

文章编号: 1000-0550(2010)04-0776-07

云南抚仙湖近现代环境变化的沉积物粒度记录^①

王小雷¹ 杨浩¹ 赵其国^{1,2} 王轶虹¹ 魏荣菲¹

(1. 南京师范大学地理科学学院 南京 210046; 2. 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 通过对云南抚仙湖沉积物柱芯样品的放射性核素²¹⁰Pb和¹³⁷Cs的测试,确定了过去129年的湖泊连续沉积序列。利用²¹⁰PbCRS计年模式,计算出每个样品深度所对应的年代,与¹³⁷Cs时标计年法比较存在一定的偏差,分析了两种计年方法存在差异性的原因。根据抚仙湖的湖区特点,对沉积物的粒度特征进行了分析。抚仙湖柱芯的粘土(<4 μm)、细粉砂(4~16 μm)和粗粉砂(16~63 μm)含量分别约占36%、44%和18%。粒度参数根据矩值法求得,平均粒径(ϕ 值)为6.48~7.92,分选系数 S_o 为1.27~1.42,偏度 SK_p 分布范围在-0.18~0.04之间。将整个柱芯的计年结果与粒度特征相结合,自1878年以来,抚仙湖的环境演化大致可以划分为4个阶段:自然演化阶段、人为扰动阶段、人为改造阶段、后期治理阶段。人类活动在特定的历史时期会对湖泊环境变化产生较大的影响。

关键词 放射性核素(²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs) 沉积物粒度 抚仙湖 人类活动

第一作者简介 王小雷 男 1982年出生 博士研究生 土壤侵蚀与湖泊沉积 E-mail: xlwang0718@163.com
中国分类号 X141 P512.2 文献标识码 A

0 前言

湖泊是湖盆、湖水、水中所含物质(矿物质、溶解质、有机质以及水生生物)所组成的自然综合体,并参与自然界的物质和能量循环。湖泊对气候的波动变化极为敏感,同时又是流域陆源物质的储存库,具有较高的沉积速率,能真实地记录湖区在较长的地质历史时期各种气候和其他环境变化的信息。湖泊沉积的连续性及其剖面保存的完整性,使它成为揭示湖区古气候和环境变化的指示器^[1]。沉积物的粒度特征是恢复过去古气候、古环境状况的一个重要代用指标。黄土的研究表明,其沉积物粒度值的大小是指示东亚冬、夏季风气候变化的良好代用指标^[2];对深海沉积物的研究也揭示了沉积物各组分含量的高低,可以度量洋流速度大小以及搬运能力^[3];已有的湖泊沉积学研究也表明,在长时间尺度、低分辨率沉积中,湖泊沉积物粒度反映了湖面的收缩和扩张,湖区气候的干湿变迁等信息;在短时间尺度、高分辨率研究中,粗粒沉积物指示降雨量较大的湿润年份,细粒沉积物则指示降雨量相对较少的干旱年份^[4]。本文通过对云南抚仙湖粒度指标的研究,结合环境放射性核素(²¹⁰Pb和¹³⁷Cs)计年法确定的沉积年代,探讨了特定的历史时期人类活动干扰下的湖泊环境变化响应。

1 材料与方法

1.1 抚仙湖自然概况

抚仙湖是我国第二大深水湖^[1],属云南省玉溪市辖区,跨澄江、江川、华宁3县。抚仙湖海拔高度1721 m,流域面积212 km²,最大水深为157.3 m,平均水深87 m,平均容水量189.3×10⁸ m³。最宽处11.5 km、最窄处3.2 km,湖南北向长31.5 km,东西向平均宽度6.7 km,呈狭长状葫芦型。抚仙湖属珠江流域南盘江水系,湖区四面环山,沿湖有尖山河、东大河、西大河和梁王河等20多条大小溪流汇入湖中,湖东岸海口河为唯一的出水口,西南方向有条长1.0 km,落差1.0 m的隔河与星云湖相连,属半封闭高原湖泊。抚仙湖流域常年平均气温15.6℃,年平均蒸发量1752 mm,年平均无霜期273 d,雨季旱季分明,其中83%降雨量集中在雨季5~10月,湖水主要补给除雨季湖四周河流沟溪水汇集外,少部分由地下水补充。抚仙湖具有饮用水源、渔业、工农业用水、旅游等功能,是当地经济发展的重要基础。

20世纪80年代以来,湖泊流域工、农、旅游业迅速发展,工业布局以磷化工、食品、造纸、钢铁、机械、有色金属、煤炭等生产为主。大量工业废水、农业退水和生活污水流入湖中,湖泊水质受到人为污染严

^①国家自然科学基金项目(批准号:40873071)、江苏省高校自然科学研究重大项目(批准号:09KJA170002)以及南京师范大学优秀博士学位论文培育基金项目(编号:1243211601039)资助。
收稿日期:2009-07-05; 收修改稿日期:2009-08-26

重, 抚仙湖已经面临富营养化的严重威胁^[5]。

1.2 样品的采集与分析

2007年10月, 使用奥地利产的聚丙烯筒式沉积物取样器(内径6 cm)采集抚仙湖沉积物柱芯, 采得沉积物柱芯34 cm(其中上覆水约15 cm, 沉积物底泥约19 cm)(图1), 悬浮层未受扰动, 界面水清澈, 采样后带回实验室放入超低温冰箱里冷冻(温度设置为 -50°C , 时间为48 h), 用自制的样品切割机按照0.5 cm的间距截分沉积物样品, 称湿重。然后将样品风干, 研磨, 过100目筛, 105°C 下烘干至恒重。称取10 g左右样品放入同一规格的塑料容器, 蜡封一个月目的是使 ^{226}Ra 与 ^{210}Pb 处于永久衰变平衡体系, 然后测定放射性核素 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的含量, 测试仪器为美国EG&GORTEC公司生产的高纯锗探测器、数字化谱仪及多通道分析系统。其中 ^{137}Cs 的比活度分别由661.6 keV处的 γ 射线谱峰面积获得, $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度为 ^{210}Pb 的比活度与 ^{226}Ra 比活度的差值。 ^{210}Pb 的比活度由46.5 keV γ 射线谱峰面积求算, ^{226}Ra 比活度根据 ^{214}Pb 的谱峰面积(351.9 keV)求算, 半衰期极短的 ^{214}Pb 是 ^{226}Ra 的衰变产物。其中 ^{137}Cs 和 ^{226}Ra 标准样品由中国原子能研究所提供, ^{210}Pb 标准样品由英国利物浦大学提供的标准样品做对比标准。

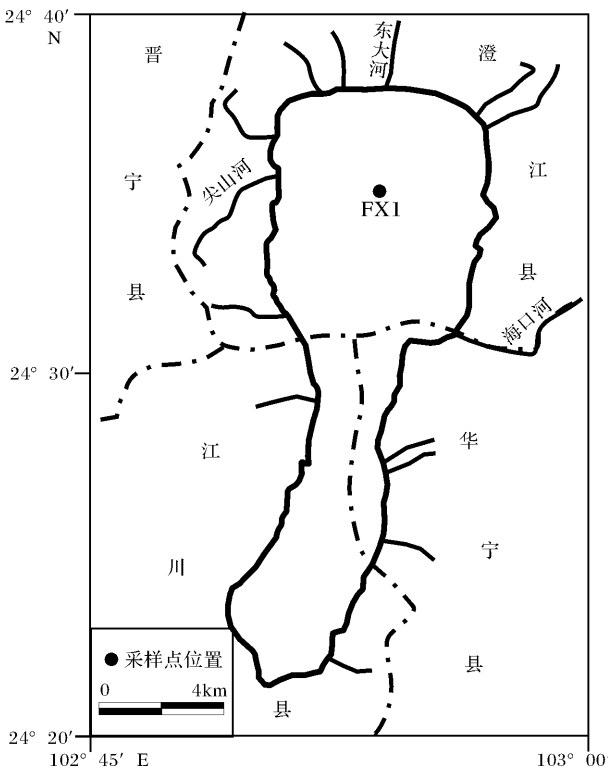


图1 采样点位置图

Fig. 1 Map of the sampling site

称取干样0.05~0.10 g放于100 ml的小烧杯中, 加入10%的双氧水(H_2O_2) 10 ml并加热去除样品中的有机质, 待充分反应至过量的双氧水完全分解后, 再加入10%的盐酸5 ml去除碳酸盐及有机质胶结物(主要是钙质胶结物), 反应完全后加入蒸馏水至100 ml, 静置12 h, 抽取上清液, 反复3~4次, 洗去过量的盐酸使溶液趋于中性, 最后加入2%的分散剂六偏磷酸钠10 ml, 摇匀后置于超声波振荡器15 min, 形成高分散的颗粒悬浮液供测定。用英国Malvern公司生产的Mastersizer2000型激光粒度仪进行测量, 测量范围为0.02~2000 μm , 粒径分辨率为0.1 μm , 重复测量的相对误差 $<1\%$ 。

所有样品测试分析均在南京师范大学地理科学学院江苏省环境演变与生态建设重点实验室完成。

2 结果与讨论

2.1 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 的垂直分布与计年

沉积物在沉积后受上覆水及上层沉积物压实作用的影响, 其孔隙度会发生改变, 下层沉积物容重大于上层^[6], 使得相同质量的沉积物在表层的厚度与在沉积物底层的厚度有所不同, 即使两年份实际入湖泥沙量相同, 年份在前的泥沙沉积厚度也小于年份在后的沉积厚度, 即仅由实际厚度表示的沉积速率会与实际情况有较大误差。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/cm^2 , 用它可以校正沉积物的孔隙度变化, 提高计年结果的精确性, 因此本研究统一用质量深度(g/cm^2)代替深度(cm)更适合描述实际沉积状况。

图2给出了抚仙湖柱芯FX1的 ^{137}Cs 和 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的垂直分布。从图2b可知, 质量深度为 $2.769 \text{ g}/\text{cm}^2$ (深度为8.5 cm)、 $1.663 \text{ g}/\text{cm}^2$ (深度为6 cm)和 $0.814 \text{ g}/\text{cm}^2$ (深度为4 cm)处出现了三个明显的 ^{137}Cs 蓄积峰, 其峰值分别对应于全球曾经发生的3次较大规模的核事件。其中1963年蓄积峰是全球核素散落沉降的产物, 是全球公认的沉积峰值; 而1975年的次级蓄积峰, 推测是由中国大气核试验造成的。中国核试验始于1964年10月, 尤其是20世纪60年代末与70年代中期为中国大气核试验集中时期^[7], 虽然中国核试验总次数远不及美、苏^[8], 对世界范围 ^{137}Cs 的贡献也有限, 但不排除成为局部地区 ^{137}Cs 沉积的重要来源的可能性。张燕^[9]等对滇池流域 ^{137}Cs 沉降受20世纪70年代中国大气核试验影响较大作了详细的报道。云南的洱海^[10]、程海^[11]、滇池^[9]和属

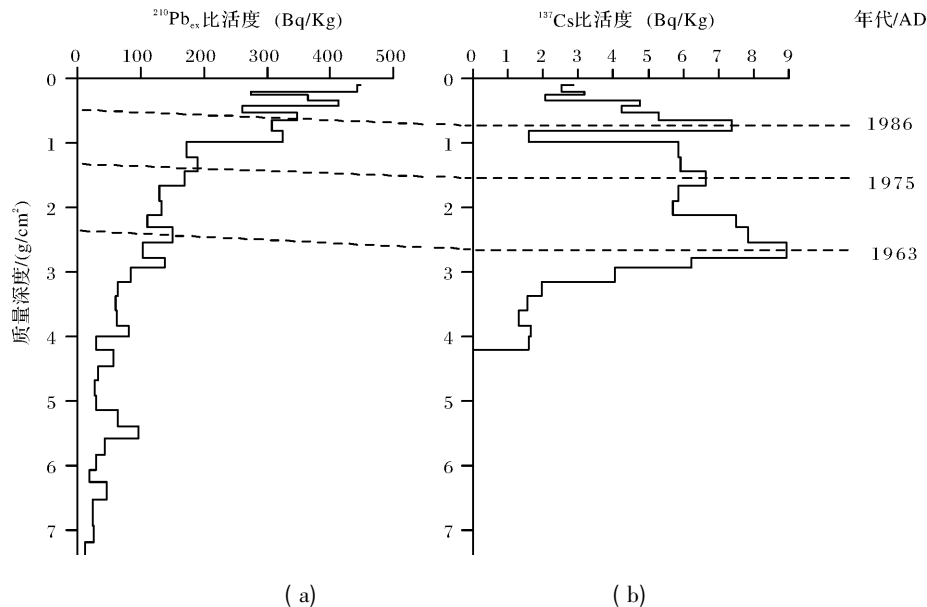


图2 抚仙湖沉积物柱芯 FX1 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 和 ^{137}Cs 的垂直剖面

Fig. 2 The vertical profiles of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and ^{137}Cs in Fuxian Lake

都湖^[12]、贵州的红枫湖^[10]等均有明显的1975年 ^{137}Cs 蓄积峰,研究区距离滇池流域和上述几个研究区较近,因此将质量深度为1.663 g/cm^2 (深度为6.0 cm)处 ^{137}Cs 蓄积峰作为1975年的辅助定年时标是可信的。另外质量深度为0.814 g/cm^2 处所标识的1986年蓄积峰可能与前苏联的切尔诺贝利核泄漏事故有关。

从图2a可以看出沉积物柱芯FX1的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 比活度总体上呈不规则的锯齿状波动,根据 ^{210}Pb CRS模式计年原理,可以得出各时段的沉积速率和相应的沉积年代,由此推算出该柱芯最底层所对应的年代为1878年,并且得到抚仙湖自1878到2007年的平均沉积速率为0.057 $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。根据 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 所确定的年代序列(图2),发现质量深度为2.769 g/cm^2 (深度为8.5 cm)、1.663 g/cm^2 (深度为6 cm)和0.814 g/cm^2 (深度为4 cm)所对应的年代分别为1959年、1972年和1984年,与 ^{137}Cs 计年法在相同质量深度(深度)所确定的年代出现了一定的偏差。分析其原因可能有两个方面:1) ^{210}Pb 计年法要求比较严格,只有在尽量不受干扰的情况下才可能真实反映沉积速率,但抚仙湖作为当地的风景区,一定程度上可能受到自然界和当地人类活动的干扰,而且沉积物中 ^{210}Pb 的活性较弱, ^{210}Pb 从大气沉降到湖底的过程和实验分离提纯中仅用 γ 谱仪进行简单处理的无损坏测定,而不是用 α 谱仪的化学方法测定,因此存

在的干扰因素也可能较多,尤其是处于沉积物—水界面以及界面附近存在着强烈的Fe、Mn循环,沉积物界面上非碳酸盐相铅可能转移到可溶性碳酸盐中,并通过孔隙水产生扩散迁移,沉积后的再迁移与Fe有关,造成 ^{210}Pb 发生沉积后扩散再迁移过程^[13-15]。2) ^{137}Cs 是大气核试验和核事故的产物,在湖水中具有较高的溶解度和活性,由于潮流、波浪的扰动作用, ^{137}Cs 解析作用显著,造成了 ^{137}Cs 的再迁移和重新分布,使 ^{137}Cs 出现在比预期更深的层段,但也有学者认为这种作用并不影响最大值层位^[15]。另外,朱立平^[16]等对西昆仑山南红山湖的研究也发现 ^{137}Cs 具有向下垂直迁移的现象。

2.2 沉积物的各粒级含量与粒度参数

粒度组成是表述碎屑类沉积物特征的重要指标之一,可以追溯沉积物形成的力学性质、物质来源、输送介质和沉积环境等,但国内外所运用的粒度标准并不统一。本文按照粒径大小将抚仙湖沉积物柱芯分成粘土($<4 \mu\text{m}$)、细粉砂($4 \sim 16 \mu\text{m}$)和粉砂($16 \sim 63 \mu\text{m}$)三个等级,其中粘土、细粉砂和粗粉砂百分含量分别占约36%、44%和18%(图3)。其中中值粒径与粉砂含量变化一致。不同粒径的百分含量反映不同的沉积环境,砂的含量高说明沉积环境不稳定,水动力条件强;粘土的含量高表示沉积环境稳定,水动力条件较弱。极细颗粒的粘土物质要求湖泊水体基本上保持平静,比如湖泊水位较深且湖面结冰时间

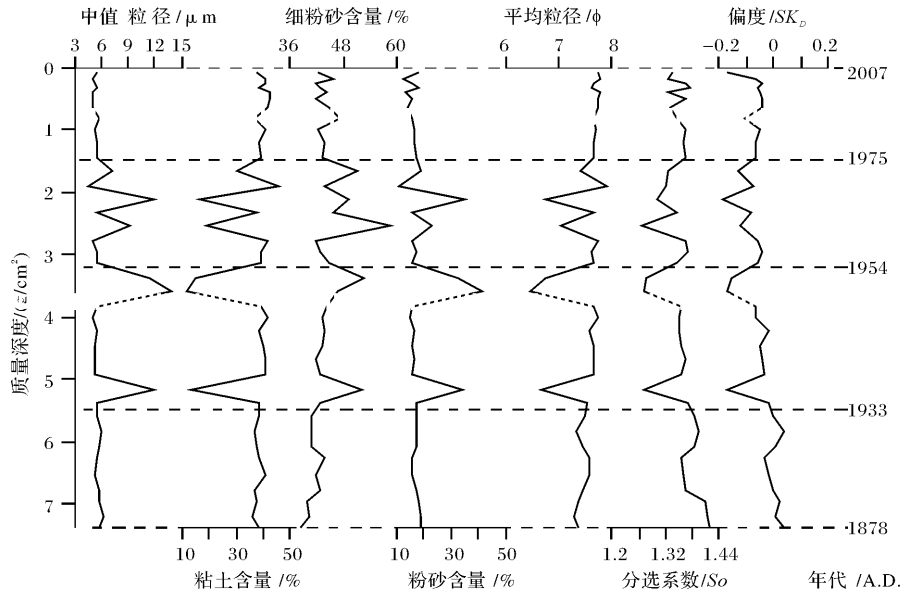


图3 抚仙湖柱芯各组分百分含量和粒度参数

Fig. 3 Percentage of clay ($<4\ \mu\text{m}$), silt ($4\sim 16\ \mu\text{m}$) and sands ($16\sim 64\ \mu\text{m}$) and grain size parameters in the Fuxian Lake core

较长^[17, 18]。

对沉积颗粒的水力学研究表明,沉积物的粒度组成与搬运营力、搬运距离和水动力条件有关,因此,可以通过分析沉积物的粒度组成来推断其形成环境^[19, 20]。湖泊沉积物粒度的大小与湖水的能量级别有关,湖水能量越大,沉积物粒度越大;相反湖水越稳定,能量越小,沉积物越细。对同一点来说,湖水越浅,能量越大,沉积物粒度就越大;湖水越深,能量就越小,沉积物越细^[21]。

粒度参数包括平均粒径、分选系数、偏度和峰态,文中粒度参数均采用矩值法计算分析,其具体算法参考文献^[22]。平均粒径代表粒度分布的集中趋势,反映了沉积介质的平均动能。抚仙湖的平均粒径 ϕ 值在 $6.48\sim 7.92$ 之间,属粉砂质粘土,可能是由于采样点湖水较深,湖水动能较弱的缘故。分选系数越大,其分选程度越差,颗粒越不均匀,反映了较强的水动力条件分选系数提供了沉积物粒度相对于均值散布远近的信息,其值越大,说明颗粒分布范围越大,其值越小说明颗粒的分布越集中^[22]。分选系数 S_o 是用于衡量沉积物的分选程度,值越大则分选性越差,值越小则分选性越好,与沉积物的平均粒径呈正相关关系。作为我国第二大深水湖,抚仙湖的分选系数 S_o 变化范围在 $1.27\sim 1.42$ 之间,按照 S_o 的分级表,其分选度的等级为好,说明抚仙湖的沉积物粒径变化主要受细粉砂颗粒物输入量控制。偏度 SK_D 反映了

曲线的对称程度,正态分布的偏度为零,正偏差表明在频率曲线上细颗粒较多,而负偏差表示粗颗粒偏多。抚仙湖沉积物柱芯的偏度变化范围在 $-0.18\sim 0.04$ 之间,按照偏度的分级划分标准属负偏和近对称,即抚仙湖沉积物的粒度多集中于细端部分。

2.3 沉积物粒度反映的环境意义

结合上述沉积物定年结果和粒度结果(图2和图3),将抚仙湖沉积物粒度所反映的环境意义大致可分为4段:

第一段为质量深度 $7.366\sim 5.382\ \text{g}/\text{cm}^2$ 之间(1878~1933年),中值粒径和平均粒径最为平稳,平均粒径 ϕ 变化范围为 $7.30\sim 7.59$ 之间,粘土和细粉砂含量较高,分别为39%、43%,粗粉砂的含量较低,仅为18%。分选系数为 $1.34\sim 1.42$,分选性好,偏度为 $-0.08\sim 0.04$,属近对称。此段时期抚仙湖的基本状况为湖面宽阔,湖水清洁,湖泊流域植被发育好,水土流失轻微,湖区人口稀少,基本上未对湖泊构成大的扰动,湖泊生态处于原始自然状态,沉积环境比较稳定,未见强烈的干扰事件。

第二段为质量深度 $5.382\sim 3.150\ \text{g}/\text{cm}^2$ 之间(1933~1954年),平均粒径 ϕ 在该段值较高且变化幅度较大,有两个低值点和一段高值区。两个低值点的沉积年代分别对应于1936年和1949年,高值区位于1936~1949年之间。分选系数 S_o 和偏度 SK_D 相应地出现两个低值点和一段高值区。该段时期我们

国家处于抵抗外来侵略者的斗争中,生态环境遭到很大程度的破坏,再加上抚仙湖水位的大幅下降,湖泊大面积萎缩,大量生物栖息场所被毁,湖岸侵蚀加剧导致高速的充填淤塞,沉积物粒度增大。同时由于湖区人口增多^[23],对周围环境开始产生一定的抑制作用,说明抚仙湖的沉积环境很不稳定,湖泊沉积速率出现较大的波动性。

第三段为质量深度 3.150 ~ 1.434 g/cm² 之间(1954 ~ 1975 年),平均粒径 ϕ 变化范围为 1.27 ~ 1.37 之间,存在三个峰值和两个谷值,沉积物的粒度变化出现强烈的振荡特征。分选系数 S_o 和偏度 SK_D 也出现较大的波动。该段时期也是湖泊环境变化最剧烈的时期,人们不顾客观规律,肆意改造开发湖泊。其中质量深度为 2.93 ~ 3.15 处,对应于年代为 1954 ~ 1956 年,这可能与 1956 年开凿隔河,星云湖再度放水有关^[24],因抚仙湖与星云湖仅一河之隔,导致抚仙湖水位相应上升,同时也带去大量的颗粒物,造成抚仙湖的平均粒径增大。随后的“大跃进”、“大炼钢铁”和大规模的“农田改造”使森林植被遭到巨大破坏,水土流失加剧,反映出沉积环境的急剧变化。再加上破坏力大的文化大革命运动和农业学大寨运动,湖泊四周山坡毁林开荒,森林覆盖率急剧下降,造成泥沙入湖量增加。

第四段为质量深度 1.434 ~ 0 g/cm² 之间(1975 ~ 2007 年),平均粒径 ϕ 变化范围为 7.61 ~ 7.78,没有出现大幅度的波动,仅存在缓慢增大的趋势。分选系数 S_o 和偏度 SK_D 变化趋势也近于平缓。80 年代以后,乡镇企业的蓬勃发展,沿湖人口的增多,是抚仙湖的又一劫难。排入湖泊的工业废水、农业废水和生活污水大幅增加,严重污染了抚仙湖的水质。此外,抚仙湖流域蕴藏着丰富的磷矿资源,自 1984 年以来,抚仙湖流域开展了大规模的磷矿开采和磷化工开发,创造了较好的经济效益,同时也造成了磷矿开发严重的生态破坏和流域性环境污染,直接危及抚仙湖^[25]。抚仙湖流域磷矿开采区内矿渣废弃低的土壤抗蚀性差,水土流失极为严重^[26,27],在一些人口集中的景区近岸带,水质已下降为Ⅲ类^[28]。从抚仙湖当前现状来看,环境保护与治理力度远远小于旅游开发力度,旅游业的发展与环境承载力矛盾也显得日趋突出。20 世纪 90 年代以来,随着退耕还林、还草工程的实施以及可持续发展思想的提出,抚仙湖流域的生态环境得到了改善,森林覆盖率增加,土壤侵蚀有所缓和,但整体上仍不能抑制人类的强烈活动带来的影响,以

至于抚仙湖沉积物粒径呈现缓慢增大的趋势。

3 结论

云南抚仙湖沉积物柱芯受到生物与机械扰动较弱,存在 1963 年、1975 年和 1986 年三个完整的¹³⁷Cs 蓄积峰,对抚仙湖的现代沉积环境有明显的时标意义。结合²¹⁰PbCRS 计年模式计算出该柱芯的最大深度处对应的年代为 1878 年,由此可以得到抚仙湖 1878 ~ 2007 年的平均沉积速率为 0.057 g/cm² · a⁻¹。二者在计年结果上存在一定的偏差,分析原因可能是²¹⁰Pb 沉积后扩散再迁移或¹³⁷Cs 向下垂直迁移的结果造成的。结合沉积物的垂直剖面的粒度分析,相应历史时期强烈的人类活动(围湖造田、砍伐森林等)是影响抚仙湖沉积环境的一个重要因素。鉴于湖泊沉积物具有时标连续、分辨率高和信息灵敏等特点,加强湖泊沉积记录的研究将对提取过去的短尺度气候和环境信息,评价当前环境质量以及预测未来几十年内的环境变化趋势有着十分重要的意义。

致谢 徐从安、刘磊、林加加、桑利娟等协助采集样品;陈劲松、涂华、杨本俊、戎静、王琳贤等协助样品测试,在此一并感谢。

参考文献(References)

- 1 王苏民,龚鸿身,主编. 中国湖泊志 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 374-377 [Wang Sumin, Dou Hongshen, eds. *Memoirs of Lakes in China* [M]. Beijing: Science Press, 1998: 374-377]
- 2 Ding Zhongli, Yu Zhiwei, Rutter N W, et al. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1994, 13: 39-70
- 3 Giancarlo G Bianchi, Nicholas McCave I. Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland [J]. *Nature*, 1999, 397: 515-517
- 4 陈敬安,万国江,张峰,等. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录——以沉积物粒度为例 [J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(6): 563-568 [Chen Jingan, Wan Guojiang, Zhang Feng, et al. Sedimental record of lake in different time scale: Evidence from grain-size analysis [J]. *Science in China: Series D*, 2003, 33(6): 563-568]
- 5 李荫玺,刘红,陆娅,等. 抚仙湖富营养化初探 [J]. 湖泊科学, 2003, 15(3): 285-288 [Li Yinxi, Liu Hong, Lu Ya, et al. Preliminary study on eutrophication in Fuxian Lake [J]. *Journal of Lake Science*, 2003, 15(3): 285-288]
- 6 师长兴,尤联元,李炳元,等. 黄河三角洲沉积物的自然固结压实过程及其影响 [J]. 地理科学, 2003, 23(2): 175-181 [Shi Changxing, You Lianyuan, Li Bingyuan, et al. Natural consolidation of deposits and its consequences at the Yellow River delta [J]. *Science Geographica Sinica*, 2003, 23(2): 175-181]
- 7 Editorial Board of Science Yearbook, ed. *China Encyclopedia Year-*

- book [M]. Beijing: Eccyclopedia of China Publishing House, 1980: 645-653
- 8 Editorial Board of Science Yearbook, ed. Science Yearbook [M]. Shanghai: Shanghai Translation Publishing Corporation, 1992: 2-37
- 9 张燕, 彭补拙, 陈捷, 等. 借助¹³⁷Cs 估算滇池沉积量 [J]. 地理学报, 2005, 60(1): 71-78 [Zhang Yan, Peng Buzhuo, Chen Jie, *et al.* Evaluating amount of sediment accumulation of Dianchi Lake using ¹³⁷Cs dating [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1): 71-78]
- 10 万国江. 现代沉积年分辨率的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 [Wan Guojiang. ¹³⁷Cs dating by annual distinguish for recent sedimentation: samples from Erhai Lake and Hongfeng Lake [J]. Quaternary Sciences, 1999, 1: 73-80]
- 11 胥思勤, 万国江. 云南省程海现代沉积物中²¹⁰Pb、¹³⁷Cs 的分布与计年研究 [J]. 地质地球化学, 2001, 29(4): 28-31 [Xu Siqin, Wan Guojiang. Vertical distribution of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb and their dating in modern sediments of Chenghai Lake, Yunnan Province [J]. Geology-geochemistry, 2001, 29(4): 28-31]
- 12 姚远, 张恩楼, 沈吉, 等. 云南属都湖流域人类活动的湖泊沉积响应 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(5): 115-120 [Yao Yuan, Zhang Enlou, Shen Ji, *et al.* Human activities indicated by lacustrine deposition in the region of Shudu Lake [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2007, 27(5): 115-120]
- 13 万国江. 现代沉积的²¹⁰Pb 计年 [J]. 第四纪研究, 1997, 17(3): 230-239 [Wan Guojiang. ²¹⁰Pb dating for recent sedimentation [J]. Quaternary Sciences, 1997, 17(3): 230-239]
- 14 徐经意, 万国江, 王长生, 等. 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 [Xu Jinyi, Wan Guojiang, Wang Changsheng, *et al.* Vertical distribution of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs and their dating in recent sediments of Lugu Lake and Erhai Lake, Yunnan Province [J]. Journal of Lake Science, 1999, 11(2): 110-116]
- 15 潘少明, 朱大奎, 李炎, 等. 河口港湾沉积物中的¹³⁷Cs 剖面及其意义 [J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 67-71 [Pan Shaoming, Zhu Dakui, Li Yan, *et al.* Cs-137 profile in sediments in estuaries and its application in sedimentology [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 67-71]
- 16 Zhu Liping, Chen Ling, Li Bingyuan, *et al.* Environmental changes reflected by the lake sediments of the South Hongshan Lake, Northwest Tibet [J]. Science in China: Series D, 2002, 45(5): 430-439
- 17 莱尔曼 A. 湖泊的化学地质学和物理学 [M]. 王苏民, 等译. 北京: 地质出版社, 1989 [Lerman A. The Lacustrine Chemistry, Geology and Physics [M]. Translated by Wang Sumin, *et al.* Beijing: Geological Publishing House, 1989]
- 18 殷勇, 方念乔, 王倩. 云南中甸纳帕海湖泊沉积物的磁化率及环境意义 [J]. 地理科学, 2002, 22(4): 413-419 [Yin Yong, Fang Nianqiao, Wang Qian. Magnetic susceptibility of lacustrine sediments and its environmental significance: evidence from Napahai lake, northwestern Yunnan, China [J]. Science Geographica Sinica, 2002, 22(4): 413-419]
- 19 Folk R M and Ward W C. A study in significance of grain size parameters [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27: 3-27
- 20 Glasier R P, Nelson H W. Grain size distribution and aid in facies identification [J]. Bulletin of Petroleum Geology, 1975, 22(3): 203-240
- 21 类延斌, 张成君, 尚华明, 等. 青藏高原东北部希门错湖岩心粒度特征及其环境意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(3): 31-38 [Lei Yanbin, Zhang Chengjun, Shang Huaming, *et al.* The grain size characteristics of Ximencuo Lake core in the northeast Tibet Plateau and its environmental significance [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2006, 26(3): 31-38]
- 22 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物) 粒度分析及其应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1978: 44-54 [Shanbei Group, Geology of Chengdu. Grain Size Analysis of Sediment and Their Applications [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 44-54]
- 23 张世涛, 冯明刚, 李荫玺. 近现代星云湖的环境变化与生态对策 [M]. 北京: 地质出版社, 2007: 82-84 [Zhang Shitao, Feng Minggang, Li Yinxi. Environmental Change and Ecological Response in Modern Xingyun Lake [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 82-84]
- 24 云南省史志编撰委员会. 中华人民共和国地方志丛书, 江川县志 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1994: 80-110 [Annals Compilation Committee of Yunnan Province. People's Republic of China Chorography Series, Jiangchuan County Annals [M]. Kunming: Yunnan People's Press, 1994: 80-110]
- 25 冯慕华, 潘继征, 柯凡, 等. 云南抚仙湖流域废弃磷矿区水污染现状 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(6): 766-772 [Feng Muhua, Pan Jizheng, Ke Fan, *et al.* Water pollution of post-mined lands in Lake Fuxian watershed in Yunnan Province [J]. Journal of Lake Science, 2008, 20(6): 766-772]
- 26 张建萍, 杨树华, 王宝荣. 抚仙湖流域磷矿区主要植物群落水土保持效应研究 [J]. 西部林业科学, 2004, 33(2): 76-80 [Zhang Jianping, Yang Shuhua, Wang Baorong. Study of soil and water conservation effect of main plant groups at phosphorite mining areas in watershed of Fuxian Lake [J]. Journal of West China Forestry Science, 2004, 33(2): 76-80]
- 27 杨礼攀, 王宝荣, 杨树华. 抚仙湖流域磷矿开采废弃地植物群落演替的研究 [J]. 西部林业科学, 2004, 33(1): 94-100 [Yang Lipan, Wang Baorong, Yang Shuhua. Succession of plant community on phosphate mining wasteland in Fuxian watershed of Yunnan [J]. Journal of West China Forestry Science, 2004, 33(1): 94-100]
- 28 张秀敏, 戴丽, 王志芸. 抚仙湖流域生态系统结构与功能分析 [J]. 环境科学导刊, 2007, 26(6): 54-57 [Zhang Xiumin, Dai Li, Wang Zhiyun. Analysis of ecological system structure and function in Fuxian Lake basin [J]. Environmental Science Survey, 2007, 26(6): 54-57]

Recent Environmental Change Inferred from Grain-Size Records in Fuxian Lake , Yunnan Province

WANG Xiao-lei¹ YANG Hao¹ ZHAO Qi-guo^{1,2} WANG Yi-hong¹ WEI Rong-fei¹

(1. College of Geography Science , Nanjing Normal University , Nanjing 210046;

2. Institute of Soil Science , Chinese Academy of Sciences , Nanjing 210008)

Abstract ^{210}Pb and ^{137}Cs were used to analyze for the Fuxian Lake sediment core. ^{210}Pb (CRS) dating result showed a little deviation from ^{137}Cs dating , and two reasons were investigated. According to the feature of Fuxian Lake , we analyzed the grain size characteristics and obtained the content of the core , which contained 36% of clay , 44% of fine sand and 18% of coarse sand. By calculation , the different grain-size parameters were also obtained , the mean grain diameter (ϕ) was between 6.48 and 7.92 , the standard deviation (S_o) was between 1.27 and 1.42 , and the skewness (SK_D) was between -0.18 and 0.04. Based on radionuclide dating and grain-size distribution characteristics in the sediment core , we concluded a sedimentary environment in Fuxian Lake had been greatly changed since 1878 , which can be marked off four stages: natural evolution stage , man-made disturbances stage , man-made transformation stage , and recent treatment stage. Human activities of historical period had played a very important role in changing the environment of the Lake.

Key words radionuclide dating(^{210}Pb and ^{137}Cs) ; grain-size; Fuxian Lake; human activities