

1860s 以来巢湖沉积物金属元素富集特点 及其对人类活动的指示意义

贾铁飞¹, 张卫国², 俞立中^{2,3}

(1 上海师范大学地理系, 上海 200234; 2 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062;

3 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200062)

摘要: 根据对巢湖 CH1 钻孔沉积物进行²¹⁰Pb 比活度测试和粒度、磁学、金属元素分析, 在推算沉积速率并建立沉积物年代学标尺的基础上, 分析了沉积物金属元素富集与粒度组成和磁学特性间的关系。在对沉积物金属元素含量进行粒度校正后, 发现大约自沉积速率推算年代 1860s A. D 起, 沉积物 Cu、Zn 元素开始出现非自然水平富集, 是化石燃料高温燃烧、金属冶炼与机械制造等人为活动影响所致。这与始自 1861 年, 以生产枪炮、弹药、火轮船为主的中国近代第一个兵工厂——安庆内军械所, 在时间上与可能的金属污染性质上是完全一致的, 说明巢湖沉积物金属元素的非自然水平富集, 是对这一时期区域工业发轫与人类工业活动的沉积响应。

关键词: 巢湖; 金属元素分析; 人类活动影响; 环境变化

文章编号: 1000-0585(2009)05-1217-10

1 引言

连续性好的湖泊沉积被认为是指示陆地区域环境变化的最重要和最有效的生物、物理、化学信息载体之一, 可以揭示湖泊发育变化的自然过程以及受人类活动影响的过程^[1-6]。在近年来的研究中, 随着高分辨率采样与测试技术的进步, 历史时期以来人类活动的湖泊沉积响应逐渐成为研究热点^[3-8]。上述的研究综合运用了湖泊沉积物的粒度、磁学、孢粉和地球化学元素分析等手段, 通过分析环境演变代用指标的异常变化, 推理、演绎出人类活动对环境变化的“可能性”驱动以及沉积过程对此的响应。近年研究中较完整系统的工作多基于西部高原湖泊进行, 如对云南洱海开展的持续性系列研究^[3,4], 而对于人类活动历史更长、强度更大、方式更多样的长江中下游地区众多湖泊来说, 研究工作尚需要进一步深入。而且, 对于由湖泊沉积物指示、近代史志记录的确凿人类活动重大事件, 目前尚未在我国的湖泊沉积研究中产生明确的揭示, 更没有形成类似由湖泊沉积记录的欧洲 1820 年以来化石燃料大量使用所导致的清晰沉积响应^[9]的研究结果。因此, 基于湖泊高分辨率沉积物柱样, 开展针对人类历史晚近时期以来人类活动事件的沉积响应, 在我国 PAGES 研究中具有重要意义。本文即以地处长江下游的沿江湖泊——巢湖为研究对象, 通过湖泊沉积柱样的年代学、粒度、磁学、金属元素综合分析, 揭示近代以来巢湖沉

收稿日期: 2009-03-17; 修订日期: 2009-05-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40771201); 上海市教育委员会重点学科建设项目“地理学与城市环境”(J50402)

作者简介: 贾铁飞(1966-), 男, 河北邢台人, 博士, 教授。从事环境演变等方面的研究。E-mail: tfjia@shnu.edu.cn

积记录的非自然水平金属元素积累事件，以揭示对我国近代工业发轫活动的沉积响应。

2 沉积物采样与实验分析

2.1 研究区概况

巢湖位于安徽省中部，主要由发源于大别山区的丰乐河、杭埠河及其周边一些其他河流汇流形成，通过裕溪河注入长江（图 1），是我国五大淡水湖之一，也是长江下游沿岸的四大湖之一。已有研究表明，巢湖具有完整的晚全新统湖泊沉积记录，全新世和历史时期以来经历频繁的湖泊胀缩变化^[10,11]，并受流域输沙影响而导致淤积严重，湖面面积不断缩小^[12]。完整的晚全新统沉积发育和丰富的历史文献积累，使巢湖为我国东部地区历史时期以来人类活动与环境变化相互关系研究提供了理想的对象。

2.2 钻孔与沉积物描述

2006 年 3 月 25 日，利用自制的活塞式重力冲击式取样器，在巢湖中心水深最深的范围^[12]内选择了采样点（图 1），钻取 CH1 孔沉积柱样。

CH1 孔柱样长 141cm（图 1），由于钻孔现场提取的柱样在顶、底部有所残缺，野外按以下方式对样品分割：深度 0~10cm 合并为 1 个样品；10~20cm，按照每 2cm 间隔分割成 5 个样品；20~123cm，按照每 1cm 间隔分割成 103 个样品，123~125cm 为 1 个样品；125~135cm，按照每 5cm 间隔分割成 2 个样品，135~141cm 合并为 1 个样品，共计 113 个样品，用聚乙烯袋包装、密封。CH1 孔柱样整体呈青灰色和灰黑色粘土、粘土质粉砂。上述样品在实验室内经低温（40℃）烘干后，分别用木制用具和玛瑙研钵分散研碎，分装备用。

2.3 年代分析

在 CH1 孔顶部选择共计 18 个样本，称取过 200 目细筛样品 3.0 g 装入直径 1.0 cm 柱状管中，用石蜡密封放置 3 周，采用 γ 能谱法^[13]进行 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 比活度测试。实验测试采用华东师范大学河口海岸学国家重点实验室 GWL-120210-S 型高纯锗井型光子检测仪（美国 EG & GORTEC 公司生产，1.33 Me 能量处分辨率为 1.91 keV）完成。测试表明，CH1 孔具有良好的 ^{210}Pb 记录，但 ^{137}Cs 记录不很理想。根据测试数据拟合出 ^{210}Pb 比活度随钻孔深度变化关系（图 2），采用恒定初始（constant initial concentration）模式^[14]，按照其指

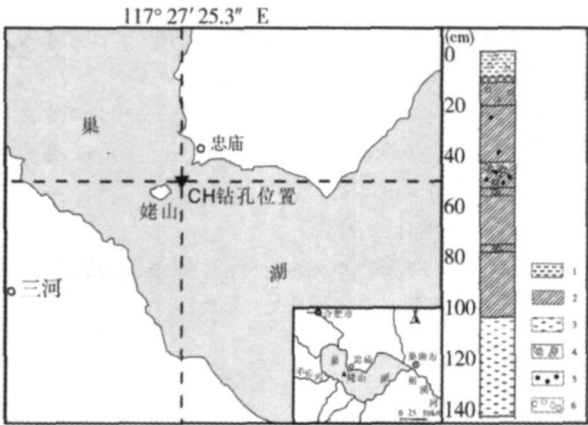


图 1 巢湖及 CH1 钻孔剖面与位置图

Fig 1 Location of Chaohu Lake and the CH1 coring site and sedimentary profile

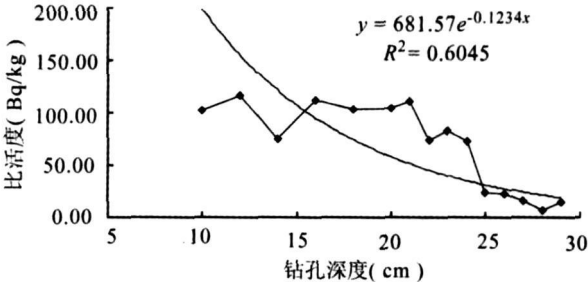


图 2 CH1 钻孔沉积物 ^{210}Pb 比活度与深度关系图

Fig 2 Depth distribution of ^{210}Pb specific activity in core CH1

数衰变特性, 可以计算出 CH1 孔平均沉积速率为 0.17cm/a (表 1), 这与姚书春等在东部巢湖获得的钻孔沉积物²¹⁰Pb 比活度推算平均沉积速率 (0.24cm/a)^[15] 相比, 数值低一些, 但考虑到 CH1 孔位置是巢湖的最深处^[12], 且远离巢湖主要入湖河流的入湖口, 沉积旺盛程度相对较低, 平均沉积速率较其他区域低是合理的。据此推算 CH1 孔底部 (深度 141 cm) 的沉积物年代约为距现在 (2006 年) 829a, 即 1177 A. D.。

表 1 CH1 孔沉积物 ²¹⁰Pb 和 ¹³⁷Cs 比活度测试数值简表

Tab 1 Specific activity of ²¹⁰ Pb & ¹³⁷ Cs in core CH1 sediment									
样品号	深度 (cm)	质量 (g)	总 ²¹⁰ Pb 46.5Kev (Bq)	总 ²¹⁰ Pb 比活度 (Bq/kg)	补偿 ²¹⁰ Pb 352Kev (Bq)	补偿 ²¹⁰ Pb 比活度 (Bq/kg)	过剩 ²¹⁰ Pb (Bq/kg)	¹³⁷ Cs 662Kev (Bq)	¹³⁷ Cs 比活度 (Bq/kg)
1	10	2.760	0.39	141.36	0.11	39.87	101.49	-	0
2	12	2.750	0.44	159.94	0.12	43.62	116.32	0.02	7.270084
3	14	2.800	0.33	117.94	0.12	42.89	75.05	0.01	3.573981
4	16	2.600	0.41	157.81	0.12	46.19	111.62	0.01	3.849115
5	18	2.624	0.39	148.63	0.12	45.73	102.90	0.01	3.810976
6	20	2.694	0.39	144.77	0.11	40.83	103.93	0.02	7.423905
7	21	2.608	0.41	157.21	0.12	46.01	111.20	0.01	3.834356
8	22	2.880	0.34	118.14	0.13	45.17	72.97	0.02	6.949270
9	23	2.675	0.35	130.84	0.13	48.60	82.24	0.02	7.476636
10	24	2.643	0.31	117.29	0.12	45.40	71.89	0.01	3.783579
11	25	2.990	0.19	63.59	0.12	40.16	23.43	0.01	3.346720
12	26	2.647	0.17	64.22	0.11	41.56	22.67	-	0
13	27	2.608	0.16	61.35	0.12	46.01	15.34	-	0
14	28	3.020	0.14	46.40	0.12	39.77	6.63	-	0
15	29	2.650	0.15	56.60	0.11	41.51	15.09	-	0
16	30	2.777	0.08	28.81	0.09	32.41	-3.60	-	0
17	31	2.778	0.14	50.40	0.12	43.20	7.20	-	0
18	32	2.568	0.09	35.05	0.11	42.83	-7.79	-	0
平均沉积速率			0.17cm/a						-

2.4 粒度分析

采用美国 Coulter 公司生产的激光粒度分析仪(Coulter LS-100Q)对 CH1孔的 113 个沉积样品进行粒度测量, 粒径分级采用 Udden-Wentworth 方案: 砂(> 63μm)、粗粉砂(32~ 63μm)、中粉砂(16~ 32μm)、细粉砂(2~ 16μm)、粘土(< 2μm)。测试数据表明, CH1 孔沉积物粘土含量为 10.5~ 27%, 平均为 16.5%; 细粉砂为 49.1~ 63.8%, 平均为 59.9%; 中粉砂为 11.3~ 28.5%, 平均为 20.1%; 粗粉砂为 1.4~ 3.3%, 平均为 2.4%; 砂含量变化范围为 0~ 13.6%, 平均为 1.1%。由此可见 CH1 孔沉积物以粉砂为主, 其中又以细粉砂含量最多, 约占总含量的一半, 中粉砂次之, 其次为粘土, 砂组分含量最少。这样的沉积物粒度组分结构与王心源等在西巢湖^[11]、姚书春等在东巢湖^[15] 获得的钻孔沉积物粒度组分特点是一致的。

2.5 磁学分析

CH1 孔 113 个沉积物样品的磁化率测量采用英国生产 Bartington MS2 磁化率仪完成,

剩磁测量采用英国 Molspin 公司生产的交变退磁仪、脉冲磁化仪和 Minispin 旋转磁力仪完成。实验在华东师范大学河口海岸学国家重点实验室完成。根据测量结果, 计算磁化率 (χ)、饱和等温剩磁 (SIRM)、硬剩磁 (HIRM)、非滞后剩磁磁化率 (χ_{ARM}) 及比值参数 χ_{ARM}/χ 等^[16, 17]。测量数据表明, CH1 钻孔沉积物的磁性参数垂向变化明显, χ 值在 $8.80 \sim 42.80 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间变化, 平均值为 $17.37 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; SIRM 值为 $1128.44 \sim 4597.85 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均为 $2036.98 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$; HIRM 值在 $0 \sim 330.24 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 均值为 $126.21 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$; χ_{ARM} 值在 $153.58 \sim 397.48 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $234.57 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这与龙感湖^[5]、太湖^[18]和巢湖南部 A CN 钻孔^[10] 沉积物的磁学特征基本一致。

2 6 金属元素分析

2 6 1 样品测试 对 CH1 钻孔 113 个沉积物样品的金属元素分析, 采用硝酸—氢氟酸—高氯酸全硝化法^[18, 19] 处理, 在 ICP-AES 仪器上测试, 测试项目包括: Al、Ba、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Ni、Sr、Ti、V、Zn 等元素。实验还进行了标准样 GSD9 和空白样的平行测试, 标准样 GSD9 测定值与推荐值间的相对误差 RE 须 $< 10\%$ 。实验在华东师范大学河口海岸学国家重点实验室和物质结构实验室完成, 实验数据统计见表 2。

表 2 CH1 孔沉积物金属元素含量表 (单位: mg/kg)

Tab 2 Contents of metal elements in core CH1 (unit: mg/kg)														
	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Sr	Ti	V
最大值	97780.1	800.4	7801.2	114.8	36.2	43615.1	22555.8	8053.6	1328.8	15393.6	95.8	184.5	6206.5	111.3
最小值	50428.6	442.4	4464.0	31.1	7.3	18741.0	14395.7	3566.0	523.0	8636.0	17.3	113.5	5285.5	59.2
平均值	61976.3	552.3	5150.0	58.2	16.3	25807.9	17144.6	5136.8	692.5	12221.7	25.0	129.3	5682.1	76.7

2 6 2 金属元素与粒度的关系 一般情况下, 沉积物中金属元素含量随沉积物变细而升高, 因此在分析金属元素变化时, 须考虑沉积物粒度组成的影响^[20]。将 CH1 孔沉积物各项金属元素测试值与各粒级组分含量进行相关性分析 (表 3), 可知: 各元素中有 9 项含量与沉积物粘土组分呈显著正相关关系 ($R \geq 0.7$), 2 项与粘土组分呈较显著正相

表 3 CH1 孔沉积物化学元素与粒度组成、Al、Fe 相关系数

Tab 3 Correlation coefficient between elements and granularities in core CH1

	砂 ($> 63\mu\text{m}$)	粗粉砂 ($32 \sim 63\mu\text{m}$)	中粉砂 ($16 \sim 32\mu\text{m}$)	细粉砂 ($2 \sim 16\mu\text{m}$)	粘土 ($< 2\mu\text{m}$)	Al	Fe
Al	0.197	-0.226	-0.766	0.155	0.883	-	0.970
Ba	0.286	-0.141	-0.459	-0.286	0.572	0.792	0.725
Ca	0.105	0.207	0.158	-0.383	0.032	0.270	0.190
Cr	0.200	-0.164	-0.680	-0.265	0.863	0.905	0.927
Cu	0.235	-0.322	-0.621	0.307	0.799	0.898	0.900
Fe	0.200	-0.164	-0.777	-0.207	0.925	0.970	-
K	0.230	0.179	-0.755	-0.219	0.867	0.976	0.970
Mg	0.205	-0.283	-0.825	0.045	0.865	0.961	0.964
Mn	0.239	0.032	-0.597	0.421	0.844	0.911	0.934
Na	-0.167	0.145	0.746	0.114	-0.838	-0.735	-0.819
Ni	0.089	0.071	0.451	0.141	0.568	0.612	0.639
Sr	0.130	-0.089	-0.237	-0.221	0.367	0.585	0.491
Ti	0.000	0.105	0.045	0.095	0.045	0.224	0.158
V	0.164	-0.148	-0.752	0.155	0.878	0.907	0.963
Zn	0.176	0.000	-0.632	0.322	0.849	0.814	0.854

关关系 ($R \geq 0.5$), 1 项与粘土组分呈显著负相关关系, 说明多数金属元素富集于细颗粒沉积物中, 其含量受沉积物粒度组成的影响。

2.6.3 金属元素与磁学参数的关系 据对 CH1 孔沉积物 113 个样品金属元素与磁学参数进行相关性分析, 发现 Fe、Al、Cu、Zn 元素与磁化率 (χ)、饱和等温剩磁 (SIRM) 呈现显著的正相关关系 (图 3)。已有研究表明, 由于铁与重金属元素在环境中的共生关系, 人类活动 (如化石燃料高温燃烧、金属冶炼等工业生产行为) 释放的磁性颗粒往往与重金属相伴生, 二者间的密切联系使得磁性参数可以指示重金属含量的变化^[16]。这在苏格兰西南部 Loch Dee 湖沉积物磁性变化与 1820 年以来欧洲燃煤量变化曲线具有良好对应关系, 沉积物磁化率与 Cu、Zn、Pb 等元素高度相关^[9]得到印证, 也与希腊 Elefsis 海湾悬浮颗粒物 SIRM 值与 Fe、Zn 呈高度线形相关的结论^[21]是一致的。

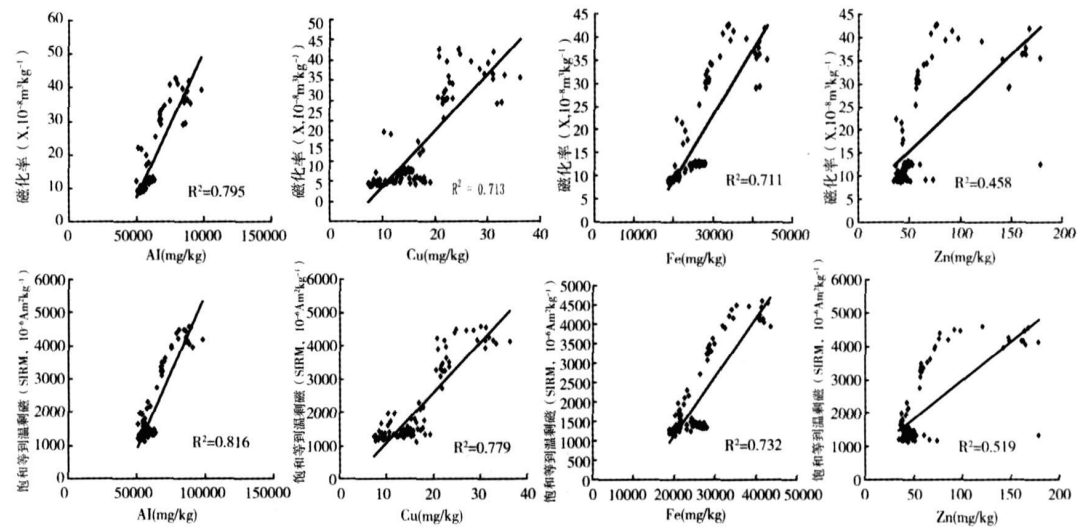


图3 CH1孔沉积物化学元素与磁化率间相关关系

Fig. 3 Correlation between sedimentary contents and magnetic susceptibility in core CH1

3 沉积物金属元素的粒度校正及其意义

3.1 关于金属元素粒度校正

由于不同沉积物之间存在着粒度组成上的差异, 因此在对沉积物金属元素含量进行分析时, 需考虑粒度组成差异的影响, 即进行粒度校正^[20]。一般的, 粒度校正采用性质保守、受人类活动影响小的元素作参考金属元素, 常见有 Al、Li、Rb、Fe 等^[20]。本文分别采用 Al、Fe 元素作为参考金属元素。粒度校正按照下列算式计算富集系数 EF 值:

EF = (Me / Al、Fe)样品 / (Me / Al、Fe)参考背景值

式中, Me 代表某一元素; 分子中 Me 和 Al 或 Fe 的含量为样品测量值; 分母中 Me 和 Al 或 Fe 则采用元素背景值。经过粒度校正后的元素富集系数 (EF 值), 表示该元素富集程度, EF 值越大, 说明金属元素的富集程度越高。在以往的研究中, 以 EF < 1.5 反映元素富集尚在天然水平之内, 而当 EF > 1.5 时说明金属元素富集已经超出天然水平, 一般认为这时的样品受到人为污染^[22]。

3.2 CH1孔沉积物的金属元素粒度校正

3.2.1 金属元素背景值的确定 一般情况下, 金属元素背景值应选择研究区所在区域的土壤背景值。我国地域辽阔, 南北、东西跨越多个温度带、湿度带, 区域地质背景差异大, 土壤母质风化与成壤的理化条件差异也很大, 且土壤背景值数据多属区域性数据^[23],

不一定符合研究区域的具体情况。因此本文以 CH1 孔剖面底部 10 个连续样品金属元素算术平均值, 作为各元素的参考背景值。CH1 孔底部 10 个样品的深度为 118~ 141cm, 依据沉积速率推算年龄为 1312~ 1177 A. D. 。在这一时间段中, 人类活动强度较低, 对土壤环境形成的影响较小, 湖泊沉积物基本上应反映流域内原始土壤的基本状况, 故可以视作该区域的背景值。据此确定的各金属元素背景值见表 4。对于多数元素来讲, 该参考背景值与全国土壤背景值相近, 但也有一些具有一定的差距。

表 4 CH1 孔沉积物部分金属元素参考背景值

Tab 4 Background and reference values of metal element in core CH1										
样号	深度 (cm)	Al (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ti (mg/kg)	V (mg/kg)	Zn (mg/kg)	
104		62580	30	15	660	27400	00	5676	62	654.75
105		60964	16	14	438	27008	03	5526	73	638.10
106		61690	30	15	540	27080	00	5642	62	639.45
107	118	62091	93	15	120	27364	54	5693	85	650.75
108	~	59618	78	14	297	25983	94	5406	25	630.17
109	141	59849	70	15	341	26104	42	5406	25	633.33
110		58530	30	15	040	24840	00	5080	62	639.25
111		51616	77	10	341	20883	53	3972	51	632.58
112		50428	59	8	904	20318	73	3908	98	613.40
113		53687	92	11	617	22285	43	4308	00	643.76
本文参考背景值		58105	87	13	630	24926	86	5062	24	637.55
中国土壤背景值*		64100	00	20	000	27300	00	6300	00	482.00

* 据文献 [22]

3.2.2 富集系数 按照前述富集系数计算公式, 以 Al 或 Fe 为参考金属元素, 计算得出 CH1 孔沉积物各金属元素富集系数 EF 值, 结果见图 4 (以 Al 为参考金属元素)。这些数据表明, Zn、Cu 元素的 EF 值最大, 若以 EF= 1.5 为标尺遴选出属于非天然水平富集的金属元素, 也集中为 Zn、Cu 元素, 其余元素均处于天然水平富集范围中。

Zn 元素, 以 Al、Fe 元素为参考的 EF 值分别在 0.835~ 2.663 和 0.952~ 2.382, EF ≥1.5 的剖面深度为 25~ 0 cm, 沉积速率推算年代为 1859A. D. 以来。

Cu 元素, 以 Al、Fe 元素为参考的 EF 值分别在 0.595~ 1.810 和 0.696~ 1.723, EF ≥1.5 的剖面深度为 24~ 0 cm (以 Al 为参考元素), 沉积速率推算年代为 1865A. D. 以来, 与 Zn 元素基本一致, 说明二者自大约 1860s 以来出现非自然水平富集。

3.3 Cu、Zn 元素非自然水平富集的环境意义

经过金属元素粒度校正后, 具有 EF> 1.5 的元素中, Cu、Zn 元素的 EF 值最大 (图 4), 且与沉积物粘土组分、磁学参数 (X, SIRM) 具有良好的相关关系, 说明自沉积速率推算年代 1860s 开始, Cu、Zn 元素的非自然水平增长, 应是受到人为作用影响后的污染事件。若将 Cu、Zn 元素 EF 值之和与 SIRM 值作相关分析, 发现二者之间也存在着显著的相关关系, 相关系数达到 0.79 (图 5), 说明巢湖地区金属污染源与磁性矿物具有共生关系。根据前面已述及的金属元素与粒度、磁学参数之间的相关关系, 大约 1860s 之后的 Cu、Zn 元素污染, 应来自化石燃料的高温燃烧、冶金和机械制造等, 应是对人类工业活动影响的响应。

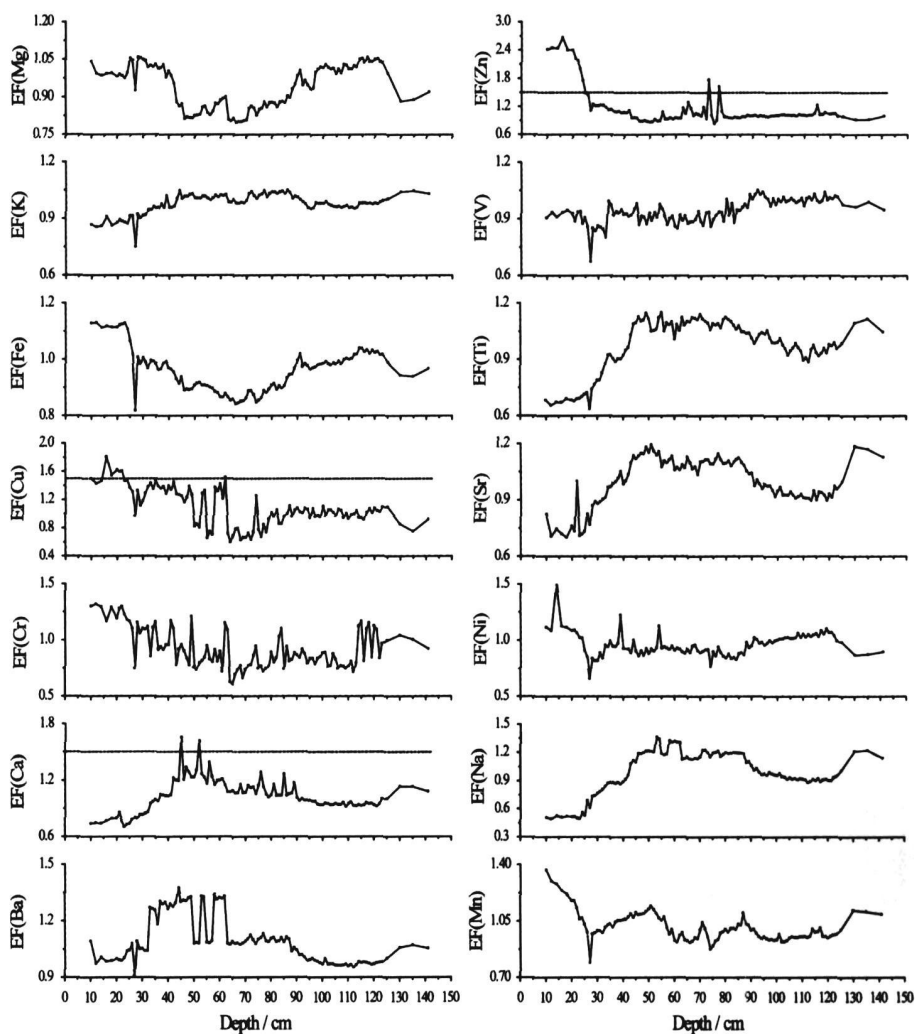


图 4 CH1 孔沉积物金属元素富集系数变化曲线 (以 Al 元素为参考进行修正)
Fig. 4 EF values for metal elements in core CH1 (modified by the reference value of Al)

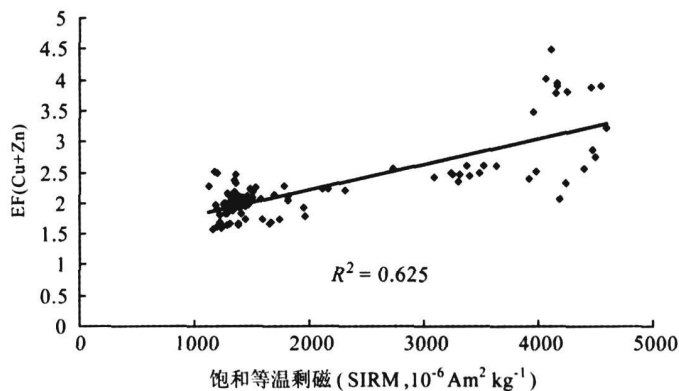


图 5 CH1 孔沉积物饱和等温剩磁与 Cu、Zn 的 EF 值之间相关关系
Fig. 5 Correlation between sedimentary SIRM and EF values of Cu & Zn in core CH1

4 结论与讨论

4.1 沉积物金属元素记录对人类活动的指示

从史料记载看,巢湖所处的安徽省近代工业发端就始自 1860s 初的安庆内军械所^[24~26],甚至安庆内军械所还被认为中国近代兵器工业的开端^[26]。关于安庆内军械所的创办时间,学术界虽有争论,但仅是 1861 年和 1862 年之争^[27]。一般认为,安庆内军械所是清廷曾国藩在 1861 年秋冬之交创办的^[24]。

史学界有观点认为,安庆内军械所是一个完全依靠手工方式进行生产的“作坊”,并非近代意义上的机器工业生产^[25]。但是从产品看,已是之前几千年传统农业文明下简单手工作坊所远未能及的。据考证,安庆内军械所的主要产品是洋枪炮、劈山炮、炮弹、子弹、蒸汽机、火轮船等^[24,28]。尤其是制造蒸汽机,还须有机械制造的材料和工艺。安庆内军械所于 1862 年 8 月制成了中国第一台实用蒸汽机,结构与当时居世界先进水平的“往复式蒸汽机”相类似^[24]。据此可以认为,安庆内军械所的开办说明在 1860s 或之前安徽在煤炭开采、金属冶炼、机械制造方面已经具备一定的社会性基础,近代工业的雏形已经形成。这样,CH1 孔沉积物 Cu、Zn 金属元素异常富集所指示的自 1860s 开始的 Cu、Zn 污染,应当是当时工业活动的湖泊沉积记录响应。

安庆位于巢湖西南方向大约 200km 左右的长江上游方向,内军械所产生的 Cu、Zn 元素排放是如何进入巢湖湖泊沉积中的?一种可能是金属冶炼、兵器制造过程中含有大量 Cu、Zn 元素的废气排出,随气流扩散、沉降至周边地区;另一种更大的可能性,则是以安庆内军械所为代表,指示在 1860s 或之前,巢湖及更大范围内已开始具备了煤炭开采、冶金制造等的技术与产业基础,湖泊沉积响应的不仅是安庆内军械所工业活动影响,也是对那个时代近代工业苗头迅速萌生、发展的响应。

4.2 几点讨论

利用沉积物表层金属元素富集特征,并结合沉积物粒度、磁学特点,判断遭受金属污染的类型、来源及其空间分布,在以往的研究中已有成功案例^[20~22]。但将金属元素富集系数利用于湖泊钻孔剖面的上下对比,揭示在时间轴上金属元素富集水平的差异和变化,并捕捉与人类活动事件的耦合与响应,目前研究中尚不多见。本文研究结果表明,金属元素含量若与粒度结构具有密切的相关关系,即可以通过粒度校正进一步清晰刻画金属元素含量的变化,并厘定金属元素富集是否在自然水平范围内,特别是历史时期是否受到人类活动的影响。金属元素与磁学参数间的关系,则可以厘清超过自然水平的富集(人为造成污染)是否产生于人类工业活动的影响。

巢湖以往研究中,钻孔剖面资料积累尚不丰富,只有东巢湖^[11]、西巢湖^[15]以及南部巢湖^[10]具有一些成果,但对 1 个钻孔进行年代学、粒度、磁学、金属元素等方面的系统分析,并进行金属元素粒度校正,揭示历史时期以来人类活动的沉积物金属元素响应,在上述钻孔剖面研究中还未见到。因此,除年代学、粒度、磁学等分析外,关于巢湖以及长江中下游湖泊多钻孔剖面金属元素异常富集及其对人类活动的指示对比,还待今后深入研究。

致谢:周菊珍高级实验师、陆敏副教授对实验工作给予指导帮助,邢云、梅雪英、管章志、郑辛酉、余铁桥、梅劲援等在野外考察和实验中给予协助。谨此致谢!

参考文献:

- [1] Anderson D E, Goudie A S, Parker A G. Global Environments Through the Quaternary. Oxford: University, 2007.
- [2] Wagner B, Melles M, Hahne J, *et al.* Holocene climate history of Geographical Society Ø, East Greenland evidence from lake sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 160: 45~ 68.
- [3] Dearing J A, Jones R T, Shen J, *et al.* Using multiple archives to understand past and present climate-human environment interactions: The lake Erhai catchment, Yunnan Province, China. *Journal of Paleolimnology*, 2007, 31, LO1512, doi: 10.1007/s10933-007-9182-2.
- [4] 沈吉, 杨丽源, 羊向东, 等. 全新世以来云南洱河流域气候变化与人类活动的湖泊沉积记录. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2004, 34(2): 130~ 138.
- [5] 羊向东, 王苏民, 沈吉, 等. 近0.3Ka来龙感湖流域人类活动的湖泊环境响应. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2001, 31(12): 1031~ 1038.
- [6] 张振克, 吴瑞金, 王苏民, 等. 岱海湖泊沉积物频率磁化率对历史时期环境变化的反映. *地理研究*, 1998, 17(3), 297~ 302.
- [7] Eddy J A. Past global Changes report: proposed implementation plans for research activities, Global Change Report, 1992, 19, Sweden, Stockholm, 1~ 112.
- [8] 史威, 马春梅, 朱诚, 等. 太湖地区多剖面地层学分析与良渚期环境事件. *地理研究*, 2008, 27(5): 1129~ 1138.
- [9] Williams T M. A sedimentary record of the deposition of heavy metal and magnetic oxides in the Loch Dee basin, Galloway, Scotland, since c. AD 1500. *The Holocene*, 1991, 1(2): 142~ 150.
- [10] 贾铁飞, 戴雪荣, 张卫国, 等. 全新世巢湖沉积记录及其环境变化意义. *地理科学*, 2006, 26(6): 706~ 711.
- [11] 王心源, 张广胜, 张恩楼, 等. 巢湖湖泊沉积记录的早- 中全新世环境演变研究. *科学通报*, 2008, 53(增刊I): 132 ~ 138.
- [12] 杨则东, 晁玉珠, 褚进海, 等. 巢湖淤积及其对水患形成的环境影响遥感分析研究. *地质灾害与环境保护*, 2005, 16(1): 53~ 57.
- [13] Appleby P G, Nolan P J, Gifford D W, *et al.* ^{210}Pb dating by low background gamma counting. *Hydrobiologia*, 1986, 143: 21~ 27.
- [14] Appleby P G, Oldfield F. Application of lead-210 to sedimentation studies. In: Ivanovich M, Harmon R S, eds. *Uranium-series Disequilibrium: Application to Earth, Marine, and Environmental Sciences*. Oxford: Clarendon Press, 1992. 731~ 778.
- [15] 姚书春, 李世杰. 巢湖富营养化过程的沉积记录. *沉积学报*, 2004, 22(2): 343~ 347.
- [16] Thompson R, Oldfield F. *Environmental Magnetism*. London: Allen and Unwin, 1986.
- [17] Oldfield F, Yu L. The influence of particle size variation on the magnetic properties of sediments from the north-eastern Irish Sea. *Sedimentology*, 1994, 41: 1093~ 1108.
- [18] 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. *湖泊科学*, 2003, 15(3): 213~ 220.
- [19] Loring D H, Rantala T T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Science Reviews*, 1992, 32: 235~ 283.
- [20] Williams T P, Bubb J M, Lester J N. Metal accumulation within salt marsh environments: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 1994, 28(5): 277~ 290.
- [21] Scoullios M, Oldfield F, Thompson R. Magnetic monitoring of marine particulate pollution in the Elefsis Gulf, Greece. *Marine Pollution Bulletin*, 1979, 10: 287~ 291.
- [22] Zhang J, Liu C L. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China- weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54: 1051~ 1070.
- [23] 魏复盛, 陈静生, 吴燕玉, 等. 中国土壤环境背景值研究. *环境科学*, 1991, 12(4): 12~ 19.
- [24] 夏东元. 晚清洋务运动研究. 成都: 四川人民出版社, 1985.
- [25] 王鹤鸣. 安徽近代工业的发展过程及其特点. *江淮论坛*, 1987, (6): 28~ 33.
- [26] 秦政奇. 安庆内军械所——中国近代兵器工业的开端. *安徽史学*, 1992, (4): 23~ 26.

- [27] 郑国良. 安庆内军械所究竟设立于哪一年——孙编《中国近代工业史资料》“咸丰十一年说”质疑. 安徽史学, 1998, (3): 59~ 60.
- [28] 袁首乐. 安庆内军械所的产品和地点再析. 历史教学问题, 1995, (1): 13~ 16.

Metal element enrichment characteristics of sediments in Chaohu Lake since the 1860s and its implication to human activity

JIA Tie-fei¹, ZHANG Wei-guo², YU Li-zhong^{2,3}

(1 Department of Geography, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

2 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University,

Shanghai 200062, China; 3 School of Resources and Environmental Science,

East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Sample core CH1 with a length of 141 cm was drilled in the deepest part of Chaohu Lake by the Gravity Impact Core Sampler, and divided into 113 sediment samples in which a set interval is applied to pick about every 1 cm or 2 cm. We carried out the test and analysis of the core CH1 on the specific activity of ^{210}Pb and ^{137}Cs , magnetic parameters, granularities and 14 indicators of metal elements such as Cu, Zn, Al, Fe and so on. Based on the above study, the deposition rate is extrapolated with the specific activity of ^{210}Pb and the chronological surveying rod of the deposit is built, then the relation between the enrichment of metal elements and the characters of granularity & magnetism is analyzed. It is found that there are remarkable correlations between the contents of metal elements such as Cu, Zn, Al, Fe and so on, and the value of clay contents, magnetic susceptibility, SIRM. According to grain-size effect correction of metal element contents with the mean value of metal element contents from the 10 samples at the bottom of core CH1 instead of soil background values of metal element around Chaohu Lake area, it is found that the contents of Cu and Zn in deposit have increased with unnatural levels since the 1860s AD. Based on the extrapolative age of deposition rate, which was closely related with the industrial activity such as the high temperature combustion of fossil fuel, metal smelting and machine facture and so on, it is thought that the result is caused by human activity impacts. This situation, not only temporarily but also in metal pollution characters, coincides with the establishment of Anqing Inner Armory in 1861, the first Chinese arsenal in modern time, which mainly produced firearm, ammunition and steamship. It is indicated that the enrichment of metal elements such as Cu, Zn and so on, with unnatural levels is the sedimentary response to the origin of Chaohu Lake regional industry in modern time and the human industrial activity.

Key words: Chaohu Lake; analysis of metal elements; human activity impacts; environmental change