



移动扫码阅读

方宇媛,韩光磊,许旻,等.城镇污水处理厂污泥重金属污染及生态风险分析[J].能源环境保护,2021,35(3):71-74.

FANG Yuyuan, HAN Guanglei, XU Min, et al. Heavy metal pollution and ecological risk assessment in sludge from urban sewage treatment plant[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(3): 71-74.

城镇污水处理厂污泥重金属污染及生态风险分析

方宇媛¹, 韩光磊², 许旻³, 潘龙¹

(1.池州学院 材料与环境工程学院,安徽 池州 247000; 2.安徽池州九华发电有限公司,安徽 池州 247000; 3.池州市贵池区生态环境分局环境监测站,安徽 池州 247000)

摘要:以池州市某城镇污水处理厂为例,采用原子荧光法、电感耦合等离子体发射光谱法分析了压滤污泥中Hg、Cd、As、Pb、Cr五种重金属元素的含量,分析了污泥重金属污染水平和潜在生态风险。结果表明:污泥中Hg、Cd、As、Pb、Cr均能检出,其含量排序为Cr>Pb>As>Cd>Hg;单因子污染指数最高者为Cd,达到轻度污染水平;污泥重金属综合污染指数为0.94,属于尚清洁水平;Cd的潜在生态风险水平较高,污泥重金属总潜在生态风险水平达到了中风险水平。

关键词:污泥;重金属;污染特征;潜在生态风险

中图分类号:X705

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)03-0071-04

Heavy metal pollution and ecological risk assessment in sludge from urban sewage treatment plant

FANG Yuyuan¹, HAN Guanglei², XU Min³, PAN Long¹

(1.School of Materials and Environmental Engineering, Chizhou University, Chizhou 247000, China; 2.Anhui Chizhou Jiu Hua Power Generation Co., Ltd., Chizhou 247000, China; 3.Environment Monitoring Station of Eco-Environment Sub-bureau, Guichi District, Chizhou 247000, China)

Abstract: Taking an urban sewage treatment plant in Chizhou as an example, the contents of Hg, Cd, As, Pb, and Cr in filter-press sludge were analyzed by atomic fluorescence and ICP-AES. The pollution level and potential ecological risk were analyzed. The results showed that all the five heavy metals were detected in the sludge, and the order ranked from high concentration to low was Cr>Pb>As>Cd>Hg. The single-factor pollution index of Cd was the highest, which reached slightly polluted level. The heavy metal comprehensive pollution index of sludge was 0.94 which is moderately clean level. The potential ecological risk level of Cd was the highest. The total potential ecological risk level reached the medium risk level.

Key Words: Sludge; Heavy metal; Pollution characteristics; Potential ecological risk

0 引言

城市污水处理厂在水处理过程中会产生大量污泥,据统计,国内污水处理厂运行过程中污泥平均产率为 $1.62 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ ^[1]。如此巨大的污泥产生量已经成为污水处理厂的顽疾。目前,我国污水处理厂污泥处置方式以填埋为主^[2-3],不仅占用

了大量土地,也带来渗滤液、填埋废气、地下水污染、重金属污染等二次污染问题^[4-6],同时存在填埋体稳定性等安全问题^[7]。因此,寻求污泥资源化利用途径迫在眉睫。由于污水处理厂污泥中通常含有较高的有机质和植物营养元素,在经过堆肥等处理之后可作为有机肥返田^[8-10]。另一方面,污泥中有害物质成分和含量随着城市经济发

收稿日期:2021-03-12;责任编辑:金丽丽

基金项目:池州学院2018年校级自然重点项目(CZ2018ZRZ08);安徽省大学生创新创业训练计划项目(202011306080)

第一作者简介:方宇媛(1984-),女,安徽贵池人,副教授,硕士,主要从事环境污染控制研究。E-mail:250692201@qq.com

展定位、污水来源和处理工艺^[11]等发生变化,使得污泥土地利用过程中存在一定风险,尤其是污泥中的重金属对土壤环境产生威胁。

林敏^[12]等分析了杭州 6 座市政污水处理厂污泥重金属含量和形态,结果表明污泥中 As、Cd 的生物可利用比例超过 80%,据此提出了污泥资源化利用过程的控制措施。杜庆才^[13]等针对蚌埠市污水处理厂污泥,测定了其重金属含量、赋存形态,并开展了重金属污染指数和健康风险指数分析。结果表明污泥中重金属含量、潜在生态风险指数、健康风险指数均在安全限值内。孟国欣^[14]等通过研究揭示了北京市 4 座污水处理厂污泥重金属含量存在显著差异,不同重金属在污泥中赋存形态差异较大,其中一座污水处理厂污泥的内梅罗综合指数计算结果属于重污染水平,所有污水处理厂的潜在生态环境风险均属于低生态风险水平。李金辉^[15]等采集某污水处理厂污泥开展污泥农业价值分析、重金属含量测定和健康风险分析。结果表明,Hg、Cd 分别是该污泥中非致癌风险和致癌风险的主要因子。

以上研究表明,不同污水处理厂污泥重金属含量和污染特征存在较大差异。因此,研究城市污水处理厂污泥重金属污染特征对揭示其可能的生态环境风险、探讨最佳的污泥处置方法具有现实意义。为了明确池州市某城镇污水处理厂污泥重金属污染特征及其潜在生态风险,采集该城镇污水处理厂污泥,开展重金属含量分析和潜在生态风险评价,研究结论可以为污水处理厂污泥综合利用提供基础数据和理论参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集与保存

该城镇污水处理厂污泥加入添加剂调质后,经板框压滤机处理。选择城镇污水处理厂板框压滤机脱水处理后的污泥,随机设置 3 个采样点,每个采样点采集样品 2 kg,带回实验室自然风干后混合,得到污泥样品。去除杂质后进行四分法取样,研磨过 100 目筛后烘干,转入玻璃瓶中存放。

1.2 重金属检测方法

根据 CJ/T 221—2005《城市污水处理厂污泥检验方法》^[16]中规定的 Hg、Cd、As、Pb、Cr 的检测方法进行测定。其中,Hg 采用原子荧光法,其余均采用电感耦合等离子体发射光谱法。设置平行样确保检测结果质量。

1.3 数据分析方法

1.3.1 单因子指数法

单因子指数法计算公式^[17]:

$$P_i = \frac{C_i}{C_{0i}} \quad (1)$$

式中, P_i 即第 i 种污染物的单因子指数; C_i 是第 i 种污染物实测浓度, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; C_{0i} 是第 i 种污染物的标准限值, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其取值详见表 1。为了确保污泥农用过程中的风险在可控范围内,国家针对不同的污泥利用途径,制定了相应的重金属含量控制标准。在已有研究中,CJ/T 309—2009《城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质》作为主要参考标准被多次用于评价工作^[12-14]。鉴于以上标准为推荐性标准,且国家已于 2018 年颁布 GB 4284—2018《农用污泥污染物控制标准》^[18],因此,研究选择 GB 4284—2018《农用污泥污染物控制标准》A 级标准作为评价基准限值。

1.3.2 内梅罗综合指数法

内梅罗综合指数法计算公式如下^[19]:

$$PI = \sqrt{\frac{P_{\max}^2 + P_{\text{epu}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中, PI 为内梅罗综合指数; P_{\max} 为单因子指数计算结果的极大值; P_{epu} 为单因子指数计算结果的均值。

1.3.3 潜在生态风险指数法

$$E_i = \frac{T_i \times C_i}{C_{0i}} \quad (3)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_i \quad (4)$$

式中, E_i 即第 i 种重金属的生态危害指数; T_i 是第 i 种重金属的毒物响应系数,取值详见表 1^[19]; C_i 和 C_{0i} 同上; RI 为不同重金属的总潜在生态风险指数。

表 1 C_{0i} 和 T_i 取值

Table 1 The values of C_{0i} and T_i

指标	Hg	Cd	As	Pb	Cr
$C_{0i}/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	3	3	30	300	500
T_i	40	30	10	5	2

单因子指数、内梅罗综合指数与对应的污染程度及各金属的生态危害指数、总潜在生态风险指数与对应的生态风险程度见表 2^[14]。

表 2 P_i 、 PI 、 E_i 及 RI 所对应的污染程度与生态风险水平Table 2 The pollution level and ecological risk level of P_i , PI , E_i and RI

序号	指数	指数范围				
1	P_i 单个重金属的污染等级	$P_i \leq 0.7$	$0.7 < P_i \leq 1.0$	$1.0 < P_i \leq 2.0$	$2.0 < P_i \leq 3.0$	≥ 3.0
		安全	警戒限	轻污染	中污染	重污染
2	PI 综合污染水平	$PI \leq 0.7$	$0.7 < PI \leq 1.0$	$1.0 < PI \leq 2.0$	$2.0 < PI \leq 3.0$	≥ 3.0
		清洁	尚清洁	轻度污染	中度污染	重污染
3	E_i 单个重金属的潜在生态风险水平	$E_i < 10$	$10 \leq E_i < 20$	$20 \leq E_i < 40$	$40 \leq E_i < 80$	$E_i \geq 80$
		低风险	中风险	较高风险	高风险	极高风险
4	RI 总潜在生态风险水平	$RI < 30$	$30 \leq RI < 60$	$60 \leq RI < 120$	$RI \geq 120$	/
		低风险	中风险	较高风险	高风险	/

2 结果与讨论

2.1 污泥中重金属含量分析

检测了污泥中 Hg、Cd、As、Pb、Cr 的含量, 具体见表 3。结果表明, 这五种重金属元素含量差异较大, 其中 Hg 含量最小, Cr 含量最大, 依次为 $Cr > Pb > As > Cd > Hg$ 。从结果看, Hg、As、Pb、Cr 这四种重金属含量均低于全国城镇污水处理厂污泥重金属含量平均值^[20], 而重金属 Cd 含量超过全国城镇污水处理厂污泥重金属含量平均值 25%。具体而言, Hg、Cd、As、Pb、Cr 分别为全国城镇污水处理厂污泥重金属含量平均值的 9.2%、125%、68.7%、42.2%、18.1%。

该城镇污水处理厂不仅处理本厂区产生的污泥, 还同时处理另外一家综合污水处理厂的剩余污泥, 而综合污水处理厂的收水范围包括工业园区生产废水。因此, 该污泥中重金属的主要来源可能为工业园区企业生产废水。

表 3 污泥中重金属含量

Table 3 Heavy metal content in sludge

重金属指标	Hg	Cd	As	Pb	Cr
含量(平均值)/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	0.52	3.5	19.9	39.3	48.2

2.2 污泥中重金属潜在生态风险评价

选择 GB 4284—2018《农用污泥污染物控制标准》A 级标准来开展潜在生态风险评价研究工作。采用公式(1)、(2)、(3)、(4)分别计算单因子指数、内梅罗指数、生态危害指数和总潜在生态风险指数。具体结果见表 4。

从表 4 中数据可以得知, 在基于 GB 4284—2018《农用污泥污染物控制标准》A 级评价标准前提下, 单因子指数从高到低排序依次为 $Cd > As > Hg$

表 4 P_i 、 PI 、 E_i 及 RI 计算结果Table 4 The results of P_i , PI , E_i and RI

重金属指标	P_i	PI	E_i	RI
Hg	0.17		6.93	
Cd	1.17		35.00	
As	0.66	0.94	6.63	49.41
Pb	0.13		0.66	
Cr	0.10		0.19	

$>Pb > Cr$, 其中 Cd 的单因子污染指数为 1.17, 达到轻度污染。其余重金属的单因子指数均属于安全范围内。内梅罗综合指数计算表明污泥属于尚清洁水平, 但其值为 0.94, 接近轻度污水水平。 E_i 计算结果显示, 单个重金属的潜在生态风险水平从高到低依次为: $Cd > Hg > As > Pb > Cr$, 其中 Cd 的单因子潜在生态风险水平为 35.00, 属于较高风险水平, 其余均属于低风险水平。 RI 计算结果为 49.41, 表明总潜在生态风险水平属于中风险。

研究表明, 剩余污泥中 Cd 主要来源于金属表面处理行业和电子设备制造业。从以上分析可知, 该污泥中重金属 Cd 的污染水平为轻度污染, 且潜在风险属于较高风险水平, 可能与综合性污水处理厂接纳部分电子信息产业园污水处理厂出水有关。因此, 该污泥不适合进入耕地、园地和牧草地等土壤环境。

3 结论

该城镇污水处理厂污泥中 Hg、Cd、As、Pb、Cr 均能检出, 其中 Hg 含量最小, Cr 含量最大。Hg、As、Pb、Cr 四种重金属含量均低于全国城镇污水处理厂污泥重金属含量平均值, 而 Cd 含量超过全国城镇污水处理厂污泥重金属含量平均值 25%。

基于 GB 4284—2018《农用污泥污染物控制标准》A 级标准前提下, Cd 的单因子指数最高且

达到轻度污染水平,综合污染指数属于尚清洁水平。各重金属的潜在生态风险水平最高者为 Cd,达到了较高风险水平,总潜在生态风险水平达到了中风险水平。因此,比较于土地利用方式,该污泥更适于选择填埋或焚烧等方式进行处理处置。

参考文献

- [1] 王磊. 我国重点流域城市污水处理厂污泥产率调研 [J]. 中国给水排水, 2018, 34 (14): 23-27.
- [2] 高健. 城市污泥在农用地整治中的应用潜力研究 [J]. 南方农业, 2019, 13 (30): 173-174.
- [3] 王火荣, 余佩佩, 韩建勋, 等. 浙江省污水污泥处理处置状况的调查 [J]. 能源环境保护, 2014, 28 (3): 1-3.
- [4] 刘学军, 朱海瀛, 杨莎莎. 武汉市污泥处理处置现状研究及建议分析 [J]. 工业安全与环保, 2020, 46 (6): 93-96.
- [5] Dregulo A M, Bobylev N G. Integrated assessment of groundwater pollution from the landfill of sewage sludge [J]. Journal of Ecological Engineering, 2020, 22 (1): 68-75.
- [6] Sun M Y, He K Y, Shu S, et al. Numerical evaluation and management suggestions for heavy metal pollution risks in a sludge landfill: A case study from Fuyong Landfill, Shenzhen, China [J]. Advances in Civil Engineering, 2020, 2020: 1-8.
- [7] 易进翔, 郑振, 李磊, 等. 填埋方式对填埋体的强度及稳定性研究 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2021, 29 (2): 438-449.
- [8] 孙昱, 彭祚登, 熊建军, 等. 高级厌氧消化制污泥有机肥对油松和榆树林木生长及养分积累的影响 [J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39 (10): 55-63.
- [9] 杨向荣, 喻果焱. 城镇生活污水厂污泥制有机肥处理处置技术简析 [J]. 能源研究与管理, 2018, (4): 74-77.
- [10] 潘振, 梁志超, 田冬梅, 等. 广西城市污水处理厂污泥产生及处置现状分析 [J]. 能源环境保护, 2020, 34 (2): 105-108.
- [11] 杨晶, 李丽, 季必霄, 等. 生物炭吸附废水中重金属研究进展 [J]. 能源环境保护, 2020, 34 (6): 1-7.
- [12] 林敏, 姚建国, 马贞依, 等. 杭州市政污泥中重金属污染及形态特征 [J]. 环境科学与技术, 2020, 43 (11): 54-58.
- [13] 杜育才, 石先阳, 丁艳, 等. 城市污泥重金属污染生态风险及健康风险评价 [J]. 长春师范大学学报, 2020, 39 (6): 171-178.
- [14] 孟国欣, 查同刚, 张晓霞, 等. 北京市污水处理厂污泥重金属污染特征和生态风险评价 [J]. 生态环境学报, 2017, 26 (9): 1570-1576.
- [15] 李金辉, 翁贵英, 吴汉福, 等. 六盘水某污水处理厂污泥农用价值与所含重金属的健康风险评价 [J]. 环境与健康杂志, 2018, 35 (5): 438-441.
- [16] CJ/T 221—2005. 《城市污水处理厂污泥检验方法》[S].
- [17] 陈怀满. 环境土壤学 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 519.
- [18] GB 4284—2018. 《农用污泥污染物控制标准》[S].
- [19] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sediment ecological approach [J]. Water Research, 1980, 14 (8): 975-1001.
- [20] 王涛. 我国城镇污泥营养成分与重金属含量分析 [J]. 中国环保产业, 2015 (4): 42-45.