

我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析

张灿¹, 陈虹¹, 余忆玄², 王立军¹, 韩建波^{1*}, 陶平²

(1. 国家海洋环境监测中心国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室, 大连 116023; 2. 大连海事大学环境科学与工程学院, 大连 116026)

摘要: 采用 ICP-MS 分析法测定了我国 3 个典型沿海城市广州、上海和大连共 13 个污水处理厂污泥的 7 种重金属含量, 并与 2006 年和 2001 年的数据进行了对比, 以了解我国沿海城市污水处理厂重金属污染状况、变化趋势和处置方案。结果表明, 我国沿海城市污泥中重金属污染分布存在较大差异, 7 种重金属平均含量大小顺序为 $\text{Cr} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cd}$, Cr 、 Cu 和 As 的含量超出了《城镇污水处理厂污染物排放标准》, 污染严重。相对于以前, 我国沿海城市污泥中 Zn 的含量明显减少, Pb 、 Hg 和 Cd 的含量与没有明显变化, 但 Cr 、 Cu 、 As 均明显增加。各区域各类型污水处理厂城市污泥重金属含量分析表明, 来源于工业废水的城市污泥中 Zn 、 Cu 和 Hg 的平均含量较生活污水为主的污泥高; 广州污水处理厂城市污泥中 Cr 、 Pb 、 As 、 Hg 和 Cd 的含量均高于上海和大连。沿海城市污水处理厂中超出《城镇污水处理厂污染物排放标准》中污泥农用标准限值的占总调查污水处理厂的 23%, 我国沿海城市污泥大部分仍可采用污泥农用的有益处置方式进行处置。同时, 本次调查数据也为我国沿海城市开展污水污泥海洋倾倒相关技术标准的制定提供了基础数据。

关键词: 污水处理厂; 污泥; 重金属; 污染; 处置

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)04-1345-06

Pollution Characteristics of Heavy Metals in Sludge from Wastewater Treatment Plants and Sludge Disposal in Chinese Coastal Areas

ZHANG Can¹, CHEN Hong¹, YU Yi-xuan², WANG Li-jun¹, HAN Jian-bo¹, TAO Ping²

(1. Key Laboratory of Coastal Ecology and Environment of State Oceanic Administration, National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 2. School of Environmental Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116023, China)

Abstract: Thirteen sludge samples from Guangzhou, Shanghai and Dalian were collected and analysed for heavy metals to investigate the distribution and variation trend of heavy metals in sludge from wastewater treatment plants in Chinese coastal areas. The results showed that contents of heavy metals in sludge varied significantly, and the average contents exhibited an order of $\text{Cr} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cd}$. Additionally, contents of Cr , Cu and As exceeded their corresponding standard levels. Compared with contents of heavy metals in 2006 and 2001, content of Zn in sludge increased while contents of Cr , Cu and As decreased. Results also indicated that the industrial sludge was more seriously polluted than domestic sludge in terms of Zn , Cu and As . Only 23% sludge samples exceeded the standards for fertilization of sludge, suggesting that most of the sludge could be disposed by land application. These results also provide further information about the establishment of ocean disposal assessment for sludge.

Key words: wastewater treatment plants; sludge; heavy metals; pollution; disposal

随着工业化进程的增加及人们环保意识的提高, 我国污水处理行业发展迅速。2003 年, 全国共有城镇污水处理厂 612 座, 污水年处理量 148 亿 t; 截至 2011 年, 污水处理厂增至 3 135 座, 污水处理能力也高达 496 亿 t^[1]。城市污泥作为污水处理的必然产物, 其产生量也不断增长, 同时污泥由于承载着进水近一半的有机污染物, 其中重金属类污染物以及致病菌和病原菌等也较为丰富, 污泥处置将成为我国一个更加突出的环境问题。目前, 我国污泥的处置方式主要有填埋、焚烧和农业利用等。污泥农用作为重要的有益利用的处置方式, 在国内外得以普

遍应用, 但此种方式容易对环境形成二次污染^[2~5]。为防止和控制污泥处置对环境的二次污染, 需对我国不同类型污水处理厂污泥的污染水平、空间分布特征和变化趋势进行调查和了解, 为制定污泥污染特征评价和处置技术路线选择等相关政策提供基础数据。因此, 了解和分析我国污水处理厂污泥的污

收稿日期: 2012-06-28; 修订日期: 2012-08-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41006062); 国家海洋公益性行业科研专项(201105010)

作者简介: 张灿(1981~), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为污染物调查和环境行为, E-mail: zhangcan@nmemc.gov.cn

* 通讯联系人, E-mail: jrbhan@nmemc.gov.cn

染特征及其变化趋势对于不同地区及不同类型的污水处理厂污泥的处置方式选择及其潜在生态风险的控制具有重要的意义。

城市污泥中重金属含量高,进入土壤环境中难以被生物分解,却易于通过食物链生物富集,污泥中的重金属污染将是土壤中重金属污染的一个重要来源^[6~8],并已成为污泥有益利用的主要限制性因素之一,因此城市污泥中重金属含量和迁移转化行为已成为环境科学等领域的研究热点之一^[9~12]。目前对于中国城市污泥中重金属含量已有相关的环境调查^[13~16],结果均表明污泥中重金属含量因各城市的产业类型、城市性质、污水处理工艺和污水来源等不同而存在很大的差异,工业废水来源的城市污泥中重金属含量高于生活污水为主的污泥。但是与以前相比,污泥中重金属含量总体变化趋势的研究结果并未确定,有研究表明^[13]城市污泥重金属含量总体呈下降趋势,但也有研究表明^[14]其部分重金属含量呈上升趋势。同时,对于城市污泥中重金属的赋存形态也开展了相关研究^[17~20]。为进一步了解我国沿海城市污泥的重金属污染特征、变化趋势及其处置状况,本研究对我国沿海城镇污水处理厂污泥中重金属的含量及其影响因素等进行了分析,以期为我国制定污泥处理处置相关政策制定提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 污泥样品采集

从南到北选择了3个典型的沿海城市(广州、上海和大连)开展污水处理厂的调查和采样分析工作,调查的时间在2011年5~10月。根据污水处理厂污水的来源、工艺和出水标准的不同,在本次污水污泥采样分析中共选择了13个典型的不同类型的污水处理厂,样品采集分布图和各厂的基本情况分别见图1和表1。其中,10个污水处理厂以生活污水为主要来源,3个污水处理厂以工业废水为主要来源,污水处理工艺除了1个为化学絮凝法外,其余主要为活性污泥法;出水标准达到一级标准的为9个,二级标准的4个。

1.2 样品前处理与分析

1.2.1 主要仪器与试剂

主要仪器:聚四氟乙烯坩埚;恒温电热板(Labtech EG20B, USA); ICP-MS (Agilent 7500ce, 美国);天平(Sartorius BT323S, German);亚沸蒸

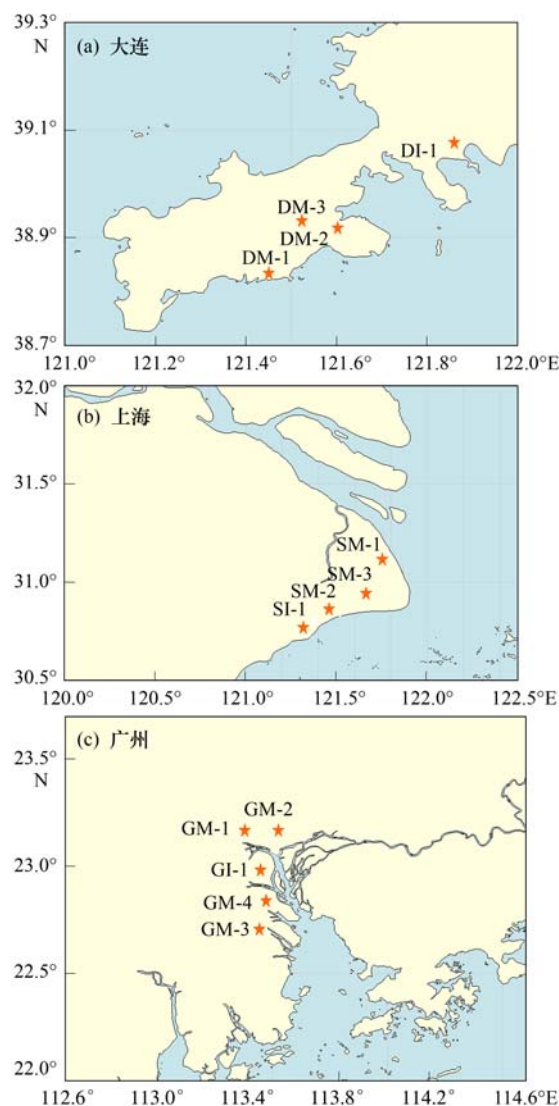


图1 广州、上海和大连采样的污水处理厂分布示意

Fig. 1 Sampling location map of wastewater treatment plants (pentagon) in Chinese coastal areas

馏器(Berghof BSB-939-IR, German);超纯水仪(Milli-Q, France)。

主要试剂:硝酸(经亚沸蒸馏器二次蒸馏酸);氢氟酸(超纯,上海试剂一厂);高氯酸(优级纯,天津东方化工试剂厂)。

1.2.2 样品前处理

采集的污泥样品经自然风干后,碾磨并过160目筛,充分混匀后取样10g左右供样品测定。样品消解时,称取0.10g沉积物干样于50mL聚四氟乙烯坩埚中,用少许超纯水润湿样品,加入5.0mL硝酸后,置于电热板上由低温升至180~200℃加热回流3~4h,再加入1.0mL硝酸,2.0mL高氯酸和2.0mL氢氟酸,在220~240℃下加热回流3~4h后,开盖蒸至近干,取下再加1.0mL50%的硝酸,微

表 1 污水处理厂的基本情况表

Table 1 Information of operating conditions of the wastewater treatment plants						
地点	污水处理 厂名称	污水来源	污水处理工艺	污水处 理标准	每日污 泥产量	污泥脱 水方式
广州	GM-1	生活污水	活性污泥法(A ² /O 工艺)	一级 B	32 t·d ⁻¹	离心式脱水
	GM-2	生活污水	活性污泥法(UNITANK 工艺)	一级 B	12 t·d ⁻¹	压力机
	GM-3	生活污水	活性污泥法(A ² /O 工艺)	一级 A	400 t·d ⁻¹	离心式脱水
	GM-4	生活污水	活性污泥法(A ² /O 工艺)	一级 A	24 t·d ⁻¹	板栓机
	GI-1	工业废水	活性污泥法(A ² /O 工艺)	一级 B	—	板栓机
上海	SM-1	生活污水	活性污泥法(HYBRID 二段活性污泥法)	二级	54 t·d ⁻¹	离心脱水
	SM-2	生活污水	活性污泥法(A ² /O 工艺)	二级	1 200 t·d ⁻¹	离心脱水
	SM-3	60% 生活污水和 40% 工业废水	活性污泥法	一级 B	—	机械脱水后干化焚烧
	SI-1	70% 工业废水和 30% 生活污水	活性污泥法(A ² /O 工艺)	二级	90 t·d ⁻¹	离心脱水
大连	DM-1	生活污水	循环活性污泥法	一级 B	—	—
	DM-2	生活污水	生物膜法(曝气生物滤池)	一级 A	20 t·d ⁻¹ (干泥)	离心脱水后填埋
	DM-3	生活污水	活性污泥和生物膜法于一体(LINPOR 工艺)	二级	—	离心脱水后填埋
	DI-1	70% 的工业废水和 30% 的生活污水	活性污泥法(改良 A ² /O 工艺)	一级 B	80 ~ 100 t·d ⁻¹	—

热浸提,用超纯水将溶液及残渣全量转入 50 mL 容量瓶中,定容至标线,放置至溶液澄清,同时制备分析空白溶液,用于 ICP-MS 测定.

1.2.3 样品分析

取一定量单元素标准物质配制成多元素混合标准储备液,以体积分数 5% HNO₃ 为介质稀释储备液,配制不同浓度标准溶液,由于所采用的标准溶

液为多元素混合溶液,对于低浓度元素的标准系列浓度为 0、0.10、0.50、1.00、5.00、10.0 μg·L⁻¹,高浓度标准溶液系列为 0、10.0、20.0、50.0、100.0、500.0 μg·L⁻¹.

在进行标准系列溶液和样品消化液测定时,通过三通阀在线加入内标溶液 103Rh,以对仪器漂移和基体进行校正. ICP-MS 的工作参数见表 2.

表 2 仪器工作参数

Table 2 Operating parameters of ICP-MS			
仪器参数	参数值	仪器参数	参数值
RF 功率	1 350 W	采样锥和截取锥	镍金属
等离子体流速	15.0 L·min ⁻¹	检测方法	自动
载气流速	0.9 L·min ⁻¹	单位质量测点数	3
混合气流速	0.15 L·min ⁻¹	重复次数	3
采样深度	8.0 mm	样品提取速率	0.4 mL·min ⁻¹
雾化室温度	2℃		

2 结果与讨论

2.1 污染水平

我国沿海城市(广州、上海和大连)13 个污泥样品的重金属含量统计结果见表 3.

结果表明,污泥中含有多种对环境有害的重金属,部分污泥中重金属污染严重,Cr、Cu 和 As 的含量较高. 污泥中重金属污染空间分布差异较大,根据表 3 中各重金属含量的平均值和标准偏差,各重金属的相对标准偏差均大于 50%. 这可能是由于各

污水处理厂污水来源不同,各类重金属污染水平差异所导致的.

为了解我国沿海城市城镇污水处理厂污泥中重金属污染的趋势,将其与 2006 年和 2001 年前污泥中重金属的含量^[13]进行比较,结果见表 4. 根据显著性差异检验结果(*t*-检验,*P* < 0.05)可以看出,Cr、Cu、As 均比以前含量明显增加,Zn 的含量比以前明显减少,Pb、Hg 和 Cd 的含量与前期相比没有明显变化.

根据我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》

表 3 污泥样品中重金属类污染物浓度分布 (干重)/mg·kg⁻¹

Table 3 Concentrations of heavy metals in sludge from wastewater treatment plants (dw)/mg·kg⁻¹

地点	污水处理厂名称	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	As
广州	GM-1	118	132	469	1.86	27	1.83	30
	GM-2	8 676	431	669	2.10	81	1.40	149
	GM-3	335	1 035	640	1.50	134	1.48	21
	GM-4	236	861	1 361	3.54	124	1.43	32
	GI-1	149	376	733	3.18	78	6.91	32
上海	SM-1	40	148	582	0.83	47	1.70	13
	SM-2	322	224	1 237	0.90	64	1.66	16
	SM-3	384	961	1 519	6.69	144	3.01	17
	SI-1	1 567	490	1 955	0.71	47	1.11	22
大连	DM-1	356	108	437	1.13	45	2.89	17
	DM-2	70	66	408	0.46	38	1.38	13
	DM-3	191	98	689	3.46	65	3.54	20
	DI-1	344	4 386	927	1.07	74	2.83	22
平均值		984	717	894	2.11	74	2.40	31
标准偏差		2 343	1 154	480	1.74	38	1.56	36
我国污泥农用限值(中碱性土壤)		1 000	1 500	3 000	20	1 000	15	75

表 4 不同时期城市污泥重金属含量比较(干重)/mg·kg⁻¹

Table 4 Comparison of heavy metal concentrations in sludge in different periods (dw)/mg·kg⁻¹

时期	Cr	Zn	Cu	Pb	As	Hg	Cd
2011 年	984	894	717	74	31	2.40	2.11
2006 年	93.1	1 058	219	72.3	20.2	2.13	2.01
2001 年前	185	1 450	486	131	16.1	2.84	2.97

(GB 18918-2002)^[21]规定的污泥农用时(在中性和碱性土壤上)污染物的控制标准限值,本研究中采集的污泥样品除了 Cr、Cu 和 As 有超标外,其他重金属均未超标. Cr、Cu 和 As 的超标率分别为 15%、7.7% 和 7.7%,超标幅度分别高达 767%、292% 和 99%.

2.2 分布特征

污水处理过程中,70%~90%的重金属元素通过吸附或沉淀而转移到污泥中^[22]. 城市污水的重金属来源包括工业废水、生活污水和雨水径流,因此污泥中重金属的含量将与污水来源具有相关性. 本次调查的污水处理厂根据污水来源不同可分为以生活污水为主和以工业废水为主 2 种. 各种类型污水处理厂产生的污泥中重金属含量的平均值见表 5. 工业废水产生的污泥中 Zn、Cu 和 Hg 的含量较

生活污水产生的污泥高,但其他重金属含量未呈现相同的变化趋势. 孙玉焕等^[15]研究表明工业废水为主的城市污泥中所有重金属含量均高于生活污水为主的城市污泥,本研究的研究结论与其不同,这可能是与工业废水涉及的产业类型有关,在本研究所覆盖的工业污水处理厂中 Cr、Pb、As 和 Cd 并不是相关的特征污染物.

为了解不同区域污水处理厂产生的城市污泥中重金属污染的状况,不同城市污泥中重金属含量的平均值见表 5. 从该表可以看出,污泥中重金属含量与所在城市有关. 除 Cu 和 Zn 外,其余重金属含量均为广州污水处理厂城市污泥高于上海和大连. 上海城市污泥中 Cr、Zn、Cd 和 Pb 的含量均高于大连, Hg 和 As 的含量无明显变化,但 Cu 的含量低于大连.

表 5 不同类型和不同区域城市污泥中重金属平均含量(干重)/mg·kg⁻¹

Table 5 Concentrations of heavy metals in sludge from various wastewater treatment plants (dw)/mg·kg⁻¹

项目		Cr	Zn	Cu	Pb	As	Hg	Cd
不同类型	生活污水	1 072	801	406	77	33	2.03	2.25
	工业废水	687	1 205	1 751	66	25	3.62	1.65
不同区域	广州	1 903	774	567	89	53	2.61	2.44
	上海	578	1323	456	76	17	1.87	2.28
	大连	240	615	1 165	56	18	2.66	1.53

2.3 城市污泥的处置方式

近年来,随着我国污水处理能力的提高,污泥的产生量以每年 15% 的速度增长,污泥处置成为我国日益突出的环境问题。目前污泥处置包括填埋、堆放、焚烧和污泥农用等方式。填埋和堆放作为我国目前主要的处置方式,不仅浪费宝贵的土地资源,还存在渗滤液污染地下水等环境风险。污泥农用等有益利用方式和海洋倾倒处置将是未来我国城市污泥重点考虑的处置方式。

城市污泥农用需符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)^[21]中污泥农用的限值,从本研究的调查数据来看,我国沿海城市污泥中部分污水处理厂 Cr、Cu 和 As 存在超标现象,且超标幅度较高,超标的污水处理厂占总调查污水处理厂的 23%。因此,我国沿海城市污泥大部分仍可采用污泥农用的有益处置方式进行处置。

海洋倾倒处置城市污泥是利用海洋巨大的稀释和容纳能力对污泥进行处置,该方法操作简单,费用低廉。世界上很多国家都曾采用该方式进行污泥处置,但均是符合相关评价限值的城市污泥。目前根据海洋倾倒的相关法律法规,在法律层面上我国允许城市污泥的海洋倾倒处置,但由于缺少相关的技术文件而实际尚未开展此项工作,该调查数据也将为我国制定污水污泥海洋倾倒处置限值等相关技术规程提供基础数据。

3 结论

(1) 我国 3 个城市 13 个污泥样品的重金属含量分析结果表明,沿海城市污泥中重金属污染分布存在较大差异,7 种重金属平均含量大小顺序为 $\text{Cr} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cd}$ 。与《城镇污水处理厂污染物排放标准》相比,部分污水处理厂污泥中重金属污染严重,污染要素为 Cr、Cu 和 As。目前我国沿海城市污泥中 Zn 的含量比以前明显减少,Pb、Hg 和 Cd 的含量没有明显变化,但 Cr、Cu、As 均明显增加。

(2) 城市污泥中重金属污染程度与污水来源和所在区域有关。来源于工业废水的城市污泥中 Zn、Cu 和 Hg 的平均含量较生活污水为主的污泥高;广州污水处理厂城市污泥中 Cr、Pb、As、Hg 和 Cd 的含量均高于上海和大连。

(3) 我国超出《城镇污水处理厂污染物排放标准》中污泥农用标准限值的污水处理厂占总调查污水处理厂的 23%,我国沿海城市污泥大部分仍可采

用污泥农用的有益处置方式进行处置。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 关于全国城镇污水处理设施 2011 年第四季度建设和运行情况的通报[EB/OL]. http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj_0/jsbwjcsjs/201203/t20120320_209157.html, 2012-02-15.
- [2] 环境保护部. 城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治最佳可行技术指南[Z]. 2010.
- [3] Dai J Y, Chen L, Zhao J F, *et al.* Characteristics of sewage sludge and distribution of heavy metal in plants with amendment of sewage sludge[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, **18**(6): 1094-1100.
- [4] 翁焕新. 污泥无害化减量化资源化处理新技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009. 24-32.
- [5] Fytilli D, Zabaniotou A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new method-A review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, **12**(1): 116-140.
- [6] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, *et al.* An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales [J]. *Science of the Total Environment*, 2003, **311**(1-3): 205-219.
- [7] Vulkan R, Mingelgrin U, Ben-Asher J, *et al.* Copper and zinc speciation in the solution of a soil-sludge mixture[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2002, **31**(1): 193-203.
- [8] Luo Y M, Christie P. Effect of alkaline-stabilised sewage sludge on extractable organic carbon and copper in soils [J]. *Pedosphere*, 2002, **12**(2): 97-102.
- [9] Karvelas M, Katsoyiannis A, Samara C. Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process [J]. *Chemosphere*, 2003, **53**(10): 1201-1210.
- [10] Zufiaurre R, Olivar A, Chamorro P, *et al.* Speciation of metals in sewage sludge for agricultural uses[J]. *Analyst*, 1998, **123**(2): 255-259.
- [11] Sims J T, Kline J S. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1991, **20**(2): 387-395.
- [12] Kot A, Namiesnik J. The role of speciation in analytical chemistry[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2000, **19**(2-3): 69-79.
- [13] 杨军, 郭广慧, 陈同斌, 等. 中国城市污泥的重金属含量及其变化趋势[J]. *中国给水排水*, 2009, **25**(13): 122-124.
- [14] 马学文, 翁焕新, 章金骏. 中国城市污泥重金属和养分的区域特性及变化[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(8): 1306-1313.
- [15] 孙玉焕, 骆永明, 吴龙华, 等. 长江三角洲地区城市污水污泥重金属含量研究[J]. *环境保护科学*, 2009, **35**(4): 26-29, 37.
- [16] 张蓉, 谢贻兵, 花日茂, 等. 合肥及周边城市污水污泥重金属含量和农用潜在生态风险评价[J]. *安徽农业大学学报*, 2011, **39**(2): 280-285.
- [17] 刘敬勇, 孙水裕, 许燕滨, 等. 广州城市污泥中重金属的存

- 在特征及其农用生态风险评价[J]. 环境科学学报, 2009, 29(12): 2545-2556.
- [18] 于瑞莲, 胡恭任, 张丽玲. 泉州城市污泥中重金属赋存形态和生物有效性分析[J]. 环境化学, 2011, 30(11): 1965-1966.
- [19] 晋玉强, 南忠仁, 王胜利, 等. 兰州市城市污水处理厂污泥中重金属形态分布特征与潜在生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(6): 1211-1216.
- [20] 涂剑成, 赵庆良, 杨倩倩. 东北地区城市污水处理厂污泥中重金属的形态分布及其潜在生态风险评价[J]. 环境科学学报, 2012, 32(3): 659-695.
- [21] GB 18918-2002, 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
- [22] 李季, 吴为中. 国内外污水处理厂污泥产生、处理及处置分析[A]. 见: 中国土木工程学会水工业分会排水委员会. 污泥处理处置技术与装备国际研讨会论文集[C]. 深圳, 2003. 75-78.

关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明。

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为。自即日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊。

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊。

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动。

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任。我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合。

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部