

## 潮汐作用为主的河口三角洲特征

李春初

(中山大学地理系)

近年来,国外发表的有关现代三角洲类型及其砂体特征的研究成果〔4,6,7〕都以河流、波浪和潮汐等三大河口动力的强弱及其相互关系为依据来划分三角洲类型。这比单纯用形态特征划分三角洲类型是一个明显的进步。但三角洲类型划分的不少细节和特征指标尚有待进一步完善和明确。典型的三大三角洲类型及其特征指标的研究是有意义的,在这方面,河流作用为主的三角洲研究较多,波浪作用为主的三角洲次之,潮汐作用为主的三角洲研究最少。然而潮汐作用为主河口的淤积作用是大量存在和很有特色的。本文即对潮汐作用为主河口三角洲的形成条件、动力特性、地貌及沉积特征做一些综合分析,以期提供更多一些指标来研究判别这类三角洲参考。

### 一、潮汐作用为主河口形成与保持的条件

潮汐作用为主的河口一般表现为河口湾的特点。大多数典型的河口湾都是沉溺的河谷。如美国东部的切萨皮克湾、德拉华湾,西班牙西北部、英国南部和法国西部的河口以及我国浙、闽、粤的部分河口等。世界上许多河口湾的形成与冰后期全球性的大规模海侵有关。但不少海侵形成的河口湾由于河流动力较强(水量大、泥沙多),在长期演变中已逐渐被泥沙淤积消失(如长江口)。今日所见的河口湾,大多是冰后期海侵溺谷的继续和发展,它们之所以仍保持喇叭状外形和潮汐作用为主的特点,主要与河流径流较小、输沙少和潮流强、进潮量大有关。

因此这种河口的动力总的表现为径流量与进潮量的比率较小。许多潮汐作用为主河口的

径流量对进潮量的比率小于0.1,即H.B.西蒙斯(Simmons)所称的“充分混合”的河口。在此,潮汐强弱以进潮量大小做指标而不以潮差大小做指标是因为潮差只能部分反映潮汐的强弱,而不少潮差较小的海岸带也有潮汐作用较强的河口存在;但进潮量或径流量对进潮量的比率则更能反映整个潮汐动力的大小状况。

进潮量大小与河流径流量、河槽容积及潮差等三大因素有关;径流小,河槽容积大;潮差大,则进潮量大。但在沿岸潮差不大的情况下,如果径流小、河槽容积大,也可造成进潮量大的事实并发育成潮汐作用为主的河口,如广东的榕江河口(牛田洋)、珠江的崖门(黄茅海及银洲湖)和虎门(伶仃洋及狮子洋)河口等。作者认为,后者是一种较为特殊的潮汐作用为主的河口类型。这类河口河槽容积较大的特点主要是通过下述条件和演变取得的。

(一)径流变率大的条件 汛期由径流占据的河槽在枯水期因径流量的锐减而空出并由潮水倒灌充填,这样就加大了进潮量。径流变率愈大,愈有利于使枯季进潮量增加。

(二)河口的不断延伸演变 这类河口口外常有较大量的细颗粒泥沙带入,它们不断在口外水下河槽两侧堆积发育淤泥浅滩,浅滩淤高形成潮成平原,河口则延伸拉长,河槽延伸的结果是增加了河槽容积并主要由潮水进入充填,从而使河口有效进潮量增加。

广东榕江河口及珠江虎门、崖门等河口的形成即较好地反映了这些特性。浙江南部的甌江、飞云江和敖江等强潮河口的形成,除了与径流小和沿岸潮差较大有关外,也与径流变率大的条件和河口淤积延伸使河槽容积加大的演变特点有密切关系。

恒河-布拉马普得拉河三角洲的西南部分

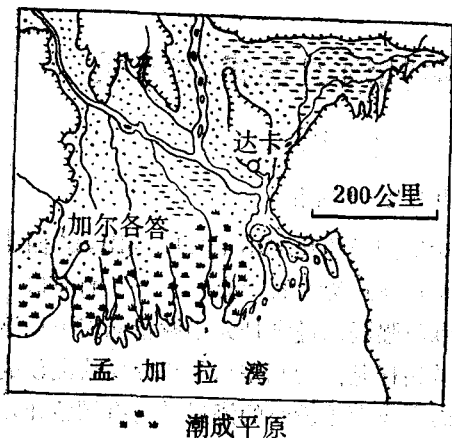


图1 现代恒河-布拉马普得拉河三角洲(潮汐作用为主的三角洲)的分布

是一个著名的潮汐作用为主的三角洲(图1)。恒河-布拉马普得拉河水系的年逕流量7750亿立方米,年输沙量21.8亿吨。水量如此之大、沙量如此之巨的河口竟也形成面积广大的潮汐作用为主的三角洲平原,这主要是恒河干流的不断东迁造成的。因恒河干流东迁后,西南三角洲平原上的许多汉道(如呼格利河、马特拉河等)下泄逕流减少,枯季尤感水量不足,因而咸水不断沿汉道内侵,进潮量亦随之加大;东部干流河口输出的大量泥沙在西南三角洲各汉道河口湾的前缘淤积,致使这些河口向海延伸和有效进潮量增加。

由此看来,现代潮汐作用为主河口有两个基本类型:一是潮差大的溺谷湾和河口湾;二是主要由于口外有大量细颗粒泥沙堆积使河口不断延伸和有效进潮量加大形成的“淤进型”河口湾,这种类型可在潮差小的地区出现。

## 二、潮汐作用为主河口的动力特性

根据钱塘江河口<sup>[1,2]</sup>、西澳大利亚的奥得河河口(坎布里奇湾)<sup>[5,8]</sup>和近年来我国甌江口、飞云江口、敖江口、榕江口与珠江口伶仃洋所做的研究,潮汐作用为主河口的主要动力特性可概括为:

### (一) 潮波变形强烈

受喇叭状海湾地形、浅海效应和潮波反射的影响,河口潮波自湾口向里变形较强:1. 潮波性质由湾口的前进波向里渐变为以驻波为主;2. 潮波振幅(潮差)由湾口向里逐渐加大;3. 潮波在湾口较对称,涨、落潮历时及涨、落潮流速都比较一致,但向湾顶潮波愈益不对称,即前坡变陡,后坡变缓,涨潮历时较落潮历时短,涨潮流速较落潮流速大(图2)。

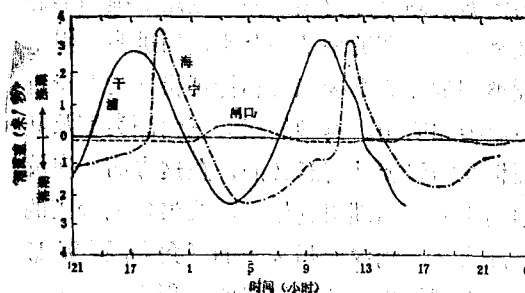


图2 钱塘江河口涨潮落潮流速的沿程变化\*

应该指出,受潮汐影响较大但河流作用较强的河口(如长江口的北港、北槽和南槽),潮波虽也发生变形,但这种变形主要是逕流下压影响所致,它与潮汐作用为主河口的差别是潮波性质主要是前进波,潮差表现为向里逐渐减少,涨潮历时虽也较落潮历时短,但涨潮流速却较落潮流速小。

### (二) 涨潮输沙大于落潮输沙,以海域来沙为主

潮汐作用为主河口湾的入海逕流表现为漂浮扩散的形式,中、底层水流一般以上溯流为主,加之涨潮流速一般大于落潮流速,故涨潮输沙大于落潮输沙,最终表现为以海域来沙为主。如钱塘江河口段某测站涨潮平均含沙量为8.8公斤/米<sup>3</sup>,落潮含沙量仅2.34公斤/米<sup>3</sup>,多年平衡结果泥沙为净进。

### (三) 水体垂直混合强烈,咸水向里深入远

河口的潮流流速大,一般1米/秒以上,钱

\* 据钱宁等,1964.地理学报。

塘江和奥得河河口更超过3米/秒，这有利于海水混合作用的进行，加之河口迳流小，由咸、淡水差异引起的密度流也小，因而总的来看海水垂直密度梯度小(图3)，咸、淡水混合表现为强混合。其水体的盐度较大，一般5—25‰，枯季迳流锐减时咸水上溯很远。如飞云江上溯60公里至滩脚，榕江上溯40公里至揭阳，珠江口虎门上溯76公里至新造。如果考虑到汛期咸水界被推出口外的情况，则咸水界移动范围大，也是这类河口动力的一个明显特点。

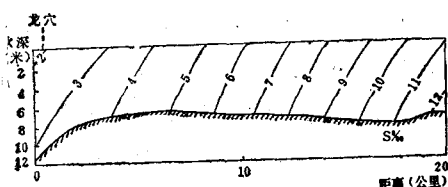


图3 珠江口伶仃洋(西江)枯季低潮纵向盐度变化

#### (四) 汛期大量迳流下泻时，河口段的河口过程暂由河流动力控制

这种河口的迳流变率可达数百倍或几千倍。汛期洪峰流量突增时大量迳流下泻，河口动力带大幅度外移，河口湾上段(河口段)水体淡化(盐度下降至1—5‰)，咸、淡水混合呈弱混合，落潮流速大于涨潮流速，泥沙以净出为主，即整个河口过程以河流作用占优势。这种情况从全年来看虽不是主要的，但洪水来势甚猛，它对海洋潮汐动力的抑制作用和对河口河床过程的影响仍不可忽视。

以上潮汐作用为主河口动力的四个特性既体现了以海洋动力(潮汐作用)为主的特点，又反映了其受河流动力(输水输沙)影响的一面。

### 三、潮汐作用为主河口的地貌与沉积特征

潮汐作用为主河口的地貌、沉积特点可从河口几何特征、拦门沙与河口砂体分布、潮间

浅滩与潮成平原、沉积特性与沉积序列等方面来讨论。

#### (一) 几何特征

河口形态特征是：海湾呈喇叭状，外形自湾口向里的辐合收缩呈指数关系变化，水深自外向里变小；湾顶以上一段河段发育河曲，且弯曲程度向上游逐渐减小。L. D. 赖特(Wright)等曾对若干潮差较大的这种河口的几何外形进行了比较，认为上述外形特征是潮波变形与河床沉积作用为保持某种平衡(使水流程所做的功呈等量分布和驻波沿程保持1/4的周期)相互调整的结果<sup>[8]</sup>。其实潮差小的潮汐作用为主河口的外形也如此(图4)。就喇叭湾湾顶以上弯曲型河段的出现而言，作者认为，这可能与涨潮及风暴潮增水时使湾顶潮差增大和水位壅高所引起的自湾顶向上游水面纵比降的陡然加大和海湾湾顶河床阻力的增大等特殊条件有关。因为在此条件下，河床只有通过自身比降的调整(以河形弯曲即延长流路来减缓比降)和断面形态的调整(使断面趋于窄深以减少阻力)来与之相适应，目的是为了涨潮进入的潮水及其挟带的泥沙能顺利地通过该段上溯。但河曲凹岸的深槽存在着两个“顶冲点”<sup>[1]</sup>，表明除涨潮流外，落潮流对河曲的形成也有一定的影响。

应予指出，潮汐作用为主河口的喇叭状外形，与河流作用为主河口逐渐向海展宽的外

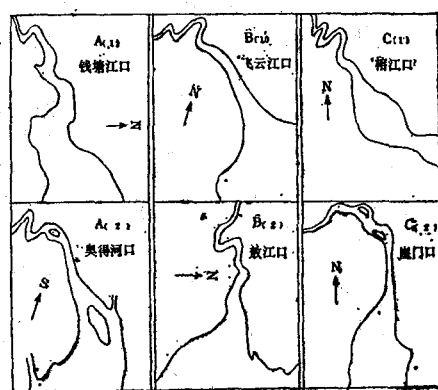


图4 潮汐作用为主河口的几何形态

1) 杭州大学地理系，1974。敖江河口调查报告。

形, 不论在成因上或形态上都有着本质的差别。后者河形的展宽呈线性关系变化, 水深则自里向外减小, 即宽深比向外逐渐加大(如越南湄公河河口, 我国西江的磨刀门), 这是河床为了适应河流动力逐渐减弱和其携带的泥沙不断在河口沉积而作出的一种反应。

### (二) 拦门沙与湾口内外的潮成砂脊

拦门沙是河口普遍出现的淤积现象。但各河口动力不同, 拦门沙的特征亦异。钱宁等(1964)曾据山水(造床流量)、潮水(平均涨潮流量)比值得出结论: 凡比值大于0.10的, 都在口门外或口门附近形成拦门坎, 比值小于0.02的在口门内形成沙坎<sup>[1]</sup>。后者大约相当于还流量与进潮量比率小于0.1的潮汐作用为主的河口。因此潮汐作用为主河口拦门沙的第一个显著特点是发育部位偏上, 即在河口湾的上段或中段形成内坎。

潮汐作用为主河口的拦门沙还有形体庞大、砂体巨厚、内坡常较外坡陡等特点。如著名的钱塘江沙坎长130公里、宽27公里、厚约20米, 体积425亿立方米。在冲、淤演变特性方面, 一般而言潮汐作用为主河口的拦门沙具有洪冲枯淤的性质(河流作用为主河口的拦门沙为洪淤枯冲)。但拦门沙各地段的冲淤状况并不尽同, 如较大洪水时, 拦门沙内坡及顶部冲刷, 前坡淤积; 枯季前坡冲刷, 顶部及内坡淤积。

此外, 不少潮汐作用为主的河口, 湾口内外还有大规模的、与涨落潮流方向平行的放射

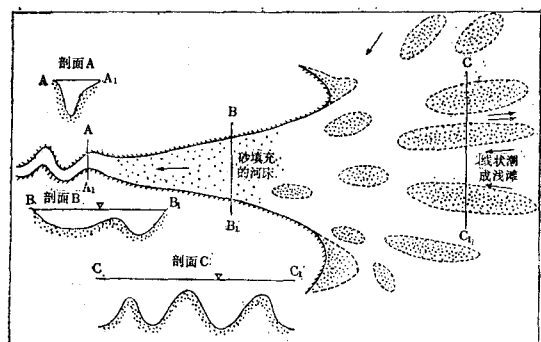


图5 强潮河口湾内外砂充填河床和线状潮成砂脊\*

状潮成砂脊分布(图5)。如奥得河口的坎布里奇湾、克兰河口(马来西亚)、科罗拉多河口、布里斯拉尔湾(阿拉斯加)和泰河口(苏格兰)等。这种潮成砂脊是在涨、落潮流作用下河床底部泥沙横向集中造成的<sup>[9]</sup>。但这种潮成砂脊显然只在底沙运动以细砂为主的河口湾才有, 而底沙运动以淤泥为主的河口湾内外, 很少或没有这种地貌现象出现, 其所以如此, 可能与河底的淤泥那样的细颗粒泥沙在水流作用下被起动后容易变成悬沙为水流带走有关。

### (三) 潮间浅滩与潮成平原

潮间带发育宽阔平坦的淤泥浅滩(亦称“海滩”或“潮坪”)是潮汐作用为主河口的一大特色。海滩自湾头向外沿岸展布, 少则数百米至几公里, 宽者一、二十公里, 坡度十分平缓。如在潮差较大的地区(广东)仅万分之几。虽然如此, 海滩分带性仍很明显。如奥得河口的低、中、高潮坪的地貌及沉积各有差异<sup>[5]</sup>; 珠江口崖门喇叭湾东侧的潮间浅滩(不长植被的白滩)可分为下部淤积带、中部冲刷带和上部淤积带, 中部冲刷带约居中潮位附近, 这主要是涨潮时潮流和波浪侵蚀所致<sup>[1]</sup>; 浙江河口湾的淤泥海滩也有类似现象, 海滩剖面呈现为上凹形的特点<sup>[3]</sup>。

潮汐作用为主河口的海滩发育和剖面塑造是与这种河口的动力特性密切相关的。如海域丰富的细颗粒泥沙来源提供了海滩发育的物质基础; 近岸潮波的变形作用使浅滩涨潮流速大于落潮流速和涨潮输沙大于落潮输沙, 是海滩淤积和物质不断从海滩下部向上部搬运沉积的主要原因; 中潮位附近冲刷带的出现则与驻波的潮流特性(最大流速出现在中潮位前后)和“潮涨浪随”的海况特点有关。但冲刷带宽度和冲淤性质每随波况、洪枯季和大小潮汐的不同而变化, 一般是洪冲枯淤, 大潮汛冲刷, 小潮汛淤积。

\* 据L. D. 赖特, 1977(略加修改)。

1) 李春初等, 1964。西江三角洲的红树林海岸。

海滩进一步淤高形成“潮成平原”。潮成平原一般只在特殊的增水条件下才淹没。其基本特征是，物质主要由淤泥、粘土构成，平原上湿地、沼泽广布，水网（涌、濠、浦、港）蜿蜒或弯曲（图6）。

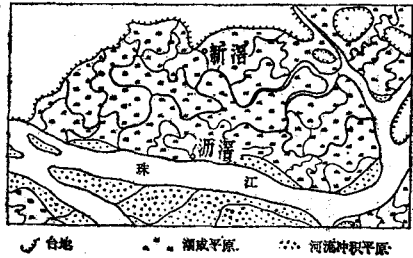


图6 广州南郊的珠江潮成三角洲平原

(四) 沉积特性与沉积序列

潮汐作用为主河口流域来沙少，其对河口的淤积作用也小。其中的推移质泥沙部分（粗、中砂及部分细砂）受逆向水流顶阻，大多在中、枯水潮流界以上的河床聚积，故潮汐作用为主河口的河床，较少或缺失流域粗颗粒泥沙的沉积。但汛期河流携带的悬移质泥沙（如粉砂）可在河口湾上段扩散淤积（图7）。

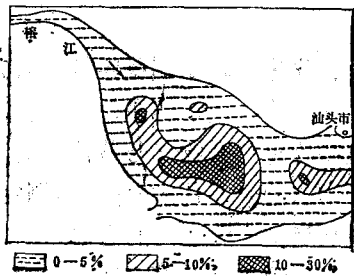


图7 榕江河口（牛田洋）沉积中的粗粉砂百分含量

海域来沙情况较复杂。淤进型河口湾海域来沙主要是淤泥和粘土，这常常是直接或间接与邻近的大河口输出的悬移质泥沙有关，因此这类河口各地段的淤积体（拦门沙、水下及潮间浅滩）均以淤泥粘土物质为主。然而有的潮差大的强潮河口的海域来沙，除了可受附近大河输出泥沙的影响外，还常与附近海岸或海底的冲刷有关，由此产生的泥沙每有大量的粗颗粒泥沙，这样便为这些河口拦门沙和潮成砂

脊的发育提供了物质基础。

因此潮汐作用为主河口三角洲的沉积序列有两种情况：一是具有丰富粗颗粒泥沙来源的沉积类型，其三角洲前缘沉积以砂为主且砂体巨厚，奥得河三角洲的沉积<sup>[5,8]</sup>即属这种情况；另一种是淤进型河口湾的三角洲类型，整个沉积物基本由淤泥、粘土组成，但三角洲前缘沉积夹落层粉砂（为汛期河流来沙在拦门沙上的扩散沉积物），兹据敖江河口、榕江河口和崖门河口资料，对这类河口的沉积序列作综合柱状剖面图（如图8所示）。应该提到，潮汐作用为主三角洲沉积的一个重要特点是三角洲平原沉积的海相动、植物的数量并不一定显著减少，此有别于河流作用为主的三角洲。

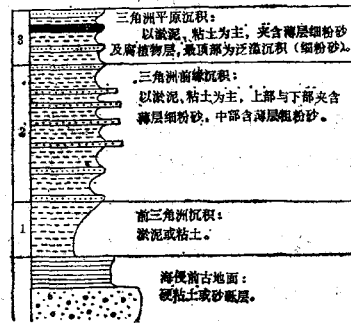


图8 淤进型河口湾的三角洲沉积剖面

参 考 文 献

[1] 钱宁等, 1964. 地理学报, 30(2).  
 [2] 陈吉余等, 1964. 地理学报, 30(2).  
 [3] 逢自安, 1980. 海洋科学, 2.  
 [4] Coleman, J. M. and Wright, L. D., 1975. Deltas; Models for Exploration. 99-149.  
 [5] Coleman, J. M. et al., 1978. J. Geol., 86(5), 621-642.  
 [6] Galloway, W. E., 1975. Deltas; Models for Exploration. 87-98.  
 [7] Wright, L. D. and Coleman, J. M., 1973. A. A. P. G. Bull., 57(2), 370-398.  
 [8] Wright, L. D. et al., 1973. J. Geol., (81): 15-41.  
 [9] Wright, L. D., 1977. Bull. Geol. Soc. Amer., (88): 857-868