

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2021.01.010

# 不同掺加剂大粒径沥青碎石黏弹性研究

王展亮<sup>1,2</sup>, 李惠霞<sup>1</sup>, 廖仁生<sup>3</sup>

(1.福建工程学院 土木工程学院,福建 福州 350118;

2.福建工程学院 土木工程国家级虚拟仿真实验教学中心,福建 福州 350118;

3.福建江夏学院 工程学院,福建 福州 350108)

**摘要:** 为了研究掺加橡胶粉或玻璃纤维对大粒径沥青碎石黏弹性能的影响,通过单轴静载蠕变试验,得到不同荷载和不同沥青用量下的大粒径沥青碎石应变-时间曲线,并采用 Burger 模型对其蠕变柔量进行表述,得出以下结论:当  $w$  (沥青)=3.3%时,掺有橡胶粉或玻璃纤维的大粒径沥青碎石性能最佳,相较于掺加玻璃纤维的大粒径沥青碎石,掺加橡胶粉的大粒径沥青碎石抵抗瞬时抗变形能力较弱,抵抗永久变形能力较强。随着荷载的增加,掺加玻璃纤维或橡胶粉的大粒径沥青碎石抵抗瞬时变形能力和永久变形能力也逐渐增强。

**关键词:** 大粒径沥青碎石;橡胶粉;玻璃纤维;永久变形;黏弹性

**中图分类号:** U416.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4348(2021)01-0056-05

## Study on the viscoelasticity of large-size asphalt macadam with different additives

WANG Zhanliang<sup>1,2</sup>, LI Huixia<sup>1</sup>, LIAO Rensheng<sup>3</sup>

(1.School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2.National Experiment Teaching Center of Virtual Simulation in Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;3.College of Engineering, Fujian Jiangxia University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** In order to study the effects of adding rubber powder or glass fiber on the viscoelastic properties of large-size asphalt macadam, uniaxial static load creep tests were conducted, the strain-time of large-size asphalt macadam under different loads and different asphalt content was obtained. The Burger model was used to express its creep compliance, and the following conclusions were drawn: when the amount of asphalt is 3.3%, the performance of large-size asphalt macadam mixed with rubber powder or glass fiber is the best. The large-diameter asphalt macadam with glass fiber and the large-diameter asphalt macadam with rubber powder have weak resistance to instantaneous deformation and strong resistance to permanent deformation. With the increase of load, the resistance to instantaneous deformation and permanent deformation of the large-size asphalt macadam has gradually improved.

**Keywords:** large-size asphalt macadam; rubber powder; glass fiber; permanent deformation; viscoelasticity

大粒径沥青碎石具有较好的高温稳定性、变形性及抗车辙和抵抗反射裂缝能力,在交通量逐渐增大和超载问题日益严重的交通背景下,有着广阔的应用前景<sup>[1-4]</sup>。大粒径沥青碎石成本高、刚度低,限制了其在路面结构中的大量使用<sup>[5-6]</sup>。废旧的

轮胎加工可制成橡胶粉,作为复合材料应用于大粒径沥青碎石,能有效降低其成本<sup>[7-10]</sup>。玻璃纤维资源丰富,是常用的掺和剂,在减少材料收缩的同时,还能提高材料的刚度和抗拉强度<sup>[11]</sup>。

收稿日期: 2021-02-10

基金项目: 福建省教育厅项目(JT180349);福建工程学院科研发展基金(GY-Z18185)

第一作者简介: 王展亮(1986—),男,福建龙岩人,讲师,硕士,研究方向:道路工程。

大粒径沥青碎石的黏弹性直接影响材料的路面使用性能,尤其是抗车辙能力和抗永久变形能力<sup>[12]</sup>,在不同荷载作用下,掺加橡胶粉或玻璃纤维对大粒径沥青碎石黏弹性的影响少有学者进行报道。为了研究在不同荷载作用下,分别掺加橡胶粉和玻璃纤维对大粒径沥青碎石黏弹性性能的影响,针对不同沥青用量进行蠕变试验,依据试验结果,选出最优沥青用量,并对不同荷载情况下,采用最优沥青用量的掺加有橡胶粉或玻璃纤维的大粒径沥青碎石进行黏弹性性能分析,得出不同荷载下,橡胶粉、玻璃纤维两种掺和剂对大粒径沥青碎石抗变形能力、抗疲劳能力等方面影响,以期为工程实际提供参考。

表 1 粗集料性能参数

Tab.1 Coarse aggregate performance parameters

粒径/ mm	压碎值/ %	洛杉矶磨耗 损失/%	表观相对 密度	毛体积 相对密度	吸水率/ %	坚固性/ %	<0.075mm 颗粒含量 (水洗法)/%
4.75~9.5	12.3	2.748	2.749	0.96	—	0.4	2.748
9.5~19	12.3	2.73	2.744	1.03	—	0.6	2.73
19~31.5	12.3	2.778	2.736	1.21	—	0.5	2.778
指标要求	≤28	≤30	≤2.5	实测值	≤3.0	≤12	≤1

### 1.1.3 掺和剂

采用橡胶粉和玻璃纤维两种掺和剂。

橡胶粉原材料为废旧轮胎,在对橡胶粉物理指标测试中,得到橡胶粉  $w(\text{橡胶}) = 51\%$ 、 $w(\text{灰分}) = 4.5\%$ 、 $w(\text{水}) = 0.62\%$ 、 $w(\text{金属}) = 0.008\%$ 、 $w(\text{纤维}) = 0.07\%$ ,各项指标均满足沥青橡胶粘结

## 1 大粒径沥青碎石材料组成

### 1.1 材料基本性能

#### 1.1.1 沥青

采用 70#A 道路石油沥青,按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)<sup>[13]</sup>测得针入度 6.7 mm (25℃)、延度 35cm (10℃)、软化点 67.25℃。

#### 1.1.2 集料

采用的粗细集料岩性一致,均为石灰岩,依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)<sup>[13]</sup>指标要求对粗细集料进行测试,粗集料测试结果见表 1;细集料(粒径 2.35~4.76 mm)表观密度为 2.9,  $w(\text{泥}) = 1.9\%$ ,均满足性能指标要求。

剂的标准规范要求。

玻璃纤维抗拉强度为 346 MPa,断裂伸长率为 36.4%,弹性模量为 4 286 MPa。

### 1.2 材料配合比

研究对象为大粒径沥青碎石 ATB-30,其级配设计如表 2 所示。

表 2 ATB-30 级配

Tab.2 ATB-30 gradation

粒径/mm	31.500	2.360	26.500	1.180	19.000	0.600	16.000	0.300	13.200	0.150	9.500	0.075	4.750
质量分数/%	2	7	10	8	18	5	6	5	9	5	10	5	10

## 2 大粒径沥青碎石单轴静载蠕变试验

在相同级配、不同沥青用量下进行蠕变试验研究,大粒径沥青碎石 ATB-30 集料公称直径大于 26.5 mm,击实采用大马歇尔试件。单轴静载

蠕变试验试件采用大马歇尔试件,试件直径 150 mm,高度 95.3 mm<sup>[14]</sup>,在 SANS 万能压力机上完成试验。

### 2.1 橡胶粉对大粒径沥青碎石高温流变性能影响

橡胶粉占混合料质量分数的 0.85%,  $w(\text{沥青})$  分别为 3.0%、3.3%。恒载分别为 0.1、0.2、0.3 MPa,持

续 1 800 s。试验所得应变-时间曲线如图 1 所示。

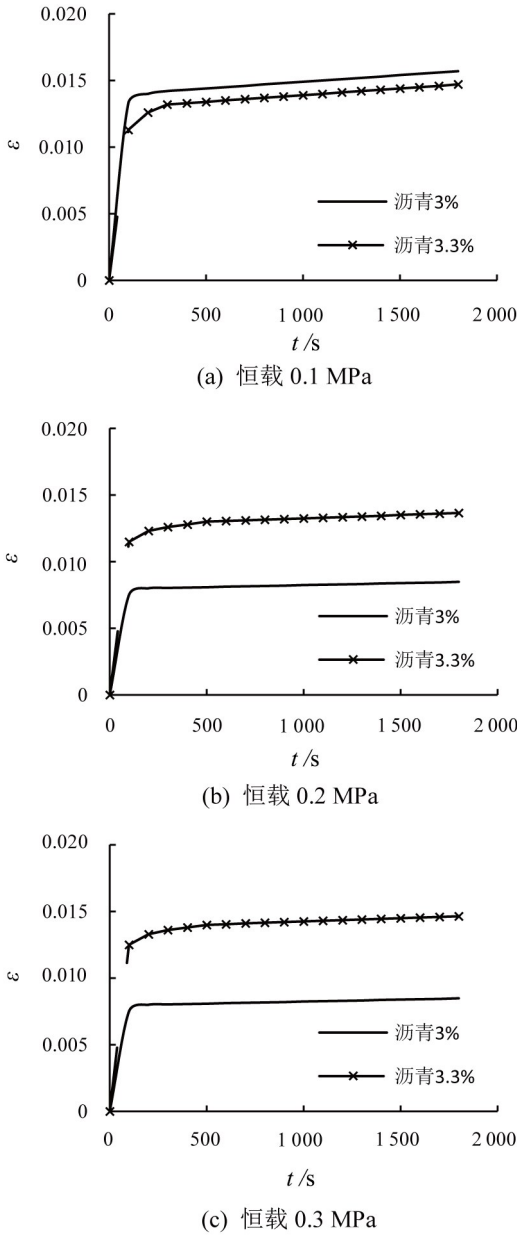


图 1 掺橡胶粉大粒径沥青碎石应变-时间曲线

Fig.1 Strain-time curve of large-size asphalt macadam mixed with rubber powder

从图 1 分析可得,掺橡胶粉的大马歇尔试件在恒载为 0.1 MPa 的情况下,  $w$  (沥青) = 3.3% 的试件产生的应变较小,具有较好的抵抗变形能力;在恒载为 0.2、0.3 MPa 的情况下,  $w$  (沥青) = 3.0% 的试件抵抗变形能力要优于  $w$  (沥青) = 3.3% 的试件。 $w$  (沥青) = 3.3% 的大马歇尔试件在不同恒载作用下所产生的应变变化不明显,有较好的稳定性。

### 2.2 玻璃纤维对大粒径沥青碎石高温流变性能影响

依据文献[15]研究结果,掺入玻璃纤维占混合料质量分数的 0.21%,  $w$  (沥青) 分别为 3.0%、3.3%和 3.6%。恒载分别为 0.1、0.2、0.3 MPa,持续 1 800 s。试验所得应变-时间曲线如图 2 所示。

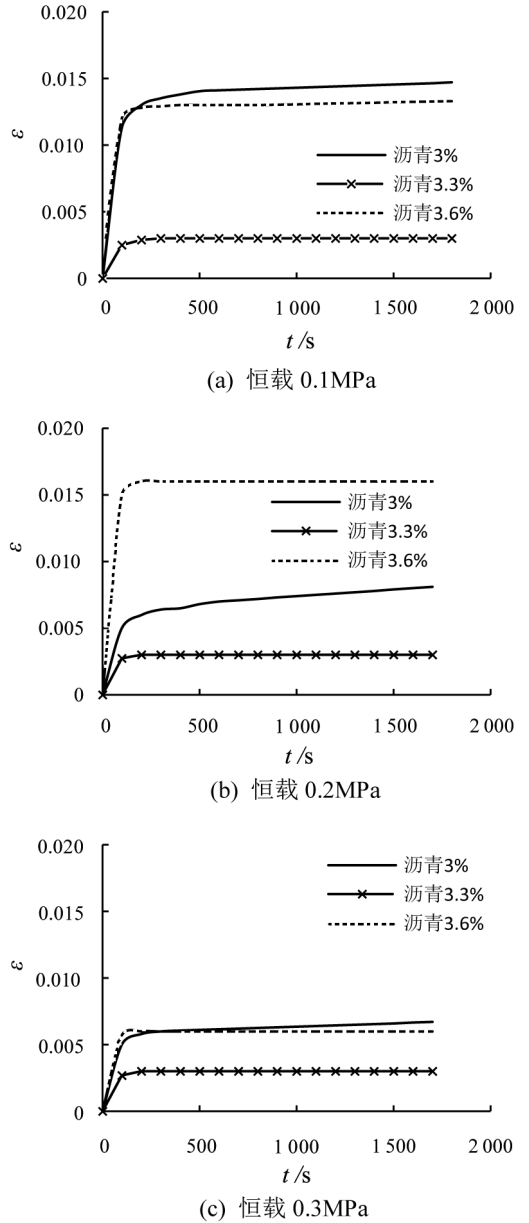


图 2 掺玻璃纤维大粒径沥青碎石应变-时间曲线

Fig.2 Strain-time curve of large-size asphalt macadam with glass fiber

从图 2 分析可知,掺玻璃纤维的大马歇尔试件在恒载为 0.1、0.2 和 0.3 MPa 的情况下,  $w$  (沥青) = 3.3% 的试件抵抗变形能力优于  $w$  (沥青) 为

3.0% 和 3.6% 的试件,且其应变在不同的恒载作用下极为稳定。

### 2.3 橡胶粉和玻璃纤维对大粒径沥青碎石高温流变性能影响比较

从 2.1 和 2.2 小节的试验数据可得,掺加橡胶粉大粒径沥青碎石和掺加玻璃纤维大粒径沥青碎石在  $w(\text{沥青}) = 3.3\%$  时,表现出来的性能最优,因此,选取  $w(\text{沥青}) = 3.3\%$  情况下分别掺加橡胶粉、玻璃纤维的大粒径沥青碎石试验数据进行比较,对比结果见图 3。

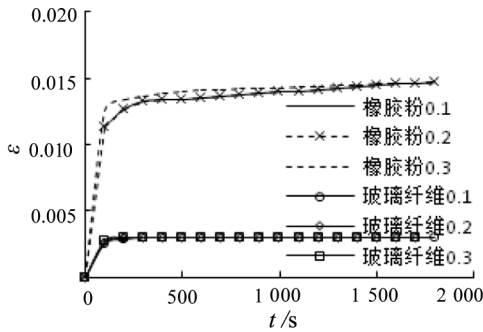


图 3 不同掺和剂大粒径沥青碎石应变-时间对比曲线

Fig.3 Comparison curves of the strain-time of large-size asphalt macadam with different admixtures

从图 3 可知,大粒径沥青碎石掺加玻璃纤维的抗变形能力是掺加橡胶粉的 3 倍,且掺加玻璃纤维的大粒径沥青碎石更为稳定,在不同恒载作用下,应变发展一致。

## 3 大粒径沥青碎石黏弹性性能分析

大粒径沥青碎石黏弹性性能一般可用伯格模型进行描述,伯格模型的 4 个参数  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $\eta_1$  和  $\eta_2$  分别代表瞬时弹性模量、阻滞弹性模量、纯黏性系数和 Voigt 黏性系数,由单轴静载蠕变试验得到分别掺有橡胶粉、玻璃纤维的大粒径沥青碎石时间-应变曲线,通过 Jupyter Notebook 软件拟合,得到 4 个参数值如表 3 所示。试件的瞬时弹性变形、延迟弹性变形和黏性流动变形,可用伯格模型的蠕变柔量值进行表示,公式如下:

$$J_{(t)} = J_E + J_V + J_C \quad (1)$$

式中:  $J_E = 1/E_1$  为瞬时弹性柔量,表示大粒径沥青碎石的瞬时弹性;  $J_V = t/\eta_1$  为黏性流动柔量,表示大粒径沥青碎石的黏性流动;  $J_C = 1/(E_2(1 - \exp(-t E_2/\eta_2)))$  为延迟弹性柔量,表示大粒径

沥青碎石的延迟弹性。

由本文第 2 节试验可知,  $w(\text{沥青}) = 3.3\%$  时,大粒径沥青碎石混合料的性能最为优良。因此,选用  $w(\text{沥青}) = 3.3\%$  时在不同掺加剂下,大粒径沥青碎石混合料在 0.1、0.2、0.3 MPa 下的蠕变柔量作为比较和研究对象。

根据试验结果,拟合求得伯格模型的 4 个参数,通过公式 1,求得掺加橡胶粉或玻璃纤维的大粒径沥青碎石柔量值,分别见表 3 和表 4。

表 3 不同荷载下的伯格参数

Tab.3 Burgers parameters under different loads

掺加剂	$P / \text{MPa}$	$E_1 / \text{MPa}$	$E_2 / \text{MPa}$	$\eta_1 / (\text{MPa} \cdot \text{s})$	$\eta_2 / (\text{MPa} \cdot \text{s})$
橡胶粉	0.1	35.06	9.499	44 500	174 700
	0.2	101.8	51.07	258 400	601 200
	0.3	122.3	53.32	320 100	629 400
玻璃纤维	0.1	61.5	10.07	76 140	382 800
	0.2	100.2	26.39	451 200	855 500
	0.3	110.1	32.62	504 100	877 000

表 4 不同荷载下的柔量值

Tab.4 Compliance value under different loads

掺加剂	$P / \text{MPa}$	$J_E / \text{MPa}^{-1}$	$J_V / \text{MPa}^{-1}$	$J_C / \text{MPa}^{-1}$
橡胶粉	0.1	0.029	0.040	0.010
	0.2	0.010	0.007	0.003
	0.3	0.008	0.006	0.003
玻璃纤维	0.1	0.016	0.024	0.005
	0.2	0.010	0.004	0.002
	0.3	0.009	0.004	0.002

从表 3、表 4 中分析可得,随着荷载的提高,掺加橡胶粉和玻璃纤维的大粒径沥青碎石的瞬时弹性柔量、黏性流动柔量和延迟弹性柔量均发生了下降,说明随着荷载的提升,大粒径沥青碎石的抵抗瞬时变形能力和抵抗永久变形能力都得到了提高。在同荷载的情况下,大粒径沥青碎石掺加橡胶粉的瞬时弹性柔量会高于掺加玻璃纤维,而黏性流动柔量和延迟弹性柔量会低于掺加玻璃纤维的大粒径沥青碎石,说明掺加橡胶粉的大粒径

沥青碎石抵抗瞬时变形能力弱于掺加玻璃纤维的大粒径沥青碎石,大粒径沥青碎石掺加橡胶粉的抵抗永久变形能力强于掺加玻璃纤维。

## 4 结论

1) 当  $w$ (沥青) = 3.3% 时,掺加橡胶粉或玻璃纤维的大粒径沥青碎石的抗变形能力和稳定性最优;

2) 在  $w$ (沥青) = 3.3% 的情况下,掺加玻璃纤

维的大粒径沥青碎石的抵抗变形能力是掺加橡胶粉的大粒径沥青碎石的 3 倍;

3) 随着荷载的增加,掺加橡胶粉或玻璃纤维的大粒径沥青碎石的抵抗瞬时变形能力和抵抗永久变形能力也不断提高。

4) 在相同荷载的情况下,对比掺加玻璃纤维和掺加橡胶粉的大粒径沥青碎石,掺加玻璃纤维的大粒径沥青碎石抵抗瞬时变形能力较强,抵抗永久变形能力较弱。

## 参考文献:

- [1] 贾文斌. 基于离散元法的 ATB-30 沥青碎石混合料级配设计[J]. 山西交通科技, 2020(3):47-50.
- [2] 陆长兵. 大粒径沥青稳定碎石基层性能研究[D]. 南京:东南大学, 2004.
- [3] 鲁圣弟, 周辉. 大粒径沥青碎石在高速公路大修工程中的长期应用效果分析[J]. 工程与建设, 2018, 32(5):784-787.
- [4] 李惠霞. 大粒径沥青混合料设计方法研究[D]. 西安:长安大学, 2011.
- [5] 雷琳. 大粒径沥青碎石下面层沥青路面路用性能和力学性能研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2011.
- [6] LI H, TONG S. The mechanical characteristics of the under layer of pavement of large-stone asphalt mixes[J]. Advanced Materials Research, 2012, 598:631-634.
- [7] 王青. 橡胶沥青在城市道路水泥路面改造施工中的应用研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2020, 34(4):112-117.
- [8] 闫翔鹏. 橡胶大粒径沥青混合料性能评价及裂缝扩展研究[D]. 济南:山东建筑大学, 2015.
- [9] 余琦, 赵丁鑫, 李佳佳, 等. 橡胶改性沥青混合料生产配合比调试优化及工程应用[J]. 广东公路交通, 2020, 46(6):1-6.
- [10] 杨西铭. 老化橡胶粉及其改性沥青的路用性能研究[J]. 内蒙古公路与运输, 2021(1):12-14.
- [11] 许淳. 玻璃纤维-硅藻土复合改性沥青混凝土性能研究[D]. 长春:吉林大学, 2010.
- [12] YAN T, HUANG X, ZHANG Z, et al. Modification of the linear viscoelastic deformation prediction model of asphalt mixture[J]. Journal of Southeast University(English Edition). 2017, 33(01):86-90.
- [13] 中华人民共和国行业标准. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20-2011[S]. 北京:人民交通出版社, 2011.
- [14] 吕慧杰, 刘涵奇, 罗蓉. 基于单轴压缩蠕变试验求解沥青混合料松弛模量[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2016, 40(6):1067-1072.
- [15] 沈楸, 焦虎, 敖顺通, 等. 玻璃纤维沥青混合料路用性能研究[J]. 价值工程, 2019, 38(6):96-98.

(责任编辑:陈雯)