

文章编号:1671-6833(2012)04-0023-05

高模量沥青混凝土蠕变特性研究

周庆华¹, 沙爱民²

(1. 陕西交通职业技术学院 公路工程系, 陕西 西安 710021; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:通过单轴压缩蠕变试验和低温弯曲蠕变试验测试了不同试验条件下高模量沥青混凝土的蠕变劲度模量,分析不同的组成材料对高模量沥青混凝土蠕变性能的影响规律.结果显示低标号沥青和外掺剂能够显著提高沥青混合料的劲度模量,降低沥青混合料在高温蠕变过程中的瞬间变形和黏弹性变形发展的速度,但低温环境下高模量沥青混凝土对持续弯拉应力的松弛能力有所降低.

关键词:道路工程;高模量沥青混凝土;蠕变特性;劲度模量

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.04.006

0 前言

高模量沥青混凝土作为一种新型道路材料,在减少车辙病害、延长路面的使用寿命方面具有显著的优势.目前高模量沥青混凝土在我国的应用还处于初期阶段,研究人员大多围绕着高模量沥青混凝土的材料组成和施工工艺展开研究,对高模量沥青混凝土的变形特性还没有足够的认识,因而无法针对高模量沥青混凝土的行为特性进行合理的道路结构设计^[1].考虑到沥青混凝土的蠕变性能是评价混合料黏弹行为特性的重要指标,笔者将针对使用低标号沥青(50#沥青)和添加外掺剂的两种高模量沥青混凝土分别进行单轴静载蠕变试验和低温弯曲蠕变试验,结合试验结果,分析不同的组成材料对高模量沥青混凝土蠕

变特性的影响规律,为高模量沥青混凝土路面结构设计提供依据.

1 材料组成

1.1 原材料

本研究中的沥青材料选用了两种 50#沥青,并选取两种 70#沥青和一种 SBS 改性沥青作为对比材料,分别记为 50#沥青-1、50#沥青-2、70#沥青-1、70#沥青-2 和 SBS 改性沥青.经测试,采用的沥青材料各项指标均满足规范中相应类别内 A 级沥青的要求,SBS 改性沥青也满足规范相应规定.同时还按照美国战略研究计划(SHRP)中沥青胶结料路用性能规范中的试验方法对所选用的沥青材料进行路用等级划分,结果见表 1.

表 1 沥青材料 SHRP 路用等级划分结果

Tab. 1 SHRP grading results of bitumen materials

沥青类型	50#-1 沥青	50#-2 沥青	70#-1 沥青	70#-2 沥青	SBS 改性沥青
PG 等级	PG64-22	PG70-22	PG64-22	PG70-28	PG76-28

集料采用优质石灰岩.经测试,集料的各项指标均满足规范要求.

选择专用的外掺剂进行高模量沥青混凝土相关试验研究,外掺剂各指标检验结果如表 2.

1.2 混合料级配

考虑到高模量沥青混凝土在国外路面道路结

表 2 高模量外掺剂技术指标

Tab. 2 Technical indexes of high module additives

技术指标	测试结果
颜色	灰色
直径/mm	5
密度/(g·cm ⁻³)	0.93~0.65
熔点/℃	175
级配/mm	0~5

收稿日期:2012-01-20;修订日期:2012-04-20

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(S2011JC4069);陕西省教育厅 2012 年科学研究计划资助项目(12JK0805)

作者简介:周庆华(1977-),女,陕西交通职业技术学院讲师,博士,主要从事道路材料与结构研究.

构中主要起承重层的作用,拟将高模量沥青混合料铺于沥青路面的中、下面层,结合强度、稳定性的主要问题,试验选用代表我国规范中值级配的

AC20型级配,并通过沥青混合料马歇尔设计方法确定相应油石比(表3)。外掺剂的用量为沥青混合料质量的0.7%。

表3 沥青混合料级配数据

Tab.3 Asphalt grading data

级配类型	各方孔筛(粒径单位:mm)通过百分率/%													油石比/%
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
AC20	100	100	95	85	71	61	41	30	22.5	16	11	8.5	5	4.3

2 试验分析

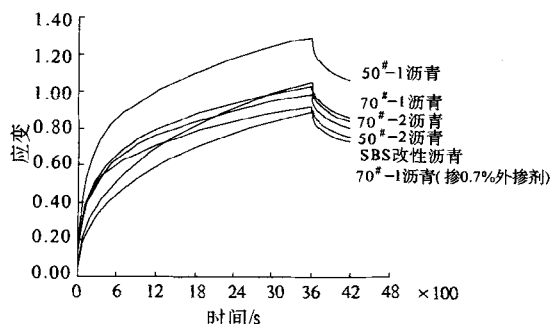
2.1 单轴静载压缩蠕变试验

2.1.1 试验方法

在众多蠕变试验方法中,研究人员较多采用的主要有单轴静载压缩蠕变、动态三轴压缩蠕变、弯曲蠕变和劈裂蠕变等^[2-4]。由于实际路用沥青混凝土的受力状况为三向受力,因此动态三轴压缩蠕变试验最为理想,但是由于三轴试验设备的复杂性,实际应用较少。目前国内外所采用的蠕变试验方法主要以单轴静载压缩蠕变和弯曲蠕变最具代表性,考虑到试验的简便性,采用单轴静载压缩蠕变试验。

笔者采用美国进口的MTS-810材料试验机,试件标准尺寸为 $\Phi 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$;试验温度为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在试验前对试件端面进行处理,使试件表面平整。将试件置于环境箱中保温3 h。施加恒应力 0.10 MPa ,预载水平为2%即 0.002 MPa ,预压时间120 s;加载时间60 min,卸载时间30 min;竖向应变每6 s采集一次。

2.1.2 试验结果



注:图中各曲线名称按照累积应变大小顺序排列。

图1 不同类型沥青混合料蠕变曲线图

Fig.1 Creep curves of asphalt mixtures

不同类型的高模量沥青混凝土蠕变过程中试件竖直方向产生的累积应变随时间的变化规律如图1所示。按照蠕变累积应变的大小排序,呈现如下的规律:掺0.7%外掺剂的70#-1沥青混合料<

SBS改性沥青<50#-2沥青混合料<70#-2沥青混合料<70#-1沥青混合料<50#-1沥青混合料。在所选的几种混合料类型中,50#-1沥青混凝土的累积应变最大,说明其抵抗变形的能力最弱,同为50#沥青混合料,50#-2沥青混凝土的累积应变只有前者的70%左右;掺0.7%外掺剂的70#-1沥青混凝土累积应变最小,其高温抗变形能力最强,与未添加外掺剂的70#-1沥青混凝土相比,累积应变降低了20%左右。

另外,不同沥青混合料蠕变曲线的走势也存在区别。分析两种70#沥青混凝土的蠕变曲线走势可以发现,70#-1沥青在加载瞬间的变形量较小,但随着荷载的持续作用,混合料的变形在快速增加,相比较而言,70#-2沥青初始变形较大,但随着荷载的作用变形发展的速度较为缓慢,使得70#-2沥青混凝土的累积变形反而小于70#-1沥青混凝土;使用50#沥青的两种沥青混凝土蠕变曲线的差异较为明显,其中50#-2沥青混凝土的蠕变累积变形明显小于50#-1;50#-2沥青混凝土的蠕变曲线与70#-2沥青混凝土的蠕变曲线走势十分接近。对比SHRP路用等级划分结果,可以发现两种50#沥青材料的高温性能存在着一定差异,说明使用高温性能存在差异的50#沥青,会使得混合料的累积应变相差很大。

除了观测沥青混凝土试件的蠕变累积应变之外,蠕变劲度模量是该试验获得的另一重要参数,蠕变劲度模量计算公式为

$$S(t) = \sigma_0 / \varepsilon(t), \quad (1)$$

式中: $S(t)$ 为沥青混凝土的蠕变劲度模量,MPa; σ_0 为蠕变试验中的应力,MPa; $\varepsilon(t)$ 为沥青混凝土产生的应变;加载阶段沥青混凝土蠕变劲度模量随时间变化的曲线如图2所示。

通过计算,可以得知几种不同类型沥青混合料在加载瞬间的 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 劲度模量,具体结果见表4。

2.1.3 结果分析

蠕变曲线是沥青混合料黏弹性能的具体表

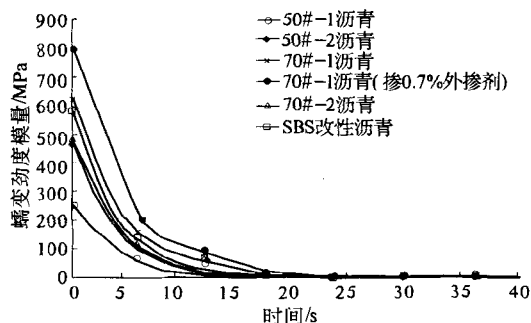


图2 不同沥青混合料的蠕变劲度模量

Fig. 2 Creep stiffness modulus of asphalt mixtures

表4 不同沥青混合料加载瞬间的40℃劲度模量

Tab. 4 40℃ stiffness modulus of asphalt

mixtures at loading instant				MPa
混合料类型	50#-1 沥青	50#-2 沥青	70#-1 沥青	
加载瞬间劲度模量	238.32	476.83	626.54	
混合料类型	70#-(含0.7%外掺剂)	70#-2 沥青	SBS 改性沥青	
加载瞬间劲度模量	790.89	495.05	536.2	

现,不同的蠕变行为也说明 50# 沥青和外掺剂对沥青混合料的黏弹塑性产生一定影响. 为明确 50# 沥青和高模量外掺剂对沥青混合料黏弹性能的影响规律,采用黏弹塑性模型来描述沥青混合料的蠕变行为,从模型参数的变化分析不同类型的沥青混合料黏弹性能的特点.

目前,常用于表征其黏弹塑性的模型往往是若干力学元件的组合,其中 Burgers 模型(图3)能够在一定程度上模拟沥青混合料的变形特性,因而被广为引用. 按照 Burgers 模型中各参数的意义,对表征沥青混合料黏弹塑性的参数进行求取.

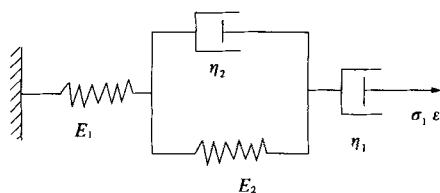


图3 Burgers 模型

Fig. 3 Burgers model

Burgers 模型的蠕变方程如式 2 所示.

$$\varepsilon = \sigma_0 \left[1/E_1 + t/\eta_1 + (1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2}t})/E_2 \right]. \quad (2)$$

式中: $\varepsilon(t)$ 为沥青混凝土产生的应变; σ_0 为蠕变试验中的应力, MPa; E_1 为 Maxwell 模型的弹簧常数; E_2 为 Kelvin 模型的弹簧常数; η_2 为 Maxwell 模型的阻尼常数; η_1 为 Kelvin 模型的阻尼常数.

式中的第一项代表弹性元件所产生的瞬时弹性变形; 第二项代表永久变形; 第三项代表由 Maxwell 模型所产生的黏弹塑性变形, 该部分变形会随着时间逐渐增大.

采用专业拟合软件对高温蠕变数据进行拟合, 可以得到不同类型沥青混合料的黏弹性参数, 见表 5.

通过对 Burgers 模型参数的对比可以发现, 与未添加外掺剂的 70# 沥青混合料和 SBS 改性沥青相比, 50# 沥青和外掺剂对沥青混合料的黏弹性产生了一定的影响. 从模型参数的变化趋势可以看出, 50# 沥青和外掺剂能够明显提高沥青混合料的劲度模量, 降低沥青混合料在高温蠕变过程中的瞬间变形和黏弹性变形发展的速度, 从而降低沥青混合料的累积变形. 由于沥青混合料黏弹性能的变化是影响其高温稳定性和低温抗裂性的关键, 因此在对高模量沥青混凝土路面进行结构分析时应考虑材料的黏弹性能.

表5 沥青混合料 Burgers 模型参数

Tab. 5 Burgers model parameters of asphalt mixtures

沥青混合料类型	模型参数				MPa
	E_1	E_2	η_1	η_2	
50#-1 沥青	238.3	437.3	301.2	41.2	
50#-2 沥青	476.8	452.0	427.7	85.3	
70#-1 沥青	627.5	352.3	355.0	74.5	
70#-2 沥青	495.0	337.1	406.4	66.1	
70#-1 沥青 (0.7% 外掺剂)	790.9	498.5	435.4	63.8	
SBS 改性沥青	536.3	450.8	412.6	102.7	

2.2 低温弯曲蠕变试验

低温弯曲蠕变试验是“八五”攻关专题提出的评价沥青混合料低温抗裂性能的试验方法, 其试验方法相对简单, 评价指标明确, 多数研究人员在评价沥青混合料低温抗裂性能时均采用此方法^[5-7]. 对规定尺寸的小梁试件, 在跨中施加恒定的集中荷载, 测定随时间不断增长的蠕变变形. 蠕变速率是单位应力条件下, 变形等速增长的稳定期内小梁试件在单位时间内应变的变化值. 在同样的低温试验条件下, 混合料的蠕变速率越大, 说明混合料的变形能力越强, 韧性越强, 也就是抗低温开裂能力越好.

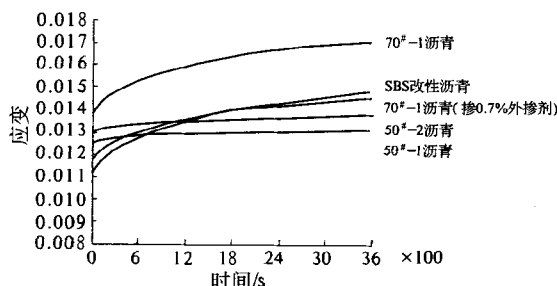
2.2.1 试验方法

试件尺寸: 30 mm × 35 mm × 250 mm; 试验温度: 0℃; 加载方式: 中央集中加载, 大小为最大弯

曲破坏应力的 0.1 倍;加载速度:50 mm/min;加载时间:60 min.

2.2.2 试验结果

不同类型的高模量沥青混凝土蠕变过程中试件竖直方向产生的累积应变随时间的变化规律如图 4 所示.



注: 图中各曲线名称按照累积应变大小顺序排列.

图 4 沥青混合料低温弯曲蠕变曲线

Fig. 4 Low temperature creep curves of asphalt mixtures

从图 4 中的蠕变曲线可明显看出两个阶段,即第一阶段——迁移期和第二阶段——稳定期.在迁移期,蠕变速率不断降低;在稳定期,蠕变速率为一定值.考虑到时间因素,本试验中未体现破坏期.经计算可得各种沥青混合料的低温蠕变速率如图 5 所示:

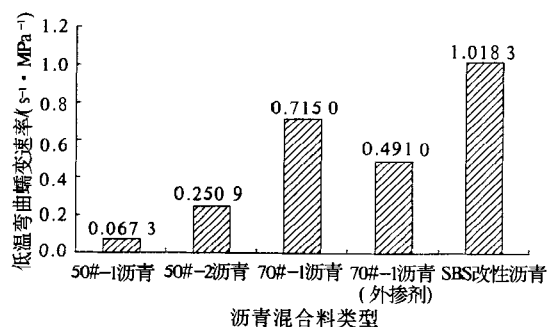


图 5 沥青混合料低温蠕变速率

Fig. 5 Low temperature creep rates of asphalt mixtures

图 5 中的结果表明, SBS 改性沥青低温弯曲蠕变速率值最大, 其低温抗变形能力最好, 两种 50# 沥青低温弯曲蠕变速率值最小, 说明 50# 沥青混合料的变形能力最差, 抗裂性能不如 SBS 改性沥青和 70# 沥青混合料, 添加高模量外掺剂后沥青混合料的低温弯曲蠕变速率值也一定程度地下降, 混合料的低温抗裂能力有所下降, 高模量外掺剂对沥青混合料的低温韧性和变形能力会造成一定不利影响. 对比 50# 沥青混合料与添加外掺剂的沥青混合料试验数据, 可以发现添加外掺剂的低温弯曲蠕变速率要明显高于两种 50# 沥青混合

料, 添加外掺剂后沥青混合料低温弯曲蠕变速率下降了 31.5%, 两种 50# 沥青混合料的低温弯曲蠕变速率下降幅度分别达到了 65% 和 91%, 外掺剂对沥青混合料低温变形能力的影响程度要明显小于 50# 沥青对混合料的影响程度, 通过两种途径制备的高模量沥青混凝土在低温抗裂性能上是存在一定差异的.

3 结论

(1) 50# 沥青和外掺剂对沥青混合料高温蠕变性能的影响明显, 添加外掺剂的沥青混凝土累积应变最小, 劲度模量比普通沥青混凝土明显提高; 使用高温性能存在差异的 50# 沥青, 会使得混合料的累积应变和劲度模量相差很大.

(2) 对比各种沥青混合料 Burgers 模型参数, 总结出 50# 沥青和外掺剂对沥青混合料黏弹性的影响规律是, 50# 沥青和外掺剂能够明显提高沥青混合料的劲度模量, 降低沥青混合料在高温蠕变过程中的瞬间变形和黏弹性变形发展的速度, 从而降低沥青混合料的累积变形.

(3) 与 70# 沥青混合料和 SBS 改性沥青混合料相比, 50# 沥青混合料和添加外掺剂的沥青混合料弯曲蠕变速率较低, 表明 50# 沥青和高模量外掺剂会影响沥青混合料在低温条件下的变形能力, 造成混合料对持续弯拉应力的松弛能力有所降低, 且外掺剂对沥青混合料低温变形能力的影响程度要明显小于 50# 沥青对混合料的影响程度, 两种高模量沥青混凝土的低温抗裂性能存在一定差异.

参考文献:

- [1] 周庆华. 高模量沥青混凝土性能与路面结构研究 [D]. 长安大学公路学院, 2010.
- [2] WITCZAK M W, ANDREI D. Development of revised predictive model for the dynamic (complex) modulus of asphalt mixtures [R]. InterTEAM Technical Report, NCHRP Project 1 - 37A, University of Maryland, March 1999.
- [3] 樊统江, 何兆益. 沥青混合料静态蠕变劲度模量与动稳定度的关系 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008, 27(6): 1055 - 1057.
- [4] 魏密, 周进川. 旋转压实试件的高温蠕变特性研究 [J]. 重庆交通学院学报, 2004, 23(5): 55 - 58.
- [5] 张宏. 沥青混合料低温抗裂性能评价方法 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2002, 22(4): 4 - 8.
- [6] 刘涛, 郝培文. 沥青混合料低温抗裂性评价方法研

究[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2002, 30 (12): 1468 - 1471.

[7] 王卫. 嵌岩桩承载力竖向抗压静载试验测定[J]. 徐州工程学院:自然科学版, 2011(1): 55 - 57.

Research on Creep Performance for High Modulus Asphalt Concrete

ZHOU Qing-hua¹, SHA Ai-min²

(1. Department of Highway Engineering, Shan'xi College of Communications Technology, Xi'an 710021, China; 2. College of Highway Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The creep stiffness modulus of the high modulus asphalt concrete was tested through uniaxial compression creep test and low temperature bending creep test. Based on the test data, the influence laws of material composition to creep performance of high modulus asphalt concrete were analyzed. The results showed that low grade bitumen and additives could enhance the creep stiffness modulus significantly, reduce the instantaneous deformation and the speed of viscoelastic deformation, but the relaxation ability to flexural stress in low temperature also decreased.

Key words: road engineering; high modulus asphalt concrete; creep performance; stiffness modulus

(上接第4页)

Plastic Analysis on Punching Shear Capacity of Two-way BFRP Rebar Reinforced Concrete Slabs under Central Concentrated Load

ZHU Hai-tang, WANG Yi-zhong, LI Jin-zhang

(School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Based on the material character of BFRP rebar and the plastic method for concrete structure, the concept on nominal yield strength of BFRP rebar was proposed, the yield condition of concrete and BFRP rebar were determined, and the failure mechanics of two-way BFRP rebar reinforced concrete slabs under central concentrated load was established. The calculating expression on plastic solution of ultimate punching capacity for two-way BFRP rebar reinforced concrete slabs under central concentrated load was deduced using the virtual work principle.

Key words: BFRP rebar; two-way slab; punching shear capacity; plastic solution