

不同来源建筑垃圾中汞的分布特征

高小峰¹, 谷依露², 谢田¹, 刘阳¹, 黄晟¹, 赵由才¹

(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. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072)

摘要:针对建筑垃圾中汞污染问题,对化工、冶金、轻工、生活区、再生等 5 种不同来源建筑垃圾的汞含量进行分析,并评估其污染程度. 研究表明:建筑垃圾中汞的含量范围为 6.46~1542.83 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均值为 164.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$,化工行业建筑垃圾汞的平均含量水平大于土壤一级标准阈值,其他来源均低于土壤一级标准阈值. 源于化工行业的建筑垃圾汞污染较其他行业严重,为中度污染;其他 4 种来源的建筑垃圾属低污染.

关键词:建筑垃圾;汞;污染特征;单因子评价

中图分类号:X799.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-358X(2014)03-0055-05

近 30 年以来,我国不断加大力度淘汰钢铁、水泥、电解铝、汽车等产能过剩行业^[1],造成相关行业构筑物在新建、改建、修缮、拆毁过程中产生大量的建筑垃圾^[2]. 目前,我国建筑垃圾年产生量高达 24 亿 t,占城市垃圾总量的 30%~40%^[3]. 建筑垃圾中主要以混凝土、砖块、瓦砾、砂石、砾石等惰性成分为主,但是仍然存在一部分来自于化工、冶金、轻工、加工等高污染行业的建筑垃圾,它们将会带来环境危害,如大量的硅酸钙和氢氧化钙使得渗滤液具有强碱性;废石膏厌氧产生硫化氢;纸板、木材厌氧产生有机酸;废金属使得渗滤液中含有大量重金属,污染地下水、地表水、土壤和空气^[4],而这其中包含汞污染.

汞具有低熔点、易迁移、易生物富集的性质,且毒性极强^[5]. 汞既能以气态单质存在于大气中,也能随大气迁移,沉降到生态环境^[6],还可以被厌氧微生物转化为剧毒性的甲基汞,危害人类健康^[7-8]. 关于汞污染的已有研究主要集中在土壤^[8-11]、水体^[5,12]、大气^[13-15],而对建筑垃圾中汞污染的研究鲜见报道,故此系统地研究了不同来源建筑垃圾中汞的污染特征,以期为我国建筑垃圾处理处置及再生利用提供参考.

1 材料与方法

1.1 样品采集及制备

1.1.1 5 种不同来源建筑废物样品采集

采集的样品来源见图 1 和表 1,具体包含了化工(10 个样点)、冶金(38 个样点)、轻工(6 个样点)、居民区(5 个样点)、再生品(4 个样点)5 种来源的建筑垃圾. 化工行业:无锡某化工厂,深圳某电镀厂;冶金行业:昆明某冶炼厂,南京某钢铁厂,上海某钢铁厂,上海宝钢;轻工业:云南某橡胶厂,上海宝山大场镇某轻工基地;生活区:上海杨浦某建筑垃圾临时堆放点,同济大学暑期食堂改建区;再生品:上海浦东某新型建材公司建筑垃圾和都江堰地震建筑垃圾再生粗细骨料.

1.1.2 样品制备

最终样品均自然风干并粉碎,粒径 $<0.15\text{ mm}$.

1.2 样品分析及数据处理

1.2.1 仪器及试剂

仪器:DMA-80 直接汞分析仪,意大利 Milestone Srl. 公司;Milli-Q Academic 型超纯水仪,Millipore.

收稿日期:2014-06-01

基金项目:国家环境保护公益性行业科研专项项目(201309025)

作者简介:高小峰(1988-),男,重庆人,硕士研究生,主要从事建筑废物资源化与污染控制技术研究.

通讯作者:赵由才(1963-),福建泉州人,教授,博士生导师,主要从事固体废物处理与资源化研究.

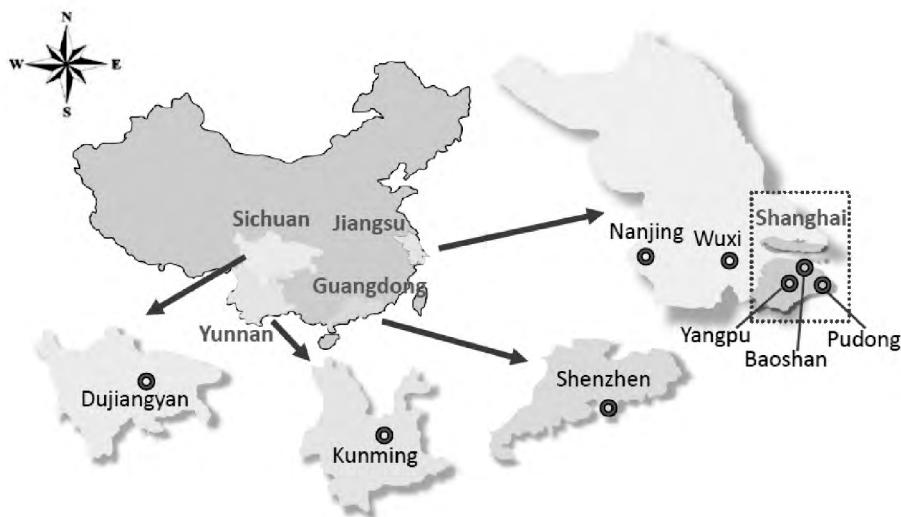


图 1 采样点位置

表 1 建筑垃圾的采样地点与环境

| 类别 | 地点 | 位置 | 样品性质 | 采样环境 | 样点数/个 |
|-----|-----------|------|----------|---------|-------|
| 化工 | 无锡某化工厂 | 无锡 | 混凝土块, 砖块 | 加工车间 | 6 |
| | 深圳某电镀厂 | 深圳 | 砖块 | 电镀车间 | 4 |
| 冶金 | 云南某镀锌厂 | 昆明 | 地板 | 电解、清洗车间 | 2 |
| | 南京某废弃钢铁厂 | 南京 | 混凝土, 砖块 | 锅炉车间 | 11 |
| | 上海某废弃钢铁厂 | 上海 | 混凝土 | 车间墙体 | 14 |
| 轻工 | 上海某钢铁集团 | 上海 | 耐火砖 | 改造锅炉车间 | 11 |
| | 云南某橡胶厂 | 昆明 | 砖块 | 工厂车间 | 3 |
| | 上海某轻工基地 | 上海 | 砖块 | 车间墙体、夹层 | 3 |
| 生活区 | 某建筑垃圾堆放点 | 上海杨浦 | 红砖, 混凝土 | 临时堆放点 | 3 |
| | 某大学食堂改建 | 上海杨浦 | 水泥砖块 | 临时堆放点 | 2 |
| 再生 | 某新型再生建材公司 | 上海浦东 | 混凝土, 砂石 | 加工车间 | 2 |
| | 地震建筑垃圾 | 都江堰 | 粗、细骨料 | 加工车间 | 2 |

汞标准储备溶液质量浓度为 1000 mg/L, 氧气体积分数为 99.999%, 试验用水为超纯水。

1.2.2 数据处理

用 EXCEL 2007 进行数据整理, 用 Originpro 9.1 进行作图。

2 结果与讨论

2.1 不同来源建筑垃圾中汞的分布特征

5 种来源的建筑垃圾中汞含量统计特征见表 2。建筑垃圾中整体汞的含量变化很大, 最大值为 1542.83 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 是最小值 6.46 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的 178.5 倍; 平均值为 164.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 是土壤自然背景限制值 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的 1.1 倍(因尚无关于建筑垃圾等固体废物中汞含量标准, 故参照 GB 15168—1995《土壤环境质量标准》)。这种分布不均的格局主要是不同行业的利用方式导致的, 如图 2 所示。

从图 2 和表 2 可以看出, 化工行业中建筑垃圾汞的平均含量是 5 种来源中最高的, 显然这主要是人为化工活动造成的。唐蔚^[16]对我国煤矿行业、石化行业、化工行业、电子废弃物拆解回收等典型污染行业的汞含量进行了分析, 结果表明化工行业是重要的汞污染源。化工行业中汞含量较高的样品分别是: 无锡某化工厂吊车处墙体(1215.47 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 加工车间墙体混凝土块(1542.83 $\mu\text{g}/\text{kg}$); 深圳某电镀厂的镀铜车间砖块

(1141.69 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 镀镍车间(1028.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$). 冶金行业建筑垃圾中汞含量平均值为 61.37 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 每个样点平均值大小顺序为云南某冶锌厂(180.84 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > 南京某钢铁厂(93.69 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > 上海某钢铁厂(50.37 $\mu\text{g}/\text{kg}$) > 宝钢耐火砖(21.34 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 从整体来看含量并不高, 除了云南某冶锌厂以外, 其他样点汞含量均在土壤一级标准阈值(150 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 以下. 但冶金行业建筑垃圾汞含量最大值为 620.52 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其样品为南京某钢铁厂烟囱内壁刮落物, 烟囱外壁刮落物为 178.04 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 均远远高于其他各取样点(<80 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 可见在各种钢铁厂中汞污染主要出现在烟囱里, 这可能与燃煤中汞含量高有关^[17]. 究其原因, 化工行业如电镀厂, 可能在生产工艺中会用到含汞的原料, 操作过程中的喷溅和滴撒造成建筑材料的汞污染; 冶金行业如冶锌厂受污染原因主要分为 2 种: 1) 管道老化, 腐蚀性液体泄漏, 损坏墙面和地面, 产生了吸附有汞的建筑废物, 其特征为建筑废物形成过程中伴随了汞的吸附和夹带(见图 3); 2) 存料车间、装料车间、产渣车间拆除检修等造成大量含汞废渣与一般建筑废物混合堆积, 其特征为建筑废物产生前已有了难于清理的重金属固体废物(见图 3). 另外冶金行业中钢铁产业需要燃烧大量的煤炭, 汞随着煤炭的燃烧逸散到烟气中, 这样建筑材料长期暴露汞的环境中, 从而产生污染.

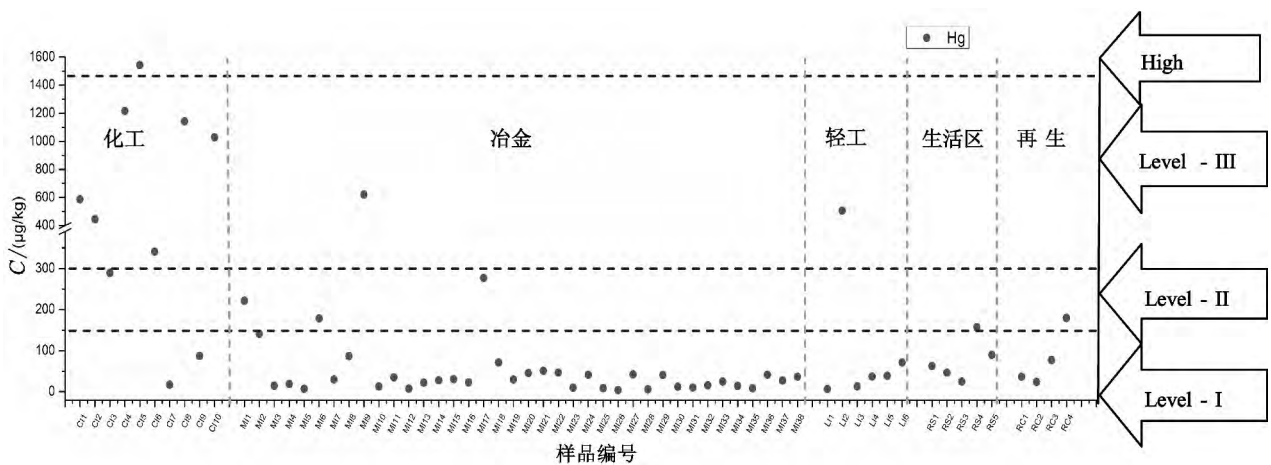


图 2 不同行业建筑垃圾中汞的分布特征



图 3 冶锌厂取样点实貌

轻工行业建筑垃圾中汞含量平均值为 112.16 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 这主要是因为所研究的建筑垃圾中墙体橡胶保温夹层汞含量较高, 为 506.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 若将其作为异常值去除, 则平均值降为 33.29 $\mu\text{g}/\text{kg}$. 生活区(75.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 和再生品(78.90 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 建筑垃圾汞含量均比较低. 生活区建筑垃圾样品主要取自上海杨浦区某建筑垃圾临时堆放点和同济大学暑期食堂改建区. 大学食堂和居民生活区产生的建筑垃圾中汞含量有一定的差异, 大学食堂改建建筑废物平均汞含量(46.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 相比某建筑垃圾临时堆放点(120 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 的要低. 再生品

样品为再生原材料,主要是混凝土砂石、粗骨料、细骨料,一般再生砂石、骨料等汞含量不会发生变化,可能在利用过程中,如做成水泥混凝土砖块,会起到固化作用.只有当做成需要煅烧类的产品时,经过高温汞才会逸散到大气中,其自身汞含量会减少.采集再生品是为了了解目前再生产品的环境安全性,是否存在汞污染.

表2显示的含量差异很大,同是化工行业和冶金行业,汞的最低含量与最高含量差距近100倍,这跟这些行业使用的原料、加工过程都有关.化工行业汞低含量样品取自于电镀厂镀锌(16.88 $\mu\text{g}/\text{kg}$)、镀铬(87.11 $\mu\text{g}/\text{kg}$)车间,在这两个车间工艺中不涉及汞原料,故没有汞的污染.冶金行业汞低含量样品取自于上海某钢铁集团,主要是加热炉耐火砖,可能在经过高温加热后汞被逸散到烟气中,在耐火砖内残留的汞极少.化工行业中汞的含量平均值大于土壤一级标准阈值150 $\mu\text{g}/\text{kg}$,而冶金、轻工、生活区、再生品的均低于土壤一级标准阈值.

2.2 建筑垃圾汞污染单因子评价

由于建筑材料行业尚无相关重金属含量标准,故采用土壤二级标准值作为环境安全阈值进行参考比较.云南、上海等地虽然所处地方不同,但由于建筑工程中使用的砖块、水泥都经过高温烧煨,原材料中含有的汞均已挥发,背景含量差别不会太大,故采用统一的标准进行对比.

采用汞污染单因子指数评价法^[11]对5种不同来源建筑垃圾的污染程度进行了分析,其计算公式如下: $P=C/S$.公式中, P 为建筑垃圾中汞的污染指数, C 为各个行业建筑垃圾中汞的实测平均含量($\mu\text{g}/\text{kg}$), S 为土壤中汞的评价标准二级标准阈值.二级标准是保障农业生产、维护人体健康的限制值,参照GB 15168—1995《土壤环境质量标准》中的二级标准,取 $S=300 \mu\text{g}/\text{kg}$.当 $P<1$ 时为非污染, $1\leq P<2$ 为轻度污染, $2\leq P<3$ 为中度污染, $P>3$ 时为重度污染^[11].对各行业建筑垃圾汞污染程度单因子评价结果见表2.

表2 5种不同来源的建筑垃圾中汞含量统计评价结果

| 行业 | 样点数/个 | 最大值/($\mu\text{g}/\text{kg}$) | 最小值/($\mu\text{g}/\text{kg}$) | 平均值/($\mu\text{g}/\text{kg}$) | 标准差 | 污染指数 |
|-----|-------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------|------|
| 化工 | 10 | 1542.83 | 16.88 | 669.27 | 525.77 | 2.23 |
| 冶金 | 38 | 620.52 | 6.84 | 61.37 | 110.91 | 0.20 |
| 轻工 | 6 | 506.44 | 6.46 | 112.16 | 194.51 | 0.37 |
| 生活区 | 5 | 156.73 | 24.59 | 75.97 | 50.95 | 0.25 |
| 再生品 | 4 | 179.11 | 23.52 | 78.90 | 70.57 | 0.26 |
| 全部 | 63 | 1542.83 | 6.46 | 164.97 | 316.09 | 0.55 |

参照GB 15168—1995《土壤环境质量标准》(一级标准为150 $\mu\text{g}/\text{kg}$,二级标准为300 $\mu\text{g}/\text{kg}$,三级标准为1500 $\mu\text{g}/\text{kg}$),单因子评价结果表明:化工行业建筑垃圾汞污染较其他行业严重,平均汞含量高达669.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$,7个样品超过土壤汞二级标准阈值,1个样品超过土壤汞三级标准阈值,污染指数为2.23,为中度污染,而其他4种来源建筑垃圾汞污染指数均 <1 .冶金行业和轻工行业均有1个样品超过土壤二级标准阈值,生活区和再生行业所有样品汞含量均在土壤二级标准以下.

3 结论

针对所取的样品而言,5种不同来源建筑垃圾中汞含量范围为6.46~1542.83 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均值为164.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$,化工行业建筑垃圾汞平均含量大于土壤一级标准阈值150 $\mu\text{g}/\text{kg}$,而冶金、轻工、生活区、再生品行业建筑垃圾汞含量均低于土壤一级标准阈值.对汞平均含量进行单因子评价结果显示,来源于化工行业的建筑垃圾汞污染较其他行业严重,为中度污染,其他4种来源的建筑垃圾属于低污染.在拆迁、改建过程中,化工行业生产车间产生的建筑垃圾需要对其进行无害化处理.

参考文献:

- [1] 李新创,刘涛.以应对雾霾为契机切实提升钢铁工业环保水平[J].冶金经济与管理,2013(3):4-8.
- [2] 高冬云.城市建筑垃圾回收再利用浅析[J].黑龙江科技信息,2011(19):73.
- [3] 李平.“四化”管理深圳建筑垃圾[J].建设科技,2007(21):34-36.

- [4] 袁志平. 城市建筑垃圾再利用对策研究[J]. 黑龙江交通科技, 2011(5):107-108.
- [5] 李强,张瑞卿,郭飞,等. 贵州重点地区土壤和水体中汞的生态风险[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8):2140-2147.
- [6] 仇广乐. 贵州省典型汞矿地区汞的环境地球化学研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2005.
- [7] Boening D W. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review[J]. Chemosphere, 2000, 40(12): 1335-1351.
- [8] 张晓平,朱延明. 西藏土壤中汞的含量及其地理分布[J]. 环境科学, 1994, 15(4):27-30.
- [9] 李永华,杨林生,李海蓉,等. 湘黔汞矿区土壤汞的化学形态及污染特征[J]. 环境科学, 2007, 28(3):654-658.
- [10] 解惠婷,张承中,徐峰,等. 生活垃圾焚烧厂周边土壤汞污染特征及评价[J]. 环境科学, 2014, 35(4):1523-1530.
- [11] 陈文娟,方凤满,余健,等. 安徽芜湖市土壤汞污染评价及影响因素分析[J]. 安徽师范大学学报:自然科学版, 2009, 32(2):168-172.
- [12] 于常荣,王炜,梁冬梅,等. 松花江水体总汞与甲基汞污染特征的研究[J]. 长春地质学院学报, 1994(1):102-109.
- [13] 赵亚娟,龚巍巍,栾胜基. 河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究[J]. 环境科学, 2012, 33(9):2960-2966.
- [14] 王亚杰,朱云,王龙. 中国区大气汞污染模型模拟初探[J]. 环境科学研究, 2010, 23(10):1250-1256.
- [15] 杜金花,黄晓锋,何凌燕,等. 深圳市大气细粒子(PM_{2.5})中汞的污染特征[J]. 环境科学研究, 2010, 23(6):667-673.
- [16] 唐蔚. 我国典型汞污染行业环境介质中汞污染特征及健康风险 [D]. 上海:东华大学, 2014.
- [17] 冯立品. 煤中汞的赋存状态和选煤过程中的迁移规律研究 [D]. 北京:中国矿业大学, 2009.

Characteristics of Mercury Distribution in Construction & Demolition Wastes from Fire Sources

GAO Xiao-feng¹, GU Yi-lu², XIE Tian¹, LIU Yang¹, HUANG Sheng¹, ZHAO You-cai¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: Construction & demolition(C&D)wastes generated from the construction, renovation, repair and demolition of structures were widely recognized but seldom focused on their mercury contamination. This study was initiated to characterize and assess the mercury pollution in C&D waste samples, which came from the chemical industry, metallurgy, light industry, residential, and recycled aggregates. The results illustrated that the mercury concentrate range was 6.46—1542.83 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in all samples and 164.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$ as average. The average mercury concentration of chemical industry was above STVHM-Level- I (standard threshold values of heavy metals of environmental quality standard for soils in China) while others were below it. Chemical industrial samples defined as medium level pollution in the single factor evaluation endures a much more severe contamination than samples from other sources which were defined as non-polluted.

Key words: construction & demolition (C&D) waste; mercury; pollution characteristics; single factor evaluation

(编辑 徐永铭)