

黄河河口拦门沙发育动态

叶青超

(中国科学院 地理研究所 北京 100101)
国家计划委员会

摘要 河口拦门沙发育主要取决于河口边界、径流、海洋动力、海面增减水以及河口疏浚等环境要素的相互作用。拦门沙在口门附近呈扇状分布隆起的沙坝,沉积结构为紧密的“铁板沙”。1984—1987年拦门沙自然发育时期,拦门沙长度为7km以上,年平均推进速度1.30km,沙顶高程为-0.1—-0.5m;1988—1992年拦门沙人为疏浚发育时期,通过河口疏浚后,拦门沙增长有所减缓,其长度减为4—6km,年平均推进速度降为1.26km,沙顶平均高程下降到-0.7m,相应地减轻了河口地区的防洪压力。

关键词 黄河、河口拦门沙、发育动态、人工疏浚

分类 (中图法) 931.1 (科图法) 57.1513

拦门沙是径流泥沙输移过程中,由于能量释放,在河流、海洋双向水流的相互顶托作用下,径流势能锐减、咸淡水混合、泥沙絮凝沉积而发育隆起于口门的沙体。黄河河口与国内其它大江大河的河口特性明显不同,由于流域泥沙多,又是弱潮河口,河口沉积延伸的速度十分迅速,平均每年延伸1.30km。随着河口延伸,拦门沙体不断向海域推进,使堆积沙体不断扩张。在演进过程中,拦门沙体与河口口门保持相对的动态平衡状态。拦门沙体是河流排洪、输沙和河口航运的巨大障碍,甚至引起河口段河床壅水滞沙,溯源淤积和水位抬高,同时对河口尾间出改道也产生极大的影响。因此,研究河口拦门沙的发育动态,既有科学意义,又有应用前景。

1 拦门沙发育的河口环境因素

黄河河口拦门沙的发育主要取决于下列环境因素的相互作用和响应。

1.1 河口边界条件的制约

收稿日期:1994-12-15,收到修改稿日期:1995-10-04

黄河河口是流域功能系统组成的第三个子系统^{〔1〕}①。它处于济阳拗陷构造下沉区，平均每年下沉量约 4—5mm，成为与海洋侵蚀基准面共同控制的泥沙停积区。现在行水的河口是 1976 年人工改道清水沟注入莱州湾的海口，也是 1953 年以来河口第三次人工改道，至今已行水 19 年②。河口段西起西河口至海口，长约 36km，在两岸防洪大堤约束下呈喇叭状。1976—1982 年河口尾间河床经历 7 年游荡、分叉摆动和泥沙沉积后，地势北高南低，加上地球自转右偏动力的作用，河床偏向南部并趋向相对稳定。1983 年以后河口迅速向莱州湾推进，平均每年推进速率达 1.3km。1988 年起经过河口截支堵叉，强化主干等人工导流堤的控导措施，使河口定向发展，形成一个突出在莱州湾上的“龙头”，成为拦门沙发育的重要边界（图 1）。

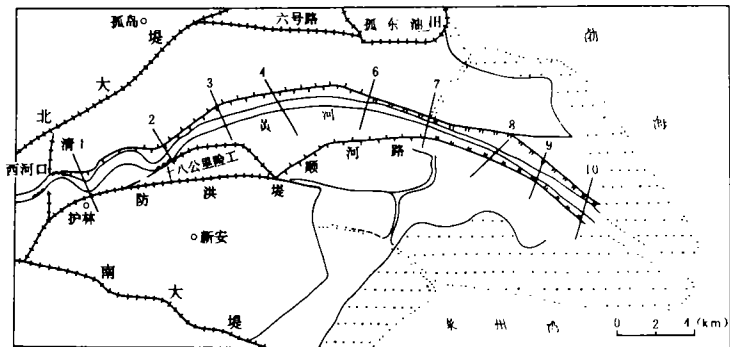


图 1 黄河河口尾间河势图
Fig. 1 The situation of the Yellow River mouth

口外海域地形浅平，河口附近水深 0—15m。在黄河大量泥沙落淤沉积条件下，河口地形呈现较高的“鱼脊状”，分别向北东和南东方向水深较大的低洼地区倾斜，以致口外海滨呈现两洼一脊的马鞍型地形。这种浅海地形特点对于河口地区径流和海流运动、泥沙输移、流速场和拦门沙冲淤的变化都起着重大的制约作用。

1.2 流域径流的作用

黄河以多沙著称。据利津水文站统计，1951—1992 年年平均水量为 $376.8 \times 10^8 \text{m}^3$ ，沙量 $9.38 \times 10^8 \text{t}$ ，含沙量 25.2kg/m^3 ，来沙系数 $0.0208 \text{kg} \cdot \text{s/m}^6$ 。其中，1986—1992 年水沙偏枯，年平均水量 $272.0 \times 10^8 \text{m}^3$ ，沙量 $6.59 \times 10^8 \text{t}$ ，但来沙系数加大为 $0.0281 \text{kg} \cdot \text{s/m}^6$ ，出现大水冲刷的机率减小，小水沉积机率增大的新情况、新特点。导致这一时期水沙偏枯的原因大致有以下几点：（1）80 年代后期以来流域气候干旱，降水偏少；（2）黄土高原水土保持效益明显，年平均拦沙 $3—4 \times 10^8 \text{t}$ ；（3）1986 年龙羊峡水库建成运用蓄水；（4）流域灌溉用水量激增。同时，下游河道泥沙组成粗化现象也较为明显，1963 年以前输沙中小于 0.05mm 泥沙所

① 流域功能系统包括受水盆地、干流输沙通道和河口三角洲堆积等三个子系统。
② 1855 年至 1976 年黄河河口在三角洲上改道 10 余次。其中，1953 年以后，为确保三角洲地区经济开发和油田安全生产，进行了三次人工改道。

占的百分含量为 82.3%，而 1976 年以后减少到 74.4%^①。这与 1973 年三门峡水库改建完成，蓄清排浑加大了冲刷，粗泥沙下排的作用相关。泥沙粗化结果对河口输沙不利，加速了河口段泥沙的沉积作用和拦门沙的发育。

1.3 海洋动力的作用

黄河河口为弱潮河口，平均潮差约 1.5m，比神仙沟口外 M_2 分潮无潮点 0.8m 的潮差约大一倍，潮波进入河口后，由于河口段的河床比降较大（约 1‰ 左右）及水深变浅而变形，所以，河口的潮流段很短。据 1984 年观测所知^①，非汛期 5 月黄河径流量小（仅有 300—500m³/s），潮波上溯能量较强，一般可达口门以内 7km，盐水楔侵入的长度约 6km；相反，汛期 7 月的径流量大，当流量出现 3000m³/s 时，潮波和盐水楔侵入的强度受到径流顶托而大为减弱，一般进入口门以内只有 4km 左右。非汛期涨落潮流历时基本相等，平均流速介于 0.44—0.47m/s；汛期受径流的影响，涨潮流历时 5 小时，而落潮流历时较长，约 7 小时，涨落潮流速介于 0.77—0.75m/s，显然要比非汛期的流速大得多。在口门以内涨落潮流势能均等的河段内，尤其在涨落潮流平均流速较小的条件下，河海动能损失极大，以致径流挟沙力和海流掀沙力大为减弱，造成黄河 70% 以上的粗泥沙和海底沙再悬浮物均在此河段内汇聚，形成浑浊度很高的含沙区，成为拦门沙孕育的重要机制。

入侵河口的盐水楔对泥沙絮凝沉积作用很大。据观测，枯水期间盐度高（约 24—26‰），泥沙颗粒较粗，絮凝作用较小；洪水期间盐度低（约 10—23‰），泥沙较细，絮凝作用较大^②。很显然，当河口絮凝作用越大时，拦门沙泥沙沉积的速率也越大。反之，则沉积的速率就小。

1.4 海面增减水的影响

渤海为半封闭的浅水内海，向东通过渤海海峡与黄海相连，海峡宽约 100 余 km。一般在风力为 5—6 级的西北风作用下，海水推向黄海，整个渤海减水 1—2m；在东南风作用时，黄海海水注入渤海，整个渤海普遍增水 1—2m。据统计，夏季多东南风，冬季多西北风，增减水作用使海面表现为夏高而冬低的季节变化，其最高的 8 月月平均海面高程比最低的 2 月的海面高程高出 60cm^②。黄河三角洲处于渤海的西南部，当东南风初起时，渤海普遍增水，但转为东北风后，增水量即集中到黄河三角洲附近，尤其莱州湾沿岸出现最高海面的机率较多。

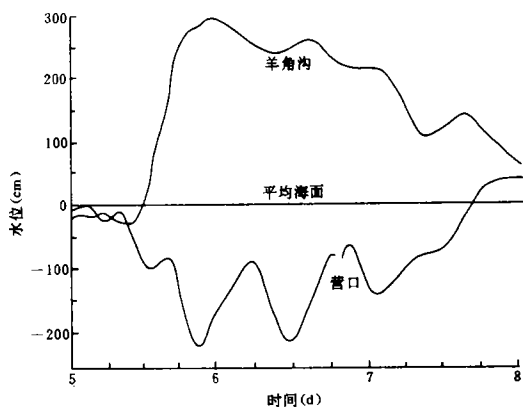


图 2 1964 年 4 月 5—7 日渤海南北部增减水过程图

Fig. 2 The process of sea level change in the south and north of the Bohai Sea in the period from May to July, 1964.

① 中科院海洋所. 黄河口拦门沙测验, 1984.

② 王志豪. 黄河三角洲风暴潮特性与防潮大堤设计.

如 1964、1969、1980 年，每年的 4 月份，因风暴潮袭击，使羊角沟站（小清河河口）的高潮水位，分别在黄海平均海面以上 3.35m、3.75m 和 3.15m。在渤海南部增水的同时，北部则出现减水。如 1964 年 4 月 5—7 日，营口减水 1.52m，南部增水 3.35m，两地海面差达 5m（图 2）。风暴潮多发生于春季，但有时发生在夏秋季（表 1）。由此可见，海面的季节性上升则会加大河口潮流段的进潮量，潮高 1m，向口门以内纵深的影响长度达 10km，同时，增大了径流泥沙下泄的阻力和增加海底掀动泥沙的进入，也加强了咸淡水混合的絮凝和拦门沙沉积的作用。反之，海面季节性下降时有可能增大径流泥沙下泄的能力和拦门沙的冲刷作用。

表 1 1952—1969 年各月羊角沟高潮位的次数

Tab. 1 The monthly times of high tide at Yangjiaogou station in 1952—1969

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
210cm 以上	0	3	2	7	3	0	1	2	3	4	5	0
250cm 以上	0			4	1	0		1		2	2	0
300cm 以上	0			2		0						0
出现年份 (a)		59、60、66	62、66	64、69	61		60	60	60、66、67	52、61	60、67	
最高潮位 (cm)		253	240	388	250		234	253	243	307	282	

据王志豪资料

1.5 拦门沙疏浚的作用

为了满足油田安全生产和黄河三角洲经济开发的需要，减轻防洪的压力，从 1988 年开始作为河口治理的主攻目标之一，东营市、胜利油田黄河河口疏浚工程指挥部开展了多年的河口疏浚实验工作，通过导流定向、机械开挖、船舶拖淤射流、破门出沟等工程措施的实施，取得了促成径流集中，增强河水动力作用，抑制了拦门沙自然发育的速度，从而取得了减轻拦门沙壅水滞沙的初步效果，这对增大拦门沙水深，加大径流排沙入海均有一定的作用。

2 拦门沙形态与沉积结构

2.1 拦门沙平面形态

河口拦门沙是在前述自然和人为环境因素相互作用下形成发展的，其平面展布位置视径流量和涨潮量两者的比值而定。黄河河口多年平均径流量为 1470m³/s，涨潮量 575m³/s，两者比值为 0.39，超过文献〔3〕确定 0.10 的临界值，表明黄河径流在这里是占主导作用的，拦门沙平面形态多呈扇状分布在口门附近

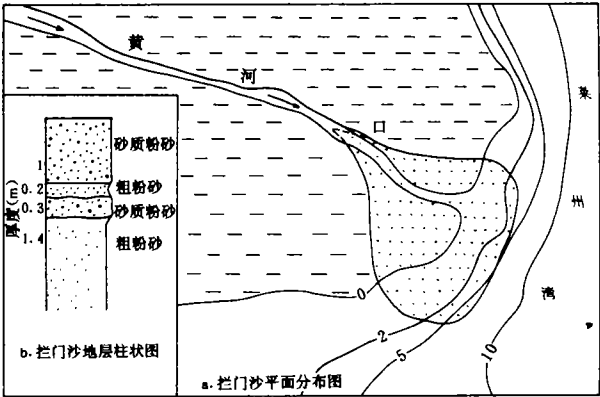


图 3 1984 年河口拦门沙形态及沉积物柱状图
Fig. 3 The shape of the mouth bar in 1984 and deposit columnar section.

或口外海滨,在纵向分布上为隆起的沙坝(图 3a)。1984 年 5 月拦门沙顶点在低潮线以下水深 -0.1m ,其高度比清 7 断面河床约高出 1.33m ,往往对河口段的河床起着局部侵蚀基准的作用,引起河口段壅水滞沙和泥沙沉积。泥沙组成大部分为砂质粉沙、粗粉沙,另有部分为粉质沙和小部分细沙。拦门沙的前缘为坡降很陡的斜坡,一直可延伸到水深 12m 处。

2.2 拦门沙沉积结构

拦门沙体的沉积物为“铁板沙”,分选良好,质地较粗,结构紧密。据取样分析,90%以上的泥沙粒级为 $0.125-0.063\text{mm}$ 和 $0.060-0.032\text{mm}$ 的砂质粉沙和粗粉沙^①。从水下 2.9m 厚的沉积柱状剖面来看,泥沙分配自下而上其粗度愈来愈大(图 3b)。其中,下部为粗粉沙,厚约 1.4m ,上部主要为砂质粉沙,厚约 1.3m 。这种组成结构致密的“铁板沙”主要为质地较粗的河床沙和海底沙,一般不易为双向水流冲刷掀动,成为口门经常堵塞的门坎,导致河口段河床水流不畅,泥沙落淤,影响河口输沙的平衡,势必引起汛期洪水泛滥成灾。

3 河口拦门沙发育动态

拦门沙河段水文泥沙观测始于 1984 年,1987 年以后每年汛期均有观测取样,资料比较系统,为研究拦门沙发育动态提供了可靠依据。从现有观测资料分析来看^②,拦门沙发育经历了自然发育和人为疏浚发育两个不同阶段。而各年拦门沙的消长情况,主要取决于流域水沙丰枯、河口延伸速度、泥沙沉积沿程分配、海域水深变化和人为疏浚强度,现分述如下:

3.1 拦门沙自然发育(1984—1987 年)

拦门沙消长主要通过上游来水冲刷而维持其动态平衡,若上游来水含有大量泥沙,不仅起不到冲刷作用,相反,拦门沙的沉积愈益严重。如 1983 年流域出现大水大沙,年水量 $491\times 10^8\text{m}^3$,沙量 $10.2\times 10^8\text{t}$,来沙系数 $0.0133\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$ 。^③其中,汛期水量 $317\times 10^8\text{m}^3$,沙量 $8.2\times 10^8\text{t}$,分别占年水沙量的 64.6% 和 80.4% 。在以上来水含沙量较大的状况下,河口口门附近泥沙沉积相当严重。从 1980 年 8 月至 1983 年 9 月河口泥沙淤积分配看,也可得到证实,如利津以下河道淤积量 $1.11\times 10^8\text{t}$,占来沙量的 4.5% ,而滨海淤积量达 $20.97\times 10^8\text{t}$,占来沙量的 84.5% ,输入海域泥沙 $2.74\times 10^8\text{t}$,仅占来沙量的 11% ^[1],表明大量泥沙主要淤积在口门附近,显示 1984 年汛前 5 月河口拦门沙发育的规模是较大的,其拦门沙体长约 7km ,沙顶高程平均 -0.5m ,低潮时水深仅 -0.1m (图 4)。1987 年出现小水小沙,年水量 $108\times 10^8\text{m}^3$,沙量 $0.96\times 10^8\text{t}$,来沙系数 $0.0260\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$ 。其中,汛期水量 $51.6\times 10^8\text{m}^3$,沙量 $0.79\times 10^8\text{t}$,来沙系数达 $0.0315\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$ 。该年尽管水沙偏枯,但由于来沙系数大,超过来沙系数 $0.013\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$ 的临界值 2 倍多,加上前期拦门沙的阻挡,泥沙沉积依然严重,河口附近泥沙淤积分配所占比例更大。以 1983 年 9 月至 1985 年 9 月为例,滨海淤积量达 $19.6\times 10^8\text{t}$,占来沙量的 92.8% ^[1]。显见,河口附近沉积非常严重,随着河口迅速延伸,拦门沙也向海域推进,形成长约 6km 的沙体,与 1984 年相比向海推进了 4.3km ,年推进速率 1.3km 。拦门沙段出现 4 个

① 中国科学院海洋研究所. 黄河口拦门沙测验, 1984.

② 东营市、胜利油田黄河河口疏浚工程指挥部. 黄河口疏浚实验工程总结, 1993.

③ 来沙系数大于 $0.013\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$ 时,河床沉积;反之,小于 $0.013\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$ 时,河床冲刷。

以上的沙脊，沙顶平均高程-0.1m，比 1984 年的沙顶抬高了 0.4m（见图 4）。

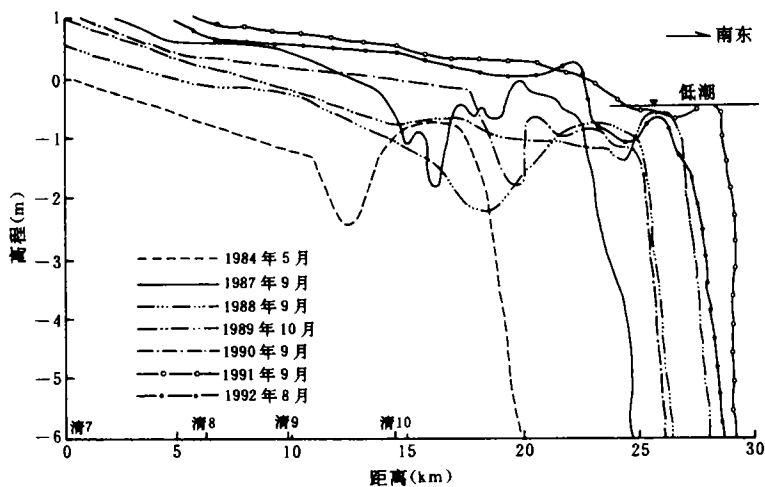


图 4 河口拦门沙纵剖面发育动态图（据东营市、胜利油田黄河口疏浚工程指挥部）
Fig. 4 The dynamic state of the longitudinal section of the mouth bar.

由上述可知，拦门沙自然发育时期，在流域水少沙多和河口弱潮的相互作用下，拦门沙发育不仅规模大，而且推进速度也快，是造成河口阻水滞沙，排洪不畅，引起河口洪灾的主要因素之一。据报导^①，1987 年凌汛，河口卡冰壅水，造成冰水漫滩，直逼孤东油田南围堤，淹没 60 多 km²（见图 1）；垦东 6 油区钻探停产，直接经济损失近千万元。汛期来水流量 2750m³/s，由于拦门沙堵塞，排水不畅，河口地区又复漫滩，部分油田再度停产。可见拦门沙体是威胁河口防洪，排沙入海和油田开发的严重障碍，对其疏浚治理既重要，又迫切。

3.2 拦门沙人为疏浚发育（1988—1992 年）

为了满足河口三角洲治理开发的总体需要，1988 年以后河口拦门沙开始进入经常人工疏浚的工程阶段，实施效果显著，拦门沙河段也出现了新的情况。其中 1988—1989 年处于小水中沙和中水中沙系列组合年，年水量分别为 $194 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $242 \times 10^8 \text{m}^3$ ，沙量分别为 $8.12 \times 10^8 \text{t}$ 和 $5.99 \times 10^8 \text{t}$ ，来沙系数也大，分别高达 $0.068 \text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^6$ 和 $0.0323 \text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^6$ 。水沙环境极为严峻，河口拦门沙体沉积更为严重。在这种新的情况下，河口开始实施浚试验，其效果初见成效，拦门沙发育受到较大的抑制。从表 2 来看，1988 年拦门沙长度与 1987 年相当，长约 6km，而 1989 年拦门沙的长度退为 4.5km，比 1988 年缩短了 1.5km，年平均向海推进速率维持在 1.3km，沙顶高程 -0.7m，比 1987 年的沙顶下降 0.6m。显见拦门沙河段疏浚工程取得了突破性的效果，拦门沙河段水深加大了 0.6m，有效地增大了排洪排沙的能力，从而减

① 东营市、胜利油田黄河口疏浚工程指挥部．黄河口疏浚试验工程总结，1993．

轻了河口地区的防洪压力。据报导^①，1988 年黄河汛期出现 8 次洪峰，其中，第 7 次洪峰流量 5 660m³/s，是第一次洪峰流量 2 780m³/s 的二倍多，但西河口和十八公里险工段两地的水位分别仅增涨 0.47m 和 0.34m（见图 1），低于以往增涨的幅度，而未造成洪水漫滩淹没的环境灾害。1989 年最大洪峰流量 4500m³/s 时，亦未漫滩。凌汛封河期间，13km 以下河道水面敞露，开河时亦未成灾。1990 年在中水小沙条件下，出现更好的水沙情况，该年水量 264×10⁸m³，沙量 4.69×10⁸t，河口拦门沙不仅长度变化为零，而且向口门以内退缩了 1.0km，沙顶高程下降到−0.8m，低潮时的水深增大为 0.4m（见图 4、表 2）。

表 2 1988—1992 年河口拦门沙发育动态综合指标

Tab. 2 The comprehensive index of the development of the mouth bar in 1988—1992.

日期 (a·M)	长度变化		推进速度			沙顶高程		
	长度 (km)	消长 (km)	向海推进 (km)	年进速率 (km/a)	平均速率 (km/a)	平均 (m)	升降 (m)	低潮线水深 (m)
1988.9	6.0	−1.5	+1.4	+1.3	1.26	−0.7	0	0.3
1989.10	4.5	0	+1.0	−1.09		−0.7	−0.10	0.3
1990.9	4.5	+1.0	+1.0	+1.09		−0.8	0	0.4
1991.8	5.5	−3.4	+2.1	+2.10		−0.8	+0.3	0.4
1992.8	2.1					−0.5		0.1

据东营市、胜利油田黄河口疏浚工程指挥部资料汇编

综上所述，从 1988 年河口疏浚工程试验以来，河口拦门沙自然发育迅速的状态明显受到抑制，具体表现为拦门沙的顺河长度有所缩短（2—6km），推进速度放慢（平均 1.26km，最小 1.09km），沙顶高程降低（平均高程降低 0.7m）。与此同时，拦门沙河段疏浚后，河口水流集中，径流泥沙运动阻力减小，大量泥沙可以顺利地通过拦门沙河段入海，输入外海的泥沙量显著增加。如 1988 年 9 月至 1990 年 9 月期间，利津以下河道的沉积量很小，约 0.567×10⁸t，仅占来沙量的 5.1%，而滨海沉积量 4.973×10⁸t，所占比例达 49.9%^[1]，比 1976 年 6 月至 1985 年 10 月拦门沙自然发育时期输入外海泥沙平均百分比的 13.5%提高了 36.33%。河口拦门沙的抑制，既减轻了河口地区洪水灾害的压力，又增强了河口通航的能力，促进了黄河三角洲地区的经济开发，也为实现延长河口行水 30 年的目标提供了良好的条件。但也要看到，黄河终归是多沙的河流，加之其弱潮河口的特性，河口拦门沙的形成是难以避免的。在不利的双向水流的动力条件和河口边界条件下，拦门沙体还会反复淤积抬高的，如 1992 年 8 月拦门沙河段长约 2.1km，虽然它比 1991 年的拦门沙体退缩了 3.4km，但其沙顶高程升高到−0.5m，低潮线水深仅 0.10m，恢复到 1987 年的状况。因此，河口拦门沙体的疏浚工作需要经常化、制度化，在疏浚过程中要密切注意和研究海洋动力的演变规律，进一步提高拦门沙体疏浚工程的效率和排沙入海的强度。

① 东营市、胜利油田黄河口疏浚工程指挥部：黄河口疏浚试验工程总结，1993。

参 考 文 献

- 1 叶青超. 黄河口泥沙输移过程与拦门沙演化研究. 《黄河流域地表物质迁移规律与地貌塑造研究》. 地质出版社, 1992.
- 2 李泽刚. 黄河口拦门沙的形成机制. 海洋学报, 1993, 15 (1) .
- 3 钱宁, 谢汉祥等. 钱塘江河口沙坎的近代过程. 地理学报, 1964, 30 (2) .

DYNAMIC STATE OF THE BAR AT THE YELLOW RIVER MOUTH

Ye Qingchao

(*Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract

The development of the mouth bar is influenced by the boundary conditions of the river mouth, runoff, oceanic power, sea level change and channel dredging. The mouth bar, taking shape of fan, is composed by closely compacted sands. In 1984—1987 in natural situation, the Yellow River mouth bar was over 7km in length, with its top at an elevation of -0.1m — -0.5m , and it moved seaward at a speed of 1.30km/a . In 1988—1992, the mouth bar was dredged, its length decreased to $4-6\text{km}$, and its top was at an elevation of -0.6m at an average, and the rate of progression was 1.26km/a ; therefore the pressure of laborious flood control in the reaches of the river mouth was alleviated.

Key words The Yellow River, Mouth bar, Dynamic state, Artificial dredge