# 江苏省淤泥质潮滩的潮流特征及 悬移质沉积过程<sup>\*</sup>

张忍顺

(南 京 大 学)

**提要** 江苏淤泥质潮滩属于有大-中潮差的开敞或半开敞潮滩。 根据多断面昼夜水文 观测,本文分析了潮滩潮流及悬移质沉积物的分布及变化,并与荷兰瓦登海(Waddenzee)等处 淤泥质潮滩进行了对比。 作者指出著名的延迟机制在开敞或半开敞的强潮潮滩上的适用性和 局限性,发现潮滩上有水沙的水平余循环及类潮流椭圆,认为广阔的潮滩可以分成相对独立的 一系列沿岸单元。

江苏近岸的潮汐状况主要受黄海南部旋转潮波系统和东海前进潮波系统的控制,属 正规半日潮。 北部海岸从北向南依次发生高潮,而南部海岸的高潮时则由南向北推迟。 弶港岸外高潮最迟,正是两个潮波系统汇合之处。潮差的分布有两个特点:(1)顺岸以 新洋港为界,向北、向南潮差均逐渐增大;南部从长江口向北,潮差亦逐渐增大。弶港至北 坎一带潮差最大,平均潮差在4m以上,属强潮海岸。其两侧的潮差为2-4m,属中潮海



图 1 江苏沿海潮差分布和潮波传播

<sup>\*</sup>本文承任美锷教授惠阅并提出宝贵意见, 道表谢意。 收稿日期: 1984年10月9日。

岸(图1)。(2)岸外沙洲区的潮差比毗邻岸边大 2m 以上<sup>v</sup>。由于沙洲区离海岸较近,对 于近岸水道及岸滩的潮流有重大影响,使江苏淤进型潮滩有强潮海岸的特点。

历史上,費河于 1128—1855 年曾由江苏北部人黄海,将总计约 7000 亿吨的泥沙带给 江苏沿海,形成了广阔的淤泥质潮滩、滨海平原和岸外沙洲。黄河北归以后,大量泥沙的 来源断绝,但由于岸外沙洲的保护和泥沙库存作用,使江苏中南部海岸的潮滩仍能得到大 量泥沙<sup>(1,17)</sup>。因此,江苏中南部潮滩不仅不象北部那样受到强烈侵蚀而后退,相反在不同程 度上仍在继续淤进或处于稳定,其最宽处可达 10km 以上。位于辐射沙洲中心区已并滩的 沙洲,将江苏淤进型潮滩隔成两段。北段从射阳河口到川东港,近百年来的平均淤长速 度为 50—100m/a<sup>(1,3)</sup>,其岸与苏北辐射沙洲中的最大沙洲——东沙隔有宽阔水域——西 洋。西洋最窄处,其宽度亦在 20km 以上,主槽深达 20m,向北开敞。南段从东台县新港 閘到海门县东灶港,海岸基本稳定而稍有淤进。岸外沙洲的沙体较小,其间有众多的宽深



图 2 江苏淤进型潮滩、岸外沙洲的分布和研究区域

1) 黄易畅等,1982。江苏沿海湖汐状况初步分析。海洋研究 2。

水道,而且海岸并非是全封闭的,故辐射状沙洲内缘的潮滩属半封闭潮滩(图 2)。

潮间上带和潮上带的滩面沉积物主要由粘土-中粉沙组成,而潮间下带和潮下带是由 粗粉沙及极细沙组成<sup>11</sup>。

## 一、研究方法

1980-1981年,先后在新洋港和王港附近(北段)、小洋口和北坎附近(南段)等4个断面上,于大潮汛时分别进行了连续25小时的潮滩水文测量(图2)。 所测项目计有流速、流向、悬沙量和风况,于每个断面上设3个站(见表1,图6)。各断面的第三站、王港断面的第二站位于潮间上带的泥-粉沙滩上,其它断面的第二站位于潮间下带的粉沙-细沙滩上。第一站均位于滨外区水道的向陆坡上,只有王港断面的第一站在低潮水边线附近。测流和取水样的层次为:水深小于1.5m时测一层(0.6倍水深);水深大于或等于1.5m,小于2.0m测两层(水表面下0.5m,水底上0.5m);大于2.0m测三层(再加上0.6倍水深)。 垂线平均流速、含沙量及单宽输沙率均使用矢量分解法及加权法求得。

断面名	断面号	观测日期	风况
	II	1980.9.25-26	SE 3级,转 WNW 2级
王港	III	1980.9.14-15	NE 3级
陆家灶	VI	1981.9.12-13	NE 2—3 级
北坎	VII	1981.9.13-14	NE 2—3 级

表1 各潮滩水文断面观测日期及风况

## 二、结 果

### 1. 流速

江苏海岸带的潮流属正规半日潮流,岸外水道和潮滩均以涨潮流作用为主。各站位 的最大流速和平均流速均是涨潮大于落潮(北坎断面第二站因位于一条潮沟的边坡上,没 有测到潮锋来到后的最大涨潮流速,故垂线平均流速在落潮时大于涨潮)(图 3)。垂线平 均最大涨落潮流速之比为 1.2—1.6,多在 1.4 左右。涨潮阶段的前期,潮位上升较快。滨 外水道各站的涨潮历时短,为 5—5.5h,而落潮历时长,为 7.5—7h。潮滩各站亦有大致相 同的潮时不对称现象,平均涨落潮历时之比为 0.73。

滨外水道在涨潮后的两个小时左右,涨潮流速达到最大值。由于潮锋到达潮滩各站 需要时间,故凡在岸外水道涨潮后两小时左右能够涨抵的潮滩上,最大涨潮流速出现时刻 大致与滨外水道同时。而此时不能涨到的潮滩上,最大涨潮流速则出现在涨潮锋到达之 时,故潮滩上最大涨潮流速出现时刻向着高潮水边线推迟,流速亦随之减小。

在观测期间,可以观察到1-1.5h的平潮时段,但各站大多均未测到流速小于0.05m/ s的憩流,这说明潮下带及潮间带中下部的憩流时刻较短。在多数情况下,高潮附近最小 流速出现时刻要比平潮时迟0.5h,潮下带低潮附近的最小流速大致与枯潮时相对应。

最大落潮流速亦向低潮位偏移,多在低潮前 2—3h。在潮间浅滩上,最大落潮流速亦 多向落干时偏移。潮间上带因落潮延时较短,偏移趋势不大明显。



图 3 各测站水深、垂线平均流速及平均含沙量过程线 (h: m; ū: m/s; ē: g/L)

## 2. 含沙量

由图 3 亦可看出,涨潮含沙量几乎均大于落潮,其增减基本与流速的升降一致,即潮 滩上两者的过程线均呈左斜的"\\"型。但最低含沙量大多要比高潮时最小流速晚一个小时。如测流时间间隔是一个小时,则两者的平均时差为 0.5—1h。涨潮过程的最大含沙量与 最大流速几乎同时,这是因为涨潮初期,流急且水层薄,滩面沉积物被大量扰动而进人悬 浮状态所致。垂线平均含沙量,在潮间下带的粉沙-细沙滩上可高达 3—4g/L。

值得注意的是,垂线平均含沙量由滨外水道向潮滩的变化趋势与其平均流速不同(图 4)。由于 II 和 III 断面的海岸走向,滩面形态和沉积的相似性,将两断面上各站相对于各 沉积带的部位同绘于图 4,以反映流速和含沙量由岸向海的分布规律。

由西洋水道至潮滩,全潮平均流速迅速减小了 1/2 以上。其中涨潮流速减小更快,约降低 2/3。至中潮位线以上,流速仍在减小,但梯度已大大降低。在高潮线附近趋于常值。但含沙量则以潮间下带下部的粉沙-细沙滩上最大,向滨外水道和潮间上带均迅速减小。潮间上带的平均含沙量比潮间下带减小了 1/2 以上,仍普遍小于滨外水道。 涨潮时

- 17 卷



图 4 全潮平均含沙量和流速由海向岸的分布趋势

的含沙量分布亦是如此。由此可见,断面上含沙量最大之处流速并非最大,潮水由滨外水 道涨至潮滩时,含沙量大增,正与流速大减的趋势相反。

当潮水由顺岸的滨外水道涌上潮滩时,流向发生急剧变化,向岸分量增强,且随着潮 位升高流向偏转加大。潮水转向使水体产生强烈扰动,从而能量大量消耗,平均流速降低。 这种水体涡动搅动了滩面沉积物,使之处于悬浮状态,于是潮滩下部悬沙含量大增。由图 4 看出,涨潮时含沙量由海向陆的变幅比落潮时大,这说明涨潮时水流的扰动更强烈。

## 3. 流向

由于江苏潮滩淤进型岸段的岸外有大片辐射状沙洲,濒岸水域是若干顺岸延伸的水 道,潮流受侧壁的束窄作用,因而具有明显的往复流的特征(图5)。在潮滩上的水流却是 旋转流,其旋转方向与水道中的涨、落潮流的方向一致。当潮滩位于水道涨潮流向的右侧 (如北段)为顺时针;如位于左侧(南段)则反之。这与英国沃什湾潮滩的潮流旋转方向吻 合<sup>[6]</sup>。在低潮水边线附近的站位上,流速矢端连线近似呈椭圆(图5)。由于潮间带上各站 并非全潮有水,矢端轨迹不应闭合。为表示潮间带上流向旋转的特征,当滩面干露时,认 为流速为零,则矢端轨迹与椭圆相比,缺少一个类似扇形的部分,其圆心角的大小与该处 潮滩干露的时间长短有关。为与外海的潮流椭圆类比,将潮滩上流速的矢端轨迹称作类 潮流椭圆。在北段的 II,III 断面上,类潮流椭圆的旋转方向为顺时针,而南段的 VI、VII 为反时针。与外海最大涨落潮流的方向不同,而在潮滩上,最大涨落潮流流向夹角应小于 180°。除大型潮滩水道(如王港水道)附近的站位(III<sub>3</sub>)外,越接近高潮水边线,夹角越 小。III<sub>3</sub>站因受王港水道涨落潮流的影响而接近往复流形式。

值得注意的是潮滩各站的最大落潮流方向彼此差别不大,而最大涨潮流向相差很大, 且由海向岸,流向似有逐渐趋向于垂直海岸的趋势。这一特点对于潮滩上泥沙输运有重 大影响。

## 4.水沙输移

由于潮滩上流速和含沙量由潮间下带向岸逐渐减小,单宽余沙量和余潮量也向岸逐 渐减小。潮滩上与岸外水道站位相比,其余潮量均要小1-2个量级。前者为10<sup>3</sup>kg/m·d,



图 5 潮流流向由海向岸的变化

VII,

 $M_3$ 

VII.,





而后者为 10<sup>5</sup>kg/m·d。 在研究长距离淤泥质海岸泥沙沿岸的运动时,主要应考虑潮间 带以下的输沙作用。 与岸外水道相比,低潮水边线附近(II<sub>2</sub>,III<sub>1</sub>,VI<sub>2</sub>,VII<sub>1</sub>)的余沙量 和余潮量已有明显的向岸分量,而且前者大多比后者更偏向岸,这说明潮间带上淤积的泥

沙主要来自滨外区(图6)。

从图 6 可以看出,除 VII 断面外,潮间上带的输水、输沙方向与岸外水道及潮间下带 相反。这是潮流的速度和方向由海向岸变化的结果。以 II,III 断面为例,当潮水涨至潮间 下带时,流向已开始向岸偏离,但最大涨潮流方向仍和潮滩外水道相似:随着向高潮线接 近,最大涨潮流方向更偏向垂直于海岸,至高潮水边线附近,多垂直于海岸。而最大落潮 流的流向在整个潮间带上几乎不变,与海岸(面对滩面向右为 0°)的交角为 220°—230°。 由于涨潮流大于落潮流,涨潮含沙量大于落潮含沙量,因此在潮间下带和潮下带合成后的 输水、输沙方向与涨潮流方向一致;而在潮间上带却因涨潮流接近于垂直海岸,使合成后 的输水、输沙的沿岸分量与落潮流向一致。

在 VII 断面上, VII, 站由于北部被一凸出浅滩屏蔽,处于一条大型潮沟系统的向海端,落潮流因滩面水的汇集作用而加强;涨潮流却受北部凸出沙体的阻拦而减弱,因此平均落潮流速大于涨潮流速,并在落潮方向上输水、输沙。但这不能代表滨外水道和潮间下带的输水、输沙趋势。从 VII, 和 VH。可看出潮间上带反向的水沙输移(图 6d)。

总上所述,江苏淤进型潮滩的北段,滨外水道和潮间下带的悬沙是由北向南输送,而 南段是由南向北输送的。但在潮间上带则相反。这样在潮滩上的一定范围内存在着水体 及悬移质的水平余循环。4个断面的观测均在夏季进行,且天气条件较单一,如要代表全 年的状况,需补充冬季的观测。而上述观测却是在东北风时进行的,这有助于本文的讨论。

论

三、讨

## 1. 延迟效应的适用性

细颗粒悬浮沉积物向潮滩上部富集并堆积下来,从而使滩面沉积物由外向内,粒径逐 渐减小。这一现象在三十年代 Häntzschel 已作了系统的论述<sup>181</sup>。1954 年 Postma 提出了 解释这一现象的假说<sup>[13]</sup>。以后他本人<sup>[13,14]</sup>、Van Straaten 和 Kuenen<sup>[17]</sup>又深化了这一理论, 这就是冲刷延迟和沉降延迟的机制。 Postma<sup>[14]</sup> 指出,延迟效应机制适用于粒径在 8— 100µm 之间的沉积物 (细粉沙-极细沙),这一粒径范围包括了江苏淤进型潮滩沉积物的 绝大部分。 上述学者还指出了另一些因素,如高潮时沉降距离短而低潮时沉降距离长、 长轴平行于海岸的潮流椭圆等,对延迟效应起加强作用<sup>[15,17]</sup>。Postma 亦指出<sup>[15]</sup>,时间-速 度不对称性较之距离-速度不对称性,在延迟效应中的作用更加明显等。上述各论点在一 定程度上都适合于调查区。

江苏淤进型潮滩分属中潮或强潮海岸,大潮汛平潮前后没有明显的流速小于 0.05m/ s 的憩流时刻,而流速小于 0.2m/s 的历时由滨外水道的 40min 向上逐渐延长。Carling 在南威尔士的 Loughor 河口(潮差大于 5m) 潮滩上,于大潮汛正常天气下测得: 高潮前 后大约 30min 的时段中,流速有相当大的波动,没有憩流<sup>isi</sup>。可见,对于强潮海岸,除在 高潮水边线附近有较长的憩流时段外,细颗粒泥沙在高潮时不能沉降到中下部 潮滩上。 由此确定了在强潮海岸,细颗粒沉积物的淤积部位是在高潮线附近。 这与处于封闭环境 中的瓦登海潮滩不同,该处细颗粒最大淤积部位是在潮滩外缘和水道末端<sup>(13)</sup>。瓦登海潮 **滩外缘**的最大流速为 0.2—0.3m/s。 而江苏潮间下带的粉沙-细沙滩上的大潮汛最大垂线 **平均流速为** 0.7—1.2m/s,即使在潮间带中部,全潮平均流速也大于 0.25m/s。因此,最大 由大潮到小潮的半个月循环的后半期,因潮流速度不断减小,潮滩上部有时不上水, 那些在大潮汛落淤的浮泥便逐渐压实脱水,从而使侵蚀速度和搬运速度间的差别增大。 中潮汛时落淤的浮泥也经历了一定的压实期。由小潮向大潮过渡的中潮汛,不能把已经 历了约几昼夜压实期的浮泥重新侵蚀搬运,而要等待随后而来的大潮。在较靠上的部位, 在大潮汛时也不能重新被冲刷搬运。于是在大潮汛落淤的泥层上又落淤了新的浮泥;在 中潮汛落淤的泥层上又落淤了较粗些的沉积物。这样就形成了粗细相间的纹层。

由上所述,在正常的天气状况下,在大潮高潮线附近应沉积悬浮物中最细的部分;而 在中潮高潮线附近,可以交互沉积最细和稍粗的沉积物,而小潮高潮线以下,最细的"泥" 是不能保存的。这就可以解释江苏淤进型潮滩表层沉积物由岸向海的分布。以王港断面 为例,潮上带下部为沉积物最细处(Md = 5.79¢),潮间上带的上部,淤积速度最快,发 育互层层理,而在小潮高潮线向海侧,找不到浮泥,均为分选好的粗粉沙和细沙<sup>11</sup>。从以 上分析可看出,只有在由大潮汛向小潮汛过渡的潮相中才能造成滩面细颗粒的淤积,而在 由小潮汛向大潮汛过渡的潮相中,除大潮高潮线附近外,不能保存细颗粒的落淤物。

总之,在比较开敞的淤泥质潮滩上,延迟作用的机制能够解释一些现象。但由于开敞 海岸较封闭海岸在动力因素上要复杂得多,还有一些现象不能用延迟作用来解释。这说 明尚有其他的动力机制作用。

## 2. 波浪的作用

一般认为, 淤泥从浅水区海底被搅起时, 波浪起主要作用。正如 Straaten 等<sup>[17]</sup>指出 的, 波浪和风的作用是延迟作用机制中所忽略的最有效的作用。当波浪传至潮滩外缘后, 水深骤减, 滩面沉积物迅速被扰动, 潮下带和潮间下带的悬移质含量大增。由图 4 可以看 出, 在落潮阶段, 粉沙细沙滩面上的垂线平均含沙量约是滨外区的 1.5 倍, 而涨潮阶段由 于叠加了流向变化和涨潮前锋的扰动作用, 故粉沙细沙滩面上的垂线平均含沙量是滨外 区的两倍。显然潮间下带与滨外水域全潮平均含沙量之比与潮滩开敞程度有关。在基本 开敞的江苏潮滩北段, 这一比值为 1.6—1.7, 而在半开敞的南段则在 1.3 左右。

涨潮前锋的流速在北段的中潮海岸潮滩上为 0.75m/s, 而在强潮海岸的南段潮 滩上 可高达 1.20m/s。潮锋可把滩面沉积物成层地揭起。在小洋口和北坎,潮锋的扰动深度为 5cm 左右。扰起的泥沙并未随潮锋向前挟运,挟带它的潮水随后就被其后泥沙含量较低 的潮水所漫越。一旦最大流速脉冲(延续约 0.5—1h)过后,大部分被扰起的粗粉沙细沙 又重新沉降在滩面上,只有一部分被带往潮间上带。在这一阶段, Straaten 等认为不起作 用的潮流挟沙能力<sup>[17]</sup>可能起明显作用,因为此时的含沙量可高达 10g/L 以上。Carling<sup>[5]</sup> 在南威尔士的强潮潮滩上 (Md = 3φ),测得波浪的平均扰动深度有季节变化。 夏季较 小,为 8.83mm,冬季(1-2 月无数据)较大,为 19.48mm。可见波浪扰动深度与潮锋扰动 的深度相比较小,但属同一量级。

江苏淤进型潮滩宽达 10km 以上,潮间上带广泛地分布着浮泥。 Wells 等<sup>[18,19]</sup>在南 美圭亚那海岸的淤泥质潮滩发现,当水底由浮泥组成时,波浪以类孤立波的形式向高潮水 边线传播。由于类孤立波的波峰下水质点的向岸速度比波谷下的离岸速度大,加强了涨 落潮流速的不对称性,有利于细颗粒沉积物继续向岸运移,在潮滩上部富集。

#### 3. 风暴潮

不少学者都注意到仅用平静天气下的潮汐作用并不能解释潮滩上部(即盐沼)的淤积 速率。Carling<sup>151</sup> 用悬沙量实测资料算得的淤积率比用揭片所得的要小一个量级,且发现 悬沙的平均粒径是 25μm,而盐沼沉积物中有 20—90% 是细沙。可见另一种重要机制被 忽略了。西德 Neuwerk 潮滩上实测资料表明,在蒲氏风级 8—9 级向岸风的情况下,底层 最大流速增加了 100%<sup>[7]</sup>。在风暴潮期间,含沙量可以是平静天气下的 5—10 倍<sup>[6,12]</sup>。可 见风暴潮侵袭时,潮滩上泥沙运移量成十倍地增加。江苏沿岸经常处于风暴潮的影响之 下。观测表明,风暴增水时大大增强的水流和暴风浪可把整个潮间带的滩面沉积物搅起, 整个潮间带都遭受冲刷。只是在潮上带有细颗粒的泥级物质沉降,形成了 2—3mm 的"泥 皮";在潮间上带则因在风暴过后水流较缓而有大量较粗颗粒落淤。在潮间下带,因风暴 时大量涌上的滩面潮水需在落潮时退往外海,落潮加强,甚至粗粉沙和细沙也难以落淤, 于是形成了上淤下冲的风暴潮滩剖面<sup>[15]</sup>。由于江苏潮滩的下部和岸外沙洲是由粗粉沙组 成,故潮滩上部的风暴潮沉积层亦为粗粉沙级,其中值粒径 Md = 4.93φ,在正常天气下 大潮汛沉积物 Md = 5.35φ,中潮汛的沉积物更细 Md = 6.03φ。 任美锷等用风暴潮解 释了占王港潮间上带沉积总厚度 36% 的粗粉沙沉积层<sup>[1,2]</sup>。

## 4. 潮滩余流和沿岸单元

前文已述,在江苏淤进型潮滩上,余沙量和余潮量都有明显的顺岸分量。不过在潮间 下带和潮下带的输水、输沙方向与滨外区的优势潮流方向(即余流)一致;而在潮间上带的 余潮量和余沙量则相反。可见就一个断面而言,潮滩的上部和下部存在着方向相反的输 ,水、输沙。

江苏淤进型潮滩上有许多伸入潮滩上部的大型潮沟,其中有些已被用作滨海平原的 排涝渠道,它们切过了整个潮滩。这些潮间带沟槽主要是在垂直于岸的方向上输水、输 沙,并与归入它们的一些次级潮沟构成在动力和沉积方面相对独立的一些单元——潮 滩盆地。它们被一些潮汐分水高滩分开。本次调查的站位多位于离潮沟主干较远的滩地 上。潮间上带反向的输水、输沙表明从一个潮滩盆地有一定的水量和沙量通过分水高滩 进入临近的潮滩盆地,并在退潮时由后一潮滩盆地的潮沟系统泄入滨外水道。这种现象 可以与被堡岛所掩护的瓦登海潮滩进行类比<sup>[15]</sup>。

潮滩上水沙的水平循环,在江苏淤进型潮滩的北段是顺时针的,南段是反时针的。如 果不考虑潮汐的不等现象,则参与这一循环的水量在一个潮周期中也应该是平衡的。但 是由于潮滩上延迟效应的存在和潮沟向潮滩上部输送细颗粒沉积物的作用<sup>[4,10]</sup>,使得参 与这一循环的细颗粒沉积物量是不平衡的。

Inman 曾把波浪作用下的近岸水域分为一系列的沿岸单元 (longshore cell)<sup>191</sup>。各单 元都有相对独立的水平方向上的水沙循环系统和相应的韵律地形。 由以上分析可以看 出,在淤泥质潮滩上,除形成沿岸并排的一些潮滩盆地及其中的潮沟系统这一大尺度韵律 地形外,在水动力学上,尚有由滩面水流和相邻潮沟系统的水流组成的水平水沙余循环。 两者相互交错地叠置。因此,淤泥质平原海岸的淤进型潮滩也分成一系列沿岸单元。这 些水沙余循环的相对独立的单元在韵律地形上的反映已很明显,但在沉积学上的反映尚 有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 任美锷、张忍顺、杨巨海, 1984。江苏王港地区淤泥质潮滩的沉积作用。海洋通报 3(1): 40-54。
- [2] 任美锷、张忍顺、杨巨海等, 1983。风暴潮对淤泥质海岸的影响。海洋地质与第四纪地质 3(4): 1-24。
- [3] 张忍顺, 1984。苏北黄河三角洲及滨海平原的成陆过程。地理学报 39(2): 173-184。
- [4] Bayliss-Smith, T. P., R. Healey, R. Lailey et al., 1979. Tidal flows in salt marsh creek, Estuar. Coast. Sci. 9: 235-255.
- [5] Carling, P. A., 1982. Temporal and spatial variation in intertidal sedimentation rates. Sedimentology 29(1): 17-23.
- [6] Collins, M. B., C. L. Amos and G. Evans, 1981. Observation of some sediment-transport processes over intertidal flat. Sediment 5: 81-98.
- [7] Göhren, H., 1976. Currents in tidal flats during storm surges. Proc. of the 15th Coastal Engineering Conf. New York, American Society of Civil Engineers. vol. 2, pp. 959–970.
- [8] Häntzschel, W., 1939. Tidal flat deposits, Holocene Tidal Sedimentation (Ed. Klein, G. dev.), DH and R. pp. 14-24.
- [9] Inman, D. L., and B. M. Brush, 1973. The coastal challenge. Science 181: 20-32.
- [10] Kestner, F. J. T., 1975. The Loose-boundary regime of the Wash. The Geograph. J. 141(3): 388-414.
- [11] Pethick, J. S., 1980. Velocity surges and asymmetry in tidal channel. Estuar. Coast. Mar. Sci. 11 (3): 331-345.
- [12] Postma, H., 1954. Hydrography of the Dutch Wadden Sea. Arch. Néerl. Zool. 10: 405-511.
- [13] Postma, H., 1961. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. Netherlands J. Sea Res. 1(1/2): 148-190.
- [14] Postma, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the Estuarine Environment. Estuarine (Ed. by H. Lauff). AAS. pp. 158—179.
- [15] Postma, H., 1982. Hydrography of the Wadden Sea: Movements and Properties of Water and Particulate Matter. Printed in the Netherlands. Chapt. 2, pp. 18–19; 34–47.
- [16] Ren Meie, Zhang Renshun and Yang Juhai, 1983. Sedimentation on tidal mud flat of Wanggang Area, Jiangsu Province, China. Collected Oceanic Works 6(2): 84-108.
- [17] Straaten, K. N. J. U. Van and Ph. H., Kuenen, 1958. Tidal action as a cause for clay accumulation. J. Sed. Petrol. 28: 406-413.
- [18] Wells, J. T., 1978. Suspension and transportation of fluid mud by Solitory-Like waves. Proc. of 16th Coastal Engineering Cof. New York, American Society of Civil Engineers. vol. 2, pp. 1932– 1952.
- [19] Wells, J. T., 1983. Dynamics of coastal fluid muds in low-, Moderate-, and high-tidal range environment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40(Suppl. 1): 130-142.

# CHARACTERISTICS OF TIDAL CURRENT AND SEDIMENTATION OF SUSPENDED LOAD ON TIDAL MUD FLAT IN JIANGSU PROVINCE

Zhang Renshun

(Nanjing University)

#### ABSTRACT

The prograding tidal mud flat in Jiangsu Province is perhaps the widest and longest in China. It belongs to the open (north part) or semi-open (south part) tidal flat and is of moderate-high tidal range.

This paper deals with four profiles of tidal mud flat in Jiangsu Province. A 25hours survey of the whole tide hydrography was carried out for each profile. Based on these investigations, the paper analyses the characteristics of tidal current and concentration of suspended sediment on tidal mud flat. It has been found that the distribution of concentration of suspended sediment is different from that of current velocity along the profiles, the concentration of suspended sediment is the highest near low water line but decreases toward the sea and the high water line, however the velocity decreases from offshore to high water line. The tidal current is rectilinear in offshore tidal channel, but rotary on tidal mud flat; and the direction of residual transport of water and sediment on upper intertidal zone contrasts strikingly with that on lower intertidal and subtidal zone.

The lag mechanism can explain some features, but not all the main phenomenons of sedimentary processes taking place on tidal flat in Jiangsu Province unless introducing wave and storm surge effect. It is notable that the horizontal residual circulation of water and suspended load is present on tidal flat. As a result, the wide tidal mud flat is divided into a series of longshore cells which form individual dynamic units.