

垃圾焚烧炉渣的性质及其利用前景

何晶晶¹, 宋立群², 章 骅¹, 石爱娟¹, 张沛君² (同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 上海市浦东新区环境保护和市容卫生管理局, 上海 200135)

摘要: 通过对上海浦东新区垃圾焚烧发电厂炉渣的性质分析, 研究了其物理组成和化学组成、浸出毒性、溶解盐含量及其形貌特征和矿物组成。结果发现, 炉渣由熔渣、陶瓷/砖块碎片、石头、玻璃、铁和有色金属及极少量可燃物组成; 以砾状颗粒为主 (>2mm 颗粒占 60% 以上); 溶解盐含量 1%; 浸出毒性小; 主晶相为 SiO_2 、 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 、 Al_2SiO_5 、 CaCO_3 、 CaO 和 ZnMn_2O_4 。炉渣适合于资源化利用。

关键词: 生活垃圾焚烧; 炉渣; 物化性质; 资源化利用

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2003)04-0395-04

Characterization of waste incineration bottom ash and its beneficial use prospect. HE Pin-jing¹, SONG Li-qun², ZHANG Hua¹, SHI Ai-juan¹, ZHANG Pei-jun² (1. State Key Laboratory of Pollution Control and Reclamation, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Environment Protection and City Sanitation Management Bureau of Shanghai Pudong New Area, Shanghai 200135, China). *China Environmental Science*, 2003, 23(4): 395~398

Abstract: Characteristics of bottom ash from Shanghai Pudong Municipal Solid Waste Incineration Plant were studied, including physical and chemical composition, leaching toxicity, content of soluble salts, morphology and mineralogy. The results showed that, the bottom ash was composed of slag, crushed ceramics and bricks, stones, glasses, ferrous and non-ferrous metals as well as very few combustibles; gravel-sized particles (>2mm) were the main component over 60%; soluble salts content 1%; leaching toxicity was lower than the Identification standard for hazardous wastes; its minerals were mainly SiO_2 , $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, Al_2SiO_5 , CaCO_3 , CaO and ZnMn_2O_4 . The bottom ash was suitable for beneficial use.

Key words: municipal solid waste incineration; bottom ash; physical and chemical properties; beneficial use

炉渣是生活垃圾焚烧的副产物, 包括炉排上残留的焚烧残渣和从炉排间掉落的颗粒物, 有时锅炉飞灰也排入炉渣流中一并处理处置。焚烧 1t 生活垃圾约产生 200~250kg 炉渣, 以日处理量为 1000t 的生活垃圾焚烧厂为例, 1 年约产生 7~9 万 t 左右的炉渣。若作为一般固体废物进入填埋场处置, 将增加填埋场库容紧张的压力。近几十年来, 国外对焚烧炉渣性质和处理处置的研究较多^[1-3], 国内则未见相关报道。

作者以上海浦东新区垃圾焚烧发电厂(垃圾混合焚烧, 炉排为倾斜逆推往复式)炉渣为研究对象, 分析了炉渣的物理化学及其他性质, 并讨论了其资源化利用前景。

1 实验方法与设备

实验采用的测试方法和主要设备见表 1。

2 结果与讨论

2.1 物理性质

原状炉渣呈黑褐色, 风干后为灰色, 含水率为 10.5%~19.0%, 热灼减率为 1.4%~3.5%, 低热灼减率反映出其良好的焚烧效果。

炉渣是由陶瓷和砖石碎片、石头、玻璃、熔渣、铁和其他金属及可燃物组成的不均匀混合物。由图 1 可见, 大颗粒炉渣 (>20mm) 以陶瓷/砖块和铁为主, 两种物质的质量百分比随着粒径的减小而减小; 小颗粒炉渣 (<20mm) 则主要为熔渣和玻璃, 其含量随着粒径的减小而增多, 这主要是由于这些物质的物理性质和在炉排中移动时所

收稿日期: 2002-12-20

基金项目: 十五“863”计划项目(2001AA644010); 上海市重点学科(环境工程)建设资助项目(沪教委科[2001]44 号)

* 通讯联系人

受的撞击力不同而造成的。陶瓷/砖块、玻璃和铁主要是从垃圾中带来,其存在对焚烧效果有不利影响(降低垃圾热值,阻碍焚烧炉膛内的传质传热过程,大质量砖块和混凝土在进料时还可能会损坏炉膛等),其在炉渣中的组成也可作为评估分类收集效果的依据之一^[2]。炉渣中铁的总含量在 5%~8%,主要为铁罐和少量的铁丝、铁钉和瓶盖之类的物质,如果全部回收,以浦东垃圾焚烧发电厂为例(日处理垃圾量为 1000t/d,炉渣产量约 250t/d),1 年可从炉渣中回收 4500~7300t 的废铁。

去除铁后的炉渣主要含熔渣、陶瓷碎片、砖石和玻璃,可燃物的总量小于 0.5%(说明焚烧炉燃尽率很高),比较适合做材料利用。由于炉渣含铁及有色金属(主要为铝),与酸性液体接触时,会产生 H₂,在炉渣资源化利用时可能会造成膨胀等不利影响,因此炉渣利用前需进行预处理^[9],回收这些物质。炉渣中还含有少量的废电池(0.5%以下),存在污染泄漏的风险,在利用前也必须检出;应进一步完善焚烧服务区的废电池分类收集工作。

表 1 实验方法与设备

Table 1 Experimental methods and equipments

项目	测试方法	主要设备
含水率	105 烘 24h	101-2-S 电热恒温鼓风干燥箱,FA2004 电子天平(0.1mg)
热灼减率	破碎至 2mm,600 灼烧 3h	SX2-512 箱式电阻炉,FA2004 电子天平(0.1mg)
物理组成	手工分选,称重	JA21002 电子天平(0.01g)
粒径分布	标准筛分法	标准检验筛(φ200mm,0.074~50mm)
化学组成	粉碎至 100 目,消解后测定 ^[4]	AFS-2201 荧光光度计(测 As 和 Hg);PE5100 原子吸收分光光度计(测试其他金属元素)
	粉碎至 100 目,直接测定	LECO CHNS932 元素分析仪(测 C、H、N 和 S)
全盐量	森林土壤水溶性盐分析 ^[5]	H.H.S4 指针式恒温水浴锅,101-2-S 电热恒温鼓风干燥箱
酸中和能力	参考文献[1]	HY-6 双层回旋振荡机,IS-25 数字显示 pH 计,LXJ 离心沉淀机
矿物组成	粉碎至 100 目,直接测定	PW1710 X 射线衍射仪
形貌特征	电镜扫描	XL-30 ESEM 环境电子扫描显微镜
浸出毒性	参考文献[6],TCLP ^[7]	HY-6 双层回旋振荡机,AFS-2201 荧光光度计(测 As 和 Hg)
		PE5100 原子吸收分光光度计(测其他重金属)

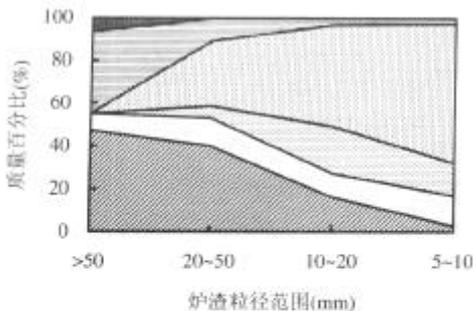


图 1 不同粒径范围的炉渣物理组成

Fig.1 Variation of visual composition with bottom ash diameter

■ 其他金属 □ 铁 □ 熔渣 □ 玻璃 □ 石头
 ▨ 陶瓷、砖块

由图 2 可见,炉渣粒径分布主要集中在 2~

50mm 的范围内(占 61.1%~77.2%),小于 0.074mm 的颗粒不到 0.6%,基本符合道路建材(骨料、级配碎石或级配砾石等)的级配要求^[9]。级配均匀的物质通常稳定性比较好,抗压强度较大,易压实到具高承载力的状态,细颗粒少则抗冻性好^[11],炉渣的这一级配性质对其资源化利用是有利的。

2.2 化学性质

炉渣的无机化学组成见表 2,Si、Al(实验中未测,但由其矿物组成可推知)、Ca、Na、Fe、C、K 和 Mg 是炉渣的主要组成元素。与飞灰相比,炉渣中的挥发性重金属(如 Cd、Hg、Pb 和 Zn)含量比较低,其他重金属含量与飞灰相似(如 Ag、Co 和 Ni)或高于飞灰(如 As、Cu、Cr 和 Mn)。

炉渣溶解盐量较低,仅为 0.8%~1.0%,因此炉

渣处理处置时因溶解盐污染地下水的可能性较小.炉渣的酸中和能力约为 4meq/g 炉渣(以 pH=4 为终点),pH 缓冲能力较强.初始 pH 值(蒸馏水浸出,液固比为 5:1)在 11.5 以上,能有效抑制重金属的浸出.

大倍数更大的图 5 可知,炉渣部分位置晶体发育良好,主要为棒状、针状和粒状晶体,但发育不是很均匀,这是因为焚烧过程中温度和空气分布不均,停留时间不同的缘故.

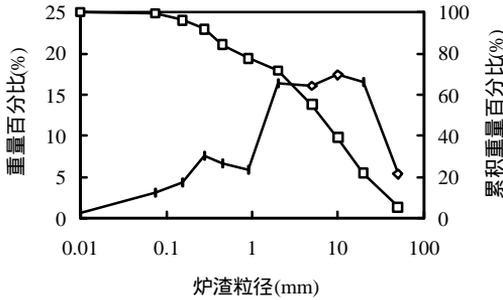


图 2 炉渣的粒径分布曲线

Fig.2 Particle size distribution curve of the bottom ash
— — 重量百分比 — — 累积重量百分比

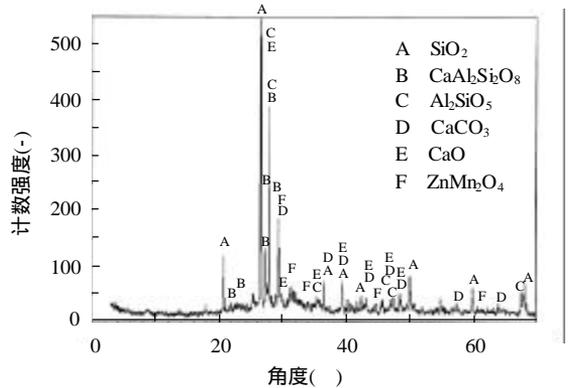


图 3 炉渣 XRD 图谱

Fig.3 XRD pattern of the bottom ash

表 2 炉渣的无机化学组成

Table 2 Chemical composition of the bottom ash

元素	含量(mg/kg)	元素	含量(10 ³ mg/kg)
Zn	1654 (60)	Ca	95.6 (8.9)
Mn	1330 (42)	Na	55.8 (10.2)
Cu	927 (286)	Fe	28.9 (1.1)
Cr	571 (94)	K	15.0 (0.7)
Pb	492 (22)	Mg	13.6 (3.0)
Ni	141 (11)	C	22.1
As	203 (73)	H	0
Co	36.6 (6.6)	N	n.d.
Ag	21.2 (11.6)	S	3.1
Cd	11.4 (1.5)		
Hg	0.14 (0.07)		

注: 含量为平均值(标准偏差) n.d. 为未检出

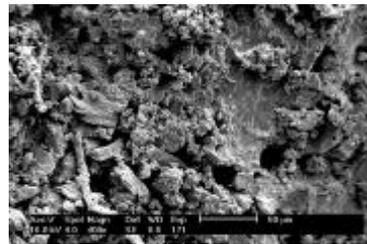


图 4 炉渣电镜扫描(×400)

Fig.4 SEM micrograph of the bottom ash (×400)

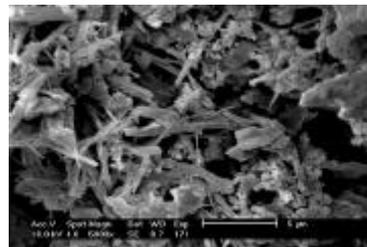


图 5 炉渣电镜扫描(×5000)

Fig.5 SEM micrograph of the bottom ash (×5000)

2.3 炉渣的矿物组成和形态

图 3 是炉渣的 XRD 谱图.炉渣矿物组成较简单,主要为 SiO₂、CaAl₂Si₂O₈ 和 Al₂SiO₅,也含少量的 CaCO₃、CaO 和 ZnMn₂O₄ 等.由此可知,炉渣的化学性质比较稳定,耐久性比较好.但 CaCO₃ 和 CaO 的存在,可能会对炉渣的利用有一定程度的影响.

由图 4 可看出,熔渣状炉渣表面很粗糙,呈不规则角状,孔隙率较高,孔隙直径也比较大.由放

2.4 炉渣的浸出毒性

表 3,表 4 分别列出了用我国标准浸出方法^[6]和美国 TCLP 浸出方法^[7]所得的炉渣浸出毒性.

可见,不管用哪种方法浸出,炉渣的重金属浸出浓度均很低,处置或利用时对环境可能造成的危害不大.从这个角度看,炉渣的资源化利用前景十分乐观.

表3 水平振荡法浸出程序所得的炉渣浸出毒性(mg/L)
Table 3 Results of horizontal vibration extraction procedure of the bottom ash (mg/L)

重金属	炉渣浸出液	标准限值
As	0.0016	1.5
Cd	0.021	0.3
Cr	0.030	10
Cu	0.113	50
Hg	0.00169	0.05
Ni	0.093	10
Pb	0.343	3
Zn	0.125	50

表4 TCLP 浸出程序所得的炉渣浸出毒性(mg/L)
Table 4 Results of TCLP of the bottom ash (mg/L)

重金属	炉渣浸出液	标准限值
As	0.006	5
Cd	0.080	1
Cr	0.073	5
Cu	1.155	-
Hg	n.d.	0.2
Ni	0.453	-
Pb	1.54	5
Zn	22.6	-

注: n.d.未检出

2.5 炉渣的有效利用

炉渣中的铁和有色金属可回收利用.国外已有的研究和工程实践表明,对炉渣进行适当的预处理以满足建筑材料所规定的技术要求后,炉渣的资源化利用(如道路基层和底基层骨料、填埋场覆盖材料和石油沥青路面或水泥/混凝土的替代骨料等)是完全可行的,并且只要管理得当,可以做到不对环境造成危害^[8].

3 结论

3.1 炉渣中含铁量为 5%~8%,以浦东垃圾焚烧发电厂为例,1 年可从炉渣中回收 4500~7300t 的废铁,回收利用价值较高;去除铁后的炉渣主要

含陶瓷/砖石、玻璃和熔渣,适合资源化利用;炉渣粒径分布较均匀,主要集中在 2~50mm,大于 2mm 颗粒占 60%以上.

3.2 Si、Al、Ca、Na、Fe、C、K 和 Mg 是炉渣的主要组成元素,与飞灰相比,炉渣中的重金属(如 Cd、Hg、Pb 和 Zn)含量比较低;炉渣的溶解盐量小于 1%,处理处置时因溶解盐污染地下水的可行性较小;酸中和能力约为 4meq/g 炉渣,pH 缓冲能力大,能有效抑制重金属的浸出.

3.3 炉渣的主晶相为 SiO₂、CaAl₂Si₂O₈、Al₂SiO₅、CaCO₃、CaO 和 ZnMn₂O₄.

3.4 炉渣的重金属浸出浓度远低于危险废物鉴别标准值,重金属污染程度小,资源化利用前景广阔.

参考文献:

- [1] Chandler A J, Eighmy T T, Hartlén J, *et al.* Municipal solid waste incinerator residues [M]. The Netherlands: Elsevier Science B. V., 1997.203-254, 454-472.
- [2] Chimenos J M, Segarra M, Fernández M A, *et al.* Character-ization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator [J]. Journal of Hazardous Materials, 1999,64(3):211-222.
- [3] Tay Joo-Hwa, Goh Anthony T C. Engineering properties of incinerator residue [J]. Journal of Environmental Engineering, 1991,117(2):224-235.
- [4] 赵丽琴,何晶晶,章 骅.城市生活垃圾焚烧灰渣酸消解方法的确定和优化 [J]. 上海环境科学, 2003,22(2):122-125.
- [5] GB 7871-87, 森林土壤水溶性盐分分析 [S].
- [6] GB5085.3-1996, 危险废物鉴别标准——浸出毒性鉴别 [S].
- [7] Kosson D S, Kosson T T, van der Sloot H A. Evaluation of solidification/stabilization treatment processes for municipal waste combustion residues (Project summary) [R]. Wasington D C: USEPA, 1993,1-8.
- [8] 章 骅,何晶晶.城市生活垃圾焚烧灰渣的有效利用 [J]. 环境卫生工程, 2002,10(1):6-10.
- [9] 中华人民共和国交通部. 公路路面基层施工技术规范(JTJ 034-2000) [M]. 北京:人民交通出版社, 2002.1-71.

作者简介:何晶晶(1962-),浙江诸暨人,同济大学教授,博士,主要从事固体废物处理与资源化研究领域的科研和教学工作.发表论文 70 篇.

致谢:上海市浦东新区固体废物管理署、上海浦东新区生活垃圾焚烧厂和上海新禹环保技术有限公司在炉渣取样等方面提供了多方面的支持和配合;上海浦东新区环境保护监测站帮助完成了重金属的分析测定.