

文章编号: 0451—0712(2005)11—0180—04

中图分类号: U414. 103

文献标识码: A

水泥稳定碎石基层合理水泥用量和级配的确定

曹光伦¹, 陈发根¹, 杨牧盘², 倪富健³

(1. 安徽省交通投资集团公司 合肥市 230011; 2. 安徽省公路桥梁工程公司 合肥市 230031;

3. 东南大学交通学院 南京市 210096)

摘 要: 通过室内试验研究了水泥稳定碎石基层混合料的强度和收缩性能,对其性能的影响因素和影响规律进行了分析,并根据工地现场试验室的试验结果,确定了满足强度要求兼具较好抗裂性能的水泥稳定碎石基层混合料配合比方案。室内试验研究表明随着水泥用量的增大,混合料的强度和收缩均会增大,因此建议在满足强度要求的基础上,尽量减小水泥用量以同时获得良好的收缩性能。

关键词: 水泥稳定碎石; 强度性能; 干缩; 温缩

水泥稳定碎石混合料因其强度高、稳定性好、抗冲刷能力强以及工程造价低等特点,被广泛应用于我国的高等级公路基层建设中。其几十年的工程实践表明,水泥稳定碎石混合料在道路建成初期发生的收缩(包括干燥收缩和温度收缩),并由此引起的“反射裂缝”,已成为路面的主要病害之一。因此,在进行水泥稳定碎石混合料的配合比设计时,有必要研究其强度性能和收缩规律,以减少此类早期病害的发生。

蒙蚌高速公路位于安徽境内,路面结构为典型的半刚性基层沥青路面,为了完成其水泥稳定碎石基层混合料的配合比设计,本文首先通过室内无侧限抗压强度试验,研究了影响水泥稳定碎石混合料强度的因素及其影响规律;然后通过干缩和温缩试

验,研究了影响水泥稳定碎石混合料收缩性能的各种因素及其影响规律;并结合现场试验室的试验结果和试验段试铺情况,在保证混合料强度的基础上,提出了具有良好收缩性能的混合料配合比方案。

1 混合料强度性能研究

强度是水泥稳定碎石混合料的重要指标,是进行混合料配合比设计的基础。对于基层,首先要满足承重传荷的要求,其路用性能的其他方面必须在满足强度的基础上加以改善和提高。本文按照规范^[3]进行7 d无侧限抗压强度试验,根据试验结果分析水泥用量、集料级配对混合料强度的影响规律。

1. 1 原材料性能检验

原材料主要包括水泥和集料,经检验,二者各项

收稿日期: 2005—04—01

要求,推荐经试验分析后的配合比如表9所示。

表9 室内试验综合比较推荐配合比

水灰比	用水量 kg	粉煤灰代水泥量 %	砂率	多功能膨胀剂 (JP-2)掺量/%
0. 38	185	5	0. 35	11

4 结论

本次试验工作从2000年5月13日开始,直到2001年5月结束,进行了多次的强度和膨胀率试验观测,经过反复对比试验和分析,最后才选取了如表9所示的优化合理的高性能混凝土配合比。但是在

工程现场配料时,还必须结合具体情况进行具体分析和处理。

参考文献:

- [1] JTJ 053—94,公路工程水泥混凝土试验规程[S].
- [2] JTJ 054—94,公路工程石料试验规程[S].
- [3] JTJ 041—89,公路桥涵施工技术规范[S].
- [4] GBJ 140—90,粉煤灰混凝土应用技术规范[S].
- [5] JTJ 058—94,公路工程集料试验规程[S].
- [6] 陈宝春,编著. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.

技术指标均满足相关规范^[3]要求。

1.2 级配选择

为研究集料级配变化对混合料性能的影响规律,选择了两种不同级配:一是规范^[4]中集料级配范围中值,称为中值级配(下同);另一种是 4.75 mm 孔径的通过量变为 29%,称为粗级配(下同)。对现场的 3 种集料,取代表性试样进行筛分,其中 1 号料为粗集料,2 号为瓜子片,3 号为米砂。根据 3 种集料的筛分结果配制目标级配,得到中值级配的配合比为 1 号料:2 号料:3 号料=25:52:23,粗级配的配合比 1 号料:2 号料:3 号料=42:43:15,级配组成如表 1 所示。

表 1 两种集料级配组成

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
规范中值	100	95.0	80.5	57.0	39.0	26.0	15.0	3.5
合成 1	100	93.9	79.5	60.3	39.7	26.0	12.6	2.2
调整的粗级配	100	85.0	70.5	47.0	29.0	16.0	5.0	0
合成 2	100	89.7	65.6	45.8	28.8	18.5	9.0	1.4

表 2 7 d 无侧限抗压强度值

水泥用量 %	级配类型	试件个数	压力均值 kN	标准差 kN	变异系数 C_v /%	无侧限抗压强度 R_7 MPa	$R_d/(1-Z_\alpha C_v)$ MPa
4.0	中值级配	9	38.3	3.4	9	2.2	3.52
4.5	中值级配	9	50.8	3.6	7	2.9	3.39
5.0	中值级配	9	59.4	3.8	6	3.4	3.32
5.5	中值级配	9	63.8	4.1	6	3.6	3.32
4.0	粗级配	9	37.4	3.8	10	2.1	3.59
4.5	粗级配	9	38.6	2.9	8	2.2	3.45
5.0	粗级配	9	47.5	5.3	11	2.7	3.66
5.5	粗级配	9	52.6	8.6	16	3.0	4.07

按照规范^[3]中规定的强度评价方法,如式(1)。对 8 种混合料强度数据整理,如表 2,从中可以看出,水泥用量为 5.0%和 5.5%的中值级配强度满足要求。

$$R_7 \geq R_d / (1 - Z_\alpha C_v) \tag{1}$$

式中: R_7 为强度平均值,MPa; R_d 为强度要求(3~5 MPa); C_v 为变异系数,%; Z_α 为标准正态分布表中随保证率 α 而变的系数,当 $\alpha=95\%$ 时(高速公路及一级公路要求), Z_α 为 1.645。

需要说明的是,由于室内试验所采用的集料含泥量过大,导致集料与水泥粘结不好,强度有所下降。另外,室内试验是在 2 月份进行的,养生温度偏低,养生效果不够好,也导致了强度值的减小。但试

1.3 混合料击实试验

在试件成型前,需通过击实试验确定其最佳含水量 $\omega_0(\%)$ 和最大干密度 $\rho_d(g/cm^3)$ 。试验方法按规范^[4]中给出的击实试验的丙法:分三层分别进行重型击实,每层击 98 下,而后测定混合料实际含水量并计算相应的干密度。据此绘制击实曲线,并由曲线定出混合料最佳含水量 $\omega_0(\%)$ 和最大干密度 $\rho_d(g/cm^3)$ 。对 2 种级配(中值级配和粗级配)、4 种水泥用量(4.0%、4.5%、5.0%、5.5%)共 8 种混合料分别进行击实试验,得出混合料最佳含水量和最大干密度,根据这两组数据计算材料组分,制备室内试验所需的各种试件。

1.4 无侧限抗压强度试验

进行 7 d 无侧限抗压强度试验,试验方法按照规范^[4]要求:成型 $\phi 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 试件,并用塑料薄膜密封,在标准养护条件(温度 25℃,湿度 90%以上)下,养生 6 d,第 7 d 进行浸水养生,然后测试其饱水无侧限抗压强度,试验结果如 2 表示。

验结果仍反映出较明显的规律性,具有一定的研究参考价值。

图 1 为强度随水泥用量的变化情况,从中可以看出以下 2 点。

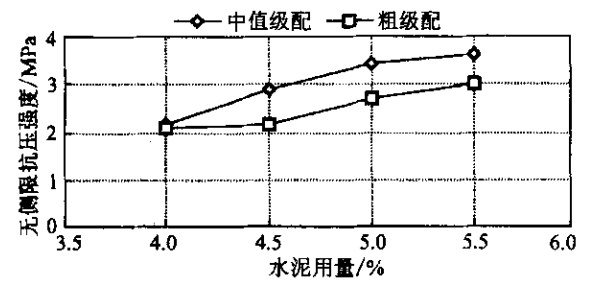


图 1 强度随水泥用量变化情况

(1) 随着水泥用量的增加,混合料 7 d 无侧限抗压强度逐步增长,因此,水泥用量的多少对混合料强度影响十分显著,增加水泥用量可以增加混合料的强度。

(2) 水泥用量为 4% 时,两种级配混合料的强度差别不大,在其他的水泥用量下,中值级配混合料的强度要比粗级配的大 20%~30%。

2 混合料收缩性能研究

按最佳含水量和最大干密度制备混合料试件,采用由长安大学研制生产的 WGD 高低温交变箱^[2]进行干缩和温缩试验,以研究混合料的收缩性能。

2.1 混合料干缩试验

制作 100 mm×100 mm×400 mm 的梁式试件,脱模后放入养护室,保温、保湿养护 7 d 后,进行干缩试验。在试验中采用电测法测量混合料的干缩应变,在 40℃ 恒温条件下测定一定时间间隔(时间间隔设为 2 h、2 h、4 h、4 h、12 h、24 h)后试件的干缩应变和含水量。不同水泥用量和级配的混合料的最大干缩应变如图 2 所示,从中可以看出以下 2 点。

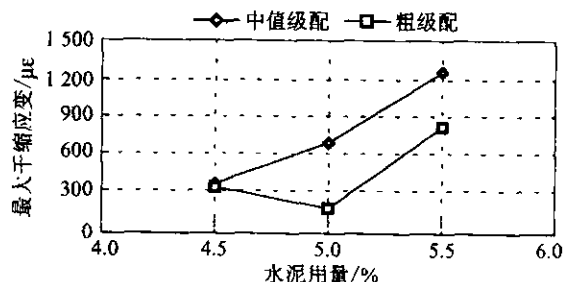


图2 水泥用量与最大干缩应变关系

(1) 水泥用量越大,混合料的最大干缩应变越大。如对于中值级配,水泥用量为 4.5% 时,最大干缩应变为 356 με,水泥用量为 5.5% 时,最大干缩应变增大到 1 264 με。

(2) 粗级配混合料的最大干缩应变要小于中值级配混合料。

2.2 混合料温缩试验

工程实践表明基层施工完毕后一周内是收缩裂缝的大量产生期,为了分析水泥稳定碎石在施工初期的温缩性能,本次温缩试验在试件养生 7 d 后进行^[5]。温缩试验的试件制作、应变测量方法与干缩试验一致,不同的是将试件放入高低温交变箱后,按设定的温度间隔(5℃或 10℃)降温并测定其收缩应变值。试验结果如图 3 所示,从中可以看出:水泥用量

对混合料温缩的影响规律不明显,粗级配混合料的最大温缩应变比中值级配的要大。

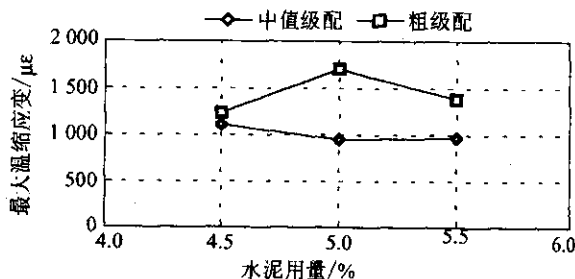


图3 水泥用量与最大温缩应变关系

2.3 整体收缩性能分析

施工中,水泥稳定碎石混合料拌和、摊铺和碾压的温度一般为 15~40℃,而此时混合料也在同时发生干缩和温缩,所以研究混合料在这一温度区间内的整体收缩性能具有重要意义。整体收缩包括干缩和温缩,对 6 种混合料分别考虑了一定失水率时(0.5%、2.0%),不同温差下 5℃(15~20℃)、10℃(15~25℃)、15℃(15~30℃)、25℃(15~40℃))干缩应变和温缩应变的总和,以较为直观地比较 6 种混合料收缩性能的优劣。图 4 和图 5 给出了不同失水率和温差下混合料的整体收缩应变。其中,中-5 指中值级配混合料在温差为 5℃(15~20℃)时的干缩应变与温缩应变之和,其他图示依此类推。从图 4、图 5 中可以看出以下 2 点。

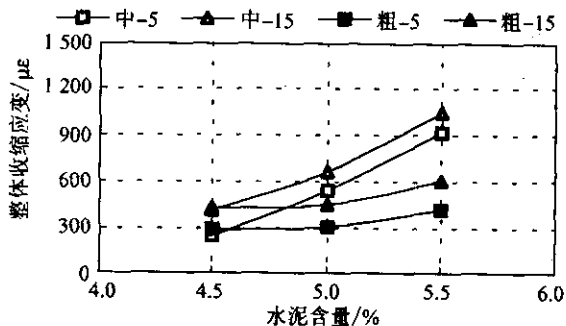


图4 失水率为 0.5% 时不同温降下的整体收缩

(1) 失水率大,温差大会直接导致整体收缩增大。

(2) 水泥用量大的混合料整体收缩应变较大;虽然集料级配对干缩和温缩的影响规律不同,但对整体收缩的影响非常有规律,中值级配混合料的整体收缩应变较大。因此,为降低混合料的整体收缩,应尽量选择较低的水泥用量和较粗的级配组成。

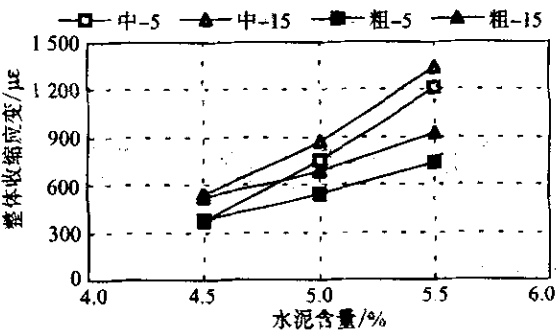


图 5 失水率为 1.5% 时不同温降下的整体收缩

3 现场试验情况

根据室内试验对强度和收缩性能的研究成果,蒙蚌高速公路各标段在现场分别进行了混合料的室内强度试验,试验结果如表 3 所示,各种级配类型的混合料强度都已达到了规范要求。另外,中心实验室还对路面 3 个试验段进行了基层取芯分析,芯样的离析、松散、厚度及强度都表现较好。

表 3 基层混合料抽样检测结果

标段	级配类型	级配组成 (1 号: 2 号: 3 号)	水泥用量 %	无侧限抗压强度 R_7 /MPa	$R_d/(1-Z_a C_a)$ MPa
01 标	中值级配	40 : 30 : 30	4.0	5.2	4.5
			4.5	5.9	4.9
	粗级配	42 : 30 : 28	4.0	4.7	3.8
			4.5	4.7	3.9
02 标	中值级配	28 : 40 : 32	4.0	3.9	3.4
			4.5	4.1	3.6
	粗级配	32 : 40 : 28	4.0	4.0	3.5
			4.5	4.4	4.0
03 标	中值级配	40 : 30 : 30	4.0	4.2	3.9
			4.5	5.4	4.5
	粗级配	42 : 30 : 28	4.0	3.7	3.1
			4.5	4.8	3.9

通过对各标段试验段施工报告的分析讨论,工地总监办对各标段进行了配合比批复,选用强度相对较高的级配类型,在此基础上尽量减少水泥用量。最后决定各标段的配合比方案为:01 标采用 4.0% 的水泥用量,按 40 : 30 : 30 的集料级配施工;02 标采用 4.3% 的水泥用量,按 32 : 40 : 28 的集料级配施工;03 标采用 4.3% 的水泥用量,按 40 : 30 : 30 的集料级配施工。

最后决定降低水泥用量的原因有以下 3 条。

(1) 按原水泥用量进行的相关试验和中心实验室的抽检结果表明:选用较低的水泥用量,混合料仍具有足够的强度。

(2) 减少水泥用量可以大大提高混合料的收缩性能,减少基层收缩裂缝的产生,实际情况是基层摊铺后 15 d 内未发现任何裂缝,在路面施工完毕 2 个多月的时候,也未出现任何早期损坏现象。

(3) 虽然在规范^[3]中,要求工地实际采用的水泥用量应比室内试验确定的剂量多 0.5%~1.0%,但蒙蚌工地采用集中厂拌法生产混合料,使用了较为先进的施工设备并实行严格的施工质量管理,可以保证较好的拌和、摊铺效果,故实际工程中增加量较小,水泥用量不超过 4.5%。

另外,降低水泥用量有明显的经济效益,该工程水泥稳定碎石总用量为 761 762 m³,混合料密度为 2.36 t/m³,各标段平均减少 0.8% 的水泥用量,以 280 元/t 的价格计算,共节约资金约 402 万元。

4 结论

(1) 对混合料强度和收缩性能的试验研究表明:水泥用量大的混合料强度较高、整体收缩也较大,中值级配混合料的强度和整体收缩比粗级配的要大。根据工地现场试验室的抽检结果和钻芯取样的检测结果,确定各标段的配合比方案为:选择强度较高的级配和较少的水泥用量。

(2) 本文建议在 7 d 无侧限抗压强度满足规范^[3]要求的前提下,应首先考虑降低水泥用量,其次是选择合适的集料级配,以保证所设计的水泥稳定碎石混合料既具有较高的强度,又具有良好的收缩性能。

参考文献:

[1] 沙爱民. 半刚性路面材料结构与性能[M]. 北京:人民交通出版社,1998.

[2] 长安大学公路学院. 半刚性基层材料干温缩试验方法征求意见稿[R].

[3] JTJ 034-2000,公路路面基层施工技术规范[S].

[4] JTJ 057-94,公路工程无机结合料材料试验规程[S].

[5] 江苏省交通科学研究所,等. 高等级公路二灰碎石基层裂缝机理及防治措施的研究[R]. 1997.

[6] Bartlett S, Farnsworth C. Performance of Lime Cement Stabilized Soils for the I-15 Reconstruction Project[M]. Salt Lake City, 2002.

文章编号: 0451-0712(2005)11-0184-03

中图分类号: U414.75

文献标识码: B

一种判断 SMA 粗集料嵌挤状态的简便方法

刘树堂^{1,2}, 郭忠印²

(1. 山东大学土建与水利学院 济南市 250061; 2. 同济大学交通运输工程学院)

摘 要: 无需通过马歇尔试验, 而依据对 SMA 空隙率、矿料间隙率及沥青饱和度等体积特性的标准要求, 反算出马歇尔试件毛体积相对密度应有的取值, 在此基础上提出了一种判断 SMA 粗集料嵌挤状态的简便方法。即, 只要反算的毛体积相对密度大于粗集料松装相对密度与粗集料用量的比值, 粗集料就能形成嵌挤状态。

关键词: SMA; 嵌挤状态; 判断; 简便方法

沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)是一种性能优良的沥青混合料, 随着高速公路的建设与发展, 其应用越来越普遍。跟普通热拌沥青混合料相比, SMA 突出的特点之一是具有良好的高温稳定性, 这种良好的高温稳定性主要源于 SMA 所具有的级配特性: 间断级配, 粗集料石—石接触形成骨架嵌挤状态。粗集料的嵌挤是 SMA 具备良好高温性能的根本保证, 因此, 在 SMA 配合比设计过程中必须做的一个工作是, 首先判定所选择的初试级配的粗集料能否形成嵌挤状态; 如果压实状态下沥青混合料中粗集料骨架间隙率不大于捣实状态下粗集料松装间隙率, 那么粗集料就能形成嵌挤, 否则形不成嵌挤状态, 而不

能形成嵌挤状态的级配是不能用于 SMA 的。按照文献[1]的要求, 也是实际工程中的一贯做法, 看粗集料是否形成嵌挤状态, 首先是通过松装密度、马歇尔击实和毛体积密度测试, 经计算获得前述两个间隙率指标, 然后直接加以比较判断。无疑, 这是判断嵌挤状态的根本方法, 但这种方法需要进行马歇尔试验获得压实试件、测试试件的毛体积相对密度, 且试验时要求一组马歇尔试件的数目不得少于 4~6 个, 而初试级配往往选择 3 组, 则共需马歇尔试件应不少于 12~18 个, 因此试验工作量较大, 试验用时较多。本文提出一种简便方法, 不需采用进行马歇尔试验、毛体积相对密度试验进而直接比较上述两个骨

收稿日期: 2005—04—30

Determination of Rational Cement Contents and Aggregate Gradations for Base of Cement Stabilized Crushed Stone

CAO Guang-lun¹, CHEN Fa-gen¹, YANG Mu-pan², NI Fu-jian³

(1. Anhui Traffic Investment Company, Hefei 230011, China; 2. Anhui Highway Engineering Company, Hefei 230011, China;

3. College of Traffic Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The performance of the strength and shrinking rules of base mixtures of cement stabilized crushed stone is studied in this paper by laboratory tests. On the basis of the field test results, the best cement content and the aggregate gradation for both high strength and better crack resistance are chosen. The laboratory test results indicate that the strength and the shrinkage of the semi-rigid material increase as the cement content increases. Therefore, the cement content should not be too much in order to get a low-shrinkage.

Key words: cement stabilized crushed stone; strength performance; dry shrinkage; temperature shrinkage