

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2020.01.002

掺加剂对大粒径沥青碎石性能的影响

李惠霞¹, 谢祥兵², 林上顺¹

(1. 福建工程学院 土木工程学院, 福建 福州 350118;
2. 郑州航空工业管理学院 土木工程学院, 河南 郑州 410046)

摘要: 为了推动大粒径沥青碎石柔性基层在路面结构中的应用,通过室内试验的方法,对掺入橡胶粉和玻璃纤维的大粒径沥青碎石进行了抗压强度、抗拉强度、抗弯拉强度和回弹模量试验及高温稳定性、低温性能和水稳定性实验,探讨了外掺剂种类和含量对大粒径沥青碎石力学性能和路用性能的影响。结果表明:加入外掺剂后大粒径沥青碎石 ATB-30 的力学性能和路用性能能完全满足规范要求,尤其是玻璃纤维对大粒径沥青碎石性能的改良效果会更加明显,在外掺剂橡胶粉和玻璃纤维的作用下,适当减少沥青用量,既能保持 ATB-30 力学特征和路用性能不会减弱,又降低了大粒径沥青碎石工程造价。

关键词: 大粒径沥青碎石; 柔性基层; 力学性能; 路用性能; 沥青用量

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2020)01-0006-06

Effects of admixtures on properties of large-size asphalt macadam

LI Huixia¹, XIE Xiangbing², LIN Shangshun¹

(1. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. School of Civil Engineering, Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 410046, China)

Abstract: In order to promote the application of flexible base of large-size asphalt macadam in pavement structures, laboratory tests were conducted to test the large-size asphalt macadam mixed with rubber powder and glass fiber for its compressive strength, tensile strength, flexural tensile strength, and resilience modulus, as well as its high-temperature stability, low-temperature performance, and water stability. The types and contents of admixtures were discussed for their effects on the mechanical properties and road performance of large-size asphalt macadam. Results show that the mechanical properties and road performance of the large-size asphalt macadam ATB-30 can fully meet the requirements of the specifications after the admixture is added; what is especially obvious is the improvement effect of glass fiber on the performance of large-size asphalt macadam. Under the action of admixed rubber powder and glass fiber, a proper reduction of the amount of asphalt can not only maintain the mechanical characteristics and road performance of ATB-30, but also reduce the engineering cost of large-size asphalt macadam.

Keywords: large-size asphalt macadam; flexible base; mechanical properties; road performance; asphalt content

大粒径沥青碎石指公称粒径处于 25~63 mm 的连续密级配热拌沥青混合料,采用大粒径沥青碎石作为上基层,取代传统的无机结合料基层,这

种路面结构具有较高强度、刚度和优良的抗疲劳特性,并能有效抑制和减少沥青路面反射裂缝的产生。但中国有 90% 以上高速公路采用的依然

收稿日期: 2020-01-07

第一作者简介: 李惠霞(1979-),女,河南商丘人,副教授,博士,研究方向:道路结构与材料。

是无机结合料类路面结构,除了历史原因外^[1-4],大粒径沥青碎石成本较高及其柔性材料性能有待研究也是阻碍其作为路面结构使用的主要因素之一^[5-7]。随着经济和科技发展,大量废旧轮胎橡胶粉被应用到复合材料中,变废为宝^[8-11]。玻璃纤维的掺量居世界第 2,资源丰富,不仅能提高材料的抗拉强度和刚度,而且能减少收缩^[12-14]。

为了提出添加的外掺剂获得能减少沥青用量、具有良好抗裂性能和承载能力并且适应柔性基层路面结构的材料组成设计,本研究把橡胶粉和玻璃纤维作为外掺剂应用到大粒径沥青碎石中,结合力学性能试验和路用性能试验,研究外掺剂对大粒径沥青碎石沥青用量的影响,同时研究外掺剂对大粒径沥青碎石的力学特征和路用性能

的影响。

1 大粒径沥青碎石的材料组成设计

1.1 材料基本性能

1.1.1 沥青

研究采用 70# 基质沥青,沥青物理指标为针入度 67(0.1 mm, 25 ℃),延度 21.6 cm(10 ℃),软化点 47 ℃,粘度 208 Pa·s(60 ℃)。

1.1.2 集料

试验采用的粗细集料都是石灰岩,粗细集料的岩性一样。按照《公路工程集料试验规程》JTGE42-2005 对粗细集料进行了各项性能指标测试,测试的结果见表 1 和表 2 所示。

表 1 粗集料性能指标

Tab.1 Coarse aggregate's performance index

粗集料 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/ %	针片状颗 粒含量/%	<0.075mm 颗粒含 量(水洗法)/%
标准要求	≤28.0	≤30.0	≥2.500	实测值	≤3.00	≤12.0	15.0	≤1.0
20~40	15.6	—	2.614	2.538	1.13	6.9	8.0	0.2
10~20	—	10.5	2.632	2.523	1.65	—	9.2	0.3
5~10	—	—	2.639	2.531	1.61	—	9.1	0.4

表 2 细集料性能指标

Tab.2 Fine aggregate's performance index

性能指标	表观相对 密度	含泥量(<0.075mm 的 含量)/%
标准要求	≥2.5	≤3
3~5mm	2.91	1.19
石屑	2.55	2.25

1.1.3 掺加剂

1.1.3.1 橡胶粉

在对橡胶粉的物理指标测试中,各项指标所需满足的要求参照 ASTM D6114 Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder,各项技术要求如表 3。

表 3 橡胶粉技术要求

Tab.3 Technical requirements for rubber powder

试验指标	比重/ (cm)	含水率/ %	金属含量/ %	纤维含量/ %
规范要求	1.1-1.2	≤0.75	≤0.010	≤0.50
试验数据	1.11	≤0.62	≤0.008	≤0.07

1.1.3.2 玻璃纤维

用于实验研究的玻璃纤维参数如表 4。

表 4 玻璃纤维技术要求

Tab.4 Technical requirements for glass fiber

抗拉 强度/ MPa	断裂 伸长 率/%	弹性 模量/ MPa	熔点/ ℃	密度/ (g·cm ⁻³)	吸水 性
346.0	36.4	4 286.0	169	0.91	小

1.2 材料配合比设计

1.2.1 集料级配设计

研究对象为大粒径沥青碎石 ATB-30,其级配设计如表 5 所示。

1.2.2 沥青用量

通过马歇尔试验最终确定的 ATB-30 大粒径沥青碎石最佳沥青用量为 3.3%,为便于研究掺加剂对沥青用量的影响,采用沥青用量分别为 2.4%、2.7%、3.0%、3.3%和 3.6%。

表 5 ATB-30 的级配
Tab.5 Gradation of ATB-30

筛孔/mm	通过率/%	筛孔/mm	通过率/%
31.500	2	2.360	7
26.500	10	1.180	8
19.000	18	0.600	5
16.000	6	0.300	5
13.200	9	0.150	5
9.500	10	0.075	5
4.750	10	—	—

1.2.3 掺加剂用量

参考文献[15]研究结果选取掺入玻璃纤维为沥青混合料的 0.2%,依据参考文献[16]选取废旧橡胶粉掺量为沥青用量的 15.0%,根据 ATB-30 大粒径沥青碎石最佳沥青用量为 3.3%,本文选用掺入橡胶粉为沥青混合料的 0.5%。

2 掺加剂对大粒径沥青碎石力学性能影响的研究

从掺加剂对大粒径沥青碎石的抗拉强度、抗压强度、抗弯拉强度及回弹模量的影响研究掺加剂对其力学性能的影响。本试验均采用大马歇尔试件,试件高 95.3 mm,直径 150.0 mm。

2.1 掺加剂对大粒径沥青碎石抗拉强度影响

通过制作掺加剂为橡胶粉、玻璃纤维,沥青含量分别为 2.4%、2.7%、3.0%、3.3%和 3.6%的大粒径沥青碎石试件,在 SANS 万能试验仪上进行 15℃劈裂试验,试验结果如表 6。

由表 6 可见,现有规范对于粗粒式密级配沥青混凝土的劈裂强度为 0.6~1.0 MPa,有无外掺剂、五种沥青含量的 ATB-30 的劈裂强度都能满足规范要求。掺加剂增大了 ATB-30 抗拉强度,特别是添加玻璃纤维的大粒径沥青碎石的抗拉强度最大。掺加剂为橡胶粉时,ATB-30 的抗拉强度也有所增大,说明外掺剂能增大大粒径沥青碎石的抗拉强度。加入外掺剂后,沥青含量为 2.7%时的抗拉强度已经达到无外掺剂时沥青含量为 3.3%及 3.6%的强度,因此加入外掺剂减少沥青含量,大粒径沥青碎石的抗拉强度依然能达到要求。

表 6 不同掺加剂的 ATB-30 抗拉强度试验结果
Tab.6 Tensile strength test results of ATB-30 with different additives

沥青含量/ %	不同掺加剂的 ATB-30 抗拉强度/MPa		
	无添加	橡胶粉	玻璃纤维
2.4	0.610	0.654	0.650
2.7	0.621	0.664	0.668
3.0	0.647	0.674	0.678
3.3	0.662	0.724	0.923
3.6	0.660	0.676	0.685

2.2 掺加剂对大粒径沥青碎石抗压强度影响

试验采用沥青混合料单轴压缩试验来测定马歇尔试件的抗压强度,试验温度为 20℃,加载速率为 2 mm/min。主要试验仪器为 SANS 万能试验仪,试验结果如表 7 所示。

表 7 不同掺加剂的 ATB-30 的抗压强度
Tab.7 Compressive strength of ATB-30 with different additives

沥青含量/ %	不同掺加剂的 ATB-30 抗压强度/MPa		
	无添加	橡胶粉	玻璃纤维
2.4	3.2	3.4	3.4
2.7	3.5	3.6	3.5
3.0	3.6	3.8	3.8
3.3	4.3	4.5	4.6
3.6	4.5	4.5	4.6

由表 7 可知:外掺剂橡胶粉和玻璃纤维均使得 ATB-30 的抗压强度有所增加但增加量并不明显;有无外掺剂的 ATB-30 都有较大的抗压强度,满足规范要求。因为沥青混合料的抗压强度远大于荷载应力要求,因此路面结构设计并不把抗压强度作为设计指标,此处抗压强度不作为评价 ATB-30 的主要指标。

2.3 掺加剂对大粒径沥青碎石的弯拉强度影响

路面结构是由不同的材料分层组成的,每一个路面的结构层在行车荷载的作用下发生变形,每层的上部材料被挤压变形,下部材料则是被拉伸,因此上部受到水平方向的压应力,而每一层的下部受到水平方向的拉应力。因为路面结构材料的抗压强度大于抗拉强度,路面结构首先会产生

结构层底的开裂破坏。为了保证路面结构的使用性能和使用寿命,要求路面材料的抗弯拉强度应该满足要求。

沥青混合料的抗弯实验试件主要在车辙实验成型试件进行切割小梁,实验试件是在 300 mm×300 mm×50 mm 尺寸的车辙板基础上切割长为 (250±2) mm、宽为(30±2) mm、高为(35±2) mm 的棱柱小梁。制作的小梁试件 15℃时在 SANS 万能试验仪上进行弯曲小梁试验,如图 1 示,试验结果如表 8 所示。



图 1 小梁弯曲试验及其试件
Fig.1 Trabecular bending test and the test piece

表 8 不同掺加剂的 ATB-30 的弯曲试验结果
Tab.8 Results of flexural tensile test of ATB-30 with different additives

沥青含量/%	抗弯拉强度/MPa			弯曲劲度模量/MPa		
	无添加	橡胶粉	玻璃纤维	无添加	橡胶粉	玻璃纤维
2.4	0.39	0.75	0.75	24.66	25.21	28.91
2.7	0.41	0.81	0.81	25.11	26.11	30.11
3.0	0.55	0.91	0.91	26.68	26.68	32.93
3.3	0.68	1.01	1.01	27.14	30.14	41.06
3.6	0.90	0.96	0.96	29.81	29.81	38.91

由表 8 可知,外掺剂橡胶和玻璃纤维都增加了 ATB-30 的抗弯拉强度;沥青中添加玻璃纤维比橡胶沥青生成的 ATB-30 的抗弯拉强度更大,因为在沥青混合料中橡胶和玻璃纤维增加了沥青结合料和集料的黏附性能,增加了抗弯拉强度。添加橡胶和玻璃纤维外掺剂之后,沥青含量减少抗弯拉强度和抗弯拉模量依然比没有外掺剂时的 ATB-30 的抗弯拉强度大,因此外掺剂可以减少沥青含量,降低工程造价。

2.4 掺加剂对大粒径沥青碎石回弹模量影响

沥青混合料的回弹模量的测定方法采用大型单轴压缩沥青混合料马歇尔试件在 SANS 万能试验仪上测定,将压力值均等分成 10 级荷载,试件放在万能实验仪的压板中间位置以 2 mm/min 进行预加载,并且进行力保载,保载时间为 60 s,试件通过逐级加载再进行卸载,通过读取施加荷载和卸载情况下,读取试件所产生的位移值,这两个位移之间的差值就是回弹位移。求得不同掺加剂大粒径沥青碎石回弹模量结果如表 9。

由表 9 可知外掺剂的加入对回弹模量的影响不明显,因为沥青混凝土的回弹模量受集料影响较大,虽然外掺剂的加入使得 ATB-30 的回弹模

量增加,但增加值较小;加入外掺剂后 ATB-30 的沥青用量减少不影响回弹模量满足需求。

表 9 ATB-30 的回弹模量(15℃)
Tab.9 Resilience modulus of ATB-30(15 °C)

沥青含量/ %	不同掺加剂的 ATB-30 的回弹模量/MPa		
	无添加	橡胶粉	玻璃纤维
2.4	2 381.3	2 498.4	2 512.3
2.7	2 413.7	2 543.6	2 610.7
3.0	2 458.4	28 643.5	2 653.3
3.3	2 667.8	2892.2	2 894.9
3.6	2 534.7	2 694.9	2 626.5

3 掺加剂对大粒径沥青碎石路用性能影响研究

3.1 掺加剂对大粒径沥青碎石高温稳定性能影响

采用车辙试验来探究 ATB-30 的高温稳定性,车辙板试件长 300 mm,宽 300 mm,厚 100 mm,本试验的试验温度为 60℃,本试验采用动稳定度做指标,主要试验仪器为车辙仪,试验结果如表 10。

表 10 不同掺加剂的 ATB-30 的车辙

Tab.10 Rutting of ATB-30 with different additives

沥青含量/ %	不同掺加剂的 ATB-30 的车辙/ (次·mm ⁻¹)		
	无添加	橡胶粉	玻璃纤维
2.4	3 178	3 267	3 298
2.7	3 360	3 451	3 421
3.0	3 140	3 350	3 360
3.3	3 130	3 300	3 300
3.6	2 860	3 175	3 150

由表 10 可知,无论有无掺加剂,大粒径沥青碎石的动稳定度偏大,均能满足规范要求,一般沥青路面结构的车辙不会出现在大粒径沥青碎石层,高温稳定性较好;掺加剂对动稳定度的影响不大;添加外掺剂后适当减少沥青用量不影响 ATB-30 的高温稳定性。

表 11 ATB-30 在-20℃时的弯曲试验

Tab.11 Bending tests of ATB-30 at -20℃

沥青含量/%	抗弯拉强度/MPa			弯曲劲度模量/MPa		
	无添加	橡胶粉	玻璃纤维	无添加	橡胶粉	玻璃纤维
2.4	5.79	6.43	9.32	1.87	1.98	2.17
2.7	6.02	6.99	11.23	2.09	2.12	2.36
3.0	6.32	7.76	13.11	2.26	2.73	2.41
3.3	8.54	9.53	19.09	2.89	3.24	3.08
3.6	9.36	11.22	22.65	3.21	3.94	5.62

3.3 掺加剂对大粒径沥青碎石水稳定性能影响

对掺加剂为橡胶和玻璃纤维的大粒径沥青碎石进行冻融循环实验测试其水稳定性。试验结果如表 12 所示。

表 12 冻融劈裂抗拉强度比 TSR

Tab.12 Freeze-thaw splitting tensile strength ratio TSR

沥青含量/ %	不同掺加剂的冻融劈裂抗拉强度比 TSR/%		
	无添加	橡胶粉	玻璃纤维
2.4	67	75	80
2.7	72	82	85
3.0	81	85	87
3.3	89	90	91
3.6	80	83	88

3.2 掺加剂对大粒径沥青碎石低温抗裂性能的影响

大粒径沥青碎石低温抗裂性能的试件尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm 车辙板并切成小梁,小梁尺寸为 250 mm×30 mm×50 mm,将切割好的小梁放入试验机中,温度设置为-20℃,保温 2 h 左右。以 2 mm/min 的加载速率进行弯曲蠕变试验,测定试件的破坏荷载 P 。以 P 值的 0.1 倍作为弯曲蠕变试验的荷载 P_0 。将小梁逐次进行弯曲蠕变试验,记录每一个试件跨中挠度曲线。试验结果如表 11 所示。

由表 11 可知,掺加剂橡胶粉和玻璃纤维对 ATB-30 的低温抗弯拉强度影响较大,其中玻璃纤维掺加剂显著增加了大粒径沥青碎石的抗弯拉强度和劲度模量。在外掺剂橡胶和玻璃纤维的作用下,沥青含量减少到 3.0% 也满足 ATB-30 的低温抗裂性能。

由表 12 可知,无论是否加入外掺剂,大粒径沥青碎石 ATB-30 的残留稳定度在沥青含量不小于 3.0% 时均能满足规范要求。掺入外掺剂橡胶粉和玻璃纤维后,在降低沥青(沥青含量超过不小于 3.0%)含量时,不影响 ATB-30 的水稳定。

4 小结

在大粒径沥青碎石中掺入橡胶粉和玻璃纤维,通过室内试验研究其力学性能和路用性能,结果表明:

1) 在大粒径沥青碎石中,沥青含量不小于 3.0% 时,加入外掺剂橡胶粉和玻璃纤维后其抗压强度、抗拉强度、抗弯拉强度及其回弹模量等力学性能均能满足规范要求。

2) 外掺剂橡胶粉和玻璃纤维均能使得大粒

径沥青碎石具有良好的高温稳定性、低温抗裂性能和在水稳定性。

3)通过对 ATB-30 的力学特征和路用性能的试验结果表明,在外掺剂橡胶粉和玻璃纤维作用下,可以适当减少沥青用量(不小于 3.0%),ATB-30 的性能并没有减弱。

4)加入 0.5%橡胶粉和 0.2%的玻璃纤维后石油沥青可从 3.3%降至 3.0%,得到每吨沥青混合料中成本价格表现为减少沥青;增加橡胶粉;增加玻璃纤维为 12.9:10:4,加入橡胶粉和玻璃纤维不仅可以提升性能同时能够降低大粒径沥青碎石的工程造价,为其在工程应用中的推广提供依据。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 白楷. 大粒径沥青稳定碎石柔性基层沥青路面力学性能研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2010.
- [3] 沈金磊,王建国. 大粒径沥青碎石基层抑制沥青路面反射裂缝的性能[J]. 合肥工业大学(自然科学版), 2015(6): 828-832.
- [4] 徐伟,徐明源. 大粒径沥青碎石柔性基层的力学性能分析[J]. 山西建筑, 2016, 42(11): 156-158.
- [5] 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.
- [6] NCHRP REPORT386. Design and evaluation of large stone asphalt mixes[R]. Transportation Research Board National Research Council, 2000.
- [7] 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.
- [8] 交通部公路科学研究院. 废旧轮胎橡胶粉用于筑路的技术研究[R]. 北京:交通部公路科学研究院, 2009:10-12.
- [9] 李培蕾. 橡胶沥青混合料配合比设计及路用性能研究[D]. 西安:长安大学, 2012.
- [10] 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.
- [11] 陈翔. 橡胶沥青及其混合料性能研究[D]. 西安:长安大学, 2011.
- [12] 宁金成. 沥青橡胶碎石、玻璃纤维沥青碎石混合料路面抗裂性能研究[D]. 长沙:湖南大学, 2002.
- [13] 陈亮. 废材料在道路工程中的研究及应用[J]. 公路交通技术, 2011(4): 52-54,58.
- [14] 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.
- [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.
- [16] 郭殿军. 废旧橡胶粉在再生沥青混合料中的试验及应用研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 14(5): 118-120.

(责任编辑:方素华)