

文章编号: 1000-0550(2008) 05-0833-11

# 波流共同作用下潮滩剖面沉积物和地貌分异规律<sup>①</sup>

——以长江口崇明东滩为例

刘红 何青 吉晓强 王亚 徐俊杰

(华东师范大学河口海岸学国家重点实验室 上海 200062)

**摘要** 通过对崇明东滩两个海滩剖面、表层沉积物和悬沙粒度以及同步水沙资料的分析,探讨波流共同作用下表层沉积物和地貌的分异规律。受波流共同作用的影响,表层沉积物中值粒径由破波带向两侧逐渐变细,分选由破波带向两侧逐渐变差,偏度由极正偏变为正偏,峭度由很窄尖变为宽平和中等峭度。由破波带向岸方向,流速逐渐减小,含沙量逐渐增加。悬沙和表层沉积物粒度特征的对比分析表明,潮间带上部的悬沙主要来源于破波带泥沙的再悬浮。破波带内泥沙以“波浪掀沙”引起的分选运移为主,而破波带两侧的泥沙以潮流对破波带水体的“平流输移”为主。以潮汐水位和高精度海滩剖面数据对崇明东滩微地貌类型按高程进行了新的划分。

**关键词** 长江口 崇明东滩 海滩剖面 破波带 微地貌

**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研究

**通讯作者** 何青 E-mail qinghe@sklec.ecnu.edu.cn

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 0 前言

潮滩位于海陆相互作用的动力敏感地带,潮滩剖面是近岸动力沉积和动力地貌过程的研究内容之一,而且近岸潮滩水沙输移是波流共同作用下近底边界层研究的重要内容。以往对潮滩剖面的研究主要集中于潮滩剖面属性,或以经验关系式判别剖面侵蚀、过渡或淤积等类型,或是对潮滩剖面形态及平衡剖面、淤泥质岸滩侵蚀堆积机制及剖面模式等的研究<sup>[1-7]</sup>。潮滩作为海岸带资源的重要组成部分,与人们的生产关系极为密切,对于海岸资源开发及海岸防护工程建设有重要的价值。崇明东滩是长江口规模最大、发育最完善的河口型潮滩湿地,是长江口典型的前沿潮滩;同时也是上海市后备土地资源的主要来源,其潮滩剖面受潮流和波浪的作用,使得潮滩剖面沉积物和地貌具有明显的分异特征。由于崇明东滩是国家级自然保护区,其潮滩的发育受到人类活动的干扰较小,对崇明东滩的沉积动力和地貌过程的研究,对于了解自然状态下潮滩水沙输移特征具有重要意义,同时也可深化陆海相互作用和波流共同作用下近底边界层泥沙输移的认识,对滩涂冲淤演变、促淤工程和湿地生态系统的保护等有实践意义。

前人对崇明东滩沉积物特征的研究主要侧重于沉积和地貌特征的描述上<sup>[7,8]</sup>,对于波流共同作用下海滩剖面沉积物和地貌分异规律及其沉积物运移机制方面的研究,见诸文献的较少。在浅滩区,沉积物是联系水动力和地貌变化的纽带,沉积物运输过程对海滩地貌及海岸线变迁有重要的意义。沉积物的净输移决定了海滩所处的状态,侵蚀状态、淤积状态还是平衡状态<sup>[9]</sup>。崇明东滩面临开敞的大海,经过潮流和波浪的长期塑造,形成了独特的海滩沉积剖面。本文将结合沉积物及其同步的水沙资料、海滩剖面资料和波浪特征的分析,探讨长江口波流共同作用下海滩剖面沉积物粒度、地貌分异规律和水沙输移特征,为海岸资源开发与规划利用、海岸防护和海岸工程建设提供了重要的科学依据。

## 1 研究区概况及采样分析方法

崇明东滩由东面的东旺沙和东南面的团结沙组成,曾以每年 200~300 m 的速度向外淤涨,目前,崇明东滩淤涨趋势有所减缓。-5 m 等深线以上的滩地地势相对较平坦,平均坡度只有 0.24%<sup>[10]</sup>。研究区内平均潮差北支为 2.59~3.08 m,南支为 1.96~2.47 m,崇明东滩外缘的佘山站平均潮差 2.5 m,区

<sup>①</sup>中荷合作项目 (No. 2008DFB90240); 上海市科委重大基础项目 (编号: 44034081); 基金委创新团队项目 (编号: 40721004); 华东师大优秀博士生培养基金 (编号: 20080009) 联合资助。

收稿日期: 2007-10-17 收修修改稿日期: 2008-01-22

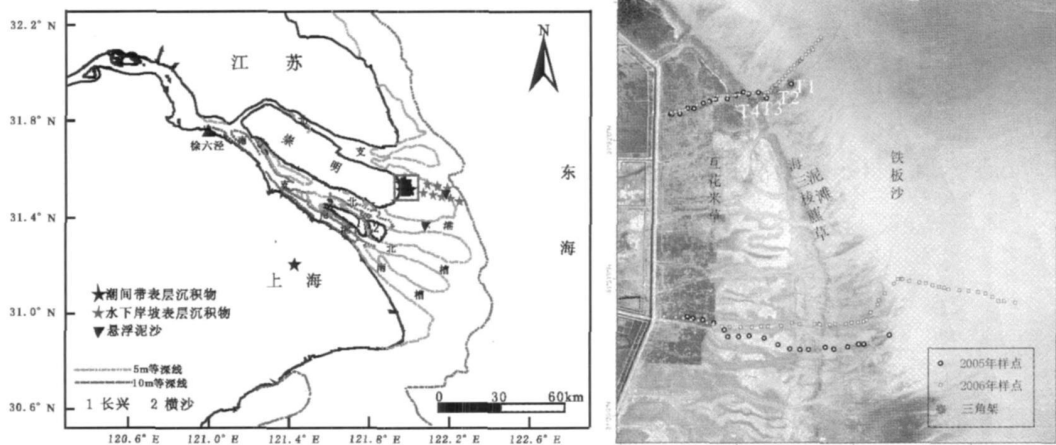


图 1 崇明东滩采样站位示意图

Fig 1 Locations of sediment samples in the east Chongming tidal flat

内风以 SE—SSE 向占优势<sup>[11]</sup>。长江口门附近的引水船站春夏季盛行偏南浪,秋冬季盛行偏北浪,平均波高 1.2 m(图 1)。

崇明东滩海滩上分布着典型的海滩植物群落,由大堤向海方向依次分布着碱蓬、芦苇、互花米草和海三棱藨草等植被滩,植被滩带以外是泥滩及铁板沙。

2005年 9月 4~13日在草滩和光滩上分别布设 4 个三角架进行流速和含沙量的观测(图 1 中 T1、T2、T3、T4),在三角架上安放 OBS 采集水位资料,同时在三角架上分 3 层安放广口瓶采集悬浮泥沙样品;在观测期间,利用麦哲伦公司生产的双频 GPS 接收机 RTK 测量南北两断面的滩面高程(以吴淞高程为基准),测得高程为厘米精度,得到两断面的海滩剖面。9月 9~10日分别在崇明东滩北断面、南断面用“聚酯采样勺”采集表层 1~2 cm 的表层沉积物 35 个,其中北断面 16 个,采样断面长度 1.69 km;南断面 19 个,采样断面长度 2.76 km(图 1)。

2006年 12月 8~9日在上述两个断面加密采样,采集沉积物样品 95 个,北断面 45 个,采样断面长度 2.46 km;南断面 50 个,采样断面长度 5.08 km。为分析破波带下部水下岸坡的沉积物特性,2007年 5月 30~31日在崇明东滩外沿水下岸坡采集沉积物 8 个(图 1)。

长江口北港悬浮泥沙样品于 2003年 2月 18~19 日大潮和 2月 23~24 日小潮期间采集,崇明东滩外缘悬浮泥沙样品于 2006年 10月 10~11 日大潮和 10月 14 日小潮期间采集,用于对比分析崇明东滩和临近主槽悬沙粒径分布特征(图 1)。虽然主槽悬浮泥

沙样品与表层沉积物的采样时间不同步,但根据近期大通站的悬沙粒度资料分析,2003 年悬沙中值粒径为  $10 \mu\text{m}$ ,2004 年~2006 年均为  $8 \mu\text{m}$ ,可以认为上游来沙和近期主槽悬沙粒度未有大的变化,能够支持二者的对比分析研究。

悬浮泥沙和表层沉积物样品在实验室去除有机质后,对样品加入浓度为 4% 的六偏磷酸钠 ( $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ ),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 ( $\sigma_1$ )、偏度 ( $S_{k1}$ ) 和峭度 ( $K_g$ ) 由 Folk 等<sup>[12]</sup>公式得到,采用 Shepard<sup>[13]</sup>方法进行沉积物命名。

## 2 表层沉积物粒度特征

沉积物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,沉积物的粒度特征与沉积环境息息相关;而且,沉积物特性和输移也是联系动力和地貌变化的纽带。因此,研究表层沉积物的分布状况是研究河口及潮滩泥沙输移特性和沉积动力机制的基础。

通过对南北两个断面潮间带沉积物中值粒径和粒度参数的分析表明(图 2、3 其中 2005(N)和 2005(S)代表 2005 年 9 月北断面和南断面样品,2006(N)和 2006(S)代表 2006 年 12 月北断面和南断面样品),两断面潮间带表层沉积物粒径均表现相同的特征,由岸向海方向沉积物中值粒径变粗。互花米草带和泥滩表层沉积物较细,北断面中值粒径在  $7 \sim 15 \mu\text{m}$  之间,南断面在  $8 \sim 16 \mu\text{m}$  之间;互花米草和海

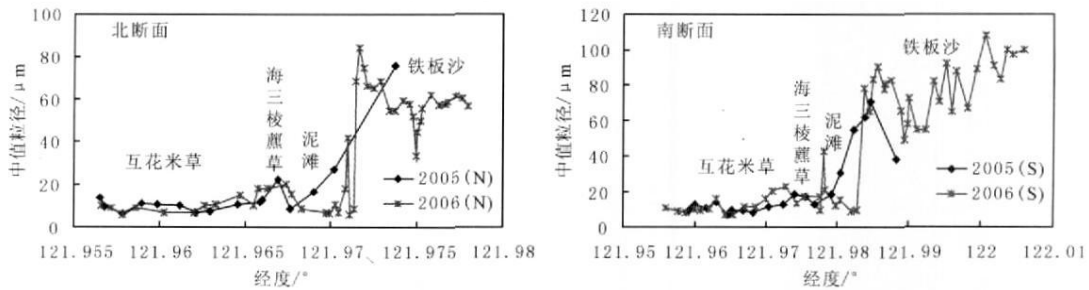


图 2 南北断面表层沉积物中值粒径

Fig 2 Surface sediment  $D_{50}$  in south and north sections

图 3 崇明东滩表层沉积物特性

Fig 3 Surface sediment characteristics in the east Chongming tidal flat

三棱藨草交界的区域(为了叙述方便,以下简称“海三棱藨草带”),表层沉积物中值粒径略有增加,北断面中值粒径在  $15\sim 20\ \mu\text{m}$  之间,南断面在  $16\sim 22\ \mu\text{m}$  之间;铁板沙带表层沉积物中值粒径最大,北断面中值粒径在  $33\sim 84\ \mu\text{m}$  之间,南断面在  $49\sim 107\ \mu\text{m}$  之间。两断面植被滩和泥滩表层沉积物中值粒径相差不大,但铁板沙带南断面中值粒径平均大  $20\ \mu\text{m}$  左右,主要是由于南断面更靠近长江主要输水输沙通道,有丰富的粗颗粒物供应。

两断面沉积物粒度参数也十分接近(图 4),分选系数由草滩向铁板沙带由 1.8 变为 1.5 左右,分选逐渐变好,偏度由  $0.2\sim 0.3$  变为  $0.5\sim 0.6$  由正偏变为极正偏,峭度由  $0.9\sim 1.2$  变为  $1.9\sim 2.1$  之间,由宽平和中等峭度变为很窄尖,说明铁板沙带沉积物粒度分布更集中。Fox 等<sup>[14]</sup>对无潮差海滩横断面的研究发现,波浪在发生破碎的卷波点处,沉积物的粒度参数会发生突变,波浪破碎带附近的颗粒最粗,分选最差,偏

度由负偏转为正偏。但潮汐河口潮滩的沉积物特征与上述特征不尽相同。从崇明东滩潮滩剖面表层沉积物粒度分析发现,由水边线向岸方向,分选逐渐变差,偏度由极正偏变为正偏,峭度由很窄尖变为宽平和中等峭度。这种从潮滩下部向上部“沉积物逐渐变细,分选变差”的现象是由于水动力向岸逐渐减弱造成的,在江苏和上海的潮滩普遍存在这种现象<sup>[15 16]</sup>。

互花米草带和泥滩表层沉积物类型为粘土质粉砂,粘土的含量在  $26\%\sim 32\%$  之间,粉砂的含量在  $65\%\sim 73\%$  之间,砂的含量很少(图 5)。海三棱藨草带表层沉积物类型主要是粉砂和粘土质粉砂,粘土的含量在  $20\%$  左右,粉砂的含量在  $75\%$  左右,砂的含量在  $5\%$  左右。铁板沙带表层沉积物类型为粉砂质砂和砂质粉砂,南北两断面粘土的平均含量为  $8\%$ ,粉砂平均含量北断面为  $48\%$ ,南断面为  $31\%$ ,砂的平均含量北断面为  $44\%$ ,南断面为  $62\%$ 。草滩和泥滩的表层沉积物以粉砂和粘土组分为主,而铁板沙带沉积物主要以粉砂和砂组分为主。

总体上,崇明东滩南北断面的表层沉积物分布特征相似,沉积物由岸向海逐渐变粗,分选变好,偏度由由正偏变为极正偏,峭度由宽平和中等峭度变为很窄尖,沉积物类型也由粘土质粉砂逐渐变为粉砂质砂和砂质粉砂。从沉积物在各带的平均值来看(表 1),两断面沉积物中值粒径、粒度参数和各组分含量也十分接近,表明两断面对应区域的沉积动力环境相似。

对两断面沉积物正态概率分布图的分析表明(图 6),两断面各带的沉积物概率累计曲线也基本相似,铁板沙带以跃移组分为主,缺少推移组分,其中第一跃移组分为  $70\%\sim 75\%$ ,第二跃移组分在  $20\%\sim 25\%$  之间,悬移组分占  $3\%\sim 4\%$ 。海三棱藨草带推移组分约为  $2\%$ ,第一跃移组分在  $48\%\sim 53\%$  之间,第二跃移组分  $40\%\sim 45\%$ ,悬移组分约占  $5\%$ 。泥滩

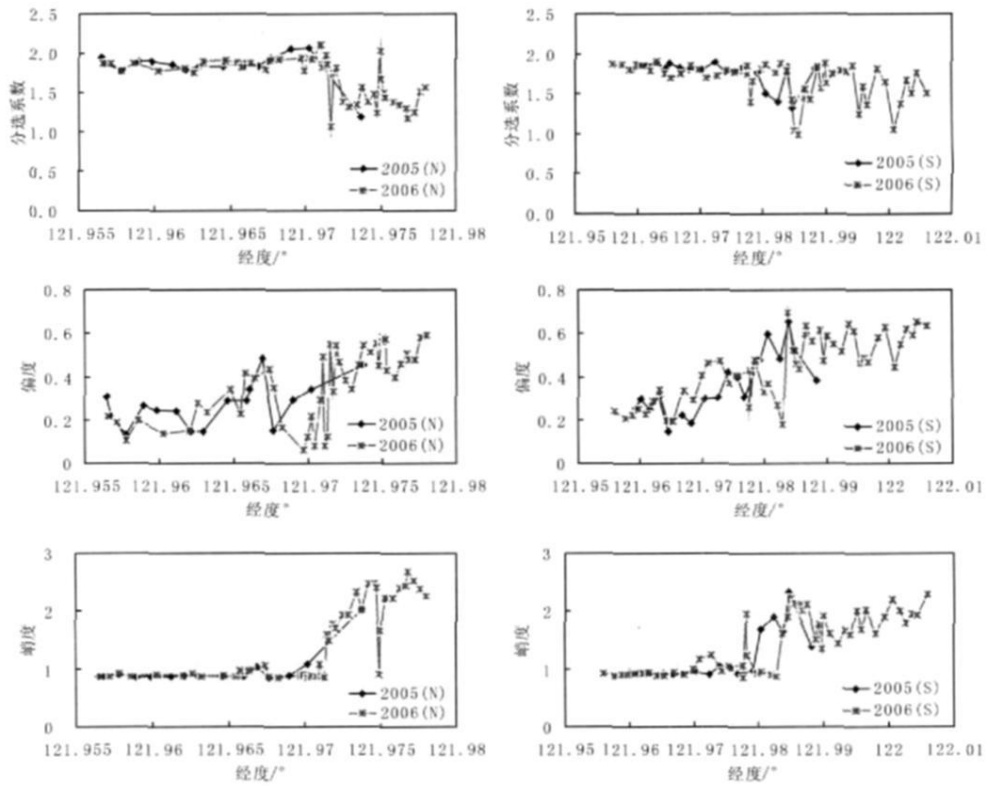


图4 南北断面表层沉积物粒度参数

Fig. 4 Surface sediment grain-size parameters in south and north sections

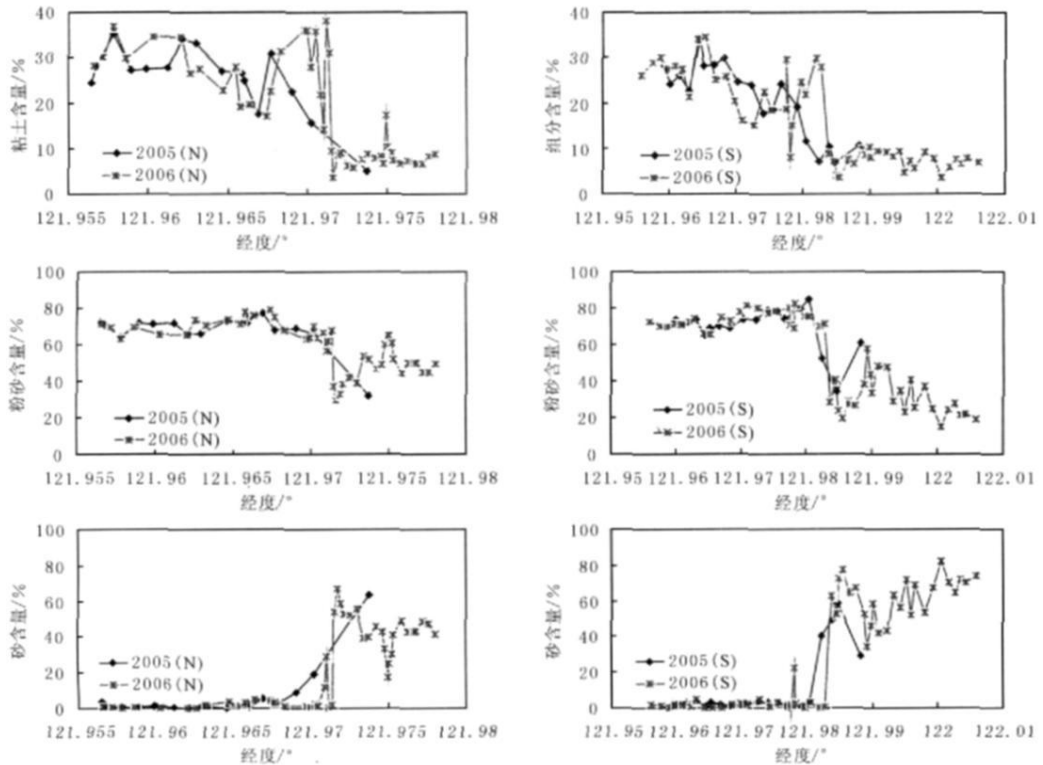


图5 南北断面表层沉积物粒度组分

Fig. 5 Surface sediment grain-size composition in south and north sections

表 1 南北断面表层沉积物粒度特征

Table 1 Surface sediment grain-size characteristics in south and north sections

		中值粒径 / $\mu\text{m}$	分选系数	偏度	峭度	粘土 %	粉砂 %	砂 %	沉积物类型
互花米草带	北	9.30	1.84	0.21	0.89	29.84	69.29	0.87	粘土质粉砂
	南	10.03	1.81	0.25	0.91	28.08	70.79	1.13	
海三棱藨草带	北	17.89	1.84	0.40	0.97	19.55	76.68	3.77	粉砂、粘土质粉砂
	南	20.04	1.72	0.42	1.17	18.22	77.33	4.45	
泥滩	北	8.88	1.92	0.14	0.88	32.18	65.37	2.44	粘土质粉砂
	南	11.41	1.83	0.29	0.91	26.05	73.00	0.95	
铁板沙	北	59.16	1.47	0.49	2.09	8.06	47.91	44.03	粉砂质砂、砂质粉砂
	南	78.57	1.55	0.56	1.86	7.32	30.93	61.74	

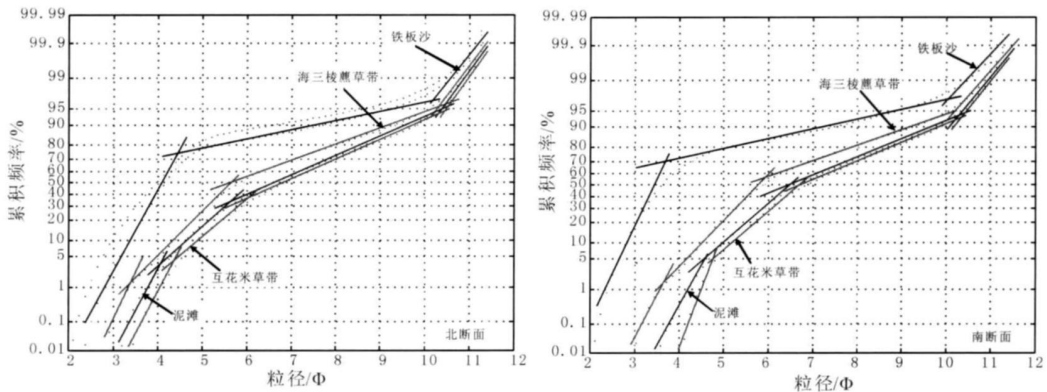


图 6 表层沉积物概率累积频率曲线

Fig 6 Cumulative frequency distribution curve of surface sediment

和互花米草带各组分较为相近, 推移组分约为 3% ~ 5%, 第一跃移组分北断面约为 35%, 南断面约为 45%, 第二跃移组分北断面约为 60%, 南断面约为 48%, 悬移组分均为 5% 左右。

上述沉积物各组分的差异直接反映了近底水动力条件的不同, 由铁板沙带向互花米草滩推移组分逐渐增加, 第一跃移组分逐渐减少, 表明水动力作用逐渐减弱, 铁板沙带动力作用较强, 而互花米草滩动力作用较弱。

从断面各带粒径频率曲线上(图 7), 铁板沙表层沉积物粒径较大, 粒度分布更为集中, 草滩和泥滩沉积物中值粒径较小, 粒度分布范围较宽。泥滩和互花米草带表层沉积物组分相似, 而海三棱藨草带与临近

的泥滩和互花米草带有很大差异, 表现在小于 16.4  $\mu\text{m}$  的细粒组分减少, 大于 16.4  $\mu\text{m}$  的粗粒部分增加, 南北断面均表现相同的特征。

根据崇明东滩沉积物在各粒级的分布特性, 将体积含量大于 2% 的粒级组定义为优势粒级。由表 2 可知, 互花米草带和泥滩的优势粒级主要集中在细粒部分, 粒径在 4.4~45.7  $\mu\text{m}$  之间, 其含量在 60% 左右, 峰值粒级在 16.4~19.8  $\mu\text{m}$  之间; 海三棱藨草带优势粒级主要集中在 10.3~50.2  $\mu\text{m}$  之间, 其含量在 55.8% ~ 61.5% 之间, 峰值粒级北断面为 31.5  $\mu\text{m}$ , 南断面为 21.7  $\mu\text{m}$ , 铁板沙带优势粒级在 34.6~168.8  $\mu\text{m}$ , 含量为 73% 左右, 北断面峰值粒级为 60.5  $\mu\text{m}$ , 南断面峰值粒级为 106.0  $\mu\text{m}$ 。

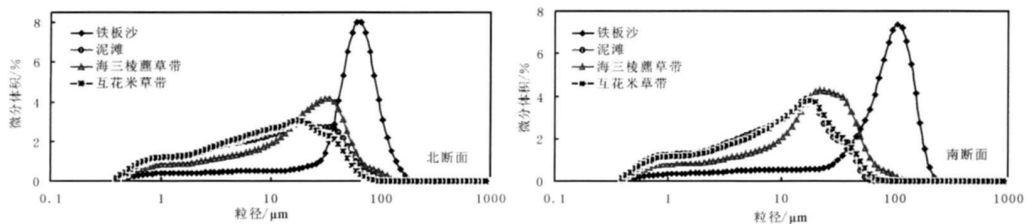


图 7 表层沉积物粒度分布

Fig 7 Distribution of surface sediment grain-size

表2 表层沉积物粒级分布

Table 2 Particle fraction distribution of surface sediment

	北断面			南断面		
	优势粒级 / $\mu\text{m}$	含量 /%	峰值粒级 / $\mu\text{m}$	优势粒级 / $\mu\text{m}$	含量 /%	峰值粒级 / $\mu\text{m}$
互花米草带	4.4~38.0	61.7	18.0	5.0~34.6	60.3	18.0
海三棱藨草带	11.3~50.2	55.8	31.5	10.3~50.2	61.5	21.7
泥滩	5.8~45.7	58.5	19.8	4.4~28.7	60.0	16.4
铁板沙	34.6~116.3	73.2	60.5	45.8~168.8	72.5	106.0

上述沉积物粒级的分析可知,铁板沙带沉积物粒度以粗粒级组分为主,海三棱藨草带沉积物粒度受到悬浮泥沙沉降的影响较大,沉积动力环境与临近泥滩和互花米草带不同。两断面沉积物在粗颗粒区(北断面从  $121.9715^{\circ}\text{E}$  向外,南断面从  $121.9837^{\circ}\text{E}$  向外)发生突变,沉积物的中值粒径、粒度参数和粒度组分出现了较大的变化,反映出这一区域表层沉积物动力作用由潮流动力为主向波浪动力为主的改变。

### 3 流速、含沙量和悬沙粒度特征

根据三脚架观测的水流和含沙量资料的分析可知(图8),大潮时,无论涨潮还是落潮,由潮间带向岸方向流速逐渐减小,光滩上的 T1 站涨潮和落潮平均流速分别为  $35.7\text{ cm/s}$  和  $61.8\text{ cm/s}$ 。互花米草滩上的 T4 站涨潮和落潮平均流速仅有  $0.6\text{ cm/s}$  和  $4.6\text{ cm/s}$  且落潮流速均大于涨潮流速。含沙量由 T1 站向 T4 站逐渐升高,涨潮平均含沙量由  $2.2\text{ kg/m}^3$  增加到  $3.3\text{ kg/m}^3$ ,落潮平均含沙量由  $2.9\text{ kg/m}^3$  增加到  $3.5\text{ kg/m}^3$ 。这是因为破波带泥沙再悬浮进入水体并在涨潮流的作用下向岸输移,引起含沙量向岸逐渐增加。高含沙水体进入潮间带上部,受到植被的阻挡,部分泥沙在此滞留,使得互花米草滩含沙量较高。在整个潮周期过程中涨潮含沙量高于落潮含沙量,但处于铁板沙带的 T1 站落潮含沙量高于涨潮含沙量,与落潮流携带大量泥沙下滩有关;落潮过程中,互花米草带含沙量最高,海三棱藨草带、泥滩和铁板沙带落潮含沙量相差不大。

根据三脚架上悬浮泥沙粒度的分析可知(图9,采样点距床面的高度见表3)。横向上,从 T1 站到 T4 站悬浮泥沙平均中值粒径由  $31.7\text{ }\mu\text{m}$  减小到  $25.5\text{ }\mu\text{m}$ ,由上到下,悬沙中值粒径逐渐增加,铁板沙上站点悬沙粒径垂向差异较互花米草滩大。从 T1 站到 T4 站悬沙中粘土和粉砂的含量增加,砂的含量减少。粘土含量由 T1 站的  $13.0\%$  增加到 T4 站的  $14.4\%$ ,粉砂的含量由  $77.4\%$  增加到  $82.8\%$ ,而砂的含量由  $9.6\%$  减少到  $2.8\%$ 。

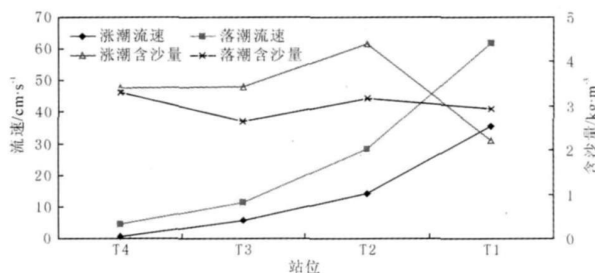


图8 涨落潮流速和含沙量分布(大潮)

Fig. 8 Distribution of flood &amp; ebb velocity and suspended sediment concentration

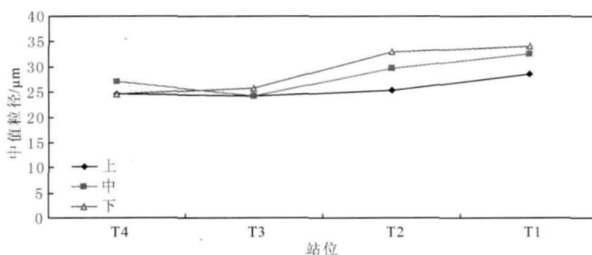


图9 悬沙中值粒径横向分布(大潮)

Fig. 9 Cross-shore distribution of suspended sediment  $D_{50}$ 

表3 悬沙采样点距床面高度 /cm

Table 3 Elevation of suspended sediment stations above the tidal flat

	上	中	下
T4	119	60	29
T3	89	55	30
T2	124	78	40
T1	118	68	29

将悬沙中值粒径与表层沉积物中值粒径进行对比发现(图10),表层沉积物中值粒径由 T1 站的  $78.5\text{ }\mu\text{m}$  逐渐减小到 T4 站的  $16.3\text{ }\mu\text{m}$ ,而且 T2、T3 和 T4 站均出现悬沙中值粒径比表层沉积物中值粒径大的现象;进一步对海三棱藨草带内 T3 站悬沙和表层沉积物粒径分布曲线的分析,表明二者粒径组分的分布十分相似(图11)。说明潮间带上部的悬沙主要

来源于破波带(铁板沙带)滩面泥沙再悬浮,在潮流的平流输送下进入潮间带上部沉积下来的,同时也表明植被在岸滩的发育和侵蚀防护中具有十分重要的作用。

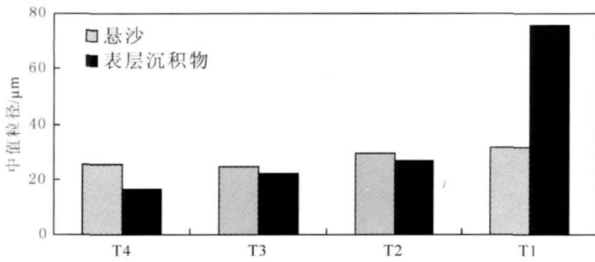


图 10 悬沙与表层沉积物中值粒径对比

Fig. 10 Comparison of surface sediment and suspended sediment  $D_{50}$

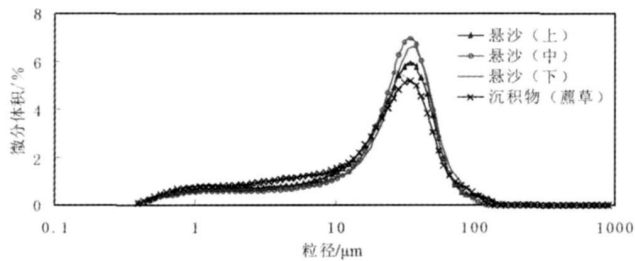


图 11 T3 站悬沙与表层沉积物粒度分布

Fig. 11 Grain-size distribution of suspended and surface sediment in T3 station

比较潮间带悬沙与邻近潮下带和主槽的悬沙粒度特征(表 4),发现主槽悬沙中值粒径比潮下带悬沙中值粒径大一倍,但均远小于潮间带悬沙中值粒径。从粒度组分上分析,潮间带悬沙粘土的含量低于潮下带和主槽的粘土含量,粉砂的含量高于二者,砂的含量相差不大。考虑到长江口潮滩沉积物主要以粉砂组分为主<sup>[15]</sup>,因此悬沙中增加的这部分粉砂组分主要来源于滩面泥沙的补充,潮流的平流作用对悬沙粒径的分布起着十分重要的作用。

## 4 崇明东滩海滩剖面特征

崇明东滩是以潮汐和波浪为主要动力因素形成的粉砂淤泥质潮滩,由陆向海具有一定的坡度,从而产生了潮滩地貌的分异。不同的潮滩地貌遭受海水浸没的频率和潮流作用的强度不同,因而潮滩自高向低产生了滩面组成物质、植被群落、底栖动物种类以及化学元素分布的差异。了解滩面高程情况是研究潮滩地貌分异的基础,潮汐水位则是划分潮滩地貌的主要依据。

据三个三脚架上 OBS 的水位探头同步观测的最高水位资料的分析(图 12, T3 站中途换位未进行统计, T1 站 OBS 高度在 9 月 8 日以前为 0.74 m, 9 月 8 日以后为 0.27 m),确定潮滩分带。观测期间未有大的风暴潮引起的水位异常现象,观测时间跨越大小潮,能够代表常态天气下崇明东滩的水位特征。互花米草带 T4 站 9 月 6 日大潮最高水位为 1.57 m, 9 月 10 日以后的小潮期间,潮水未能淹没仪器,铁板沙带 T1 站大潮最高水位为 2.8 m, 9 月 13 日小潮,潮水未能淹没仪器,因此小潮高潮位在 T2 站附近。大潮高潮位在互花米草带上部。图 13 中为 RTK 得到的 2005 年 9 月南北断面的潮滩剖面,两断面最远的高程测量点附近,即为大潮低潮位。

徐海根<sup>[17]</sup>、杨留法<sup>[18]</sup>曾对崇明东滩潮滩地貌类型按照潮汐水位特征进行了划分。但近二十年来,随着崇明东滩围垦的强度不断加大,据统计,从 1990 年到 2000 年的 11 年里,崇明东滩被圈围滩涂就超过了 100 km<sup>2</sup>,潮滩地貌必然发生变化。前人的分带与近期崇明东滩滩面特征必然不同,本文根据此次野外观测的 RTK 高精度的高程数据得到的海滩剖面特征(图 13),结合前人的分带情况、本次观测的水位特征及潮滩植被类型的分异,对崇明东滩的潮滩分带进行了新的划分,结果讨论如下(表 5):

表 4 崇明东滩和北港悬沙粒度特征

Table 4 Suspended sediment grain-size characteristics in the east Chongming tidal flat and north Channel

	崇明东滩外缘 (5m 等深线附近)						北港中					
	大潮			小潮			大潮			小潮		
	表	底	平均	表	底	平均	表	底	平均	表	底	平均
中值粒径 / $\mu\text{m}$	6.9	8.0	7.4	4.5	5.6	5.4	7.7	23.5	16.0	4.2	5.7	5.0
粘土 /%	35.5	32.3	33.9	45.9	40.3	41.3	36.2	19.7	25.9	53.1	41.9	46.8
粉砂 /%	63.4	64.5	63.6	53.1	56.8	55.0	63.0	68.2	67.4	46.9	57.6	53.0
砂 /%	1.1	3.2	2.6	1.0	2.9	3.7	0.8	12.1	6.6	0.0	0.6	0.2

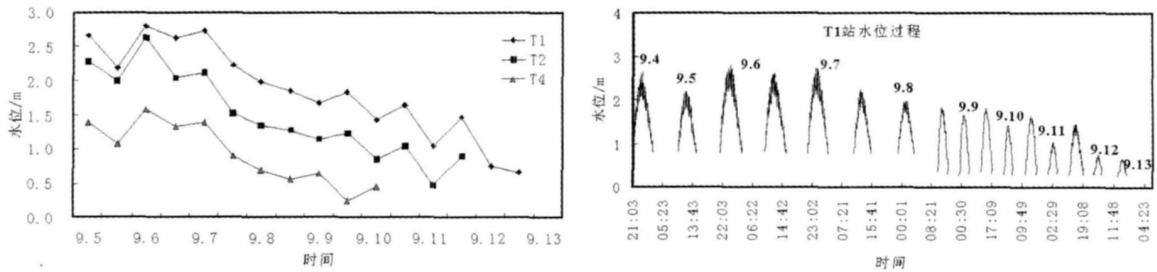


图12 崇明东滩水位特征

Fig. 12 Water level characteristics in east Chongming tidal flat

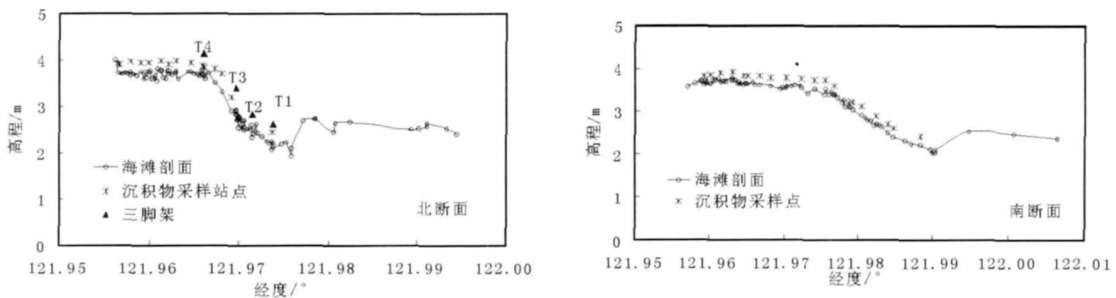


图13 崇明东滩2005年9月海滩剖面

Fig. 13 Beach profiles of east Chongming tidal flat in September 2005

表5 崇明东滩潮滩地貌分类(吴淞基面)

Table 5 Classification of the geomorphic units of east Chongming tidal flat (Wusong datum level)

潮滩分带	潮汐水位	滩面高程/m
潮上带	平均大潮高潮位以上	> 3.8
高潮滩	平均大潮高潮位至平均小潮高潮位	3.0~3.8
中潮滩	平均小潮高潮位至平均小潮低潮位	2.5~3.0
低潮滩	平均小潮低潮位至平均大潮低潮位	2.0~2.5

崇明东滩南北两断面海滩剖面的分析表明,高潮滩和低潮滩坡度均较小,中潮滩坡度较大,在破波带下部由于泥沙的分选运移使得在破波带下部堆积形成沙坝,崇明东滩上述地貌分异特征与波浪破碎带有关(图13)。北断面在 $121.976^{\circ}\text{E}$ 附近,南断面在 $121.995^{\circ}\text{E}$ 附近,均出现了高程“突升”的现象,即为崇明东滩的“水下沙坝”。在破波带内部,因为泥沙“向岸一向海”运动,粗颗粒物质保存下来,大量细颗粒物质被带到潮滩和外海,泥沙净亏损,处于侵蚀状态,因而高程相对高潮滩和 underwater 岸坡较低,在崇明东滩北断面破波带靠近高潮滩和 underwater 岸坡的两侧相对高差最大达1.5m左右。

## 5 讨论

崇明东滩面临开敞的大海,受到外海波浪的淘

洗,崇明东滩表层沉积物中值粒径呈现粗细相间分布的特征。选取部分潮间带沉积物样品与水下岸坡沉积物样品综合分析(图14),表明在南北两断面沉积物的中值粒径均出现两个粗颗粒区(潮间带和5m等深线附近),在其两侧因为泥沙分选运移作用分布较细的沉积物,沉积物这种分布特征与相应波长的波在不同区域破碎引起的分选运移有关。由此可见,崇明东滩外缘粗颗粒区可能为外海长波作用地带,近岸区域粗颗粒区为短波作用的地带。陈吉余等<sup>[19]</sup>认为长江口南汇咀水域的“铁板沙”带,其位置大致相当于-2m至低潮滩,此带以上和以下沉积物均较细,铁板沙带出现的水深与该处破波带水深是一致的,其形成主要动力条件是波浪破碎作用。崇明东滩潮间带“铁板沙”的位置与南汇滩地大致相同。

根据崇明浅滩外侧佘山站1999年6~11月波高统计资料,推算其破波水深(表6)。佘山站出现频率较大的1/10大波的平均波高在0~3m之间,其累计频率达到99%,破波水深0.77~4.62m。在-5m水深以浅的区域是波浪发生破碎的主要部位,铁板沙带也位于该区域内,与相应的破波水深一致。

图15为崇明东滩表层沉积物沿岸滩剖面分布及沉积动力作用示意图,破波带内沉积物由于分选运移



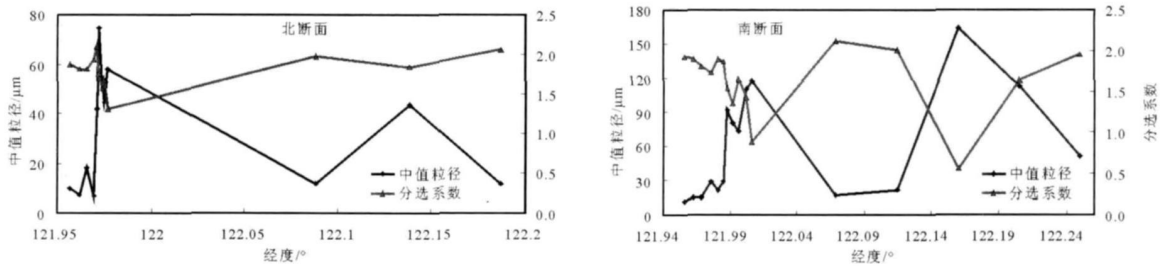


图 14 崇明东滩东滩前缘潮滩表层沉积物横向分布

Fig 14 Cross-shore distribution of surface sediment in the east Chongming seaward tidal flat

表 6 佘山站的波高频率及破波水深

Table 6 Wave height frequency and depth of break wave in Sheshan Station

$H_{1/10}$ 平均波高 /m	频率 %	破波水深 /m
0~0.5	19.3	0.77
0.5~1.0	42.2	1.54
1.0~1.5	21.7	2.31
1.5~2.0	9.4	3.08
2.0~3.0	7.0	4.62
3.0~3.5	0.4	5.38

\* 资料引自文献<sup>[20]</sup>

作用颗粒较粗,分选较好,沉积物类型以粉砂质砂和砂质粉砂为主;互花米草带、海三棱蔗草带和泥滩表层沉积物主要来自于潮流输沙和悬浮泥沙的沉降,沉积物颗粒较细,分选较差,沉积物类型为粘土质粉砂和粉砂;水下岸坡由于破波带内细颗粒泥沙向下运移,沉积物较细,分选差,沉积物类型主要为粘土质粉砂和粉砂。崇明东滩海滩表层沉积物的分布模式是由于波浪破碎后引起的沉积物横向分选塑造的,因而形成较为典型潮汐和波浪动力作用下的海滩沉积物分布模式。

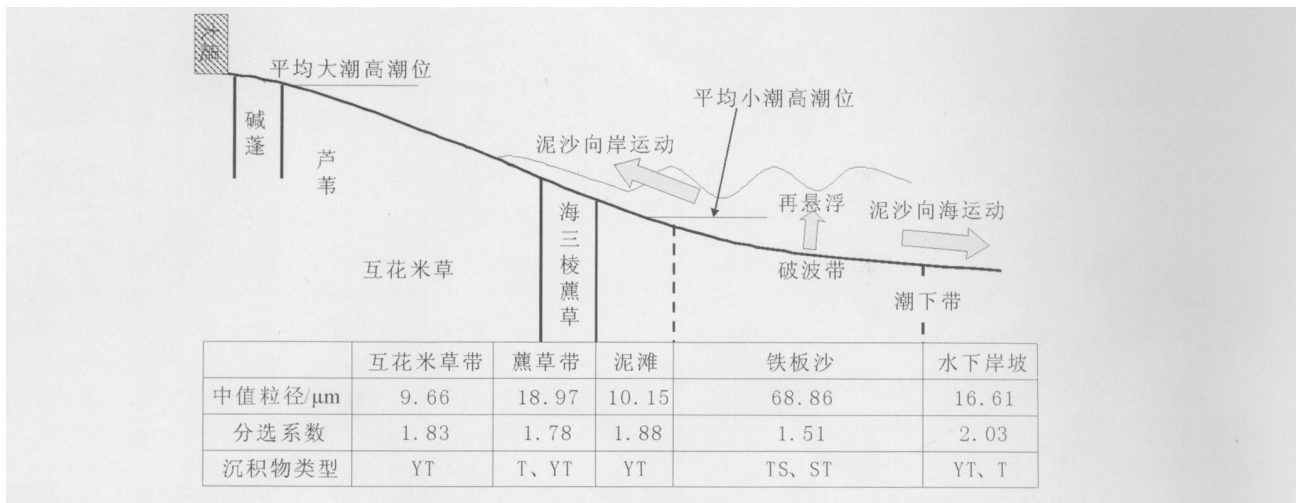


图 15 崇明东滩表层沉积物沿海滩剖面分布示意图

Fig 15 Sketch of surface sediment distribution along the beach profile in the east Chongming tidal flat

沿岸输沙和横向输沙是岸滩沉积物在同一破碎波动力的作用下相对于海岸线的运动分量,沿岸输沙以斜向入射波浪提供的沿岸流为驱动力,而向岸一向海的横向输沙主要是由波浪轨迹运动产生的。受近岸波浪速度不等性的影响,沉积物颗粒向岸和离岸加速度的不同所造成沉积物向岸一向海的横向输移,从而形成沉积物分布的差异。樊社军等<sup>[6]</sup>根据不同类

型岸滩断面上波浪和潮流摩阻流速的分析表明,对侵蚀岸段,波浪是岸滩侵蚀的主要动力,潮流主要起运移扩散的作用,如崇明东滩的铁板沙带。在堆积型岸段,潮流是岸滩塑造的主要动力,波浪作用居次要地位,如草滩和泥滩。

波浪在向岸滩传播过程中,由于波浪变形乃至破碎,在破碎带内水体产生强烈的紊动,掀起泥沙使之

运动,即“波浪掀沙”。在破碎带外,波浪对底部沉积物的扰动相对较弱,主要来自近岸潮流对破波带内浑水的平流扩散输运,即“潮流输沙”。作用的结果是粗颗粒物在滩面维持稳定,细颗粒物都被再悬浮并向海岸方向输送<sup>[21-23]</sup>。潮流携带的泥沙在向岸传播的过程中,随着水深变浅,底部摩擦作用使水动力逐渐减弱,能量逐渐损失减小,从而滩面上能被起动的颗粒变得越来越细,悬浮物质也随潮流流速减缓而发生分选沉降,较细的颗粒被带到更远的潮滩;到潮间带上部,水动力变得非常弱,同时受植被阻滞的影响,细颗粒物大量沉降。由于泥沙分选沉降,表层沉积物粒径在滩面上呈现由破波带向岸逐渐变细的趋势。破波带内表层沉积物就会形成一层粗化沉积层——“铁板沙”,这种粗化层具有较强的抗冲刷能力。

## 6 结论

通过对崇明东滩两个海滩剖面表层沉积物、悬沙粒度、剖面高程和同步水沙资料的分析,分析波流共同作用下表层沉积物粒度和地貌的分异规律。得到以下认识:

崇明东滩表层沉积物中值粒径由破波带向两侧逐渐变细,沿海滩剖面沉积物类型由岸向海方向呈现“粘土质粉砂—粉砂—粘土质粉砂—粉砂质砂(砂质粉砂)—粘土质粉砂”的分异特征,分选由破波带向两侧逐渐变差,偏度由极正偏变为正偏,峭度由很窄尖变为宽平和中等峭度,反映了波浪和潮流动力作用对崇明东滩潮滩剖面的塑造。

破波带内泥沙以“波浪掀沙”引起的泥沙分选运移为主,沉积物以粗粒级组分为主,优势粒级为 34.6 ~ 168.8  $\mu\text{m}$ ;而破波带外向岸一侧的泥沙则以潮流对破波带水体的“平流输移”运动为主,沉积物以细粒级组分为主,优势粒级为 4.4 ~ 50.2  $\mu\text{m}$ 。

由破波带向岸方向,流速逐渐减小,含沙量逐渐增加。悬沙和表层沉积物粒度特征的分析表明,由破波带向岸方向,悬沙中值粒径逐渐减小,而且悬沙中值粒径比临近主槽和潮下带表层沉积物中值粒径大,潮间带上部的悬沙主要来源于破波带泥沙再悬浮。

以高精度海滩剖面数据对崇明东滩潮上带、高潮滩、中潮滩和低潮滩等微地貌的高程分界进行了新的划分,更能反映近期崇明东滩的潮滩地貌特征。

致谢 感谢中荷合作项目野外观测团队全体人员,资料的采集过程中得到杨世伦教授的亲切指点,高程数据的采集得到张文祥博士、郜昂博士的帮助,

部分表层沉积物样品的采集分析得到李华博士、李明硕士的帮助,崇明东滩潮下带悬沙粒度资料得到李占海副教授的帮助,谨致谢忱!

## 参考文献 (References)

- 1 Kumar P D. Beach processes and sedimentation [J]. Prentice-Hall Englewood Cliffs New Jersey, 1976: 429-430
- 2 Sunamura T. Quantitative predictions of beach face slopes [J]. Geological Society of American Bulletin, 1984, 95: 242-245
- 3 陈子燊,李志龙,陈建耀,等. 常波沉下前滨剖面地动力过程分析 [J]. 海洋通报, 2007, 26(3): 12-18 [Chen Zishen, Li Zilong, Chen Jianyao *et al.* Analysis on morphodynamic processes of foreshore profile under normal wave conditions [J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(3): 12-18]
- 4 李志强,陈子燊. 海滩平衡剖面形态研究进展 [J]. 海洋通报, 2002, 21(5): 82-89 [Li Zhiqiang, Chen Zishen. Progress in the studies on beach profile shapes [J]. Marine Science Bulletin, 2002, 21(5): 82-89]
- 5 周良勇,李广雪,刘健,等. 黄河三角洲潮滩剖面特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(2): 1-8 [Zhou Liangyong, Li Guangxue, Liu Jian, *et al.* Characteristics of tidal flat profiles in the yellow river delta [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(2): 1-8]
- 6 樊社军,虞志英,金穆. 淤泥质岸滩侵蚀堆积动力机制及剖面模式——以连云港地区淤泥质海岸为例 II [J]. 海洋学报, 1997, 19(3): 77-85 [Fan Shejun, Yu Zhiying, Jin Mu. Dynamic mechanism of erosion and deposition and profile model in silty coast a case of the silty coast in Lianyungang II [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1997, 19(3): 77-85]
- 7 何小勤,戴雪荣,刘清玉,等. 长江口崇明东滩现代地貌过程实地观测与分析 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(5): 23-27 [He Xiaolin, Dai Xuerong, Liu Qingyu *et al.* Observation and analysis of the process of present-day morphology in the Chongming tidal flat of the Yangtze River Estuary [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(5): 23-27]
- 8 刘清玉,戴雪荣,何小勤. 崇明东滩沉积环境探讨 [J]. 海洋地质动态, 2003, 19(12): 1-4 [Liu Qingyu, Dai Xuerong, He Xiaolin. The sedimentary environment of the east tidal flat of the Chongming Island [J]. Marine Geology Letters, 2003, 19(12): 1-4]
- 9 Hughes M G, Masselink G, Brander R W. Flow velocity and sediment transport in the wash zone of a steep beach [J]. Marine Geology, 1997, 138: 91-103
- 10 杨世伦,姚炎明,贺松林. 长江口冲积岛岸滩剖面形态和冲淤规律 [J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(6): 764-769 [Yang Shilun, Yao Yanming, He Songlin. Coastal profile shape and erosion-accretion changes of the sediment islands in the Changjiang River Estuary [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1999, 30(6): 764-769]
- 11 上海市海岛资源综合调查报告编写组. 上海市海岛资源综合调查报告 [M]. 上海:上海科学技术出版社, 1996: 23-30 [Compiling Group of Integrated Investigation Report of Shanghai Island Resources. Integrated Investigation Report of Shanghai Island Resources [M].

- Shanghai Shanghai Scientific and Technical Publishing 1996: 23-30]
- 12 Folk R L, Ward W C Brazos River Bar a study in the significance of grain size parameters [ J ]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27, 3-26
  - 13 Shepard F P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios [ J ]. Journal of Sedimentary Petrology, 1954, 24, 151-158
  - 14 Fox W T, Ladd J W, Martin M K. A profile of the fourment measures perpendicular to a shore line, South Haven, Michigan [ J ]. Journal of Sedimentary Petrology, 1966, 36, 1126-1130
  - 15 邵虚生, 严钦尚. 上海潮坪沉积 [ J ]. 地理学报, 1982, 37(3): 241-249 [ Shao Xusheng, Yan Q in shang. Intertidal flat sediments in Shanghai coastal region [ J ]. Acta Geographica Sinica, 1982, 37(3): 241-249]
  - 16 杨世伦. 海滨沼泽沉积物特征 [ J ]. 地理科学, 1987, 7(4): 374-382 [ Yang Shilun. Sediment characteristics of nearshore marsh [ J ]. Scientia Geographica Sinica, 1987, 7(4): 374-382]
  - 17 徐海根. 第六章, 地貌 [ M ] // 上海市海岸带和滩涂资源综合调查报告. 上海: 上海科学技术出版社, 1988: 103-104 [ Xu Haigen. Chapter 6<sup>th</sup> Geomorphology [ M ] // Integrated investigation report of Shanghai coast and tidal flat resources. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988: 103-104]
  - 18 杨留法. 试论粉砂淤泥质海岸带微地貌类型的划分——以上海市崇明县东部潮滩为例 [ J ]. 上海师范大学学报 (自然科学版), 1997, 26(3): 72-77 [ Yang Liufa. Classification of the microgeomorphic units on the silt puddly coast taking Chongming east beach of Shanghai as an example [ J ]. Journal of Shanghai Normal University (Natural Science), 1997, 26(3): 72-77]
  - 19 陈吉余, 陈沈良, 丁平兴, 等. 长江口南汇咀近岸水域泥沙输移途径 [ J ]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(2): 166-172 [ Chen Jiyu, Chen Shenliang, Ding Pingxing, et al. Sediment transport along the Nanhui submerged spit of the Yangtze Estuary. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2001, 10(2): 166-172]
  - 20 楼飞. 长江口深水外航道海域沉积和冲淤环境研究 [ D ]. 华东师范大学, 2005: 24-25 [ Lou Fei. The sedimentary & accretion-erosion environment of the outer navigation channel in Changjiang Estuary [ D ]. (The thesis of Master Degree). East China Normal University, 2005: 24-25]
  - 21 金镠, 虞志英. 淤泥质海岸挖槽回淤预测的沉积动力学途径——以杭州湾试挖槽为例 [ J ]. 泥沙研究, 1999, 5: 34-43 [ Jin Liuyi, Zhuying. Sedimentary dynamic approach to predict sedimentation in channels at mud coast example of experimental channels in Hangzhou Bay [ J ]. Journal of Sediment Research, 1999, 5: 34-43]
  - 22 Ke X K, Evans G, Collins M B. Hydrodynamics and sediment dynamics of the Wash embayment, eastern England [ J ]. Sedimentology, 1996, 43: 157-174
  - 23 蔡锋, 苏贤泽, 杨顺良, 等. 厦门岛海滩剖面对 9914 号台风大浪波动力的快速响应 [ J ]. 海洋工程, 2002, 20(2): 85-90 [ Cai Feng, Su Xianze, Yang Shunliang, et al. A rapid response to 9914 typhoon-induced storm wave force made by the beach profiles of Xiamen Island [ J ]. The Ocean Engineering, 2002, 20(2): 85-90]

## Sediment and Geomorphology Differentiation of Tidal Flat Profiles Combined Wave and Current Actions: a case of the east Chongming tidal flat, Changjiang Estuary

LIU Hong HE Qing JIXiao-qiang WANG Ya XU Jun-jie

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

**Abstract** Based on the data of two tidal flat profiles, surface sediment and suspended sediment grain-size, current velocity and suspended sediment concentration in the east Chongming tidal flat, the sediment and geomorphology differentiation of tidal flat profiles combined wave and current actions were analyzed. The results showed that the surface sediment  $D_{50}$  decreased gradually from the surf zone to the near shore and outer sea. The sorting of the surface sediment increased, and the skewness changed from very positive to positive, and the kurtosis changed from very leptokurtic to platykurtic and mesokurtic. The current velocity decreased and the suspended sediment concentration increased from the surf zone to the near shore. The comparative analysis of suspended and surficial sediment grain size showed that the suspended sediment in the upper of intertidal zone mainly came from the sediment resuspension of the surf zone. The selective transport due to the sediment uplift by wave dominated the sediment transport in the surf zone, and the sediment horizontal transport by tidal current dominated the sediment transport in the near shore and outer sea beside the surf zone. The microgeomorphic units of east Chongming tidal flat were divided based on the discussion of the water level and accurate elevation recently.

**Key words** Changjiang Estuary, east Chongming tidal flat, tidal flat profiles, surf zone, microgeomorphic units

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>