

文章编号:1000-0550(2000)03-0341-05

洱海沉积物粒度记录与气候干湿变迁^①

陈敬安 万国江 徐经意

(中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室 贵阳 550002)

摘要 通过对洱海现代沉积物的精细采样,将放射性核素精确计年与沉积物粒度研究相结合,重建了600多年来洱海区域气候的干湿变迁,为恢复百年尺度的气候干湿变化提供了一条新途径。研究表明,15世纪是洱海地区最为湿润的一个世纪;洱海区域存在100a、200a两种时间尺度的气候干湿准周期波动;自19世纪末以来洱海区域气候整体上向干旱化方向发展,目前正处于干旱期末期,预计气候将由干旱转向湿润。

关键词 沉积物粒度 准周期变化 干湿变迁 洱海

第一作者简介 陈敬安 男 1973年12月出生 博士研究生 环境地球化学

中图分类号 X141 P512.2 文献标识码 A

近半个世纪以来,地质学家利用冰芯、黄土、深海沉积等地质记录开展了大量卓有成效的古气候重建工作^[1~3]。但目前这些工作主要集中在较低分辨率、较大时间尺度的研究上,其目的是了解地质历史时期的气候变化,认识冰期-间冰期循环机制,为预测未来的全球变化提供类比模式。当“温室效应”等一系列全球性环境问题日益出现,尤其是当70至80年代非洲的连年干旱造成巨大灾难之后,人们开始更加关心那些与人类生活密切相关的过去发生的各种短时间尺度(年际、十年、百年)的气候变化。为此,“过去全球变化/南北半球古气候计划”已将获取最近2000a来连续、高分辨自然记录及精确计年作为该项目的工作重点之一^[4,5]。作为流域地表物质运移的主要宿体,湖泊沉积物连续、敏感地记录了区域及全球环境变化,它可提供时间分辨率达一年至十年的高精度环境信息,在恢复各种短时间尺度的气候和环境演化系列上具有其它自然历史记录无法替代的优势^[6~8]。

第四纪古气候变化在中低纬度地区常表现为湿度的变化,这些变化最终会记录在湖泊沉积物中^[9]。本文将放射性核素精确计年与沉积物粒度研究相结合,试图恢复洱海区域600多年来的气候干湿变迁,初步探讨洱海区域气候变化规律,为预测未来几十年内的气候和环境演化趋势服务。

1 样品与研究方法

洱海位于云南省下关市北郊,呈北北西-南南东方向狭长状展布(图1),长42 km,宽最大9 km,属澜沧江水系。该湖水面积约为249.8 km²,汇水面积约

2470 km²,湖水补给系数约10,平均水深10.5 m,最大水深20.5 m,库容约2.56×10⁹ m³。

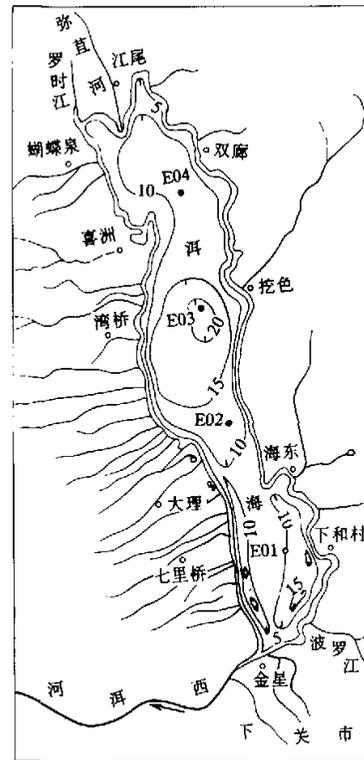


图1 洱海采样点位置示意图

Fig. 1 Location of sampling sites in Erhai Lake

为保证样品的代表性,1991年在洱海深水湖区的

① 国家自然科学基金(批准号:49894170)和中科院重大项目专题(KZ951-A1-402-06-04)资助项目

收稿日期:1999-06-08 收修改稿日期:2000-02-17

3号样点(图1中的E03)用自行设计研制的湖泊沉积物-水界面采样装置^[10]采得长83cm的沉积物孔柱EH911208-3-5。所采沉积物柱芯保持完好,悬浮层未受扰动,界面水清亮透明。沉积物柱按0.5~1.0cm间距在分样台上野外现场精细分截。

样品的粒度组成采用德国飞驰公司生产的扫描光电沉淀测定仪“分选系20”(Scanning Photo Sedimentograph “Analysette 20”)进行测定,粒度测量范围为0.5~500 μm ,重复测量误差小于3%。

基于²¹⁰Po是²¹⁰Pb的(衰变子体,半衰期仅0.379a,因此,²¹⁰Pb比活度测定的放射化学(谱法是以样品中²¹⁰Po的分析作为基础。(谱测量使用PIPS硅探测器,用(谱计数计算软件处理计数结果,直接输出²¹⁰Pb比活度,以²¹⁰Pb_{ex}方法计年;样品¹³⁷Cs比活度采用Caberra公司生产的S-100多道能谱仪进行 γ 谱测定,以时标法计年^[11,12]。

2 结果与讨论

为高精度地从湖泊沉积物中提取环境信息,首先需要精确地测定沉积物的时序特征,从而建立湖泊沉积物所记录的过去环境信息的年谱关系。百年时间尺度上,广泛应用的沉积物计年方法有天然放射性核素(²¹⁰Pb_{ex}、¹³⁷Cs)计年法和沉积纹理计年法^[11~13]。然而,许多湖泊现代沉积物中保存的年纹理并不清晰,因而,准确地应用²¹⁰Pb_{ex}和¹³⁷Cs计年方法便成了现代沉积物计年的关键。

沉积物放射性核素¹³⁷Cs和²¹⁰Pb_{ex}计年结果^[11,12]表明,洱海深水湖区沉积物堆积稳定,没有受到当地构造作用的显著影响,沉积物平均堆积速率约为0.046 g·cm⁻²·a⁻¹,由此经高分辨计算可得出各样品的沉积年代。之所以采用质量深度(g/cm²)代替深度(cm),是因为考虑到沉积物在沉积后会遭受压实作用改造而导致其孔隙度的变化。相同质量的沉积物在表层的厚度与在沉积物深处的厚度有较大差异,若以深度作为计年基准是不准确的。而沉积物质量深度是指某一深度以上单位面积的沉积物质量,其单位为g/cm²,用它可校正沉积物孔隙度变化对计年结果的影响,因而准确的计年应当以质量深度为基准。

粒度分析结果表明,洱海EH911208-3-5柱沉积物颗粒分布在0~60 μm 粒度区间,其中,粘粒组分(<2 μm)占4.0%~25.1%,细粉砂组分(2~20 μm)占62.6%~84.1%,粗粉砂组分(20~60 μm)占4.6%~29%,属粉砂-粘土质粉砂。沉积物平均粒径变化于8.55~15.52 μm 粒度区间,其在剖面上的时间变化序列绘制于图2。

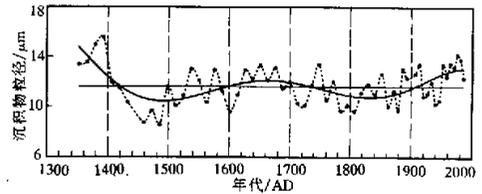


图2 洱海沉积物粒径的垂直变化

Fig.2 The vertical variation of sediment particle sizes in Erhai Lake

2.1 600多年来洱海区域气候的干湿变迁

已有研究指出,湖水物理能量是控制沉积物粒度分布的主要因素,细粒和粗粒沉积物分别代表了湖水物理能量降低和增强的阶段,也就是分别代表了湖泊的高水位时期及低水位时期^[14]。换言之,在气候干早期,湖水退却,采样点距岸边的距离较近,粗颗粒物易于到达,因而在该位置沉积的颗粒较粗;反之,在气候湿润期,湖泊扩张,采样点距岸边的距离较远,粗颗粒物难以到达,因而在该位置沉积的颗粒较细。因此,湖泊沉积物颗粒的粗细变化能反映湖面的扩张和收缩,进而可指示湖区气候的干湿变迁,即:细粒沉积物标志着湿润气候,粗粒沉积物反映干旱气候。

作为一个物理指标,沉积物粒度组成对湖泊水位波动反应迅速,而且基本不受早期成岩作用改造,因而能灵敏地记录当时气候的干湿状况,是气候变化的良好代用指标。由图2可见,沉积物粒径在剖面上显示出不同层次的高低波动,整体上经历了由“粗→细→粗→细→粗”的W型变化,反映洱海区域气候自14世纪末以来总体上经历了由“干旱→湿润→干旱→湿润→干旱”的变化历史。

洱海沉积物粒径所反映的上述气候信息与根据历史资料恢复的大理近500a来的旱涝等级变化相当吻合。1975~1978年,中央气象局连同有关单位整理了中国近500a来的旱涝史料,并绘制了逐年旱涝等级图。为了能直观地了解旱涝的长期演变情况,他们把旱涝分为5个等级,平均旱涝等级值的大小反映了旱涝的程度,即1级为涝、2级为偏涝、3级为正常、4级为偏旱、5级为旱^[15]。显然,旱涝等级值越大,反映气候越干旱。由图2与图3可见,洱海沉积物平均粒径与大理站旱涝指数呈现出良好的同步变化趋势,这进一步证实了沉积物粒度记录环境信息的可靠性。据张家诚等人的研究,南岭以南地区曾有过唯一一次连续9a的涝年,即1477~1485年^[15]。由图2可见,洱海沉积物粒径在1460~1490年间为近600多年来的最低

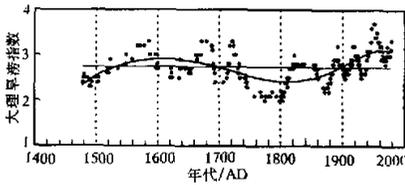


图 3 大理旱涝指数变化

Fig. 3 Variation of drought-waterlogging indexes in Dali City

值,也揭示了这一时期洱海湿润多雨。

综合洱海沉积物粒度及大理旱涝等级变化资料(图 2、图 3),600 多年来洱海区域气候干湿变化可大体划分为如下 5 个阶段:

- 1) 1352~1420AD,沉积物粒径大于平均值,反映当时气候较为干旱;
- 2) 1420~1520AD,沉积物粒径和旱涝指数均小于平均值,反映当时气候湿润多雨。这一湿润期持续

了大约 100a;

3) 1520~1720AD,沉积物粒径和旱涝指数基本大于平均值,反映当时气候较为干旱。这一干旱期持续了大约 200a,其间出现了多次小幅度的干湿波动;

4) 1720~1890AD,沉积物粒径和旱涝指数基本小于平均值,反映当时气候湿润多雨。这一湿润期持续了大约 170a,其间 1780~1800AD 气候最为湿润;

5) 1890~1990AD,沉积物粒径和大理旱涝指数基本大于平均值,反映气候较为干旱。这一干旱期持续了大约 100a,在整体干旱的背景下,气候干湿波动频繁,预示着气候的不稳定性增加。

表 1 中干旱期的旱涝指数均大于 2.85,且都大于湿润期的旱涝指数(< 2.50);干旱期的平均粒径也均大于湿润期平均粒径。回归分析表明各阶段平均粒径值与平均旱涝指数的相关系数为 0.92,在显著性水平 $\alpha = 0.01$ 的条件下显著相关,这一方面说明表 1 中气

表 1 洱海区域气候 640 年来的干旱期与湿润期

Table 1 The dry and humid periods of the regional climate in Erhai Lake in recent 640 years

气候期	年代/AD	平均粒径/ μm	平均旱涝指数	持续时间/a
干旱期	1352~1420	13.48	--	--
湿润期	1420~1520	9.83	2.47	100
干旱期	1520~1720	11.77	2.86	200
湿润期	1720~1890	10.97	2.49	170
干旱期	1890~1990	12.43	2.96	100

候期划分的可行性,另一方面又再次证明了沉积物粒径指示气候干湿变化的可靠性。

值得指出的是,上文提出的“细粒沉积物标志着湿润气候,粗粒沉积物反映干旱气候”的结论是有一定应用前提的。在进行较大时间尺度研究时(如上文对持续几十至几百年的有关气候干旱期和湿润期的讨论),这一结论是正确的,反映在洱海沉积物粒径与大理旱涝指数在总体变化趋势上的一致(图 2、3)。但这一结论并不能应用于小时间尺度(年际)研究,因为降雨量通过影响地表径流强度而在相当程度上决定着进入湖泊的颗粒物的粗细和多少,进而影响湖泊沉积物粒度,降雨量大,地表径流发育,更多的粗颗粒物可被携带至湖泊,导致沉积物粒径增大。对这一现象可以这样理解,在气候干旱期,湖泊收缩,采样点距岸边的距离较近,粗颗粒物易于到达,因而整体上沉积物颗粒较粗,但在这一整体趋势中,具体的降雨量大的相对湿润年份,陆源输入的粗颗粒物增多导致沉积物粒径更大,而降雨量小的干旱年份,沉积物粒径相对较小。简

而言之,在进行较大时间尺度有关不同气候期的研究时,湖泊水位是决定沉积物粒度的首要因素,高水位的湿润期沉积物粒度小;而在具体的某一气候期内讨论沉积物粒度变化时,因为湖泊水位在这一气候期内相对稳定,因而湖盆流域降雨量则是关键因素,降雨量大的湿润年份,沉积物粒度相对更粗。正是由于以上原因,洱海沉积物粒度与大理旱涝指数出现了总体变化趋势一致而具体点位不尽相同的现象。

2.2 洱海区域气候干湿变化特征

由表 1 可见,洱海气候干旱期与湿润期的持续时间依次为 100a、200a、170a 和 100a,反映洱海区域气候存在 100a 和 200a 的干湿变化准周期。目前,洱海气候正处于干旱期末期,预计气候将由干旱转向湿润。

为了滤去小扰动的影响,以了解气候变化趋势,我们对洱海沉积物粒度原始数据进行了三点滑动平均(图 4)。由图 4 可见,洱海沉积物粒径呈现出明显的准周期变化,反映了洱海区域气候的干湿准周期波动。尤其是自 1500AD 至 19 世纪末,在每个世纪的前半

期,沉积物颗粒粒径逐渐增大,反映洱海区域气候日趋干旱;在每个世纪的后半期,沉积物粒径逐渐减小,反映洱海气候由于干旱逐渐转为湿润。这进一步证实了洱海区域气候干湿变化世纪周期的存在。

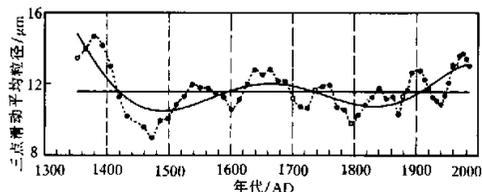


图4 洱海沉积物粒径三点滑动平均值变化曲线

Fig.4 Variation curve of 3-point running mean of sediment particle sizes in Erhai Lake

值得指出的是,从14世纪末到15世纪末,洱海区域气候一直向湿润化方向发展,并在15世纪末达到湿润顶峰,这可能与当时气候的异常变化有关。正是在这期间,南岭以南地区出现了近500a来唯一一次连续9a的涝年。15世纪是600多年来洱海地区最为湿润的一个世纪。

综合图2、图3和图4可见,自19世纪末以来,沉积物粒径和大理旱涝指数均表现为快速上升和快速下降,反映气候波动日趋频繁,气候由干转湿或由湿转干的周期变短,气候的不稳定性增加;同时,沉积物粒径和大理旱涝指数整体上都呈现出明显的递增趋势,反映洱海区域气候自19世纪末以来整体上向干旱化方向发展。这种现象究竟是气候的自然演化规律还是人类活动的强烈干扰所致还有待于进一步的深入研究。虽然导致洱海区域气候干旱化和气候不稳定性增加的原因可能是多方面的,但现代人类活动对区域气候越来越强烈的干扰作用不可忽视。随着人类文明的高度发展,人类活动已逐渐成为区域及全球变化的一个重要驱动力,尤其在十年至百年时间尺度上,人类活动的强度和幅度已达到可以与自然扰动相比拟的程度,或者更强^[16]。

3 结语

当我们进行沉积物粒度研究时,不能一概照搬套用其一般环境指示意义,在不同时间尺度的研究中,应该充分考虑到影响沉积物粒度的诸多因素。本项研究初步表明,在进行较大时间尺度有关不同气候期的研究时,湖泊水位是决定沉积物粒度的首要因素,高水位的湿润期沉积物粒度小;而在具体的某一气候期内讨论沉积物粒度变化时,因为湖泊水位在这一气候期内相对稳定,湖盆流域降雨量则是关键因素,降雨量大的

湿润年份沉积物粒度相对更粗。

洱海沉积物粒径所记录的区域气候干湿变化与大理近五百年的旱涝史料显示出较好的一致性,沉积物粒度研究为恢复百年尺度的气候干湿变化提供了一条有效的新途径。继续寻找其它的高分辨率替代指标并进行综合对比研究是准确、可靠地恢复气候短尺度变化的必由之路。鉴于湖泊沉积物含有众多可用于古环境研究的物理、化学和生物替代性指标,且具有时序连续、分辨率高和信息灵敏等特点,加强湖泊沉积记录研究无疑对恢复晚近过去的短尺度气候和环境演化、认识人类活动对自然环境的影响份额、预测未来几十年内的气候与环境变化趋势具有重要意义。

参 考 文 献

- 1 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社,1985. 336~348
- 2 Dansgaard W, Johnsen S J, Clausen H B, et al. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record[J]. Nature, 1993, 364: 218~220
- 3 Shackleton N J, Opdyke N D. Oxygen isotope and paleomagnetic evidence for early Northern Hemisphere glaciation[J]. Nature, 1977, 270: 216~219
- 4 谭明,秦小光,刘东生. 石笋记录的年际、十年、百年尺度气候变化[J]. 中国科学, D辑, 1998, 28(3): 272~277
- 5 PAGES. Paleoclimates of the Northern and Southern Hemispheres, Pages Series 95-11[C]. Bern: Pages Press, 1995. 1~92
- 6 COHMAP Members. Climatic changes of the last 18,000 years: observations and model simulations[J]. Science, 1988, 241(4868/4869): 1043~1052
- 7 万国江. 环境质量的地球化学原理[M]. 北京:中国环境科学出版社,1988. 51~52
- 8 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
- 9 刘东生,袁宝印. 论第四纪湿润期和干旱期(雨期和向雨期)[A]. 见:中国科学院中澳第四纪合作研究组编. 中国-澳大利亚第四纪学术讨论会论文集[C]. 北京:科学出版社,1987. 1~10
- 10 袁自强,吴德珠,黄荣贵等. 湖泊沉积物-水界面系列采样装置的研制[J]. 环境科学, 1993, 14(1): 70~73
- 11 万国江. 现代沉积年分辨的¹³⁷Cs计年——以云南洱海和贵州红枫湖为例[J]. 第四纪研究, 1999, (1): 73~80
- 12 徐经意,万国江,王长生,黄荣贵,陈敬安. 云南省泸沽湖-洱海现代沉积物中²¹⁰Pb、¹³⁷Cs的垂直分布及其计年[J]. 湖泊科学, 1999, 11(2): 110~116
- 13 Wan G J, Santschi P H, Sturm M et al. Natural (²¹⁰Pb, ⁷Be) and fallout (¹³⁷Cs, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ⁹⁰Sr) radionuclides as geochemical tracers of sedimentation in Greifensee, Switzerland[J]. Chemical Geology, 1987, 63: 181~196
- 14 Lerman A. Lakes: Chemistry, Geology, Physics [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 79~83
- 15 张家诚,张先恭,许协江. 中国近五百年的旱涝. 见:国家气象局气象科学研究院编. 气候科学技术集刊(4)[C]. 北京:气象出版社, 1983. 1~16

Sediment Particle Sizes and the Dry - Humid Transformation of the Regional Climate in Erhai Lake

CHEN Jing-an WAN Guo-jiang XU Jing-yi

(State Key Lab of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Abstract

As a main lodging of surface substances, lake sediments continuously and sensitively record information of regional climate and environment with annual to decadal resolution. The sediment core EH911208 - 3 - 5 with a length of 83cm was taken from deepwater location in Erhai Lake in 1991, using the sediment - water interface sampler specially designed by ourselves. The sediments were cut at intervals of 0.5~1.0cm and were measured for grain sizes by the Scanning Photo Sedimentograph "Analysette 20" made in Germany. Based on accurate dating by ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, the author reconstructs the dry - humid transformation history of the regional climate according to the vertical profile of sediment particle sizes, which provides a new effective way for recovering the century - scale climatic changes. The following conclusions are drawn:

(1) General environmental significance of sediment grain size should not be applied mechanically in reconstructing palaeoclimate. Only after concretely analyzing all the factors which affect sediment grain size, can credible conclusions be obtained during discussing different time - scales climate changes.

(2) During long time - scale studies, lake level is the most important factor dominating sediment grain size. Sediments are finer during the humid period of high water level because coarse particles can not be transported to the lake's deepwater part. On the contrary, during short time - scale studies within a given climate period, rainfall change in the drainage basin becomes the key factor determining sediment grain size because the lake level is basically constant. When rainfall is heavy, runoff flow is strong enough to bring coarse terrestrial particles to the sampling location, resulting in larger grain sizes.

(3) The 15th century was the driest in the region of Lake Erhai during the past 640 years. There exist two time - scales(100 and 200 years) climatic quasi - periodical changes. From the end of the last century, the regional climate has been becoming drier and drier as a whole. At present, it is at the end of the dry period, so the regional climate will become humid in near future.

Key words sediment grain size quasi - periodical changes dry - humid transformation Erhai Lake