

美国 Pb^{210} 同位素地质年代学方法

赵一阳

钱江初

(中国科学院海洋研究所)

(国家海洋局第二海洋研究所)



根据“中美海洋沉积作用过程联合研究”双方的协议,为了共同对东海所取得的沉积物样品进行及时的年代测定和研究,我们一行二人去到美国北卡罗莱纳州立大学海洋科学及海洋工程系进行了一段时间的工作和学习,因此有机会对美国的一些海洋同位素地质年代学方法进行了比较深入的了解。就我们所了解的方法中,我们认为在我国应引起重视和最值得积极开展的是同位素 Pb^{210} 法。

众所周知,海洋同位素地质年代学方法很多,诸如 Th^{230} 法、 Pa^{231} 法、 Be^{10} 法、 U^{234}/U^{238} 法、 Th^{230}/Th^{232} 法、 Pa^{231}/Th^{230} 法、 C^{14} 法、 Ra^{226} 法等等,然而其中绝大多数方法仅适于深海-大洋,而适于浅海-大陆架者甚少(当前一般仅 C^{14} 及 Ra^{226} 法适用),因此确立浅海-大陆架区测年法就显得特别重要,而 Pb^{210} 法正是适用于该地区,所以从它“诞生”起,就具有强大的生命力。我国浅海辽阔,东海大陆架是世界最大的大陆架之一,因此积极开展 Pb^{210} 的研究就显得更加重要和紧迫了。

Pb^{210} 法首由美国斯克里普斯海洋研究所 E. D. Goldberg 于60年代初所提出,接着在该所以及在耶鲁大学就比较广泛地开展起来。耶鲁大学在著名地球化学家 K. K. Turekian 教授的指导下,他的许多研究生均不同程度地研究了 Pb^{210} ,北卡罗莱纳州立大学从事 Pb^{210} 研究的 D. DeMaster 博士就是他的研究生之一。现在美国其他一些单位如华盛顿州立大学、俄勒冈州立大学、加利福尼亚大学等,也都进行了这一工作。

Pb^{210} 是 U^{238} 放射性系列的一个中间成员,它由 Ra^{226} 和 Rn^{222} 衰变而来,而其本身又经 β 衰变依次生成 Bi^{210} 及 Po^{210} 。因 Pb^{210} 的 β 衰变能量极低,直接测定有困难,故实际上

Pb^{210} 的测定是用 β 谱仪测 Bi^{210} 或用 α 谱仪测 Po^{210} (Bi^{210} 为 β 衰变, Po^{210} 为 α 衰变,二者的半衰期短,仅以天计,故很快即与 Pb^{210} 达成平衡)。鉴于测 Bi^{210} 干扰的成分多,样品处理也较难,所以一般实验室均采用 α 谱仪测 Po^{210} 的方法。 Pb^{210} 的半衰期为22.3年,因此所测年限一般为100年左右,也就是说可以求得大致百年以来的沉积速率。

海水中 Pb^{210} 的主要来源,一是大气沉降(由大气中的 Rn^{222} 衰变),二是海水中 Ra^{226} 的衰变。因 Pb^{210} 的溶解度很小,很容易沉淀转入沉积物,另外海水中的颗粒物也可吸沉一部分 Pb^{210} ,于是海底沉积物中经常出现 Pb^{210} 的“过剩”,过剩的 Pb^{210} 就在沉积柱中遵循放射性衰变定律而分布,这样根据放射性衰变公式 $N = N_0 e^{-\lambda t}$,即可求出沉积物的年代并进而计算出其沉积速率(上式 t 为时间; λ 为衰变常数; N_0 表示时间为 t_0 时放射性同位素的原子数; N 表示经过 t 时间以后该同位素所剩下的原子数,即未衰变的原子数)。

美国关于 Pb^{210} 测年的具体研究方法简介如下:

一、海上采样

用箱式采样器在船上采得样品后: 1. 观察、描述、详尽做地质记录。2. 照相,了解沉积剖面外貌特征。3. 自上而下分层取样,一般每1厘米取一个样。4. X光岩芯照相,了解混合作用特征(或室内进行)。

二、室内分析

(一) 浸取法

1. 称取5克粉碎烘干的样品置于250ml

烧杯中。

2. 加 1 ml Po^{208} 示踪剂 (Po^{208} 的放射性为 20 dpm/ml), 再加 10 ml HNO_3 和 10 ml HClO_4 , 搅匀, 放通风橱内电热板上蒸发。

3. 蒸发近干, 加 10 ml 6N HCl , 搅拌, 再加 15 ml 0.3N HCl , 放电热板上蒸干。

4. 蒸干后加 10 ml 6N HCl , 搅拌, 再加 15 ml 0.3N HCl , 继续加热约 15 分钟, 取下转移至 50 ml 的塑料离心管中, 转移时用 0.3N HCl 冲洗, 最后溶液体积近 50 ml。

5. 离心 10 分钟, 把上部清液倒入 150 ml 的玻璃瓶中, 再分别用 50 ml 及 30 ml 0.3N HCl 离心洗涤样品残渣, 合并上部清液。

6. 加约 10 毫克抗坏血酸, 还原 Fe^{3+} , 使溶液的黄色退掉, 免去干扰。

7. 取 Ag 片, 用尼龙线悬在瓶中, 瓶底放入电磁搅棒, 置于电磁搅拌器上过夜, Po^{210} 即自发地沉积在 Ag 片上。

8. 提出 Ag 片, 用蒸馏水冲洗, 放滤纸上凉干。

9. 将 Ag 片置多道能谱仪进行 α 谱之测定。

(二) 全溶法

有时浸取法不能浸取完全, 这时就要用全溶法, 即将样品全部溶解之, 其步骤如下:

1. 称样 5 克于普通烧杯中, 加 20 ml HCl 和 10 ml HNO_3 , 搅拌, 在电热板上蒸干。

2. 用 HNO_3 将样品转移至塑料烧杯中, 在电热板上重新蒸干。

3. 加 30 ml HF 和 10 ml HClO_4 在电热板上蒸干至不冒白烟, 如仍有残渣则继续用 HF 和 HClO_4 重复蒸干 1—2 次, 直至全溶。

4. 蒸干后用 6N HCl 溶解并转移至 50 ml 的塑料离心管中, 其余步骤同浸取法。

三、年代及沉积速率计算

1. 首先根据能谱仪的测量结果, 按下式计算总 Pb^{210} 的放射性:

$$A(\text{Pb}^{210})_{\text{tot}} = \frac{A(\text{Po}^{208}) \cdot C(\text{Po}^{210})}{C(\text{Po}^{208}) \cdot W}$$

$A(\text{Pb}^{210})_{\text{tot}}$, 总 Pb^{210} 的放射性 (dpm

/克)。

$A(\text{Po}^{208})$, 示踪剂 Po^{208} 的放射性 (dpm)。

$C(\text{Po}^{208})$, 示踪剂 Po^{208} 的总计数。

$C(\text{Po}^{210})$, Po^{210} 的总计数。

W , 样重 (克)。

2. 按下式计算过剩 Pb^{210} 的放射性 (即由总 Pb^{210} 的放射性减去本底值而得):

$$A(\text{Pb}^{210})_{\text{exc}} = A(\text{Pb}^{210})_{\text{tot}} - A(\text{Ra}^{226})$$

$A(\text{Pb}^{210})_{\text{exc}}$, 过剩 Pb^{210} 的放射性 (dpm/克)。

$A(\text{Pb}^{210})_{\text{tot}}$, 总 Pb^{210} 的放射性 (dpm/克)。

$A(\text{Ra}^{226})$, Ra^{226} 的放射性 (dpm/克), 即本底。

(本底值可直接测量 Ra^{226} 的放射性,

或依据总 Pb^{210} 随样品深度的分布,

当深度变化而 Pb^{210} 处于稳定的值即为本底)。

3. 根据过剩的 Pb^{210} , 依下式计算年代 (该公式由基本公式 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ 导出):

$$A_z = A_0 e^{-\lambda t}$$

t , 年代 (年)

A_z , 深度为 z (厘米) 的放射性 (dpm/克)。

A_0 , 表层的放射性 (dpm/克)。

λ , 衰变常数。

4. 沉积速率 $S = \frac{z}{t}$, 代入上式即可得出计算沉积速率的公式:

$$S = \frac{\lambda z}{\ln\left(\frac{A_0}{A_z}\right)} \quad (\text{厘米/年})$$

最后, 必须指出: 任何同位素测年法都有其局限性, Pb^{210} 法自不例外。适于 Pb^{210} 法的条件是沉积物的粒度细 (粘土和粉砂 > 40%)、岩性变化不大、沉积速率不太小 (一般应 > 1 毫米/年)、混合层的厚度不太大 (< 15 厘米) 等。相反沉积物粗、地层复杂、沉积太慢、混合太深等都是不适于 Pb^{210} 测年的。