

文章编号:1671-8879(2007)05-0030-05

沥青胶浆高温性能及评价方法

刘 丽^{1,2}, 郝培文¹, 肖庆一¹, 汪海年¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:为了研究沥青胶浆的高温性能,采用了 3 种试验方法——锥入度试验、动态剪切流变试验和旋转粘度试验,分析了石灰石矿粉、水泥和消石灰 3 种填料以及 4 种粉胶质量比(0.6, 0.8, 1.0, 1.2)对沥青胶浆高温性能的影响,并把不同试验方法得到的结果进行了比较。结果表明:水泥和消石灰可以增加沥青胶浆的稠硬性,提高沥青胶浆的抗剪强度、抗车辙因子和粘度,从而有利于改善沥青胶浆的高温性能;锥入度试验得到的抗剪强度指标可以很好地区分不同填料、不同粉胶质量比对沥青胶浆性能的影响,并与抗车辙因子和粘度指标之间有很好的相关性,是一种评价沥青胶浆高温性能的有效方法。

关键词:道路工程;沥青胶浆;水泥;消石灰;粉胶质量比;锥入度试验

中图分类号:U414.75 **文献标志码:**A

High temperature properties and evaluation method of asphalt mortar

LIU Li^{1,2}, HAO Pei-wen¹, XIAO Qing-yi¹, WANG Hai-nian¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Civil Engineering,

Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China)

Abstract: To study asphalt mortars' properties at high temperature, this paper analyzed the influence of three different filler sorts (limestone dust, cement and hydrated lime) and four different mass ratios of filler/asphalt (0.6, 0.8, 1.0, 1.2) on the asphalt mortars' properties by awl penetration test, dynamic shear rheometer (DSR) and Brookfield viscometer. The contrasts among different test results were presented. The results show that cement and hydrated lime can increase asphalt mortars' anti-shear stress, $G^*/\sin\delta$ and viscosity, and are helpful to its properties at high temperature. Furthermore, anti-shear stress from awl penetration test has a good correlation with $G^*/\sin\delta$ and viscosity. It proves that awl penetration test is an effective measurement for studying asphalt mortars' properties at high temperature. 4 tabs, 5 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; asphalt mortar; cement; hydrated lime; mass ratio of filler/asphalt; awl penetration test

0 引 言

沥青和填料的混合物称为沥青胶浆,在混合料

中起粘附和填充作用。由于目前沥青混合料设计思想都是仅把沥青作为混合料中的粘附剂,所以对粘附剂的研究只集中在沥青和改性沥青技术性能方

收稿日期:2006-06-10

基金项目:国家自然科学基金项目(50578016)

作者简介:刘 丽(1976-),女,河北安国人,博士研究生,E-mail:liuligreen@yahoo.com.cn.

面,忽略了混合料中填料的分散作用以及填料与沥青之间的界面作用^[1]。在中国,填料多采用石灰石矿粉,有时为了增加沥青和石料之间的粘附性,也加入水泥和消石灰或生石灰粉^[2-3]。不同的填料形成不同种类的沥青胶浆,如何评价其性能还没有统一的试验方法和评价标准^[4]。不同填料、不同胶浆质量比对沥青胶浆的性能有何影响,采用何种测试方法进行试验能够既简便又有效,这方面的研究是近几年随着沥青马蹄脂碎石路面(SMA)的广泛应用而发展起来的,目前还处于起步阶段^[5-9]。为此,本文研究了不同填料和不同胶浆质量比对胶浆高温性能的影响,提出了评价胶浆高温技术性能的新的试验方法,通过对不同试验的结果进行对比分析,验证了这种试验方法的可行性。

1 原材料

本研究采用了茂名90[#]基质沥青,石灰石矿粉(简称矿粉)、425[#]水泥和消石灰作填料,按粉胶质量比0.6、0.8、1.0、1.2分别制备矿粉沥青胶浆、水泥沥青胶浆和消石灰代替部分矿粉沥青胶浆。其中,在消石灰代替部分矿粉的沥青胶浆中,消石灰占沥青的质量比为30%。矿粉、水泥和消石灰0.075 mm筛的通过率都大于90%。

2 试验结果及分析

2.1 锥入度试验

借鉴国内外的研究成果^[10],考虑实际操作的简单性和可行性,把针入度仪上的细针换成了加工的

锥针,将其改装成锥入度仪,锥针尺寸如图1所示。抗剪强度可根据所测的锥入度由下式计算得到

$$\tau = \frac{981Q \cos^2(\alpha/2)}{\pi h^2 \tan(\alpha/2)}$$

式中: τ 为抗剪强度(kPa); Q 为贯入质量(锥针、连杆、砝码及调重钢球总质量,g); h 为锥入度(0.1 mm); α 为锥针针尖角度(30°)。

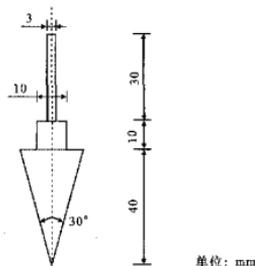


图1 锥针尺寸

将基质沥青和不同粉胶质量比情况下的各种沥青胶浆进行锥入度试验,试验温度采用25℃、30℃、40℃、45℃、50℃,贯入时间为5 s。在5种温度下,没有采用统一的贯入质量,主要出于以下两点考虑:①温度跨度较大,25℃和50℃时胶浆性能差别很大,若采用统一的锥重进行试验,在某些温度下会出现不能区分不同胶浆性能的情况;②由于仪器本身的限制,温度在40℃以上如果还采用较大的锥重,会因胶浆太软、锥入度量程不足而无法进行试验。表1是沥青胶浆锥入度试验结果。

(1)与锥入度值相比,抗剪强度更能反映胶浆随

表1 沥青胶浆锥入度试验和抗剪强度计算结果

项目		锥入度/(0.1 mm)					抗剪强度/kPa				
温度/℃		25	30	40	45	50	25	30	40	45	50
贯入质量/g		195.1	195.1	195.1	95.0	56.3	195.1	195.1	195.1	95.0	56.3
基质沥青	粉胶质量比0	95.7	154.5	326	363		23.2	8.89	2.00	0.78	
	粉胶质量比0.6	70.3	112.0	264		302	42.9	16.90	3.04		0.67
	粉胶质量比0.8	62.0	102.0	232		277	55.2	20.40	3.94		0.80
	粉胶质量比1.0	56.3	93.0	215		252	66.9	24.50	4.59		0.96
	粉胶质量比1.2	50.3	83.0	192		225	83.8	30.80	5.76		1.21
水泥沥青胶浆	粉胶质量比0.6	72.0	117.0	262		293	40.9	15.50	3.09		0.71
	粉胶质量比0.8	62.0	103.0	235		268	55.2	20.00	3.84		0.85
	粉胶质量比1.0	57.0	93.0	212		238	65.3	24.50	4.72		1.08
	粉胶质量比1.2	52.0	84.0	188		197	78.5	30.10	6.00		1.58
消石灰代替部分矿粉沥青胶浆	粉胶质量比0.6	51.7	83.0	202		217	79.4	30.80	5.20		1.30
	粉胶质量比0.8	46.7	73.0	173		195	97.3	39.80	7.09		1.61
	粉胶质量比1.0	41.0	66.0	154		171	126.2	48.70	8.95		2.09
	粉胶质量比1.2	39.0	61.6	132		145	139.5	55.90	12.18		2.91

温度变化的趋势和不同胶浆之间的性能差异。例如,粉胶质量比1.2的矿粉沥青胶浆,25℃抗剪强度比40℃抗剪强度高一个数量级,而40℃抗剪强度又是50℃抗剪强度的5倍。由此可见,通过公式的计算,能将差别较小的锥入度值放大成差别很大的抗剪强度值,使不同胶浆的性能差别一目了然。

(2)无论是哪种沥青胶浆,相同温度下,随着粉胶质量比增加,抗剪强度都增大,说明填料加入越多,胶浆越稠硬,增大填料的用量可以提高胶浆的抗剪强度。同时,胶浆具有很强的温度敏感性,抗剪强度随温度升高而急剧减小。这说明,对于沥青胶浆,温度同样是很重要的影响参数。

(3)相同粉胶质量比时,消石灰代替部分矿粉沥青胶浆的抗剪强度明显大于矿粉沥青胶浆和水泥沥青胶浆的抗剪强度。这说明消石灰可以大大增加胶浆的稠硬性,加入消石灰,可以提高胶浆的高温性能。

(4)对于矿粉和水泥两种填料,究竟哪一种使沥

青变硬的程度大一些,不能简单地下结论,应该结合温度来考虑。相同粉胶质量比情况下,在25℃和30℃时,矿粉沥青胶浆抗剪强度略大于水泥沥青胶浆抗剪强度;40℃时,水泥沥青胶浆抗剪强度却略大于矿粉沥青胶浆抗剪强度;50℃时,水泥沥青胶浆抗剪强度明显大于矿粉沥青胶浆抗剪强度。总的来说,温度低于30℃时,水泥使沥青变硬的程度略小于矿粉使沥青变硬的程度;温度高于40℃时,水泥使沥青变硬的程度要明显大于矿粉使沥青变硬的程度。

2.2 动态剪切流变试验(DSR)

动态剪切流变试验采用美国BOHLIN公司生产的C-VOR150型动态剪切流变仪,应变控制模式的应变值 $\gamma=12\%$,试验频率 $\omega=10\text{ rad/s}$,约等于1.59 Hz,试验温度采用60℃,试样直径为25 mm,厚度为1 mm,试验方法为AASHTO标准TP5,试验结果见表2。

表2 沥青胶浆60℃动态剪切流变试验结果

项目	G^*/kPa	$\delta/(\text{°})$	$G' = G^* \cos \delta/\text{kPa}$	$G'' = G^* \sin \delta/\text{kPa}$	$G^* \sin \delta/\text{kPa}$	
基质沥青	粉胶质量比0	1.49	89.0	0.03	1.49	1.50
矿粉 沥青 胶浆	粉胶质量比0.6	3.09	88.9	0.06	3.08	3.09
	粉胶质量比0.8	3.50	88.9	0.07	3.50	3.50
	粉胶质量比1.0	4.55	88.9	0.09	4.55	4.55
	粉胶质量比1.2	5.59	88.9	0.11	5.59	5.59
	粉胶质量比0.6	3.14	89.0	0.05	3.13	3.14
水泥 沥青 胶浆	粉胶质量比0.8	4.17	88.9	0.08	4.16	4.17
	粉胶质量比1.0	4.90	88.9	0.09	4.90	4.90
	粉胶质量比1.2	5.87	88.9	0.11	5.87	5.87
	粉胶质量比0.6	4.81	88.8	0.10	4.81	4.81
消石灰 代替部分 矿粉沥青 胶浆	粉胶质量比0.8	5.79	88.9	0.11	5.79	5.79
	粉胶质量比1.0	6.88	88.8	0.14	6.87	6.88
	粉胶质量比1.2	8.21	88.8	0.17	8.21	8.21

注: G^* 为复数剪切模量; δ 为相位角; G' 为弹性分量; G'' 为粘性分量。

(1)相同粉胶质量比时,不同胶浆的抗车辙因子是不同的。水泥沥青胶浆的抗车辙因子大于矿粉沥青胶浆的抗车辙因子;消石灰代替部分矿粉沥青胶浆的抗车辙因子明显大于矿粉和水泥沥青胶浆的抗车辙因子。这说明,水泥对沥青的硬化效果大于矿粉对沥青的硬化效果,而消石灰对沥青的硬化效果要远远大于二者对沥青的硬化效果,这与锥入度试验得到的抗剪强度结果是一致的。从而推断出,加入消石灰可以明显改善沥青混合料的高温稳定性,提高沥青路面的抗车辙能力。

(2)从胶浆相位角可以看出,基质沥青和胶浆的相位角大都在88.8°~89.0°之间,不同填料的胶浆

相位角没有多大区别,不同粉胶质量比的胶浆相位角也相差不大。这说明,填料的种类和填料的掺量对胶浆的相位角影响很小,虽然胶浆在受到重复剪切时的总阻力增大了,但是弹性部分和粘性部分的比例基本上是保持不变的。

2.3 旋转粘度试验

采用美国Brookfield的DV-II型旋转粘度仪,试验方法为ASTM D4402。试验结果见表3。

(1)相同粉胶质量比时,胶浆粘度值具有如下关系:消石灰代替部分矿粉沥青胶浆>水泥沥青胶浆>矿粉沥青胶浆,说明在沥青中加入水泥或消石灰,可以提高胶浆的粘度,消石灰提高粘度的程度大

表 3 沥青胶浆旋转粘度试验结果

温度/℃		90	110	135	165	粘温曲线	相关系数 R^2	
转速/($r \cdot \min^{-1}$)		6	20	30	100			
基质沥青		6.625	1.153	0.381	0.109 0	$y = 3 \times 10^{13} x^{-6.692 9}$	0.989 3	
旋转粘度 / (Pa·s)	矿粉 沥青 胶浆	粉胶质量比 0.6	2.332	2.332	0.619	0.156 7	$y = 8 \times 10^{14} x^{-7.982 5}$	0.997 5
		粉胶质量比 0.8	2.402	2.402	0.753	0.180 7	$y = 2 \times 10^{15} x^{-7.2}$	0.990 0
		粉胶质量比 1.0	3.817	2.402	1.027	0.207 2	$y = 6 \times 10^{15} x^{-7.426 7}$	0.9978
		粉胶质量比 1.2	5.544	2.402	1.275	0.262 8	$y = 2 \times 10^{16} x^{-7.619 5}$	0.999 6
	水泥 沥青 胶浆	粉胶质量比 0.6	13.125	2.556	0.636	0.161 0	$y = 2 \times 10^{15} x^{-7.212 5}$	0.998 0
		粉胶质量比 0.8	15.875	3.444	0.763	0.199 2	$y = 2 \times 10^{16} x^{-7.237 1}$	0.999 2
		粉胶质量比 1.0	23.459	4.824	1.042	0.262 8	$y = 7 \times 10^{15} x^{-7.417 7}$	0.999 1
		粉胶质量比 1.2	35.792	7.194	1.692	0.324 8	$y = 4 \times 10^{16} x^{-7.487}$	0.999 2
	消石灰 代替部分 矿粉沥青 胶浆	粉胶质量比 0.6	25.959	5.419	1.300	0.309 8	$y = 4 \times 10^{14} x^{-7.271 5}$	0.999 4
		粉胶质量比 0.8	37.375	7.869	1.812 *	0.418 7 *	$y = 1 \times 10^{16} x^{-7.385 7}$	0.999 7
		粉胶质量比 1.0	60.833	12.792	2.837 *	0.662 3 *	$y = 2 \times 10^{16} x^{-7.448 8}$	0.999 7
		粉胶质量比 1.2	94.135	19.428	4.375 *	0.987 5 *	$y = 4 \times 10^{16} x^{-7.494 1}$	0.999 7

注: *表示旋转粘度超出了仪器测量范围,而在此温度下不同转速的粘度相差很小,所以用其他转速的粘度代替。

于水泥提高粘度的程度。

(2)相同温度下,随着粉胶质量比的增加,粘度值增大,但是粘度值的增加幅度不同。粉胶质量比从 0.6 到 0.8,粘度值变化较小;粉胶质量比从 0.8 到 1.2,粘度值变化较大,特别是粉胶质量比从 1.0 到 1.2,其粘度值得到明显提高。总之,沥青胶浆粘度值不仅与温度有关,而且与填料种类、粉胶质量比大小密切相关。

3 DSR 抗车辙因子、粘度与锥入度抗剪强度之间相关性分析

由图 2 和图 3 可以看出,40℃和 50℃锥入度抗剪强度与 60℃抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 具有较好的相关性,而且相关系数都在 0.96 以上。这说明,填料种类的不同和粉胶质量比的不同,对锥入度高温抗剪强度和 60℃抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 具有同等程度的影响,采用锥入度抗剪强度和采用抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 来评价胶浆高温性能,二者得到的结论是一致的。这就是说,锥入度试验可以明显区分填料种类对抗剪强度的影响,能很好地反映抗剪强度随粉胶质量比变化的趋势。由此可以得到结论:如果通过锥入度试验知道了不同胶浆高温抗剪强度的变化趋势,就可以利用抗剪强度和抗车辙因子二者的相关性得到 60℃抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 的变化趋势,反之亦然。

从图 4 和图 5 可以看出,锥入度高温抗剪强度与 135℃和 165℃旋转粘度之间有很好的相关性,二者

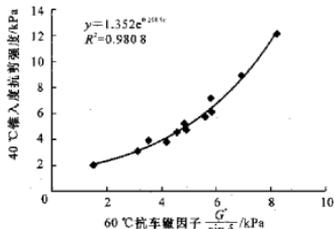


图 2 40℃锥入度抗剪强度与 60℃抗车辙因子的关系曲线

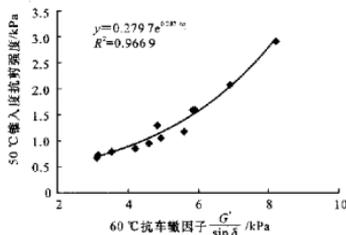


图 3 50℃锥入度抗剪强度与 60℃抗车辙因子的关系曲线

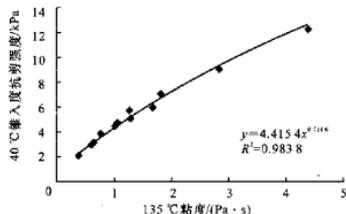


图 4 40℃锥入度抗剪强度与 135℃粘度的关系曲线
在评价沥青胶浆高温性能时得到的结论是一致的。

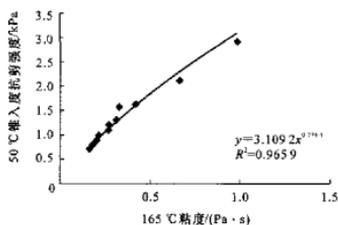


图5 50℃锥入度抗剪强度与165℃粘度的关系曲线

综上所述,评价沥青胶浆高温性能可以采用锥入度试验、DSR试验和旋转粘度试验,现将不同试验方法进行多方位比较(表4)。

表4 沥青胶浆高温性能指标比较

试验方法	锥入度试验	动态剪切流变试验(DSR)	旋转粘度试验
测定指标	抗剪强度	抗车辙因子 $G^*/\sin \delta$	粘度
反映胶浆高温性能	好	好	好
仪器设备来源	方便(只需锥入度仪)	进口	进口
仪器操作	易	难	中等
设备成本	低	昂贵	中等
中国生产单位 可接受程度	易	难	中等

经过分析得知,通过锥入度试验得到的抗剪强度可以很好地区分不同沥青胶浆的高温性能,而且,由于锥入度试验具有操作简单、设备便宜和易于被生产单位接受等优点,所以在评价沥青胶浆高温性能时建议采用锥入度试验,评价指标采用抗剪强度。

4 结语

(1)锥入度、DSR和旋转粘度试验结果同时表明,在沥青中加入水泥和消石灰,可以增加胶浆的稠硬性,提高抗剪切能力和抗车辙因子,从而有利于改善沥青路面在高温稳定性。

(2)锥入度抗剪强度指标可以很好地区分不同填料、不同粉胶质量比对胶浆性能的影响。

(3)40℃、50℃锥入度抗剪强度和60℃DSR抗车辙因子及135℃、165℃旋转粘度之间有很好的相关性,可以用来评价胶浆的高温性能。

参考文献:

References:

[1] 刘丽. 沥青胶浆技术性能及评价方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.

[2] 张争奇, 王永财. 沥青胶浆对沥青混合料高低温性能的影响[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(2): 1-5.
ZHANG Zheng-qi, WANG Yong-cai. Influence of asphalt mortar on hot mix asphalt performance at high and low temperature[J]. Journal of Chang'an University, Natural Science Edition, 2006, 26(2): 1-5.

[3] 姚爱玲, 徐德龙, 孙治军. 矿渣粉作为填料的沥青混合料性能试验[J]. 中国公路学报, 2006, 19(6): 25-29.
YAO Ai-ling, XU De-long, SUN Zhi-jun. Performance test on asphalt mixture of slag powder as filling[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(6): 25-29.

[4] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

[5] Brown ER, Haddock J, Crawford C. Investigation of stone matrix asphalt mortars[J]. Transportation Research Record, 1996, 1530: 95-102.

[6] 王鹏, 曾凡奇, 黄晓明. 沥青高温性能指标的灰色关联度分析[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(3): 32-36.
WANG Peng, ZENG Fan-qi, HUANG Xiao-ming. Grey relation degree analysis of high-temperature performance indexes of asphalt[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(3): 32-36.

[7] 邵显智, 谭忆秋, 邵敏华. 几种矿粉指标对沥青胶浆的影响分析[J]. 公路, 2004, (5): 122-124.
SHAO Xian-zhi, TAN Yi-qiu, SHAO Min-hua. Analysis of influence of several indexes of mineral filler on asphalt mortar[J]. Highway, 2004, (5): 122-124.

[8] 孙长新. 沥青与矿料作用的热力学分析[J]. 中国公路学报, 2005, 18(4): 16-20.
SUN Chang-xin. Thermokinetic analysis of adsorption between asphalt and mineral aggregate[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(4): 16-20.

[9] 张争奇, 梁晓莉, 李平. 沥青老化性能评价方法[J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(1): 1-5.
ZHANG Zheng-qi, LIANG Xiao-li, LI Ping. Evaluation method of asphalt aging properties[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(1): 1-5.

[10] 刘丽, 李剑, 郝培文, 等. 硅藻土改性沥青胶浆技术性能的评价方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(3): 23-27.
LIU Li, LI Jian, HAO Pei-wen, et al. Evaluation method for property of modified asphalt mortar with diatomite[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(3): 23-27.