 AC-20(70#SBS) 沥青混合料由于改性剂的作用, 在其性能上有一定的提高, 尤其是 -15 °C 时, 抗破坏荷载达到 16 789 N, 具有优越的抗低温性能。在 -15 °C、5 °C 时, AC-20(30#)、AC-25(30#)、AC-25(70#) 变形规律和水平较为一致, 混合料在低温时表现出较强的弹性和脆性性质, 在 1 mm 左右时就会发生断裂, 如果路面在较长时间的温度荷载作用下而达到混合料的极限拉伸破坏作用时, 温缩型裂纹易发生。而 AC-20(70#SBS) 沥青

混合料在 -15 °C、-5 °C 时具有一定的优势, 在 5 °C 时还不如 AC-25(70#) 沥青混合料。

(3) 混合料的拉伸破坏荷载和位移试验结果得出, 在 -5 °C 温度下, 均出现了一个峰值 (70#SBS 沥青混合料温度有些变化), 表明了沥青混合料在此低温下具有好的低温性能, 并不是与温度存在线性关系, 反应了沥青混合料这种材料性能的特殊性。如果沥青混合料温度越高, 会发生应力松弛和蠕变变形; 温度越低, 混合料更表现为弹性体, 易发生脆性断裂。可见, -5 °C 左右是沥青混合料性能的一个“界定温度”, 此时的混合料抗拉性能最佳。

## 3 水稳定性试验研究

笔者主要采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验来评价沥青混合料的水稳性。试验方法按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052

-2000)的规定进行。

### 3.1 残留稳定度试验

残留稳定度试验按 JTJ052-2000 的规定进行,即一组马歇尔试件在 60℃ 热水中恒温 30 min 后测其稳定度,另一组马歇尔试件在 60℃ 水中恒温 48 h 后测其稳定度,再将两者进行对比来评价

混合料的水稳性。试件的浸水残留稳定度按下式计算:

$$MS_0 = MS_1 / MS \times 100\%$$

式中:  $MS_0$  为试件的浸水残留强度,%;  $MS_1$  为试件浸水 48 h 后的稳定度, kN;  $MS$  为试件浸水 30 min 后的稳定度, kN。试验结果如表 4 所示。

表 4 不同类型沥青混合料的残留稳定度试验结果

Tab. 4 different types of asphalt residue stability test results

沥青混合料类型	浸水 48 h		浸水 30 ~ 40 min		残余稳定度/%
	稳定度/kN	流值/mm	稳定度/kN	流值/mm	
AC-20C(30#)	35.008	4.240	39.549	2.128	89
AC-25C(30#)	26.467	4.679	31.240	2.490	85
AC-20C(50#)	7.358	4.438	8.031	2.788	92
AC-25C(50#)	8.293	4.038	8.874	3.700	93
AC-20C(70#SBS)	8.914	4.520	11.105	4.023	80
AC-25C(70#)	5.701	15.467	7.350	3.547	78

试验结果表明:浸水和未浸水马歇尔残留稳定度比 AC-20C(30#)、AC-25C(30#)、AC-20C(50#)、AC-25C(50#) 沥青混合料抗水损害能力很强,能够满足路面荷载的承载能力。可见,30#高模量沥青混合料的残余稳定度能够满足规范相应的性能要求。

### 3.2 冻融劈裂试验

残留稳定度试验并不能很好的评价沥青混合料经冬、夏冻融循环后的水稳定性,故增加冻融劈裂试验以供比较,该试验的试件成型与马歇尔成型方法一致,其正反面各击 50 次,饱水分两组进行,一组在 25℃ 水中浸泡 2 h 后测试。另一组泡水过程如下:①常温下(25℃)浸水 20 min;② 0.09 MPa 下浸水抽真空 15 min;③ -18℃ 冰箱中置入 16 h;④ 60℃ 水浴中恒温 24 h;⑤ 25℃ 水中浸 2 h。

劈裂抗拉强度  $R_1$ 、 $R_2$ , 劈裂强度比  $TSR$  按照下式进行计算:

$$R_1 = 0.006287P_1/h_1,$$

$$R_2 = 0.006287P_2/h_2,$$

$$TSR = R_2/R_1 \times 100\%.$$

式中:  $TSR$  为劈裂强度比,%;  $R_1$  为未冻融循环的第一组试件的劈裂强度, MPa;  $R_2$  为经过冻融循环的第二组试件的劈裂强度, MPa;  $P_1$ 、 $P_2$  分别为第一组和第二组的试验荷载的最大值, N。试验结果如图 1 所示。

从图 1 中可以看出, AC-20C(30#)、AC-20C(70#SBS) 沥青混合料具有较高的冻融劈裂强度比分别为 96.1%、94.0%, 表明沥青混合料在

路面使用过程中,经冬、夏冻融循环后的水稳定性很好,而 AC-25C(30#) 沥青混合料水稳定性会变小,50# 沥青类混合料水稳定性较差;同时也表明了混合料的水稳定性不仅与沥青的类型有关,而且与混合料的级配类型有很大的关系。6 种沥青混合料的冻融劈裂强度比都满足规范要求,具有较好的水稳定性。

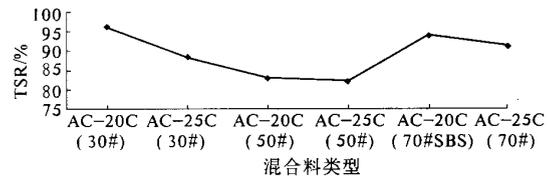


图 1 混合料的劈裂强度比

Fig. 1 The mixture of the cleavage intensity ratio

## 4 疲劳性能试验研究

### 4.1 试验方案

本研究根据已有的相关研究成果及试验设备,确定疲劳试验方案:试件成型方法采用轮碾压实,切割成小梁,50 mm × 50 mm × 250 mm 小梁;加载方式为应力控制,三分点加载;加载波形和频率为 10 Hz 连续式半正弦波;应力比分别为 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5;试验温度采用 15℃;试验设备为 MTS-810 材料试验机。

### 4.2 疲劳试验结果及分析

在进行三分点加载前,首先要测定混合料的弯拉强度,为应力控制的疲劳试验应力水平提供基准。小梁弯曲试验按照《公路工程沥青及沥青

混合料试验规程》(JTJ 052-2000)中《沥青混合料弯曲试验》进行,加载速率为 50 mm/min,试验温度与三分点小梁疲劳试验温度同为 15 °C,跨径为 200 mm. 试验结果如表 5 所示.

表 5 沥青混合料弯曲试验结果

Tab. 5 The results of bending test of asphalt mixture

混合料类型	试件破坏 荷载/N	弯曲破坏 强度/MPa
AC-20(30#)	4 638	12.33
AC-25(30#)	3 784	10.30
AC-20(70#SBS)	2 353	6.26
AC-25(70#)	3 188	8.48

为更直观表现试验结果,在不同的应力状态下,通过 0.1 P, 0.2 P, 0.3 P, 0.4 P, 0.5 P 5 个应力水平对混合料进行疲劳试验结果对比如图 2 所示.

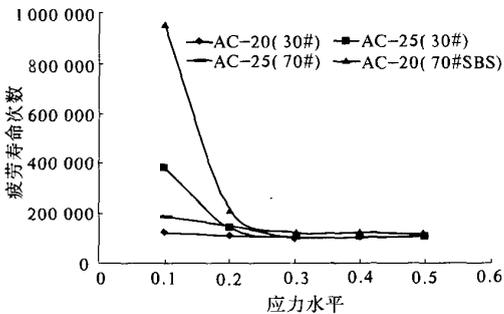


图 2 不同混合料应力水平与疲劳寿命次数的对比图

Fig. 2 Effects of different mixture the number of stress levels and fatigue life of the co MParison chart

从表 5 和图 2 可以看出,沥青混合料的疲劳寿命随着应力比的增大而降低,按疲劳寿命的排列顺序为:AC-20(70#SBS) > AC-20(30#) > AC-25(70#) > AC-25(30#). AC-20(70#SBS) 沥青混合料相对于其它沥青混合料而言,在 0.1 P、0.2 P、0.3 P、0.4 P、0.5 P 五个应力水平状态下,具有较高的疲劳寿命,尤其是在低应力状态下,疲劳寿命达到约 106 次,充分体现了改性沥青混合料优越的性能. 对 AC-20(30#), AC-25(30#), AC-25(70#) 沥青混合料而言,在较高的应力水平 0.3 P、0.4 P、0.5 P 状态下,沥青混合料的平均疲劳寿命较为接近;在低应力水平 0.1 P、0.2 P 状态下,AC-20(30#) 混合料表现出比 AC-25 两种沥青混合料的疲劳寿命大,这主要是混合料粗细级配类型不同引起的. 在整个疲劳试验过程 AC-25(30#), AC-25(70#) 沥青混合料的疲劳寿命较为接近,处于相同的路面结

构中,具有同等的承受荷载的反复作用能力. 同时,可以得出 AC-20(30#), AC-25(30#) 沥青混合料使用在路面结构中下面层是合适的.

## 5 结论

(1) 在 60 °C, 各沥青混合料抗车辙能力排列顺序为:AC-25C(30#) > AC-20C(30#) > AC-20C(70#SBS) > AC-25C(70#), 表明高模量沥青混合料具有较好的抗车辙性能.

(2) 在 -15 °C、-5 °C、5 °C 温度下, AC-20(30#)、AC-25(30#)、AC-25(70#) 沥青混合料的极限拉伸破坏荷载较为接近,具有相同水平的抗荷载破坏能力,其中 -15 °C、5 °C 下,极限破坏荷载约为 9 000 N, -5 °C 时约 14 000 N, 表明了高模量沥青混合料仍然具有良好的低温抗裂性能.

(3) 浸水和未浸水马歇尔残留稳定度比 AC-20C(30#)、AC-25C(30#)、AC-20C(50#)、AC-25C(50#) 沥青混合料抗水损害能力很强,能够满足路面荷载的承载能力. 可见,30#高模量沥青混合料残余稳定度比能够满足规范相应的性能要求. 冻融劈裂试验表明 AC-20C(30#), AC-20C(70#SBS) 沥青混合料具有高的冻融劈裂强度比,具有较好的水稳定性.

(4) 在 0.1 P、0.2 P、0.3 P、0.4 P、0.5 P 5 个等级应力状态下,MTS 三分点弯曲疲劳试验结果表明,在疲劳寿命次数排序为 AC-20(70#SBS) > AC-25(30#) ≈ AC-20(30#) ≈ AC-20(70#).

## 参考文献:

- [1] 邱志雄,李晋峰. 高模量改性沥青在长陡坡沥青路面中的应用[J]. 中外公路,2006,26(3):105-107.
- [2] 胡玉祥,张肖宁. 高模量沥青混合料添加剂性能的试验研究[J]. 石油沥青,2006,6:8-12.
- [3] 倪富健,赖用满,沈恒,等. TLA 复合改性沥青混合料路用性能研究[J]. 公路交通科技,2005,22(1):13-16.
- [4] 魏松涛,孙义冰. TLA 的特性与国内外应用概况[J]. 山西建筑,2006,32(19):150-160.
- [5] 陈强,付修义,刘玉琼,等. 特立尼达湖改性沥青试验研究[J]. 公路,2005,(9):156-159.
- [6] 王建林,杨仲元. 天然沥青的改性机理及路用性能研究[J]. 山西建筑,2006,10:147-148.
- [7] 郭林泉,谭积春. 高模量沥青混凝土在路面车辙处理中的应用[J]. 公路交通科技:应用技术版,2006,

(6):59-62.

Journal of Southeast University: English Edition. 2003,

- [8] YANG J. Study on low temperature performance of Gussasphalt on steel decks with hard bitumen [J].

19(2):210-214.

## Experimental Study on the Performance of High Modulus of Asphalt Mixture

LIU Qiang<sup>2</sup>, QIN Jian-jun<sup>2</sup>, WENG Xiao-lin<sup>1</sup>, DAI Jing-liang<sup>1</sup>, JIANG Yang-jun<sup>1</sup>

(1. Department of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Henan Zhongyuan Expressway Co., Ltd, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** Aim to the hard asphalt mixture, 70 # asphalt mixture, SBS modified asphalt mixture were heat-stable (for the 0.7 MPa under 50 °C、60 °C、70 °C three temperature conditions of the rutting test), low temperature crack resistance (trabecular low temperature bending test), water stability (freeze-thaw fracturing tests, residual stability test), fatigue performance (APA fatigue test). the results show that, High modulus asphalt mixtures have better resistance to rutting performance. as the limit load is about 14 000 N. at -5 °C the high modulus asphalt mixture still has a good low-temperature anti-cracking performance. Freeze-thaw splitting results showed that AC-20C (30 #) asphalt mixture with a high intensity ratio of the freeze-thaw cleavage, with good water stability.

**Key words:** high modulus; asphalt mixture; performance; experimental study

(上接第64页)

- [4] 许永兴, 瞿海斌, 陈 赟, 等. 葛根素大孔吸附树脂层析分离动力学[J]. 高校化学工程学报, 2005, 19(6):751-752.
- [5] 赵胜利, 冀亚兰, 黄正云, 等. 愈风宁心片的薄层扫描定量法[J]. 中草药通报, 1979, 8(8):8-9.
- [6] 魏福华, 张永忠, 井乐刚, 等. 紫外分光光度法测定大豆中大豆异黄酮[J]. 理化检验-化学分册, 2006, 42(6):462.
- [7] 何莉萍, 沈 钧, 郝 俊, 等. HPLC法测定豆制品中游离异黄酮的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2006, 42(4):255-299.

## Comparison of the Determination Methods for Genistein from the Waste Residue of the Soybeans

LI Hua, LI Dan

(School of Chemical and Energy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** using ethanol-aqueous solution to extract soybean isoflaron from the waste residue of the soybean. After preliminary purification, high-purity genistein was obtained with AB-8 macroporous resin by gradient elution. Samples were determined method and compared with the TLC, UV and HPLC. The results showed that: The TLC method is simple and the separation is effective; the UV method was high accuracy, high precision and good reproducibility. The relative average deviation for the recovery test was 1.04%, the relative average deviation for the tests of precision was 0.24% and the relative average deviation for the repeatability test was 0.09%; the HPLC method was high resolution, high sensitivity, etc. The sample purity was 90.1%.

**Key words:** genistein; TLC; UV; HPLC; determination