

文章编号: 1007-2373 (2006) 02-0109-05

沥青胶浆粘度特性分析

刘 丽^{1,2}, 郝培文¹

(1. 长安大学 公路学院, 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 为了研究沥青胶浆在高温时的粘度特性,应用 Brookfield 旋转粘度计,采用不同的转速,研究了剪切速率、温度、粉胶比和填料种类对沥青胶浆粘度的影响.结果表明,胶浆粘度值与这些因素密切相关,温度低于 110 时,粘度值对剪切速率比较敏感,表现为非牛顿流体的特性;温度高于 135 时,其粘度受剪切速率影响变小,逐渐表现为牛顿流体的特性.同时,试验结果还表明,不同填料形成的胶浆粘度值相差很大,消石灰是一种能够明显提高粘度的掺加剂.

关键词 沥青胶浆; 填料; 消石灰; 粉胶比; 粘度

中图分类号 U416.217 文献标识码 A

Analysis on Viscosity Character of Asphalt Mortar

LIU Li^{1,2}, HAO Pei-wen¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Shanxi Xi'an 710064, China; 2. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Shanxi Xi'an 710055, China)

Abstract The influence of shear strain rate, temperature, the ratio of filler/asphalt, and filler type on asphalt mortars' viscosity is studied with different rotational speed of Brookfield viscometer in order to inquire asphalt mortars' properties at high temperature. The results show that the viscosity of asphalt mortars is closely connected with these factors. It is sensitive to shear strain rate at low of 110 , and asphalt mortars exhibit non-Newtonian fluid behavior. But when the temperature is higher than 135 , the influence of shear strain rate on viscosity is less, and asphalt mortars perform Newtonian fluid behavior. Meanwhile, the results also show that the difference in viscosity is striking among different kinds of asphalt mortars, hydrated lime is a good addition agent which can increase asphalt mortars' viscosity clearly.

Key words asphalt mortar; filler; hydrated lime; ratio of filler/asphalt; viscosity

目前,对沥青混合料组成结构理论存在两种不同的看法,即传统的表面理论和近代的胶浆理论.按照胶浆理论,沥青混合料是一种三级空间网状结构的分散系,首先,是以粗集料为分散相分散在沥青砂浆中,其次,沥青砂浆以细集料为分散相分散在沥青胶浆中,最后,沥青胶浆又以填料为分散相分散在沥青介质中^[1].这三级分散相以沥青胶浆最为重要,其组成结构对混合料的各项路用性能起着至关重要的作用,所以,随着近几年胶浆理论越来越受到人们的重视,关于沥青胶浆性能的研究也逐渐成了道路工作者研究的热点课题^[1-6].

粘度是对流体材料流变特性的一种度量,根据粘度与剪变率的关系,流体可分为牛顿流体和非牛顿流体^[7].牛顿流体的粘度是一常数,与剪变率无关,所以在粘度测定时,变化不同的剪切速率,测定结果不变.非牛顿流体的粘度随剪变率的不同而变化,粘度大小与测定时采用的剪变率有关.石油沥青由非牛顿流体变成牛顿流体的交界温度为 60 ~ 80 ,测定高于该温度的粘度时,由于表现为牛顿流体,所以可以不考虑剪变率对试验结果的影响.对于加进填料后的沥青胶浆,粘度和剪变率之间是怎样的关系、剪变率对粘度的测定有何影响,还需要进行研究才能得到结论.

收稿日期: 2005-11-04

作者简介: 刘丽 (1976-), 女 (汉族), 博士生.

1 原材料试验

本研究采用 90 # 基质沥青，石灰石矿粉和消石灰两种填料，沥青的基本技术性质见表 1。按粉胶比 0.6、0.8、1.0、1.2 分别制备矿粉沥青胶浆和消石灰代替部分矿粉沥青胶浆，其中，消石灰代替部分矿粉沥青胶浆的比例按表 2 进行配制。

2 试验结果及数据分析

本文采用的是美国 Brookfield 的 DV- 型旋转粘度仪，为了研究剪变率对沥青胶浆粘度的影响，试验中采用改变马达转速的方法，即变化纺锤体剪切速率，观察在不同剪切速率下沥青胶浆粘度的变化情况。同时，为了研究不同温度下沥青胶浆的流动特性，分别在 90、110、135、165 温度下进行粘度试验，建立粘温曲线，得到胶浆粘度随温度变化的规律。

2.1 粘度和剪变率的关系研究

90 时沥青胶浆粘度试验结果见表 3。

图 1 是以消石灰代替部分矿粉沥青胶浆为例进行的粘度和转速之间的回归分析。

1) 90 时，基质沥青的粘度不随转速的改变而改变，是一个固定值，所以说 90 基质沥青表现为牛顿流体的特性。

2) 从图 1 中可以看出，90 时，沥青胶浆粘度随着转速增加而减小，表现出明显的非牛顿流体特性——假塑性，将粘度和转速进行回归分析，发现二者之间满足幂函数关系，即：

$$y = Ax^b \tag{1}$$

式中：y 为粘度 (Pa·S)；x 为转速 (转/分)；A、B 为回归系数。

表 3 90 时沥青胶浆旋转粘度试验结果

Tab. 3 Results of rotational viscosity test for asphalt mortars at 90

项 目		粘度 η / (Pa·s)						
转速 (转/分)		1.5	2.5	4	6	12	20	30
基质沥青	0	##	##	##	6.625	6.625	6.625	6.625
	0.6	##	##	##	11.959	11.896	11.838	11.825
矿粉 沥青 胶浆	0.8	##	##	##	15.792	15.646	15.538	15.459
	1.0	##	##	20.188	20.042	19.771	19.55	##
	1.2	##	##	27.688	27.459	27.063	26.742	##
消石灰 代替	0.6	##	26.7	26.292	25.959	25.542	##	##
	0.8	##	38.3	37.813	37.375	36.604	##	##
部分矿粉 沥青胶浆	1.0	65.8	63.9	62.313	60.833	##	##	##
	1.2	102	98.7	96.188	94.135	##	##	##

注：表中##代表由于扭矩百分比超出了仪器测量范围，不能进行该转速下的粘度测量。

表 1 基质沥青技术性质

Tab. 1 Technical parameters of the asphalt

项 目	单 位	测 定 值	
针入度	30	0.1 mm	166
(100 g ; 5 s)	25	0.1 mm	87.2
	15	0.1 mm	24.8
针入度指数 P. I. 值			-2.0
当量软化点 T_{800}			42.4
当量脆点 T_{12}			-8.9
延 度	15	cm	>150
	5	cm	7.1
软化点 $T_{R\&B}$			46.5
旋转薄膜烘箱	针入度比 25	%	69
加热试验 (163 , 75 min)	15 延度	cm	120
	软化点增值		1.6

表 2 消石灰代替部分矿粉沥青胶浆成分配制

Tab. 2 Components of asphalt mortar for hydrated lime instead of mineral filler

粉胶比	(沥青+消石灰+矿粉) 配制比例		
0.6	1	0.3	0.3
0.8	1	0.3	0.5
1.0	1	0.3	0.7
1.2	1	0.3	0.9

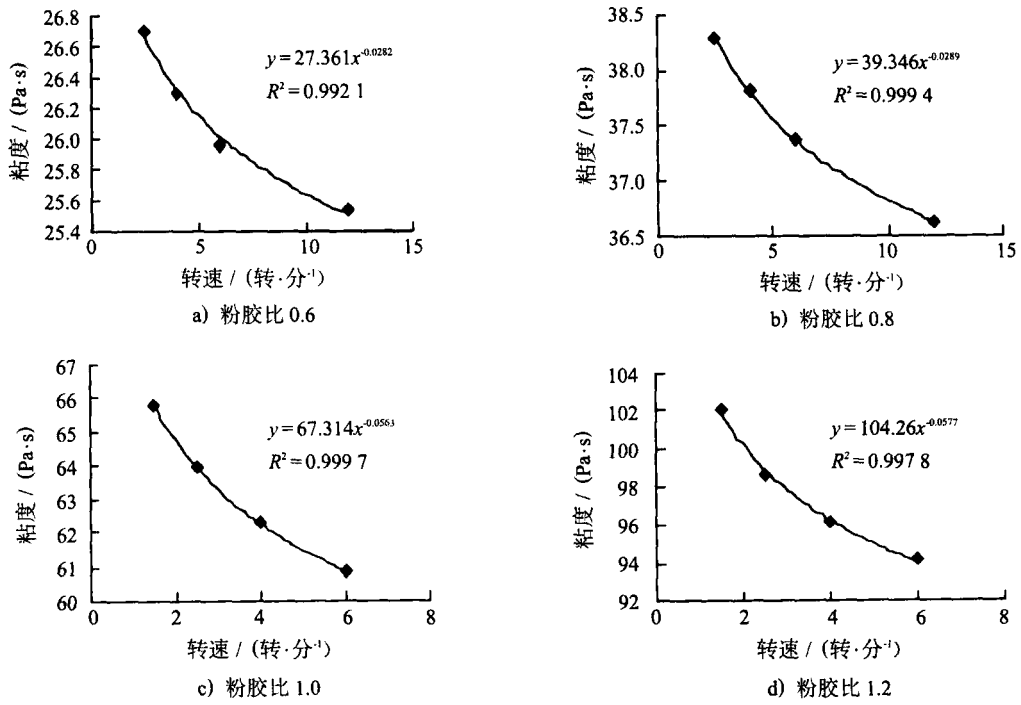


图 1 消石灰代替部分矿粉沥青胶浆 90 粘度和转速回归分析

Fig. 1 Relationship between viscosity and rotational speed for asphalt mortars of hydrated lime instead of mineral filler at 90

表 4 为矿粉沥青胶浆和消石灰代替部分矿粉沥青胶浆的粘度和转速之间回归分析结果的汇总。

3) 粘度和转速的关系实质上是反映了粘度和剪变率的关系，经过公式推导可知，回归得到的幂指数 B 加 1 即为流变指数 c，其大小反映了非牛顿流体偏离牛顿流动特性的样式和程度。c=1，为牛顿流体；c 值越接近 0，偏离牛顿流体的程度越大。从表 4 中可以看出，随着粉胶比的增加，两种胶浆的 c 值均呈下降趋势，也就是说，粉胶比越大，表现的非牛顿流体特性越明显。相同粉胶比时，消石灰代替部分矿粉沥青胶浆表现的非牛顿特性要比矿粉沥青胶浆表现的非牛顿特性明显，也就是说，消石灰的加入，增大了胶浆偏离牛顿流体特性的程度，使得粘度值对测定时采用的剪切速率大小更为依赖和敏感。

表 4 90 沥青胶浆粘度和转速回归分析结果

Tab. 4 Results of regression analysis about viscosity and rotational speed for asphalt mortars at 90

胶浆种类	粉胶比	回归方程	相关系数 R ²	系数 A	幂指数 B	流变指数 c
矿粉 沥青 胶浆	0.6	$y = 12.114x^{-0.0073}$	0.976 6	12.114	-0.007 3	0.992 7
	0.8	$y = 16.172x^{-0.0133}$	0.999 8	16.172	-0.013 3	0.986 7
	1.0	$y = 20.763x^{-0.0199}$	0.998 5	20.763	-0.019 9	0.980 1
	1.2	$y = 28.534x^{-0.0215}$	0.999 2	28.534	-0.021 5	0.978 5
消石灰 代替 部分矿粉 沥青胶浆	0.6	$y = 27.361x^{-0.0282}$	0.992 1	27.361	-0.028 2	0.971 8
	0.8	$y = 39.346x^{-0.0289}$	0.999 4	39.346	-0.028 9	0.971 1
	1.0	$y = 67.314x^{-0.0563}$	0.999 7	67.314	-0.056 3	0.943 7
	1.2	$y = 104.43x^{-0.0599}$	0.997 9	104.43	-0.059 9	0.940 1

4) 系数 A 可以反映沥青胶浆粘度值的大小, A 值越大, 胶浆粘度越大. 从表 4 中 A 值来看, 随着粉胶比的增加, 胶浆粘度逐渐增大. 相同粉胶比时, 消石灰代替部分矿粉之后, 胶浆的粘度值明显增加, 究其原因, 消石灰是碱性物质, 沥青含有沥青酸和沥青酸酐, 二者之间会发生化学吸附反应, 生成不溶于水的有机酸盐, 当产生化学吸附时, 沥青与填料的粘结最为牢固, 所以消石灰加入到沥青中, 可以使沥青胶浆的粘性明显提高, 从而使消石灰在沥青和石料之间能够起到很好的抗剥落作用.

类似地, 对 110 沥青胶浆粘度和转速进行回归分析, 发现 110 时沥青胶浆粘度和转速依然满足幂函数关系: $y = Ax^p$.

135 和 165 时, 转速大小对沥青胶浆粘度值影响很小, 不同转速下粘度变化不大, 可以认为沥青胶浆逐渐表现为牛顿流体的特性. 由此可以推断, 当温度高于 165 时, 沥青胶浆已完全表现为牛顿流体的特性, 粘度值不再受转速大小的影响.

2.2 粘度和温度的关系研究

为了研究沥青胶浆粘度随温度的变化规律, 将粘度和温度进行回归分析, 建立粘温曲线, 表 5 和图 2 为回归分析结果.

表 5 沥青胶浆粘度和温度回归分析

Tab. 5 Regression analysis about viscosity and temperature for asphalt mortars

温度	90	110	135	165	回归方程	相关系数 R^2
转速 / ($\text{rad}\cdot\text{min}^{-1}$)	6	20	30	100		
基质沥青	6.625	1.153	0.381	0.109	$y = 5E+13x^{-6.6359}$	0.989 3
0.6	2.332	2.332	0.619	0.156 7	$y = 8E+14x^{-7.0825}$	0.997 5
矿粉 沥青 胶浆	0.8	2.402	2.402	0.753	$y = 2E+15x^{-7.2}$	0.99
1.0	3.817	2.402	1.027	0.207 2	$y = 6E+15x^{-7.4267}$	0.997 8
1.2	5.544	2.402	1.275	0.262 8	$y = 2E+16x^{-7.6195}$	0.999 6
消石灰 代替	0.6	25.959	5.419	1.3	$y = 4E+15x^{-7.2715}$	0.999 4
0.8	37.375	7.869	1.812*	0.418 7*	$y = 1E+16x^{-7.3857}$	0.999 7
部分矿粉 沥青胶浆	1.0	60.833	12.792	2.837*	$y = 2E+16x^{-7.4468}$	0.999 7
1.2	94.135	19.428	4.375*	0.987 5*	$y = 4E+16x^{-7.4941}$	0.999 7

注: *表示由于该温度该转速下的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, 所以用其它转速的粘度代替.

1) 无论何种沥青胶浆, 随着温度升高粘度值都迅速下降, 其粘温曲线符合幂函数形式, 且有 0.99 以上的相关系数, 即:

$$y = Cx^p \quad (2)$$

式中: y 为粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$); x 为温度 (); C、D 为回归系数.

一般情况下, 回归系数 C 表示粘度的大小, C 越大, 表示粘度越大; 回归系数 D 表示沥青胶浆的感温性, D 越大, 表示沥青胶浆的感温性越大.

从表 5 的 C 值可以看出, 相同粉胶比时, 用消石灰代替部分矿粉的沥青胶浆粘度值大于矿粉沥青胶浆的粘度值, 再次说明在沥青中加入消石灰, 可以提高沥青胶浆的粘度.

2) 相同温度下, 随着粉胶比的增加粘度值增大, 但是粘度值的增加幅度不同, 粉胶比从 0.6 到 0.8, 粘度值变化幅度较小, 从 0.8 到 1.2, 粘度值变化幅度较大, 特别是粉胶比从 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、粉胶比大小密切相关.

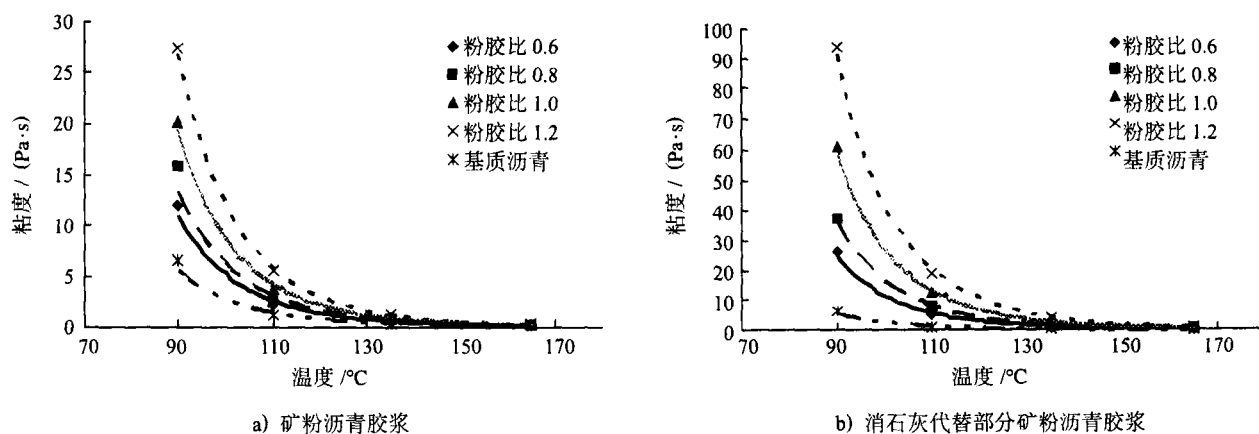


图 2 沥青胶浆粘度和温度回归分析

Fig. 2 Regression analysis about viscosity and temperature for asphalt mortars

3 小结

1) 在 90 和 110 温度下, 基质沥青粘度不随转速的改变而改变, 表现为牛顿流体特性; 沥青胶浆粘度随转速增加而减小, 表现出非牛顿流体的特性. 温度高于 135 时, 沥青胶浆逐渐表现为牛顿流体的特性, 其粘度值受转速大小影响较小.

2) 粘度和转速的关系实质上反映了粘度和剪变率的关系, 经过粘度和转速回归得到的流变指数 c 代表了非牛顿流体偏离牛顿流动特性的样式和程度. 从 c 值来看, 粉胶比越大, 非牛顿流体特性越明显.

3) 随温度升高沥青胶浆粘度迅速下降, 其粘温曲线符合 $y=Cx^D$ 幂函数形式, 回归系数 C 表示粘度的大小, C 越大, 表示粘度越大; 回归系数 D 表示沥青胶浆的感温性, D 越大, 表示沥青胶浆的感温性越大.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 邵显智, 谭忆秋, 孙立军. 几种矿粉指标与沥青胶浆的关联分析 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (2): 10-13.
- [3] 邹桂莲, 张肖宁, 袁燕. 应用流变学的方法研究填料对沥青胶浆高温性能的影响 [J]. 公路, 2004 (3): 94-97.
- [4] 王捷, 龚涌峰. 粉胶比对沥青胶浆和沥青混合料性能的影响 [J]. 长沙交通学院学报, 2004, 20 (4): 73-77.
- [5] 刘丽, 郝培文. SMA 沥青胶浆的研究 [J]. 中外公路, 2004, 24 (5): 97-100.
- [6] Mogawer W S, Stuart K D. Effects of mineral fillers on properties of stone matrix asphalt mixtures [J]. TRR, 1996, 1 530: 86-94.
- [7] 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.
- [8] 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.