

DOI: 10. 3724/SP. J. 1140. 2010. 01047

湖光岩玛珉湖沉积记录的近 250 年 重金属元素污染历史

鲁海燕^{1,2}, 曹军骥¹, 韩永明¹, 吴枫¹

(1 中国科学院 地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075;

2 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:以湖光岩玛珉湖为研究对象, 在放射性核素¹³⁷Cs 和²¹⁰Pb 精确定年的基础上, 分析了沉积岩心柱中重金属元素 V、N、Cu、Zn、Pb 的垂直变化特征, 探讨了近 250 年来湖泊沉积物重金属的污染历史, 并利用富集系数法和地质累积指数法评价了重金属的污染程度。结果表明: 1880 年前, 各元素含量基本保持稳定; 1880—1920 年, N、Cu、Zn、Pb 含量增加可能与这一时期工业发展及战争有关; 20 世纪 20 年代 Pb 含量突然增加反映了全球含铅汽油的使用; Zn 元素含量在 1950 年增加及 20 世纪 70 年代后期的明显增大, 分别与新中国建立后工业的发展及中国改革开放后工业活动的显著增加相一致; 1975—1990 年, Pb 含量的增加很可能与 1978 年改革后开放工业和交通发展有关; 表层 V、Zn、Pb 元素含量的减少可能与 80 年代后环保事业的发展有关。V、N、Cu、Zn 受人类活动影响较小, 基本上属于无污染或轻微污染状态, Pb 在 20 世纪 20 年代前为无污染或轻微污染, 20 年代后为中等程度的污染。

关键词: 重金属; 湖泊沉积物; 污染历史; 湖光岩玛珉湖

中图分类号: P53

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2010)01-0047-07

沉积物在湖泊生态系统中是一个庞大的贮存库, 记录了湖区自然环境变化和人类活动方式及强度变化对环境影响的丰富信息^[1-2]。重金属是广泛存在且具有潜在危害的重要污染物, 它可通过食物链在生物体内富集, 重金属污染因其隐蔽性、长期性和不可逆性的特点, 严重影响着人体健康和生态安全^[3]。人类活动, 如采矿、垃圾焚烧、化石燃料的燃烧、农业活动都会向水体环境排放大量的重金属^[4]。进入水体中的重金属, 最终大部分都进入了沉积物中。表层的沉积物由于物理化学或生物的作用会从沉积物中释放重新进入水中, 反复循环, 但大部分是相对稳定的, 因此, 它能记录下重金属的污染历史^[5-6]。本文以雷州半岛湖光岩玛珉湖为研究对象, 在精确定年的基础上, 分析了沉积岩心 V、N、Cu、Zn、Pb 元素的变化特征, 评价了重金属的污染程度, 这对认识湖光岩的重金属污染历史及污染程度有重要意义。

1 材料与方法

基金项目: 国家自然科学基金项目(40925009)

作者简介: 鲁海燕(1984—), 女, 硕士研究生, 环境科学专业, E-mail: luhy@eeccas.cn

收稿日期: 2009-08-11; 改回日期: 2009-09-30。张光威编辑

1.1 样品采集

湖光岩玛珉湖(21°9'N、110°17'E)位于广东省湛江市西南约 20 km 处, 是一座山清水秀近于圆形的标准玛珉湖。湖光岩玛珉湖东邻太平洋, 南临南中国南海, 处于亚热带到热带北部的气候过渡期, 植被为半常绿季雨林。该湖为封闭淡水湖, 分为东西两个部分, 其中东湖小, 西湖大, 东西方向最长 1.9 km, 南北方向最宽为 1.4 km。湖面高程 23 m, 湖水面积 2.1 km², 最大水深 21 m, 平均水深 12 m 左右, 已知该湖沉积物最大厚度达 60 m。湖周围的火山碎屑环墙南高北低, 最大海拔高度 87.6 m。环墙由玄武质火山碎屑岩和湛江组角砾状岩块组成, 火山碎屑岩所占的比例大于 85%。该地区多年年平均温度为 23℃, 年降水量为 1 600 mm, 干湿季分明^[7,8]。

2006 年 7 月, 使用重力柱在湖光岩玛珉湖取得平行岩心柱两个 MEH-1 和 MEH-2, 两个柱子相邻, 湖面距离约为 5 m, 具体采样位置(21.1434°N、110.72445°E)如图 1 所示。MEH-1 和 MEH-2 两个岩心柱从底部到顶部无岩性上差异, 全部为灰黑色泥。MEH-1 长 88 cm, 0~16 cm 按 0.5 cm 间隔分割样品, 16~88 cm 按 1 cm 间隔分割样品; MEH-2 长 83 cm, 0~15 cm 按 0.5 cm 间隔分割样

品, 15~ 83 cm 按 1 cm 间隔分割样品。分好的样品在 60 ℃下烘干, 用玛瑙研钵研磨后保存, 以备测年和重金属测定使用。

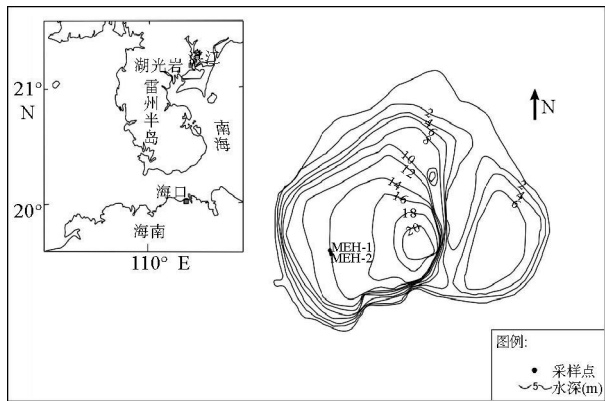


图 1 湖光岩玛珉湖采样点位置

F.g.1 Map of the sampling sites in the Huguang Maar Lake

1.2 样品测定

MEH-1 在中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境重点实验室进行²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 分析。MEH-2 每个样品分出 0.6 g 左右, 加入 6 g 四硼酸锂, 按 1: 10 的比例, 熔成玻璃态片, 装入塑料袋, 待测。元素的测定采用 X 射线荧光光谱仪 (XRF), 测试过程中采用国家标准样品 GSS-8 保证测试质量。重金属元素含量在中国科学院地球环境研究所粉尘与环境实验室测量分析。由于 4.5 cm 前的样品含量少, 达不到测量所需要的 0.6 g, 因此, 元素的测定从 4.5 cm 处的样品开始。

2 结果与讨论

2.1 ¹³⁷Cs 和²¹⁰Pb 测年

¹³⁷Cs 作为核试验后通过大气扩散而散落沉降 到地表环境中的放射性核素, 是研究流域侵蚀和湖 泊沉积的一个独特而有效的示踪剂。¹³⁷Cs 的半衰期 为 30.2 a。1945 年核爆炸后, 特别是 50 年代初美国 和苏联大量进行大气核试验以后, ¹³⁷Cs 在大气层 中浓度迅速上升。核爆炸产生的¹³⁷Cs 经沉降作用 沉积于沉积物中, 北半球地面¹³⁷Cs 沉降高峰值出现 在 1963—1964 年期间。因此, 利用沉积物柱样中 ¹³⁷Cs 垂直剖面峰值(对应于 1963 年)位置为时间标 记, 可以计算近代沉积物平均沉积速率。另外, 部分 湖泊发现存在 1974 年¹³⁷Cs 次级蓄积峰, 可作为沉

积时标参考。前苏联切尔诺贝利核电站泄漏散落的¹³⁷Cs 在部分湖泊中也可以作为辅助计年标志 (1986 年时标)^[911]。

MEH-1 沉积岩心¹³⁷Cs 垂直分布特征如图 2 所 示。虽然曲线波动较大, 但仍然可看出 1963、1974、 1986 年蓄积峰分别对应的深度大约在 12.5、8.5、 6.5 cm 处。将该岩心顶部的沉积时间定为 2006 年, 则可计算出各¹³⁷Cs 时标间的平均沉积速率, 结 果见表 1。

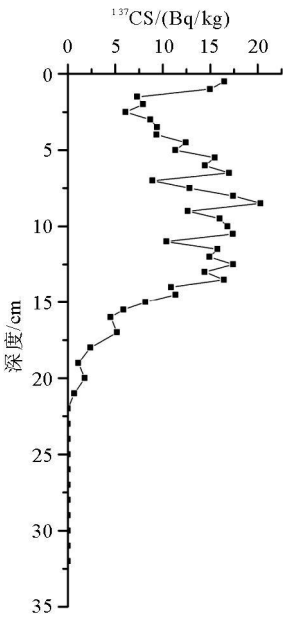


图 2 湖光岩玛珉湖沉积物¹³⁷Cs 比活度的垂直分布

F.g.2 Vertical distribution of ¹³⁷Cs in sediments of the Huguang Maar Lake

表 1 湖光岩玛珉湖沉积物¹³⁷Cs 时标计年结果

Table 1 Age measurement of ¹³⁷Cs in sediments of the Huguang Maar Lake

时标年	深度/cm	计时区间年	平均沉积速率/ cm·a ⁻¹
1963	12.5	1963—2006	0.29
1974	8.5	1974—2006	0.26
1986	6.5	1986—2006	0.32
		1974—1986	0.17
		1963—1974	0.36

天然放射性铅同位素²¹⁰Pb 是²³⁸U 系列中²²⁶Ra 衰变中间产物²²²Rn 的 α 衰变子体, 半衰期为 22.3 a。湖泊沉积物中²¹⁰Pb 主要有两个来源: 一是从大 气中²²²Rn 放射衰变形成的²¹⁰Pb 通过降水直接沉积 到湖泊中, 这一部分²¹⁰Pb 一般称为过剩²¹⁰Pb (²¹⁰Pb_{ex}); 二是湖泊沉积物中²²⁶Ra 放射衰变形成

的²¹⁰Pb,一般称为补偿²¹⁰Pb。²¹⁰Pb 具有亲颗粒特性,易于吸附在土壤细颗粒和沉积物颗粒上,且不易迁移,因此,常用于百年尺度的测年。通过沉积物岩心中不同层位样品的²¹⁰Pb_{ex}比活度分析,便可计算出沉积速率或某一层位的沉积年龄^[10,12]。²¹⁰Pb_{ex}年龄计算的常用模式有 CFS、CIC、CRS 模式,本文根据 CRS 模式,即恒定补给速率模式计算,得出每个样品深度所代表的年代(图 3)。

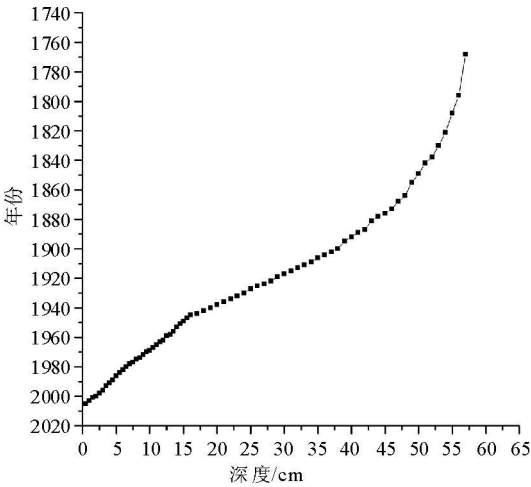


图 3 湖光岩玛珉湖沉积物²¹⁰Pb CRS 模式
计算结果指示的年代—深度曲线

Fig. 3 The relation between date and depth calculated by ²¹⁰Pb CRS model for sediments of the Huguang Maar Lake

根据²¹⁰Pb_{ex}比活度的 CRS 模式,12.5、8.5 和 6.5 cm 处分别约为 1959 年、1974 年和 1980 年,这和¹³⁷Cs 比活度曲线的 1963 年、1974 年和 1986 年的蓄积峰值基本一致。

2.2 重金属的垂直分布及污染历史

对湖光岩沉积物重金属的研究结果表明,V 元素的浓度在 126.79~159.98 mg/kg 之间,平均值为 142.56 mg/kg;N 元素的浓度在 197.83~223.91 mg/kg 之间,平均值为 210.88 mg/kg;Cu 元素的浓度在 47.39~92.70 mg/kg 之间,平均值为 62.68 mg/kg;Zn 元素的浓度在 105.77~127.28 mg/kg 之间,平均值为 113.62 mg/kg;Pb 元素的浓度在 2.14~60.13 mg/kg 之间,Pb 元素在 31 cm (1915 年)以下某些深度的含量在 XRF 的检测限之下,因此,这些深度的浓度可能会有误差,但从图 4 中可看出,Pb 元素的垂直分布趋势并不受影响。重金属含量 N > V > Zn > Cu > Pb。

结合放射性核素²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 的测年数据,1770 年以来重金属随年代的垂直分布图如图 4 所

示。根据各元素的垂直分布特征,可将沉积物重金属含量变化大致分为 4 个时段。

1770—1880 年,除 V 元素含量存在较大波动,其余元素浓度基本保持稳定;

1880—1920 年,N、Cu 的含量均出现一个较为明显的蓄积峰值,元素 Zn、Pb 的含量也出现小幅度增加。这可能受工业发展、战争及武器制造的影响。19 世纪 60、70 年代,清政府内洋务派在全国各地掀起了“师夷之长技以制夷”的洋务运动^[14,15],在这期间,发展了铁路、纺织、军工、采矿等工业,建立了陆军和海军^[16]。在之后的几年,中国爆发了几次战争,如 1894 年的甲午中日战争,1911 年的辛亥革命^[16]。据研究统计 1806 年到 1902 年战争爆发的频率高达每年 1.93 次^[17]。重金属含量变化可能与这些事件有关。

1920—1975 年,Pb 元素含量在 1920 年左右的巨大的升高可能与汽车工业的发展有关,当时,汽车工业首次在全球大量的发展起来,同时,含铅汽油也被大量的使用^[18,20];Pb 元素的含量的增高还可能与气候变化有关,20 世纪 20 年代出现全国性大旱^[2+22],华南地区这一时期也处于早期^[23],由于气候变化这一时期的降水减少有可能浓缩元素浓度;另外,在这期间由于战争而发展的军事工业,及新中国成立后工业的重建与发展对 Pb 元素含量的增加也可能有一定的影响^[16]。气候变化可能对其他元素也产生影响,N、Cu 元素含量在 20 年代也有轻微上升。Zn 元素在 1950 年左右出现了较为明显的蓄积峰,这与新中国成立后中国工业得到较为迅速发展相一致。在这个阶段,N、Cu 的含量整体呈降低趋势。70 年代前,V 元素含量除在 1917 年附近出现明显的低值外,含量基本在 140 mg/kg 附近波动,70 年代 V 元素含量出现明显增大可能与改革开放工业的发展有关。

1975—1990 年,这个阶段,Zn 元素的含量出现了巨大升高,明显与中国改革开放后,工业得到了巨大发展的时期相吻合,这也可以看作是中国的工业革命大发展的时期。Pb 元素含量在 1978 年左右明显增高,可能反映了机动车和中国交通的发展^[24]。元素 V、Zn、Pb 的含量在表层有所降低,可能与 80 年代,环保事业的开始发展有关。

2.3 重金属污染评价

为评价湖光岩重金属的污染程度,本文从重金属的富集因子(EF)和地质累积指数(I_{geo})的角度进行了研究。

2.3.1 重金属的富集系数

富集系数法(enrichment factor, EF)是 Buat-Menard P 和 Chesselet R 于 1979 年提出的,用于区分重金属的人为源和自然源,评价人类活动的影响程度的方法^[25-26]。湖泊沉积物中重金属的富集系数按如下公式进行计算:

$$EF = (C_n / C_{ref})_{sample} / (B_n / B_{ref})_{baseline}$$
式中:

- C_n 为沉积物中重金属的含量(mg/kg);
- C_{ref} 为沉积物中参比元素的含量(mg/kg);
- B_n 为未受污染沉积物中重金属的含量,即重金属的背景值(mg/kg);
- B_{ref} 为未受污染沉积物中重金属的含量,即参比元素的背景值($mg \cdot kg^{-1}$)。当富集系数 EF 接近 1 时,认为元素来源于地壳,当 EF 大于 10 时,认为该元素来源于非地壳源^[27]。另外,EF 还可以评价重金属的污染程度,沉积物中重金属富集系数越大,表示沉积物被重金属污染程度越高,按富集系数的大小,可相应地把污染程度分成 5 个等级,如表 2 所示。

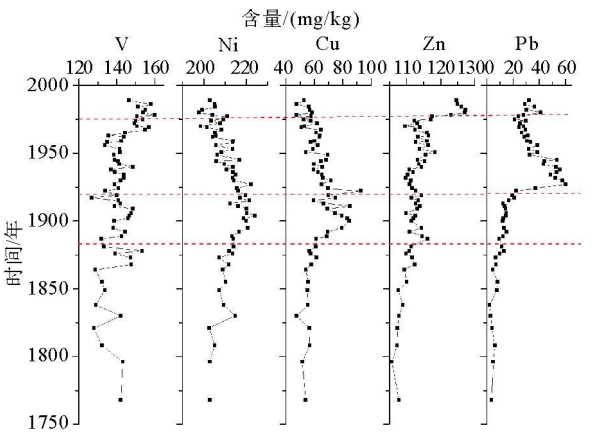


图 4 湖光岩玛珉湖沉积物重金属元素的垂直分布
Fig. 4 Depth-concentration profiles of heavy metals in sediments of the Huguang Maar Lake

表 2 湖光岩玛珉湖沉积物元素背景值和污染评价标准
Table 2 The background values of heavy metals and the index of pollution intensity in sediments of Huguang Maar Lake

元素	背景值 (mg/kg)	EF	污染程度	I_{geo}	污染程度
V	92.27	< 2	无~ 轻	< 0	无
N	151.30	2~ 5	中等	0~ 1	无~ 中度
Cu	59.33	5~ 20	较强	1~ 2	中度
Zn	97.07	20~ 40	强	2~ 3	中度~ 强
Pb	13.61	> 40	极强	3~ 4	强
T	11 874.17			4~ 5	强~ 极强
				> 5	极强

参比元素通常选取来源广泛且不易受人类活动影响的元素,常用的参比元素有 Al、Fe、Mn、Sc、T 等^[28],由于 T O₂ 抗风化能力很强,本文选取 T 作参比元素。关于背景值的选择,通常有多种方法,如选择沉积岩心底部某一深度不受人类活动影响的浓度作为背景值,或使用地壳浓度作背景值。但这两种方法均存在一定局限性,前者是人为的,比较主观,而后者不能区分岩石的区域特征^[4]。本文选取玛珉湖地区表土元素含量(表 2)作为背景值,相对较为客观,也可代表当地的特征。计算得到沉积岩心中金属元素的富集系数(图 5)。可以看出除 Pb 外大部分元素金属元素的富集系数都在 1 附近或小于 1,表现出强烈的陆源属性;各重金属的富集系数的顺序为: Pb> V> N> Zn> Cu,其中 V、N、Zn、Cu 的富集系数均小于 2,属无污染或轻度污染, Pb 元素的富集系数在 1924 年后基本上都大于 2,属中等程度的污染。

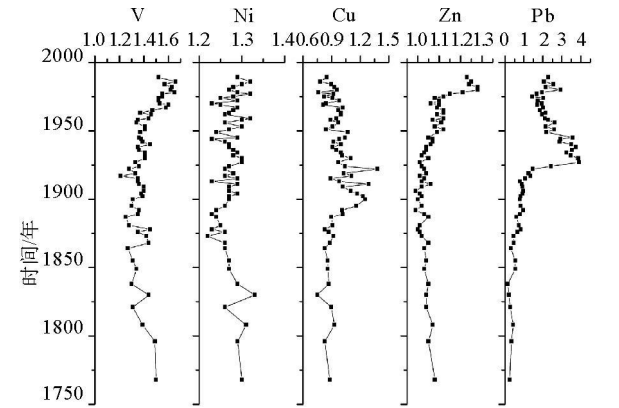


图 5 湖光岩玛珉湖沉积物重金属元素的富集系数
Fig. 5 EFs of heavy metals in sediments of Huguang Maar Lake

2.3.2 地质累积指数

地质累积指数(geo-accumulation index, I_{geo})是由德国海德堡大学沉积物研究所的 Muller 提出的评价水环境沉积物中的重金属污染的一个定量指标^[25-29]。其表达公式为:

$$I_{geo} = \log_2(C / k \cdot B)$$
式中:

- C 为元素在沉积颗粒中的含量(实测值);
- B 为沉积岩(即普通页岩)中所测元素的地球化学背景值;
- k 为考虑到成岩作用可能会引起的背景值的变动而加入的常数,一般 $k = 1.5$ 。

根据地质累积指数的大小,可相应地把重金属

的污染程度分为 7 个等级,如表 2 所示。

本文选取湖光岩表土样品中重金属的含量作为背景值,得到各金属元素的地质累积指数(图 6)。沉积岩心 N、Cu、Zn 元素的 I_{geo} 值基本上都小于 0,说明这 3 种元素基本上没有污染;V 元素的 I_{geo} 值在 1965 年前基本小于 0,1965 年后大于 0,有轻微污染;Pb 的 I_{geo} 值在 1922 年后大于 0,某些年份大于 1,属于轻到中度污染。

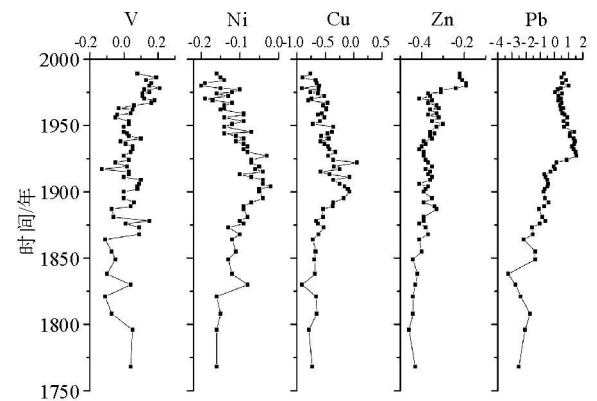


图 6 湖光岩玛珉湖沉积物重金属元素的地质累积指数
F.g.6 The geo-accumulation index of heavy metals
in sediments of Huguang Maar Lake

重金属的富集系数和地质累积指数显示,湖光岩玛珉湖沉积物中 V、N、Cu、Zn 元素受人类活动影响较小,基本上属于无污染或轻微污染,Pb 元素属于轻微到中度污染,总的来说,湖光岩玛珉湖重金属的污染并不严重。

3 结 论

(1) 结合放射性核素¹³⁷Cs 和²¹⁰Pb 的测年数据,研究了湖光岩玛珉湖沉积物岩心中重金属元素的含量水平、垂直分布特征及污染历史,5 种重金属含量的顺序为 N > V > Zn > Cu > Pb; 根据重金属的垂直分布曲线,可将近 250 年来湖光岩玛珉湖的重金属污染大致分为 4 个阶段:1880 年以前各元素含量基本保持稳定;1880—1920 年,N、Cu、Zn、Pb 元素含量增高,可能受工业发展及战争的影响;1920—1975 年间,Pb 元素含量在 1920 年左右的突增很可能是含铅汽油使用的原因,还可能受到气候变化、战争和战后工业发展的影响,Zn 含量的增加与 20 世纪 50 年代新中国工业的发展相吻合;1975—1990 年、1978 年附近 Zn、Pb 含量的增加可能与中国改革开放工业及交通发展有关,Zn 元素与 Pb 元素含量在表层有所减少可能受 80 年代后环保事业发展的影

响。

(2) 运用富集系数法和地质累积指数法评价了湖光岩玛珉湖沉积物岩心中重金属元素的污染程度,2 种方法的评价结果相似。评价结果显示:V、N、Zn、Cu 元素属无污染或轻度污染,Pb 元素在 20 世纪 20 年代前属于无污染到轻微污染,20 年代后转变到中等程度的污染。

参考文献 (References)

[1] 何华春,许叶华,杨競红,等. 洪泽湖流域沉积物重金属元素的环境记录分析[J]. 第四纪研究,2007, 27(5): 766-774. [HE Huachun, XU Yehua, YANG Jnghong, et al. Environmental mpltat ons of heavy metals from surface sediments n the lake Hongze bas n[J]. Quaternary Sc ences, 2007, 27(5): 766-774.]

[2] 王天阳,王国祥. 昆承湖沉积物重金属的环境地球化学特征 [J]. 水土保持学报, 2008, 22 (1): 110-122. [WANG T anyang, WANG Guox ang. Environmental geochem stry character st es of heavy metals n sediment of Kuncheng Lake [J]. Journal of Sol and Water Conservat on, 2008, 22(1): 110-122]

[3] 曾海鳌,吴敬禄. 近 50 年来抚仙湖重金属污染的沉积记录 [J]. 第四纪研究, 2007, 27(1): 128-132. [ZENG Ha ao, WU Jnglu. Recent ffty-year sedimentary record of heavy metal pollut on n the Fux an Lake[J]. Quaternary Sc ences, 2007, 27(1): 128-132.]

[4] Han Y M, J n Z D, Cao J J, et al. Atmospher c Cu and Pb depost on and transport n lake sediments n a remote mountain area, Northern Ch na[J]. Water, A r and So l Pollut on, 2007, 179: 167-181.

[5] 千娜,金章东,姚拓. 太湖梅梁湾沉积物中重金属的赋存相态及其对污染历史的示踪[J]. 湖泊科学, 2007, 9(4): 397-406. [QIAN Na, JIN Zhangdong, YAO Tuo. Chem cal fract ons of heavy metals of sediments n Melang Bay, Lake Talhu and tracng for ts pollut on h story[J]. Journal of Lake Sc ences, 2007, 9(4): 397-406.]

[6] 钟丽娜. 重金属在上海淀山湖的沉积记录及意义[D]. 上海交通大学, 2008. [ZHONG L na. The sedimentary records of heavy metals and ts sgnf cat on n D anshan Lake, Shanghai [D]. Shangha J aotong Un vers ty, 2008]

[7] 刘嘉麒, Negendank J F W, 王文远, 等. 中国玛珉湖的时空分布与地质特征[J]. 第四纪研究, 2000, 20(1): 78-86. [LIU J aq, Negendank J F W, WANG Wenyuan, et al. The d str but on and geolog cal character st es of maar lakes n Ch na[J]. Quaternary Sc ences, 2000, 20(1): 78-86.]

[8] 刘强,顾兆炎,刘嘉麒,等. 62kaBP 以来湖光岩玛珉湖沉积物有机碳同位素记录及古气候环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(2): 115-126. [LIU Q ang, GU Zhaoyan, LIU J aq, et al. Bulk organ c carbon isotop e record of Huguangyan Maar Lake, southeastern Ch na and ts paleoclimat c and paleo-

- environmental significance since 62 kaBP[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2005, 25(2): 115-126.]
- [9] 游海涛, 刘强, 刘嘉麒, 等. 纹层计年与 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 法对比研究东北二龙湾玛珥湖现代沉积速率[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 59-64. [YOU H a t a o, L I U Q a n g, L I U J a q, et al. A comparative study on model sedimentation rates with varve dating, ^{137}Cs and ^{210}Pb dating in Erlongwan Maar Lake, NE China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(1): 59-64.]
- [10] 储国强, 顾兆炎, 许冰, 等. 东北四海龙湾玛珥湖沉积物纹层计年与 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 测年[J]. 第四纪研究, 2005, 25(2): 202-207. [CHU Guoqiang, GU Zhaoyan, XU Bing, et al. Varvechronology and radiometric dating (^{137}Cs , ^{210}Pb) from the Shalongwan Maar, Northeastern China[J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(2): 202-207.]
- [11] 于文金, 邹欣庆, 朱大奎, 等. 江苏王港潮滩重金属 Pb、Zn 和 Cu 的累积规律[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(3): 17-24. [YU Wenjin, ZOU Xinqing, ZHU Daku, et al. Accumulation of heavy metals Pb, Zn and Cu in Wanggang tidal flat of Jiangsu Province[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2007, 27(3): 17-24.]
- [12] 万国江. 现代沉积的 ^{210}Pb 计年[J]. 第四纪研究, 1997: 230-239. [WAN Guojang. ^{210}Pb dating for recent sedimentation[J]. Quaternary Sciences, 1997: 230-239.]
- [13] Tumer L J, Delorme L D. Assessment of ^{210}Pb data from Canadian lakes using the CIC and CRS models[J]. Environmental Geology, 1996, 28(2): 78-87.
- [14] Xia D Y. History of the Self-strengthening Movement in China[M]. Shanghai: The East China Normal University Press, 1992.
- [15] Grasso J, Corrin J, Kort M. Modernization and Revolution in China: From the Opium Wars to World Power[M]. M. E. Sharpe: Armonk, NY, 2004.
- [16] Lee C S L, Q S H, Zhang G, et al. Seven Thousand years of records on the mining and utilization of metals from lakesediments in Central China[J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42, 4732-4738.
- [17] Zhang D, Jm C Y, Lnc S, et al. Climate change, social unrest, dynastic transition in ancient China[J]. Chin. Sc. Bull., 2005, 50: 137-144.
- [18] Nragu J O. The rise and fall of leaded gasoline[J]. Science of the Total Environment, 1990, 92: 13-28.
- [19] Kovark B, Charles F. Kettering and the 1921 discovery of tetraethyl lead in the context of technological alternatives. <http://www.runet.edu/~wkovark/papers/kettering.html>, 1999.
- [20] Jacobson M Z. Atmospheric Pollution[M]. Cambridge University Press, 2002.
- [21] 李原, 黄资慧. 20 世纪灾祸志[M]. 福州: 福建教育出版社, 1992. [LI Yuan, HUANG Zhihui. Calamities in the 20th Century[M]. Fuzhou: Fujian Education Press, 1992]
- [22] 徐国昌. 中国干旱半干旱区气候变化[M]. 北京: 中国气象出版社, 1997. [XU Guochang. Climate Changes in Dry and Semi-dry Areas of China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1997.]
- [23] 黄增明, 梁建茵, 刘宗锦. 华南近五百年气候变化特征[J]. 热带气象, 1990, 6(4): 332-339. [HUANG Zengming, LIANG Jianyin, LIU Zhongjin. Characteristics of variation in southern China climate for the past 500 years[J]. Journal of Tropical Meteorology, 1990, 6(4): 332-339.]
- [24] 范秀英, 张微, 韩圣慧. 我国汽车尾气污染状况及其控制对策分析[J]. 环境科学, 1999, 20(5): 102-108. [FAN Xuying, ZHANG Wei, HAN Shenghui. Vehicle pollution situation and its control in China[J]. Environmental Science, 1999, 20(5): 102-108.]
- [25] 丁喜桂, 叶思源, 高宗军. 近海沉积物重金属污染评价方法[J]. 海洋地质动态, 2005, 21(8): 31-36. [DING Xigu, YE Siyuan, GAO Zongjun. Methods of heavy metal pollution evaluation for offshore sediments[J]. Marine Geology Letters, 2005, 21(8): 31-36.]
- [26] Zhang H, Shan B Q. Historical records of heavy metal accumulation in sediments and the relationship with agricultural intensification in the Yangtze-Huaihe region, China[J]. Science of the Total Environment, 2008, 399: 113-120.
- [27] 金海玲, 胡恭任. 海洋沉积物中重金属污染防治研究进展[J]. 地球与环境, 2004, 32(3-4): 7-13. [JIN Hailing, HU Gongren. Review of prevention of heavy metal pollution in marine sediments[J]. Earth and Environment, 2004, 32(3-4): 7-13.]
- [28] Han Y M, Du P X, Cao J J, et al. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China[J]. Science of the Total Environment, 2006, 355: 176-186.
- [29] Raj S M, Jayaprakash M. Distribution and enrichment of trace metals in marine sediments of Bay of Bengal, off Ennore, south-east coast of India[J]. Environmental Geology, 2007, 233: 207-217.

HISTORY OF HEAVY ELEMENTS IN THE LAST 250 YEARS RECORDED
BY SEDIMENTS IN HUGUANG MAAR LAKE (HUGUANGYAN)

LU Ha yan^{1,2}, CAO Junj¹, HAN Yongm ng¹, WU Feng¹

(1 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences,
Xi'an 710075, China; 2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract : The Huguang Maar Lake(110°17'E, 21°9'N) located in the southwest of Zhangjiang, Guangdong Province, belongs to the Leiqiong Volcanic Field. This paper is focused on the historic changes of heavy metals(V, N, Cu, Zn, and Pb) concentrations in sediments of the Huguang Maar Lake for the last 250 years. The environmental implication of heavy metals from core sediments was given by ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb source dating methods for the purpose of discussing the characteristic changes of heavy metals. Four stages of the heavy metal concentrations are recognized. Before 1880, concentrations of all heavy metals except V kept steady. From 1880 to 1920, concentrations of N, Cu, Zn and Pb increased, which could be related to the industrial development and the wars during the period. In 1920s the increase of Pb may reflect the wide use of Pb alkyl additives in gasoline. From 1975 to 1990, the content of Pb increased quickly mainly due to reform and opening-up, which caused the development of industry and transportation. The geoaccumulation index(*I_{geo}*) and the enrichment factors(EF) were used to assess the contamination levels. The results showed that the concentrations of V, N, Cu, and Zn were slightly influenced by human activities, and the *I_{geo}* and EF reveal that these metals were considered as “unpolluted to mildly polluted”. Pb was considered as “unpolluted to mildly polluted” before 1920s and “moderately polluted” after 1920s.

Key words: heavy metals; sediment core; Huguang Maar Lake (Huguangyan)