

基于振动成型的冷再生粒料性能研究

王永兵¹, 应国强¹, 胡建林¹, 张 倩², 耿九光³

(1. 衢州市交通设计有限公司, 浙江 衢州 324002; 2. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055;
3. 长安大学材料学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:通过和相同条件静压成型试件的对比,研究了振动成型水泥冷再生粒料的路用性能.发现相同水泥用量和养生条件下,振动成型试件的抗压强度、劈裂强度、抗压回弹模量等力学性能和冻稳定性、抗冲刷路用性能要明显优于静压法成型的试件.实验数据还表明相比于静压成型法,振动成型法采用较小的水泥用量就可以达到相应的性能要求,不但能节省生产中的水泥用量,也有利于再生基层抗裂性能的提高.

关键词:道路工程;路面再生;振动成型;冷再生粒料;性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2012)03-0452-05

工程中普遍采用振动压路机压实基层材料,而室内用于确定水泥稳定碎石材料最大干密度和最佳含水率的重型击实试验和用于测定无侧限抗压强度的试件静压成型法则是针对静力压路机的工作原理提出的,不能较好地模拟现场振动碾压施工条件.室内试验试件成型方式如果不能对现场碾压情况进行较好的模拟,势必会造成试验结果与现场情况产生偏差,从而使设计结果失去真实性和可靠性.据此采用振动成型方式对水泥稳定冷再生材料开展研究.

1 振动成型方法

针对静压成型方法的不足,在总结国内外经验的基础上,提出了振动成型方法.具体过程如下:为了模拟现场振动压路机对基层材料振动碾压的过程与机理,采用室内表面振动仪作为成型设备.混合料的最佳含水率和最大干密度由振动击实试验结果确定.所有试料需先烘干处理.按照振动击实试验确定的最大干密度和最佳含水率成型试件.拌和用集料可按 6 500 g 准备.将拌和均匀的混合料按照四分法一次装入试模当中,按照规定压实度选取相应振动时间成型^[1-2].

2 振动成型冷再生粒料力学性能研究

为了评价振动成型冷再生粒料的力学性能,采用 15% 的旧料用量,在 3%、4%、5% 和 6% 四个水泥用量下进行试验.冷再生粒料级配见表 1 中的 S15,水泥性质见表 2.水泥冷再生粒料的力学特性包括无侧限抗压强度、劈裂强度和抗压回弹模量,各参数均按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程(JTJ057-94)》测试^[3-6].

表 1 旧沥青混合料抽提筛分结果

Tab. 1 Extraction and sieving test results of recycled asphalt mixture

项目	下列各筛孔(mm)通过率/%						
	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
S15	100	78.6	53.5	32.1	16.9	8.6	1.5
粒径范围	90~100	67~90	45~68	29~50	18~38	8~22	0~7

2.1 抗压强度

根据确定的不同水泥用量下的最大干密度和最佳含水量,振动成型直径 150 mm、高度 150 mm 的圆柱体试件,养生到达龄期后按要求进行强度测试,试验结果如表 3 和图 1~图 2.

收稿日期:2012-03-06 修改稿日期:2012-05-03

基金项目:浙江省交通厅科技计划项目(2011H26)陕西省教育厅专项科研计划项目(12JK0795)

作者简介:王永兵(1973-),女,浙江江山人,高级工程师,主要从事公路工程领域的设计和科研工作.

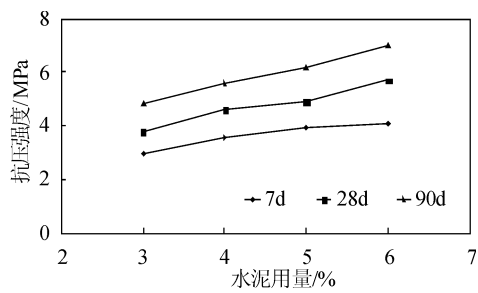


图 1 振动成型试件抗压强度随水泥剂量的变化
Fig. 1 Relationship between compression strength and cement content for vibration molded recycled mixture

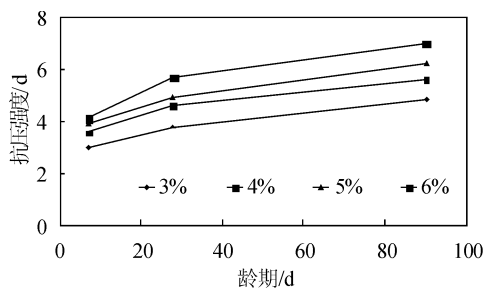


图 2 振动成型试件抗压强度随龄期增长曲线
Fig. 2 Relationship between compression strength and curing period for vibration molded recycled mixture

图 1 为无侧限抗压强度随水泥剂量增长曲线,可看出水泥剂量在 3%~6% 的范围内时,水泥冷再生粒料的无侧限抗压强度随水泥剂量增加而呈线性增长。从表 3 可看到振动法成型试件的无侧限抗压强度比静压法成型试件的无侧限抗压强度高约 13%~21%,各水泥剂量下强度增加平均幅度在 20%左右,偏差系数都很小,表明强度比值已处于稳定状态。

振动法成型试件的抗压强度要远高于静压法成型试件,原因是振动法成型试件密实度较大,且粗集料破碎情况较少,因此强度较大;而静压法成型试件的密实度较小,粗集料破碎情况相对严重,试件内薄弱面较多。当养生期较短时,试件的抗压强度主要靠其内部结构来提供,因此强度较小;随着龄期增长,水泥不断水化,试件强度也增大。静压法成型试件由于其内部薄弱面较多,无法充分发挥水泥对强度增长的作用,因此强度较低。

从图 2 中可以看出,水泥冷再生粒料的抗压强度随龄期增长而不断提高,但在各个阶段的增长速度不同:7~28 d 阶段的增长速度较快,28~90 d 阶段的增速则越来越缓慢。

2.2 劈裂强度

劈裂强度试验结果见表 4 和图 3~图 4。图 3 为劈裂强度随水泥剂量增长曲线,可看出水泥剂量在 3%~6% 变化时,劈裂强度随水泥剂量增加而增长,与抗压强度变化规律一致。这是由于水泥胶结作用对材料抗拉性能起主要作用,在一定范围内,水泥剂量越多,水泥水化产物越多,劈裂强度就越大。

图 4 中材料的劈裂强度随龄期的增长而不断提高:7~28 d 阶段的增长速度较快,28~90 d 阶段的增长速度则越

表 2 水泥技术指标检验结果

Tab. 2 Properties of cement			
水泥种类	技术指标	试验结果	规范要求
42.5 级普通硅酸盐水泥	初凝时间/min	129	≥90
	终凝时间/min	256	≤600
	安定性(沸煮法)	合格	必须合格
	抗压强度 3 d /MPa	18.7	≥16.0
	28 d	53.2	≥42.5
	抗折强度 3 d /MPa	5.1	≥3.5
	28 d	6.9	≥6.5

表 3 振动成型水泥冷再生粒料抗压强度试验结果

Tab. 3 Compression strength of vibration molded cement cold recycling mixture				
成型方式	水泥用量 /%	各龄期的强度试验结果 /MPa		
		7 d	28 d	90 d
静压成型	3	2.39	3.18	4.01
	4	3.09	3.82	4.86
	5	3.39	4.35	5.42
	6	3.71	5.13	5.97
振动成型	3	2.97	3.79	4.85
	4	3.56	4.60	5.59
	5	3.91	4.89	6.20
	6	4.11	5.70	6.99

表 4 振动成型水泥冷再生粒料劈裂强度

Tab. 4 Splitting tensile strength of vibration molded cement cold recycling mixture				
成型方式	水泥用量 /%	各龄期的强度试验结果 /MPa		
		7 d	28 d	90 d
静压成型	3	0.192	0.369	0.486
	4	0.231	0.459	0.572
	5	0.251	0.536	0.632
	6	0.295	0.559	0.674
振动成型	3	0.179	0.519	0.701
	4	0.229	0.571	0.741
	5	0.291	0.649	0.778
	6	0.364	0.706	0.815

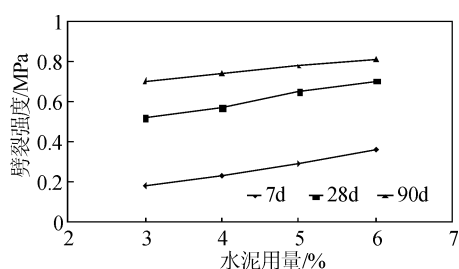


图3 振动成型冷再生粒料劈裂强度随水泥剂量的变化

Fig. 3 Relationship between splitting tensile strength and cement content for vibration molded recycled mixture

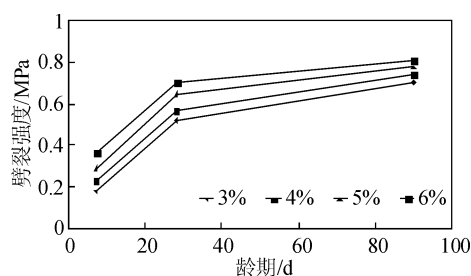


图4 振动成型冷再生粒料劈裂强度随龄期增长曲线

Fig. 4 Relationship between splitting tensile strength and curing period for vibration molded recycled mixture

来越缓慢,这主要是由于前期水泥水化较快,中后期缓慢,而劈裂强度与水泥的胶结能力有密切关系,因此表现出前期增长较快,中后期增长变缓的特征。

振动法成型试件的劈裂强度高于静压法成型试件,各龄期各水泥剂量下的强度平均增加幅度超过20%。原因是振动法成型试件密实度较大,水泥可充分发挥胶结作用,粗集料破碎情况较少,试件内薄弱面少,因此抗拉能力较强,劈裂强度也就较大。

2.3 抗压回弹模量

模量是评价材料刚度的指标,采用顶面抗压回弹模量试验,结果见表5和图5~图6。

振动成型试件的抗压回弹模量比静压成型的模量高11%~18%,平均增幅为15%,两种成型方式模量间的差异是因为两种方法成型的试件内部结构和密实程度差异较大,导致采用两种成型方法试件的整体性差异明显,不但对试件强度有影响,对试件刚度影响也很大。

从图5中可以看出:试件的抗压回弹模量随水泥剂量的增加而增长。原因是随着水泥剂量增加,材料整体性增强,刚度也增大。抗压回弹模量随龄期增长不断提高,但增长率逐渐趋缓。这是因为随龄期的增加,水泥水化产物越来越多,对集料的粘结作用越来越大,材料的整体性也越来越好,因此表现为材料刚度的不断增加;但是由于水泥水化有前期速度较快后期放缓的特点,所以其刚度增长也表现出相同的特点。

表5 振动成型水泥冷再生粒料回弹模量

Tab. 5 Resilient modulus of vibration molded cement cold recycling mixture

成型方式	水泥用量/%	各龄期的强度试验结果/MPa		
		7 d	28 d	90 d
静压成型	3	835	986	1 128
	4	913	1 101	1 294
	5	964	1 132	1 355
	6	1 052	1 240	1 412
振动成型	3	953	1 152	1 305
	4	1 033	1 257	1 512
	5	1 083	1 289	1 611
	6	1 257	1 435	1 598

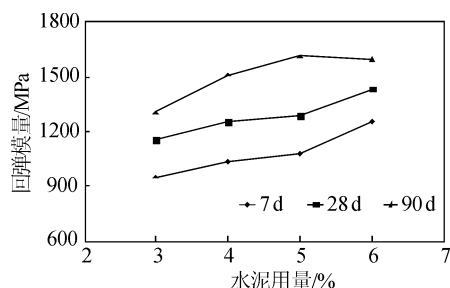


图5 振动成型试件模量随水泥剂量的变化

Fig. 5 Relationship between resilient modulus and cement content for vibration molded recycled mixture

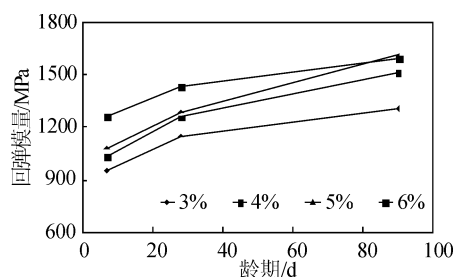


图6 振动成型试件模量随龄期增长曲线

Fig. 6 Relationship between resilient modulus and curing period for vibration molded recycled mixture

从表 5 中还发现振动法成型水泥剂量为 4% 试件的模量高于静压法成型水泥剂量为 5% 试件的模量,可见工程中不应为了获得较高的路用性能而单纯增加水泥剂量,试件成型方式会影响再生料的水泥用量.

3 振动成型冷再生粒料路用性能研究

按设计材料配比采用振动法成型试件,通过与静压法成型试件的对比试验,研究振动成型水泥冷再生粒料的路用性能.

3.1 冻稳定性

为了评价振动成型水泥冷再生粒料的冻稳定性,对 4% 和 5% 水泥剂量,龄期为 28 d 和 90 d 的试件进行了冻融循环试验,其结果见表 6 和图 7.

相同龄期下随水泥剂量的增加,材料耐冻系数不断提高.原因是水泥剂量直接影响水泥水化产物的多少,水化产物越多,材料的内部空隙体积也越小,冻稳定性也就越好.因此,水泥剂量越大,材料的冻稳定性越好.随着养生龄期的增长,材料的抗冻融系数不断提高.随龄期增长,水泥水化产物增多,材料的内部空隙体积减小,水结冰所产生的内应力也相应地减小,所以表现出更好的冻稳定性.其他条件相同时,振动法试件的抗冻系数要高于静压法试件,原因是其具有更好的密实度,内部空隙体积更小,抗冻性能也就更强.

3.2 抗冲刷性能

为了评价振动成型水泥冷再生粒料的抗冲刷性能,采用基层材料冲刷试验机进行抗冲刷试验,结果如表 7.

从表 7 可以看到:相同成型方式和相同水泥剂量的材料,28 d 龄期冲刷量大于 90 d 龄期冲刷量.通过冲刷机理分析可知,混合料中细料含量与冲刷量有很大关系,细料含量越多,粒径越小,冲刷现象越明显.水泥水化产物为胶结物,具有稳定和牵制细料成分不被动水压力冲刷掉的作用.随着龄期的增长,水泥水化越来越充分,水泥水化胶结物越来越多,稳定和牵制细料的能力也相应增强,所以冲刷量减小.

相同龄期和相同水泥剂量的水泥再生材料,振动法成型试件冲刷量要小于静压法成型试件的冲刷量.这是由于振动法试件密实程度高于静压法试件,使水泥水化产物能更充分地发挥胶结作用,稳定和牵制细料的效果也更好,因此冲刷量也更小.

4 结 论

- 论文通过和静压法对比,研究了振动成型法水泥冷再生路面材料的路用性能,得到了以下结论.
- (1)振动法成型试件的抗压强度远高于静压法成型试件,原因是振动法成型试件密实度较大,且粗集料破碎情况较少,因此强度较大.
 - (2)振动法成型试件的劈裂强度高于静压法成型试件,各龄期各水泥剂量下的强度平均增加幅度超过 20%.
 - (3)相同水泥用量和龄期下,振动成型试件模量普遍高于静压成型试件模量,表现出更好地抗变形特性.
 - (4)其他条件相同时,振动法成型试件的抗冻系数高于静压法成型的试件,其抗冲刷性能也优于静压法成型的试件.

表 6 振动成型冷再生粒料冻融试验结果

Tab. 6 Freeze-thaw test results for vibration molded cement cold recycling mixture

水泥用量 /%	试验参数	养生龄期	
		28 d	90 d
4	饱水强度/MPa	4.65	5.82
	冻融循环后强度/MPa	4.37	5.43
	耐冻系数 $K_{冻}$	0.940	0.933
5	饱水强度/MPa	5.18	6.37
	冻融循环后强度/MPa	4.97	6.14
	耐冻系数 $K_{冻}$	0.959	0.964

表 7 振动成型试件冲刷试验结果

Tab. 7 Erosion test result for vibration molded cement cold recycling mixture

试验时间 /min	振动成型累计冲刷量/g		静压成型累计冲刷量/g	
	28 d	90 d	28 d	90 d
30	42.5	37.0	46.9	41.0
45	54.2	51.3	60.9	55.3

注:表中累计冲刷量为去掉预冲刷的冲刷量.

参考文献 References

- [1] 严金海,倪富健,陶卓辉.改性乳化沥青-水泥就地冷再生混合料性能研究[J].公路交通科技,2009,26(9):41-45.
YAN Jin-hai, NI Fu-jian, TAO Zhuo-hui. Research on performance of modified asphalt emulsion-cement cold In-place recycling mixture[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009,26(9):41-45.
- [2] 孔晨光.京福高速公路德州段再生集料刚性基层研究[D].济南:山东大学,2010.
KONG Chen-guang. Research of the rigid basement with recycled aggregate of JINGFU expressway DEZHOU section. Shandong Univ. Master degree dissertation, 2010.
- [3] 中华人民共和国交通运输部标准.JTG E51-2009,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].北京:人民交通出版社,2009.
China Traffic & Transportation Minister Standard. JTG E51-2009, Test Methods of Materials Stabilized with Inorganic Binders for Highway Engineering[S]. Beijing: People's Traffic Press,2009.
- [4] 中华人民共和国交通部标准.JTG 034-2000,公路路面基层施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2000.
China Traffic & Transportation Minister Standard. JTG 034-2000, Base Construction Specification for Highway Engineering [S]. Beijing: People's Traffic Press, 2000.
- [5] 钟梦武,吴超凡,于永生,等.掺加水泥的乳化沥青冷再生沥青混合料设计方法研究[J].公路,2008(1):195-199.
ZHONG Meng-wu, WU Chao-fan, YU Yong-sheng, et al. A Study on design method of cold reclaimed mixture using emulsion asphalt and cement[J]. Highway, 2008(1):195-199.
- [6] 张倩,孟小荣,闫雯.降水对沥青结合料组分影响的化学机制分析[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2010,42(5):669-673.
ZHANG Qian, MENG Xiao-rong, YAN wen. Analysis on chemical mechanism of effects on asphalt binder caused by precipitation[J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. :Natural Science Edition, 2010,42(5):669-673.

Study of properties of cold recycling mixture based on vibration molding

WANG Yong-bing¹, YING Guo-qiang¹, HU Jian-lin¹, ZHANG Qian², GENG Jiu-guang³

(1. Quzhou Traffic Design Co., Ltd, Quzhou 324002, China; 2. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 3. Department of Material Science, Chang'an Univ., Xi'an 710064, China)

Abstract: Properties of the vibration molding cement cold recycling mixture are tested using a series of laboratory experiment and are compared with the same properties of statically pressed specimens. It is found that with the same cement content and under the same curing condition, vibration molding specimens have such better mechanical properties as compression strength, splitting tensile strength, resilience modulus as well as better performance like frozen stability and erosion resistance. The study also shows that the same property requirement can be achieved at lower cement content if the vibration molding is employed. The vibration molding method can not only save cement, but also enhance the anti-cracking property of the recycled base. The use of vibration molding should be promoted.

Key words: road engineering; pavement recycling; vibration molding; cold-recycling mixture; properties