

文章编号: 1674-9057(2014)01-0058-05

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2014.01.009

废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石的力学性能试验

张晓天^a, 刘占江^b, 杨明成^b

(宁夏大学 a. 基建处; b. 土木与水利工程学院, 银川 750021)

摘 要: 为了研究废旧沥青混凝土破碎后作为道路半刚性基层水泥稳定碎石的基本力学性能, 以及纤维掺入提高其抗裂性能、减少路面反射裂缝等问题, 以水泥、纤维、废旧沥青砼和粉煤灰掺量为影响因素, 根据正交试验方法, 安排了 16 组试验分别进行了无侧限抗压试验、劈裂试验和干缩试验。结果表明: 各因素对无侧限抗压强度的影响敏感性大小依次为水泥 > 粉煤灰 > 纤维 > 废旧沥青砼, 废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石在强度上可以满足各级公路基层、底基层材料的强度要求, 建议在废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石优化设计中以水泥和粉煤灰作为主要控制要素。

关键词: 废旧沥青砼; 纤维; 敏感性; 无侧限抗压强度; 干缩

中图分类号: U416.217 **文献标志码:** A

每年我国沥青混凝土路面翻修废弃量非常可观, 如何利用旧路面材料, 将是一个关于道路建设可持续发展的研究新方向。国内学者对各种再生沥青混凝土路面等级、再生设备、再生优化方法和冷再生稳定剂的选择等问题进行了分析研究, 取得显著的成果^[1-6], 但再生沥青路面的造价相对较高、工艺复杂, 如果能把沥青混凝土路面废料作为水泥稳定碎石, 则工艺相对较为简单。长安大学对废旧沥青砼水泥稳定碎石基层做了大量的研究, 并取得了一些成果, 但废料的掺量在 50% 以内^[7]。本课题对大掺量 (40% ~ 70%) 废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石的基本力学性能进行了研究。

1 试验部分

1.1 试验材料

水泥采用宁夏赛马实业股份有限公司生产的赛马牌水泥 P. O 32.5; 粉煤灰采用宁夏水洞沟电厂的粉煤灰, 其化学成分见表 1。废旧沥青混凝土采用银川市贺兰山西路沥青路面翻修废料, 经破

碎后, 碎石经过筛分试验, 进行了集料配比设计; 纤维为聚丙烯纤维丝, 为纤维拌料搅团, 长度取 12 mm, 其物理力学性质见表 2。

1.2 试验方案

废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石的力学性能是在水泥、纤维、废旧沥青砼和粉煤灰等多因素影响下的综合表现。各因素都不同程度的影响废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石的力学性能, 由于影响因素较多, 通过正交试验可以找到起控制作用的主要因素及影响规律。

表 1 水洞沟电厂粉煤灰化学成分
Table 1 Chemical composition of fly ash in Shuidonggou power plant

							$w_B/\%$
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
48.99	20.74	5.91	7.44	2.36	1.39	1.04	2.5

表 2 聚丙烯纤维的物理力学性质
Table 2 Physico-mechanical properties of polypropylene fiber

密度/ (g · cm ⁻³)	当量直 径/μm	长度/ mm	抗拉强 度/MPa	弹性模 量/MPa	断裂延 伸率/%
0.91	10	12	400	3 500	15

在研究废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石的力学性能时，主要考虑水泥、纤维、废旧沥青砼和粉煤灰 4 个因素，并把每个因素取 4 个水平，各因素及其水平取值见表 3。根据正交表安排了 16 组试验，通过无侧限抗压试验、劈裂试验和收缩试验测定和分析以上因素对抗压强度、劈裂强度和拉压比的敏感性。

表 3 因素及其水平取值
Table 3 Factors and level value

水平	因 素			
	A 水泥/%	B 废旧沥青砼/%	C 纤维/‰	D 粉煤灰/%
1	1	0	1	8
2	3	40	2.5	11
3	5	55	4	14
4	7	70	5.5	17

表 4 各因素对强度影响的正交数据分析表
Table 4 Orthogonal analysis of influence factors on stress

试验编号	水泥/%	废旧沥青砼/%	纤维/‰	粉煤灰/%	7 d 抗压强度/MPa	7 d 劈裂强度/MPa	7 d 拉压比
1	1	0	1	8	1.57	0.08	0.05
2	1	40	2.5	11	1.51	0.10	0.07
3	1	55	4	14	2.31	0.19	0.08
4	1	70	5.5	17	1.53	0.11	0.07
5	3	0	2.5	14	3.01	0.21	0.07
6	3	40	1	17	4.26	0.34	0.08
7	3	55	5.5	8	2.23	0.20	0.09
8	3	70	4	11	2.60	0.23	0.09
9	5	0	4	17	4.09	0.41	0.10
10	5	40	5.5	14	3.66	0.41	0.11
11	5	55	1	11	4.26	0.42	0.10
12	5	70	2.5	8	3.60	0.41	0.11
13	7	0	5.5	11	4.77	0.42	0.09
14	7	40	4	8	4.29	0.46	0.11
15	7	55	2.5	17	6.26	0.65	0.10
16	7	70	1	14	5.56	0.79	0.14
7 d 抗压均值 1	1.285	2.473	2.735	2.128			
7 d 抗压均值 2	1.965	2.573	2.330	2.643			
7 d 抗压均值 3	2.955	2.565	2.673	2.590			
7 d 抗压均值 4	4.045	2.640	2.513	2.890			
极 差	2.760	0.167	0.405	0.762			
7 d 劈裂均值 1	0.075	0.200	0.250	0.193			
7 d 劈裂均值 2	0.150	0.200	0.230	0.235			
7 d 劈裂均值 3	0.258	0.223	0.205	0.235			
7 d 劈裂均值 4	0.408	0.268	0.205	0.228			
极 差	0.333	0.068	0.045	0.042			
7 d 拉压均值 1	0.060	0.078	0.083	0.080			
7 d 拉压均值 2	0.078	0.075	0.095	0.085			
7 d 拉压均值 3	0.090	0.080	0.073	0.088			
7 d 拉压均值 4	0.100	0.095	0.078	0.075			
极 差	0.040	0.020	0.022	0.013			

1.3 试件的制作与养护

本试验根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》采用静力压实法制备试件^[8-9]。试件从试模脱出并称重后,用塑料保鲜膜包裹,随即放入密封湿气箱中养护 7 d,整个养生期间温度保持在(20±2)℃,养护最后一天,取出试件拆开塑料膜,浸泡在水中,水的深度应使水面在试件顶上约 2.5 cm。

2 试验结果与分析

2.1 无侧限抗压强度试验

龄期 7 d 的无侧限抗压强度试验数据见表 4。试件的无侧限抗压强度 R_{ci} 的计算公式为

$$R_{ci} = P/A = 5.7 \times 10^{-5} P。$$
 (1)

式中： R_{ci} —试件的无侧限抗压强度(MPa)； P —试件破坏时的最大压力(N)； A —试件的截面积(mm²，采用直径为 150 mm 的大试件)。

2.2 劈裂强度试验

在养生室里养生至规定龄期,最后一天饱水 24 h,擦干表面水,对试件称重和测量高度,然后将饱水的试件放到路面材料强度试验仪的升降台上,进行劈裂强度试验。在试验过程中,使试件的形变保持约以 1 mm/min 的等速率增加,记录试件破坏时的最大压力 P 。龄期 7 d 的劈裂强度试验试验数据见表 4。

采用无压条试验,试件的劈裂强度 R_i 用下式计算:

$$R_i = \frac{2P}{\pi DH}, \quad (2)$$

式中: P —试件破坏时的最大压力(N); D —试件的直径(mm); H —试件高度(mm)。

2.3 强度与拉压比参数分析

2.3.1 参数敏感性分析 试验得到各因素对无侧限抗压强度、劈裂强度与拉压比的影响见表 4。由方差分析可以得出:

① 对于 7 d 的无侧限抗压强度,水泥和粉煤灰对无侧限抗压强度为主要影响因素,其次为纤维和废旧沥青砼,4 个因素对无侧限抗压强度的影响程度大小依次为:水泥 > 粉煤灰 > 纤维 > 废旧沥青砼。

② 对于 7 d 劈裂强度,4 个因素对劈裂强度的影响程度大小依次为:水泥 > 废旧沥青砼 > 纤维 > 粉煤灰。废旧沥青砼和纤维的掺入对试块抗拉性能的提高有明显作用。

③ 拉压比为劈裂强度与抗压强度之比,其大小可以反映出水泥稳定碎石的延性和抗变形能力,对于 7 d 拉压比,4 个因素的影响程度大小依次为水泥 > 纤维 > 废旧沥青砼 > 粉煤灰。

由此可以得出,纤维废和废旧沥青砼的掺入可以改善水泥稳定碎石的抗变形能力;同时,废旧沥青砼中沥青可以提高各层的粘结力,因此,废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石作为道路基层材料可以提高其变形能力,减少基层裂缝,防止路面反射裂缝产生^[10]。

2.3.2 无侧限抗压强度分析 以粉煤灰掺量为定值,以水泥掺量为变数,研究两个主要因素与无侧限抗压强度之间的变化规律,结果如图 1 所示。其中废旧沥青砼的掺入比例见表 4。

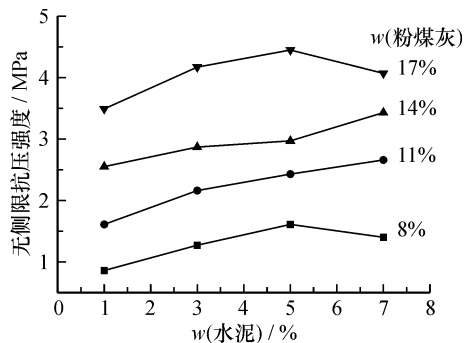


图 1 水泥和粉煤灰掺量与无侧限抗压强度的关系
Fig. 1 Relationship between unconfined compressive strength and cement content with different fly ash content

根据《公路路面基层施工技术规范》规定,水泥稳定土的抗压强度大于 2.5 MPa,即可满足各级公路底基层强度要求。水泥稳定土的抗压强度大于 3.0 MPa,即可满足各级公路基层强度要求。由此可知:当粉煤灰掺量约大于 14% 时,其可满足作为各级公路底基层的规范强度要求;当粉煤灰掺量约大于 15.5% 时,其可满足作为各级公路基层的规范强度要求。结合表 4 可知,当粉煤灰掺量一定时,各组试验测得的无侧限抗压强度随着废旧沥青砼的掺量增加基本呈增加的趋势。

2.3.3 劈裂强度分析 以水泥含量为定值,以废旧沥青砼含量为变数,研究两个主要因素与劈裂强度之间的变化规律(图 2)。可知,当水泥掺量一定时,各组试验测得的劈裂强度随着废旧沥青砼的掺量增加呈增加的趋势。

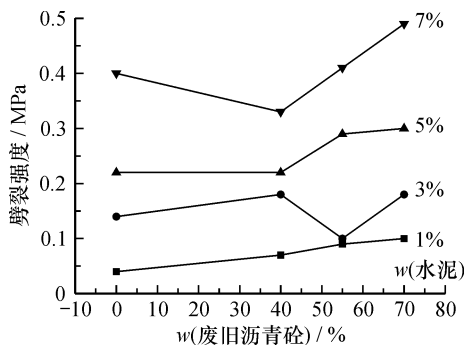


图 2 废旧沥青砼和水泥掺量与劈裂强度的关系
Fig. 2 Relationship between splitting strength and RAP content with different cement content

2.3.4 拉压比分析 以水泥掺量为定值,以纤维掺量为变数,研究两个主要因素与拉压比之间的变化规律,由图 3 可知:当水泥掺量在 1% ~ 5% 时,拉压比随着纤维的掺量增加基本呈增加的趋势;当水

泥掺量为 7% 时,拉压比随着纤维的掺量增加基本呈减小的趋势;依靠纤维的掺入提高水泥稳定碎石的抗变形能力,建议水泥用量在 1% ~ 5% 为佳。

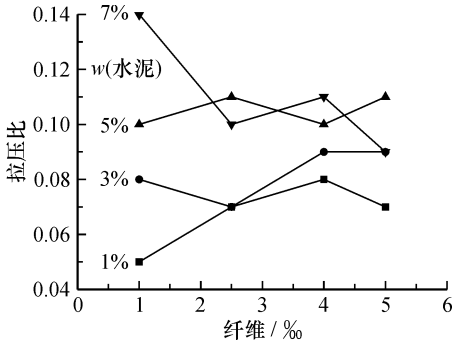


图 3 水泥和纤维掺量与拉压比的关系
Fig. 3 Relationship between tension-compression ratio and fiber content with different cement ratio

2.4 干缩试验

在干缩试验中,根据击实试验获得的最大干密度和最佳含水量,采用静力压实法制备 $\Phi 150\text{ mm} \times h 150\text{ mm}$ 圆柱形试件,试件成型后立即用塑料薄膜包好放在养生室内养生。养生温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,湿度为 50%,每组 3 块试件,每隔 5 d 测定一次试件的干燥收缩量。

深入分析干缩应变与龄期的关系,有利于掌握干缩裂缝随龄期变化规律,把握时机采取有效措施减小或者抑制水泥稳定碎石基层材料的干燥收缩应变。图 4 ~ 图 7 是废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石的干缩应变随龄期的变化规律曲线。

可以看出,废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石的干缩应变都是随着龄期的增长而逐渐增大。在试件成型初期干缩量增大趋势较陡,随着龄期的增长,干缩应变增加趋势趋于平缓,当达龄期约大于 35 d

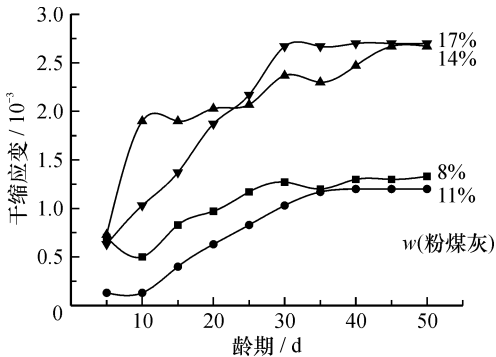


图 4 0% 废旧沥青砼干缩应变与龄期的关系
Fig. 4 Relationship between shrinkage strain and age without RAP

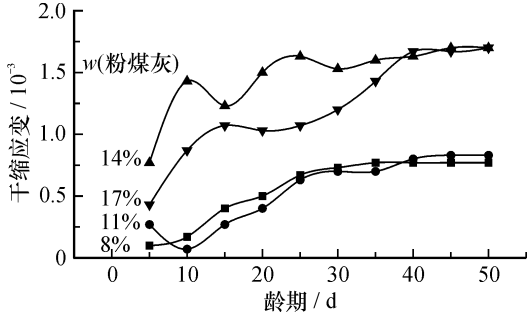


图 5 40% 废旧沥青砼干缩应变与龄期的关系
Fig. 5 Relationship between shrinkage strain and age with 40% RAP

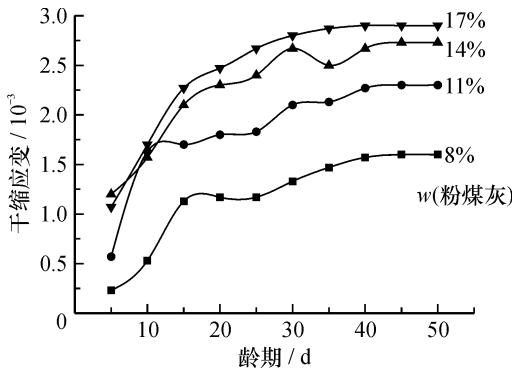


图 6 55% 废旧沥青砼干缩应变与龄期的关系
Fig. 6 Relationship between shrinkage strain and age with 55% RAP

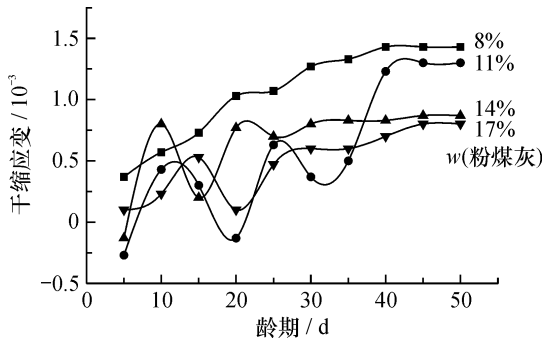


图 7 70% 废旧沥青砼干缩应变与龄期的关系
Fig. 7 Relationship between shrinkage strain and age with 70% RAP

时,干缩应变基本处于稳定。故初期是干缩裂缝发生和发展的关键时期。随着废旧沥青砼掺量的增加,粉煤灰掺量对水泥稳定碎石干缩应变的影响基本呈现变弱的趋势。当粉煤灰掺量在 11% 以内时,粉煤灰掺量对水泥稳定碎石干缩应变影响不大,当粉煤灰掺量由 11% 增加到 14% 时,干缩应变增幅较大。当废旧沥青砼掺量达到 70% 时,随着粉煤灰掺量的增加,干缩应变呈现降低之势。

3 结 论

通过正交试验,研究了废旧沥青砼、水泥、纤维和粉煤灰对废旧沥青砼纤维水泥稳定碎石的无侧限抗压强度、劈裂强度和干缩应变的影响规律,主要得到以下结论:

(1) 对无侧限抗压强度的影响程度大小依次为:水泥>粉煤灰>纤维>废旧沥青砼;对劈裂强度的影响程度大小依次为:水泥>废旧沥青砼>纤维>粉煤灰;对拉压比的影响程度大小依次为:水泥>纤维>废旧沥青砼>粉煤灰。

(2) 当粉煤灰掺量约大于 14% 时,其可满足作为各级公路底基层的规范强度要求;当粉煤灰掺量约大于 15.5% 时,其可满足作为各级公路基层的规范强度要求。

(3) 依靠纤维的掺入提高水泥稳定碎石的抗变形能力,建议水泥用量在 1%~5% 为佳。

(4) 在试件成型初期干缩量增大趋势较陡,随着龄期的增长,干缩应变增加趋势趋于平缓,当达龄期约大于 35 d 时,干缩应变基本处于稳定。故初期是干缩裂缝发生和发展的关键时期。

参考文献:

- [1] 陈希梅,王朝辉,王选仓. 沥青混凝土路面再生处治优化 [J]. 公路, 2008 (3): 189-193.
- [2] 谢娟,范建华,伍石生. 沥青混凝土工厂热再生配合比设计及沥青再生剂研究 [J]. 公路, 2008 (9): 368-372.
- [3] 刘芳,郝攀. 沥青路面再生技术的特点及发展概况 [J]. 交通标准化, 2010 (7): 152-154.
- [4] 任少英. 沥青路面再生技术的推广方略 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2008, 29 (4): 244-247.
- [5] 武建民,马君毅,郝合瑞. 水泥稳定旧沥青混凝土路面材料抗冲刷性能研究 [J]. 公路, 2008 (12): 41-44.
- [6] 马君毅,谷志文,吉军鹏. 水泥稳定沥青路面冷再生技术性能研究 [J]. 中外公路, 2008 (4): 40-43.
- [7] 吴晓春. 掺废旧沥青混合料的水泥稳定基层路用性能研究 [D]. 西安:长安大学, 2009.
- [8] 蔡跃钦,齐东建. 路面基层无侧限抗压强度试件的制作与测定 [J]. 铁道建筑, 2006 (1): 87-89.
- [9] 王小召. 水泥稳定碎石基层断裂性能的试验研究 [J]. 铁道建筑, 2008 (7): 117-120.
- [10] 刘燕燕,陈洁,黄中文. 水泥稳定碎石基层不同层间接触情况下力学性能分析 [J]. 桂林理工大学学报, 2011, 31 (3): 372-375.

Experiment on mechanical properties of RAP fiber cement stabilized macadam

ZHANG Xiao-tian^a, LIU Zhan-jiang^b, YANG Ming-cheng^b

(a. Construction Department; b. College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The basic mechanical properties of RAP used as semi-rigid cement stabilized macadam base were researched. Fiber was added to improve the crack resistance of the cement stable macadam mixture and reduce pavement reflection crack. Sixteen orthogonal experiments were done by the factors as cement, fiber, waste asphalt concrete and fly ash. The unconfined compression test and split test and drying shrinkage experiment were carried out. The results show that the effect of the factors on the sensitivity of unconfined compression strength is obviously different. The effect order from large to small is cement, fly ash, fiber, waste asphalt concrete. RAP fiber cement stabilized macadam can satisfy the requirements of base and subbase of all levels of the road. Cement and fly ash are the main control factors in design.

Key words: reclaimed asphalt pavement (RAP); fiber; parameters sensitivity; unconfined compression strength; dry shrinkage