

医疗垃圾焚烧飞灰的重金属浸出特性及其稳定化处理研究

谭中欣¹, 廖华勇², 谢建军¹, 王小波¹, 李海滨¹, 赵增立¹

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640; 2. 江苏工业学院常州市高分子材料重点实验室, 常州 213164)

摘要:通过对医疗垃圾飞灰的浸出特性和高温熔融处理实验,研究了浸出时间、液固比、pH 值和颗粒尺寸对重金属浸出特性的影响以及飞灰熔融对重金属稳定化处理效果.结果表明,随着浸出时间的增加,飞灰绝大部分重金属的浸出浓度增高,浸出毒性增强;液固比(L/S)增加,大部分重金属的浸出率大大提高,其中重金属 Cd 的浸出率最大,在液固比为 90 时,飞灰中的 Cd 的浸出率达到 70% 以上;pH 为中性左右的时候,医疗垃圾飞灰中的大部分重金属的浸出液浓度最低;颗粒尺寸在较大或者较小时,医疗垃圾飞灰中的大部分重金属浸出浓度较小,大部分重金属在颗粒尺寸 250 ~ 900 μm 时,重金属的浸出浓度较高;飞灰高温熔融后,重金属的浸出毒性大大降低,说明熔融对重金属有很好的固化效果.

关键词:医疗垃圾飞灰;浸出特性;高温熔融;重金属

中图分类号:X705; TQ543 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2008)04-1124-09

Leaching and Stabilization of Heavy Metal in the Fly Ash of Medical Wastes

TAN Zhong-xin¹, LIAO Hua-yong², XIE Jian-jun¹, WANG Xiao-bo¹, LI Hai-bing¹, ZHAO Zeng-li¹

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Polymer Materials Key Laboratory of Changzhou City, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Through the experiments of leaching and melting on the fly ash of medical wastes, the influence of leaching time, L/S, pH and grain size on the leaching characteristics of heavy metal and the effect of melting on the stabilization of fly ash are studied. Results show that, following the leaching time extending, the leaching concentrations of heavy metals and lixiviate toxicity of heavy metals increase in the fly ash. When the ratio of liquid and solid add, the leaching concentrations of heavy metals obviously become big, and the Cd's leaching concentration is the biggest, when the ratio of liquid and solid is 90, the Cd's leaching ratio exceed the percent of 70. At the time pH is about 7, the leaching concentrations of heavy metals are the lowest. When the grain size is the bigger or little, the leaching concentrations of heavy metals are lower, however when the grain size is 250-900 μm , the concentrations are higher. After fly ash melt in the high temperature, the lixiviate toxicity of heavy metals greatly reduce, which explains that the effect of melting on heavy metals' stabilization is very good.

Key words: fly ash of medical waste; leaching; melting in high temperature; heavy metals

医疗垃圾焚烧处置的残渣及灰尘属于危险废弃物,需分开收集和处理.由于医疗垃圾焚烧的飞灰中含有较高浓度的重金属,因此对医疗垃圾飞灰的重金属的渗滤特性以及稳定化处理研究,对于保护生态环境至关重要. Akiko 等^[1]利用 HNO_3 为浸取剂,研究了垃圾焚烧飞灰在不同 pH 下重金属的渗滤特性. Wu 等^[2]研究了不同 pH 下重金属与沙子混合物的渗滤特性. Tashiro 等^[3,4]研究了利用水泥固定富含重金属的污泥,证明水泥固化对污泥中的重金属元素有明显的稳定作用. Lombardi 等^[5]研究了用水泥固定医疗废弃物焚烧飞灰,医疗垃圾飞灰特点在于它的氯化物、硫化物和碱性物质的含量都很高,研究发现当混合物中重金属的含量在 0.5% 时,水泥的硬化特性基本不受影响,当重金属含量增加到 5% 时,会延迟水泥的早期硬化,其中 As 的影响最大, Zn、Pb、Cu 的影响较小, Cr、Cd、Hg 对水泥硬化没有

影响. 一些研究者^[6~11]对于飞灰与水泥在不同掺和比例形成的混合物的抗压强度及重金属的渗滤特性进行研究,结果表明,由于飞灰的加入,混合物的硬度大大降低,并且飞灰的加入增加了水泥的凝固时间,不同类型的飞灰与水泥混合应有一个最优的配比. Isabel 等^[12]利用水泥固定由大气污染控制而产生的飞灰,从而研究固化后的飞灰在不同 PH 值下,重金属的渗滤行为. Vilomet 等^[13]利用同位素示踪的方法研究了填埋渗滤液中重金属铅在土壤和地下水中的迁移渗滤行为. Amlan 等^[14]研究认为美国 EPA 的 TCLP 毒性浸出方法,在固体废弃物填埋条件下,可能低估了砷的渗滤毒性. Jang 等^[15]研究了电子线

收稿日期: 2007-08-24; 修订日期: 2007-11-08

基金项目: 广东省科技计划项目(20063110081); 中国科学院广州能源所所长基金项目(0607ba1001)

作者简介: 谭中欣(1977 ~), 男, 博士, 主要研究方向为固体废物能利用及其污染物控制, E-mail: tanzx@ms.giec.ac.cn

路板中重金属铅的毒性浸出实验,认为 pH 和有机酸能力是可以控制线路板中重金属铅的浸出数量. Islam 等^[16,17]研究了在水泥固定化废物的重新矿化过程对重金属浸出毒性的影响,指出渗滤液的 pH 值和重新矿化过程决定了重金属浸出数量. Zomeran 等^[18]研究了垃圾焚烧的底灰中天然有机成分对铜浸出的作用,认为天然有机成分促进了铜的浸出数量. Dijkstra 等^[19]通过实验和模型结合研究了污染土壤中重金属的浸出毒性,认为多表面模型方法能够准确的预测来自于污染土壤中的重金属浸出浓度. Geelhoed 等^[20]研究亚铁离子加入对铬酸盐渗滤的影响,认为亚铁离子加入促进了 Cr(VI)的浸出,但是对 Cr(VI)向 Cr(III)的转变没有影响.

国内外的研究主要集中在普通飞灰的渗滤特性及其水泥固定化处理上,而对于医疗垃圾焚烧的飞灰的渗滤特性以及高温熔融处理的研究较少. 因此,本试验以医疗垃圾飞灰为对象,研究它不同条件下的渗滤特性以及高温熔融处理的效果,以求能对医疗垃圾飞灰提供一种安全处理的参考.

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验分析所用的飞灰样品来自于浙江湖州的医疗垃圾回转窑热解焚烧炉.

1.1.1 飞灰的特性

由图 1 可以看出,飞灰主要是由一些无机成分组成,而且还有大量的氯元素和硫元素.

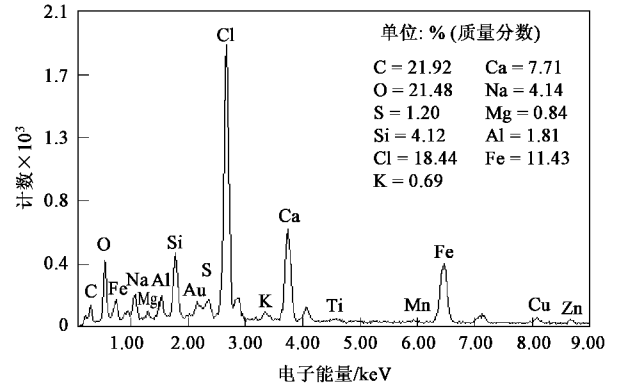


图 1 飞灰元素分析
Fig.1 Element analyse of fly ash

1.1.2 飞灰的粒径分布特征

由图 2 可以看出,医疗垃圾飞灰粒径都集中在 154 ~ 900 μm,其中 250 ~ 355 μm 占了 30% 以上.

1.1.3 飞灰和底渣的重金属含量

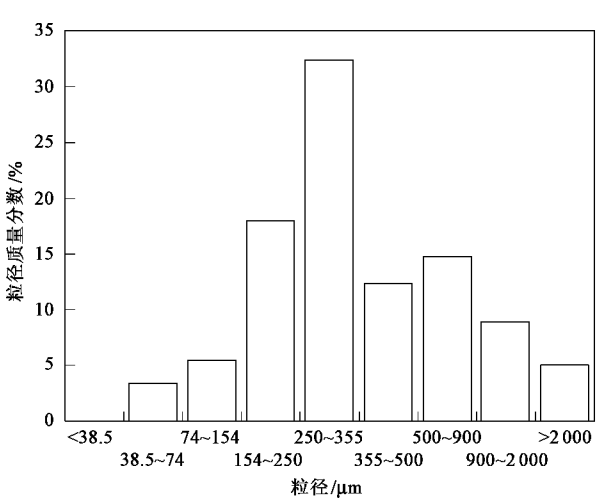


图 2 飞灰粒径大小分布
Fig.2 Grain size distribution of fly ash

由表 1 飞灰的重金属含量测定结果可以看出,医疗垃圾焚烧的飞灰的重金属含量较高.

表 1 飞灰的原始重金属含量 / mg · kg⁻¹

元素	Cr	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg
浓度	1 476.92	32.2	1 255.1	1 175.95	755.55	794.22	18.478

1.2 实验方法

1.2.1 浸出时间对重金属浸出特性的影响实验

实验选取医疗垃圾飞灰进行研究,样品经 108℃ 下干燥预处理至恒重,称取样品 2.000 g,所采用的渗滤方法是基于美国环保署(EPA)的毒性特性浸出方法(TCLP),浸取剂采用 pH = 2.88 ± 0.05 的醋酸溶液,浸取剂与试样按液固比(L/S)为 20:1 混合后,在室温环境[(23 ± 2)℃]下,选取不同的振荡时间来考虑浸出时间对重金属浸出特性的影响,所采用浸出时间分别为 3、6、9、12、15、18、21 和 24 h,用有效孔径为 0.6 ~ 0.8 μm 的过滤装置过滤,得到浸出液保存备测.

1.2.2 液固比(L/S)对重金属浸出特性的影响实验

实验同样选取医疗垃圾飞灰进行研究,样品经 108℃ 干燥预处理至恒重,称取样品 2.000 g,所采用的浸出方法是基于美国环保署(EPA)的毒性特性浸出方法(TCLP),浸取剂采用 pH = 2.88 ± 0.05 的醋酸溶液,浸取剂与试样按液固比(L/S)分别取为 10、20、30、40、50、60、70、80 和 90 混合后,在室温环境[(23 ± 2)℃]下,以(30 ± 2) r/min 的转速,振荡时间为 18 h,用有效孔径为 0.6 ~ 0.8 μm 的过滤装置过滤,得到浸出液,保存备测.

1.2.3 浸取剂初始 PH 值对重金属浸出特性的影响实验

选取医疗垃圾飞灰进行研究,样品经 108℃干燥预处理至恒重,称取样品 2.000 g,所采用的浸出方法是基于美国环保署(EPA)的毒性特性浸出方法(TCLP),浸取剂分别采用 HNO₃ 溶液和 NaOH 溶液配制的 pH 值为 1、3、5、7、9、11、13 的溶液,浸取剂与试样按液固比(L/S)为 20:1 混合后,在室温环境(23℃±2℃)下,以(30±2)r/min的转速,振荡时间为 18 h,用有效孔径为 0.6~0.8 μm 的过滤装置过滤,得到浸出液,保存备测。

1.2.4 不同颗粒尺寸下重金属的浸出特性实验

实验中选取医疗垃圾飞灰作为物料,样品经 108℃干燥预处理至恒重,根据颗粒尺寸范围(μm): <38.5、38.5~74、74~154、154~250、250~355、355~500、500~900、900~2 000、>2 000,在每个范围内各称取样品 2.000 g,所采用的浸出方法是美国

环保署(EPA)的毒性特性浸出标准方法(TCLP),浸取剂采用 pH=2.88±0.05 的醋酸溶液,浸取剂与试样按液固比(L/S)为 20:1 混合后,在室温环境(23℃±2℃)下,以(30±2)r/min的转速,振荡时间为 18 h,用有效孔径为 0.6~0.8 μm 的过滤装置过滤,得到浸出液,保存备测。

1.2.5 高温熔融处理实验

实验所采用的医疗垃圾飞灰作为物料.样品经 108℃干燥预处理至恒重,并由试验测得医疗垃圾飞灰的熔点在1 080℃左右.实验采用电热式熔融实验装置,并用 KSY 型可控硅进行控制输出功率来实现控温,可以在 400~1 500℃之间任意设定温度运行.熔融实验在恒温下进行,利用坩埚盛装 20.000 g 的飞灰样品,在1 000℃左右放入熔融炉炉膛,升温至 1 350℃,在该温度下放置 40 min,待飞灰熔融完全之后,关闭加热系统,炉内熔渣随熔融炉逐渐冷却至室温.熔融实验中以空气为介质,自然对流通风,冷却

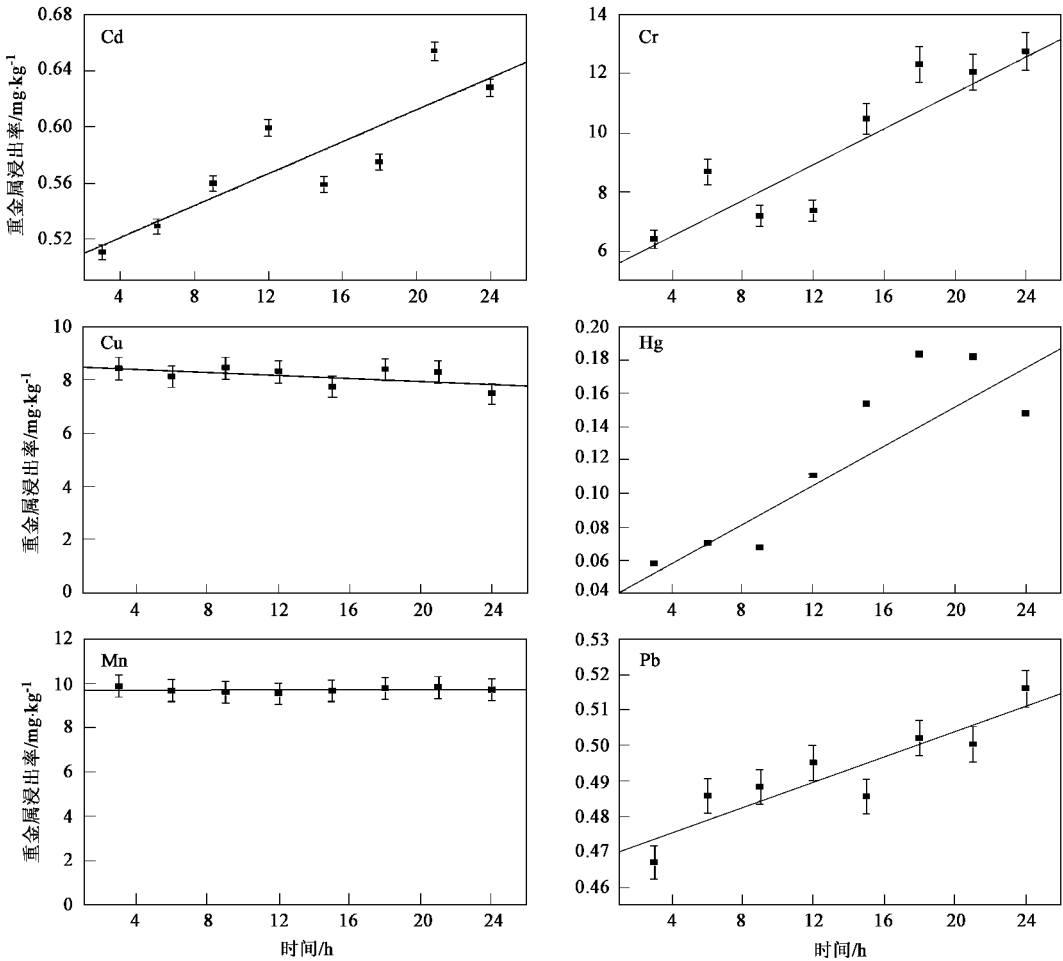


图 3 时间对飞灰重金属渗滤液浓度的影响

Fig.3 Heavy metal leaching of fly ash influenced by the time

方式采用炉内缓慢冷却,熔融完的样品保存,作为浸出实验的材料,以检测熔融处理使重金属稳定化的效果.

2 结果与讨论

2.1 浸出时间对飞灰重金属浸出特性的影响

由图 3 可以看出,Cd、Cr、Hg 和 Pb 随着浸出时间增长,浸出液重金属浓度明显增高,呈直线上升;而 Cu、Mn 随着浸出时间增大,重金属浓度比较平稳,说明时间对这 2 种金属在 24 h 内影响不大.

2.2 液固比(L/S)对重金属浸出特性的影响

由图 4 可以看出,随着浸出过程中的液固比(L/S)的增加,重金属 Cd、Cr、Cu、Mn、Pb、Hg 的浸出率都呈增加的趋势,其中 Mn、Pb 基本呈直线上升,Cd、Cr、Cu、Hg 基本上是在低的液固比(L/S)范围内对重金属的浸出率影响较大,高液固比时呈缓慢增长;从浸出率的大小可以看出,重金属 Cd 的浸出率最大,在液固比为 90 时飞灰中的 Cd 的渗出率达到 70% 以上.按照 EPA 的国际浸出(TCLP)的方法,在 L/S 为 20:1 时,Cd 最高为 35% 左右,Cu 最低在 10% 左右,即使最低的 Cu 都大大超过了 EPA 的浸出毒性标准.

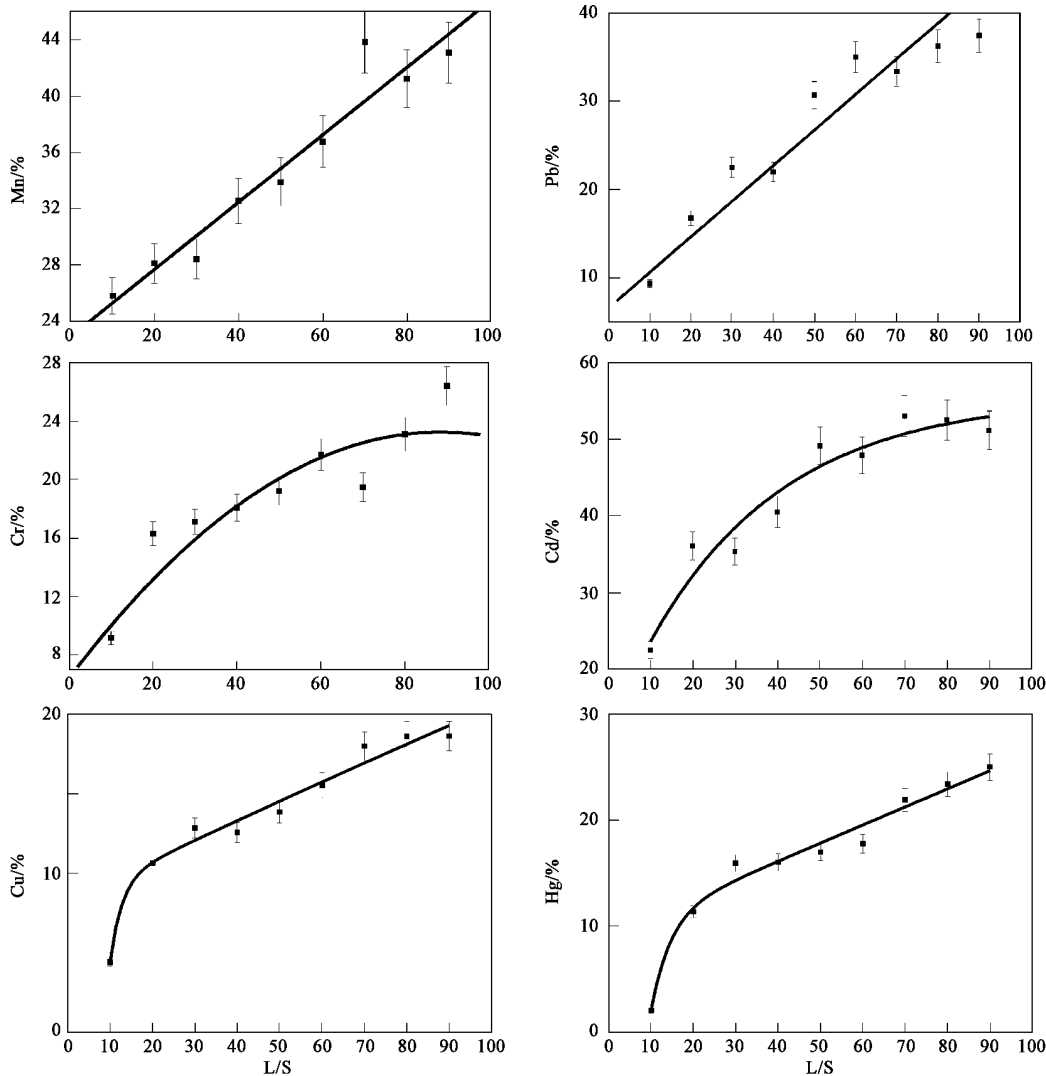


图 4 L/S 对飞灰重金属浸出特性的影响
Fig.4 Heavy metal leaching of fly ash influenced by L/S

2.3 不同 pH 值对飞灰浸出特性的影响

由图 5 可以看出,在 pH < 4 以,Cu、Cr、Pb 浸出浓度随着 pH 迅速降低,在 pH 为 4 ~ 11 之间,浸出

浓度非常平稳,在 pH > 11 以后浸出浓度又逐渐升高;而 Cd 则不同,它是在 pH > 7 以后浸出浓度迅速增加的,中间没有一个平稳过程,Cd 浸出浓度随 pH

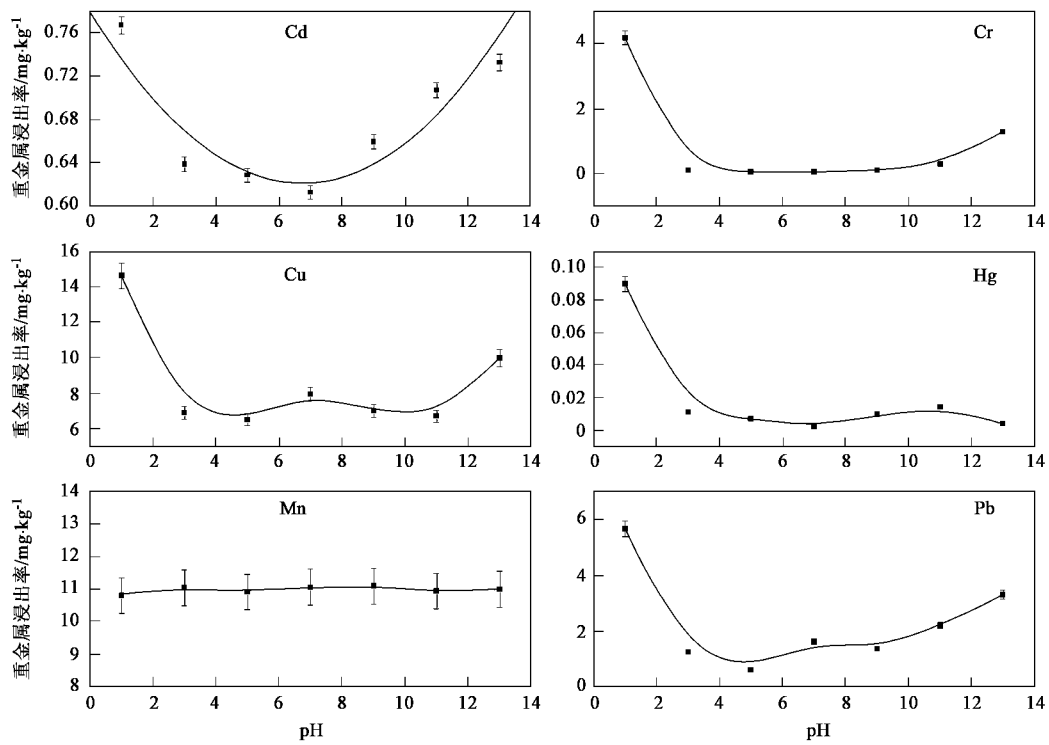


图 5 pH 对飞灰重金属渗滤特性的影响

Fig.5 Heavy metal leaching of fly ash influenced by pH

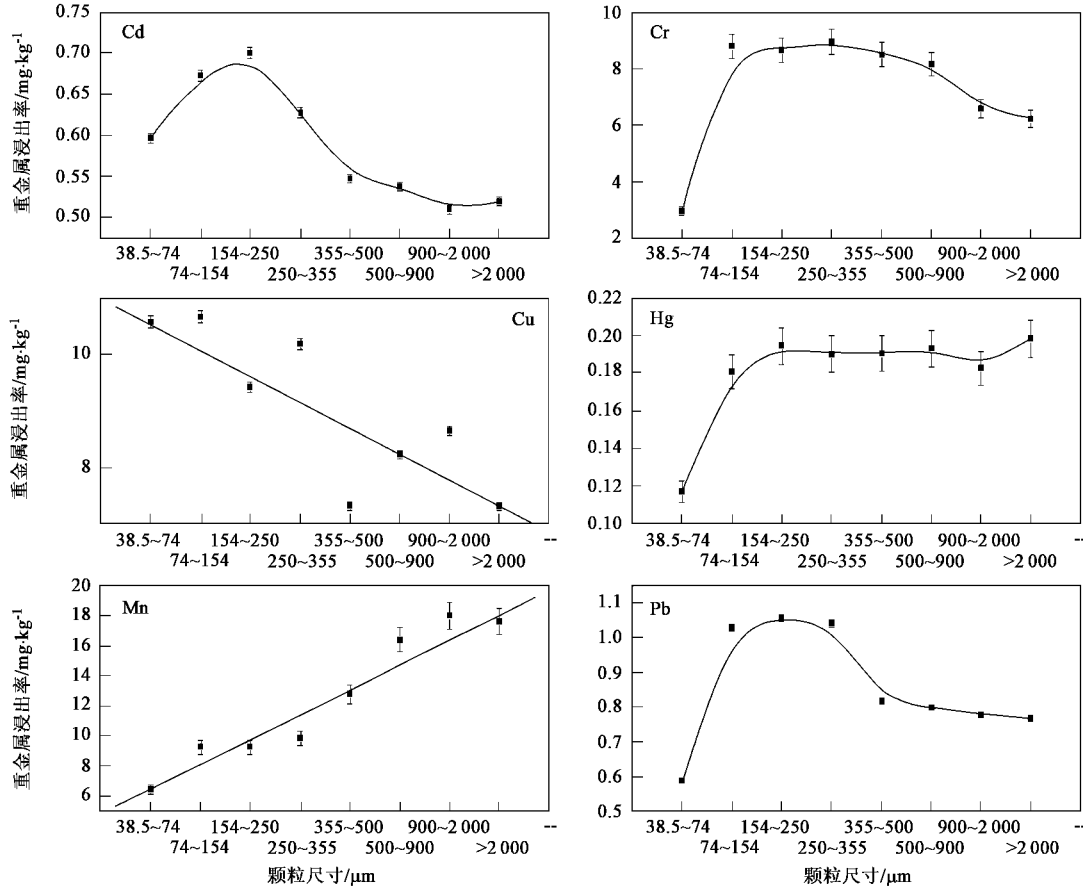


图 6 颗粒尺寸对飞灰重金属渗滤特性的影响

Fig.6 Heavy metal leaching of fly ash influenced by grain size

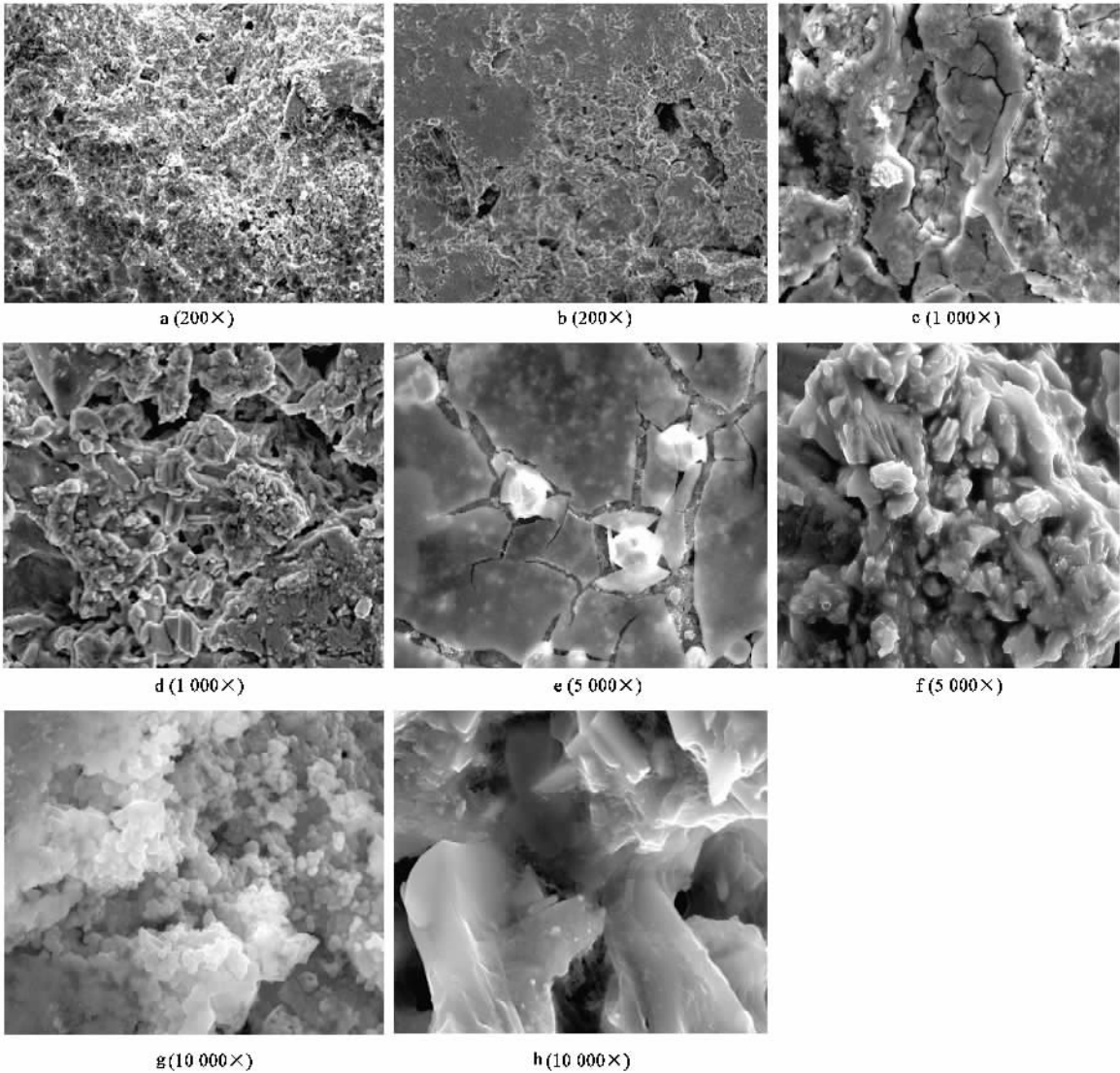


图 7 飞灰熔融前后的电镜照片
Fig.7 SEM photo of fly ash by melting

值变化呈锥子形;Hg 的浸出液浓度在 pH=4 之前随着 pH 的升高迅速降低,但是在此之后随着 pH 值的升高 Hg 的浸出液浓度基本没有变化;Mn 的浸出液浓度随着 pH 的变化很稳定,说明在浸提 18 h 以内, pH 值对 Mn 的浸出浓度影响不大。

2.4 不同颗粒尺寸对飞灰浸出特性的影响

由图 6 可以看出,颗粒尺寸对飞灰重金属浸出影响较大,Cd、Cr、Pb 的浸出液浓度随着颗粒尺寸变化先增高后降低,在颗粒很小时,浸出毒性较低;Hg 的浓度在颗粒尺寸 250 μm 以下时,随着颗粒尺寸的增大而明显增高,在 250 μm 以上时,颗粒尺寸增高浸出液浓度变化不大;浸出液中 Cu 和 Mn 浓度随着颗粒尺寸的变化呈相反趋势,Cu 随着颗粒尺寸的增大浸出液浓度明显降低,而 Mn 随着颗粒尺寸的增

高浸出液浓度明显增强,几乎成直线上升。

2.5 飞灰和底渣中重金属高温熔融稳定化处理研究

2.5.1 熔融前后飞灰形貌特征

图 7 给出了医疗垃圾飞灰前后对比的电镜照片图,其中图 7 中 a、c、e、g 为医疗垃圾飞灰的原样,b、d、f、h 为飞灰高温熔融以后的样品。

由图 7 可以看出,飞灰的熔渣和原样在熔融后外貌发生很大变化,由 200 × 扫描电镜图可以看到,a、b 熔渣和原样相比显得更为致密;由 1 000 × 的扫描电镜图可以看到 c、d 熔渣存在明显的网状结构,大块明显减少,说明飞灰中原来有机成分大大降低;从高倍扫描电镜 5 000 × 与 10 000 × 中,可以看出很明显的不规则晶体状的物质存在,而且比原样要大

的多,说明熔融以后飞灰的固化效果大大增强.因此为了更好地定性分析电镜的结果,又对熔融前后飞灰进行了能谱和 XRD 的分析.

2.5.2 熔融前后飞灰能谱和 X 射线衍射分析

由图 8 能谱分析可以看出,飞灰熔融前后,Ca 和 Si 的含量明显增高,说明熔融后飞灰明显矿化,出现大量的无机盐类,同时证明电镜照片中的晶体

物质应该主要为 Ca 和 Si 的无机盐.由图 9 可以看出,熔融后的飞灰主要为 Fe_3O_4 、 SiO_2 、 CaSO_4 、 CaSiO_3 等,因此可以推断高温熔融后飞灰在电镜中出现的白色晶体物质主要为这些无机盐化合物,说明熔融对飞灰的固化和晶体化效果是极为明显的.为了说明飞灰高温熔融以后重金属更加稳定,又对熔融后的飞灰又做了重金属的渗滤特性实验.

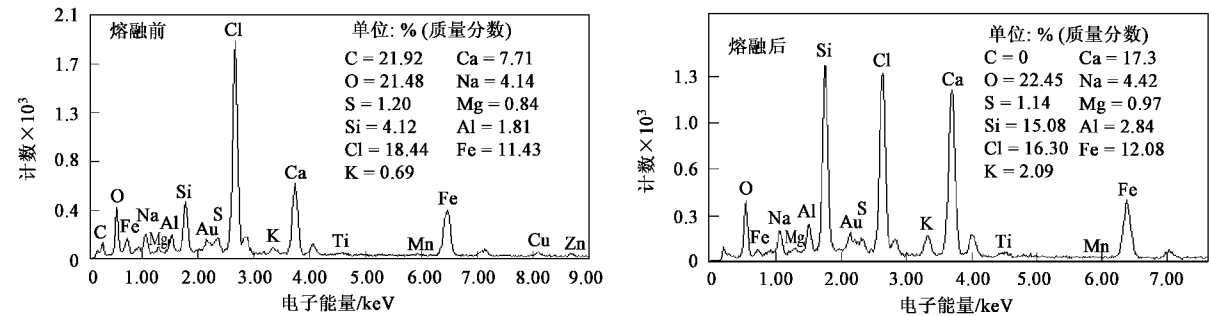


图 8 飞灰熔融前后能谱分析
Fig.8 EDS analyse of fly ash by melting

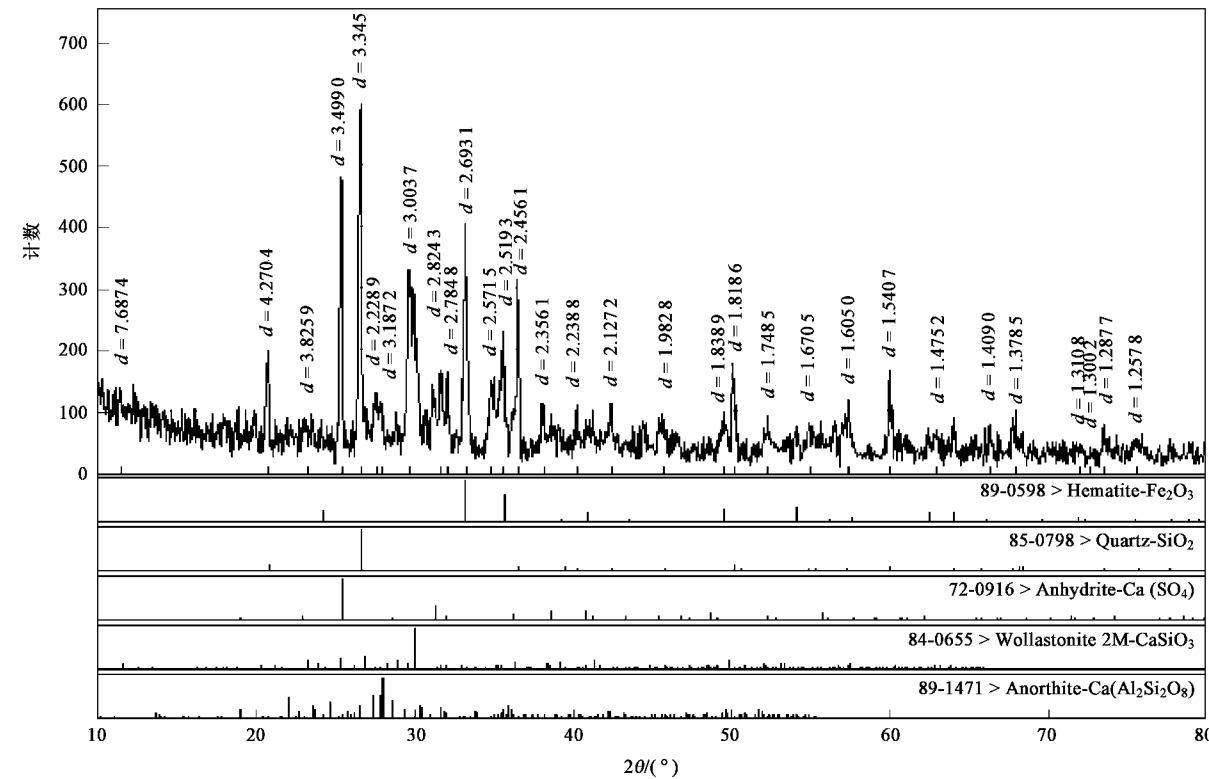


图 9 飞灰熔融后 XRD 分析
Fig.9 XRD analyse of fly ash by melting

2.5.3 飞灰熔融后的浸出毒性分析

采用美国 EPA 的国际标准的浸出方法:用 $\text{pH} = 2.88 \pm 0.05$ 的醋酸溶液,浸取剂与试样按液固比 (L/S) 为 20:1 混合后,置于浸取瓶中密闭,垂直固定于旋转振荡机上,在室温环境 ($23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) 下,以 (30

± 2) r/min 的转速振荡 18 h,取下后用有效孔径为 $0.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 的过滤装置过滤,得到渗滤液,采用原子吸收和冷原子吸收的方法来测定各种主要重金属.

由表 2 可以看出,在飞灰熔融以后,渗滤液中重

金属的浓度大大降低,说明熔融对重金属的固定化效果很好;在飞灰中,以重金属 Mn 的渗滤液浓度降低幅度最大;熔融以后飞灰整体的重金属渗滤液浓

度大大降低,并且达到了美国规定的重金属的浸出毒性标准.因此,高温熔融是处理飞灰以及一些需要重金属污染控制的危险废弃物的很好途径.

表 2 飞灰熔融前后渗滤液浓度的对比¹⁾/mg·L⁻¹
Table 2 Leaching solution concentration of fly ash by melting/mg·L⁻¹

重金属	Cu	Pb	Cr	Cd	Mn	Ni	Hg
飞灰	7.315 8	0.597 3	12.065	0.573 4	9.339 6	6.336 6	0.104 8
熔融的飞灰	1.390 1	ND	ND	0.446 9	0.532 7	0.231 9	ND

1)采用美国 EPA 标准的重金属毒性检测方法

3 结论

- (1) 随着浸出时间的增加,飞灰绝大部分重金属的渗滤浓度增高,浸出毒性增强.
- (2) 液固比(L/S)的增加,大部分重金属的渗滤率大大提高.其中重金属 Cd 的渗出率最大,在液固比为 90 时,飞灰中的 Cd 的渗出率达到 70% 以上.
- (3) pH 为中性左右的时候,医疗垃圾飞灰中的大部分重金属的渗滤液浓度最低,在 pH 为强碱或者强酸的条件下,重金属的浸出毒性大大增强.
- (4) 颗粒尺寸在较大或者较小时,医疗垃圾飞灰中的大部分重金属渗滤液浓度较低,大部分重金属在颗粒尺寸 250 ~ 900 μm 时,重金属的渗滤液浓度较高.
- (5) 飞灰高温熔融后,重金属的浸出毒性大大降低,是一种很好的飞灰重金属固定的方法.

参考文献:

[1] Akiko K, Yukio N, Teruji I. Chemical speciation and leaching properties of elements in municipal incinerator ashes [J]. Waste Management, 1996, **16**(5): 527-536.

[2] Wu G X, Loretta Y L. Modeling of heavy migration in sand/bentonite and the leachate pH effect [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 1998, **33**: 313-336.

[3] Tashiro C D, Takahashi H, Kanaya M. Hardening property of cement mortar adding heavy metal compound and solubility of heavy metal from hardened mortar [J]. Cem Conc Res, 1977, **7**: 283-290.

[4] Hills C D, Koe S R. Early heat of hydration during the solidification of a metal plating sludge [J]. Cem Conc Res, 1992, **22**: 822-832.

[5] Lombardi T, Mangialardi L, Piga P S. Mechanical and leaching properties of cement solidified hospital solid waste incinerator fly ash [J]. Waste Management, 1998, **18**: 99-106.

[6] Pietro U, Domenico C. Solidification and stabilization of cement paste containing fly ash from municipal solid waste [J]. Thermochemica Acta, 1998, **321**: 143-150.

[7] Isabel B, Christian L, Johnson C A. The leaching behavior of cement stabilized air pollution control residues: a comparison of field and laboratory investigations [J]. Environ Sci Technol, 2001, **35** (13): 2817-2822.

[8] James R T. Durability of MSW fly ash concrete [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 1992, **4**(4): 369-384.

[9] Sloot H A V. Characterization of the leaching behaviour of concrete mortars and of cement stabilized wastes with different waste loading for long term environmental assessment [J]. Waste Management, 2002, **22**: 181-186.

[10] Remond S, Bentz D P, Pimienta P. Effects of the incorporation of municipal solid waste incineration fly ash in cement pastes and mortars- II : modeling [J]. Cement and Concrete Research, 2002, **32**: 565-576.

[11] Li X D, Poon C S, Sun H, *et al.* Heavy metal speciation and leaching behaviors in cement based solidified / stabilized waste materials [J]. Journal of Hazardous Materials, 2001, **82**: 215-230.

[12] Baur I, Ludwig C, Johnson C A. The Leaching Behavior of Cement Stabilized Air Pollution Control Residues: A Comparison of Field and Laboratory Investigations [J]. Environ Sci Technol, 2001, **35**: 2817-2822.

[13] Vilomet J D, Veron A, Ambrosi J P, Moustier S, *et al.* Isotopic Tracing of Landfill Leachates and Pollutant Lead Mobility in Soil and Groundwater [J]. Environ Sci Technol, 2003, **37**: 4586-4591.

[14] Amlan G, Muhammed M, Wendell E. TCLP Underestimates Leaching of Arsenic from Solid Residuals under Landfill Conditions [J]. Environ Sci Technol, 2004, **38**: 4677-4682.

[15] Jang Y C, Townsend T G. Leaching of Lead from Computer Printed Wire Boards and Cathode Ray Tubes by Municipal Solid Waste Landfill Leachates [J]. Environ Sci Technol, 2003, **37**: 4778-4784.

[16] Islam M Z, Catalan L J, Yanful E K. Effect of Remineralization on Heavy-Metal Leaching from Cement-Stabilized/Solidified Waste [J]. Environ Sci Technol, 2004, **38**: 1561-1568.

[17] Islam M Z, Catalan L J, Yanful E K. A Two-Front Leach Model for Cement-Stabilized Heavy Metal Waste [J]. Environ Sci Technol, 2004, **38**: 1522-1528.

[18] Zomeren A V, Comans Rob N J. Contribution of Natural Organic Matter to Copper Leaching from Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash [J]. Environ Sci Technol, 2004, **38**: 3927-3932.

[19] Dijkstra J J, Meeussen J C L, Comans R N J. Leaching of Heavy

Metals from Contaminated Soils: An Experimental and Modeling Study [J]. Environ Sci Technol, 2004, **38**: 4390-4395.

[20] Geelhoed J S, Meeussen J C L, *et al.* Chromium Remediation or Release? Effect of Iron (Ⅱ) Sulfate Addition on Chromium (Ⅵ) Leaching from Columns of Chromite Ore Processing Residue [J]. Environ Sci Technol, 2003, **37**: 3206-3213.

2006 年环境科学技术类期刊总被引频次和影响因子排序表¹⁾

(中国科学技术信息研究所 2007 年 11 月 15 日发布)

代码	期刊名称	总被引频次			影响因子		
		数值	学科排名	离均差率	数值	学科排名	离均差率
Z027	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES	352	26	-0.61	0.406	22	-0.40
Z549	安全与环境学报	563	21	-0.37	0.744	13	0.11
Z029	长江流域资源与环境	811	12	-0.09	0.830	11	0.23
Z024	城市环境与城市生态	611	18	-0.32	0.301	27	-0.55
Z015	电镀与环保	330	27	-0.63	0.444	20	-0.34
Z544	防灾减灾工程学报	99	31	-0.89	0.348	26	-0.48
Z013	工业水处理	1 021	10	0.14	0.406	22	-0.40
Z032	工业用水与废水	288	28	-0.68	0.207	31	-0.69
Z010	海洋环境科学	642	15	-0.28	0.653	14	-0.03
Z009	化工环保	595	19	-0.34	0.944	7	0.40
Z017	环境保护科学	274	29	-0.69	0.246	30	-0.63
Z005	环境工程	569	20	-0.36	0.371	25	-0.45
Z004	环境科学 ²⁾	2 899	1	2.24	1.310	3	0.95
Z003	环境科学学报	2 362	2	1.64	1.076	5	0.60
Z002	环境科学研究	1 141	8	0.27	1.089	4	0.62
Z025	环境科学与技术	687	14	-0.23	0.397	24	-0.41
Z019	环境污染与防治	701	13	-0.22	0.462	19	-0.31
Z021	环境污染治理技术与设备	1 503	6	0.68	0.550	16	-0.18
Z008	农业环境科学学报	1 779	5	0.99	0.879	8	0.31
H784	生态环境	975	11	0.09	0.837	10	0.24
Z023	生态与农村环境学报	627	16	-0.30	0.838	9	0.25
Z016	水处理技术	614	17	-0.31	0.268	29	-0.60
Z007	四川环境	419	25	-0.53	0.413	21	-0.39
T953	消防科学与技术	254	30	-0.72	0.291	28	-0.57
Z551	植物资源与环境学报	517	23	-0.42	0.638	15	-0.05
G129	中国安全科学学报	1 060	9	0.18	0.828	12	0.23
Z030	中国环境监测	445	24	-0.50	0.480	18	-0.29
Z001	中国环境科学	2 045	3	1.28	1.062	6	0.58
Z546	中国人口资源与环境	518	22	-0.42	0.513	17	-0.24
Z022	资源科学	1 152	7	0.29	1.350	2	1.01
Z012	自然资源学报	1 926	4	1.15	1.675	1	1.49
平均值		896			0.673		

1) 数据源于:中国科学技术信息研究所,2007 年版中国科技期刊引证报告(核心版)[M],北京:科学技术文献出版社,2007,212.

2) 《环境科学》2002~2007 连续 6 年荣获“百种中国杰出学术期刊”称号.