

文章编号: 1000-0550 (2005) 03-0514-09

# 长江口沉积物<sup>210</sup>Pb分布及沉积环境解释

段凌云<sup>1</sup> 王张华<sup>2</sup> 李茂田<sup>1</sup> 潘建明<sup>3</sup> 陈中原<sup>2</sup> Yishiki Saito<sup>4</sup> Yutaka Kanai<sup>5</sup>

<sup>1</sup>(华东师范大学地理系 上海 200062) <sup>2</sup>(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

<sup>3</sup>(国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012) <sup>4</sup>(MRE, Geological Survey of Japan, AIST, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 306-8567, Japan) <sup>5</sup>(RCDME, Geological Survey of Japan, AIST, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 306-8567, Japan)

**摘要** 在长江河口潮滩、分流河道和下水三角洲共获得 18 个柱样,进行沉积学分析和<sup>210</sup>Pb测定,并对其中 6 根柱样进行<sup>137</sup>Cs测定。经研究发现,长江口外在水深 25~30m, 122°30'N, 31°00'E附近存在一个泥质沉积中心,沉积速率达 2.0~6.3 cm/yr。另外,在潮滩和涨潮槽也获得较高沉积速率,其中南汇和横沙岛潮滩沉积速率(1.03~1.94 cm/yr)高于崇明东滩(0.51~0.76 cm/yr),涨潮槽沉积速率也达 0.86 cm/yr。此外,在石洞口、南汇、九段沙潮滩和三角洲前缘有部分柱样未获沉积速率,推测为沉积环境不稳定或沉积速率过快所致。

**关键词** 沉积速率 <sup>210</sup>Pb 长江口

**第一作者简介** 段凌云 女 1980 年出生 硕士研究生 自然地理学

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 引言

<sup>210</sup>Pb 是百年尺度内测年的极好核元素,它常被用于沉积过程较稳定且沉积环境较封闭的连续沉积中。此方法最早见于南极冰雪年龄的测定,后被广泛应用于湖泊、海湾及河口数十年沉积过程的研究<sup>[1~3]</sup>。一些学者还通过检测人工核素<sup>137</sup>Cs的峰值来检验<sup>210</sup>Pb法测得的结果,发现<sup>210</sup>Pb法测定沉积速率数据比较可靠<sup>[4~5]</sup>。

长江平均每年向河口地区输送约 4.86 亿吨泥沙,巨量的流域来沙在河口不同地区堆积,为三角洲的发育及向海推进提供了丰富的资源。在土地资源紧缺的长江三角洲地区,揭示三角洲的沉积规律并预测其建造趋势具有十分重要的现实意义。

前人已经用多种方法对长江口的沉积速率进行测量计算,其中包括放射性元素测量法(主要是<sup>210</sup>Pb)<sup>[6,7]</sup>、历史海图叠加法及利用古海岸线标志推算<sup>[8]</sup>等。但由于长江三角洲水动力复杂,部分地区沉积环境相对不稳定,堆积速率大,百年尺度沉积速率的测定仍存在许多问题<sup>[9~10]</sup>。另外,由于<sup>210</sup>Pb方法的实验过程及数据处理不统一也造成各家测定结果不一致,又限制了<sup>210</sup>Pb的应用<sup>[11]</sup>。本文试图通过对长江口 18 个钻孔的<sup>210</sup>Pb含量测定,对比不同沉积

亚相中<sup>210</sup>Pb的分布特征,揭示长江三角洲近百年来沉积规律,并探讨<sup>210</sup>Pb在三角洲沉积速率计算的应用前景。

## 2 研究方法

本研究在长江三角洲共获取柱状样和沉积剖面 18 个,范围从潮滩、长江南支、向东至约 123°E,水深约 55m 处(图 1)。1995 年和 1998 年分别在长江口南岸的石洞口(光滩)、崇明东滩(蘆草带)和九段沙(蘆草带)采集 3 个柱状样(C1、C5 和 C10),长约 48~62 cm,采集部位主要在高、中潮滩。2000 年在长江口外水深 10~55 m 处采集柱状样 6 个(Y4~Y9),长约 200~400 cm;同年在南汇高潮滩采集柱状样 1 个(C8),长约 600 cm。2001 年在崇明东滩湿地 92 大堤内侧开挖沉积剖面一个(C4),长约 135 cm,并在 98 大堤外侧高潮滩上用箱式采样器采得箱式柱状岩心一个(C6),长约 85 cm;在上海宝山白龙港高、低潮滩取柱状样 2 个(C2 和 C3),各长约 20 cm。2003 年,又分别在横沙岛和南汇朝阳农场高潮滩采集柱状样 2 个(C7 和 C9),各长约 100 cm。另外,还收集前人于 2001 年在长江南支涨潮槽南小泓(长兴岛南岸涨潮槽)和新桥水道取得的柱状样 2 个(C11 和 C12),长分别为 104 cm 和 56 cm。

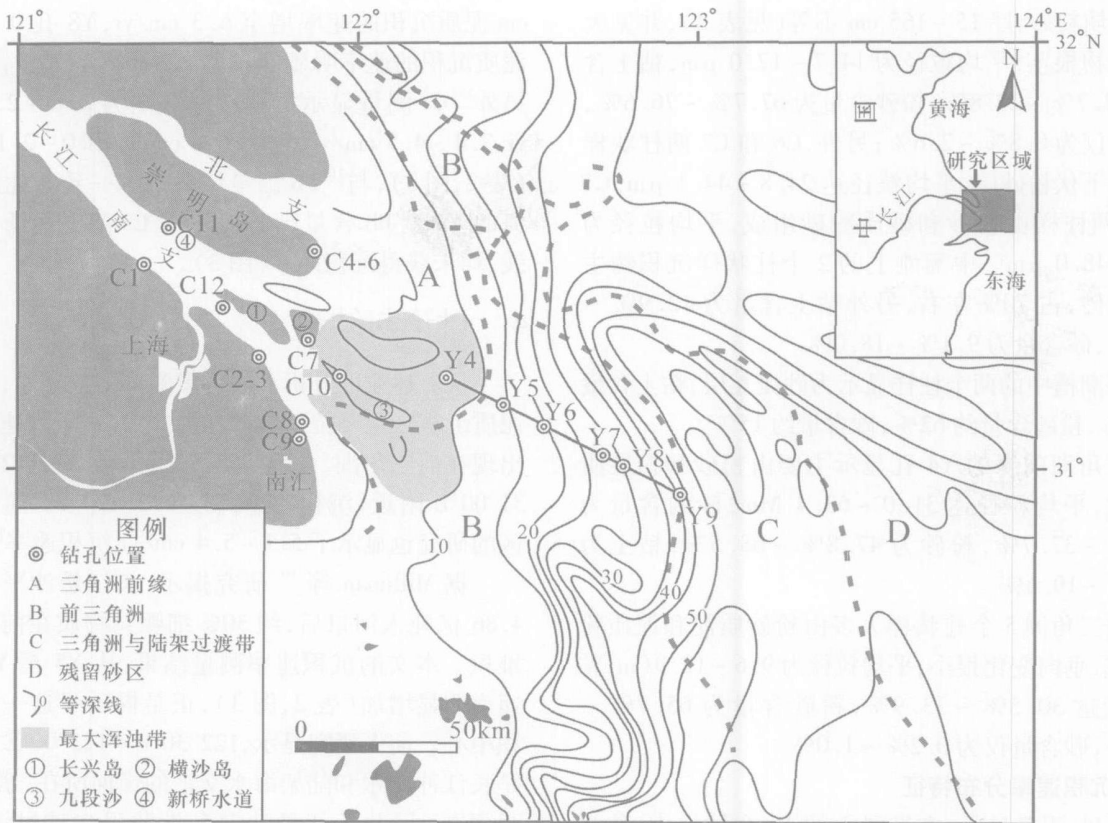


图 1 研究区地理位置及柱状样分布

Fig 1 Geographical location of the study area and the distribution of vibrocores

对柱样均进行了室内解剖,观察沉积物特征并作描述,同时取样进行<sup>210</sup>Pb分析,取样间隔 0.5~7 cm,共计取样 237 个(表 1)。

表 1 本研究中样品采集情况

Table 1 Vibrocores and specimen of the present study

采集时间	柱样编号	柱样深度 /cm	取样间隔 /cm	分析样品数 /个	数据来源
1995 - 1998	C1、C5、C10	48~60	1~2	33	本研究
2000	Y4~Y9	200~400	5	108	本研究
	C8、	600	2~3		本研究
	C11	56	7	8	王永红, 2003
2001	C12	104	6	13	王永红, 2003
	C4	135	5	8	本研究
	C6	85	5	7	本研究
2003	C2、C3	20	0.5~4	18	本研究
	C7、C9	105~150	2~5	35	本研究

称取 10 g 左右的湿样,在 105 °C 高温下烘干。取 2~5 g 干沉积物研磨、过 100 目孔筛去除植物根茎,入管腊封,放置 3 星期。然后使用 ORTEC 高纯锗井型探头 (GWL-120210-S) 进行放射性同位素测量,

每样品测量时间一般为 1~3 天,以 46.5 keV (<sup>210</sup>Pb) 能量处的峰计算总<sup>210</sup>Pb 比活度,以 351.92 keV (<sup>214</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra 的子体) 能量处的峰计算本底<sup>210</sup>Pb 比活度,其差值即为过剩<sup>210</sup>Pb (<sup>210</sup>Pb<sub>ex</sub>) 的比活度。

Y4~Y9 的样品处理及放射性同位素分析在日本地质调查院完成,包括<sup>210</sup>Pb 和<sup>137</sup>Cs 的放射性测试。C1~C12 的样品处理及放射性同位素分析在华东师范大学河口海岸重点实验室完成,仅进行<sup>210</sup>Pb 的放射性测试。本文中均利用 CIC (Constant Initial Concentration) 模式计算柱状样的沉积速率<sup>[3~5-11]</sup>。对于各钻孔均选择过剩<sup>210</sup>Pb 比活度与深度的对数相关性较好的段落来计算沉积速率。

另外还从其中 16 个柱样中取样 265 个进行粒度分析,分析仪器为美国 Beckman Coulter 公司生产的 LS13 320 型激光粒度仪<sup>[12]</sup>。

### 3 研究结果

#### 3.1 岩性观测和粒度分析结果

在高潮滩采集的 7 个柱状样,其中大部分表层物

质为泥质粉砂,厚 15~165 cm 不等(见表 2),并见大量的植物根茎,平均粒径为 14.7~17.0  $\mu\text{m}$ ,粘土含量为 22.7%~29.8%,粉砂含量为 67.7%~76.6%,砂含量仅为 0.8%~2.6%;另外,C6和 C7 两柱状样还钻遇下伏粉砂层,平均粒径达 24.8~44.1  $\mu\text{m}$ ; C1 和 C4 两柱样由粉砂和砂质粉砂组成,平均粒径为 24.3~48.0  $\mu\text{m}$ 。中潮滩上的 2 个柱状样沉积物主要为粉砂,占 70%左右,另外粘土含量为 12.9%~16.2%,砂含量为 9.1%~18.0%。

涨潮槽中的两个柱样显示为砂泥互层,粘土含量约 23%,粉砂含量约 62%,砂含量约 15%。

三角洲前缘的 Y4 孔显示主要由粉砂和粉砂质砂组成,平均粒径达 31.0~63.4  $\mu\text{m}$ ,砂的含量为 12.2%~37.7%,粉砂为 47.8%~68.5%,粘土为 13.1%~19.6%。

前三角洲 5 个柱状样大多由粉砂质泥和泥质粉砂组成,垂向变化很小,平均粒径为 9.6~12.9  $\mu\text{m}$ ,粘土含量达 30.5%~33.9%,粉砂含量为 65.7%~68.5%,砂含量仅为 0.2%~1.0%。

### 3.2 沉积速率分布特征

$^{210}\text{Pb}$  测量显示,在潮滩上的 10 个柱样中,位于横沙岛和南汇朝阳农场的 C7 和 C8 两处的沉积速率最大,横沙岛 C7 孔 0~80 cm 泥质粉砂和粉砂的沉积速率为 1.03 cm/yr,朝阳农场 C8 孔 22~163 cm 泥质粉砂的沉积速率为 1.94 cm/yr(表 2,图 2);位于崇明东滩的 C4、C5 和 C6 三柱样的沉积速率相似,分别为 0.75 cm/yr(0~35 cm,粉砂)、0.76 cm/yr(1~55 cm,粉砂)和 0.51 cm/yr(0~30 cm,泥质粉砂和粉砂);位于白龙港排污口附近高、低潮滩的 C2 和 C3 孔表层 0~9 cm,获得的沉积速率分别为 0.23 cm/yr 和 0.17 cm/yr,剩下的三个柱样 C1(石洞口高潮滩)、C9(朝阳农场高潮滩)和 C10(九段沙中潮滩) $^{210}\text{Pb}$  分布趋势不明显,未能获得沉积速率。

涨潮槽的两个柱样(C11 和 C12) $^{210}\text{Pb}$  测量显示,新桥水道 C11 孔中下部(41~81 cm)沉积速率为 0.86 cm/yr,南小泓 C12 孔的上部(0~22 cm)沉积速率为 0.39 cm/yr。

三角洲前缘的 Y4 孔沉积物中垂向 $^{210}\text{Pb}$  分布变幅大,未能获得沉积速率(表 2,图 3);同时, $^{137}\text{Cs}$  测量显示其含量均低于检测线,也未获得沉积速率。

前三角洲 4 个柱样(Y5~Y8) $^{210}\text{Pb}$  测量显示,Y5 孔 0~85 cm 泥质沉积的速率为 2.0 cm/yr, Y6 孔 25~125 cm 泥质沉积的速率为 2.2 cm/yr, Y7 孔 0~285

cm 泥质沉积的速率增至 6.3 cm/yr, Y8 孔 0~55 cm 泥质沉积的速率明显下降为 0.8 cm/yr(表 2,图 3)。另外 $^{137}\text{Cs}$  测量显示沉积速率分别为 2.8~2.9 cm/yr, 2.4~4.5 cm/yr, 4.3~6.6 cm/yr 和 0~2.1 cm/yr(表 2,图 3),与 $^{210}\text{Pb}$  测量结果基本一致。此外最外海的 Y9, $^{210}\text{Pb}$  含量高低无序, $^{137}\text{Cs}$  值也远低于检测线,均未获得沉积速率(图 3)。

## 4 讨论与结论

从上述粒度分析和同位素测量结果显示,长江口泥质沉积区主要位于潮滩和前三角洲,沉积速率最高出现在前三角洲,尤其在水深 25~30 m, 122°30' N, 31°00' E 附近,沉积速率高达 6.3 cm/yr。前人对该区的研究也显示了 5.1~5.4 cm/yr 沉积速率<sup>[6~7]</sup>。

据 Milliman 等<sup>[10]</sup> 研究揭示,长江悬沙平均每年 4.86 亿吨入河口后,约 30% 细颗粒物在前三角洲堆积。本文的沉积速率测量结果:从 Y5 至 Y7 沉积速率明显增加(表 2,图 3),正是揭示了这一泥质沉积中心。前人研究显示,122°30' E~123°00' E 这一带是长江冲淡水和陆架海水交汇的锋面所在,絮凝作用强烈<sup>[13]</sup>,因此长江悬沙向东扩散很少越过该界限。另外,从水下地形可以看到(图 1),长江水下三角洲呈舌状向海伸展,其东北侧有一个较大的 V 形古河口<sup>[14]</sup>,西南侧也有一个较小的 V 形谷地,每年夏季月份台湾暖流均可入侵这两个谷地,阻挡长江悬沙的继续外扩,同时加强了泥沙的絮凝沉降<sup>[15]</sup>。从该沉积中心向海,沉积速率又迅速降低, Y8 孔仅为 0.8 cm/yr,而 Y9 未能获得沉积速率,其原因可推测为锋面外缘,泥沙供应量急剧减少,因此堆积量极小。前人的悬沙浓度等值线也显示在 122°00' E~123°00' E 之间水平梯度大,悬沙浓度向东迅速降低<sup>[16]</sup>。

潮滩是长江口另外一个重要泥质沉积区,前人认为大约 5% 的长江悬沙在潮滩淤积<sup>[10]</sup>。本文研究显示以横沙岛和南汇潮滩堆积速率为最大,分别可达 1.03 cm/yr 和 1.94 cm/yr;崇明东滩沉积速率明显低于前两者,仅约为 0.5~0.8 cm/yr;长江南岸潮滩堆积速率最低,仅为 0.2 cm/yr 左右。我们推测这种分布特征可归结于长江口的泥沙输移特征。前人研究发现<sup>[17]</sup>,18 世纪以前,长江泥沙主要经北支入海,但自 20 世纪 50 年代末以来,长江泥沙基本经南支入海,出口门后受苏北沿岸流以及柯氏力作用影响,主要向东南、南输送<sup>[17~18]</sup>。目前的长江口最大浑浊带位于横沙以东、东南 10 m 水深线以内地区(图 1)。

表 2 长江河口地区沉积速率测量数据

Table 2 Data of the sedimentation rate in Yangtze estuary

柱样 编号	采样 部位	高程 /m	孔深 /cm	沉积物岩性描述	粒度数据				沉积速率 对应深度 /cm	沉积速率/(cm/yr)	
					各成分百分含量/%			平均粒径 Mz/ $\mu$ m		Pb - 210法	Cs - 137法
					粘土	粉砂	砂				
C1		~3	0~28	粉砂,夹有粉砂质泥和泥质粉砂;	14.0	76.1	9.9	32.0	—	—	—
			28~60	粉砂与砂质粉砂互层,粉砂含量相对多。	9.6	71.0	19.4	48.0			
C2		1.5~2.5	—	—	—	—	—	0~9	0.23	—	
C4		1.5~2.5	0~25	砂质粉砂;	15	57.5	27.5	47.3	0~35	0.75	—
			25~65	主要为粉砂和泥质粉砂,并有粉砂质砂;	18.3	65.9	15.8	34.7			
			65~135	主要为粉砂。	15.0	82.4	2.6	24.3			
C6	高	1.5~2.5	0~15	泥质粉砂;	22.7	76.6	0.8	17.0	0~30	0.51	—
			15~81	粉砂,自上而下逐渐变粗。	14.8	79.5	5.8	27.5			
			0~27	黄褐色泥质粉砂,底部逐步向青灰色过渡,芦苇根系较多;	29.3	68.1	2.6	14.7			
C7	潮	1~1.5	27~50	青灰色粉砂和泥质粉砂互层,植物根系较多;	18.9	75.3	5.9	24.8	0~80	1.03	—
			50~75	青灰色粉砂,中间夹一薄层砂质粉砂;	10.2	74.6	15.2	38.4			
			75~90	砂质粉砂。	12.2	60.2	27.6	44.1			
C8		2~2.5	0~10	人类活动干扰;	—	—	—	—	22~163	1.94	—
			10~165	灰褐色泥,块状层理,有大量的植物根茎和已腐烂的有机物,植物根茎往下逐渐变少。	29.8	67.7	2.6	—			
C9		2~2.5	0~100	灰褐色泥质粉砂,夹极薄粉砂层,见植物根系,局部黑色和灰色腐殖质富集;	28.6	68.9	2.5	16.0	—	—	—
			100~125	灰黄色泥质粉砂、粉砂,层理不明显。	24.9	73.0	2.1	18.5			
C5	中	~0	0~61	比较均匀的粉砂,在 8和 54cm 夹有砂质粉砂薄层	14.3	76.7	9.1	28.8	1~55	0.76	—
C10	潮	~0	0~14	粉砂、砂质粉砂、泥质粉砂相间出现;	12.9	69.1	18.0	39.2	—	—	—
			14~48	主要为粉砂,夹泥质粉砂和砂质粉砂。	16.2	71.8	12.0	31.2			
C3	低潮滩	~0	—	—	—	—	—	0~9	0.17	—	
C11	分	> - 5	0~102	灰褐色淤泥夹灰色砂或互层,且常见植物碎屑薄层,厚达 2 cm。	23.2	62.9	13.9	—	41~81	0.86	—
C12			0~55	灰褐色淤泥和粉砂互层,淤泥层厚 2~9 cm,粉砂层厚 2~5 cm,24~40 cm 处颗粒较粗,为砂质粉砂,在深约 20 cm 处见薄层(约 5 mm)生物碎屑。	22.5	61.2	16.3	—	0~22	0.39	—
Y4	三角洲前缘	- 7	0~15	黄褐色粉砂质砂,底部为一侵蚀面;	19.3	68.5	12.2	31.0	—	—	—
			15~38	灰色细砂;	13.1	57.2	29.7	48.7			
			38~58	黄褐色粉砂质砂;	19.6	61.3	19.1	42.3			
			58~172	灰色细砂,在 68 cm 处见贝壳,底部云母富集;	14.5	47.8	37.7	63.4			
			172~220	暗灰色粉砂。	14.6	59.7	25.7	42.5			
Y5		- 15	0~200	浅灰、深灰色粉砂质泥和泥质粉砂,中上部见大量层状有机物。	30.5	68.5	1.0	12.9	0~85	2.0	2.8~2.9
Y6	前	- 19.7	0~310	浅灰、深灰色粉砂质泥和泥质粉砂,有机质自上而下逐渐增加。	33.9	65.9	0.2	10.6	25~125	2.2	2.4~4.5
Y7	三角洲	- 26.8	0~385	浅灰、深灰色粉砂质泥和泥质粉砂。	33.1	66.4	0.5	11.4	0~285	6.3	4.3~6.6
Y8		- 29	0~400	浅灰、深灰色粉砂质泥和泥质粉砂,顶部 5 cm 见丰富的有机质,中上部有零星贝壳碎片,底部 100 cm 有大量的贝壳碎片。	33.3	66.4	0.3	10.4	0~55	0.8	0~2.1
Y9		- 41.6	0~360	灰色粉砂质泥和细砂互层。	33.8	65.7	0.5	9.6	—	—	—

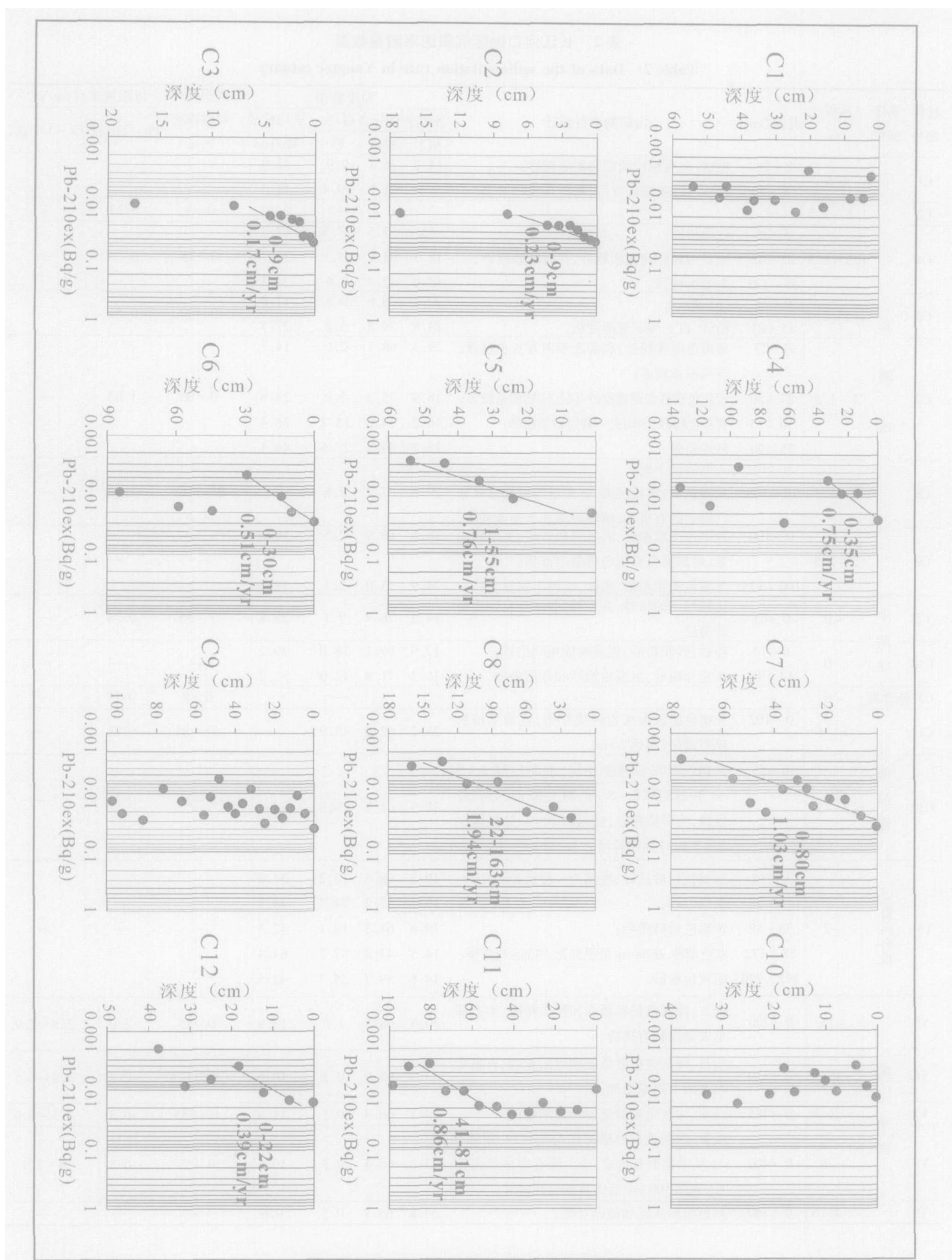


图 2 利用 Pb-210法测得的柱状样沉积速率

Fig 2 Sedimentation rates of the vibrocores determined by Pb-210 measurements

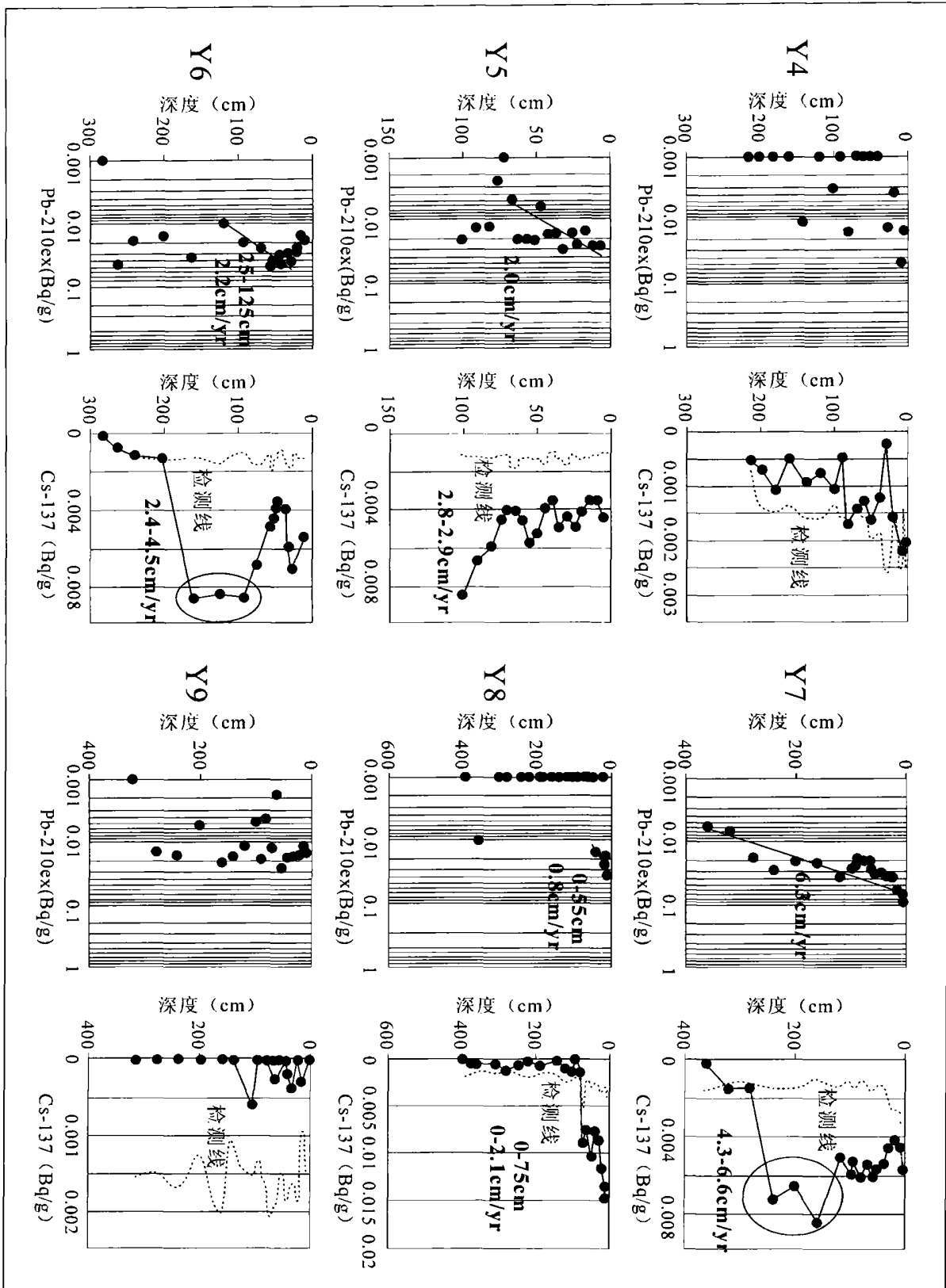


图 3 利用 CS-137和 Pb-210法测得的柱状样沉积速率

Fig 3 Sedimentation rates of the vibrocores determined by Cs-137 and Pb-210 measurements

最大浑浊带内悬沙浓度表层为  $0.1 \sim 0.7 \text{ kg/m}^3$ , 底层达  $1 \sim 8 \text{ kg/m}^3$  [19]。而位于北部的崇明浅滩水体悬沙浓度平均仅为  $0.35 \text{ kg/m}^3$  [20]。因此主要由涨潮流输送泥沙的潮滩堆积也必然表现为南(南汇、横沙)快北(崇明)缓的特征。本研究南汇 C9 孔  $^{210}\text{Pb}$  垂向分布变化小, 范围集中, 可能也反映了该地人工促淤后沉积速率迅速 [21]。此外, 受柯氏力作用, 长江落潮槽南偏 [22~23], 因此南岸往往受冲刷。本研究中白龙港沉积速率仅为  $0.2 \text{ cm/yr}$  左右, 而石洞口未能获得沉积速率, 正是反映了这种较强的水动力条件下, 沉积环境不稳定, 堆积缓慢或扰动频繁。

此外长江口涨潮槽的堆积也较快, 尤其在崇明南岸的新桥水道, 高达  $0.86 \text{ cm/yr}$ 。新桥水道是扁担沙和崇明岛之间的一条涨潮槽。受科氏力的作用, 落潮主泓南偏, 涨潮主泓北偏, 因此涨潮时带进的大量泥沙被淤积在新桥水道。另外 C11 孔上部为连续的灰褐色淤泥沉积, 但得到的  $^{210}\text{Pb}$  分析数据不适合计算沉积速率, 推测可能是上部沉积速率过快的原因。

长江口拦门沙即最大浑浊带地区, 沉积物颗粒粗, 主要为粉砂质砂和细砂; 每年约有 40% 的长江泥沙堆积 [10], 沉积速率快; 且水动力较强, 床沙和悬沙频繁交换 [24]。本研究 Y4 孔未获沉积速率, 可能反映上述因素导致  $^{210}\text{Pb}$  分布规律不明显 [25]。

本研究 C10 孔位于九段沙沙头, 也未能获得沉积速率。该孔沉积物粉砂、泥质粉砂、砂质粉砂相间出现。反映了受落潮流优势控制 [26], 沙头受到侵蚀, 沉积水动力较强, 环境不稳定, 因此难以利用  $^{210}\text{Pb}$  法测得此处的沉积速率。

致谢 在野外华东师范大学地理系韦桃源同学, 国家海洋局第二海洋研究所朱纯、薛斌同学付出艰苦的劳动; 华东师范大学河口海岸重点实验室张卫国老师为本文提供柱状样, 在此一并感谢!

#### 参考文献 (References)

- 范德江, 杨作升, 郭志刚. 中国陆架  $^{210}\text{Pb}$  测年应用现状与思考. 地球科学进展, 2000, 15(3): 297~302 [Fan Dejiang, Yang Zuosheng, Guo Zhigang. Review of  $^{210}\text{Pb}$  dating in the continental shelf of China. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(3): 297~302]
- 夏小明, 谢钦春, 李炎, 等. 东海沿海底沉积物中的  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  分布及其沉积环境解释. 东海海洋, 1999, 17(1): 20~27 [Xia Xiaoming, Xie Qinchun, Li Yan, et al.  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  profiles of the seabed cores along the East China Sea coast and their implications to sedimentary environment. *Donghai Marine Science*, 1999, 17(1): 20~27]
- 万国江. 现代沉积的  $^{210}\text{Pb}$  计年. 第四纪研究, 1997, (3): 230~239 [Wan Guojiang.  $^{210}\text{Pb}$  dating for recent sedimentation. *Quaternary Sciences*, 1997, (3): 230~239]
- 项亮. 用分析方法研究滇池现代沉积年代. 核技术, 1997, 20(2): 100~104 [Xiang Liang. Dating of recent Dianchi lake sediments by gamma ray analysis. *Nuclear Techniques*, 1997, 20(2): 100~104]
- 叶崇开.  $^{137}\text{Cs}$ 法和  $^{210}\text{Pb}$ 法对比研究鄱阳湖近代沉积速率. 沉积学报, 1991, 9(1): 106~114 [Ye Chongkai. Contrasting investigation by  $^{137}\text{Cs}$  method and  $^{210}\text{Pb}$  method for the present sedimentation rate of Poyang lake, Jiangxi. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9(1): 106~114]
- Demaster D J, Mckee B A, Nittrouer C A, et al. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 1985, 4(1/2): 143~158
- 刘国贤, 杨松林, 周义华. 用  $^{210}\text{Pb}$  法测定长江口沉积速率. 海洋地质与第四纪地质, 1984, 4(1): 113~116 [Liu Guoxian, Yang Songlin, Zhou Yihua. Sedimentation rates in the Changjiang estuary determined with  $^{210}\text{Pb}$  method. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1984, 4(1): 113~116]
- 李从先, 王平, 范代读, 等. 潮汐沉积率与沉积间断. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(2): 11~18 [Li Congxian, Wang Ping, Fan Daidu, et al. Sedimentation rate and sedimentary break in tidal deposits. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1999, 19(2): 11~18]
- 董永发, 丁文望. 长江河口沉积物粒度特征与水动力的关系. 见: 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴, 等. 长江河口动力过程和地貌演变. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 314~322 [Dong Yongfa, Ding Wenjun. Relationship between the grain size characteristics and hydrodynamics of sedimentation in the Changjiang estuary. In: Chen Jiyu, Shen Huanting, Yu Caixing, et al. *Processes of Dynamics and Geomorphology of the Changjiang Estuary*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988. 314~322]
- Milliman John D, Shen Huanting, Yang Zuosheng, et al. Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Continental Shelf Research*, 1985, 4(1/2): 37~45
- 夏小明, 杨辉, 李炎, 等. 长江口—杭州湾毗连海区的沉积速率. 沉积学报, 2004, 22(1): 130~135 [Xia Xiaoming, Yang Hui, Li Yan, et al. Modern sedimentation rates in the contiguous sea area of Changjiang estuary and Hangzhou Bay. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 130~135]
- 刘清玉, 戴雪荣, 何小勤. 崇明东滩环境探讨. 海洋地质动态, 2003, 19(12): 1~4 [Liu Qingyu, Dai Xuerong, He Xiaojin. The sedimentary environment of the east tidal flat of the Chongming Island. *Marine Geology Letters*, 2003, 19(12): 1~4]
- 潘定安, 胡方西, 周月琴, 等. 长江河口夏季的盐淡水混合. 见: 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴, 等. 长江河口动力过程和地貌演变. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 151~165 [Pan Ding'an, Hu Fangxi, Zhou Yueqin, et al. Mixing of salt water with fresh water on the Changjiang estuary in summer. In: Chen Jiyu, Shen Huanting, Yu

- Caixing, *et al* Processes of Dynamics and Geomorphology of the Changjiang Estuary. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988. 151 ~ 165]
- 14 陈中原, 周长振, 杨文达, 等. 长江口外现代水下地貌与沉积. 见: 严钦尚, 徐世远, 等. 长江三角洲现代沉积研究. 上海: 华东师范大学出版社, 1987. 238 ~ 245 [Chen Zhongyuan, Zhou Changzhen, Yang Wenda, *et al* Subaqueous topography and sediments off modern Changjiang estuary. In: Yan Qinshang, Xu Shiyuan. Recent Yangtze Delta Deposits. Shanghai: East China Normal University Press, 1987. 238 ~ 245]
- 15 Beardsley R C, Limeburner R, Yu H, *et al* Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Continental Shelf Research, 1985, 4(1/2): 57 ~ 76
- 16 沈焕庭, 潘定安. 长江河口最大浑浊带. 北京: 海洋出版社, 2001. 29 ~ 30 [Shen Huanting, Pan Ding'an. Turbidity Maximum in the Changjiang Estuary. Beijing: Ocean Press, 2001. 29 ~ 30]
- 17 陈吉余, 朱慧芳, 董永发, 等. 长江河口及其水下三角洲的发育. 见: 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴, 等. 长江河口动力过程和地貌演变. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 48 ~ 62 [Chen Jiyu, Zhu Hui-fang, Dong Yongfa, *et al* Development of the Changjiang estuary and its subaqueous delta. In: Chen Jiyu, Shen Huanting, Yu Caixing, *et al* Processes of Dynamics and Geomorphology of the Changjiang Estuary. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988. 48 ~ 62]
- 18 沈焕庭, 李九发, 朱慧芳, 等. 长江河口悬沙输移特性. 见: 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴, 等. 长江河口动力过程和地貌演变. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 205 ~ 215 [Shen Huanting, Li Jiufa, Zhu Hui-fang, *et al* Transport of the suspended sediments in the Changjiang estuary. In: Chen Jiyu, Shen Huanting, Yu Caixing, *et al* Processes of Dynamics and Geomorphology of the Changjiang Estuary. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988. 205 ~ 215]
- 19 沈焕庭, 潘定安. 长江河口最大浑浊带. 北京: 海洋出版社, 2001. 50 ~ 51 [Shen Huanting, Pan Ding'an. Turbidity Maximum in the Changjiang Estuary. Beijing: Ocean Press, 2001. 50 ~ 51]
- 20 杨世伦, 赵庆英, 丁平兴, 等. 上海滩动力泥沙条件的年周期变化及其与滩均高程的统计显示. 海洋科学, 2002, 26(2): 37 ~ 41 [Yang Shilun, Zhao Qingying, Ding Pingxing, *et al* Annual changes in coastal dynamic and SSC processes as well as their statistic relationships to intertidal bed - level, Shanghai coast. Marine Sciences, 2002, 26(2): 37 ~ 41]
- 21 杨世伦, 时钟, 赵庆英. 长江口潮沼植物对动力沉积过程的影响. 海洋学报, 2001, 23(4): 75 ~ 80 [Yang Shilun, Shi Zhong, Zhao Qingying. Influence of tidal marsh vegetations on hydrodynamics and sedimentation in the Changjiang estuary. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23(4): 75 ~ 80]
- 22 陈吉余, 恽才兴, 徐海根, 等. 两千年来长江口发育的模式. 见: 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴, 等. 长江河口动力过程和地貌演变. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 31 ~ 37 [Chen Jiyu, Yu Caixing, Xu Haigen, *et al* The model of development of the Changjiang estuary during the last 2000 years. In: Chen Jiyu, Shen Huanting, Yu Caixing, *et al* Processes of Dynamics and Geomorphology of the Changjiang Estuary. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988. 31 ~ 37]
- 23 刘高峰, 沈焕庭, 王永红, 等. 长江口涨、落潮槽底沙输移趋势探讨. 海洋通报, 2003, 22(4): 1 ~ 7 [Liu Gaofeng, Shen Huanting, Wang Yonghong, *et al* Bottom sediment transport in the flood and ebb channels of the Changjiang estuary. Marine Science Bulletin, 2003, 22(4): 1 ~ 7]
- 24 沈焕庭, 郭成涛, 朱慧芳, 等. 长江河口最大混浊带的变化规律及其成因探讨. 见: 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴, 等. 长江河口动力过程和地貌演变. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 216 ~ 228 [Shen Huanting, Guo Chengtao, Zhu Hui-fang, *et al* A discussion on the change and origin of turbidity maximum in the Changjiang estuary. In: Chen Jiyu, Shen Huanting, Yu Caixing, *et al* Processes of Dynamics and Geomorphology of the Changjiang Estuary. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988. 216 ~ 228]
- 25 Chen Zhongyuan, Saito Yoshiki, Kanai Yutaka, *et al* Low concentration of heavy metals in the Yangtze estuarine sediments, China: a diluting setting. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2004. 1 ~ 10
- 26 杨世伦, 贺松林, 谢文辉. 长江口九段沙的形成演变及其南北槽发育的关系. 海洋工程, 1998, 16(4): 55 ~ 65 [Yang Shilun, He Songlin, Xie Wenhui. The formation and evolution of the Jiuduansha tidal island as well as their relation to the development of the north and south passages in the Yangtze River estuary. The Ocean Engineering, 1998, 16(4): 55 ~ 65]



## <sup>210</sup>Pb Distribution of the Changjiang Estuarine Sediment and the Implications to Sedimentary Environment

DUAN Ling-yun<sup>1</sup> WANG Zhang-hua<sup>2</sup> LI Mao-tian<sup>1</sup> PAN Jian-ming<sup>3</sup>  
CHEN Zhong-yuan<sup>2</sup> Yishiki SA ITO<sup>4</sup> Yutaka KANA I<sup>5</sup>

<sup>1</sup>(Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062)

<sup>2</sup>(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

<sup>3</sup>(Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012)

<sup>4</sup>(MRE, Geological Survey of Japan, AIST, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 306-8567, Japan)

<sup>5</sup>(RCDME, Geological Survey of Japan, AIST, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 306-8567, Japan)

**Abstract** Eighteen sediment vibrocores, 0.2 ~ 6 m long, were collected from the Yangtze estuary in different sedimentary facies, including tidal flat, flood tidal channel, delta front, prodelta and delta-shelf transition zone, to examine the modern depositional characteristics in the study area. Measurement of <sup>210</sup>Pb was performed for all sediment vibrocores and <sup>137</sup>Cs applied for 6 of them. CIC (constant initial concentration) dating model was used to calculate the sedimentation rate using <sup>210</sup>Pb data. The results obtained show the silty clay and clayey silt in the tidal flat and tidal channel, fine sand and silt in the delta front facies. Fine-grained sediment, mostly the clayey silt, consists of the prodelta facies, and clay-silt-sand constitutes the delta-shelf transition zone.

On the basis of relative continuous sediment record, our radiometric measurement demonstrates that the highest sedimentation rates (~2.0 to 6.0 cm/yr) were found in the prodelta facies, reflecting processes of the interface of estuarine mixed water and the seawater. Lower sedimentation rate of 0.81 cm/yr can be recognized from the prodelta margin, but the rate is hardly recorded in the delta-transition zone due to terminating modern sedimentation seaward. The higher sedimentation rates (1.03 ~ 1.94 cm/yr) occur in the tidal flat of Hengsha Island and Nanhui, and lower ones (0.51 ~ 0.76 cm/yr) in the Chongming Island, indicating the southeastward transport of the suspended sediment in the Changjiang estuary. The sedimentation rate in the flood tidal channel is about 0.69 ~ 0.86 cm/yr, showing the rapid deposition due to the discrete flood and ebb currents. The sedimentation rates proposed here is of significance to evaluate the sediment budget from the upstream in the past centennial time scale and in particular is to provide an analogue for after Damming study at Three-Gorges.

**Key words** sedimentation rate, radiometric analysis of <sup>210</sup>Pb, Yangtze estuary