

长江三角洲砂体的分布

同济大学 李从先

在三角洲油气勘探中,需要预测砂体的位置、形态和延伸方向,这些参数受制于水动力因素。河口地区影响三角洲发育的因素很多,但能形成砂体者主要是河口水流、波浪和潮流。据此三角洲砂体可分为河口砂体、浪成砂体和潮成砂体。在各个三角洲地区,这三种水动力因素的相对强度互有差异,故三角洲砂体的组合各不相同。砂体是三角洲的骨架,砂体的组合关系决定了三角洲的形态类型。从各类三角洲中归纳出砂体分布的基本模式,对古三角洲的研究和油气勘探都具有重要意义。

目前资料将三角洲砂体的分布模式分为六种类型,但是并没有把所有的三角洲包括在内,长江三角形就是其中之一。本文将通过长江与世界其他三角洲砂体分布模式的对比,进一步阐述长江一类潮汐型三角洲砂体分布的特殊性和深入研究我国现代三角洲的必要性。

一、三角洲砂体的分布模式和形成条件

近年来,科尔曼等(1975)应用电子计算机,对世界上几十个三角洲的几百个形态和动力参数进行计算,归纳出三角洲砂体的六种分布模式(图1),它们的特点和形成条件是:

第一类:三角洲砂体主要由指状河口砂坝组成,砂体走向与海岸线正交或斜交,沿河口砂坝砂层局部增厚,呈豆荚状。这种分布格局形成的条件是:波浪能量低,潮差小,潮流弱,三角洲滨外坡度平缓,泥沙沿岸运动的数量有限,河流输砂量大,而且以细粒的悬移质为主。属于这种分布模式的典型河流是现代的密西西比河三角洲。

第二类:河口砂坝仍为指状分布,但在河

口砂坝之外的海域出现顺潮流展布的长形潮成砂体,二者以深水域互相隔开,其走向都与海岸线近于垂直。这种模式的形成条件与第一种比较,河口地区潮差增大,潮流较强。属此类的典型三角形有奥德河、科罗拉多河、恒河—布拉马普德拉河等。如果沿岸潮流很强,可以将长形潮成砂体改造成平行海岸展布,如注入马六甲海峡的巴生河。

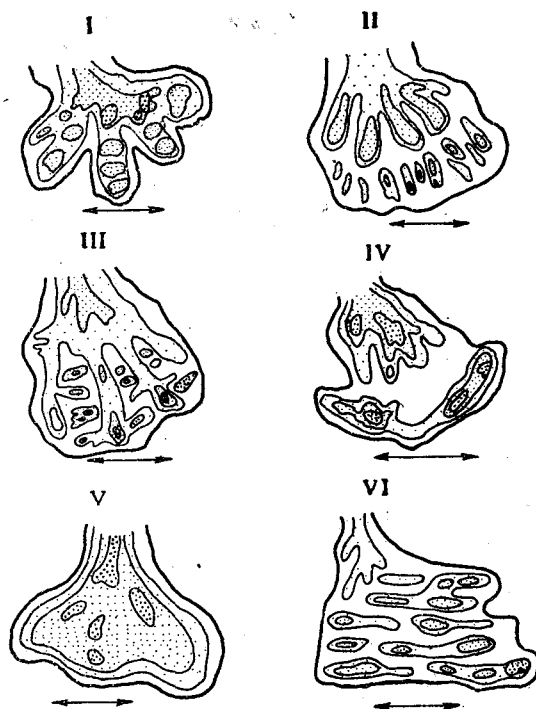


图1 三角洲砂体分布模式

第三类:由垂直海岸的指状河口砂坝和平行海岸的滨外砂岛组成。与前两类比较,波浪作用显著增强,因而发育滨外砂岛,潮流仍然很强,致使河口砂坝与水下潮成砂体互相连接,河口指状砂坝大大加长。属于这类的典型河流三角洲有澳大利亚的伯特金河、伊洛瓦底江、红河、多瑙河等。应当指出,多瑙河注入

黑海，黑海的潮流可以忽略不计，多瑙河指状河口砂坝加长的原因在于，全新世最大海侵时形成的多瑙河口湾的外侧，有一个长达60公里的砂嘴，致使湾内水域平静，叉道得以迅速伸展所致。由于滨外砂嘴与河流天然堤互相交错，砂体呈棋盘格网状分布。因此将多瑙河归入此类似较牵强。

第四类：在河口附近发育垂直海岸的指状砂坝，向海各叉道河口砂坝互相交错，构成席状砂，其厚度局部有所增加。离岸一定距离，波浪作用产生平行海岸的滨外坝，它与海岸之间为泻湖浅水域。这种砂体分布格局形成的条件是：波浪较强，滨外坡度平缓，潮差小，潮流弱，河流输砂量较少。代表性的河流三角洲为美国的布列索斯河，我国的滦河三角洲可能也属此类。滦河是一条多砂性河流，河口地区波浪作用较强，平均潮差只有1米左右，沿三角洲边缘发育滨外砂岛（图2），上覆薄层风成砂。砂岛内侧为泻湖，涨潮汪洋一片，落潮全为泥滩，但在泻湖淤泥之下，仍是砂质沉积，似为席状砂。

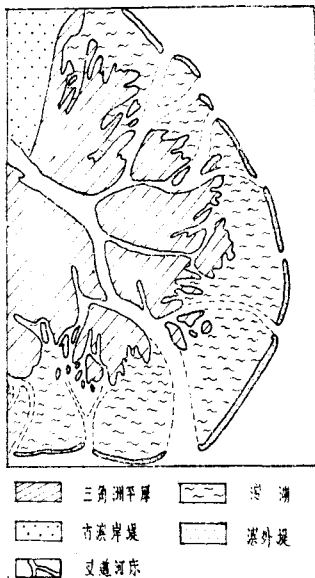


图2 滦河三角洲砂体分布

第五类：由连续分布的席状砂组成。它的特点是波浪作用异常强烈，河流带来的泥沙立

即经波浪改造成为河口两侧的滨岸砂堤，发育方式类似尖头三角洲。滨岸堤砂质纯，成熟度高，分选优良，厚度稳定。这种分布模式的代表性河流为巴西的圣·弗兰斯科河。

第六类：分布模式由多列平行海岸的滨岸砂堤构成，砂堤偏向河口的一侧。这类砂体分布格局形成的条件与前类一样，滨外坡度陡，波浪作用强，但存在定向的沿岸泥砂运动。西非的塞内加尔河是典型的实例。塞内加尔河自东向西流入大西洋，到达海岸时，沿岸运动的泥砂所形成的砂嘴迫使它向南流动，而后入海。随着砂嘴增长，河流延伸，河底比降逐渐减小，排水不畅，洪水季节，河流冲决滨岸堤直接入海。河流又在其外侧新形成砂嘴的逼迫下，向南延伸，老的砂嘴转化为三角洲平原上的长形砂体。这一过程反复出现，致使河流的南侧形成平行排列的滨岸砂体。山东日照县傅疃河三角洲具有类似的砂体分布格局，但形成方式略有差异。傅疃河入海的海岸地段，泥砂沿岸向南运移，在河口以北，形成砂嘴，迫使河口南移，而河流挟带的泥砂受波浪的改造，在南侧出现一系列滨岸砂堤，砂堤间发育泻湖，沿岸堤多达4列，向南逐渐并为一体，其间的泻湖消失*。

二、长江三角洲砂体的分布

（一）砂体形成的条件

长江是我国第一大河，年径流量为9450亿公方，年平均输砂量为4.86亿吨，大量的泥砂是形成三角洲的物质基础。长江口平均潮差为2.25米，属中等强度的潮汐河口，潮流较强，涨潮流速可达1.3米/秒，落潮流速达到1.5米/秒。波浪作用较弱。据计算，单位岸线长度内波能为 0.127×10^7 尔格/秒，相当于尼日尔河的十六分之一。长江口外海底坡度比较平缓，约为0.3—0.7‰，相当于尼日尔河的二十分之一。

* 傅疃河三角洲资料由山东海洋学院庄振业同志提供。

(二) 砂体的成因类型

同其他河流一样,长江口形成三角洲砂体的主要因素是河口水流。潮流和波浪,分别形成河口砂坝、辐射砂洲和滨海砂堤。随着三角洲前展,长江向前延伸,形成河床砂体。各类砂体的主要特征示于表1。由表可以看出,河口砂坝在长江三角洲居特别重要的地位,面积占三角洲总面积的39%。单个河口砂坝长达60—70公里,面积约千余平方公里,这在世界其他三角洲是罕见的。同世界其他潮汐河口比较,长江河口砂坝向海一侧缺失潮成砂体,然而河口砂坝的长度异乎寻常,可能是河口砂坝

与潮成砂体互相连接,构成统一砂体的缘故。可见长江河口砂坝形体庞大,不仅是河流输沙量大的直接结果,也是潮流作用强的直接反映。

长江三角洲地区潮流作用强烈还表现在形成大型辐射砂洲,它们的面积和体积都仅次于河口砂坝,单个砂体可达100亿立方米,如此巨大的潮成砂体,在世界其他三角洲也是少见的。

长江口地区波浪能量低,因此滨海砂堤的面积皆较小,与河口砂坝相差2—5个数量级。

(三) 砂体的平面分布和组合

长江三角洲砂体不仅面积大,分布广,类型众多,配套成龙,而且在平面分布上也独具

表1 长江三角洲各类砂体特征对比表

	河口砂坝	辐射砂洲	滨海砂堤	河床砂体
形体	长度(公里)	60—70	10—100	2—30
	宽度(公里)	10—15	5—10	0.2—2
	厚度(米)	15—30	5—10	<1—10
	面积(公里 ²)	800—1000	50—500	—
	体积(亿米 ³)	150—350	25—100	0.001—5
主导水动力因素	河口水流与潮流叠加,并有波浪作用	潮流	波浪	河床水流
平面分布	与海岸直交或斜交,呈雁行状排列	与海岸直交或斜交,呈辐射状	平行海岸,呈线状分布	垂直海岸线,呈带状分布
沉积物	细砂,质较纯,分选好,偶见粘土透镜体	细砂或含贝壳细砂	细砂,含贝壳细砂完整或破碎贝壳	细砂和含砾细砂
沉积层序	沉积物下细上粗	沉积物下细上粗	沉积物下细上粗或变化不明	沉积物下粗上细
沉积构造	自下而上水平层理—波状层理—交错层理	主要是水平层理,中、上部为小型—中型交错层理	低角度交错层理	自下而上槽状交错层理—斜层理—水平层理
接触关系	底部:渐变关系,下伏前三角洲浅海相沉积 顶部:渐变关系,或突变,上覆潮间浅滩和河漫滩沉积	底部:渐变关系,下伏浅海相沉积 顶部:渐变关系,上覆潮间浅滩沉积	底部:渐变关系,下伏浅海相沉积 顶部:渐变关系,上覆潮间浅滩沉积	底部:突变关系有冲刷面 顶部:上覆河漫滩沉积
生物	有孔虫个体偏小,为毕克卷转虫-奈良小上口虫组合,介形虫以新单角介和中华丽花介为主,夹陆相介形虫,植物碎屑丰富,见棘皮动物碎片。	有孔虫个体正常,为毕克卷转虫-希望虫组合,介形虫为洁面介,豆艳花介,植物碎屑罕见,见棘皮动物碎片。		有孔虫属种和个体数量稀少,为奈良小上口虫-凸背卷转虫组合,介形虫海陆混杂,含植物碎屑,见海胆刺。
电测曲线(视电阻率)	自下而上由低阻变高阻	自下而上由低阻变为高阻	—	自下而上由高阻变为低阻

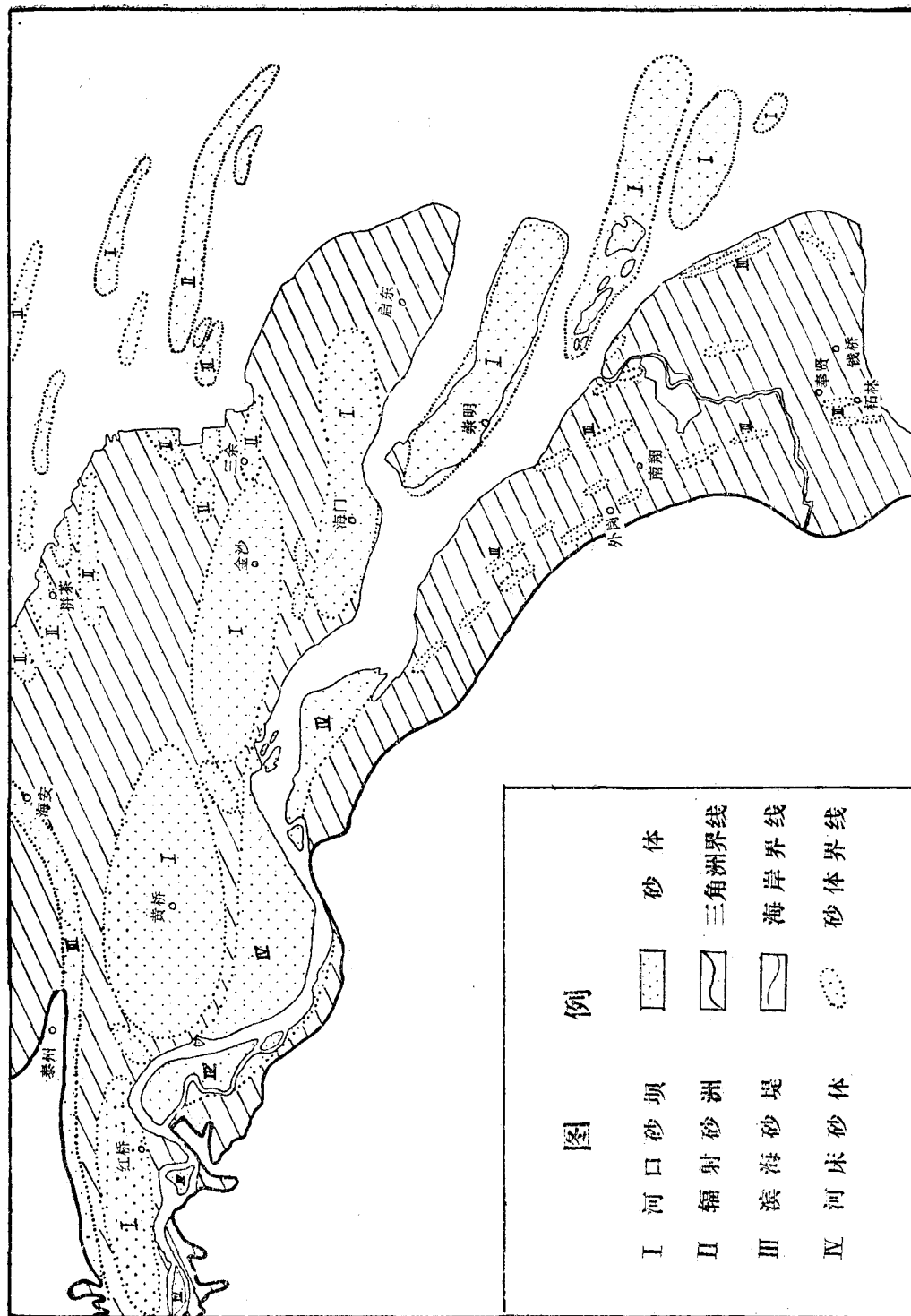


图 8 长江三角洲砂体分布图

一格,构成复杂的组合:在河口地区为雁行状排列的河口砂坝;江北地区发育潮成辐射砂洲;江南则为平行海岸、断续分布的滨海砂堤;长江流经之狭长地带彼此隔开的河床砂体(图3)。虽然它们的形态、成因、分布地区互不相同,然而,由于处在同一河口动力体系之中,它们又互相关联,互相制约,在形成时间上互可对比。

1. 河口沙坝 河口砂坝在长江三角洲占有特别重要的地位,它构成每个亚三角洲的核心和主体。根据500多个钻孔的分析对比和粒度、微古、孢粉、电测曲线、 C^{14} 放射性年龄测定、考古及历史地理等诸方面资料的综合分析,全新世最大海进(7500年)以来,长江三角洲经历了六个主要的发育阶段,形成了六期亚三角洲,自老至新分别命名为红桥期,黄桥期,金沙期,海门期,崇明期,卡兴期。

如图所示,长江三角洲的河口砂坝呈雁行状排列,这既是强潮作用的反映,也是历史发展的必然结果。水流进入长江口地区,发生比降减小,水体混合,水流展宽,流速降低,泥砂沉积产生河口砂坝。河口砂坝的出现迫使水流歧分,产生南北两个叉道。长江为潮汐河口,涨落潮流在叉道内往复流动,每天四次改变流向,因此叉道河床平直而开阔。由于科氏力的影响,使涨落潮流不一致,涨潮主流偏北,落潮主流偏南。北叉道内涨潮流与逕流相互消能,泥沙落淤,叉道逐渐淤塞废弃,使河口砂坝并于北岸;南叉道内逕流与落潮流互相叠加,使南叉道逐渐成为主要的泄水输砂河道,其河口砂坝发育成长,成为亚期亚三角洲的核心和主体。这一过程不断重演,长江口逐步南移,河口砂坝在平面上呈雁行状排列。由于南北叉道的成长和消亡都是逐渐进行的,故三角洲的发育没有明显的侵蚀破坏阶段,河口砂坝通常保留完好。长江河口砂坝的分布不同于前述任何一种分布模式,就我们所知,在世界其他潮汐和潮汐三角洲中,也未发现类似的砂体分布格局。

2. 辐射砂洲 在苏北弶港地区的浅海

水域,存在以海湾为顶点的辐射砂洲体系。1958年的浅海调查中,有关部门首次发现这一辐射砂洲体系,以后海道测量进一步证实它的存在,最近的卫星照片上也将它清楚地显示出来。辐射砂洲的单个砂体长10—100公里,宽5—10公里,顶部水深3—5米,向海逐渐加深。砂洲间的凹槽最深在15米以上。砂洲的形成与长江泥砂密切相关。长江水流入海,一方面向前流动,另一方面沿岸向两侧扩散,这一现象已为水文观测和沿岸孢粉组合的变化所证实。沿岸北上的水流与苏北北部南下的近岸流在弶港地区相遇,致使这里潮差增大,水位抬高,水体向海扩散,所含泥砂形成大型辐射砂洲。砂洲一旦出现,涨落潮流沿砂洲间凹槽辐聚辐散,加之南北近岸流源源供应泥砂,使砂洲得以发育成长。

类似的辐射砂洲体系在苏北排茶和三余地区各发现一组。这里曾经是黄桥期和金沙期亚三角洲废弃叉道口所形成的古海湾,而这些浅海湾正是接受长江北上泥砂和形成辐射砂洲的良好场所。可见,在长江三角洲地区,辐射砂洲不是偶然现象,而是三角洲发育的必然产物。

3. 滨海沙堤 长江以南的滨海平原地区,波浪作用形成一系列滨海砂堤,它们从福山呈弧形向东南撒开,呈断续状分布,最远者离现代海岸线约100公里。滨海砂堤主要有六列,其形成时代可分别与河口砂坝相对比,每列滨海堤代表一期古海岸线。江北滨海砂堤主要在泰州、海安一带,呈弧形展布,类似古河口砂嘴。虽然崇明岛上滨海砂堤亦有发现,但滨海砂堤主要位于两侧的滨海平原。

4. 河床 长江三角洲前展,主河床随之延伸,在河床演变的过程中,三角形层序被改造为河床层序。目前河床砂体作为边滩,心滩分布于河床的两侧凸岸和江心。研究区内河床砂体主要分布在靖江县、沙洲县、扬中等地区,它们互不相连,彼此孤立。

三、认识和体会

密西西比河是研究最早、研究程度最高的

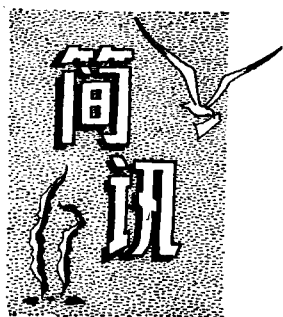
三角洲,其研究成果用于油气勘探取得了良好的效果。以后在油气勘探中,大多以密西西比河三角洲作为对比模式,目前所发现的古三角洲绝大部分是密西西比河型。潮汐型三角洲在世界各地,尤其在东南亚地区分布异常广泛,然而至今没有找到一个潮汐型古三角洲。这种矛盾产生的原因,主要在于对潮汐型三角洲研究不够所致。通过现代三角洲的对比,说明三角洲类型和砂体分布模式的多样性,使人们的认识不仅仅局限于密西西比一种类型,逐步改变“言必称密西西比”的状况,这是近年来三角洲研究中的新动向,无疑将有助于三角洲的油气勘探工作。

然而目前所提出的三角洲砂体的分布模式

还是不够全面的,象长江这种潮汐型三角洲就没有包括在内。根据我们的初步研究,长江三角洲砂体的组合与世界其他河流三角洲显著不同,有自己独具的特点。所以开展我国现代河流三角洲研究,总结三角洲类型和砂体组合关系,为油气勘探提供对比模式,应当是今后三角洲研究的重要任务。

参 考 文 献

- [1] Coleman, J. M. and Wright L. D., 1975. Modern River Deltas; Variability of Processes and Sand Bodies in "Deltas; Models for Exploration".
- [2] Зенкобиг, В. П., 1962. Основы изучения о развигий Морских берегов изд. АН. СССР.



我国第一个海水加速腐蚀试验站运转良好

根据1969年冶金部等中央各部在广州联合召开的“海水用钢”会议和1970年上海钢铁研究所和中国科学院海洋研究所,在上海召开的“海水用钢试验方法”会议的精神,为加速我国海水用钢研究,决定在青岛组建海水加速腐蚀试验站。经上海钢铁所和海洋研究所共同努力,在有关单位的大力协助下,该站于1971年9月基本建成,为我国海水加速腐蚀试验,开辟了第一个基地。

该站离海岸最近距离50米,分三个流动水池,共可容纳10吨海水。用水泵从近海将海水打入水塔,通过管道从水池底部流入水池。每个水池都有一定的容量,多余的海水由水池上部逆出孔排出。借以保持水池内海水不断更新。三个流动水池分别装有一个间浸腐蚀轮,正常情况下它们同步由东向西自转,大约55分钟自转一周(设计转速为一小时),自转时轮子的四分之一部分在海水中,四分之三在大气中。轮子自转一周,每个试片在海水中的时间约为12分钟(设计数),暴露在大气中的时间为48分钟。这样就使试片表面保持一表水膜,以加速氧去极化的电化学腐蚀过程。当水膜凉干时,试片又进入海水中进行第二次循环,这样周而复始的进行,根据需要决定试验周期。

1971年12月有关单位在青岛召开了“加速试验座谈会”,参加会议的有14个单位30名代表,一致认为该站基本达到了“广州会议”和“上海专业会议”的要求。该站从1972年全面开展工作以来,运转良好,设备正常,全国已有二十多个单位在此进行了试验和研究,积累了一定资料。

(中国科学院海洋研究所腐蚀组)

