

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2018.09.014

聚丙烯纤维增强沥青胶浆的流变性能试验研究^①

冯双雪¹, 李华超²

1. 云南工程建设总承包公司, 昆明 650200; 2. 云南省交通规划设计研究院, 昆明 650011

摘要:研究了不同掺量(0~2.5%)聚丙烯纤维(PP 纤维)对沥青胶浆针入度、软化点及动态剪切模量等流变性能影响的规律, 并采用扫描电镜(SEM)对其微观增强机理进行了分析. 试验结果表明: 随着 PP 纤维掺量的增加, 沥青胶浆的锥入度逐渐降低, 软化点逐渐提高. PP 纤维的加入, 改善了沥青胶浆的热敏性和高温下抗永久变形的能力. 通过微观结构分析, 可知由于分散在沥青胶浆中的 PP 纤维起到了桥连的作用, 使其应力分散, 从而提高了沥青胶浆的稳定性.

关键词: 沥青; 聚丙烯纤维; 流变性能; 动态剪切模量

中图分类号: TU528.42

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2018)09-0086-04

在沥青混合料中掺加纤维可以起到加筋、分散、吸附、稳定、增粘的作用, 能够有效改善沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性及水稳性等综合路用性能, 是改善沥青混合料路用性能行之有效的方法^[1-5]. 作为一种新兴的有机纤维材料, 聚丙烯纤维(PP 纤维)在沥青混合料中的应用正受到越来越广泛的关注^[6-7]. 已有研究表明, PP 纤维对沥青混合料的抗车辙能力、低温抗裂性、抗疲劳性能和水稳定性较基质沥青混合料均有明显的改善和提高^[2]. 然而, 目前 PP 纤维沥青的研究主要集中于沥青混合料的路用性能, 而对相应沥青胶浆的性能研究很少, 对这种胶浆抗剪性能、抗裂性能、综合性能评价及其改善机理的研究也较少. 为此, 本文通过试验研究分析了不同掺量 PP 纤维对沥青胶浆流变性能的影响规律. 最后, 基于 SEM 试验, 深入研究了 PP 纤维对沥青胶浆的改善机理.

1 试验

1.1 原材料

沥青: 中海 50[#] 基质沥青, 其性能指标见表 1; 矿粉采用云南文山石灰石矿粉, 其表观密度为 2.9 g/cm³, 塑性指数为 3.0, 吸水率为 0.29%, 亲水系数为 0.75; 聚丙烯纤维性能参数见表 2.

表 1 中海 50[#] 基质沥青基本性能

测试项目	软化点 T/℃	25℃锥入度	10℃延度/cm	15℃延度/cm	薄膜烘箱试验(165℃, 5 h)	
					锥入度比/%	10℃延度/cm
测量结果	53	50	12	>150	71	5.6
采用标准	GB/T 4507 ^[8]	GB/T 4509 ^[9]	GB/T 4508 ^[10]	GB/T 4508	GB/T 4509	GB/T 4508

表 2 PP 纤维性能参数

长度/mm	直径/μm	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa	密度/(g·cm ⁻³)	熔点/℃
12	31	550—700	5.0	0.91	165

① 收稿日期: 2017-10-30

作者简介: 冯双雪(1975-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事公路工程施工管理研究.

通信作者: 李华超, 高级工程师.

1.2 试验方法

- 本文所采用的试验方法分为 4 个部分.
- 1) 纤维沥青胶浆制备: 粉胶比取 1.0, PP 纤维质量掺量(沥青质量百分比)分别为 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% 和 2.5%. 沥青胶浆在 170 ℃ 下进行搅拌, 当温度降低到 160 ℃ 以下时, 掺入不同掺量的纤维, 并采用小型搅拌器进行混合搅拌至均匀.
- 2) 锥入度试验: 沥青胶浆锥入度是指在一定的荷质量、时间及温度条件下锥针垂直穿入沥青胶浆试样的深度, 其单位为 0.1 mm. 锥针、针连杆和附加砝码合计质量为 127 g, 试验温度为 25 ℃, 时间长度为 5 s. 盛样皿为直径 100 mm, 深度 50 mm 的不锈钢圆柱体容器.
- 3) 软化点试验: 沥青软化点用于评价沥青的高温性能, 软化点越高则等黏温度越高, 表明混合料的高温稳定性越好. 本文采用《沥青软化点测试方法(GB/T 4507)》^[8]进行沥青软化点测定.
- 4) DSR 试验方法: 为评价试件的抗车辙及疲劳能力, 本文通过 DSR 试验测定沥青胶浆在 5 ℃~85 ℃ 的黏弹性. 试验中采用美国 Bohlin 公司 C-VOR120 型动态剪切流变仪, 其正弦震荡荷载频率为 10 r/s, 扫描温度为 60 ℃~90 ℃.

2 结果与讨论

2.1 锥入度与软化点

锥入度和软化点的试验结果分别如图 1(a)和 1(b)所示. 通过对试验结果的分析, 由图 1(a)可以看出, 随着 PP 纤维掺量的增加, 沥青胶浆的锥入度逐渐降低. 当纤维掺量为 0.5% 时, 较普通沥青胶浆锥入度降低了 4.4%; 当纤维掺量为 2.5% 时, 则降低幅度达到 16%. 上述结果表明, PP 纤维可以明显提高沥青胶浆的模量, 进而提高其抗车辙变形的能力. 图 1(b)为 PP 纤维对软化点的影响, 由图 1(b)可知, 随纤维掺量的增加, 软化点出现上升趋势. 但是, 这种趋势并不明显, 当纤维掺量为 2.5% 时, 增幅仅为 3.8%. 结果表明, PP 纤维可以提高沥青胶浆在高温下的抗变形能力.

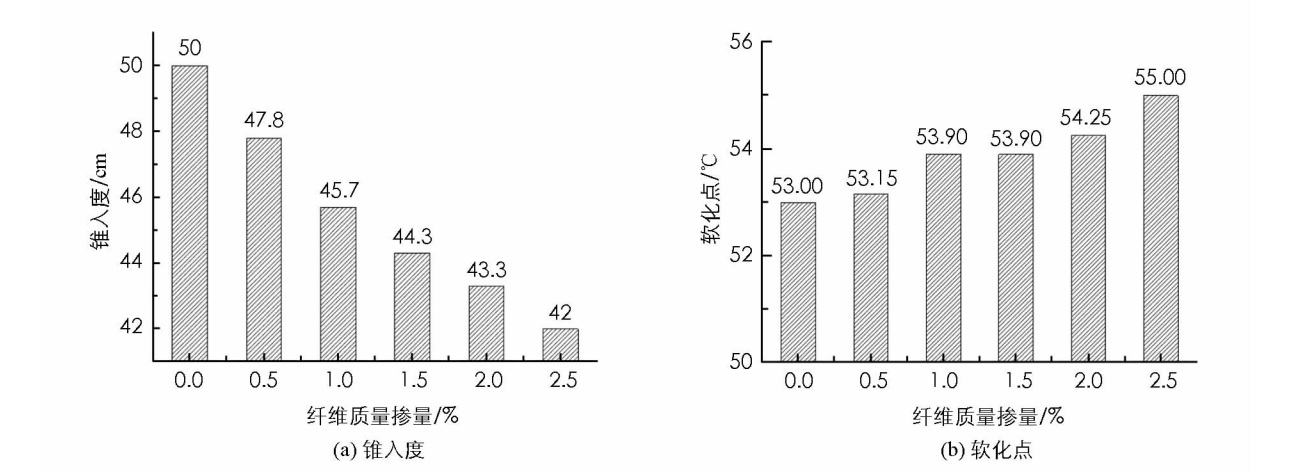


图 1 不同纤维掺量沥青胶浆的锥入度和软化点

2.2 DSR 试验结果

不同纤维掺量的沥青胶浆复变剪切模量和相位角测试结果分别如图 2(a)和 2(b)所示. 由图 2 可以看出, 随着温度的增加复变剪切模量 G^* 和相位角 δ 分别表现出下降和上升的趋势. 在同一温度时, 随着 PP 纤维掺量的增加, 复变剪切模量 G^* 出现明显的上升趋势, 且随着温度升高, 趋势更为明显. 如在温度为 46 ℃ 时, 纤维掺量为 2.5% 的沥青胶浆较普通沥青胶浆增幅可达 95.5%; 当温度为 70 ℃ 时, 增幅则为 502.1%. 对于相位角 δ , 在同一温度下随着纤维掺量增加出现下降趋势, 且随着温度升高, 趋势同样更加明显. 如在温度为 46 ℃ 时, 纤维掺量为 2.5% 的沥青胶浆较普通沥青胶浆降幅为 5.3%; 当温度为 70 ℃ 时, 降幅可达 10.1%.

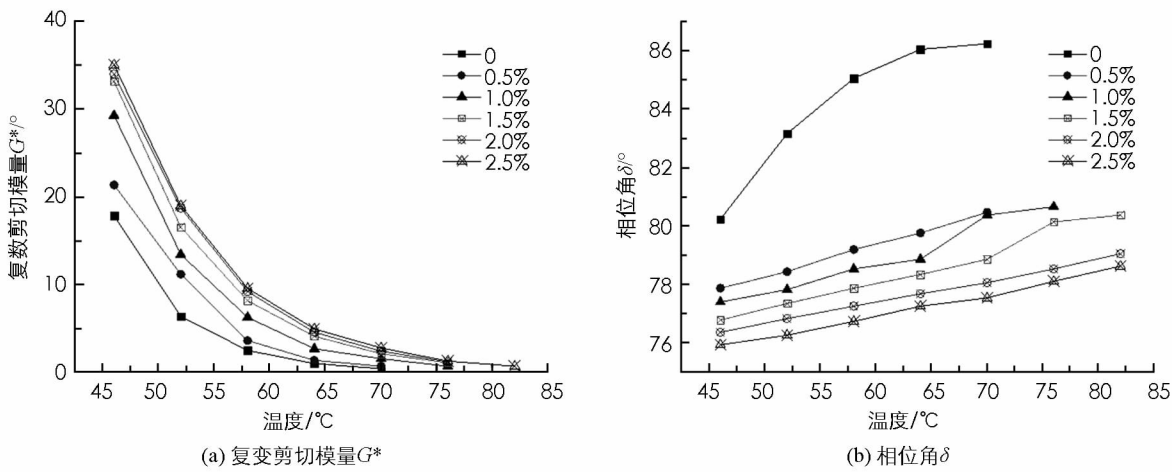


图 2 不同纤维掺量沥青胶浆的复变剪切模量和相位角与温度的关系

车辙因子是评价沥青胶浆高温流变性的重要指标,图 3 列出了不同 PP 纤维掺量的车辙因子随着温度变化的规律.由图 3 可以看出,相同温度下随着纤维掺量的增加, $G^*/\sin\delta$ 逐渐增大,表明 PP 纤维的加入可以提高沥青胶浆的高温稳定性.

2.3 PP 纤维沥青胶浆性能增强机理

图 4 给出了沥青胶浆断裂口处材料表面的微观结构 SEM 图像.从图 3 可以看到,PP 纤维与沥青基体界面有着较好的黏结.在沥青的热拌和过程中,黏结在 PP 纤维两端处的沥青呈突起状,可起嵌锁作用,使其与沥青结合牢固.随着掺量增加,PP 纤维在沥青中相互交错,形成网状结构,起桥接阻裂作用.因此对于沥青混合料,PP 纤维能够提升其弹性恢复能力及延展性,减缓裂纹展及自愈合能力,可有效改善路面抗疲劳及低温抗裂性能.

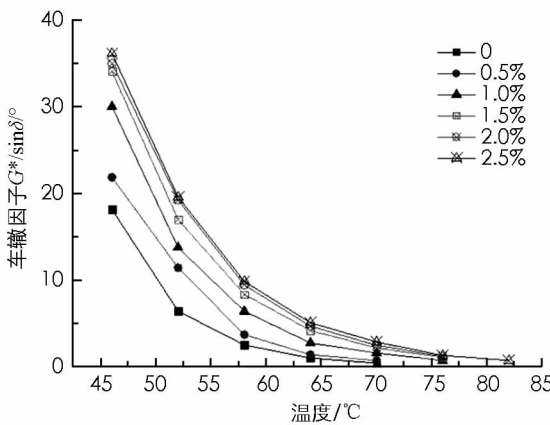


图 3 不同纤维掺量沥青胶浆的车辙因子-温度曲线

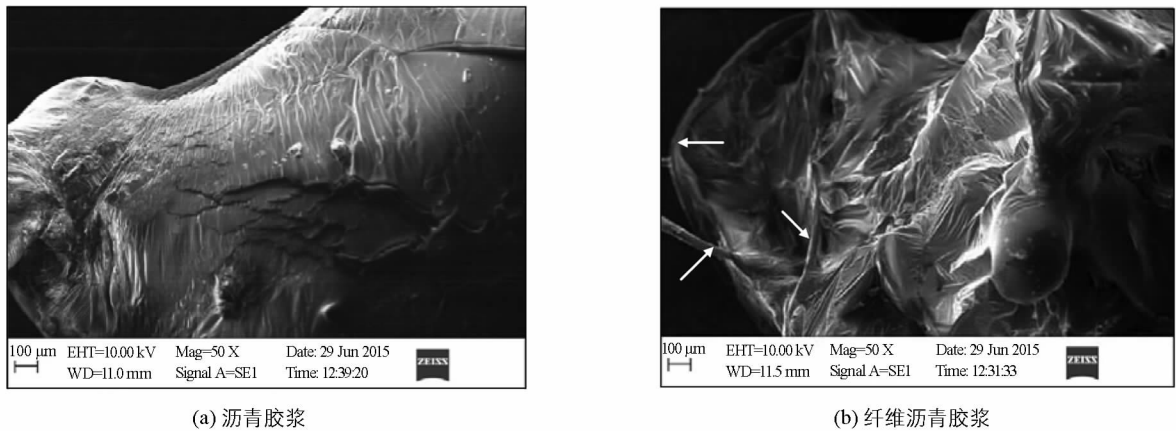


图 4 沥青胶浆断裂口处的微扫描电镜图

3 结 论

1) PP 纤维的加入可以降低沥青胶浆的锥入度、提高沥青胶浆的软化点,且随着纤维掺量的增加降幅和增幅均表现得更加明显.

2) 在沥青胶浆的高温性能方面, 随 PP 纤维含量增加, 复数剪切模量 G^* 和车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 均呈现出增大趋势, 纤维的加入对沥青胶浆高温稳定性起到明显的改善作用.

3) PP 纤维能够在沥青中形成致密的网状结构, 有利于应力分散, 避免应力集中, 同时增加了基体弹性, 提高整体强度, 起到了改善稳定性的作用.

参考文献:

[1] 吴萌萌, 李睿, 张玉贞, 等. 纤维沥青胶浆高低温性能研究 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(1): 169—175.

[2] KATHARI P M. Rheological Properties of Polypropylene Reinforced Asphalt Binder [J]. Transportation Infrastructure Geotechnology, 2016, 3(3/4): 109—126.

[3] SUN Chang-jun, TANG Ning, PAN Pan, et al. Rheological Properties of Conductive Asphalt Binders Containing Graphite and Carbon Fiber Before and After Ageing [J]. Journal of Wuhan University of Technology-Mater(Sci. Ed), 2013, 28(3): 557—559.

[4] 覃潇, 申爱琴, 郭寅川. 玄武岩纤维沥青胶浆性能试验研究 [J]. 建筑材料学报, 2016, 19(4): 659—664.

[5] 王琨, 郝培文. 用于应力吸收层的胶粉沥青改性机理及性能研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(9): 157—162.

[6] TAPIN S, ÇEVIK A, UŞA I. Accumulated Strain Prediction of Polypropylene Modified Marshall Specimens in Repeated Creep Test Using Artificial Neural Networks [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(8): 11186—11197.

[7] HABIB N Z, KAMARUDDIN I, NAPIAH M, et al. Rheological Properties of Polyethylene and Polypropylene Modified Bitumen [J]. World Academy of Science Engineering & Technology, 2011(72): 293.

[8] 国家质量监督局检验检疫总局. GB/T 4507 沥青软化点测定法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

[9] 国家质量监督局检验检疫总局. GB/T 4509 沥青针入度测定法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

[10] 国家质量监督局检验检疫总局. GB/T 4508 沥青延度测定法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

Experimental Research on Rheological Properties of Polypropylene Asphalt Binder

FENG Shuang-xue¹, LI Hua-chao²

1. Yunnan Construction Engineering General Contracting Company, Kunming 650200, China;
2. Broadvision Engineering Consultants, Kunming 650011, China

Abstract: Polypropylene fibers (PP fibers) were added to asphalt binders in this work, with concentrations varying from 0 to 2.5% in increments of 0.5% by weight of asphalt. The penetration, softening point, and dynamic shear rheometer (DSR) tests were conducted to study the rheological properties. The results indicate that with the increase in the dosage of PP fibers, the penetration values were decreased while the softening points increased. The PP fiber can reduce thermal sensitivity and increased resistance to permanent deformation at high temperatures. Although the microstructure analysis of fibers dispersion in asphalt, it can be seen that the bridge effect of PP fibers can disperse stress and improve the stability of asphalt binder.

Key words: asphalt; polypropylene fiber; rheological properties; dynamic shear modulus