

# 太湖、巢湖沉积物中重金属污染的总量特征 及其区域性差异<sup>\*</sup>

郑乐平<sup>1 2</sup> 刘玉梅<sup>1\*\*</sup> 钱显文<sup>1</sup> 施晓燕<sup>1</sup>

(1 上海大学环境科学与工程系, 上海, 200444 2 环境地球化学国家重点实验室, 中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002)

**摘 要** 选取太湖、巢湖污染较为严重的区域为研究对象, 采集季节性沉积物柱状样, 以 0.5 cm 的间距高精度分割样品, 分析其中的 Fe、Mn、Cu、Zn 等重金属元素的含量, 对沉积物中重金属的总量特征及季节性变化特征进行了分析, 得出以下结论: 太湖、巢湖沉积物中重金属的总量均呈现出 Fe > Mn > Zn > Cu 的特征, 季节性变化幅度为 Mn > Fe > Zn > Cu。重金属元素的地球化学性质对其季节性变化有很大的影响。同时, 不同的区域背景差异(如元素丰度、污染状况等)导致了太湖、巢湖采样点沉积物中重金属元素季节性特征的差异。

**关键词** 沉积物, 重金属, 总量特征, 太湖, 巢湖。

太湖、巢湖位于中国经济发达的长江三角洲地区, 随着区域经济的迅速发展, 其已受到严重的营养盐、重金属等污染, 湖区的生态环境遭到了严重破坏。自 20 世纪 60 年代以来, 太湖的水质表现为每 10 年左右下降一个级别<sup>[1]</sup>, 水环境已呈现出水体富营养化、重金属和微量有毒有害有机物污染的特征<sup>[2]</sup>, 尤其是临近苏锡常工业城市发达的北部地区。近 10 年来, 巢湖西半湖污染严重, 处于劣 V 类重富营养化水体<sup>[3]</sup>, 其中的重金属也有一定程度的污染。目前国内一些学者对太湖、巢湖的重金属污染进行了研究, 但对沉积物中重金属元素垂向分布的季节性变化特征的研究很少。

本文选取太湖、巢湖污染较为严重的北部和西部地区作为研究对象, 分析重金属含量分布特征及其季节性变化, 并对两者进行比较, 以期能够为太湖、巢湖水体中的重金属污染治理提供科学依据。

## 1 实验部分

### 1.1 样品的采集

依据北太湖污染状况, 选取污染相对严重的梅梁湾和贡湖湾为研究对象, 采样点分别位于梅梁湾湖区的三山岛附近和贡湖湾的湖心地带。根据巢湖的污染特征选取离合肥市和肥西县较近的南淝河口和派河河口作为采样点位。南淝河口接纳了来自合肥市排放的生产和生活污水, 其已成为巢湖入湖河流中污染较严重的支流之一, 派河河口主要接纳来自肥西县三河镇等水流的汇入。

采用 SWB-1 型便携式湖泊沉积物-水界面水取样器于 2006 年冬(1 月)、春(4 月)、夏(7 月)、秋(10 月)分别采取太湖、巢湖沉积物柱状样, 并现场进行水深、水温等易变参数的测定。

表 1 采样位置及易变参数  
Table 1 The sampling sites and flexible parameters

采样点位	纬度	经度	2006.1		2006.4		2006.7		2006.10		
			温度/°C	水深/m	温度/°C	水深/m	温度/°C	水深/m	温度/°C	水深/m	
太湖	梅梁湾	31°30'47"	120°11'25"	6.4	1.8	16.1	2.0	29.9	2.4	24.1	2.2
	贡湖湾	31°25'03"	120°20'50"	6.0	1.9	16.8	2.0	29.2	2.4	23.7	2.3
巢湖	南淝河	31°40'28"	117°23'25"	6.0	2.9	17.0	3.0	31.0	3.2	26.7	3.1
	派河	31°41'23"	117°22'27"	6.0	3.4	17.0	3.5	31.2	3.5	26.5	3.5

2009 年 2 月 11 日收稿。

\* 国家自然科学基金项目(40573063)和环境地球化学国家重点实验室开放课题联合资助。 \*\* 通讯联系人, cbydx@shu.edu.cn  
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 1.2 样品的分析

将采集到的沉积物柱状样迅速运回实验室后以 0.5 m 的间隔分样, 离心过滤后, 冷冻干燥, 置于玛瑙研钵内磨细, 过孔径为 150 $\mu$  m 的尼龙筛, 带封保存. 准确称取 0.2000 g 样品, 置于 50 mL 聚四氟乙烯烧杯内, 在电热板上采用 HF-HCl<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub> (GR) 混合酸体系消解后, 定容至 25 mL 容量瓶中, 酸化 (pH=2).

用原子吸收分光光度计 (PE5100 PC) 测定其中重金属元素 (Cu, Zn, Mn, Fe) 的含量. 消解过程中, 同时做空白样、标准土样 (中国环境监测总站 ESS-1 黑钙土 GSBZ50011-88)、平行样的实验. 通过对标准样品的分析发现, Cu, Zn, Fe 的误差 < 5%, Mn 的误差 < 10%. 所有的玻璃仪器和聚四氟乙烯烧杯在使用前都在 10% 的硝酸溶液中浸泡 24 h, 然后用自来水、二次水冲洗干净.

## 2 结果与讨论

### 2.1 太湖、巢湖沉积物中重金属总量的分布特征

太湖、巢湖由于污染物质来源及受污染程度的不同, 其中的重金属元素含量存在一定的差异 (如表 2), 但元素的含量均呈现出 Fe > Mn > Zn > Cu 的特征, 分别与太湖流域的下蜀黄土<sup>[4]</sup>和安徽省土壤背景值<sup>[5]</sup>的含量较为一致, 表明了沉积物中重金属元素的含量在很大程度上受化学丰度的影响, Lux 等<sup>[6]</sup>认为这种差异性主要是岩石风化、淋滤和外源物质输入共同作用的结果. 4 种重金属元素在巢湖沉积物中的平均含量略高于其在太湖沉积物中的含量, 这可能主要是由其背景值的不同导致的差异.

表 2 太湖、巢湖沉积物中重金属的含量 (mg·kg<sup>-1</sup>)

Table 2 The heavy metal contents in the sediments of Taihu lake and Chaohu lake

采样点		Cu	Zn	Mn	Fe
太湖	范围	14.9—56.0	49.6—158.8	332—924	26086—43443
	均值	24.4	77.9	446	30073
	范围	18.0—70.1	42.9—222.0	550—1350	34090—43590
	均值	36.8	120.5	836	37873
太湖流域下蜀黄土		18.9	59.2	MnO 0.07%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4.9%
巢湖	范围	20.4—40.7	187.8—736.4	464—2270	16634—45250
	均值	36	339	891	26496
	范围	40.2—44.7	62.2—629.6	643—2156	25189—47222
	均值	41.8	329.9	1169	39891
安徽省土壤背景值		25	79	634	38800

对同一湖泊而言, 梅梁湾沉积物中重金属的含量高于贡湖湾, 派河高于南淝河, 采样点受到的污染程度不同、区域背景不同及不同采样点所采取的不同污染治理措施可能是导致这种差异性的主要原因. 梅梁湾接纳了直湖港和梁溪河的水流汇入, 汇集了周边城市的工业和生活污水, 此外, 由于采样点处于湖湾狭窄区域, 与湖心区的水流交换较差, 使重金属污染物在湖湾区的累积量进一步加大. 贡湖湾虽然也接受了一部分来自苏州市的污染, 但由于其为无锡市的饮用水源地, 水源受到一定程度的保护, 同时, 贡湖湾西南连通湖心区, 水面开阔, 离城市较远, 水体的流动性较好, 自净能力强.

南淝河水位较浅, 在入湖口处的水流速度缓慢, 底泥易于堆积, 使重金属等污染物质在河口处沉积. 自上世纪 50 年代起, 合肥市有关部门进行了底泥疏浚工作, 因此使南淝河口采样点的重金属含量较低. 派河主要流经工业相对不发达的肥西县, 沿岸主要以农业生产为主, 重金属元素主要为流域内的自然过程和农业污染.

太湖采样点沉积物中重金属的平均值随深度的变化如图 1 所示, 4 种元素 Cu, Zn, Mn, Fe 随深度的变化趋势较为一致, 含量由底部自表层逐渐增加. 根据与贡湖湾具有相似沉积特征的马迹山附近沉积岩芯的平均沉积速率为 1.77 mm·a<sup>-1</sup><sup>[7]</sup>, 梅梁湾的沉积速率约为 2.8 mm·a<sup>-1</sup><sup>[8]</sup>, 可将贡湖湾和

梅梁湾沉积物中重金属元素随深度的变化历程分为 4 段。贡湖湾 14 cm 和梅梁湾 23 cm 处大致相当于上世纪 20 年代左右，在此以前，太湖流域的工业并未开始大量发展，沉积物中的重金属主要来源于流域内的自然风化过程，重金属含量较低；贡湖湾自底部 14 cm 至 8.5 cm 左右、梅梁湾自 23 cm 至 15 cm，重金属元素呈现出缓慢上升的趋势，上世纪 20 年代至 50 年代后期，苏锡地区的民族工业开始逐步发展，给湖湾带来了大量的重金属污染物；贡湖湾 8.5 cm 至 3.5 cm 处、梅梁湾 15 cm 至 4 cm，重金属元素整体呈上升趋势，该深度大约对应于上世纪 50 年代后期至 80 年代中期，这与解放后该地区人类活动的加强有很大的关系；贡湖湾表层 3.5 cm 以上、梅梁湾表层 4 cm 以上，重金属元素含量迅速上升，对应 80 年代后期以后，湖湾周边电镀、有色金属加工业等的迅速发展，导致沉积物中重金属元素含量快速增长。

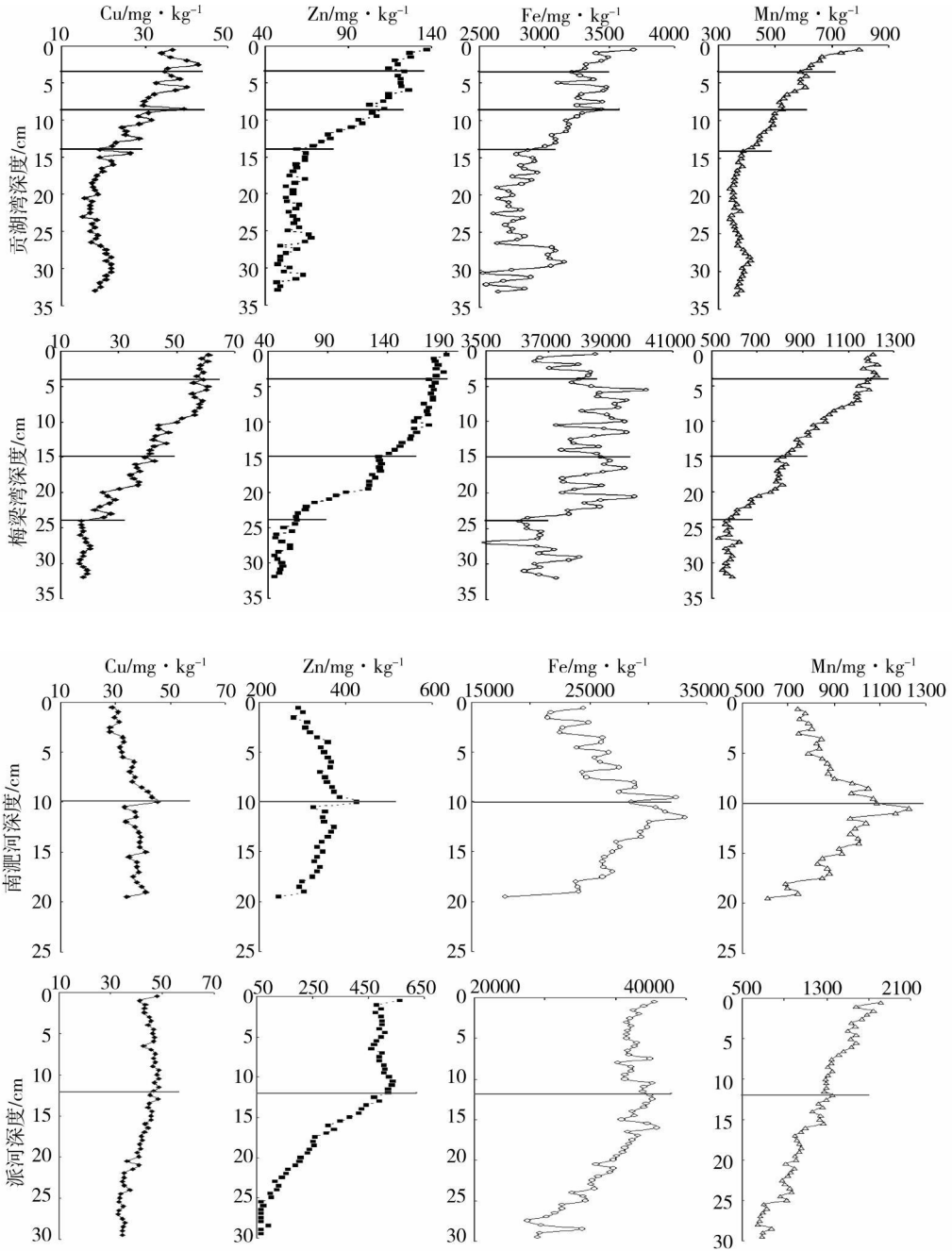


图 1 太湖和巢湖沉积物中重金属含量的平均值

Fig 1 The average concentration of the heavy metals in the sediments of Taihu lake and chaohu lake

巢湖采样点沉积物中重金属元素的含量随深度的变化因采样点的不同而异,南淝河口沉积物中重金属元素的含量自底部先上升后下降,派河沉积物中重金属元素的含量总体呈上升趋势。自上世纪50年代起,南淝河进行过底泥疏浚工作,因此,南淝河沉积物中重金属含量的变化反映的只是总体趋势,其大致可分为两个阶段,自底部至 $10\text{ cm}$ 左右,重金属的含量逐渐上升, $10\text{ cm}$ 以上,重金属的含量逐渐下降,根据西巢湖的沉积速率约为 $2.9\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ <sup>[9]</sup>,可推断 $10\text{ cm}$ 约对应于上世纪70年代左右,70年代以前,合肥市的经济还未大规模发展,沉积物中的重金属的含量相对稳定,呈现出缓慢上升的态势,70年代以后,合肥市的工业也有一定程度的发展,人为污染增多,但随后的底泥疏浚又使沉积物中重金属含量出现下降的趋势。

派河沉积物中不同的重金属元素呈现不同的分布特征, $\text{Cu}$ 的含量基本保持稳定,并无大的波动,自底层至 $12\text{ cm}$ 左右, $\text{Zn}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Mn}$ 缓慢上升,随后, $\text{Zn}$ 基本保持稳定, $\text{Fe}$ 和 $\text{Mn}$ 呈逐渐上升的趋势。 $12\text{ cm}$ 处大约对应于上世纪60年代中后期,随着人为因素的增强,该地区虽无工业活动的发展,但流域内较强的人类活动加剧了水土流失等,造成了一定程度的重金属元素的增加,60年代以后,人类活动的强度保持在一定的范围内, $\text{Fe}$ 和 $\text{Mn}$ 等元素虽有一定的增加,但始终在一个较小的范围内上升,并无较大的波动。

## 2.2 太湖、巢湖沉积物中重金属总量的季节性变化特征

由于太湖、巢湖均为浅水湖泊,沉积物常受到扰动,因此重金属的垂向变化反映的只是总体趋势。一般来说,沉积物中自然来源的重金属主要存在于矿物晶格中<sup>[10]</sup>,不会随外界环境条件的变化而变化,而来自于人为污染的重金属会以非残渣态的形式存在,且极易受外界理化条件和生物因素的影响,因此会发生季节性的波动。

太湖沉积物中重金属的季节性变化发生的深度存在着差异,贡湖湾约为 $14\text{ cm}$ ,梅梁湾大约为 $24\text{ cm}$ 与区域污染发生的深度基本一致,反映出重金属的季节性变化主要受人为污染控制。巢湖采样点中,南淝河沉积物中重金属季节性变化的深度约为 $10\text{ cm}$ ,而派河基本上没有季节性变化,表现出明显的区域性差异。

太湖、巢湖沉积物中重金属元素的含量呈现出以下特征(图2):随着沉积物深度的增加,不同重金属元素表现出不同的季节性变化特征;同一位置不同元素的季节性变化特征也不相同。不同元素的季节性变化幅度总体上为 $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$ ,反映出元素的地球化学性质及环境因素对其季节性变化幅度的影响,如 $\text{Mn}$ 为氧化还原敏感元素<sup>[11]</sup>,表现出最大的季节性变化幅度;不同元素在不同季节呈现较大的差异,如梅梁湾 $\text{Mn}$ 和 $\text{Fe}$ 夏秋 $>$ 冬春、 $\text{Zn}$ 和 $\text{Cu}$ 含量为夏 $>$ 冬,南淝河 $\text{Mn}$ 和 $\text{Fe}$ 冬 $>$ 夏 $>$ 秋、春, $\text{Zn}$ 和 $\text{Cu}$ 冬 $>$ 夏。

太湖梅梁湾沉积物中重金属的季节性变化幅度大于贡湖湾,巢湖南淝河大于派河,其原因在于赋存在沉积物中不同地球化学相中的重金属元素的含量的差异,袁旭音等<sup>[12]</sup>采用五步提取法研究了太湖沉积物中重金属的化学形态,发现处于湖湾区的梅梁湾沉积物中重金属元素的残渣态含量相对较小,如 $\text{Cu}$ 的残渣态的含量约为40%左右,Wang等<sup>[13]</sup>采用BCR提取法分析了太湖表层沉积物中重金属的形态,沉积物中的 $\text{Zn}$ 、 $\text{Cu}$ 等元素存在较大的可迁移性,即其非残渣态的含量占相当大的比例,因此梅梁湾沉积物中的重金属受到的外界影响较大,徐圣友等<sup>[14]</sup>采用BCR提取法分析了巢湖沉积物中重金属的赋存特征,结果表明南淝河沉积物中的重金属元素以非残渣态的形式存在,其中 $\text{Zn}$ 以铁锰氧化物结合态为主, $\text{Mn}$ 以碳酸盐结合态为主, $\text{Cu}$ 非残渣态的比例也达到了45%左右,因此其受季节性变化的影响也较为明显。

太湖、巢湖流域内不同的区域背景导致了沉积物中重金属的季节性变化特征存在差异。太湖流域内工业发展相对较早,流域内经济较发达,受到人类活动影响的程度较大,因此其季节性变化特征也较为明显。巢湖南淝河流经区域虽也存在一定程度的季节性变化,但由于人类后期活动(如清淤等)对其的影响,因此,沉积物中的重金属并不能完全记录其受人类活动的影响程度。此外,流域内不同的经济发展结构也是导致不同重金属元素季节性变化幅度的因素。

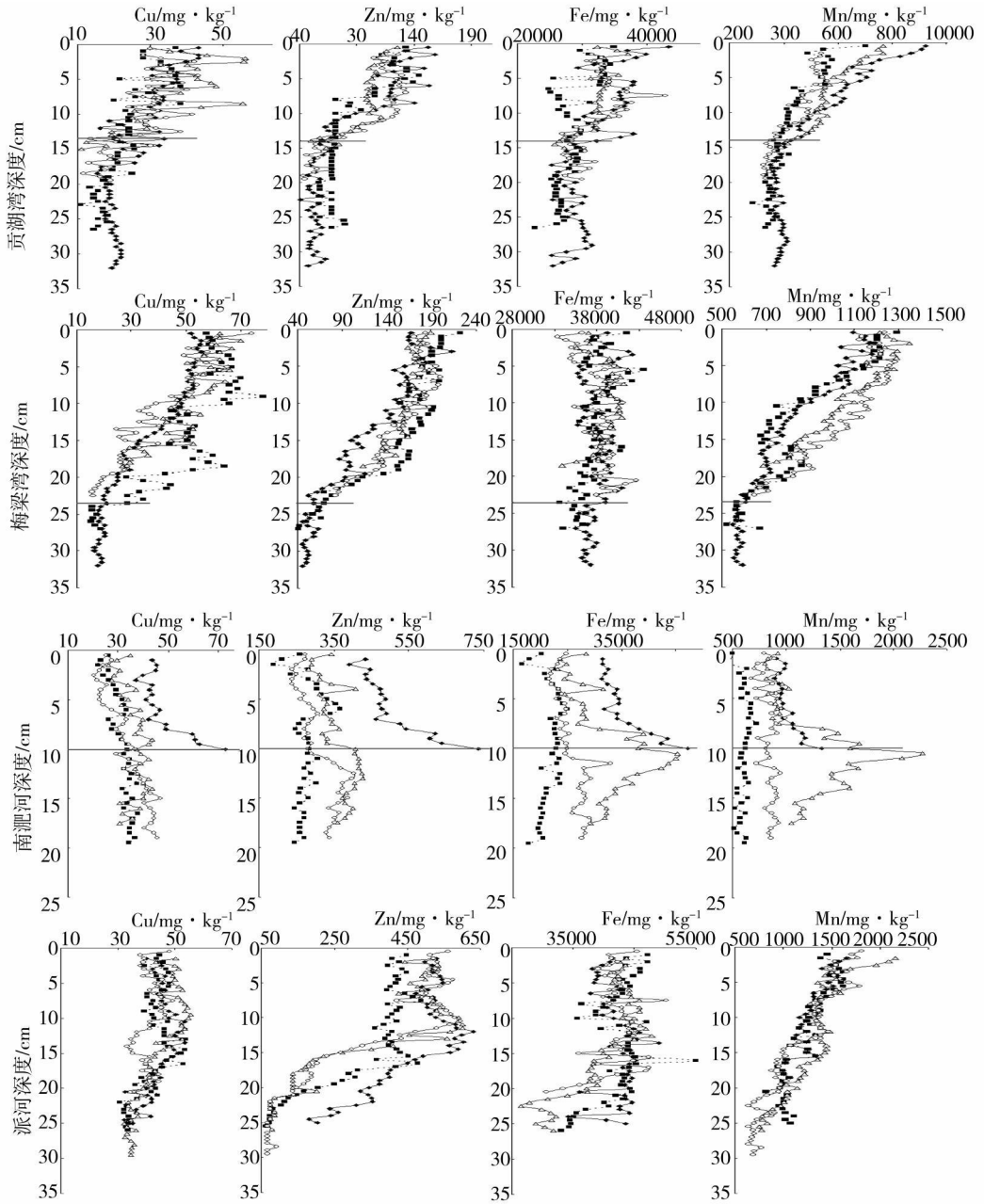


图 2 太湖、巢湖沉积物中重金属的季节性变化特征

— 冬季    ··· 春季    — 夏季    - · - 秋季

Fig 2 The seasonal variation characteristics of heavy metals in the sediments of Taihu lake and Chaohu lake

### 3 结论

太湖、巢湖沉积物中重金属的总量均呈现出  $Fe > Mn > Zn > Cu$  的特征, 反映了区域内的地质背景特性. 太湖沉积物中重金属的季节性变化特征较为明显, 且其季节性变化的发生深度与巢湖也有所不同, 流域内不同的污染状况是导致这种变化的直接原因.

重金属元素的地球化学特性对其季节性变化幅度有很大的影响, 总体上呈现出  $Mn > Fe > Zn > Cu$  此外, 沉积物中重金属元素赋存的残渣态的相对含量差异导致同一元素在不同位置的季节性变化幅度存在差异, 如梅梁湾 > 贡湖湾, 南淝河 > 派河.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 秦伯强, 吴庆龙, 高峻峰等, 太湖地区的水资源与水环境——问题、原因与管理 [ J ]. 自然资源学报, 2002 17 ( 2 ) : 221—228
- [ 2 ] 虞孝感, 姜加虎, 贾绍凤, 长江流域水环境演化规律研究平台及切入点初探 [ J ]. 长江流域资源与环境, 2001 10 ( 4 ) : 352—359
- [ 3 ] 王成贵, 曹勇, 汪海波, 巢湖西半湖水体富营养化污染状况及防治政策 [ J ]. 安徽农业科学, 2005 33 ( 8 ) : 1475—1476
- [ 4 ] 中国科学院南京土壤研究所, 环境中若干元素的自然背景值及其研究方法 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1982 95—132
- [ 5 ] 中国环境监测总站, 安徽土壤元素背景值 [ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- [ 6 ] Lux Q, Werner, I, Young T M. Geochemistry and Biogeochemistry of Metals in Sediments from Northern San Francisco Bay [ J ]. Environment International 2005 31 : 593—602
- [ 7 ] 刘恩峰, 沈吉, 朱广伟等, 太湖表层沉积物重金属元素的来源分析 [ J ]. 湖泊科学, 2004 16 ( 2 ) : 113—119
- [ 8 ] 陆敏, 张卫国, 师育新等, 太湖北部沉积物金属和营养元素的垂向变化及其影响因素 [ J ]. 湖泊科学, 2003 15 ( 3 ) : 213—220
- [ 9 ] 杜磊, 易朝路, 潘少明, 长江下游巢湖湖泊沉积物的粒度特征与沉积环境 [ J ]. 安徽师范大学学报 ( 自然科学版 ), 2004 27 ( 1 ) : 101—104
- [ 10 ] 陈敬安, 万国江, 黄荣贵, 洱海沉积物重金属地球化学相及其污染历史研究 [ J ]. 地质地球化学, 1998 26 ( 2 ) : 1—8
- [ 11 ] 罗莎莎, 万国江, 云贵高原湖泊沉积物水界面铁、锰、硫体系的研究进展 [ J ]. 地质地球化学, 1999 27 ( 3 ) : 47—52
- [ 12 ] 袁旭音, 陈骏, 吕宝源等, 太湖沉积物微量元素特征和变化: 自然与人类活动的影响 [ J ]. 地质论评, 2003 49 ( 5 ) : 552—560
- [ 13 ] Wang H, Wang C X, Wang Z J et al, Fractionation of Heavy Metals in Surface Sediments of Taihu Lake, East China [ J ]. Environmental Geochemistry and Health 2004 26 : 303—309
- [ 14 ] 徐圣友, 叶琳琳, 朱燕等, 巢湖沉积物中重金属的 BCR形态分析 [ J ]. 环境科学与技术, 2008 31 ( 9 ) : 20—24

## THE CHARACTERISTICS AND REGIONAL DIFFERENCES OF HEAVY METAL CONTENTS IN THE SEDIMENTS OF TAIHU LAKE AND CHAOHU LAKE

ZHENG Le Ping<sup>2</sup> LIU Yumei<sup>1</sup> QIAN Xianwen<sup>1</sup> SHI Xiaoyan<sup>1</sup>

( 1 The Department of Environment Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China

2 State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

### ABSTRACT

The heavily polluted areas were chose as the sampling sites of Taihu lake and Chaohu lake. The sediments were sampled in different seasons with the samples separated at 0.5 cm intervals. Heavy metal contents ( Fe, Mn, Cu, Zn ) were analyzed and the contents and seasonal variation characteristics of heavy metals were discussed. Comparisons were made between two lakes and the same lake in different sampling sites. The results show that the order of the heavy metal concentration is Fe > Mn > Zn > Cu and the order of variation range is Mn > Fe > Zn > Cu. In large extent, the seasonal variation range is affected by the geochemical characteristics of the heavy metals. The different characteristics of heavy metal elements can be attributed to the regional differences and different pollution extents.

Keywords: sediment, heavy metals, content characteristics, Taihu lake, Chaohu lake