

辽河口海口沉积特征及潮滩动态预测

鲍永恩 黄水光

(国家海洋局海洋环境保护研究所, 大连)

提要 本文以翔实的调查资料较详细的叙述了辽河口浅海区的沉积特征,分别总结了潮滩、浅海、潮道及潮沟等单元体的沉积特征,并分析了各单元体的沉积过程,文章重点叙述了潮滩的动态变化,并根据 ^{210}Pb 测定沉积速率资料及河流输沙量观测资料,分别建立预测方程,估算了双台河口东、西两段潮滩的极限淤涨时间及潮滩淤涨高度预测,两种计算方法所获得的结果基本上一致。

关键词 沉积特征 潮滩动态预测 辽河口海区

第一作者简介 鲍永恩 男 56 岁 高级工程师 海洋地质及地球化学

辽河口近岸海区包括东起辽河口西至小凌河口,水深小于 10m 的区域。该区自第三纪以来一直沉降并沉积了巨厚的第四系地层,表层为现代沉积物。区内有四条河流(辽河、双台河、大凌河、小凌河)入海,年平均径流量 $9.141 \times 10^9 \text{m}^3$,年平均输沙量 $4.892 \times 10^7 \text{t}$,由于河流大量输沙入海,潮滩迅速向海推进,形成广阔的潮间坪,其宽度 3—9km。同时,由河流水下三角洲构成近海水下地形的主体,延伸至水深约 20m 处,地形坡度 2.5×10^{-3} — 3×10^{-3} ,在河口外分布有大小不等的拦门浅滩,双台河口外有盖洲滩,辽河口外有东滩、西滩等较大的浅滩,在河口及浅滩之侧分布有潮道、潮沟等凹槽地形。该区属于潮汐型河口,淤泥质岸带过渡型沉积作用。近年来随着辽河口三角洲资源开发的兴起,1983 年进行了海岸带和海涂资源综合调查、1988 年进行了辽河油田浅海开发环境综合调查,获得较系统的资料。在此基础上,笔者研究该区沉积特征、沉积动态变化及预测潮滩淤积极限高度所需时间,为潮滩开发利用和港口航道建设提供参考意见。

1 沉积特征

该区沉积物以细粒为主,具有淤泥质岸带和潮汐型河口沉积特征。沉积物类型分布如图 1。西部沉积物分布规律较强,从低潮带向岸和向海逐渐变细;东部沉积规律性较差。按沉积单元和动力特征可分为潮坪复合体、河口潮道、潮沟,拦门沙障壁体,水下三角洲等沉积单元区,其沉积特征分述如下。

1.1 潮坪复合体

潮坪复合体主要是受潮汐(包括风暴潮汐及其它动力)作用所引起的海平面短时间反复变化的沉积环境,从高潮滩向上过渡到潮上带,向下过渡到潮下带的整个环境,它是不受河流直接影响的过渡环境。在潮坪复合体的不同部位(高潮坪、中潮坪、低潮坪)其沉积特征亦有所差别,代表性的沉积物粒度概率曲线如图 2,沉积结构如图 3。

高潮坪 此带宽度为 1.0—1.5km, 地形平坦, 坡度为 1.0×10^{-4} 。沉积物主要是粘土质粉砂, 平均粘度较细 (6.77ϕ), 从图 2. A 中可见, 悬浮组分占 99% 以上, 表现出悬浮负载搬运特征。泥、砂互层呈水平层理, 沉积物表面生物足迹和爬痕甚多, 蟹等洞穴发育 ($40-280$ 个/ m^2), 生物扰动较强, 弯曲的小潮沟发育。近潮上带有碱蓬等植物生长, 地表有龟裂现象。

中潮坪 宽 0.5~1.0km, 滩面凹凸不平, 地形坡度 5.2×10^{-4} 。沉积物为粉砂, 粘土质粉砂, 平均粒度为 5.26ϕ , 较高潮坪稍粗。粒度百分累积曲线(图 2. A)为三段, 滚动组分小于 1%, 跳跃组分占 60% 左右, 悬浮组分占 40% 左右。沉积结构为互层状、透镜状, 生物扰动减弱, 有蛤、螺、蟹等甲壳动物及软体动物分布, 生物量 $20-40$ 个/ m^2 , 沉积物表面发育有滩鳞、凹坑、沙滩及小波浪等。

低潮坪 宽 1.0~2.5km, 地形坡度增大为 1.44×10^{-2} 。沉积物为粉砂、砂质粉砂, 平均粒度为 4.91ϕ 。粒度百分累积曲线(图 2. A)为三段, 滚动组分占 7%, 悬浮组分占 15% 左右, 跳跃组分占绝对优势 (75%~80%), 沉积结构为微倾斜层理, 有小交错层。沉积物中含斑状贝壳碎屑; 层面有小型波浪, 波浪走向基本平行于海岸; 滩面上有变曲潮沟分布; 生物扰动较弱, 生



图 1 辽河口海区沉积物类型分布图

Fig. 1 The sediment classification distribution of the waters around Liaohai estuary

- 1. 砂 2. 粉砂 3. 砂-粉土-粉砂 4. 水深等深线 5. 粘土质砂
- 6. 粘土质粉砂 7. 剖面及编号 8. 潮滩界限 9. 砂质粉砂
- 10. 粉砂质粘土 11. ^{210}Pb 测定点

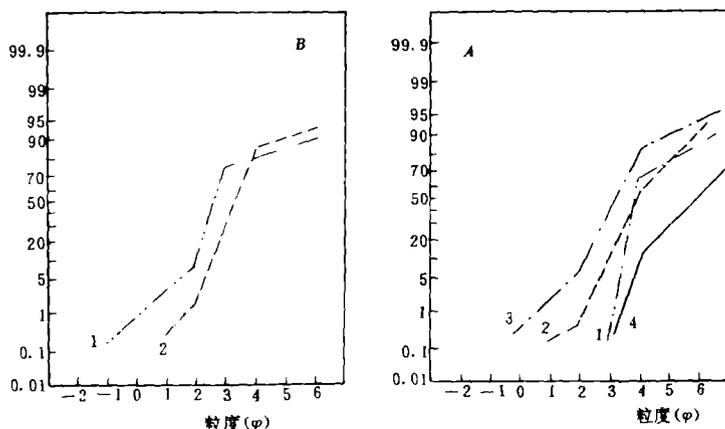


图 2 沉积物粒度概率累积曲线图

Fig. 2 Accumulative curves of sediments grain size

- A. 潮滩: 1. 高潮坪 2. 中潮坪 3. 低潮坪 4. 水下三角洲
- B. 盖洲滩障壁: 1. 障壁外测 2. 障壁体内

物有四角蛤蜊 (*Macra Veneriformis*), 焦篮蛤 (*Aloidis Ustuala*), 蛎螺 (*Umbonium Thamsi*) 等。(图 3)

1.2 拦门沙障壁体

该区较大的拦门沙浅滩主要分布在双台河口外(盖洲滩等)及辽河口外(东滩、西滩), 这些拦门沙体原为低海面时期河流堆积体, 经过全新世海侵而河口后退至现今的湾顶, 遗下的沙体被海水淹没成露出于海面, 与陆岸隔有一定距离的水洼。盖洲滩障壁体呈纺锤状, 长 13.5km, 最大宽度 5.0km。沉积物类型分布(图 1): 滩西、南、北外侧为细砂, 局部有粗砂分布, 平均粒度为 2.9ϕ , 粒度百分累积曲线为三段(图 2. B), 跃移组分占 70%, 滚动组分和悬浮组分分别占 10%、20%; 向滩体内部粒度变细, 沉积物为粉砂、砂质粉砂, 平均粒度为 4.5ϕ , 沉积物粒度百分累积曲线(图 2. B)亦为三段跃移组分占 80%, 悬浮组分和滚动组分分别为 19%、1%。沉积结构为层状, 有小型交错层, 沉积物表面有小型波痕, 生物扰动很弱。辽河口外浅滩障壁体(东、西滩)的沉积特征与前者有所差别, 沉积物为粘土质粉砂。平均粒径较前者细(7.14ϕ), 分选性差。

1.3 潮道、潮道沉积特征

潮道多分布于几条河流的河口外侧, 形态各不相同, 双台河口外潮道分布(图 4)呈指状或齿状的多级潮道, 并且分布于拦门沙体的西侧, 潮道长 4.3km, 宽为 400m, 深为 5~6m, 呈“V”形断面, 坡度 11×10^{-3} 。沉积物为细砂, 砂波发育, 有侵蚀出来的贝壳落入谷底, 凸面往往朝上堆积, 没有生物扰动, 以交错层发育为特征。

| 相带 | 剖面 | 沉积物组成(%) | 岩性 | 沉积结构 | 扰动程度 |
|-----|-------|----------|----------|--------|---------|
| 潮上带 | 高潮 | | 粘土质粉砂 | 层状水平层理 | 植物生物扰动强 |
| | 上带 | | 粘土质粉砂 | 水平层理 | |
| 潮间带 | 中带 | | 粘土质粉砂、粉砂 | 微倾斜层理 | 生物扰动较弱 |
| | 下带 | | 粉砂、砂质粉砂 | 小交错层波痕 | |
| 潮下带 | 水下三角洲 | 粉砂质粘土 | 粘土质粉砂 | 水平层理 | 生物扰动强 |

图 3 潮坪沉积结构图

Fig. 3 Tideflat sediment texture

1. 粘土含量 2. 粉沙含量 3. 砂含量

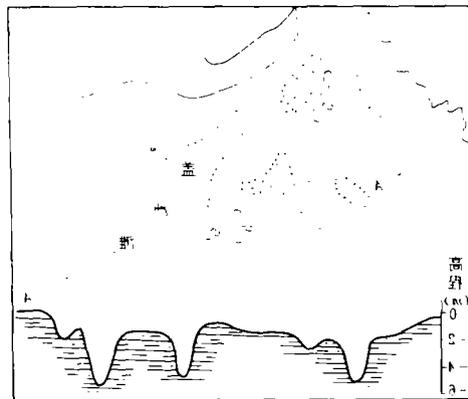


图 4 双台河口潮道分布图

Fig. 4 The tidal inlet distribution of Shuangtaihe estuary

潮沟多分布于潮坪上, 宽度数米至十数米不等, 深度一般小于 1.0m, 但长度较长, 多呈“S”形。有时呈枝状分布, 断面多呈“U”形。由于潮沟摆动而造成明显的泥、砂互层状结构, 或有压扁层理结构; 有生物碎屑堆积, 生物扰动少见。

1.4 水下三角洲沉积特征

从低潮线至 -10m 等深线水下三角洲的地形平坦, 坡度为 3×10^{-4} 。沉积物为粘土质粉

砂,向浅海变细为粉砂质粘土,向低潮坪过渡为粉砂。沉积物的平均粒度为 6.84ϕ ,分选性差,峰态宽。粘土质粉砂的粒度百分累积曲线与中潮坪近似;粉砂质粘土的粒度百分累积曲线(图 2. A)为两段悬浮负载,跃移组分小于 2%;沉积结构为水平层理或互层状,生物振动增强。

2 沉积动态变化趋势

2.1 潮间坪动态

潮间坪沉积主要受潮汐、潮流、波浪、泥沙来源和地形等条件控制。落潮历时(12h20min~13h20min)大于涨潮历时(11h12min~12h25min),涨潮流速大于落潮(二者比值为 1.02~1.22)是潮坪不断淤积扩展的基础条件,各地段的控制因素有所差异亦可造成不均衡沉积现象,以双台河口为界可分为西、东两段不同的沉积岸段。

从双台河口向西至小凌河口为明显淤涨段,该段河流泥沙入海量(表 1)较大,潮坪上堆积作用较强,淤积主要表现在滩面逐渐增高,水下沙体不断向海延伸。但局部地段亦有盈缩不同的现象,大凌河入海主向偏西南,泥沙向西南运移并在口外迅速堆积,零米水深线向海迁移速率达 264m/a(刘炜,1988);而在大凌河口东侧岸段,则因水动力和泥沙来源等原因造成冲蚀后退。

表 1 河流流量及输沙量表

Table2 The river discharges and sediment discharges

| 项目 | 流量($10^6\text{m}^3/\text{a}$) | 输沙量($10^4\text{t}/\text{a}$) | 含沙量(kg/m^3) |
|-----|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 辽河 | 48.82 | 899 | 3.21 |
| 双台河 | 18.93 | 889 | 4.70 |
| 大凌河 | 19.63 | 2740 | 13.96 |
| 小凌河 | 4.03 | 364 | 9.03 |

从双台河口至辽河口岸段为平衡或缓慢淤积段,该段因泥沙来量少,盖洲滩障壁体遮拦而影响了潮间坪的淤涨。在中、高潮坪淤涨特征比较明显,而低潮坪以下则处于平衡或微淤状态。

2.2 水下三角洲动态

该区水下三角洲呈连续展布,以细粒物质为特征,此特征与海洋动力和河流输入的细粒物质相适应,呈带状缓慢向海推进,对比 1958 年及 1978 年海图可见 5m 等深线呈平行曲线向海方向有较大幅度迁移。

2.3 拦门沙障壁体及潮道动态

拦门沙体和潮道沉积直接受波浪、潮流作用,并受海底地形的影响。潮道分布于拦门沙体之侧,波浪作用较强,潮流速度较大,冲刷作用甚强。据 1985 年在双台河口外潮道实测,涨潮最大流速可达 200cm/s,落潮最大流速为 24cm/s,在拦门沙体西侧潮流速度大于 45cm/s。按尤斯特罗姆图(费里德曼等,1981)(图 5)分析,当潮流速度大于 25cm/s 时,粒度小于 $+2\phi$ 的颗粒即可处于悬浮状态。可见潮道在涨潮时槽底有相当数量的沉积物(平均粒度 2.9ϕ)可以被冲刷而悬浮搬运,落潮时粗颗粒又沉积下来。盖洲滩西侧亦因潮流速度过大而被冲蚀搬运,所以造成滩西侧呈弧形分布的分选很好的砂沉积带;滩体上部因潮流透度变低而泥沙不断的堆积淤高。盖洲滩自 1978 年至 1983 年的变化趋势是北端萎缩呈尖锥状,西侧冲刷,东南侧发生一定速度的堆积,整个沙体显示出向东南偏移趋势;与此相应的潮道亦向南延伸和东偏。

辽河口外东、西滩为涨潮淹没的大型拦门沙障墙体，在辽河导航堤修筑之前，二滩的淤积面积增长迅速，1906—1916年西滩淤高0.5m左右，修建导航堤之后，因水流束集，二滩的面积在20年间缩小了30%；自58年在辽河下游六间房截流和修建大伙房水库之后，河流径流量减少，径流作用减弱，潮道槽底日趋淤积，拦门沙体亦向上推移。

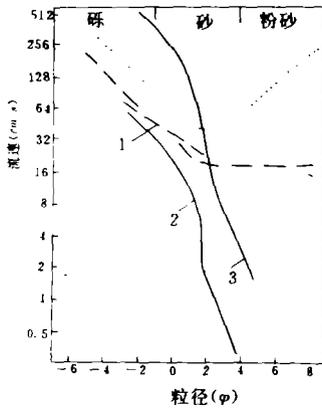


图5 尤斯特罗姆图—速度与粒度关系

Fig. 5 The figure of Ustlm—the relation between velocity and size

- 1. 牵引管最小牵引曲线
- 2. 静水沉降曲线
- 3. 最小悬浮曲线(12×沉降速度)

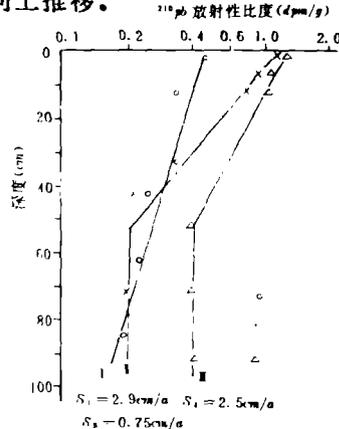


图6 ²¹⁰Pb 衰减图

Fig. 6 The decay of Pb

I、II、III—分别为 I、II、III 剖面柱样

3 潮滩淤进预测

3.1 淤积终极平均高度所需时间估算

淤积终极平均高度是指以现在高潮线高程为准至低潮线为界。计算方法：采用如下两种方法：

输沙平衡原理法估算

$$t_c = \frac{V(1 - \beta)n}{G/\rho} \tag{1}$$

- 式中： t_c 为淤积极限高度所需时间，a；
- V 为淤积极限高度的总体积， m^3 ；
- G 为河流输沙量， g/a ；
- β 为沉积物密实系数，%；
- n 为河流输沙在潮坪上平均分配系数；
- ρ 为沉积物平均密度， kg/m^3 ；

式中 V 是根据 1988 年 5—9 月滩面水准测量资料求得； G 是根据多年河流输沙量观测资料 (表 2) 给出； n 是根据 1988 年悬沙浓度测定资料和面积分配量给出，双台河口之西滩面为 54.4%，双台河口至辽河口滩面为 24.0%； β 是根据钻孔柱状样孔隙度对比求出，平均密系数为 9.93%。利用式(1)计算结果列于表 2。

采用 ²¹⁰Pb 实测沉积速率估算法

$$t_c = \frac{H}{u(1-\beta)} \tag{2}$$

式中: H 为淤积极限高度时沉积物的平均厚度, m ;

u 为沉积速率, cm/a ;

其它符号同式(1)。

式中 H 是根据 1988 年地形剖面水准 8 测量资料(取几何均值); u 是采用滩面柱样 ^{210}Pb 实测值(图 6)。利用式(2)计算结果亦列于表 2。

表 2 潮滩淤进计算结果表

Table 2 The estimation tideflat of progression

| 项目 | 式(1)计算结果 | | 式(2)计算结果 | |
|------------|----------|-----------------|----------|-----------------|
| | $t_c(a)$ | 平均淤积速率(m/a) | $t_c(a)$ | 平均淤进速率(m/a) |
| 双台河口之西滩面 | 62 | 127 | 70 | 114 |
| 双台河口至辽河口滩面 | 182 | 22 | 193 | 20 |

从两种方法计算结果对比来看, 无论是平均淤积速率, 还是淤积极限平均高度所需要的时间都是近似的。

3.2 剖面淤进预测

本文设三个地形剖面进行淤进预测计算, 剖面 I、II 位于双台河口之西, 剖面 III 位于辽河口之北(图 1)。在垂直海岸的潮坪剖面上, 由于海底地形, 潮流、波浪等水文条件, 生物活动, 沉积物质差别等因素的影响, 在剖面的不同空间位置上沉积速率亦有所差别。因此, 潮坪淤进强度亦不是均等的。为了合理的进行预测计算, 笔者以 1988 年 5 月和 9 月滩面测量获得的淤积厚度值分别校正剖面上 ^{210}Pb 法测定的沉积速率; 估算始点以 1988 年 5 月滩面测量高程为准。采用式(2)计算剖面淤积极限高度所需时间(图 7)。图中曲线反映了潮坪剖面淤进的基本变化规律, II、III 剖面曲线变化平缓, I 剖面因沉积环境因素较复杂而预测曲线呈波状变化。剖面的淤进强度: 距岸 1.5km 之内, 剖面 I > II > III; 距岸 2.3km 之外, 剖 II > I > III。

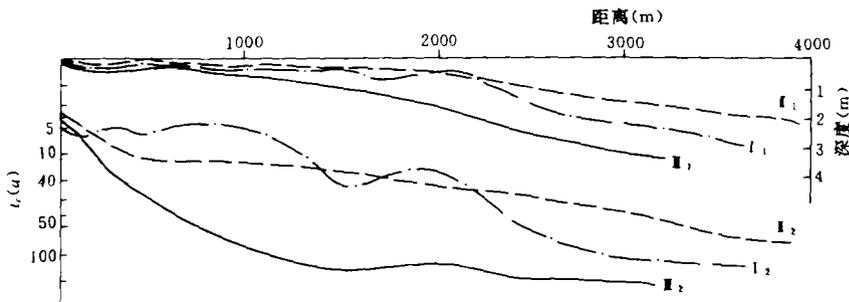


图 7 潮滩断面淤进预测图

Fig. 7 The progress forecasting of the tideflat cross-sections

I₁、II₁、III₁—剖面编号, 1988 年 5 月测量地形线

I₂、II₂、III₂—剖面编号, 淤积极限高度所需时间预测线

结 论

1. 该河口具有河口、淤泥质岸带过渡环境的沉积特征。河流泥沙来源丰富, 地形平缓, 在潮汐作用下形成潮坪及水下三角洲沉积环境, 因涨潮流速大于落潮流速及沉积、侵蚀滞后效应, 以及最大潮流速度出现在低潮线附近, 故塑造成沉积分带(细—粗—细型), 沉积结构分带, 生物振动分带规律。

2. 潮滩不断的淤涨, 双台河口之西段以 $114\sim 127\text{m/a}$ 的速率淤进; 双台河至辽河口段以 $20\sim 22\text{m/a}$ 的速率淤进; 双台河口至辽河口段以 $20\sim 22\text{m/a}$ 的速率淤进。随着潮滩的淤涨, 滩面抬高, 现在的海岸线发生后退。一方面为土地资源开发利用创造了有利条件; 另一方面对现有盐田、养虾池的自然纳潮造成困难。因此, 在研究现代潮滩动态预测的基础上, 规划潮滩资源开发利用是十分必要的。

3. 双台河口潮道和盖洲滩受波浪、潮流的作用而产生冲刷侵蚀, 潮道南移东偏, 盖洲滩亦向东南偏移; 辽河口拦西沙体(东、西滩)有淤积现象, 显示出潮道变浅。因辽河口导流堤破损, 港口航道淤积严重, 航运吨位已不能与过去相比, 为了对外开放和发展经济的需要, 对辽河口拦门沙体向上淤积问题, 有必要深入研究, 对老港进行改造和河口治理。

收稿日期: 1991年3月30日

参 考 文 献

- [1] 刘炜, 1988, 辽东湾海岸地貌过代演化特征, 辽宁地质, 1988, 第1期。
 [2] G. M. 费里德曼, J. E. 桑德斯, 1987, 沉积学原理, 北京: 科学出版社, 114~115页。

Sedimentary Features of Liaohe Estuary and the Evolution of Dynamics of the Tidal Banks

Bao Yong'en Huang Shuiguang

(Institute of Marine Environmental Protection, SOA, Dalian)

Abstract

Sea area around Liaohe Estuary refer the region between Liaohe Estuary to the east and Xiaolinghe Estuary to the west, which's water depth is defined as 10m shallower. Drainages where enter into the sea are liaohe, Shuangtaihe, Dalinghe and Xiaolinghe rivers, characterized by $9.14 \times 10^9 \text{m}^3/\text{a}$ of total water discharge and $4.892 \times 10^7 \text{t/a}$ of sediment input. Broad tidal flats and submerged deltas were formed attributed to the large capacity of sediment input. Based on the data obtained from the seacoast survey in 1983 and the comprehensive investigation of Liaohe Estuary in 1988, the following two aspects are discussed in the present paper.

1. Sedimentary features and grain size parameters are shown by figures and tables that

concerning the sedimental units of different water dynamics in the the sea area around Liaohe estuary, such as tidal flat complexes, submarine deltas, barriers, tidal inlets and tidal furrows. Whereas the tidal flat complexes were mainly effected by tidal currents. From the lower, to middle and higher tidal flat as well as to the submarine delta, the grain size of sediments decrease from silt to muddy silt and sorting become worse, the oblique beddings gradually replaced by horizontal ones, meanwhile organism disturbance strengthened. The formation of the barriers were mainly controlled by wave and tide as well as topograph. The sediments, which's grain size decreasing from outer barrier (coarse sand) to inner barrier (sandy silt, silt), are structured by beddings and small-scaled cross-beddings, featured by ripples on the surface and weak organism disturbance. Tidal inlets distribute as finger gullys on both sides of barriers and their V-shaped cross-sections deeper than 5m, that filled with fine sands structured by cross-beddings, shell buildings can be found but no organism disturbance. Tidal burrowes distributed mainly on tidal flats as snaking gullys of U-shaped cross-section, obvious mud and sand interlayered structures were formed attributed to the swing of the burrows.

2. Prospecting of tidal flat dynamics. The estimate of tidal flats progression is based on the equilibrium equation of sediment discharge and the sedimentation rates that determined by ^{210}Pb . Take the present height of high and low tidal lines as basis, the duration time needed for reaching the mean height of the supreme is estimated too. For the tidal flats west to Shangtaihe estuary, the duration time and progression rate estimated by the above two methods are 62 and 72 years, 127m/a and 114 m/a respectively, and for those locate between Shangtaihe estuary and Liaohe estuary, the data are 182 and 193 years, 22m/a and 20m/a respectively.