

海洋放射年代学的若干问题

夏 明

(中国科学院地质研究所)

海洋放射年代学是同位素地质学的一门分支学科。它主要是应用天然放射性核素： ^{230}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 、 ^{14}C 测定珊瑚礁、鲕岩、海泥、软体动物贝壳的年龄，测定锰结核和海洋沉积物积累的速度；研究放射性元素在海水、悬浮物和沉积物中垂直和空间分布的特征；讨论放射性元素和同位素存在形式和沉淀机理；阐述海洋物质来源；探讨锰结核成因等。

六十年代以来，人们对海洋的认识逐步深入，对海洋蕴藏资源的兴趣愈来愈广泛，海洋放射年代学在解决与其相关的很多课题中的作用日趋重要，在认识和讨论海洋物质来源、运移、形成和积累的各个方面，提供了实验数据，取得了很有价值的成果。

应该强调指出，深海沉积物是研究第四纪最有前途的对象。与大陆沉积物相比，它没有受到过外界因素的强烈作用，可以把它看作为全球性的、连续地质事件的发展历史，而大陆沉积物受到区域性各种因素的影响，只能反映局部地质事件的进程。因此，通过海洋放射年代学，测定第四纪历史时期气候变迁的延续时间，测定海平面变化的连续时间，就具有更重要的理论意义和实际价值。

近二十年来，在海洋地球化学和放射年代学领域内，美、苏等国的科学家已做出不少成绩。在我国，这个领域仍然是空白，因而这项任务无疑地落在海洋科学工作者的肩上。

本文将综述和讨论下列几个问题：（1）海洋放射年代学方法和假定前提；（2） $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 方法鉴定国际标准样结果；（3）海洋沉积物中 ^{230}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{238}U 时空分布特征；（4）深海锰结核生长速度、珊瑚礁的年龄和 ^{230}Th 过剩；（5）海洋沉积物的沉积速度。

一、海洋放射年代学方法和假定前提

地质时间，就其概念而言，不仅仅反映地质事件的排列顺序，而且反映地质事件时间延续的阶段。地质事件均以具体地质对象表示，具有一定的物质形式和空间分布，因而地质时间应该是时间和空间的统一。

自然界中铀、钍和锕系的母体 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{235}U 经过 α 和 β 衰变形成子体产物，最终生成稳定的铅同位素。每个系列中核素的衰变都遵循以时间为指数函数的规律：

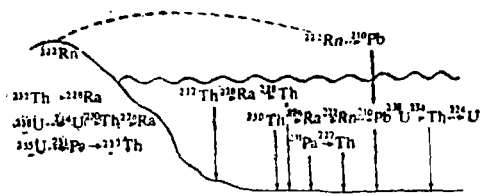


图1 海洋中核素地球化学行为示意图

$N = N_0 e^{-\lambda t}$ 。λ 为每种核素固有的衰变常数，与半衰期 T 的关系是 $\lambda = \ln 2/T$ ； t 代表衰变经历的时间，即年龄值。这一规律是放射年代学各种方法的物理基础。

大量的实验数据表明，海洋年青地质建造中放射性元素母体与子体 ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 、 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) 常常处于不平衡

状态(见图 1)，为海洋放射年代学各种方法提供了根本的前提。目前采用不同半衰期核素，组合了各种方法(表 1)。就总体而言，海洋放射年代学测定年龄的范围为百万年以内。

表1 海洋放射年代学方法

名称	同位素符号	衰变方式	半衰期(年)	适应测年范围(年)	主要测试对象	主要应用范围
铀系衰变子体(铀系)						
不平衡铀	^{234}U	α	2.48×10^5	50,000— 1×10^6	珊瑚礁、石钟乳类碳酸盐、河、湖、海水、贝壳等	海、湖相沉积年代学、水体交换和运动方向
镤	^{231}Pa	α	3.28×10^4	3,000—150,000	珊瑚礁、海相软泥、锰结核、石钟乳、骨化石、贝壳	海、湖相沉积速度及年龄、考古学、锰核成因
钍	^{230}Th	α	75,200	3,000—400,000	珊瑚礁、海相、湖相软泥、石钟乳、锰结核、骨化石、火山岩等	海、湖、相沉积速度及年龄、考古、锰核成因、火山岩年代
镭	^{226}Ra	α	1,600	<10,000	近海、陆架、湖相淤泥、水	湖相、陆架等沉积速度及年龄、天然水的年龄
铅-210	^{210}Pb	α, β	22.3	<150	近海、湖相淤泥、冰、雪、水	现代沉积速度、环境污染历史、冰雪年龄
宇宙成因核						
放射性碳	^{14}C	β	5,568	<60,000	树木、泥炭、贝壳、骨化石、碳酸盐等	地层年代、土壤、冰川年龄、沉积速度
放射性铍	^{10}Be	β	1.6×10^6	25,000— 8×10^6	锰结核、红粘土	深海沉积速度、锰核生长速度
放射性氯	^{36}Cl	β	30,800	50,000— 3×10^6	火成岩、变质岩矿物	山地冰川、冰迹物年代
放射性硅	^{32}Si	β	500	<3,000	海、湖相淤泥、水	近海、湖相沉积速度、大陆水循环
放射性铝	^{26}Al	β	7.38×10^5	—	海相软泥	海相沉积速度
裂变成因核						
放射性铯	^{137}Cs	β, γ	30	—	湖、海相软泥、水	现代湖泊、港口沉积速度、环境污染
放射性铁	^{55}Fe	e	2.7	—	同上	同上
放射性钚	^{239}Pu	α	2.4×10^4	—	同上	同上

海洋放射年代学与同位素年代学各种方法一样，必须设立假定前提(条件)，证实这些前提是年代学重要组成部分，是一项基础研究，因为任何一种方法的使用和推广，只有在认真研究假定前提的条件下，才有依据。表 2 概括了目前研究现状^[1]。

从以上简单的叙述可以看出，当前海洋放射年代学已建立了各种方法，以铀系衰变子体的各种方法和 ^{14}C 法研究得较为深入，从放射化学角度检验和证实了假定前提，获得可信赖的数据，为广泛应用铀系方法提供依据。然而检验假定前提的基础工作还有待进一步研究。

表2 海洋放射年代学各种方法假定前提和证实程度

方 法	假定前提 (条件)			证明程度
^{230}Th	在测定年龄范围内 ^{230}Th 和 ^{238}U 含量为常数 +	^{230}Th 没有迁移 +	^{230}Th 的沉积速度为常数 +	I
$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	^{230}Th 、 ^{232}Th 应按同一比例沉淀, 存在形式相同 -	不应含有大量的陆源 ^{230}Th -	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 比值不应变化 -	II
$^{226}\text{Ra}/^{230}\text{Th}$	^{230}Th 、 ^{226}Ra 沉积速度相同 +	^{230}Th 、 ^{226}Ra 没有迁移 + -	^{226}Ra 、 ^{230}Th 应从水中直接沉淀 +	I
$^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$	^{230}Th 、 ^{231}Pa 沉积机理相同 - +	^{230}Th 、 ^{231}Pa 没有迁移 +	^{230}Th 、 ^{231}Pa 陆源组份很少 +	I
$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	只吸附铀, 没有其子体 +	^{230}Th 、 ^{234}U 没有迁移 +	^{230}Th 很少或没有 +	I
$^{228}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	^{228}Th 、 ^{232}Th 沉积速度为常数	^{228}Th 、 ^{232}Th 没有迁移	^{228}Th 、 ^{232}Th 存在形式一致	IV
^{210}Pb	^{210}Pb 沉积速度为常数	^{210}Pb 没有迁移	^{210}Pb 与其子体应平衡 +	II
^{14}C	在测定年龄范围内宇宙辐射强度为常数 +	大气、水和生物圈之间 ^{14}C 应快速交换 +	陆源“死”碳酸盐极少	I
^{10}Be	在测定年龄范围内, 宇宙辐射为常数	^{10}Be 没有迁移 +		II
^{82}Si	宇宙辐射为常数	^{82}Si 没有迁移		IV
^{26}Al	宇宙辐射为常数	^{26}Al 没有迁移		IV

注¹ 1. +、+-、-、“空白”分别代表假定前提已得到证明、有争议、不成立和未研究。

2. I、II、III、IV表示方法应用的可靠性, 分别代表最佳、可以应用、局部应用和有待证实。

假定前提研究程度表明, 铀法、铀钍法、镭铀法和 ^{14}C 法最佳, 其次是镭铀法。铀钍法只有在某些情况下才能应用。

宇宙成因核和裂变成因核的各种方法均需进一步证实假定前提, 大部分仍处于方法的探索阶段。 ^{10}Be 方法是很有前途的。这些也是海洋放射年代学中有待研究的课题。

二、 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 方法鉴定国际标准样结果

铀系国际标准样对比计划的目的是检验各国实验室采用的化学分离流程、制源技术、测试水平和数据处理的整个程序是否合理, 实验手段是否成熟。我们先后两次参加了对比计划, 提交了数据^[1]。 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 方法计算年龄的公式为:

$$\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}} = \frac{^{238}\text{U}}{^{234}\text{U}} (1 - e^{-\lambda_{230}t}) + \frac{\lambda_{230}}{\lambda_{234} - \lambda_{230}} \left(1 - \frac{^{238}\text{U}}{^{234}\text{U}}\right) (1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})t})$$

式中 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 和 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 是实际测量值, 以放射性强度表示。不难看出, 它们是

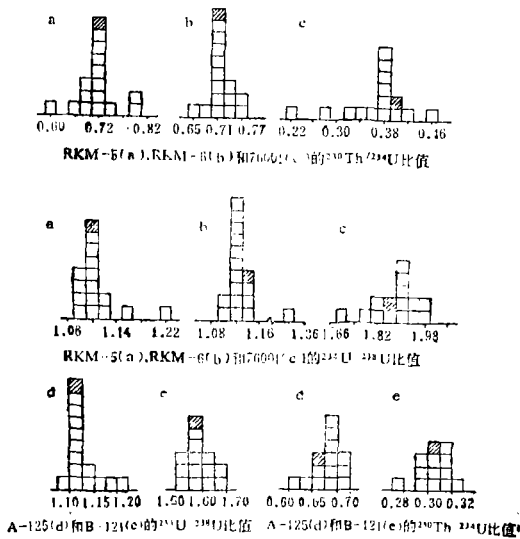


图2 两次国际标准样中的 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 和 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 比值

法、镓法, 镓法), 也说明 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 方法测定碳酸盐, 特别是珊瑚礁的年龄是成熟和可信的。

我们测得的数据基本上都落在分布曲线的峰值上, 即与国际上几个主要实验室的结果是一致的。这说明, 我们为该法建立的实验程序是正确的。为开展我国铀系年代学打下了良好的基础, 也是我国铀系年代学日趋成熟的重要标志。

不仅如此, 我们还发现了残留 ^{228}Th 和 ^{210}Po 对测定示踪剂中 ^{232}U 浓度和样品定年的影响, 提出了看法和解决办法, 这些对各国实验室都将是有意义的。

三、海洋沉积物中 ^{230}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{238}U 时空分布的特征

海水、悬浮物和沉积物中放射性核类分布的规律, 核子从水中析出并积累在沉积建造中的基本轮廓, 不仅为海洋放射年代学各种方法假定前提研究奠定了基础, 而且为海洋地球化学研究开阔了视野。

(一) 海洋沉积物中 ^{238}Th 、 ^{232}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{226}Ra 和 ^{238}U 空间分布

海洋底部放射性核类沉淀机理和分布特征的研究必须结合沉积物的化学分析、水文学、生物学、矿物学以及粒度分析的资料, 才能比较全面地了解海洋中放射性元素的地球化学行为。

^{230}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{232}Th 和 ^{226}Ra 从陆架过渡到大陆坡再到大洋盆地的变化趋势展示在图 3。

决定年龄值的两组关键性比值, λ_{230} 和 λ_{234} 分别为 ^{230}Th 和 ^{234}U 的衰变常数。两次对比计划中, 我们测试的数据 (方格为 ▨) 和各国实验室测得的 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 和 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值展示在图 2 之中。

对比这些分析数据, 可以概括以下几点结论:

国际标准样是年代学一项重要的基础性工作。通过各国实验室测定同一样品的各种同位素比值, 可以比较实验程序和测试技术水平, 检验和考核各实验室测得数据的可靠性。

碳酸盐样品的测试结果表明, 各国实验数据尽管有些分散, 但主要实验室测出的 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值基本一致 ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 的实验程序也适用于镓

沉积物埋藏深度、离岸边距离、沉积速度、沉积物表面积和化学成分是研究放射性元素空间分布的因素, 它们之间的关系列在表 3.

综合研究上述各种因素, ^{230}Th 、 ^{232}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{226}Ra 和 ^{238}U 在海洋沉积物空间分布的特征可归结以下几点:

1. ^{230}Th 和 ^{231}Pa 在海洋沉积物空间分布相似, 相关系数为 +0.9, 或然率为 0.95. 与 ^{232}Th 的空间分布截然不同. 可能由于 ^{230}Th 和 ^{231}Pa 是从海水直接吸附在悬浮物上而沉淀在海底的机理所致. ^{232}Th 则存在于矿物晶格之中, 来源于陆源物质.

2. ^{230}Th 和 ^{231}Pa 在表层沉积物中与它们母体之间的平衡均受到破坏. 在大多数沉积物中, $^{238}\text{U} < ^{226}\text{Ra} < ^{230}\text{Th}$, $^{238}\text{U} < ^{231}\text{Pa}$. ^{230}Th 和 ^{231}Pa 比母体超出的程度在大洋盆地最大, 其次是大陆坡, 陆架沉积物中则最小.

3. 大洋沉积物中实际测定的 $^{226}\text{Ra}_{\text{水}}$ (由 ^{230}Th 衰变而来) 和从水中直接沉淀的 $^{226}\text{Ra}_{\text{沉}}$, 其空间分布是有差异的, 说明 ^{226}Ra 与 ^{230}Th 的存在形式不同, $^{226}\text{Ra}_{\text{沉}}$ 在水中以阳离子一分选形式存在.

4. ^{238}U 在表层沉积物中分布不均一, 未发现明显的规律, 一般陆架沉积物中 ^{238}U 含量偏高. $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比是沉积形成环境的一个非常灵敏的指示剂, 从滨海向大陆坡过渡, 该值增高, 到大洋盆地又降低了. 这可以用 ^{238}U 有两种来源解释: 除大洋沉积物中陆源铀之外, 从水中直接沉淀在沉积物中的铀增加了.

5. 放射性核素与硅、钙、铁、锰、磷、有机碳等化学组份的关系表明: ^{230}Th 和 ^{231}Pa 与非晶质 SiO_2 和 CaCO_3 不相关, 而与 Fe、Mn、P、 $\text{C}_{\text{有机}}$ 正相关, 可能是被浮游生物原生质从水中提取的; ^{232}Th 是陆源; ^{238}U 与非晶质 SiO_2 、 CaCO_3 、Fe、Mn 不相关, 而与 P、 $\text{C}_{\text{有机}}$ 相关说明铀从死亡有机物质提取的机理. 在深海沉积物中 ^{238}U 是以自生机理为主, 在大陆坡和陆架则以陆源为主; $^{226}\text{Ra}_{\text{沉}}$ 与所有上述因素均不相关, 可以进一步推测, $^{226}\text{Ra}_{\text{沉}}$ 是以阳离子交换机理沉淀的.

(二) ^{238}Th 、 ^{232}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{226}Ra 和 ^{238}U 在海洋沉积物中的垂直分布

放射性核素垂直分布是研究海洋放射年代学各种方法假定前提的基础. 主要特征如下:

1. ^{230}Th 和 ^{231}Pa 在海洋沉积物中的垂直分布是一致的, 与 ^{232}Th 则有根本区别. $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 比值沿沉积岩柱长度往往不是按指数衰减规律变化, 具有更复杂的方式. 可能在几十万年以前 ^{230}Th 和 ^{231}Pa 是以相同形式进入沉积物——地球化学行为相似.

2. 在深海沉积物中的 ^{226}Ra 垂直分布与 ^{230}Th 相似, 在陆架和陆坡上部, 它们不一致.

3. ^{238}U 在深海沉积物中的垂直分布为一常数, 与 Fe、Mn、 CaCO_3 、 SiO_2 (非晶) 以及

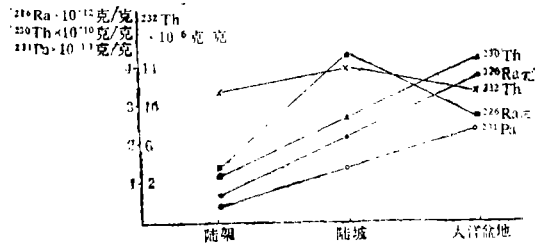


图3 ^{230}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{226}Ra 和 ^{232}Th 在海洋沉积物中的空间分布

表3 放射性核素与各种因素的关系

同位素符号	含量(克/克)	埋藏深度	离岸边距离	沉积速度	表面积	化学成分						来源	
						SiO ₂ (非晶)	CaCO ₃	Fe	P	C _{有机}	Mn		
²³⁰ Th	(0.3-15)×10 ⁻¹⁰	→	→	←	→	←	←	→	→	→	→	→	自 生 从水中直接沉淀
²³¹ Pa	(0.6-4.8)×10 ⁻¹¹	→	→	←	→	←	←	→	→	→	→	→	自 生 从水中直接沉淀
²³² Th	(1.0-42)×10 ⁻⁶	—	⊖*	←	⊖	←	←	⊖	—	—	⊖	—	陆 源
²²⁶ Ra _衰	(3-14)×10 ⁻¹²	→	→	←	→	←	←	→	→	→	→	→	陆 源
²²⁶ Ra _沉	(1-4)×10 ⁻¹²	→	→	←	→	←	←	—	—	—	—	—	从水中直接沉淀
²³⁸ U	(0.2-16)×10 ⁻⁶	⊖	⊖	←	—	←	←	⊖	→	→	⊖	⊖	自 陆 源

注: →正相关; ←负相关; —不相关; ⊖*在最微细颗粒.

P、C_{有机} 都不相关, 可能铀在垂直方向发生过迁移或扩散。

还应指出, 悬浮物中放射性元素含量测定是研究它们在海洋中存在形式的直接方法。研究结果表明, 在沉积物的最初阶段——悬浮物中, 放射性母体与子体之间已处于不平衡; ^{230}Th 和 ^{232}Th 的地球化学行为和存在形式有明显差异, 陆源 ^{238}U 在滨海地区占优势, 自生 ^{238}U 在深海起主导作用; 悬浮物中的 ^{226}Ra 就是从水中直接沉淀的 $^{226}\text{Ra}_{\text{水}}$, 进一步说明了镭是以阳离子交换机理沉淀的。

四、深海锰结核的生长速度、珊瑚礁的年龄和 ^{230}Th 过剩

锰结核是重要的海洋矿产资源之一, 近些年来引起了人们极大的兴趣。锰结核的成因仍然是国际上一个有争论的问题。锰结核生长速度是讨论其成因的重要数据。各种方法测定结果的比较见图 4^[3]。

锰结核生长速度很慢, 一般为每百万年几毫米, 最近用 ^{10}Be 测定的数据比 ^{230}Th 和 ^{231}Pa 还低, 约为 1—2 毫米/ 10^6 年。核素在结核内衰变同时扩散, 是解释这些数据较为理想的模式, 对于 Mn139 结核, 扩散系数为 0.95×10^{-8} 厘米²/年。

锰结核中铀含量为 4—13ppm, 钍含量波动在 3—150ppm 范围内, Th/U 比值变化很大。表层 ^{230}Th 与 ^{231}Pa 比值为 11, 远大于沉积物, 说明 ^{230}Th 和 ^{231}Pa 的地球化学行为并不一致。

珊瑚礁是定年的理想对象。为检验珊瑚礁是否处于封闭体系, 建立了下列标准:

1. 珊瑚礁成分为纯文石, 方解石的含量应少于百分之几, 否则说明存在再结晶作用, 破坏封闭体系。
2. 铀含量一般应介于 2—3 ppm, 珊瑚礁应具有与海水相同的 U/Ca 比值。
3. 计算年龄用的 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比应为 1.15 ± 0.03 , 这个比值不应因地理位置和深度发生很大的变化。偏离该比值的珊瑚礁年龄是不可靠的。
4. $^{226}\text{Ra}/^{230}\text{Th}$ 比值应适应测定 7—70 千年之间的年龄。若 7,000 年内 ^{230}Th 仅为 ^{226}Ra 的 10%, 说明体系是开放的。
5. $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 比值不应大于 20。假若珊瑚样品中存在 ^{232}Th , 表明系统也是开放的。
6. $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 比值测定的年龄应与 ^{14}C 、古地磁、地层及其他年代学方法的数据相符。

目前已报道了相当数量的珊瑚礁年龄值。作为一个重要应用方面是研究更新世以来海

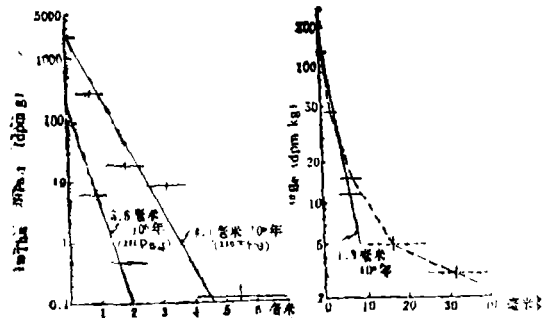


图4 ^{230}Th 过、 ^{231}Pa 过和 ^{10}Be 测定锰结核 Mn139 生长速度的比较

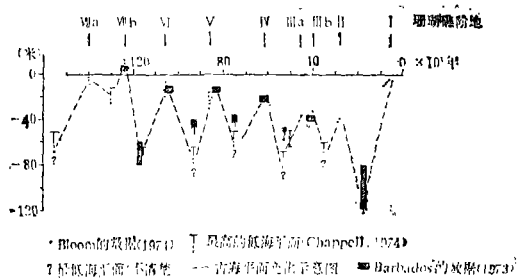


图5 新几内亚珊瑚礁阶地与古海平面变化的关系

平面的变化。澳属新几内亚珊瑚礁阶地有七层，高差370米，用 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 测定的结果见图5 [2]。

海水中 ^{234}U 和沉积物中 ^{230}Th 的过剩已被大量的数据所证实。过剩是指核衰变产物超出与其母体处于放射性平衡的数量。

对于 ^{230}Th 过剩，当前有几种设想。其一认为，过去海洋内铀含量比现代高。二

十万年以来，由于海平面在冰期和间冰期之间的波动，影响海水铀的浓度。在冰期，铀沉淀区域要比间冰期小。此外在海洋某些地区，原来已沉淀的铀，当海平面波动时，再次氧化而重新转入海洋水中，使铀浓度增高。另一种可能是从沉积物淋滤出的铀进入底层水，铀在沉积物中垂直迁移也证明了这一点。其二认为，在过去大洋内，陆源 ^{230}Th （以胶体形式或矿物颗粒的成分）进入大洋比现代高。其三认为，如果第四纪晚期，海水中 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比现代（1.15）要高得多的话，那么 ^{230}Th 进入沉积物要比现代高。

现代海水中 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值为1.15是由古海洋比现代更高，逐渐衰变形成，还是海洋水中过去和现在一直保持1.15，也就是说，存在铀同位素分馏作用。水中 ^{234}U 过剩是沉积物淋滤作用的结果？还是过去火山喷发使 ^{234}U 有效地进入海水？也许是具有较高铀同位素比值的陆地河川流入海洋而形成的。

总之，这些理论问题的研究和阐述是十分有价值的。

五、海洋沉积物的沉积速度

海洋沉积物的沉积速度是海洋地质研究中一项重要课题，也是海洋放射年代学一个广泛应用的领域。

根据各种方法假定前提证明程度和近些年来实际测试结果，铯法和镭法较为理想，其次是铯法和铯法。表4是应用这几种方法测定结果的比较。

表4 各种方法测定沉积速度的比较（毫米/千年） [4]

台站编号	地 理 位 置	水深(米)	软泥类型	铯 法	铯法	铯法
310	印度洋(14°41'S, 93°03'E)	4,461	泥质粉砂	3.0	3.3	1.6
5128	太平洋(12°57.9'N, 176°03'E)	5,126	红粘土	0.3	0.4	0.47
5145	太平洋(8°01.2'S, 176°57.7'E)	5,966	红粘土	—	1.1	0.7
3156	太平洋(40°N, 16.5°E)	5,520	粘 土	3.0	—	13.0
5098	太平洋(5°03.3S, 139°56.9'E)	4,400	有孔虫软泥	0.8	1.0	0.8

大洋中由水中铀衰变形成的 ^{230}Th 占总 ^{230}Th 量 95% 以上, 随悬浮物沉落底部。沉积物中 ^{230}Th 过剩沿深度的变化可用下式表示:

$$^{230}\text{Th}_{\text{过剩}}|_h = ^{230}\text{Th}_{\text{过剩}}|_0 e^{-\lambda_{230} t}$$

式中 $^{230}\text{Th}_{\text{过剩}}|_h$ 和 $^{230}\text{Th}_{\text{过剩}}|_0$ 分别表示深度为 h 和表层沉积物中过剩 ^{230}Th 的放射性强度。 ^{230}Th 过剩的对数与深度呈线性关系, 其斜率代表沉积速度。

然而, 由于沉积总速度的波动, ^{230}Th 在沉积物各层位的垂直分布不呈指数衰减。在这种情况下, 可通过镭实验曲线标准化方法。用与 ^{230}Th 有成因关系的 Fe、C_{有机}、P 的总合, 进行数学处理, 使实验曲线有规律地与深度呈指数衰减关系, 求出沉积速度。

镭法测定沉积速度的结果往往与镭法一致。然而也应指出, 镭在沉积物中的含量很少, 实验测试的精度低。

根据 ^{230}Th 和 ^{231}Pa 实验曲线沿沉积物深度变化的形态, 确立 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 和 $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ 处于平衡的层位, 已知平衡层位的年龄, 求平均沉积速度。这种方法称寻找平衡层位法。

尽管 ^{230}Th 和 ^{232}Th 在沉积物存在形式和沉淀机理有所不同, 然而在局部情况下, 特别是当 ^{232}Th 沿深度的分布为一常数时, 用 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 方法也成功地测定了一些岩柱的平均沉积速度。

γ 谱法测定沉积速度可以不破坏样品, 较为简便。实际上这种方法就是镭钍法, 只不过是通过对 ^{214}Pb 的 γ 放射性 (γ 能量可选 294 + 350 keV) 和 ^{212}Pb 的 γ 放射性 (γ 能量选用 240 keV) 分别测定 ^{230}Th 和 ^{232}Th 。应用这种方法也测试了一些岩柱的平均沉积速度。

应用 ^{210}Pb 测定近百年来湖泊、近海和河口的快速沉积速度, 或称 ^{210}Pb 年代学, 近些年来获得广泛应用, 受到了愈来愈多的重视。

不言而喻, ^{14}C 是一种相当成熟的年代学方法。它在许多领域内都得到了较为广泛的应用。在海洋方面, 无论是研究晚更新世和全新世以来海平面变化和海岸线变迁, 还是测定沉积速度都起着重要作用。

深海沉积物沉积速度的变化范围是每千年从零点几到十几毫米。对不同类型沉积物的沉积速度, 目前还没有发现明显的规律性。有孔虫软泥: 1.0—17 毫米/千年, 硅藻软泥: 4.6—18.5 毫米/千年, 冰山堆积软泥: 2.2—9.3 毫米/千年, 红粘土沉积速度较低: 0.5—4.6 毫米/千年, 常见的是 1.0 毫米/千年。

结 束 语

海洋放射年代学是海洋地球化学的重要组成部分。正如以上所述, 它可以研究和解决与海洋地质有关的许多重要的理论和实际应用课题。

海洋放射年代学不仅能给出时间概念, 同时以这些核素作示踪剂, 研究稀有分散元素和铁、锰在沉积建造中积累的物理—化学条件、沉积机理和地球化学行为。应用短半衰期核素在海洋水中空间分布的规律, 研究水体循环方向和交换过程。

随着新技术的引进和海洋放射年代学数据不断的积累,必然能从实践中总结出更多的规律,为人们探索海洋的奥秘,为解决一些理论和生产实践的重大问题,作出应有的贡献。

参 考 文 献

- (1) 夏 明等, 中国科学, 1979, 8, 792-799.
- (2) Bloom, A.L., *et al.*, *Quaternary Research*, 4(1974), 2, 185-205.
- (3) Ku, T.L., *et al.*, *Marine Geology and Oceanography of Pacific Manganese Nodule Province*. 1979, 791-814. Eds. J.L. Brischoff and D.Z. Piper. (Plenum Publishing Corporation, 1979.)
- (4) Кузнецов, Ю.В., Радиохронология океана, Атомиздат., 1976, 1-280.