

高模高强 PAN 纤维沥青混合料路用性能研究^{*}高云龙^{1,2}, 李明¹, 赵普^{1,2}

(1.深圳海川新材料科技股份有限公司, 广东 深圳 518040; 2.深圳市海川实业股份有限公司, 广东 深圳 518040)

摘要: 对比分析 2 种不同长度高模高强 PAN 纤维在沥青混合料中的分散情况, 分别评价未加纤维、添加高模高强 PAN 纤维沥青混合料的高温稳定性、水稳定性、抗疲劳性能和低温抗裂性能。结果表明, 长 6 mm 的高模高强 PAN 纤维在混合料中分散更均匀; 添加高模高强 PAN 纤维可明显提高沥青混合料的路用性能, 其中高温稳定性提升 36% 以上, 水稳定性提升 10% 左右, 抗疲劳性能提升 34.7%, 低温抗裂性能提升 10% 左右。

关键词: 公路; 高模高强 PAN 纤维; 沥青混合料; 路用性能

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)04-0044-03

纤维作为一种高强、耐久、质轻的增强材料, 在道路工程中得到广泛应用。由于纤维在沥青混合料中能起到搭接和拉筋作用, 在沥青混合料中掺入纤维可有效提高其抗裂性能与高温稳定性, 并改善其力学性能, 延缓路面病害的发生。纤维在沥青混合料中分布越均匀, 作用效果越显著。但如果纤维拌合不均匀, 分散不好, 会在沥青混合料内部结团成束, 不但不能改善沥青混合料的路用性能, 反而会降低其强度。高模高强 PAN 纤维是一种有机合成纤维, 具有强度高、吸附性强、化学稳定性好等特点, 可增强路面韧性, 减少车辙、低温开裂等病害的发生。为促进高模高强 PAN 纤维在道路工程中的推广应用, 该文研究高模高强 PAN 纤维在沥青混合料中的分散情况, 分析其对沥青混合料高温稳定性、水稳定性、抗疲劳性能和低温抗裂性能的影响。

1 原材料

高模高强 PAN 纤维的性能指标见表 1。使用重交 70# 石油沥青, 加纤维沥青与未加纤维沥青的性能指标见表 2。集料选用石灰岩, 其各项性能指标均满足规范要求。

表 1 高模高强 PAN 纤维的技术指标

性能参数	技术要求
长度/mm	6~12
直径/ μm	15~25
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1.18 ± 0.05
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	≥ 220
断裂强度/MPa	≥ 800
断裂伸长率/%	≥ 8
吸油率/%	≥ 500
含水率/%	≤ 1

表 2 加纤维与未加纤维沥青的技术指标

沥青类型	纤维掺量/%	针入度(25 $^{\circ}\text{C}$)/(0.01 mm)	软化点/ $^{\circ}\text{C}$	延度(25 $^{\circ}\text{C}$)/cm	黏度(114 $^{\circ}\text{C}$)/s
AH-70 沥青	—	60.0	47.2	150.0	—
AH-70 沥青+PAN 纤维	0.30	36.2	56.2	6.4	126

2 高模高强 PAN 纤维在沥青混合料中的分散试验研究

选用 AC-13 与 SMA-13 级配, AC-13 的材料比例为 10~15 mm 粗集料: 5~10 mm 粗集料: 3~6 mm 粗集料: 0~3 mm 细集料: 矿粉=

24: 25: 15: 32: 4, SMA-13 的材料比例为 10~15 mm 粗集料: 5~10 mm 粗集料: 3~6 mm 粗集料: 0~3 mm 细集料: 矿粉=60: 11: 2: 11: 10。选取长度为 6 mm 和 12 mm 的高模高强 PAN 纤维, 纤维掺量为混合料质量的 0.2%。将集料加热并在搅拌机中初步混合后, 添加 PAN 纤维搅拌 180 s; 再加

^{*} 基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFB0303200)

入热沥青搅拌 90 s,最后添加矿粉搅拌 90 s,拌合后成型马歇尔试件。

观察集料加高模高强 PAN 纤维干拌 180 s 后

的分散照片(见图 1、图 2),比对分析纤维在沥青混合料中的分散情况,进而判断不同长度纤维的分散效果。



图 1 AC-13 沥青混合料中高模高强 PAN 纤维的分散情况



图 2 SMA-13 沥青混合料中高模高强 PAN 纤维的分散情况

由图 1、图 2 可知:无论是在 AC-13 中,还是在 SMA-13 中,长 6 mm 的高模高强 PAN 纤维在混合料中分散更均匀,表明高模高强 PAN 纤维的长度影响其在混合料中的分散,为保证拌合均匀性,高模高强 PAN 纤维的长度不宜过大;12 mm 长高模高强 PAN 纤维粘连在搅拌叶上的质量明显高于 6 mm 长高模高强 PAN 纤维,进一步说明高模高强 PAN 纤维长度过大不利于其在沥青混合料中分散均匀。

3 高模高强 PAN 纤维对沥青混合料路用性能的影响

3.1 高温稳定性

通过车辙试验、多轮车辙试验、三轴剪切试验研究高模高强 PAN 纤维对沥青混合料高温稳定性的影响。车辙仪轮胎接触压力为 0.7 MPa,以试验车辙深度达到 6.4 mm 时轮载作用次数为评价指标。三轴剪切试验通过测试混合料的抗剪强度来表征其抗变形能力,试验模型见图 3。抗剪强度 τ 计算公式如下:

$$\tau=c+\sigma\tan\varphi$$
 (1)

式中: c 为黏聚力; σ 为正应力; φ 为内摩擦角。

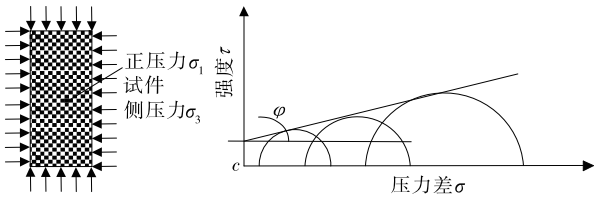


图 3 三轴试验模型

以 AC-13 为研究对象,沥青采用 AH-70,集料选用表面光滑的砾石,添加 0.2% 混合料质量的高模高强 PAN 纤维,PAN 纤维沥青混合料与无纤维沥青混合料的最佳沥青用量分别为 4.7%、4.2%。试验结果见表 3~5。

由表 3~5 可知:1) 加高模高强 PAN 纤维沥青混合料与未加纤维沥青混合料的体积参数基本相同。2) 与未加纤维沥青混合料相比,加高模高强 PAN 纤维沥青混合料的动稳定度提高约 49%;抵

表 3 不同沥青混合料车辙试验结果

混合料类型	空隙率/%	矿料间隙率/%	有效沥青饱和度/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
未加纤维	3.696	13.71	73.04	720
加 PAN 纤维	3.904	14.30	72.48	1 070

表 4 不同沥青混合料多轮车辙试验结果

混合料类型	空隙率/%	矿料间隙率/%	有效沥青饱和度/%	变形次数/次					
				1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6.4 mm
未加纤维	4.328	14.28	69.70	1 285	3 878	5 485	6 638	7 413	11 625
加 PAN 纤维	4.215	14.59	71.12	2 856	14 347	17 580	21 152	23 340	25 848

表 5 不同沥青混合料三轴剪切试验结果

混合料类型	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
未加纤维	319	34.04
加 PAN 纤维	434	34.96

抗车辙能力也明显提高,车辙深度累积至 6.4 mm 时的轮载作用次数约为未加纤维混合料的 2.22 倍;黏聚力提高 36%,内摩擦角也略有增加,其在高温下的力学性能明显好于未加纤维混合料,高温条件下加高模高强 PAN 纤维沥青混合料不易产生由抗剪强度不足或塑性变形过剩造成的推移现象。

3.2 水稳定性

以 SMA-13 为研究对象,纤维添加量为混合料质量的 0.2%,加纤维与未加纤维混合料的最佳沥青用量分别为 5.7%、5.1%。以马歇尔浸水残留稳定性和冻融劈裂抗拉强度比评价沥青混合料的水稳定性,试验结果见表 6。

表 6 不同沥青混合料水稳定性试验结果

混合料类型	浸水残留 稳定度/%	冻融劈裂抗拉 强度比/%
未加纤维	85.6	84.7
加 PAN 纤维	92.5	94.1

由表 6 可知:添加高模高强 PAN 纤维可提高沥青混合料的水稳定性,与未加纤维沥青混合料相比,PAN 纤维沥青混合料的浸水残留稳定度与冻融劈裂抗拉强度比分别提高 8%、11%。

3.3 抗疲劳性能

以 SMA-13 为研究对象,利用自动沥青路面分析仪(AAPA)进行试验,通过 AAPA 模拟车轮往返运动,以试件底面出现疲劳裂缝视为试件破坏,此时对应的作用次数越多抗疲劳性能越好,反之越差。将成型的车辙板切割成尺寸为 30 cm×12.5 cm×7.5 cm 的试件进行试验,试验结果见表 7。

表 7 不同沥青混合料疲劳试验结果

混合料类型	作用次数/次
未加纤维	25 007
加 PAN 纤维	33 675

由表 7 可知:沥青混合料疲劳破坏时,加高模高强 PAN 纤维沥青混合料的作用次数比未加纤维沥青混合料增加 34.7%,添加高模高强 PAN 纤维可明显提高沥青混合料的抗疲劳性能。

3.4 低温抗裂性能

采用小梁弯曲试验评价沥青混合料的低温抗裂性能,以抗弯拉强度、最大弯拉应变与弯曲劲度模量作为衡量指标。试验温度为-10℃,以 AC-13 为试验对象,试验结果见表 8。

表 8 不同沥青混合料低温抗裂性能试验结果

混合料 类型	抗弯拉强 度/MPa	最大弯拉 应变/ $\mu\epsilon$	弯曲劲度 模量/MPa
未加纤维	7.85	2 634	2 753
加 PAN 纤维	8.53	2 961	3 025

由表 8 可知:添加高模高强 PAN 纤维后,沥青混合料的抗弯拉强度、最大弯拉应变和弯曲劲度模量分别提高约 9%、12%、10%,表明添加高模高强 PAN 纤维可提高沥青混合料的低温抗裂性能。

4 结论

(1) 长度 6 mm 的高模高强 PAN 纤维在沥青混合料中分散更均匀。

(2) 添加高模高强 PAN 纤维后,沥青混合料的抗车辙能力明显提高,动稳定度比未加纤维时提高约 49%,试件破坏时的轮载作用次数约为未加纤维时的 2.22 倍,黏聚力比未加纤维时提高 36%,内摩擦角略有增加。

(3) 与未加纤维沥青混合料相比,PAN 纤维沥青混合料的浸水残留稳定度与冻融劈裂抗拉强度比分别提高 8%、11%,疲劳破坏时的作用次数增加 34.7%,抗裂性能总体提高约 10%,添加高模高强 PAN 纤维可提高沥青混合料的水稳定性、抗疲劳性能和低温抗裂性能。

参考文献:

[1] 刘金凤.不同纤维沥青混合料的性能研究与微观结构

(下转第 50 页)