

文章编号:1671-8879(2005)06-0010-04

## 水泥粉煤灰稳定碎石结合料与集料的比例

张嘎吱, 沙爱民

(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)

**摘 要:**水泥粉煤灰稳定碎石的组成结构和路用性能随结合料与集料的比例而变化。通过这种基层材料不同结合料含量时的最大干密度试验,得到了最大干密度与结合料含量的关系曲线图,此图的最大干密度峰值所对应的比例即为结合料与集料的最优比例,此时结合料恰好填满集料空隙形成密实-骨架结构。试验结果表明:该结构具有优良的路用性能;级配变化时结合料与集料最优比例范围为 13 : 87~17 : 83。

**关键词:**道路工程;水泥粉煤灰;稳定碎石;组成结构;骨架-密实结构;最大干密度

**中图分类号:**U414.1 **文献标识码:**A

### Proportion of binders to aggregate in cement-flyash stabilized crushed-stones

ZHANG Ga-zi, SHA Ai-min

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Cement-flyash stabilized crushed-stones' structure and its road properties change with the variety of the proportion of binders to aggregate. Based on the greatest dry density of different bound materials percentage, this paper gets a curve figure which shows the variation of bound materials to the greatest dry density. The climax point on the curve determines the best proportion of bound materials to aggregate. At this point, the bound materials fill up the whole void of aggregate, to strengthen the framework of dense structure. It is proved that this structure has a good road properties, and when aggregate gradation changes, the best proportion limit of bound materials to aggregate is 13 : 87~17 : 83. 12 tabs, 4 figs, 11 refs.

**Key words:** road engineering; cement-flyash; stabilized crushed-stones; structure; framework dense structure; greatest dry density

## 0 引 言

水泥粉煤灰稳定碎石混合料具有早强高强、适应重型交通的优点,在中国一些石灰缺乏的省份(如河南的焦鲁高速公路)得到了广泛的应用。但由于

设计和施工单位在选择水泥粉煤灰结合料与集料比例时既没有相应的规范,又缺乏理论的指导,故未能充分挖掘这种材料的路用潜能。因此,就水泥粉煤灰结合料与集料最优比例开展研究是必要的。徐江萍<sup>[1]</sup>和杨锡武<sup>[2]</sup>的试验方案相同:即保持结合料中

收稿日期:2004-06-12

基金项目:河南省交通科技项目(2002P232)

作者简介:张嘎吱(1972-),男,陕西西安人,长安大学讲师,博士。

水泥与粉煤灰比例不变,只变化结合料与集料的比例,通过强度试验确定结合料与集料的最优比例。但试验显示,水泥剂量对强度的影响远超过混合料组成结构,而以上试验方案的水泥剂量显然是在变化的,故结论可靠性值得商榷。本文提出了一种通过击实试验确定最优比例的方法,并通过系统试验给出了结合料与集料最优比例范围,供同行参考。

1 原材料基本性质

水泥采用 425<sup>#</sup> 普通硅酸盐水泥,其基本性质见表 1。

表 1 水泥的基本性质				
初凝时间/min	终凝时间/min	安定性	3 d 抗压强度/MPa	3 d 抗折强度/MPa
305	430	合格	23.2	3.3

粉煤灰的基本性质见表 2。

表 2 粉煤灰的基本性质					
项目	SiO <sub>2</sub> /%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	烧失量/%	细度(45μm)/%
检测值	43.24	2.14	30.11	16.55	42.9

集料采用河南省焦作市九里山石场的石灰岩石料,其技术指标见表 3。

表 3 集料技术指标		
项 目	粒径范围/mm	视密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
	10~30	2.74
	10~20	2.76
	5~10	2.72
洛杉矶磨耗值/%		27.9
压碎值/%		24.1
磨光值		42

2 结合料与集料最优比例试验方法

水泥、粉煤灰结合料以及集料中小于 4.75 mm 的颗粒组成可以被称为混合料中的粘结性基体。只有具有足够的基体材料以密实填充粗集料的间隙,才可能达到高的压实密度,后者对于混合料的强度和耐久性十分重要。

在集料级配一定的情况下,当结合料剂量过大,使集料悬浮在其中形成悬浮-密实结构时,混合料最大干密度会减少;当结合料剂量过小不足以填充集料间隙而形成骨架-空隙结构时,混合料最大干密度也会减少;只有当结合料剂量为恰好填满集料间隙而形成骨架-密实结构时,混合料最大干密度才会达

到峰值。鉴于以上原因,我们做了几种不同结合料含量时混合料的含水量-干密度曲线,从而得到最大干密度与水泥、粉煤灰结合料含量的关系曲线图,试验结果如表 4 和图 1 所示(集料级配采用水泥粉煤灰稳定碎石连续级配范围中值)<sup>[3]</sup>。

表 4 不同结合料含量时的最佳含水量、最大干密度试验结果

混合料配合比 水泥:粉煤灰:集料	最佳含水量 w/%	最大干密度 γ/(g·cm <sup>-3</sup> )
5:5:90	6.2	2.260
5:10:85	6.6	2.225
5:15:80	6.9	2.200
5:20:75	7.5	2.120

由图 1 可以看出,当结合料剂量约为 13% 时,混合料最大干密度达到峰值,可以认为此时粗集料中的孔隙被结合料和小于 4.75 mm 的细集料恰好填满。故当结合料与集料的比例小于 13:86 时为骨架-空隙结

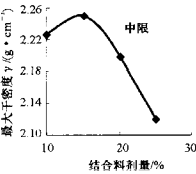


图 1 混合料的最大干密度随结合料含量的变化规律

构,等于 13:87 时为骨架-密实结构(与计算结果相同),大于 13:86 时为悬浮-密实结构。

3 组成结构对混合料路用性能的影响

当结合料与集料比例发生变化时,混合料的组成结构及路用性能随之发生变化。为了寻求路用性能随组成结构的变化规律,我们进行了强度试验(表 5~表 7)。

表 5 混合料强度试验结果(5%水泥剂量)

强度指标	配合比				
	5:5:90	5:8:87	5:10:85	5:15:80	5:20:75
	试验数据	试验数据	试验数据	试验数据	试验数据
抗压强度 (28 d)/MPa	6.33	6.48	5.78	4.92	3.72
变异系数/%	8	6	7	9	6
劈裂强度 (28 d)/MPa	0.57	0.65	0.41	0.31	0.19
变异系数/%	7	7	9	9	7
抗弯拉强度 (28 d)/MPa	1.01	1.29	0.80	0.64	0.36
变异系数/%	8	6	7	6	8

表 6 混合料强度试验结果(3%水泥剂量)

强度指标	配合比				
	3:7:90	3:10:87	3:12:85	3:17:80	3:22:75
试验数据	试验数据	试验数据	试验数据	试验数据	试验数据
抗压强度 (28 d)/MPa	4.06	4.10	3.36	2.35	1.15
变异系数/%	8	7	8	7	7
劈裂强度 (28 d)/MPa	0.40	0.45	0.27	0.15	0.06
变异系数/%	7	8	6	9	9
抗弯拉强度 (28 d)/MPa	0.82	0.88	0.55	0.33	0.13
变异系数/%	6	7	8	6	8

表 7 混合料强度试验结果(7%水泥剂量)

强度指标	配合比			
	7:8:85	7:6:87	7:13:80	7:18:75
试验数据	试验数据	试验数据	试验数据	试验数据
抗压强度 (28 d)/MPa	8.51	8.82	7.98	6.99
变异系数/%	6	7	7	8
劈裂强度 (28 d)/MPa	0.71	0.78	0.58	0.47
变异系数/%	8	7	7	7
抗弯拉强度 (28 d)/MPa	1.41	1.52	1.14	0.93
变异系数/%	7	9	6	9

图2显示,当集料的比例小于87%且由高向低变化,或集料的比例大于87%且由低向高变化,各项强度指标均呈下降趋势。实践表明,集料间的嵌挤和锁结作用与结合料的粘聚力均对强度指标有非常重要的贡献,所以前者的下降是由于集料间嵌挤和锁结作用程度的逐渐减弱,后者的下降是由于结合料粘聚力的逐渐降低。因此,在集料级配和水泥剂量一定的情况下,混合料形成骨架-密实结构时强度指标最优。

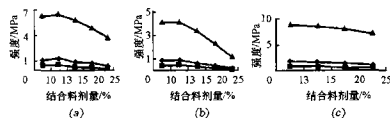


图 2 强度指标随结合料剂量的变化规律

#### 4 结合料与集料最优比例范围

当基层集料的级配发生变化时,能够形成骨架-密实结构的结合料、集料最优比例必然随之发生变化。一般而言,集料的颗粒大小分布愈匀称(密级配),所需填充集料空隙的结合料越少;集料的级配

越差,所需填充集料空隙的结合料越多。为了确定与水泥粉煤灰稳定碎石基层连续级配范围<sup>[3]</sup>相对应的结合料、集料最优比例范围,本文选择了除中限外的4种代表性级配(表8、图3),试验结果如表9~表12和图4所示。

表 8 4种代表性级配通过质量百分率 /%

级配 类型	筛孔尺寸/mm							
	31.50	26.50	19.00	9.50	4.75	2.36	0.6	0.075
上限	100.0	100.0	93.0	68.0	49.0	36.0	21.0	7.0
下限	100.0	90.0	73.0	48.0	32.0	21.0	9.0	2.0
上顶下底	100.0	100.0	89.7	61.4	40.6	26.0	11.0	2.0
上底下顶	100.0	90.0	76.3	54.6	40.4	31.0	19.0	7.0

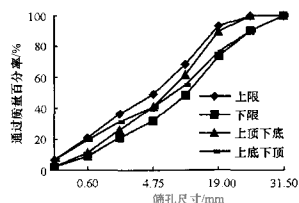


图 3 水泥粉煤灰稳定碎石 5 种代表性级配曲线

表 9 不同结合料含量时的最佳含水量、最大干密度试验结果(上限)

混合料配合比 水泥:粉煤灰:集料	最佳含水量 w/%	最大干密度 $\gamma/(g \cdot cm^{-3})$
5:5:90	6.6	2.03
5:10:85	6.9	2.10
5:15:80	7.3	2.08
5:20:75	7.8	1.93

表 10 不同结合料含量时的最佳含水量、最大干密度试验结果(下限)

混合料配合比 水泥:粉煤灰:集料	最佳含水量 w/%	最大干密度 $\gamma/(g \cdot cm^{-3})$
5:5:90	6.0	2.11
5:10:85	6.3	2.24
5:15:80	6.7	2.26
5:20:75	7.0	2.10

表 11 不同结合料含量时的最佳含水量、最大干密度试验结果(上顶下底)

混合料配合比 水泥:粉煤灰:集料	最佳含水量 w/%	最大干密度 $\gamma/(g \cdot cm^{-3})$
5:5:90	6.4	2.070
5:10:85	6.5	2.200
5:15:80	6.9	2.175
5:20:75	7.4	2.010

表 12 不同结合料含量时的最佳含水量、  
最大干密度试验结果(上底下顶)

混合料配合比 水泥:粉煤灰:集料	最佳含水量 w/%	最大干密度 $\gamma/(g \cdot cm^{-3})$
5:5:90	6.2	2.10
5:10:85	6.4	2.19
5:15:80	6.7	2.18
5:20:75	7.3	2.05

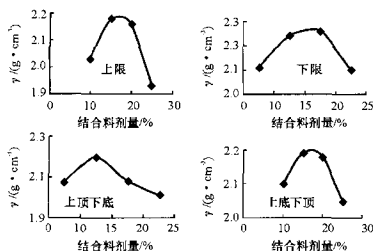


图 4 混合料最大干密度随结合料剂量的变化规律

试验结果显示,当集料级配为上限时,最佳结合料剂量约为 17%;为下限时,是 16%;为上顶下底时,是 13%;为上底下顶时,是 17%;为中限时,是 13%,所以与水泥粉煤灰稳定碎石基层连续级配范围相对应的结合料、集料最佳比例范围是:13:87~17:83。

## 5 结 语

(1)通过不同结合料含量时混合料的最大干密度试验,得到最大干密度与结合料含量的关系曲线,此关系曲线的峰值对应结合料与集料的最优比例,此时混合料形成骨架-密实结构。

(2)当集料级配变化时,结合料与集料最优比例范围是 13:87~17:83。

## 参考文献:

## References:

- [1] 徐江萍,姚爱玲,张登良. 水泥-粉煤灰碎石早强特性的研究[J]. 中南公路工程,1999,24(2):4-6.  
XU Jiang-ping, YAO Ai-ling, ZHANG Deng-liang. Cement-flyash strength study in early stage[J]. Highway Engineering of South China, 1999, 24(2): 4-6.
- [2] 杨毓武,梁富权. 水泥(石灰)粉煤灰混合料的最佳配合比研究[J]. 公路,1995,(9):13-16.  
YANG Xi-wu, LIANG Fu-quan. Best proportion of cement(lime)-flyash Mixture[J]. Highway, 1995,

(9):13-16.

- [3] 俞建荣,栗学铭,窦有年. 粉煤灰水泥稳定粒料的路用性能研究[J]. 中国公路学报,1998,11(增刊):30-35.  
YU Jian-rong, LI Xue-ming, DOU You-nian. Study of properties on road of flyash cement stabilized granular material [J]. China Journal of Highway and Transport, 1998, 11(Sup): 30-35.
- [4] 张嘎吱,沙爱民,郝建波,等. 水泥粉煤灰稳定碎石基层材料的级配范围[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(4): 1-5.  
ZHANG Ga-zi, SHA Ai-min, HAO Jian-bo, et al. Grading envelope of cement and fly ash stabilized crushed-stones used as road base material[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003, 23(4): 1-5.
- [5] 邓学钧. 路基路面工程[M]. 北京:人民交通出版社, 2000.  
DENG Xue-jun. Subgrade and pavement engineering [M]. Beijing: People's Communications Press, 2000.
- [6] JTJ034-2000. 公路路面基层施工技术规范[S].  
JTJ034-2000. Technical specification for construction of highway pavement and base[S].
- [7] JTJ057-94. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].  
JTJ057-94. Test specification for materials stabilized with inorganic binders in highway engineering[S].
- [8] 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-line[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(4): 13-16.
- [9] 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.
- [10] 张嘎吱,沙爱民. 悬浮骨架密实结构配合比设计[J]. 长安大学学报(自然科学版),2004,24(1):1-4.  
ZHANG Ga-zi, SHA Ai-min. Mix design of suspended framework dense structure[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(1): 1-4.
- [11] 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.