

文章编号:1671-8879(2009)01-0010-05

水泥-乳化沥青冷再生混合料配合比设计

耿九光¹,陈忠达¹,李 龙²,戴经梁¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,陕西 西安 710064;

2. 中交远洲交通科技集团有限公司,河北 石家庄 050051)

摘 要:为了研究水泥-乳化沥青冷再生混合料(CEACRM)中各材料对其初期强度及后期残留强度的影响,选用 2 种回收沥青混合料(RAP)的质量分数,按正交试验方法选取水泥用量、乳化沥青用量和拌和水用量 3 个影响因素,在 3 个水平条件下进行 CEACRM 的配合比设计试验,并对试验结果进行了极差分析。结果表明:水泥和乳化沥青对再生混合料强度的影响程度随 RAP 质量分数不同而异,RAP 质量分数较低时,乳化沥青对 CEACRM 的初期和后期强度均起主导作用;在 RAP 质量分数较高时,水泥对 CEACRM 的初期强度起主导作用,乳化沥青对 CEACRM 的后期强度起主导作用;拌和水用量是对强度影响最弱的因素。因此,建议 RAP 质量分数较低时选用 2%(质量比)的水泥用量;在 RAP 质量分数较高时,水泥用量应综合成本因素来考虑。

关键词:道路工程;冷再生沥青混合料;水泥;乳化沥青;配合比设计;正交试验

中图分类号:U414. 217

文献标志码:A

Mixing design of cement-emulsified-asphalt-cold-recycled-mixture(CEACRM)

GENG Jiu-guang¹, CHEN Zhong-da¹, LI Long², DAI Jing-liang¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an

University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Chinese Yuanzhou Transport

Technology Limited Corporation, Shijiazhuang 050051, Hebei, China)

Abstract: In order to evaluate the effect of different materials on the strength of CEACRM, the mixing design experiments of CEACRM with two kinds of reclaimed-asphalt-pavement(RAP) mass ration were conducted. In the orthogonal tests three factors of cement's mass ration, emulsified asphalt's mass ration and water's mass ration were considered with three levels adopted in every factor. On the basis of variance analysis of the test results, the effect of the factors on the strength of recycled mixture was investigated. The result shows that the cement's mass ration and emulsified asphalt's mass ration have different effects on the strength of recycled mixture with different RAP mass ration; the emulsified asphalt has the main effect on the initial strength and anaphase strength of CEACRM when the RAP mass ration is low; the cement has the main effect on the initial strength, and the emulsified asphalt has the main effect on the anaphase strength of CEACRM when the RAP mass ratio is high; the water's mass ratio has the least

收稿日期:2008-03-15

基金项目:河南省交通科技计划项目(2004P222)

作者简介:耿九光(1982-),男,河北博野人,工学博士研究生,E-mail:gengjiuguang@163.com。

effect on the strength; the optimum mass ratio of the cement is 2% when the low RAP mass ratio is low, and the optimum mass ratio of the cement should be confirmed according to the cost analysis result when the RAM mass ratio is high. 7 tabs, 2 figs, 9 refs.

Key words: road engineering; asphalt cold recycled mixture; cement; emulsified asphalt; mixing design; orthogonal experiment

0 引言

乳化沥青冷拌再生技术在环境保护和社会经济效益方面均具有热拌沥青混合料无法比拟的优点,根据其性能和工程要求,可以作为高等级公路的中、下面层或基层,也可作为中、低交通量道路的面层,具有广泛的应用前景^[1-2]。但是,由于乳化沥青再生混合料(emulsified asphalt recycled mixture, EARM)的初期强度较低,因而使其在工程中的应用受到限制^[3]。为了有效解决这一问题,借鉴水泥对乳化沥青混合料的改善作用^[4],采用在 EARM 中加入适量水泥的方法,提高 EARM 的初期强度及后期残留强度^[5]。由于受回收沥青混合料(RAP)表面沥青的影响,水泥对 EARM 的作用与对乳化沥青混合料的改性作用明显不同,所以不能简单套用水泥乳化沥青混合料的设计经验。为此,本文采用进一步修正的马歇尔试验方法,按正交试验方法进行水泥-乳化沥青冷再生混合料(CEACRM)配合比设计试验,分析水泥用量、乳化沥青用量和拌和用水量等不同因素对再生混合料强度的影响,并据此提出各种材料的适用范围。

1 试验材料

1.1 结合料

本文采用的乳化沥青蒸发残留物质量分数为 55%,具体技术指标如表 1 所示。水泥为秦岭牌 32.5 级普通硅酸盐水泥,其主要技术指标均满足规范^[6]要求。

表 1 基质沥青与乳化沥青蒸发残留物指标

技术指标	基质沥青	乳化沥青蒸发残留物
25 ℃针入度/0.1 mm	85	94
15 ℃延度/cm	>150	126
软化点/℃	48	51

1.2 新集料

新集料选用碱性石料,材料各项指标均满足文献^[7]的要求。

1.3 回收沥青混合料

RAP 的品质是整个再生路面设计的基础,RAP 采用河南某高速公路维修中的旧料。经抽提试验,RAP 中沥青质量分数为 4.1%,回收沥青性能如表 2 所示,RAP 抽提筛分结果见表 3,其级配有一部分不满足要求,需添加新集料进行调整。

表 2 回收沥青的性质与 RAP 沥青质量分数

技术指标	测试值
25 ℃针入度/0.1 mm	46
15 ℃延度/cm	5.6
软化点/℃	55
RAP 中沥青质量分数/%	4.1

2 试验方法

2.1 试验设计

为了研究不同因素对 CEACRM 强度的影响,最终确定其配合比,本文分别在 RAP 质量分数为 50%和 20%的条件下,考虑水泥用量、乳化沥青用量和拌和用水量 3 种因素,选用 L9(3⁴)正交表进行正交设计试验,因素水平的选取见表 4(见下页),所用级配类型为 AC-16 型,同时进行 EARM 的对比试验。

2.2 CEACRM 初期与后期马歇尔稳定度试验

目前,对 CEACRM 的研究都是按照适于乳化沥青混合料的修正马歇尔试验方法进行的。但该方法提出的 24 h 后的二次击实,会把已形成一定强度的水泥石击碎,破坏水泥与石料间的粘结;且其用于反映混合料后期强度的高温养生方法(110 ℃)遏制了水泥的水化反应,不能体现水泥对乳化沥青混合料高温性能的影响。多项研究认为,CEACRM 在 60 ℃

表 3 RAP 矿料级配

项 目	各筛孔(方孔筛,mm)通过率/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
规范上限	100	92	80	72	56	44	33	24	17	13	7
规范下限	100	78	62	50	26	16	12	8	5	4	3
RAP 矿料级配	100	93.6	85.0	79.5	59.5	42.0	31.6	25.0	15.7	11.0	8.0

表 4 正交试验因素水平

RAP 质量分数/%	水平	因素		
		A	B	C
		水泥质量分数/%	乳化沥青质量分数/%	拌和水质量分数/%
20	1	1	7	5.0
	2	2	8	5.5
	3	3	9	6.0
50	1	1	6	4.0
	2	2	7	4.5
	3	3	8	5.0

注:各种材料的质量分数均为该材料质量相对于 RAP 与新矿料总质量的比例。

的烘箱中养生是较合适的。本文在文献[8-9]的基础上,对试件成型及养生条件做了进一步修正。

(1)成型两组试件,其中一组放在室温(20℃)条件下进行恒温、恒湿养生,在 20℃条件下试压;另一组试件放在 60℃恒温、恒湿养护箱内养生,然后在 60℃条件下试压。这两组试件分别反映混合料的初期强度和后期强度。

(2)试件制作时,上下两面击实,击实次数为 75 次,分两次进行。第一次击实在混合料拌制入模时进行,击实次数为 50 次;第二次击实在水泥初凝时

进行(水泥在 20℃下,初凝时间一般为 3 h;在 60℃下,初凝时间一般为 1 h),击实次数为 25 次。二次击实后将试件脱模养生,并进行稳定度试验。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

CEACRM 正交配合比试验结果见表 5;极差分析结果见表 6(见下页)。表 6 中 $K_i(i=1,2,3)$ 为表 5 中不同因素的同一水平所对应的试验结果的均值; R 为直观分析法中的极差,EARM 配合比试验结果见表 7(见下页)。

3.2 水泥用量对 CEACRM 强度的影响

(1)从表 5、表 7 可以看出,在乳化沥青用量一定的情况下,RAP 质量分数为 20%时,CEACRM 的初期强度和后期强度均有提高,说明水泥有利于混合料强度的形成。当工程需要较高的初期强度时,可适当提高水泥的用量。但有研究^[3]认为,当水泥用量较高时,混合料的疲劳性能较差;水泥质量分数不超过 2%时,不会明显降低其抗疲劳特性能。因此,考虑 CEACRM 的综合性能,水泥质量分数取 2%较合适。

(2)RAP 质量分数为 50%时,CEACRM 的初期

表 5 正交试验结果

试验编号	RAP 质量分数为 20%					RAP 质量分数为 50%				
	水泥质量分数/%	乳化沥青质量分数/%	拌和水质量分数/%	初期稳定度/kN	后期稳定度/kN	水泥质量分数/%	乳化沥青质量分数/%	拌和水质量分数/%	初期稳定度/kN	后期稳定度/kN
1	1	7	5.0	10.20	9.40	1	6	4.0	5.86	2.57
2	1	8	5.5	9.35	9.47	1	7	4.5	7.24	4.43
3	1	9	6.0	7.59	8.02	1	8	5.0	8.37	5.79
4	2	7	5.5	11.89	12.38	2	6	4.5	7.18	5.09
5	2	8	6.0	8.80	10.61	2	7	5.0	8.60	6.99
6	2	9	5.0	7.90	9.23	2	8	4.0	9.75	7.43
7	3	7	6.0	12.97	12.31	3	6	5.0	9.35	5.78
8	3	8	5.0	10.15	9.86	3	7	4.0	11.39	6.57
9	3	9	5.5	9.81	8.55	3	8	4.5	12.82	8.32

强度随着水泥用量的增加而增大,且 CEACRM 的初期强度普遍高于 EARM。从极差分析结果也可看出,水泥用量对 CEACRM 初期强度的影响要大于乳化沥青用量的影响。分析其原因为:①水泥的水化吸收了一定量的拌和水,加速了乳化沥青的破乳,促进了混合料强度的形成;②在新集料之间,水泥水化产物的胶结作用也有利于强度的形成;③水泥石在新集料表面的聚集,在某种程度上改变了集料表面的粗糙度,提高了混合料的内摩擦阻力;④随着水泥水化反应的不断进行,生成的水化物切断了

混合料内部相连的微孔,形成均匀、密实、孔隙闭合的整体,提高了混合料的总体强度。随着水泥用量的增加,水泥的作用将随之增强,混合料的初期强度因而也得到提高。

(3)RAP 质量分数为 50%时,CEACRM 的后期强度亦随着水泥用量的增加而增大,但后期强度低于 EARM。其原因为,在 RAP 比例较高的情况下,水泥的水化产物并不能充分地在旧料表面起到胶粘作用,反而由于水泥石的生成阻碍了混合料的进一步密实,导致矿料间的距离增大,使沥青的胶结

表 6 正交试验极差分析结果

RAP 质 量分数/%	强度	因素	K_1	K_2	K_3	R
20	初期 强度	A	9.05	9.53	10.98	1.93
		B	11.69	9.43	8.43	3.26
		C	9.42	10.35	9.79	0.93
	后期 强度	A	8.96	10.74	10.24	1.78
		B	11.36	9.98	8.60	2.76
		C	9.50	10.13	10.31	0.81
50	初期 强度	A	7.16	9.51	12.19	5.03
		B	8.13	9.74	10.98	2.85
		C	9.67	9.75	9.44	0.31
	后期 强度	A	4.26	6.50	6.89	2.63
		B	4.48	6.00	7.18	2.70
		C	5.52	5.36	6.19	0.83

表 7 CEACRM 试验结果

试验 编号	RAP 质量 分数/%	拌和水质 量分数/%	乳化沥青 质量分数/%	初期稳定 度/kN	后期稳 定度/kN
1	20	5.5	7	5.10	6.83
2			8	4.92	6.55
3			9	4.31	6.34
4	50	4.5	6	5.13	9.92
5			7	5.58	8.84
6			8	5.56	7.76

作用不能得到充分发挥。从极差分析结果可以看出,水泥用量对混合料后期强度的影响要小于乳化沥青用量的影响。这说明,只有随着乳化沥青用量的增加,才能有更多的沥青裹覆水泥的水化产物,从而能够通过沥青来完成水泥水化产物与旧料之间的粘结;但另一方面,这将直接导致了沥青用量的增加,增加了工程投资。因此,在 RAP 质量分数较高的情况下(大于 50%)不宜添加水泥;若为了提高初期强度,水泥用量应综合成本因素来考虑。

3.3 乳化沥青用量对 CEACRM 强度的影响

(1)RAP 质量分数为 50%时,在水泥用量一定的情况下,CEACRM 的强度随着乳化沥青用量的增加而增加。从极差分析结果可以看出,乳化沥青用量对 CEACRM 初期强度的影响不如水泥,后期强度的影响要大于水泥,但两者影响程度相近。考虑成本因素,乳化沥青用量宜选择较低值,只要能满足对强度的要求即可。

(2)RAP 质量分数为 20%时,在水泥用量一定的情况下,混合料的初期强度随着乳化沥青用量的增加而递减。因为乳化沥青用量增加,被沥青裹覆的水泥量也就相应增加,从而延缓了水泥的水化反应,减弱了水泥的胶结作用。

(3)当水泥质量分数为 2%、3%时,CEACRM 的后期强度随着乳化沥青用量的增加而递减;而当水泥质量分数为 1%时,CEACRM 的后期强度随着乳化沥青用量的增加而产生了波动。为了更好地寻求其规律性,在水泥质量分数为 1%和 3%的情况下,改变乳化沥青的用量,对 CEACRM 进行了后期马歇尔稳定度试验,试验结果如图 1 所示。

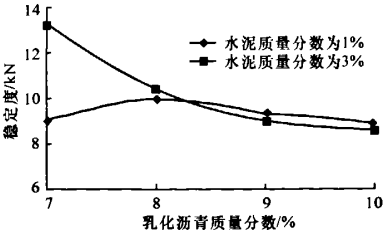


图 1 乳化沥青用量与后期稳定度的关系

从图 1 中曲线可以看出,水泥质量分数为 1%时,CEACRM 的强度随着乳化沥青用量变动而产生了一个峰值,但峰值两侧变化幅度较小;水泥质量分数为 3%时,CEACRM 的强度随着乳化沥青用量的减小而增大。由此可以判断:在单独使用水泥质量分数为 1%的胶结材料时,混合料较难形成强度,乳化沥青的加入增加了混合料中的胶结料,使混合料的强度得以提高。但随着乳化沥青用量的进一步增大,反而造成混合料强度的下降。在单独使用水泥质量分数为 3%的情况下,即可形成一定的强度,乳化沥青的加入反而阻碍了水泥的水化反应,导致混合料强度下降。因此,在进行 CEACRM 配合比设计时,可以根据图 1 中曲线来确定乳化沥青的最佳用量,尤其在水泥用量较低时更为合适。

3.4 拌和水用量对 CEACRM 强度的影响

从极差分析结果可以看出,拌和水用量是对 CEACRM 初期和后期稳定度影响最小的一个因素,因此很难根据现有的试验结果来确定最佳拌和水用量。为了确定拌和水用量,在水泥质量分数为 1%和乳化沥青质量分数为 8%的情况下,选用拌和水的质量分数分别为 4.5%、5.0%、5.5%、6.0%、6.5%的 5 种情况,成型马歇尔试件,进行后期马歇尔稳定度试验,结果如图 2 所示(见下页)。

观察拌和水用量与后期马歇尔稳定度的关系曲线,可以发现曲线存在一个峰值,即当拌和水用量小于此峰值时,后期马歇尔稳定度随着拌和水用量的增加而增加;当拌和水用量超过此峰值时,后期马歇尔稳定度随着拌和水用量的增加而减小,但在峰值两侧最近的 2 个数值与峰值相差并不大。在试验中

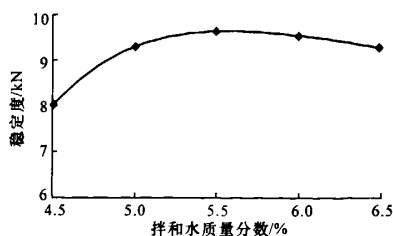


图2 拌和水用量与后期稳定度的关系

发现:拌和水质量分数为 4.5% 时,混合料不易拌和;拌和水质量分数为 6.5% 时,含水量明显偏多,不利于混合料的压实。因此,拌和水用量的选择,可以简化为由裹覆率试验确定。

4 结 语

(1)水泥和乳化沥青对 CEACRM 强度的影响程度随 RAP 质量分数不同而异。在 RAP 质量分数较低时,乳化沥青对 CEACRM 的初期和后期强度均起主导作用;在 RAP 质量分数较高时,水泥对 CEACRM 的初期强度起主导作用。对 CEACRM 的后期强度而言,乳化沥青起主导作用,但两者的影响程度相当。

(2)当 RAP 的质量分数较低时,加入水泥有利于 CEACRM 初期强度和后期强度的提高;考虑综合性能,建议选用质量分数为 2% 的水泥用量。

(3)在 RAP 质量分数较高的情况下,CEACRM 的强度随着水泥用量的增加而增大,但后期强度比加入水泥之前有所降低,此时不宜添加水泥,若为了提高初期强度,水泥用量应综合成本因素来考虑。

(4)拌和水用量是对 CEACRM 强度影响最小的因素,可以简化为用裹覆率试验来确定。

参考文献:

References:

- [1] 杨宇亮,孙立军,毛如麟,等.回收旧沥青混合料冷拌再生技术的研究[J].公路交通科技,2002,19(6):38-40.
- [2] 张志祥,吴建浩.再生沥青混合料疲劳性能试验研究[J].中国公路学报,2006,19(2):31-35.
ZHANG Zhi-xiang, WU Jian-hao. Experimental research on fatigue characteristics of RAP mixtures[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(2):31-35.
- [3] 李 龙.沥青混合料再生利用研究[D].西安:长安大学,2003.
- [4] 胡力群,沙爱民.振碾式乳化沥青-水泥混凝土的路用性能[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(2):12-15,29.
HU Li-qun, SHA Ai-min. Road performance of vibration-compaction emulsified-asphalt cement concrete [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(2):12-15, 29.
- [5] Ramzi T, Ali A H, Khalid A S, et al. Cement stabilization of reclaimed asphalt pavement aggregate for road bases and subbases[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2002, 14(3):239-245.
- [6] JTJ 034—2000,公路路面基层施工技术规范[S].
- [7] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [8] 高 英,凌天青,乔冠华,等.水泥-乳化沥青混合料配合比设计[J].同济大学学报,1998,26(6):674-677.
GAO Ying, LING Tian-qing, QIAO Guan-hua, et al. Proportioning of cement-emulsified asphalt mixture [J]. Journal of Tongji University, 1998, 26(6):674-677.
- [9] 高 蕾,陈拴发.配合比设计参数对高性能混凝土抗冻性敏感特性的影响[J].交通运输工程学报,2006,6(4):27-31.
GAO Lei, CHEN Shuan-fa. Influence of mix-designed parameters on frost thaw resistance of high performance concrete[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(4):27-31.