

# 渤海湾典型岸段近岸过程研究\*

恽才兴

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

**[摘要]** 渤海湾是我国典型的平原淤泥质海岸, 中国最大的两个人工港——天津新港和河北黄骅港, 在建设过程中曾先后遇到细颗粒泥沙运移与如何减轻港口、航道回淤量等工程泥沙问题。文章以渤海湾西南部大口河沿岸海域现场观测资料为基础, 通过近岸水动力、泥沙输移、岸滩沉积过程及冲淤演变等综合分析, 为平原淤泥质海岸“浅水深用”的建港战略决策提供理论依据。

**[关键词]** 渤海湾; 近岸过程; 泥沙输移

## 1 问题提出

渤海湾位于黄河三角洲和滦河三角洲之间(图1), 开敞平缓的淤泥质潮滩, 在波浪和潮流共同作用下, 细颗粒泥沙运动活跃, 岸滩冲淤多变, 构成了近岸过程的基本骨架。为开辟我国西煤东运第二条大通道, 国家决策建设矿、路、港一体化的神华工程, 通过比选, 下海港口选在河北省黄骅港, 该地位处现代黄河三角洲的北缘, 岸滩开阔浅平, 港口建设部门提出“浅水深用”的目标, 并围绕泥沙问题开展大口河沿岸和海域的气象、水文、地质、地貌、遥感、环境等现场调查勘测工作。本文以第一性资料为依据, 通过黄河入海泥沙影响范围, 风天含沙量分布特征, 近岸浅水波浪作用, 沿岸流输移方向, 岸滩剖面塑造等问题的剖析, 为黄骅港的选址和平面布置决策提供了科学依据。

## 2 黄河入海泥沙对建港的影响

大口河原是11世纪(1048年)黄河从马颊河入海的一支古道, 海陆交互作用形成的河口三角洲相沉积层中所含的亚砂土层及粉砂透镜体为工程提供了较好的地质条件。1128~1855年期间, 黄河南迁夺淮由苏北入海以后, 该处海岸转入侵蚀夷平阶段。原来亚三角洲平原消失, 海岸侵蚀后退的标



图1 黄骅港位置示意图

Fig.1 Sketch of Huanghua port location

志为平均高潮位附近的贝壳堤(图2), 经 $^{14}\text{C}$ 年代测定, 大口河北侧狼坨子贝壳堤年龄为距今700~500年左右, 离岸2~3 km低潮滩附近的残存贝壳堤, 形成年代为距今 $1080 \pm 90$ 年<sup>[1]</sup>。

1855年6月黄河由铜瓦厢决口夺大清河重归山东入海已有近145年历史, 其中实际行水134年, 大的改道经历过10次, 入海水道摆动范围跨越海岸线达186 km(套尔河口至支脉沟), 平均每年 $10.6 \times 10^8 \text{ t}$ 的入海泥沙量塑造了2600 km<sup>2</sup>面积的现代黄河三角洲(图3, 图4)。大口河地处黄河

[收稿日期] 2000-06-29; 修回日期 2000-10-20

[作者简介] 恽才兴(1936-), 男, 江苏武进市人, 华东师范大学教授

\* 本文涉及的有关基础资料由郑昌武、胡嘉敏、徐永良、张雄平等协助提供, 在此谨表谢意

三角洲的西侧，三角洲边缘套尔河仅距黄骅港港区 22 km，黄河入海泥沙对建港的影响必须给予充分

的估计，经过多方论证，结论是没有直接影响，间接影响也不大，其主要依据是：

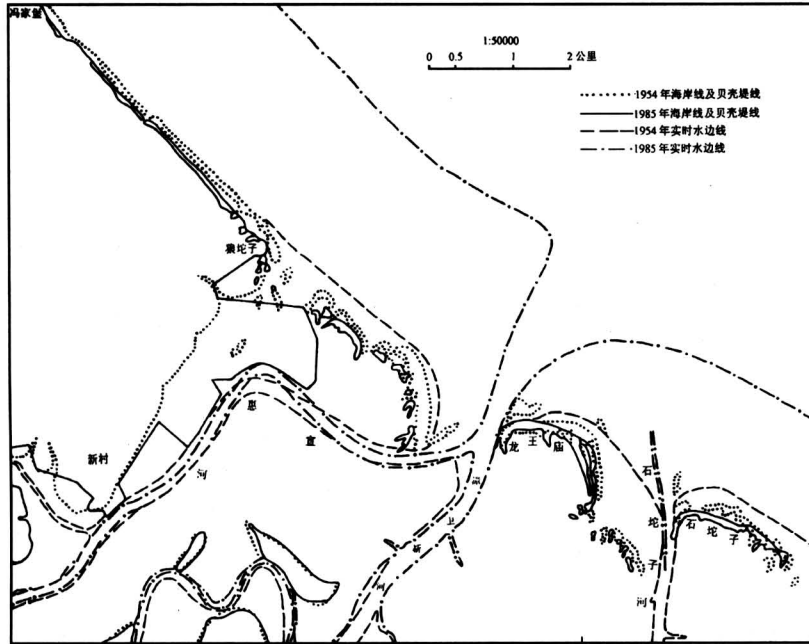


图 2 1954~1985 大口河地区岸滩变迁图

Fig.2 The coast change of Dakouhe area (1954~1985)

1) 黄河改道迁移摆动的范围日益缩小。从根本上说，黄河改道出口的位置由河口侵蚀基准面及河床纵比降所决定，摆动迁移的范围受三角洲顶点位置控制。1855~1934 年间，黄河三角洲顶点在宁海，摆动半径 65 km，摆动影响范围 186 km；1934~1976 年，三角洲顶点下移至鱼洼，摆动半径 56 km，摆动影响范围缩短为 102 km 海岸线。1976 年现行河口从钓口人工改道入清水沟流路出海以来，从胜利油田滨海高产油田建设开发布局需求考虑，黄河入海流路改道已受人为控制，黄骅港距黄河现行入海口达 156 km，远在规划流路影响范围之外<sup>[2]</sup>。

2) 泥沙淤积部位集中在口门附近。据统计计算，多年来，入海泥沙约有 70% 用于口门附近的成陆过程和滨海水下三角洲建造，现行河口的淤积部位更为集中，0 m 至 -5 m 等深浅之间的浅水地区占总淤积量的 47%~61%，直接淤积范围一般不超过 30 km，这已被卫星遥感图像显示的河口淤积扇信息所证实。

3) 入海泥沙主要向外海及莱州湾输移扩散。根据青岛海洋大学海洋系在黄河三角洲海域调查研

究成果\*，从实测的潮流场，余流场，海温，盐度及水体含沙量时空分布及多时相 NOAA 气象卫星资料多方面证实，黄河径流入海后，在口门两侧强潮流牵引下，主要向外海 (NE 方向) 及莱州湾海域 (SE 方向) 输移扩散，冲淡水余流的最大值可达 22 cm/s 以上，其中季节性的风海流起主导作用，全年中黄河入海泥沙扩散进入渤海湾的机率甚少<sup>[3]</sup>。

### 3 风天含沙量分布特征

大口河海区非风天或离岸风情条件下，水体含沙量较小，当海面大风出现时，近岸含沙量急剧上升。根据多次风天含沙量现场追测及卫星遥感图像所显示的信息 (表 1, 图 5, 图 6)，发现该区风天含沙量分布可划分为三个区\*\*：近岸高浓度浑浊

\* 侍茂崇，赵松鹤。黄河口附近海域潮流场特征以及与泥沙输送的关系。青岛海洋大学海洋系。黄河口水文动力学论文集。1989 年 10 月

\*\* 恽才兴等。黄骅港扩建 3.5 万吨级深水泊位海域条件综合评述。华东师范大学河口海岸研究所。1987 年 11 月

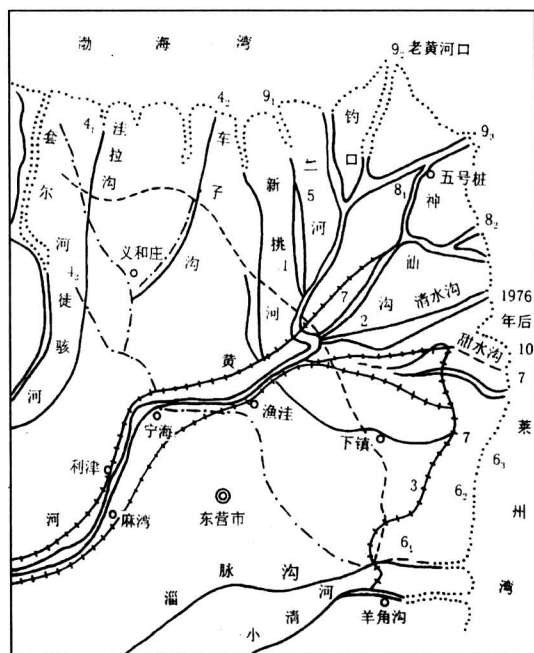
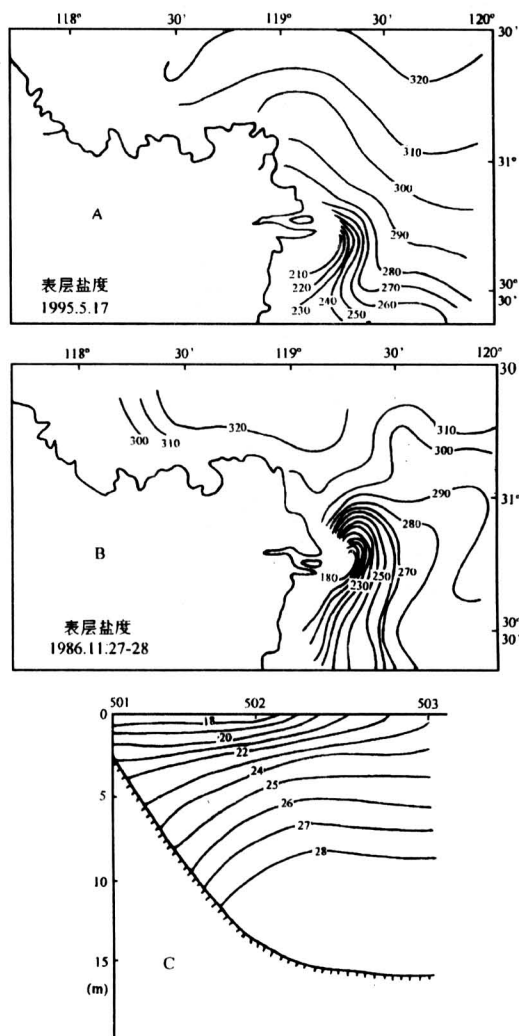


图3 黄河三角洲变迁图

Fig.3 The map of the Yellow River delta changed

1-1855-1889; 2-1889-1897; 3-1899-1904; 4<sub>1</sub>-1904-1917; 4<sub>2</sub>-1917-1926; 5-1926-1929; 6<sub>1</sub>-1929-1934; 6<sub>2</sub>-1929-1934; 7-1934-1937; 1947-1953; 8<sub>1</sub>-1953-1960; 8<sub>2</sub>-1953-1960; 9<sub>1</sub>, 9<sub>2</sub>, 9<sub>3</sub>-1970-1974; 10-1976.5至今

区, 位于-2 m以浅的潮间带及潮下带上部, 该区小风天表层含沙量为 0.1~0.3 kg/m<sup>3</sup>, 垂线平均含沙量为 0.65 kg/m<sup>3</sup>, 如遇5~6级海向大风, 表层含沙量及垂线平均含沙量可增至 0.8 kg/m<sup>3</sup>和 1.8 kg/m<sup>3</sup>, 风力超过7级, 平均含沙量可增大至 4.0 kg/m<sup>3</sup>[4]; -2 m~-5 m之间的浅水区中浓度浑浊带, 小风天表层含沙量仅 0.1 kg/m<sup>3</sup>左右, 风



A、B 表层盐度, C 断面盐度

图4 黄河口外表层盐度及断面盐度分布图 (A、B、C)

A、B—表面盐度; C—断面盐度

Fig.4 The distribution maps of surface and section salinity in the Yellow River mouth offshore

天表层含沙量可增至 0.32~0.8 kg/m<sup>3</sup>; -5 m等深线以外海域属低浓度含沙区, 无风及小风天气,

表1 大口河海域风天含沙量分布

Table 1 The sediment concentration distribution in the Dakouhe sea area during windy days kg·m<sup>-3</sup>

资料来源	#6浮	#5浮	#4浮	0 m	-1 m	-2 m	-3 m	-4 m	-5 m	-6 m	-7 m	-8 m	-9 m
天科所大风天 追溯	2.57	2.04	1.64	1.43	0.62	0.63	0.60	0.40					
华东师大河口所 (1987.6.30)		2.00	1.71	1.43	0.88	0.74	0.53	0.38	0.32	0.27	0.10	0.04	0.01
黄骅港务局 (1987.9.6)		2.49	1.64	0.56	0.62	0.41							
华东师大河口所 (1987.10.2)		1.78	1.15	0.74	0.48	0.31	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.08

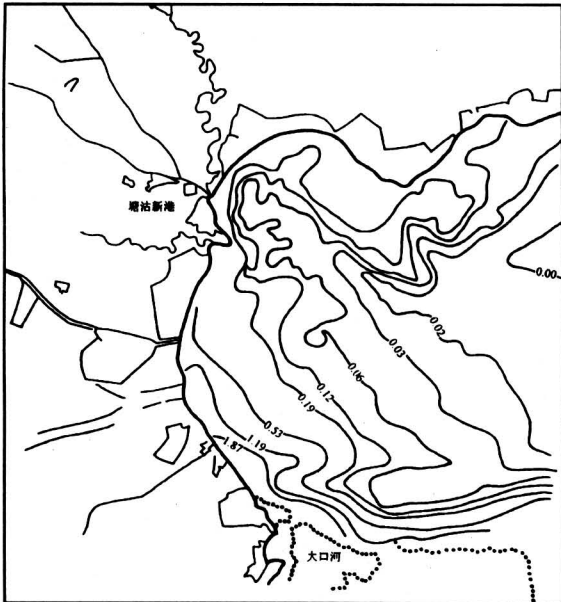


图5 渤海湾表层含沙量 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 分布  
(据 1987.8.27 NOAA 卫星图像)

Fig.5 The distribution of surface sediment concentration in Bohai Bay (according to the NOAA image on august 27, 1987)

表层含沙量小于  $0.02 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，风天含沙量最高不超过  $0.3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。由此说明，在潮汐强度中等和偏弱的开敞河口及海岸地区，当地风浪掀沙是港口航道泥沙回淤的主要来源，回淤率较高的区段为近岸浅水破波区。为此，黄骅港建港方案采用 6 km 单引堤加小环抱双防波堤的形式，将港池及开挖的深水航道布置在  $-2.5 \text{ m}$  水深以外海域，目的在于避开近岸破波带形成的高含沙量区，从而大大减少港池及航道的疏浚维护量。此外，风天高含沙量分布区存在的现实可以从浅水区底质粒径粗化及  $^{210}\text{Pb}$  沉积速率测定剖面中揭示的 20~30 cm 厚度的扰动层得到旁证 (图 7、8)。

#### 4 近岸浅水波浪作用

如前所述，大口河海域风天近岸浅水区高浓度含沙分布状况主要由浅水波浪作用所致，为此，笔者等选择在大口河外  $-1.2 \text{ m}$  水深处利用浅水测波仪 (Inter Ocean Co. WG-7500) 对近岸波浪特征进行为期 2 个月的跟踪观测，实测资料表明，该海区近岸浅水波浪具有以下几个特点。

1) 波能随水深变化逐渐衰减。通过研究海区  $-5 \text{ m}$  测波站与浅水区监测站非同步资料相关分

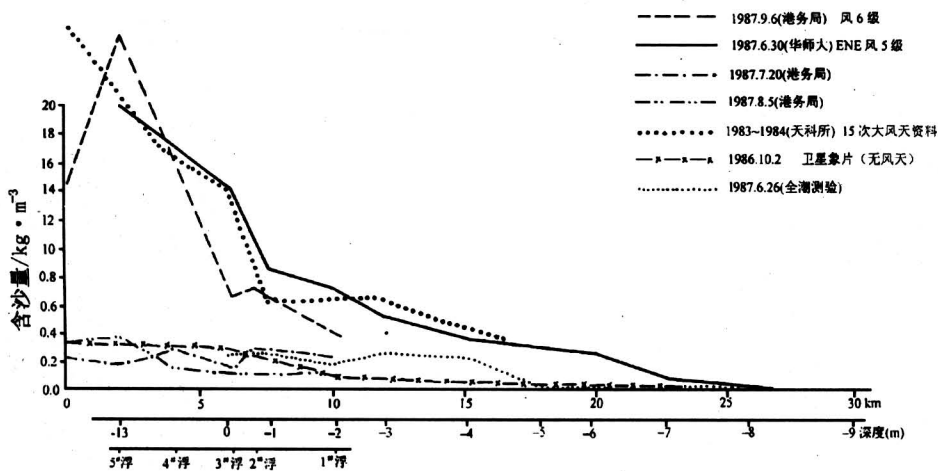


图6 大口河海域含沙量沿水深分布示意图

Fig.6 The distribution of surface sediment concentration in Dakouhe Bay

析，以及不同水深、不同潮位，不同波向组合运算，得到  $-5 \text{ m}$  至  $-1 \text{ m}$  之间的浅水波浪等效底摩擦系数为  $0.0075 \sim 0.0095$ ，所引起的波高衰减量不超过 60%，其中 NE 浪向的折射角最小，波高

衰减量只有 12%，波能随水深减小的具体反映为波高减低，周期缩短。

2)  $0 \text{ m} \sim -2 \text{ m}$  等深线之间海域的破波频率增高。从大口河海域浅水区各等深线出现的破波频率

分布图(图9~11),可将淤泥质海岸破波带分为三个区:

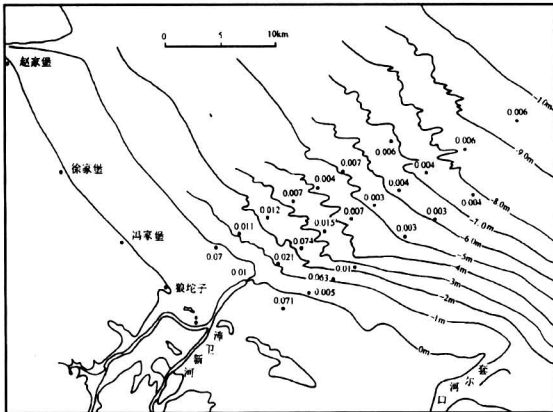


图7 大口河海区底质中值  
粒径 MD 分布示意图

Fig.7 The distribution map of bedload  
MD in Dakouhe offshore area

(1) -2 m ~ -5 m 之间远岸区。破波主要由周期大于 5 s, 波高超过 2 m 的强向浪 (NE) 产生, 该区的破波出现频率较小 (0.98% ~ 3.3%), 时间及空间变化不明显。

(2) 0 m ~ -2 m 之间近岸浅水区。破波主要由周期 4 ~ 5 s, 波高为 0.5 ~ 2.0 m 的常浪向产生, 这类波浪从外海传入后, 受底摩擦、浅水效应及折射因素等影响, 破波频度增高至 2.47% ~ 9.7%, 0 m 线附近破波频率最大。

(3) 0 m 等深线以上潮间带, 由于水深不足和周期性出露, 破波概率迅速下降。

3) 风浪消长与风向、风速、延时、流向密切相关。据实测资料统计, 在向岸强风作用下, 如遇涨潮流方向一致, 顺风顺流可短时间内可形成大波 (1 h 内波高可增高 1.5 m)。风天后波高的衰减速度较慢, 波高衰减率与风速下降率有较好的相关关

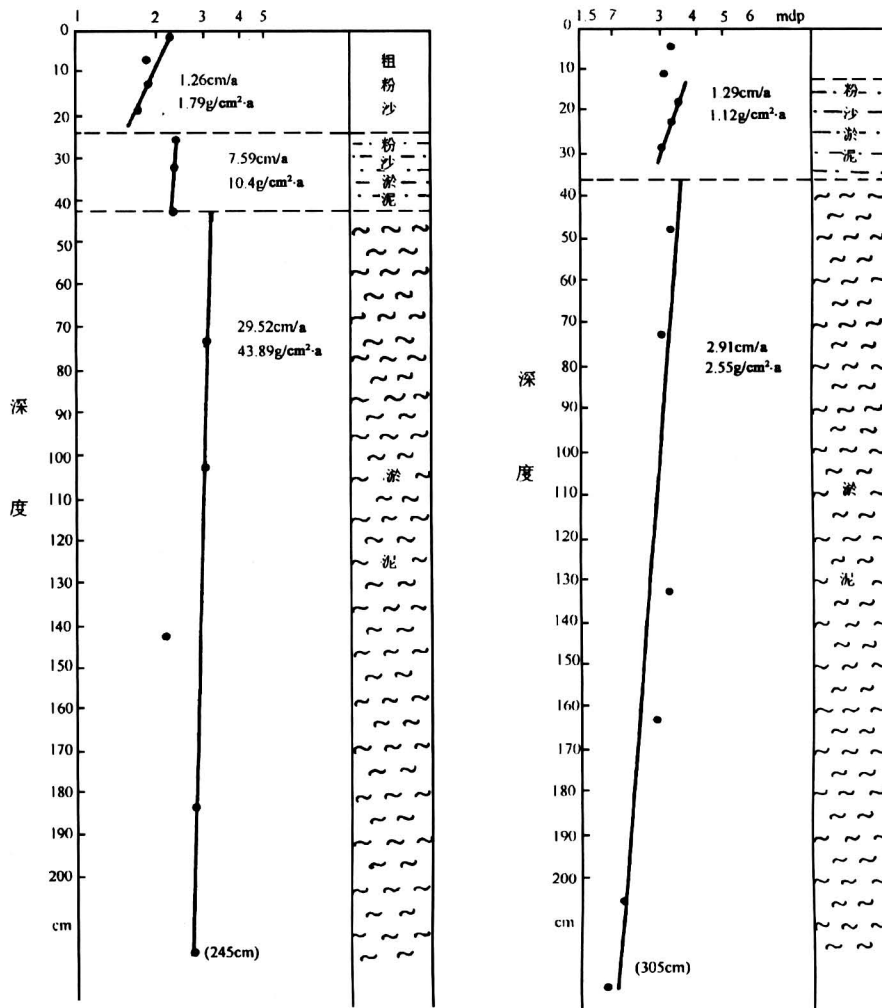


图8 Z8713 站<sup>210</sup>Pb 剖面图及 Z8714 站<sup>210</sup>Pb 剖面图

Fig.8 The profile maps of <sup>210</sup>Pb

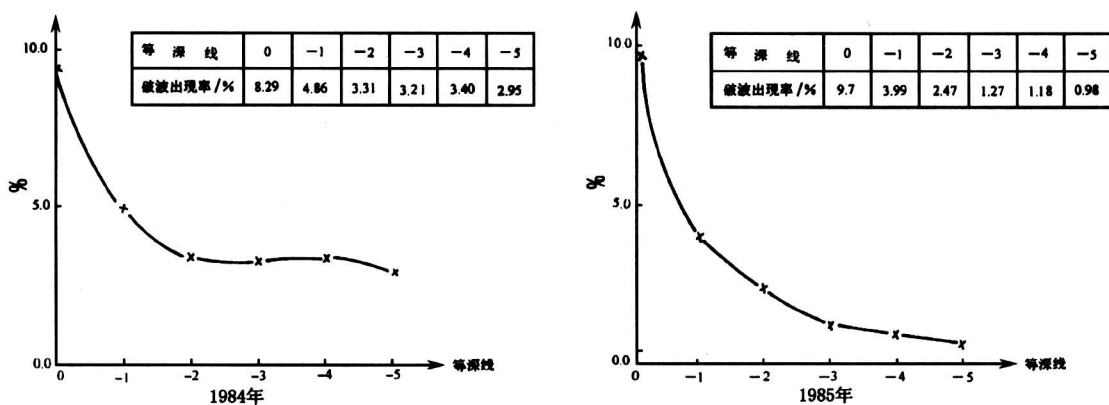


图9 1984、1985年测各等深线上破波概率曲线

Fig.9 The maps of breaker probability curve

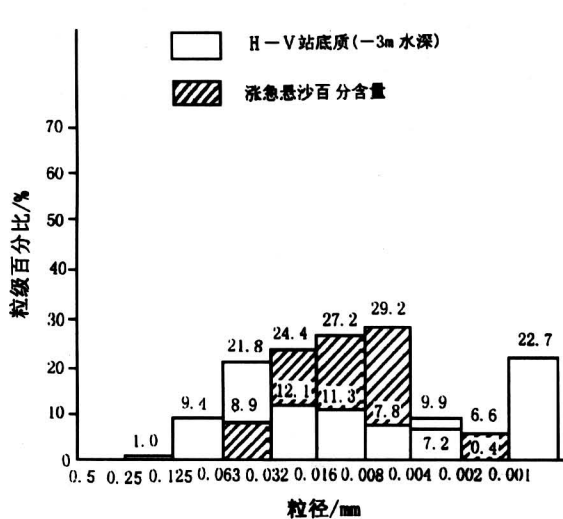


图10 无风天潮流输沙 (-3 m 水深)

Fig.10 The map of suspended sediment component in calm day

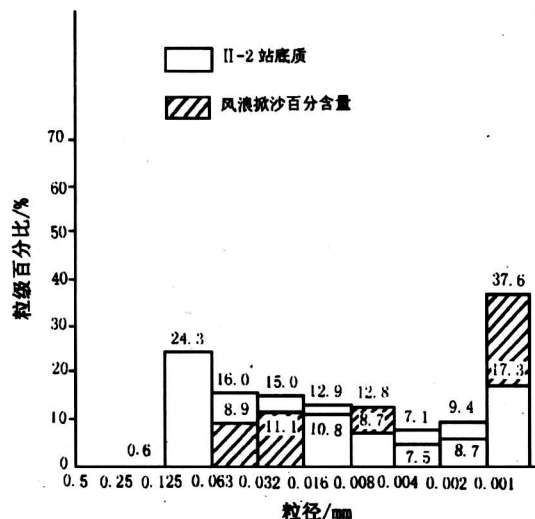


图11 大风天风浪掀沙状况 (-1 m 水深)

Fig.11 The map of sediments re-suspended under the wave action in windy day

系, 计算结果表明, 1.5 m 波高衰减需 2 d, 2.0 m 初始波高衰减延时需 3 d。从浅水波浪仪实测资料, 发现相同波高下, 向岸风 (NE) 和离岸风 (SW) 的等效风速, 后者比前者功耗大 0.5~2.4 倍 (表 2)。

### 5 沿岸流输移方向

本海区沿岸流由潮致余流、风海流和河口射流三部分组成。根据 1987 年 6~7 月建港部门在大口河海域布设的 25 个测站全潮同步水文测验资料, 显示该海区的潮汐属不正规半日潮, 潮流属规则半日潮流, 全潮过程水流作逆时针方向旋转等。实测潮流椭圆长轴为 SW-NE 向, 涨潮期主流向为

表 2 向岸风与离岸风等效风速对照表

Table 2 A comparing talbe of equivalent wind velocities of coastward wind and offshore wind

	风速/m·s <sup>-1</sup>	2.0	4.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0
-1	NE 风级	2	3	4	5	6	7	8
等深线	SW 风速/m·s <sup>-1</sup>	6.8	8.6	10.8	15.3	21.6	30.7	>32.6
	SW 风级	4	5	6	7	9	11	>12
-2	NE 风速/m·s <sup>-1</sup>	2.0	4.4	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0
等深线	SW 风速/m·s <sup>-1</sup>	5.4	7.0	9.1	13.4	19.8	29.3	>32.6
	SW 风级	3	4	5	6	8	11	>12
-3	NE 风速/m·s <sup>-1</sup>	2.0	4.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0
等深线	SW 风速/m·s <sup>-1</sup>	4.4	5.8	7.6	11.5	17.3	26.1	>32.6
	SW 风级	3	4	4	6	8	10	>12

245°~270°之间,落潮主流向为65°~85°,涨落潮平均流速的量值一般在0.3~0.5 m/s之间,近底流速仅为表层流速的55%~80%,而该区岸滩底沙的中值径为0.07~0.002 mm,计算起动流在0.30~0.60 cm/s,说明潮流挟沙能力较低,泥沙

运动为风浪掀沙和潮流输沙。本海区的余流在-6 m等深线以内为SSE向,余流流速3~7 cm/s,-6 m等深线以外,余流方向为NE,余流流速10~15 cm/s(图12),说明正常天气条件下,近岸泥沙向岸输移,远岸泥沙向海扩散。

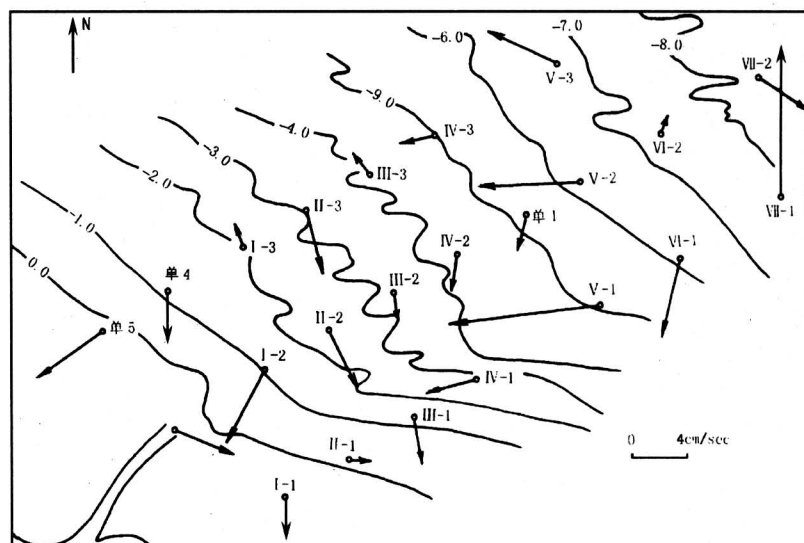


图12 大口河海区0.6 H余流分布图

Fig.12 The map of residual current in Dakouhe offshore area

渤海湾的沿岸流季节变化比较明显,从20世纪80年代海岸带与海涂综合调查资料得知\*,夏季沿岸流方向自南而北,流速值低于10 cm/s,这已被大口河海区近岸漂流试验所证实(图13);冬春季节,大口河以北海域,余流方向为SE和ESE,表层余流速10~14 cm/s,底层余流速5~9 cm/s。

大口河为漳卫新河与宣惠河交会后的潮汐河口,流域总面积约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,多年平均径流总量 $8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,多年平均流量为 $25.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,汛期(7~9月)径流量为年径流总量的64%,非汛期以潮滩及潮汐水道纳潮量为主。70年代河道修建挡潮闸以后,径流量与纳潮量明显减少,但落潮期大口河口门附近射流依然存在,据卫星图像信息,河口射流喷射的距离可达7.5 km,射流末端的扩散宽度约3 km,由于潮情与风向的变更,射流最大摆幅范围达7 km(图14)。河口射流与潮水顶托,口门附近即形成-1~-1.5 m水深的拦门浅滩。

## 6 岸滩剖面塑造

河北、山东交界的大口河海岸曾经经历过两次大的侵蚀过程,第一次为黄河夺淮南迁苏北入海期间,历时700多年,主要表现为古三角洲被冲蚀消散,海岸线夷平,海区-1~-2.5 m海岸保存的2~3 m厚的黄褐色条带状粉砂层就是当年近岸波浪作用下底质粗化的产物(图15)。第二次为现代黄河三角洲形成以来,黄河入海流路东迁以后,海滩剖面因沿岸输沙不足而进行调整,其表现形式反映沿岸贝壳堤侵蚀后退和水下岸坡变陡。如大口河口门附近的狼坨子自1939年特大风暴潮袭击以来,岸线后退估计达500 m,70年代至今,沿岸贝壳堤已后退100 m;从不同年代航片比较,1954年至1985年间,大口河以北的冯家堡—狼坨子岸段,岸线蚀退了350 m,年平均冲刷速率最大11.3 m,大口河以南棘家堡石砣子贝壳堤,31年

\* 姜太良. 1987年河北省海岸浅水动力因素及其对海岸地貌的影响. 国家海洋局第一海洋研究所



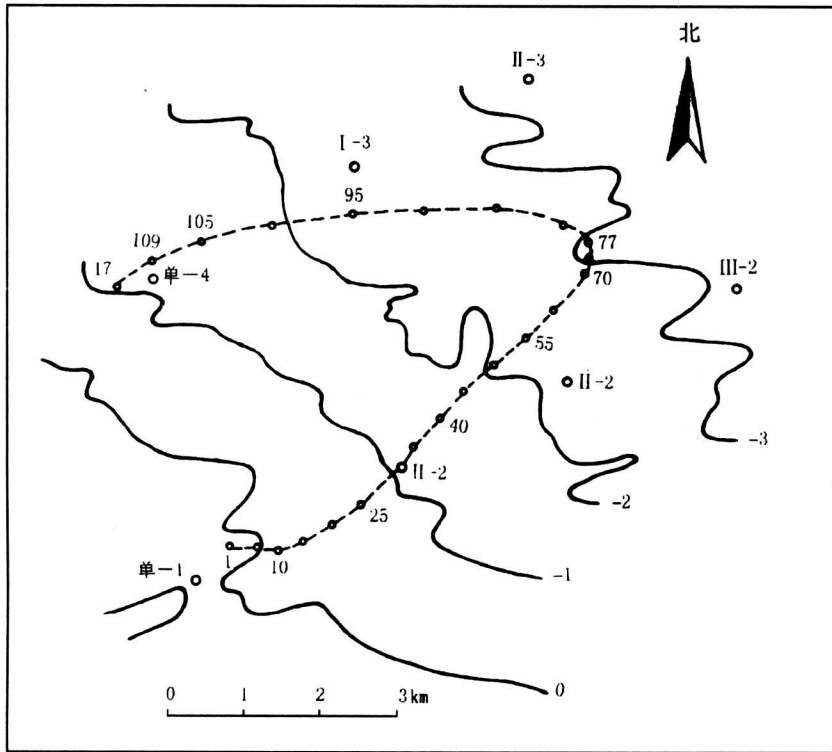


图 13 大口河海区单点漂流示意图

Fig.13 The sketch of drift observation in Dakouhe offshore area

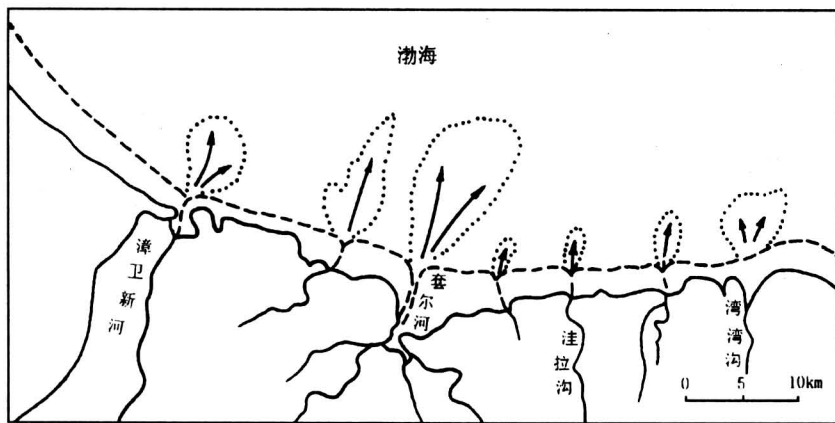


图 14 大口河至黄河沿岸河口射流示意图

Fig.14 The sketch of estuarine efflux of coastal area from Dakouhe to the Yellow River delta

中最大冲蚀移距 272 m。水下岸坡调整发生在 0 ~ -8 m 等深浅之间，通过不同年代海测图比较，棘家堡以东海域为岸滩全面侵蚀区，1959 ~ 1983 年间，0 m ~ -10 m 等深线之间海底平均蚀低 0.4 m，

侵蚀量最大部位在 -3 ~ -4 等深线区域，最大侵蚀厚度 0.7 ~ 0.8 m，24 年中 -3 m 等深线向岸蚀退近 2 km；棘家堡至徐家堡间拟建港区范围为冲淤对平衡的过渡区，以狼坨子剖面为例，-5 m 等深浅以



浅海域呈现少量淤积，淤积厚度 0.2~0.4 m，-5 m 等深线以外为冲刷区，平均冲刷深度 0.2 m；徐家堡至赵家堡岸段，-5 m 等深线以内出现普遍淤积，平均淤积厚度 0.6 m，0 m 及 -1 m 水深处最大淤厚分别为 1.2 m 和 0.8 m (图 16)。从沿岸冲淤平面分布也可以进一步证实渤海湾沿岸泥沙的优势输移方向为由南向北，目前黄河三角洲西部岸滩正处于侵蚀过程之中。

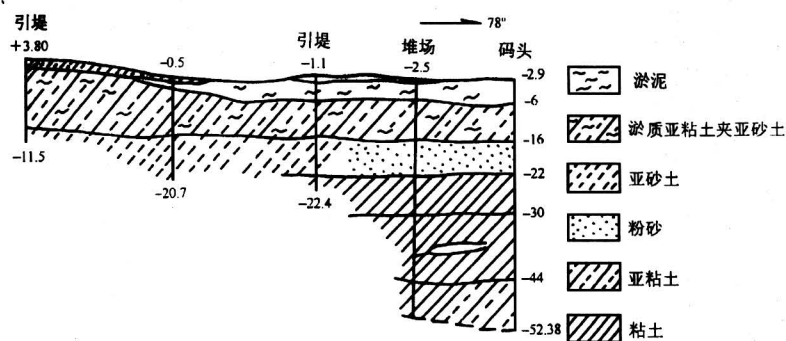


图 15 拟建港区地质剖面示意图

Fig.15 The sketch of geological profile in port area

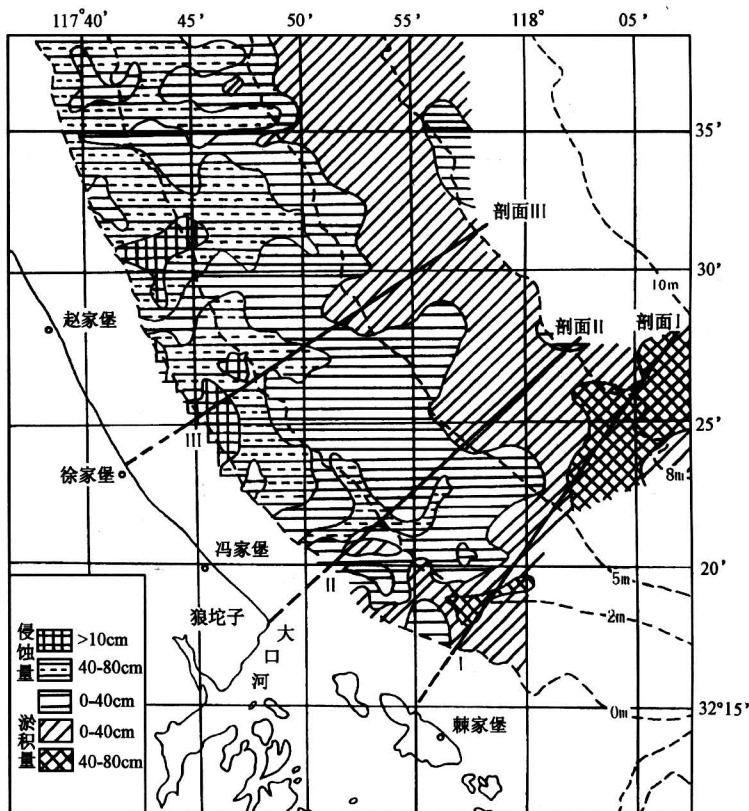


图 16 大口河海区冲淤变化图 (1959~1983)

Fig.16 The map of scouring and siltation in Dakouhe offshore area (1959~1983)

## 7 结论

研究表明, 由河流入海泥沙塑造的淤泥质海岸, 当入海流路改道, 主汊、支汊水沙分配调整或河流中下游建坝筑闸, 原有受泥沙补给的岸段就会产生海岸侵蚀过程, 黄河三角洲、滦河三角洲、辽河三角洲、苏北废黄河三角洲, 海南南渡江三角洲, 以及受长江入海泥沙影响的杭州湾北岸的侵蚀均是典型的实例。

潮汐较强的淤泥质海岸, 近岸波浪和潮流的掀沙作用导致细颗粒泥沙再悬浮, 近底高浓度泥沙浑浊区及浮泥层的形成, 是沿岸工程泥沙进一步探讨研究的重点。

沿岸流是潮流和风生流共同作用的产物, 对于沿岸泥沙输移方向的确定, 除利用实测资料和数模分析计算余流、余沙等手段外, 对研究地区全年盛行风向和强风向的频率统计, 也是一种较为有效的途径。

平原淤泥质海岸侵蚀过程, 在平面上表现为海

岸线夷平和后退, 横向剖面上表现为底坡逐渐变陡的上凹型曲线, 上凹剖面的拐点发生在大波作用下的临界水深附近, 冲刷强度最大部位位于拐点以上的岸坡上部。

从历史过程及海岸发育角度, 渤海湾平原淤泥质海岸的形成有赖于黄河入海泥沙的补给, 但从局部岸段的冲淤变化和工程泥沙问题考虑, 必须从沿岸波浪和水流共同作用的动力场求解。

### 参考文献

- [1] 赵希涛. 渤海湾两岸的贝壳堤[J]. 科学通报, 1980, 25 (6): 279~281
- [2] 王恺忱. 黄河河口演变规律[A]. 海岸河口区动力、地貌、沉积过程论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1985. 90~99
- [3] 侍崇茂. 黄河口泥沙运动的卫片分析[J]. 海洋调查, 1986, (20): 48~51
- [4] 徐宏明, 冯玉林. 黄骅港工程泥沙问题研究[J]. 泥沙研究, 1998, (1): 20~29

## Research on the Nearshore Process of the Typical Coast of the Bohai Bay

Yun Caixing

(State Key Lab. of Estuarine and Coastal Research, Shanghai 200062, China)

[Abstract] Since the coast of the Bohai Bay is a typical plain silty one, the problems about engineering sediments, such as fine sediment transportation and how to reduce silting amount for the port and waterway, have come across one after another in the construction of the Tianjin Port and the Huanghua Port of Hebei Province, the two largest artificial ports in China. On the basis of the data observed in situ in the coastal area of the Dakou River in the southwestern Bohai Bay, this paper analyzes comprehensively hydrodynamics, sediment transportation, sedimentation of the coastal beach and alluvial and silting evolution, which provide a theoretical basis for the strategic decision of "the shallow water used as the deep water" in the plain silty coast.

[Key words] the Bohai Bay; nearshore process; sediment transportation

\* \* \* \* \*

《中国工程科学》(月刊) 是中国工程院院刊  
欢迎读者直接向本刊编辑部订阅