

# 用 $\gamma$ 谱方法测定大鹏湾的沉积速率\*

关祖杰<sup>1</sup> 杨健明<sup>2</sup> 余君岳<sup>2</sup> Stokes M. J.<sup>2</sup> 梁谦林<sup>3</sup> 唐俊坚<sup>3</sup>

(1 中山大学物理学系, 广州 510275; 2 香港城市大学; 3 南海监测中心)

**摘要** 用低本底  $\gamma$  谱系统测量沉积物柱芯分层样品的<sup>210</sup>Pb 和<sup>137</sup>Cs 含量, 及最小二乘拟合方法得到沉积曲线, 从而求出大鹏湾内外 4 个采样站位沉积物的沉积速率:<sup>210</sup>Pb 方法为 0.46~0.27 cm·a<sup>-1</sup>; <sup>137</sup>Cs 方法为 0.38~0.10 cm·a<sup>-1</sup>, 其值随远离海岸方向而减少. 在该海区<sup>137</sup>Cs 方法因外部扰动因素较多, 不如<sup>210</sup>Pb 方法准确、可靠.

**关键词** 大鹏湾,  $\gamma$  谱, 沉积速率, <sup>210</sup>Pb 和<sup>137</sup>Cs 放射性同位素

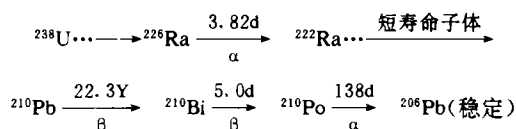
**分类号** P736.21

南中国海的大鹏湾西起深圳市沙头角镇, 东至大亚湾, 湾内外有部分属香港海域. 大鹏湾是一天然渔场, 其生态环境对沿岸地区的经济发展有重要关系. 近年由于沿岸工业发展迅速, 排污增加. 大亚湾核电站投产后排出的低放废水在沿岸水流作用下, 使大鹏湾附近的水体流向大鹏湾一带. 这些污染可能沉积在大鹏湾内. 因此, 进行大鹏湾沉积物的研究对该海域的环境保护, 沿岸地区工农业的发展具有重要意义.

本文用  $\gamma$  谱方法同时测量<sup>210</sup>Pb 及<sup>137</sup>Cs, 确定大鹏湾内外 4 个站位沉积物的沉积速率, 并对两种方法进行了比较.

## 1 测量原理

利用放射性同位素作为示踪剂, 测定海洋, 湖泊和江河的地质年代和沉积速率, 不但已成为研究海洋, 湖泊和江河的有力工具, 而且可为疏通河道和航道, 兴建码头和港口, 修建水坝和船坞以及环境保护等工程提供有关地质、地貌等方面的重要科学依据<sup>[1]</sup>. <sup>210</sup>Pb 是天然放射性核素, 它是铀系的一个成员, 半衰期为 22 年, 30 年前已被确认为测定百年以内沉积年代的理想示踪剂<sup>[2]</sup>. 它有如下的衰变链



收稿日期: 1994-01-06

\* 香港城市大学资助项目

沉积物中包含有两种 $^{210}\text{Pb}$ ,一种是沉积物本身或被侵蚀陆地土壤中由 $^{226}\text{Ra}$ 衰变而来的基本 $^{210}\text{Pb}$ ,记作 $\text{Pb}_{\text{su}}$ ;另一种是由大气沉降下来的非基本 $^{210}\text{Pb}$ ,大气中的 $^{210}\text{Pb}$ 是由于地壳放出的氡( $^{222}\text{Rn}$ )衰变而成的,这些 $^{210}\text{Pb}$ 在大气中的停留时间约为数天到数星期,它落入水中之后,由于交换和沉积作用而存在于泥—水界面上,经过一段时间,它又会被新的沉积物复盖。所以,某层沉积物的 $^{210}\text{Pb}$ 应为以上两种 $^{210}\text{Pb}$ 之和,称为总 $^{210}\text{Pb}$ ,并以 $\text{Pb}_{\text{gross}}$ 表示。这样,由大气沉降的非基本 $^{210}\text{Pb}$ 应为总 $^{210}\text{Pb}$ 与基本 $^{210}\text{Pb}$ 之差,因此也称为剩余 $^{210}\text{Pb}$ ,以 $\text{Pb}_{\text{ex}}$ 表示,即:

$$\text{Pb}_{\text{ex}} = \text{Pb}_{\text{gross}} - \text{Pb}_{\text{su}} \quad (1)$$

由于 $^{210}\text{Pb}$ 放出 $\beta$ 射线的能量较低(最大能量18keV),较难直接探测,过去主要靠测定它的第一代子体 $^{210}\text{Bi}$ 的 $\beta$ 射线(1160keV)或第二代子体 $^{210}\text{Po}$ 的 $\alpha$ 射线(5.4MeV)。尤其是 $^{210}\text{Po}$ 方法,曾得到广泛应用。但是,此法要从沉积物中用化学方法分离、沉积 $^{210}\text{Po}$ 制作薄源,并确定 $^{210}\text{Po}$ 的化学产额。这样,处理方法麻烦,而且操作上的失误很容易影响结果的准确性。考虑到 $^{210}\text{Pb}$ 亦发射 $\gamma$ 射线,不过其 $\gamma$ 份额只有4%,而且 $\gamma$ 射线能量也低,仅为46.5keV。一般的 $\gamma$ 谱仪很难测量,但是由于 $\gamma$ 谱技术的进步,现在的N型HPGe低本底 $\gamma$ 谱仪完全可以直接测量 $^{210}\text{Pb}$ 这一 $\gamma$ 特征峰,并可以得到令人满意的精度。

近10多年来又发展了用半衰期为30年的人工放射性核素 $^{137}\text{Cs}$ 测定百年以内沉积年代的方法<sup>[2,3]</sup>。沉积物中含 $^{137}\text{Cs}$ 的主要原因是50和60年代全球多次大气层核试验,引起其含 $^{137}\text{Cs}$ 微粒的落下灰散落全球范围的地面或水体, $^{137}\text{Cs}$ 逐渐沉积于海湾、湖泊和江河的底部。 $^{137}\text{Cs}$ 发出能量为661keV的 $\gamma$ 射线,可直接用 $\gamma$ 谱仪测量,免除烦琐的样品化学处理过程。如果用N型高纯锗探测器,可同时测量 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 。由于某些局部地区或海域 $^{137}\text{Cs}$ 的分布有其特殊性,而且 $^{137}\text{Cs}$ 的含量比 $^{210}\text{Pb}$ 也低得多,故更易被物理或生物扰动影响而难于达到较高的准确度。

## 2 测量方法及仪器

### 2.1 采样及样品处理

在南海大鹏湾内外设置4个采样站位 $S_1, S_2, S_3$ 和 $S_4$ ,其方位如图1所示。由大鹏湾内的 $S_1$ 站位开始沿香港分界线向大鹏湾外设置4个站位。于大亚湾核电站投产前的1992年夏季进行采样,由海洋调查船的大型箱式采样器进行柱状沉积物采样。沉积物柱芯长50cm,以每段2cm长分切成25个样品,每一样品经烘干、研磨、过筛等<sup>[3,4]</sup>,制成重量约为1kg的粉状干样,供测量分析之用。

### 2.2 测量方法

$^{210}\text{Pb}$ 及 $^{137}\text{Cs}$ 测量采用美国Nucleus公司N型HPGe低本底 $\gamma$ 谱分析系统。同轴型N型高能锗探测器,相对效率25%。10cm铅屏蔽。配IBM—PC286微机多道(PCA插件),道数4096,增益0.488keV/ch。系统对 $^{60}\text{Co}$ 1.33MeV $\gamma$ 射线的分辨率为1.89keV。25keV~2MeV范围内的积分本底为1.5cps。采用GDR Version 5.1分析软件。样品测量时间12h。系统刻度标准源采用中国计量科学院的“河泥环境放射性标准参考物质”,其中 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 的总不确定度分别为3.5%和4.4%。

按中国海洋监测规范对每一分层样品做了常规粒度分析.

### 2.3 沉积速率的计算

(1)  $^{210}\text{Pb}$  方法: 测量分层样品的  $^{210}\text{Pb}$  含量应为  $\text{Pb}_{\text{gross}}$ , 它似乎应随深度的增加而减少, 但是  $^{210}\text{Pb}$  的半衰期为 22 年, 至一定深度后, 其剩余  $^{210}\text{Pb}$  ( $\text{Pb}_{\text{ex}}$ ) 已基本衰变完毕, 此时的  $\text{Pb}_{\text{gross}}$  应基本上趋向一恒定值, 由 (1) 式可知, 此值即为沉积物自身的  $^{210}\text{Pb}$ , 即  $\text{Pb}_{\text{su}}$ , 这里  $\text{Pb}_{\text{su}}$  是取多层测量值的平均值. 如果认为进入水中的  $\text{Pb}_{\text{ex}}$  的量和在水中的停留时间保持恒定, 而且沉积物不受明显的扰动,  $^{210}\text{Pb}$  又无明显的迁移现象时 (封闭型沉积物), 对应深度为  $x$  层沉积物的  $\text{Pb}_{\text{ex}}$  含量  $A(x)$  可由下式表示

$$A(x) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

上式的  $A_0$  为  $t=0$  时, 即表层沉积物的  $\text{Pb}_{\text{ex}}$  含量;

$\lambda$  为  $^{210}\text{Pb}$  的衰变常数, 它等于  $0.0311 \text{ a}^{-1}$ ;  $t$  是深度为  $x$  层的沉积年龄 (a).

若沉积速率  $V (\text{cm} \cdot \text{a}^{-1})$  为恒定值, 则  $t=x/V$ , 代入 (2) 式后并取对数, 得

$$\ln A(x) = \ln A_0 - (\lambda/V)x \quad (3)$$

若以  $\ln A(x)$  为纵坐标,  $x$  为横坐标作图, 应为一一直线—— $^{210}\text{Pb}$  沉积曲线. 直线的斜率  $R = \lambda/V$ , 计算沉积速率  $V$  可由直线的斜率  $R$  求得

$$V = \lambda/R \quad (\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}) \quad (4)$$

(2)  $^{137}\text{Cs}$  方法: 测得分层样品的  $^{137}\text{Cs}$  是来自核爆的落下灰, 底层的已逐渐衰变, 其含量应随深度的增加而减少. 但是, 由于近年已停止大气层核试验, 而全球在 1954~1958 年和 1961~1962 年是进行大气层核爆的高峰期, 1963 年应为全球性  $^{137}\text{Cs}$  沉降的高峰年. 所以,  $^{137}\text{Cs}$  含量在接近表面较浅层时, 随深度增加而上升, 直至某一深度  $D$  时应达到一最大值 (该深度相应于沉积年为  $y_0 = 1963$  年), 然后, 再随深度的增加而下降. 这样, 由  $^{137}\text{Cs}$  含量随深度分布曲线—— $^{137}\text{Cs}$  沉积曲线可确定峰值沉积年对应的深度  $D (\text{cm})$ , 再由下式计算沉积速率 (同样要符合封闭型等条件)

$$V = D/(y - y_0) \quad (\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}) \quad (5)$$

上式的  $y$  为采集沉积物样品的年份.

$^{210}\text{Pb}$  的沉积曲线可用最小二乘拟合得到. 而  $^{137}\text{Cs}$  沉积曲线可直接定峰位 (年), 也可以用多项式拟合函数拟合后找峰位. 沉积速率的误差, 如用直接定峰求得 ( $^{137}\text{Cs}$ ), 则误差由分层厚度 (2cm) 及测量误差确定, 如用拟合方法求得, 主要由拟合误差确定.

## 3 结果与讨论

$S_1$  站位的  $^{210}\text{Pb}$  和  $^{137}\text{Cs}$  的  $\gamma$  谱测量数据如表 1 所列, 所示误差为标准误差,  $S_1$  站

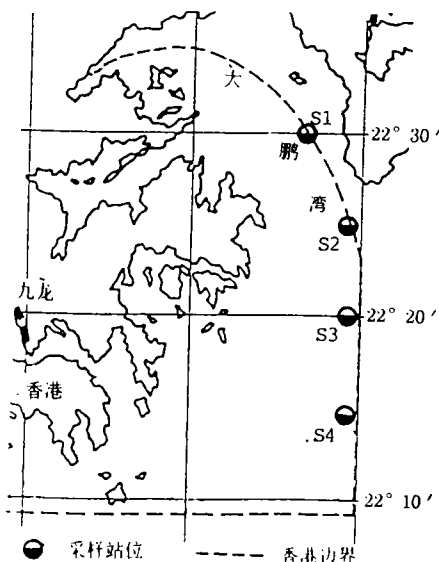


图1 沉积物采样站位图

Fig. 1 The map showing the site position for the sampling of sediments

的<sup>210</sup>Pb 和<sup>137</sup>Cs 沉积曲线由图 2a 所示,其余 3 个站位的沉积曲线在图 2b~2d 给出.

由以上这些沉积曲线计算所得 4 个站位的沉积速率在表 2 列出.结果显示,无论是用<sup>210</sup>Pb 方法还是<sup>137</sup>Cs 方法,沉积速率随着沿南海方向远离大鹏湾而呈线性减少,其变化趋向大致相同,如图 3 所示(图中圆圈及虚线为 Cs-137 方法的拟合定峰计算结果),这种变化合乎一般的沉积规律.

表 1 沉积物柱芯 S<sub>1</sub> 的<sup>210</sup>Pb 和<sup>137</sup>Cs 含量(Bq · kg<sup>-1</sup>)  
Tab. 1 <sup>210</sup>Pb - 210 and <sup>137</sup>Cs - 137 contents in sediment core S<sub>1</sub>

| 深度<br>(cm) | Pb-210      |           | Cs - 137   |
|------------|-------------|-----------|------------|
|            | 总量          | 剩余量       |            |
| 0~2        | 127±4.12    | 89.5±5.50 | 1.63±0.158 |
| 2~4        | 102±4.55    | 64.5±5.85 | 1.94±0.187 |
| 4~6        | 98.0±4.37   | 60.5±6.00 | 1.96±0.200 |
| 6~8        | 92.3±3.37   | 54.8±4.98 | 2.00±0.180 |
| 8~10       | 97.7±4.88   | 60.2±6.10 | 1.89±0.135 |
| 10~12      | 93.6±4.71   | 56.1±6.00 | 2.36±0.192 |
| 12~14      | 83.6±4.56   | 46.1±5.85 | 1.81±0.192 |
| 14~16      | 75.6±4.88   | 38.1±6.00 | 1.89±0.193 |
| 16~18      | 70.0±4.67   | 32.5±6.00 | 1.86±0.188 |
| 18~20      | 67.6±4.92   | 30.1±6.15 | 1.69±0.186 |
| 20~22      | 58.9±4.65   | 21.4±5.90 | 1.67±0.219 |
| 22~24      | 64.2±4.48   | 26.7±5.80 | 1.52±0.176 |
| 24~26      | 51.4±5.85   | 13.9±6.85 | 1.18±0.186 |
| 26~28      | 58.7±5.10   | 21.2±6.30 | <MD*       |
| 28~50      | 37.5±7.33** |           | <MD        |

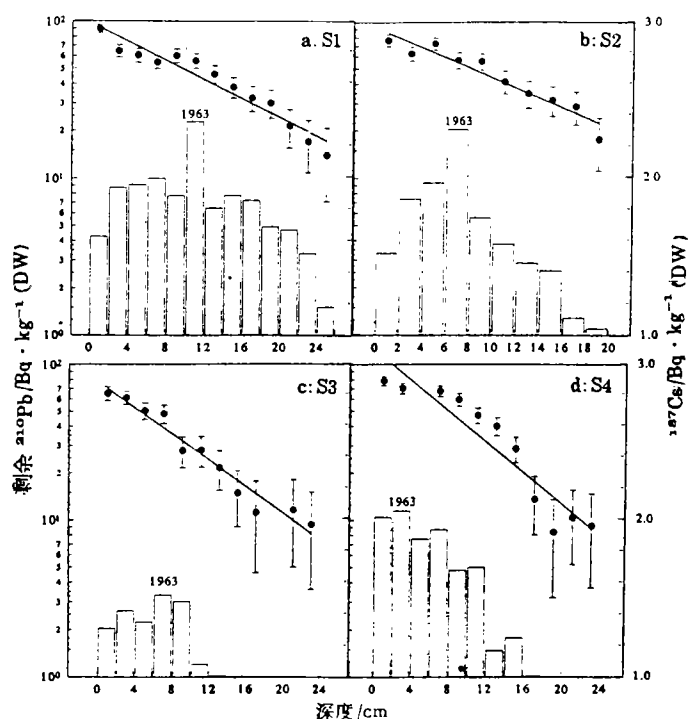
\* 最小探测水平  
\* \* 深度 28~50cm 共 11 层总<sup>210</sup>Pb 含量的平均值

表 2 沉积速率计算结果(cm/a)  
Tab. 2 Results of calculation of sedimentation rates

| 站 位    | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 北 纬    | 22°15'         | 22°20'         | 22°25'         | 22°30'         |
| Pb-210 | 0.462±0.110    | 0.392±0.130    | 0.318±0.088    | 0.269±0.240    |
| Cs-137 | 0.379±0.332    | 0.241±0.436    | 0.207±0.483    | 0.103±0.820    |

<sup>210</sup>Pb 方法的测量结果与纪正训等人<sup>1)</sup> 在 1984 年测定广东某海区的结果 0.4cm · a<sup>-1</sup>相近(<sup>210</sup>Po 方法),亦与 Tanner 用痕量金属元素分析邻近站位所得结果接近<sup>[5]</sup>.  
<sup>137</sup>Cs 方法的结果似乎偏低,误差也较大.误差随远离海湾而增加意味着在海湾外已不

1)纪正训,林炳兴,冯广学等.利用<sup>210</sup>Pb 对广东某海区沉积物年代的初步测定,1984,内部资料

图 2  $^{210}\text{Pb}$  和  $^{137}\text{Cs}$  沉积曲线Fig. 2 The sedimentation curve of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$ 

能满足“封闭型”沉积物等条件. 对 $^{137}\text{Cs}$ 方法来说, 除受物理扰动(如风, 浪等)和生物扰动外, 还可能受 1963 年以后附加的 $^{137}\text{Cs}$ 干扰, 例如局部地区的大气层核试验, 南海水域航行的核动力船只的废物排放等等.  $^{137}\text{Cs}$ 方法误差较大的另一原因是 $^{137}\text{Cs}$ 的含量比较低, 在同一测量时间下, 其测量误差要比 $^{210}\text{Pb}$ 的测量误差大得多.

对 4 个站位分层沉积物的粒度也做了分析. 它们都属泥质沉积物. 结果表明远离陆地的 $S_4$ 的含沙量比海湾内的 $S_1$ 明显减少(含泥量增加), 这也是使沉积速率从 $S_1 \rightarrow S_4$ 逐渐减少的原因.

综上所述, 用 N 型 HPG $\gamma$  谱方法测定海洋沉积物的沉积速率是一种极为简便的方法, 它可免除样品化学处理的烦杂过程, 并获得令人满意的结果.  $^{210}\text{Pb}$   $\gamma$  谱方法比 $^{137}\text{Cs}$ 方法受附加同种核素的干扰较小, 有较高的准确度和较小的误差. 目前,  $\gamma$  谱方法所需样品量较多, 要求用大型箱式采样器采样. 但是, 随着  $\gamma$  谱技术的飞速发展, 这一缺点会逐步得到解决.

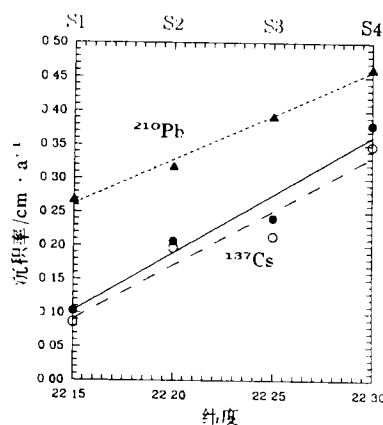


图 3 沉积速率计算结果比较

Fig. 3 Comparison of sedimentation rates for various sites and calculation methods

## 参 考 文 献

- 1 陈进兴,核技术在海洋研究中的应用,同位素,1988,1(2):47~51
- 2 Hakanson L, Jansson M. Principles of lake sedimentology, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer-Verlag, 1983. 237~243
- 3 Yu K N, Guan Zujie, Stokes M J, et al. Natural and artificial radionuclides in seabed sediments of Hong Kong. Nuclear Geophysics, 1994, 8(1):45~48
- 4 关祖杰,杨健明,余君岳等. 香港海域海洋沉积物的放射性测量. 中山大学学报(自然科学版), 1994,33(4):118~121
- 5 Tanner P A, Trace-metal concentration in sea-sediment core from Chek Lap Kok and Ninepin Islands. Research report AP-92-27, City Polytechnic of Hong Kong, 1992

## Determination of Sedimentation Rates in the Mirs Bay Sea Areas with Gamma Spectrometry

Guan Zujie\* Young E C M Yu K N Stokes M J Liang Qianlin Tang Junjian

**Abstract** Cylindrical samples of sediments are obtained from 4 sea areas next to the Mirs Bay to the South China Sea. An N-type high purity germanium low background gamma spectrometry system has been employed to measure the Pb-210 and the Cs-137 contents in the layered samples. The sedimentation curves of Pb-210 and Cs-137 are acquired using the least squares fit method. The sedimentation rates at the four sampling sites are evaluated. Our results show that the sedimentation rate decreases when the sampling sites are farther away from the Mirs Bay into the South China Sea. In particular, the rate calculated using the Pb-210 activities decreases from 0.46 to 0.27 cm/a, and that using the Cs-137 method from 0.38 to 0.10 cm/a. The Cs-137 method yields results which are subjected to external disturbance to a greater extent, and is thus less reliable than the Pb-210 method.

**Keywords** the Mirs Bay,  $\gamma$  spectrometer, sedimentation rate, Pb-210 and Cs-137 radioactivity isotopes

---

\* Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275