

文章编号: 1002-0268 (2004) 05-0025-04

水泥稳定废旧沥青混合料 路用性能试验研究

李 强¹, 马松林², 王鹏飞², 李 峥³

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2 哈尔滨工业大学交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;

3 天津市政工程局, 天津 300050)

摘要: 通过系统的室内试验对水泥稳定废旧沥青混合料的物理力学特性进行了分析评定, 内容包括无侧限抗压强度、抗压回弹模量、劈裂强度以及耐久性等; 初步确定了原材料评价方法, 并在此基础上探讨了原材料性质对再生混合料路用技术性能的影响。本文所提出的材料设计参数及相关研究成果, 可供设计、生产和制定规范时参考。

关键词: 水泥稳定; 废旧沥青混合料; 冷再生; 设计参数

中图分类号: U414.75

文献标识码: A

Experiment Study on the Performance of Cement Stabilized Recycled Asphalt Mixture

LI Qiang¹, MA Song-lin², WANG Peng-fei², LI Zheng³

(1. Transportation College of Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2 Transportation College of Harbin Institute of Technology, Heilongjiang Harbin 150090, China;

3. Tianjin Municipal Engineering Bureau, Tianjin 300050, China)

Abstract: This paper studied the physical and mechanical properties of cement stabilized recycled asphalt mixture based on systematic laboratory tests, including the unconfined compressive strength, the resilient modulus, the cleavage strength and the durability properties, put forward evaluating methods of the raw materials and accordingly analyzed the effect of the raw materials on the recycled mixture. The design parameters and associated results given in this paper can be taken as reference in design, engineering and further research.

Key words: Cement stabilized; Recycled asphalt mixture; Cold-recycling; Design parameter

对高等级公路在设计年限内的大面积补强维修和对一般公路的提级改建, 沥青路面再生技术是一种值得考虑的维修改造方式。应用这项技术能够节约大量的筑路材料、节省工程投资; 同时也有利于处理路面废料和保护环境, 具有显著的经济和社会、环境效益^[1]。按照再生方式的不同, 可以分为冷法再生和热法再生两种。利用水泥稳定处治废旧沥青混合料属于冷再生的范畴, 主要用于形成路面的基层或底基层。本文结合 102 国道的路面改建, 对此种冷再生材料的路用技术性能进行了系统的测试与分析, 其研究成果

将为我国沥青路面冷再生应用和相关规程的制定提供科学依据。

1 原材料及其性质

室内试验中, 再生添加剂采用天鹅牌 425 #普通硅酸盐水泥, 各项技术指标满足规范要求; 废旧沥青混合料取自 102 国道 (哈尔滨段), 其自身性质将对再生材料的路用性能产生重要影响。本文重点对废旧沥青混合料的材料组成和重塑成型后的力学性能进行了评定。

1.1 废旧沥青混合料组成分析

路面沥青混合料经过机械铣刨和人工破碎后是作为骨料被重新利用^[2]。本文采用直接原样筛分和抽提筛分两种方法对废旧沥青混合料中的颗粒组成状况进行分析,测定沥青含量为4.6%,筛分结果如图1所示。通过与规范中基层材料的级配标准进行比较可见,原样废旧沥青混合料中细料含量偏少,这主要是由于沥青的粘附作用,细料被大块团粒所裹覆造成的;而抽提沥青后细料含量明显增多,已超出级配范围,说明经过车辆荷载的长期作用以及铣刨过程,矿质集料已经发生破碎细化。

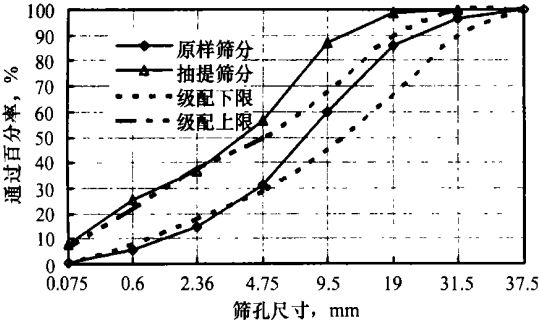


图1 废旧沥青混合料级配曲线比较分析

两种筛分结果的差异程度与路面废料中沥青含量关系显著。沥青含量越多,团聚现象就越明显,试验结果差异也越大。本文认为水泥稳定废旧混合料中的实际颗粒组成状况应该区别于废料抽提沥青后的矿料级配,与原样筛分结果更为接近,可以此作为是否需要添加新骨料的依据。

1.2 废旧沥青混合料重塑成型

作为一种原材料评价方法,对废旧沥青混合料重塑成型试件测定强度和模量等指标,用以评价其自身的力学性能。其中包括马歇尔试验和单轴压缩试验,测试结果见表1。

废旧沥青混合料重塑成型力学试验结果 表1

标准马歇尔试验		单轴压缩试验	
稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)	抗压强度 (MPa)	回弹模量 (MPa)
10.04	40	4.42	1795

由表中试验数据可以看出,废旧沥青混合料重塑成型后,其强度和模量较规范设计参数有大幅度的提高,说明该沥青混合料已经严重老化。由于废料中存在较多的沥青,沥青老化导致粘度过分提高,表现为此种材料虽然仍具有较高强度,但可塑性和变形能力亦下降很多,容易导致路面开裂。

2 再生混合料力学性质及设计参数

2.1 试验方案

(1) 试验测试的力学指标包括:无侧限抗压强度、抗压回弹模量和劈裂强度。

(2) 水泥用量:参考水泥稳定类材料的标准,拟定4%、6%和8%三个水泥剂量。

(3) 养生条件:试件养生龄期为7d、28d和90d;采用标准养生条件(温度20℃,相对湿度>90%)。

(4) 试验温度:由于沥青是感温性材料,再生混合料的力学性能必然会受到温度的影响,考虑到基层材料的实际温度影响范围,选择15℃、25℃和35℃三个试验温度。

2.2 试件制备与测定方法

进行标准击实试验,确定混合料的最佳含水量和最大干容重(见表2)。用静力压实法成型试件,试件尺寸为Φ150×150mm,平行试件数量6个,养生至规定龄期的试件应先浸水24h并作好控温处理。无侧限抗压强度及劈裂强度的测定参照文献[3]中所述方法进行,采用顶面逐级加载、卸载的方法测定抗压回弹模量。

水泥稳定废旧沥青混合料击实试验结果 表2

水泥剂量	4%	6%	8%
最佳含水量 ω (%)	5.4	6.0	7.0
最大干容重 ρ (g/cm³)	2.07	2.10	2.14

2.3 强度试验结果分析

水泥稳定废旧沥青混合料无侧限抗压强度试验结果汇总于表3。从中可以总结出如下规律:

水泥稳定废旧沥青混合料无侧限抗压强度 (MPa) 表3

水泥剂量	龄期 (d)	温度 (°C)	抗压强度	水泥剂量	龄期 (d)	温度 (°C)	抗压强度	水泥剂量	龄期 (d)	温度 (°C)	抗压强度
4%	7	15	1.95	6%	7	15	2.63	8%	7	15	3.22
		25	1.12			25	1.65			25	2.12
		35	0.87			35	1.22			35	1.86
	28	15	2.46		28	15	3.02		28	15	3.95
		25	1.45			25	1.80			25	2.68
		35	1.13			35	1.44			35	2.16
	30	15	2.76		30	15	3.48		30	15	4.44
		25	1.74			25	2.59			25	3.56
		35	1.33			35	1.94			35	2.82

(1) 与一般水泥稳定类材料的强度发展规律相符,其抗压强度随水泥剂量的增长和养生龄期的延长而增高;并且通过回归分析还可以发现,在高温时的强度增长速率比低温时要有有所衰减。

(2) 7d及28d龄期的抗压强度增长较快,表明其强度主要是早期强度,这一点有利于提前开放交通和缩短工期;考虑到充分发挥材料的强度潜能,可以采用90d龄期作为设计参数的标准。

(3) 由于本次所选路面废料沥青含量较多, 直接导致再生混合料具有较强的温度敏感性。试验数据显示, 抗压强度随温度升高而产生较大幅度的衰减, 并且在相对低温范围内的强度降级幅度比高温时明显增大, 这表明旧沥青结合料刚开始由硬凝状态向流塑状态过渡时, 会对再生混合料强度产生最不利的影响。

(4) 采用正交极差分析法对影响再生混合料强度的各项因素进行主次排序。结果表明, 温度和水泥用量的影响都是显著的, 并且当沥青含量较多时温度的影响要更大一些。从这一角度讲, 原材料中沥青的存在对此种再生混合料强度的形成是不利的^[4]。

2.4 材料设计参数

抗压回弹模量和劈裂强度是路面结构设计中进行厚度计算和力学验算时的主要参数, 测试结果汇总于表4。由此可见, 水泥稳定废旧沥青混合料的抗压回弹模量和劈裂强度与各影响因素之间的关系和前述抗压强度的变化规律基本相似, 此处不再赘述。

水泥稳定废旧沥青混合料设计参数 表 4

水泥 剂量 (%)	龄期 (d)	抗压回弹模量 (MPa)			劈裂强度 (MPa)		
		15℃	25℃	35℃	15℃	25℃	35℃
4	90	1202	1000	716	0.37	0.26	0.20
	7	1101	979	730	0.37	0.23	0.16
6	28	1281	1181	861	0.44	0.29	0.23
	90	1465	1277	936	0.49	0.37	0.27
8	90	1693	1462	1123	0.70	0.50	0.38

3 力学指标综合分析

3.1 与设计标准比较

对比我国《公路沥青路面设计规范》中水泥稳定类材料的设计指标(见表5)可以看出, 水泥稳定废旧沥青混合料的力学指标基本能够满足设计标准的要求, 可以用于修筑一般公路的基层或底基层。但是也应该指出, 在水泥用量较少和温度较高时其强度和模量值都普遍偏小, 主要原因是与原材料性质有关, 其中包括旧料的级配组成和沥青含量, 本次采用的原材料中细料偏少且沥青含量较多, 这些因素都会对再生混合料的力学性能造成影响。

水泥稳定类基层和底基层的设计指标 表 5

材料名称	7d 抗压强度 (MPa)	90d 抗压回弹模量 (MPa)	90d 劈裂强度 (MPa)
水泥稳定砂砾	≥1.5	1300~1700	0.4~0.6
水泥稳定碎石			

注: 抗压回弹模量和劈裂强度为水泥剂量 5%~6% 时的规范建议值

3.2 力学指标的相关性

本文对三个力学指标的测试结果进行了对比分析, 发现不论混合料配比如何、也不论温度的高低和养生龄期的长短, 其抗压回弹模量和劈裂强度与抗压强度之间都具有良好的相关关系(见图2和图3), 可以采用一元线性方程的形式进行回归。

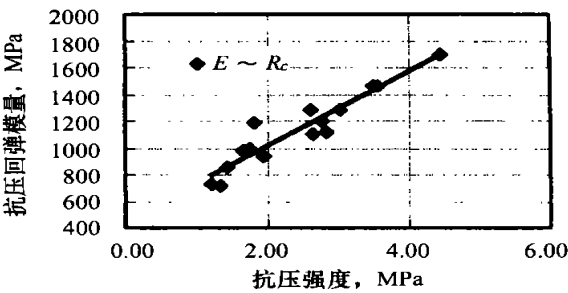


图 2 抗压模量与抗压强度的回归关系

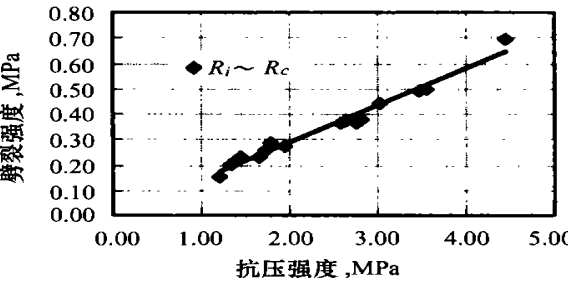


图 3 劈裂强度与抗压强度的回归关系

抗压回弹模量 E 与抗压强度 R_c 之间的关系表达式为

$$E=277.19R_c+460.47(r=0.9460)$$
 (1)

劈裂强度 R_i 与抗压强度 R_c 之间的关系表达式为

$$R_i=0.1464R_c-0.0048(r=0.9857)$$
 (2)

同理对 90d 龄期时的抗压回弹模量 E_{90} 和劈裂强度 R_{90} 以及 7d 龄期时的抗压强度 R_{c7} 进行对比分析, 发现三个指标之间具有稳定的比值关系。 E_{90} 与 R_{c7} 的比值变化范围为 526~893, 平均比值为 694, 标准差为 127; R_{90} 与 R_{c7} 的比值变化范围为 0.19~0.24, 平均比值 0.22, 标准差 0.02, 考虑 90% 的保证率可得到下式

$$E_{90}=530R_{c7}$$
 (3)

$$R_{90}=0.20R_{c7}$$
 (4)

通过上述关系便可以由一个较易测定的指标来间接推算其它所需的力学指标, 达到缩短试验周期和加快设计进度的目的。

4 再生混合料耐久性

多孔隙材料受到冻融循环作用时, 其内部孔隙水冻胀产生的附加应力将重复对材料的孔隙壁产生挤压

破坏作用。基于这一原理,本文采用冻融循环试验来评价水泥稳定废旧沥青混合料在水和负温共同作用下的耐久性。

4.1 试验方法

试件系与前述试验同批制作,在养生 28d 后开始进行冻融循环试验,采用冻结 12h 和融解 12h 的连续过程,即将达到养生龄期的试件先浸水一天,称重后放入已达 -20℃ 的冷冻箱中冻结 12h,取出后再放入 20℃ 的水浴中溶解 12h,将浸泡过的试件进行称重,再次放入冷冻箱作第二次循环。如此反复共进行 10 次,每次观察试件浸泡融化后的表面破损现象,并记录其质量损失情况,冻融循环全部完成后进行抗压强度试验(25℃)。再生混合料的抗冻能力可以用经过冻融作用后的强度(或质量)下降情况来表征。

4.2 试验结果分析

分析归纳冻融循环抗压强度试验结果(见表 6),可以看出:(1)试件经过冻融反复作用后并没有发生表面崩解现象,其质量损失率均小于 0.2%,甚至可以视为没有损失。(2)试件经过冻融循环后的抗压强度损失率均小于 30%,并且随着水泥剂量的增加,其冻稳性能也逐渐增强。(3)沥青的存在使得再生混合料内部的毛细孔隙减少,甚至有一部分会变成封闭孔隙;经过水泥稳定处治后,随着水化产物的增加,其内部孔隙会进一步减少。以上两个因素就导致此种再生材料具有良好的防水性和抗冻性,适合于作为路面基层材料使用,并且对于寒冷地区的道路建筑而言更具有现实意义。

水泥稳定废旧沥青混合料冻融循环试验结果表 6

水泥剂量 (%)	试件吸 水率(%)	质量损 失率(%)	冻融后抗压 强度(MPa)	未冻融抗压 强度(MPa)	强度损 失率(%)
4	1.48	0.162	1.08	1.45	25.5
8	0.96	0.067	2.20	2.68	17.9

5 结语

本课题的研究在以下几方面还有待于进一步完善和深入:

- (1)本文仅选择了一种原材料,在后续研究中需要扩大选材范围,全面分析原材料类型对再生混合料路用性能的影响,在此基础上建立原材料评价指标体系。
- (2)本文所总结的再生材料设计参数及其相关规律存在一定的局限性,还需要进行大量试验予以补充。
- (3)关于此种冷再生材料的微观结构和强度形成机理,特别是水泥添加剂与旧沥青结合料之间的作用形式也需要进行研究,提出细致可以接受的理论。

参考文献:

[1] Harold Paul. Evaluation of Recycled Projects for Performance[J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1996.

[2] Richard E Y Yeo, Kieran G Sharp. Recycled Crushed Concrete Stabilized with Cementitious Binders[C]. The 3rd International Conference on Road&Airfield Pavement Technology, 1997.

[3] 中华人民共和国交通部. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程(JTJ057-94)[S]. 北京:人民交通出版社, 1994.

[4] 李强. 水泥稳定废旧沥青混合料用于路面基层(底基层)的研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2002.

(上接第 14 页)

沥青混凝土的本构分析模型,并介绍了应用大型商业有限元软件 ABAQUS 分析路面结构在行车荷载作用下产生车辙的方法,经与 LOUISIANA 试验路的试验结果比较,证明了此方法能合理地分析和预测路面结构在交通荷载作用下的车辙,是一种预测和评价路面车辙的有效方法;此外,用不同气候条件和轴载条件下的材料参数分别计算对车辙的影响,并采用叠加原理可求得路面结构在预期行车荷载作用下的车辙深度,值得进一步深入研究和推广应用。

参考文献:

[1] Sides A, Uzan J, Perl M. A Comprehensive Viscoelasto-plastic Character-

ization of Sand-asphalt Compressive andTensile Cyclic Loading [J]. Test Evaluat 1985, 13(1): 49— 59.

[2] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 人民交通出版社, 2001.

[3] Judycki J. Non-linear Viscoelastic Behavior of Conventional and Modified Asphaltic Concrete Under Creep [J]. Mater and Struct, 1992, 25: 95— 101.

[4] 贾乃文. 粘塑性力学及工程应用[M]. 地震出版社, 2000.

[5] HKS. ABAQUS Theory manual [M]. Hiblit; Karlsson & Sorensen, Inc.

[6] Hua J. Finite Element Modeling and Analysis of Accelerated Pavement Testing Devices and Rutting Phenomenon [D]. Purdue University Ph. - D. Dissertation, 2000.

[7] Huang B, Mohammad L N, Rasoulilian M. 3-D Numerical Simulation of Asphalt Pavement at the Louisiana Accelerated Loading Facility (ALF)[J]. Washington; Journal of Transportation Research Record 2001.