

# 海洋沉积物中 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 和U、Th 同位素联合分离测定的研究\*

陈绍勇\*\* 施文远 李文权 黄奕普

(厦门大学海洋系)

## 摘 要

本文建立了一个联合分离测定沉积物中 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 和U、Th同位素的方法,讨论了这些核素之间的分离、纯化以及影响化学回收率的因素,报道了此法的一些应用。

海洋环境中U(Th)系不平衡已广泛用来研究各种海洋地球化学过程和沉积作用。例如利用沉积物中 $^{210}\text{Pb}$ - $^{226}\text{Ra}$ 不平衡来研究近百年来沉积过程和沉积速率;利用 $^{238}\text{U}$ - $^{234}\text{Th}$ 不平衡来示踪水体中颗粒活性元素的去向和归宿以及沉积层的混合、扰动状况。因此,建立海水、沉积物中这些核(元)素的分离测定方法自然是很必要的。

关于 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 和U、Th同位素的测定方法已有许多报道<sup>[1-6]</sup>,但它们的联合分离测定方法还不多见。考虑到海洋样品的获得较为困难等,我们在本实验室已建立的 $^{210}\text{Pb}$ <sup>[1]</sup>、U和Th<sup>[2]</sup>分离测定方法的基础上,应用射气闪烁法测定 $^{226}\text{Ra}$ ,建立 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 和U、Th同位素联合分离测定的方法,对海洋地球化学和海洋放射年代学的研究和发展有着重要的实际意义。

## 一、实 验

### (一) 主要仪器与试剂

1.  $\alpha$ -能谱仪:低温 $\alpha$ 能谱仪(FH-1908型)配合1024道脉冲幅度分析器(FH-451型),北京核仪器厂制。
2. 钍铀分析器:FD-125型,北京核仪器厂。
3. 低水平 $\alpha/\beta$ 计数系统:2400 System,美国Canberra公司。
4.  $^{232}\text{U}$ - $^{228}\text{Th}$ 平衡示踪溶液,放射性比度为 $11.602 \pm 0.280\text{dpm/g}$ (1982年10月)。

本文于1989年4月18日收到,修改稿于1989年8月10日收到。

\* 国家教委博士点科学基金资助项目。

\*\* 现在中国科学院南海海洋研究所工作。

英国Harwell原子能机构产。

5.  $^{210}\text{Pb}$ 标准溶液, 总不确定度小于 $\pm 2.5\%$ , 英国Harwell原子能机构。
6.  $^{226}\text{Ra}$  ( $\text{Ba}$ ) $\text{CO}_3$ 标准源, 总不确定度小于 $\pm 3.0\%$ , 核工业部第三研究所。
7. 阴离子交换树脂, 717\*, 上海树脂厂。
8. 其他化学试剂均为分析纯。

## (二) 联合分离测定的程序

沉积物(5—10g)在400℃灼烧4h后, 置于烧杯中, 加入准确称量的 $^{232}\text{U}$ — $^{228}\text{Th}$ 平衡溶液和20mg稳定Pb载体 ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液), 用40 $\text{cm}^3$  6 mol/ $\text{dm}^3$  HCl加热浸取2h, 离心分离, 残渣用6mol/ $\text{dm}^3$  HCl洗涤两次(各10 $\text{cm}^3$ ), 合并清液, 蒸至30 $\text{cm}^3$ , 封闭于扩散器中, 按后述的射气闪烁法测定 $^{226}\text{Ra}$ 。测毕倾出溶液并蒸干, 用20 $\text{cm}^3$  1.0mol/ $\text{dm}^3$  HCl溶解, 如出现硅酸沉淀, 离心除去, 溶液以1 $\text{cm}^3/\text{min}$ 的流速通过 $\text{Cl}^-$ -型阴离子交换树脂柱(树脂60—100目, 树脂床高15cm, 柱内径1.5cm)。溶液加完后, 继续用1.0mol/ $\text{dm}^3$  HCl流洗, 直至流出液用 $\text{NH}_4\text{SCN}$ 检不出 $\text{Fe}^{3+}$ 离子为止(大约需要1.0mol/ $\text{dm}^3$  HCl100—110 $\text{cm}^3$ )。将1.0mol/ $\text{dm}^3$  HCl流出液前面60 $\text{cm}^3$ 收集于烧杯中, 用于分离, 测定U和Th的放射性同位素。用蒸馏水以1 $\text{cm}^3/\text{min}$ 的流速从柱上洗脱Pb ( $^{210}\text{Pb}$ ) (弃去前面10 $\text{cm}^3$ ), 用烧杯收集约80毫升洗脱液, 蒸至小体积(3—5 $\text{cm}^3$ ), 用少许蒸馏水淋洗烧杯壁, 用1mol/ $\text{dm}^3$   $\text{H}_2\text{SO}_4$ 调pH至2, 在温热下滴加1 $\text{cm}^3$ 饱和 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液沉淀Pb ( $^{210}\text{Pb}$ ) $\text{SO}_4$ 。离心分离,  $\text{PbSO}_4$ 沉淀用蒸馏水洗涤两次, 用滴管直接将 $\text{PbSO}_4$ 沉淀转移到特制的不锈钢测量盘(先称好重量), 铺匀, 用红外灯烘干至恒重, 以 $\text{PbSO}_4$ 形式计算Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )的化学回收率, 然后将此测量样品贮于干燥器中, 一个月后用 $\alpha/\beta$ 低水平计数系统测其 $\beta$ 放射性, 经标准源校正后求出样品中 $^{210}\text{Pb}$ 的放射性比度(dpm/g)。

将用于U、Th分离测定的溶液蒸至小体积, 用1:1 $\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液调pH至8, 使 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀, 离心, 用蒸馏水洗涤 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀两次, 用尽可能少的7mol/ $\text{dm}^3$   $\text{HNO}_3$ 溶解 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 加入固体 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 直至饱和, 并调pH至1。将溶液以0.5 $\text{cm}^3/\text{min}$ 的流速通过 $\text{NO}_3^-$ 型阴离子交换柱(树脂60—100目, 床高12cm, 柱内径1cm), 尔后用0.1mol/ $\text{dm}^3$   $\text{HNO}_3$ —8mol/ $\text{dm}^3$   $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 溶液流洗, 直至流出液用 $\text{NH}_4\text{SCN}$ 检不出 $\text{Fe}^{3+}$ 为止(约130 $\text{cm}^3$ )。用70 $\text{cm}^3$  8mol/ $\text{dm}^3$  HCl洗脱Th, 再用50 $\text{cm}^3$  0.1mol/ $\text{dm}^3$   $\text{HNO}_3$ 洗脱U。Th和U的洗脱液蒸干后用0.1mol/ $\text{dm}^3$   $\text{HNO}_3$ 溶解, 并转移到特制的带塞离心管中, 分别调节pH为1和3, 用0.25mol/ $\text{dm}^3$  TTA/苯溶液萃取Th和U(1.5 $\text{cm}^3$ 分两次), 萃取时间5min。离心分相后, 将有机相滴加到加热的不锈钢片上制备薄源。Th源制好后立即进行 $\beta$ 计数(测 $^{234}\text{Th}$ ), 然后再进行 $\alpha$ 能谱分析, 测定样品中 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 和 $^{232}\text{Th}$ 的放射性比度(dpm/g)。U源直接进行 $\alpha$ 能谱分析, 测定样品中 $^{234}\text{U}$ 、( $^{235}\text{U}$ )、 $^{238}\text{U}$ 的放射性比度(dpm/g)。

## 二、结果与讨论

### (一) 射气闪烁法测定沉积物中的 $^{226}\text{Ra}$

将前述沉积物的HCl浸取液装入玻璃扩散器封闭进行氡气积累,再将扩散器中积累的氡气引进ZnS闪烁室,用FD-125型氡钍分析器和定标器进行测定.若干测定条件的选定如下:

1. 氡气的输送: 将抽成真空的闪烁室与待测的扩散器相连,使氡气由器入室.为了准确地测定 $^{226}\text{Ra}$ ,需把扩散器中的 $^{222}\text{Rn}$ 完全送入闪烁室中.若送气不完全,部分 $^{222}\text{Rn}$ 残留在扩散器中,将直接影响测量的结果.为此,用同一标准源在 $^{222}\text{Rn}$ 生长累积时间相同的条件下,以不同送气时间将扩散器中的 $^{222}\text{Rn}$ 送入闪烁室,测其计数率,获得计数率与送气时间的关系如图1.表明送气15min后,计数率已趋于稳定,故选定送气时间为15min.测定中,沉积物样品与标准源均保持相同的测定时间.

2. 平衡时间的选择:  $^{222}\text{Rn}$ 送入闪烁室后,即衰变产生一系列子体,其中短寿命的 $\alpha$ 发射体有 $^{218}\text{Po}$ 和 $^{214}\text{Po}$ .因此,闪烁室中的 $\alpha$ 计数将随时间变化.图2即是由闪烁法实测的 $^{222}\text{Rn}$ 及其子体的衰变、生长曲线.可见60min以前, $^{222}\text{Rn}$ 的子体生长较快,其后较为缓慢,120min后, $^{222}\text{Rn}$ 与其短寿命子体接近处于暂时平衡.本研究中选用60min为“平衡”时间,此时 $^{222}\text{Rn}$ 子体的生长已较为缓慢,测其计数率,稳定性较好.

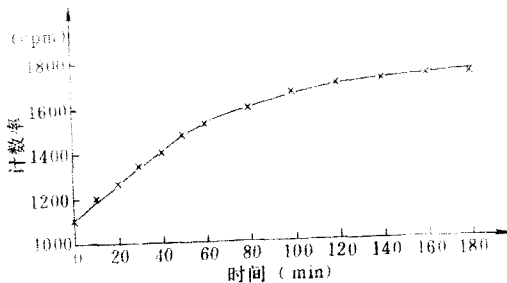


图2  $^{222}\text{Rn}$ 及其子体实际测量的衰变生长曲线

的装置系数(cpm/dpm).在与沉积物测定相同的条件下,用标准源测定装置系数:

$$K = \frac{I_{\text{Rn标}}}{A_{\text{Ra标}}(1 - e^{-\lambda t})} \quad (2)$$

$A_{\text{Ra标}}$ 和 $I_{\text{Rn标}}$ 分别为 $^{226}\text{Ra}$ 标准源的放射性活度(dpm)和 $^{222}\text{Rn}$ 生长累积时间 $t$ 的计数率(cpm).

4. 射气闪烁法测定 $^{226}\text{Ra}$ 的误差:在已选定的条件下,用同一 $^{226}\text{Ra}$ 标准源标定不同闪烁室,其装置系数 $K$ 如表1所示.说明多次测量同一标准源的平均值的标准偏差小于 $3.0\%$ .

在相同条件下,对同一沉积物的4份平行样测定的结果列入表2.从该表不难看出,

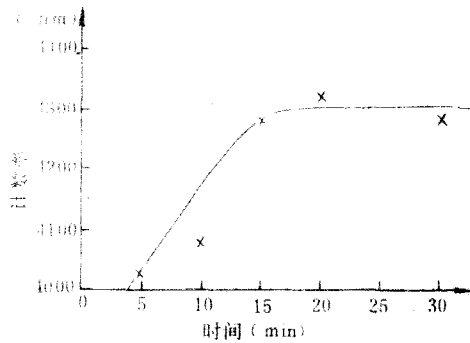


图1 计数率与送气时间的关系

3.  $^{226}\text{Ra}$ 放射性比度的计算: 沉积物中 $^{226}\text{Ra}$ 的放射性比度由下式求得,

$$A_{^{226}\text{Ra}} = \frac{I_{^{222}\text{Rn}}}{K \cdot W \cdot (1 - e^{-\lambda t})} \quad (1)$$

式中 $A_{^{226}\text{Ra}}$ 和 $I_{^{222}\text{Rn}}$ 分别为沉积物中 $^{226}\text{Ra}$ 的放射性比度(dpm/g)和 $^{222}\text{Rn}$ 的计数率(cpm), $t$ 为 $^{222}\text{Rn}$ 生长累积时间(min), $\lambda$ 是 $^{222}\text{Rn}$ 的衰变常数( $\text{min}^{-1}$ )

$W$ 是沉积物干重(g), $K$ 是表征探测效率

沉积物中<sup>226</sup>Ra放射性比度多次测量的平均值的标准偏差也小于±3.0%,而测量的计数误差却比此来得大,说明测量的精度取决于计数误差。

表1 同一标准源标定的装置系数

闪烁室	装置系数 $K$ (cpm/dpm)
1	$2.04 \pm 0.01^*$
2	$2.15 \pm 0.01$
3	$2.10 \pm 0.01$
4	$2.13 \pm 0.01$
5	$2.16 \pm 0.01$
6	$2.05 \pm 0.01$
平均	$2.11 \pm 0.05^{**}$

\* 以 $\sqrt{N}$ 表示的计数误差,  $N$ 为总计数。

\*\* 六次结果平均值的标准偏差。

表2 同一沉积物重复测定<sup>226</sup>Ra的结果

序号	<sup>226</sup> Ra放射性比度 (dpm/g)
1	$0.73 \pm 0.06^*$
2	$0.85 \pm 0.07$
3	$0.83 \pm 0.07$
4	$0.82 \pm 0.07$
平均	$0.82 \pm 0.02^{**}$

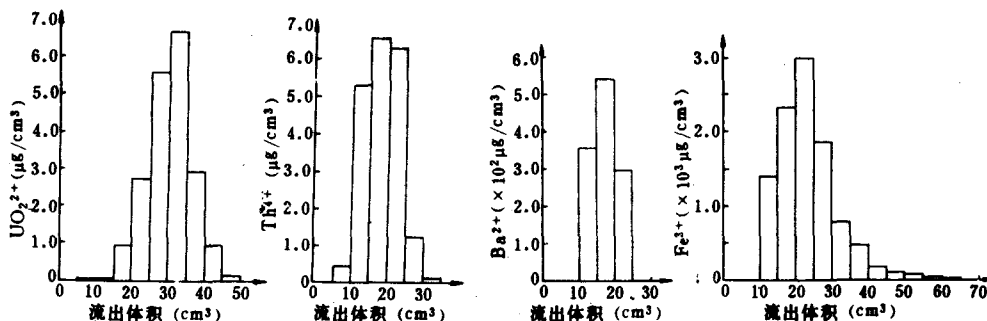
\* 以 $\sqrt{N}$ 表示的计数误差,  $N$ 为总计数。

\*\* 四次测定结果平均值的标准偏差。

## (二) 1.0 mol/dm<sup>3</sup> HCl 体系中, Pb (<sup>210</sup>Pb)与U、Th、<sup>226</sup>Ra和Fe的分离

在分离、纯化Pb (<sup>210</sup>Pb)的1.0 mol/dm<sup>3</sup> HCl 体系中,杂质离子(尤其是Fe<sup>3+</sup>离子)也有一定的分配系数,必须流洗一定体积才能与Pb (<sup>210</sup>Pb)分离,达到分离、纯化的目的,而在流洗过程中, Pb (<sup>210</sup>Pb)的“色层”也将下移。在本研究的具体条件下, Pb (<sup>210</sup>Pb)在1.0 mol/dm<sup>3</sup> HCl 体系中的始漏点大于140 cm<sup>3</sup>。

U、Th、Ba (<sup>226</sup>Ra)和Fe在1.0 mol/dm<sup>3</sup> HCl 体系的流洗情况如图3 (U、Th用分光光度法测定, Ba和Fe用EDTA滴定法测定)。U、Th和Ba (<sup>226</sup>Ra)分别在50、35和25 cm<sup>3</sup>就全部流出,而Fe<sup>3+</sup>的流洗过程有拖尾的现象。尽管用EDTA滴定法在65 cm<sup>3</sup>以后已测不出Fe<sup>3+</sup>,但用NH<sub>4</sub>SCN溶液仍能检出Fe<sup>3+</sup>。因此,还继续用0.1 mol/dm<sup>3</sup> HCl 流洗,在110 cm<sup>3</sup>以后, Fe<sup>3+</sup>离子就不被NH<sub>4</sub>SCN检出,而这一流出体积还未达到Pb (<sup>210</sup>Pb)的始漏点。所以,在1.0 mol/dm<sup>3</sup> HCl 体系中,流洗110 cm<sup>3</sup>就能达到Pb (<sup>210</sup>Pb)与U、Th、<sup>226</sup>Ra和Fe分离并纯化的目的。由图3可知,用于U和Th分析的1.0 mol/dm<sup>3</sup> HCl 流出液收集50—60 cm<sup>3</sup>就足够了。

图3 1.0 mol/dm<sup>3</sup> HCl 体系中UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>、Th<sup>4+</sup>、Ba<sup>2+</sup> (<sup>226</sup>Ra)和Fe<sup>3+</sup>的流洗过程

### (三) 蒸馏水对Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )的洗脱和HCl对PbSO<sub>4</sub>沉淀回收率的影响

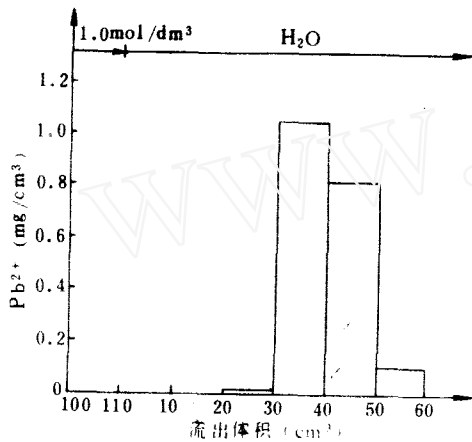


图4 蒸馏水洗脱Pb ( $^{210}\text{Pb}$ ) 的过程

从蒸馏水洗脱Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )的流洗过程(图4)可知前面20cm<sup>3</sup>流出液, Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )并未流出, 所以弃去前面10cm<sup>3</sup>流出液有利于Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )化学回收率的提高。

### (四) U、Th、 $^{226}\text{Ra}$ 和 $^{210}\text{Pb}$ 联合分离、测定程序中, U、Th和 $^{210}\text{Pb}$ 的全程化学回收率

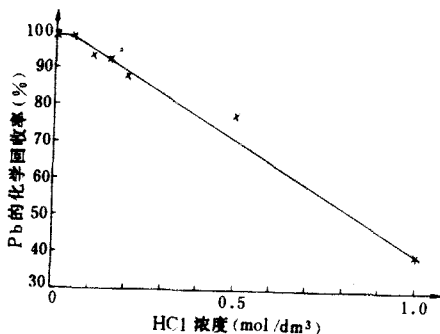


图5 HCl存在对Pb的化学回收率的影响

明U和Th的相互分离是完全的, 而且U、Th与其他 $\alpha$ 发射体的杂质核素的分离也是完全的。

表3 纯体系的化学回收率

元 素	U	Th	Pb
加入量 ( $\mu\text{g}$ )	20	20	20 (mg)
回收率 (%)	1	95.0	97.0
	2	91.5	95.0

表4 沉积物的化学回收率

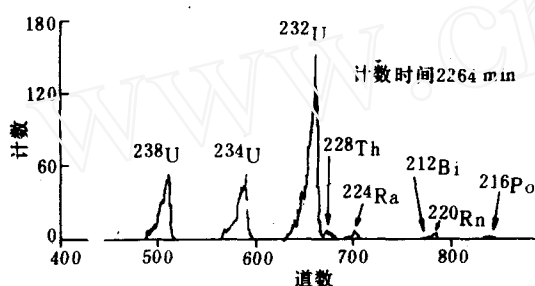
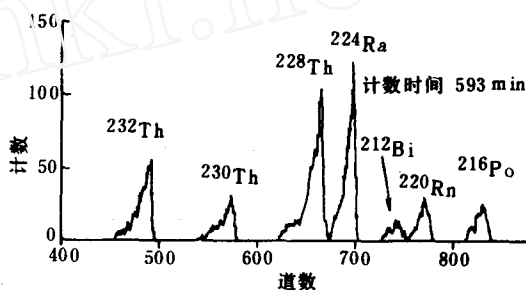
元 素	U	Th	Pb
加入量 ( $\mu\text{g}$ )	20	20	20 (mg)
回收率 (%)	1	92.0	93.5
	2	92.5	93.0

在1.0 mol/dm<sup>3</sup> HCl流洗110cm<sup>3</sup>后, 用蒸馏水洗脱Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )的过程如图4所示. 流洗20cm<sup>3</sup>, Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )还未流出, 到了60cm<sup>3</sup>, Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )就差不多洗脱完全了. 实验中选用90cm<sup>3</sup>蒸馏水洗脱Pb ( $^{210}\text{Pb}$ ).

蒸馏水洗脱Pb ( $^{210}\text{Pb}$ ), 开始的流出液总会有少量HCl(树脂床的空隙体积), 而Cl<sup>-</sup>与Pb<sup>2+</sup>形成络离子将影响PbSO<sub>4</sub>沉淀的形成, 降低Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )的化学回收率. 为此, 在不同HCl浓度下, 测定Cl<sup>-</sup>对Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )化学回收率的影响, 其结果如图5. Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )化学回收率随HCl浓度的升高迅速降低, 因此必须尽可能地减少流出液中残留的HCl.

按确定的联合分离程序测定纯体系和沉积物样品中的U、Th和Pb ( $^{210}\text{Pb}$ ), 它们的全程化学回收率分别列表3和表4. 可见, 无论是纯体系还是沉积物样品, U和Th的化学回收率均在90%以上, Pb ( $^{210}\text{Pb}$ )的化学回收率均超过95%, 这和单测 $^{210}\text{Pb}$  [1]或单测U、Th [2]的方法所得的结果是相吻合的。

图6和图7分别是沉积物经过上述程序所测得的U和Th的 $\alpha$ 谱, 这两个 $\alpha$ 谱图表明

图6 沉积物U同位素的 $\alpha$ -谱图图7 沉积物Th同位素的 $\alpha$ -谱图

### (五) Th的回收率校正和 $^{234}\text{Th}$ 的测定

在加入 $^{232}\text{U} - ^{228}\text{Th}$ 平衡示踪剂的沉积物分离制成的Th源中, $^{228}\text{Th}$ 包含了示踪剂的 $^{228}\text{Th}$ 和沉积物本身存在的 $^{228}\text{Th}$ 。只有扣除了沉积物的 $^{228}\text{Th}$ ,才能求出Th源的示踪剂 $^{228}\text{Th}$ 的回收率,而近岸沉积物中 $^{228}\text{Th}$ 与 $^{232}\text{Th}$ 一般是不平衡的,这就不可能从一个Th的 $\alpha$ 谱中直接扣除沉积物的 $^{228}\text{Th}$ 来计算示踪剂 $^{228}\text{Th}$ 的回收率。因此,必须进行双份沉积物样品的分离测定(一份加入 $^{232}\text{U} - ^{228}\text{Th}$ 平衡示踪剂,另一份不加),从未加示踪剂的沉积物得到的Th源,通过 $\alpha$ 谱测定,可以求出沉积物中 $^{228}\text{Th}$ 和 $^{232}\text{Th}$ 的放射性比值,而从加入示踪剂的沉积物Th源中的 $^{232}\text{Th}$ 计数就可以求出该Th源所代表的沉积物的 $^{228}\text{Th}$ 计数。因此,从加入示踪剂的沉积物Th源的 $^{228}\text{Th}$ 总计数扣除这一部分 $^{228}\text{Th}$ 计数,就是加入的示踪剂回收的 $^{228}\text{Th}$ 的计数,由此即可求出 $^{228}\text{Th}$ 的回收率(包括仪器的探测效率)。

$^{234}\text{Th}$ 的测定是在制源后用Canberra-2400 $\alpha/\beta$ 计数系统测定它的子体 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 的 $\beta$ 射线。 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 半衰期只有1.175 min, $^{234}\text{Th}$ 很快就与它达到放射性平衡。由于Th源中同时含有 $^{228}\text{Th}$ ,其子体有的也是 $\beta$ 发射体( $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{212}\text{Bi}$ 和 $^{208}\text{Tl}$ ),故分离后必须立即测定。测量时盖上玻璃纸吸收片(6.6 mg/cm<sup>2</sup>)以吸收 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 和 $^{228}\text{Th}$ 等的 $\alpha$ 射线和低能的 $^{234}\text{Th}$  $\beta$ 射线,实验发现前面600 min的计数用于 $^{234}\text{Th}$ 放射性比度的计算可以忽略源中其它短寿命 $\beta$ 子体的影响。

由于 $\alpha$ 谱仪测定的 $^{228}\text{Th}$ 回收率包括了化学回收率和 $\alpha$ 谱仪的探测效率,而 $^{234}\text{Th}$ 是用 $\beta$ 计数测定的,因此,尽管 $^{234}\text{Th}$ 和 $^{228}\text{Th}$ 有相同的化学回收率,但因仪器探测效率不同, $^{234}\text{Th}$ 和 $^{228}\text{Th}$ 的回收率就不能等同,必须进行 $\alpha$ 谱仪和 $\beta$ 计数系统的探测效率的相互刻度。用 $^{238}\text{U} - ^{234}\text{Th}$ 平衡溶液和 $^{232}\text{U} - ^{228}\text{Th}$ 平衡示踪剂按U和Th的分离程序分离U和Th,Th源盖上吸收片测定 $^{234}\text{Th}$ ,再用 $\alpha$ 谱仪测定 $^{228}\text{Th}$ ,这样就能进行 $\alpha$ 谱仪和 $\beta$ 计数系统探测效率的相互刻度。测出的 $^{228}\text{Th}$ 和 $^{234}\text{Th}$ 的回收率分别记为 $\eta_{^{228}\text{Th}}$ 和

( $9.29 \pm 0.03\%$ )和 $\eta_{234\text{Th 标}}$ ( $16.37 \pm 0.59\%$ )。若测定沉积物Th源 $^{228}\text{Th}$ 回收率为 $\eta_{228\text{Th 标}}$ ，则沉积物 $^{234}\text{Th}$ 回收率可用式(3)计算。

$$\eta_{234\text{Th 标}} = (\eta_{234\text{Th 标}} / \eta_{228\text{Th 标}}) \times \eta_{228\text{Th 标}} \quad (3)$$

### (六) 联合分离测定程序的实际应用

上述联合分离测定方法已被用于长江口、珠江口、厦门港、湄洲湾等河口港湾沉积物中 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 和U、Th同位素的测定，其结果是令人满意的。现将湄洲湾一个岩心上面4层的测定结果列出(表5)。

表5 湄洲湾沉积物 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 和U、Th同位素联合分离测定的结果

层段 cm	放射性比度(dpm/g)							
	$^{238}\text{U}$	$^{234}\text{U}$	$^{234}\text{Th}$	$^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}$	$^{228}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$
0-1	$0.86 \pm 0.02$	$0.80 \pm 0.02$	$2.57 \pm 0.13$	$1.71 \pm 0.04$	$1.10 \pm 0.03$	$1.46 \pm 0.04$	$0.51 \pm 0.07$	$8.19 \pm 0.19$
1-2	$0.77 \pm 0.02$	$0.85 \pm 0.02$	$1.49 \pm 0.09$	$2.53 \pm 0.06$	$1.31 \pm 0.04$	$2.11 \pm 0.05$	$0.58 \pm 0.07$	$8.12 \pm 0.19$
2-3	$0.78 \pm 0.02$	$0.81 \pm 0.02$	$1.00 \pm 0.13$	$2.03 \pm 0.06$	$1.17 \pm 0.03$	$1.48 \pm 0.04$	$0.71 \pm 0.08$	$7.91 \pm 0.16$
3-4	$0.85 \pm 0.02$	$0.87 \pm 0.02$	$1.00 \pm 0.09$	$2.32 \pm 0.06$	$1.46 \pm 0.04$	$1.65 \pm 0.04$	$0.66 \pm 0.08$	$7.38 \pm 0.16$

## 三、结 语

本文建立了一个联合分离测定沉积物中 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 和U、Th同位素的方法。讨论了这些核素之间的分离、纯化以及影响化学回收率的因素。这一联合分离程序方法简便，化学回收率高， $^{226}\text{Ra}$ 的测定采用射气闪烁法，减少了分离、纯化的步骤。此法已成功地用于河口港湾中铀系不平衡的研究。

## 参 考 文 献

- [1] 施文远等, 沿岸沉积物中 $^{210}\text{Pb}$ 的分离和测定的研究, 海洋学报, 8(1986), 1: 519-522
- [2] 罗尚德等, 海洋物质中铀、钍的阴离子交换分离与测定, 厦门大学学报(自然科学版), 25(1986), 1: 492-495
- [3] 夏明、周秀云,  $\alpha$ 谱法测定微量铀、钍含量的研究, 地球化学, 3(1982), 277-284
- [4] Joshi, L. U. and T. L. Ku, 加利福尼亚沿岸的沉积物岩心中 $^{210}\text{Pb}$ 的测定, 海洋译丛, 2(1982), 95-97
- [5] Key, R. M., Examination of abyssal sea floor and near bottom water mixing processes using  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{222}\text{Rn}$ , Ph. D., Dissertation Graduate College of Texas A&M University, 1981
- [6] 李志远等译, 《海洋放射性调查方法》第二部分——海洋天然放射性调查方法, 海洋出版社, 1981, 39-93