

文章编号:1671-8879(2007)04-0006-04

## 矿粉对沥青老化性能的影响

王秉纲,李 平,张争奇,孙鸿伟

(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)

**摘 要:**为了研究矿粉对沥青老化性能的影响,采用旋转薄膜烘箱试验模拟胶浆的老化,测试了不同老化状态时沥青胶浆的高、低温性能。结果表明:矿粉对胶浆性能有重要作用,且老化后作用更显著,因而有必要对矿粉进行筛选;矿粉对胶浆老化有显著影响,故单纯利用沥青的老化性能来评价混合料老化性能是不合适的;当粉胶质量比小于 1.5 时,添加矿粉能够减弱沥青的老化程度,但是当粉胶质量比超过 1.5 时,添加矿粉反而加剧了沥青的老化。

**关键词:**道路工程;沥青;矿粉;胶浆;老化

**中图分类号:**U414.75 **文献标志码:**A

## Influence of mineral powder on aging properties of asphalt mortar

WANG Bing-gang, LI Ping, ZHANG Zheng-qi, SUN Hong-wei

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to study the influence of mineral powder on the aging characters of asphalt mortar, this paper uses the Rolling Thin Film Oven Test to simulate the aging of mortar, and studies the high temperature and low temperature performances of asphalt mortar at different aging stages. It was found that the mineral powder has great impact on asphalt mortar characters, moreover the impact is more notable after the aging of the mortar, so it is important to filtrate the mineral powder; mineral powder also has great influence on mortar aging performances, so it is not suitable to only use asphalt aging characters to evaluate the aging properties of asphalt mixture; when the mass ratio of mineral powder to mortar is less than 1.5, to increase the mineral powder contents can lower the speed of asphalt aging; when the mass ratio of mineral powder to mortar is bigger than 1.5, to increase the contents of mineral powder can increase the speed of asphalt aging. 3 tabs, 7 figs, 10 refs.

**Key words:** road engineering; asphalt; mineral powder; mortar; aging

## 0 引 言

按照胶浆理论,沥青混合料是由粗集料、细集料和胶浆组成的三维分散体系,其中沥青与矿粉等填料形成胶浆而发挥粘结作用,胶浆的性能影响着沥

青混合料的高温性能、低温性能、水稳性和疲劳耐久性<sup>[1-6]</sup>。老化是影响沥青路面使用性能的重要因素,它是在沥青混合料拌和、碾压及使用过程中,沥青受到温度、光照、空气和降水等外界环境因素的影响,以及车辆荷载的作用而发生一系列物理化学变化,

收稿日期:2006-07-15

基金项目:国家自然科学基金项目(50478095);国家西部交通建设科技项目(200631881221)

作者简介:王秉纲(1934-),男,辽宁辽阳人,教授,博士研究生导师, E-mail: wangbinggang999@163.com。

使得性能劣化的现象<sup>[7-8]</sup>。合理评价沥青的抗老化能力,从而对沥青进行筛选或采取改性措施,对改善沥青路面的使用性能,延长使用寿命都显得十分重要。在沥青混合料中,沥青与矿粉混合后形成胶浆,发挥胶结作用的是胶浆,而不是单独的沥青。但是,胶浆的老化是否与沥青的老化相一致,沥青的老化是否受到矿粉的影响等问题,现有的评价方法均未予以考虑。为此,本文分析了矿粉对沥青老化性能的影响,研究结果对于合理评价混合料的耐久性具有实用意义。

## 1 原材料性能及试验方法

本研究采用新疆克拉玛依 70# 沥青,从实际工程中随机抽取 5 种矿粉,其性能指标测试结果如表 1 所示。

表 1 矿粉性能数据

矿粉编号	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	亲水系数
1	2.768	0.97
2	2.728	0.96
3	2.698	1.00
4	2.608	0.84
5	2.743	0.94

模拟沥青短期老化的室内试验包括旋转薄膜烘箱试验(RTFOT)和薄膜烘箱试验(TFOT)。在旋转薄膜烘箱试验中,由于盛样容器形状的限制,老化后胶浆难以充分倒出,容易残留部分矿粉,此时矿粉质量分数会发生难以预料的变化,后续的测试结果无法保证其准确性;而薄膜烘箱试验则不存在此问题,同时大量研究已证实,这两种方法对于基质沥青的老化效果是一致的。同时,Brown 等人<sup>[9-10]</sup>的研究证实,动态剪切流变仪(DSR)、弯曲梁流变仪(BBR)和延度试验可用于胶浆性能的测试。因而本研究采用薄膜烘箱试验模拟胶浆的老化,对老化前后胶浆进行延度、BBR 和 DSR 试验,以分析矿粉类型及粉胶质量比对沥青老化性能的影响。

## 2 试验结果分析

### 2.1 矿粉类型的影响

采用 5 种矿粉和新疆克拉玛依 70# 沥青,配置粉胶质量比为 1.2 的胶浆,通过测试不同胶浆老化前后的性能,研究了矿粉类型对沥青老化的影响。

(1)矿粉类型对胶浆性能有显著影响。从图 1 中胶浆原样试验数据可发现,矿粉类型对胶浆的高低温性能均有很大影响。低温性能方面,不同胶浆

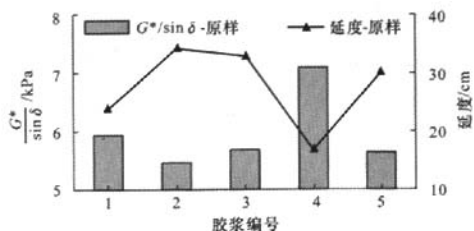


图 1 原样胶浆性能测试结果

延度的差别近 2 倍,例如 4 号胶浆的延度为 16.5 cm,而 2 号胶浆延度则高达 34 cm。DSR 试验中以抗车辙因子( $G^*/\sin\delta$ )表征沥青胶结料的高温性能,发现 4 号胶浆的  $G^*/\sin\delta$  要远高于其他 4 种胶浆。同时发现,胶浆的高温性能和低温性能是矛盾的,4 号胶浆的高温性能最好,但是其低温性能则最差;2 号胶浆则恰恰相反, $G^*/\sin\delta$  最小,但是延度却最大。因而在实际工程中,选择适宜类型的矿粉十分重要,要根据沥青混合料高低温性能的具体要求,有针对性地选择矿粉类型,以便有效地改善胶浆和混合料性能。相反,如果矿粉选择不合理,性能良好的沥青也可能使用效果不好。

(2)老化后不同类型矿粉配置胶浆性能的差距更加显著。由图 2 可以看出,老化后不同胶浆的高低温性能差距更加明显。4 号胶浆老化后的延度仅为 7.7 cm,而 3 号胶浆延度为 27.2 cm,两者相差近 4 倍。与此类似,4 号胶浆的  $G^*/\sin\delta$  是 10.1 kPa,较 3 号胶浆的 6.22 kPa,增大了 62%。由此可以得出:①仅仅评价沥青的抗老化性能是不够的,如果沥青与矿粉搭配不合理,抗老化性能优良的沥青,其配置的胶浆也可能表现出较差的耐久性;②由于老化后胶浆性能的差别更加明显,而沥青混合料的使用都是在经历了短期老化后开始的,所以必须分析老化后胶浆的性能,才能对混合料的路用性能做出准确的预测。

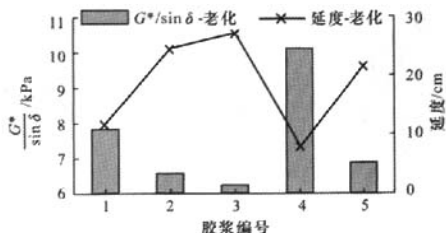


图 2 老化后胶浆性能测试结果

(3)矿粉对沥青老化性能有很大影响。分析老化后不同胶浆性能变化比例(图 3),发现 5 种胶浆的抗老化能力显著不同。1 号和 4 号胶浆的变化相对较大,均超过 50%;而 3 号胶浆的变化最小,仅为

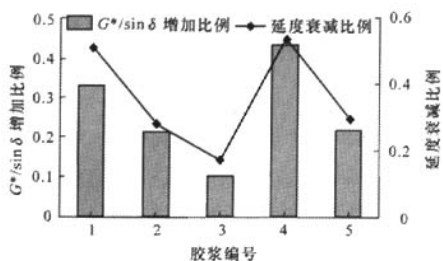


图3 老化后胶浆性能变化比例

17%。虽然5种胶浆均采用了相同的沥青和粉胶质量比,但抗老化能力却有如此大的差异,说明矿粉性能是根本原因,因而胶浆老化并不等同于沥青老化,其中矿粉发挥了重要作用。

采用新疆克拉玛依70#沥青、5种矿粉和1.2粉胶质量比,比较经老化的成品胶浆与用老化后的沥青配置的胶浆,这两种不同老化方式的胶浆的性能差异,可以得到老化过程中矿粉所起的作用。

通过分析表2中5种胶浆,两种老化方式胶浆的性能,可以发现老化过程中矿粉所起的作用:

(1)添加矿粉有利于减小沥青的老化程度。由图4可以看出,两种胶浆性能有显著的差别。成品胶浆老化后的延度均大于老化沥青配置胶浆,而 $G^*/\sin\delta$ 却表现出相反的趋势,即成品胶浆老化后的 $G^*/\sin\delta$ 均小于老化沥青配置的胶浆,也就是说成品胶浆的老化程度要小于老化沥青配置的胶浆。由于两种胶浆采用的矿粉、原样沥青和粉胶质量比都相同,仅仅是参加矿粉时机的区别,由此可以说明,矿粉的参加能够减小沥青的老化程度。

表2 胶浆试验数据

胶浆编号	老化的成品胶浆		老化的沥青制备胶浆	
	$\frac{G^*}{\sin\delta}/\text{kPa}$	延度/cm	$\frac{G^*}{\sin\delta}/\text{kPa}$	延度/cm
1	7.81	11.8	8.49	9.6
2	6.59	24.6	7.58	19.2
3	6.22	27.2	8.18	20.2
4	10.10	7.7	11.10	6.1
5	6.84	21.6	7.66	17.9

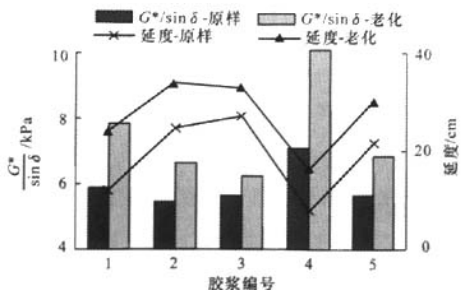


图4 胶浆老化数据

沥青的短期老化主要是发生了轻组分挥发和沥青氧化两种作用。老化过程中,矿粉在沥青介质中能够起到阻碍氧分子扩散的作用<sup>[3-5]</sup>,这就减弱了沥青氧化的程度;同时部分软沥青质吸附到矿粉的微孔隙中,从而使得沥青中的软沥青质的质量分数减少,老化过程中发生挥发和氧化的组分比例也相应减小。这两方面综合作用,使添加矿粉后沥青的老化程度降低。

(2)矿粉对沥青老化的作用受到矿粉类型的显著影响。矿粉对沥青老化的影响程度可用两个指标衡量:影响数值(老化沥青制备胶浆的性能数据-成品胶浆老化的性能数据)和影响比例(影响数值/成品胶浆老化的性能数据)。经计算,5种矿粉的影响数值和影响比例如表3所示。

表3 矿粉影响比例

矿粉编号	延度		$G^*/\sin\delta$	
	影响数值/cm	影响比例/%	影响数值/kPa	影响比例/%
1	-2.2	-0.19	6.8	0.09
2	-5.4	-0.22	9.9	0.15
3	-7.0	-0.26	19.6	0.32
4	-1.6	-0.21	10.0	0.10
5	-3.7	-0.17	8.2	0.12

由表3可以发现,无论是影响数值还是影响比例,5种矿粉对胶浆老化的影响程度都显著不同。从影响比例上看,3号矿粉的影响最为明显,延度的影响比例为26%, $G^*/\sin\delta$ 达到32%;而1号矿粉的影响最小,影响比例仅有19%和9%。也就是说,同样的粉胶质量比,参加1号矿粉能够有效地减弱沥青的老化程度。

## 2.2 粉胶质量比的影响

采用3号矿粉配置胶浆,变化粉胶质量比为0.4、0.8、1.2、1.6和2.0,利用DSR和BBR测试其性能,研究了粉胶质量比对沥青老化性能的影响。

(1)DSR试验的数据分析。通过图5中的胶浆 $G^*/\sin\delta$ 的变化可以看出,沥青老化后制作胶浆的 $G^*/\sin\delta$ 大于胶浆老化,就高温性能而言,添加矿粉有益于减弱沥青的老化;但是粉胶质量比的影响没有明显的规律。

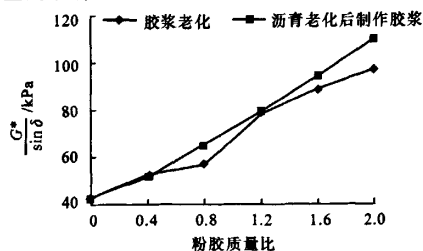
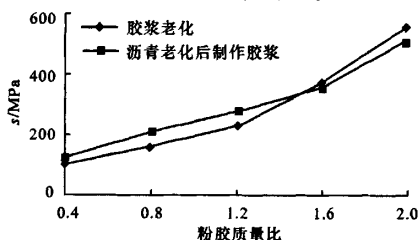
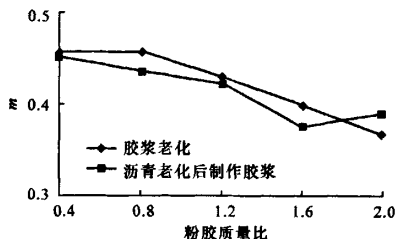


图5 沥青胶浆抗车辙因子数据

(2)BBR 试验数据分析。由图6和图7中胶浆 BBR 试验结果可以得出,矿粉虽然能够减小沥青的老化程度,但是粉胶质量比不宜过大,当超过一定限度时,矿粉反而能够加剧沥青的老化。从劲度模量  $s$  分析,粉胶质量比的上限为 1.5,当粉胶质量比小于 1.5 时,成品胶浆老化后的  $s$  小于老化沥青配置胶浆的  $s$  值;但当粉胶比大于 1.5 时,又表现出相反的趋势。从蠕变斜率  $m$  看,粉胶质量比上限为 1.8。究其原因,矿粉加入沥青后,其孔隙会吸收部分轻质组分,从而引起新的胶体平衡。当矿粉质量分数较低时,矿粉阻碍氧分子扩散和吸收轻组分,减缓了沥青的老化;但当矿粉质量分数超过一定限度时,矿粉吸收了过多的轻组分,使得沥青老化后低温性能严重劣化。采用老化沥青制备胶浆时,由于老化沥青中轻组分质量分数已经较低,矿粉无法过多吸收,反而较老化成品胶浆有较好的低温性能。至于胶浆  $G^* / \sin \delta$  数据没有类似的趋势,则可能是高温时矿粉吸收的轻组部分发生移动的缘故。

图6 胶浆劲度模量  $s$  数据变化图7 胶浆劲度蠕变率  $m$  数据变化

### 3 结 语

(1)矿粉类型对胶浆的高、低温性能有着重要作用,因此有必要开发相应的测试方法和测试指标,而对矿粉进行筛选。

(2)短期老化后矿粉类型对胶浆性能的影响显著,因而必须测试老化后胶浆的性能,才能准确评价沥青混合料的使用性能。

(3)矿粉类型对胶浆的抗老化性能具有重要的影响,因而单纯评价沥青的抗老化能力无法评价胶浆的抗老化性能,也无法准确预测沥青混合料的路

用性能。在粉胶质量比为 1.2 时,试验数据显示,矿粉能够减弱沥青的老化程度,但是其作用程度受到矿粉类型、粉胶质量比等因素的影响;当粉胶质量比超过 1.5 时,矿粉反而加剧了沥青的老化。

### 参考文献:

#### References:

- [1] 张争奇,李平,王秉纲.纤维和矿粉对沥青胶浆性能的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(5):15-18.  
ZHANG Zheng-qi, LI Ping, WANG Bing-gang. Effect of fiber and mineral filler on asphalt mortar performance[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(5): 15-18.
- [2] Ishai I, Craus J. Effects of some aggregate and filler characteristics on behavior and durability of asphalt paving mixtures[J]. Transportation Research Record, 1996, 1530: 75-85.
- [3] Gubler R. Investigation of the system filler and asphalt binders by rheological mean[J]. Journal of Association of Asphalt Paving Technologists, 1999, 68: 284-302.
- [4] Shaopeng W, Liantong M, Zhonghe S. Investigation of the conductivity of asphalt concrete containing conductive fillers[J]. Carbon, 2005, 43(7): 1358-1363.
- [5] Yong R K, Little D N. Linear viscoelastic analysis of asphalt mastics[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2004, 16(2): 122-132.
- [6] Mat J. Is low-temperature creep of asphalt mastic independent of filler shape and mineralogy? — arguments from multiscale analysis[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2005, 17(5): 485-491.
- [7] 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.
- [8] Recasens R M. Effect of filler on the aging potential of asphalt mixtures[J]. Transportation Research Record, 2005, 1901: 10-17.
- [9] Brown E R. Investigation of stone matrix asphalt mortars[J]. Transportation Research Record, 1996, 1530: 95-102.
- [10] 董瑞琨,孙立军.考虑老化的沥青结合料低温感温性指标[J].中国公路学报,2006,19(4):34-39.  
DONG Rui-kun, SUN Li-jun. Low temperature susceptibility indexes of asphalt binder with different aging degree[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(4): 34-39.