

文章编号: 1000-0550(2004)01-0130-06

# 长江口 - 杭州湾毗连海区的现代沉积速率

夏小明<sup>1,2</sup> 杨辉<sup>1,4</sup> 李炎<sup>3</sup> 李伯根<sup>1</sup> 潘少明<sup>2</sup>

1(国家海洋局海底科学重点实验室, 第二海洋研究所 杭州 310012)

2(南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室 南京 210093)

3(厦门大学海洋环境科学教育部重点实验室 福建厦门 361005)

4(中国海洋大学海洋环境学院 山东青岛 266003)

**摘要** 运用沉积地层同位素<sup>210</sup>Pb、<sup>137</sup>Cs 测年技术,估算长江口-杭州湾毗连海区的现代沉积速率。研究表明,以泗礁水道为界,东侧的马鞍列岛区受外海高盐水的顶托,长江来沙少,淤积缓慢;西侧至长江口、杭州湾海岸交汇点(南汇咀)之间水域,是长江泥沙扩散南下的主要通道。其中,受长江冲淡水次级锋和杭州湾锋面输沙影响的湾口浅滩区,沉积速率约 3 cm/a;洋山港区,水深大于 20 m 的峡道区,受强动力作用而处于侵蚀状态,峡道两端出口的浅水区,沉积速率为 0.3~1.6 cm/a;马迹山港区,位于典型的峡道沿岸淤泥质陡坡,其沉积过程不稳定,正常沉积速率为 0.7~3.4 cm/a,但常有快速淤积和地层滑塌流失现象发生。

**关键词** 现代沉积速率 时空分布 长江口 - 杭州湾

**第一作者简介** 夏小明 男 1965 年出生 研究员 河口海岸学

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

长江河口是我国第一大河口,年平均径流量  $9.24 \times 10^{11} \text{m}^3$ ,年平均输沙量  $4.86 \times 10^8 \text{t}$ ,悬浮泥沙随长江冲淡水扩散沉积,在拦门沙外形成向东南扇形分布的现代水下三角洲,面积达  $1 \times 10^4 \text{km}^2$ 。其南侧的杭州湾是典型的喇叭型强潮河口湾,湾顶接钱塘江河口,湾口北部与长江口南翼毗连,湾口东、南部通过舟山群岛各潮汐水道与东海相通,钱塘江河口年平均输沙量仅  $7.9 \times 10^6 \text{t}$ ,大多沉积在上游河口沙坎上。而与长江口毗连的杭州湾海区,底质以细颗粒沉积物为主,研究表明,受长江口冲淡水次级锋面和东海沿岸流输沙的影响,长江来沙为杭州湾长期以来缓慢淤积的主要物质来源<sup>[1,2]</sup>,其海岸演变与底床冲淤主要受制于长江口河槽演变引起的来水来沙条件的变化<sup>[3,4]</sup>,同时,杭州湾口也是长江入海泥沙扩散南下的主要通道。近年来,随着上海市和长江流域经济发展,长江口-杭州湾毗邻海区的马迹山港区和洋山港区作为上海国际航运中心的主要深水港域已得到开发与建设(图 1)。

现代沉积速率是沉积地貌环境演化的重要指标,同时也是港口航道工程选址与设计的必要参数。自 1960 年代以来,沉积地层同位素(<sup>210</sup>Pb、<sup>137</sup>Cs 等)测年技术,通过沉积地层中赋存的年代信息反演近代沉积

过程,提供了一种经济快速且精度较高的方法,被广泛运用于湖泊、河口海岸和海洋现代沉积速率的估算<sup>[5~13]</sup>。在长江河口的应用研究表明<sup>[14]</sup>,现代水下三角洲北部已进入废弃阶段,沉积速率近于零;三角洲中、南部则属建设时期,淤积中心位于南槽口外,向东南方向舌状延伸。但受长江河口输沙影响的三角洲南翼毗连海区,水动力及地形较复杂,沉积速率有明显不同的时空分布特征。

## 1 方法

### 1.1 样品采集与实验室分析

1991 至 1999 年间,15 个原状土样分别采集于长江口 - 杭州湾毗连海区,包括洋山港区 和马迹山港区等(图 1),样品长 60~250 cm。使用的重力式取样器,内嵌直径为 75 mm 的 PVC 管。样品采集后,现场密封保存运回实验室,随即对样品沿纵向解剖,进行岩性、沉积构造描述和照相后,按一定的深度间隔分样,进行各层位的含水量、容重、粒级组成分析,并分别采用 Po- 法、能谱法测试各层样品的<sup>210</sup>Pb、<sup>137</sup>Cs 放射性比度。

国家自然科学基金(批准号:49976023,40231010),浙江省自然科学基金(批准号:498010)和国家海洋局青年科学基金项目(批准号:2000503)资助

国家海洋局第二海洋研究所. 宝钢马迹山 25 万吨矿石中转码头工程可行性研究-自然环境勘测分析报告. 1995

国家海洋局第二海洋研究所. 洋山港内水域及航道水域柱状样测年分析报告. 1999

收稿日期:2002-11-05 收修改稿日期:2003-10-09

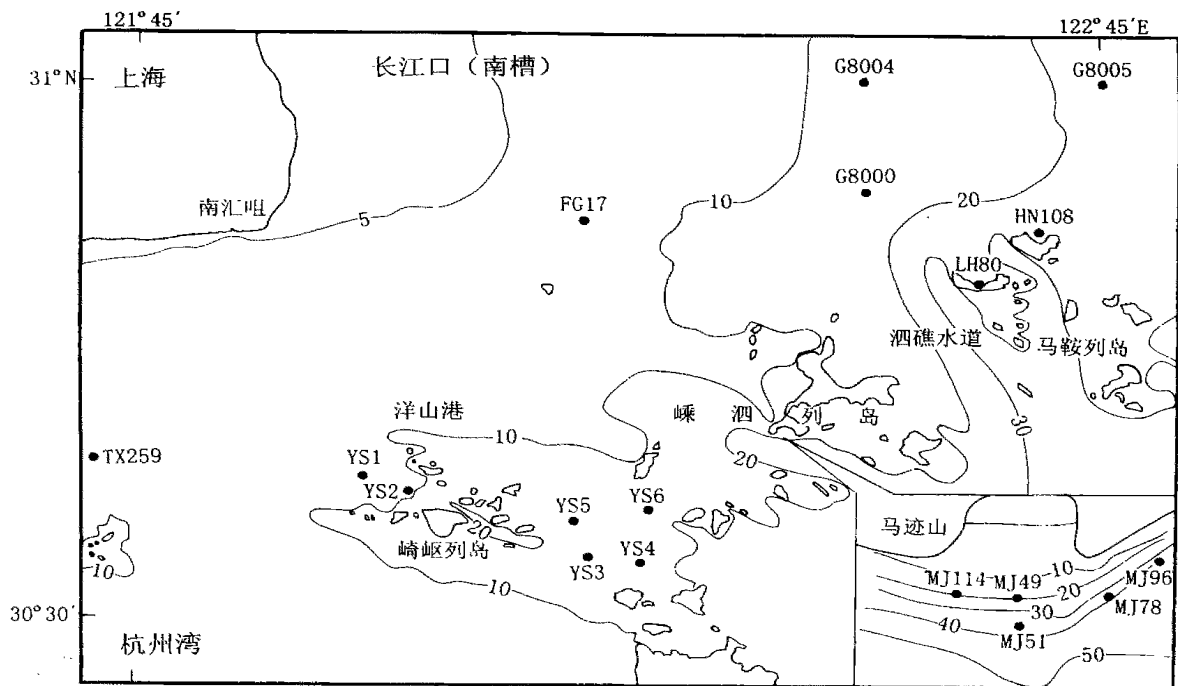


图 1 研究区域形势与取样站位

Fig. 1 Location of the study area and sampling stations

### 1.2 沉积速率估算

$^{210}\text{Pb}$  半衰期为 22.3 年,它在沉积物中含量来自两部分:一部分来自大气沉降,为用于年代标记的剩余值,它从大气进入水体,被吸附在悬浮颗粒上,并随之逐年沉积在海底,在海底自我封闭体系中随沉积物的深度呈指数衰减;另一部分来自沉积物自身的 $^{226}\text{Ra}$ ,即本底值。因此首先测出各深度沉积物 $^{210}\text{Pb}$  总值,扣除 $^{210}\text{Pb}$  本底值,得到 $^{210}\text{Pb}$  过剩值剖面分布,忽略垂向混合和压实效应,依据初始浓度恒定(CIC)模式<sup>[8]</sup>由下式求出沉积速率:  $S = \frac{H}{\ln(A_0/A_i)}$ , 式中,  $S$  为沉积速率 (cm/a),  $\lambda$  为 $^{210}\text{Pb}$  衰变常数 ( $0.03114 \text{ yr}^{-1}$ ),  $H$  为深度 (cm),  $A_0$ 、 $A_i$  分别为表层与深度  $H$  层的 $^{210}\text{Pb}$  过剩值,其中  $H/\ln(A_0/A_i)$  由 $^{210}\text{Pb}$  过剩值取自然对数后与深度之间线性拟合直线的斜率求出(例如,图 4、图 5 和图 6 中的线性拟合直线)。

$^{137}\text{Cs}$  是一种人为产生的放射性核素(半衰期 30.2 年),自 1945 年第一次核爆以后通过大气扩散沉降输入地表和海洋环境,1954 年开始出现明显的 $^{137}\text{Cs}$  散落量<sup>[15]</sup>,并为泥沙颗粒所吸附沉积。因核试验散落核素有明确的沉降量的时序分布(图 2)<sup>[16,17]</sup>,反映在沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$  剖面亦有基本的一致性,利用 $^{137}\text{Cs}$  散落蓄积在地层中的浓度特征值所对应的某些年代作为时间标记(如 1954 年起始值和 1964 年最大峰值),可以估算现代沉积速率。

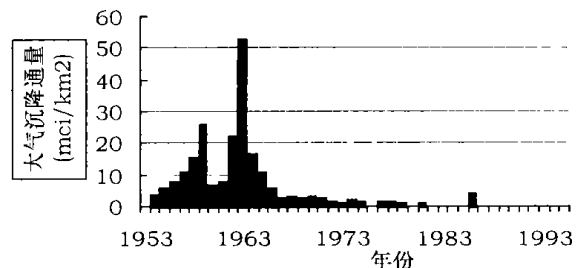


图 2  $^{137}\text{Cs}$  大气沉降通量的年际变化<sup>[16,17]</sup>

Fig. 2 Annual variation of  $^{137}\text{Cs}$  atmospheric fallout flux

## 2 结果与讨论

### 2.1 长江口南槽口门外

南槽口门外水下三角洲是长江口泥沙淤积的中心,已有的观测数据表明<sup>[14]</sup>,沉积速率自口门向东逐渐减小,在 13 m 水深处为 5.4 cm/a (G8004 站) (图 1), 21 m 处为 3.1 cm/a (G8005 站), 40 m 处减小为 0.5 cm/a (G8010 站); 向南也有同样的趋势,在 G8004 站南侧的 G8000 站,水深 15 m,沉积速率为 3.5 cm/a。本文中增加的 FG17 柱样位于南槽口门的南侧,水深 8 m,  $^{137}\text{Cs}$  的起始值和最大峰值分别位于 125 ~ 130 cm 和 90 ~ 95 cm 层位(图 3),相对应的 1964 年和 1954 年以来平均沉积速率分别为  $3.11 \pm 0.06 \text{ cm/a}$  和  $2.98 \pm 0.08 \text{ cm/a}$ ,表明该处海域动力沉积环境一直比较稳定,是长江泥

沙向偏南方向运输的主要通道。

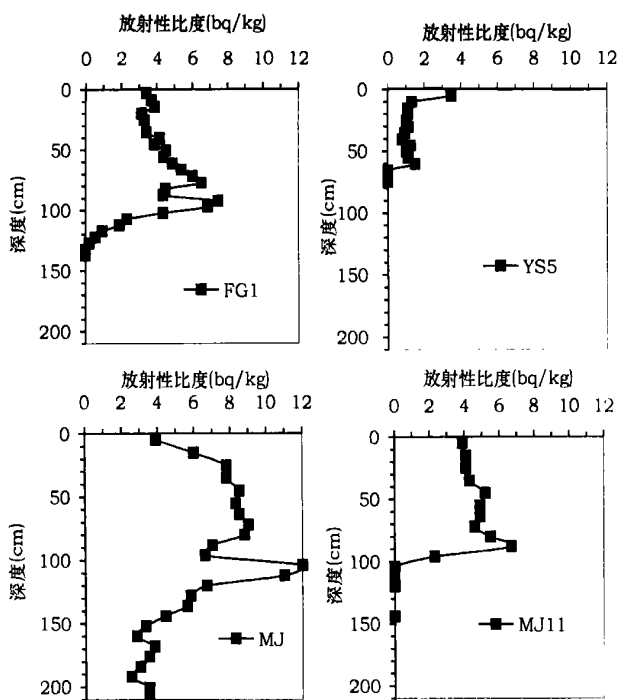


图3 沉积柱样的<sup>137</sup>Cs剖面

Fig. 3 <sup>137</sup>Cs profiles of sediment cores

### 2.2 马鞍列岛区

位于泗礁水道东侧的马鞍列岛区,向北与南槽口门外水下三角洲舌状地形相邻,它的西侧、中间和东侧均有大于40 m水深的潮流深槽发育。HN108柱样位于花鸟山北侧,水深11 m,<sup>210</sup>Pb剖面的衰减层仅20 cm,沉积速率仅为0.34 cm/a(图4)。LH80柱样位于西绿华山南侧,水深10 m,<sup>210</sup>Pb剖面的衰减层不足20 cm,沉积速率仅为0.31 cm/a(图4)。两柱样虽然位于岛屿附近浅滩上,但它们的沉积速率与北侧水下三角洲的高沉积速率形成了鲜明的对比,表明马鞍

群岛区受外海高盐水顶冲<sup>[18]</sup>,长江泥沙难以输入淤积,这与该海域悬浮泥沙浓度低和深槽特征地形发育是相吻合的。

### 2.3 杭州湾湾口浅滩区

杭州湾整体呈喇叭型,体现于地形和沉积上的杭州湾地貌结构具有显著的区域变化,西侧的湾顶为钱塘江河口的沙坎区,以粉砂为主;湾中部是以长条形的潮流脊和冲刷槽(带)为特征的潮流槽脊区,以粗粉砂和细砂为主;其东侧即为水深小于10 m、地形平缓的湾口浅滩堆积区,以粘土质粉砂为主<sup>[19]</sup>。TX259柱样则位于杭州湾湾口浅滩中部的滩浒山附近,水深7 m,也位于自长江口向西南延伸至庵东浅滩的杭州湾锋面的中部,<sup>210</sup>Pb过剩值的衰减剖面波动小,相应的近百年来平均沉积速率为3.02 cm/a(图4),表明湾口浅滩沉积环境稳定,与长江口南槽口门南侧的FG17柱样基本一致,这也间接反映了长江口冲淡水次级锋面和杭州湾锋面的输沙通道作用。

### 2.4 洋山港区及附近

建设中的上海国际航运中心洋山港区位于杭州湾口北部的崎岖列岛,受南北两列岛礁的控制,峡道型港域基本呈东西走向,水深流急,港域东端航道,水深12~15 m,通过黄泽洋水道与外海相通,港域西端航道,水深9~12 m,进入杭州湾(图1)。

YS1、YS2柱样位于港域西端的航道区,水深分别为9 m和10 m,沉积物以粘土质粉砂为主,夹粉砂和细砂纹层,一般粘土含量15%~35%,粉砂含量50%~70%,YS1站、YS2站的沉积速率分别为1.43 cm/a和1.01 cm/a。

YS3、YS4柱样位于港域东端的航道浅水区段,水深分别为12 m和14 m,物质组成与YS1、YS2相近,但近百年来平均沉积速率仅分别为0.29 cm/a和0.35

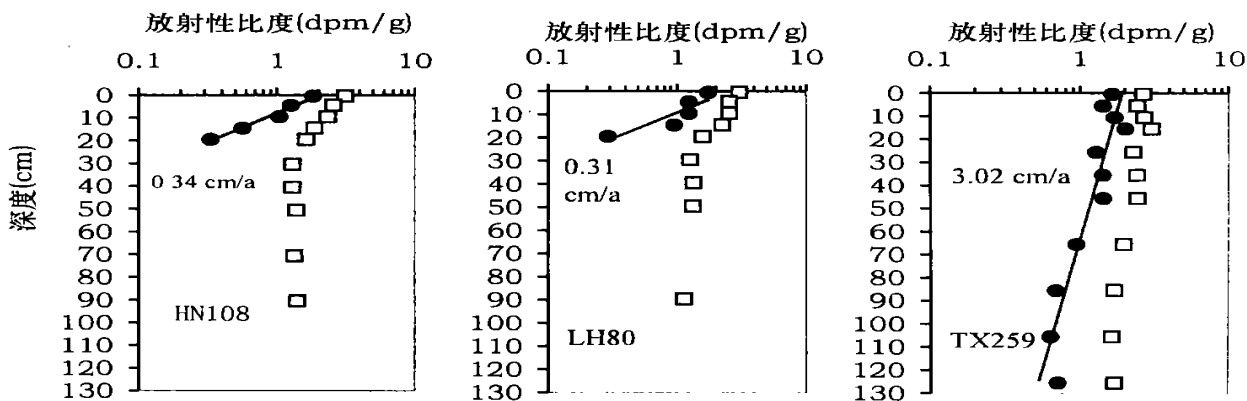
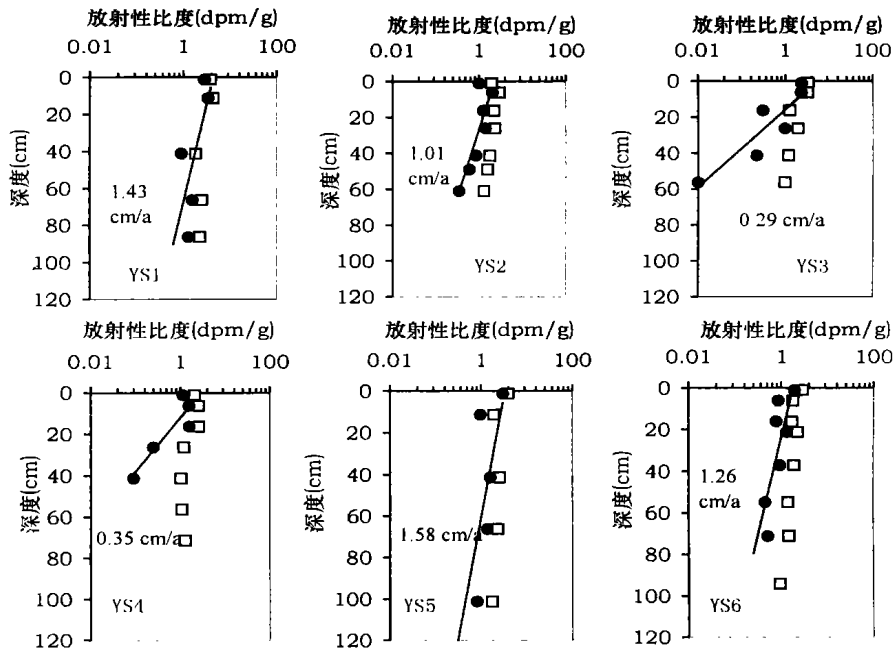


图4 马鞍列岛区与杭州湾湾口浅滩沉积柱样<sup>210</sup>Pb剖面及其沉积速率

(图中, 为<sup>210</sup>Pb总值, 为<sup>210</sup>Pb过剩值,下同)

Fig. 4 <sup>210</sup>Pb profiles and sedimentation rates of the sediment cores in the sea areas of Maan Islands and mouth of Hangzhou Bay

图 5 洋山港区沉积柱样<sup>210</sup>Pb 剖面及其沉积速率Fig. 5 <sup>210</sup>Pb profiles and sedimentation rates of sediment cores in Yang shan port

cm/a。淤积缓慢,这与水道区较强的水动力作用有关,从 1960 年和 1997 年大比例尺地形图对比来看,近 40 年来该航道浅水区段水深几乎没有变化,而航道两端的潮流深槽区(水深大于 20 m)甚至处于冲刷状态。

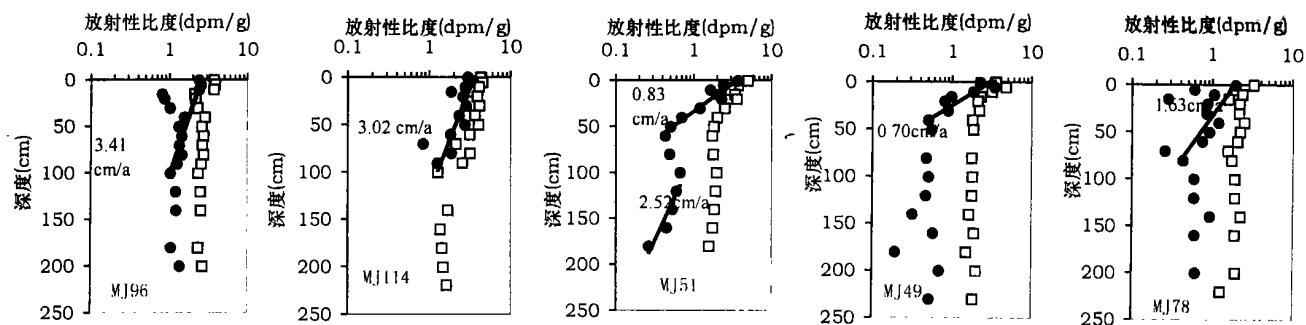
YS5、YS6 柱样位于东端航道的北侧,受峡道水流的影响较小,海区相对开敞,水深分别为 11 m 和 15 m,物质组成与上述各样相似。YS5、YS6 站的积速率分别为 1.58 cm/a 和 1.26 cm/a。另外,从 YS5 柱样的<sup>137</sup>Cs 剖面来看(图 3),其起始埋藏深度为 58 ~ 63 cm,对应的沉积速率为  $(60.5 \pm 2.5) / (1999 - 1954) = 1.35 \pm 0.05$  cm/a,与<sup>210</sup>Pb 方法的结果基本一致。

## 2.5 马迹山港区

该港区位于嵊泗列岛西南角的马迹山南侧(图 1),上海宝钢集团在此建设 25 万吨的矿石中转码头,码头前沿为典型的潮流峡道,东西走向,沿岸两基岩岬角间距 1 500 m,岬角间形成半封闭袋状海湾,泥沙逐渐淤积充填形成弧形岸滩,离岸不远处潮流深槽受峡道地形约束及强劲潮动力作用,水深超过 50 m。所采集的沉积柱样均分布于岸滩与深槽之间的陡坡区,坡度达 10% ~ 20%,沉积物以粘土质粉砂为主,柱状沉积物垂向结构较均匀,以泥 - 粉砂交互层理为主,层理清晰。粘土含量 35% ~ 40%,垂向变化也不大,从它们的<sup>137</sup>Cs 和<sup>210</sup>Pb 剖面分布来看(图 3 和图 6),该峡道边坡区现代沉积过程在时间和空间上并不均匀稳定。

MJ96 柱样位于港区东侧水深约 35 m 的水道边坡上,从图 3 可以看出,<sup>137</sup>Cs 最大峰值位于 100 ~ 108 cm 层位,其对应的 1964 年以来平均沉积速率为  $(104 \pm 4) / (1994 - 1964) = 3.47 \pm 0.13$  cm/a;而在柱样底部 210 cm 层位,<sup>137</sup>Cs 污染层未穿透,仍有较高的浓度,对应的 1954 至 1964 年间平均沉积速率则远大于 10 cm/a。从<sup>210</sup>Pb 衰减剖面来看(图 6),0 ~ 100.5 cm 层段,去除低浓度事件后,据线性拟合直线求得平均沉积速率为 3.41 cm/a,与<sup>137</sup>Cs 法结果基本一致;而 100.5 cm 以下层段,<sup>210</sup>Pb 浓度不降反升,是典型的快速淤积而形成的剖面。

MJ114 柱样位于港区西侧水深约 30 m 的边坡上,从图 3 可以看出,<sup>137</sup>Cs 最大峰值位于 84 ~ 92 cm 层位,其对应的 1964 年时标沉积速率为  $(88 \pm 4) / (1994 - 1964) = 2.93 \pm 0.13$  cm/a;<sup>137</sup>Cs 起始值位于 92 ~ 100 cm 层位,其对应的 1954 年时标沉积速率为  $(96 \pm 4) / (1994 - 1954) = 2.40 \pm 0.10$  cm/a,为什么 1954 年时标沉积速率偏低呢?从<sup>210</sup>Pb 法的分析结果看(图 6),0 ~ 95 cm 层段沉积速率为 3.02 cm/a,如果考虑混合效应,实际速率应略小于 3.02,与<sup>137</sup>Cs 法的 1964 年时标沉积速率基本相符,但 95 cm 以下,<sup>210</sup>Pb 即为本底值,表明在此层位曾出现一沉积间断,由于 60 年代前后周边沉积环境并没有出现大的改变,边坡沉积出现停顿而造成沉积间断的可能性不大。设想一下,峡道

图6 马迹山港区沉积柱样<sup>210</sup>Pb剖面及其沉积速率Fig. 6 <sup>210</sup>Pb profiles and sedimentation rates of sediment cores in Majishan port

陡坡上若一直保持这么高的沉积速率 2.93 cm/a, 那么维持水深条件和边坡的剖面均衡是不可能的。而处于陡坡上的沉积浅表地层在自重力和某种突发外力(如风暴、地震等)诱导下, 滑坡、滑塌或强水流冲刷流失, 以达到维持水深和剖面均衡的目的, 极有可能是造成地层沉积间断的主要原因。柱样岩性(含水量、容重)在 90 cm 左右发生突变也证明这一点, 0~90 cm 含水量为 65%~70%, 90 cm 以下突减为 50%~55%, 干容重也相应地由 0.95~1.05 g/cm<sup>3</sup> 增大为 1.1~1.2 g/cm<sup>3</sup>。因此, <sup>137</sup>Cs 剖面在 1960 年前的部分已缺失, 而形成现在的陡坡图形, 它的起始值对应的并不是真正的 1954 年(可能是 60 年代初)。这种现象在其它峡道沿岸边坡区也常有出现<sup>[20,21]</sup>。

港区中部的沉积柱样<sup>210</sup>Pb剖面也同样反映了峡道边坡现代沉积过程的不均匀和不稳定特征(图6)。MJ49柱样, 水深 28 m, 除表层 40 cm 以上沉积速率为 0.7 cm/a, 下伏典型的快速沉积地层。MJ51柱样, 水深 40 m, 明显分为三个沉积阶段, 0~60 cm, 沉积速率 0.83 cm/a; 60~100 cm, 快速淤积阶段; 100 cm 以下, 沉积速率 2.52 cm/a。MJ78柱样, 水深 42 m, 上部 0~80 cm 沉积速率为 1.63 cm/a; 80~200 cm, 快速沉积阶段; 200 cm 以下即达本底值, 为一沉积间断侵蚀界面。

### 3 结语

从长江口-杭州湾毗连海区不同地貌部位的采样分析来看, 现代沉积速率具有明显的区域分布特征, 也间接反映了长江口泥沙输运扩散南下的路径。长江口南槽口门外的现代水下三角洲是长江来沙淤积的中心, 也是长江口泥沙再悬浮扩散南下的源地。以泗礁水道为界, 东侧的马鞍列岛区受外海高盐水的顶托, 长江来沙少, 淤积缓慢; 而西侧至长江口、杭州湾海岸交汇点(南汇咀)之间水域, 是长江泥沙扩散南下的主要通道。其中, 受长江冲淡水次级锋和杭州湾锋面输

沙影响的湾口浅滩区, 沉积速率约 3 cm/a; 位于中部的洋山港区及附近, 水深大于 20 m 的峡道区, 受强动力作用而处于侵蚀状态, 峡道以外的浅水区, 沉积速率为 0.3~1.6 cm/a; 马迹山港区, 位于典型的峡道沿岸淤泥质陡坡, 其沉积过程不稳定, 正常沉积速率为 0.7~3.4 cm/a, 但常有快速淤积和地层滑塌流失现象发生。因此, 在该海区兴建港口与海岸工程, 应充分考虑长江来沙的影响。

### 参考文献 (References)

- 1 Su Jilan, Wang Kangshan. Changjiang river plume and suspended sediment transport in Hangzhou Bay. *Continental Shelf Research*, 1989, 9(1): 93~111
- 2 薛鸿超. 长江口百年沉积特征. 第十七届海洋工程研讨会暨 1995 两岸港口及海岸开发研讨会论文集, 1995. 1437~1450. [Xue Hongchao. Century sedimentation feature of Yangtze River Estuary. The Proceedings of the 17<sup>th</sup> Chinese Ocean Engineering Conference, 1995. 1437~1450]
- 3 徐钢, 陈吉余. 长江河口海岸演变长周期波动的初步研究. 华东师范大学学报, 1997, 4: 64~70 [Xu Gang, Chen Jiyu. Study on the long-term cyclic variation of the Changjiang estuarine and coastal evolution. *Journal of East China Normal University*, 1997, 4: 64~70]
- 4 陈沈良. 崎岖列岛海区百年冲淤特征及其原因. 海洋通报, 2000, 19(1): 58~67 [Chen Shenliang. Erosion and accretion characteristics and their causes in the Qiqu archipelago in the recent century. *Marine Science Bulletin*, 2000, 19(1): 58~67]
- 5 万国江. <sup>137</sup>Cs 及 <sup>210</sup>Pb 方法湖泊沉积计年研究新进展. 地球科学进展, 1995, 10(2): 188~192 [Wan Guojiang. Progresses on <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb dating of lake sediments. *Advance In Earth Science*, 1995, 19(1): 58~67]
- 6 夏小明, 谢钦春, 李炎, 等. 东海沿岸海底沉积物中的 <sup>137</sup>Cs、<sup>210</sup>Pb 分布与沉积环境解释. 东海海洋, 1999, 4: 20~27 [Xia Xiaoming, Xie Qinchun, Li yan, et al. Distributions of <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb in the seabed cores along the coast of East China Sea and their implications to the sedimentation environment. *Donghai Marine Science*, 1999, 4: 20~27]
- 7 潘少明, 朱大奎, 李炎, 等. 河口港湾沉积物中的 <sup>137</sup>Cs 剖面及其沉积学意义. 沉积学报, 1997, 15(4): 67~71 [Pan Shaoming, Zhu Dakui, Li Yan, et al. <sup>137</sup>Cs profile in sediments in estuaries and its ap-

- plication in sedimentology. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(4): 67 ~ 71]
- 8 潘少明,王雪瑜. 海南岛洋浦港现代沉积速率. *沉积学报*, 1994, 12(2): 86 ~ 93 [Pan Shaoming, Wang Xueyu. Recent sedimentation rates in Yangpu harbour on Hainan Island. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(2): 86 ~ 93]
  - 9 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 ~ 113 [Ye Chongkai. Contrasting investigation by  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  methods for the present sedimentation rate of Poyang lake. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9(1): 106 ~ 113]
  - 10 Pennington W, *et al.* Observations on lake sediments using fallout  $^{137}\text{Cs}$  as a tracer. *Nature*, 1973, 242: 324 ~ 326
  - 11 Robbins T A, Edgington D N. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1975, 39: 285 ~ 304
  - 12 Olsen C R, Simpson H J, *et al.* Sediment mixing and accumulation rate effects on radionuclide depth profiles in Hudson estuary sediments. *Journal of Geophysical Research*, 1981, 86(11): 11020 ~ 11028
  - 13 Milan C S, *et al.* Assessment of the  $^{137}\text{Cs}$  method for estimating sediment accumulation rates: Louisiana salt marshes. *Journal of Coastal Research*, 1995, 11: 296 ~ 307
  - 14 Demaster D J, Mckee B A, Nittrouer C A, *et al.* Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurement for continental shelf deposits in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 1985, 4(1/2): 143 ~ 158
  - 15 Rowan J S, *et al.* Incorporation of chernobal-derived radiocaesium into reservoir sedimentary sequences. In: McManus J, Duck R W, eds. *Geomorphology and sedimentology of lakes and reservoirs*. Chichester: Wiley, 1993. 55 ~ 71
  - 16 Hirose K, Aoyama M, *et al.* Annual depositions of Sr-90, Cs-137 and Pu-239, 240 from the 1961 ~ 1980 nuclear explosions: A simple model. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 1987, 65(1):
  - 17 万国江, 林文祝, 黄荣贵, 等. 红枫湖沉积物  $^{137}\text{Cs}$  垂直剖面的计年特征及侵蚀示踪. *科学通报*, 1990, 19: 1487 ~ 1490 [Wan Guojiang, Lin Wenzhu, Huang Ronggui, *et al.* Dating feature and erosion implication of  $^{137}\text{Cs}$  profiles in sediments in Hongfeng Lake. *Chinese Science Bulletin*, 1990, 19: 1487-1490]
  - 18 胡方西, 胡辉, 谷国传. 长江河口锋面研究. 上海: 华东师范大学出版社, 2002. 135 [Hu Fangxi, Hu Hui, Gu Guochuan. *Studies of Fronts in the Changjiang Estuary*. Shanghai: East China Normal University Press, 2002. 135]
  - 19 冯应俊, 李炎, 谢钦春, 等. 杭州湾地貌及沉积界面的活动性. *海洋学报*, 1990, 12(2): 213 ~ 223 [Feng Yinjun, Li Yan, Xie Qinchun, *et al.* Geomorphology and interface activity of seabed in Hangzhou Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 1990, 12(2): 213 ~ 223]
  - 20 夏小明, 李炎, 李伯根, 等. 东海沿岸潮流峡道海岸剖面发育及其动力机制. *海洋与湖沼*, 2000, 31(5): 543 ~ 552 [Xia Xiaoming, Li Yan, Li Bogen, *et al.* Process and sediment dynamics of the coastal profile of the tidal channel adjacent to the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(5): 543 ~ 552]
  - 21 Smith J N, Walton A. Sediment accumulation rates and geochronologies measured in the Saguenay Fjord using the  $^{210}\text{Pb}$  dating method. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44: 225 ~ 240

## Modern Sedimentation Rates in the Contiguous Sea Area of Changjiang Estuary and Hangzhou Bay

XIA Xiao-ming<sup>1,2</sup> YANG Hui<sup>1,4</sup> LI Yan<sup>3</sup> LI Bo-gen<sup>1</sup> PAN Shao-ming<sup>2</sup>

1 (Key Lab of Submarine Geosciences, Second Institute of Oceanography, Hangzhou 310012)

2 (Key Lab of Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing 210093)

3 (Key Lab of Marine Environment Science, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005)

4 (College of Marine Environment, Chinese Ocean University, Qingdao Shandong 266003)

**Abstract** Using the  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  dating methods in the sediment cores, the modern sedimentation rates in the contiguous sea area of Changjiang estuary and Hangzhou bay are estimated. The data show the obvious spatial distribution of sedimentation. To the east of the Shijiao Channel, less Changjiang's sediment inputs lead to the lower sedimentation rates because of the intrusion of high salinity water. To the west of the Shijiao Channel, the sea area between Changjiang estuary and Hangzhou bay is the main passage of the Changjiang's sediment southward diffusion. In the shoal area at the mouth of Hangzhou bay, the sedimentation rate reaches 3cm/a because of the sediment transportation effects of Changjiang estuarine plume and the Hangzhou tidal front. In the sea area of the Yangshan Port, the tidal channel with more than 20m waterdepth is being eroded while the shallow areas off the tidal channel accumulate slowly with 0.3 ~ 1.6cm/a. In the Majishan Port, which is located at a muddy slope along the typical tidal channel, the sedimentation process is unstable. Although the normal sedimentation rate is 0.7-3.4cm/a, rapid accumulation and slipping of subbottom layer also frequently occur.

**Key words** modern sedimentation rate, distribution, Changjiang Estuary and Hangzhou Bay