

文章编号:1671-8879(2006)01-0029-06

二灰碎石混合料配合比设计方法

滕旭秋^{1,2}, 陈忠达¹, 蒋万民³

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 西安 710064; 2. 兰州交通大学
土木工程学院, 兰州 730070; 3. 中交集团 第二公路工程局, 西安 710075)

摘要:为了改善二灰碎石基层的路用性能,尤其是提高其抗裂性能和抗冲刷性能,通过振实试验确定了粗集料的级配,并通过理论计算对试验结果进行了验证;同时采用正交试验方法确定了二灰砂浆的最佳配合比,并应用方差分析法确定了因子对试验指标作用的显著程度;最后通过体积法确定了粗集料与二灰砂浆的合理配合比。试验结果表明,该配合比的二灰碎石混合料的各项路用性能指标均优于《公路路面基层施工技术规范》推荐配合比的二灰碎石混合料的性能指标。

关键词:道路工程; 二灰砂浆; 骨架密实; 正交试验; 配合比设计

中图分类号:U414.1

文献标识码:A

Mix Ratio Design of Lime-fly-ash Stabilized-aggregates-mixtures

TENG Xu-qi^{1,2}, CHEN Zhong-da¹, JIANG Wan-min³

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 3. The Second Highway Engineering Bureau, Chinese Communications Construction Group, Xi'an 710075, China)

Abstract: In order to improve the pavement performance of lime-fly-ash stabilized-aggregates, especially to strengthen its anti-crack performance and anti-brushing performance, this paper determines the gradation of the mixed aggregates with the method of vibrating test, verifies the result of test by the theory calculation. The orthogonal test is utilized to determine the best mix ratio of lime-fly-ash mortar, the effect factor to the index of test is determined with the variance analytical method, the ratio of coarse aggregates to lime-fly-ash mortar is presented by the volume method. The test results indicate that the pavement performance of the lime-fly-ash stabilized-aggregates produced by this ratio is better than the one produced by the ratio of Chinese Highway Specifications. 14 tabs, 1 fig, 9 refs.

Key words: road engineering; lime-fly-ash mortar; skeleton-density; orthogonal test; mix ratio design

0 引言

现行《公路路面基层施工技术规范》(以下简称规范)^[1]推荐的集料级配经过长期的实践检验证实,

由于细集料含量相对较多,通常 0~5 mm 范围的细集料含量达到 30%~50%,若再加上二灰,那么二灰碎石混合料中细料含量将超过 50%,难以使粗集料形成良好的骨架结构,这对基层的抗收缩性能会

收稿日期:2005-01-16

作者简介:滕旭秋(1975-),女,黑龙江双鸭山人,长安大学工学博士研究生。

产生不利影响,而且也不利于施工控制;同时由于二灰稳定碎石基层的水稳性较差,当面层开裂后,在路表水和行车荷载的共同作用下,基层表面易产生冲刷,从而造成沥青路面的唧浆损坏^[2-3]。因此有必要对二灰碎石混合料的材料组成进行深入研究,以改善二灰碎石基层的路用性能,特别是提高其抗裂性能和抗冲刷性能,延长使用寿命^[4]。

1 配合比设计的指导思想

二灰碎石混合料可以看成是由粗集料($d \geq 4.75$ mm)、细集料($d < 4.75$ mm)和二灰三部分组成。将细集料加入二灰中,类似于水泥混凝土中的砂与水泥的混合物,故称为二灰砂浆^[5]。作为分散相,颗粒粒径小于 4.75 mm 的细集料分散在二灰基体相中,形成颗粒增强材料,因此细集料的加入可以明显改善二灰混合料的性能。利用砂浆替代纯二灰填充粗集料颗粒间空隙,可以改善二灰碎石基层的路用性能,特别是可进一步降低二灰碎石混合料的收缩^[6];在二灰碎石混合料的组成设计中,除了使二灰碎石混合料中的粗集料紧密排列,形成良好的骨架结构之外,密实的二灰砂浆应填满骨架间隙,并将骨架粘结成为整体,这样的结构形式是二灰碎石基层发挥优良路用性能的必要条件,也是进行配合比设计的指导思想。

2 粗集料级配设计

2.1 试验步骤

(1)规范规定,二灰稳定碎石用作基层时,集料颗粒的最大粒径不应超过 31.5 mm,所以本次试验确定主骨料规格 D_0 为 31.5 mm。

(2)以 D_0 的用量为 100, D_0 的下一级粒径记为 D_1 (19 mm),以 D_0 用量的 5% 为步长,将粒径为 D_1 的集料逐级填充到 D_0 中,建立填充数量与振实密度关系曲线。以振实密度取最大值时对应的 D_1 用量作为 D_1 的最终用量,计算出 D_0 与 D_1 的比例^[7]。

(3)依照以上方法进行二级填充,最后分别得到各级粒径的最佳填充比例。

通过试验,将混合料振实密度最大的一组试验数据作为粗集料的级配。

2.2 试验方法

试验用具包括台秤、铁制簸箕、容量筒、配重、砂表、钢板尺、游标卡尺和振动平台等。

将一定质量的集料在水泥地面上拌和均匀,分三次装入容量筒中,每装完一次,在振动平台上振实

一次,测量其最终(即第三次)振实后的体积,计算出振实密度^[5]。多次试验表明,混合料振动 2 min 与振动 5 min 后的振实密度相差不大,因此集料每次振实时间为 50 s,3 次总计振实时间为 150 s。

为了减小振实后粗集料体积测量的误差,在集料表面增加了一配重(配重为一个铁质的薄圆柱体,直径略小于容量筒内径,质量为 6 100 g)。一方面配重使粗集料表面在振动过程中自动找平;另一方面也可模拟压路机在材料表面的作用,并使粗集料的振实密度较快趋于稳定。

测量集料振实后的高度(测量取 8 个点的高度,取其平均值作为计算结果),计算集料经振实后的体积,再利用公式 $\rho = M/V$ 计算振实密度,并按式(1)计算空隙率

$$n = 1 - (\rho_{\text{集}} / \rho_{\text{集均}}) \quad (1)$$

式中: $\rho_{\text{集}}$ 为集料的振实密度,由振实试验确定; $\rho_{\text{集均}}$ 为集料的平均视密度,按照文献[2]的要求确定,若为几档集料构成的混合料,则取其加权平均值 $\rho_{\text{集均}}$

$$\rho_{\text{集均}} = 100 / \left(\frac{A_1}{\rho_1} + \frac{A_2}{\rho_2} + \frac{A_3}{\rho_3} + \dots + \frac{A_n}{\rho_n} \right)$$

式中: $\rho_{\text{集均}}$ 为集料的平均视密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); A_i 为第 i 档料的质量百分率(%); ρ_i 为第 i 档料的视密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。

2.3 振实试验结果

2.3.1 原材料性质

碎石采用石灰岩,取自河南省许昌市。试验严格按照文献[2]的要求进行,石料的压碎值为 17.1%,各档粗集料的视密度如表 1 所示。

表 1 各档粗集料视密度

粒径 Φ / mm	31.5~19.0	19.0~9.5	9.50~4.75
$\rho_{\text{集}} / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	2.806	2.711	2.684

2.3.2 试验结果

按照前述试验方法进行振实试验,取 15 kg、31.5~19 mm 粒径的集料,将 19~9.5 mm 粒径的集料逐级填充到 31.5~19 mm 粒径的集料中,试验结果见图 1 所示。

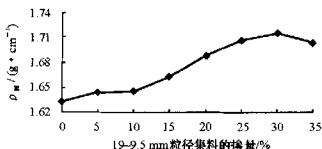


图 1 一级填充振实试验结果

由图1可以看出,当19~9.5 mm粒径集料的参量为30%时,混合料的振实密度最大。两档集料的百分比如表2所示。

表2 试验得出的两档集料百分比组成

粒径 ϕ /mm	31.5~19.0	19.0~9.5
集料含量/%	77	23

依据同样的方法,可测得当第一档料为15.0 kg,第二档料用量为第一档料用量的30%(4.5 kg)时,如果再填充30%(4.5 kg)的第三档料,那么混合料的振实密度最大。试验结果见表3所示。

表3 试验得出的三档集料百分比组成

粒径 ϕ /mm	31.5~19.0	19.0~9.5	9.50~4.75
集料含量/%	60	20	20

2.4 理论验证

由于试验数据具有一定的随机性和离散性,为了验证以上试验结果的可靠性,本文进行了相应的理论计算。现以一级填充为例说明一档集料用量的理论计算方法^[8-9],在计算前,首先测定各档集料的振实密度,具体试验结果见表4。

表4 各档集料振实密度

粒径 ϕ /mm	31.5~19.0	19.0~9.5	9.50~4.75
$\rho_{\text{振}}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.633	1.715	1.852

由表1、表4中的数据及式(1)可得到,31.5~19 mm粒径集料的空隙率 n_1 为41.8%。若31.5~19 mm粒径集料的用量为 M_1 ,在振实条件下,其体积 V_1 为

$$V_1 = M_1 / \rho_1 \quad (2)$$

式中: ρ_1 为第一档集料的振实密度。

其空隙的体积 V_2 为

$$V_2 = V_1 n_1 \quad (3)$$

19~9.5 mm粒径集料振实后,自身存在一定的空隙,要计算其用量,首先应扣除其空隙所占据的体积,故此档集料所占据的实体体积 $V_{\text{实}}$ 为

$$V_{\text{实}} = V_2 (1 - n_2) = V_2 (\rho_{\text{振}} / \rho_{\text{视}}) \quad (4)$$

式中: n_2 为第二档集料振实后形成的空隙率; $\rho_{\text{振}}$ 为第二档集料的振实密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); $\rho_{\text{视}}$ 为第二档集料的视密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。因此所需此档料的质量 M_2 为

$$M_2 = V_{\text{实}} \rho_{\text{振}} \quad (5)$$

据此可以计算31.5~19 mm粒径集料用量与19~9.5 mm粒径集料的用量之比。

分别将相应的数据代入以上各式,可得第二档

集料与第一档集料的质量比 M_2/M_1 为27.77%。理论计算结果见表5所示。

表5 理论计算出的两档集料百分比组成

粒径 ϕ /mm	31.5~19.0	19.0~9.5
集料含量/%	78	22

比较表2和表5的数据可以看出,理论计算与试验结果相差不大,理论计算得到的19~9.5 mm粒径的集料用量略少于试验中得到的用量。

由于理论可知,粒径较大的次级料作为嵌入料,使主骨料相互间不能保持完全接触,相对地增加了填料的用量,故需要略多一些19~9.5 mm的集料,但两者相差不大,理论计算的结果验证了试验数据的可靠性。

依据以上计算方法,同样可得到9.5~4.75 mm粒径集料的理论用量,计算结果见表6所示。

表6 理论计算出的三档集料百分比组成

粒径 ϕ /mm	31.5~19.0	19.0~9.5	9.50~4.75
集料含量/%	62	19	19

从表3与表6的数据可以看出,理论计算与试验结果相差不大,这进一步验证了试验结果的可靠性,也说明可以采用理论计算与试验相结合的方法进行粗集料的级配设计。本文最终取用三档集料百分比组成为60:20:20,测得混合料的振实密度为1.805($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$),计算得混合料的平均视密度为2.762($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。

3 二灰砂浆配合比设计

为了合理确定二灰砂浆的组成,通过正交试验的极差分析方法对试验结果进行分析,确定最佳试验方案,并通过方差分析法分析各因素对试验指标的影响程度。

3.1 试验方案的确定

3.1.1 原材料性质

试验所用石灰取自西安材料厂,该石灰的物理化学性质的测定方法参考《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-94),试验结果见表7。

试验所用石灰的活性成分含量大于65%,其细

表7 石灰物理化学性质

项目	测试结果
细度/%	0.71 mm方孔筛筛余
	0
活性成分含量/%	0.152 mm方孔筛筛余
	1.80
	CaO+MgO
	68.12

度也满足Ⅰ级灰的要求,故试验所用石灰属Ⅰ级石灰。试验所用粉煤灰取自河南周口发电厂,其化学性质测试结果见表8所示,级配组成见表9所示。

表8 粉煤灰的化学性质分析 %

主要氧化物含量					烧失量
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	
54.59	5.55	26.88	3.10	87.02	6.82

表9 粉煤灰级配组成

筛孔/mm	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
通过率/%	100.0	99.9	98.4	93.5	72.1	37.0

由此可以看出,周口粉煤灰中 SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃ 的总含量大于 70%,烧失量小于 20%,符合规范要求,故为合格灰。

3.1.2 石灰与粉煤灰比例的确定

石灰和粉煤灰是二灰碎石混合料的主要粘结力来源。在通常情况下,二灰中石灰含量的增加促进了粉煤灰的水化反应,有利于提高二灰的强度;但是石灰含量过高就会出现过剩的自由石灰,会导致材料总体强度降低,同时石灰的含量偏高会使生成的水化产物的收缩加大;此外,粉煤灰的活性成分含量及粉煤灰颗粒的粗细程度对二灰混合料的强度都有一定的影响,因此在石灰与粉煤灰之间存在一个最佳的配合比,在这个配合比下二灰混合料的性能最优,可以通过试验确定其比例。根据中国已有研究成果,本次试验拟采用石灰与粉煤灰的比例分别为 1:2.1、1:2.5、1:3、1:4。

3.1.3 细集料级配的确定

细集料的级配按 k 法确定。 k 法是以颗粒级配质量递减系数 k 为参数的矿料级配曲线。如以 D 表示矿料最大粒径,当矿料粒径按 $1/2$ 递减时,其相应的各级粒径尺寸分别为 $d_0 = D/2^0$ 、 $d_1 = D/2^1$ 、 $d_2 = D/2^2$ 、 \dots 、 $d_n = D/2^n$,其中 n 为粒径尺寸数。这样 $D \sim D/2$ 为第一级, $D/2 \sim D/4$ 为第二级, \dots 。则通过某一筛孔 D_x 的百分率 P_x 为

$$P_x = 100 \left[1 - \frac{1 - k^{x-1}}{1 - k^m} \right] \% \quad (6)$$

式中: x 为级数, $x = 3.32 \lg(D/d_x)$; m 为料分档数, $m = n - 1$ 。

对照国外规定与中国经验,当 $k = 0.60 \sim 0.75$ 时,可以得到比较密实和使用满意的混合料。本次试验 k 值分别取 0.60、0.65、0.70、0.75,利用 k 法计算的各档细集料的筛余百分比见表 10。

表 10 各档细集料的筛余百分比 %

k 值	粒径 Φ /mm		
	4.75~2.36	2.36~1.18	1.18~0.60
0.55	54.41	29.61	15.98
0.60	51.46	30.56	17.98
0.65	48.69	31.35	19.96
0.70	46.11	31.98	21.91
0.75	43.70	32.47	23.83

3.1.4 二灰与细集料配比的确定

二灰与细集料组成的砂浆必须是一个致密的整体,必须有足够的二灰能完全包裹细集料颗粒,填充细集料间的空隙。当细集料所占比例较小时,它的增强作用得不到充分体现;当细集料用量太大时,二灰的粘结作用又显得不够充分,反而会引起强度的下降,所以细集料与二灰之间存在一个最佳比例,这个比例需要根据具体使用的原材料经过试验来确定。本次试验中采用的二灰与细集料的比例分别为 50:50、60:40、70:30、80:20。

如果在进行二灰碎石中粗集料的级配设计时能够使粗集料颗粒相互吻合形成骨架结构,就能够保证二灰碎石混合料具有较好的抗收缩及抗冲刷性能,并且将二灰砂浆替代二灰填充粗集料的空隙,也能限制二灰的收缩,因此在二灰砂浆设计中仅以抗压强度为指标,而不必考虑抗收缩等性能指标。

3.1.5 试验方案的确定

根据因子水平选择正交表,因为本次试验属于 3 因子 4 水平试验,所以选用 $L_{16}(4^3)$ 正交表。将试验因子和各水平依次列入正交表中即构成本次试验的试验方案,具体试验方案和试验结果见表 11。

3.2 试验结果分析

正交试验分析方法有两种——极差分析法和方差分析法。本文采用极差分析方法确定二灰砂浆组成的最佳试验方案,并运用方差分析法对试验因子进行显著性分析。

3.2.1 极差分析法

极差分析法只需对试验结果作少量计算,通过综合比较,便可得到最佳方案和因素影响程度。正交试验分析法计算结果见表 12。

表 12 中, I_j 、 II_j 、 III_j 、 IV_j ($j = 1, 2, 3, 4, 5$) 是由表 11 中每列的同一个水平所对应的 4 个试验结果相加得到的; R_j 为直观分析法中的极差, R_j 值越大,这表明该因素对指标的影响程度就越大。

根据极差 R_j 可知,第二列极差最大,第五列极

表 11 试验方案及试验结果

试验号	A 细集料 k 值	B 二灰, 细集料	C 空 空	D 石灰, 粉煤灰	E 抗压强度/MPa
N1	1(0.60)	1(50;50)	1	1(1;2.0)	1.791
N2	1(0.60)	2(60;40)	2	2(1;2.5)	2.076
N3	1(0.60)	3(70;30)	3	3(1;3.0)	2.574
N4	1(0.60)	4(80;20)	4	4(1;4.0)	1.646
N5	2(0.65)	1(50;50)	2	3(1;4.0)	1.685
N6	2(0.65)	2(60;40)	1	4(1;3.0)	2.219
N7	2(0.65)	3(70;30)	4	1(1;2.5)	2.762
N8	2(0.65)	4(80;20)	3	2(1;2.0)	1.699
N9	3(0.70)	1(50;50)	3	4(1;2.5)	1.695
N10	3(0.70)	2(60;40)	4	3(1;2.0)	2.024
N11	3(0.70)	3(70;30)	1	2(1;4.0)	2.061
N12	3(0.70)	4(80;20)	2	1(1;3.0)	2.032
N13	4(0.75)	1(50;50)	4	2(1;3.0)	1.619
N14	4(0.75)	2(60;40)	3	1(1;4.0)	1.556
N15	4(0.75)	3(70;30)	2	4(1;2.0)	2.419
N16	4(0.75)	4(80;20)	1	3(1;2.5)	1.835

注: 1. 试件为 $\Phi 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 圆柱体试件; 2. 抗压强度为试件 7 d 无侧限饱水抗压强度。

表 12 极差分析数据

项目	A	B	C	D	E
	1	2	3	4	5
I _j	8.087	6.790	7.906	8.141	7.933
II _j	8.365	7.875	8.212	7.455	8.368
III _j	7.812	9.816	7.524	8.118	8.444
IV _j	7.429	7.212	8.051	7.979	6.948
R _j	0.936	3.026	0.688	0.686	1.496

差次之,而第一列极差最小,这说明当因素 B 的水平变动时,其对指标影响最大;当因素 E 的水平变动时,对指标影响次之;当因素 A 的水平变动时,对指标影响最小。由此可以根据极差的大小顺序排出因素的主次: $B > E > A$, 即二灰与细集料的配比(因素 B)对二灰砂浆强度影响最大;其次是石灰与粉煤灰的比例(因素 E);对强度影响最小的是细集料级配(因素 A)。

从 I_j、II_j、III_j 和 IV_j 的含义可知,各因素所在列的 I_j、II_j、III_j 和 IV_j 的差异实际上只反映该因素由于水平变动引起指标的波动,而不受其他因素水平变动的影响,所以把各因素的好坏水平简单地组合起来就是较好的试验方案。由表 12 可以看出,当 k 值取 0.65 时,试件抗压强度总和最大;当细集料用量为 30% 左右时,增强效果最好;而当石灰与粉煤

灰的比值为 1:3 时,二灰砂浆抗压强度总和最大,故针对本次试验,较好的试验方案是 A₂B₃E₃。

3.2.2 方差分析法

直观分析法不能区分各因素各水平所对应的试验结果间的差异究竟是由因素水平不同所引起的,还是由试验误差所引起的。而方差分析法正好弥补这一不足,方差分析结果见表 13。

表 13 方差分析数据表

变异来源	A	B	E	误差
S _j	0.120	1.344	0.355	0.142
自由度 f _j	3	3	3	6
\bar{S}_j	0.040	0.448	0.118	0.024
F _j	1.691	18.983	5.014	
显著性	不显著	高度显著	显著	
备注	$F_{0.05}(3,6)=4.76$			

由表 13 可知,当显著性水平 α 取 0.05 时, $F_{0.05}(3,6)$ 为 4.76, 故因素 B(结合料与细集料的配比)对指标作用高度显著,因此在试验及施工中应严格控制此因素;因素 E(石灰与粉煤灰的比例)作用显著,该因素应在试验和施工过程中得到广泛重视;因素 A(细集料 k 值)作用不显著,在试验及施工过程中可不作为配合比设计的控制因素。可以看出,方差分析与极差分析的结果是一致的,这说明在极差分析中判断 B 因素的作用显著并不是由于试验误差引起的,而是其本身对试验指标有显著影响。

可见,根据正交试验及极差分析和方差分析可知,当二灰的配比为 1:3、细集料的 k 值为 0.65、二灰与细集料的配比为 70:30 时,二灰砂浆的强度最高,对应的二灰砂浆的最大干密度为 $1.56 (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ 。

4 粗集料与二灰砂浆组成设计

按照前述,在二灰碎石中以粗集料形成骨架嵌挤,使其空隙率最小;以二灰砂浆填充骨料的空隙,形成密实结构,使混合料整体获得最大的密实度。

根据主骨料的空隙率、试件体积及二灰砂浆的最大干密度,便可计算出二灰结合料和细集料的用量,二灰砂浆用量为试件的总体积、空隙率和二灰砂浆最大干密度的乘积。二灰碎石混合料组成的计算结果见表 14。

为了评价本文确定的二灰碎石混合料配合比路用性能的优劣,本文采用相同的原材料分别形成不同配合比(本文配合比和规范推荐配合比)的二灰碎

表 14 二灰碎石混合料配合比计算

主骨料表观密度 $\rho_{0M}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.805
主骨料平均视密度 $\rho_{0M}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	2.762
集料占有体积 $V_1 = \rho_1 / \rho_{0M}$	0.654
二灰砂浆占有体积 $V_2 = 1 - V_1$	0.346
二灰砂浆最大干密度 $\rho_F/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.560
二灰砂浆质量分数 $M_1 = \rho_1 / V_2$	0.540
M_1 : ρ_1 (粗集料质量)	23 : 77
二灰 : 细集料	70 : 30
二灰 : 细集料 : 粗集料	16 : 7 : 77
石灰 : 粉煤灰	1 : 3
石灰 : 粉煤灰 : 细集料 : 粗集料	4 : 12 : 7 : 77

石混合料试件进行试验。试验结果表明:本文配合比的混合料各项路用性能指标明显优于规范推荐配合比混合料的路用性能指标,尤其是抗裂性能和抗收缩性能。这主要是因为本文配合比混合料中的粗集料用量相对较高,使其对温缩及干缩变化敏感性降低,并且粗集料颗粒间彼此啮合形成骨架结构,密实的二灰砂浆填充骨架空隙,形成骨架密实结构。

5 结 语

(1)平行试验表明,粗集料空隙率的试验测定结果具有很好的重现性,其误差较小,数据稳定可信;并且本文采用的理论计算法与试验结果具有较好的吻合性;在确定了各档集料的视密度、振实密度后,即可进行粗集料的级配设计。

(2)采用正交试验方法确定了二灰砂浆最优试验方案,并分析了各因素对试验指标影响的显著性。

(3)通过振动试验方法确定粗集料级配,通过正交试验方法确定二灰砂浆的配比,由此组成的骨架密实型二灰碎石较规范推荐级配的二灰碎石具有更好的路用性能,尤其是二灰碎石基层的抗裂性能和抗冲刷性能。这在后期的室内试验及试验路的观测中都得到证实。

(4)本文的工作还有待于进一步完善。建议进一步研究试验配重的大小、振动参数(频率、振幅),以及两者与实际路面压实作用的对应关系。

参考文献:

References:

[1] JTJ034-2000. 公路路面基层施工技术规范[S].

JTJ034-2000. Technical Specification for Construction of Highway Roadbases[S].

[2] JTJ058-2000. 公路工程集料试验规程[S].

JTJ058-2000. Test Methods of Aggregate of Highway Engineering[S].

[3] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

SHA Qing-lin. Asphalt Pavement on Semi-rigid Road-base for High-class Highways[M]. Beijing: People's Communications Press, 1998.

[4] 滕旭秋. 二灰碎石混合料配合比设计及路用性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2003.

TENG Xu-qiu. Mixture Design and Pavement Performance of Lime-fly Ash Stabilized Aggregates[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003.

[5] 姜爱峰, 任惠清. 二灰碎石组成配合比设计[J]. 同济大学学报. 自然科学版, 1999, 27(3): 309-313.

JIANG Ai-feng, REN Hui-qing. Mixture Design of Lime-fly Ash Stabilized Aggregates[J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 1999, 27(3): 309-313.

[6] 滕旭秋, 陈忠达. 二灰砂浆配合比设计方法[J]. 长安大学学报. 自然科学版, 2005, 25(3): 37-40.

TENG Xu-qiu, CHEN Zhong-da. Mixture Design Method for Lime-fly Ash Mortar[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(3): 37-40.

[7] 刘海英. 二灰碎石的性能影响因素及设计方法的研究[J]. 东北公路, 2000, 23(1): 33-36.

LIU Hai-ying. Study of Performance Influence Factor and Design Method of Lime Fly-ash Gravel[J]. Northeast Highway, 2000, 23(1): 33-36.

[8] 王哲人, 曹建新, 王 龙, 等. 级配碎石混合料的动力变形特性[J]. 中国公路学报, 2003, 16(1): 22-26.

WANG Zhe-ren, CAO Jian-xin, WANG Long, et al. Dynamic Deformation Characteristic of Grading Macadam Mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(1): 22-26.

[9] 张洪亮, 胡长顺, 刘保健, 等. 压实石灰黄土力学特性试验[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(4): 13-16.

ZHANG Hong-liang, HU Chang-shun, LIU Bao-jian, et al. Mechanical Properties Experiment of Compacted Loess-lime[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(4): 13-16.