

纤维和矿粉对沥青胶浆性能的影响

张争奇, 李 平, 王秉纲

(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:为了研究纤维和矿粉对沥青胶浆性能的影响,采用动态剪切流变仪(DSR)和弯梁流变仪(BBR)对纤维、矿粉和沥青三者组成的沥青胶浆的高、低温性能进行了研究,分析了粉胶比和纤维用量变化对沥青胶浆性能的影响。结果表明,提高粉胶比、增加纤维用量使沥青胶浆的高温性能改善,但会使低温性能有所降低;矿粉和纤维两种材料具有不同的作用机理,采用纤维取代部分矿粉可取得沥青混合料高、低温性能均改善的效果,是解决沥青混合料高、低温性能难以兼顾的有效途径。

关键词:道路工程;沥青胶浆;纤维;粉胶比;动态剪切流变仪(DSR);弯梁流变仪(BBR)

中图分类号:U414.75

文献标识码:A

Effect of fiber and mineral filler on asphalt mortar performance

ZHANG Zheng-qi, LI Ping, WANG Bing-gang

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry
of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to study effect of fiber and mineral filler on the performance of asphalt mortar, dynamic-shear-rheometer and bend-beam-rheometer were used to study the effects of the ratio of filler to bitumen and fiber content on the properties of asphalt mortar. Based on the analysis of asphalt mortar character, it was obtained that the increase of ratio of bitumen and fiber can improve the performance to resist the high temperature deformation, but it will bring the degradation of anti-cracking performance. The test results also indicated that the partial replacement of filler with a certain content of fiber can improve anti-cracking property of asphalt mixture at low temperature while good performance at high temperature is kept. 3 tabs, 10 figs, 6 refs.

Key words: road engineering; asphalt mortar; fiber; ratio of filler to bitumen; dynamic-shear-rheometer; bend-beam-rheometer

0 引 言

沥青胶浆是由沥青、填料和混合料中细成分组成的混合物,它们的相对比例影响着沥青胶浆的性质,从而引起胶浆粘附性和粘弹性的变化,进而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,所以沥青胶浆是影响沥青混合料粘弹性的根本因素^[1,2]。

近年来,在沥青混合料中加入纤维以改善沥青混合料的性能得到越来越多的重视,按照胶浆理论,纤维将成为混合料三级体系中的沥青胶浆的构成部分。本文对沥青、矿粉、纤维构成的沥青胶浆进行

研究,基于2个目的:①研究纤维对胶浆高、低温性能的影响,确定胶浆合理构成;②尝试采用适量纤维取代部分矿粉,在不降低胶浆高温性能的同时,改善沥青胶浆的低温性能^[3,4]。

1 试验材料及方法

沥青采用盘锦沥青,矿粉采用石灰岩矿粉,矿粉的筛分结果见表1,纤维采用木质素纤维。

粉胶比取值范围为0.6~1.4,级差0.2。纤维用量以沥青胶浆重量的百分率计,取值范围1%~4%,大致相当于沥青混合料重量的0.05%~0.4%。

表1 矿粉筛分结果范围

筛孔/mm	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
通过量/%	100.0	97.3	93.5	89.0	84.5

2 沥青胶浆高低温试验结果及分析

2.1 沥青胶浆高温试验结果分析

在 Superpave 沥青结合料性能规范中,以最高路面设计温度下沥青结合料 DSR 试验指标 $G^* / \sin \delta$ 作为沥青结合料的高温评价指标。 $G^* / \sin \delta$ 越大,即高温时的流动变形越小,抗车辙能力越强,采用它作为反映沥青材料的永久变形性能的指标。试验结果见表2及图1。

2.1.1 粉胶比对沥青胶浆高温性能的影响

从试验结果可以看出,随着粉胶比的增加,高温指标 $G^* / \sin \delta$ 增加,这是因为矿粉的比表面积大,粉胶比增加,由于填料的体积增强作用和沥青与填料的物化作用(形成结构沥青),沥青的粘度提高,表现为沥青胶浆高温稳定性改善。同时从图1可以看出,粉胶比1.2处, $G^* / \sin \delta$ -粉胶比曲线前后变化幅度不同;小于1.2时, $G^* / \sin \delta$ 随粉胶比增加而增大的幅度较大;而大于1.2时, $G^* / \sin \delta$ 增加的幅度降低。这主要与矿粉含量变化,使填料在胶浆中的存在形态以及填料与沥青相互作用特点发生变化有关,在较多填料情况下,粘聚力反而降低。另外,较低温度下 $G^* / \sin \delta$ 随粉胶比增加的幅度要大于较高温度者,这是由于在高温下,沥青的粘性性质越加明显,由于沥青粘性成分的增长削弱了增加矿粉对弹性成分的影响,从而呈现出增长幅度的降低。

2.1.2 纤维用量对 $G^* / \sin \delta$ 的影响

由图2~图4可知,在同一粉胶比下,增加纤维含量, $G^* / \sin \delta$ 显著增大,这是因为纤维可以吸纳沥青或吸收沥青中的油分,并以细长形状分布在胶浆

表2 不同粉胶比及纤维含量的 DSR 试验结果

试样编号	纤维含量/%	粉胶比	76 °C		70 °C		64 °C	
			$G^* \cdot \sin \delta^{-1}$ /MPa	δ	$G^* \cdot \sin \delta^{-1}$ /MPa	δ	$G^* \cdot \sin \delta^{-1}$ /MPa	δ
1	0	1.4	2.74	88.7	4.31	88.2	9.80	86.9
2	0	1.2	2.27	88.8	3.93	88.2	8.97	87.2
3	1	1.2	2.39	86.7	4.64	86.5	9.02	85.4
4	2	1.2	2.87	85.1	5.13	84.8	10.50	84.6
5	3	1.2	3.51	83.9	5.93	83.9	13.00	83.3
6	0	1.0	1.67	88.9	3.32	88.2	7.52	87.0
7	1	1.0	2.18	88.4	4.03	86.5	7.82	85.6
8	2	1.0	2.51	84.2	4.99	84.4	9.47	84.0
9	3	1.0	2.77	83.5	5.33	83.4	10.80	83.6
10	4	1.0	3.46	82.2	6.19	81.9	11.70	81.9
11	0	0.8	1.37	89.0	2.79	88.3	5.20	87.2
12	1	0.8	1.75	86.2	3.54	85.9	6.28	85.2
13	2	0.8	2.31	84.2	4.29	84.7	7.78	83.9
14	3	0.8	2.44	82.6	4.63	82.7	8.00	82.6
15	4	0.8	2.49	81.2	4.64	81.0	9.58	81.3
16	0	0.6	0.967	89.0	2.06	88.3	3.70	87.5

中,有多向加筋功能,降低了沥青的流动性,提高了沥青的稠度,增强了沥青的粘结力,能明显增强沥青的高温稳定性。

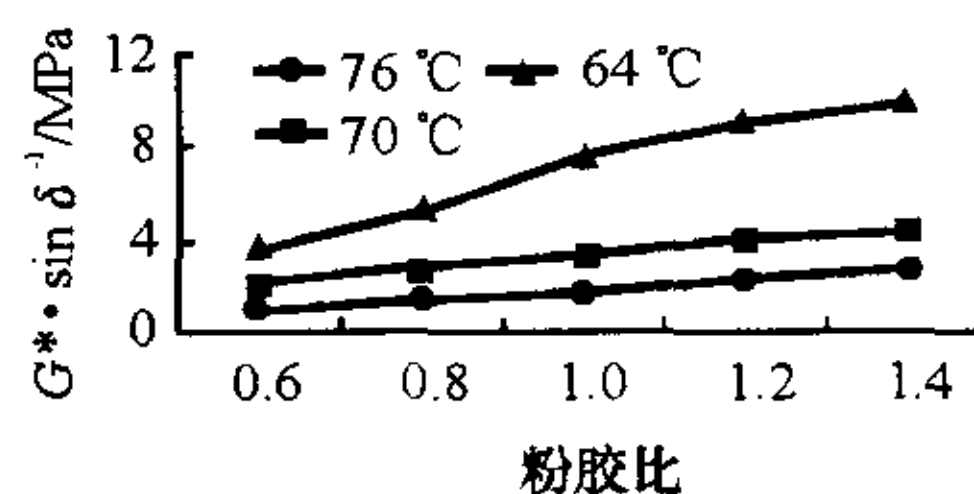


图1 粉胶比对 $G^* / \sin \delta$ 的影响

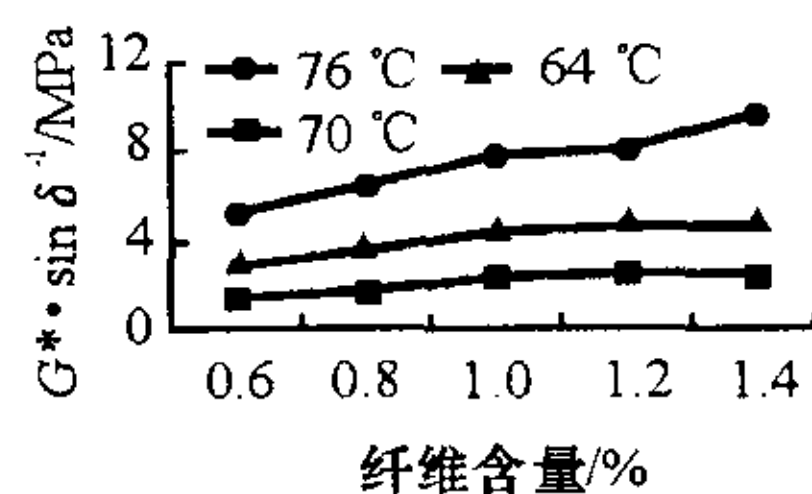


图2 纤维含量对 $G^* / \sin \delta$ 的影响(粉胶比为 0.8)

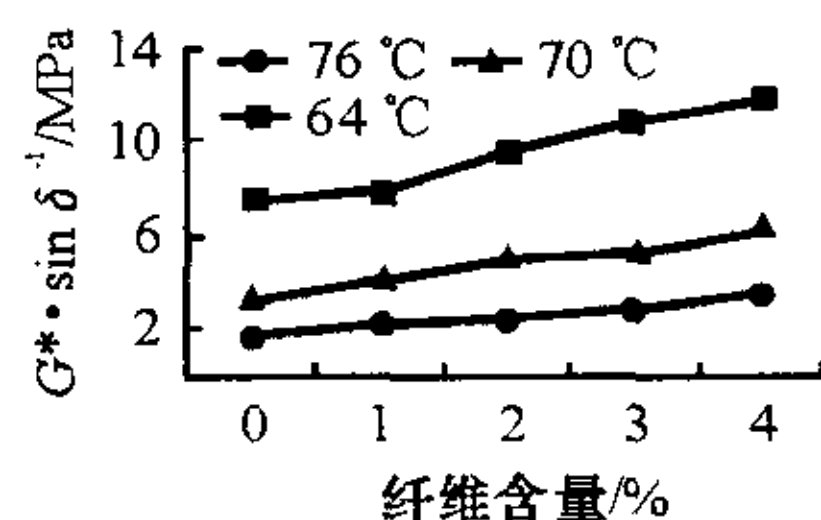


图3 纤维含量对 $G^* / \sin \delta$ 的影响(粉胶比为 1.0)

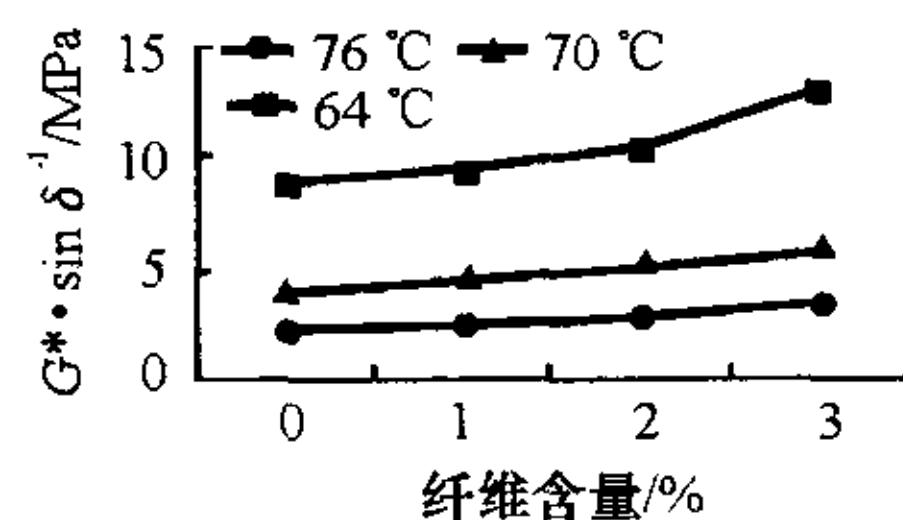


图4 纤维含量对 $G^* / \sin \delta$ 的影响(粉胶比为 1.2)

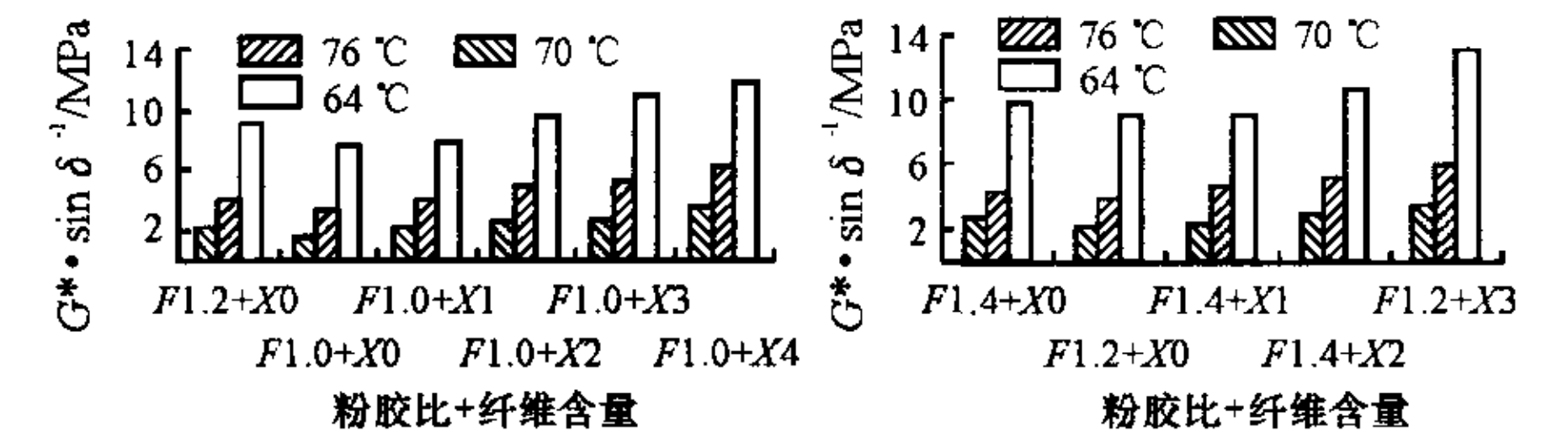
另外从图上可以看出:纤维对沥青胶浆性能的改善作用在较高温度时要弱于较低温度时,这是由于较高温度时,沥青粘性成分的迅速增长,削弱了纤维的改性作用。

2.1.3 粉胶比及纤维用量对 $G^* / \sin \delta$ 影响的比较

本项试验集中分析粉胶比和纤维的相对用量的变化对高温指标的影响,并考察降低矿粉用量和加入适量纤维能否保证高温指标不会降低。

图5是粉胶比为1.2的胶浆试验结果与粉胶比降低0.2但加入不同用量纤维的胶浆高温试验结果

之比较,从图上结果可以看出,在各试验温度下,粉胶比减小 0.2,在胶浆中加入适量纤维,可使 $G^*/\sin\delta$ 超出原粉胶比胶浆的高温指标。以 64℃DSR 试验结果为例,粉胶比从 1.2 降低到 1.0, $G^*/\sin\delta$ 从 8.97 降低为 7.52,但在其中加入 2%(沥青胶浆质量计)的纤维, $G^*/\sin\delta$ 值增加为 9.47,超过了原粉胶比 1.2 的 $G^*/\sin\delta$ 值;在 70℃情况下,粉胶比 1.0 胶浆中加入 1%纤维,就可超过粉胶比 1.2 的 $G^*/\sin\delta$ 值,图 6 所示试验结果也是如此。



F 为粉胶比, F1.0 为粉胶比 1.0; X 为纤维用量, X1 为 1% 的纤维含量;其他以此类推

图 5 粉胶比与纤维含量相对变化对胶浆 $G^*/\sin\delta$ 的影响

图 6 粉胶比与纤维含量的相对变化对胶浆 $G^*/\sin\delta$ 的影响

试验结果说明,适当降低粉胶比,并在胶浆中加入适量纤维,可以同样起到改善高温的目的。纤维加入沥青胶浆后,以其特有的中空、细长结构,吸纳与稳定沥青,加筋和阻碍沥青的流动,使沥青胶浆表现出很好的高温稳定性^[5]。

2.2 低温试验结果及分析

SHRP 采用 BBR(弯梁流变仪)试验的 2 个指标——弯曲蠕变劲度模量 s 和蠕变曲线的斜率 m (劲度模量对荷载作用时间的曲线斜率)来测评沥青结合料的低温抗裂性能。沥青胶浆 BBR 试验结果见表 3。从图 7 可以看出,在粉胶比不变时,增加纤维含量,会使沥青试样的蠕变模量增大,但增加幅度小,尤其与粉胶比的影响相比较时更加明显。

图 8 结果也表明,增加纤维对斜率 m 的影响不显著,说明纤维对胶浆的应力累积能力没有太大的影响。从而可知增加纤维含量对沥青低温性能也有不利影响,但影响较弱。

3 纤维和粉胶比变化对沥青胶浆高温性能的影响及其机理

3.1 纤维及粉胶比对胶浆高低温性能之比较

纤维及矿粉是不同材质的材料,形状、刚度、结构均不同,它们均对沥青胶浆的高、低温性能有影响,但影响程度不同,本文将考察两者的交互影响。通过试验分析,确定纤维和矿粉的添加比例,能使沥青胶浆的高、低温性能均能得到有效改善。为了描述方便,矿粉与沥青组成的胶浆称为胶浆,纤维、矿

表 3 不同粉胶比、纤维含量沥青胶浆的 BBR 试验结果

试样编号	纤维含量/%	粉胶比	-18℃		-12℃	
			s/MPa	m	s/MPa	m
1	0	1.4	1 002	0.299 5	395	0.426
2	0	1.2	820	0.307 0	345	0.444
3	1	1.2	852	0.302 0	361	0.427
4	2	1.2	865	0.308 5	404	0.423
5	3	1.2	892	0.310 0	385	0.407
6	0	1.0	690	0.337 5	272	0.454
7	1	1.0	727	0.322 0	299	0.46
8	2	1.0	—	—	—	—
9	3	1.0	823	0.306 0	307	0.456
10	4	1.0	824	0.305 0	312	0.439
11	0	0.8	585	0.334 0	235	0.463
12	1	0.8	587	0.314 0	241	0.450
13	2	0.8	667	0.321 0	248	0.443
14	3	0.8	705	0.315 0	268	0.448
15	4	0.8	756	0.314 0	266	0.442
16	0	0.6	500	0.346 0	180	0.466

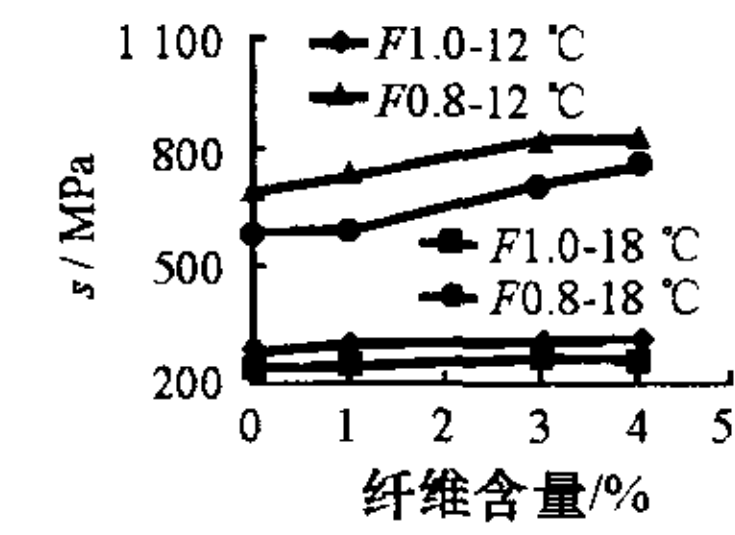


图 7 蠕变模量与纤维含量关系曲线

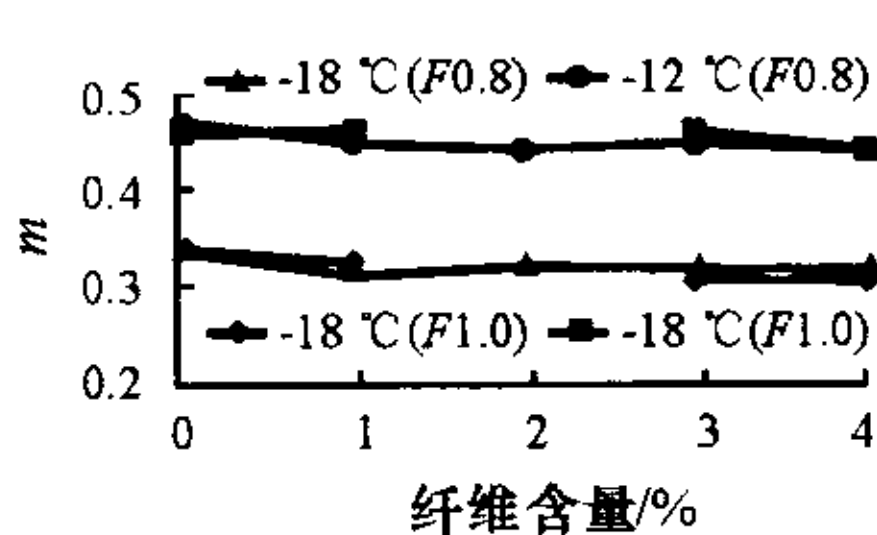


图 8 蠕变速率与纤维含量关系曲线

粉及沥青组成的胶浆称为纤维粉胶。

图 9 是粉胶比为 1.4 的胶浆与粉胶比为 1.2 并加入不同用量纤维的纤维粉胶的高、低温性能对比图。从图 9 可知,纤维粉胶(粉胶比 1.2+(1%~3%)纤维)的 s 与粉胶比 1.4 的胶浆相比有所降低或基本持平(图中柱形),但其高温指标却比胶浆(粉胶比 1.4)高(图中折线),说明粉胶比降低 0.2,但加入适量纤维,低温性能得到改善,同时可使其高温性能指标有明显的提高;以胶浆(粉胶比 1.4)与纤维粉胶(粉胶比 1.2+2%纤维)比较为例,纤维粉胶($F=1.2, X=2\%$) -18°C 时的 s 与胶浆($F=1.4, X=0$)相比降低 14%,而 70°C 时的 $G^*/\sin\delta$ 却增加了 19%。从图 10 也可得出同样的结论。

根据以上试验结论,在沥青混合料设计时,用少量纤维取代部分矿粉,可以改善沥青混合料在低温下的柔性,同时可以提高沥青混合料高温弹性,起到了高低温性能均改善的效果。

3.2 纤维及矿粉对胶浆的性能改善机理

由以上试验结果可知,沥青中加入矿粉或纤维,均可使胶浆的高温性能提高,低温性能有所降低,但

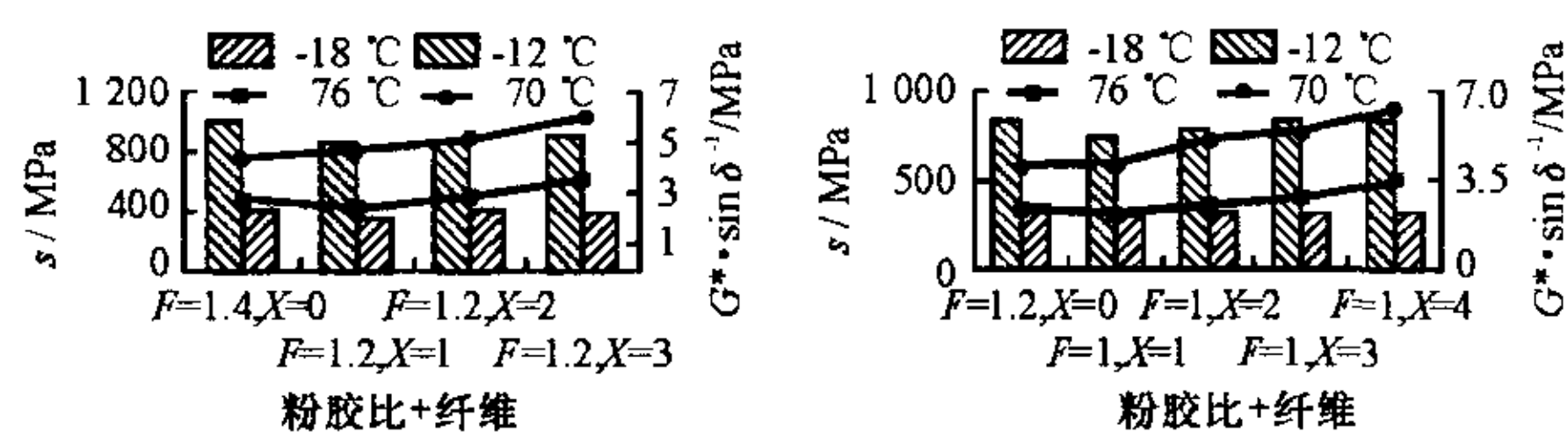


图9 粉胶比和纤维含量相对变化对沥青胶浆高低温性能的影响

程度不同。适当降低矿粉量,但在其中加入适量纤维,可使胶浆的高温性能提高,同时也可使胶浆的低温性能得到改善,起到高、低温性能兼顾的效果。这与矿粉和纤维本身的特质以及它们在沥青中的存在状态有很大的关系。两种材料对沥青基体相性能的改善,由于胶浆在不同温度下,其性态不同,必须采用不同的理论来解释。胶浆在低温下,基体相沥青的模量较大,胶浆表现出复合材料的特点,可以用复合材料理论来解释。从前文可知,胶浆的粉胶比降低 0.2,但在其中加入 2% 的纤维,可使胶浆低温模量降低。这是由于在低温下,沥青变硬,成为复合材料的基体相,复合材料模量的增加是大致与填料的体积分数成正比的,粉胶比减少 0.2 (以 $F=1.4$ 、 $F=1.2$ 为例),相当于变化沥青量约 14%,所以胶浆的模量有较大的降低;纤维量是以沥青胶浆的质量的百分比计,2% 的纤维量约相当于沥青质量的 1%,折算下来,纤维的体积分数要远少于矿粉的体积分数,所以表现出纤维粉胶的低温模量低于胶浆;另一方面,矿粉与纤维相比,矿粉的刚度远大于纤维刚度,填料的加劲与表面吸附作用使材料的复合模量增加,纤维具有好的柔顺性和可变形特征,对基体相沥青的模量影响不大。所以矿粉降低一定量,加入适量纤维可使胶浆低温模量降低。

而在高温下,基体相模量显著降低,表现出粘流态,改善机理用表面理论来解释。在高温下,沥青相呈粘流态,加入纤维或矿粉,均可使胶浆的粘度提高。粉胶比降低 0.2,加入 2% 的纤维,其胶浆的高温指标提高,意味着 2% 的纤维对胶浆的改善效果要比粉胶比 0.2 的效果好。由于纤维对高温性能的贡献主要是由其吸纳、加筋和阻碍流动作用,这些并不会随温度的提高有大的变化;但矿粉对胶浆高温粘度的改善主要与其填充和对沥青的吸附有关,其填充效果与基体相的模量有关,吸附紧密程度也与对象的粘稠程度有关,故随着温度的升高,矿粉的高温改善幅度降低。故而表现出纤维量虽小,却比矿粉的改善效果好^[6]。

综上所述,纤维取代部分矿粉使胶浆高、低温性能均得到改善,而其中空、纤细、柔软的特点是其改

善胶浆性能的主要原因。

4 结 语

(1) 胶浆是沥青混合料粘弹性能的关键影响因素,影响着沥青混合料高、低温性能,在混合料设计中应注意对胶浆构成比例的选择。

(2) 胶浆中粉胶比、纤维用量的变化对胶浆的高低温性能有重要影响,但由于材质、形状不同,对性能的影响程度不同。

(3) 适当降低粉胶比,加入少量纤维,可使胶浆的高、低温性能指标均有所改善。一般情况下,在原混合料设计粉胶比的基础上降低 0.2,在胶浆中加入 2% 纤维(约相当于在沥青混合料中加入 0.2%),就可取得高低温性能均改善的效果。

参考文献:

References:

- [1] Kandhal P S. Evaluation of baghouse fines in bituminous paving mixtures[J]. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists, 1981,50(1):150-211.
- [2] Harris B M, Stuart K D. Analysis of mineral fillers and mastics used in stone matrix asphalt[J]. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists, 1995,64(1):211-234.
- [3] 张争奇,覃润浦. SMA 混合料路用性能研究[J]. 中国公路学报,2001,14(2):13-17.
ZHANG Zheng-qi, QIN Run-pu. Study of stone mastic asphalt performance[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001,14(2):13-17.
- [4] 陈华鑫,张争奇. 纤维沥青混合料低温抗裂性能[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2004,32(4):82-86.
CHEN Hua-xin, ZHANG Zheng-qi. Low temperature anti-cracking performance of fiber reinforced asphalt mixture[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2004,32(4):82-86.
- [5] 张争奇,胡长顺. 纤维加强沥青混凝土几个问题和探讨[J]. 西安公路交通大学学报,2001,21(1):29-31.
ZHANG Zheng-qi, HU Chang-shun. Study of performance of fiber enhanced asphalt concrete[J]. Journal of Xi'an Highway University, 2001,21(1):29-31.
- [6] 田小革,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.