

## 杭州湾北岸高能潮滩的基本特征\*

曹沛奎 董永发 严肃庄 谷国传

(华东师范大学河口海岸研究所, 上海)

**提要** 根据纵向泥沙输移中的能量变化, 潮滩可分为侵蚀、堆积和稳定三种类型, 杭州湾由于北岸潮滩冲淤变化较小, 属于基本稳定岸滩。

潮滩是一种重要的海岸地貌类型。我国潮滩分布比较普遍, 由于沿海动力环境的差异, 具有多种类型, 例如浙江三门湾和乐清湾等潮滩位于隐蔽的港湾内, 在低能动力环境下, 形成以粘土为主的淤泥质潮滩; 而杭州湾北岸潮滩面临开敞的强潮海湾, 湾内北岸平均潮差接近或大于4m, 大浪波高可达3~4m, 所以它是在强劲的动力环境下, 塑造而成的高能潮滩(图1)。本文就杭州湾北岸高能潮滩的动力条件、沉积规律和地貌特征及其发育机制作一初步探讨。

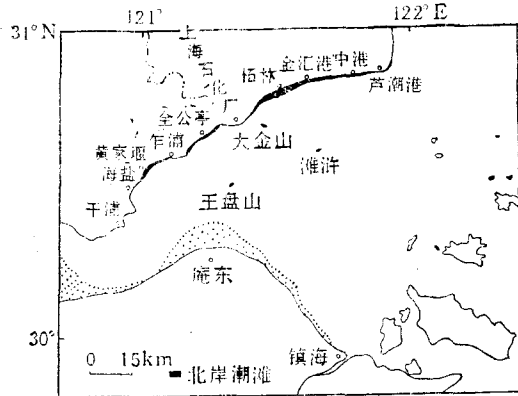


图1 杭州湾北岸潮滩分布形势图  
Fig. 1 Distribution of tidal flat on the north of Hangzhou Bay

### 一、强潮海湾的高能环境

#### 1. 潮汐潮流

东海潮波进入杭州湾, 从湾口至湾头, 随着海湾宽度急剧收缩, 能量迅速积聚, 潮差愈来愈大, 湾口芦潮港平均潮差为3.38m, 湾头澈浦平均潮差为4.75m, 最大潮差为8.93m。

杭州湾北岸浅滩水文测验流向涨潮 $270\sim 285^\circ$ , 落潮 $71\sim 101^\circ$ , 可见北岸涨落潮流向与岸平行, 为往复流。据计算, 杭州湾最大流速从湾口向湾内增加, 但北岸海区比较复杂, 芦潮港附近为局部强流区, 流速可达2.8m/s, 柘林—金山嘴最大流速约2m/s, 由此往西最大流速逐渐增大, 乍浦为3m/s; 金山嘴低潮滩涨潮最大流速达1m/s。因此, 杭州湾北岸属于大潮差、大流速地区。

#### 2. 风浪

杭州湾口南部的舟山群岛阻碍了波浪的传播, 在一般情况下, 湾内波浪比外海小, 但湾内水域宽广, 在大风条件下亦能产生大浪。

\* 本文承沈焕庭、王宝灿教授和刘苍字副教授提出了宝贵意见, 浦美燕同志绘图, 谨此志谢。  
收稿日期: 1986年11月1日。

杭州湾北岸海域波浪以风浪为主,在一般情况下,波浪不大,由益山和滩浒观测得出年平均波高  $H_{1/10}$  为 0.4m, 全年平均波高  $H_{1/10}$  大于 1m 者约占 7~8%。虽然北岸平均波高较小,但台风期间出现大浪的最大波高较大,例如大戢山实测最大波高为 6m, 滩浒为 4m, 乍浦为 4.8m。

金山嘴 1973 年台风过境目测拍岸浪花溅泼高达 7.3m, 1985 年金山嘴低潮滩全年实测最大波高达 1m。台风还能引起风暴增水能产生较高能量, 在潮滩塑造中起着重要作用<sup>[2]</sup>。

## 二、沉积特征

杭州湾北岸潮滩在强劲动力环境下,其沉积物粒度、颗粒组成和粒度参数均反映粗化的特点。

**中值粒径 ( $MD_{\phi}$ )** 沉积物粒度分布格局,从岸向外由细变粗,大致可分成两种类型:(1)粘土质粉砂带,中值粒径为 5~6 $\phi$ ,主要分布在海堤前较窄的高潮滩,由于高程较高、流速小,使得部分粘粒物质沉积。(2)粉砂带,中值粒径为 4~5 $\phi$ ,一般分布在宽广的中、低潮滩,是杭州湾北岸主要沉积物类型;在金山嘴还有粗粉砂和细砂沉积,反映在较强动力条件下,只有较粗的物质才能沉积。潮滩沉积物粒度垂直变化,可从柘林高潮滩沉积剖面反映出:表层为粘土质粉砂,中层为灰色粉砂,底层为青灰色粉砂,从上往下物质由细变粗。可见高潮滩发育在中、低潮滩的基础上,在一个向前加积层序中,这些沉积单元呈叠加现象。

**颗粒组成** 粗颗粒所占比例较大(图 2),其中中值粒径在 4~6 $\phi$  之间,以粉砂粒级为主,大部分呈单峰型。中、低潮滩为狭峰型,砂和粉砂所占百分含量达 50~60%,粒级集中,反映动力作用下分选性较好。高潮滩则为宽峰型,粉砂含量为 20~40%,粒级分散,分选性差。颗粒组成有明显的季节性变化,高潮滩粘粒含量夏季为 15.4~20%,冬季为 21~23.9%,所以潮滩沉积物有冬细夏粗现象。

**分选系数 ( $QD_{\phi}$ )** 高潮滩分选系数为 0.7~1.14,属分选好;中、低潮滩分选系数为 0.14~0.46,属于分选很好。后者反映在波浪作用下沉积物受到反复搬运。

**偏差系数 ( $SK_{\phi}$ )** 低潮滩偏差系数为 -0.01~-0.09,属负偏差;高、中潮滩为 0.06~0.54 处于正偏差,本区偏差系数都接近 0,差值小。尤其低潮滩常为负偏差,显示潮流和波浪作用更明显。

潮滩沉积构造从岸向外随着动力条件的不同,而有明显的差异。

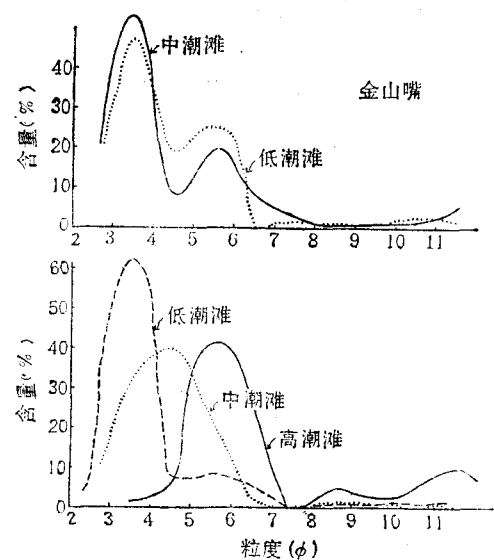


图 2 滩面沉积物百分含量分布图  
Fig. 2 Distribution of the sediments (%)  
on the tidal flat  
(下图为“柘林”)

**高潮滩** 一般分布高程较高,动力条件相对较弱,在沉积构造上有粉砂和粘土质粉砂互层,呈水平、波状和透镜状层理。剖面上有植物根系发育,生物洞隙较多,造成后期沉积物充填。在柘林堆积型沉积剖面上(图版 I: 1),表层为较细的粘土质粉砂,向下粉砂逐渐增多,表明高潮滩动力不稳定。纬九路沉积剖面上粉砂和粘土质粉砂互层,层理更清楚,下部还有球状旋转构造(图版 I: 2)。

**中潮滩** 组成物质较粗,金山嘴为灰色粉砂和细砂,有交错层理和波状层理(图版 I:3),这是强劲潮流和波浪作用的结果。堆积型柘林中潮滩也有交错层理存在。漕泾中潮滩出现风暴沉积构造,大风期间大量泥沙被掀动悬浮水中,随潮流而搬运,形成侵蚀面,一旦风浪转弱便沉积较粗物质。当大风过境后,恢复原来沉积环境,这种沉积物的粗化和构造上的不连续是风暴沉积系列的特点(图版 I:4)。

**低潮滩** 组成物质以粉砂为主,沉积构造类似中潮滩,交错层理、波状层理等都反映了较强的动力条件。在纬九路、柘林剖面上存在粉砂与淤泥的互层,其厚度可达 7~10 cm(图版 I:5),可能属于季节性沉积物质。芦潮港侵蚀型低潮滩有旋转状构造(图版 I:6),由于它处于湾口动力条件下,滩地受到不同程度的侵蚀,沉积面出露水面期间,水分被排出,沉积物的压实作用引起局部液化,导致旋转构造的发育。

### 三、地貌的分异现象

杭州湾北岸潮滩从冲淤动态来看(图 3,表 1),自 1958 至 1981 年,芦潮港一中港为侵蚀岸段;中港一漕泾为堆积岸段;漕泾以西岸段冲淤变化较小,为稳定岸段。上述三类潮滩地貌从岸向外有明显分带现象(图 4)<sup>1)</sup>。

表 1 潮滩 0m 线与海堤的距离变化(单位: m, 吴淞高程)

Tab. 1 Distance variation between the 0 meter isobath and seawall

剖面位置		芦潮港	半渡港	东门港	柘林	漕泾	金山嘴	纬二路	纬八路
年代	1958	1 250	1 550	700	1300	1 170	150	350	800
	1975	450	750	1 550	1750	1 470	300	270	660
	1981	350	200	1 800	2300	1 600	400	270	690

#### 1. 侵蚀型潮滩

从南汇嘴至中港全长约 15km。芦潮港滩地受到侵蚀,自 1958 年来滩地后退 900m,所以滩地较窄,约 350m;堤脚高程为 1.1m,故整个滩面应属于低潮滩,有些岸段低潮时不露滩。一般滩面低平,受到风浪冲刷,形成宽浅的波蚀坑。低潮位附近有侵蚀陡坎和泄水串沟,串沟切入滩地,它的两侧都发育着小的旋转构造,形态各异,反映湾口附近水流的复杂性(图版 I:9)。

#### 2. 堆积型潮滩

1) 曹沛奎、董永发, 1983。杭州湾北岸(汇角一金桥)岸滩冲淤演变过程。上海市海岸带综合调查论文选, 第 1 集。

堆积型潮滩东起中港西至漕泾, 全长约 30km, 滩宽约 700~2300m, 其中柘林滩地较宽, 坡度为 1.7‰, 是堆积岸段中淤积量最大滩地, 自 1958 年来向海延伸 1000m, 地貌

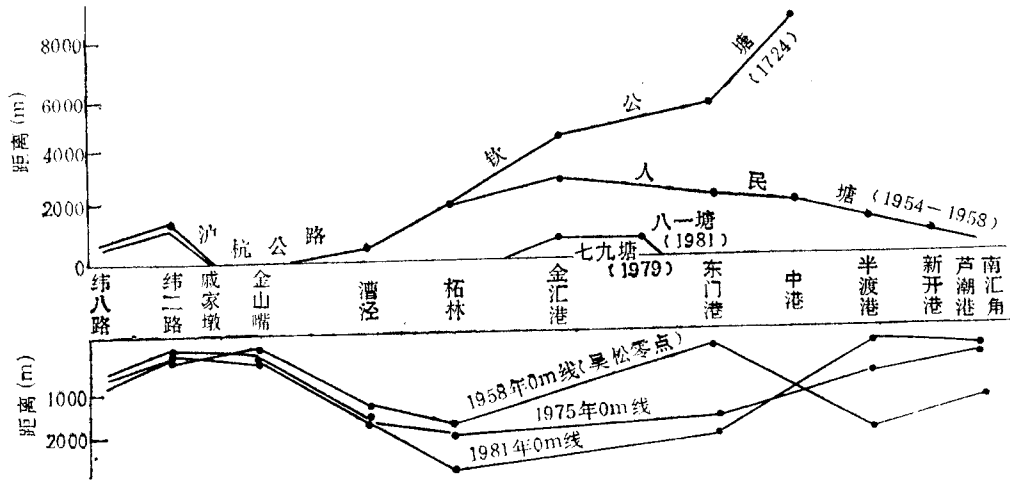


图 3 潮滩 0m 线与海堤距离的变化图

Fig. 3 Distance change between the 0 meter isobath and seawall on the tidal flat

发育较为典型(图 5)。

高潮滩组成物质为灰褐色粘土质粉砂, 土质粘重, 潮沟是该潮滩重要地貌形态。潮流进入高潮滩时, 流速缓慢, 粘粒物质被水流挟带而沉积, 随着植物生长, 促进淤积, 形成芦苇、蕹草丛生的草滩(图版 1:7)。高潮滩前缘有波蚀坑带, 其宽度约 20~30m, 坑呈长条状, 反映波浪传布方向和破波带位置。

中、低潮滩受到较强动力作用, 滩地组成物质为较粗的粉砂。滩面低平, 微地貌现象单调, 为满布波痕的粉沙滩。低潮滩有微型潮沟发育, 沟底平坦, 其上发育舌状和菱形的流痕。潮沟的曲率较大, 弯曲向上延伸到中潮位附近(图版 1:8)。

### 3. 稳定型潮滩

稳定型潮滩位于漕泾—金丝娘桥、全公亭和乍浦等滩地, 其中以金山嘴较为典型, 滩地宽约 400~700m, 堤脚高程为 2.8m, 坡度为 8‰, 由于滩面低平应属于中、低潮滩。金山嘴岸外有大、小金山, 导致沿岸一股潮流较强劲, 正因为流速大、转流时间短、水流垂直紊动强、悬沙垂直梯度差小、细颗粒泥沙易被水流带走, 促使滩面粗化, 形成波浪累累的粉沙滩。大潮低潮位附近有老粘土层出露, 其上被落潮水流下切造成泄水串沟, 在串沟之间垄脊上有黄绿色藻类发育, 老粘土和藻类都起着抗冲作用。

## 四、潮滩发育和剖面塑造

杭州湾北岸潮滩的形成与长江三角洲的发育关系密切, 同时也受到长江口泥沙扩散和沿岸纵向和横向泥沙运动的影响。

### 1. 泥沙来源及其沿岸纵向输移

长江每年有 4.86 亿吨泥沙在河口扩散入海, 其中约 50% 沉积在口门附近和水上三角

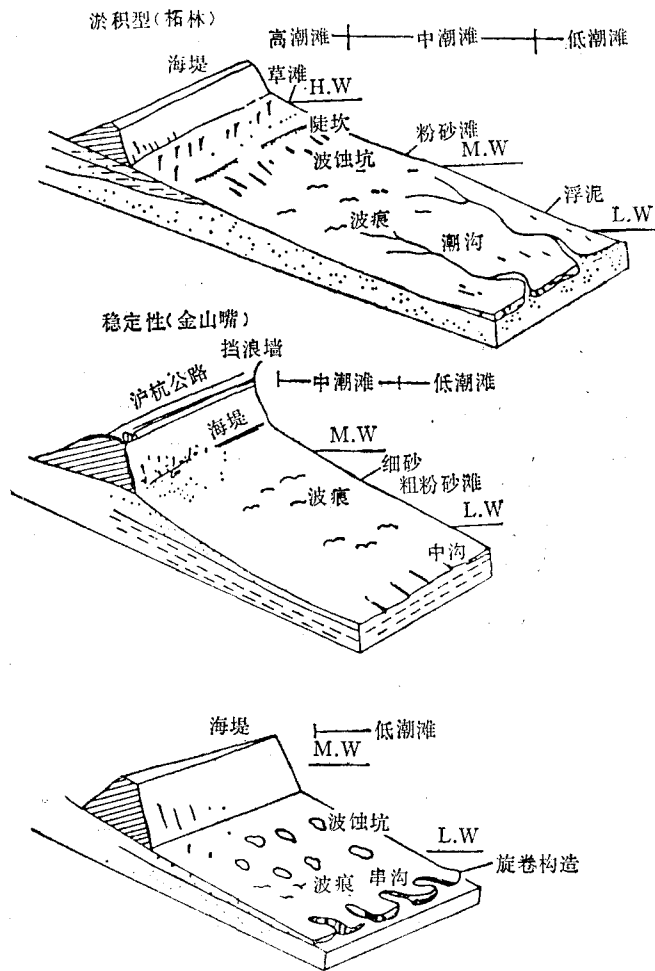


图4 潮滩地貌类型断块图

Fig. 4 Geomorphological patterns on the tidal flat  
(中图“中沟”为“串沟”)

洲的前缘<sup>[1]</sup>,部分越过南汇嘴,沿着杭州湾北岸向湾内输移<sup>[3]</sup>。

通过涨、落潮断面输沙量计算(图6),柘林、漕泾和金山断面泥沙都是净进,为66~1014t/d。而且柘林断面输沙为149~567t/d,漕泾为66~291t/d,前者大于后者,也反映了部分泥沙在柘林~漕泾岸段之间沉积。以1958年和1981年测量图件对比,并进行冲淤计算:汇角—中港岸段侵蚀量为 $-164.5 \times 10^6 \text{m}^3$ ;中港—漕泾岸段堆积量为 $+324.6 \times 10^6 \text{m}^3$ ;漕泾—纬八路岸段堆积量为 $52.7 \times 10^6 \text{m}^3$ ;其数量较小,为稳定岸段。上述全部岸段年平均堆积量为1480t,但各岸段潮滩的冲淤变化有较大的差异。

杭州湾是一个喇叭形的海湾,从海湾平均收缩率来看(表2),芦潮港位于湾口,潮流开始受到岸滩的约束,潮能积聚,引起滩地侵蚀。中港—漕泾岸段岸线平直,潮流沿程能量消耗,部分泥沙沉积,使得潮滩堆积。漕泾往西岸线折向西南,海湾有较大的收缩,平均收缩率达1.56,促使潮能再次增加,在大、小金山之间冲刷海底形成深槽。金山以西潮滩

由于海湾均匀收缩窄,故平均收缩率较小,潮滩类似金山嘴,在护岸工程下,滩地冲淤变化小,属于基本稳定岸段。从而表明北岸潮滩沿程冲淤变化,反映了泥沙纵向输移与边界条件相互作用的结果。

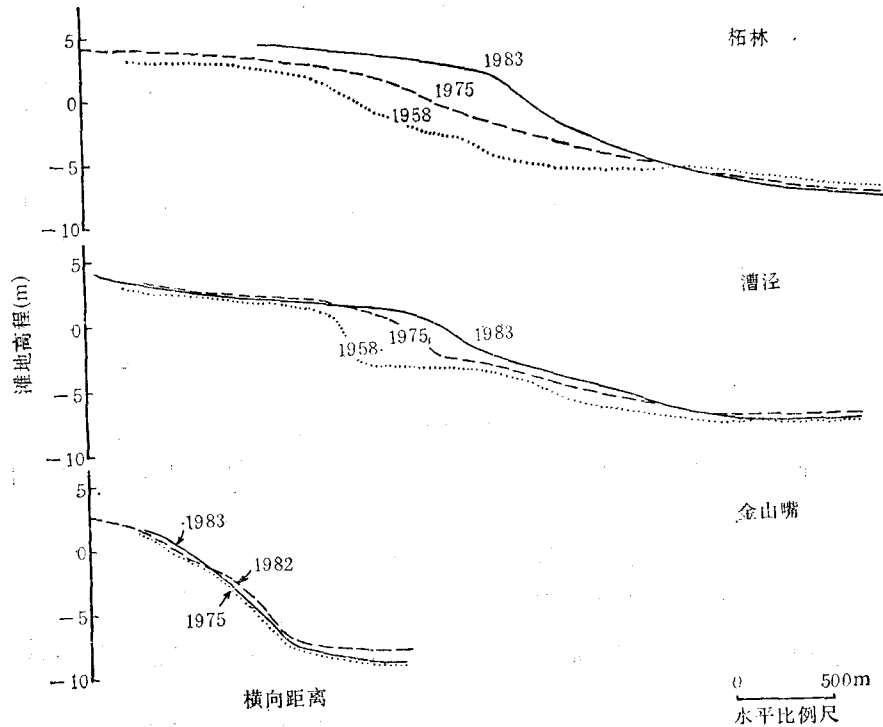


图5 潮滩冲淤对比图

Fig. 5 Erosion and accretion of the tidal flat

## 2. 剖面塑造和泥沙横向扩散

杭州湾北岸强劲的涨潮流沿着岸线向湾内推进,随着潮位上升,涨潮流进入潮间带,滩面上泥沙运动在一个潮周期中,呈现出三个阶段(图7,表3): (1)涨潮初期,流向由原来平行海岸,随着水深变浅逐渐偏向于垂直海岸。流速有暴涨的特点,柘林滩地中潮位涨潮初流速猛增,以后就逐渐减小。金山嘴滩地低潮位附近表、底层流速大,水流垂直紊动较强(图8),所以涨潮初期有较多泥沙向岸运动。(2)涨潮期间,悬沙从外向岸减小,表层小于底层,由海向岸扩散的趋势。(3)落潮期间,含沙量在低潮位附近最高,所以落潮时有部分泥沙停积在低潮位附近,在下一个涨潮过程中再往滩面扩散。在泥沙扩散过程中,高潮滩流速最小(图9),细颗粒的粘土质粉砂得以沉积,但数量较小。中、低潮滩流速大,冲淤幅度大,形成宽广的粉沙滩。正因为剖面上流速的差异,产生沉积物和地貌上的分异现象。

杭州湾北岸的大浪主要是由夏秋台风过境引起的,其造成的冲淤影响十分严重。如1981年(8114)台风风力达12级以上,漕泾高潮滩前缘浪蚀陡坎受到冲刷,中、低潮滩满

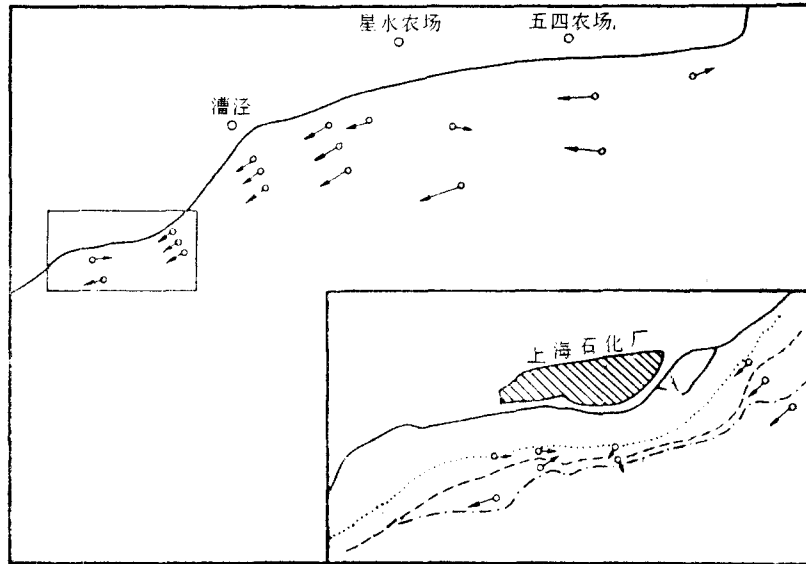


图 6 单宽和断面输沙示意

Fig. 6 Direction of sectional and cross-section transportation of sediment

表 2 岸滩坡度和海湾平均收缩率统计

Tab. 2 Statistics of the average contraction of the that slope and the bay

剖面位址	芦潮港	柘林	漕泾	金山嘴	纬二路	乍浦	澈浦
滩面坡度(‰)	3.7	2.0	2.9	8.0	6.0		
水下斜坡坡度(‰)	9.0	6.0	5.0	12.0	12.5 <sup>①</sup>		
整个剖面坡度(‰)	7.0	3.5	4.1	7.0	7.1 <sup>①</sup>		
海湾宽度(km)	100	60		45		36	22.5
两个剖面间距(km)	33		13.5		22.5		28.5
平均收缩率 $\frac{B_1 - B_2}{l}$	1.03		1.56		0.4		0.47

①算至水深 10m。

布波蚀坑(图版I: 10), 滩地平均冲刷在 10—20cm。金山海运码头在 8 级风力条件下, 破波带表层含沙量增至  $3.67\text{kg/m}^3$ , 当风速减小, 含沙量较快减小为  $0.6\text{kg/m}^3$ , 可见大风条件下破波带泥沙运动非常活跃。从柘林、漕泾 1984 年滩地冲淤变化来看(图 10), 中潮滩出现冬淤、夏冲现象, 构成中潮滩冲刷带。因此, 在潮滩剖面塑造过程中, 除潮流作用外, 波浪造成季节性冲淤变化, 使得泥沙横向运动更为复杂。

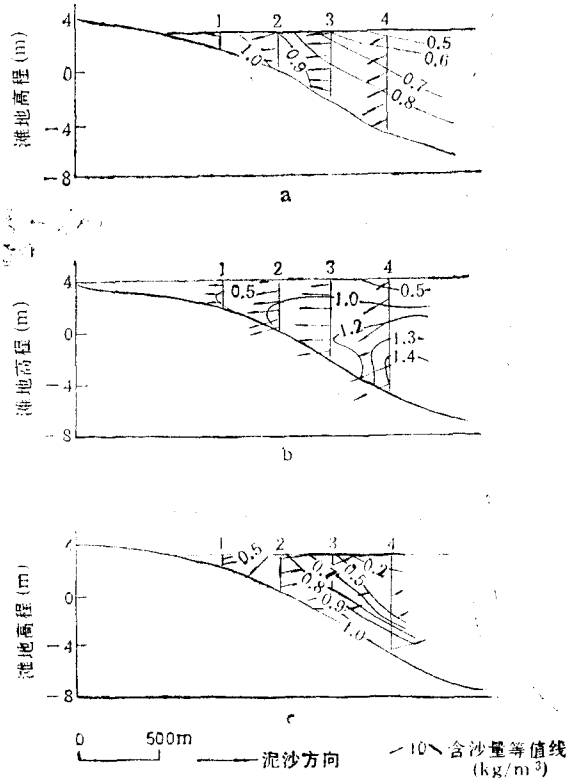


图 7 潮滩剖面悬沙分布

Fig. 7 Distribution of suspended sediments of the tidal profile

a. 涨潮初期  $H-3$ ; b. 涨潮  $H$ ; c. 落潮  $H+3$ 。

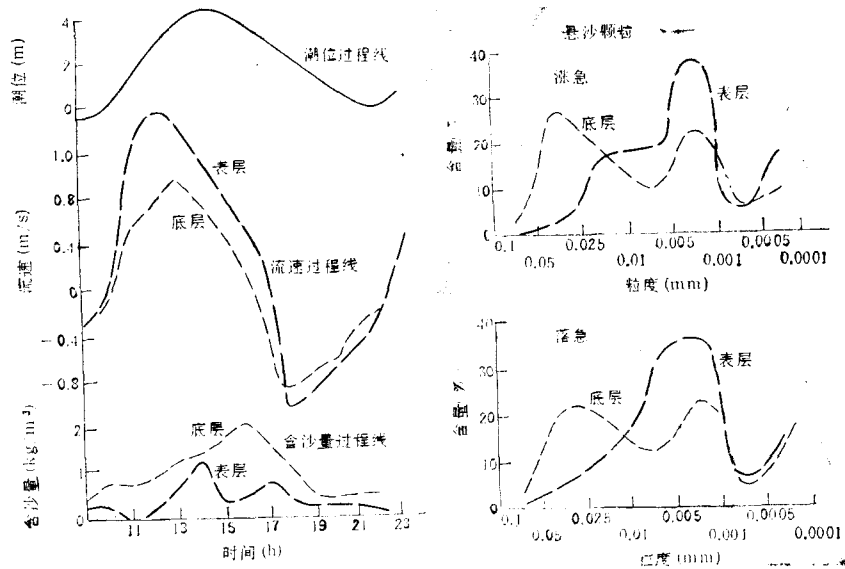


图 8 金山嘴表、底层流速和含沙量过程线图

Fig. 8 Velocities at surface and bottom layers, and sediment concentrations, the Point Jinshan.



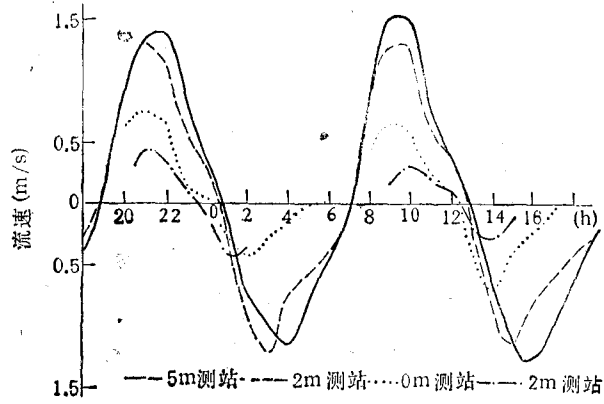


图9 柘林潮滩流速过程线对比

Fig. 9 Comparison of velocity curves near the tidal flat, Zhelin

表3 柘林潮滩水文测验统计

Tab. 3 Statistics of the hydrological observations of the tidal flat, Zhelin

站位 (m, 吴淞高程)	涨 潮			落 潮		
	测点最大流速 (m/s) (流向,度)	平均流速 (m/s)	平均含沙量 (kg/m <sup>3</sup> )	测点最大流速 (m/s) (流向,度)	平均流速 (m/s)	平均含沙量 (kg/m <sup>3</sup> )
1(+2)	0.45(336)	0.16	1.132 4	0.53(94)	0.11	0.224 0
2(0)	0.78(263)	0.37	0.941 6	0.50(78)	0.22	0.743 0
3(-2)	1.23(267)	0.71	0.845 9	1.07(68)	0.48	0.748 5
4(-5)	1.48(234)	0.60	0.858 4	1.25(73)	0.63	0.685 0

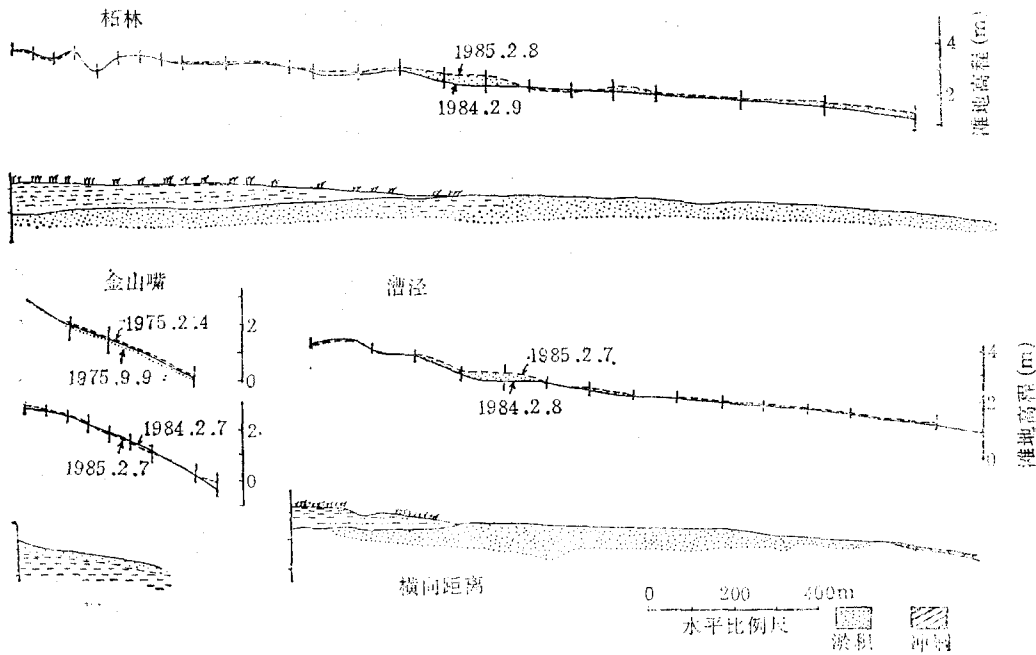


图10 潮滩冲淤和沉积剖面图

Fig. 10 Profile of the erosion-accretion of the tidal flat

## 五、结 语

杭州湾北岸的高能潮滩是在大潮差、大流速和大风浪等动力条件下形成的。从沉积物粒度、颗粒组成、粒度参数及沉积构造来看, 沉积物有粗化现象, 潮滩地貌有明显的分带性。

杭州湾北岸泥沙主要来自长江口, 沿岸泥沙在纵向输移过程中, 随着潮能的积聚和消散, 有侵蚀、堆积和稳定等岸段分布。在剖面塑造过程中, 反映出泥沙横向扩散, 形成滩地沉积物从岸向外由细变粗的分布规律, 以及地貌分异现象。荷兰瓦登海潮滩沉积物也是从岸向外由细变粗, 其主要原因是潮下带有潮汐通道的分布<sup>[4]</sup>。而杭州湾北岸高能潮滩却是在强劲动力作用下, 纵向泥沙输移和横向泥沙扩散相互作用的产物。

## 参 考 文 献

- [1] 沈焕庭, 1986. 长江河口悬沙输移特性. 泥沙研究 1: 1~13.
- [2] 胡方西, 1980. 杭州湾风暴潮特征值及有关潮位设计标准的探讨. 华东师范大学学报自然科学版 2: 93~101.
- [3] 曹沛奎, 1985. 杭州湾泥沙输移基本特征. 华东师范大学学报 3: 75~83.
- [4] Van Straten, L. M. J. U., 1961. Sedimentation in tidal flat areas. *Jour. Alberta Soc. Petrol. Geol.* 9(7): 203~213, 216~226.

## BASIC CHARACTERISTICS OF THE TIDAL FLAT ON THE NORTH COAST OF HANGZHOU BAY

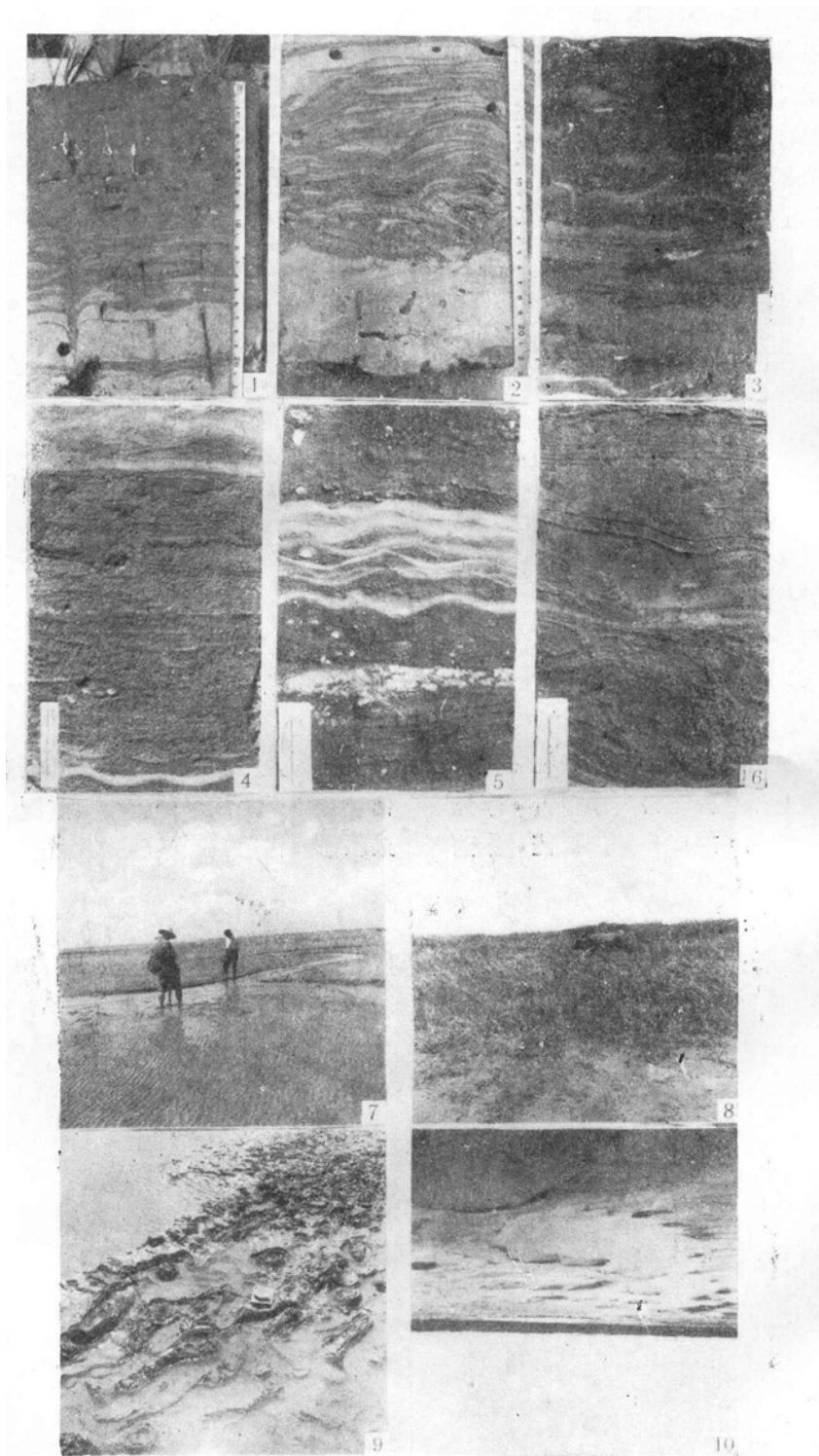
Cao Peikui, Dong Yongfa, Yan Suzhuang and Gu Guochuan

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

### ABSTRACT

Tidal flat is located on the north coast of Hangzhou Bay, running from Nanhui Point in the east to Ganpu in the west. It was formed under the dynamic actions of large tidal current and high velocity waves.

Sediments on the north coast of Hangzhou Bay come mainly from the Changjiang estuary. Longitudinal transport of sediments along the coast is restricted by the effect of boundary conditions, changing the flat alternatively through erosion and accumulation. The sediment traverses diffusion in the formation processes of flat profile. So the sediments are being transported toward the banks. The grain size distribution of sediment coast is generally from coarse to fine. The tidal flat on the north of Hangzhou Bay is in general a product of longitude and traverse motions of sediments.



1. 柘林高潮滩沉积剖面；2. 纬九路高潮滩沉积剖面；3. 金山嘴潮滩沉积剖面；4. 漕泾风暴沉积剖面；  
5. 纬九路低潮滩沉积剖面；6. 芦潮港低潮滩旋卷构造；7. 柘林高潮位芦苇映草滩；8. 漕泾低潮滩潮沟；  
9. 芦潮港潮滩旋卷构造；10. 1981年14号台风形成波蚀坑(漕泾滩地)。