

文章编号: 1000-0550(2007) 03-0445-11

# 长江口表层沉积物粒度时空分布特征

刘红 何青 王元叶 孟翊

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室 上海 200062)

**摘要** 结合近期长江口 558 个表层沉积物采样资料, 分析了长江口表层沉积物时空分布特性, 得到了近期长江口表层沉积物中值粒径和沉积物类型分布特征。横沙以上海域表层沉积物粒径洪枯季变化较小; 浑浊带海域洪季粗, 枯季细; 口外海域则枯季粗, 洪季细。横沙以上和口外海域沉积物类型洪枯季变化较小, 浑浊带海域沉积物类型变化较复杂。无论洪枯季北港表层沉积物最粗, 北槽次之, 南槽最小。表层沉积物大小潮变化较小, 两次采样平均差别为 9.7%; 沉积物年际变化随大通流量和输沙量的变化而变化。近十五年来, 长江口表层沉积物类型变化较大的区域主要是北支上段、南北港分流口、北槽和南槽浑浊带海域, 主要与河槽的自然演变和人类活动有关。结合 Peijunp 新三角图对长江口各沉积动力环境进行分区, 对比各沉积环境亚区的粒度特征, 并对黄河口、长江口、珠江口表层沉积物粒度参数进行对比。

**关键词** 长江口 表层沉积物 粒度 时空分布

**第一作者简介** 刘红 男 1978 年出生 博士研究生 河口海岸水动力和泥沙运动

**通讯作者** 何青 qinghe@sklec.ecnu.edu.cn

**中图分类号** P512.2 P543.63 **文献标识码** A

## 1 前言

粒度及其分布特征是沉积物的基本性质, 粒度分析也是揭示沉积动力过程的主要手段之一。沉积物粒度主要受搬运介质、水动力强弱和搬运方式等因素的控制, 并且与沉积环境息息相关, 因而众多学者利用沉积物粒度参数之间的关系进行沉积环境的判别, 推断沉积物发生沉积时的动力条件<sup>[1-5]</sup>。研究长江口现代沉积物粒径和组分的时空分布, 及其在不同沉积环境和不同动力作用下的粒度分布特征, 有助于探讨河口沉积动力机制, 对进一步深入研究长江口现代沉积动力作用和沉积环境具有重要的意义。

对于沉积物粒度, 人们往往更多地关注其空间上(沿岸和横向上)的分布变化及其与沉积环境的响应, 而时间上的变化较少引起注意, 原因可能是人们通常认为粒度在时间上的变化没有空间上变化大, 而且长期的取样资料积累不够。陈沈良等<sup>[6]</sup>对淤泥质潮滩长期取样的研究发现, 由于潮滩的冲淤变化, 其粒度也相应变化。戴志军等<sup>[7]</sup>在分析长江口南槽沉积物粒度特征时发现, 大潮期间的沉积物粒度与中、小潮期间有所不同。因此仅根据一次取样不能全面

地认识表层沉积物的分布特征。长江口径流有明显的洪枯季变化, 潮流有大小潮变化, 而且汉道众多, 滩槽泥沙交换频繁, 地形冲淤多变。为此, 了解长江口表层沉积物粒度的时空变化特征就显得十分必要。

本文将在 2003—2005 年长江口 558 个表层沉积物采样资料分析的基础上, 分析长江口表层沉积物分布的洪枯季、大小潮和年际变化特征, 对比 15 年来长江口表层沉积物分布特性的变化及其原因, 并对长江口主要的沉积环境进行划分, 探讨其粒度分布特征。

## 2 采样区概况及分析方法

长江口是一个典型的分汊型河口, 在徐六泾以下形成“三级分汊, 四口入海”的格局(图 1)。长江口又是中等强度的潮汐河口, 口外为正规半日潮, 口内为非正规半日浅海潮, 口门附近中浚站平均潮差 2.66 m, 口内吴淞站平均潮差 2.21 m。

据大通站资料, 年径流总量 9051 亿 m<sup>3</sup> (1950—2000), 径流量有明显的季节变化, 洪季 5~10 月流量占全年径流量的 70.8%, 流量高峰在 7~8 月。枯季 1 月和 2 月平均径流量分别占 3.2% 和 3.4%<sup>[8]</sup>。

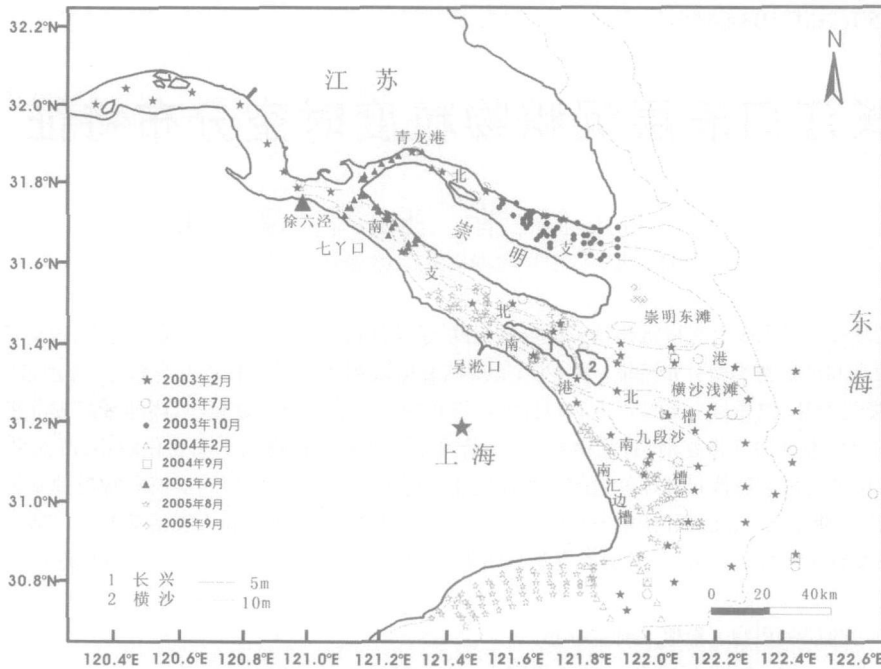


图 1 长江口形势及采样站位图

Fig 1 Sketch map of the Changjiang Estuary and the sample locations of surface sediment

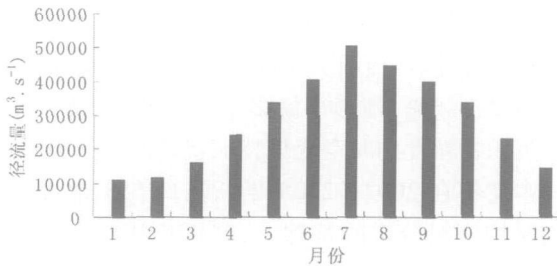


图 2 大通站月平均流量 (1950—2001)

Fig 2 Month-averaged discharge of Datong Station (1950—2001)

由于水量大,大通站年平均输沙量达 4.33 亿 t (1950—2000),其中洪季输沙量约占全年的 87%,7 月输沙量最大,占全年的 21%,2 月输沙量最小,不足全年的 0.7%。2003 年全年输沙 2.06 亿 t 相对 2002 年的 2.75 亿 t 减少了大约 25%。悬沙年平均粒径为 17 μm,2003 年实测 10 μm<sup>[9,10]</sup>。近期大通站径流量、输沙量和悬沙中值粒径统计如下(表 1):

沉积物用“筒式”采样器采集,具体采样时间和站位见图 1。在实验室将采集的沉积物样品取出 5~

表 1 大通站径流量、输沙量与悬沙中值粒径

Table 1 Water discharge, sediment discharge and suspended sediment D<sub>50</sub> at Datong Station

径流量 / 亿 m <sup>3</sup>		输沙量 / 亿 t			悬沙中值粒径 / μm			
多年平均 (1950—2000)	2003	2004	多年平均 (1950—2000)	2003	2004	多年平均 (1976—2000)	2003	2004
9051	9248	7884	4.33	2.06	1.47	17	10	8

10 g 放入 5 ml 的烧杯中,先加入 10 ml 浓度为 10% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 去除样品中的有机质,微热后静置 24 h 再加入 10 ml 浓度为 4% 的六偏磷酸钠 ([NaPO<sub>3</sub>]<sub>6</sub>),然后用超声波振荡对样品进行分散处理后,经 Coulter (LS-100Q) 激光粒度仪测试,分析沉积物粒径;分选系数 (σ<sub>1</sub>)、偏度 (S<sub>K1</sub>) 和峭度 (K<sub>G</sub>) 由 Folk 等<sup>[11]</sup> 公式得到。粘土、粉砂和砂的粒级分类采用国际通用的 φ 分类标准,沉积物采用 Shepard<sup>[4]</sup> 方法命名。

### 3 表层沉积物时空分布

#### 3.1 洪枯季对比

选取 2003 年 2 月和 2003 年 7 月采集的样品分析长江口枯季和洪季表层沉积物粒度分布特征(图 3)。结果表明:总体上从徐六泾到口外,表层沉积物中值粒径逐渐变小,由江阴附近的 217.8 μm (2003 年 2 月资料)减小到口门附近的 10 μm 左右,沉积物

类型由砂逐渐变为粘土质粉砂, 长江口表层沉积物中值粒径和沉积物类型在洪枯季没有根本性的变化 (表 2)。

浑浊带海域 (横沙以下, 10 m 等深线以内) 北港表层沉积物粒径最粗, 汊道平均中值粒径枯季为 126.2  $\mu\text{m}$ , 洪季为 127.4  $\mu\text{m}$ , 沉积物类型主要以砂和

粉砂质砂为主; 北槽其次, 汊道平均中值粒径枯季为 48.4  $\mu\text{m}$ , 洪季为 59.8  $\mu\text{m}$ , 沉积物类型以粉砂、砂质粉砂和砂为主; 南槽最细, 汊道平均中值粒径枯季为 14.2  $\mu\text{m}$ , 洪季为 17.4  $\mu\text{m}$ , 沉积物类型主要是粘土质粉砂。10 m 等深线以外的口外海域则北槽较大, 沉积物类型以粘土质粉砂为主。

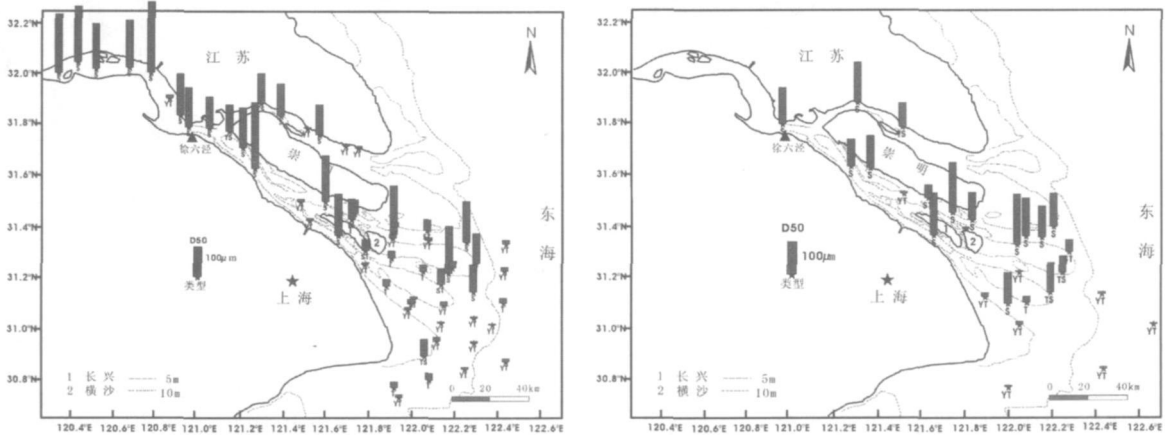


图 3 枯季和洪季表层沉积物类型及中值粒径分布

Fig. 3 Types and  $D_{50}$  distribution of surface sediment in the dry season and flood season

表 2 长江口表层沉积物中值粒径洪枯季对比

Table 2 Contrast of surface sediment  $D_{50}$  between dry season and flood season in the Changjiang Estuary

	江阴—徐六泾 / $\mu\text{m}$	徐六泾—长兴 / $\mu\text{m}$	浑浊带海域 / $\mu\text{m}$			10 m 等深线~ 122°E 之间 / $\mu\text{m}$			122°E 以外 / $\mu\text{m}$
			北港	北槽	南槽	北槽外	北槽外	南槽外	
枯季	197.6	128.7	126.2	48.4	14.2	16.5	22.2	12.1	/
洪季	/	120.0	127.4	59.8	17.4	/	8.8	8.0	6.4

北支受潮流作用的影响, 上段粒径较粗, 以砂质粉砂和砂为主; 下段较细, 沉积物类型以粘土质粉砂、砂质粉砂、粉砂质砂为主。长江口毗邻的杭州湾海域表层沉积物粒径较细, 沉积物类型以粘土质粉砂为主。无论洪季还是枯季, 北港口外横沙浅滩附近区域存在一个粒径较大的“粗砂区”, 沉积物类型以砂为主。

浑浊带海域, 洪季表层沉积物粒径比枯季粗, 尤以横沙浅滩外沿的“粗砂区”表现更为明显 (表 2)。南槽主槽枯季时主要以粘土质粉砂为主, 洪季也有部分区域有砂的分布, 而口外海域 (10 m 等深线以外) 枯季时表层沉积物中值粒径为 12~22  $\mu\text{m}$ , 洪季时为 6~8  $\mu\text{m}$ , 洪季沉积物中值粒径比枯季时有所减小, 而且枯季时南支三条入海汊道枯季表层沉积物差异明显, 洪季时差别较小 (表 2)。上述差异主要是由于枯季风浪掀沙作用使口外表层沉积物中细颗粒物

再悬浮, 因而表层沉积物较粗; 而洪季长江径流携带大量的悬沙在口外落淤, 表层沉积物粒径较细。口外表层沉积物中值粒径的差异说明了口外海域“洪淤枯冲”的特性, 无论洪枯季, 口外海域表层沉积物类型均以粘土质粉砂为主。

洪季长江下泄流量比枯季大得多, 落潮动力也相应增强。与枯季相比, 洪季表层沉积物中砂和粉砂的含量增加, 粘土的含量减少, 其中北港以砂的含量增加最为明显, 南槽粉砂的含量增加较明显 (图 4)。说明北港无论是洪季还是枯季水动力作用较强, 表层沉积物较粗。由于洪季下泄径流量大, 南槽沉积物中粉砂的含量增加, 砂的含量部分增加, 粘土的含量显著减少。北支青龙港附近砂的含量洪季比枯季有明显的增加。而口外海域洪季粘土的含量增加, 粉砂的含量降低, 砂的含量减少, 说明洪季时有更多的细颗粒物携带进入 10 m 等深线以外的海域沉积下来。

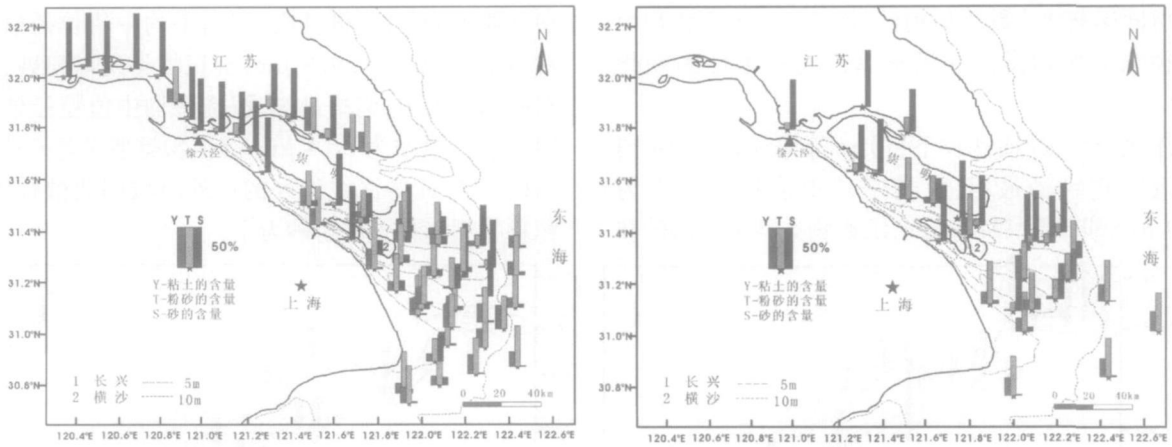


图 4 枯季和洪季表层沉积物组分对比

Fig 4 Comparison of surface sediment composition between dry season and flood season

为对比长江口主要水道表层沉积物中值粒径洪枯季差异,选取 2003 年 2 月(枯季)和 7 月(洪季)长江口徐六泾—北港口(至 10 等深线附近)主槽沿程的表层沉积物中值粒径进行对比(图 5),整个断面洪季的中值粒径平均值比枯季略细,枯季为 127.1  $\mu\text{m}$ ,洪季为 108.9  $\mu\text{m}$ ;而在浑浊带海域枯季表层沉积物中值粒径平均为 113.6  $\mu\text{m}$ ,洪季平均为 121.2  $\mu\text{m}$ ,洪季比枯季偏粗约 7% 左右。

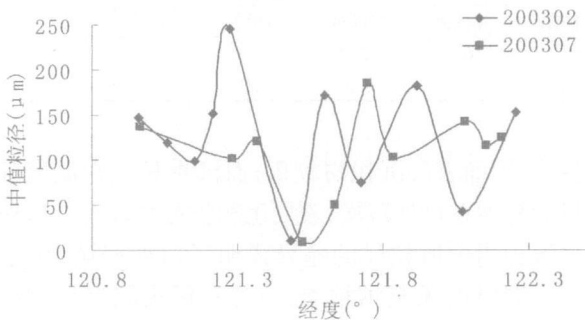


图 5 徐六泾—北港口外表层沉积物中值粒径洪枯季对比

Fig 5 Comparison of surface sediment  $D_{50}$  between dry season and flood season from Xuliqing to outer of the North Channel

通过分析对比,我们对长江口洪枯季表层沉积物的粒度及组分特征得到以下认识:

(1) 从江阴到口外,表层沉积物中值粒径逐渐变小。就主槽而言,横沙以上河段无论洪枯季均较粗,沉积物类型以砂为主。最大浑浊带海域枯季时粒径较细,洪季时较粗,沉积物类型以粉砂、粘土质粉砂和砂为主。口外海域则枯季粗,洪季细,沉积物类型以粘土质粉砂为主。北支上段以粗颗粒为主,沉积物类

型主要是砂质粉砂和砂;北支下段以细颗粒为主,沉积物类型主要是粘土质粉砂、砂质粉砂、粉砂质砂;洪季时北支上段表层沉积物粒径变粗。杭州湾海域表层沉积物整体较细,沉积物类型以粘土质粉砂为主。

(2) 无论洪枯季北港表层沉积物最粗,北槽次之,南槽最细。

(3) 横沙以上(横沙的河口上游河段)沉积物以砂组分为主,横沙以下沉积物以粉砂组分为主。横沙以上和口外海域表层沉积物类型洪枯季差异不大,其中横沙以上沉积物中粉砂和砂组分洪季比枯季有明显的增加,口外海域洪季粘土的含量增加,粉砂和砂的含量减少。

### 3.2 大小潮变化

2003 年 7 月部分野外观测站点大小潮分别采集表层沉积物样品(图 6),据此讨论大小潮表层沉积物粒径与组分特征的变化。与大潮相比,小潮表层沉积物粒径总体差别不大,个别站点有差异。

选取 2003 年 7 月大小潮分别采集的表层沉积物进行对比分析,大部分站点表层沉积物粒径和类型与大潮相同。经计算,大小潮两次采样的差值平均为 9.7% (图 7,站号见图 6),主要表现为小潮期间粘土和粉砂的含量相对增加,砂的含量稍有减少。分析表明,在南支—北港动力作用强劲的区域,沉积物相对稳定,中值粒径差别小。

综合以上分析,大、小潮表层沉积物粒度差别不大,总体变化的趋势不变。但由于个别区域大小潮水流条件有差异,如北港中部动力作用大潮和小潮小明显不同,可能会引起表层沉积物随潮型变化。南槽以下河段,与毗邻的南汇滩地之间滩槽泥沙交换频繁<sup>[12]</sup>,

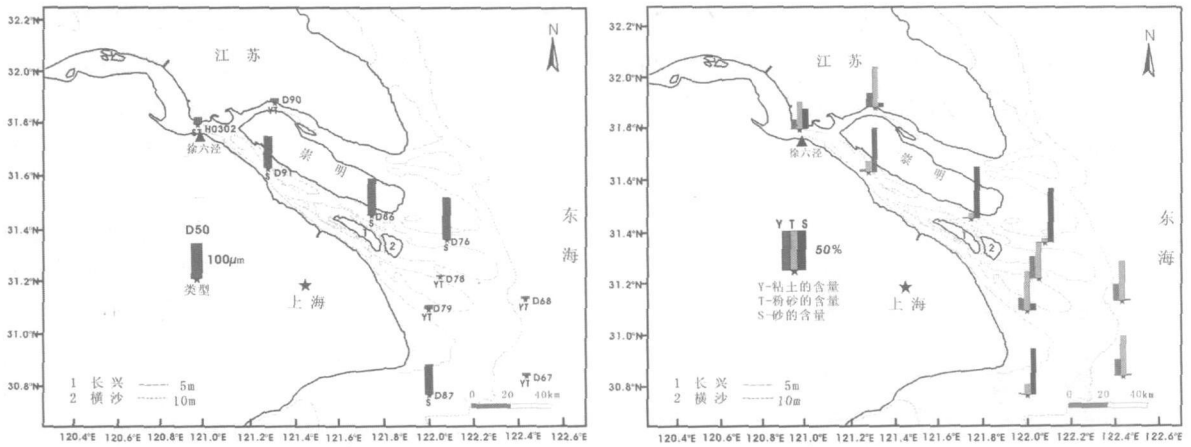


图 6 2003 年 7 月表层沉积物类型、中值粒径和沉积物组分(小潮)

Fig 6 Types,  $D_{50}$  and composition distribution of surface sediment during neap tide in July, 2003

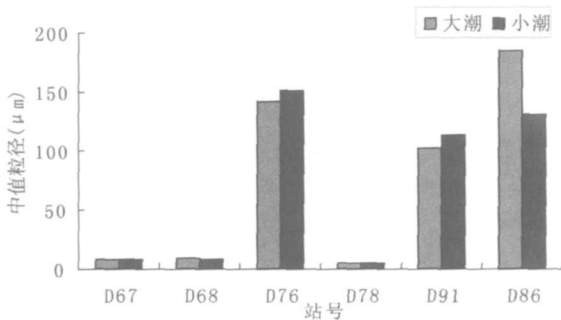


图 7 2003 年 7 月表层沉积物中值粒径大小潮对比

Fig 7 Contrast of surface sediment  $D_{50}$  between spring and neap tide in July, 2003

大小潮之间的差异较大; 北支上段因涌潮影响的强度有差异, 因而表层沉积物粒径在大小潮有一定波动; 其余站点水动力、泥沙场相对较稳定, 因而表层沉积物粒径大小有波动而分布的总体趋势不变。在水动力强劲的区域, 沉积物的粒径相对较稳定。

### 3.3 年际变化

选取 2003 年 2 月和 2004 年 2 月采样资料对比分析表层沉积物粒径年际变化。与 2003 年 2 月相比, 2004 年 2 月表层沉积物中值粒径“从徐六泾向口外逐渐变细”的趋势不变, 但各汉道有差别(图 8)。长兴岛两侧的南北港海域, 北港粒径有所增加(由 2003 年的  $75.7 \mu\text{m}$  减小到 2004 年的  $177.1 \mu\text{m}$ ), 南港减小(由 2003 年的  $155.7 \mu\text{m}$  减小到 2004 年的  $108.9 \mu\text{m}$ ); 青龙港附近的 D122 中值粒径相差不大(2003 年为  $110.2 \mu\text{m}$ , 2004 年为  $107.5 \mu\text{m}$ ), 但 2004 年 2 月砂的含量明显增加, 沉积物类型由粉砂质砂变为砂。

总体上, 横沙以上海域表层沉积物中值粒径变化相对较小, 沉积物类型也基本相同。

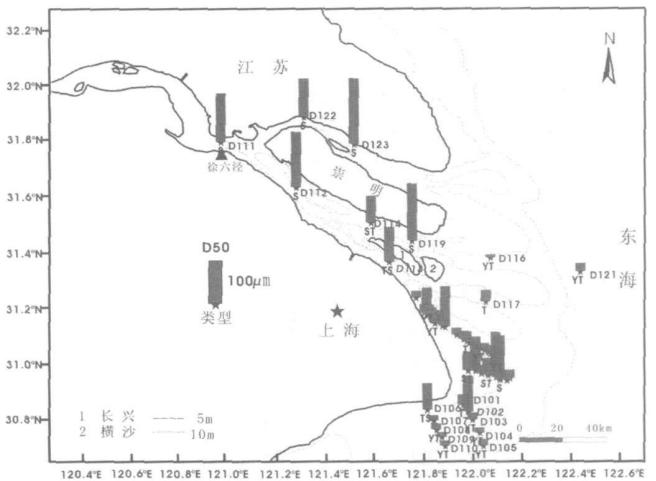


图 8 2004 年 2 月采样站位及中值粒径分布

Fig 8 Locations and  $D_{50}$  distribution of surface sediment sample, February, 2004

选取徐六泾—北港口外一线(图 9), 对比 2003 年和 2004 年枯季长江口表层沉积物中值粒径的年际变化, 所选取的比较站点均与 2003 年 2 月站位相同。徐六泾—北港口外表层沉积物中值粒径总体由大到小的趋势不变。但 2004 年 2 月表层沉积物中值粒径比 2003 年 2 月总体偏小, 比 2003 年 2 月平均减少 43%。2004 年长江干流上各站径流量和输沙量大多比 2003 年有不同程度的下降, 因此, 2004 年属“平水少沙”年<sup>[10]</sup>。据大通站资料(表 1), 2004 年大通站的径流量与多年平均值相比偏少 12.9%, 比 2003 年偏小 14.7%; 2004 年大通站输沙量比多年平均偏少

66.1%，比 2003 年偏小 28.6%；悬沙中值粒径比多年平均减少 53.9%。2004 年长江流域的来水来沙量减少，是长江口 2004 年表层沉积物总体上比 2003 年偏细的主要原因。

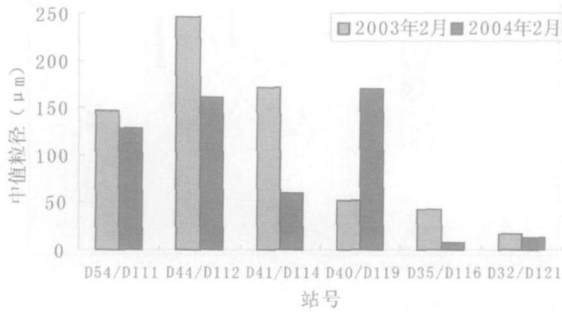


图 9 2003 年 2 月与 2004 年 2 月徐六泾—北港口外表层沉积物中值粒径对比

Fig 9 Comparison of surface Sediment  $D_{50}$  from Xu liu jing to outer of the North Channel, February, 2003 vs February, 2004

2004 年枯季表层沉积物组分 (图 10) 延续了 2003 年枯季的基本特征, 横沙以上的海域砂的含量高, 横沙以下海域粉砂的含量较高。杭州湾海域除 5 m 等深线以内的近岸破波带内砂的含量较高以外, 其余站点均以粉砂为主, 粘土次之。

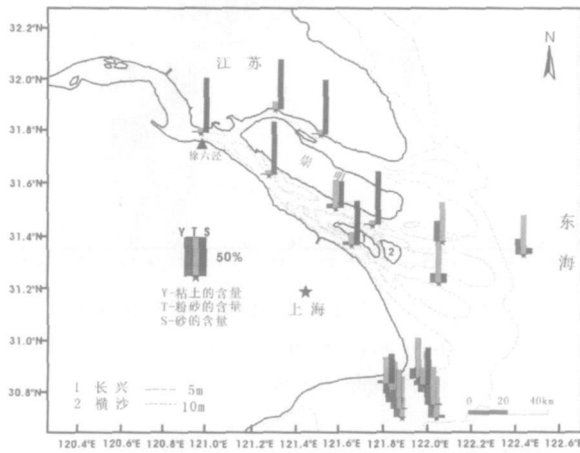


图 10 2004 年 2 月表层沉积物组分特征

Fig 10 Characteristics of surface sediment composition February, 2003

以上分析说明, 长江口表层沉积物中值粒径的年内变化与上游来水来沙量密切相关。2003 年大通站来水来沙丰沛, 枯季表层沉积物粒径较粗, 而 2004 年来水来沙相对较少, 因而枯季表层沉积物粒径较细。但长江口地区表层沉积物的长期连续观测资料有限, 长江口表层沉积物随大通流量和输沙量变化的规律

还需要更全面的资料支持和更深入的研究。

### 3.4 表层沉积物中值粒径近十五年对比

众多学者对长江口表层沉积物的分布特征做了大量相关研究<sup>[13-15]</sup>, 所用资料是很多年积累的表层沉积物资料的集成, 而且大多是上世纪八十年代采集的样品。近二十年来, 长江河口水文、泥沙、地貌状况已经有了一定的变化, 了解近期长江口表层沉积物分布特征就显得尤为必要。本文根据 2003—2005 年在长江口采集的 558 个表层沉积物样品, 并综合近期横沙浅滩表层沉积物分布特征<sup>[16]</sup>, 绘制了长江口表层沉积物中值粒径和沉积物类型分布图 (图 11, 12)。

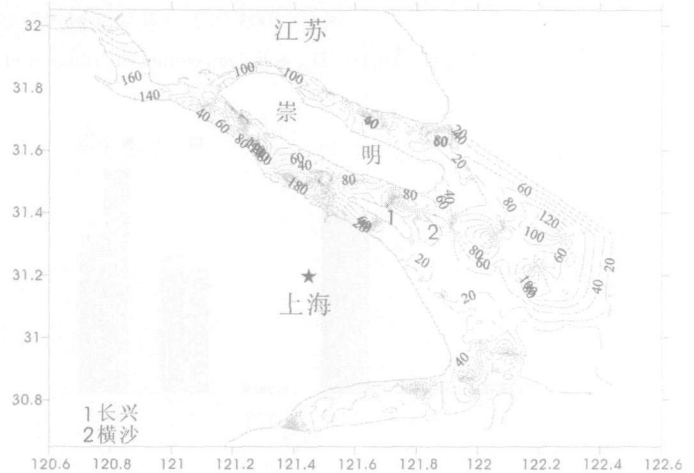


图 11 长江口表层沉积物中值粒径等值线图 (单位:  $\mu\text{m}$ )

Fig 11 Isogram of surface sediment  $D_{50}$  in Changjiang Estuary

由图 12 得到, 长江口表层沉积物类型主要有砂、粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂与粘土质粉砂。

细砂主要分布在江阴—横沙以上的河段、北港下段、横沙浅滩、崇明东滩、南汇嘴近岸等区域, 其他河道有零星分布;

粉砂质砂主要分布在北支上段、下段沙体和潮流脊、南支横沙以上的河段, 南汇嘴、九段沙浅滩、横沙东滩、北港、崇明东滩均有分布;

砂质粉砂分布在扁担沙下段、北支上段、北支下段沙体和潮流脊、北港下段、崇明东滩和南汇东滩;

粉砂主要分布在横沙浅滩、北港口外、北槽、南槽上段、九段沙、南汇嘴外沿;

粘土质粉砂是河口边滩、沙体外围以及横沙一口外广泛分布的一种沉积物类型。

将本文研究成果与刘苍宇等<sup>[15]</sup>的研究成果 (沉积物样品于 1990 年前后采集) 比较 (图 13), 中值粒径变化较大的主要集中在以下几个区域: 北支青龙港

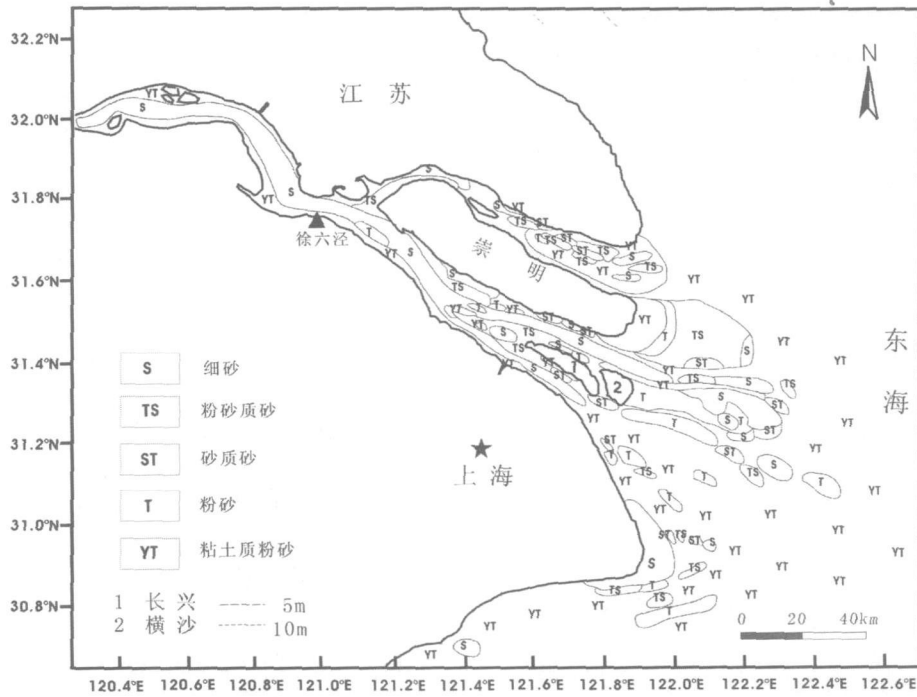


图 12 近期长江口表层沉积物类型

Fig 12 Surface sediment types in the Changjiang Estuary recently

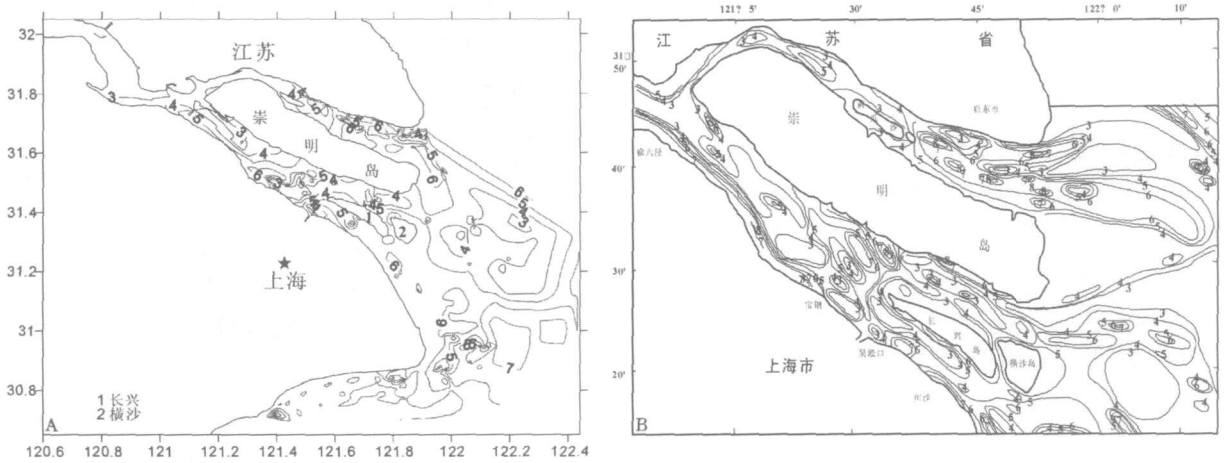


图 13 长江口表层沉积物中值粒径等值线图 (单位:  $\Phi$ )

(A 为本文得到, B引自文献<sup>[15]</sup>)

Fig 13 Isograms of  $D_{50}$  of surface sediment in Changjiang Estuary (Unit  $\Phi$ )

以上、南支白茆沙南水道、吴淞口附近河段、北港上段、南港上段及浑浊带海域, 近十五年来变化的量值统计如下(表 3)。表层沉积物类型变化较大的区域主要是在北支上段、南北港分流口、北槽和南槽浑浊带海域。

上述这些差异产生的原因可能有以下几个方面:

(1) 河槽的自然演变。因为进入的径流量少, 北支日益淤浅, 河槽已逐渐萎缩, 大潮时涌潮作用加强,

北支上段沉积物变粗; 南北港分流口近百年来冲淤演变剧烈, 地形变化复杂, 表层沉积物也会随之变化; 南槽近年来涨潮优势流加强, 沉积物变细。以上这些差异是河槽自然演化的结果。

(2) 人工干预。北槽深水航道建设以后, 对北槽表层沉积物分布有了较大的改变, 因航道加深, 水流通畅, 沉积物中值粒径也明显变粗。

表 3 近十五年来表层沉积物中值粒径变化

Table 3 Change of the surface sediment  $D_{50}$  in recent 15 years

区域	十五年前(文献 <sup>[15]</sup> )	近期	变化
北支上段(分流口—青龙港)	3~4 $\Phi$	3 $\Phi$	变粗
南支	白茆沙南水道	4~5 $\Phi$	变细
	吴淞口附近	5~7 $\Phi$	变细
北港上段(横沙以上)	3~4 $\Phi$	4~5 $\Phi$	变细
南港上段(横沙以上)	3~7 $\Phi$	5~6 $\Phi$	变细
浑浊带	北港	3~4 $\Phi$	变粗
	北槽	5~7 $\Phi$	变粗
	南槽	4~6 $\Phi$	变细

## 4 动力沉积环境分区

丹麦学者 Pejrup 等<sup>[3]</sup>提出了新的三角图,从沉积物的结构组成及其反映的水动力强度来区分现代河口环境及其不同的亚环境。Pejrup 等以砂的百分含量为 10%、50%、90% 将沉积物分为 A、B、C、D 四大类,然后用  $\frac{\text{粘土}}{\text{粉砂} + \text{粘土}}$  的百分比为 20%、50%、80% 的三条辐射线将沉积物分为 I、II、III、IV 四类。前者反映沉积物的基本粒度组成和分选程度,进而反映介质的流动强度和混浊度,砂的含量越大,介质的流动强度越大;而后者则反映递变悬浮组分(粉砂)与均匀悬浮组分(粘土)的量比,是介质扰动度的反映,其值越低(I、II 区),说明水动力作用越强。

Pejrup 三角图有重要的成因意义和显著的解释功能<sup>[17]</sup>。A、B、C、D 反映沉积物中砂、粉砂的含量比,取决于物源区的距离、搬运介质的强弱。I、II、III、IV 代表了沉积物的水动力学特征。I、II 类属悬浮组分均为粘土的情况,III 代表悬浮组分均为粉砂的情况,代表扰动的环境,IV 类介于其间。Pejrup 三角图中 16 个区分别代表不同的沉积动力环境,对河口亚环境具有相当好的分辨能力<sup>[18]</sup>。

2003 年 2 月表层沉积物资料是近期野外观测中采样范围最大的一次,也是准同步采集的样品,代表性较强。根据上述原理和方法,将 2003 年枯季长江口表层沉积物资料点绘于 Pejrup 三角图中(图 14),所有的点均落在 I、II 动力区,说明长江口水动力作用较强,但不同的环境水动力条件也有差异,大致可以分为以下四种沉积环境:河口主槽、河口浅滩、浑浊带主槽、河口边滩和口外。

根据径流和潮流相互作用的强弱,将长江口分为径流作用为主(江阴—徐六泾)、径潮流相互作用(徐六泾—长兴以及浑浊带海域)、潮流作用为主(北支

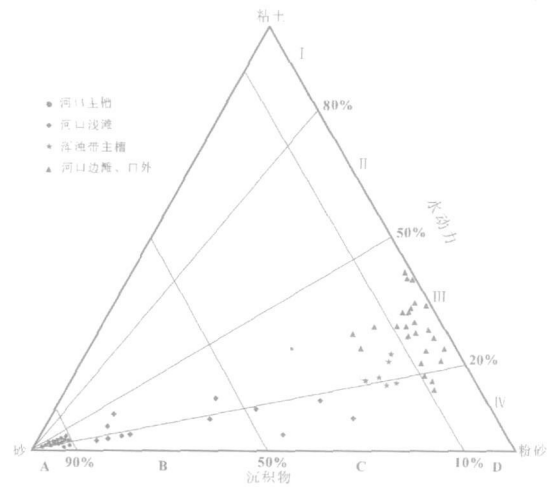


图 14 200302 长江口表层沉积物 Pejrup 三角图

Fig. 14 Pejrup triangular diagram of surface sediment in Changjiang Estuary, February 2003

和口外)等几个动力区,各个动力区内又根据 Pejrup 三角图结合地貌形态划分为若干个沉积环境亚区。将 2003—2005 年采集的表层沉积物样品在各沉积环境亚区内求取平均值,分别讨论各沉积环境亚区表层沉积物的粒度特征(表 4),从而能更好的了解长江口各沉积环境亚区在不同的动力条件下表层沉积物的粒度分布及粒度参数特征。

对长江口各沉积环境区表层沉积物粒度特征的分析表明:

(1) 长江口主槽沉积物较粗,沉积物类型以砂、粉砂质砂、粉砂为主,而南槽主槽较细,以粘土质粉砂为主;浑浊带、边滩和口外海滨较细,以粘土质粉砂和粉砂为主。

(2) 横沙以上区域主槽沉积物比附近浅滩和沙体粗;浑浊带海域北港主槽沉积物粗于附近浅滩,北槽和南槽主槽沉积物比附近浅滩细;北支下段主槽沉积物要比沙洲和潮流脊细。

(3) 从粒度参数特征反映,南支河段沙体中,扁担沙和中央沙从沉积物粒径、粒度参数和粒度组分上看具有更多的相似性,其沉积动力特征相近,白茆沙的沉积动力条件似乎与二者不同。

(4) 在浑浊带海域,主槽和浅滩的表层沉积物中值粒径均表现为“北粗南细”的特征。由北向南,主槽和浅滩的表层沉积物中砂的含量逐渐减少,粘土和粉砂的含量逐渐增加,体现了浑浊带海域动力条件由北向南逐渐减小的特征。



表 4 长江口各动力沉积环境的粒度特征

Table 4 Grain-size characteristics of dynamic sediment environment in the Changjiang Estuary

动力区	沉积环境亚区	中值粒径 / $\mu\text{m}$	分选	偏度	峭度	粘土 %	粉砂 %	砂 %	沉积物类型		
径流	江阴—徐六泾	主槽	197.61	0.74	0.23	1.97	1.71	3.93	94.36	S	
		边滩	12.50	2.18	0.07	0.88	23.94	61.73	14.33	YT	
		主槽	179.40	1.42	0.45	2.18	6.33	15.46	78.21	S, TS	
	徐六泾—长兴	边滩	边滩(北)	81.83	2.04	0.53	1.60	10.22	28.16	61.63	TS
			边滩(南)	13.58	1.88	0.23	1.01	23.41	71.77	4.82	T, YT
		沙体	白茆沙	162.03	1.11	0.47	3.46	4.31	6.62	89.08	S
			扁担沙	98.72	1.53	0.49	1.91	6.00	22.65	71.35	TS, S
	径流和潮流	沙体	中央沙	107.38	1.59	0.49	1.59	7.51	21.65	70.84	S, TS
			沙体外围	31.33	1.92	0.37	0.93	23.35	54.15	22.50	YT, ST, TS
			边滩	29.43	1.89	0.23	1.03	23.93	62.98	13.09	YT, T, TS, ST
浅滩		崇明东滩	74.12	1.46	0.46	1.81	7.11	36.59	56.31	TS, S, ST	
		横沙浅滩	67.90	1.37	0.38	1.68	7.84	46.75	45.41	S, T, ST	
浑浊带		九段沙	18.83	2.11	0.24	0.97	21.89	66.36	11.74	T, YT	
		北港主槽	148.46	1.29	0.45	1.59	4.31	14.01	81.68	S	
		主槽	51.31	1.80	0.40	1.26	13.27	54.02	32.71	T, ST, S	
北支上段		主槽	北槽主槽	13.17	1.95	0.18	0.94	28.52	65.65	5.83	YT, T
			南槽主槽	29.05	1.90	0.42	1.13	15.96	68.88	15.17	T, Y, T, ST, TS
	边滩	主槽	92.46	1.63	0.55	1.66	8.39	26.46	65.15	S, ST, TS	
		边滩	13.27	2.12	0.14	0.88	29.40	59.33	11.27	YT, ST	
北支下段	主槽	主槽	14.86	2.00	0.26	0.87	26.29	67.59	6.13	YT	
		沙洲	101.76	2.10	0.61	1.53	12.17	26.55	61.28	S, TS, ST	
	潮流脊	87.68	2.20	0.60	1.07	13.14	30.02	56.85	S, TS, ST		
	口外	12.73	1.84	0.23	0.95	26.41	69.44	4.14	T, YT		

### 5 中国主要河口沉积物粒度对比

将黄河口、长江口、珠江口这三大河口粒度参数相互比较发现(表 5), 长江口中值粒径平均值最大, 为 70.7  $\mu\text{m}$ , 黄河口平均中值粒径为 49.8  $\mu\text{m}$ , 珠江口平均中值粒径最小, 只有 12.2  $\mu\text{m}$ 。长江口表层沉积物类型主要以砂、粘土质粉砂、粉砂质砂为主; 黄河口表层沉积物类型主要以粉砂质砂、粉砂质粘土、粘土质粉砂为主; 珠江河口表层沉积物类型主要以粘土质粉砂、粉砂、砂质粉砂为主。

由沉积物类型和各组分含量的对比分析发现, 三大河口由北往南, 粘土的含量逐渐增高, 以珠江河口最大, 粉砂含量以黄河口最大, 砂的含量长江口最大。

长江口以粉砂和砂组分为主, 其中砂的含量达到 41.5%, 黄河口和珠江口以粉砂组分为主。长江口表层沉积物分选最好, 黄河口其次, 珠江口最差。黄河口沉积物偏度最大, 长江口其次, 珠江口最小。长江口沉积物峭度最大, 黄河口其次, 珠江口最小。

粘土是能直接搬运到河口区以远的物质, 大多以冲泄质形式输送到河口。粘土粒级是研究沉积物物源的重要手段, 粘土含量的高低代表了三大流域岩石风化作用的强弱。据研究, 黄河沉积物 90% 来自中游的黄土高原, 长江沉积物 80% 来自川江, 珠江沉积物 70% 来自西江<sup>[21]</sup>。各物源区气候条件的不同引起粘土含量的差异, 上述三大河口粘土含量特征说明纬度越低, 水热状况越好, 岩石的风化作用越完全, 粘

表 5 黄河口、长江口、珠江口表层沉积物粒度参数

Table 5 Grain-size parameters of surface sediment in Yellow River Estuary, Changjiang Estuary and Pearl River Estuary

	中值粒径 / $\mu\text{m}$		分选系数		偏度		峭度		粘土	粉砂	砂	主要沉积物类型
	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	平均	平均		
黄河口飞雁滩	13~115	49.8	1.22~2.69	2.0	-0.5~3.6	1.3	0.9~1.7	1.1	10.5	74.4	15.1	TS, YT, TY
长江口	5~289	70.7	0.46~2.65	1.7	-0.1~0.8	0.4	0.7~4.4	1.6	16.4	42.1	41.5	S, YT, TS
珠江口磨刀门	9~18	12.2	1.61~3.07	2.1	-0.3~0.3	/	0.7~1.1	/	25.5	57.9	16.6	YT, T, ST

\* 黄河口飞雁滩资料引自文献<sup>[19]</sup>, 其中粘土、粉砂、砂的含量为刁口流路滩涂资料, 引自文献<sup>[20]</sup>; 珠江口磨刀门资料引自文献<sup>[21]</sup>

土的含量越高。沉积物中砂的含量主要反映水动力条件的强弱,三大河口砂的含量特征表明,长江口水动力作用最强,黄河口其次,珠江口水动力作用最小。

## 6 结论

基于2003—2005年长江口表层沉积物采样资料分析了长江口表层沉积物时空分布特征,得到了近期内长江口表层沉积物中值粒径和沉积物类型分布特征。主要有以下几点认识:

横沙以上海域表层沉积物粒径洪枯季变化较小,浑浊带海域表层沉积物枯季细洪季粗,口外海域则枯季粗洪季细。横沙以上海域和口外沉积物类型洪枯季基本不变,浑浊带海域沉积物类型变化较复杂。横沙以上海域表层沉积物中粉砂和砂组分洪季比枯季有明显的增加,口外海域洪季粘土的含量增加,粉砂和砂的含量减少。无论洪枯季表层沉积物粒径北港最粗,北槽次之,南槽最小。

表层沉积物粒径大小潮变化较小,大小潮两次采样的中值粒径差别9%。沉积物粒径年际变化随大通流量的变化而变化,且横沙以上海域表层沉积物中值粒径变化相对较小,而浑浊带海域因为水动力过程较复杂,部分站点表层沉积物粒度变化较大。

近十五年来,长江口表层沉积物类型变化较大的区域主要是北支上段、南北港分流口、北槽和南槽浑浊带海域,变化的原因主要与河槽的自然演变和人类活动有关。

结合Pejuip新三角图将长江口划分为河口主槽、河口浅滩、浑浊带主槽、河口边滩和口外等主要沉积物力环境区,对比了各沉积环境亚区沉积物粒度特征。

对黄河口、长江口、珠江口表层沉积物粒度参数进行对比分析,粘土含量特征表明珠江流域岩石的风化程度最好,砂的含量特征表明长江口水动力作用最强,黄河口其次,珠江口水动力作用最小。

致谢 孟翊副教授为本文提供长江口北支部分沉积物粒度数据,审稿人对本文提出了宝贵修改意见,谨致谢忱!

## 参考文献 (References)

- 1 Friedman G.M. Address of retiring President of the International Association of Sedimentology: difference in size distributions of populations of particles among sands from various origins. *Sedimentology*, 1979, 26: 3-22
- 2 Halks J.R. Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales, Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1967, 37: 1059-1069

- 3 Pejuip M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach in tide-influenced sedimentary environments and facies. Dordrecht D. Reidel Publishing Company, 1987, 298-300
- 4 Shepard F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954, 24: 151-158
- 5 Visher G.S. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, 39: 1074-1106
- 6 陈沈良, 杨世伦, 吴瑞明. 杭州湾北岸潮滩沉积物粒度的时间变化及其沉积动力学意义. *海洋科学进展*, 2004, 22(3): 299-305 [Chen Shenliang, Yang Shilun, Wu Ruiming. Temporal changes in tidal flat sediment grain size along the north bank of the Hangzhou Bay and their implication of sedimentation dynamics. *Advances in Marine Science*, 2004, 22(3): 299-305]
- 7 戴志军, 陈吉余, 程和琴, 等. 南汇边滩的沉积特征和沉积物运输趋势. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(6): 735-739 [Dai Zhijun, Chen Jiyu, Cheng Heqin, et al. Sediment characteristics and transport patterns in Nanhui joint area. *Resources and environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(6): 735-739]
- 8 武小勇. 长江口北港河势演变分析 [硕士学位论文]. 华东师范大学, 2005, 12 [Wu Xiaoyong. Channel processes of the North Channel of the Changjiang Estuary. The Thesis of Master Degree East China Normal University, 2005, 12]
- 9 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴, 等. 绪论. 见: 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, 1-4 [Chen Jiyu, Shen Huanqing, Yun Caixing, et al. Introduction. In: *Processes of Dynamics and Geomorphology of the Changjiang Estuary*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988, 1-4]
- 10 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报, 2004, 4 [The Ministry of Water Resources of People's Republic of China. *Chinese River Sediment Bulletin*, 2004, 4]
- 11 Folk R.L., Ward W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1957, 27: 3-27
- 12 恽才兴. 长江河口潮滩冲淤和滩槽泥沙交换. *泥沙研究*, 1983, 4: 43-52 [Yun Caixing. Scouring and siltation process of tidal flats of the Changjiang Estuary and sediment exchange between flats and channels. *Journal of Sediment Research*, 1983, 4: 43-52]
- 13 董永发, 丁文鏊. 长江河口沉积物粒度特征与水动力关系. 见: 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴 主编, 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 Huanqing, Yun Caixing. *Processes of Dynamics and Geomorphology of the Changjiang Estuary*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988, 314-322]
- 14 刘苍宇, 吴立成, 华棣. 长江口水下三角洲的沉积结构、构造特征及沉积作用机制. 见: 长江河口最大浑浊带和河口锋研究论文选集. 华东师范大学学报, 1995, 159-164 [Liu Cangzi, Wu Licheng, Hua Di. The sediment structure, structural characteristics and sedi-

- ment effect mechanism of Changjiang River submerged delta. In Selections of the studies of the Turbidity Maximum and Estuarine Front in Changjiang Estuary. Journal of East China Normal University, 1995, 159-164]
- 15 刘苍字. 第四章 沉积. 见: 上海市海岛资源综合调查报告. 上海: 上海科学技术出版社, 1996. 63 [ Liu Cangzi. Chapter 4<sup>th</sup> Sedimentation. In Investigation Report of Resources of Shanghai Islands Shanghai. Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1996. 63]
- 16 楼飞. 长江口深水外航道海域沉积和冲淤环境研究 [ 硕士学位论文 ]. 华东师范大学, 2005. 15 [ Lou Fei. The sedimentary & accretion-erosion environment of the outer navigation channel in Changjiang Estuary. The Thesis of Master Degree, East China Normal University, 2005. 15. ]
- 17 何起祥, 李绍全, 刘健. 海洋碎屑沉积物的分类. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(1): 115-121 [ He Qixiang. Classification of marine clastic sediments. Marine Geology & Quaternary Geology, 2002, 22(1): 115-121]
- 18 贾海林, 刘苍字, 杨欧. 长江口北支沉积动力环境分析. 华东师范大学学报 (自然科学版), 2001, 1: 90-96 [ Jia Hailin, Liu Cangzi, Yang Ou. Dynamic sediment environment of the North Branch of Changjiang Estuary. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2001, 1: 90-96]
- 19 李九发, 李为华, 应铭, 等. 黄河三角洲飞雁滩沉积物粒度分布和粒度参数特征及水动力解释. 全国泥沙基本理论研究学术讨论会论文集 (第三册). 郑州: 黄河水利出版社, 2005. 1271-1280 [ Li Jiufa, Li Weihua, Ying Ming, et al. Distribution of sediment grain size characteristics of grain size parameters and hydrodynamic interpretation of Feiyantan in Yellow River Delta. In Proceedings of Chinese Symposium on Sediment basal theory (3<sup>rd</sup> volume). Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2005. 1271-1280]
- 20 王俊超. 黄河口潮坪沉积物对水动力作用的响应研究 [ 硕士论文 ]. 中国海洋大学, 2004. 12-13 [ Wang Chaojun. Study of sediments' Response to the hydrodynamic action on the tidal flat of Yellow River Mouth. The Thesis of Master Degree, Ocean University of China, 2004. 12-13]
- 21 贾良文, 吴超羽, 雷亚平, 等. 珠江口磨刀门枯季表层沉积物特征. 海洋工程, 2005, 23(1): 62-68 [ Jia Liangwen, Wu Chaoyu, Lei Yaping, et al. Characteristics of bed sediments during the dry season in the Modaomen estuary of the Pearl River. The Ocean Engineering, 2005, 23(1): 62-68]
- 22 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中粘土的矿物组合、化学特征及其与物源区气候环境的关系. 海洋与湖沼, 1988, 19(4): 336-346 [ Yang Zuosheng. Mineralogical assemblages and chemical characteristics of clays from sediments of the Yellow, Changjiang and Pearl Rivers and their relations to the climate environments in their sediment source areas. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1988, 19(4): 336-346]

## Temporal and Spatial Characteristics of Surface Sediment Grain-size Distribution in Changjiang Estuary

LU Hong HE Qing WANG Yuan-ye MENG Yi

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

**Abstract** Based on 558 surface sediment samples collected in Changjiang Estuary recently, the temporal and spatial characteristics of surface sediment grain size were analyzed, and the distribution of  $D_{50}$  and types were obtained, too. The results showed that few changes of the surface sediment grain size in upper Hengsha Island was showed between flood and dry seasons. The grain size in flood season was coarser than that of dry season in the Turbidity Maximum, and in the mouth of the estuary, the grain size in flood season was finer than that of dry season. The types of surface sediment in upper Hengsha Island and mouth of the estuary were changeless between flood and dry seasons, while in the Turbidity Maximum, it was much more complex and various. Whether in flood season or in dry season, the coarsest surface sediment was in North Channel, then in the North Passage, and the finest surface sediment was in the South Passage. Little difference of surface sediment grain size was showed between spring tide and neap tide, and the difference of mean diameter was about 9%. The grain size of different years was changed with the Water discharge and sediment discharge of Datong Station. The grain size of surface sediment in upper North Branch, distributary site of South and North Channels and Turbidity Maximum of South and North Passages were much more changeable in the recent fifteen years. These changes were due to the natural channel processes and human activities. The dynamic sediment environment in Changjiang Estuary was divided by Pejrup triangular diagram, and the grain size characteristics of each sediment environment were discussed. Then, the grain size parameters of surface sediment in Yellow River, Changjiang and Pearl River Estuary were contrasted in this paper.

**Key words** Changjiang Estuary, surface sediment, grain size, temporal and spatial distribution