

现代滦河三角洲的影响因素和沉积物分区

刘 振 夏

(国家海洋局第一海洋研究所)

摘 要

现代滦河三角洲属波控型三角洲。由于滦河径流量和输沙量呈明显的季节变化,致使河口三角洲的作用营力也呈明显的季节变化。夏季洪水期以径流作用为主,表现为三角洲堆积和向前伸展;枯水季节以波浪作用为主,表现为三角洲前缘被破坏和改造。典型的地貌标志是沿岸分布的沙坝-潟湖体系。

滦河发源于河北丰宁县巴延图尔山北麓,南切燕山山脉,注入渤海,全长877km,流域面积44900km²,属中小型河流。河道主流坡度较陡,强烈冲刷山区,携带大量粗颗粒物顺流而下,因此滦河又是一条多沙性河流。到滦县以下,滦河进入平原区,形成多个迭复冲积扇,至河口地区形成滦河三角洲。

现代滦河三角洲主要受径流和波浪控制,典型的地貌标志是三角洲前缘在波浪的作用下,沉积物被重新搬运并再沉积,形成沿岸分布的沙坝列,其向陆侧为受海水影响的海湾潟湖。本文重点讨论控制影响现代滦河三角洲发育的因素,并根据物质来源及作用营力的差异,对三角洲进行分区。

一、影响滦河三角洲发育的因素

三角洲是河流和海洋动力共同作用的产物。三角洲形成发育的影响因素包括:(1)河流的流量,输运沉积物的数量、粒径、速度和它们的瞬时变化,以及推移质与悬移质的比值。上述变量又取决于流域的面积、地形及气候;(2)海域的波浪、潮汐、水流运动的性质、种类和能量大小;(3)蓄水盆地的地形及地质构造。以下讨论上述因素是如何控制和影响三角洲的发育。

(一)河流水文

滦河流域位于温带和暖温带气候区,属于大陆性气候,年平均降雨量为665mm,且集中在7~9月(表1)。

滦河多年平均径流量为 $45.42 \times 10^8 \text{m}^3$,由于主要受降雨控制,故年内分配极不均匀,其中6~9月有 $33.43 \times 10^8 \text{m}^3$,占全年的73.6%(表1)。

滦河多年平均输沙量为 $2010 \times 10^4 \text{t}$,由于在大陆性气候区,强烈的物理风化作用造成大量碎屑物质,至雨季被洪水带下,因而滦河输沙量的年内分配也极不均匀。其中7

本文于1988年7月6日收到,修改稿于1989年3月7日收到。

表 1 滦县站多年平均降水量、径流量、输沙量的年内分配¹⁾

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
降水量(mm)	2.0	6.1	6.5	20.6	36.8	69.8	219.0	200.5	65.8	22.0	10.5	4.9	665
%	0.3	0.9	1.0	3.1	5.5	10.5	32.9	30.2	9.9	3.2	1.6	0.7	100
径流量(10^8m^3)	0.82	0.95	1.32	1.63	1.23	2.09	10.08	15.58	5.68	2.91	1.95	1.18	45.42
%	1.8	2.1	2.9	3.6	2.7	4.6	22.2	34.3	12.5	6.4	4.3	2.6	100
输沙量(10^4t)	2.01	2.01	4.02	8.04	10.05	68.34	870.3	904.5	108.5	22.11	6.03	4.02	2010
%	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	3.4	43.3	45.0	5.4	1.1	0.3	0.2	100

1)郭文英、范成:滦河下游主河道历史迁徙及三期冲积扇的形成。

~8两月输沙量占全年的88.3%,加上6,9两月,输沙量占全年的97.1%(表1)。

滦河输沙的另一特点是沉积物偏粗。由于滦河途径燕山山脉,携带大量粗碎屑物,沉积物中推移质多于悬移质。Fisher(1969)认为悬移质多的河流易形成河控型三角洲,而推移质多的河流易形成海控型三角洲,滦河沉积物的特点更利于形成海控型三角洲。

由于河流流量和输沙量的瞬时分布和变化对三角洲形态的影响比绝对量的大小和均匀分布影响大,滦河三角洲就明显地受季节性输水、输沙的影响。虽然滦河是一条径流量不大的河流,但相对于径流量而言,其输沙量较大,更重要的是输沙又集中在少数几个月份,这就给滦河三角洲地貌发育带来较大的影响。在洪水季节,湍急而下的水、沙使河道和河口没有充足的时间来调节平衡,造成河道不稳定,频频改道,并形成为数众多的入海口。枯水季节,河川径流对滦河三角洲影响很小。

滦河口区的风也是一个活跃的作用营力。该海域常风向为偏南向,出现频率和为51%,强风向为北东东向,出现频率为8.5%^[1]。无论是强风向,还是常风向,对滦河三角洲来说都是向岸风,向岸风引起表层水体向陆运动,并在底部产生离岸流,随之泥沙向海搬运,加积滨外沙坝。同时在陆上造成滦河三角洲区大量的风成沙丘堆积。其次,有风必有浪,波浪对三角洲的影响将在下面叙述。

(二)海洋动力

1. 潮汐和潮流

滦河三角洲区的潮汐运动受黄海北部潮波运动控制,一部分来自渤海湾,一部分来自辽东湾。潮汐性质为不正规半日潮。潮差较小,平均大潮只有1m^[3],这是形成沙坝-潟湖海岸的一个重要条件。

潮流属半日潮流,流速较小,一般0.5~1kn。涨潮流向西南,落潮流向东北^[2]。潮流对三角洲的影响较小,但在局部地区也起主要作用。在沙坝与沙坝之间往往为流速较大的潮汐通道,其向陆侧和向海侧形成小型涨落潮三角洲。落潮三角洲受波浪和沿岸流的破坏,不能保存,仅保留着涨潮三角洲。另外,在现代滦河口外10m水深处,有潮流作用形成的水下沙脊,由细砂和中细砂组成,顺潮流方向沿北东~南西向延伸。

2. 波浪

滦河口沿海波浪主要为风浪,具有明显的季节变化。春季(3~5月)常浪向为SW向;夏季(6~8月)常浪向为SE向;秋季(9~11月)常浪向为EN向;冬季冰封无浪。

强浪向为EN向, 与强风向一致。各浪级的出现频率见表2。

表2 滦河口区各浪级的出现频率^[1]

波 级	$H \frac{1}{15}$ 小于0.5	$H \frac{1}{15}$ 大于等于0.5, 小于1.5	$H \frac{1}{15}$ 大于等于1.5, 小于3.0
频 率	51	46	3

根据平均波高、周期及相应水深计算的滦河口波浪功率为1.7kW^[1]。Coleman(1975)认为大于20J/s(20W)的高近岸波浪功率常出现在陡的凹形岸外斜坡区, 并形成干净的、分选好的渗透砂。可见滦河口具有极大的波浪功率。

波浪是塑造沙坝-潟湖海岸的主要动力。Davis(1978)认为波浪从深水进入浅水时, 在水深等于波长的二分之一线触及海底($H=0.5L$)。从该线向陆方向, 波浪逐渐变形, 使波长衰减和波陡增大, 最终导致波浪破碎。波浪破碎产生垂直海岸和平行海岸的破波流, 携带沉积物横向运动和纵向运动。沉积物在水下岸坡和潮间浅滩分别以破浪沙坝和冲流沙坝的形式堆积。破浪沙坝不断堆积加高, 加上风生海底离岸流携带的泥沙堆积, 使水下沙坝升出水面成为滨外沙坝, 与陆地之间形成潟湖, 因而潟湖是与滨外沙坝共生的地貌单元, 人称沙坝-潟湖体系。滦河三角洲前缘的沙坝-潟湖岸就是河流输沙在波浪和风的长期作用下, 再搬运沉积形成的。

按滦河口区的平均波高1m计算, 波浪破碎处的水深为1.3m左右^[1]。目前在该水深附近, 有正在形成的小水下沙坝分布。

根据滦河口区波浪的波长、波高计算沙质海岸波浪作用推移质的临界水深约为6m^[2]。也就是说, 波浪对底质产生作用的范围在6m水深以浅的潮下带。

(三) 地形及地质构造

由于三角洲的沉积和推进作用, 使水下三角洲的坡度通常小于其它海岸环境的陆架坡度。现代水下三角洲坡度多变化于 $(0.6 \sim 8.4) \times 10^{-3}$, 悬移质多的河流水下三角洲坡度比推移质多的河流水下三角洲坡度更缓。水下坡度是通过摩擦力来影响波浪功率的。滦河口外水下岸坡平均坡度 2×10^{-3} 左右。

本区的构造轮廓在中生代时基本已定。燕山运动以来, 发生强烈的差异升降运动及断裂岩浆活动。本区地势北高南低, 这与本区北升南降的构造活动有关, 这对滦河三角洲的发育是有利的。

综上所述, 控制滦河三角洲发育的主要因素是径流和波浪。滦河多年平均径流量 $45.42 \times 10^9 \text{ m}^3$, 多年平均输沙量是 $2010 \times 10^4 \text{ t}$, 滦河口区波浪功率粗算为1700W。流量和输沙的强烈季节变化导致作用于三角洲的营力也具有明显的季节变化。洪水季节, 以径流作用为主, 表现为三角洲向前推进; 枯水季节, 以波浪作用为主, 表现为三角洲前缘被改造, 形成沙坝-潟湖系列。现代滦河三角洲正是这两种作用调节平衡的结果。

Fisher等人(1969)根据影响三角洲发育的河流作用和海洋作用的相互关系, 分为高

2) 吴寿兰、田素珍, 波浪对滦河口泥沙作用的粗略估算。

建设性三角洲和高破坏性三角洲,即河控三角洲和海控三角洲。根据以波浪作用为主还是以潮流作用为主,海控三角洲又分为波控三角洲和潮控三角洲。控制因素不同,三角洲发育的特点和规律也不相同。滦河三角洲属于典型的波控三角洲。

二、现代滦河三角洲的沉积分区

现代滦河三角洲指1915年以来形成的滦河三角洲,北起王家铺,南至甜水河。与一般河流三角洲划分原则相同,滦河三角洲分为三角洲平原、三角洲前缘和前三三角洲三部分。在前三三角洲之间夹有残留沉积(图1)。

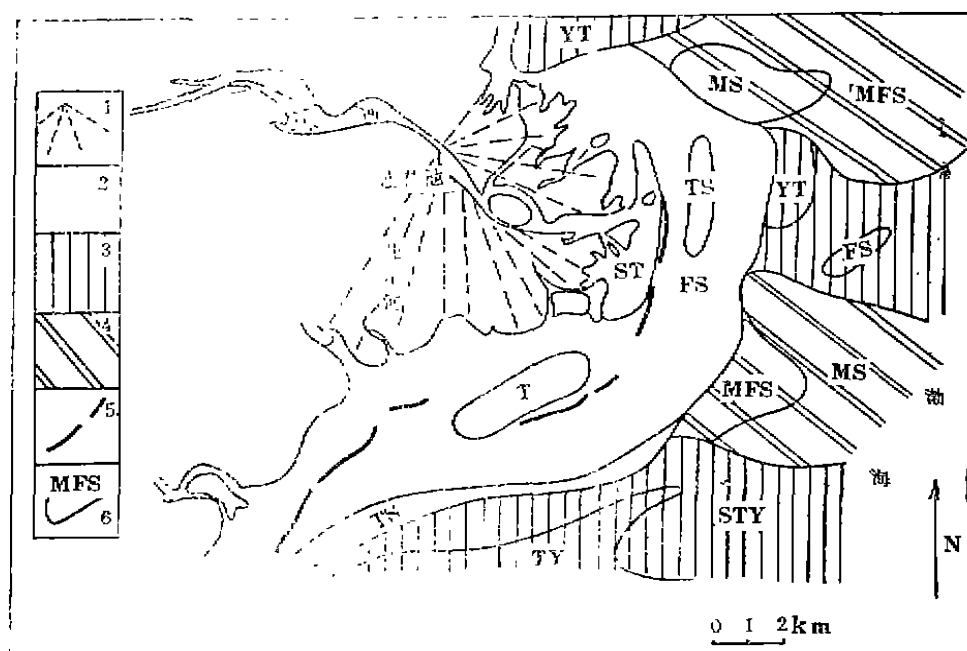


图 1 现代滦河三角洲沉积分区图

(一)三角洲平原

三角洲平原指河道河流分流点向下至高潮线范围。现代滦河河道分流点大约在莲花池附近,呈扇形向东南突出,面积约55km²。其上有河床、废弃河道、天然堤、泛滥平原及低湿地等次一级地貌单元。根据亚环境动力条件的差异,沉积物有中细砂、细砂、粉砂及粘土质粉砂等类型。

滦河三角洲平原的一个显著特点是风成沙丘发育。大的沙丘一般形成在现代三角洲之前,小沙丘与三角洲同时发育。莲花池沙丘高8.9m,沉积物为黄色中细砂,中值粒径1.77~2.12 ϕ ,平均值为1.94 ϕ ;分选很好,Qd ϕ 值在0.30~0.37,平均值0.33;正态分布或微正偏态,SK ϕ 值0~0.03(表3)。概率累积曲线除沙丘底部具双跃移组分外,其余为单一跃移组分,含量高达95%~98%,含微量悬浮组分,细截点在2.85~3.2 ϕ

(图2)。反映沙丘底部处在双向流作用范围, 2 m以上均在风营力作用下。该沙丘原为一海岸沙丘, 是现代滦河三角洲的后缘, 目前遭受侵蚀, 坡度减缓, 其侵蚀物质部分吹向滦河三角洲平原。

(二)三角洲前缘

范围从高潮线至波浪作用底质的临界水深, 在现代滦河入海口外大约 6~7 m 水深处, 向入海口两侧延伸水深减至 4 m 左右。本地貌单元的作用营力主要为海洋动力, 更明确地说是波浪。包括泻湖、滨外沙坝和水下岸坡三个次一级地貌单元。斯科特等人(1969)^[4]认为在海控三角洲中, 其海相起因于河流带入的或受河流影响的沉积物经过再加工或改造, 对三角洲作用而言, 它构成了破坏相。滦河三角洲属于波控型三角洲, 在波浪的长期作用下, 三角洲前缘已被改造, 形成沙坝和泻湖, 沙坝又有水上和水下之分, 后者指正在形成的沙坝。正是基于这点, 把沙坝和泻湖划入三角洲前缘范围。

三角洲前缘的物质来自滦河, 以细砂和粉砂为主。滨外坝和水下岸坡由细砂组成, 泻湖物质相对稍细, 含一定量的粉砂。

沙坝的表面沉积物为黄色细砂, 粒度参数见表3。在费里德曼(1959)区分不同沉积环境的粒度参数散点图上(图3), 沙坝砂均位于海滨沙丘的范围, 其概率累积曲线由二至三段直线组成, 跃移组分占98%以上, 滚动组分占2%以下, 悬浮组分约1%。细截点在 3.2ϕ , 粗截点在 $1\sim 2\phi$ (图4)。从曲线形态看, 该细砂具有明显的风成砂特征, 粒径均匀, 分选比现代波浪作用下的细砂还好。

滦河入海口两侧沙坝底部沉积物为灰褐色粘土质粉砂, 含较多的有机质, 似为泻湖沉积, 深度大约在50cm以下。这种情况反映沙坝形成后在不断地向岸移动。一般认为这是海面上升的结果, 但Swift(1975)认为在海平面稳定状况下, 由于波浪的侵蚀作用将导致沙坝向陆地方向移动。沙坝复于泻湖之上实属正常情况。

泻湖的物质相对较细, 由细砂、粉砂和砂质粉砂组成。这是由于沙坝阻挡了外海来的波浪, 沉积环境相对平静。一般在潮汐通道和涨潮三角洲物质稍粗, 而在泻湖中心物质较细。在现代滦河入海口外, 由于沉积物堆积速度较大, 泻湖的范围相对缩小。

滨外坝向海一侧水下岸坡由黄灰色细砂组成(表3), 在费里德曼区分海滩砂和河流砂的粒度参数散点图上(图3, 5), 该细砂都落在河流砂的范围内, 说明这些细砂都是滦河的物质, 由于目前受到波浪作用的改造, 细粉物质被淘汰, 留下质纯均一的细砂。概率累积曲线大部分由三段直线构成, 滚动组分多缺失, 跃移组分为主体, 含量在90%以上, 经波浪的冲流和回流作用, 多成双跃移组分。由于对河流砂的改造还不彻底, 细砂多保留了河流砂正偏态的特性。悬浮组分较河流砂少, 一般小于10%(图6)。

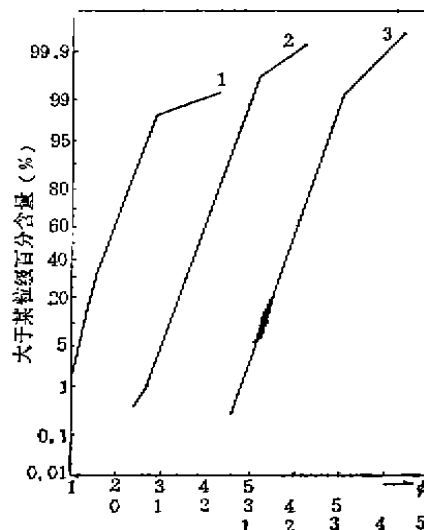


图2 莲花池沙丘概率累积曲线

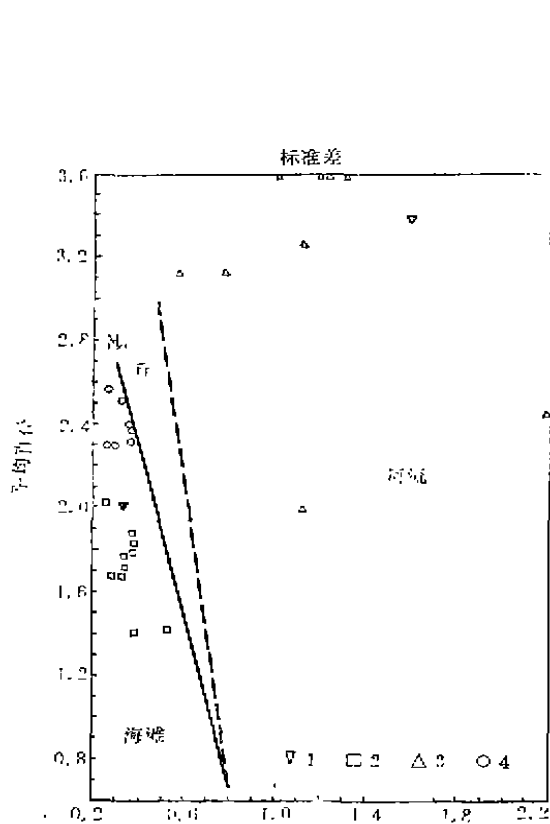


图 3 平均直径对标准差散点图

▽潮流砂, □残留沉积—中砂、中细砂, △水下岸坡—细砂, ○沙滩砂, 实线为海难与河流的界线, 虚线为河流与海岸沙丘的界线

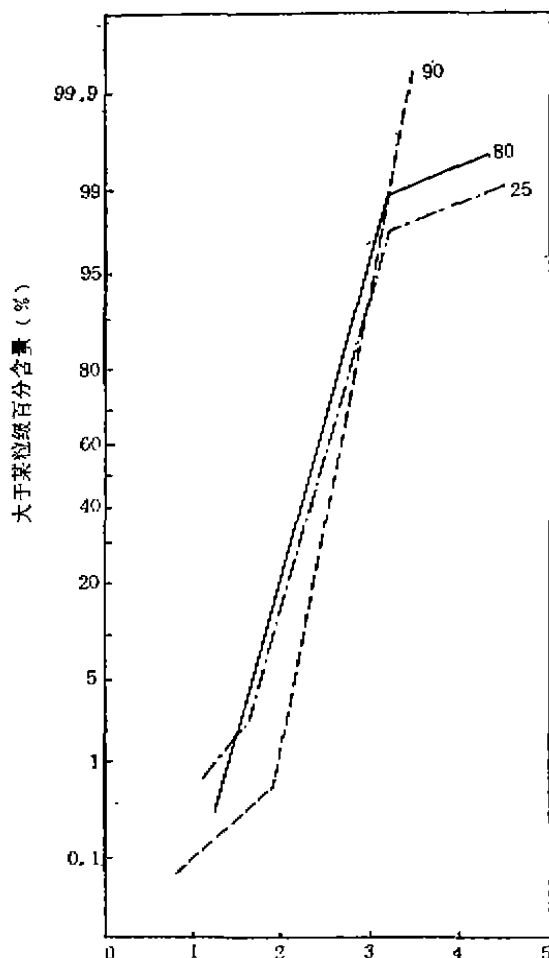


图 4 沙滩表面砂概率累积曲线

水下岸坡细砂沉积的前缘终止于波浪作用推移质的临界水深, 现代滦河入海口外大约在 6~7 m 水深处。这更证明了波浪对滦河三角洲前缘的控制改造作用。

(三) 前三三角洲

前三三角洲沉积是指在三角洲前缘外的细粒沉积, 大约到水深 12 m 左右处。分布在现代河口外及南、北两侧三个地区(图 1)。沉积物是灰黑或灰褐色的粘土质粉砂、粉砂质粘土或砂~粉砂~粘土, 含较多的植物根茎残体, 局部发黑碳化, 有机质丰富。自岸向海沉积物有变细的趋势。

滦河是一条中、小型河流, 沉积物以砂质为主, 细颗粒相对较少, 即沉积物中悬移质少于推移质。因而, 前三三角洲沉积物来源不多, 仅在入海口外局部地区分布。从图 1 可见, 除现代滦河口外, 还有东北和西南两个以前的滦河入海口。从前三三角洲沉积物分布范围看, 滦河在西南入海口(估计为甜水河)入海时间较长, 平面上三角洲相的过渡变化非常典型。在新、老入海口之间, 缺乏前三三角洲物质, 分布着残留沉积物。

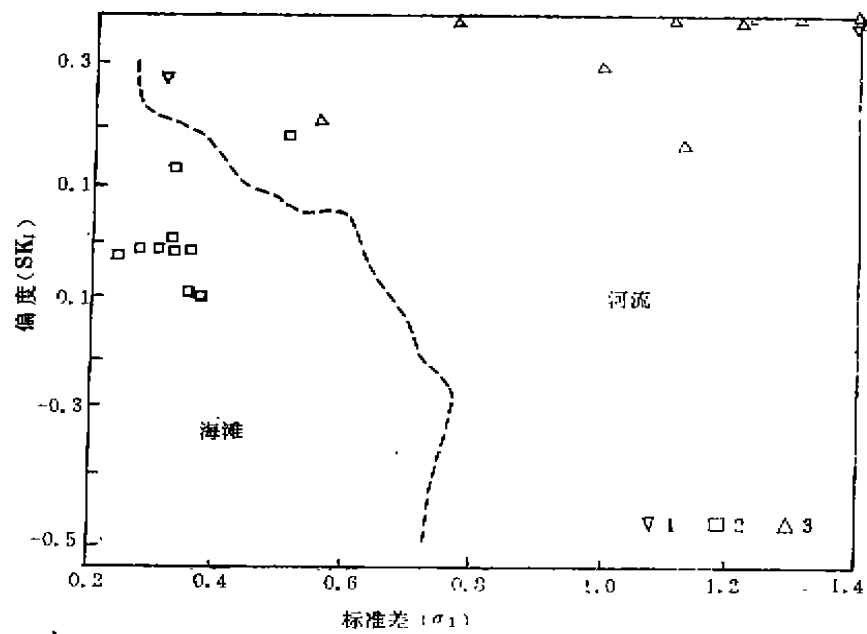


图 5 偏度与标准差散点图

▽ 潮流砂 □ 残流砂 △ 水下坡细砂

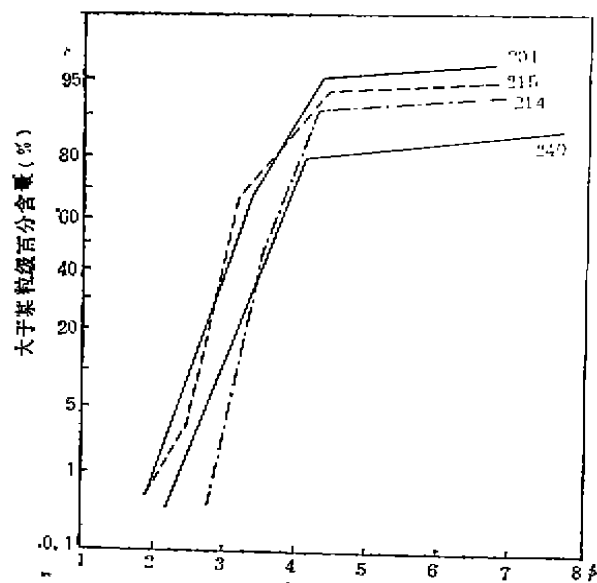


图 6 水下岸坡细砂概率累积曲线

(四) 残留沉积区

分布在现代河口两侧约 6 m 水深以外处。沉积物由中砂和中细砂组成, 砂质纯净 均匀, 矿物成分中石英含量很高, 云母极少, 砂粒磨圆度极好, 粒度参数见表 3。残留沉

表 3 各类沉积物的粒径参数

	站号	Md ϕ	Qd ϕ	Sl ϕ	M ϕ	σ_1	S ϕ	E ϕ
沙	25	2.39	0.27	0.00	2.387	0.366	-0.093	0.594
	35	2.34	0.23	0.07	2.413	0.352	0.324	1.012
	39	2.31	0.16	0.00	2.303	0.253	0.025	1.093
	80	2.31	0.25	0.00	2.333	0.381	0.009	1.013
	93	2.52	0.22	0.01	2.517	0.332	0.000	1.067
沙丘砂	6(顶)	1.91	0.33	0.00	1.903	0.489	0.009	0.966
	6(中)	1.87	0.33	0.00	1.870	0.489	0.003	1.000
	6(底)	1.77	0.32	0.03	1.807	0.452	0.112	0.948
	25	2.30	0.19	0.00	2.300	0.299	0.930	1.035
河床砂	94	2.40	0.39	0.01	2.400	1.587	0.388	4.498
	63	2.60	0.30	0.02	2.603	0.622	0.240	1.855
	133	2.91	0.24	0.00	2.94	0.446	0.223	1.456
水下或组砂	201	3.04	0.35	0.06	3.117	0.572	0.220	1.118
	202	3.27	0.33	-0.01	3.263	1.137	0.170	3.676
	204	3.75	0.37	0.00	3.747	1.012	0.313	2.703
	210	4.03	0.27	0.01	4.027	1.221	0.397	5.109
	214	3.47	0.19	0.02	3.593	1.233	0.642	7.383
	215	2.98	0.26	0.07	3.120	0.787	0.566	2.714
潮流砂	237	3.11	0.42	0.12	3.380	1.590	0.636	3.728
	249	1.98	0.22	0.06	2.043	0.325	0.291	0.997
残留砂	229	1.71	0.22	0.00	1.703	0.345	-0.016	1.239
	232	1.43	0.23	0.01	1.413	0.384	-0.035	1.158
	217	1.69	0.19	0.00	1.687	0.291	-0.014	0.998
	236	1.68	0.20	0.00	1.680	0.313	-0.019	1.040
	248	2.03	0.18	0.00	2.027	0.258	-0.021	1.007
	250	1.80	0.20	0.00	1.797	0.365	0.128	1.434
	251	1.43	0.27	0.01	1.427	0.516	0.164	1.624

积区的砂质沉积物在费里德曼粒度参数散点图上,大多位于海滩砂的范围(图3,5)。概率累积曲线由二至三段直线组成,跃移组分占95%以上,分选极好,有的样品有2%的悬浮组分。切裁点在2.3 ϕ 左右(图7)。分析该区目前的动力条件,认为这些中砂不是现在沉积环境的产物,定为残留砂较为合适,这与前人工作结论一致^[5],可能系冰期末海面上升时的海滩砂。

滦河是一条多沙性中小型河流,河口三角洲的发育主要受河川径流和波浪控制。滦河径流量和输沙量的季节变化极为明显,随之作用营力也发生显著的季节变化。在洪水季节,以河流作用为主,表现为三角洲的堆积;在枯水季节,以波浪作用为主,表现为三角洲被破坏和改造。

现代滦河三角洲为一波控型破坏性三角洲。各沉积分区的特点与河控型三角洲不同。三角洲的物质均来自滦河,但三角洲前缘经波浪作用的改造,形成沙坝和泻湖。这是波控型三角洲的典型地貌标志。

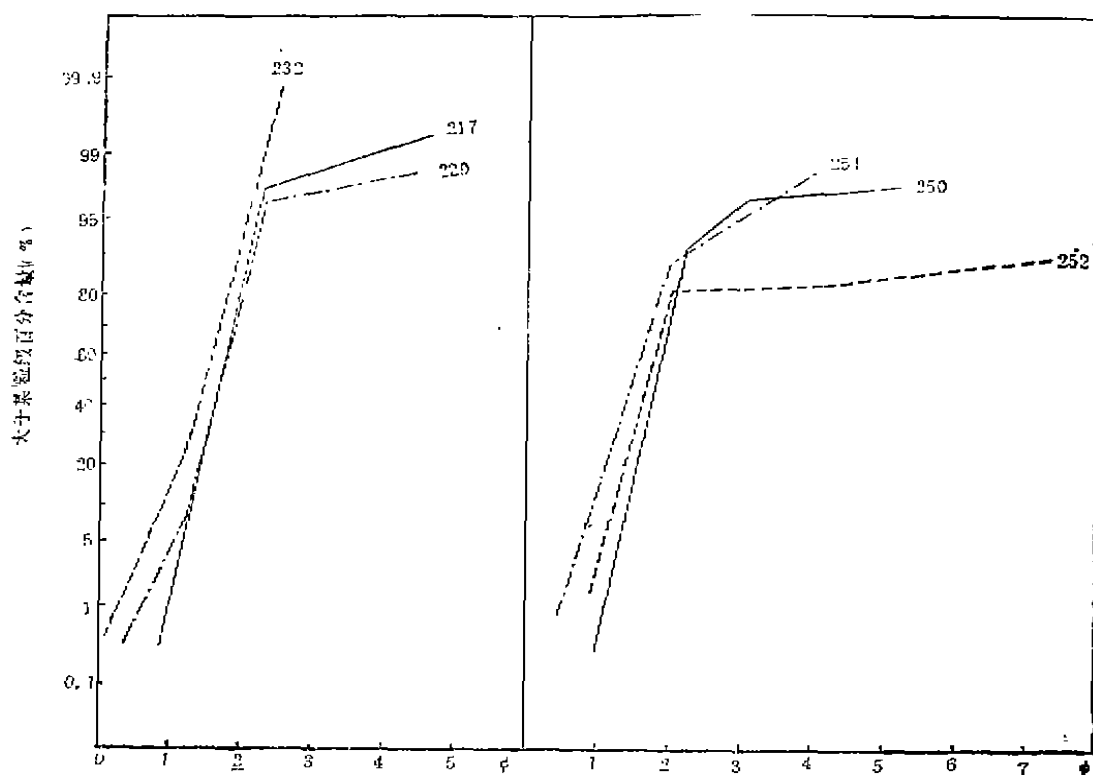


图 7 南部(左)和北部(右)残留砂概率累积曲线

参 考 文 献

- [1] 吴秀杰、田素珍: 滦河口波浪状况分析, 黄渤海海洋, 4(3)1986: 47~52。
- [2] 刘爱菊、黄易畅、卢铭: 滦河口及近海的潮汐特征, 黄渤海海洋, 4(3)1986: 42~46。
- [3] 刘爱菊、黄易畅、卢铭: 滦河口及其近海的潮流特征, 黄渤海海洋, 4(3)1986: 110~112。
- [4] 陈景山、陈昌明译: 三角洲沉积与油气勘探, 石油工业出版社, 1981: 1~34。
- [5] 大港油田地质研究所等: 滦河冲积扇——三角洲沉积体系, 地质出版社, 1985。
- [6] Coleman, J. M. et al.: Modern River Deltas: Variability of Processes and Sand Bodies, "Deltas: The Models for Exploration" Ed. by Broussard, M. L., Houston Geol. Soc. Houston, 1975。
- [7] Davis, R. A. Jr.: Coastal Sedimentary Environments, Springer-Verlag, New York, 1978。
- [8] Friedman, G. M.: Dynamic Processes and Statistical Parameters Compared for Size Frequency Distribution of Beach and River Sands, J. Sedim. Petro., 37, 1967。

THE INFLUENTIAL FACTORS AND ZONING OF THE MODERN LUANHE RIVER DELTA

Liu Zhenxia

(First Institute of Oceanography, SOA)

ABSTRACT

The modern Luanhe River Delta is a typical wave-dominated delta. Due to the distinct seasonal changes in the discharge and sediment discharge of the Luanhe River, the agents which act on the delta also vary obviously with season. As the river flow plays a prevailing part during the flood period in summer, its delta is manifested as its accumulation and forward extension; conversely, as the wave action is prevailing in dry season, the delta front is manifested as its erosion and reformation. The typical mark of the morphology is the system of barriers and lagoons distributed along the shore.