

# 海南岛三亚港现代沉积速率的研究\*

潘少明 施晓东

(南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室, 南京 210008)

John N. Smith

(Bedford Institute of Oceanography, Canada)

**提要** 对 1988 年所采集的海南岛三亚港 6 个沉积柱样作了沉积结构及  $^{210}\text{Pb}$  放射性分析。结果表明, 三亚港潮汐通道及航道上, 沉积物主要为细颗粒的粉砂、粘土, 沉积速率为 0.91—1.24cm/a, 近年来砂质物的输入, 反映了疏浚等人类活动对该区的影响; 外港浅滩砂洲区的沉积速率小于 0.4cm/a; 潮汐通道中过剩  $^{210}\text{Pb}$  总量亦明显大于港口的其它区域。

**关键词** 海南岛三亚港  $^{210}\text{Pb}$  沉积速率

1988—1991 年在中、加合作海南岛港湾沉积作用及深水港的开发利用研究中, 中、加两国科学工作者一起在海南岛采集了一系列柱状样品。本文着重于利用  $^{210}\text{Pb}$  测年法研究三亚港潮流通道及其它部分的沉积速率与变化。

## 1 环境概况

三亚港位于三亚砂坝南端 (图 1), 三亚河在南边岭与三亚砂坝之间穿过, 河口通道仅 80m 宽, 河口内侧为大陂、月川两水交汇的潟湖洼地, 可容纳大量潮水, 河口外侧为三亚港航道与港池, 故三亚港属潟湖型潮汐汉道港(王颖等, 1982)。

覆盖三亚港的沉积物具有砂-粉砂-粘土性质, 其结构与潮流场的分布相关联。砂质物分布于潮流速度大于 2 节的地方, 而粉砂质砂却分布在潮流通道本身。粗砂沿外港的珊瑚礁及小岛的沿岸分布, 这代表了潜在的、可侵蚀的沉积物源。流入三亚港的主要淡水河为三亚河, 其流域为丘陵地带, 面积为 353 km<sup>2</sup>, 大多为具有中性 pH、粘土含量

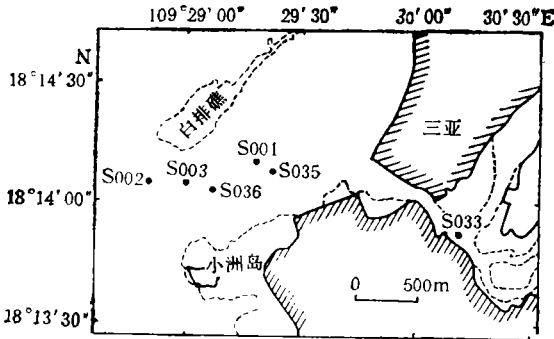


图 1 三亚港采样站位示意

Fig. 1 Coring stations in Sanya Harbour in Hainan Island

高的泥质土壤。由河流与丘陵之间平原提供的沉积物为砂质、颗粒状、微带酸性。

内港的潮汐通道末端正变得越来越短、越来越浅, 因为最初的沉积物为细砂而现代的

\* 中、加海洋合作项目, SCIEL2119432。潘少明, 男, 出生于 1957 年 9 月, 讲师。

王颖、朱大奎教授对本文审阅修改, 王雪瑜副教授等给予许多帮助, 均此一并志谢。

收稿日期: 1991 年 11 月 20 日, 接受日期: 1992 年 6 月 20 日。

沉积物为粉砂质砂, 反映出水动力能量的减少。潮汐通道为三亚港的主航道, 经多次疏浚、裁直, 使落潮流沿通道轴向流动。覆盖在粉砂质砂、粉砂质粘土上的一层粗砂, 反映了疏浚等人类活动对该区沉积环境的影响。

## 2 实验方法

采样使用加拿大贝德福海洋研究所的 Lehigh 重力取样器(内径为 10.3cm), 柱状样取上后在船上实验室沿纵向破成两半。首先, 对沉积物的颜色、沉积层构造等进行观察、照相。一半按 1—2cm 的间隔进行分样, 样品放在密封的小塑料盒中带回南京大学进行  $^{210}\text{Pb}$  及其它参数的分析; 另一半存档。

在实验室中, 先将样品放在烘箱内烘干, 温度控制在  $90^\circ\text{C}$  左右。根据失去的水分得出样品的干、湿密度。研细搅匀后, 取 2g 左右的样品, 加入  $^{203}\text{Po}$  示踪剂, 经化学处理后, 电沉积在镍片上。详细步骤见 Flynn(1968)。将镍片放入低本底  $\alpha$  谱仪 (576A Alpha Spectrometer, 美国 EG & G 公司), 测出  $^{210}\text{Po}$  和  $^{210}\text{Pb}$  的放射性强度。补偿  $^{210}\text{Pb}$  放射性强度(即由沉积物中  $^{226}\text{Ra}$  衰变产生的本底)由柱样较深部分的  $^{210}\text{Pb}$  放射性强度得出。

## 3 结果与讨论

### 3.1 原理

沉积物中  $^{210}\text{Pb}$  总放射性强度由下式给出:

$$A_{(\text{总})} = \frac{F}{\omega} e^{-\lambda t} + A_{(\text{补偿})} \quad (1)$$

其中,  $F$  为  $^{210}\text{Pb}$  的沉积通量 [ $\text{dpm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ ];  $\omega$  为沉积物的沉积通量 [ $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ ];  $A_{(\text{补偿})}$  为沉积物中  $^{226}\text{Ra}$  衰变产生的  $^{210}\text{Pb}$  放射性强度;  $\lambda (=0.031/\text{a})$  为  $^{210}\text{Pb}$  的衰变常数。

由于孔隙度随深度的变化会使  $^{210}\text{Pb}$  的垂直分布偏离线性 (Robbins, 1978), 为此, 引入一个与孔隙度无关的变量——质量深度  $m(\text{g}/\text{cm}^2)$ 。

$$m = \int_0^z \rho dz \quad (2)$$

其中,  $\rho$  为沉积物的体密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $z$  为沉积物的深度 (cm)。从式(2)可以看出, 质量深度代表了单位面积上堆积的沉积物的质量。假设:  $F, \omega$  不随时间变化,  $^{210}\text{Pb}$  在沉积物中不再迁移, 将  $t = \frac{m}{\omega}$  代入式(1)得:

$$A_{(\text{总})} = \frac{F}{\omega} e^{-\lambda \frac{m}{\omega}} + A_{(\text{补偿})} \quad (3)$$

从上式可以看出,  $^{210}\text{Pb}$  放射性强度随深度指数衰减, 到一定深度后接近于  $A_{(\text{补偿})}$ 。许多实验表明 (Nittrouer et al., 1979):  $A_{(\text{补偿})}$  不随深度变化。从  $m$  与  $\ln[A_{(\text{总})} - A_{(\text{补偿})}]$  的关系曲线上即可求出  $\omega, F$ 。沉积速率 (cm/a) 为:

$$R = \frac{\omega}{\rho} \quad (4)$$

整个柱样中过剩  $^{210}\text{Pb}$  总量 ( $\text{dpm}/\text{cm}^2$ ) 为:

$$I = \frac{F}{\lambda} \quad (5)$$

即, 过剩  $^{210}\text{Pb}$  总量正比于通过水与沉积物界面的  $^{210}\text{Pb}$  通量 ( $F$ )。

表 1 海南岛三亚港沉积柱样  $^{210}\text{Pb}$  分析结果Tab.1  $^{210}\text{Pb}$  data for sediment cores in Sanya Harbour, Hainan Island

站 位	水 深 (m)	深 度 (cm)	平均干密度 (g/cm <sup>3</sup> )	过剩 $^{210}\text{Pb}$ (dpm/g)
S001	3.4	0—1	1.2	1.41±0.16
		1—2		1.22 0.15
		4—5		1.63 0.17
		9—10		1.14 0.14
		14—15		0.85 0.13
		19—20		0.19 0.09
		29—30		0.15 0.09
S002	12.0	0—1	1.2	1.53±0.21
		1—2		2.49 0.24
		3—4		2.32 0.48
		4—5		1.22 0.18
		6—7		1.11 0.11
		19—20		0.12 0.08
S003	8.0	0—1	1.2	3.05±0.25
		1—2		2.06 0.20
		4—5		1.82 0.20
		9—10		2.17 0.20
		17—18		0.82 0.15
		29—30		0.24 0.12
		32—34		0.21 0.12
S035	7.4	0—1	1.0	2.04±0.22
		1—2		2.24 0.22
		5—6		1.74 0.20
		9—10		1.73 0.20
		15—16		1.50 0.18
		24—25		4.51 0.34
		34—35		3.85 0.31
		48—50		2.63 0.24
		74—76		0.60 0.13
		114—116		0.31 0.12
		124—126		0.13 0.10
S036	7.1	0—1	1.0	3.97±0.32
		1—2		3.17 0.29
		4—5		3.89 0.32
		9—10		5.24 0.40
		14—15		4.85 0.34
		24—25		3.58 0.30
		39—40		2.92 0.26
		52—54		1.68 0.20
		68—70		0.87 0.15
		88—90		0.88 0.16
		132—134		0.26 0.12

3.2 <sup>210</sup>Pb 测量结果 三亚港 6 个柱样的取样位置见图 1。<sup>210</sup>Pb 分析结果见表 1。

3.2.1 外港 S001, S003 位于外港, 位置靠近航道, S002 位于港口口门外侧, 其柱样相对由砂质沉积物组成 (40%—50% 砂), 这大大减低了沉积物中 <sup>210</sup>Pb 的含量。这些站位过剩 <sup>210</sup>Pb, 放射性强度随深度而变化, 其沉积速率由最小二乘法得出 (表 2)。

表 2 海南岛三亚港沉积速率和 <sup>210</sup>Pb 总量

Tab.2 Sedimentation rates and <sup>210</sup>Pb inventory in Sanya Harbour, Hainan Island

站 位	沉积速率 (cm/a)	过剩 <sup>210</sup> Pb 总量 (dpm/cm <sup>2</sup> )
S001	0.26	23.4
S002	0.18	25.5
S003	0.38	44.6
S033	> 1	—
S035	0.91	186
S036	1.24	248

3.2.2 内港 S033 站位于内港 (图 1), 0—20cm 段含砂量大于 90%, 有机质含量为 0.54%; 20cm 以下砂的含量锐减为 10%, 有机质含量增加为 1.42%。造成沉积物这种复杂的层结构, 可能是由于外港主航道开挖后水动力条件改变所致。<sup>210</sup>Pb 放射性强度在 0—20cm 段接近于本底值, 20cm 以下增至 2dpm/g。Nittrouer 等 (1979) 曾研究过沉积物颗粒的大小与 <sup>210</sup>Pb 放射性强度的关系, 沉积物中砂、粉砂、粘土的 <sup>210</sup>Pb 放射性强度之比平均为 15:25:60。因此, 沉积物中的细颗粒 (特别是粘土)、有机质含量的涨落会使 <sup>210</sup>Pb 剖面复杂化。正是这些原因, 造成了该站位 <sup>210</sup>Pb 的分段分布。同样情况在 S035 站位也能看到。虽然没有足够的数据来精确地估算出该站位的沉积速率, 已有的数据及沉积结构的变化表明, 该站位的沉积速率大于 1cm/a。

3.2.3 主航道 (潮汐通道) S035 位于航道的中部, 采样时水深在 7.4m, 该柱样在沉积结构上随深度呈现出较大的变化 (图 2)。

0—13cm 段砂的含量高达 90%; 13cm 后砂质物的含量减小到 40%, 而粘土的含量增加到 60%; <sup>210</sup>Pb 放射性强度在 0—13cm 段的明显减小是由于近年来砂质物的注入造成的。据资料记载<sup>1)</sup>, 三亚港曾多次开挖航道, 最后一次较大规模的开挖是在 1978 年, 开挖后的航道宽 45m, 水深—7m。砂质物的注入反映出航道开挖后对该站位沉积环境的影响。<sup>210</sup>Pb 很容易被细颗粒物质吸附, 沉积物中粘土组分对过剩 <sup>210</sup>Pb 从水体中传输到沉积物中起了主要作用, 而砂质物的输入对沉积物中 <sup>210</sup>Pb 的含量起

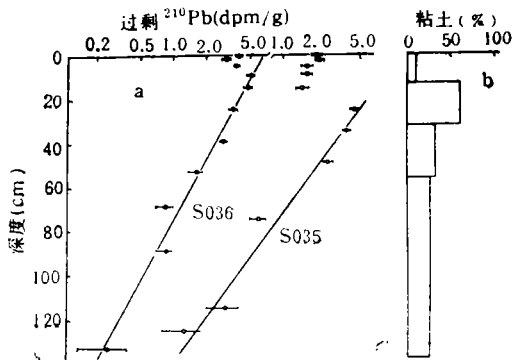


图 2 S035, S036 站位过剩 <sup>210</sup>Pb 剖面 (a) 及 S035 站位粘土百分比随深度的变化 (b)  
Fig.2 Excess <sup>210</sup>Pb profiles for cores S035, S036 (a) and the clay percentage for core S035 with depth (b) in Hainan Island

1) 南京大学海洋研究中心等, 1986, 海南岛保平—三亚湾海岸环境与三亚港的发展研究报告。

稀释的作用 (Megumi, 1978; Smith et al., 1982)。

从图 2 可明显看出, 由于砂质物的输入使 S035 上部过剩  $^{210}\text{Pb}$  放射性强度明显减小。在这段砂层后, 粘土含量增大, 过剩  $^{210}\text{Pb}$  放射性强度相应的增大并呈指数衰减。

S036 位于主航道的外端, 采样时水深 7.1m, 与 S035 相反, 该柱样呈现出相对均匀的沉积结构特征, 砂、粉砂、粘土含量约为 45:45:10, 基本上不随深度改变, 过剩  $^{210}\text{Pb}$  随深度而变化(图 2)。

**3.3 讨论** 三亚港属潮汐汉道港, 具有可侵蚀的砂质沉积物源及细颗粒的粘土、粉砂河流源。近海的沉积物在风浪、潮流的作用下重新悬浮, 随涨潮流通过潮流通道提供了另一个附加的沉积物源。潮流通道以输入粉砂、粘土为特征, 通常 80% 的沉积物载荷由潮流通道输入。虽然一部分细颗粒沉积物是从河流输入的, 大部分粘土载荷则是随涨潮流从近海带进港口的, 在高、低平潮, 水动力能量减小的条件下沉降下来。根据  $^{210}\text{Pb}$  分析结果, 潮流通道上沉积物的沉积速率在 0.91—1.24cm/a 之间, 水深的地方沉积速率亦大。大部分的砂质沉积物均是从内港随潮流而带入潮流通道的。

三亚港的内港主要为河流三角洲特征的砂、碎石沉积, 并混有粉砂, 这些粉砂是随涨潮流而带入这一区域的。一些周期性的粉砂、粘土沉积的出现, 使得我们能够估算出该区域的沉积速率大于 1cm/a。三亚港的外港区以开阔的浅滩沙洲为特征, 沉积速率小于 0.4cm/a, 这些区域大概正在进行着侵蚀与沉积的循环。

正如式(5)所指出的那样, 进入沉积物的过剩  $^{210}\text{Pb}$  通量正比于整个柱样的  $^{210}\text{Pb}$  总量。在 1980—1982 年中、美海洋沉积作用过程联合研究中 (钱江初等, 1985), 测得东海大陆架上空的  $^{210}\text{Pb}$  沉降通量为 1.8dpm/( $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ )。应用 Nozaki 等 (1977) 的模型可以估算海南岛上空大气中  $^{210}\text{Pb}$  的沉降通量约为 1.5dpm/( $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ ), 两者较为接近, 这个数值大于世界其它地区的估算值, 可能是由于海南岛位于整个亚洲大陆的下风, 产生的  $^{222}\text{Rn}$  被风带到海南岛上空。如果大气中 1.5dpm/( $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ ) 的  $^{210}\text{Pb}$  全部被转移并沉积到沉积物中, 则过剩  $^{210}\text{Pb}$  总量将等于 48.8dpm/ $\text{cm}^2$ 。从表 2 可以看出, S001, S002, S003 各站位的过剩  $^{210}\text{Pb}$  总量低于期望值, 而潮流通道中细颗粒沉积物所包含的过剩  $^{210}\text{Pb}$  总量大于期望值的 5 倍。这表明水体中的  $^{210}\text{Pb}$  存在着传输和移动, 在潮流通道中存在  $^{210}\text{Pb}$  的净输入或聚集的现象, 预示着可能存在其它重金属或污染物在这一区域的集中。这对指导今后疏浚航道时, 沉积物的排放、处理具有重要的意义。这些挖出的沉积物相对于深槽以外的沉积物可能含有较高的重金属污染物 (Hg, Pb 等) 及有机污染物 (PCB's, PAH's 等), 选择排放这些物质的场所十分重要, 以使得对港口及周围环境的影响减小到最小程度。

#### 4 结语

三亚港潮流通道上沉积速率为 0.91—1.24cm/a, 比周围浅滩沙洲区域内的沉积速率 (<0.4cm/a) 要大得多, 在这些区域内也许正在持续着沉积与侵蚀的循环。

潮流通道中细颗粒沉积物由河流搬运的物质及近海重新悬浮的粉砂、粘土构成, 相对地具有较高的  $^{210}\text{Pb}$  含量。这些沉积物是在高、低平潮时, 水动力能量减小的情况下沉降下来的。最后一次航道开挖后, 未发生骤淤现象。由于水动力条件的改变, 内港的一些砂质物被落潮流带到这一区域。

三亚港沉积物中过剩  $^{210}\text{Pb}$  总量在估算值的 20% 到 5 倍的范围内变化。潮流通道中过剩  $^{210}\text{Pb}$  总量大大超过估算值, 预示着在这一区域存在着重金属及其它污染物的聚集。

### 参 考 文 献

- 王颖、陈万里, 1982, 三亚湾海岸地貌的几个问题, *海洋通报*, **1**(3): 37—45。  
 钱江初等, 1985, 长江口邻近陆架  $^{210}\text{Pb}$  的地球化学特征, *沉积学报*, **3**(4): 31—43。  
 Flynn, W. W., 1968, The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials, *Anal. Chim. Acta*, **43**: 221—227。  
 Megumi, K., 1978, A problem in  $^{210}\text{Pb}$  geochronologies of sediments, *Nature*, **274**: 885—887。  
 Nittrouer, C. A. et al., 1979, The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool: application to the washington continental shelf, *Marine Geology*, **31**: 297—316。  
 Nozaki, Y. et al., 1977, Geochemistry of atmospheric radon and radon products, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **5**: 227—255。  
 Robbins, J. A., 1978, Geochemical and Geophysical Applications of Radioactive Lead Isotopes, Elsevier (Amsterdam), pp. 258—393。  
 Smith, J. N. and Ellis, K. M., 1982, Transport mechanism for  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and Pu fallout radionuclides through fluvial-marine system, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**: 941—954。

## DETERMINATION OF RECENT SEDIMENTATION RATES IN SANYA HARBOUR, HAINAN ISLAND

Pan Shaoming, Shi Xiaodong

(State Pilot Laboratory of Coastal and Islands Exploitation, Nanjing University, Nanjing 210008)

John N. Smith

(Bedford Institute of Oceanography, Canada)

### ABSTRACT

Six sediment cores collected in 1988 in Sanya Harbour, Hainan Island, were analyzed for textural parameters and  $^{210}\text{Pb}$  activities.  $^{210}\text{Pb}$  dating of sedimentation rates indicated that the rates for fine-grained silts and clays were greatest (0.91—1.24cm/a) in the sediments underlying the tidal and navigation channel in the harbour. Input of sand, transported into the tidal channel mainly from the inner harbour region on the ebb tide, was probably due to dredging activities in the harbour. Sedimentation rates in the sandier sediments of the outer harbour region were significantly lower (<0.4cm/a) compared to those in the tidal channel.  $^{210}\text{Pb}$  inventories were much greater in the tidal channel sediments compared to those in other parts of the harbour, indicating that particle-reactive pollutants were probably preferentially deposited in the tidal channel.

**Key words** Sanya Harbour Hainan Island  $^{210}\text{Pb}$  Sedimentation rate