

西江河口（磨刀门）沉积环境分析

程 明 豪

（中国科学院南海海洋研究所）

提 要

本文采用粒度概率曲线、频率曲线与粒度基本参数相结合的方法，分析西江河口（磨刀门）沉积环境，重点探讨河口拦门沙及其沉积结构的形成。认为波浪作用是西江河口拦门沙形成的主要动力；对粒度概率曲线的过渡式和双跃式加以区别，并探讨其成因。

拦门沙，或称河口沙坝，是河口普遍出现的沉积地貌现象。拦门沙的发育，往往导致河口分叉或干流改道而影响水利和航运建设。西江（磨刀门）河口拦门沙淤积，不仅使河口主河道失去舟楫之利，也严重影响西江洩洪排涝，成为珠江口门整治规划的重大问题。由于沉积物主要是受搬运介质、搬运方式和沉积环境因素的控制，而粒度概率曲线对泥沙运动方式和动力环境具有较为敏锐的反应，粒度频率图又能提供沉积组合变异的线索，本文采用粒度概率曲线、频率曲线与粒度基本参数结合的方法，探讨西江河口（磨刀门）沉积环境，重点是河口拦门沙的形成和沉积粒度结构的问题。

一、西江河口地貌及动力因素

一、河口地貌

西江主流自磨刀门出海，口外为大、小横琴，横洲、三灶等岩岛所包围的河口湾，面积约170平方公里。目前，河口湾通过宽河口（大横琴—横洲间）、龙屎窟（横洲—三灶间）、上沟、大门诸口与外海沟通，而以前两者为主要通道，其进出潮量约占河口湾的88%¹⁾。

河口湾内水下地形滩槽分异明显。鹤洲—西石—交杯沙浅滩纵贯南北，形成纵向大沙脊，把河口湾分隔为东部磨刀门口河槽和西部龙屎窟内海湾。湾外海滨是河口前缘斜坡带。

东部河槽是西江泄洪主道。挂定角以下，东侧分出上沟支汉向澳门方向逸去。主河槽径直东南流，到石栏洲岛以南的湾外海滨，长约20公里，槽宽1—2公里，河口水深6—7米，过渡段4.5米，口外深槽8.8米，到大横琴岛西侧，东石以南，槽床渐浅，石栏洲岛以南河槽形态基本消失，转化为拦门沙浅滩。拦门沙东西两翼分别与大横琴岛边滩和交杯沙浅滩衔接，呈向湾口外突的弓形沙坝，横锁湾口。拦门沙纵断面（自东石附近起算）长约14公里。坝顶水深只及1米，向前后倾降，坝前坡（斜率约1.3%）既陡于坝后坡（斜率约

本文1981年11月20日收到，1983年6月4日收到修改稿。

1) 据广东省水文总站河口实验站1964、1965年资料。

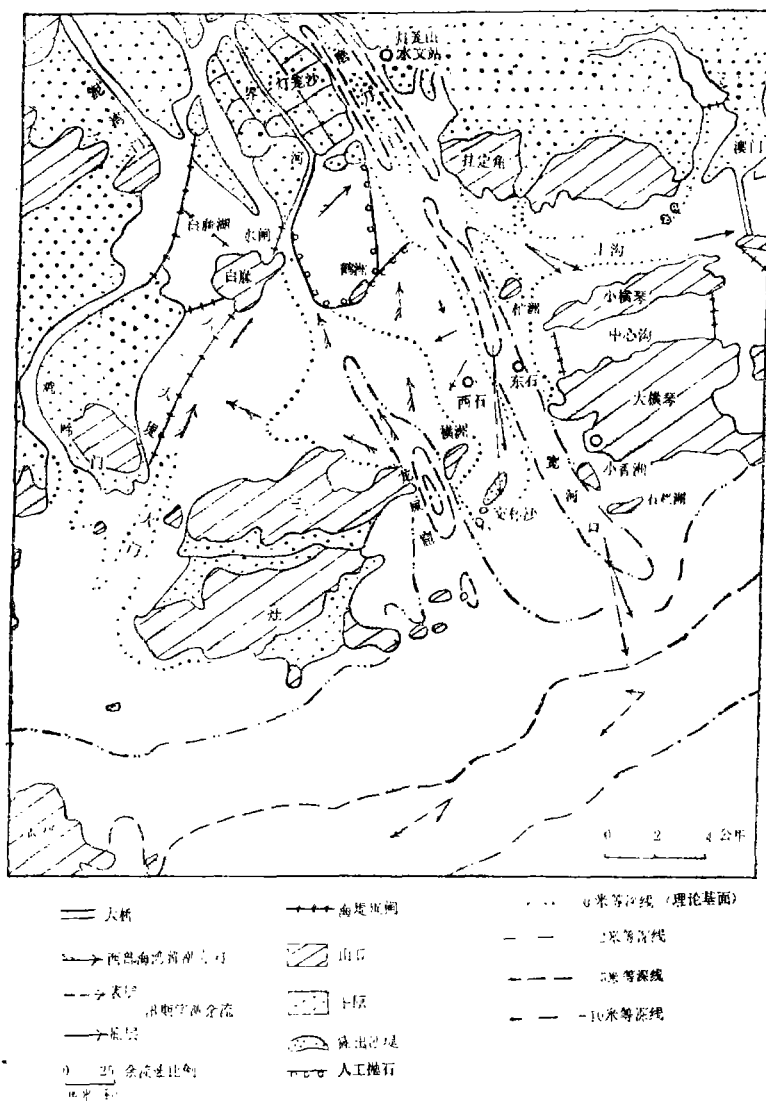


图 1 西江磨刀门河口地形图

Fig. 1 Topographic map of Estuary of Modaomen, Xijiang

0.3‰)，也陡于坝翼前坡（斜率约0.9—1‰）。

纵向沙脊承接灯笼沙沙洲下延，指向东南，滩面宽约4公里，向西向南微倾，具水下天然堤和河口间沙嘴性质。鹤洲以北已人工抛石促淤，南段交杯沙浅滩上发育一条长2.5公里的东北—西南向的细沙沙堤（旧称草鞋洲），已植树成林。

西部海湾，原为西江支汊泥湾门口外水下河槽，经龙屎窟出口，1959年白藤堵海后，水流经鸡啼门入海，泥湾门来水断绝，现仅有灯笼沙界河及白藤水闸小量河水泄出，淤积较快，成为宽浅内海湾，大部为低潮可露的潮泥滩，下段因龙屎窟潮流作用强，仍具10多米水

深的潮汐通道，对河口湾涨潮流具深刻影响。

（二）动力因素

磨刀门是强径流河口，排洪量约占西江泄洪量的 $1/3$ ，为珠江八大口门之冠。西江梧州站多年（1915—1972年）平均径流量2,197.3亿立米，仅次于长江，多年（1954—1972年）平均输沙量6,570万吨¹⁾，但集中于汛期，如西江马口站汛期输沙量约占全年的94.6%。河口悬移质级配，细砂3.6%，粉砂55.2%，淤泥39.4%²⁾。磨刀门又是弱潮河口，河口灯笼山站多年平均潮差0.86米，最大落潮差2.29米，均低于珠江其余七个口门。由于磨刀门具强流弱潮属性，洪水期平均径流量与平均进潮量比值为14:1³⁾，因而河口拦门沙位置远达口外20公里的湾口水域。实测下泄流为优势流，咸淡水混合呈层型或似层型。底流滞流点和汛期盐水楔均在拦门沙河段范围内移动，为拦门沙的发育提供了条件。

河口湾内地貌环境的分异使动力条件也各不同，主要表现在东部、西部径、潮流势的分异上。磨刀门河槽以径流为主导因素，径流主要自宽河口出海，落潮流和落潮历时均大于涨潮。龙屎窟则以潮流为主导因素，其进潮量较宽河口大一倍以上⁴⁾，涨落潮时也较宽河口早1—3小时。因此，涨落潮过程河口湾内形成横比降，东、西部水流相互漫流越滩交汇。东部余流顺河槽方向但稍南偏，流速较大（40—70厘米/秒）；上沟余流向东；西石浅滩余流指向西南，流速较小（10厘米/秒）。西部海湾余流方向不定，受风力影响较大，而龙屎窟涨潮流入湾后，流路分支，迴绕交会，有利于淤积，遂使西部海湾成为强淤积环境。湾外以海洋因素为主导。珠江口近岸，大浪方向主要为东南浪和西南浪⁵⁾，一般波高2米左右，台风浪最大波高可达10米（香港Waglan岛测波站，1975年）。由于波浪作用加强，拦门沙、交杯沙浅滩经常一片浪花带，使湾外横向地形发育（拦门沙及其迭加横谷，交杯沙沙堤）与湾内沿河向发育的地貌形成方向分异。西南近岸流和余流都指向西南。沿岸沉积物主要向西南迁移。

二、河口沉积物区域分布

沉积物中值粒径等值线平面图勾划出沉积物空间分布的总轮廓，反映平均动力变化的趋势。标准离差等值线图则提供了泥沙搬运分选变异的概貌。图2与图3，两者轮廓基本相应。中值较粗的细砂类沉积物大致分选较好，沿河槽边伸出的5 ϕ （粗粉砂级）等值线呈长舌状，直达湾外拦门沙前缘。但长舌线内3 ϕ （细砂）、1 ϕ （极细砂）线在横洲湾口被间断，分成南北两段。北段以细砂为主，顺槽发育，尾间极细砂偏离河槽；南段以极细砂为主，扩及交杯沙、拦门沙浅滩范围，细砂成斑块仍顺槽轴分布。形成这种分布势态的原因

1) 均据广东省水利水电科学研究所，珠江河口区河道特性初步分析，1975年。

2) 据广东省水利水电科学研究所，1976年资料。

3) 据珠江水利委员会江沛霖，1981年资料。

4) 据广东省水文总站河口实验站，1964、1965年资料。

5) 据南海海洋研究所张经汉等，1981年资料。

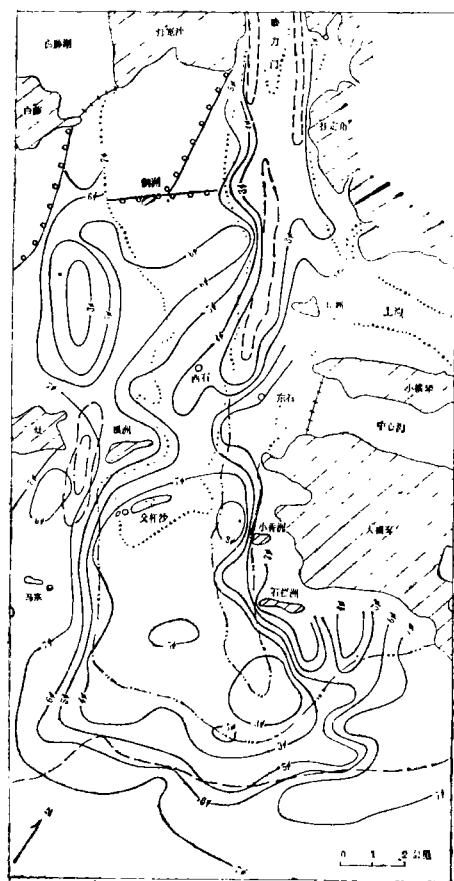


图 2 西江河口沉积物中值 (Md) 粒径等值线图
Fig. 2 Contour line diagram of median value (Md) of sediments in Estuary of Modaomen, Xijiang

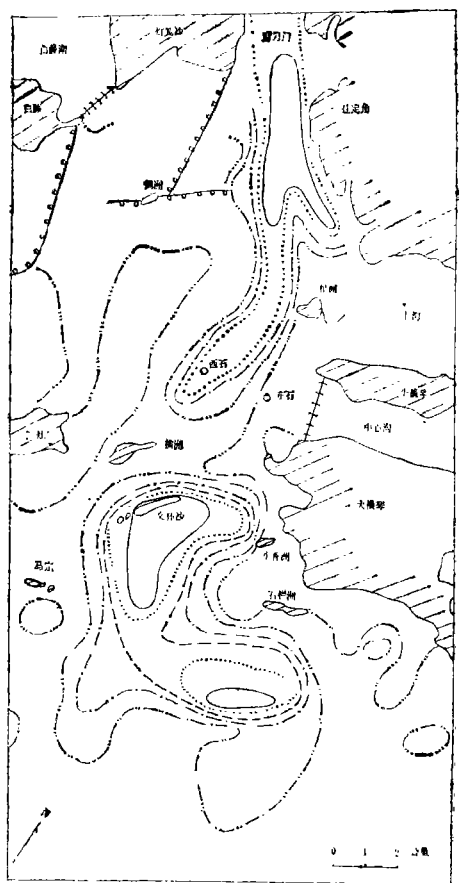


图 3 西江河口沉积物标准离差 (σ_1) 等值线图
Fig. 3 Contour line diagram of standard deviation (σ_1) of sediments in Estuary of Modaomen, Xijiang

是, 西江口河槽为单一顺直的排洪槽, 流势较为集中, 惯性力强, 推移质细砂可一直下达湾外。而东石以下河槽浅化, 水流分散, 加上槽床反比降和盐水楔的存在, 以致流速降低, 底砂迂迴, 遂使下移的粗粒物质相对减少, 细粒物质增多, 造成沿程南北, 沉积物粒度和分选的差异。湾内东西横比降的存在, 又使河槽水流在浅化过渡段发生偏离, 漫越西石浅滩, 方向与该处余流方向一致。下游河槽浅化消失, 漫流随湾外退潮流方向加强, 极细砂得以在交杯沙、拦门沙浅滩大量停积。沿河槽轴向外泄物质, 随西南岸流西移, 在波浪作用下沿拦门沙西翼滩面堆积, 滩浅浪强, 使拦门沙坝突 (指沿河槽轴向突出部份) 和交杯沙浅滩成为分选很好物质区, 从而表明河槽南北细砂类物质分选动能不同, 后者为径流, 前者主要为波

浪。宽河口东侧边滩出现零星斑块状的 4 ϕ 物质，是汛期分洪时潮沟带来粗粒物质的混合产物；西部海湾的 3 ϕ 物质与界河细粒泄出物不相称，显然是原泥湾门水下河槽粗粒残留物质和目前海湾沉积物的混合。因而两者分选都差。据粒度概率图（图 4）所示，西部海湾沉积物普遍具有悬移组分量值很高（达 70—80%），跃移组分量值低（30—16%）而分选尚好，推移组分的 CT（粗截点）细（细于 1 ϕ ）等特征。表明此处为缺乏粗粒物源，存在一定水流作用的细粒物质淤积环境。然而具有粗粒残留河床砂混合的曲线（图 4 ①② 两曲线）却拖着—分选极差的推移质长尾，推移组分的 CT 竟达 - 2 ϕ 。这一粗粒长尾的存在，表明目前缺乏相应强水流搬运的残留物部份的状态，使曲线在海湾中显得异常。对比附近不同地点，不同季节采样的曲线形态很稳定，说明残留砂确实存在。

河口湾细粒沉积物的分选较差，主要沿弱能环境的西部海湾潮坪、鹤洲浅滩和东部边滩、岛影分布。龙屎窟口和湾外前缘斜坡带因水深和远离物源区，物质最细。但是西部海湾与涨潮流路基本一致的 6 ϕ “Y” 状沉积物带，其分选性尚差于湾口外的 7 ϕ 沉积物。分析表明，经龙屎窟涨潮流路入湾的细粒物质，在湾内随着径、潮流相互越滩，粗细物质交混，因而分选变差。同时，也反映湾内径、潮流越滩流势各有所侧偏。前者偏南，后者偏北。因为龙屎窟入潮口涨、落潮时间最早，然后扩及西部湾内，落潮时入潮口与东部河槽间最大横比降偏南，因而径流从西石越滩。从湾内纵向沙脊各测点（图 1）的余流比较，西石余流流速最强。涨潮时，东部河槽尚在退潮，同时，西石—交杯沙间存在北向淡水回流¹⁾，迫使龙屎窟涨潮流北流后才越滩。因而涨、退潮水沙越滩主要流路发生分异。

由于上述越滩水流的分异，南北滩段沉积物分布也不同，鹤洲南侧滩段表现为分选差的典型马鞍状双峰曲线（图 5），表示两个不同物源组合的混合堆积。据越滩物质分析，其中

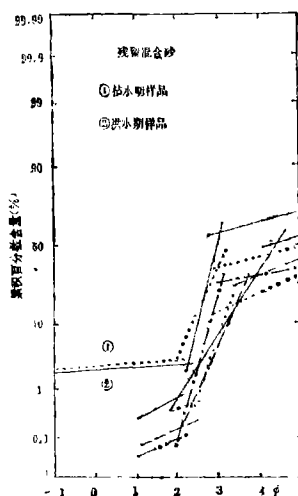


图 4 西江海湾沉积物粒度概率图

Fig. 4 Probability curves of sediment grain-size in the western inter-distributary bay of Modaomen Estuary, Xijiang

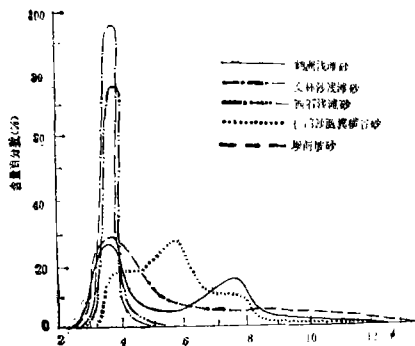


图 5 纵向沙脊沉积物粒度频率图

Fig. 5 Frequency plots of sediment grain-size along the longitudinal great shoal

1) 据中山大学地理系水文专业河口研究组，1973年资料。

第一众值 (3.7ϕ) 的极细砂组合物源来自河槽, 第二众值 (7.7ϕ) 极细粉砂组合为西部海湾物源。西石滩段为分选很好的极细砂窄态单峰曲线 (众值 7.8ϕ), 表示来自河槽的单一物源。概率曲线 (见图11) 包括两组组分, 跃移组分量值高 (77%), 区间很窄 ($3 \sim 3.3\phi$), 分选很好 (86°), 悬移组分量值23%, 反映流势强的特点。

根据不同时期纵向沙脊沉积物分布变化分析, 径流越滩流势有随人工促淤围垦和沙脊伸长而南移的趋势。鹤洲滩段人工促淤前是沙脊沉积物最粗化的滩段¹⁾, 显然为当时径流越滩的主要地段。随着促淤后越滩径流下移西石滩段, 因而前者沉积物转向细化, 后者转向粗化。

三、水下河槽及拦门沙沉积物分布分析

对照图6与图7, 可见西江口河槽沉积物沿程变化具有下列特征: ①河口段细砂富集, 量值极高; 坝段细砂量值则随河床的凸凹而升降; ②河口段粗、中砂和粉砂量值极低 (小于1%), 但随搬运距离的增加, 两者即呈分异。前者沿程减少, 中砂可达坝顶, 粗砂只能终止于口外深槽; 后者则与细砂交错沿程递增, 并在前缘斜坡带锐增; ③坝段淤泥质随粉砂向凹床段积聚, 含量丰富, 但往口外量值反而降低。上述

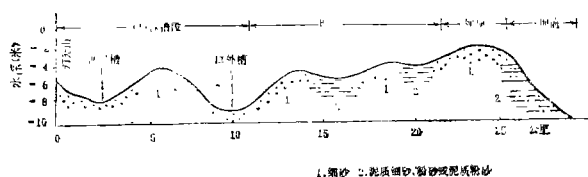


图6 水下河槽地形剖面及沉积物类型图
Fig. 6 Longitudinal profile and sediment types of the bed along subaquatic river channel

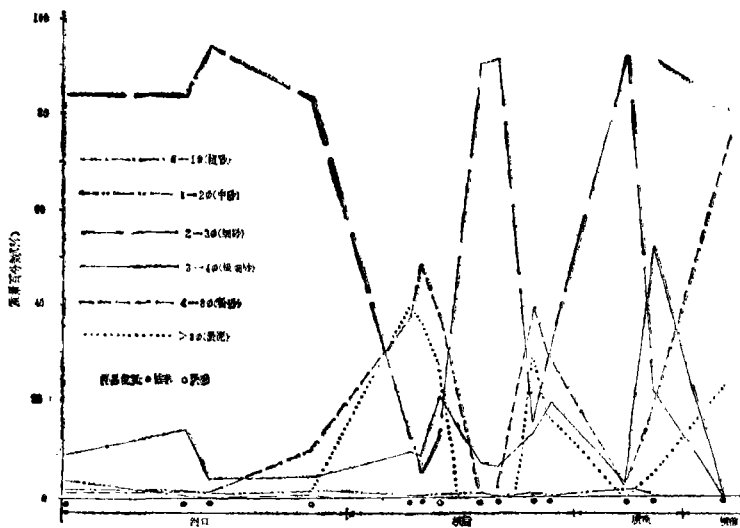


图7 水下河槽沿程沉积物粒度成分级配变化图

Fig. 7 Variation percentage value of sediment grain-size components along the bed of subaqueous river channel

1) 据中山大学地理系水文专业河口研究组, 1973年资料附图。

特征说明，由西江输出的碎屑物源，在径流为主导动力的支配下，沉积物随搬运距离而分异，拦门沙的存在则引起动态环境变化而使沿程分异复杂化。下面分述不同河段沉积物的分布结构：

（一）河口砂

西江河口河床砂细砂富聚，为河口水下河槽的物源区。沉积物粒度相对最粗，中值粒径 0.18 毫米。粒度概率结构具有推移、跃移、悬移三个组分（图 8）。推移、悬移组分量值均低，但口外深槽可能因水流归槽性逊于河口槽，以及随着水深的增加底流流速低于过渡段，因而推移组分量值较低（口外槽量值（1%）低于河口槽值量（4%）），悬移组分稍高（口外槽量值（15%）高于河口槽与口外槽间过渡段（10%））。跃移组分量值高（80%以上），分选很好，CT和FT（细截点）分别在 2Φ 和 3Φ 附近。频率分布呈近对称和中等至窄态的单峰曲线。

（二）河口坝砂

西江河口沙坝的形成不仅受径潮流和盐水楔的影响，波浪的作用尤为重要，因而其动态结构与河口砂有所不同。河口坝处于河口下游、汛期盐水楔活动范围絮凝沉积旺盛，沉积物细化，中值粒径偏小，粉砂淤泥增多，概率曲线一般呈现推移组分缺失，悬移组分增高。但汛期样品稍有不同，一般带有一个物质成份显著不同，区间窄，量值很低的推移组分。主要为云母、生物碎屑、生物骸酪和铁矿物组分，砂粒成份少。显然这主要是岩性差异所成，在分析上可以忽略。频率分布除坝后凹床砂和西坝翼水下横谷以外，均呈单峰曲线（图 9）。 SK_1 值大都为正偏值（图 10），属河流环境特征。Kg 值 0.7—1.45。但 SK_1 —Kg 参数关系，对坝区各细环境的区分，除凹床砂和坝顶砂有一定分布聚限外，大都表现不明显。由于坝

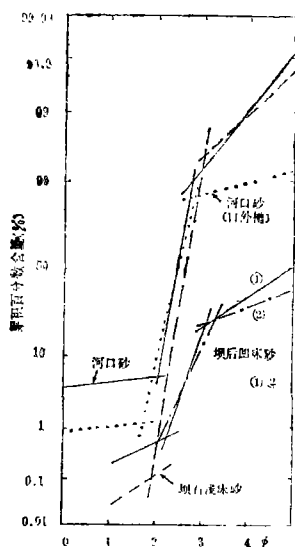


图 8 河口砂、坝后坡砂粒度概率图

Fig. 8 Probability curves of grain-size both sand of the river-mouth and bar-behind of the river-mouth bar

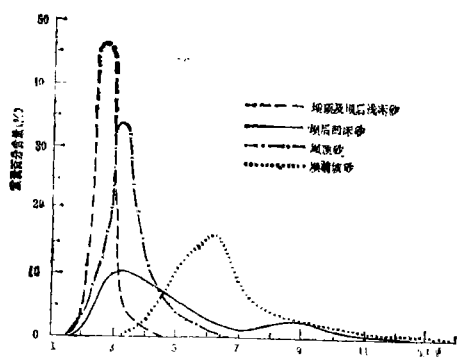


图 9 河口拦门砂沉积物频率曲线图

Fig. 9 Frequency curves of sediment grain-size in the river-mouth bar

顶、坝前后坡地貌动力环境有显著差异，曲线也表现不同：

1. 坝顶砂 坝顶地形高凸，水浅、浪大，悬移质不易落淤。尤其坝突部因坝前坡陡，波浪作用增强。细粒物质在波浪掀搅下，随潮流向前后坡方向流失，坝顶砂粗化、纯

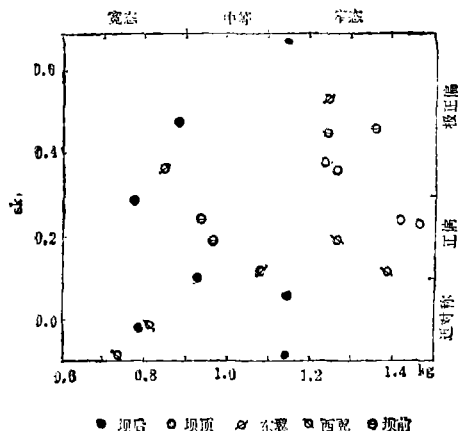


图 10 河口坝砂 SK_1 - KG 参数散点图
Fig. 10 Bivariate scattergram of SK_1 - KG of the river-mouth bar sands.

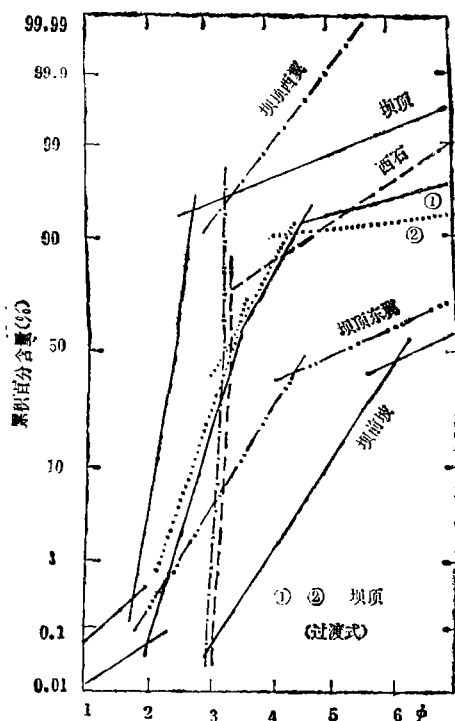


图 11 坝顶砂、坝前坡砂粒度概率图 (附西石浅滩砂)
Fig. 11 Probability plots of sediment grain-size both sand of bar-crest and barfront of the river-mouth bar (including the shoal sand of Xishi)

净，形成一个粒度较粗和分选较好的细砂或极细砂—细砂类型沉积物区。湍流在波浪和內波的扰动下，使沉积界面上悬移质的粗粒部份和跃移质的细粒部份混合，随水流作过渡状态运移沉积，致有些曲线在跃移和悬移两组分间，形成明显混合过渡带。因此坝顶概率曲线（图 11）的中值粒径（0.13毫米），跃移组分量值（90%以上），及其分选度（70°）都最大，悬移组分量值（10%）则最小，且具有某些过渡组分结构式的特点，以区别于坝前、后坡砂曲线。坝顶横向上动力条件也有差异，东翼背靠岛崖，地形梗阻，已处边滩地带，物质偏细，粒度概率图悬移组分增高（可达50%）（图11）。西翼处于开阔的浅滩带，波能较强，但偏离河槽轴线，多为纯净极细砂，概率图（图11）与湾内西石浅滩曲线极为相似。因湾外波能强，跃移组分量值尤高于后者，将达20%。这种曲线形式与粤东海岸风砂极为相似，显然与物源较细和高能条件有关。水下沙堤间的横谷砂，粒度频率图表现为近对称，分选较好至中等， KG 值属宽态的多峰曲线（图 5）。曲线特征说明是波浪把滩面或水下沙堤分选很好的物质迭加到横谷中原属分选差的宽峰区，产生混合砂形态。

上述过渡式坝顶砂在现代长江和一些古代河口坝也有出现^[3、4、5]，可认为具坝顶砂代表性。本境多出现于坝突外缘，显然与该处波浪、水流和物质条件有关。分析表明，过渡式坝

顶砂曲线是波浪运动迭加于水流作用的沉积过程反映。

2. 坝后坡砂 坝后坡河床起伏，凹床隐闭，浅床通畅，对波浪和水流作用的反应不同，因而沉积物曲线有显著差别。浅床砂除了缺推移组分外，基本与河口砂特征相似（图8）。凹床砂中值粒径小（0.03毫米），分选差，Kg值属宽态。曲线在坝砂中以悬移组分量值最高（70—80%），成为优势组分，但跃移组分量值最低（25—30%）而分选好（ $70^{\circ}\pm$ ），FT与浅床砂相近（图8）。曲线体现跃移质属强径流支配，悬移质属强淤积环境支配的两重特征。频率分布出现长细尾的双峰曲线，第一众值为细砂，第二众值为淤泥（图9）。表示具两种不固定的物源供应和沉积介质的速度变化剧烈。两种曲线形式反映的性质一致。反映汛期强径流和盐水楔异重流随涨落潮流的消长中，底沙和絮凝旺盛的高浓度悬移质交互沉积的过程。浅床砂和一些坝顶砂相似，呈现细尾小的窄峰频率形态和跃移组分量值高的概率图；凹床砂则呈两重性曲线形态。这是坝顶和浅床砂的细粒物质在波浪、水流作用下向凹床段迁移积聚过程的反映。从而表明拦门沙不同坝段不同地形对盐水楔絮凝沉积影响极为不同。坝后凹床段是影响最大的河段。

3. 坝前坡砂 坝前坡属河口前缘斜坡部份，因远离物源，物质明显偏细，是以粉砂占优势的细粒物质沉积带。曲线悬移组分增多（达40%），跃移组分分选较差，FT偏细（图11）。频率曲线为具长细尾的单峰曲线（图9），众值 6ϕ （坝坡上部有的可达 4ϕ （图5）），Kg值属窄态。由于海滨开阔，低床坦荡，水流通畅，絮凝物质不易积聚，悬移组分和淤泥含量反而比上游坝后段低。坝腰上部与坝顶过渡沉积带垂直层序，呈现众多淤泥、粉砂和细砂的薄互层和纹层，大多为层理清楚的斜层理（图12），表示明显的季节性沉积和拦门沙仍在扩涨积极向海推进的过程。

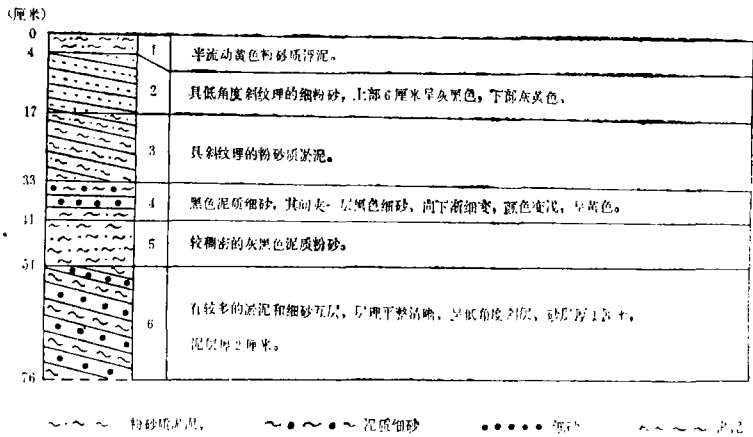


图 12 坝顶—坝前过渡段柱状图

Fig. 12 Columnar section of transitional area between bar-crest and barfront of the river-mounh bar

上述河槽沿程粒度级配和概率曲线变化的特征，表明河口水流机制变化的规律。从河口向滨外，随着口外径流的扩散、减弱，泥沙因粒度和比重不同而分异的搬运过程，通常是沉积物平均粒度变细，最粗粒的推移质渐趋于零，分选性降低，砂质减少，粉砂淤泥增加，也

即跃移组分减少,粒度变小,分选变差,悬移组分增加而粒度变小的变化过程(有人把这种过程称为河口沉积物搬运基本模式)。但是西江口外拦门沙坝的发育,致使主要动力因素发生变化,沉积物搬运机制出现上、下游特征次序倒置和其两重性的状态。如把拦门沙纵断面坝后、坝顶、坝前以上、中、下游段按上述河口一般沉积变化规律对比,处于中游的坝顶段沉积物粗化,分选变好,而具上游特征;处于上游的坝后段固床沉积物细化,推移质(受制于上游河口)具强水流,悬移质具强淤积而同时显现上、下游特征的两重性;坝前段保持泻外下游性质,但因坝后固床段悬移质锐增,使含量对比上尤低于上游坝后。

四、沙坝式拦门沙形成和

过渡式河口坝砂结构的讨论

(一) 沙坝式拦门沙的形成

河口拦门沙的发育形式与河口动态有关。西江河口的沙坝式拦门沙的发育,和西江三角洲发展到海湾外沿,面向外海,无岛屿屏障作用,波浪因素增强有关。

据1853—1867年历史海图资料¹⁾(图13),当时西江河口尚处于上游20公里的磨刀岛以北河段,河口单一顺直的水下河槽和纵向沙脊已经存在,与现在的位置基本相当。3.7米等深槽线直通宽河口,在横洲岛东侧向海散开,槽深一般5.5米,最深磨刀岛段达11米,最浅杧洲岛西侧为4.5米,未有沙洲出露,大排沙只是水深2.8米的心滩。5.5米等深线横展槽口,顺槽轴向向海突出,但4.5米等深线却成“L”形浅突体自横洲一侧南伸后横拦槽口,迫使槽泓线自石栏洲岛南侧东拐出海。这一水下形势和宽河口内外落潮流、余流以及西南岸流的方向都是逆向而驰。背向拦口水下地形的形成,可能和波浪尤其西南浪引起的堆积作用有关。当时河口尚远,西江外泄水流强度当尤逊于目前,因而对阻碍流向的槽口堆积未能冲开。拐向槽道也稍浅于横洲段。沙坝式拦门沙已具雏形。

1898—1907年,石栏洲西侧槽道出现1.8米浅点,拦口浅突体淤高但稍为缩窄,其内缘凹侧稍有刷深。上游磨刀岛一带槽段有所浅化。大排沙已露出成沙洲,坦洲湾岸围垦缩窄。1900年前后原具0.5—1.8米向南倾降的纵向沙脊淤涨,天生河以北已围垦成陆,灯笼沙头也着手就围。

随着河口淤积发展,滩槽普遍淤浅,并在人工围垦促进下,河口下移。1936年灯笼沙两岸已大部份围垦,槽道竹排沙出露,二排沙、三排沙心滩也接近大潮最低潮位,口外深槽下移到杧洲附近(7.3米)。河口拦门沙继续淤高(图14),石栏洲南侧边滩发育。在流向不畅和波浪作用下,槽道变浅,成2.2—2.4米。1964年海图,拦门沙坝顶槽口槽道封闭、消失。但沉积物分布仍保持1936年以来形势。石栏洲岛南侧边滩呈现为 7ϕ 细粒物质轮廓,封闭槽道尚留下

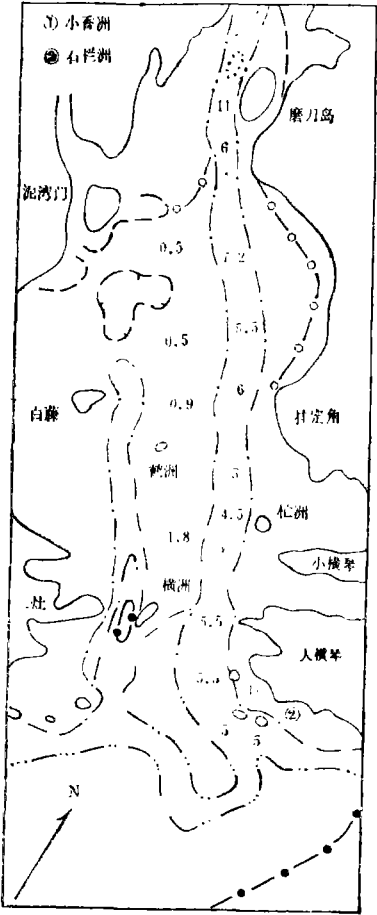
1) 本文参考的历史海图资料, 据英国海军部出版的下列海图:

① 1853年, China eastern coast, Sheet I, 图号2212。

② 1898年, China—S.E. Coast, macao to Pedro Blanco, 图号3026。

③ 1936年, Canton river and si kiang delta, 图号2562。(水深基面, 接近大潮最低低水位)

封闭前槽口外泄的物质痕迹，形成5m线东向小突（见图2）。根据拦门砂地形剖面演变（图15）和沉积物垂直构造所示，拦门砂尚在扩张淤高向海推进。



(二) 过渡式河口坝砂结构

上文已述西江河口坝顶砂因波浪迭加于水流作用其概率曲线具过渡式结构。但也有认为这种结构就是反映双向流沉积过程的双跃式结构^[4]，或认为是由于河口砂坝既受河流影响又受海洋动力作用，故砂坝顶样品具有向海滩砂过渡的趋势，使悬浮组分与跳跃组分之间呈现明显的过渡带^[3]，把过渡式结构看作是向海滩砂结构类型的过渡。根据过渡式、双跃式的曲线形式和沉积过程分析，两者是有区别的。维谢尔（1969）密西西比河东南汉双跃式河口坝砂概率图是常见的双跃结构（图16），试与过渡式结构（图11）相比较，可见河口坝砂可以存在过渡式和双跃式两种曲线以反映其不同的沉积过程。以下对这两种曲线的结构性质及其所反映的动力含义作初步探讨：

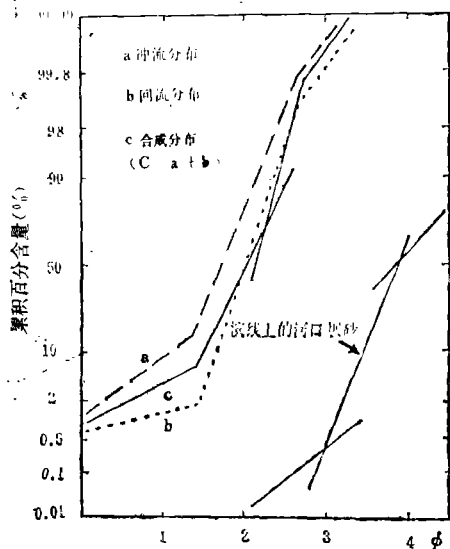


图 16 双跃式河口坝砂（据维谢尔，1969年）和浪槽试验双跃曲线（据科尔默，1973年）

Fig. 16 Double-saltation curves from both Mississippi river-mouth bar sand (after Visher, 1969) and the wave tank test (after Kolmer, 1973).

在缺少推移组分的情况下，概率曲线都表现为三个不同斜率线段交接的折线结构。折线段呈凸形交接，凹面朝下，即曲线中间线段斜率大小介于其两端交接线段的斜率之间，使三个线段斜率从两端依次递增或递减，这是过渡式曲线；当折线段呈类凹形交接，即凹面朝上，也即中间线段的斜率大于其两端线段的斜率，为双跃式曲线。概率曲线的斜率代表粒度分布的分选性，斜率愈大，分选性愈好。这里指的是分布的延展度，也即沉积物颗粒聚集程度的状况。如沉积的大多数颗粒聚集于某一粒度周围，延展度小，即分选好；如在各粒度区间均匀、分散分布，延展度大，即分选差。一定的水力作用，对沉积物同时以推移、跃移、悬移三种方式搬运沉积具有选择性，可以从大小颗粒按照上述选择的延展大小程度表现出来。各组分 的分选性不同，其分布的延展度或斜率也不同。在两个分选程度不同的颗粒组分间存在着过渡状态，这是因为其两端线段分选程度不同的两个组分的上限粒径与下限粒径之间的粒度颗粒在此区间混合，也即此间分选程度居于上下两线段之间，过渡式河口坝砂曲线即属此类。物质按跃移、悬移不同方式搬运时，有其一定的粒度临界点。在一定水力下临界点可视为“固定”的。但在波浪的扰动下，临界点可向粗细两端（一定幅度范围内）移动。随着扰动的交替进行，在临界点的摆动范围内，可成为跃移区间或悬移区间而交叉变动。两组

不同分选性的物质在临界点摆动区间内交叉，其分选程度就既大于悬移组分又小于跃移组分，成为混合过渡的分选区间，即过渡带。悬移质颗粒大小决定于湍流扰动强度，即湍流对曲线跃移组分的 FT 位置有支配作用。因此，这一过渡带是水流扰动强弱变化剧烈形成的。

双跃式结构的细跃组分（即中间线段）的分选度，既大于粗跃组分，也大于悬移组分，自成“体系”，与过渡式结构不同。这种斜率结构与波浪的冲流（Swash）、回流（Backwash）往复搬运作用有关。由于冲流、回流作用力及滩面切应力不平衡，其所形成的冲流粒度分布和回流分布中各组分的量值和分选也存在差异，两个具有分选差异的分布结合在一起，其合成的分布曲线遂发生形变，形成双跃结构。根据科尔默（1973年）（图16）波浪槽实验剖析资料，冲流和回流分布两者的跃移组分，前者斜率小于后者，而两者合成后的形变分布，其跃移组分下部（即粗跃段）的斜率为冲流分布的相应组分的斜率所支配，上部（即细跃段）斜率则为回流分布的相应组分的斜率所支配，因而跃移组分分离为粗跃组分和细跃组分，形成双跃结构。粗跃斜率小细跃斜率大，遂呈现为凹面朝上的形式。从而说明，双跃结构是有其固定形式的。这种形式并非冲流、回流的直接表现，而是冲流分布和回流分布的组分量值和分选的差异总和的表现。双跃结构形式不仅得到实验室的证实，而天然低前滨海滩不对称浪成沙波（Ripple）采样分析也得到证明¹⁾。不论沙波内部、表层或沙波剖面的不同部位，都毫不例外地一概表现为凹面朝上的双跃结构，并且显示出冲流、回流对沙波剖面不同部位物质搬运、双跃曲线特征和粒度参数的变化规律性。

因此，上述两种不同结构的曲线是两种不同沉积过程的表现形式，并非一种过程的两种不同结构。过渡式河口坝砂曲线是波浪运动迭加水流运动上而产生沉积物按水流方向^[2]的搬运沉积；双跃式河口坝砂是波浪引起的冲流、回流往复运动而产生沉积物的双向搬运沉积。这两种不同沉积过程的结构曲线，都可以在若干不同沉积环境中出现。因此，粒度概率图中心线段发生截点的曲线，不能一概称为双跃式，必须根据结构特征和具体环境分析。

结 论

1. 磨刀门河口湾沉积物主要是西江输出的陆源碎屑物质。由于湾内径、潮流路分异和横比降的存在，沉积物形成东西变异和交错越滩的空间分布。由于河口拦门沙地形的影响，口外河槽沿程沉积物粒度分布基本变化特征次序逆置。

2. 波浪，尤其西南浪是形成西江河口沙坝式拦门沙的主要动力。19世纪中叶拦门沙已具雏形，本世纪中期形成今势，目前仍在扩大淤高。

3. 河口拦门沙概率曲线具过渡式结构和双跃式结构，这是两种不同沉积过程的不同反映。前者呈凹面朝下形式，沉积物沿水流方向搬运沉积，是波浪运动迭加于水流运动所致。后者呈凹面朝上形式，沉积物沿水流双向搬运沉积，是波浪引起的冲流、回流往复运动的反映。

4. 粒度概率曲线、频率曲线与粒度基本参数（ $Md\phi$, σ_1 ）空间分布值相结合的分析方

1) 程明豪，1981，浪成沙波概率曲线特征初探。

法,能较好地反映沉积物在动力环境下的扩散状况和沉积过程的结构特征。 SK_1-Kg 参数散点图对区别环境有某些反映,但一般效果较差。

参 考 文 献

- 〔1〕 成都地质学院陕北队编:沉积岩(物)粒度分析及其应用,地质出版社,1978年。
- 〔2〕 F.P.谢帕德:海底地质学,科学出版社,1979年。
- 〔3〕 李萍等:几种现代砂的概率累积曲线,同济大学学报,1979年第2期。
- 〔4〕 王慧中等:运用粒度分析方法探讨古代砂体的沉积环境,同济大学学报,1979年第2期。
- 〔5〕 陈昌明等:一个构造三角洲的沉积特征,中国科学院地质研究所编,沉积岩石学研究(论文集),科学出版社,1981年。
- 〔6〕 Visher, G.S., Grain Size distributions and depositional processes, J.Sed. Petro., Vol.39, No.3, 1969.
- 〔7〕 Kolmer, J.R., A Wave tank analysis of the beach foreshore grain size distribution, J. sed.petro., 43, 1973.

《中华人民共和国人口地图集》召开第一次编委会议

我国第三次人口普查是建国以来规模空前、项目众多、内容丰富的高质量国情调查。为了全面系统地反映这次调查成果,国务院人口普查办公室和中国科学院地理研究所商定共同编制《中华人民共和国人口地图集》,最近图集编委会正式组成并在北京召开了第一次会议。

人口地图集编委会由有关领导和专家组成,国家统计局局长、国务院人口普查领导小组副组长兼办公室主任李成瑞同志任主任,地理所名誉所长黄秉维同志等任副主任。李成瑞在编委会上介绍了第三次人口普查情况和取得的巨大成绩,指出我国人口地图集的编制出版将为党和国家领导机关、中央和地方有关业务部门提供了解我国国情、制定各项方针政策和国民经济计划、安排人民生活、实行计划生育等许多方面的科学资料;供科研教育部门开展人口科学研究参考,为宣传普及人口知识服务,并用于国际交流,宣传我国人口普查成果。地理研究所所长左大康委员代表图集主编单位讲了话,他指出人口地图集的编制是一项大信息量数据处理和制图工程,必须采用计算机制图技术,并对加快图集编制出版提出了意见。编委会副主任黄秉维、委员刘铮、陈述彭等也相继发了言,一致认为人口地图集的编制具有重大意义,要高水平高速度的完成,争取达到国际先进水平。

我国人口地图集设计为四开本,基本比例尺1:800万,由100幅地图组成,其中包括序图、人口总况、民族、年龄、文化程度、行业、职业、人口变动和婚姻、家庭、生育等各图组,图集除了地图外,还包括文字说明和统计表格,并用中、英两种文字对照出版。

A STUDY OF THE SEDIMENTARY ENVIRONMENT IN MODAOMEN ESTUARY, THE MAIN RIVER-MOUTH OF XIJIANG (WEST RIVER)

Cheng Minghao

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

Xijiang (West River) is the largest river in the south of China, and Modaomen, the main river-mouth of Xijiang is the largest one of the eight distributary mouths in the delta of Zhujiang (Pearl River), It is an estuary.

The estuary sediment is mainly terrigenous detritus carried down from xijiang. The spatial distribution of the sediment is controlled by the separation of flow of the run-off and the tidal current, and influenced by the cross-section gradient of the water surface. So the coarser sediment is at the eastern part and the finer one at the western part, together with intersection of the coarser and the finer sediments. Due to affection of the landform of the river-mouth bar, the fundamental characteristic of sediment distribution and grain-size probability curves along the bed of the subaqueous river channel exhibits an inverted-order from up-stream to down-stream.

The genesis of transverse formation of the river-mouth bar is wave action, especially that in the south-west direction. In the mid 19th century, the deep bed of the subaqueous channel outlet deflects eastward at the southern side of Shilanzhou Island and the ebb-tide current, the residual current and the south-west nearshore current are all reversed in direction, and thus the embryonic form of the transvers river mouth bar is formed. In the mid 20th century the subaqueous channel outlet in the bar-crest is closed, and became a bow-shaped shoal. At present, the river-mouth bar continuously grows higher and greater.

The shape of the grain-size probability distribution of the river-mouth bar sand at the bar-crest is concave downward very similar to the probability curve of the river-mouth bar sands of the modern Changjiang (Yangtze river) and the ancient river (early Tertiary period) of northern Jiangsu and western Liaohe. It is called transitional mixed texture. It's the sediment of the effective wave and flow in depositional process of sediment transports along the flowing direction. And it differs from the grain-size probability curve of river mouth bar sand with double saltation population concave upward, The latter is a reflection of the depositional process of bidirectional transport by swash and backwash.