

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.05.008

南京莫愁湖沉积物中重金属污染调查

赵大勇^{1,2}, 王 猛¹, 曾 巾^{2,3}, 马 婷¹, 燕文明², 吴伟恒¹, 颜 衍¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

摘要: 为了解南京莫愁湖沉积物中重金属的含量、污染程度, 应用电感耦合等离子体原子发射光谱分析仪(ICP-AES)对沉积物中 Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn 等 7 种重金属的含量进行分析, 并应用地累积指数法计算各种重金属的污染指数, 评价各种重金属所引起的污染程度。分析结果表明: 莫愁湖沉积物中重金属含量由大到小的排列顺序为: Mn, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd; 应用地累积指数法计算得出莫愁湖表层沉积物中主要重金属污染元素为 Cd, 处于偏重的污染程度, 其次为 Pb, Zn, 污染程度为轻度污染, 而 Cr, Cu, Mn 和 Ni 没有引起污染, 处于清洁状态; 沉积物垂向上 Mn 和 Zn 含量变化较大, 主要的重金属污染元素为 Cd, Pb, Zn。

关键词: 重金属污染; 沉积物; 地累积指数; 莫愁湖

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2012)05-0520-05

Investigation of heavy metal pollution in sediments of Mochou Lake in Nanjing

ZHAO Dayong^{1,2}, WANG Meng¹, ZENG Jin^{2,3}, MA Ting¹, YAN Wenming², WU Weiheng¹, YAN Yan¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: In order to investigate the degree of heavy metal pollution in the sediments of Mochou Lake in Nanjing, the concentrations of heavy metals, including Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, and Zn, were measured using the ICP-AES. The index of geo-accumulation (I_{geo}) was calculated to assess the pollution degree of the heavy metals. The results show that the concentrations of heavy metals in the sediments of Mochou Lake were in a descending order, as follows: Mn, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, and Cd. Cd was the most serious pollution element in the surface sediments of Mochou Lake. Pb and Zn caused slight pollution. Cr, Cu, Mn, and Ni did not cause any pollution in the sediments of Mochou Lake. A higher fluctuation was observed in the vertical distribution of Mn and Zn concentrations in the sediments of Mochou Lake. Cd, Pb, and Zn were the dominant metals that caused pollution in the sediments of Mochou Lake.

Key words: heavy metal pollution; sediment; index of geo-accumulation; Mochou Lake

莫愁湖位于南京市水西门外, 在著名的莫愁湖公园内, 湖水水位由人工控制, 蓄、排均由排灌站与外秦淮河相通。随着经济的发展, 其周围逐渐发展成为繁华的商业区和住宅小区, 使得莫愁湖良好的生态环境受到了一定程度的破坏, 水质达到劣Ⅴ类水平, 而重金属污染问题也是其中的一部分。

重金属污染是指由重金属或其化学物造成的环境污染, 具有富集性、进入环境难降解、毒性大等特点^[1-5]。当重金属污染物进入水体后, 随着时间的推移会进入到沉积物中, 具有很强的富集作用, 当到达一定

收稿日期: 2011-09-02

基金项目: 国家自然科学基金(41001044); 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放基金(2010490311); 江苏省自然科学基金(BK2010522); 河海大学大学生创新训练计划(NJ2011039)

作者简介: 赵大勇(1982—), 男, 河北丰南人, 讲师, 博士, 主要从事湖泊富营养化形成机理及控制技术研究。E-mail: dlyzhao@hhu.edu.cn

条件时,重金属又会被重新释放出来,成为二次污染^[6-7]。目前,关于南京莫愁湖沉积物中重金属污染情况报道很少,并且已有研究只关注了重金属在表层沉积物中的含量分布^[8],对于重金属在沉积物剖面上的变化规律还缺乏了解。为了清晰地掌握莫愁湖沉积物中重金属的污染现状及其污染程度,本文通过对莫愁湖沉积物中的 Cd、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Zn 等 7 种重金属元素含量进行测定,得出莫愁湖沉积物中重金属污染物含量的分布规律,并采用地累积指数法评价其污染程度,以便更全面地了解莫愁湖的污染状况,为该湖泊水环境的治理提供参考依据。

1 研究资料与研究方法

1.1 沉积物样品的采集

莫愁湖位于南京莫愁湖公园内,公园面积为 0.54 km²,水域面积为 0.3 km²,略呈三角形,其出水口位于湖泊东部,通往秦淮河。目前,莫愁湖主要功能为景观水域和非直接接触的娱乐用水,湖的北岸和南岸人流较为密集,湖的东北角有两处雨水排放口^[8]。

2011 年 4 月,在莫愁湖设置 4 个沉积物采样点(M1、M2、M3、M4),利用柱状采泥器(437405,德国 HYDRO-BIOS),得到相应采样点的柱状沉积物样品,运回实验室分析。根据实验需要在采样点 M1、M3、M4 分别切取表层 1 cm 的沉积物样品,为了更详细地掌握沉积物中重金属含量在垂直方向上的分布特征,在靠近湖心的采样点 M2 采集了 20 cm 深度的沉积物柱状样品。具体采样点的分布位置如图 1 所示。

试验开始前,对获得的柱状沉积物样品进行相应的垂直分割。对柱状沉积物样品进行分割时,考虑到垂直方向梯级变化的特点,将采泥器中的样品除去上层覆水后,从上向下每 1 cm 为一层分割至 8 cm 深度,剩余的分层为每 2 cm 一层分割到 20 cm,将一份柱状泥样分割为 0~8 cm 的 8 份与 8~20 cm 的 6 份沉积物样品,并将分割好的样品进行封袋,置于-20℃保存。

1.2 沉积物样品的预处理与重金属含量的测定

对沉积物样品进行冻干(ALPHA1-2,德国 CHRIST),冻干后的样品经混匀后装入聚乙烯塑料袋中。称取 0.100 g 冻干样品,移至离心管中,向离心管中加入 2 mL 的优级纯 HNO₃,轻微震荡离心管,使样品与消解液充分混合,然后将其置于消解仪(D1200,Labnet)上 80℃消解 24 h,待离心管冷却后,用超纯水(Millipore)将管内溶液定容至 10 mL,过滤收集滤液,以待后续分析使用。

对沉积物样品进行相应的预处理后,应用 Thermo ICAP 6300 电感耦合等离子体原子发射光谱分析仪(ICP-AES)测定沉积物样品中 Cd、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Zn 等 7 种重金属元素的含量。采用标准溶液建立标准曲线,逐个分析沉积物样品中上述金属元素的含量,应用 Origin7.5 软件绘图。

1.3 地累积指数评价

地累积指数(Index of Geoaccumulation, I_{geo})评价法是由德国科学家 Müller^[9]提出的一种用于研究水环境沉积物中重金属污染的定量指标。地累积指数 I_{geo} 的计算公式为

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{Kb_n} \quad (1)$$

式中: C_n ——测定的某金属元素在沉积物中的含量; K ——考虑当地岩石差异可能会引起的背景值的变动而取的系数,一般取值为 1.5^[10]; b_n ——当地岩石中该金属元素的地球化学背景值。

根据 I_{geo} 的大小,将沉积物中重金属污染程度分为 7 个等级(表 1)。

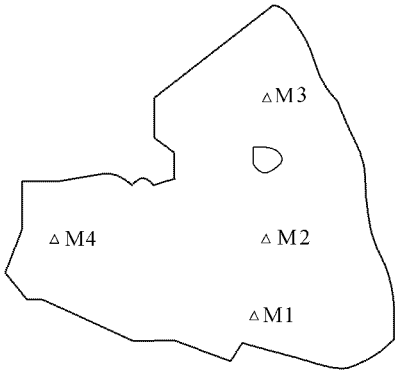


图 1 莫愁湖采样点分布
Fig. 1 Distribution of sampling sites in Mochou Lake

表 1 地累积指数与重金属污染程度的关系

Table 1 Relationship between I_{geo} and heavy metal pollution status

I_{geo}	级别	污染程度
> 5	6	严重污染
$4 < I_{geo} \leq 5$	5	重污染
$3 < I_{geo} \leq 4$	4	偏重污染
$2 < I_{geo} \leq 3$	3	中度污染
$1 < I_{geo} \leq 2$	2	偏中度污染
$0 < I_{geo} \leq 1$	1	轻度污染
≤ 0	0	无污染

2 结果与讨论

2.1 表层沉积物中重金属含量特征分析

对重金属含量的了解可以明确不同区域的污染情况,表2列出了莫愁湖4个采样点表层沉积物中重金属质量比的测定结果。

表2 实测莫愁湖表层沉积物重金属的质量比分布

Table 2 Concentrations of heavy metals in surface sediments of Mochou Lake							mg/kg
采样点	$u(\text{Cd})$	$u(\text{Cr})$	$u(\text{Cu})$	$u(\text{Mn})$	$u(\text{Ni})$	$u(\text{Pb})$	$u(\text{Zn})$
M1	3.32	29.99	38.83	713.95	25.70	61.10	209.39
M2	3.18	14.26	23.77	569.10	23.26	56.17	150.64
M3	3.23	24.36	32.46	663.87	26.41	58.20	198.03
M4	2.85	27.36	33.24	650.80	23.30	54.20	172.20

从表2中可以看出,除Cd、Pb的质量比大于采样点M4沉积物中Cd、Pb的质量比外,总体上,采样点M2的表层沉积物中各重金属的含量最低。这主要是由于莫愁湖湖心采样点M2受人类活动的影响相对较小。不同采样点沉积物中的重金属元素Cd、Cu、Ni、Pb的质量比差别较小;Cr、Mn、Zn的差别较大;与南京土壤背景值进行比较,莫愁湖表层沉积物中Cd的质量比超出背景值(0.19 mg/kg)15~18倍,Pb、Zn的质量比超出了背景值(Pb 24.8 mg/kg、Zn 76.8 mg/kg)2~3倍,重金属Mn的质量比在部分位点超出背景值(511 mg/kg),其余重金属没有超出背景值。吴刚刚等^[8]对莫愁湖沉积物中重金属的研究发现:莫愁湖5个采样点表层沉积物中Cd、Cr、Cu、Pb、Zn的质量比分别为:0.52~0.60 mg/kg、83.6~88.2 mg/kg、45.6~51.5 mg/kg、41.4~47.5 mg/kg、95.9~100.5 mg/kg,其中Cd的质量比超出了南京土壤环境背景值。除Cu和Cr外,其余3种重金属的质量比均略低于本研究中的结果。将本研究中测定的莫愁湖表层沉积物中重金属的质量比与同样处于南京的玄武湖表层沉积物中的重金属质量比^[11-12]进行对比得出:玄武湖表层沉积物中Cd和Ni的平均质量比分别为6.94 mg/kg和94.20 mg/kg,显著高于莫愁湖沉积物中的质量比,而Zn和Mn的质量比则显著低于莫愁湖沉积物中的水平。

在测得表层沉积物中重金属质量比后,利用地累积指数评价法计算出重金属的地累积指数,同时获得相应的污染级别与污染程度。本研究中采用了南京土壤环境重金属元素的背景值^[13]作为计算依据,取Cd、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Zn的背景值分别为0.2 mg/kg、59.0 mg/kg、32.3 mg/kg、511.0 mg/kg、35.0 mg/kg、24.8 mg/kg、76.8 mg/kg。计算结果如表3所示。

表3 莫愁湖表层沉积物中重金属污染的地累积指数

Table 3 I_{geo} of heavy metals in surface sediments of Mochou Lake							
采样点	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
M1	3.54	-1.56	-0.32	-0.100	-1.00	0.72	0.86
M2	3.48	-2.63	-1.03	-0.43	-1.17	0.59	0.39
M3	3.50	-1.86	-0.58	-0.21	-0.99	0.65	0.78
M4	3.52	-1.69	-0.54	-0.24	-1.17	0.54	0.58

从表3中可以看出,莫愁湖表层沉积物中Cd的地累积指数较大,均在3~4之间,处于偏重污染的程度;其次为Pb和Zn,地累积指数均在0~1之间,处于轻度污染的程度;Cr、Cu、Mn、Ni的地累积指数均在0以下,没有引起污染,处于清洁的程度。

2.2 沉积物重金属垂向分布特征与污染程度分析

由于采样点M2比较接近湖心,能更好地反映莫愁湖沉积物中重金属垂向上质量比的变化以及污染状况。在采样点M2获得柱状沉积物样品后,对样品进行分层处理,利用电感耦合等离子体原子发射光谱分析仪(ICP-AES)测定不同深度沉积物中相应的重金属质量比,利用Origin7.5软件作出重金属质量比随深度变化的特征图,可以直观地看出沉积物中重金属质量比随深度的变化规律(图2)。

从图2可以看出,莫愁湖沉积物中7种重金属质量比由高到低的顺序为:Mn、Zn、Pb、Ni、Cu、Cr、Cd。每种金属在到达相应的深度后其质量比都会到达最大值,Cd、Cr、Cu、Pb、Zn的质量比最大值均出现在5 cm处,Mn、Ni的质量比最大值分别出现在12~14 cm与10~12 cm处。此外,Cd、Cu、Pb、Zn的质量比沿深度的变化情况基

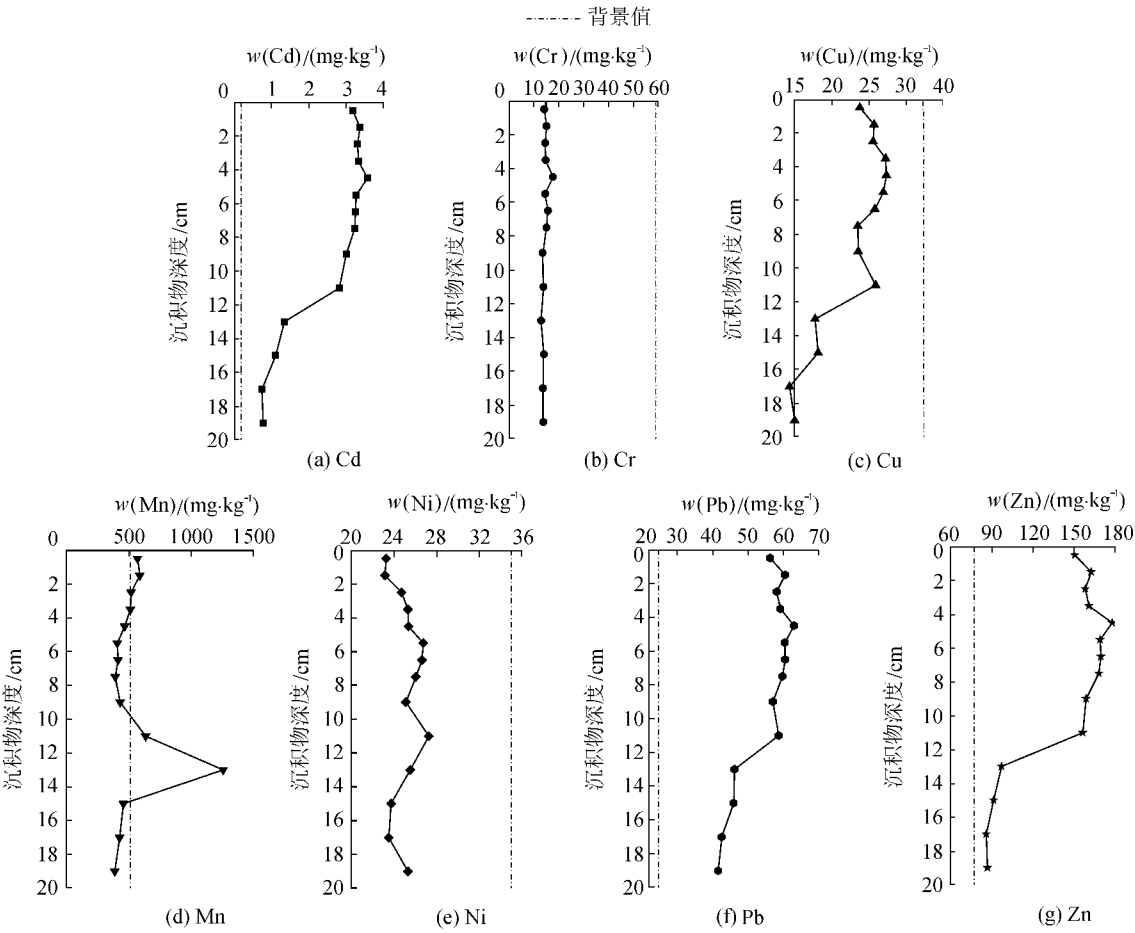


图 2 莫愁湖沉积物重金属质量比随深度变化情况

Fig. 2 Vertical distributions of heavy metal concentrations in sediments of Mochou Lake

本一致,在深度为 12~14 cm 以后重金属的质量比均呈减少趋势。通过与背景值(图 2 中纵向点画线)进行比较可以看出,莫愁湖沉积物中 Cd、Pb、Zn 的质量比均超出了南京土壤重金属的背景值;Mn 的质量比部分超出了南京土壤重金属的背景值。随着深度的增加,Cr、Cu、Ni 的质量比均没有超出背景值。

同时,应用地累积指数评价法,可以得到沿深度方向上各重金属的地累积指数值,采样点 M2 的 7 种重金属的地累积指数计算结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出,Cd 的地累积指数 I_{geo} 在 12 cm 之前均在 3~4 之间,为偏重污染程度,在 12~20 cm 深度处 Cd 的 I_{geo} 则均在 1~3 之间变化,为中度与偏中度污染程度。从莫愁湖周围的环境看,引起 Cd 污染的主要原因可能是位于莫愁湖周围的地铁线路排放的废水以及人类活动排放的生活污水引起的。Pb 的 I_{geo} 均处在 0~1 之间,为轻度污染,Zn 的 I_{geo} 随着深度的增加而减少,在 0~10 cm 为轻度污染,在 10 cm 以下污染指数小于 0,表明没有引起污染,处于清洁程度。由于 Pb、Zn 具有很强的累积性,不容易被分解与转化,从而造成了莫愁湖沉积物中 Pb、Zn 的污染;Mn 的 I_{geo} 在 0~12 cm 之间污染指数在 0 以下,处于清洁程度,而在 12~14 cm 处污染指数变大,反映了该沉积物层处于轻度污染程度,在 14 cm 以下则不存在污染;Cr、Cu、Ni 的地累积指数均在 0 以下,没有引起污染。

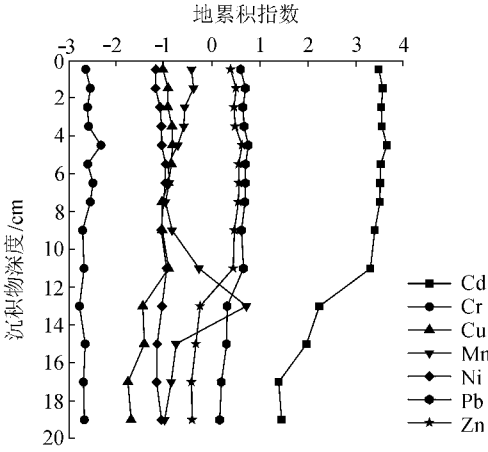


图 3 莫愁湖沉积物中重金属地累积指数沿深度方向的变化

Fig. 3 Vertical distributions of I_{geo} of heavy metals in sediments of Mochou Lake

3 结 论

a. 通过与南京土壤背景值比较,表明莫愁湖沉积

物中重金属含量超出背景值的有 Cd、Pb、Zn、Mn,说明存在于莫愁湖周围的工业与相应的人类活动对其有一定程度的影响。

b. 应用地累积指数法评价莫愁湖表层沉积物中重金属的污染程度,结果表明:存在污染的重金属元素

有 Cd、Pb、Zn;由 Cd 引起的污染处于偏中度污染和偏重度污染之间,Pb、Zn 引起的污染情况处于轻度污染。

c. 莫愁湖沉积物中重金属含量垂向变化幅度较大的为 Mn 和 Zn,地累积指数法的评价结果表明:主要

存在污染的重金属元素为 Cd、Pb 和 Zn。

参考文献:

- [1] 程杰,李学德,花日茂,等.巢湖水体沉积物重金属分布及生态风险评价[J].农业环境科学学报,2008,27(4):1403-1408. (CHENG Jie, LI Xuede, HUA Rimao, et al. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Chaohu Lake[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(4): 1403-1408. (in Chinese))
- [2] 弓晓峰,陈春丽,周文斌,等.鄱阳湖底泥中重金属污染现状评价[J].环境科学,2006,27(4):732-737. (GONG Xiaofeng, CHEN Chunli, ZHOU Wenbin, et al. Assessment on heavy metal pollution in the sediment of Poyang Lake[J]. Environmental Science, 2006, 27(4): 732-737. (in Chinese))
- [3] 乔胜英,蒋敬业,向武,等.武汉地区湖泊沉积物重金属的分布及潜在生态效应评价[J].长江流域资源与环境,2005,14(3):353-357. (QIAO Shengying, JIANG Jingye, XIANG Wu, et al. Distribution of heavy metals in sediments in Lakes in Wuhan with assessment on their potential ecological risk[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(3): 353-357. (in Chinese))
- [4] 向勇,缪启龙,丰江帆.太湖底泥中重金属污染及潜在生态危害评价[J].南京气象学院学报,2006,29(5):700-705. (XIANG Yong, MIAO Qilong, FENG Jiangfan. Pollution of heavy metals in the bottom mud of Taihu Lake and its assessment of potential ecological risk[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006, 29(5): 700-705. (in Chinese))
- [5] 杨卓,李贵宝,王殿武,等.白洋淀底泥重金属的污染及其潜在生态危害评价[J].农业环境科学学报,2005,24(5):945-951. (YANG Zhuo, LI Guibao, WANG Dianwu, et al. Pollution and the potential ecological risk assessment of heavy metals in sediment of Baiyangdian Lake[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(5): 945-951. (in Chinese))
- [6] 陈静生.水环境化学[M].北京:高等教育出版社,1987:175-176.
- [7] 陈静生.沉积物金属污染研究中的若干问题[J].环境科学丛刊,1983,4(8):1-12. (CHENG Jingsheng. Several issues in study about metal pollution in sediment[J]. Environment Science Series, 1983, 4(8): 1-12. (in Chinese))
- [8] 吴刚刚,吴晓霞,陈昌云.莫愁湖底泥重金属污染评价[J].中国教育技术装备,2011(9):104-105. (WU Ganggang, WU Xiaoxia, CHEN Changyun. Evaluation on pollution of heavy metal in Mochou Lake[J]. China Educational Technology & Equipment, 2011(9): 104-105. (in Chinese))
- [9] MÜLLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geojournal, 1969, 2: 108-118.
- [10] 程杰.巢湖水体重金属污染评价及水中重金属污染的植物修复研究[D].合肥:安徽农业大学,2008.
- [11] 邹丽敏,王超,冯士龙.玄武湖沉积物中重金属污染的潜在生物毒性风险评价[J].长江流域资源与环境,2008,17(2):280-284. (ZOU Limin, WANG Chao, FENG Shilong. Potential biological toxicity assessment on heavy metal pollution in surface sediments of Xuanwu Lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(2): 280-284. (in Chinese))
- [12] 李晓晨,赵丽,王超.玄武湖上覆水间隙水和沉积物中的重金属分布研究[J].环境科学与技术,2008,31(5):4-7. (LI Xiaochen, ZHAO Li, WANG Chao. Trace metal levels in overlying water, pore water and sediment of Xuanwu Lake, Nanjing[J]. Environmental Science and Technology, 2008, 31(5): 4-7. (in Chinese))
- [13] 朱敏,王国祥,王建,等.南京玄武湖清淤前后底泥主要污染指标的变化[J].南京师范大学学报:工程技术版,2004,4(2):66-69. (ZHU Min, WANG Guoxiang, WANG Jian, et al. Comparative analysis of changes of pollutants in sediments in Nanjing Xuanwu Lake before and after sediment dredging[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology, 2004, 4(2): 66-69. (in Chinese))