

# 沥青胶浆中矿粉沉降的影响因素及沉降检验

李祖仲<sup>1,3</sup>, 吴江龙<sup>2</sup>, 陈拴发<sup>1</sup>, 杨斐芃<sup>1</sup>

(1. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 中交第二公路工程局有限公司, 陕西 西安 710065; 3. 中国石油 独山子石化公司, 新疆 克拉玛依 833600)

**摘 要:**针对沥青胶浆中矿粉的沉淀问题,设计胶浆沉淀试验,测试胶浆密度及不同温度下的粘度,采用密度差量百分数,分析试验条件、胶浆材料组成对矿粉沉淀的影响,并对胶浆性能测试方法的适用性进行评价。结果表明:沥青胶浆在室温下冷凝,矿粉沉降对胶浆均匀性的影响并不显著,室温下成型试件的已有胶浆性能测试方法仍然适用;随着沥青胶浆温度上升,胶浆粘度急剧下降,矿粉沉降速率加快;随粉胶比增大,沉降差异性缩小;对于基质沥青,标号越高,矿粉沉降量越大,改性沥青密度差量百分数值均小于基质沥青,其均匀性好于基质沥青胶浆。

**关键词:**道路工程;沥青胶浆;矿粉;沉淀试验;密度差量百分数;胶浆性能

**中图分类号:**U414.75

**文献标志码:**A

## Influence factors and test of mineral filler sedimentation in asphalt mortar

LI Zu-zhong<sup>1,3</sup>, WU Jiang-long<sup>2</sup>, CHEN Shuan-fa<sup>1</sup>, YANG Fei-peng<sup>1</sup>

(1. School of Material Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China;  
2. CCCC Second Highway Engineering Co Ltd, Xi'an 710065, Shaanxi, China;  
3. Dushanzi Petrochemical Company, PetroChina, Kelamayi 833600, Xinjiang, China)

**Abstract:** To study the sedimentation of mineral filler in asphalt mortar, this paper designed mortar sedimentation test to determine the density and viscosity of mortar under different temperatures, analyzed the effect of test conditions and material composition on the mineral filler sedimentation by percentage of density difference to evaluate the applicability of the performance test methods of the asphalt mortar. The results show that the influence of mineral filler sedimentation on the uniformity of mortar is not significant during condensation at room temperature and the existing test methods of mortar performance by molding specimens at room temperature are applicable. The viscosity of asphalt mortar declines sharply and the rate of the mineral filler sedimentation accelerates with the rising of mortar temperature. It also proves that the difference of sedimentation among the mortars reduces as the increasing of filler-asphalt ratio, the higher the grade of base asphalt, the larger quantity of sediment miller is. The percentage of density difference of modified asphalt is smaller than that of base asphalt and the uniformity of the modified asphalt mortar is much better than that of the base asphalt mortars. 5 tabs, 1 fig, 10 refs.

收稿日期:2011-06-20

基金项目:国家材料科学数据共享网项目(2005DKA32800);交通运输部西部交通建设科技项目(2008 318 812 10);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2010JC011)

作者简介:李祖仲(1973-),男,湖南邵东人,讲师,工学博士,在站博士后,E-mail:zuzhongli@163.com.

**Key words:** road engineering; asphalt mortar; mineral filler; sedimentation test; percentage of density difference; mortar performance

0 引言

沥青混合料是由粗集料、细集料和胶浆组成的三级分散体系,胶浆性能的优劣是沥青混合料高温、低温、水稳定及疲劳耐久性能的关键性影响因素,对胶浆的路用特性评价至关重要<sup>[1-5]</sup>。目前,对胶浆的性能评价仍沿用改性沥青结合料的评价方法,但由于矿粉与沥青的物理、化学性质差异较大,两者密度之比一般在 2.5 以上,胶浆制备或测试过程中矿粉的沉淀作用是否对其测试结果产生影响,其结果是否真正地反映胶浆的性能,在进行胶浆性能试验之前,不可回避的就是矿粉的沉淀问题<sup>[6-7]</sup>。已有研究基于球形颗粒的自由沉降理想模型,并考虑降温过程的影响,计算了矿粉的干涉沉降速度<sup>[8]</sup>。计算模型中将颗粒视为理想的球型刚体,采用平均粒径进行计算,而实际矿粉等填料颗粒形状千差万别,也无法统计颗粒间的碰撞及颗粒与沥青间的相互作用是否对沉降速度产生影响。干涉沉降速度计算公式大多来自经验,缺乏试验验证。为此,本文在胶浆理论密度计算的基础上,分析了沥青胶浆中矿粉沉降的影响因素,设计胶浆沉淀试验,检验试验条件、胶浆材料组成对矿粉沉淀的影响,探讨沥青胶浆性能评价方法的适用性。

1 胶浆理论密度计算

视沥青胶浆为沥青与矿粉 2 种互不相溶、反应的混合物,其内部空隙率为 0,则理论密度按式(1)计算,即

$$\rho_t = \frac{100}{P_a/\rho_a + P_m/\rho_m} \tag{1}$$

式中: $\rho_t$ 为胶浆理论密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); $P_a$ 为胶浆中沥青的质量分数(%); $P_m$ 为胶浆中矿粉的质量分数(%); $\rho_a$ 为沥青密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); $\rho_m$ 为矿粉密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

2 沥青中矿粉沉淀的影响因素及试验验证

由于沥青的结构特性和材料组成的复杂性,胶浆并非普通的牛顿粘性流体,使得矿粉沉淀难以估计。因此,通过设计胶浆矿粉沉淀试验,测试胶浆中不同部位的密度,分析试验条件、胶浆材料组成对矿

粉沉降的影响。

2.1 矿粉沉淀的试验设计

试验分两步进行:首先,依据规范,将配制好的沥青胶浆直接进行密度试验,粉胶比为 1.0,实测胶浆密度,称之为直测法,并与胶浆理论计算密度进行比较,结果见表 1<sup>[9]</sup>。比较结果表明:实测密度与理论计算密度相差很小,差量百分数仅为 0.072%。因此,实测密度方法可行,数据可信。直测过程中,矿粉沉淀作用几乎可以忽略不计。

表 1 沥青、矿粉及直接测量的胶浆密度  
Tab. 1 Density of asphalt, mineral filler and mortar by direct measurement

测试参数	沥青密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	矿粉密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	理论计算密 度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	实测密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	密度差量 百分数/%
数值	1.006 3	2.780 3	1.477 7	1.476 7	0.072

其次,将沥青胶浆注入准备好的易拉罐中,并作标识,在不同温度状态下保存沥青胶浆,分别为室温( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )条件下空气中冷凝;在  $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $175\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘箱中保温 2 h,然后在室温条件下冷凝;为便于层间分离取样,再置于冰柜中冻结 48 h,取出后剥除易拉罐外壳,如图 1 所示,立即按上、中、下等分成 3 份,分别测试其密度,竖立的钢尺用于试样等分。



图 1 胶浆冷凝  
Fig. 1 Mortar condensation

2.2 试验温度

在不同的温度条件下,沥青胶浆呈现出玻璃态、粘弹态和粘流态 3 种状态。沥青胶浆的低温、常温性能测试时,沥青胶浆处于玻璃态或粘弹态,矿粉的沉淀效应仅存在其试件成型过程;在高温域内,胶浆处于粘流态,其状态性质难以简单界定。采用 SBS 改性沥青,粉胶比为 1.0,不同冷凝温度下胶浆各层的密度测试结果见下页表 2。并实测  $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、

175 ℃时胶浆的布氏粘度,分析胶浆粘度与矿粉沉降的相关性,试验结果见表 3。

表 2 不同冷凝温度下各层的密度测量值

Tab. 2 Density of layers under different condensation temperatures

冷凝类型		上层	中层	下层
室温 25 ℃空气中 冷凝+冻结 48 h	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.472 0	1.480 7	1.472 7
	与直测法比较/%	-0.32	+0.27	-0.27
135 ℃恒温 2 h+ 室温空气中冷凝+ 冻结 48 h	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.436 2	1.470 7	1.498 6
	与直测法比较/%	-2.74	-0.40	+1.49
165 ℃恒温 2 h+ 室温空气中冷凝+ 冻结 48 h	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.352 6	1.465 4	1.621 5
	与直测法比较/%	-8.40	-0.76	+9.80
175 ℃恒温 2 h+ 室温空气中冷凝+ 冻结 48 h	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.271 2	1.463 4	1.681 5
	与直测法比较/%	-13.92	-0.90	+13.87

注:“-”表示比直接测量法小,“+”表示比直接测量法大。

表 3 不同温度下胶浆的粘度

Tab. 3 Viscosity of mortar under different temperatures

温度/℃	135	165	175
粘度/(Pa·s)	31.6	6.1	3.8

在室温下冷凝,沥青胶浆中部密度大,上下层密度小,但与直测法密度值相差很小,均在 0.3%左右;中部密度略为偏大的原因在于,中部接受来自上层的矿粉,受冷凝温度梯度、矿粉颗粒形状不规则、颗粒之间的相互碰撞等因素影响;下层中的矿粉可产生升力效应,漂移至中层,造成下层密度略小。但总体看来,在室温下冷凝,矿粉的重力沉降对胶浆的均匀性并不存在显著性影响,可以忽略。因此,用于沥青胶浆性能的评价方法,如锥入度、软化点、延度、弹性恢复、动态剪切流变试验、弯曲梁流变试验等,依然是适用的。

沥青胶浆在 135 ℃、165 ℃、175 ℃保温 2 h 后,各层密度从上到下依次增大。在 135 ℃时,沥青胶浆并非牛顿流体,其粘流态非常复杂,矿粉的重力沉降势必受到大分子或改性剂的干扰,其沉降速度必然减慢。因此,与直测法比较,两者密度相差在 3%以内,中部接近直测法密度;在 165 ℃时,沥青胶浆向牛顿流体过渡,矿粉沉降加快,上层密度比直测法小 8.40%,下层比直测法大 9.80%,中部略小于直测法;在 175 ℃时,沥青胶浆接近牛顿流体,矿粉沉降加速,上层密度比直测法小 13.92%,下层比直测法大 13.87%;中部沉降矿粉由上层沉降矿粉补充,维持中部矿粉平衡,中部密度与直测法基本接近,仅比直测法小 0.90%。由此可见,沥青胶浆长时间处

于高温时,矿粉的沉降现象必然存在;随着温度升高,胶浆的上层、下层密度变化较大,中部密度相对变化较小。

在 135 ℃~175 ℃区间,胶浆粘度急剧下降,165 ℃、175 ℃胶浆粘度分别约为 135 ℃胶浆粘度的 1/5、1/8,而其底部密度差量百分数分别约为 135 ℃胶浆的 6.6 倍、9.3 倍。可见,胶浆粘度是矿粉沉降的关键影响因素,高温下进行胶浆粘度测试时,恒温时间不宜太长。

2.3 粉胶比

矿粉是细化的岩石颗粒,形状不规则,大小不一,很难对其形状进行定量分析,沉降阻力系数不但受颗粒形状的影响,即使同一种形状颗粒,由于相对于流体的流动方向上位置不同,迎流面积不同,其阻力系数也不相同。而且,在沉降过程中,颗粒不是固定在某一位置上,而是不断翻动,甚至旋转,与沥青组分、改性剂存在碰撞、缠结、吸附等作用,使情况复杂化,给计算带来困难。已有的成果往往是基于特定的浓溶液,进行大量试验,得出经验系数,对沉降速度加以修正<sup>[8-10]</sup>。对于沥青胶浆,随粉胶比变化,其粘流态非常复杂,矿粉的沉降速度差异很难量化。本文采用上述SBS改性沥青,粉胶比分别为 0.6、0.8、1.0、1.2、1.4,胶浆直测密度分别为:1.321 6、1.403 5、1.476 7、1.544 5、1.602 0 g/cm<sup>3</sup>,在 165 ℃恒温 2 h,室温空气中冷凝后,再冻结 48 h,不同粉胶比下胶浆各层的密度测试结果见表 4。

表 4 不同粉胶比下各层的密度测量值

Tab. 4 Density of layers under different filler-asphalt ratios

粉胶比		上层	中层	下层
0.6	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.180 5	1.290 2	1.485 7
	与直测法比较/%	-10.68	-2.38	+12.42
0.8	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.268 1	1.382 1	1.550 4
	与直测法比较/%	-9.65	-1.52	+10.47
1.0	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.352 6	1.465 4	1.621 5
	与直测法比较/%	-8.40	-0.76	+9.80
1.2	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.427 6	1.534 7	1.675 8
	与直测法比较/%	-7.57	-0.63	+8.50
1.4	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.501 2	1.593 2	1.712 3
	与直测法比较/%	-6.29	-0.55	+6.89

注:“-”表示比直接测量法小,“+”表示比直接测量法大。

从表 4 数据可以看出,在 165 ℃恒温条件下,对于试样上层,其密度均小于直接测量值,胶浆表层存在矿粉沉降,粉胶比从 0.6 增至 1.4,胶浆密度也从 1.180 5 g/cm<sup>3</sup> 上升至 1.501 2 g/cm<sup>3</sup>;随粉胶比增

大,矿粉沉降碰撞机遇增加,沉降速度减缓,与各粉胶比下直测法相比,密度差量百分数从 10.68%降至 6.29%,粉胶比越大,差异越小。对于试样中层,各粉胶比下胶浆密度与直测密度相差不大,但均较直测密度小,粉胶比大于 1.0 后,与直测密度基本接近,密度差量百分数递减较小。对于试样底层,胶浆密度均大于直接测量值,粉胶比越小,差量百分数越大。随着粉胶比增加,除矿粉颗粒间碰撞效应外,底层胶浆中矿粉的堆垛沉积也阻滞其沉降,各粉胶比下密度差量百分数递减。由此可见,在持续高温下,不同粉胶比的沥青胶浆中存在矿粉沉降现象,随粉胶比增加,沉降趋势变缓。

2.4 沥青结合料类型

沥青的胶体结构复杂,种类繁多,尤其是聚合物等改性剂的掺入,基质沥青组分结构重分布,在高温下,改性沥青也并不是严格意义上的牛顿流体,改性剂及其他助剂必然干扰矿粉沉降,不同沥青胶浆的矿粉沉降存在差异。采用 A-70、A-90、A-110 及 SBS 改性沥青,粉胶比为 1.0,不同沥青胶浆直测密度分别为:1.498 5、1.492 2、1.474 2、1.476 7 g/cm<sup>3</sup>,在 165 ℃恒温 2 h,室温空气中冷凝后,再冻结 48 h,不同沥青类型的胶浆中各层密度测试结果如表 5 所示。

表 5 不同沥青类型的各层密度测量值  
Tab.5 Density of layers of different asphalt

沥青类型		上层	中层	下层
A-70	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.360 7	1.473 7	1.681 0
	与直测法比较/%	-9.20	-1.65	+12.18
A-90	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.312 6	1.424 5	1.728 4
	与直测法比较/%	-12.04	-4.54	+15.83
A-110	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.251 4	1.385 1	1.783 5
	与直测法比较/%	-15.11	-6.04	+20.98
SBS 改性沥青	测量值/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.352 6	1.465 4	1.621 5
	与直测法比较/%	-8.40	-0.76	+9.80

注:“-”表示比直接测量法小,“+”表示比直接测量法大。

在 165 ℃恒温条件下,对于试样上层,随着基质沥青标号增大,密度差量百分数从 9.20%上升至 15.11%,标号越高,矿粉沉降阻力越小,沉降差异越明显;基质沥青密度差量百分数值均大于改性沥青,A-70 与 SBS 改性沥青沉降差异性接近。对于试样中层,密度差异性减缓,变化趋势与上层相似;对于试样底层,沉降差异性凸现,随基质沥青标号增大,密度差量百分数从 12.18%上升至 20.98%,均大于

SBS 改性沥青密度差量百分数。可见,由于改性剂溶胀胶团的存在,矿粉沉降过程中,不可避免地与改性剂胶团颗粒接触,甚至粘附,以降低界面表面能,阻滞矿粉颗粒继续沉降。改性剂胶团也增大了矿粉颗粒之间的碰撞概率及摩擦阻力,致使矿粉沉降速率变小。无论胶浆上层、中层及下层,密度差量百分数值均小于基质沥青,改性沥青胶浆均匀性好于基质沥青胶浆,尤其是高标号基质沥青胶浆,矿粉的沉降将影响其均匀性。

3 结 语

(1)沥青胶浆在室温下冷凝,矿粉沉降对胶浆均匀性的影响并不显著,用于沥青胶浆性能的评价方法,如锥入度、软化点、延度、弹性恢复、动态剪切流变试验、弯曲梁流变试验等,仍然适用。

(2)随着沥青胶浆温度的上升,胶浆粘度显著下降,矿粉沉降速率加快,高温下进行胶浆性能测试,测试时间不宜太长;随粉胶比增大,沉降差异性缩小;对于基质沥青,标号越高,矿粉沉降量越大,胶浆均匀性变差;无论胶浆上层、中部及底部,改性沥青密度差量百分数值均小于基质沥青,其均匀性好于基质沥青胶浆。

参考文献:

References:

[1] Aljassar A H, Metwali S, Ali M A. Effect of filler types on Marshall stability and retained strength of asphalt concrete[J]. Internation Journal of Pavement Engineering, 2004, 5(1): 47-51.

[2] 邹桂连,袁 燕,张肖宁. 填料对沥青胶浆路用性能的影响[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2005, 33(1): 52-56.

ZOU Gui-lian, YUAN Yan, ZHANG Xiao-ning. Effect of fillers on the pavement performance of asphalt binder[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2005, 33(1): 52-56. (in Chinese)

[3] 陈亚莉. 填料不同指标对沥青胶浆和沥青混合料性能影响[J]. 筑路机械与施工机械化, 2007, 24(4): 15-16, 19.

CHEN Ya-li. Influences of mineral filler with different indexes upon asphalt mortar and asphalt mixture [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2007, 24(4): 15-16, 19. (in Chinese)

- [C]//中国公路学会. 第四届中国道路和机场路面技术大会论文集. 北京:人民交通出版社,2001:354-358.

WAN Xi-cun, QI Cheng. Application of grooving technique on runway pavement[C]//China Highway Society. The 4th Highway and Airport Pavement Technique Conference Committee. Beijing: China Communications Press,2001:354-358. (in Chinese)

[12] Hibbs B O, Larson R M. Tire pavement noise and safety performance[R]. Washington DC: FHWA, 1996.

[13] Wayson R L. Relationship between pavement surface texture and highway traffic noise[R]. Washington DC: TRB, 1998.

[14] 陶志金. 水泥混凝土路面轮胎/路面噪声与交通噪声评价方法研究[D]. 西安:长安大学, 2009.

.....

(上接第 15 页)

[4] 李平, 芦军, 张争奇, 等. 沥青混合料用矿粉性能指标研究[J]. 中国公路学报, 2008, 21(4): 6-11.

LI Ping, LU Jun, ZHANG Zheng-qi, et al. Research on performance index of mineral filler used in asphalt mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(4): 6-11. (in Chinese)

[5] 彭波, 丁智勇, 戴经梁. 不同类型沥青胶浆路用性能对比[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(3): 61-65.

PENG Bo, DING Zhi-yong, DAI Jing-liang. Road performance comparison of different asphalt mastics[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(3): 61-65. (in Chinese)

[6] 刘丽, 郝培文, 肖庆一, 等. 沥青胶浆高温性能及评价方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27(5): 30-34.

LIU Li, HAO Pei-wen, XIAO Qing-yi, et al. High temperature properties and evaluation method of asphalt mortar[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(5): 30-34. (in Chinese)

[7] 李平, 张争奇, 孙鸿伟, 等. 沥青胶浆粘度特性研究

TAO Zhi-jin. Study on the tire/road noise characteristics of PCC pavement[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)

[15] 郭知涛. 刻槽水泥混凝土路面抗滑降噪特性研究[D]. 西安:长安大学, 2009.

GUO Zhi-tao. Study on the skid-resistance and low-noise characteristics of grooved Portland cement concrete pavement[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)

[16] 郭知涛, 韩森. 水泥混凝土路面刻槽对轮胎/路面噪声影响分析[J]. 公路, 2008(11): 217-220.

GUO Zhi-tao, HAN Sen. Analysis of impact of cement concrete pavement grooving on tire/road noise[J]. Highway, 2008(11): 217-220. (in Chinese)

[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(2): 49-52.

LI Ping, ZHANG Zheng-qi, SUN Hong-wei, et al. Research on viscosity property of asphalt mortar[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(2): 49-52. (in Chinese)

[8] 李平. 基于胶浆特性的沥青混合料设计[D]. 西安:长安大学, 2008.

LI Ping. Design of hot mixture asphalt based on mortar character[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008. (in Chinese)

[9] JTG E20-2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

JTG E20-2011, Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering[S]. (in Chinese)

[10] 李祖仲. 应力吸收层沥青混合料组成设计及抗裂性能研究[D]. 西安:长安大学, 2009.

LI Zu-zhong. Research on material of stress absorbing layers asphalt mixture and anti-cracking performance[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)