

^{210}Pb 法在测定沉积速率中的应用*

康兴伦 袁毅 李培泉

(中国科学院海洋研究所)

纪正训 林炳兴 吴辉

(广东省测试分析研究所)

刘书田

(中国科学院原子能研究所)

^{210}Pb 是 ^{226}Ra 衰变后的一个子体产物。 ^{210}Pb 吸附到大气尘埃、气溶胶上, 或吸附到雨、雪中, 沉降下来, 参与陆地水系的循环。海水也有 ^{226}Ra , 它同样也能衰变为 ^{210}Pb , 因此, 大气沉降、大陆径流和水体中 ^{226}Ra 的衰变是海水中 ^{210}Pb 的来源。 ^{210}Pb 在海水中很容易被粘土和有机质悬浮颗粒吸附, 或与铁锰氢氧化物共沉淀, 进入海底沉积物。如果海洋环境是稳定的, 那么, ^{210}Pb 在一个水域中的沉积通量应该是恒定的。因此, 沉积物中 ^{210}Pb 的含量随深度成指数衰减, 以此为基础, 通过测量 ^{210}Pb 含量可以计算沉积速率。沉积速率的测定对于沿海海洋工程的建设、各种有害物质的污染历史以及各种海洋地质过程的研究都有重要的意义。

一、样品的采集与分析

1. 样品采集

样品于1981年9月采集。1号柱样位于胶州湾东南部 ($36^{\circ}07.5'N$, $120^{\circ}17.3'E$), 水深为5—10米 (海图标定的等深线值, 下同); 3号柱样位于丁字湾三角洲外缘 ($36^{\circ}30.0'N$, $121^{\circ}14.9'E$), 水深为10—15米。

以中国科学院海洋研究所试制的XD-1型箱式采样器将样品采集到船上, 用直径为7.2厘米、长为0.5米的有机玻璃管轻轻插入箱式采样器, 取出岩芯。用不锈钢刀将岩芯等分成

2厘米厚的片段, 分别用塑料袋包好封存。带回实验室后, 于 110°C 恒温干燥, 直至恒重为止。计算各片段的含水量 (见表1, 2)。将样品在玛瑙研钵中研成细粉末, 备分析用。

2. 样品分析

称取干样1克放入150毫升烧杯内, 加100毫升8N硝酸, 加与样品中 ^{210}Pb 约等量的 ^{208}Po 示踪剂。于 70°C 左右浸取4小时。浸取结束后过滤, 弃去残渣, 滤液在电炉上加热浓缩至10—20毫升 (控制尽量不要沸腾)。滴加浓盐酸并继续加热, 直至将硝酸赶尽为止。冷却后依次滴加5毫升20%盐酸羟胺、2毫升25%柠檬酸钠、1毫升2%硝酸铋。用氢氧化铵调溶液的pH值接近2。 90°C 恒温并不断搅拌, 使Po自沉积在银片上。用 α 能谱仪测量银片的放射性, 若不加 ^{208}Po 示踪剂可在低本底 α 计数器上测量。

本法经多次实验证明, 重现性较好, 精密程度保持在5%左右, 回收率稳定在75%左右, 去污效果良好。

二、测量结果与资料处理

1. 测量结果

1号柱样和3号柱样的测量结果分别列于

* 中国科学院海洋研究所 调查研究报告第1089号。

表 1 1号柱样 ^{210}Pb 浓度随深度的分布 (dpm/克沉积物)

深度 (厘米)	总 ^{210}Pb	过剩 ^{210}Pb	含水量
0—2	3.42	1.87	0.34
2—4	3.31	1.76	0.33
4—6	2.65	1.11	0.34
6—8	2.78	1.24	0.35
8—10	3.12	1.57	0.34
10—12	2.85	1.31	0.35
12—14	2.02	0.47	0.35
14—16	2.00	0.45	0.35
16—18	1.98	0.44	0.35
18—20	1.87	0.32	0.35
20—22	1.84	0.30	0.37
22—24	1.83	0.29	0.38
24—26	1.77	0.22	0.33
26—28	1.72	0.17	0.37
28—30	1.69	0.14	0.37
30—32	1.65		0.37
32—34	1.60		0.37
34—36	1.58		0.37
36—38	1.49		0.36
38—40	1.57		0.36
40—42	1.43		0.35
42—44	1.60		0.36
44—46	1.52		0.35

表 2 3号柱样 ^{210}Pb 浓度随深度的分布¹⁾ (dpm/克沉积物)

深度 (厘米)	总 ^{210}Pb	过剩 ^{210}Pb	含水量
0—2	5.32	3.38	0.64
2—4	5.26	3.32	0.63
4—6	4.62	2.68	0.48
6—8	4.42	2.48	0.49
8—10	4.73	2.79	0.49
10—12	4.19	2.25	0.45
12—14	3.68	1.74	0.44
14—16	2.91	0.97	0.45
16—18	2.68	0.74	0.46
18—20	2.49	0.55	0.45
20—22	2.00	0.06	0.47
22—24	2.07	0.13	0.44
24—26	2.02	0.08	0.48
26—28	2.05	0.11	0.45
28—30	1.83		0.44
30—32	1.97		0.43
32—34			0.45
34—36	2.09		0.45
36—38			0.43
38—40	1.87		0.44

1) 未加 ^{208}Po 示踪剂。

表 1、表 2 (未加 ^{208}Po 示踪剂) 和表 3 (加 ^{208}Po 示踪剂, 用能谱仪测量)。

2. 资料处理

积分法⁽²⁾: 如果在一个水域 ^{210}Pb 的沉积通量是恒定的, 则有:

$$\Sigma A_i = F \int_0^{t_i} \exp(-\lambda t) dt$$

式中, t 为时间; ΣA_i 为 0— t_i 间沉积物的总过剩 ^{210}Pb 测量值; λ 为 ^{210}Pb 的衰变常数; F 为 ^{210}Pb 的年沉积通量。

$$t_i = \frac{-1}{\lambda} \ln \left[1 - \frac{\lambda \Sigma A_i}{F} \right]$$

$$F = \frac{\lambda \Sigma A_i}{1 - \exp(-\lambda t_i)} \quad (1)$$

若 $t \rightarrow \infty$, 则 $\exp(-\lambda t_i) \rightarrow 0$, $\Sigma A_i \approx \Sigma A_{\text{总}}$

$$F = \lambda \Sigma A_{\text{总}} \quad (2)$$

式中, $\Sigma A_{\text{总}}$ 为一个沉积柱样中的 ^{210}Pb 总沉积通量。

如果沉积速度 V 是恒定的, 则沉积深度 $h = Vt$ 。将 (2) 式代入 (1) 式, 得到:

$$\lambda \Sigma A_{\text{总}} = \frac{\lambda \Sigma A_i}{1 - \exp(-\lambda t_i)}$$

$$\exp\left(\frac{-\lambda h}{V}\right) = 1 - \frac{\Sigma A_i}{\Sigma A_{\text{总}}} \quad (3)$$

将 3 号和 1 号柱样的测量结果分别代入 (3) 式, 所得两个柱样的沉积速度分别为 1.8 毫米/年、2.3 毫米/年。

做图法: 如果在一个地区的沉积速度和 ^{210}Pb 在沉积物中的初始浓度是恒定的, 则

$$A = A_0 \exp(-\lambda t) \quad (3)$$

式中, A 为 t 时的过剩 ^{210}Pb 浓度; A_0 为表层沉

表3 3号柱样 ^{210}Pb 浓度随深度的分布¹⁾ (dpm/克沉积物)

深度(厘米)	总 ^{210}Pb	过剩 ^{210}Pb
0—2	6.24	4.15
2—4	6.20	4.11
4—6	5.62	3.53
6—8	5.31	3.22
8—10	5.85	3.76
10—12	4.79	2.70
12—14	4.23	2.14
14—16	3.17	1.08
16—18	2.99	0.90
18—20	2.69	0.60
20—22		
26—28		
38—40	2.09	
48—50		

1) 加 ^{208}Po 示踪剂, 用能谱仪测量; 含水量同表2。

积物过剩 ^{210}Pb 浓度。

$$\lg A = -\lambda t \lg e + \lg A_0$$

$$\lg A = \frac{-\lambda h}{V} \lg e + \lg A_0$$

将1号和3号柱样的测量结果取对数后对深度做图, 得到图1, 2和图3。从总 ^{210}Pb 散点图可看出, 在整个测量深度上, 测量结果可分为三个基本类型: 上层分布缺乏规律性; 中层呈现有规律的变化; 底层分布均匀。显然, 上层属于表面混合层, 以混合效应为主; 中层是放射性衰变带; 底层是母体 ^{226}Ra 衰变的 ^{210}Pb 分布区, 也可称做本底放射性带。其测量结果虽然有些波动, 但基本在测量误差范围之内。将底层的测量结果平均, 得到 ^{226}Ra 衰变的 ^{210}Pb 本底值。将上层和中层的测量结果减去 ^{210}Pb 本底值, 得到过剩 ^{210}Pb 。用最小二乘法处理放射性衰变带的过剩 ^{210}Pb 值, 得到图1, 2和图3中的曲线。

根据图1中的曲线斜率求出1号柱样的沉积速度为2.2毫米/年, 相应的沉积通量为0.24克/年·厘米²; 同样根据图2得到3号柱样的沉积速度为1.8毫米/年, 沉积通量为0.13克/

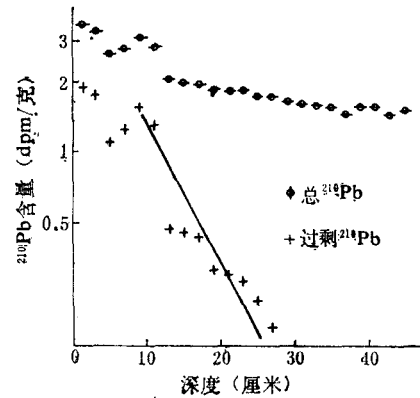


图1 1号柱样 ^{210}Pb 含量随深度的分布

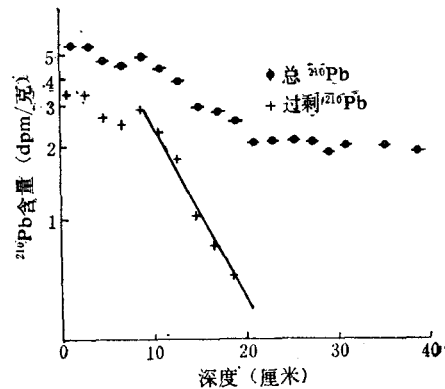


图2 3号柱样 ^{210}Pb 含量随深度的分布

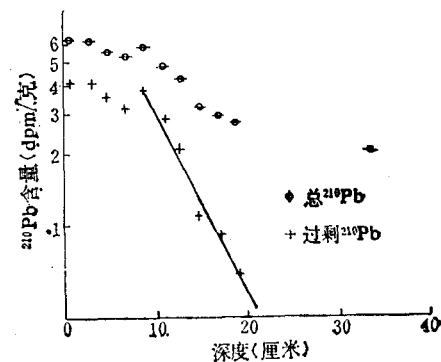


图3 3号柱样 ^{210}Pb 含量随深度的分布 (加 ^{208}Po 示踪剂, 用能谱仪测量)

年·厘米²; 根据图3得到3号柱样的沉积速度为1.7毫米/年, 沉积通量为0.12克/年·厘米²。不难发现, 与用积分法算出的沉积速度是基本一致的。

三、讨 论

1. 1号柱样和3号柱样都存在表面混合层。3号柱样的混合深度为9厘米左右, 1号柱样还要更深一些^[4]。

根据调查结果得知¹⁾, 1号柱样海区的底栖生物有: 索沙蚕 (*Lumbrineris* sp.)、细刻肋海胆 (*Temnopleurus torematicus*)、棘刺锚参 (*Protankyra bidentata*)、绒毛细足蟹 (*Raphidopus ciliatus*)、蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 等。这些生物都具营底栖生活的习性。特别是蛤仔, 在冬季深潜避寒到10厘米左右。该海区是蛤仔的主要产地之一, 渔民常成群来此挖蛤。3号柱样海区也有彩虹明樱蛤 (*Moerella iridescens*)、胡桃蛤 (*Leionucula kawamurai*)、*Theora* sp. 等底栖生物。比较起来, 3号柱样海区不如1号柱样海区的生物资源丰富。

1号柱样海区的水文状况是²⁾, 往复潮流盛行; 表层平均流速为30厘米/秒, 最大流速为60厘米/秒; 底层平均流速为20厘米/秒, 最大流速为50厘米/秒。人们观测到的最高波浪为3米(不包括风暴潮), 波长为43米, 周期为6秒。3号柱样海区以旋转流为主; 表层平均流速为30厘米/秒, 最大流速为55—60厘米/秒; 底层平均流速为30厘米/秒, 最大流速为40—45厘米/秒。所观测到的最大波高为5.9米(不包括风暴潮), 波长为160米, 周期为12.5秒。根据计算^[1], 3号柱样海区的波浪从表层衰减到底层, 尚剩余约50%的能量。剩余能量的一半是势能, 继续往外传递; 另一半是动能, 将通过与海底的磨擦作用而耗尽, 这对表层沉积物的混合将产生巨大影响。另一方面, 由表2看出, 3号柱样0—4厘米的沉积物含水量高达65%左右, 是可流动的淤泥, 这样的淤泥很容易被波浪和激流卷起, 引起表层沉积物的搅拌混合。而1号柱样的情况就有所不同, 它的上下层含水量基本一致, 均在35%左右, 沉积物比较坚硬, 不容易造成物理混合。

由以上环境因素的描述可以看出, 生物搅拌、物理混合、人类活动造成了1号柱样和3号柱样的表面混合层。但两个柱样又各有其特点。1号柱样可能以生物搅拌和人类活动的影响为主。而3号柱样的物理混合作用较强。确切的结论有待于进一步调查研究。

2. 从测量结果可看出, 1号柱样的 ^{210}Pb 含量低于3号柱样, 也低于世界各地的平均含量。

从地理位置看, 1号柱样位于胶州湾东南部的沧口水道上。几条比较大的河流都在胶州湾西北部入海, 其携带的悬浮物在河口附近沉积下来形成大沽河三角洲。1号柱样的沉积物主要来自沿岸泥沙以及胶州湾口深槽的侵蚀物质, 而缺乏河流输入的陆源物质, 从而也就缺乏 ^{210}Pb 的陆地来源。从沉积物的成份来看, 两个柱样也有一定差别。1号柱样含有机质0.92%、细沙4.8%、粗粉沙37.2%、细粉沙15.6%和粘土39.6%。3号柱样含有机质1.14%、细沙1.4%、粗粉沙23.5%、细粉沙24.2%和粘土46.4%。不难看出, 1号柱样的有机质和粘土含量均低于3号柱, 而有机质和粘土正是 ^{210}Pb 下沉的主要载体。

3. 图1中 ^{210}Pb 含量与深度之间的线性关系并不太好。12—14厘米之间 ^{210}Pb 含量存在突跃, 显然, 其间存在灾变性的非平稳随机过程。1号柱样离海岸只有两公里左右, 水很浅, 人类活动和大自然变化都能造成较大影响, 突跃很可能是这两种因素造成的。总之, 在1号柱样海区用 ^{210}Pb 法测年并不太理想。

由图2和图3可看出, 在放射性衰变带, 过剩 ^{210}Pb 含量与深度之间的线性关系很好。这说明, 3号柱样海区由于不易受人类活动的影响, 其沉积环境相对稳定, 适合于 ^{210}Pb 法测年。但另一方面, 表层的初始 ^{210}Pb 含量与底层的本底 ^{210}Pb 含量之比较低。由表2得到本底放射性带的 ^{210}Pb 含量为1.94dpm/克, 表层

1), 2) 中国科学院海洋研究所, 1981. 山东省海岸带和海涂资源综合调查。

的初始 ^{210}Pb 含量为5.32dpm/克,二者之比为 $5.32/1.94=2.75$,仅能测100年左右的沉积年龄。

参 考 文 献

- (1) 文圣常, 1962. 海浪原理. 山东人民出版社, 47—50页。
- (2) 陈毓蔚, 1981. ^{210}Pb 方法及其在地质地球化学中的应用. 地质地球化学11: 24—29。
- (3) Krishnaswamy, S., L.K. Benninger, et al., 1980. Atmospherically-derived radionuclides as tracers of sediment mixing and accumulation in near-shore marine and lake sediments; evidence from ^7Be , ^{210}Pb , and $^{239+240}\text{Pu}$. *Earth Planet. Sci. Lett.* 47(3):307—318.
- (4) Bruland, K. W., 1974. Pb-210 Geochronology in the coastal marine environment. Ph. D. dissertation, Univ. of California at San Diego, La Jolla. pp.4—16.

THE DETERMINATION OF SEDIMENTATION RATE BY ^{210}Pb METHOD

Kang Xinglun, Yuan Yi and Li Peiquan

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

Ji Zhengxun, Lin Bingxing and Wu Hui

(*Guangdong Institute of Analysis*)

Liu Shutian

(*Institute of Atomic Energy, Academia Sinica*)

Abstract

The sedimentation rates at East-South part of Jiaozhou Bay and off the Delt of Dingzi Bay was determined with ^{210}Po self-precipitation α spectrum method and ^{210}Po self-precipitation α count method.

Three layers are found in the sediment determined, the surface mixing layer, about 0—10 cm, with irregular activity distribution, the middle active decay layer with regular activity, the active background region with uniform activity.

The sedimentation rate at East-South part of Jiaozhou Bay is 2.2 mm/year and the sedimentation rate off the delt of Dingzi Bay is 1.8mm/year.