

中国地区湖泊沉积物中 ^{137}Cs 分布特征和环境意义*

曾理^{1,2,3}, 吴丰昌^{2**}, 万国江¹, 郑建⁴

- (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: 中国环境科学研究院湖泊基地, 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012)
(3: 中国科学院研究生院, 北京 100049)
(4: 国立放射医学综合研究所, 那珂湊, 日本)

摘要: ^{137}Cs 是人为放射性核素, 长期以来, 它在沉积物岩芯剖面中的分布被用作近代沉积物定年的重要手段之一。本文全面收集了关于我国湖泊沉积物中 ^{137}Cs 分布的研究文献, 对它们进行了综合分析和对比; 试图揭示中国湖泊沉积物中 ^{137}Cs 剖面分布特征和环境意义; 结合我国湖泊分区和特点, 分别讨论了我国五大湖区 ^{137}Cs 的总体特征和主要影响因素。研究表明: 影响 ^{137}Cs 沉积剖面分布的因素, 除了纬度和海拔外, 还应与当地的地貌特征、降雨量、植被状况和人类活动有关; 全球核大气沉降是中国湖泊沉积物的 ^{137}Cs 剖面分布最主要的来源, 同时我国早期的大气核试验和前苏联切尔诺贝利核泄漏事件对我国部分地区 ^{137}Cs 分布可能有一定的影响。

关键词: 湖泊; 沉积物; 计年; ^{137}Cs ; 沉积剖面

The distribution characteristic and environmental significance of Cesium-137 deposit profile in Chinese lacustrine sediment

ZENG Li^{1,2,3}, WU Fengchang², WAN Guojiang¹ & ZHENG Jian⁴

- (1: *State Key Laboratory of Environment Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, P.R.China*)
(2: *State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy of Environment Sciences, Beijing 100012, P.R.China*)
(3: *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R.China*)
(4: *National Institute of Radiological Sciences, Hitachinaka-Shi, Japan*)

Abstract: Cesium-137 (^{137}Cs) is an artificial radionuclide. Its distribution in the deposit profile is used as a tool of sedimentary chronology. In order to know the depth distribution profile characteristics and environmental significance of ^{137}Cs in the sediment of Chinese lake, the literatures concerned were compared and analyzed in this article. We discussed the whole characteristics and main affect factor of lacustrine sedimentary profile of ^{137}Cs in five lake areas by reason of different physiognomy. This research indicated that the ^{137}Cs deposit profile related to the physiographic characteristics, rainfall, vegetation and human activity besides latitude and altitude. The atmospheric nuclear experiment in China and the Chernobyl accident in Pre-Soviet Union potentially influenced on the ^{137}Cs distribution of some zone.

Keywords: Lake; sediment; chronology; ^{137}Cs ; sedimentary profile

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。利用放射性核素示踪各种

* 中国科学院重要方向项目(KZCX2-YW-102), 国家自然科学基金项目(40525011、40632011)和中国环境科学研究院公益项目(2007KYYW01)联合资助。2008-04-20 收稿; 2008-06-10 收修改稿。曾理, 男, 1983 年生, 博士研究生。

** 通讯作者; E-mail: wufengchang@vip.skleg.cn.

环境演化过程早已成为一种重要的研究手段. 按其半衰期的长短及参与过程之不同而适用于各种不同的研究对象. ^{137}Cs 是一种长寿命的人工放射性核素, 半衰期为30.17年, 已被广泛地运用于现代湖泊沉积、气候环境变化和流域侵蚀作用等方面的研究^[1-8].

湖泊是流域侵蚀土壤的汇, 淤积直接或间接导致湖泊老化、衰亡, 但湖泊沉积物却可完整记录区域环境变化的信息, 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. 而且湖泊沉积物的环境变化记录在全球变化的研究中也是一个重要的组成部分^[2]. 由于 ^{137}Cs 为人工放射性核素, 来源单一, 输入函数比较清楚, 便成为研究湖泊沉积过程中常用的示踪核素. 全球核试验的初始时间是20世纪50年代初期, 而散落的高峰期是1963-1964年, 因为 ^{137}Cs 这一人工放射性核素反映了大气核试验的这段历史, 所以它通常被作为时间标记使用^[9]. 在1986年4月26日前苏联核泄漏事故之后, 有研究表明在海洋和湖泊沉积物中即出现了源于切尔诺贝利事故的 ^{137}Cs ^[10-11]. 因此, ^{137}Cs 的沉积剖面中1986年的蓄积峰也能作为一个有价值的时间标记^[12].

在国内的研究中常用 ^{137}Cs 作为沉积物定年的工具, 但大多数仅是对 ^{137}Cs 的沉积剖面进行了年代方面的分析, 或与 ^{210}Pb 计年进行了对比, 较少深入地研究沉积剖面特点形成的原因及影响因素. 本文全面收集并整理了关于国内湖泊沉积物中 ^{137}Cs 沉积剖面的研究文献, 对它们进行了综合分析、对比和归类, 其目的是试图找出我国湖泊沉积物中 ^{137}Cs 沉积剖面的分布特征, 并对影响其分布特征的因素作综合分析, 希望这些总结性工作能对以后的研究工作有着一定的帮助.

1 中国地区 ^{137}Cs 分布的基本特征

按照 ^{137}Cs 在全球空间上分布规律, 北半球的 ^{137}Cs 总沉降量大于南半球, 因为更多的核试验发生在北半球; 核爆炸周围地区的 ^{137}Cs 沉降量高于全球平均水平; 受平流层大气运动影响, ^{137}Cs 尘埃在中高纬度地区含量较高, 相同降水量下, 纬度越高, ^{137}Cs 沉降量越大^[13]. 我国的核试验场主要在新疆的罗布泊地区, 在那里先后进行了一系列大气核试验 (从1964年到1980年共进行了22次大气核试验), 虽然爆炸当量不大, 但是对试验场附近湖泊的 ^{137}Cs 沉积柱芯剖面影响可能性也存在.

虽然切尔诺贝利核电站反应堆爆炸事故导致在全球较大范围内的一次 ^{137}Cs 沉降峰, 但是该事故泄漏的 ^{137}Cs 没有进入平流层, 只影响到对流层, 其沉降具有明显的地域特征, 受影响最严重的是距离核事故发生地点较近的欧洲和亚洲西部地区, 我国所处的亚洲东部地区受到的影响可能相对较小^[14].

2 我国各湖区 ^{137}Cs 沉积剖面特征

^{137}Cs 存在于核爆炸逸散的放射性气溶胶中, 大于0.1mm的微粒在一天内就地沉降, 小于25 μm 的微粒在大气中长期飘游, 部分保留在对流层, 大部分进入平流层. 在对流层的放射性微粒因受大气环流的影响, 获得充分的稀释和扩散, 在重力和降水冲刷的作用下, 比较均匀地沉降到地表. 对流层中放射性微粒的平均寄宿时间只有几天. 进入平流层的放射性微粒随中纬度的西向喷注气流呈带状扩散, 在几个月内沿纬度线呈均匀分布. 在重力作用下, 平流层中放射性微粒沉降到其底部, 再透过平流层-对流层界面, 或通过中纬度的界面“缝隙”回到对流层, 进而沉降到地表. 放射性微粒在平流层中的寄宿时间约0.3-3年. 沉降到地表的 ^{137}Cs 分别进入土壤及水体中, 并参与到环境宿体的各种地球化学过程中. 所以, 湖泊周围的地形地貌特点也是湖泊沉积物中 ^{137}Cs 分布剖面的影响因素之一. 因此, 我们综合了已发表的有关中国湖泊中 ^{137}Cs 沉积剖面的相关文献, 按照湖泊分区(青藏高原湖区、云贵高原湖区、蒙新高原湖区、东部平原湖区和东北平原与山地湖区^[15-16]), 并结合湖泊所处的季风区及周围区域的地形地貌特点, 对湖泊沉积物 ^{137}Cs 分布特征分别进行讨论.

2.1 青藏高原湖区

青藏高原范围包括西藏自治区和青海省的全部及新疆南部一角. 本区湖泊是地球上海拔最高、数量最多和面积最大的高原内陆湖区, 也是我国湖泊分布密度最大的两个稠密湖区之一. 湖泊以盐湖为主.

前人分析了位于青海共和盆地的达连海湖、青藏高原的苟鲁错、青藏高原东部若尔盖盆地的兴措、青藏高原北缘的哈拉湖、西藏南部羊卓雍湖流域内的沉错地区和青海湖的沉积岩芯中 ^{137}Cs 的分布剖面.

从这几组沉积柱芯可以看出, 在青藏高原湖区的 ^{137}Cs 分布剖面中, 多以单蓄积峰为主, 部分柱芯反映了不明显的次蓄积峰. 多数湖泊的剖面曲线在达到最大值后迅速下降, 这一点也与北半球 ^{137}Cs 逐年大气总沉降量变化曲线相似(图1), 说明青藏高原的湖泊中 ^{137}Cs 的来源可能是以全球核试验所产生的大气沉降为主(图2). 李世杰等认为在苟鲁错湖沉积柱芯中最大蓄积峰指示了1963年的时标, 上部微弱的蓄积峰指示了切尔洛贝利事故的1986年, 并用 ^{210}Pb 年龄测定以佐证^[19]; 严平等认为在达连海的 ^{137}Cs 深度分布的蓄积谷和最大蓄积峰间似有一个对应1986年切尔诺贝利事件的次一级 ^{137}Cs 蓄积峰, 但证据不充分^[20]; 朱立平等认为羊卓雍湖沉错地区的沉积剖面上部, 尽管没有明显的峰值, 但是位于3.5–4.5cm处的两个高值对应于1972年的核试验, 根据 ^{210}Pb 的分布所推算的年代与 ^{137}Cs 反映的绝对年龄时标基本相符^[21]; 沈吉等认为 ^{137}Cs 于1963年和1952年的时标分别出现在5.5cm和12.5cm, 与根据 ^{210}Pb 变化计算的沉积速率基本吻合. 该柱芯在1952年之前和1963年之后的沉积速率基本一致, 而1952年至1963年之间沉积速率偏大, 他们解释为: 由于湖区周围大规模农田开垦所致^[22].

可见, 该湖区可能是以全球核爆产生的 ^{137}Cs 降尘为主要来源, 我国的核试验和切尔诺贝利事故对其 ^{137}Cs 分布剖面的影响甚微. 其主要原因为青藏高原的海拔颇高, 使得各类季风被隔绝于高原内部, 阻碍了对流层中放射性降尘的沉降. 由于我国核试验所产生的 ^{137}Cs 多存在于对流层中, 并且切尔诺贝利事故的沉降具有明显的地域特征, 所以在青藏高原湖区 ^{137}Cs 沉积剖面中的放射性降尘多来源于平流层中1963年全球大气核爆高峰期的沉降.

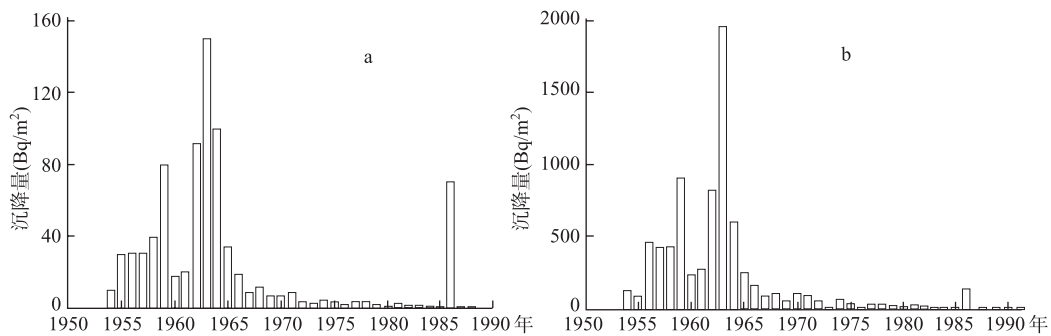


图1 北半球(a)^[17]及日本东京地区(b)^[18] ^{137}Cs 逐年大气总沉降量变化曲线

Fig.1 Comparison of annual ^{137}Cs fallout flux of the Northern Hemisphere(a) and Tokyo(b)

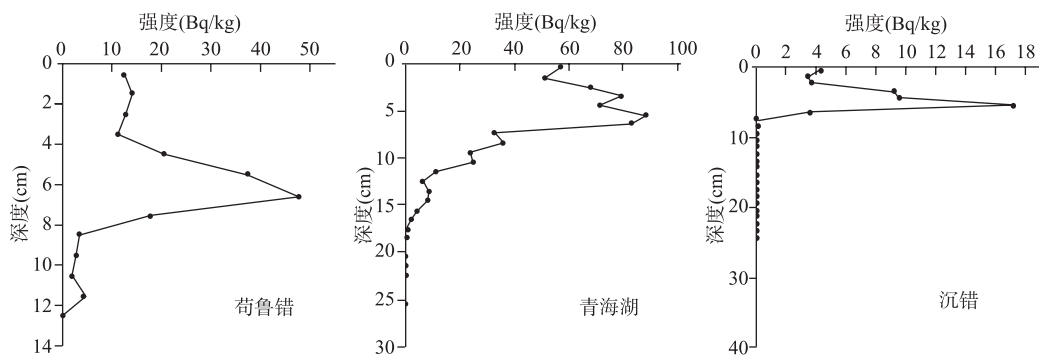


图2 青藏高原湖区 ^{137}Cs 沉积剖面^[19-24]

Fig.2 The ^{137}Cs deposit profile of Tibetan Plateau lacustrine area

2.2 云贵高原湖区

本区域湖泊主要分布在滇中和滇西的一些断裂带上, 以海拔较高, 湖岸陡峻, 面积较小而湖水较深为其主要特征. 本区纬度较低, 属印度洋季风气候区, 降水主要受夏季风即西南季风控制, 湖水依靠地

表水和地下水补给。

从前人关于云南的滇池、程海、抚仙湖、洱海和贵州的红枫湖的研究中发现: 在该湖区湖泊的 ^{137}Cs 沉积剖面中虽然有所干扰, 但还是能够识别出两个较为明显的蓄积峰(图3)。曾海鳌等认为在抚仙湖沉积柱芯中的 ^{137}Cs 具有1963年和1986年两个明显的峰值^[25]; 万国江等认为在红枫湖中 ^{137}Cs 的沉积剖面与全球散落一致, 有明显1975年的 ^{137}Cs 蓄积计年时标, 有切尔诺贝利事故散落 ^{137}Cs 的蓄积迹象^[26]; 项亮等认为在滇池的沉积柱芯中蓄积的 ^{137}Cs 绝大部分还是来自核试验的散落物, 发现了1986年切尔诺贝利事故散落 ^{137}Cs 的蓄积, 部分地区存在一个可辨别的 ^{137}Cs 沉降峰, 它对应着1974年的时标, 出现的原因与核武器试验散落核素有关^[27]; 万国江等认为程海沉积物柱芯中 ^{137}Cs 比活度随沉积物深度呈现出三峰特征, 最大蓄积峰标记了1964年全球散落高峰, 两个次级蓄积峰, 分别与1975年的全球散落沉降和1986年发生的切尔诺贝利事故有关^[28]。总的来说, 在该区湖泊的 ^{137}Cs 沉积剖面中能够识别出1963年和1975年的蓄积峰, 但是没有明显存在1986年的蓄积峰。

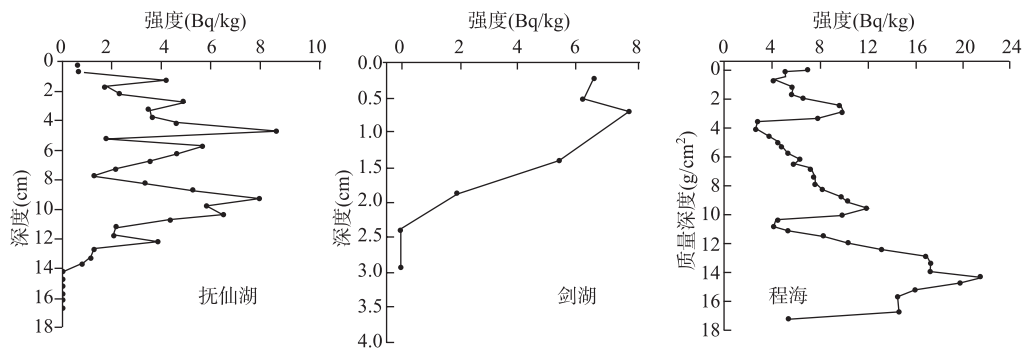


图3 云贵高原湖区 ^{137}Cs 沉积剖面^[25-30]

Fig.3 The ^{137}Cs deposit profile of Yunnan-Guizhou Plateau lacustrine area

全球大气核试验所产生的降尘是中国湖泊沉积物的 ^{137}Cs 分布剖面最主要的贡献源, 几乎在每个沉积柱芯的 ^{137}Cs 分布剖面中都能找到指示1963年的蓄积峰, 这使得该蓄积峰成为了 ^{137}Cs 标年方法中最可靠的时间标记; 新疆湖泊 ^{137}Cs 比活度偏高的原因, 可能与我国在该地区进行大气核试验存在密切关系, 但是其他湖区在1975年左右所形成的蓄积峰是否是我国的核试验影响所致, 还需要进一步研究; 切尔诺贝利事故所产生的1986年蓄积峰除蒙新湖区和东部湖区外, 在其他三个湖区中并不明显, 甚至没有, 这可能是因为各湖区降水量的差异、当地的地形地貌以及所处的季风带等诸多因素确定的。

2.3 蒙新高原湖区

蒙新高原地区地处内陆, 大部分区域处于东南季风的边缘, 从而形成众多的内陆湖泊, 湖泊也以咸水湖和盐湖为主。湖泊的湖面随季风降水量时升、时降, 湖形多变。

张成君等分析了新疆的博斯腾湖, 认为 ^{137}Cs 在博斯腾湖的质量深度剖面中, 有3个明显的蓄积峰位置, 但是其质量深度剖面并不与其他湖泊, 如云贵高原区域的程海的三峰沉降剖面一样(比活度最大值出现在下层的蓄积峰), 而是在最新的沉积层节上表现出最大的 ^{137}Cs 比活度。这是因为博斯腾湖位于新疆南部, 处于西风带, 与前苏联距离较近, 受切尔诺贝利事件的影响相对较大^[31]; 陈发虎等认为博斯腾湖紧邻中国核试验地区, ^{137}Cs 的分布曲线不但受到全球核试验的影响, 更受该地区核试验的影响。在 ^{137}Cs 质量深度剖面中也有较明显的反映, 可能也有与全球的 ^{137}Cs 散落相叠加的原因, 所以在1975年的沉积层段也反映出较大的 ^{137}Cs 比活度^[32](图4)。

2.4 东北平原与山地湖区

该区主要是指我国东北的黑龙江、吉林和辽宁三省。本区山区为近代火山活动较频繁的地区, 所以区内湖泊多与火山活动关系密切。本湖区的湖泊成因多与近期地壳沉陷、地势低洼、排水不畅和河流摆动有关。它们具有面积小、湖盆坡降平缓, 现代沉积物深厚, 湖水浅和矿化度高等特点。

前人的研究表明: 在二龙湾沉积柱芯中有一个较为明显的 ^{137}Cs 蓄积峰, 这一峰值被确认为对应于1963年全球 ^{137}Cs 散落的高峰期^[33]; 四海龙湾玛珥湖中最大蓄积峰可能为1963年全球 ^{137}Cs 散落的高峰期, 1986年切尔诺贝利核电站泄露造成的 ^{137}Cs 次级蓄积峰没有发现^[34]. 可见, 在东北平原与山地湖区中的 ^{137}Cs 多以1963年的单蓄积峰为主, 1975年和1986年的蓄积峰在该湖区的沉积剖面中不明显(图4).

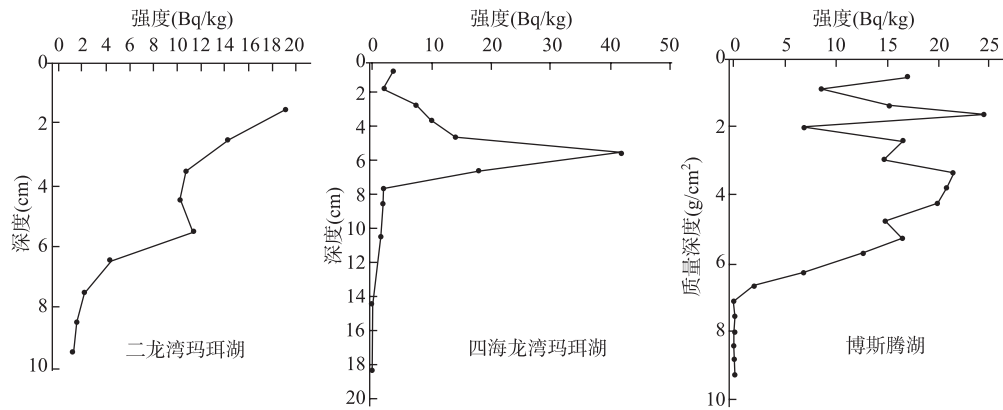


图4 博斯腾湖和东北玛珥湖的 ^{137}Cs 沉积剖面^[32-34]

Fig.4 The ^{137}Cs deposit profile of Lake Bosten and maar Lake in northeastern China

2.5 东部平原湖区

东部平原湖区众多的大中型湖泊大多是在构造盆地的基础上, 由于河床演变而形成的河成湖, 黄淮海平原及大运河沿线众多的湖泊大多也是河流演变的产物. 本区绝大多数湖泊属吞吐型湖泊, 河湖关系密切. 湖泊水位因降水季节分配不均而年变幅大.

前人分析了苏皖地区的固城湖和女山湖、武汉的东湖以及长江中下游的鄱阳湖^[35]、洪湖、巢湖、太湖大浦湖区和洞庭湖. 刘建军等认为太湖大埔湖区的两个蓄积峰分别是1986年和1963年的蓄积峰^[36]; 项亮认为苏皖地区的固城湖和女山湖, 其沉积柱芯内 ^{137}Cs 比活度随深度分布的特征都与北半球 ^{137}Cs 的年沉降分布特征相似, 距表层较近的 ^{137}Cs 蓄积峰完全是对切尔诺贝利核泄漏事故的记录^[12]; 姚书春等认为洪湖沉积柱芯剖面下层出现的高峰值指示1963年全球大规模的核试验爆发, 上层出现的最高峰指示了1986年前苏联切尔诺贝利核泄漏事件, 巢湖沉积柱芯剖面所出现的最高峰值指示1963年 ^{137}Cs 的全球散落高峰^[37].

东部平原湖区 ^{137}Cs 的沉积柱芯剖面具有很明显的双峰特征(图5), 在该湖区的 ^{137}Cs 分布剖面中, 多以1963年和1986年的双蓄积峰为主, 部分靠近西部的岩芯中反映了1973年的蓄积峰. 其原因可能是因为东部平原湖区位于太平洋季风区, 而且地形以平原为主, 所以有较为明显的1963年蓄积峰; 在湖区的北面没有如同云贵高原湖区北面青藏高原的存在, 所以能够在沉积剖面中出现明显的1986年蓄积峰.

最后, 我们利用放射性衰变速率校正了一些湖泊 ^{137}Cs 的比活度数据至2004年, 并根据文献中所发表的质量深度, 得出湖泊沉积柱心中 ^{137}Cs 的总沉降量. 然后与湖泊附近地域 ^{137}Cs 年平均沉降量的本底值进行了比较, 程海、滇池和剑湖附近的云南牟定(101.5°E, 25.3°N)^[40]和云南元谋(101.9°E, 25.7°N)^[41]; 固城和女山湖附近的江苏吴县(120.6°E, 31.3°N)^[42]和江苏宜兴(119.8°E, 31.9°N)^[43]; 博斯腾湖附近的新疆库尔勒(86.1°E, 41.7°N)^[44]. 从以上数据可以看出程海湖的沉降量远大于附近地区的本底值, 可能是因为程海湖周边地区水土流失, 大量的侵蚀土壤进入到湖泊沉积, 造成了这一现象. 据相关研究表明: 程海湖流域是云南省湖泊中水土流失最严重的流域, 土壤侵蚀率高达61.59%, 流域每年的土壤侵蚀量达 $78.4 \times 10^4 \text{t}$ ^[45].

总之, 从全国范围上来看在 ^{137}Cs 湖泊沉积剖面中均应存在明显的1963年主蓄积峰, 青藏高原湖区和东北平原与山地湖区的大多数湖泊沉积岩芯中只存在1963年的蓄积峰, 蒙新高原湖区和云贵高原湖区虽都是呈现三峰的剖面特征, 但是各有各的特点: 蒙新高原湖区的剖面中最大蓄积峰为1986年的蓄积峰, 指示全球核爆高峰期1963年的蓄积峰值在三个蓄积峰中最小, 而云贵高原湖区的剖面特点正好与其相反. 在东部平原湖区的多数湖泊沉积岩芯的剖面中只发现了1986年和1963年的蓄积峰, 但是在靠近西部的武

汉东湖却有1975年蓄积峰的存在.

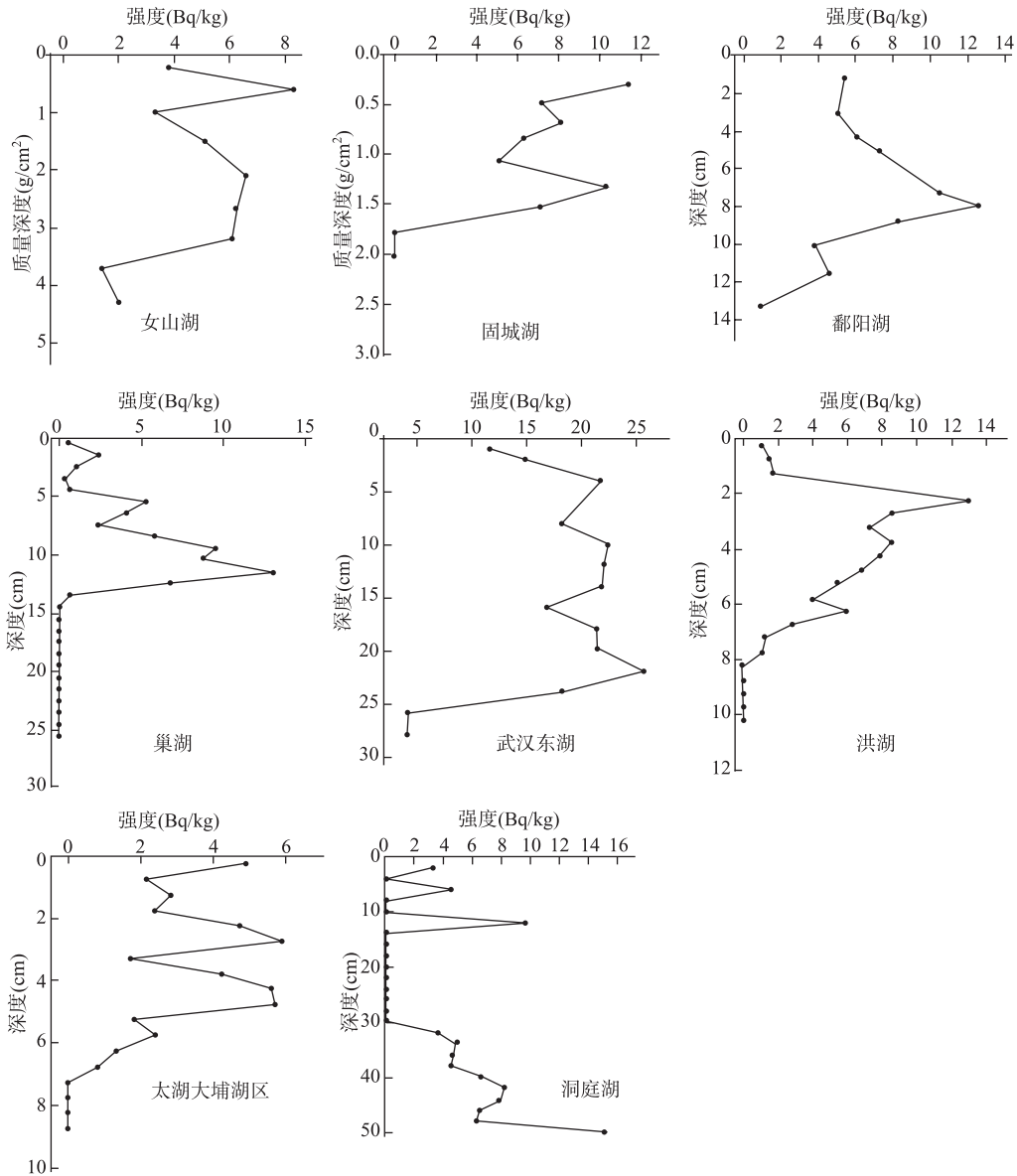


图5 东部平原湖区的 ^{137}Cs 沉积剖面^[35-39]

Fig.5 The ^{137}Cs deposit profile of the eastern lacustrine area

如果在湖泊的周围没有放射性原料工厂或核电站,那么中国湖泊的沉积物中 ^{137}Cs 有3个主要来源:1963年达到顶峰的大气核试验所产生的放射性沉降,20世纪70年代,中国在西北地区进行大气核试验所产生的放射性沉降,以及1986年切尔诺贝利核泄漏事件产生的放射性沉降.但是,是否能说在湖泊沉积物中的1975年蓄积峰的成因就是70年代中国的核试验呢?在云贵高原湖区的湖泊沉积剖面中就出现不少的1975年蓄积峰,可是这不同于博斯腾湖1975年的蓄积峰.蒙新高原湖区湖泊沉积剖面中1975年的蓄积峰的主要来源可能是中国的核试验,而云贵高原湖区1975年左右蓄积峰形成的原因,张金宝提出了另外

一种可能性, 他认为这是由于1972年为云南区域性干旱年, 因此云南湖泊的沉积剖面中, 往往出现与1972年 ^{137}Cs “蓄积谷”对应的1975年 ^{137}Cs ^[46]. 项亮等则认为该蓄积峰与核武器试验散落核素有关, 沉积时序上也可与在日本东京监测的 ^{137}Cs 大气沉降中, 1974年出现的沉降峰相对应^[27]. 且不论形成1975年左右蓄积峰的原因是什么, 该蓄积峰作为云贵高原湖区的指示时标是毋庸置疑的.

黔中红枫湖1963年蓄积峰的活度和总沉积通量(图6)远高于滇西地区湖泊的原因, 万国江等认为滇西和黔中地区 ^{137}Cs 大气散落的差异不可能从核试验强度的变化来解释, 而是青藏高原隆起对滇西地区存在着全球性扩散大气污染物散落的屏蔽效应^[47]. 张信宝认为是由于红枫湖流域主要为喀斯特山地, 石漠化严重, 核爆期间随降水沉降到地面的 ^{137}Cs 尘埃基本不被裸岩地面吸附, 随降雨径流直接流失进入湖泊的 ^{137}Cs 量占 ^{137}Cs 沉降量的比例高于其它湖泊^[46].

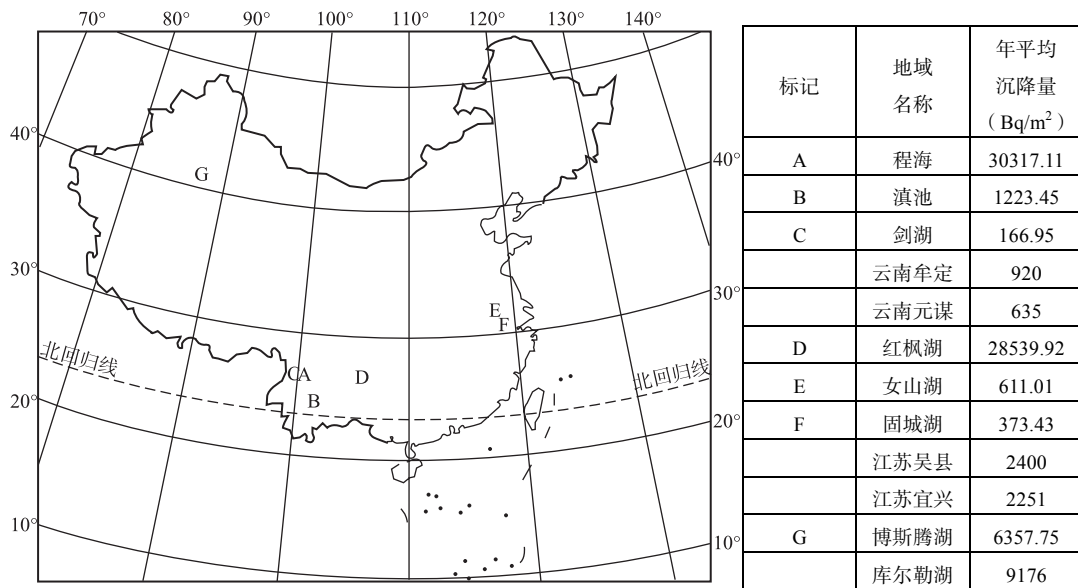


图6 中国湖泊沉积柱芯中 ^{137}Cs 的总沉降量

(根据文献中所发表的质量深度, 利用放射性衰变速率校正了 ^{137}Cs 的比活度数据至2004年)

Fig.6 The total fallout of ^{137}Cs in the sediment of the Chinese lakes

(According to the data, revise the number to A.D. 2004 by radioactive disintegration velocity)

在20世纪80年代发生的切尔诺贝利事故是人类历史上最严重的一次核泄漏事故. 在整个欧洲, 甚至部分美国的湖泊沉积物剖面中, 都发现了源于切尔诺贝利事故的 ^{137}Cs . 在我国西北方的蒙新高原湖区的 ^{137}Cs 沉积剖面中就同样发现了明显源于1986年切尔诺贝利事故的蓄积峰, 由于青藏高原的阻挡, 青藏湖区和云贵高原湖区并没有出现该蓄积峰, 而在东部平原湖区却有该蓄积峰的迹象.

综上所述, 影响 ^{137}Cs 沉积剖面分布的因素, 除了纬度和海拔外, 还应与当地的地貌特征、降雨量、植被状况和人类活动有关. 全球大气核试验所产生的降尘是中国湖泊沉积物的 ^{137}Cs 分布剖面最主要的贡献源, 几乎在每个沉积岩芯的 ^{137}Cs 分布剖面中都能找到指示1963年的蓄积峰, 这使得该蓄积峰成为 ^{137}Cs 标年方法中最可靠的时间标记; 新疆湖泊 ^{137}Cs 比活度偏高和总沉积通量(图6)的原因, 显然与我国在该地区进行大气核试验存在密切关系, 但是其它湖区在1975年左右所形成的蓄积峰是否是我国的核试验所影响?还需要进一步研究. 我们现在正在对沉积物中其它放射性核素的特征比进行分析, 希望能够从中找出其来源; 切尔诺贝利事故所产生的1986年蓄积峰除蒙新湖区和东部湖区外, 在其它三个湖区中并不明显, 甚至没有, 但是其中与蒙新湖区位于同一纬度的东北平原湖区没有1986年蓄积峰的原

因还不清楚;红枫湖1963年蓄积峰的活度偏高的原因还需要对其它地形地貌相似的湖泊进行对比研究后才能最终确定。

3 结语

随着世界上核爆的减少和 ^{137}Cs 的不断半衰变,1954年这个检测到 ^{137}Cs 最早时间的时标已经不能再准确地指示;世界各地测到 ^{137}Cs 沉降的起始年份、最大 ^{137}Cs 沉降的年份并不完全一致,且各地的沉降量各不相同,所以,确定各地的 ^{137}Cs 时标应根据当地的情况具体分析。随着人类活动对湖泊沉积物的影响,生物扰动作用、 ^{137}Cs 沿松散沉积物毛细管的化学扩散等作用,再加上 ^{137}Cs 蓄积峰时标的确定带有较强的主观判断,所以单单依靠 ^{137}Cs 的沉积剖面建立年代序列是不够的,还需要辅助和开拓一些其他手段,如Pu及其同位素^[48], ^{210}Pb ^[49]、颗粒度^[50]和沉积物的磁化率^[51]等。

本文主要阐述和讨论了现阶段中国湖泊沉积物中 ^{137}Cs 分布特征的研究进展,虽然某些湖泊由于风浪和它的搅动作用,使 ^{137}Cs 沉积剖面的数据的解释不可信,但是基于写作的目的还是将其保留,以期在以后的研究工作中能够有所帮助。由于笔者能力有限,不能详尽的罗列该领域的所有成果,收集到的多为国内期刊中所发表的文献,缺少发表在国外的中国湖泊 ^{137}Cs 的论文,这也是我们工作的不足。文章中的数据来自不同的实验室,分析精度和误差有着相当的差别,有的文章所讨论的重点并不在沉积剖面中 ^{137}Cs 浓度的深度变化,所以研究者没有对沉积柱芯准确地分样,以致无法估算沉积蓄积通量,沉积深度也没有。因此,准确地对比湖泊区域间的特征和差异,讨论环境因素的影响存在着一定的困难,这就需要我们在今后的工作中开展更深一步的研究。譬如,在野外采样时应对沉积物柱芯准确的分样和称重,这可以得到更为准确的分布曲线;仪器的分析应严格按照国家标准,或按统一的标准进行,这可以降低不同实验室间测得数据的差异;沉积剖面应按照沉积质量深度建立,便可以进行年平均沉降量的计算;还应提供湖泊所处地区准确的环境信息,方便更详尽的了解沉积历史。

4 参考文献

- [1] Wan GJ, Santschi P, Sturm M *et al.* Natural (^{210}Pb , ^7Be) and fallout (^{137}Cs , 239 , ^{240}Pu , ^{90}Sr) radionuclides as geochemical tracers of sedimentation in Greifensee, Switzerland. *Chemical Geology*, 1987, **63**: 181-196.
- [2] Wang Sumin, Zhang Zhenke. New progress of lake sediments and environmental changes research in China. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44**(19).
- [3] 吴艳宏, 王苏民, 夏威夷等. 青藏高原中部0.2ka来的环境变化. *中国科学(D辑)*, 2001, **31**(增刊).
- [4] 吴艳宏, 李世杰, 夏威夷. 可可西里荷仁错湖泊沉积物元素地球化学特征及其环境意义. *地球科学与环境学报*, 2004, **26**(3).
- [5] 朱立平, 陈玲, 李炳元等. 西昆仑山南红山湖沉积反映的过去150年湖区环境变化. *中国科学(D辑)*, 2001, **31**(7).
- [6] 文安邦, 刘淑珍, 范建容等. 雅鲁藏布江中游地区土壤侵蚀的 ^{137}Cs 示踪法研究. *水土保持学报*, 2000, **14**(4).
- [7] 贺秀斌, 张信宝, Walling DE. 基于湖库沉积剖面 ^{137}Cs 变化的流域表层侵蚀速率计算模型. *自然科学进展*, 2005, **15**(4).
- [8] 张信宝, 贺秀斌, 文安邦等. 侵蚀泥沙研究的 ^{137}Cs 核示踪技术. *水土保持研究*, 2007, **14**(2).
- [9] Krishnaswamy S, Lal D, Martin JM *et al.* Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 1972, **15**(1): 94. Rowan JS *et al.* Geomorphology and sedimentology of lakes and reservoirs. In: Mcmanus J, Duck RW eds. Chichester: Wiley, 1993: 278.
- [10] Buesseler K, Livingston H, Honjo S *et al.* Chernobyl radionuclides in a Black Sea sediment trap. *Nature*, 1987, **329**: 825-828.
- [11] Wieland E, Santschi P, Höhener P *et al.* Scavenging of Chernobyl ^{137}Cs and natural ^{210}Pb in Lake Sempach, Switzerland. *Geochim Cosmochim Acta*, 1993, **57**: 2959-2979.
- [12] 项亮, 王苏民, 薛滨. 切尔诺贝利核事故泄漏 ^{137}Cs 在苏皖地区湖泊沉积物中的蓄积及时标意义. *海洋与湖沼*, 1996, **27**(2).
- [13] 严平, 张信宝. ^{137}Cs 法在风沙过程研究中的应用前景. *中国沙漠*, 1998, **18**(2): 182-187.
- [14] Cambray RS, Playford K, Lewis GNJ *et al.* AERE—R1 3575. Washington: Department of Energy of US, 1989: 1-22.
- [15] 王苏民, 李建仁. 中国晚新生代湖泊沉积及其反映的环境概貌. *湖泊科学*, 1993, **5**(1).
- [16] 王苏民, 薛滨, 张振克. 研究季风区历史时期湖泊环境演化的意义. *湖泊科学*, 1998, **10**(2).

- [17] Mcmanus J, Duck RW. Geomorphology and sedimentology of lakes and reservoirs. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1993: 55-71.
- [18] Japan Meteorological Agency. Bulletin of the radioactivity. Tokyo: JMA, 2001: 21.
- [19] 李世杰, 王小天, 夏威岚等. 青藏高原荷鲁错湖泊沉积记录的小冰期气候变化. 第四纪研究, 2004, **24**(5).
- [20] 严 平, 董光荣, 董治宝等. 青海共和盆地达连海湖沉积物 ^{137}Cs 示踪的初步结果. 地球化学, 2000, **29**(5).
- [21] 朱立平, 陈 玲, 张平等. 环境磁学反映的藏南沉错地区1300年来冷暖变化. 第四纪研究, 2001, **21**(6).
- [22] 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).
- [23] 武健伟, 鲁瑞洁, 赵廷宁. 湖泊沉积记录的近 500 年来浑善达克沙地气候环境变化. 中国水土保持科学, 2004, **2**(4).
- [24] 曹 洁, 张家武, 张成君等. 青藏高原北缘哈拉湖近 800 年来湖泊沉积及其环境意义. 第四纪研究, 2007, **27**(1).
- [25] 曾海鳌, 吴敬禄. 近 50 年来抚仙湖重金属污染的沉积记录. 第四纪研究, 2007, **27**(1).
- [26] 万国江, 林文祝, 黄荣贵等. 红枫湖沉积物 ^{137}Cs 垂直剖面计年特征及侵蚀示踪. 科学通报, 1990, **19**: 1488-1490.
- [27] 项 亮, 吴瑞金, 吉 磊. ^{137}Cs 和 ^{241}Am 在滇池剑湖沉积孔柱中的蓄积分布及时标意义. 湖泊科学, 1996, **8**(1).
- [28] 万国江, 陈敬安, 胥思勤等. $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 沉积通量突发增大对湖泊生产力的指示——以程海为例. 中国科学(D 辑)(地球科学), 2004, **34**(2): 154-162.
- [29] 白占国, 万国江, 刘东生等. 散落核素 ^7Be 和 ^{137}Cs 在洱海和红枫湖中沉积物中蓄积对比. 地球化学, 2002, **21**(2).
- [30] 万国江. 现代沉积年分辩的 ^{137}Cs 计年——以云南洱海和贵州红枫湖为例. 第四纪研究, 1999, **1**.
- [31] 张成君, 曹 洁, 张廷斌等. 中国新疆博斯腾湖全新世沉积环境年代学特征. 沉积学报, 2004, **22**(3).
- [32] 陈发虎, 黄小忠, 张家武等. 新疆博斯腾湖记录的亚洲内陆干旱区小冰期湿润气候研究. 中国科学(D 辑)(地球科学), 2007, **37**(1): 77-85.
- [33] 游海涛, 刘 强, 刘嘉麒等. 纹层计年与 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 法对比研究东北二龙湾玛珥湖现代沉积速率. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, **37**(1).
- [34] 储国强, 顾兆炎, 许 冰等. 东北四海龙湾玛珥湖沉积物纹层计年与 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 测年. 第四纪研究, 2005, **25**(2).
- [35] 叶崇开. ^{137}Cs 法和 ^{210}Pb 法对比研究鄱阳湖近代沉积速率. 沉积学报, 1991, **9**(1).
- [36] 刘建军, 吴敬禄. 太湖大浦湖区近年来湖泊记录的环境信息. 古地理学报, 2006, **8**(4).
- [37] 姚书春, 薛 滨, 李世杰等. 长江中下游湖泊沉积速率的测定及环境意义——以洪湖、巢湖、太湖为例. 长江流域资源与环境, 2006, **15**(5).
- [38] 杨 洪, 易朝路, 邢阳平等. ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 法对比研究武汉东湖现代沉积速率. 华中师范大学学报(自然科学版), 2004, **38**(1).
- [39] Xiang L, Lu XX, Higgitt DL *et al.* Recent lake sedimentation in the middle and lower Yangtze basin inferred from ^{137}Cs and ^{210}Pb measurements. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, **21**: 77-86.
- [40] 文安邦, 张信宝, 王玉宽等. 长江上游紫色土坡耕地土壤侵蚀 ^{137}Cs 示踪法研究. 山地学报, 2001, **19**(增刊): 56-59.
- [41] 王玉宽, 文安邦, 张信宝. 长江上游重点水土流失区坡耕地土壤侵蚀的 ^{137}Cs 法研究. 水土保持学报, 2003, **17**(2): 77-80.
- [42] 曹 慧, 杨 浩, 唐翔宇等. ^{137}Cs 技术对长江三角洲丘陵区小流域土壤侵蚀的初步估算. 水土保持学报, 2001, **15**(1): 13-15.
- [43] 张 燕, 张 洪, 彭补拙等. 不同土地利用方式下农地土壤侵蚀与养分流失. 水土保持通报, 2003, **23**(1): 23-27, 31.
- [44] 濮励杰, 包浩生, 彭补拙等. ^{137}Cs 应用于我国西部风蚀地区土地退化的初步研究——以新疆库尔勒地区为例. 土壤学报, 1998, **35**(4): 441-449.
- [45] 杜菊芳. 程海湖流域生态现状及综合治理措施探讨. 林业调查规划, 2006, **31**(A01).
- [46] 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.
- [47] 万国江, 白占国, 刘东生. ^{137}Cs 在滇西与黔中地区散落的差异——青藏隆起对滇西地区全球性扩散大气污染物散落屏蔽效应的推断. 第四纪研究, 2001, **21**(5).
- [48] Zheng Jian, Liao Haiqing, Wu Fengchang *et al.* Vertical distributions of $^{239+240}\text{Pu}$ activity and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratio in sediment core of Lake Chenghai, SW China. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2008, **275**(1): 37-42.
- [49] 任天山, 徐翠华, 章 申等. ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 计年在湖泊沉积物年代学研究中的应用. 原子能科学技术, 1993, **27**(6).
- [50] 吴艳宏, 王苏民, 夏威岚等. 近代湖泊沉积物球状碳颗粒(SCP)定年. 科学通报, 2005, **50**(7).
- [51] 张振克, 吴瑞金. 岱海湖泊沉积物频率磁化率对历史时期环境变化的反映. 地理研究, 1998, **17**(3).