

戈壁汇水区测年与沉积速率研究

雷震¹, 金玉仁¹, 程建平², 王宏乐³, 杨晓燕¹

(1. 中国人民解放军 63653 部队, 新疆 马兰 841700; 2. 清华大学 工程物理系, 北京 100084;
3. 中国人民解放军 69046 部队, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:运用¹³⁷Cs法和²¹⁰Pb法对核试验场区汇水区沉积物的沉积速率进行估算,对沉积物的蓄积峰进行年代判定。用分衰减段方法计算²¹⁰Pb分布异常情况下沉积物的沉积速率,得到的沉积速率与¹³⁷Cs法获得的沉积速率基本符合。结合应用¹³⁷Cs法和²¹⁰Pb法,可得到汇水区的沉积速率和沉积层的年代。

关键词: ¹³⁷Cs; ²¹⁰Pb; 沉积速率

中图分类号: TL751

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2007)05-0614-04

Study on Chronology Establishment and Sedimentation Rate in Gobi Catchments

LEI Zhen¹, JIN Yu-ren¹, CHENG Jian-ping², WANG Hong-le³, YANG Xiao-yan¹

(1. PLA 63653 Troop, Malan 841700, China;

2. Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. PLA 69046 Troop, Urumchi 830002, China)

Abstract: ¹³⁷Cs method and ²¹⁰Pb method are applied to estimate the sedimentation rate in catchments of nuclear test region, and a confident chronology is established in each sediment peak. With the situation of abnormal distribution of ²¹⁰Pb, part decline segment method is used in calculation of sedimentation rate, the sedimentation rate using part segment method is mainly in coincidence with the sedimentation rate using ¹³⁷Cs method. It can get the sedimentation rate of the catchments and the age of sediment layer by using of both ¹³⁷Cs method and ²¹⁰Pb method.

Key words: ¹³⁷Cs; ²¹⁰Pb; sedimentation rate

在对罗布泊地区进行放射性源项调查时,发现了人工放射性核素比活度较高、放射性污染分布复杂的某戈壁汇水区。在对该汇水区的研究中,结合应用¹³⁷Cs法和²¹⁰Pb法,对该汇水区的沉积物进行沉积年代判定和沉积速率计算。

1 ¹³⁷Cs法和²¹⁰Pb法原理

1.1 ¹³⁷Cs法

¹³⁷Cs法和²¹⁰Pb法的应用环境一般是河口、湖泊、海湾、水库、汇水区和湿地,利用²¹⁰Pb法以及¹³⁷Cs法测定百年来的地质年龄已得到广泛应用^[1-10]。

^{137}Cs 法的原理是利用 ^{137}Cs 蓄积峰对应的时间标识来判定不同蓄积峰之间沉积层的沉积年代和沉积速率。

^{137}Cs 法计算的沉积速率 v 为:

$$v = \Delta h / \Delta t \quad (1)$$

其中: Δh 为蓄积峰的深度差; Δt 为蓄积峰的年代差。

1.2 ^{210}Pb 法

通常情况下, ^{210}Pb 与其母体 ^{226}Ra 处于平衡状态, 沉积物各层中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (大气中 ^{222}Rn 衰变后沉降的 ^{210}Pb) 的计算可用 ^{210}Pb 的总量减去 ^{226}Ra 的含量得到, 由此计算沉积物的沉积速率或沉积年代。在本研究中, 汇水区表层样品的 ^{210}Pb 浓度不为恒值, 选用 ^{210}Pb 法的 CRS (Constant Rate of Supply) 模型。

某分层中, ^{210}Pb 的比活度 a 为:

$$a = a_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

其中: a_0 为分段表层 ^{210}Pb 的比活度; λ 为 ^{210}Pb 的衰变常量, $\lambda = 3.11 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$; t 为某分层样品衰变的时间。

由式(2)得到:

$$t = (\ln a_0 - \ln a) / \lambda \quad (3)$$

则某分层的沉积速率为:

$$v = \Delta h / t \quad (4)$$

2 实验方法

在汇水区采集了两组土壤样品 s473 和 s474。两样品的采集地距离约 500 m, 且均处于汇水区的中心位置。样品采集方法选用剖面法, 每层厚度控制在 1 cm 左右。样品过 8 目筛 (进行过筛修正), 烘干温度为 110 °C, 烘干时间为 5 h。

选用 ULB/BE3830 γ 谱仪对汇水区土壤样品进行测量。 γ 谱仪在 122 keV 处的 FWHM 为 0.69 keV; 在 1332.5 keV 处的 FWHM 为 1.70 keV。

3 结果与讨论

在样品采集、制备、测量后, 得到汇水区 ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 的垂直分布。分析 ^{137}Cs 垂直分布, 应用 ^{137}Cs 法, 判断汇水区沉积物的沉积年代, 计算沉积速率。汇水区 ^{210}Pb 分布异常, 不能应用 ^{210}Pb 法进行年代判断。分析 ^{210}Pb 垂直

分布, 应用 ^{210}Pb 分衰减段法, 得到汇水区沉积物的沉积速率。

3.1 汇水区放射性核素垂直分布

^{137}Cs 垂直分布示于图 1。 ^{137}Cs 的主蓄积峰出现在约 8 cm 和 11 cm 处, 两组样品的蓄积峰出现的位置基本一致。对于 s473 样品, ^{137}Cs 的最大比活度为 102.39 Bq/kg; 对于 s474 样品, ^{137}Cs 的最大比活度为 138.97 Bq/kg。

^{210}Pb 垂直分布示于图 2。两组样品的 ^{210}Pb 比活度峰出现的位置有一致性, 各层 ^{210}Pb 比活度不为指数分布, 存在着 ^{210}Pb 倒置的现象。

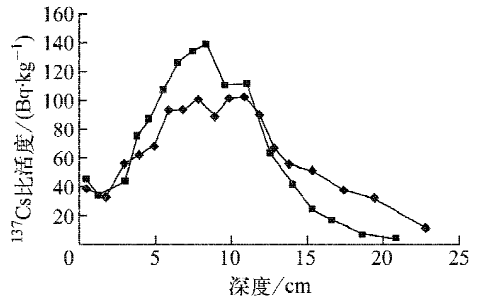


图 1 汇水区 ^{137}Cs 深度分布

Fig. 1 Depth distribution of ^{137}Cs in catchments

◆—s473; ■—s474

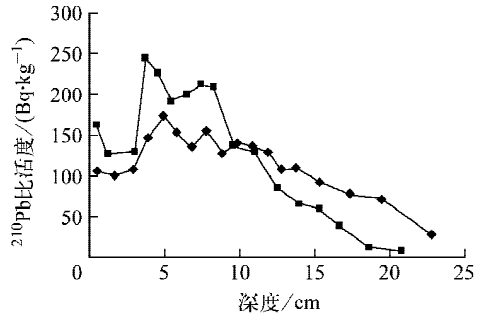


图 2 汇水区 ^{210}Pb 深度分布

Fig. 2 Depth distribution of ^{210}Pb in catchments

◆—s473; ■—s474

3.2 年代判断

从风向、风频以及地表径流方面考虑, 某核爆区域 B 区主要影响该汇水区的放射性核素分布。其依据为, 在 B 区域, 1971 和 1978 年进行过 2 次核试验。应用 ^{137}Cs 法, 判断 s473 样品 7.8、10.85 cm 蓄积峰年代分别是 1978 年、1971 年, s474 样品 8.3、11 cm 蓄积峰的年代也分别是 1978 年、1971 年。

汇水区²¹⁰Pb分布异常,用²¹⁰Pb法不能进行年代判断。

3.3 ¹³⁷Cs法计算沉积速率

¹³⁷Cs赋存状态稳定,在汇水区有核爆炸时间标识可用于沉积计年,因此,¹³⁷Cs法较为可靠。

利用蓄积峰的沉积年代计算s473和s474样品的沉积速率。

对于s473样品,2005—1978年间的平均沉积速率为0.287 cm/a;1978—1971年间的平均沉积速率为0.482 cm/a。

对于s474样品,2005—1978年间的平均沉积速率为0.306 cm/a;1978—1971年间的平均沉积速率为0.426 cm/a。

3.4 ²¹⁰Pb分衰减段法计算沉积速率

汇水区²¹⁰Pb分布异常时,²¹⁰Pb法基本假设中的沉积通量基本稳定的条件不满足,不能正常使用²¹⁰Pb法。在整体沉积通量不稳定的情况下,如果某一段时间内沉积通量稳定,这一段时间形成的沉积段认为是分衰减段,可使用²¹⁰Pb法。对分衰减段使用²¹⁰Pb法,称为²¹⁰Pb分衰减段法。

应用²¹⁰Pb分衰减段法的过程如下:初选出类似负指数分布的衰减段;对初选出的分衰减段进行验证;筛选出合适的分衰减段;计算沉积速率。

对样品的比活度进行spline插值,得到平滑的比活度深度分布曲线,观察插值后的s473、s474样品²¹⁰Pb比活度深度分布。初选出的衰减段列于表1。

表1 初选出衰减段的沉积速率

Table 1 Select sedimentation rates of decline segment

样品	初选出的衰减段/cm	衰减段代号	沉积速率/(cm·a ⁻¹)
s473	4.9~6.8	A	0.235
s473	13.8~17.4	B	0.320
s474	11~14	C	0.135
s474	15.3~20.8	D	0.073

初选的衰减段要满足其沉积时间不能超过测年范围的条件,满足此条件,通过测年范围验证;反之,不能通过测年范围验证。

²¹⁰Pb法测年范围的计算公式为:

$$T = (\ln a_0 - \ln a_d) / \lambda$$

其中:T为测年范围; λ 为²¹⁰Pb的衰变常量; a_0 为衰减段初始比活度; a_d 为探测限。

s473和s474分层样品的²¹⁰Pb的天然本底分别为(47.29±1.91)和(35.29±4.10) Bq/kg,探测限分别为5.73和12.30 Bq/kg。

A衰减段的沉积时间为8.085 a,表层比活度为172.23 Bq/kg, a_d 为5.73 Bq/kg,测年范围为109.42 a,通过测年范围验证。同理,B、C衰减段通过测年范围验证,D衰减段不能通过测年范围验证。

对选定衰减段进行测年范围验证后,进行指数分布相对不确定度验证。²¹⁰Pb正常分布时,分层样品的²¹⁰Pb_{ex}比活度呈指数分布。对选定衰减段的²¹⁰Pb_{ex}比活度进行指数分布拟合,得到指数拟合的相对不确定度(表2)。假定大气沉降转入沉积物中的²¹⁰Pb通量变化不超过10%,如果衰减段的比活度的指数拟合相对不确定度小于10%,即通过指数分布相对不确定度验证;反之,不能通过此验证,认为衰减段的选择不合理。

由表2可见,A、B衰减段的相对不确定度小,最大值为1.22%,C衰减段的相对不确定度较大,最大值为5.63%。A、B、C衰减段通过相对不确定度验证。

表2 初选出衰减段的相对不确定度

Table 2 Relative uncertainty of selected decline segment

初选出的衰减段	相对不确定度
A	0.004 1,0.008 2,0.004 1
B	0.007 0,0.012 2,0.005 0
C	0.027 0,0.056 3,0.027 0

注:相对不确定度的3个数值对应各衰减段从表层比活度到底层比活度的指数拟合的相对不确定度

满足测年范围验证与指数分布相对不确定度验证的衰减段被认为是合理的衰减段。初始选定的4个衰减段中,A、B、C衰减段通过测年范围与指数分布相对不确定度验证。

应用²¹⁰Pb分衰减段法计算得到A衰减段的沉积速率为0.235 cm/a;B衰减段的沉积速率为0.320 cm/a;C衰减段的沉积速率为0.135 cm/a。

4 结论

应用分衰减段方法分析汇水区 ^{210}Pb 异常分布,得到的沉积速率与用 ^{137}Cs 方法得到的沉积速率较为一致。结合应用了 ^{137}Cs 法与 ^{210}Pb 法对某戈壁汇水区进行年代判定和沉积速率计算,得到了较好的结果。

参考文献:

- [1] 万国江. ^{137}Cs 及 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 方法湖泊沉积计年研究新进展[J]. 地球科学进展, 1995, 10(2):188-190.
WAN Guojiang. Progresses on ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ dating of lake sediments[J]. Advance in Earth Sediments, 1995, 10(2):188-190(in Chinese).
- [2] 李铁松. 放射性 ^{210}Pb 方法的地理学应用实例[J]. 四川师范学院学报, 1994, 15(2):242-243.
LI Tiesong. An example of geographic application of radio lead(^{210}Pb) dating method[J]. Journal of Sichuan Teachers College, 1994, 115(3): 242-243(in Chinese).
- [3] 孙立广, 谢周清, 赵俊琳, 等. 南极阿德雷岛湖泊沉积 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 定年及其环境意义[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1):93-96.
SUN Liguang, XIE Zhouqing, ZHAO Junlin, et al. ^{210}Pb , ^{137}Cs dating of lake sediments from Ardley(Maritime Antarctic) and their environmental implications[J]. Journal of Lake Sciences, 2001, 13(1):93-96(in Chinese).
- [4] SANMIGUEL E G. Radiochronology of sediment cores collected in an estuary strongly affected by fertilizer plants releases[C]//Environmental Radiochemical Analysis II. [S. l.]: [s. n.], 2003: 401-409.
- [5] 万国江, 陈敬安, 胥思勤, 等. $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 沉积通量突增大对湖泊生产力的指示——以程海为例[J]. 中国科学 D 辑 地球科学, 2004, 2(34):154-62.
WAN Guojiang, CHEN Jing'an, XU Siqin, et al. An example of Chenghai Lake's production indicated by the outburst increase of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ flux inventory[J]. Science in China Ser D Earth Sciences, 2004, 2(34):154-162(in Chinese).
- [6] 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[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2004, 38(1):109-113.
YANG Hong, YI Chaolu, XING Yangping, et al. A comparative study on recent sedimentation rates in lake Dong Hu, Wuhan with ^{210}Pb and ^{137}Cs dating techniques[J]. Journal of Central China Normal University: Natural Science, 2004, 38(1):109-113(in Chinese).
- [7] 李建芬, 王宏, 夏威夷, 等. 渤海湾西岸 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 、 ^{137}Cs 测年与现代沉积速率[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(2):114-128.
LI Jianfen, WANG Hong, XIA Weilan, et al. $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and ^{137}Cs method and modern sedimentation rate on the western coast of Bohai Bay[J]. Geological Survey and Research, 2003, 26(2): 114-128(in Chinese).
- [8] 陈镇东, 罗建育, 林志明, 等. 台湾地区湖泊水库沉积速率初步探讨[J]. 海洋与湖泊, 1997, 28(6):624-631.
CHEN Zhendong, LUO Jianyu, LIN Zhiming, et al. Sedimentation rates of lakes and reservoirs in Taiwan[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1997, 28(6):624-631(in Chinese).
- [9] 王爱军, 高抒, 贾建军, 等. 江苏王港盐沼的现代沉积速率[J]. 地理学报, 2005, 60(1):62-69.
WANG Aijun, GAO Shu, JIA Jianjun, et al. Contemporary sedimentation rates on Salt Marshes at Wanggang, Jiangsu, China[J]. Acta Geographic Sinica, 2005, 60(1): 62-69(in Chinese).
- [10] 齐君, 李凤业, 宋金明, 等. 北黄海沉积速率及其沉积通量[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(2):10-14.
QI Jun, LI Fengye, SONG Jinming, et al. Sedimentation rate and flux of the North Yellow Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(2):10-14(in Chinese).