

# 长江口拦门沙地区的泥沙运动规律\*

潘定安 孙介民

(华东师范大学河口海岸研究所, 上海 200062)

**提要** 依据1988年7月和12月水文观测资料,通过流、盐、沙的综合分析,认识到长江口拦门沙地区的泥沙运动有与河口其他地区不同的特点。泥沙输移在水平面上和垂直面上存在着多种循环;潮流和盐水截留大量泥沙积聚在拦门沙地区;河口在盐淡水交锋地带,除了涨、落急时段外,发现在转流时期泥沙也可能产生再悬浮,从而形成一个潮周期中出现3次或4次再悬浮的特殊规律。

**关键词** 长江河口 拦门沙 泥沙运动 泥沙再悬浮

对于长江河口的泥沙运动已经做过不少研究工作,主要是讨论泥沙分布规律、泥沙絮凝、泥沙输移扩散以及滩槽泥沙交换等,或者在讨论河槽演变、盐淡水混合等问题时有所论述,而对于拦门沙地区的泥沙运动,特别是不同于河口其他地区的特殊性还有待深入探讨。本文通过现场实测资料的综合分析,研究长江口拦门沙汉道中泥沙运动的特点和规律,也为认识该地的沉积动力过程和某些特有的现象,如最大浑浊带、污染物富集等提供依据。

## 1 资料来源

长江口南、北港口门外存在着心滩汉道型的拦门沙体,心滩有铜沙浅滩、九段沙浅滩,汉道有北港、北槽和南槽(图1),这里不仅受到径、潮流的相互作用,还受到盐、淡水交汇混合的影响。为了完成《中国河口主要沉积动力过程研究及其应用》的重大基金项目,选择该地区作为研究对象之一,于1988年7月和12月进行了较大规模的实地水文观测,取得了一批流、盐、沙的现场资料。本文选用的资料(站位见图1)来源于这两次水文观测。

## 2 泥沙运动的特点和规律

**2.1 泥沙输移** 拦门沙地区的泥沙输移主要受控于径流、潮流和盐水异重流。由于拦门沙地区各地上述三种流的组合不同,泥沙的输移比较复杂。

从表1中可以看出,8801站(位于南槽上口地段)径流作用占优势,泥沙从表层到底层都向海输移;8803站(位于南槽下游接近拦门沙前缘地段)盐、淡水高度混合,涨潮流占优势,水流运动主要受控于潮汐作用,泥沙向陆输移;8807站(位于北槽中游地段)盐、淡水混合属于部分混合,表层至0.2层的落潮优势,0.4层至底层为涨潮优势,这是盐水异重流作用的结果,泥沙表层至0.4层向海,0.6层至底层向陆,在垂直面上循环输移。

\* 国家自然科学基金重大项目资助,9487005号。潘定安,男,出生于1939年12月,教授。

收稿日期:1993年12月30日,接受日期:1995年4月21日。

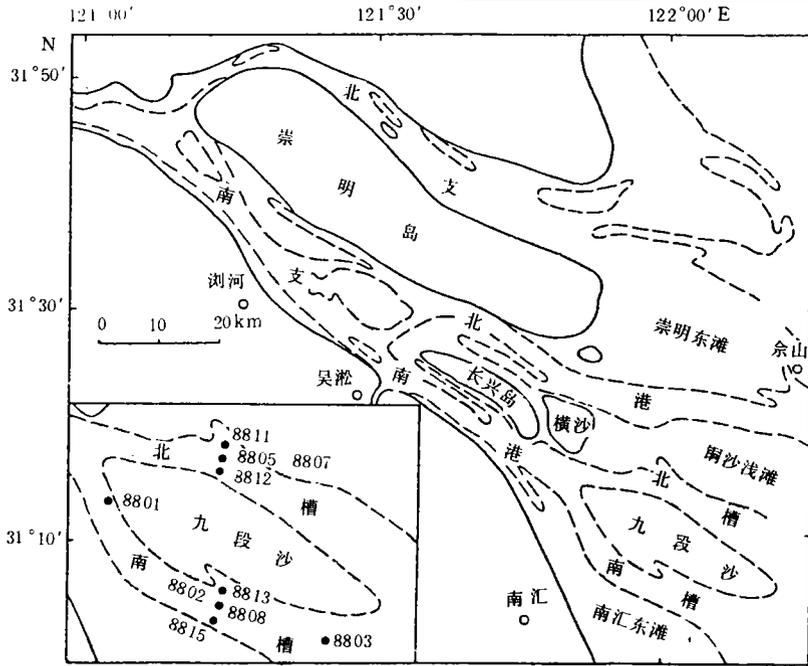


图 1 长江口形势及站位布置图

Fig.1 Situation and stations map of the Changjiang River Estuary

— 岸线; - - - 5m等深线; · 测站.

表 1 输沙量、盐度、优势流统计表

Tab. 1 Statistics of volume of sediment transport, salinity and prevailing current

站位 (时间)	层次	涨潮流单宽 输沙量 (t)	落潮流单宽 输沙量 (t)	净单宽输 沙量 (t)	盐度	优势流 (%)
8801 (1988.7.29)	表层	2.69	7.64	+4.95	4.281	64.7
	0.2 层	3.29	12.95	+9.66	4.456	66.1
	0.4 层	8.23	18.33	+10.10	5.751	62.9
	0.6 层	17.21	38.62	+21.41	7.598	62.5
	0.8 层	22.60	69.88	+47.28	8.757	62.3
	底层	36.86	85.29	+48.43	8.992	63.8
8803 (1988.7.29)	表层	4.42	1.42	-3.00	16.704	49.9
	0.2 层	4.35	2.14	-2.21	17.221	52.3
	0.4 层	6.00	5.29	-0.71	17.675	49.6
	0.6 层	9.73	9.60	-0.13	18.307	49.7
	0.8 层	53.41	34.60	-18.81	19.072	43.9
	底层	57.05	37.90	-19.15	19.254	46.8
8807 (1988.12.24)	表层	8.05	17.41	+9.36	10.340	71.2
	0.2 层	16.94	29.19	+12.25	13.323	58.3
	0.4 层	22.41	33.60	+11.19	15.263	48.7
	0.6 层	30.64	29.42	-1.22	17.533	44.7
	0.8 层	27.25	24.95	-2.30	18.533	43.8
	底层	25.16	21.24	-3.92	18.664	48.6

注: 净输沙量 + 向海; - 向陆.

长江口门宽阔, 拦门沙地区相间分布着浅滩与深槽。深槽是径流下泄的主要场所, 常以落潮流为主, 泥沙向海输送。浅滩地区径流较弱, 潮流相对较强, 加上水浅潮波变形更为剧烈, 泥沙往往向陆输送。所以南汇东滩与滩外深槽之间以 2—5m 等深线为界, 深槽地带泥沙下泄, 滩地部分泥沙上溯(恽才兴, 1983)。

不同汉道由于径流分配的差异, 泥沙的输移有所不同。北支径流极小, 泥沙在潮汐的作用下向上游输送。北港、北槽和南槽之间受上游地形的影响, 径流分配时常发生变化。在径流分配量最小的汉道中, 潮汐作用相对较强, 往往出现泥沙向上游输送的现象。例如南槽 70 年代末期泥沙向上游输送(徐海根等, 1985)。

即使在同一汉道中, 由于涨、落潮流路分离, 同一横断面上南北两侧的泥沙输移也有明显的差别(表 2), 北侧涨潮流为主, 泥沙向上游输送, 南侧落潮流为主, 泥沙向下游输送。

以上分析表明: 在拦门沙地区径流作用为主的地段, 泥沙向海输移; 潮流作用为主的地段, 泥沙向陆输移; 异重流起重要作用的地段, 泥沙在垂直面上循环输移; 同时滩槽之间, 汉道之间, 汉道之中泥沙的输移在平面上出现一系列循环。

表 2 南、北槽横断面两侧泥沙的单宽输移量(t) (1988.12.20)

Tab.2 Sediment transport per unit both sides of the cross section of the South Channel and the of North Channels (Dec. 20, 1988)

地点	北 槽		南 槽	
	北侧(8811 站)	南侧(8812 站)	北侧(8813 站)	南侧(8815 站)
涨潮	40.99	69.29	76.89	37.42
落潮	33.84	73.96	30.54	69.57
净, 出(+), 进(-)	-7.15	+4.67	-46.35	+32.16

**2.2 泥沙积聚** 长江下泄的泥沙到达口门地区以后, 在潮流和盐水作用下, 其中部分泥沙被截留下来, 积聚在拦门沙地区。

**2.2.1 径潮流相互作用泥沙在动力平衡带内积聚** 长江口拦门沙地区是径流作用优势向潮流作用优势转换的过渡地带, 这里径潮流的作用都比较强大, 1988 年 7 月大潮期, 在北槽中游河段测得的涨、落潮垂线平均流速分别为 1.36m/s 和 1.35m/s, 比上、下游河段都大, 但势力彼此相当, 是径潮流动力趋于平衡的地带。径流向海输沙, 而潮汐、潮流向陆输沙, 泥沙汇集在平衡带内, 平衡带成为泥沙积聚的场所。

**2.2.2 盐淡水相互作用泥沙在滞流点附近积聚** 长江口盐、淡水混合程度, 滩槽之间、汉道之间、同一汉道的不同地段有较大的差异。九段沙、铜沙、崇明东滩、南汇嘴等浅滩地区, 在潮流和波浪作用下混合强烈。北支河槽宽浅, 潮汐作用大大超过径流作用, 盐、淡水高度混合, 呈强混合状态。拦门沙以外海域水深在 10m 以上, 江水漂浮在海面之上, 水体高度分层, 盐淡水呈弱混合状态。拦门沙体上的深槽地带, 即北港、北槽和南槽径潮流动力都比较强, 盐水上溯入侵过程中, 盐、淡水混合多呈缓混合状态, 有滞流点存在(沈焕庭等, 1984), 径流和盐水异重流挟带的泥沙分别在滞流点的上、下侧堆积, 滞流点随着径潮流的强弱变化而上下移动, 因此在拦门沙深槽中出现一条泥沙淤积带。

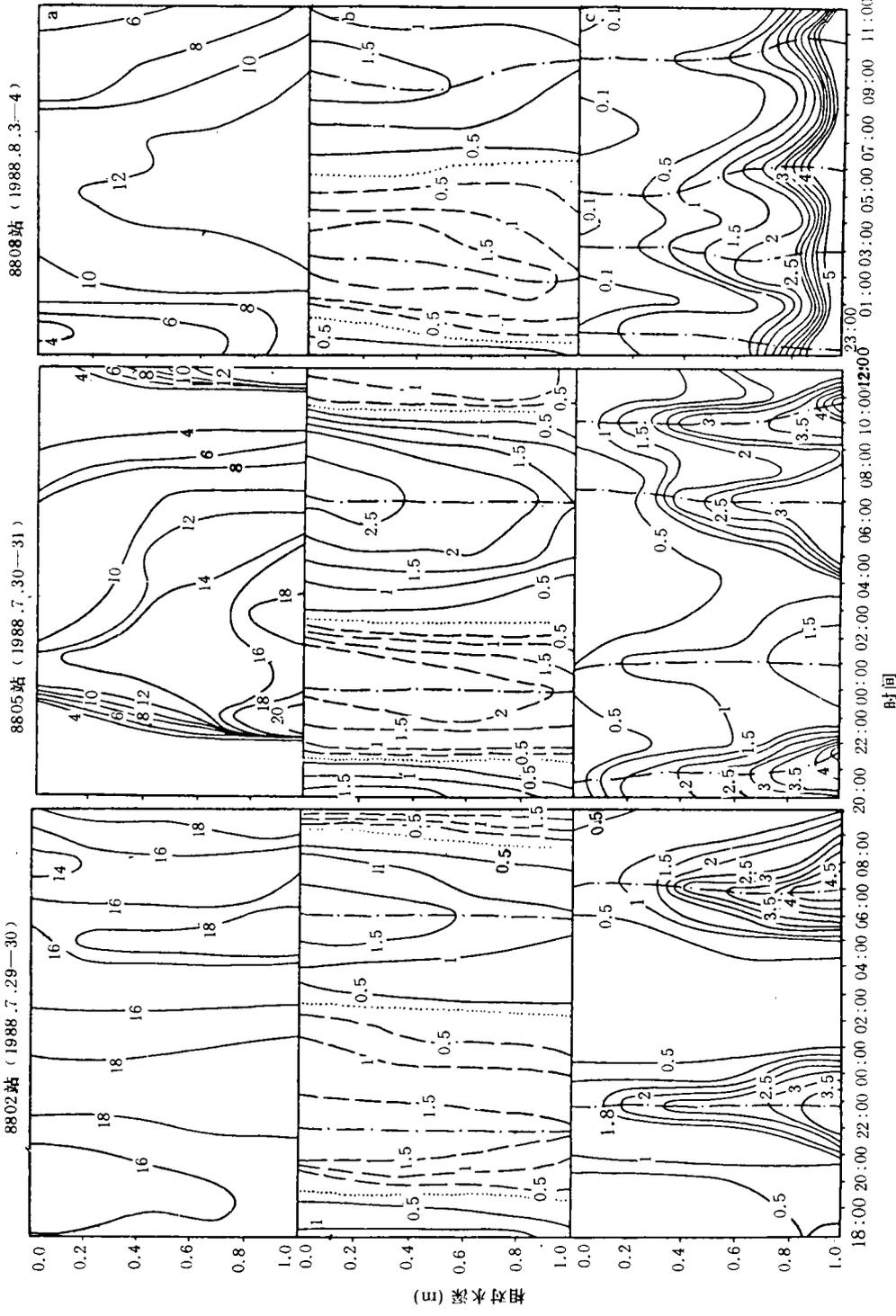


图2 长江口拦门沙地区的盐度、流速、含沙量时间过程等值线图

Fig.2 Isogram of salinity, velocity and sediment concentration with time at Changjiang River Estuary mouth bar area  
 a. 盐度; b. 流速 (m/s), ----- 涨潮, ..... 0, - - - - 落潮, ----- 峰值.  
 c. 含沙量 (kg/m<sup>3</sup>), - · - · - 峰值.

**2.2.3 环流截留泥沙** 长江口拦门沙地区泥沙的净输移出现多种环流。深槽与浅滩之间形成深槽出沙、浅滩进沙的平面环流,深槽中形成表层出沙、底层进沙的垂向环流,以及北侧进沙、南侧出沙的平面环流。北支、北港、北槽和南槽4条汊道之间,由于径流分配的多寡影响泥沙的输移量,北支向陆输送,北港、北槽向海输送。即使是同一条汊道,如南槽,有时向海输送,有时向陆输送,因此汊道之间也有输沙环流存在。北港和北支之间形成北港出沙、北支进沙的循环,北槽与南槽之间在70年代末80年代初出现北槽出沙、南槽进沙的循环。因此,长江口部分泥沙在拦门沙地区循环逗留,难以迅速向海输移,被截留在口门地带。

**2.2.4 絮凝捕集泥沙** 长江口悬沙中以粉砂和粘土为主,这些细颗粒泥沙进入盐水以后,由于颗粒表面的电化学反应而相互吸引絮凝成团。对长江口的粉砂而言,盐度为5—20时,较易絮凝,10—13是最佳絮凝盐度(陈邦林等,1985)。长江口拦门沙地区是盐、淡水交锋的地带,盐度一般变化在2—20之间,为泥沙絮凝创造了良好的环境,絮凝作用加速悬沙的沉降,捕集大量细颗粒泥沙,聚集在水体的下层,并在床上落淤,往往形成浮泥。

**2.3 泥沙再悬浮** 长江口拦门沙地区积聚了众多泥沙,沙源比较丰富。大量泥沙在水流的作用下做悬浮、沉降、再悬浮的周期性运动。一般潮汐河道中,一个潮周期内在涨、落急附近含沙量出现峰值,泥沙发生2次再悬浮。可是在盐、淡水交汇地带,由于动力条件和床面淤积物的多样性,泥沙的再悬浮比淡水河段要复杂得多,实测资料反映,有下列几种情况。

**2.3.1 泥沙2次再悬浮** 河口水流在潮汐的作用下做由小到大再减小的周期性运动,当流速增大到足以使泥沙起动时,淤积在床上的泥沙就有可能进入水体,再次处于悬浮状态,使水体含沙量增加。图2清楚地反映,8802站(1988.07.29—30)在一个潮周期中涨、落急附近出现2个沙峰,涨、落急后1h左右含沙量达到最大值,垂线平均含沙量分别为 $2.64\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $2.77\text{kg}/\text{m}^3$ ,潮周期的平均含沙量为 $1.35\text{kg}/\text{m}^3$ 。这时适逢大潮,平均盐度为15.64,表层平均盐度为14.342,底层平均盐度为17.128,表、底层盐度之比为84%,属于高度混合状态。垂线平均流速涨潮最大为 $1.68\text{m}/\text{s}$ ,落潮最大为 $1.54\text{m}/\text{s}$ ;底层最大流速:涨潮为 $1.60\text{m}/\text{s}$ ,落潮为 $1.10\text{m}/\text{s}$ 。由于涨、落急时水流速度强劲,淤积在床面上的泥沙受到冲刷而悬入水中,使含沙量增高。因此,在盐、淡水交汇地带,当盐、淡水处于高度混合状态时,一个潮周期中泥沙发生2次再悬浮,与淡水河段相似。

**2.3.2 泥沙3次再悬浮** 8805站除涨、落急含沙量出现峰值外,在落潮流更替为涨潮流的即将转流时刻,悬沙含量相当高,甚至超过涨、落急时段(图2),因此在一个潮周期中,含沙量出现3次峰值。分析当时的观测资料(1988年7月30—31日),该站30日21:00和31日10:00处于即将转流时刻,这时水体中含沙量出现峰值,垂线平均含沙量分别为 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $2.7\text{kg}/\text{m}^3$ ,与前1小时相比较(表3),除表层保持原来量值、0.2层21:00有所减少外,其他水层都大幅度增加。图2中可以直观地看到,这时沙峰影响的范围及含沙的浓度比涨、落急时还大。现场观测时在水面上可以看到从下层泛起的浑水团。可见这一现象并非是流速减小、泥沙沉降所产生的沉降沙峰,而是由其他因

素作用所致。

表 3 8805 站即将落转涨时刻与前 1h 含沙量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 对比 (1988.07.30 — 31)

Tab.3 Comparison showing the sediment concentration ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) during the ebb flood tides and before 1h at station 8805 (July 30 — 31, 1988)

层 次	表	0.2	0.4	0.6	0.8	底	垂线平均
即将转流时刻 (21:00)	0.4	0.7	2.3	3.2	3.8	4.7	2.5
即将转流前 1h (20:00)	0.4	1.9	1.8	2.2	2.2	3.1	2.0
增加量 (21:00 — 20:00)	0	-1.2	0.5	1.0	1.6	1.6	0.5
即将转流时刻 (10:00)	0.5	1.8	3.0	3.0	3.7	3.6	2.7
即将转流前 1h (09:00)	0.5	1.3	1.6	2.0	2.4	2.5	1.8
增加量 (10:00 — 09:00)	0	0.5	1.4	1.0	1.3	1.1	0.9

从图 2 中的盐度时间变化上可看出, 转流后初涨时段 (30 日 22:00 — 23:00、31 日 11:00 — 12:00) 盐度变化十分迅速, 底层盐度分别从 3.1, 3.4 增加至 20.4, 12.6, 表、底层盐度之比为 15% 和 24%, 属于分层状态, 出现盐水楔, 盐水从下层切入, 盐水异重流的作用强盛, 加上潮波变形, 初涨时流速增加十分迅速, 到 30min 底层流速就达到  $1\text{m}/\text{s}$  左右。淤积在床上的泥沙被冲刷泛起, 同时盐水楔顶端上游还在落潮的下泄水体, 在上切的盐水楔头部的顶冲下, 水体沿楔面上升, 将泥沙带入上层, 整个水体中的含沙量增加, 形成沙峰 (图 3a)。

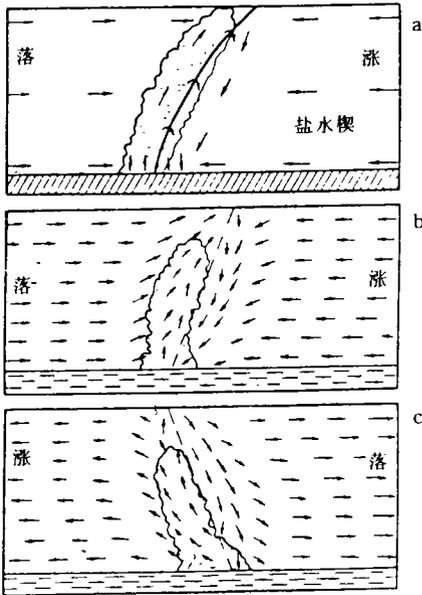


图 3 泥沙再悬浮示意图

Fig.3 Sketch map of resuspended sediment

a. 落转涨有盐水楔; b. 落转涨部分混合有浮泥; c. 涨转落部分混合有浮泥。

以上分析表明, 盐、淡水交锋地带, 初涨时如果有盐水楔切入, 在落转涨的即将转流时段, 淤积在床上的泥沙会发生再悬浮, 而且可以达到表层。这样在一个潮周期中出现涨急、落急和落转涨时段的泥沙 3 次再悬浮。

2.3.3 泥沙 4 次再悬浮 在一个潮周期中含沙量还有出现 4 次峰值的现象, 它们分别发生在落转涨、涨急、涨转落和落急附近。从南槽中游河段 (8808 站) 1988 年 8 月 3 — 4 日的观测资料中可以清楚地看到 (图 2), 大约在 00:00, 03:00, 06:00 和 10:00 有沙峰存在。03:00 和 10:00 的沙峰分别处于涨急和落急时段, 无疑是由淤积在床上的泥沙再悬浮所造成的。00:00 和 06:00 分别处于落转涨和涨转落的转流时段, 这时流速较小, 但含沙量却特别高, 垂线平均含沙量分别达到  $3.9\text{kg}/\text{m}^3$  和  $5.8\text{kg}/\text{m}^3$ , 比涨、落急时段的含沙量还高 (表 4), 与前 1h 相比较, 垂线平均含沙量增加  $1.7\text{kg}/\text{m}^3$

和  $3.9\text{kg}/\text{m}^3$ 。含沙量增加如此之多, 而且不仅局限于底层, 这也不可能是泥沙沉降形成的沙峰。

当时的水沙环境, 盐、淡水混合呈部分混合状态, 盐度大部分时间变化在 12 左右, 处于最佳絮凝盐度, 大量细颗粒泥沙絮凝下沉, 底层含沙量特别高, 一般在  $10\text{kg}/\text{m}^3$  以

表4 8808站急流、转流和转流前1h含沙量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )对比(1988.08.03—04)Tab.4 Comparison showing the sediment concentration ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) during jet flow, turning current and before 1h turning current at station 8808 (Aug. 3—4, 1988)

层次	表层	0.2	0.4	0.6	0.8	底层	垂线平均
涨急时刻(03:00)	0.2	0.4	1.4	1.7	2.4	21.2	3.3
落急时刻(10:00)	0.04	0.3	0.7	1.1	1.8	20.2	2.8
涨转落时刻(06:00)	0.2	0.4	0.6	2.0	4.5	42.5	5.8
涨转落前1h(05:00)	0.2	0.4	1.1	1.2	2.0	9.2	1.9
增加量(06:00—05:00)	0	0	-0.5	0.8	2.5	33.3	3.9
落转涨时刻(00:00)	0.1	0.7	0.8	0.8	2.2	30.2	3.9
落转涨前1h(23:00)	0.3	0.4	0.4	0.5	3.9	11.3	2.2
增加量(00:00—23:00)	-0.2	0.3	0.4	0.3	-1.7	18.9	1.7

上,最高超过  $40\text{kg}/\text{m}^3$ ,河床上有浮泥存在,未固结的浮泥极易被水流扰动,泥沙重新飘浮于水中。

当测站处于落转涨的转流时段时,在盐、淡水异重流作用下,垂线上的水流转向不是在同一时刻,底层先于表层,该时出现表底层方向相反的交错流,在垂直面上形成回流。同时此时上游水体在落潮下泄,而下游水体在涨潮上溯,该地水流辐聚形成上升流,回流得到加强。回流的垂向流作用于河床,扰动淤积在床上的未固结的泥沙,导致泥沙再次进入水体,呈悬浮状态,并在回流的带动下向上层扩散,水体中的泥沙量增加,含沙量出现峰值(图3b)。当测站处于涨转落的转流时段时,在盐水异重流的作用下,转流时刻表层先于底层,同样在垂直面上形成回流。同时此时上游水体在涨潮上溯,下游水体在落潮下泄,该地水体辐散形成下降流,加强回流的强度。在垂向流的扰动下,刚落淤的泥沙再次进入悬浮状态并向上层扩散而形成沙峰(图3c)。因此,在盐、淡水交汇地带,一个潮周期中泥沙可能出现涨急、涨转落、落急和落转涨时段的4次再悬浮。

### 3 结语

3.1 长江口拦门沙地区是径流、潮汐潮流和盐水异重流相互作用的地段,泥沙在这里积聚,而且在垂直面上和水平面上出现一系列循环。

3.2 长江口拦门沙体的深槽中,径流挟带的部分泥沙被截留下来。截留泥沙有两种基本方式,一种与潮汐有关,另一种与盐水有关。潮汐截留的泥沙将随潮不断向上游输送,积聚的核心部位发生在较上游的地带。盐水截留的泥沙,由于盐、淡水交锋带常发生在深槽的中下游河段,积聚的核心部位发生在较下游的河段。这两种机制产生的泥沙积聚中心不一定在同一位置上,因此深槽中会出现两个严重淤积带。如南槽水道中有江亚和铜沙两个航道浅滩,江亚浅滩位于上游,淤积物质的颗粒较粗,铜沙浅滩位于下游,淤积物质颗粒较细,两个浅滩具有不同的沉积动力过程,这也许与上述因素有关。

3.3 长江口拦门沙体的深槽中,淤积在河床上的泥沙在一个潮周期中有可能发生4次再悬浮。它们分别出现在涨急、涨转落、落急和落转涨时段。涨、落急时段的泥沙再悬浮是由大流速经过河床时流速切变所造成的。落转涨或涨转落时段的泥沙再悬浮主要是由流速垂向量的作用所造成的。急流时段和转流时段泥沙的再悬浮有着不同的发生机制。

3.4 长江口拦门沙地区泥沙十分丰富,泥沙再悬浮的机率比上、下游河段都高,这不

仅增加了泥沙的悬浮量,而且大幅度缩短了泥沙的持续沉降时间,减少泥沙的落淤量,使水体中的含沙量高于上下游河段,这对长江口浑浊带的形成是一个不可忽视的因素。

**3.5** 长江口拦门沙地区的泥沙运动存在着与河口其他地区不同的特殊规律,它对河口的沉积和发育过程以及周围环境带来重要影响。例如细颗粒泥沙具有较强的吸附污染物质的能力,泥沙的积聚导致长江输出的污染物质在口门地带富集,有害物质的含量高于上、下游河段。因此对它的研究无论在河口过程的认识上,还是在河口开发利用和环境保护上都有十分重要的意义。

### 参 考 文 献

- 沈焕庭等, 1985, 海岸河口区动力、地貌、沉积过程论文集, 科学出版社(北京), 76—89。  
 陈邦林等, 1985, 上海市城市污水排放背景文献汇编, 华东师范大学出版社(上海), 232—251。  
 恽才兴, 1983, 泥沙研究, 4: 43—52。  
 徐海根等, 1985, 上海市城市污水排放背景文献汇编, 华东师范大学出版社(上海), 132—148。

## THE SEDIMENT DYNAMICS IN THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY MOUTH BAR AREA

Pan Dingan, Sun Jiemin

(*Institute of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062*)

**Abstract** Results analyzed current, salt, sediment based on hydrographic data of Changjiang River mouth bar in July and Desember, 1988 were as follow. In the Changjiang River Estuary mouth bar area sediment in the reach where runoff plays an important role moves seaward; sediment in the reach where tidal current is the main force, moves landward; sediments in the reach where density curent plays an important role circulates vertically; and the sediment on the whole circulates in a plane under the impacts of the topography and current.

The abundant sediment discharged from the Changjiang River are trapped at the mouth bar due to the effects of tidal current, runoff, and mixing of salt- and fresh-water. There are two different mechanisms controlling the trapping of the sediment by tidal current and salt water. The depositing centre may not be at one place but in two densely depositing zones in the deep trough.

It was found that the sediment of the mixing zone between salt-and fresh-water was resuspended three or four times during one tidal period. The reason is related to the mixing effect between salt water and fresh water.

**Key words** Changjiang River Estuary Mouth bar Sediment motion  
 Sediment resuspended