

APAO 改性沥青试验研究*

孔令云¹, 周进川¹, 李 卫²

(1. 重庆交通科研设计院, 重庆市 400067; 2. 重庆高速公路发展有限公司渝东分公司, 重庆市 400047)

摘要:通过对 APAO、SBS 改性沥青及其混合料的温度敏感性、高温稳定性、低温抗裂性等试验, 研究了 APAO 对沥青及其混合料的高低温性能的改善效果。结果表明, 国产 APAO 改性剂能有效地改善沥青混合料的高温稳定性, 能提高沥青混合料的低温抗裂性, 降低沥青及其混合料的温度敏感性。

关键词: APAO; 改性沥青; 温度敏感性; 高温性能; 低温抗裂性

文章编号: 1009-6477(2005)05-0063-06

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Experimental Research on APAO Modified Asphalt

KONG Ling-yun¹, ZHOU Jin-chuan¹, LI Wei²

Abstract: The results of high temperature test and low temperature test of the APAO, SBS modified asphalt and the mixture show that the APAO modifier can improve not only the high temperature performance and the ability to resist the low temperature cracking of the modified asphalt and the mixture, but also the temperature susceptibility of the asphalt.

Key words: APOA; modified asphalt; temperature susceptibility; high temperature performance

近年来, 聚合物改性沥青已在我国得到广泛的应用。但是, 现在常用的聚合物改性剂如 PE、EVA、SBS、SBR 等都有一个与沥青难于共混的问题, 需采用特殊的加工工艺, 才能使其与沥青共混, 若缺乏专用的改性沥青制造设备, 在制备这类改性沥青时将会遇到很大困难。

研究中采用的改性剂 APAO (Amorphous Poly Alpha Olefin) 是由辽阳辽化奇达化工有限责任公司研制开发的, 这是一种采用特殊的催化剂, 以丙烯、乙烯、丁烯-1 为原料, 通过共聚反应得到的低分子量、非结晶的聚合物, 外观为乳白色固体, 有一定的韧性, 其分子空间结构是无规则排列, 无规物含量高 ($\geq 95\%$), 具有良好的耐酸、耐碱、抗氧化性能。通过对所选基质沥青及其 APAO 改性沥青、4303[#] SBS 改性沥青、沥青混合料的高、低温性能等试验, 评价了 APAO 改性剂对沥青路用性能的改善效果。

1 材料

沥青: KL70[#]、PJ130[#]; 改性剂: 518[#] APAO (掺量 4%、6%、8%)、705[#] APAO (掺量 4%、6%、8%)、4303[#] SBS (掺量 5%)。

APAO 改性沥青的配制: 温度为 165 ± 5 °C, 普通搅拌, 制样观察改性剂分散情况, 分布较好, 停止搅拌 (一般 1 h); SBS 改性沥青的配制: 温度 180 °C, 经高速剪切后进行低速搅拌熟化, 通过显微镜观测确定制备时间 (一般 10 h 以上)。

2 试验结果

2.1 沥青结合料试验结果

对目前我国大量修筑的沥青路面来说, 高温稳定性不够是一个比较严重的问题。路面的高温稳定性, 从沥青胶结料的角度看, 主要有 2 个方面的原因, 第一是沥青材料本身的各项指标没有达到要求, 另一个方面是沥青材料在高温条件下, 性质变化较大, 对温度的变化比较敏感, 温度的少量变化即能导致其性能的较大浮动, 这样对其路用性能来讲, 是极为不利的。基于以上 2 个方面的考虑, 本研究从沥青的温度敏感性以及高温稳定性 2 个方面, 对 APAO 改性剂的改性效果进行研究。

2.1.1 APAO 改性沥青温度敏感性试验及分析

(1) 针入度指数 (PI)

针入度指数 PI 通常可采用 5 °C ~ 30 °C 温度

收稿日期: 2005-07-20

项目名称: 西部交通建设科技项目“路用沥青改性技术的研究”(200131800028)

作者简介: 孔令云(1976-), 女, 江苏省南通市人, 工学硕士, 助研。

表1 掺加改性剂后针入度指数

研究沥青	PJ130*				KL70*			
	0	4%	6%	8%	0	4%	6%	8%
518* APAO	-2.4	-1.6	-1.4	-1.0	-0.3	0.0	0.7	0.9
705* APAO	-2.4	-1.0	-0.7	0.1	-0.3	0.6	0.6	1.5

范围内的针入度,通过回归得到 $\lg Pen = AT + K$ 后,由 $PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A}$ 计算所得,所以 PI 值反映的是沥青所测温度范围内(5~30℃)的温度敏感性。试验结果见表1。

对沥青材料而言,较大的 PI 值表示较小温度敏感性。比较表1中的结果可以看出,掺加改性剂 APAO 提高了 PI 值,有效地改善了沥青 5~30℃ 范围内的温度敏感性,且温度敏感性随 APAO 掺量(在 4%~8% 范围内)的增加而降低。

(2) 针入度粘度指数(PVN)

针入度粘度指数是由 135℃(或 60℃,一般不采用 60℃ 的粘度进行计算,因采用 60℃ 的粘度计算过程中存在着利用 135℃ 粘度换算的过程,其准确度不如 135℃ 粘度[4])的运动粘度与 25℃ 的针入度 Pen 通过下式计算:

$$PVN = -1.5 \frac{\log L - \log X}{\log L - \log M}$$

式中 X——沥青的 135℃ 的运动粘度(mm²/s);
L——在“Pen_{25℃} - Viscosity_{135℃}”关系线中,横坐标为沥青 25℃ 的针入度值所对应的 PVN = 0 直线上的纵座标,由 $\log L = 4.25800 - 0.79674 \log Pen$ 计算;
M——在“Pen_{25℃} - Viscosity_{135℃}”关系线中,横坐标为沥青 25℃ 的针入度值所对应的 PVN = -1.5 直线上的纵座标,由 $\log v_M = 3.46289 - 0.61094 \log Pen$ 计算;

Pen——沥青的 25℃ 针入度。

PVN = 0 表示沥青温度敏感性小, PVN = -1.5 表示沥青温度敏感性大。该指标是由 25℃ 的针入度以及 135℃ 的粘度计算所得,因此,一般认为该指标反映的是沥青在 25~135℃ 范围内的温度敏感性。其试验结果见表2。

表2 针入度粘度指数试验结果

改性剂	无	6%518	6%705	5%4303
		APAO	APAO	SBS
KL70*	0.19	1.01	1.28	1.23
PJ130*	-0.95	-0.23	0.02	0.95

表2中表明,在 25~135℃ 之间 APAO 改性剂可显著地改善沥青的温度敏感性。对 KL70*,其效果与 4303SBS 的效果相当,但是对 PJ130* 其效果不如 4303SBS。

(3) 粘度温度指数(VTS)

温度对沥青粘度的影响最大,已有很多方法用于定量描述粘度-温度关系。对于较宽温度区间的粘温关系,早在 20 世纪 30 年代就建立了运动粘度的双对数值与绝对温度的对数值之间的线性关系,其经验公式如下:

$$\log \log(v) = m \log T + b$$

式中 v——运动粘度(mm²/s);

T——绝对温度(摄氏温度 + 273.15)(K);

m, b——与沥青有关的常数,通常由回归所得。

m 为线性关系中的斜率,也称之为粘温敏感性(VTS——Viscosity Temperature Susceptibility)。对大多数沥青而言该拟合曲线的线性相关性很好,因此用 2 个温度下的粘度即可确定所测沥青的粘温敏感性 VTS。可由下式计算:

$$VTS = \frac{\log \log v_1 - \log \log v_2}{\log T_1 - \log T_2}$$

v₁、v₂ 分别为在温度 T₁、T₂(K)时的粘度(mm²/s)。

较大的 VTS 表明有较低温度敏感性,一般低于 60℃ 温度的直线的斜率容易偏离 60℃ 与更高温度间建立的斜率^[3],同时考虑到 25~135℃ 区间内的温度敏感性已通过 PVN 指标研究,因此在 VTS 指标中,对 135℃、175℃ 的粘度对沥青的粘温敏感性进行了试验,其结果见表3。

表3 粘温敏感性试验结果

改性剂	无	6%518	6%705	5%4303
		APAO	APAO	SBS
KL70*	-3.11	-2.84	-2.86	-3.12
PJ130*	-3.57	-3.29	-4.04	-2.35

由表3可以看出,对 135~175℃ 温度范围内 KL70* 的温度敏感性,改性剂 APAO、SBS 均无能为力,而且还有一定程度的减弱,APAO 对沥青温度敏感性减弱的程度较 SBS 小;对 PJ130* 在该温度范围内的温度敏感性,2 类改性剂均有一定的效果,但是 APAO 的效果较 SBS 的效果差。

表4 APAO改性沥青高温临界温度(°C)

APAO	沥青型号 (G*/Sin δ)		不同改性剂含量下的临界温度				备注
			0%	4%	6%	8%	
518*	KL70*	1.0 KPa	70.5	76.5	79.5	83.85	原样
		2.2 KPa	68.1	73.5	77.5	82.9	RTFO后
	PJ130*	1.0 KPa	57.5	62.2	66.3	66.8	原样
		2.2 KPa	55.4	58.6	62.5	65.4	RTFO后
705*	KL70*	1.0 KPa	70.5	76.6	79.6	83.1	原样
		2.2 KPa	68.1	77	79.2	80.8	RTFO后
	PJ130*	1.0 KPa	57.5	62	65	67.8	PAV后
		2.2 KPa	55.4	60.4	62.4	67.3	原样

表5 SBS改性沥青高温临界温度(°C)

改性剂	KL70*		PJ130*	
	G*/Sin δ		G*/Sin δ	
	1.0 KPa	2.2 KPa	1.0 KPa	2.2 KPa
—	70.5	68.1	57.5	55.4
4303* SBS	79.6	78.5	67.8	63.1
备注	原样	RTFO	原样	RTFO

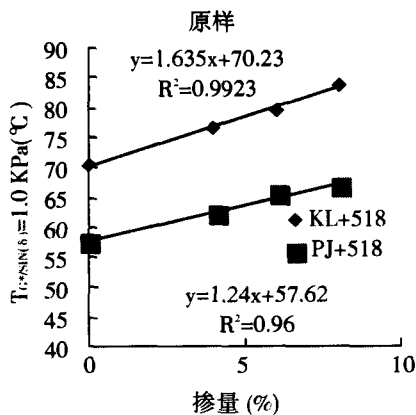


图1 T_{1.0}—掺量关系(518*APAO)

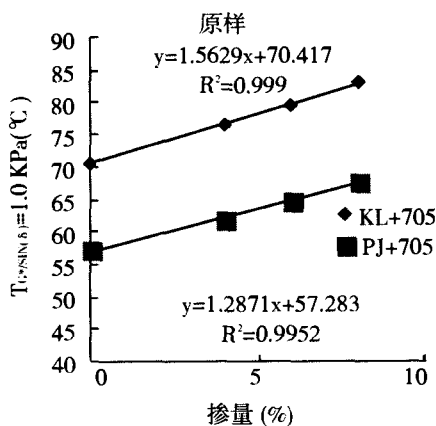


图2 T_{1.0}—掺量关系(705*APAO)

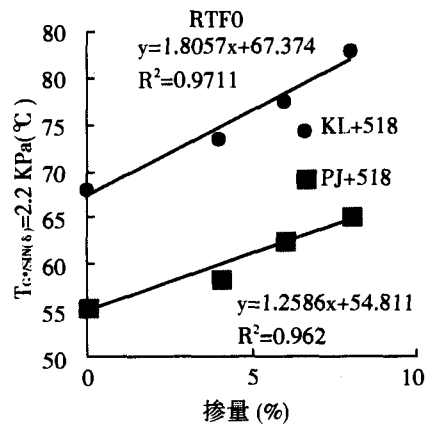


图3 T_{2.2}—掺量关系(518*APAO)

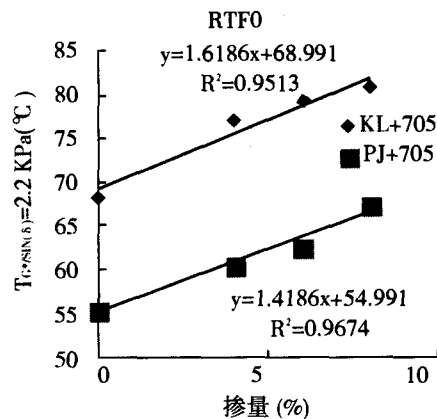


图4 T_{2.2}—掺量关系(705*APAO)

2.1.2 APAO改性沥青高温稳定性研究

PG分级中的高温等级是根据 G*/sin δ ≥ 1.0 KPa(原样)和 2.2 KPa(经旋转薄膜烘箱老化后)的最高温度共同决定的,其等级间隔为 6 °C。PG分级结果相同的 2 种沥青,其实际高温临界温度最大可能相差 6 °C,显然不能客观地反映沥青的高温破坏特性。因此,研究中对改性沥青的 G*/sin δ = 1.0 KPa(原样)和 2.2 KPa (RTFO后)时的温度分别进行

表7 车辙试验结果

所用沥青	在各温度下车辙次数(次/mm)				回归方程
	40℃	50℃	60℃	70℃	
KL70 [#]	6 087	4 002	1 869	420	$y = 1.589x^2 - 366.12x + 18\ 227$
KL70 [#] + APAO	10 045	5 066	1 893	1 316	$y = 11.005x^2 - 1504.2x + 52\ 643$
KL70 [#] + SBS	10 735	9 564	6 617	4 770	$y = -1.6895x^2 - 22.574x + 14\ 486$

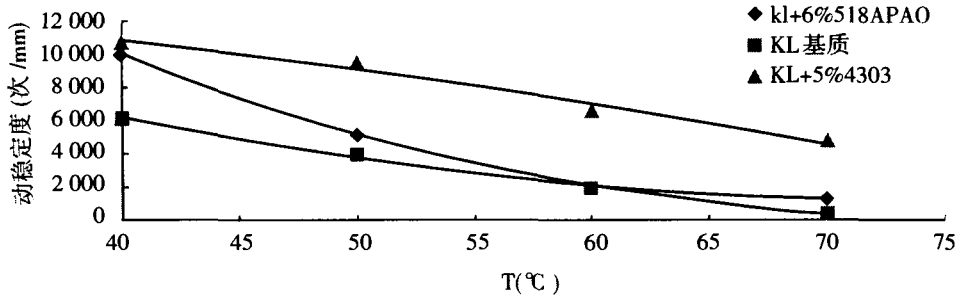


图5 车辙试验结果

表6 5%APAO改性剂时沥青高温临界温度(℃)

改性剂	KL70 [#]		PJ130 [#]	
	G [*] /Sin δ		G [*] /Sin δ	
	1.0 KPa	2.2 KPa	1.0 KPa	2.2 KPa
—	70.5	68.1	57.5	55.4
518 [#] APAO	78.4	76.4	63.8	61.1
705 [#] APAO	78.23	77.08	63.7	62.1
备注	原样	RTFO	原样	RTFO

了试验和计算,其结果分别见表4、表5。

由表4中沥青的高温临界温度与APAO掺量可得两者之间的关系曲线及其回归方程,见图1~图4。

由图1~图4中回归曲线算得5%的APAO改性剂时沥青高温临界温度,结果见表6。

分析以上图表可知:

(1) 表4中,2种基质沥青掺入2种型号的APAO改性剂后其高温临界温度均得到提高,且其提高的幅度随着掺量的增加而加大;

(2) 图1~图4中,KL70[#]的曲线的斜率均大于PJ130[#]的,意味着KL70[#]对APAO改性剂掺量较敏感,即KL70[#]掺加APAO改性剂剂量的微小变化都会带来沥青高温临界温度的较大变化;

(3) 比较表5、表6可知,KL70[#]+5%APAO改性沥青的高温临界温度与KL70[#]+5%4303[#]SBS改性沥青的高温临界温度仅相差1℃左右,PJ130[#]+5%APAO改性沥青的高温临界温度则较+4303[#]SBS改性沥青的高温临界温度相差较大,由表2中可知,PJ+6%APAO时可达到+5%4303[#]SBS的效果。

2.2 沥青混合料试验结果

本研究主要对混合料进行了高温、低温方面的

研究。

2.2.1 沥青混合料高温稳定性试验及分析

本研究中沥青混合料的高温稳定性能主要是针对对沥青路面的车辙而言的。为了防止出现车辙,提高混合料的高温抗车辙能力具有重要意义。

车辙试验是通过试件与车轮之间的往复相对运动(模拟道路服役期间汽车荷载的作用),使试件在车轮的重复荷载作用下,产生压密、剪切、推移和流动等来评价沥青混合料在规定温度下抵抗塑性流动变形的能力。

试验设计:沥青混合料在常温下是粘弹性材料,粘弹性材料的特点是其性状不仅取决于温度或时间单方面的影响,而是同时受两者的作用。因此,研究中考虑了温度、时间两者对车辙深度的影响,在规范规定温度60℃外,增加了40℃、50℃、70℃等3个温度进行车辙试验,以期得到动稳定度与时间关系的同时得到其与温度的关系式以便对车辙进行预估,试验结果分别见表7、图5。

由表7可以看出:

(1) KL70[#]中掺加APAO后,高温动稳定度有所提高,但是效果较掺加4303[#]SBS稍差;

(2) 比较图5中的基质沥青混合料、APAO改性沥青混合料、4303[#]SBS改性沥青混合料的动稳定度-T曲线发现,KL70[#]基质沥青的动稳定度随着温度的变化基本呈现线性变化趋势,当温度升高时其稳定性直线下降;KL70[#]+6%APAO后,曲线变得平缓,动稳定度对温度的敏感性降低(这一结果与沥青结合料部分的PI值是吻合的,KL基质沥青的PI为-0.3,掺加APAO后PI为0.7),该曲线在60℃点

上与基质沥青的曲线非常接近,但是基质沥青在 60℃以后迅速减小,而掺加 APAO 后,其动稳定度变化趋于平缓;KL70[#] + 4303[#] SBS 后,动稳定度虽明显提高,但随温度降低很快。

2.2.2 沥青混合料低温抗裂试验及分析

低温开裂是沥青路面破坏的主要形式之一,并且往往是其它病害的开端,严重危及道路的使用寿命。低温开裂是由于温度很快降低时,路面结构内产生的来不及松弛的温度应力积累超过其抗拉强度时而发生的。

试验设计:沥青混合料的低温性能的研究,采用等速加载弯曲试验:按试验规程 JTJ 052 - 2000 中的 T 0715 - 1993 的方法进行,规范中低温温度为 -10℃,研究中为了对沥青的低温开裂性能进行较深入的研究,找出低温指标与温度之间的关系,增加了几个试验温度,试验结果见表 8、表 9。

表 8 KL70[#] 基质沥青混合料低温弯曲试验结果

温度 (℃)	抗弯拉 强度 R _B (MPa)	梁底最大 弯拉应变 q _B (× 10 ⁻⁶)	弯曲劲度 模量 S _B (MPa)
0	11.0	2 949	3 747
-6	11.3	2 233	5 077
-12	12.4	1 429	8 685
-18	9.9	1 079	9 410
-24	9.5	977	9 713

表 9 KL70[#] + 6%518[#] APAO 改性沥青混合料低温弯曲试验结果

温度 (℃)	抗弯拉 强度 R _B (MPa)	梁底最大 弯拉应变 q _B (× 10 ⁻⁶)	弯曲劲度 模量 S _B (MPa)
10	13.6	6 625	2 055
5	17.9	4 304	4 148
-5	11.8	1 916	6 373
-10	11.5	1 782	6 706
-15	11.3	1 451	7 938
-20	11.0	1 318	8 370

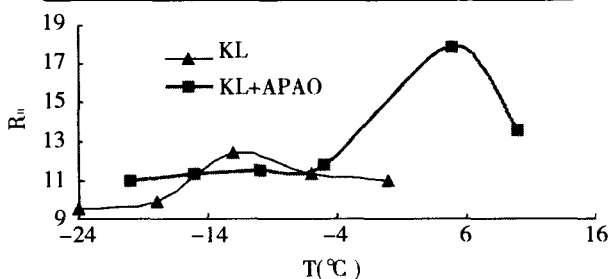


图 6 不同沥青在不同温度下抗弯拉强度比较

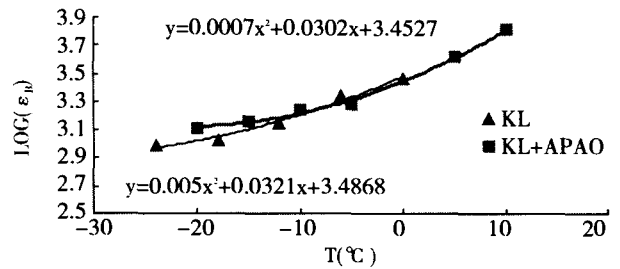


图 7 不同沥青在不同温度下最大弯拉应变比较

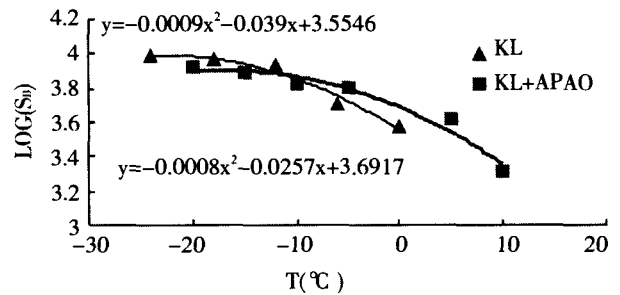


图 8 不同沥青不同温度弯曲劲度模量比较

从试验结果来看:

(1) 2 种沥青的 R_B - T 曲线均呈山峰状,这与 [2]中结果相一致。从图 6 中可知,掺加 APAO 改性剂后使得沥青混合料的脆化点温度提高,这一点对于沥青混合料来说是不利的;

(2) 一般认为破坏应变 ε_B 比破坏强度更能说明低温抗裂性能。由回归曲线可知,在 -9℃ 以上基质沥青混合料的破坏应变比 APAO 改性沥青混合料的破坏应变稍大,但是 -9℃ 以下基质沥青混合料的破坏应变迅速减小,而 APAO 改性沥青混合料的破坏应变变化则趋于平缓,表明掺加 APAO 改性剂后改善了 ε_B 对温度的敏感性;

(3) 沥青混合料的劲度模量与温度、时间密切相关,是沥青材料的主要性质指标,一般来说,低温劲度模量越大,其低温变形能力就越差,破坏强度、破坏应变不能完全解释沥青路面温度开裂问题,但劲度模量却能较好地反映路面低温收缩抗裂性能。由图 8 及其回归曲线可知,APAO 改性沥青混合料在 -11℃ 以上时劲度模量比基质沥青混合料的大,但是 -11℃ 以下,其变化趋于平缓,较基质沥青混合料的小,可以看出,掺加 APAO 改性剂后改变了 S_B 对温度的敏感性。

3 结论

(下转第 107 页)

< B4,至第6阶段,由于外水压力的作用,则变为 B1 < B3 < B2 < B4。

⑨ 对于最大剪应变,基本与应力的趋势相同。

⑩ 各工况,由于第6阶段外水压力的作用,衬砌的最大水平位移(在位移中)、最大拉应力(在应力中)及最大剪应变(在应变中)3者,相对增加的百分比最大,也就是说受外水压力影响最明显的物理量。

3 结论

通过以上不同阶段、不同工况的有限元数值仿真模拟的分析、比较,得到了以下结论:

(1) 衬砌在外水均布压力的作用下,仰拱及仰拱隅角部位是各应力最集中的位置,是最薄弱之处,最易发生破坏。

(2) 通过改善仰拱和仰拱隅角处的力学特性可增强衬砌承受外水均布压力的能力。

(3) 通过加大仰拱的矢跨比,增大仰拱隅角半径等有效措施,可以提高抗水压衬砌的力学性能。

(4) 衬砌在外水压力的作用下,最大水平位移(相对其它位移分量)、最大拉应力(相对其它应力分量)及最大剪应变(相对其它应变分量)3者是受外水压力影响最明显的物理量。

(5) 衬砌在外水压力的作用下,拉破坏是应优先考虑避免的。

(6) 从目前的分析结果来看,力学性能的排序是 B4 < B3 < B2 < B1,也就是说加厚边墙的衬砌断面 < 普通段的内轮廓衬砌断面 < 加厚仰拱的衬砌断面 < 增大仰拱矢跨比的衬砌断面。

(7) 本隧道的抗水压衬砌结构具有较高的安全度。

(8) 当然,实际的抗水压衬砌的力学性能、边界条件等因素都与模拟模型不同,但这种分析方法能更简洁地揭示出抗水压衬砌的重要受力变形特点,为设计抗水压衬砌提供了科学有效的途径。

参考文献

- [1] 蒋树屏. 我国公路隧道工程技术的现状及展望[J]. 公路隧道, 2000, (1): 1-5.
- [2] 丁浩,等. 岩溶地区隧道修筑关键技术探讨[A]. 2004年岩溶地区隧道修筑技术专题研讨会论文集[C]. 北京:人民交通出版社, 2004. 54-57.
- [3] 马来秋,等. 朱家岩隧道岩溶地段抗水压衬砌设计及施工方案[A]. 2004年岩溶地区隧道修筑技术专题研讨会论文集[C]. 北京:人民交通出版社, 2004. 81-91.
- [4] 郭小红,等. 穿越水库底部的全封闭隧道结构设计[J]. 公路交通技术, 2002, 增刊: 78-81.

(上接第67页)

(1) APAO 改性沥青制备工艺、设备简单,所需时间短,生产成本低;

(2) APAO 改性剂可有效地改善沥青的 5~135℃ 范围内的温度敏感性;对 135~175℃ 温度范围内的温度敏感性的改善情况,因所采用的指标 VTS 对沥青在该温度范围内敏感性的变化不是很灵敏而使得试验结果表现不明显;

(3) APAO 改性剂可有效地改善沥青及沥青混合料的高温稳定性,增强其抗高温变形能力;

(4) APAO 改性剂能增强沥青混合料的低温抗裂性能,从而延长沥青路面在低温条件下的使用寿命;

(5) APAO 改性剂能显著地降低沥青及其混合料的温度(高温、低温)敏感性,改善沥青及其混合料抗温度突变的能力。

参考文献

- [1] 王勤,游国兰,林绣贤. 沥青感温性的试验研究[J]. 上海公路, 2002, (2).
- [2] 西安公路交通大学. “八五”国家重点科技项目(攻关)子报告 12[R]. 1995.
- [3] 沈金安,李福普,李舜范. APAO 改性沥青试验研究[J]. 公路, 1997.
- [4] 章梓雄,董曾南. 粘性流体力学[M]. 北京:清华大学出版社, 1998.