

磨细生石灰-粉煤灰 稳定碎石早强特性的研究

徐江萍 陈庆亭
(西安公路交通大学 西安 710064)

摘要 本文通过对比试验, 研究分析了生石灰-粉煤灰稳定碎石的强度特点及规律。研究成果对生石灰-粉煤灰稳定碎石用于道路基层、底基层有实际意义。

关键词 生石灰 粉煤灰 碎石 早期强度

Research on Early-strength Properties of Broken Stone Stabilized with CaO & Fly-ash

Xu Jiangping Chen Qingting
(Si'an Highway University, Si'an)

Abstract Through comparative test, the strength properties and regularity of broken stone stabilized with CaO and fly-ash are studied and analysed in this paper. The results are useful for such base course of pavement.

Key words CaO Fly-ash Broken stone Early

由于石灰-粉煤灰稳定碎石具有较高的强度和整体性, 以及较好的水稳性和一定的抗冻性, 因而被广泛地用于路面的基层和底基层结构。近年来, 国内外愈来愈多地用磨细生石灰代替熟石灰用于稳定土, 其强度、刚度和稳定性均高于熟石灰稳定土。本文通过室内试验, 研究分析了生石灰-粉煤灰稳定碎石早期强度的规律。

1 生石灰-粉煤灰稳定碎石早期强度的试验与研究

1.1 原材料

生石灰: 用生石灰块磨细并过 0.6mm 筛, 化学成分见表 1。

生石灰、熟石灰 CaO、MgO 含量		表 1
生石灰 (%)	89.37	
熟石灰 (%)	70.38	

熟石灰: 用生石灰块消解而成, 并过 0.6mm 筛。
粉煤灰: 坝桥电厂产, 化学成分见表 2。

粉煤灰化学成分						表 2
化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
含量 (%)	48.69	31.46	3.93	5.61	0.92	0.91

碎石: 石灰岩, 压碎值为 20.3%。
级配碎石采用《公路路面基层施工技术规范》(JTJ034-93) 中推荐的石灰工业废渣稳定土中碎石的通过百分率。所采用的间断级配见表 3。

间断级配通过百分率				表 3
筛孔孔径 (mm)	40~20	20~10	10~5	5~2
P (%)	67	17	10	6

1.2 试验结果与分析研究

1.2.1 生石灰-粉煤灰稳定碎石与消石灰-煤灰稳定碎石的早强对比试验。

试验依据: 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ057-94)。

试验组与对比组采用的配比、击实结果及强度试验结果见表 4 及表 5。

消石灰-粉煤灰稳定碎石早期强度试验结果 表 4

编号	材料与配比	击实结果		7 天抗压强度 (MPa)			28 天抗压强度 (MPa)		
		W (%)	ρ_d (g/cm ³)	R_c	C_v (%)	R_c	R_c	C_v (%)	R_c
A	消石灰:粉煤灰:碎石=5:15:80	9.5	2.05	1.22	9.8	1.02	3.30	6.7	2.94
B	消石灰:粉煤灰:碎石=7:18:75	10.5	2.0	1.75	5.1	1.60	3.99	6.5	3.56

注: ①表中 W ——最佳含水量; ρ_d ——最大干密度。② R_c ——饱水抗压强度平均值, C_v ——变异系数。③ $R_c = R_c - 1.645\sigma$, 以下同。

生石灰-粉煤灰稳定碎石早期强度试验结果 表 5

编号	材料与配比	击实结果			7 天抗压强度 (MPa)			28 天抗压强度		
		W_1 (%)	W_0 (%)	ρ_d (g/cm ³)	R_c	C_v (%)	R_c	R_c	C_v (%)	R_c
C	生石灰:粉煤灰:碎石=7:18:75	9.0	12.0	2.02	2.82	7.5	2.48	4.12	4.4	3.82
D	生石灰:粉煤灰:碎石=6:19:75	9.5	12.0	2.0	2.06	7.3	1.81	3.52	11.7	2.85
E	生石灰:粉煤灰:碎石=5:20:75	11.0	13.0	1.97	1.80	15.6	1.34	2.94	11.2	2.40

由于生石灰遇水熟化为消石灰, 若用烘箱法测出的最佳含水量 W_1 去成型试件或施工时, 用水量必然不足, 因此, 应该用最大干密度对应的初始加水量 (W_0) 去成型后面的试件。

试验表明, 生石灰-粉煤灰碎石的 7d 抗压强度高于消石灰-粉煤灰碎石, 平均高 43%, 相同配比的 (7:18:75), 即 B 与 C, 采用生石灰比用消石灰的 7d 强度提高了 55%, 28d 强度提高了 7%。分析其原因, 在反应初始, 生石灰消解可放出大量热能 (每克分子释放 $6.48 \times 10^4 \text{J}$), 加速灰土的硬化。另外, 刚消解的石灰呈胶状氢氧化钙, 其活性和溶解度均较高, 能保证石灰与粉煤灰之间的火山灰反应更好地作用, 因而采用生石灰的 7 天强度明显高于采用消石灰的。

但是到了后期, 生石灰的水化热基本散失, 热量的优势已不复存在, 因而 28 天强度的增长并不明显。

表 5 数据还表明, 在一定范围内随着生石灰含量增加, 早期强度呈现上升的趋势, 见图 1。

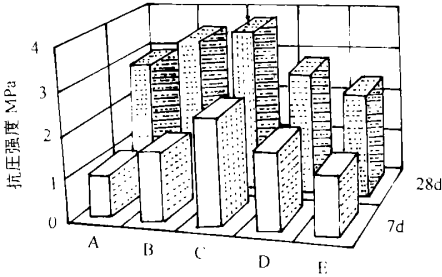


图 1 生石灰-粉煤灰碎石及消石灰-粉煤灰碎石的早期强度

1.2.2 碎石含量对生石灰粉煤灰稳定碎石强度的影响
分别采用碎石含量为 70%、75%、80%、85%; 石灰:粉煤灰=1:2, 试验结果见表 6, 试验中生石灰与粉煤灰之比均为 1:2。

骨料含量对生石灰-粉煤灰稳定碎石强度的影响 表 6

碎石含量 (%)	击实结果			7 天抗压强度 (MPa)			28 天抗压强度 (MPa)		
	W_1 (%)	W_0 (%)	$\rho_{d\max}$	R_c	C_v (%)	R_c	R_c	C_v (%)	R_c
70	7.0	11.0	1.88	3.03	7.9	2.64	4.31	6.7	3.83
75	9.0	12.0	2.02	2.82	7.5	2.48	4.12	4.4	3.82
80	8.5	13.0	2.04	2.55	4.7	2.35	3.87	9.8	3.25
85	9.5	13.5	2.07	2.42	12.8	1.91	3.55	6.8	3.16

为使二灰结合料的胶结作用和集料的嵌挤作用共同发挥, 一实方体的半刚性基层材料, 最多只能用一松方的集料。这样, 集料刚刚靠拢而不密实, 剩余空隙部分才有可能全为结合料所填充, 经充分压实后, 可得到强度大, 收缩系数小, 动稳定性、抗裂性、耐久性都好的半刚性基层。集料太多, 结合料难以填满空隙, 不能成为整体性的半刚性基层, 强度也差。

以下通过计算确定集料的最佳含量。

- (1) 测出所采用集料的松散堆积密度 ρ_c ;
- (2) 求该集料各组成颗粒相对密度 ρ_i , 并按下

式算得其理论密度 ρ

$$\rho = \frac{100}{\frac{A_1}{\rho_1} + \frac{A_2}{\rho_2} + \frac{A_3}{\rho_3}}$$

式中, A_1 、 A_2 、 A_3 ——组成中粗集料 ($> 2.5 \text{mm}$)、细集料 ($2.5 \sim 0.074 \text{mm}$) 和粉料 ($< 0.074 \text{mm}$) 的重量百分率 (%);

ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 ——粗集料、细集料和粉料的颗粒相对密度。

- (3) 求集料在半刚性材料中所占的体积 V

$V = \rho_c / \rho$

则一个实方体中的空隙 $V_1 = 1 - V$ 。

(4) 试验得采用结合料的最大干密度 ρ_d (g/cm³)。此最大干密度的结合料填满集料空隙中, 则一实方体中结合料的重量为 $\rho_d (1 - V)$ 。

本试验集料最佳重量比计算见表 7。

集料的最佳重量比计算 表 7

指 标	ρ_c (g/cm ³)	ρ (g/cm ³)	V	V_1	ρ_d (g/cm ³)	ρ_d (1 - V)	结合料 : 集料	集料含 量 (%)
结 果	1.55	2.68	0.58	0.42	1.58	0.66	0.66 : 1.55	70.1

试验表明, 随着骨料含量的增加, 7 天与 28 天的强度均有下降的趋势。由于混合料的破坏是浆体的破坏和骨料与浆体粘结界面的破坏, 当骨料含量 $\geq 70\%$ 时, 碎石已成为密实骨架结构, 此时, 随着碎石

不同级配类型的生石灰-粉煤灰碎石的早期强度

表 8

级配类型	击实结果			7 天抗压强度 (MPa)			28 天抗压强度 (MPa)		
	W_1 (%)	W_0 (%)	ρ_d (g/cm ³)	R_c	C_v (%)	R_c	R_c	C_v (%)	R_c
连续级配	7.0	11.0	1.88	3.03	7.9	2.64	4.31	11.2	3.52
间断级配	6.4	10.0	1.93	3.36	5.4	3.06	4.56	9.8	3.82

试验结果显示, 采取间断级配的二灰稳定碎石的强度高于连续级配的。7 天和 28 天的强度分别提高 16% 和 9%, 见图 2。间断级配是符合魏矛斯粒子

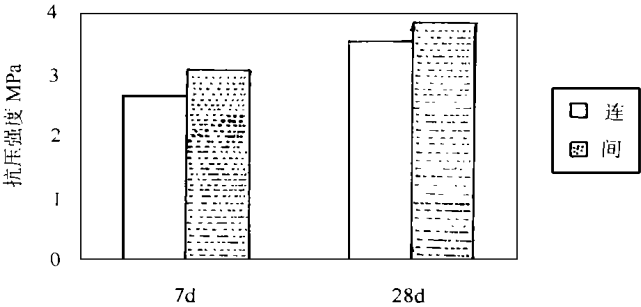


图 2 不同级配类型的生石灰-粉煤灰碎石的早期强度

干涉理论的, 该理论认为, 为达到最大密度, 前一级颗粒之间的空隙, 应由次一级颗粒所填充, 但填充的颗粒粒径不得大于其间隙之距离, 否则, 大小颗粒粒子之间势必发生干涉现象, 这样, 相邻粒子之间必然会出现不连续的级配, 而连续级配是逐级粒径均有, 相临粒子之间会互相干涉, 从以上的理论分析中知道, 间断级配集料的空隙率小于连续级配的, 且石料

的增加, 结合料减少, 碎石与浆体之间的界面增多, 且浆体变薄, 也就是增加了整个混合料的薄弱环节。因此, 当集料含量多于最佳用量时, 随着碎石含量的增多, 强度呈现下降的趋势。

另外, 《公路路面基层施工技术规范》中规定二灰碎石含量在 80% 以上, 主要是从减少整体收缩性能的角度考虑, 胶结料越多, 温缩与干缩越严重, 基层越易产生开裂。但实践证明, 碎石含量高于 80% 而细料不足时, 施工时很难拌和与碾压成型与整平, 本文所做的结果从强度与施工角度来讲, 都更为合理。

1.2.3 碎石级配类型对生石灰-粉煤灰稳定碎石早期强度的影响

连续级配和间断级配的选择 1.1 所述, 试验结果见表 8。试验中所采用的配比为生石灰 : 粉煤灰 : 碎石 = 10 : 20 : 70。

表面积小, 结合料的效果发挥得更为充分, 因而强度增高。以上试验恰好证实了这一点, 这一点从最大干密度也可以反映出来: 在配比相同的前提下, 采用间断级配混合料的最大干密度比连续级配混合料的最大干密度提高了 2.7%。

2 结论

- (1) 当配比相同时, 二灰碎石采用生石灰可以明显地提高 7d 的抗压强度。
- (2) 当碎石含量大于最佳值时, 随着碎石含量的增加, 生石灰-粉煤灰碎石的强度下降。
- (3) 采用间断级配可以提高生石灰-粉煤灰碎石的早期强度。

参考文献

1 张登良等. 半刚性基层沥青路面. 北京: 人民交通出版社, 1991
2 许永明. 粉煤灰应用于道路工程的研究. 西安公路学院学报, 1983 (1)
3 林绣贤. 路面材料组成的基本理论及其应用. 华东公路, 1988 (1)