

西藏羊卓雍错沉积物沉积速率的测定

周田^{1,2}, 蓝江湖³, 赵志琦⁴, 张红梅⁵, 马丽⁵, 郭建阳^{1,*}

(1. 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 550081; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院地球环境研究所, 西安 710061; 4. 长安大学 地球科学与资源学院, 西安 710054;
5. 西藏自治区山南市生态环境局, 西藏 山南 856100.)

摘要: 利用²¹⁰Pb和¹³⁷Cs测定了西藏羊卓雍错湖泊沉积物的沉积速率。结果表明,羊卓雍错湖心和北部湖区沉积柱中的¹³⁷Cs都只有一个蓄积峰。假定对应的时标为1963年,据此得出的沉积物累积率分别为0.014 5 g/(cm²·a)和0.025 2 g/(cm²·a),对应的年均沉积速率分别为0.041 cm/a和0.068 cm/a;而²¹⁰Pb的结果显示,羊卓雍错湖心和北部湖区的沉积物累积率分别为0.014 6 g/(cm²·a)和0.014 7 g/(cm²·a),对应的年均沉积速率分别为0.040 cm/a和0.041 cm/a。²¹⁰Pb和¹³⁷Cs的定年结果在北部湖区的定年结果差别较大,很可能是由于湖水在北部湖区的渗漏,导致沉积物中Cs的纵向迁移造成的。

关键词: 沉积速率; ²¹⁰Pb; ¹³⁷Cs; 年代学; 羊卓雍错

中图分类号: P512.2 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2020)02-0197-06 doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2020.48.040

湖泊沉积物是湖泊及其流域环境变化的重要载体,其中包含了大量的环境变迁和演化的信息^[1]。湖泊沉积速率的测定、推断沉积年代的序列是研究现代环境变化的一个重要步骤和前提,对研究湖泊的形成与演化、区域乃至全球的环境变化等都具有重要意义^[2-3]。测定近代环境沉积速率最常用的核素是自然成因的放射性核素²¹⁰Pb和人为成因的放射性核素¹³⁷Cs。二者的定年原理尽管不一样,但都被认为是近代环境定年的有效工具并已广泛用于湖泊沉积物沉积速率的研究^[3-5]。此外,同时利用²¹⁰Pb和¹³⁷Cs进行沉积年代的测定,其结果还可相互校验,以便获取更可靠的沉积速率^[6-7]。关于羊卓雍错流域的沉积速率,实际上已有相关的研究工作^[8]。出于不同的研究目的,该研究将两个采样点均设置在受流域物质输入影响较大的位置,但这些点不能真实反映羊卓雍错本体沉积速率的大小。因此,本研究在羊卓雍错湖体本身设置代表性点位(湖心和北部湖区),采用²¹⁰Pb和¹³⁷Cs相结合的方法,测定西藏羊卓雍错的沉积年代序列,计算了羊卓雍错沉积物的沉积速率,以期对羊卓雍错的环境保护和可持续发展研究提供支持。

1 羊卓雍错概况

羊卓雍错位于西藏山南市浪卡子县境内,是喜马拉雅山北麓最大的封闭型内陆咸水湖^[9]。资料显示,羊卓雍错水位平均海拔4 439 m,流域面积6 100 km²,储水量约160×10⁸ m³^[10-11]。主要补给河流自东向西有嘎马林河、卡洞加曲、曲清河、香达曲、浦宗曲、牙间曲、卡鲁雄曲等^[12]。近几十年来,流域内年均气温持续上升^[11],而降雨量没有明显变化^[13],导致羊湖水位持续下降,湖面面积也呈波动下降的趋势,目前只有600 km²左右^[14]。

2 采样与分析

使用自重式采样器(内径6.0 cm、长度80 cm),于2018年7月在羊卓雍错湖心(28°56′1.1″N, 90°40′24.1″E,柱-C)和北部湖区(29°10′26.6″N, 90°34′12.8″E,柱-N)各采集了一个湖泊沉积柱柱芯,柱芯长度分别为34 cm和30 cm。沉积物柱取出水面时界面清晰、表层沉积物未受扰动。沉积柱在现场以0.5 cm的间距进行切割,获得沉积柱样品于离心管中冷藏保存。运回实验室后冷冻干燥,用玛瑙研

收稿日期: 2019-09-16; 改回日期: 2019-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(41877406、91647205和41661144042)。

第一作者简介: 周田(1993-),女,硕士研究生,主要研究方向为环境地球化学。E-mail: zhou.tian@mail.gvic.ac.cn

* 通讯作者: 郭建阳(1972-),男,博士,研究员,研究方向为环境地球化学。E-mail: guojianyang@vip.skleg.cn

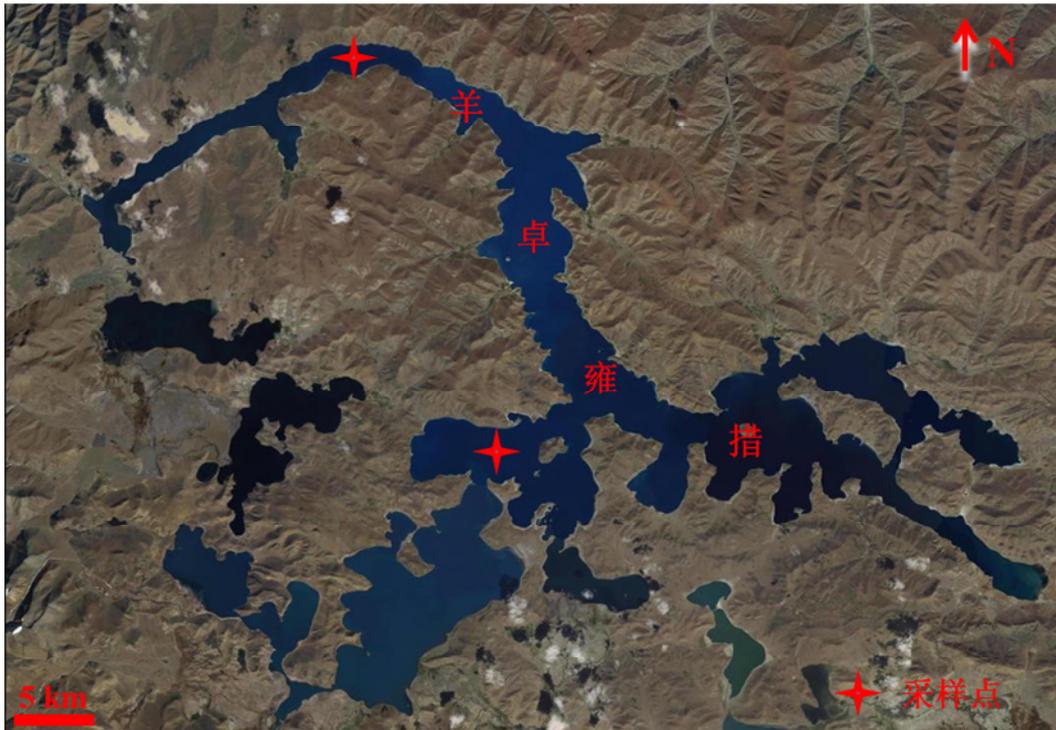


图1 采样图

Fig.1 Map of the sampling sites

钵研磨过 100 目筛后备用。

样品测定在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完成。测试方法如下^[15]: 样品装入有机玻璃圆柱形盒内(Φ101 mm×5 mm)密封放置 25 d 后用美国 Ortec 生产的多通道低本底高纯锗伽马能谱仪(HPGe, GWL-250-15)进行测试。²¹⁰Pb、¹³⁷Cs 比活度分别由能谱中能量为 46.5 KeV、661.6 KeV 的 γ-射线计数获得, 过剩²¹⁰Pb (²¹⁰Pb_{ex}) 活度为总²¹⁰Pb 减去补偿²¹⁰Pb 活度。测定时间为 22~24 h, 测试误差<10%, 在 99% 置信度上测量下限为 0.1 Bq/kg。

3 测年原理

3.1 ¹³⁷Cs 法

人为成因的放射性核素¹³⁷Cs 是核裂变的重要产物。核试验产生大量的¹³⁷Cs 经大气沉降后进入水体, 被水体中的悬浮物吸附并沉降到水体底部^[3]。始于上世纪 50 年代的核试验使¹³⁷Cs 广泛散布到全球环境。全球大规模核试验集中于 1961~1963 年, 相应的¹³⁷Cs 沉降在北半球的峰值出现在 1963 年。1986 年前苏联切尔诺贝利核事故使欧亚很多地区的沉积物在对应的时间都能测到¹³⁷Cs 的峰值。由于核试验散落的¹³⁷Cs 有明显的时序性,

使¹³⁷Cs 在沉积物中的峰值可作为计年的有效时标。因此, 利用¹³⁷Cs 蓄积峰所在的位置即可推算出沉积物的平均沉积速率^[3]。

3.2 ²¹⁰Pb 法

湖泊沉积物中²¹⁰Pb 主要有两个来源: 一部分是以大气沉降的形式蓄积在沉积物中形成的, 称为过剩的²¹⁰Pb(²¹⁰Pb_{ex}); 另一部分是湖泊沉积物蓄积的²²⁶Ra 原位衰变生成的, 称为补偿的²¹⁰Pb(²¹⁰Pb_{sup})^[3]。实际测定的²¹⁰Pb 要扣除²¹⁰Pb_{sup}(可通过测量²²⁶Ra 获得)后才能得到²¹⁰Pb_{ex}。根据湖泊沉积柱中不同深度样品的²¹⁰Pb_{ex} 比活度, 便可计算湖泊沉积柱的沉积速率。²¹⁰Pb_{ex} 定年的常用模式主要有 CIC 模式(恒定初始浓度模式)、CRS 模式(恒定通量模式)和 CFCS 模式(恒定通量和沉积速率模式)。实际采用何种模式, 柴社立等^[3]对此有过系统的阐述。

4 结果与讨论

4.1 ¹³⁷Cs 分布及计年

羊卓雍措沉积柱中¹³⁷Cs 比活度随深度的变化如图 2 所示。由于两个沉积柱的¹³⁷Cs 比活度峰值均在 4 cm 深度之前出现, 故只收集了 0~10 cm 范围的数据。其中湖心处¹³⁷Cs 比活度为 0~14.7 Bq/kg, 而北

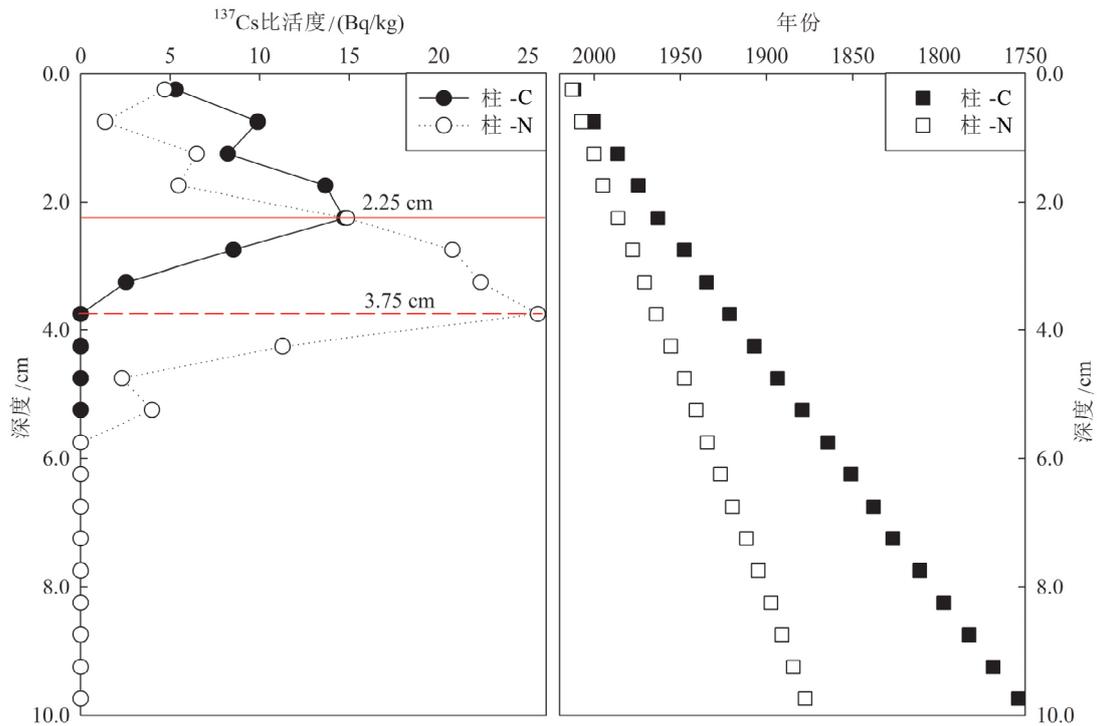


图 2 羊卓雍错沉积柱中¹³⁷Cs 的沉积记录

Fig.2 Sedimentary Records of ¹³⁷Cs in sediment cores from Lake Yamzhog Yumco

部湖区¹³⁷Cs 比活度为 0~25.5 Bq/kg。¹³⁷Cs 比活度的蓄积主峰分别位于 2.25 cm 和 3.75 cm 的深度。结合¹³⁷Cs 在青藏高原湖区沉积物剖面中¹³⁷Cs 的分布规律^[16],假定羊卓雍错沉积柱中¹³⁷Cs 主蓄积峰对应的年份为 1963 年,10 cm 的沉积柱在湖心区和北湖区涵盖的年份区间分别为 1754~2011 和 1877~2012,由此计算出的沉积物平均累积率分别为 0.014 5 g/(cm²·a) 和 0.025 2 g/(cm²·a),对应的平均沉积速率分别为 0.041 cm/a 和 0.068 cm/a。从¹³⁷Cs 的结果看,羊湖中心的沉积速率明显低于北部的沉积速率,但这个结果还需要²¹⁰Pb 定年结果的进一步验证。

4.2 ²¹⁰Pb 分布及计年

羊卓雍错沉积柱中²¹⁰Pb_{ex} 比活度随质量深度(0~10 cm)的变化如图 3 所示。其中湖心处²¹⁰Pb_{ex} 比活度为 16.87~187.6 Bq/kg,而北部湖区²¹⁰Pb_{ex} 比活度为 9.56~166.4 Bq/kg。²¹⁰Pb_{ex} 比活度在沉积柱顶部都较为异常(见图 3),这可能是沉积物表层的混合作用所致,也可能是²²²Rn 的丢失造成的^[3]。随后²¹⁰Pb_{ex} 比活度随深度增加大致呈指数衰减,然后随深度增加呈窄幅震荡。由于羊湖流域面积较大,而采样点又远离入湖河流,不好判定²¹⁰Pb 是主要来

自地表侵蚀还是大气沉降,故采用 CFCS 模式对数据进行处理。其计算公式如下:

$$C = \frac{F}{S} e^{-az} \quad (1)$$

$$a = \frac{\lambda}{S} \quad (2)$$

式中 C 为沉积物深度 Z 处²¹⁰Pb_{ex} 的比活度(Bq/kg); F 为²¹⁰Pb_{ex} 自水体输入的通量(Bq/(a·cm)); S 为沉积速率(cm/a); λ 为²¹⁰Pb 衰变常数(0.311 4/a)。

结果表明,如果用²¹⁰Pb_{ex} 进行计年,10 cm 的沉积柱在湖心区和北湖区涵盖的年份区间分别为 1755~2011 和 1776~2012,二者相差不大(图 4)。由此计算的沉积物平均累积速率在湖心区和北湖区分别为 0.014 6 g/(cm²·a) 和 0.014 7 g/(cm²·a),对应的平均沉积速率分别为 0.040 cm/a 和 0.041 cm/a。对于湖心区的沉积柱来说,²¹⁰Pb_{ex} 的计年结果与¹³⁷Cs 的计年结果非常接近,说明对湖心沉积柱采用 CFCS 模式进行计年的假定是成立的。但对于北部湖区的沉积柱来说,²¹⁰Pb_{ex} 的计年结果与¹³⁷Cs 的计年结果差异非常明显,采用 CFCS 模式似乎是不成立的。

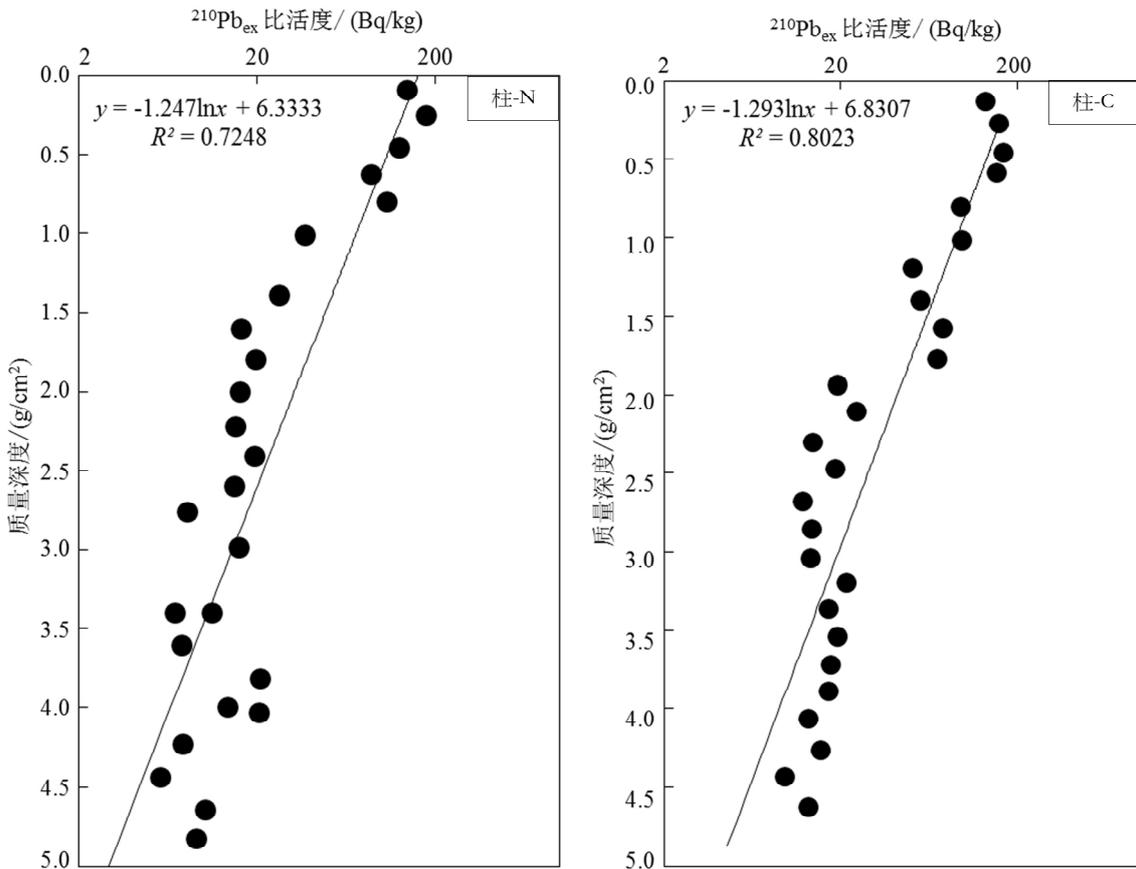


图3 羊卓雍错沉积柱中²¹⁰Pb的沉积记录

Fig.3 Sedimentary Records of ²¹⁰Pb in sediment cores from Lake Yamzhog Yumco

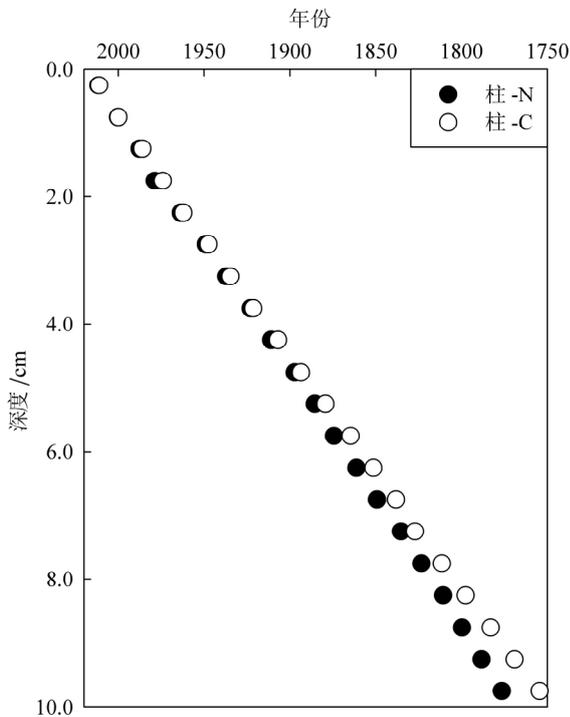


图4 羊卓雍错沉积柱中²¹⁰Pb的计年结果

Fig.4 Dating results of ²¹⁰Pb in sediment cores from Lake Yamzhog Yumco

4.3 北部湖区计年差异的分析

由于两个沉积柱²¹⁰Pb_{ex}的定年结果非常接近，而湖区沉积柱不论是哪种方式定年，结果都是较吻合的。因此，我们怀疑北部湖区¹³⁷Cs的定年有出入。首先，两个沉积柱的¹³⁷Cs峰值都出现很早，这对实际取样的精度带来很大的挑战，以及由此带来的¹³⁷Cs数据精度的影响。其次，由于Cs在沉积物中的迁移能力明显大于Pb，如果Cs在北部湖区发生了明显的纵向迁移，导致据¹³⁷Cs结果得到的沉积速率结果偏大是有可能的。为了验证这个假设，我们调研了近几十年来羊卓雍错流域的水位、降雨量和蒸发量的变化趋势(图5)^[14,17]。结果发现：羊卓雍错近年来水位呈波动式下降，且与降雨量和蒸发量变化无明显的相关关系；尤其是2004年以后的水位明显下降，无法用降雨量和蒸发量的变化来解释。因此，羊卓雍错湖水有渗漏的可能。最近，我们用羊卓雍错水体稳定¹⁸O同位素的历史变化对湖泊的渗漏进行判断时发现羊卓雍错水体确实有可能发生了渗漏(未发表数据)，这与刘晓艳等^[18]的判断是一致的，尽管对渗漏的准确位置无法做出判

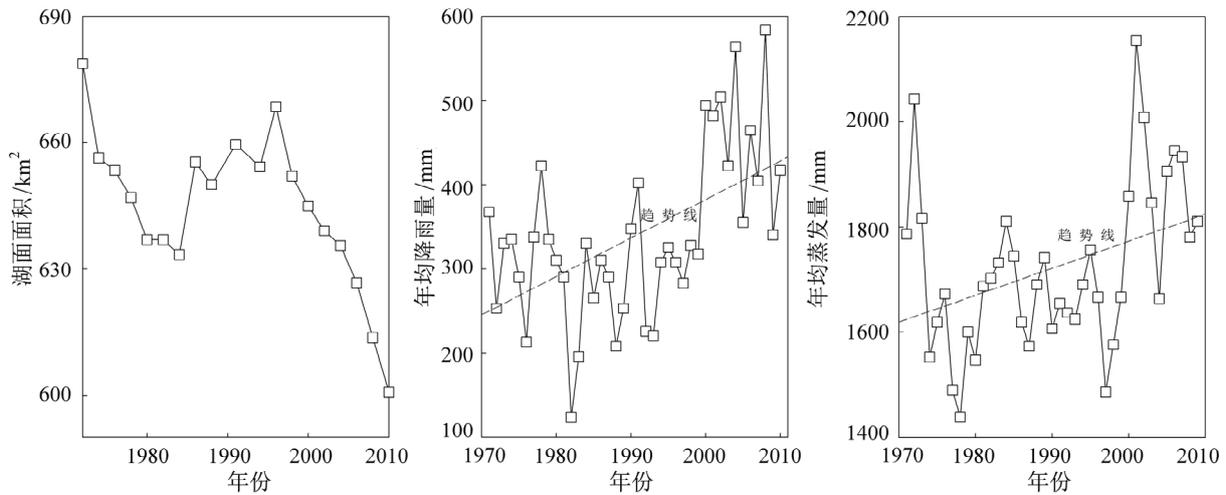


图 5 近年来羊卓雍错水位、流域降雨量和蒸发量的变化

Fig.5 Changes of water level, rainfall and evaporation in the Yamzhog Yumco watershed recent years

定。结合上述的定年结果,我们猜测羊卓雍错水体的渗漏很可能发生在北部湖区。湖水的渗漏造成 Cs 在沉积物中的纵向迁移,这很可能是导致¹³⁷Cs 得到的沉积速率在北部湖区偏大的主要原因。

5 结论

利用²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 测定了西藏羊卓雍错湖心和北部湖区沉积物的沉积速率,并对羊卓雍错水体的渗漏对定年结果的影响进行了分析。结果表明:

1) 羊卓雍错湖心和北部湖区沉积柱中的¹³⁷Cs 都只有一个蓄积峰,对应的时标为 1963 年。据此得

出的沉积物累积率分别为 $0.0145 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 和 $0.0252 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,对应的年均沉积速率分别为 0.041 cm/a 和 0.068 cm/a ;

2) 用 CFCS 模式对²¹⁰Pb 数据的分析结果显示,羊卓雍错湖心和北部湖区的沉积物累积率分别为 $0.0147 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 和 $0.0146 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,对应的年均沉积速率分别为 0.040 cm/a 和 0.041 cm/a ;

3) ²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 在湖心沉积柱的结果较为一致,但在北湖湖区的定年结果差别较大。这很可能是由于湖水在北部湖泊的渗漏,导致沉积物中 Cs 的纵向迁移造成的。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 万国江. 现代沉积的²¹⁰Pb 计年[J]. 第四纪研究, 1997, 3: 230-239.
- [3] 柴书立, 高丽娜, 邱殿明, 等. 吉林省西部月亮湖沉积物的²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 测年及沉积速率[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, 43(1): 134-141.
- [4] Gaboury B, Tim F R. ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs dating methods in lakes: A retrospective study[J]. Journal of Paleolimnology, 2001, 24: 455-465.
- [5] 胥思勤, 万国江. 云南省程海现代沉积物中¹³⁷Cs、²¹⁰Pb 的分布及测年研究[J]. 地质地球化学, 2001, 29(1): 28-31.
- [6] 杨洪, 易朝路, 邢阳平, 等. ²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 法对比研究武汉东湖现代沉积速率[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2004, 38(1): 109-113.
- [7] 姚书春, 李世杰, 刘吉峰, 等. 太湖 THS 孔现代沉积物¹³⁷Cs 和²¹⁰Pb 的分布及计年[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(2): 73-84.
- [8] Yong S, Yuan G L, Li J, et al. High-resolution sedimentary records of some organochlorine pesticides in Yamzho Yumco Lake of the Tibetan Plateau: Concentration and composition[J]. Science of the Total Environment, 2018, 615: 469-475.
- [9] 孙瑞, 张雪芹, 田园. 藏南羊卓雍错湖水化学空间分异特征[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(11): 16-20.
- [10] 张雪芹, 孙瑞, 朱立平. 藏南羊卓雍错流域主要湖泊水质状况及其评价[J]. 冰川冻土, 2012, 34(4): 950-958.
- [11] 边多, 杜军, 胡军, 等. 1975-2006 年西藏羊卓雍错流域内湖泊水位变化对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 2009, 31(3): 404-409.
- [12] 张雪芹, 孙瑞, 朱立平. 藏南羊卓雍错流域主要湖泊水质状况及其评价[J]. 冰川冻土, 2012, 34(4): 950-958.
- [13] 除多, 普穷, 旺堆, 等. 1974-2009 年西藏羊卓雍错湖泊水位变化分析[J]. 山地学报, 2012, 30(2): 239-247.
- [14] 除多, 旺堆, 普穷, 等. 西藏羊卓雍错湖面遥感监测模型及近期变化[J]. 冰川冻土, 2012, 34(3): 530-537.
- [15] 蓝江湖, 徐海, 郁科科, 等. 中亚东部晚全新世水文气候变化及可能成因[J]. 中国科学(地球科学), 2019, 49(8): 1278-1292.

- [16] 曾理, 吴丰昌, 万国江 等. 中国地区湖泊沉积物中¹³⁷Cs 分布特征和环境意义[J]. 湖泊科学, 2009, 21(1): 1-9.
- [17] 除多, 普穷, 拉巴卓玛 等. 近 40 a 西藏羊卓雍错湖泊面积变化遥感分析[J]. 湖泊科学, 2012, 24(3): 494-502.
- [18] 刘晓艳, 陈建生, 谭红兵 等. 利用稳定同位素¹⁸O 估算湖泊渗漏量[J]. 核技术, 2010, 33(10): 775-778.

Determination of Sedimentary Rate in Yamzhog Yumco , South Tibet

ZHOU Tian^{1,2} , LAN Jianghu³ , ZHAO Zhiqi⁴ , ZHANG Hongmei⁵ , MA Li⁵ , GUO Jianyang¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550002 , China; 2. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China; 3. Institute of Earth Environment , Chinese Academy of Sciences , Xi'an 710061 , China; 4. School of Earth Science and Resources , Chang'an University , Xi'an 710054 , China; 5. Ecological environment bureau of Shannan city , Tibet autonomous region , Shannan 856100 , China)

Abstract: Sedimentary rates of sediment cores from central and north parts of Lake Yamzhog Yumco , south Tibet , were determined by ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs dating. The results showed that only one accumulation peak of ¹³⁷Cs was found in both sediment cores , corresponding to the year of 1963. The sediment accumulation rates calculated accordingly were 0.014 5 and 0.025 2 g/(cm²•a) , respectively , at central and north parts of Lake Yamzhog Yumco , with the corresponding average sedimentation rates of 0.041 and 0.068 cm/a , respectively. Based on results of ²¹⁰Pb , the sediment accumulation rates at central and north parts of Lake Yamzhog Yumco were 0.014 6 and 0.014 7 g/(cm²•a) , respectively , with the corresponding average sedimentation rates of 0.040 and 0.041 cm/a , respectively. The dating results of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs were quite different at the north part of Lake , probably due to the vertical migration of Cs in the sediment , caused by the leakage of lake water occurred in this area.

Key words: sedimentary rate; ²¹⁰Pb; ¹³⁷Cs; chronology; Yamzhog Yumco