

生活垃圾焚烧飞灰的处理处置方法

张瑞娜¹, 赵由才¹, 许 实²

(1. 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. 上海交通大学 分析测试中心, 上海 200030)

摘 要: 随着生活垃圾焚烧技术在中国城市生活垃圾处理中的推广, 对生活垃圾焚烧残余物, 主要是飞灰的处理、处置已成为困扰人们生产生活的重要问题之一。介绍了飞灰处理的固化方法、药剂稳定化、飞灰中重金属的提取及最终处置。

关键词: 生活垃圾; 焚烧; 填埋; 固化稳定化; 熔融固化; 重金属提取

中图分类号: X 592

文献标识码: A

文章编号: 1672-0679(2003)01-0022-08

由于生活垃圾焚烧处理速度快, 占地面积少, 减量化和无害化效果显著, 因此, 在我国用地紧张、生活垃圾处理压力大的城市, 如上海、北京、深圳、常州等地率先得到了应用。就上海地区而言, 生活垃圾焚烧技术发展很快, 城市生活垃圾处理、处置中该技术所占的比重也越来越大。上海 2002 年建成浦东新区御桥生活垃圾焚烧厂, 日处理能力 1 000 t; 2003 年即将建成的浦西江桥生活垃圾焚烧厂的日处理能力 1 500 t, 这两座焚烧厂每年将会产生飞灰约 3 万 t。由于飞灰中含有可被水浸出的较高浓度的 Cd、Pb、Cu、Zn 和 Cr 等多种有害重金属物质和盐类, 《国家危险废物名录》已经明确规定生活垃圾焚烧飞灰为危险废物, 即编号为 HW18, 飞灰的处置必须严格按照危险废物的标准进行。如日本的固体废物管理法规“*The Waste Disposal and Public Cleansing Law*”中就明确规定, 飞灰必须经过下述四种处理方法之一: 熔融固化、水泥固化、化学稳定化和酸浸提^[1], 才能进入填埋场。对于每天产生的如此大量的飞灰, 如何借鉴国外的经验, 探索适合我国国情的飞灰处理处置方法至关重要。

1 生活垃圾焚烧飞灰处置常用的方法及其分类

目前, 飞灰处置的常用方法有: (1) 经过适当处置后进入危险废物填埋场进行最终处置; (2) 固化稳定化。水泥固化、沥青固化、熔融固化技术、化学药剂固化稳定化等, 经过固化稳定化处理后的产物, 如满足浸出毒性标准或者资源化利用标准, 可以进入普通填埋场进行填埋处置或进行资源化利用; (3) 将飞灰中的重金属提取。酸提取、碱提取、生物及生物制剂提取等, 经过重金属提取后的飞灰和重金属可以分别进行资源化利用。上述飞灰处理方法中的大部分已经实际应用于生活垃圾焚烧厂, 并取得一定的效果。

1.1 进入填埋场进行最终处置

我国的《危险废物污染防治技术政策》(国家环境保护总局, 2001) 中第 9 条对飞灰的规定:

[收稿日期] 2003-01-02

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(20177014)

[作者简介] 张瑞娜(1973-), 女, 辽宁大连人, 硕士研究生。

生活垃圾焚烧产生的飞灰必须单独收集,不得与生活垃圾、焚烧残渣等其它废物混合;不得与其它危险废物混合;不得在产生地长期贮存;不得进行简易处置及排放。生活垃圾焚烧飞灰在产生地必须进行必要的固化和稳定化处理之后方可运输。生活垃圾焚烧飞灰须进行安全填埋处置。另外,国家危险废物浸出毒性鉴别标准值见表 1,而允许进入危险废物填埋场的废物的浸出毒性的最高限值见表 2。

进行资源化利用时,除需满足浸出毒性标准,还需满足材料应用的其他物理化学性质要求,如:抗压强度、长期化学浸出行为和物理完整性等。填埋是废物的一种最终处置方式。经过处理但短期之内又没有合适的资源化利用方法时,废物只有进入填埋场进行最终处置。

表 1 浸出毒性鉴别标准值

项 目	浸出液最高允许浓度 /mg · L ⁻¹	项 目	浸出液最高允许浓度 /mg · L ⁻¹
无机氟化物(不包括氟化钙)	50	氰化物(以 CN ⁻ 计)	1.0
砷及其化合物(以总砷计)	1.5	镉(以总镉计)	0.3
镍及其化合物(以总镍计)	10	铅(以总铅计)	3
钡及其化合物(以总钡计)	100	汞及其化合物(以总汞计)	0.05
铍及其化合物(以总铍计)	0.1	有机汞	不得检出
锌及其化合物(以总锌计)	50	六价铬	1.5
铜及其化合物(以总铜计)	50	总铬	10

注:表中数据摘自 GB5085.3 中的有关规定。

表 2 允许进入危险废物填埋区的控制限值

项 目	稳定化控制限值 / mg · L ⁻¹	项 目	稳定化控制限值 /mg · L ⁻¹
有机汞	0.001	锌及其化合物(以总锌计)	75
汞及其化合物(以总汞计)	0.25	铍及其化合物(以总铍计)	0.20
铅(以总铅计)	5	钡及其化合物(以总钡计)	150
镉(以总镉计)	0.50	镍及其化合物(以总镍计)	15
总铬	12	砷及其化合物(以总砷计)	2.5
六价铬	2.50	无机氟化物(不包括氟化钙)	100
铜及其化合物(以总铜计)	75	氰化物(以 CN ⁻ 计)	5

注:1.表中数据摘自 GB 18598-2001 中浸出毒性的有关规定;2.除浸出毒性外,废物浸出液 pH 值小于 7.0 和大于 12.0 的废物,本身具有反应性、易燃性的废物,含水率高于 85%的废物,液体废物也不能直接进入危险废物填埋场。

1.2 固化稳定化

1.2.1 水泥、石灰固化

水泥固化因其设备、操作要求简单和固化费用相对较低而得到广泛应用。但水泥固化处理后增容量大,而且如果飞灰中含有阻碍水泥正常凝结的成分时,常会发生固化体强度低、有害物质浸出率高等问题。研究表明,水泥固化前将飞灰进行预洗,会大大增强固化体强度,降低固化体的浸出毒性^[2]。在水泥固化时加入 EDTA 对固化体的浸出毒性几乎没有任何影响^[3]。

石灰固化是指以石灰、粉煤灰、水泥窑灰以及熔矿炉炉渣等具有波索来反应(Pozzolanic Reaction)的物质为固化基材而进行的危险废物固化/稳定化的操作。在适当的催化环境下进行

波素来反应,将废物中的重金属成分吸附于所产生的胶体结晶中。石灰固化处理所能提供的结构强度不如水泥固化,因此很少单独使用。此外还有沥青固化、塑性材料固化技术、自胶结固化技术、大型包胶技术等,但由于技术和经济原因,很少应用于生活垃圾焚烧飞灰的处理^[4]。

1.2.2 化学药剂固化

化学药剂稳定化是利用化学药剂通过化学反应使有毒有害物质转变为低溶解性、低迁移性及低毒性物质的过程。用药剂稳定化技术处理危险废物,可以在实现废物无害化的同时,达到废物少增容或不增容,从而提高危险废物处理处置系统的总体效率和经济性。同时,可以通过改进螯合剂的结构和性能使其与废物中危险成分之间的化学螯和作用得到强化,进而提高稳定化产物的长期稳定性,减少最终处置过程中稳定化产物对环境的影响。

药剂固化稳定化的研究很多,但填埋场或经处理后飞灰的再利用的环境条件与飞灰固化稳定化时的条件相差很大,因此,一些长期的环境效应还有待于长期的监测数据和研究结果的验证。用药剂稳定化来处理危险废物,根据废物中所含重金属种类可以采用的稳定化药剂有:石膏、磷酸盐、漂白粉、硫化物(硫代硫酸钠、硫化钠)和高分子有机稳定剂等。另外,还有采用铁酸盐处理飞灰的研究报道。

采用硫化钠、硫代硫酸钠和硫脲等对生活垃圾焚烧厂的飞灰进行处理时,主要是利用它们与重金属生成硫化物沉淀从而稳定飞灰中重金属的。如常州市采用硫化钠和硫脲对生活垃圾焚烧厂飞灰进行稳定化处理时发现,在达到相同的稳定效果时硫化钠的最佳用量为硫脲的两倍。但目前硫脲的市场价格很高,因此,在实际应用时还要考虑到经济性的问题^[5]。

磷酸盐处理方法基于不溶性金属磷酸盐的生成,如: $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ 、 $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ 等。从而解决生活垃圾焚烧飞灰稳定化的一种方法。亚铁盐处理方法的主要原理是利用 Fe_2O_3 晶体的生成将重金属稳定在晶格之内,处理过程将 FeSO_4 、水和飞灰混合后,用 NaOH 将混合物的 pH 值调整为9.5~10.5。混合物加热到70℃左右后,就会生成 Fe_2O_3 晶体,从而达到稳定飞灰中的重金属的作用^[6]。

从同种飞灰的重金属螯合剂、磷酸盐和铁酸盐三种不同方法的处理效果来看,重金属螯合剂处理后的飞灰有很强的抗酸、碱性冲击的能力。磷酸盐处理后的飞灰重金属的浸出率很小,尤其是 Pb ,在 $\text{pH}=4\sim 13$ 的范围内 Pb 的浸出量都很小。铁酸盐处理后的飞灰在 $\text{pH}=5\sim 12$ 的范围内都有很好的抗浸出能力^[7,8]。

1.2.3 熔融固化

熔融固化技术主要是将飞灰和细小的玻璃质混和,经混合造粒成型后,在1 000~1 400℃高温下熔融一段时间,通常为30 min左右(熔融时间视飞灰性质的不同而定),待飞灰的物理和化学状态改变后,降温使其固化,形成玻璃固化体,借助玻璃体的致密结晶结构,确保重金属的稳定。缺点在于所需能源和费用很高。熔融固化后的灰渣可以进行资源化利用^[9]。

熔融处理有较好的减重和减容的效果,1 500℃时,氯化物基本上都挥发出来,因此飞灰一般可以减重2/3左右。同时熔融后重金属的浸出率很低,可以满足目前的浸出毒性标准。在1 400℃左右,飞灰中的PCDDs/PCDFs可以被降解^[10]。

在飞灰中添加5%(wt.) SiO_2 后在1 500℃下熔融30 min后,所得的飞灰熔融体的性质如下:维氏强度4 000~5 000 MPa;抗折强度60~90 MPa;断裂韧性0.9 MPa^{1/2}。当在飞灰中加入不同量的 SiO_2 和 MgO 做对比试验后发现, SiO_2 含量的增加可以降低熔融产物重金属的浸出量,

而 MgO 含量的增加则会增加熔融产物的重金属的浸出量。这个现象产生的主要原因为 SiO_2 可以增强飞灰熔融产物中的玻璃网状结构,而 MgO 则起到了削弱的作用^[11]。

2 生活垃圾焚烧飞灰中重金属的提取方法

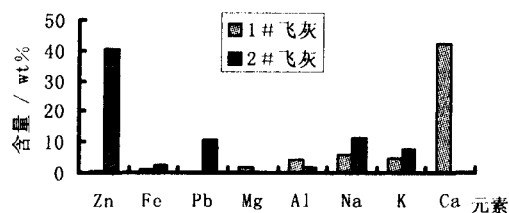
飞灰中重金属的提取方法主要有:酸提取、碱提取、高温提取、生物浸提和其他药剂提取等。目前国际上对于酸提取的研究比较多。

2.1 酸提取和碱提取

酸提取可以将飞灰中的部分金属提出从而使飞灰进入普通填埋场或者作为建筑资源进行回收利用。不同的飞灰由于生活垃圾成分、焚烧条件等不同,飞灰中重金属的存在形式和含量有很大差异,因此,即使在同样的处理条件之下,处理效果会有很大的不同。另外,由于不同酸溶剂性质,飞灰中不同的金属的溶解曲线有很大差异。

飞灰的产生过程为好氧过程,因此飞灰中存在很多碱性的金属氧化物。飞灰的捕集过程中一般均要用到氧化钙(CaO)、氢氧化钙($\text{Ca}(\text{OH})_2$)或者氢氧化钠(NaOH),因此,飞灰中会含有大量的含 Ca 、 Na 、 K 的可溶解盐类。因此,对于飞灰的酸碱性的测定结果一般均为碱性,视所投加吸附剂的种类和量的不同,碱性会有细微差别^[12]。

当直接用酸进行浸提时,上述盐类会消耗大量的酸,因此在酸浸提之前要加入一个水洗的预处理步骤。在采用液固比为 2 mL/g 的飞灰的水洗过程中,一般可以将飞灰中 65% 的 Cl , 超过 50% 的 Na 、 K 、 Ca 和超过 30% 的 Cr 洗除,同时可以增强洗后飞灰中重金属的热稳定性。对日本某焚烧厂的飞灰进行化学分析(见图 1),并通过水洗和酸、碱提取(见图 2),可以看出水洗、酸洗和碱洗的不同的处理效果^[13](见表 3、4)。



1# 为生活垃圾焚烧产生的飞灰;

2# 为 1# 飞灰进行熔融处理时产生的二次飞灰。

图 1 1#、2# 飞灰化学分析结果

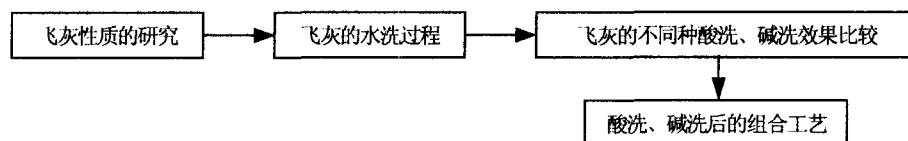


图 2 浸出试验步骤

表 3 对于 0.5 g 飞灰的水洗实验结果

H ₂ O 体积 /mL	Ca %		K %		Na %	
	1# 飞灰	2# 飞灰	1# 飞灰	2# 飞灰	1# 飞灰	2# 飞灰
5	3.8	71.8	46.8	13.8	24.1	11.3
7	4.27	65.6	32.6	10.1	24.1	10.5
10	6.4	62.1	44.8	12.6	28.9	12.1
13	5.9	63.4	40.7	12.6	25.8	9.6
17	6.67	58.1	36.6	11.3	25.8	12.1
20	8.1	59.6	42.8	13.8	27.6	10.5

注:该表格仅列出飞灰中主要成分和重金属元素。

表 4 不同酸浸和碱浸的试验条件

条件	试剂浓度 / $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$	液固比 / $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	温度 / $^{\circ}\text{C}$	浸泡时间 /min
H_2SO_4	20	7:1	95	60
HCl	10	7:1	30	60
HAc	20	7:1	30	60
NaOH	3	15:1	30	60

注:1.硫酸、盐酸和醋酸溶液的浓度为以体积分数表示,而氢氧化钠溶液的浓度为以摩尔浓度表示;2.液固比为浸取剂体积和飞灰质量的比值,如液固比 7:1 表明每克飞灰中需要加入 7 mL 浸取剂进行浸提。

表 5 不同试剂对 1# 和 2# 飞灰的浸出结果

试剂 %	H_2SO_4		HCl		HAc		NaOH	
	1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#
Zn	70	85	62.5	94	61	97	28	23
Fe	48	84	21	98	8	39	-	-
Pb	-	-	39.5	77	95	97	46	89
K	10	27	8	4	<3	<2	-	-
Mg	67	78	58	40	47	25	-	-
Ca	5	<1	44	17	49	22	-	-
Al	69	<1	-	-	17	8	-	-
Na	10	41	8	19	<3	21	-	-

注:表中不同提取溶剂的提取条件如表 3 所示。

从表 5 的数据可知,三种酸对于金属的浸出效率都很高,硫酸浸出的缺点是不能将 Pb 浸出,而飞灰中 Pb 含量过高是飞灰毒性的一个主要根源,因此必须在硫酸浸出步骤后增加其他的酸或者碱浸出。飞灰中含有大量的 Fe、Al、Ca、Mg、Si,这些金属的含量为有毒重金属含量的几倍甚至几十倍。在酸浸提时,这些金属被大量溶解,消耗大量的酸。因此可采用碱(NaOH)浸出与酸浸出有机结合的工艺(见图 3),能取得很好的效果。

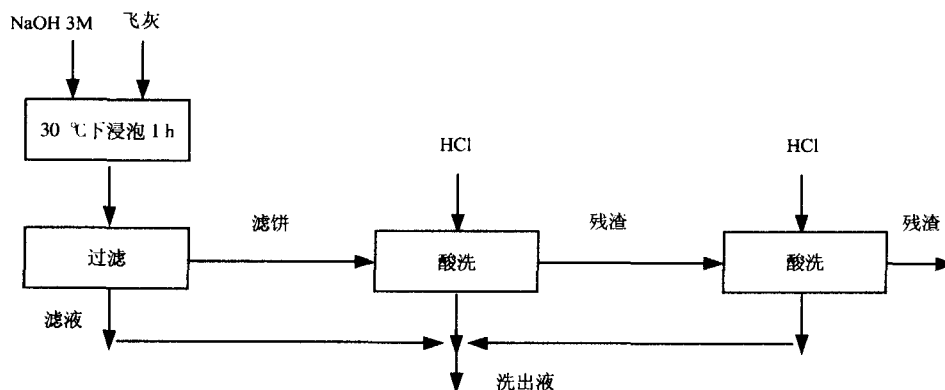


图 3 碱浸出+酸浸出的组合工艺流程图

2.2 生物浸提

表 6 为利用不同的提取剂对飞灰中重金属的提取效率。由表 6 可知在温度为 20 ℃, pH 范围为 4~9, 用浓度为 3% 的甾体皂甙 (sopnin) 对飞灰进行 24 h 的振荡浸提时, 大约 20%~45% 的 Cr、50%~60% 的 Cu、60%~100% 的 Pb 和 50%~60% 的 Zn 会被提取出来。经甾体皂甙溶液浸提后的飞灰经过标准规定的浸出程序检验, 浸出液中的重金属离子浓度很低, 因此, 可以满足一般填埋场的进场规定。甾体皂甙是一种生物制剂, 有显著的和安全的生物降解性能, 同时具有回用的可能性。另外还有利用黑曲霉的溶解作用可以用来对生活垃圾焚烧飞灰进行生物浸出, 可将飞灰中约 81% 的 Cd、52% 的 Pb 和 66% 的 Zn 提取出来。而且其投资仅仅比化学提取法略高^[14]。当利用硫氧化细菌对解毒后的城市生活污水厂污泥与城市生活垃圾焚烧飞灰混合物进行生物浸提时, 可以达到很高的重金属去除率^[15]。

表 6 利用不同的提取剂对飞灰中重金属的提取效率

重金属 %	黑曲霉	甾体皂甙	EDTA	硫氧细菌
Zn	66	50~60	50~100	>80
Cu	57	50~60	60~95	>80
Pb	52	60~100	60~100	*
Cr	<10	20~45	20~50	*
Cd	81	*	*	>80
Mn	32	*	*	*
Al	27	*	*	60

注: 表格中标 * 的元素为采用该方法时浸出效率很小或者研究中没有包括该元素

2.3 其他药剂提取

EDTA (本试验采用乙二胺四乙酸二钠盐) 能与重金属离子 (用 M^{2+} 表示) 配位形成非常稳定的可溶性螯合物: 用 EDTA 进行浸出时, pH 值对浸出效率的影响不大。Kyung-Jin Hong 等的研究表明: 在温度为 20℃, pH 范围为 3~9, 用浓度为 3% 的 EDTA (ethylenediaminetetraacetate) 或 DTPA (diethylenetriaminepentaacetate) 对飞灰进行 24 h 的振荡浸提时, 大约 20%~50% 的 Cr、60%~95% 的 Cu、60%~100% 的 Pb 和 50%~100% 的 Zn 会被提取出来。EDTA 和 DTPA 浸提后的飞灰经过标准规定的浸出程序检验, 浸出液中的重金属离子浓度很低, 因此可以满足一般填埋场的进场规定^[16]。用 EDTA 对飞灰的浸出试验结果如表 7 所示。

表 7 EDTA 对飞灰的浸出试验结果

重金属	Zn	Cu	Pb	Cr
浸出效率 %	50~100	60~95	60~100	20~50

另外, 利用腐植酸 (humic acids) 对飞灰中重金属进行浸提可以很好的模拟飞灰在填埋场中自然的浸出情况, 但腐植酸可以浸出的金属很少^[17]。

2.4 高温提取

瑞士的 CT Environment 公司开发的 CT-FLUAPUR 工艺^[4,5]的流程图如所示。该工艺处理可用于生活垃圾焚烧飞灰的处置, 其基本思想是要把重金属尽可能地从灰渣中分离出来。该工艺可分为三个基本步骤: (1) 在 900 ℃ 的温度、HCl 的气氛下, 对飞灰进行热处理; (2) 金属氯化物的生成和挥发; (3) 金属氯化物的收集; (4) 经过处理后飞灰被分为无机的惰性物料和重金属两部分^[18]。本工艺利用焚烧产生的热量和湿式除尘器产生的含 HCl 的废液。

本工艺可达到的处理效果为:对于 Cu 和 Pb,处理后的飞灰几乎可达到与地球土壤相同的含量。对于 Cd 和 Zn,处理后的飞灰中的含量是地球土壤中该元素含量的 10 倍。

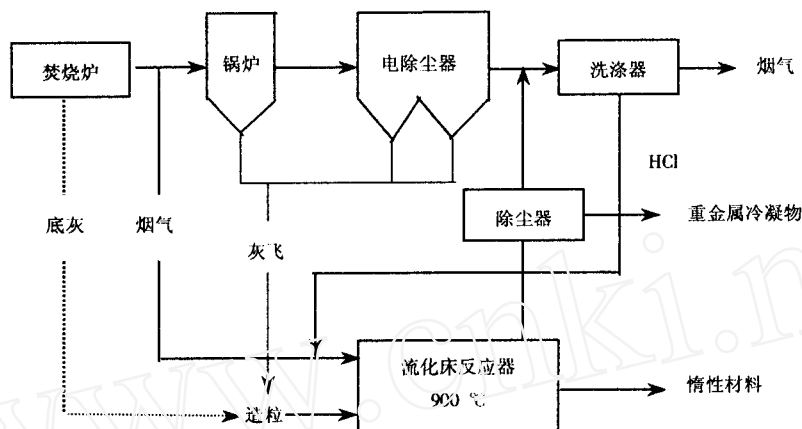


图 4 CT-FLUAPUR 工艺的流程图

3 结语

当然,对于生活垃圾焚烧中重金属的控制最主要的是要在源头减量,要求有合适的分拣和分选系统。另外要控制一定的焚烧条件,使得有毒有害重金属尽量分布在飞灰中,提高飞灰中可以提取重金属的数量,降低飞灰的毒性和飞灰中重金属的提取成本。尽管如此,有些分布在生活垃圾中的重金属仍旧很难被分离,如油漆、利用某些金属进行防腐的木料和含锑的防火材料等。因此,重金属最终还是会在飞灰中出现,为了避免不可预见的长期危害,将飞灰中危害性较大的重金属进行提取和回收将是未来生活垃圾焚烧飞灰处置的主要研究方向。

参考文献:

- [1] Ecke H, Sakanakura H, Matsuto T, et al. State-of-the-art treatment processes for municipal solid waste incineration residues in Japan [J]. Waste Management & Research, 2000, 18(1): 41-51.
- [2] Zhao Youcai, Song Lijie, Li Guojian. Chemical stabilization of MSW incinerator fly ashes[J]. Journal of Hazardous Materials, 2002, 95(1~2): 47-63.
- [3] 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] (EPA/600/SR-93/167). Washington D C: USEPA, 1993.1-8.
- [4] Kuang Ye Chen, Paul Bishop, Jerry Isenburg. Leaching boundary in cement-based waste forms[J], Journal of Hazardous Materials, 1990, 30(3): 298-306.
- [5] 宋立杰.城市垃圾焚烧灰渣的稳定化处理研究[D]. 上海:同济大学,2000.34-40.
- [6] Chandler A J, Eighmy T T, Hartlén J, et al. Municipal solid waste incinerator residues[M]. The Netherlands: Elsevier Science B V, 1997. 450-472.
- [7] Lundtorp Kasper, Jensen Dorthe L, Christensen Thomas H. Stabilization of APC residues from waste incineration with ferrous sulfate on a semi-industrial scale[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, 52(6):722-731.
- [8] Hasan Belevi. Sustainable management of municipal solid waste[C]. PROCEEDINGS OF SINO-SWISS WORKSHOP ON SOL-

- ID WASTES MANAGEMENT AND TECHNOLOGY, 1998,59-69.
- [9] Zhao Youcai, Robert Stanforth. Integrated hydrometallurgical process for production of zinc from electric arc furnace dust in alkaline medium[J]. Journal of Hazardous Materials, 2000,B(80):223-240.
- [10] Sakai Shin-ichi, Hiraoka Masakatsu. Overview of MSWI residues recycling by thermal processes. In: Waste Materials in Construction Putting Theory into Practice[M]. The Netherlands: Elsevier Science B V, 1997. 1-12.
- [11] Amalendu, Bagchi, Dennis Sopcich. Characterization of MSW Incinerator Ash Environ Engrg[J]. Waste Management,1989,115(2):447-452.
- [12] S Tokunaga, Y Ishigami, T Kajiuchi. Extraction of heavy metals from MSW incinerator fly ash using sepcins[J].Chemosphere, 2000, 41(3):345-352.
- [13] Aldo Jakob. Municipal solid waste incineration-fue gas and ash treatment[C]. PROCEEDINGS OF SINO-SWISS WORKSHOP ON SOLID WASTES management and technology, 1998,93-102.
- [14] Kuen-Sheng Wang, Kung-Yuh Chiang, Kae-Long Lin, et al. effects of a water-extraction process on heavy metal behavior in municipal solid waste incinerator fly ash[J]. Hydrometallurgy, 2001,62(2):73-81.
- [15] Verhulst Dirk, Buekens Alfons, Spencer Philip J, et al. Thermodynamic behavior of metal chlorides and sulfates under the condition of incineration furnaces[J]. Environmental Science & Technology, 1996, 30(1):50-56.
- [16] Alba N, Gasso S, Lacorte T, et, al. Characterization of municipal solid waste incineration residues from facilities with different air pollution control systems[J]. Journal of Air & Waste Management Association, 1997, 47(11): 1170-1179.
- [17] Kyung-Jin Hong, Shuzo Tokunaga, Toshio Kajiuchi. Extraction of heavy metals from MSW incinerator fly ashes by chelating agents[J]. Journal of Hazardous Materials, 2000,B(75):57-73.
- [18] W Krebs, R Bachofen, H Brandl. Growth stimulation of sulfur oxidizing bacteria for optimization of metal leaching efficiency of fly ash from municipal solid waste incineration[J].Hydrometallurgy, 2001,59(2-3):283-290.

An Overview on Treatment of Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash

ZHANG Rui-na¹, ZHAO You-cai¹, XU Shi²

(1.National Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092,China;2.Instrumental Analysis Center, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The municipal solid waste incineration is now widely used in China's large cities. Two incineration plants in Shanghai, for example, with a total treatment capacity 2 000 t/d, 1 000 t/d each, result in 20 000~30 000 t fly ash each year. The treatment of fly ash is obviously a challenge for the incineration plants operations. In this paper, the existing fly ash treatment methods and the methods being developed at the laboratory stage are introduced within three main categories: landfill; solidification/stabilization, and extraction.

Key words: municipal solid waste incineration; fly ash; heavy metal; solidification/stabilization; extraction; landfill