

文章编号: 1673 - 9620 (2008) 02 - 0013 - 04

## 污水污泥重金属迁移规律研究<sup>\*</sup>

武雁榕, 李定龙, 张志军

(江苏工业学院 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164)

**摘要:** 通过实验, 着重分析了常州市城北污水处理厂污泥重金属迁移规律。研究表明, 污泥中重金属 Cr 和 Cu 元素的总含量超过污泥农用标准; 静态浸渗实验结果显示酸性和碱性条件下的重金属溶出含量均高于中性, 除 Cu 在碱性条件下的溶出量略多于酸性外, 其余重金属均为酸性 > 碱性 > 中性; 动态淋滤实验中重金属元素含量基本先呈递增趋势随后缓慢减少, 浸出量顺序为酸性 > 碱性 > 中性, 而 Cu 元素则在酸性条件下浸出量是逐渐递减的, 且在酸碱性条件下的浸出量相当; 污泥填埋应控制在中性环境。

**关键词:** 污水污泥; 重金属; 静态浸渗; 动态淋滤

**中图分类号:** X 703

**文献标识码:** A

## Study of the Migration of Heavy Metal in Sewage Sludge

WU Yan - rong, LI Ding - long, ZHANG Zhi - jun

(School of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** The migration of heavy metal in sewage sludge from Chengbei sewage treatment plant of Changzhou has been analyzed. The results showed that Cr and Cu concentrations violated the standard of sludge used for agriculture. The static digestion experiment showed that the concentration of heavy metals under acidic and alkalic conditions were both higher than those at neutral, except that the concentration of Cu under alkalic was higher than that under acidic and others in the order of acidic > alkalic > neutral. The dynamic leaching experiment showed that heavy metal content increased first, and then decreased slowly. The content was generally in the order of acidic > alkalic > neutral. But the content of Cu decreased at all times under acidic, and the leaching contents were equal in conditions of acidity and alkality. Landfill should be controlled at neutral.

**Key words:** sewage sludge; heavy metal; static digestion; dynamic leaching

众所周知, 重金属对环境和人体健康是有较大危害的。污泥是污水处理的伴生物, 随着污水处理率提高, 污泥产量也会提高<sup>[1]</sup>。城市污水污泥中含有大量的有机质及氮、磷等植物养料, 同时也富集了污水中 50 ~ 80 % 以上的重金属<sup>[2]</sup>, 目前, 许多研究认为城市污泥农用和资源化利用是污泥处置的

有效方法<sup>[3~9]</sup>, 且能废物利用, 变废为宝, 进行良好的生态循环, 但是其间的环境风险还面临很大的挑战, 尤其是重金属环境积累方面的风险日益显现并已有较多研究<sup>[10~14]</sup>。本文通过对常州市城北污水处理厂污泥的研究, 初步探讨了污泥中重金属在不同条件下的迁移规律, 为污泥的合理处置提供参

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007 - 11 - 18

基金项目: 江苏省《环境科学与工程》重点实验室项目资助 (ZD041204)

作者简介: 武雁榕 (1983 - ), 女, 江苏连云港人, 硕士。

考。

## 1 材料与仪器

### 1.1 污泥样本的采集与制备

实验污泥样品取自常州城北污水处理厂。共取 5 组样品（每隔 5 d 左右取一组），每组样品采集 4 个样本（取样时在污泥传送带出口处每 15 min 取样 1 次），约 1.0 kg 左右。将每组 4 个污泥样品放入蒸发皿中，在恒温水浴上蒸干后移至（ $105 \pm 2$ ）真空烘箱内，继续干燥 2~3 h，取出蒸发皿后放入干燥器冷却，研磨混合后待用。

### 1.2 分析仪器与方法

#### 1.2.1 测试仪器与操作条件

主要仪器：THZ - C 恒温振荡器（太仓市实验设备厂）；TGL - 16C 台式离心机（上海安亭科学仪器厂）；等离子体发射光谱（ICP - AES, Vista - AX, 美国瓦里安公司）；PHB - 9901 型酸度计（上海艾旺工贸有限公司）。

操作条件：对污泥及污泥浸出液中重金属的含量主要通过 ICP - AES 来测定。ICP 仪器测定重金属元素时参数设置：功率 1 200 W，冷却气（Ar） $15.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ，辅助气（Ar） $15.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ，雾化气（Ar） $0.75 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ，泵速  $15 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ，曝光时间 6 s，重复次数 3 次。

待测溶液是将污泥重金属浸提液过滤后，取 10.0 mL 滤液加 5 % HCl 定容至 50 mL 而成，其中元素标准溶液均用  $1\,000 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  单元素标液（国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院）稀释而成。

#### 1.2.2 污泥重金属浸提

全量浸提采用王水消解制样；静态浸提方法为取用风干的污泥样品 10 g 置于 250 mL 锥形瓶中，定容 100 mL，振荡 8 h，静置 16 h，取上层清液经离心，再次取清液；动态浸提方法为在  $15 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$  的流速下，0.5 h 取清液一次，每次取 25 mL，共取 5 次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 污泥重金属含量特征

取污泥样品 1.5 g（精确至 0.001），置于 50 mL 烧杯中，用少量水润湿，再加入王水 10 mL，沸腾 5~10 min 后，冷却、水洗、过滤，定容于 100 mL 容量瓶中待测定。见表 1，污泥样品的检测表明，Cu 元素的测定结果均明显超过标准（GB18918 - 2002，下同）；Cr 元素 5 次检测中有 3 次超标，且平均值也超过国家标准；其它重金属元素含量有一定波动性，但都在国标控制范围内（由于常州市污泥  $\text{pH} < 6.5$ ，国标允许量使用酸性土壤的标准限值）。

表 1 重金属含量

Table 1 Concentration of heavy metals

| 元素含量/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 平均值/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 最高允许含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) |                      |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|----------------------|
|   |       |       |       |       |       |  | $\text{pH} < 6.5$                            | $\text{pH} \geq 6.5$ |
| As  | <30   | <30   | <30   | <30   | <30   | <30  | 75   | 75                   |
| Cd  | 2.7   | 3.1   | 2.0   | 2.0   | 1.8   | 2.3  | 5  | 20                   |
| Cr  | 673   | 773   | 693   | 560   | 570   | 653.8  | 600  | 1 000                |
| Cu  | 1 190 | 1 230 | 1 077 | 853   | 877   | 1 045.4                                      | 800  | 1 500                |
| Ni  | 84    | 79    | 61    | 64    | 75    | 72.6   | 100  | 200                  |
| Pb  | 24    | 61    | 50    | 61    | 57    | 50.6   | 300  | 1 000                |
| Zn  | 1 730 | 1 410 | 1 093 | 1 280 | 1 350 | 1 372.6                                      | 2 000  | 3 000                |
| Mn  | 1 220 | 1 520 | 657   | 700   | 643   | 948  |  |                      |

说明：最高允许含量系指《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918 - 2002）中污泥农用时污染物控制标准的限量。

### 2.2 污泥重金属静态浸渗迁移规律

静态浸提方法参照《固体废物浸出毒性测定方法》（GB/T 15555.1 - 12 - 95）。振荡过程中调节控制溶液的 pH 分别在  $\text{pH} = 2$ 、 $\text{pH} = 7$  和  $\text{pH} = 12$  3 种条件下进行实验。

由表 2 可以看出 As、Cd 和 Pb 含量很少；Cr

元素溶出量很少，尤其中性条件下的浸出量极少，3 种条件下的浸出量差别可达 2~8 倍；Cu 元素在静态浸渗实验中呈两性，即在酸性和碱性条件下浸出量相当，均为中性条件的 4~5 倍；Mn 元素在酸性条件下的浸出量为中性和碱性条件下的 50~60 倍；Ni 元素在 3 种条件下的浸出含量比较稳定，其差别不超过 2 倍；Zn 元素与 Mn 元素类似，酸

性条件下的浸出量为中性和碱性条件下的 15 ~ 35 倍。其次，除 Cu 元素在酸性和碱性条件下浸出量相当，且碱性略多于酸性外，其它元素基本上都是酸性条件下含量最高，碱性条件次之，中性条件含量最低。

表 2 重金属静态浸渗实验结果

| Table 2 Result of the static digestion experiment |      |       |      |      |     |      |     |     |
|---|------|-------|------|------|-----|------|-----|-----|
| 元素含量/<br>( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )   | As   | Cd    | Pb   | Cr   | Cu  | Mn   | Ni  | Zn  |
| pH=2  | <2.5 | <0.25 | <1.0 | 3.3  | 9   | 39   | 2.9 | 66  |
| pH=7  | <2.5 | <0.25 | <1.0 | 0.43 | 1.9 | 0.68 | 1.4 | 1.8 |
| pH=12   | <2.5 | <0.25 | <1.0 | 1.5  | 9.5 | 0.81 | 1.9 | 3.9 |

2.3 污泥重金属动态淋滤迁移规律

污泥重金属的动态浸出实验装置见图 1。由于污泥有一定的缓冲能力，淋滤用的是 pH = 4、pH = 7 和 pH = 10 缓冲溶液。实验控制渗滤液流速  $15 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ，滴满 25 mL 时取样，每隔 0.5 h 取 1 次样，连续取 5 次，分别测定重金属含量。

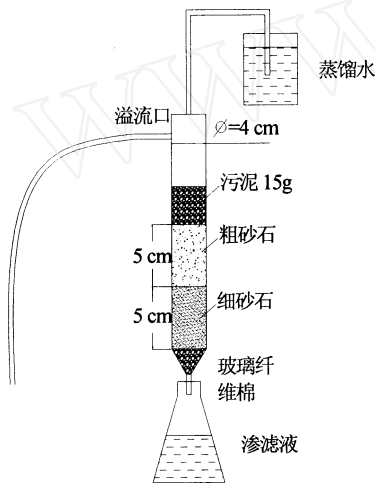


图 1 动态淋滤实验装置

Fig 1 Equipment of the dynamic leaching experiment

实验结果如图 2 至图 4，对于 As 和 Cd 而言，在 3 种条件下含量很少，低于仪器精准测定范围；Pb 在酸性条件下稍有溶出含量，在中性和碱性条件下含量很少，低于仪器精准测定范围。Cr 和 Mn 元素的浸出量顺序为酸性 > 碱性 > 中性，且酸性条件下的溶出含量为碱性条件的 3 ~ 6 倍，中性条件的 10 ~ 30 倍；Cu 元素在碱性条件下更易溶解，浸出顺序为碱性 > 酸性 > 中性；Ni 和 Zn 元素在酸性和碱性条件下的浸出量相当，分别为中性条件的 3 ~ 5 倍和 15 ~ 35 倍。数据显示污泥中重金属含量基本上先呈递增趋势随后缓慢减少，在不同 pH 下，变化又各不相同，酸性条件下含量最高，碱性

条件次之，中性条件含量最低。而 Cu 元素比较特殊，在酸性条件下浸出量是逐渐递减的，并且在碱性条件下的浸出量略多于酸性。通过比较分析静态浸渗和动态淋滤平均值结果，除 Mn 元素在动态碱性条件下的平均浸出量多于静态实验，Zn 元素几乎相同外，其余各元素无论是在酸性、碱性，还是中性条件下，在静态浸渗实验中的溶出含量均高于动态实验的 5 ~ 30 倍。

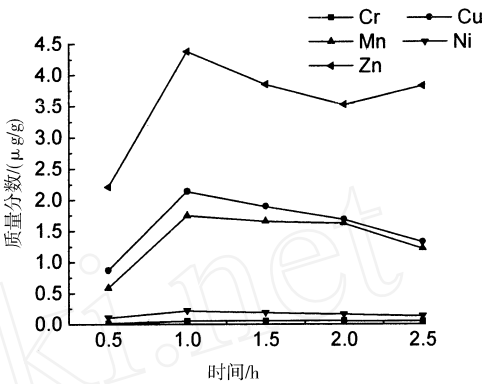


图 2 pH = 4 条件下重金属动态淋滤迁移规律

Fig 2 Migration of the dynamic leaching experiment at pH 4

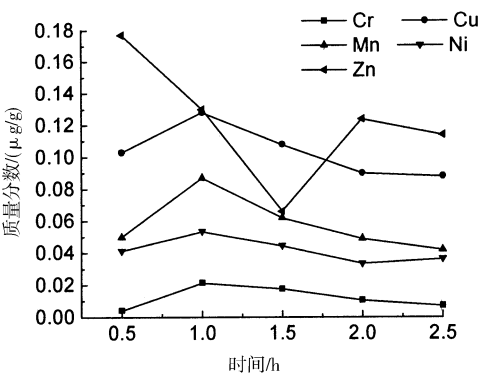


图 3 pH = 7 条件下重金属动态淋滤迁移规律

Fig 3 Migration of the dynamic leaching experiment at pH 7

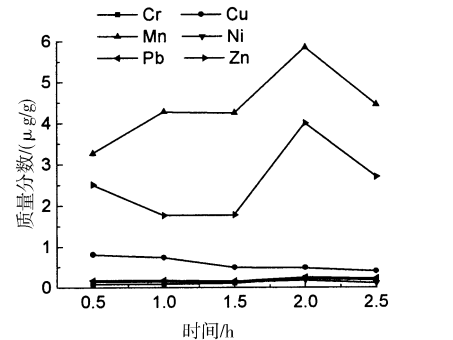


图 4 pH = 10 条件下重金属动态淋滤迁移规律

Fig 4 Migration of the dynamic leaching experiment at pH 10

3 结论与建议

(1) 污泥中 Cr 和 Cu 元素的总量超过污泥农

用标准,不宜直接农用。

(2) 通过重金属静态浸渗实验,可以看出在中性环境中重金属的释放量均较少,除 Cu 元素在酸性和碱性条件下浸出量相当,且碱性略多于酸性外,其余重金属元素在酸性条件下的浸出量高于碱性,综合考虑部分城市受酸雨和碱度影响,应该严格控制含重金属废水的排放。

(3) 重金属动态淋滤实验表明,不论在何条件下,重金属含量基本上呈递增趋势随后缓慢减少,浸出量顺序为酸性>碱性>中性;而 Cu 元素比较特殊,在酸性条件下浸出量是逐渐递减的,并且在碱性条件下的浸出量略多于酸性。

(4) 对于填埋而言,则要选择中性或碱性环境,避免置于酸性条件下使重金属元素渗出危害环境;如果进行焚烧处置,应研究焚烧后飞灰中的重金属是否会对环境造成不良影响。城市污泥带给环境的重金属风险主要来自于重金属污染物较高的含量和活性<sup>[15]</sup>。尽管直接造成的污染程度较轻,但是长期积累就会导致日后的危害,有可能部分重金属释放到地表水及地下水中造成水源危机,或者被动植物吸收流入食物链,危害人类健康。因此,从源头控制污水重金属的排放,严格按照污泥农用标准限制污泥的施放,减少可溶性重金属的释放是非常重要的。

#### 参考文献:

- [1] 曹秀芹,陈珏. 污水处理厂污泥处理存在问题分析 [J]. 北京建筑工程学院学报, 2002, 18 (1): 1 - 4.
- [2] 周立祥,王良梅. 污水污泥中重金属的细菌淋滤效果研究 [J]. 环境科学学报, 2001, 21 (4): 504 - 506.
- [3] 李贵宝,尹澄清,林永标,等. 城市污泥对退化森林生态系统土壤的人工熟化研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (2): 159 - 162.
- [4] 何品晶,顾国维,邵立明,等. 污水污泥低温热解处理技术研究 [J]. 中国环境科学, 1996, 16 (4): 254 - 257.
- [5] 熊振湖. 我国污水厂污泥的处理与资源化研究 [J]. 天津城市建设学院学报, 1999, 5 (3): 6 - 9.
- [6] 扬子江. 城市污泥的综合利用和研究 [J]. 再生资源研究, 2004, (1): 32 - 36.
- [7] Dna J D, Osorio F. Application of sludge from urban wastewater treatment plants in road s embankments [J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, B131: 37 - 45.
- [8] Bertran E, Sort X, Soliva M, et al. Composting winery waste: sludges and grape stalks [J]. Bioresource Technology, 2004, 95: 203 - 208.
- [9] Usarat Thawornchaisit, Kesinee Pakulanon. Application of dried sewage sludge as phenol biosorbent [J]. Bioresource Technology, 2007, 98: 140 - 144.
- [10] 胡忻,陈茂林,吴云海,等. 城市污水处理厂污泥化学组分与重金属元素形态分布研究 [J]. 农业环境科学学报, 2005, 24 (2): 387 - 391.
- [11] 陈同斌,黄启飞,高定,等. 中国城市污泥的重金属含量及其变化趋势 [J]. 环境科学学报, 2003, 23 (5): 561 - 569.
- [12] Agnes Y R, Sylvie R, Manon S, et al. Assessment of a sewage sludge treatment on cadmium, copper and zinc bioavailability in barley, ryegrass and earthworms [J]. Environmental Pollution, 2007, 145: 41 - 50.
- [13] Ahlberg G, Gustafsson O, Wedel P. Leaching of metals from sewage sludge during one year and their relationship to particle size [J]. Environmental Pollution, 2006, 144: 545 - 553.
- [14] Wonga J W C, Li K, Fang M, et al. Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong [J]. Environment International, 2007, 27: 373 - 380.
- [15] 吴新民,陈德明. 施用城市污泥对土壤中重金属积累和迁移的影响 [J]. 环境与健康杂志, 2005, 22 (3): 177 - 179.