

¹³⁷Cs 质量平衡法测算青海湖现代沉积速率的尝试*

张信宝^{1,2}, 曾 奕³, 龙 翼¹

(1: 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

(2: 中国科学院西安地区环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

(3: 四川省辐射环境管理监测中心站, 成都 610031)

摘 要: 本文是¹³⁷Cs质量平衡法测算青海湖现代沉积速率的尝试. 青海湖和其他低沉积速率湖泊沉积物剖面中, 深度数cm处的¹³⁷Cs蓄积峰, 也可能是沉降到底泥表面的¹³⁷Cs尘埃, 以扩散和迁移的方式向下入渗形成. 因此, 将沉积剖面中的¹³⁷Cs蓄积峰解释为1963年的沉积, 并据此计算沉积速率, 未必合理. 青海湖湖滨草地测得的2005年¹³⁷Cs本底值为117.7mBq/cm². 湖泊中部海心山到东南部渔场一线的6个孔的¹³⁷Cs面积活度介于92.9–325.0mBq/cm², 其中青海湖东南部两个孔的¹³⁷Cs面积活度较高, 分别为本底值的155%和270%; 湖泊中部4个孔的¹³⁷Cs面积活度略高于或低于本底值. 显然, 湖泊东南部有明显沉积发生, 特别是位于江西沟冲积扇前缘水下部分的QHH02孔, 沉积强烈, 水深也最小; 湖泊中部沉积轻微. 根据表层底泥样品的¹³⁷Cs浓度, 入湖河流泥沙的¹³⁷Cs浓度和流域内草地表层土壤¹³⁷Cs浓度的分析, 初步确定 $\bar{C}=30\text{mBq/g}$, 为1963年以来青海湖沉积泥沙的平均¹³⁷Cs浓度. 利用¹³⁷Cs质量平衡模型求得的湖泊中部的平均沉积速率为0.020cm/a, 和根据布哈河输沙模数推算出的青海湖平均沉积速率0.018cm/a吻合, 远低于已报导的断代法测定的青海湖沉积速率. 湖泊东南部的沉积速率大于湖泊中部, QHH02孔的沉积速率高达0.229cm/a, 是已报导的青海湖沉积速率的两倍.

关键词: 现代沉积速率; ¹³⁷Cs 质量平衡法; 青海湖

An attempt to use the ¹³⁷Cs mass balance model for assessment of recent deposition rates in Lake Qinghai, China

ZHANG Xinbao^{1,2}, ZENG Yi³ & LONG Yi¹

(1: *Institute of Mountain Hazards and Environment, C.A.S. & M.W.S, Chengdu 610041, P.R.China*)

(2: *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, C.A.S, Xi'an 710075, P.R.China*)

(3: *Sichuan Radiation Environment Managing and Monitoring Central Station, Chengdu 610031, P.R.China*)

Abstract: This paper was an attempt to use the ¹³⁷Cs mass balance model for assessment of recent deposition rates in Lake Qinghai. ¹³⁷Cs concentration peak at the depth of a few centimeters in the deposit profiles of Lake Qinghai and other lakes with lower deposition rates may be caused by the nuclide downward diffusion and migration progresses after the ¹³⁷Cs deposited on the surface of lake bottom mud. Therefore, the interpretation of the sediment layer at the ¹³⁷Cs peak depth depositing in 1963 and the calculation method of sediment deposition rates under that assumption may not be reasonable. Local ¹³⁷Cs reference inventory was 117.7mBq/cm² in 2005 obtained from grass land of the flat lakeside. ¹³⁷Cs inventories of the six lake sediment cores collected from the Island Hill of the center of Lake Qinghai to the Fish Port in the south-eastern lake ranged from 92.9mBq/cm² to 325.0mBq/cm². It was clear that sediment deposition apparently occurred in the south-western part of the lake, particularly, the deposition is quite fast at the QHH02 Core position, which is located in the front of the underwater alluvial fan. However, sediment deposition was very slow at the centre part of the lake. The average ¹³⁷Cs concentration of the deposited sediments in Lake Qinghai since 1963 was estimated to be 30mBq/g by analyses of the ¹³⁷Cs concentrations from the lake mud in surface layers, the sediment discharged from inlet rivers,

* 国家自然科学基金项目(40599420, 40971169)资助. 2009-01-16 收稿; 2009-04-07 收修改稿. 张信宝, 男, 1946年生, 研究员; E-mail: zxbao@imde.ac.cn.

and the soil in surface layers on the grass land in the catchment. The average deposition rate in the centre of the lake was 0.020cm/a calculated by the ^{137}Cs mass balance model, which agreed to 0.018cm/a of the specific sediment yield of the Buha River, but much lower than the reported deposition rates estimated by conventional dating techniques. The deposition rate of the QHH02 Core was 0.229cm/a, suggesting that the deposition rates in the south-western part of the lake were much higher than the rates in the centre part of the lake and which was twice of the reported deposition rate of Lake Qinghai.

Keywords: Sediment deposition rate; ^{137}Cs mass balance model; Lake Qinghai

^{137}Cs 是 20 世纪 50–60 年代的大气层核试验产生的人工放射性同位素, 半衰期 30.17 年. ^{137}Cs 尘埃主要随降水沉降到地面或水面, 苏、美签订禁止大气层核试验的前 1 年的 1963 年沉降量最大. ^{137}Cs 核素沉降到地面后, 立即被土壤和泥沙颗粒强烈吸附, 基本不随径流流失和被植物吸收, 是侵蚀泥沙研究的一种很好的同位素^[1]. 湖泊沉积物的 ^{137}Cs 深度分布剖面中, 最高浓度往往不出现在表层, 而在剖面的某一深度处. 基于沉积物中同一深度层位的泥沙和 ^{137}Cs 核素是同时间沉积, ^{137}Cs 峰值浓度层位的泥沙应是 1963 年的沉积. 湖泊沉积物 ^{137}Cs 示踪断代的经典方法, 即根据这一常理认识, 求算 1963 年以来的平均沉积速率^[2-6].

青海湖位于青藏高原东北部, 是我国最大的内陆咸水湖, 湖面面积 4400km², 湖面海拔 3200m, 湖水容积 7.39×10¹⁰m³, 平均水深 21.7m, 湖泊流域面积 29660km². 布哈河是青海湖最大的支流, 流域面积为 14337km², 年径流量 7.85×10⁸m³, 约占入湖径流总量的 60% 左右; 1966–1988 年期间的年均输沙量 35.5×10⁴t, 输沙模数 12.2t/(km²·a). 沈吉、张恩楼、Henderson ACG 和徐海等用 ^{137}Cs 示踪断代的经典方法, 即根据沉积剖面中 1963 年 ^{137}Cs 蓄积峰的分布深度, 测定了青海湖不同区域的沉积速率, 结果基本一致, 1963 年以来的平均沉积速率为 0.1cm/a 左右^[7-10]. 沈吉和徐海等还采用 ^{210}Pb 示踪法, 测定了青海湖的沉积速率, 结果和 ^{137}Cs 法的一致^[7,10].

许多研究者已经注意到 ^{137}Cs 核素在沉积物中的垂向迁移和生物等各种原因造成的表层湖泊底泥的扰动对沉积物的 ^{137}Cs 深度分布有一定的影响^[6,11-15]. 徐海等认为, 这种影响会少许改变沉积剖面中 ^{137}Cs 浓度峰的形状, 但峰的分布深度不变, 依然可以认为剖面的 ^{137}Cs 峰值浓度表征 1963 年的沉积, 据此计算沉积速率^[10]. 笔者注意到青海湖和其他低沉积速率湖泊沉积物剖面的 ^{137}Cs 深度分布曲线和一些无堆积非农耕地土壤的非常相似^[10-12,16-17], ^{137}Cs 峰值浓度不是分布于剖面的最表层, 而是分布于深度数 cm 的次表层(图 1). 就无堆积非农耕地土壤的剖面而言, 这显然不是堆积的结果, 而是 ^{137}Cs 核素通过扩散(diffusion)和迁移(migration)的方式向下入渗所致^[17]. 同理, 无沉积发生的湖泊沉积剖面, 从大气直接沉降到湖泊底泥表层的 ^{137}Cs 尘埃, 也可通过扩散(diffusion)和迁移(migration)的方式入渗到底泥中, 形成深度数 cm 处的 ^{137}Cs 蓄积峰. 沉积泥沙吸附的 ^{137}Cs 尘埃和大气直接沉降的 ^{137}Cs 尘埃一样, 也在湖泊底泥中扩散和迁移. 就 ^{137}Cs 蓄积峰分布于沉积剖面深度数 cm 的低沉积速率湖泊而言, 沉积剖面中的 ^{137}Cs 蓄积峰解释为 1963 年的沉积, 并据此计算沉积速率, 科学上未必合理, 计算结果和实际值差别可能很大. 当然, ^{137}Cs 蓄积峰分布深度超过 10cm 的沉积速率较高的湖泊, 将 ^{137}Cs 蓄积峰视为 1963 年的沉积, 计算出的沉积速率和实际值差别不大.

湖泊底泥中的 ^{137}Cs 核素来源于大气直接沉降于湖面的 ^{137}Cs 尘埃和被沉积泥沙带来的 ^{137}Cs 核素. 理论上, 没有沉积发生湖泊的底泥中的 ^{137}Cs 完全来源于湖面直接沉降, 沉积剖面的 ^{137}Cs 面积活度(inventory)等于当地的 ^{137}Cs 本底值; 有沉积发生的湖泊底泥中的 ^{137}Cs 部分来源于沉积的泥沙, 沉积剖面的 ^{137}Cs 面积活度(inventory)大于当地的 ^{137}Cs 本底值, 其差值和核爆以来泥沙的沉积量和吸附的 ^{137}Cs 浓度有关. 本文尝试用 ^{137}Cs 质量平衡法测算青海湖现代沉积速率.

1 质量平衡模型

湖泊底泥中的 ^{137}Cs 质量平衡可表述为:

$$\Delta A = A - A_0 \quad (1)$$

$$\Delta A / (N - M) = R \bar{C} \gamma \quad (2)$$

式中, A 为湖泊底泥的 ^{137}Cs 面积活度(Bq/m²); A_0 为当地的 ^{137}Cs 背景值(Bq/m²); N 为取样年份; M 为 ^{137}Cs

沉降起始年份; R 为沉积速率(cm/a); \bar{C} 为沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 比活度(取样年衰变校正值)(mBq/g); γ 为沉积泥沙容重(g/cm^3).

1954–1970 年是 ^{137}Cs 尘埃的集中沉降期, 美苏签订禁止大气层核试验前一年的 1963 年沉降量最大. 由于取 1954 年为 ^{137}Cs 沉降起始年份, 分析确定沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 浓度比较困难; 为了便于分析确定沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 浓度, 本文假定 ^{137}Cs 尘埃集中沉降于 1963 年, 取 $M=1963$.

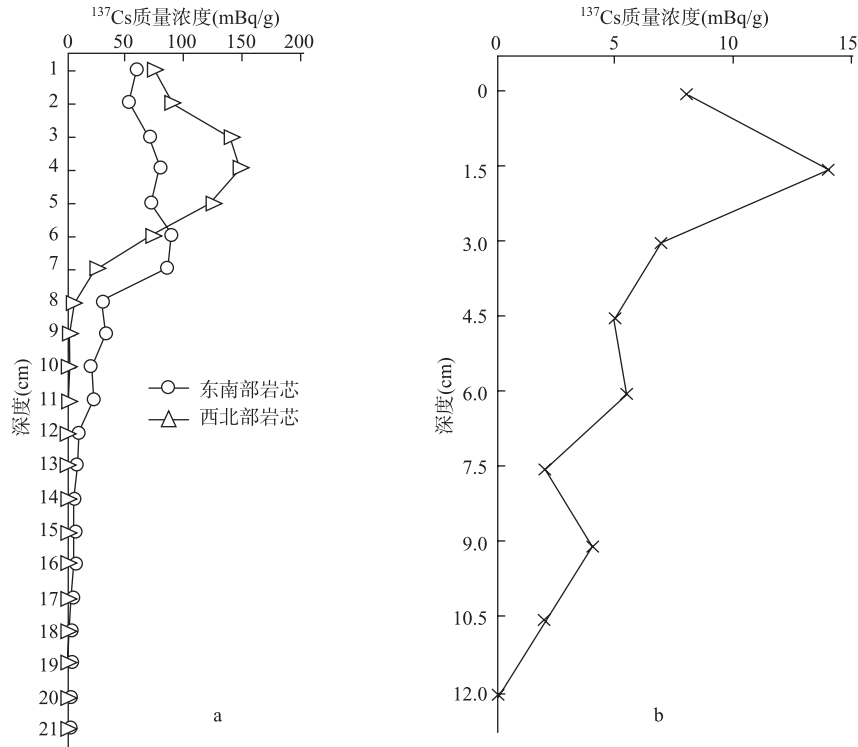


图 1 青海湖湖泊沉积物(a)和陕北黄土草地(b) ^{137}Cs 深度分布

Fig.1 The ^{137}Cs depth distribution in the deposit profile of Lake Qinghai (a) and the soil profile of grass land in Loess Plateau(b)

2 样品采集

2005 年 8 月, 我们在青海湖及湖滨地带采集了 ^{137}Cs 本底值土壤样品、湖泊底泥样品和布哈河当年洪水滩地沉积泥沙样^[15].

^{137}Cs 本底值土壤样品, 采集于南岸湖边无侵蚀草地(图 2). 草地宽阔平坦, 地面略向湖泊倾斜, 坡度 2.5° . 植被以禾本科草本植物为主, 覆盖度 80% 左右, 草地局部植物丛生现象明显, 草丛间有少量裸地露出. 据调查, 20 世纪 50 年代以来取样草地一直为牧场, 从未耕种. 网格法(5m×5m)取样, 用荷兰 Eijkelkamp 公司的 P05.02 型土壤钻(内径 8.0cm)采集了 36 个土芯全样, 取样深度 30cm. 此外, 还在网格中心的位置采集了一个分层剖面样, 分层厚度 3cm.

湖泊底泥样品, 乘船采集于在青海湖渔场至海心山一线, 水深 18.5–26m(图 2), 用内径 5.9cm 的无扰动式重力钻采集底泥土芯, 取样深度 25cm 左右. 共采集了 6 个孔的底泥样品, 其中 QHH01 至 QHH05 为全样孔, QHH06 为分层孔, 分层厚度 3cm. QHH06 和 QHH05 为同一位置取的两个孔样.

布哈河入湖泥沙样, 取样前数日发生洪水, 沿河滩地沉积了厚 5–20cm 不等的洪水沉积泥沙. 我们在公路桥以上 500m 内的沿河滩地, 用小土样铲, 采集了 5 个滩地洪水沉积表层 0–3cm 泥沙样品.

样品风干、研磨、过筛(2mm)、称重后供测试用. 英国爱克塞特大学地理与考古系同位素实验室协助

进行了全部样品的¹³⁷Cs含量测定, 测定仪器为配备n型高纯锗探头(LOAX HPGe)的低能量、低本底γ能谱仪. 样品测重>100g, 测试时间>26000s, 测试误差为±5%. 湖泊底泥和洪水沉积泥沙样品测定了粒度, 在中国科学院地理资源环境研究所用Mastersizes-2000激光粒度仪测定.

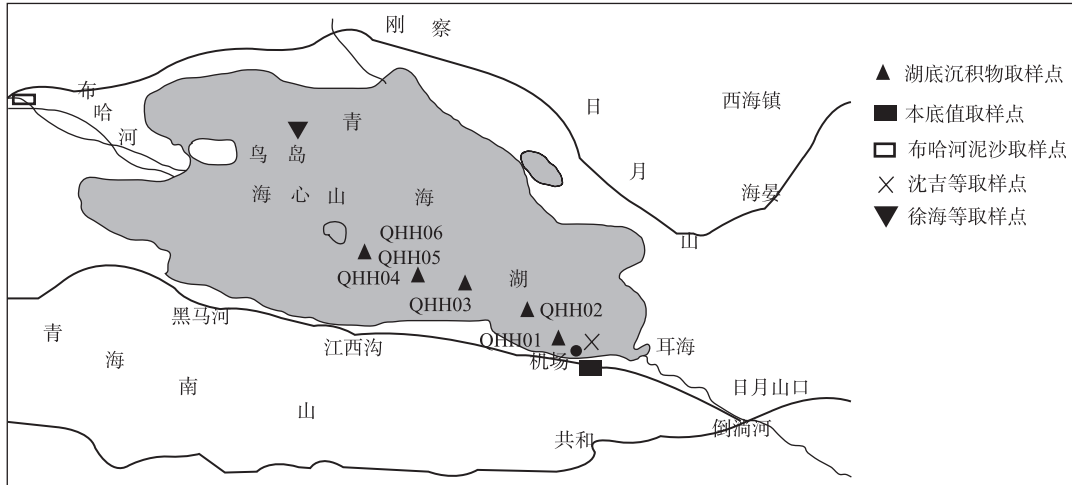


图2 青海湖采样位置示意图
Fig.2 Sampling location in Lake Qinghai

3 结果与讨论

3.1 ¹³⁷Cs本底值

青海湖湖滨草地的土壤分层剖面, 0-3cm 表土层的 ¹³⁷Cs 浓度最高, 18.46±2.14mBq/g; ¹³⁷Cs 浓度随深度的增加急剧降低, 深度 9cm 以下土层无 ¹³⁷Cs 检出(图 3a). 青海湖湖滨草地 37 个孔 ¹³⁷Cs 面积活度的空间分布见图 3b. ¹³⁷Cs 面积活度变动于 0-(462.6±23.1)mBq/cm², 其中 27 个孔的介于 50-200mBq/cm²; 6 个孔的介于 10-50mBq/cm²; 介于 200-300mBq/cm², 300-400mBq/cm² 和大于 400mBq/cm² 分别只有 1 个孔; 另有 1 个孔未有 ¹³⁷Cs 检出. 37 个孔的 ¹³⁷Cs 面积活度平均值为 117.7mBq/cm², 取此值为当地 2005 年的 ¹³⁷Cs 本底值.

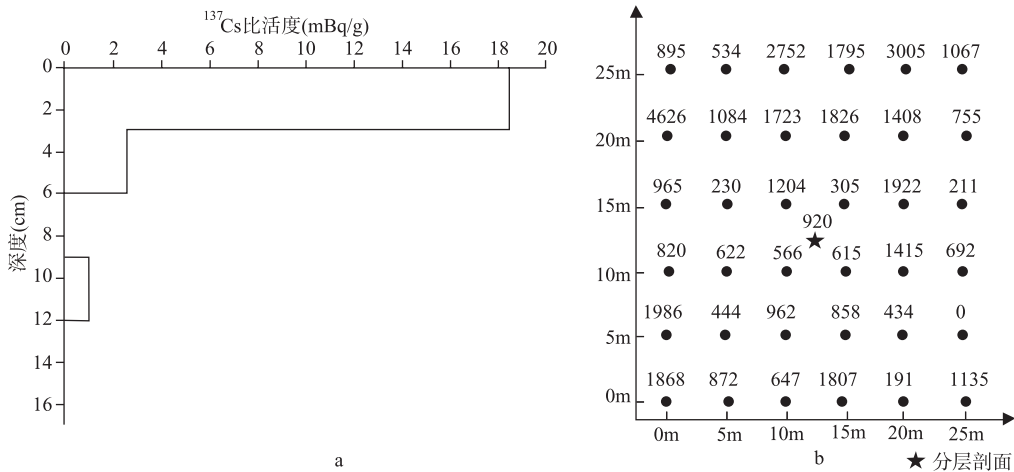


图3 本底值样地的¹³⁷Cs比活度深度(a)和面积活度空间分布(b)
Fig.3 ¹³⁷Cs depth distribution(a) and spatial distribution(b) in reference site

3.2 湖泊底泥的 ¹³⁷Cs 面积活度

湖泊底泥5个全样孔和1个分层孔的¹³⁷Cs浓度、面积活度和平均粒度见表1。青海湖东南部的QHH01和QHH02孔的¹³⁷Cs浓度面积活度高,分别为186.1mBq/cm²和325.0mBq/cm²,为本底值的155%和270%;湖泊中部的QHH03、QHH04和QHH05三个孔的¹³⁷Cs面积活度低,分别为130.0mBq/cm²、141.8mBq/cm²和100.7mBq/cm²,分别为本底值的108%、118%和84%。显然,东南部的2个孔有明显沉积发生,特别是位于江西沟冲积扇前缘水下部分的QHH02孔,沉积强烈,不但¹³⁷Cs面积活度最高,粒度也最粗,水深也最小。湖泊中部的3个孔沉积轻微,靠近海心山的QHH05和QHH06孔的¹³⁷Cs面积活度略低于本底值,考虑到取样深度以下的底泥中可能还含有少量¹³⁷Cs和测试误差,这2个孔的¹³⁷Cs面积活度可能和本底值非常接近,既没有侵蚀也没有沉积发生。

QHH06分层孔底泥表层0-3cm的¹³⁷Cs浓度最高,37.7mBq/g,向下急剧降低,深度9cm以下底泥的¹³⁷Cs浓度低于3mBq/g,深度18-21cm孔底层位底泥的¹³⁷Cs浓度2.0mBq/g,深度21cm以下的底泥可能仍含少量¹³⁷Cs(图4)。

3.3 沉积泥沙的平均 ¹³⁷Cs 浓度

合理确定核爆期间以来沉积泥沙的平均¹³⁷Cs浓度,是利用质量平衡模型计算沉积速率的关键。若湖泊底泥中不存在¹³⁷Cs的扩散、迁移和泥沙扰动,可以用底泥最表层泥沙的¹³⁷Cs浓度表征沉积泥沙的平均¹³⁷Cs浓度。QHH06分层孔底泥表层0-3cm的¹³⁷Cs浓度最高,37.7mBq/g,其他研究者报导的0-1cm的¹³⁷Cs浓度均大于50mBq/g^[7-10]。由于湖泊底泥中存在¹³⁷Cs的扩散和迁移,以上浓度高于实际浓度,沉积速率的计算值偏小。2005年8月布哈河滩地洪水沉积泥沙5个样品的¹³⁷Cs浓度介于(3.09±0.15)-(9.22±0.46)mBq/g,平均值5.46mBq/g。2005年入湖泥沙的¹³⁷Cs浓度远低于核爆以来青海湖沉积泥沙的平均¹³⁷Cs浓度,沉积速率的计算值偏大。

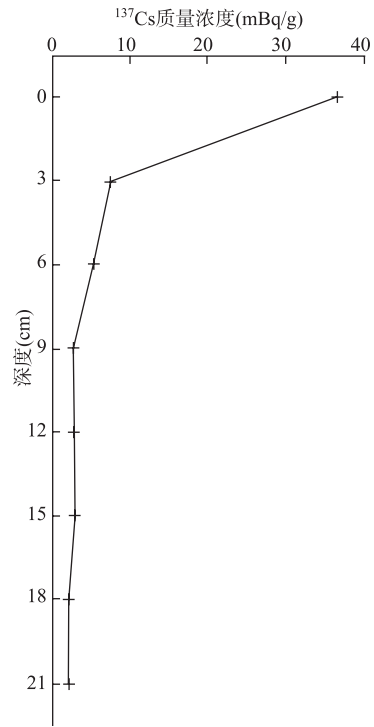


图4 QHH06孔 ¹³⁷Cs 深度分布
Fig.4 The ¹³⁷Cs depth distribution of sediment core QHH06

表1 6个孔的底泥特征值和¹³⁷Cs浓度、面积活度

Tab.1 The bottom mud characteristics and ¹³⁷Cs concentration and inventory of six sediment cores

样号	水深 (cm)	¹³⁷ Cs活度 (mBq/g)	¹³⁷ Cs面积活度 (mBq/cm ²)	平均粒度 (μm)	样柱长 (cm)	样品干重 (g)	容重 (g/cm ³)	沉积速率 (质量厚度) (g/(cm ² ·a))	沉积速率 (厚度) (cm/a)
QHH01	24	14.5±0.72	186.1±9.3	16.0	26	351.6	0.49	0.054	0.110
QHH02	18.5	20.6±1.03	325.0±16.3	40.5	22	435.8	0.72	0.165	0.229
QHH03	25	10.3±0.52	130.0±6.5	12.1	24	344.8	0.53	0.010	0.019
QHH04	26	9.5±0.48	141.8±7.1	16.0	32	407.4	0.47	0.019	0.040
QHH05	26	8.1±0.41	100.7±5.0	14.1	20	338.6	0.62	0	0
QHH06	26	(36.7±1.82)-(2.0±0.10)	92.9		21	300.2	0.52		

以下我们主要利用沉积最强烈的QHH02孔底泥样品的¹³⁷Cs浓度和面积活度,分析核爆期间以来沉积泥沙的平均¹³⁷Cs浓度。根据混合模型,取样底泥样品的¹³⁷Cs浓度可表述为:

$$A = CW \tag{3}$$

$$A = A_0 + \bar{C}W_c \quad (4)$$

$$A_0 = W_0C_0 \quad (5)$$

$$W = W_0 + W_c + W_x \quad (6)$$

式中, C 为底泥样品的 ^{137}Cs 含量(mBq/g); \bar{C} 为1963年以来沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 浓度(mBq/g); C_0 为无沉积理想剖面的含 ^{137}Cs 层位泥沙的 ^{137}Cs 平均含量(mBq/g); W 为取样孔底泥样品的质量深度(单位面积的底泥质量)(g/cm^2); W_c 为1963年以来沉积泥沙的质量深度(g/cm^2); W_0 为无沉积理想剖面的含 ^{137}Cs 层位泥沙的质量深度(g/cm^2); W_x 为取样孔底泥样品中的混入的不含 ^{137}Cs 泥沙的质量深度(g/cm^2).

假定 $W_0=0$, 大气直接沉降到湖面的 ^{137}Cs 尘埃高度富集于底泥的极表层, 厚度忽略不计; 和 $W_x=0$, 即取样的底泥中没有混入不含 ^{137}Cs 的泥沙. 也就是说, 取样深度等于1963年以来的泥沙沉积厚度. 此假定条件下, 计算出的1963年以来沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 浓度(\bar{C}), 是可能最低 ^{137}Cs 浓度. 理论上, 如沉积泥沙的厚度趋近于0, 1963年以来沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 浓度为无穷大($\bar{C} \rightarrow \infty$). 青海湖已有的 ^{137}Cs 深度分布曲线表明, 湖泊底泥中的 ^{137}Cs 主要赋存于深度数cm的表层, 如根据已有的 ^{137}Cs 深度分布曲线, 确定 W_0 , 同时假定底泥样品没有混入不含 ^{137}Cs 的泥沙, $W_x=0$, 可求出更为合理的沉积泥沙可能最低 ^{137}Cs 含量泥沙.

取 $W_0=0$, $W_x=0$, QHH02孔1963年以来的可能最低 ^{137}Cs 含量为 13.1mBq/g . 该孔底泥样品的质量深度为 15.94g/cm^2 ($\gamma=0.72\text{g/cm}^3$), 假定无沉积理想剖面的 ^{137}Cs 全部赋存于深度0–9cm的底泥中, $W_0=6.5\text{g/cm}^2$ 和 $W_x=0$, 求算出的沉积泥沙的可能最低 ^{137}Cs 含量为 22.0mBq/g . 青海湖湖滨草地0–3cm表层土壤的 ^{137}Cs 含量为 $(18.46 \pm 2.14)\text{mBq/g}$, 附近瓦里关高寒草甸滩地0–4cm表层土壤的 ^{137}Cs 含量为 $(22.62 \pm 1.26)\text{mBq/g}$. 青海湖流域地广人稀, 植被以高寒灌丛草甸为主, 侵蚀轻微, 布哈河输沙模数仅 $12.2\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 侵蚀导致表层土壤的 ^{137}Cs 含量降低有限. 1963年以来土壤表层 ^{137}Cs 含量的降低主要是 ^{137}Cs 核素的向下扩散和入渗. 据伏介雄和笔者的理论推算, 陕北子长无侵蚀黄土草地最表层土壤的 ^{137}Cs 含量1964年以来呈指数锐减, 1964年高达 260mBq/g , 15年、23年和38年后分别锐减为 49mBq/g , 38mBq/g 和 19mBq/g . 由于沟岸和重力侵蚀等次表层侵蚀产沙基本不含 ^{137}Cs , 河流泥沙的 ^{137}Cs 浓度低于表层土壤. 2005年布哈河洪水滩地沉积泥沙的最高 ^{137}Cs 浓度为 9.22mBq/g , 根据黄土草地最表层土壤 ^{137}Cs 含量的理论锐减比例, 1990年和1982年的相应浓度分别为 18.4mBq/g 和 23.8mBq/g . 由于泥沙输移过程中的沿程沉积, 湖泊沉积泥沙的粒度较洪水泥沙为细, ^{137}Cs 含量应高于滩地洪水沉积泥沙. 综合以上的分析, 我们初步确定 $\bar{C}=30\text{mBq/g}$ 为1963年以来青海湖沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 浓度, 用于计算各孔的沉积速率.

3.4 1963 年以来的沉积速率

取 $A_0=117.7\text{mBq/cm}^2$, $\bar{C}=30\text{mBq/g}$, $\gamma=0.72\text{g/cm}^3$, 用公式(1)和(2)计算求得的5个孔沉积速率见表1. 从湖泊中部接近海心山的QHH05孔到东南部接近青海湖渔场岸边的QHH01孔的各孔沉积速率分别依次为0, 0.040, 0.019, 0.229和 0.110cm/a . 湖泊中部的3个孔的平均沉积速率为 0.020cm/a , 和根据布哈河输沙模数求算出的青海湖平均沉积速率 0.018cm/a ($\gamma=0.56\text{g/cm}^3$)非常吻合, 远低于已报导的青海湖沉积速率^[7-10]. 湖泊东南部的沉积速率大于湖泊中部, 位于江西沟冲积扇前缘水下部分的QHH02孔的沉积速率高达 0.229cm/a , 是已报导青海湖沉积速率的2倍.

4 结语

青海湖和其他低沉积速率湖泊沉积物剖面中, 深度数 cm 处的 ^{137}Cs 蓄积峰, 也可能是沉降到底泥表面的 ^{137}Cs 尘埃, 以扩散和迁移的方式向下入渗形成. 因此, 将沉积剖面中的 ^{137}Cs 蓄积峰解释为1963年的沉积, 并据此计算沉积速率, 未必合理. 湖泊底泥中的 ^{137}Cs 核素来源于大气直接沉降于湖面的 ^{137}Cs 尘埃和入湖泥沙吸附的 ^{137}Cs . 理论上, 可以利用 ^{137}Cs 质量平衡模型计算20世纪50–70年代大气层核试验以来的湖泊平均沉积速率, 但合理确定核爆期间以来沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 浓度是其难点. 主要利用 ^{137}Cs 面积活度最高的取样孔底泥样品的 ^{137}Cs 浓度和面积活度, 结合入湖河流泥沙的 ^{137}Cs 浓度和1963年以来草地表层土壤 ^{137}Cs 浓度变化的理论分析, 初步确定 $\bar{C}=30\text{mBq/g}$ 为1963年以来青海湖沉积泥沙的平均 ^{137}Cs 浓度. 青海湖湖滨草地测得的 ^{137}Cs 本底值为 117.7mBq/cm^2 . 用 ^{137}Cs 质量平衡模型, 根据 ^{137}Cs 面积活度求得的湖泊中部的3个孔的平均沉积速率为 0.020cm/a , 和根据布哈河输沙模数求算出的青海湖

平均沉积速率 0.018cm/a 吻合, 远低于已报导的青海湖沉积速率。湖泊东南部的沉积速率大于湖泊中部, 位于江西沟冲积扇前缘水下部分的 QHH02 孔的沉积速率高达 0.229cm/a, 是已报导的青海湖沉积速率的 2 倍。

本文是 ^{137}Cs 质量平衡模型方法测算低沉积速率湖泊沉积速率的初步尝试, 方法是否合理和沉积速率计算值是否符合实际等问题, 还需要在今后研究工作中予以验证。

致谢: 本研究得到黄土与第四纪地质国家重点实验室、环境地球化学国家重点实验室和国际原子能机构(IAEA)部分资助, 在此表示衷心感谢。

5 参考文献

- [1] Zapata F. Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publisher, 2002: 111-164.
- [2] Ritchie JC, McHenry JR, Gill AC. Dating recent reservoir sediments. *Limnology and Oceanography*, 1973, **18**: 254-263.
- [3] Walling DE, He Qingping. Interpretation of caesium-137 profiles in lacustrine and other sediments: the role of catchment-derived inputs. *Hydrobiologia*, 1992, **235/236**(1): 219-230.
- [4] 万国江, Santschi PH, Sturm M 等. 放射性核素和纹层纪念对比研究瑞士格莱芬湖近代沉积速率. *地球化学*, 1986, **3**: 259-270.
- [5] He Q, Walling DE, Owens PN. Interpreting the ^{137}Cs profiles observed in several small lakes and reservoirs in southern England. *Chemical Geology*, 1996, **129**: 115-131.
- [6] 张信宝. 有关湖泊沉积 ^{137}Cs 深度分布资料解译的探讨. *山地学报*, 2005, **23**(3): 294-299.
- [7] 沈吉, 张恩楼, 夏威岚. 青海湖近千年来气候环境变化的湖泊沉积记录. *第四纪研究*, 2001, **21**(6): 508-513.
- [8] 张恩楼, 沈吉, 王苏民等. 青海湖近900年来气候环境演化的湖泊沉积记录. *湖泊科学*, 2002, **14**(1): 32-38.
- [9] Henderson ACG, Holmes JA, Zhang JW *et al.* A carbon-and oxygen-isotope record of recent environmental change from Lake Qinghai, NE Tibetan Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**: 1463-1468.
- [10] Xu Hai, Ai Li, Tan Liangcheng *et al.* Geochronology of a surface core in the northern basin of Lake Qinghai: Evidence from ^{210}Pb and ^{137}Cs radionuclides. *Chinese Journal of Geochemistry*, 2006, **25**(4): 301-306.
- [11] Sholkovitz ER, Mann DR. The powerwater chemistry of $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{137}Cs in sediments of Buzzards Bay, Massachusetts. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 1984, **48**: 1107-1114.
- [12] Davis RB, Hess CT, Norton SA *et al.* ^{137}Cs and ^{210}Pb dating of sediments from soft-water lakes in New England (U.S.A) and Scandinavia, a failure of ^{137}Cs dating. *Chemical Geology*, 1984, **44**: 151-185.
- [13] Brunskill GJ, Ludlam SD, Peng TH. Fayetteville Green Lake, N.Y., U.S.A. VII. Mass balance for ^{137}Cs in water, varved and non-varved sediment. *Chemical Geology*, 1984, **44**: 101-117.
- [14] Walling DE, He Q. Towards improved interpretation of caesium-137 profile in lake sediment. In: McManus J, Duck R eds. *Geomorphology and sedimentology of lakes and reservoirs*. Chichester: Wiley, 1993: 31-53.
- [15] 曾奕, 张信宝, 周卫健等. 青海湖表层底泥中放射性同位素 ^{137}Cs 的来源. *湖泊科学*, 2007, **19**(5): 516-521.
- [16] Zhang Xinbao, Walling DE, Feng Mingyi *et al.* $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ depth distribution in soil and calibration models for assessment of soil erosion rates from $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ measurements. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**(8): 813-818.
- [17] 伏介雄, 张信宝, 齐永青等. 无侵蚀非农耕地土壤 ^{137}Cs 深度分布入渗过程模型. *核技术*, 2006, **29**(3): 1-5.