

· 研究简报 ·

路用改性沥青动态流变特性研究

20
106-110

王幼平 余剑英 谭宇宏
(武汉工业大学 430070)

063121

摘要 通过动态力学分析试验(DMA),发现了沥青及改性沥青的低温开裂与其流变参数 $[E], E', E''$ 之间的定量关系以及 T_g 随温度变化的规律性,推导出改性沥青在动荷载下的流变方程,为沥青的改性提供了理论依据。

关键词 改性沥青, 开裂, 流变参数 筑路工程, 屋面防水, 沥青, 聚合物
中图法分类号 O631.21

沥青在流变性能上表现出来的两大缺陷:高湿流淌和低温开裂一直是困扰沥青在筑路工程和屋面防水应用的两大障碍。大多数沥青改性的研究着眼于改善其流变性能,以达到克服这两大障碍的目的,而对于沥青和改性沥青的流变过程和流变机理研究甚少。

作用于沥青混合料道路上的行车荷载并非静止荷载,而是反复的拉压动荷载。要搞清沥青材料真正的力学响应,应该研究它在动载作用下的变形特性,即它的动态粘弹性。另外,由于沥青本身的低温柔性较差,在冬季或北方寒冷地区常常出现裂纹或断裂现象,而对此现象的深入研究也正是动态粘弹性试验结果的重要应用,本文拟以SBS(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物)和APP(无规聚丙烯)为参照物,以动态力学分析为手段,深入探讨SBR(丁苯橡胶)改性沥青的动态流变性。

动态力学分析(Dynamic Mechanical Analysis)简称DMA是以振动原理为基础来讨论材料在动态载荷下的响应。沥青是典型的粘弹性材料,兼有粘性流体和弹性固体的某些特性。这种特性体现在DMA测试中就是:弹性固体受正(余)弦波变化的应力作用时,应变与应力同相地作正(余)弦波变化;粘性流体的应变则滞后 $\pi/2$,滞后时间为 π/ω , ω 为振动频率;而粘弹性体则介于弹性体与粘性体之间,用 δ 表示相位差, $0 < \delta < \pi/2$ 。

1 改性沥青动态力学性能测定

1.1 试验材料

试验共选取SBR(掺量5%、8%、11%)、SBS(12%)、APP(27%)五种改性沥青按试验仪器要求制成长35 mm~50 mm、宽14 mm~15 mm、厚3 mm~5 mm矩形条状试样。

收稿日期:1997-12-02

王幼平,女,1944年生,副教授

1.2 试验仪器及试验条件

试验仪器 日本产 Toyo-Baldwin 公司生产的型号为 DDY-EA-III 自动动态粘弹谱仪。

试验条件: 升温速度 2 °C/min; 选定频率 35 Hz; 温度范围 20°C - 75°C

测试结果见图 1, 2, 3, 4, 5

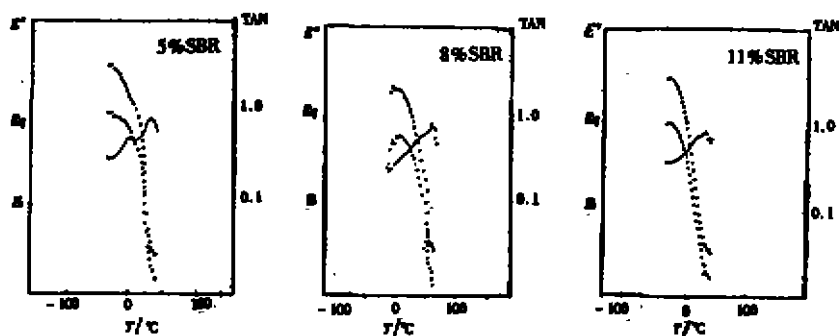


图1 5%SBR 改性沥青 DMA 曲线 图2 8%SBR 改性沥青 DMA 曲线 图3 11%SBR 改性沥青 DMA 曲线

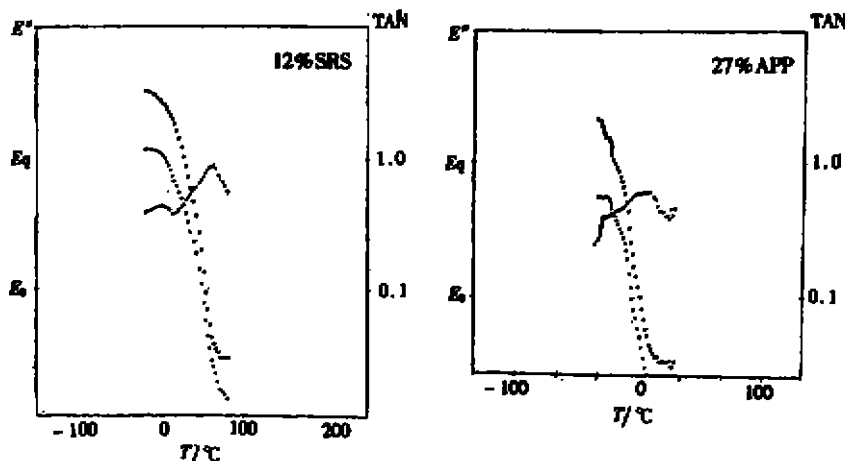


图4 12%SBR 改性沥青 DMA 曲线

图5 27%APP 改性沥青 DMA 曲线

2 DMA 测试结果的分析及讨论

2.1 改性剂种类对改性沥青损耗模量(E'')及其抗裂性的影响

通过对图 1~5 的分析计算, 得知低温 ($< 0^\circ\text{C}$) 下 SBS 改性沥青的损耗模量 E'' 大大高于 SBR 和 APP, E'' 是材料粘性流动(或变形)时因内摩擦力而耗散掉的热量, 它与材料在振动中产生的热量的关系是^[2]

$$Q = \omega E'' \epsilon_0^2 \quad (1)$$

式中 Q ——每周其耗散热; ϵ_0 ——一个周期内应变振幅的极大值; ω ——频率。

依照公式(1),低温条件下,在动态交变应力的作用下 $Q_{SBS} > Q_{SBR} > Q_{APP}$ 即损耗模量愈大,每周期耗散的热量愈多,改性沥青体的表面与内部的温差就愈小,其应力裂变的可能性也就愈小。为此我们给出一个算例。

附表 低温下各类改性沥青耗散热

物理量	SBS改性沥青体(-5℃)	SBR改性沥青体(-5℃)	APP改性沥青体(-5℃)
E''/Pa	1.16×10^9	8.7×10^8	6.9×10^8
ϵ_0/m	5×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}
ω/Hz	35	35	35
Q/J	101.50	12.18	2.42
备注	$Q_{SBS}/Q_{SBR} = 8.30$	$Q_{SBR}/Q_{APP} = 5.03$	

附表说明, -5℃时, SBS改性沥青的耗散热是 SBR 的 8 倍多, 而 SBR 是 APP 的 5 倍多。就材料的低温抗裂性而言, SBS 的低温柔性最好, SBR 次之, APP 最差。而且, 改性沥青材料的低温裂变与内耗模量之间存在定量的正比关系。此结论与试验测试结果完全一致。

2.2 SBR 掺量对改性沥青体内耗及 T_g 的影响

图 6 表明, 随着 SBR 掺量的增加, 相应的内耗峰明显降低, 同时向低温处移动。

Schwarzl 曾研究过硬填料对填充橡胶动态力学性能地影响^[2], 结果表明, 填充料使模量增大, 而且温度高于 T_g 时的影响比温度低时影响大, Nielsin 也曾提出, 刚性填料可以使阻尼(或衰减, $\tan \delta$)增加, 也可使阻尼降低, 在填料的加入导致阻尼下降的情况下, 阻尼可以近似地表示为:

$$\frac{E''}{E'} \approx \left(\frac{E''}{E'}\right)_1 \Phi_1 + \left(\frac{E''}{E'}\right)_2 \Phi_2$$

$$\tan \delta = (\tan \delta_1)_1 \Phi_1 + (\tan \delta_2)_2 \Phi_2 \quad (2)$$

式中 Φ_1 、 Φ_2 分别代表体系中两个组分的体积分数(如沥青和 SBR), $\tan \delta$ 为共混体的阻尼值, $\tan \delta_1$ 和 $\tan \delta_2$ 分别为二个组分的阻尼值。

在 SBR 改性沥青体系中, SBR 的强度远远大于沥青, 因此相对沥青而言, 可以把 SBR 看成刚性填料。这样我们可以认为 SBR 的阻尼比纯沥青大很多, 同时 SBR 的加入, 使纯沥青的有效体积 Φ_2 减少, 再者也可认为^[3] SBR 的加入产生的 SBR 与沥青界面的附聚作用(主要是物理用)以及改性沥青体系的粘弹行为, 使外力主要由 SBR 承受, 沥青上承受的应力减小, 因此, 随着 SBR 掺量的增加, 体系力学内耗降低。

2.3 温度对内耗及 T_g 的影响

改性沥青体系的内耗和 T_g 与温度的关系由图 7 示出, 以典型的改性沥青流变模型 - 四单元的 Burgers 体为例可以很好地说明体系的内耗、 T_g 随温度变化的规律。当温度很低时, 两个粘壶的粘度都很高(假设 $\eta_1 > \eta_2$) 以致被“冻结”, 对外界应力没有反应, 只有弹簧 1 被拉伸, 这时阻尼很低。随着温度的升高, 粘壶粘度降低, 粘壶 2 首先对应力有反应, 弹簧 1

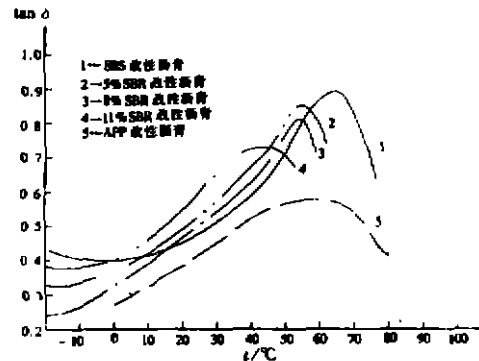


图 6 各类改性沥青不同温度下的内耗角

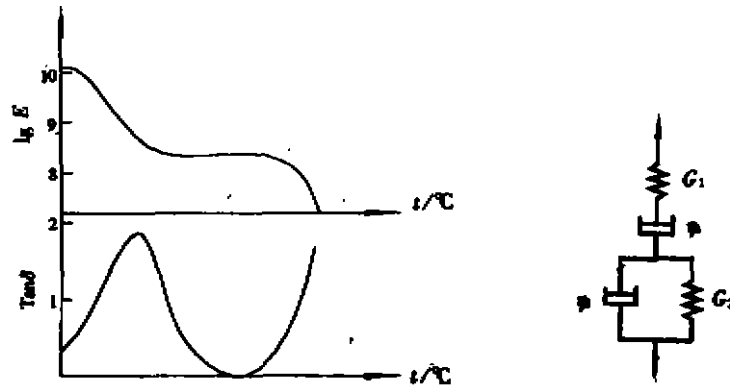


图7 Burgers体的动态力学性能与温度关系

也将伸长,但因受粘壶 η_1 的影响,其反应滞后于所加的应力,当周期性的外部应力变为零时,中间部仍继续伸长,而后,长度逐渐减小,形成应力和应变的相位差。

由于粘壶把运动能量以热的形式逸散,在此温度区域内,阻尼将变大,直至出现峰值。当温度继续升高时,因 $\eta_1 > \eta_2$,以致粘壶1对应力仍不能作出很多反应,而 η_2 已经很低,这样两个弹簧都对应力作出反应,使模量下降。这时虽然粘壶作了较大的运动,但因粘度已很低,不能耗损许多能量,(能量的损耗正比于粘度),所得的阻尼还是相当小的。只有当温度升高到阻尼峰对应的温度以上时,粘壶1的粘度 η_1 也降低到足以使它对外界应力作出反应,于是阻尼再次上升。至此,我们用流变学模型唯象地分析了改性沥青体的温度对内耗的影响。

3 结 论

- 1) DMA 技术是研究沥青类材料在周期性动荷载作用下的力学响应的有效手段。
- 2) 改性沥青的损耗模量 E'' 与其低温抗裂性之间存在定量的正比关系,损耗模量 E'' 愈大,抗低温裂变性愈好。据此,证明 SBR 改性沥青的低温性明显优于 APP 而劣于 SBS。
- 3) 随着 SBR 掺量的增加,体系的内耗峰降低,玻璃化转变温度 T_g 向低温区移动,体系耐低温性提高。
- 4) 沥青是典型的温敏性材料,改性沥青的流变参数 $[E], E', E''$ 等均随温度变化显现规律性变化。低温情况下, $[E], E', E''$ 均随温度降低而增高。

参 考 文 献

- 1 杨挺青. 粘弹性力学. 武汉:华中理工大学出版社,1989
- 2 T. Murayama, 聚合物的动态力学分析. 北京:轻工业出版社,1988
- 3 潘道成. 高聚物及其共混物的力学性能. 上海:上海科学技术出版社,1988
- 4 E. Nielsen. 高子和复合材料的力学性能. 北京:轻工业出版社,1981
- 5 M. Reiner. 理论流变学讲义. 北京:科学出版社,1965
- 6 T. F. Yen. Amarical Society 200th National Meeting, Washington, D. C. August 26-31, 1990, P314 - 319
- 7 H. Kuro and M. Senna, Rheol. Acta, 6, 284, 1967

8 C. Dhan, Rheology in Polymer Processing, Academic Press, New York, 1976

9 余构松. FRPP 在拉伸状态下的粘弹性: [学位论文]. 武汉: 武汉工业大学, 1989

Study on Dynamic Rheological Properties of Modified Bitumen Used for Road

Wang youpin Yu Jianyin Tan Yuhong

(Wuhan University of Technology, 430070)

Abstract The quantitative relationships between the brittleness at low temperature of bitumen and modified bitumen and their rheological parameters $[E], E', E''$ have been found in this paper by DMA. The laws of T_g variation with the temperatures have been investigated. The rheological equations of modified bitumen under dynamic loads have been set up. All these have provided theoretical bases for the modification of bitumen.

Key Words modified bitumen, brittleness, rheological parameter

(编辑: 刘家凯)

(上接第 34 页)

An Element Stiffness Matrix for Large - Displacement Elastic - Plastic Analysis of Steel Frames

Xu Weiliang

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045)

Pan Liben

(Faculty of Civil Engineering, Yangzhou University, 225000)

Abstract Based on the forming mechanism of the plastic hinge in the frame structures and combining traditional beam-column method with finite element method, an increment stiffness matrix of the simplified plastic-zone beam-column element model is derived in this paper. The stiffness matrix, which has taken into account the comprehensive influences of the $P - \Delta$ effect of axial force, structural large-displacement, changes in the plastic-moment capacity at plastic hinges due to changes in axial force, residual stress, degradation of cross-sectional tangent stiffness and plastic zone length on the element stiffness, can be applied to perform large-displacement elastic-plastic analysis of steel frame structures. By using the appropriate moment-curvature relationship of the member section, the element stiffness matrix can be expanded to perform geometrical and material nonlinear analysis of reinforced concrete frames. The outcome of this paper has advanced, on a large scale, the research works done by C. Oran^[1] and M. F. Giberson^[2].

Key Words elastic-plastic, large-displacement, stiffness matrix, steel frame

(编辑: 袁江)