

文章编号: 1005-0523(2010)02-0013-05

水泥稳定灰渣碎石的制备及路用性能初探

郭东浩^{1,2}, 解建光¹, 曹兴国¹

(1. 南京航空航天大学 土木工程系, 江苏 南京 210016; 2. 江苏宁沪高速公路股份有限公司, 江苏 南京 210049)

摘要: 城市生活垃圾焚烧后残留了大量的灰渣, 用灰渣替代部分集料制备水泥稳定灰渣碎石半刚性基层材料, 进行了路用性能研究。结果表明: 灰渣掺量为 31.6% 的情况下, 与传统水泥稳定碎石相比, 最大干密度降低 3.9%, 而最佳含水率增大 62%; 水泥含量增加 0.5%, 则材料的无侧限抗压强度提高 0.52~0.63 MPa, 但与相同水泥含量的传统材料相比, 强度降低 4.4%; 水泥的含量对材料的最大干缩应变和干缩系数影响较大, 当水泥含量为 4.0% 和 4.5% 时, 水泥稳定灰渣碎石的最大干缩应变分别为 151.8 μ 和 185.8 μ , 平均干缩系数分别为 40.5 $\mu \cdot \%^{-1}$ 和 44.0 $\mu \cdot \%^{-1}$; 与传统材料相比, 平均干缩系数降低了 9.2%~11.5%。

关键词: 道路工程; 城市生活垃圾; 焚烧; 水稳碎石; 路面基层

中图分类号: U416.214

文献标识码: A

在我国, 城市生活垃圾增长迅猛, 焚烧热解处理后, 仍有 16%~24% 的质量留在了灰渣中^[1], 灰渣通常含有毒有害污染物^[2]。随着国家对污染控制力度的加大, 随意堆放或填埋灰渣不仅占用了土地资源而且会对人类健康和自然环境造成不利影响。

在土地资源紧张的地区, 填埋场的建设与土地资源匮乏之间的矛盾越来越突出^[3]。同时这些地区高速公路的建设也常常受到填土来源的限制, 由于很多地区已限制开山采石, 使高速公路建设需要的石料也成为日渐稀缺的资源。如果将城市生活垃圾焚烧灰渣应用于高速公路路面基层或底基层的无机结合稳定材料, 不仅能减少灰渣废弃产生的土地占用, 降低处置费用, 而且可以变废为宝, 利于建设节约型环保型的公路工程, 促进公路交通事业的可持续发展。

试验用城市生活垃圾焚烧灰渣替代部分集料, 制备了水泥稳定灰渣碎石半刚性基层材料, 并进行了材料强度和收缩性能的试验, 为灰渣用于高速公路基层提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验中选用的水泥为雨花牌复合硅酸盐水泥, 其各项指标见表 1 所示。生活垃圾焚烧灰渣来源于无锡惠联垃圾热电厂, 灰渣中含有大量六方晶系的 α - SiO_2 ^[4]。灰渣和碎石物理检验结果见表 2。

表 1 水泥指标检验结果

凝结时间		安定性	细度 (0.08 mm)	抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
初凝	终凝			3 天	28 天	3 天	28 天
6 小时 23 分	7 小时 45 分	合格	4.5%	3.1	6.8	11.0	32.5

表 2 灰渣和碎石检验结果

项目	表观密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	压碎值/%	吸水率/%	针片状颗粒含量/%
灰渣	2.437	37.7	7.82	45.6
碎石	2.768	20.8	0.80	12.4

收稿日期: 2009-12-11

基金项目: 江苏省交通科技计划发展项目(07Y07)

作者简介: 郭东浩(1976-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为软土地基处理。

1.2 灰渣级配调整

按照《公路工程集料试验规程》(JTG E42-2005)^[5]对灰渣进行筛分试验,得到灰渣的级配曲线如图1所示。

由图1可以看出,灰渣原始级配组成超出了规范中对高速公路基层水稳碎石级配组成的要求范围,需要进行调整。根据灰渣和碎石的压碎值以及针片状颗粒含量综合考虑,以规范中值为目标级配,通过计算确定灰渣的掺入量为31.6%,此时的级配曲线如图2所示,处于规范中值附近。

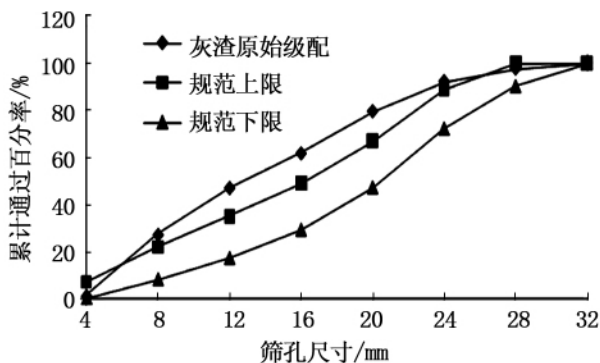


图1 灰渣原始筛分曲线

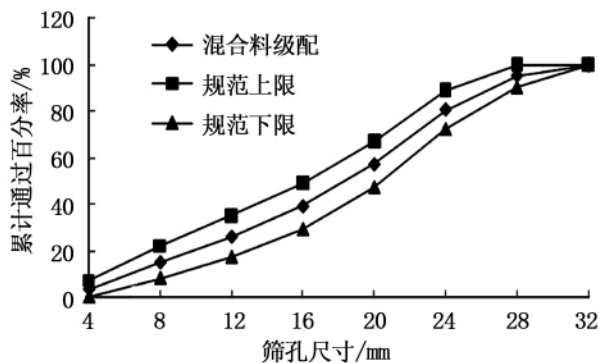


图2 调整后混合料级配组成曲线

1.3 试验方法

击实试验按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-1994)^[6]中的丙法进行,水泥剂量依次取3.0%、3.5%、4.0%、4.5%和5.0%。

水稳碎石材料的强度指标为饱水抗压强度,根据《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034-2000)^[7]中的规定,抗压强度标准为:高速公路和一级公路基层为3~5 MPa。试件尺寸为150 mm×150 mm圆柱体,成型方法按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 059-1994)进行,成型加压采用静压方式,压力机型号为YES-3000A数显式压力试验机。

水泥稳定碎石试件的标准养护条件是:将制好的试件脱模称重后,应立即用塑料薄膜包覆,放入养护室内养生,养护温度为25℃±2℃。养生期结束的前一天(第6天)将去掉薄膜的试件浸泡于水中,在浸水之前,应再次称试件的质量,水的深度应使水面在试件顶上约2.5 cm,浸水的水温应与养护温度相同。将已浸水一昼夜的试件从水中取出,用软的旧布吸去试件表面的可见自由水,并称试件的质量。前六天养生期间试件水份损失应不超过10 g,超过此规定的试件,应予作废。

水稳碎石材料的干缩性能用干缩系数来评价,取符合强度要求的配合比进行干缩性能试验。试验方法为:按照击实试验确定的最大干密度和最佳含水量,在500 kN的静压下成型尺寸为300 mm×100 mm×100 mm的梁试件,每一组配合比成型4个,其中两个固定于千分表架上测量收缩变形,另外两个用于测定失水量。观测不同配合比下材料随着风干时间的增加失水量和收缩变形的变化情况,观测持续到材料含水量不在减小,体积基本保持不变为止。试验结果按照下式计算各种配比下的干缩系数

$$\alpha_d = \frac{\sum \Delta \varepsilon_{di}}{\sum \Delta \varepsilon_{wi}}$$

式中: α_d 为干缩系数; $\sum \Delta \varepsilon_{di}$ 为累计干缩变形; $\sum \Delta \varepsilon_{wi}$ 为失水量。

2 试验结果及分析

2.1 击实试验结果及分析

对水泥稳定灰渣碎石和普通水稳碎石分别进行击实试验,试验结果如图3和图4所示。

由图3和图4可知,灰渣掺量为31.6%时,与普通水泥稳定碎石相比,水泥稳定灰渣碎石的最佳含水

量增大 2.7% ~ 2.9% , 最大干密度降低 0.10 ~ 0.13 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

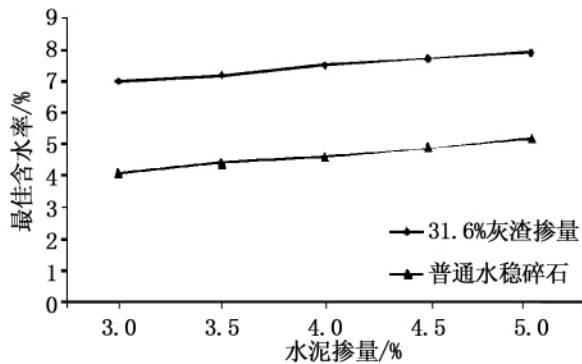


图3 不同水泥含量下两种材料的最佳含水量

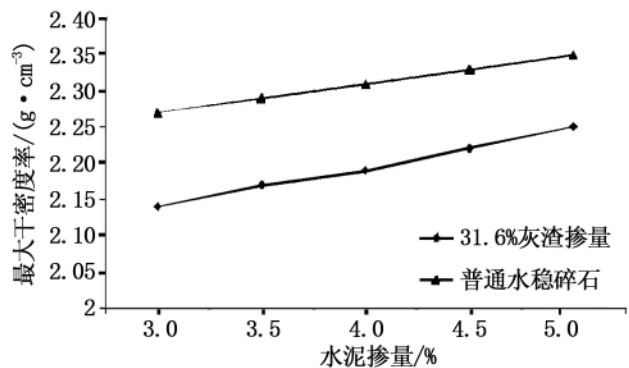


图4 不同水泥含量下两种材料的最大干密度

2.2 强度试验结果及分析

31.6%灰渣掺量下的水稳灰渣碎石和普通水稳碎石的无侧限抗压强度试验结果见表3。

由表3所示试验结果表明: 对于水泥稳定灰渣碎石材料, 灰渣掺量为31.6%时, 水泥掺量增加0.5%, 强度增长0.52 ~ 0.63 MPa; 与普通水稳碎石相比, 相同水泥掺量下, 强度平均降低0.55 MPa, 如图5所示。

表3 不同水泥掺量下两种材料的无侧限抗压强度

水泥掺量 /%	水稳灰渣碎石 强度/MPa	普通水稳 碎石/MPa
3.0	2.27	2.79
3.5	2.52	3.23
4.0	3.12	3.59
4.5	3.64	4.25
5.0	4.27	4.70

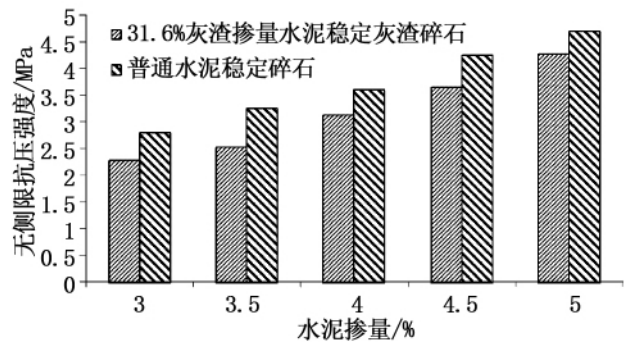


图5 31.6%灰渣掺量的水稳灰渣碎石与普通水稳碎石强度比较

2.3 干缩试验结果及分析

对水泥含量为4.0%和4.5%的两种混合料进行了干缩试验分析, 并进行普通水稳碎石干缩对比试验。水泥稳定灰渣碎石干缩试验结果如图6 ~ 图8所示。

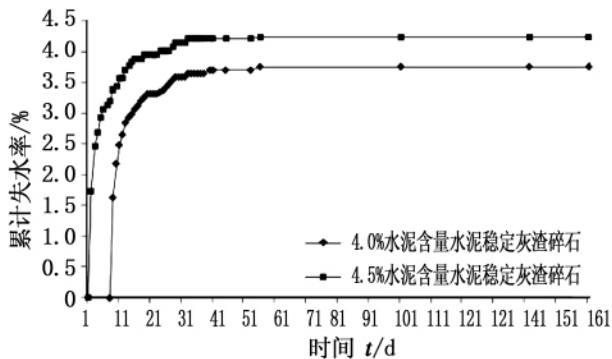


图6 水泥稳定灰渣碎石累计失水率随时间的变化曲线

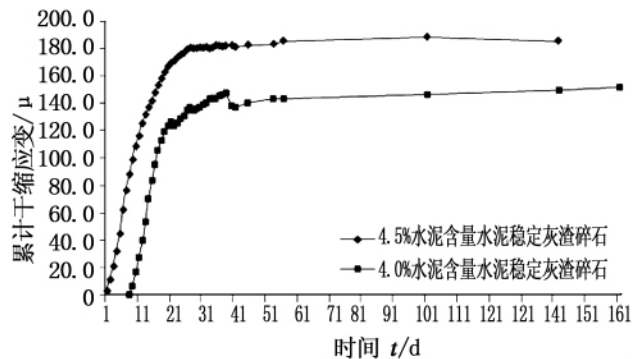


图7 水泥稳定灰渣碎石累计干缩应变随时间的变化曲线

对上面水泥稳定灰渣碎石干缩特性曲线分析可以得出以下结论: 4.0% 水泥含量下的最大失水率为 3.75% ,占到最佳含水量的 50%; 4.5% 水泥含量下的最大失水率为 4.2% ,占到该水泥含量下最佳含水量的 54.5%; 水泥稳定灰渣碎石失水主要发生在前 10 天 ,而且失水的速度较快 ,到第 10 天的失水量已达到最大失水量的 81.9%; 4.0% 水泥含量下 ,水泥稳定灰渣碎石的最大干缩应变为 151.8μ ,平均干缩系数为 $40.5 \mu \cdot \%^{-1}$; 4.5% 水泥含量下的最大干缩应变为 185.8μ ,平均干缩系数为 $44.0 \mu \cdot \%^{-1}$ 。

与普通水稳碎石相比 ,水泥稳定灰渣碎石的干缩系数降低 9.2% ~ 11.5% ,如图 9 所示。这说明 ,水泥稳定灰渣碎石对失水的敏感性要低于普通水稳碎石。

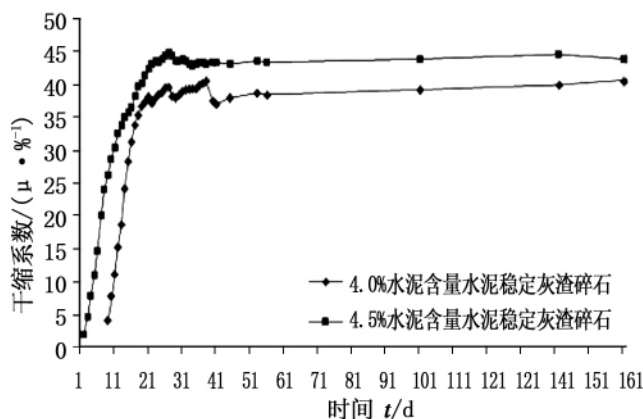


图 8 水泥稳定灰渣碎石干缩系数随时间的变化曲线

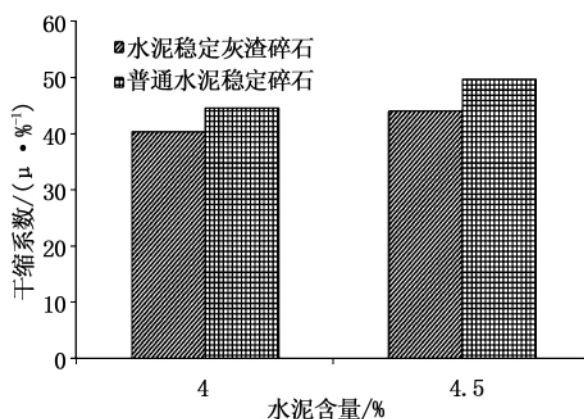


图 9 两种材料的干缩系数比较

3 结论

(1) 灰渣掺量为 31.6% 时 ,与普通水泥稳定碎石相比 ,水泥稳定灰渣碎石的最佳含水量增大 2.7% ~ 2.9% ,最大干密度降低 $0.10 \sim 0.13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

(2) 对于水泥稳定灰渣碎石材料 ,灰渣掺量为 31.6% 时 ,水泥含量增加 0.5% ,强度增长 0.52 ~ 0.63 MPa; 与普通水稳碎石相比 ,相同水泥掺量下 ,强度平均降低 0.55 MPa。

(3) 4.0% 水泥含量下的最大失水率为 3.75% ,占到最佳含水量的 50%; 4.5% 水泥含量下的最大失水率为 4.2% ,占到该水泥含量下最佳含水量的 54.5%。

(4) 水泥稳定灰渣碎石失水主要发生在前 10 天 ,而且失水的速度较快 ,到第 10 天的失水量已达到最大失水量的 81.9%。

(5) 4.0% 水泥含量下 ,水泥稳定灰渣碎石的最大干缩应变为 151.8μ ,平均干缩系数为 $40.5 \mu \cdot \%^{-1}$; 4.5% 水泥掺量下的最大干缩应变为 185.8μ ,平均干缩系数为 $44.0 \mu \cdot \%^{-1}$ 。

(6) 与普通水稳碎石相比 ,水泥稳定灰渣碎石的干缩系数降低 9.2% ~ 11.5%。

参考文献:

- [1] KOSSN D S ,VANDER SLOOT H A ,EIGHMY T T. An approach for estimation of contaminant release during utilization and disposal of municipal waste combustion residues [J]. Journal of Hazardous Materials ,1996 ,47(1-3): 43-75.
- [2] 张益. 我国生活垃圾处理技术的现状和展望 [J]. 环境卫生工程 2000 ,8(2): 81-84.
- [3] 张立新. 城市垃圾焚烧底灰的综合利用 [J]. 建材世界 2009 ,30(3): 136-139.
- [4] 孙路石 ,等. 城市生活垃圾焚烧灰渣的特征 [J]. 华中科技大学学报 2009 ,37(8): 77-79.
- [5] JTG E42-2005 ,公路工程集料试验规程 [S]. 北京: 人民交通出版社 2005.
- [6] JTJ 057-1994 ,公路工程无机结合料稳定材料试验规程 [S]. 北京: 人民交通出版社 ,1994.
- [7] JTJ 034-2000 ,公路路面基层施工技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社 2000.

Preparation and Pavement Performance of Cement Stabilized Combustion Residues – macadam

Guo Donghao^{1,2}, Xie Jianguang¹, Cao Xingguo¹

(1. Department of Civil Engineering NUAA Nanjing 210016 China; 2. Jiangsu Expressway Company Limited Nanjing 210049 China)

Abstract: There are a mass of combustion residues when municipal solid waste are combusted. By replacing a part of macadam residues used as aggregates to make cement stabilized residues – macadam materials are conducted at 31.6% content of residues. And the pavement performances of this material are also conducted. The results show that compared to the traditional cement stabilized macadam, the maximum dry density of this material decreases by 3.9% and the optimum water content increases by 62% at the same content of cement; Besides, the unconfined compressive strength will increase by 0.52 ~ 0.63 MPa if the content of cement increases by 0.5%; But the strength is lower by 4.4% compared to the strength of traditional material with the same content of cement; The maximum shrinkage strain and the shrinkage coefficient of the new material are influenced significantly by the content of cement. With 4.0% and 4.5% cement content, the maximum shrinkage strains of this material can reach to 151.8 μ and 185.8 μ respectively and the shrinkage coefficients are 40.5 $\mu \cdot \%^{-1}$ and 44.0 $\mu \cdot \%^{-1}$ respectively; Compared to traditional material, the shrinkage coefficient is lower by 9.2% ~ 11.5%.

Key words: road engineering; municipal solid waste; incineration; cement stabilized macadam; pavement base

(责任编辑 王全金)

