

文章编号:1671-8879(2005)03-0023-05

硅藻土改性沥青胶浆技术性能的评价方法

刘 丽^{1,2}, 李 剑¹, 郝培文¹, 梅庆斌³

(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; 3. 云南公路科学技术研究所, 云南 昆明 650051)

摘 要:为了弥补常规评价沥青胶浆技术性能方法的缺陷,提出了硅藻土改性沥青胶浆技术性能的评价方法。通过开发的锥入度试验,研究了硅藻土改性沥青胶浆的技术性能,并用 SHRP 试验(包括动态剪切试验和弯曲梁流变试验)来验证该评价方法的可靠性,发现采用锥入度抗剪强度评价与采用 SHRP 试验指标评价得到的结论是一致的。结果表明,采用锥入度试验来评价沥青胶浆的性能是合理可行的。

关键词:道路工程;沥青胶浆;锥入度试验;SHRP;硅藻土

中图分类号:U414.75

文献标识码:A

Evaluation method for property of modified asphalt mortar with diatomite

LIU Li^{1,2}, LI Jian¹, HAO Pei-wen¹, MEI Qing-bin³

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 3. Yunnan Provincial Research Institute of Highway Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: The property of asphalt mortar plays an important role in asphalt mixture's technical performance. It has some disadvantages to estimate the properties of asphalt mortar with conventional tests. This paper exploited an awl penetration test to evaluate the properties of modified asphalt. This test method was verified by SHRP tests. It was found that the evaluating results by awl penetration test have a close relationship with the one by SHRP tests. The results show that it is reasonable to estimate the properties of asphalt mortar with awl penetration test. 5 tabs, 7 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; asphalt mortar; awl penetration test; SHRP; diatomite

0 引 言

沥青混合料由沥青胶浆和骨料两部分组成,沥青胶浆又由沥青和矿粉组成。虽然胶浆对路面性能起着十分重要的作用,但是对于胶浆的研究是这几年随着 SMA 的广泛应用才发展起来的^[1,2]。大量试验研究发现,简单地采用评价纯沥青的一些试验方法和指标来评价改性沥青胶浆的技术特性,往往

不能体现出其优良性能。采用常规试验中的针入度、延度试验,会因沥青中加入矿粉或改性剂,使沥青由原来的均匀体变成混合分散体,测定的数据离散性较大,从而影响试验结果的可靠性^[3~7]。因此,作为沥青胶浆技术中的一项重要内容,建立完善的评价沥青胶浆性能的方法、指标和标准是很必要的。

本文借鉴国内外的研究情况,考虑实际操作的简单性和可行性,在针入度仪的基础上开发了锥入

收稿日期:2004-03-10

作者简介:刘 丽(1976-),女,河北安国人,长安大学博士研究生。

度仪,并对硅藻土改性沥青胶浆进行了试验,同时与 SHRP 试验结果作对比。

1 制备工艺及锥入度试验方法

1.1 硅藻土改性沥青胶浆的制备工艺

本文试验采用茂名基质沥青,其基本技术性质测定结果见表 1。

表 1 基质沥青基本技术性质

项目	针入度 (25 ℃ 100 g 5 s)/0.1 mm	延度 15 ℃/cm	软化点 $T_{R\&B}/\text{℃}$
测定值	89.3	>150	49

所用硅藻土 0.075 mm 筛孔通过百分率为 100%,亲水系数<1。

在基质沥青中分别掺加 11%、13%、15%、17% 硅藻土(外掺,占沥青质量),制备成硅藻土改性沥青胶浆。具体的改性工艺为:首先把硅藻土放在烘箱中烘约 1 h,使其干燥,同时也保证硅藻土和沥青这两相物质相混时温度相差不大;然后将称量好的硅藻土分次加入到 150 ℃左右的基质沥青中,不断搅拌均匀即可。

1.2 锥入度试验方法

锥入度仪器采用实验室常用的针入度仪,只是将针入度的长针换成了特制的锥针,锥针采用不锈钢加工而成,锥角 30°,锥针、配重砝码加连杆的质量为 200 g;盛样皿直径 70 mm,内部深度 45 mm。锥针和砝码实物照片如图 1 所示。

图 1 锥针、砝码实物照片

沥青胶浆的剪切强度可根据下式计算

$$\tau = \frac{Q\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi h^2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (1)$$

式中:τ为抗剪强度(kPa);Q为锥针、连杆及砝码总重(kN);h为锥入度(m);α为锥针针尖角度,30°。

2 锥入度试验及结果分析

2.1 试验条件

试验温度采用 5 ℃、15 ℃、25 ℃、30 ℃、40 ℃和 45 ℃,共 6 种温度,其中 5 ℃~30 ℃锥入度试验条件为 200 g、5 s,40 ℃锥入度试验条件为 100 g、5 s,45 ℃锥入度试验条件为 82.08 g、5 s。硅藻土改性沥青胶浆的老化是在 163 ℃下采用旋转薄膜烘

箱进行的,老化时间 75 min。

2.2 锥入度试验结果

老化前后硅藻土改性沥青胶浆的锥入度试验结果见表 2。在对温度-锥入度进行相关性分析时,将锥入度取对数,建立锥入度与温度的关系。在数据处理时只对试验条件相同的 4 个温度 5 ℃、15 ℃、25 ℃、30 ℃进行回归分析。

根据锥入度试验结果,采用式(1)对硅藻土改性沥青胶浆的剪切强度进行计算,结果见表 3。

表 2 锥入度试验结果 /0.1 mm

沥青胶浆		温度/℃					
		5	15	25	30	40	45
老化前	基质沥青	6.3	23.8	83.1	138.4	268.6	351.9
	+硅藻土 11%	5.6	19.4	67.6	115.8	218.8	336.0
	+硅藻土 13%	5.8	18.5	65.4	102.7	208.3	314.1
	+硅藻土 15%	5.3	16.3	61.0	100.8	196.1	296.0
	+硅藻土 17%	4.6	17.2	57.2	107.9	204.7	283.0
沥青胶浆		5℃~30℃温度下锥入度的相关性分析					
		线性回归方程				相关系数 R^2	
老化前	基质沥青	$y = 0.0541x + 0.5454$				0.9983	
	+硅藻土 11%	$y = 0.0529x + 0.4981$				0.9995	
	+硅藻土 13%	$y = 0.0508x + 0.5122$				0.9981	
	+硅藻土 15%	$y = 0.0520x + 0.4576$				0.9983	
	+硅藻土 17%	$y = 0.0544x + 0.4023$				0.9997	
沥青胶浆		温度/℃					
		5	15	25	30	40	45
老化后	基质沥青	5.1	14.3	45.9	83.5	172.3	277.2
	+硅藻土 11%	4.8	13.4	44.9	77.3	148.5	237.4
	+硅藻土 13%	4.7	12.7	43.9	78.7	150.7	225.6
	+硅藻土 15%	4.4	11.7	41.2	71.6	135.5	223.5
	+硅藻土 17%	4.0	11.2	39.7	68.5	136.0	215.5
沥青胶浆		5℃~30℃温度下锥入度的相关性分析					
		线性回归方程				相关系数 R^2	
老化后	基质沥青	$y = 0.0486x + 0.4514$				0.9987	
	+硅藻土 11%	$y = 0.0486x + 0.4257$				0.9986	
	+硅藻土 13%	$y = 0.0495x + 0.3995$				0.9977	
	+硅藻土 15%	$y = 0.0490x + 0.3783$				0.9970	
	+硅藻土 17%	$y = 0.0500x + 0.3343$				0.9981	

2.3 锥入度试验结果分析

(1)无论是老化前还是老化后,在相同的温度下,随着硅藻土掺量的增加锥入度有变小的趋势。

表 3 沥青胶浆在不同温度下的剪切强度 /kPa

沥青胶浆		温度/℃					
		5	15	25	30	40	45
老化前	基质沥青	5473.44	384.60	31.48	11.35	1.51	0.88
	+硅藻土 11%	6845.58	575.24	47.54	16.20	2.27	0.96
	+硅藻土 13%	6457.81	634.74	50.84	20.61	2.50	1.10
	+硅藻土 15%	7637.37	821.00	58.38	21.37	2.82	1.24
	+硅藻土 17%	1 0119.39	737.17	66.32	18.68	2.59	1.36
老化后	基质沥青	8244.08	1067.32	103.26	31.13	3.66	1.16
	+硅藻土 11%	9299.25	1215.89	107.76	36.39	4.93	1.58
	+硅藻土 13%	9975.34	1346.90	112.89	35.07	4.79	1.75
	+硅藻土 15%	1 1053.01	1577.97	127.98	42.38	5.92	1.78
	+硅藻土 17%	13 577.55	1731.83	137.84	46.34	5.87	1.92

这说明参加硅藻土能使沥青变硬,且随硅藻土掺量增加变硬的程度愈大。相同硅藻土掺量的改性沥青胶浆,随温度的升高锥入度有变大的趋势,且随着试验温度的升高这种变大的趋势越明显。

(2)在相同试验条件下,即在 200 g、5 s 的条件下,温度和锥入度的对数呈明显的线性关系,也符合 $\lg P = AT + K$

其中, P 为锥入度(0.1 mm); T 为温度(℃); A 、 K 为常数;而且回归方程相关系数非常高,这与标准针入度试验相类似。

(3)从不同温度下的剪切强度来看,锥入度能明显区分不同温度下沥青胶浆的抗剪性能。比如老化后参加 15% 硅藻土的沥青胶浆,5℃ 抗剪强度比 15℃ 抗剪强度高 1 个数量级,15℃ 抗剪强度又比 25℃ 抗剪强度高 1 个数量级,而 25℃ 抗剪强度又比 30℃ 抗剪强度高 1 个数量级。

(4)将表 3 中的数据进行回归分析,回归分析结

果见图 2、图 3。从图 2、图 3 可以看出,沥青胶浆的抗剪强度一般随温度升高而急剧下降,而且在较高温度下($\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)时,不同掺量的硅藻土沥青胶浆抗剪强度差别不大,在温度较低时($\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)则相反,抗剪强度差别非常明显。

从回归方程来看,沥青胶浆的抗剪强度与温度大体成如下指数关系

$$Y = Ce^{-DX}$$

式中: Y 为抗剪切强度(kPa); X 为温度(℃); C 、 D 为常数。

一般地,常数 C 能直接反应沥青胶浆的抗剪切性能, C 值越大,说明抗剪切性能越高;反之,越小。

3 SHRP 试验结果及分析

3.1 试验方法

SHRP 采用抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 来表示沥青胶结料抗永久变形能力,在最高路面设计温度下,其值越大,表示沥青的流动变形越小,越有利于抵抗车辙的产生;采用弯曲梁流变试验来评价沥青胶结料的低温流变性质,使用 2 个参数:①蠕变劲度 s ,即沥青抵抗荷载的能力;② m 值,即荷载作用时沥青劲度随时间的变化率。

动态剪切流变试验采用美国 PHYSICA 公司生产的 PHEOLAB DSR4000 型动态剪切流变仪,应变式控制模式,应变值 $\gamma = 12\%$,试验频率 $\omega = 10\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$,试样是原沥青和 RTFO 老化后的沥青,试验方法为 AASHTO 标准 TP5。弯曲梁流变试验采用美国 CANNON 公司生产的弯曲梁流变仪,试样是经过 RTFO 老化后的沥青,试验方法为 AASH-TO 标准 TP1。对基质沥青和不同掺量的硅藻土改

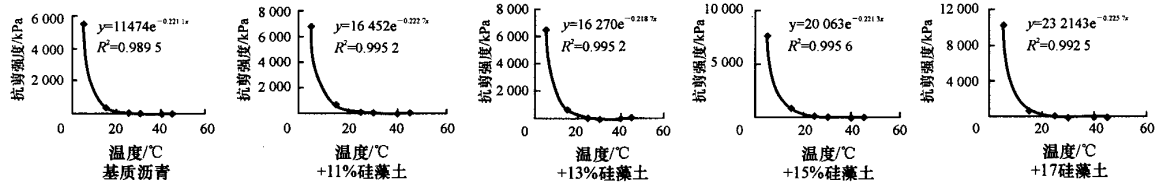


图 2 老化前硅藻土沥青胶浆抗剪强度与温度关系

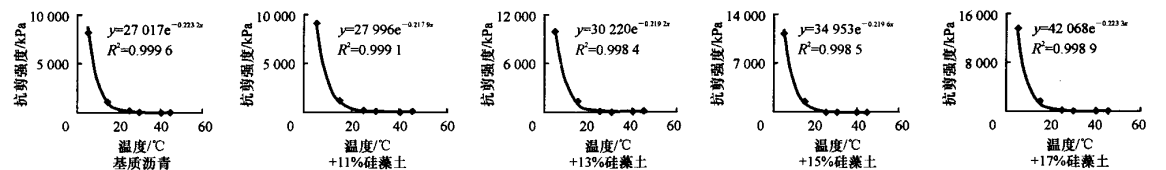


图 3 老化后硅藻土沥青胶浆抗剪强度与温度关系

性沥青胶浆进行 60 ℃动态剪切(DSR)试验和-10 ℃、-18 ℃弯曲梁流变(BBR)试验,试验结果分别列于表 4、表 5。

表 4 60 ℃时动态剪切试验结果

项目		G^*/kPa	$\delta/^\circ$	$(G^*/\sin\delta)/\text{kPa}$
老化前	基质沥青	3.75	87.3	3.76
	+11%硅藻土	5.24	86.7	5.25
	+13%硅藻土	4.77	87.8	4.77
	+15%硅藻土	7.14	87.7	7.15
	+17%硅藻土	7.18	87.8	7.18
老化后	基质沥青	5.64	86.9	5.65
	+11%硅藻土	9.41	85.5	9.44
	+13%硅藻土	11.70	86.0	11.70
	+15%硅藻土	11.60	86.2	11.60
	+17%硅藻土	12.20	86.1	12.30

表 5 弯曲梁流变试验结果

项目	-10/℃		-18/℃	
	s/MPa	m	s/MPa	m
基质沥青	86.85	0.442	302	0.303
+11%硅藻土	111.0	0.454	372	0.269
+13%硅藻土	118.0	0.450	396	0.276
+15%硅藻土	120.0	0.449	485	0.294
+17%硅藻土	130.5	0.442	592	0.278

3.2 结果分析

(1)加入硅藻土后,抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 有较大幅度的增加,明显高于基质沥青。这表明硅藻土的加入使沥青抵抗变形的能力增强,可以有效抑制高温车辙的产生。由此可以看出,硅藻土可以改善基质沥青的高温稳定性。

(2)硅藻土掺量的不同,对 δ 值影响很小。

(3)无论是-10 ℃还是-18 ℃,加入硅藻土后,弯曲劲度模量 s 均比基质沥青大,并且,随着掺量的增加而增大。这表明,硅藻土加入后,使沥青变硬,加入的硅藻土越多,劲度模量 s 也就越大。

(4) m 值在-10 ℃时先增加后减小,说明应力松弛能力得到了提高,但不能加入硅藻土太多,要有 1 个量的限制,否则松弛能力又会降低。从总体来看, m 值受硅藻土加入的影响很小,几乎不随硅藻土掺量变化而变化。

4 试验结果对比分析

4.1 45 ℃抗剪强度与 60 ℃抗车辙因子的关系

图 4、图 5 分别为老化前后 45 ℃抗剪强度和 60 ℃抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 之间的相关关系图。

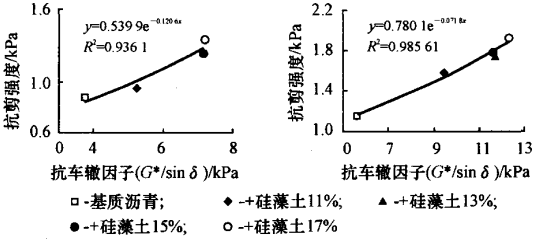


图 4 60 ℃抗车辙因子和 45 ℃抗剪强度的关系(老化前) 图5 60 ℃抗车辙因子和 45 ℃抗剪强度的关系(老化后)

由图 4、图 5 可以看出,45 ℃抗剪强度和 60 ℃抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 具有较好的相关性,特别是老化后,相关程度很高。这说明,45 ℃抗剪强度和 60 ℃抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 随硅藻土掺量的增加分别呈规律性减小和增大,即加入硅藻土掺量的不同,对 45 ℃抗剪强度和 60 ℃抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 具有同等程度的影响。换句话说,用 45 ℃抗剪强度值来评价不同掺量的硅藻土改性沥青胶浆抗车辙能力,与 SHRP 采用 $G^*/\sin\delta$ 是一致的。如果知道了不同胶浆 45 ℃抗剪强度值的变化趋势,就可以利用二者的相关性得到 60 ℃抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 的变化趋势,反之亦然。而且,抗剪强度试验是在常规针入度仪的基础上改装的,操作简单,设备便宜,这在一定程度上解决了因 SHRP 设备昂贵中国暂时无法大量推广使用的问题^[8~10]。

4.2 5 ℃抗剪强度与劲度模量 s 的相关关系

图 6、图 7 分别是-10 ℃和-18 ℃弯曲劲度模量 s 与 5 ℃抗剪强度的相关关系图。

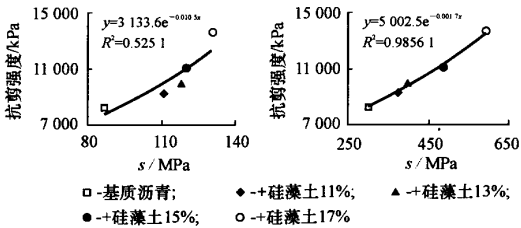


图 6 -10 ℃弯曲劲度模量 s 和 5 ℃抗剪强度的关系 图 7 -18 ℃弯曲劲度模量 s 和 5 ℃抗剪强度的关系

由图 6、图 7 可知,-10 ℃和-18 ℃的弯曲劲度模量 s 与 5 ℃的抗剪强度之间有一定的相关关系。-10 ℃弯曲劲度模量 s 与 5 ℃抗剪强度的相关程度稍差一些,而-18 ℃弯曲劲度模量 s 与 5 ℃抗剪强度表现出良好的相关性,这说明 5 ℃抗剪强度所反映的不同掺量硅藻土对基质沥青的低温性能影响规律与-18 ℃弯曲劲度模量 s 所反映的影响规律一致,可以通过 5 ℃抗剪强度值来评价硅藻土改性沥青胶浆的低温性能。

5 结 语

(1)在相同的试验条件下,锥入度的对数和温度具有良好的线性关系。

(2)锥入度试验能够明显区分不同硅藻土掺量改性沥青胶浆的抗剪性能。

(3)硅藻土改性沥青胶浆的抗剪强度和温度呈指数关系。

(4)45℃的锥入度和60℃的抗车辙因子具有良好的相关关系。

(5)5℃的锥入度和低温弯曲劲度模量 s 具有一定的相关关系。

(6)用锥入度试验来评价沥青胶浆是合理的,也是可行的。

参考文献:

References:

- [1] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海: 同济大学出版社, 2001.
LÜ Wei-min. Design principle and method of asphalt mixtures[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2001.
- [2] 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.
SHEN Jin-an. Pavement performance of bitumen and bituminous mixtures[M]. Beijing: People's Communication Press, 2001.
- [3] 刘丽, 李剑, 郝培文, 等. 硅藻土改性沥青胶浆性能研究[J]. 重庆交通学院学报, 2004, 23(2): 51-54.
LIU Li, LI Jian, HAO Pei-wen, et al. A study on modified asphalt mortar with diatomite[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2004, 23(2): 51-54.
- [4] 邹桂莲, 张肖宁, 韩传代. 应用DSR评价沥青胶浆路用性能的研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001, 34

(3): 112-115.

ZOU Gui-lian, ZHANG Xiao-ning, HAN Chuan-dai. Utilization of DSR for evaluation of pavement performance [J]. Journal of Harbin University of Architecture and Civil Engineering, 2001, 34(3): 112-115.

- [5] JTJ052-2000. 公路工程沥青与沥青混合料试验规程[S]. 2000.

JTJ052-2000. Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering [S]. 2000.

- [6] Brown E R, Haddock J E, Crawford C. Investigation of stone matrix asphalt mortars [J]. TRR, 1996, 1530: 95-102.

- [7] Mogawer W S, Stuart K D. Effects of mineral fillers on properties of stone matrix asphalt mixtures [J]. TRR, 1996, 1530: 86-94.

- [8] 张争奇, 张卫平, 李平. 沥青混合料粉胶比[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(5): 7-10.
ZHANG Zheng-qi, ZHANG Wei-ping, LI Ping. Ratio of filler bitumen of asphalt mixture [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(5): 7-10.

- [9] 陈佩茹, 孙立军. 常规沥青的针入度等级和PG高温等级间的关系[J]. 中国公路学报, 2003, 16(3): 15-17.
CHEN Pei-ru, SUN Li-jun. Relationship between penetration grade and performance high temperature grade conventional asphalt binder [J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(3): 15-17.

- [10] 田小草, 郑健龙, 张起森. 老化对沥青结合料粘弹性的影响[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(1): 3-6.
TIAN Xiao-ge, ZHENG Jian-long, ZHANG Qi-sen. Effect of aging on viscoelastic performance of asphalt binder [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1): 3-6.

国家高速公路网规划出台“7918网”将形成

国务院近日审议通过了《国家高速公路网规划》。该规划采用放射线与纵横网络相结合的布局方案,形成由中心城市向外放射以及横连东西、纵贯南北的大通道,由7条首都放射线、9条南北纵向线和18条东西横向线组成,简称为“7918网”,总规模约 8.5×10^4 km,其中:主线 6.8×10^4 km,地区环线、联络线等其他路线约 1.7×10^4 km。

具体是:首都放射线7条:北京—上海、北京—台北、北京—港澳、北京—昆明、北京—拉萨、北京—乌鲁木齐、北京—哈尔滨。南北纵向线9条:鹤岗—大连、沈阳—海口、长春—深圳、济南—广州、大庆—广州、二连浩特—广州、包头—茂名、兰州—海口、重庆—昆明。东西横向线18条:绥芬河—满洲里、珲春—乌兰浩特、丹东—锡林浩特、荣成—乌海、青岛—银川、青岛—兰州、连云港—霍尔果斯、南京—洛阳、上海—西安、上海—成都、上海—重庆、杭州—瑞丽、上海—昆明、福州—银川、泉州—南宁、厦门—成都、汕头—昆明、广州—昆明。

上述规划的 8.5×10^4 km中,已建成 2.9×10^4 km、在建 1.6×10^4 km、待建 4×10^4 km,分别占总里程的34%、19%、47%。待建的 4×10^4 km中,东部地区有 0.8×10^4 km、中部地区 1.1×10^4 km、西部地区 2.1×10^4 km。今后建设任务主要集中在中西部地区。

根据计划到2005年末,建成 3.5×10^4 km,占总里程的40%以上;到2007年末,建成 4.2×10^4 km,完成“五纵七横”国道主干线系统中的高速公路;到2010年末,实现“东网、中联、西通”的目标,建成5~ 5.5×10^4 km,完成西部开发8条省际通道中的高速公路。