

文章编号: 2008-0244(2001)-01-28-04

# 云南省程海现代沉积物中 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 的分布及计年研究

胥思勤<sup>1,2)</sup> 万国江<sup>1)</sup>

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 550002)

2) (中国地质大学工程学院, 武汉, 430074)

**摘要** 程海沉积物柱芯中存在三个峰形完好的 $^{137}\text{Cs}$ 蓄积峰。94%的 $^{137}\text{Cs}$ 累计值分配于1985年以前,表明程海沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ 能较好地保存在沉积年代的相应层节中。该沉积物柱芯中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的分布特殊,据此将近五十年来程海的沉积过程分为三个稳定沉积阶段和两个快速沉积阶段。两种计年方法的结合有助于认识沉积速率变化较大情况下湖泊的沉积状况,也有助于加深对核素计年方法的理解。

**关键词**  $^{137}\text{Cs}$   $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  沉积计年 程海

**中图分类号**: P595; P533

**文献标识码**: A

湖泊沉积物作为地表物质运移的主要宿体,湖泊沉积的连续性及其剖面保存的完整性,使其成为揭示湖区气候和环境变化的指示器,是研究过去环境变化的重要档案馆<sup>[1]</sup>。

认识区域环境污染历史和全球变化问题必须以精确的年代学研究为基础<sup>[2]</sup>。利用现代沉积物中过剩的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (半衰期22.3a)及 $^{137}\text{Cs}$ (30.23a)测定近百年来地质年龄已得到广泛的应用<sup>[3,4]</sup>。本文通过对云南省程海沉积物中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 及 $^{137}\text{Cs}$ 分布的研究,探讨在沉积速率变化较大的湖泊中这两种核素计年方法的应用。

## 1 湖区自然背景

程海位于滇西北的永胜县境内(北纬 $26^{\circ}27'$ ~ $26^{\circ}38'$ 、东经 $100^{\circ}38'$ ~ $100^{\circ}41'$ ),受印度洋西南季风和太平洋东南季风的交汇影响。湖面呈南北向较为规则的椭圆形,南北长约19km,东西宽约4km。该湖为构造型的封闭一半封闭型湖泊,具有汇水面积小、补给系数小及湖水寄宿时间长等特点(表1)。湖区主要出露有二叠系的玄武岩及凝灰岩;侏罗系的泥岩、砂岩及石灰岩;泥盆系的灰岩、砂岩等。程海周围分布的地带性土壤以

红壤、红棕壤为主,沿湖为耕作土。湖区植被稀少,水土流失严重。

## 2 样品采集、制备及分析方法

本沉积物柱芯(CH970608-1)于1997年6月8日采自程海中心部位,柱芯长41cm,上覆水深约25m,采样装置为奥地利科学院湖泊研究所提供的便携式沉积物采样仪。沉积物柱芯完整,悬浮层未经扰动,界面水不浑浊。现场按1.0cm间隔分切沉积物并称重。经冷冻干燥处理并称重,以确定各样品的质量深度<sup>[1]</sup>。干燥后的样品研磨至120目以下用于 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 测量。

本次实验使用测量仪器为Cabrera公司生产的4096道多道能谱仪。 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 分析采用 $\gamma$ 谱直接测量,测量误差小于10%。 $^{210}\text{Pb}$ 分析采用 $^{208}\text{Po}$ 、 $^{209}\text{Po}$ 示踪、酸溶析、银片自镀及 $\alpha$ 谱仪测量, $\alpha$ 谱仪测量误差小于5%,平行样品的相对误差小于10%。

## 3 结果与讨论

### 3.1 $^{137}\text{Cs}$ 分布特征及计年

3.1.1  $^{137}\text{Cs}$ 分布特征 程海沉积物柱芯CH970608-1中 $^{137}\text{Cs}$ 分析结果见图1。 $^{137}\text{Cs}$ 的垂直剖面虽然存在三个蓄积峰,但其比活度变化存在一些新的特征。作为初步讨论,该柱芯中出现三个 $^{137}\text{Cs}$ 蓄积峰,它们分别是35cm处(14.30g:

收稿日期: 2000-05-27; 修回日期: 2000-07-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49773207)。

第一作者简介: 胥思勤(1972-)女 博士研究生 从事环境地球化学、水文与水资源研究

cm<sup>-2</sup>)的 1964 年蓄积峰、24cm 处 (9.56g °cm<sup>-2</sup>) 的 1975 年蓄积峰和 7cm 处 (2.98g °cm<sup>-2</sup>) 的 1986 年由前苏联切尔诺贝利核泄漏形成的蓄积峰。最大峰为 1964 年蓄积峰, 1975 年蓄积峰次之, 1986 年蓄积峰最小。三个蓄积峰峰形完好, 尤其是 1986 年的次级蓄积峰的峰形保存完好, 说

明该柱芯的生物和机械扰动很小。此外, <sup>137</sup>Cs 累计值的 94% 分配于 1985 年以前, 分配于 1985 ~ 1997 年的仅 6% (表 2), 这也说明程海沉积物中的 <sup>137</sup>Cs 能较好地保存在沉积年代的相应层节中<sup>[9]</sup>。

表 1 程海水文特征

Table 1. The hydrological characteristics of Chenghai Lake

汇水面积 (km <sup>2</sup> )	湖水面积 (km <sup>2</sup> )	补给系数	平均深度 (m)	最大深度 (m)	湖水寄宿时间 (a)	年均气温 (°C)
318.3	78.8	2.96	20	36.9	+∞	13.5

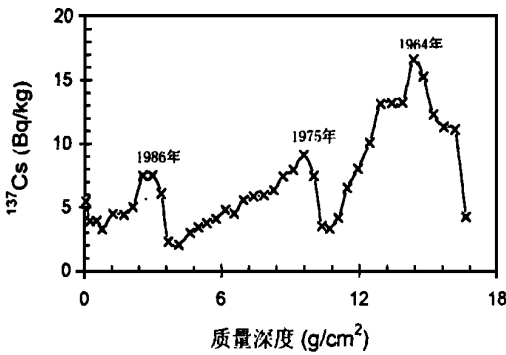


图 1 程海沉积物中<sup>137</sup>Cs 垂直剖面

Fig. 1. The vertical profile of <sup>137</sup>Cs in the Chenghai Lake sediments.

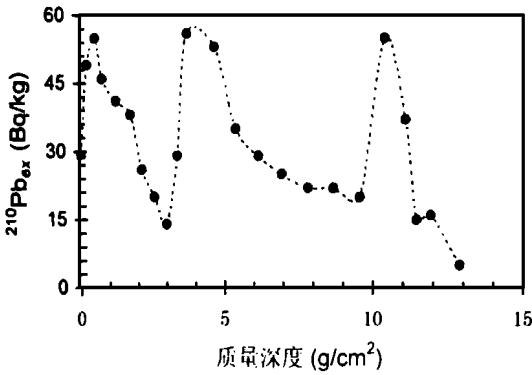


图 2 程海沉积物中<sup>210</sup>Pbex 垂直剖面

Fig. 2. The vertical profile of <sup>210</sup>Pbex in the Chenghai Lake sediments.

3.1.2 <sup>137</sup>Cs 计年 由于<sup>137</sup>Cs 的分子扩散作用不足以改变其在沉积物柱芯垂直剖面上的峰值位置, 利用<sup>137</sup>Cs 的蓄积峰位置可以计算沉积物堆积速率  $S(g \cdot cm^{-2} \cdot a^{-1})$ <sup>[6, 7]</sup>:

$$S = Z'_{max} / (t_c - T_m)$$

式中,  $Z'_{max}$  为蓄积峰位置的质量深度 ( $g \cdot cm^{-2}$ ),

表 2 程海沉积物柱芯中<sup>137</sup>Cs 的累计值

Table 2. The <sup>137</sup>Cs inventories in Chenghai

湖泊沉积物 柱芯	Lake sediments <sup>137</sup> Cs 累计值 (Bq °cm <sup>-2</sup> )		
	总计	1985 年以前 (含 1985 年)	1986 年以后
CH970608-1	2111	1976	135

$T_c$  为采样日期 (a),  $t_m$  为峰值时间 (a)。

利用<sup>137</sup>Cs 三个蓄积峰位置作为计年时标, 计算程海沉积物柱芯 CH970608-1 自 1964 年、1975 年及 1986 年以来到 1997 年的平均堆积速率分别为  $0.433g \cdot cm^{-2} \cdot a^{-1}$ 、 $0.434g \cdot cm^{-2} \cdot a^{-1}$  和  $0.232g \cdot cm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。据此可计算出各时标间的沉积速率。计算结果见表 3。虽然<sup>137</sup>Cs 时标法不能给出各层节具体的沉积速率, 只能给出一个阶段的平均沉积速率, 但根据计算结果仍可知在过去三十多年以来, 程海经历了一个沉积速率从慢到快再到慢的变化过程。

### 3.2 <sup>210</sup>Pbex 垂直分布及计年

#### 3.2.1 <sup>210</sup>Pbex 垂直分布 程海沉积物柱芯

CH970608-1 中<sup>210</sup>Pbex 分析结果见图 2。<sup>210</sup>Pbex 在整个沉积物柱芯中的分布与通常的垂直分布图示具有很大差异。本垂直剖面可分为 5 段: 2 ~ 8cm、8 ~ 11cm、11 ~ 23cm、23 ~ 26cm 和 26 ~ 40cm。其中 2 ~ 8cm、11 ~ 23cm、26 ~ 40cm 段中<sup>210</sup>Pbex 的比活度 (A) 与其质量深度 ( $Z'$ ) 呈较好的负指数拟合关系; 8 ~ 11cm、23 ~ 26cm 段<sup>210</sup>Pbex 的比活度与质量深度  $Z'$  呈较好的正指数拟合关系。其指数相关关系如下:

① 2 ~ 8 cm 段 ( $0.5322 \sim 2.9756g \cdot cm^{-2}$ ):

$$A_1 = 84.133 \exp(-0.3358Z'_1) \quad r_1 = -0.976$$

表 3 沉积物柱芯 CH970608-1  $^{137}\text{Cs}$  时标计年结果Table 3.  $^{137}\text{Cs}$  dates for sediment accumulation rates of Chenghai Lake

时标年	对应层节 cm	质量深度 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$	计时区时间	平均沉积物堆积速率 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$
1964	35	14.2979	1964~1997	0.433
1975	24	9.5576	1975~1997	0.434
1986	7	2.5494	1986~1997	0.232
			1975~1986	0.636
			1964~1975	0.432

③ 11~23cm 段 ( $4.1515 \sim 9.1040 \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ):

$$A_3 = 122.48 \exp(-0.1578Z_3') \quad r_3 = -0.848$$

⑤ 26~40cm 段 ( $10.3732 \sim 17.2113 \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ):

$$A_5 = 646.79 \exp(-0.2449Z_5') \quad r_5 = -0.940$$

② 8~11 cm 段 ( $2.9756 \sim 4.1515 \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ):

$$A_2 = 2.0999 \exp(0.912Z_2') \quad r_2 = 0.967$$

④ 23~26 cm 段 ( $9.1040 \sim 10.3732 \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ):

$$A_4 = 0.04 \exp(0.7177Z_4') \quad r_4 = 0.988$$

$^{210}\text{Pbex}$  的比活度与质量深度呈负指数相关的阶段沉积速率基本稳定,相对持续时间较长,本文将其称为稳定沉积阶段。而  $^{210}\text{Pbex}$  的比活度与质量深度呈正指数相关的阶段,可能是由于短期内沉积速率的急剧增大造成的,本文将其称为快速沉积阶段。

3.2.2 稳定沉积阶段  $^{210}\text{Pbex}$  计年 2~8cm、11~23cm、26~40cm 为沉积速率与散落通量相对稳定阶段,可利用常量初始浓度 (CTC) 模式计算相应阶段的沉积速率 (表 4)。

### 3.3 $^{210}\text{Pbex}$ 与 $^{137}\text{Cs}$ 计年对比

由  $^{210}\text{Pbex}$  的垂直分布及  $^{137}\text{Cs}$  计年得到的沉

积速率可知,在过去近五十年间程海湖泊沉积速率是不稳定的,发生较大变化,不但有长期缓慢的变化,还有短期的急剧变化。研究稳定沉积阶段  $^{210}\text{Pbex}$  与  $^{137}\text{Cs}$  计年结果将有助于加深了解实际的沉积情况,和特殊情况下这两种核素计年方法的可靠性。

3.3.1 稳定沉积阶段的  $^{137}\text{Cs}$  计年  $^{137}\text{Cs}$  计年法得出两时标之间的平均沉积速率,其中 7~24cm (1986~1975 年) 段包括 8~11cm、23~24cm 快速沉积阶段, 24~35cm (1975~1964 年) 段包括 24~26cm 快速沉积阶段。在  $^{210}\text{Pbex}$  输入通量不变的情况下,沉积物中  $^{210}\text{Pbex}$  比活度与质量深度呈指数增长,说明该阶段沉积速率呈指数增长。又据该阶段的质量深度差,可假设两个快速沉积阶段分别历时一年,这也符合植被较差的山区湖泊的沉积特点。悬浮层 2~8cm 段的沉积速率为  $0.232 \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 则 7~8cm 段的沉积时间为 1.8 年。扣除以上各段后,得 11~23cm 段  $^{137}\text{Cs}$  的平均沉积速率为  $0.604 \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 26~40cm 段的  $^{137}\text{Cs}$  平均沉积速率为  $0.392 \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  (表 4)。

表 4 程海稳定沉积阶段  $^{210}\text{Pbex}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  计年结果Table 4.  $^{210}\text{Pbex}$  and  $^{137}\text{Cs}$  dates for stable sedimentation of Chenghai Lake

沉积物段	$^{210}\text{Pbex}$ 沉积速率 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$ 沉积速率 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	$^{210}\text{Pbex}$ 沉积速率/ $^{137}\text{Cs}$ 沉积速率
2~8cm	0.093	0.232	0.40
11~23cm	0.197	0.604	0.33
26~40cm	0.127	0.392	0.32

3.3.2  $^{210}\text{Pbex}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  计年结果对比 由表 4 可知:在稳定沉积阶段,  $^{210}\text{Pbex}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  两种计年方法所得沉积速率相差较大,但比值接近,表明  $^{210}\text{Pbex}$  计年结果与  $^{137}\text{Cs}$  计年结果有相同的变化趋势。造成  $^{210}\text{Pbex}$  计年结果系统偏底的原因尚不清楚。

$^{137}\text{Cs}$  计年方法得到的沉积速率是某一时标以来或某两个时标间的平均沉积速率。程海该柱

芯中,有两个沉积速率显著增大的时期,这是通过  $^{210}\text{Pbex}$  的垂直分布曲线的分析了解到的。虽然此处不能直接利用  $^{210}\text{Pbex}$  进行沉积计年,但可在  $^{137}\text{Cs}$  计年中将沉积速率急剧增大这一现象考虑进去,从而使  $^{137}\text{Cs}$  计年方法更贴近实际情况。因此在程海这样沉积速率变化较大的湖泊中,在某些相对稳定的阶段仍然可用  $^{210}\text{Pbex}$  辅助  $^{137}\text{Cs}$  进行计年。

## 4 结 论

程海沉积物柱芯生物与机械扰动较弱, 三个<sup>137</sup>Cs 蓄积峰峰形完好, <sup>137</sup>Cs 较好地保存在沉积年代的相应层节中。由此计算出 1964~1975 年、1975~1986 年及 1986~1997 年程海平均沉积物堆积速率分别为  $0.432\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $0.636\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $0.232\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。根据沉积物柱芯中<sup>210</sup>Pbex 的特殊分布, 可将近五十年来程海沉积过程分为三个稳定沉积阶段和两个快速沉积阶段。<sup>137</sup>Cs 与<sup>210</sup>Pbex 在程海沉积物柱芯中垂直分布的异常情况及其计年结果的差异性, 可能显示出其它的沉积作用过程。对此我们将另行讨论。

程海沉积物柱芯生物与机械扰动较弱, 三个<sup>137</sup>Cs 蓄积峰峰形完好, <sup>137</sup>Cs 较好地保存在沉积年代的相应层节中。由此计算出 1964~1975 年、1975~1986 年及 1986~1997 年程海平均沉积物堆积速率分别为  $0.432\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $0.636\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $0.232\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。根据沉积物柱芯中<sup>210</sup>Pbex 的特殊分布, 可将近五十年来程海沉积过程分为三个稳定沉积阶段和两个快速沉积阶段。<sup>137</sup>Cs 与<sup>210</sup>Pbex 在程海沉积物柱芯中垂直分布的异常情况及其计年结果的差异性, 可能显示出其它的沉积作用过程。对此我们将另行讨论。

## 参 考 文 献

- [1] 万国江. 环境质量的地球化学原理. 北京: 中国环境科学出版社, 1988.
- [2] 万国江. 现代沉积的<sup>210</sup>Pb 计年. 第四纪研究, 1997, (3): 230~239.
- [3] Wan G. J., Santschi P. H., Sturm M. et al., Natural (<sup>210</sup>Pb, <sup>7</sup>Be) and fallout (<sup>137</sup>Cs, <sup>239,240</sup>Pu, <sup>90</sup>Sr) radionuclides as geochemical tracers of sedimentation in Greifensee, Switzerland. *Chemical Geology*, 1987, 63: 181~196.
- [4] Appleby P. G., Dating recent sediments by <sup>210</sup>Pb; Problems and Solutions. Proceedings of STUK symposium, Helsinki, STUK-A145, 1998: 7~24.
- [5] 万国江, 林文祝, 黄荣贵, 陈振楼. 红枫湖沉积物<sup>137</sup>Cs 垂直剖面的计年特征及侵蚀示踪. 科学通报, 1990, 35(19): 1487~1490.
- [6] 万国江, Santschi P. H., 瑞士 Greifen 湖沉积物中放射性核素累计值预测研究. 地理科学, 1987, 7(4): 358~363.
- [7] Krishnaswamy S., Lal D., Martin J. M. et al., Geochronology of lake sediments. *Earth and Science Letters*, 1971, 11: 407~414.

# VERTICAL DISTRIBUTION OF <sup>137</sup>Cs AND <sup>210</sup>Pb AND THEIR DATING IN MODERN SEDIMENTS OF CHENGHAI LAKE, YUNNAN PROVINCE

Xu Siqin<sup>1,2)</sup> Wan Guojiang<sup>1)</sup>

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

2) (Institute of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

## Abstract

Three distinct <sup>137</sup>Cs peaks (formed at 1964, 1975, 1986, respectively) are recognized in the sediment core of Chenghai Lake. 97% of the <sup>137</sup>Cs inventory has been stored in the deep sediments deposited before 1985. These facts show that the bioturbation and mechanic disturbance in this sediment core are feeble and <sup>137</sup>Cs can be stored effectively in the contemporaneous sediment layers. So <sup>137</sup>Cs dating is reliable. According to the special vertical distribution of <sup>210</sup>Pb, the sedimentation of Chenghai Lake can be divided into three stable sedimentation stages and two quick sedimentation stages in the past 50 years. The combination of these radionuclide dating methods is useful to understand the substantial sedimentation process of the lake where sedimentation rates change rapidly.

**Key words:** <sup>137</sup>Cs; <sup>210</sup>Pb; sedimentation dating, Chenghai Lake