

# 黄茅海河口小尺度动力结构及其沉积作用

吴超羽

(中山大学河口海岸研究所, 广州 510275)

**摘 要** 基于 1981~1991 年多次水文泥沙测验及数学模型计算, 分析了珠江黄茅海河口水动力特性。着重分析了河口低频水流与环流。观测和计算表明河口中部存在一低流速区, 河口区拉格朗日流迹计算揭示了拦门沙形成的重要机制。黄茅海河口自北而南存在 4 个主要小尺度动力结构: 巨大的崖门双向射流系统, 垂直密度环流, 三角山狭口射流和凯尔文水平环流。本文简要讨论了以上动力结构对河口沉积及地貌的重要作用。

**关键词** 河口, 动力结构, 沉积, 华南

**分类号** P737.121

## 1 研究地区概况

黄茅海是珠江八大口门最西两个口门崖门和虎跳门入注的喇叭形河口湾(图 1)。黄茅海自湾顶至湾口南北长约 40km, 湾顶东西宽 1.9km, 口门南端宽达 20km, 湾内还有众多的基岩小岛, 河口湾面积约 540km<sup>2</sup>。

### 1.1 水下地形

黄茅海河口湾内水下地形主要发育了三滩三槽和一些次一级的潮沟系统(图 2)。

(1) 北部主槽。自崖门口向南延伸 20km, 宽 300~900m, 水深 5.0~12.4m。最深处在虎跳门和崖门汇流入注河口湾处。

(2) 西槽。自高栏一大襟向 NNW 向延伸。南端水深在 5m 以上。2m 等深线至独崖岛以北仍有槽形, 水深仅 3m 左右。

(3) 东口深槽。是以涨潮作用为主的深槽, 由高栏—荷苞岛向 NW, 经十字海和三角山—大芒岛之间的峡口, 继续向 NW 延伸。隔拦门沙与北部主槽遥遥相接。

(4) 浅滩。包括西滩、东滩(大海环)和中部拦门沙浅滩。拦门沙浅滩于河口湾中部, 滩顶水深 2.4~3m。以东槽而言, 拦门沙段小于 5m 的长度 12.9km, 将北槽与东槽隔断。

### 1.2 径流

径流是黄茅海河口最重要的动力之一。河流带来的泥沙是塑造河口的最活跃的物质,

\* 收稿日期: 1993-05-31

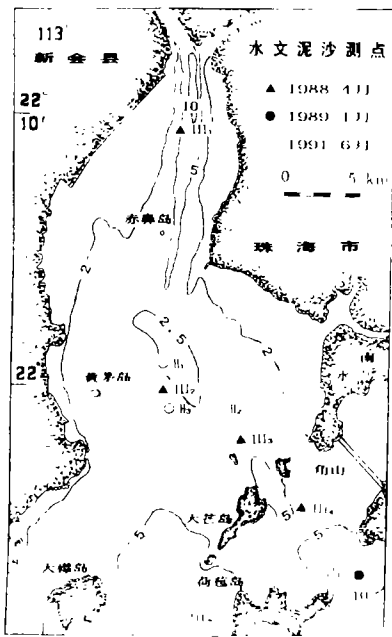


图 1 黄茅海河口湾及测流点



图 2 黄茅海河口湾水下地形

Fig. 1 Location map of study area and current meter mooring Fig. 2 Bottom topography of Huangmaihai estuary

洪水期带来巨大的能量. 河流淡水和海水交汇, 造成重要的河口密度流及带来复杂的物理化学效应.

### 1.3 潮汐

河口湾的潮汐与潮流均为不规则半日潮, 据 1988 年 4 月 16 日 - 5 月 15 日实测水位资料, 潮差分布由湾口向湾顶递减. 崖南平均潮差为 124cm. 湾顶落潮历时近 2h, 大于涨潮历时. 湾口荷苞岛涨、落潮历时接近相等, 平均潮差为 133cm<sup>1)</sup>.

## 2 流场模型

流场数值模型是研究河口过程的重要方法, 它的结果可以与实测资料、理论分析互相补充和印证.

### 2.1 控制方程

在笛卡儿直角坐标下, 水平二维潮流运动的动量方程和连续方程可以表达如下:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + fv + k \frac{\rho_a W_x |W_x|}{\rho H} - \frac{gu(u^2 + v^2)^{0.5}}{C^2 H} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - fu + k \frac{\rho_a W_y |W_y|}{\rho H} - \frac{gv(u^2 + v^2)^{0.5}}{C^2 H} \quad (2)$$

1) 中山大学河口海岸研究室. 新会崖门拦门沙的发育演变及治理问题, 1988

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Hu) + \frac{\partial}{\partial y}(Hv) = 0 \quad (3)$$

其中:  $u, v$  为  $x$  和  $y$  方向的垂直平均流速,  $\eta$  为水位,  $h$  为平均海平面以下水深,  $H$  为水深,  $H = h + \eta$ ,  $C$  为谢才系数,  $f$  为柯氏力系数,  $\rho$  为海水密度,  $\rho_0$  为空气密度,  $g$  为重力加速度,  $k$  为水气界面无量纲摩擦系数,  $W_x, W_y$  为  $x$  和  $y$  方向上风速,  $t$  为时间. 边界条件:

$$u_r = u_{op}(x, y, t) \quad (4)$$

$$v_r = v_{op}(x, y, t) \quad (5)$$

其中  $u_{op}$  和  $v_{op}$  是边界上已知流速过程, 对于潮位控制边界:

$$\eta_r = \eta_{op}(x, y, t) \quad (6)$$

其中  $\eta_{op}$  为边界上已知潮位过程. 对于闭边界

$$\vec{w} \cdot \vec{n} = 0 \quad (7)$$

其中  $\vec{w}$  为流速矢量,  $\vec{n}$  为边界法矢量.

在适当的边界和初始条件下可计算方程(1~7)的数值解. 模型采用有限差分显隐交替 ADI 法求解. 空间步长为  $X = Y = 600\text{m}$  时 300s 的时间步长模型有足够的稳定性.

## 2.2 拉格朗日(Lagrangian) 输运

当考虑水体和悬移质输运时, 其主要过程为对流过程. 水体和悬移质的运动是由流体的拉格朗日平均而非欧拉平均所决定的<sup>[1,2]</sup>. 为了分析水流的拉格朗日运动, 拉格朗日流速的分量  $(x_i, y_i)$  定义为  $t = 0$  时刻从  $(x_0, y_0)$  释放的某一小水团在  $t$  时刻的流速. 其位置为:

$$x = x_0 + \zeta, \quad y = y_0 + \eta \quad (8)$$

在  $t_0$  时刻初始位置为  $\zeta = \eta = 0$ . 拉格朗日流速  $(x_i, y_i)$  可用欧拉流速表示:

$$u_1(x_0, y_0, t) = u(x_0 + \zeta, y_0 + \eta, t), \quad v_1(x_0, y_0, t) = v(x_0 + \zeta, y_0 + \eta, t) \quad (9)$$

拉格朗日位移  $\zeta, \eta$  可由迹线的微分方程的积分得到

$$d\zeta/u_i = d\eta/v_i = dt \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{或} \quad (\zeta, \eta) &= \int_{t_0}^{t_0+T} [u_i(x_0, y_0, t), v_i(x_0, y_0)] dt \\ &= \int_{t_0}^{t_0+T} [u(x_0 + \zeta, y_0 + \eta, t), v(x_0 + \zeta, y_0 + \eta)] dt \end{aligned} \quad (11)$$

此处  $T$  是一个或数个潮周期. 注意方程(11)是  $(\zeta, \eta)$  的积分方程. 给定适当的初始和边界条件, 方程(1~11)完整的描述了应变变量  $(\zeta, u, v, u_i, v_i, \zeta, \eta)$ <sup>[3]</sup>.

## 3 动力机制及其沉积作用

基于本海区历次水文泥沙测验, 理论分析和数值模型. 本文将简要探讨拦门沙形成的宏观水动力机制. 河口流速的整体格局与三槽三滩的水下地形是吻合的. 在这一大的格局下, 东槽(包括北槽至东口)的水动力自北而南可以分为4个小尺度动力结构单元, 依次是巨大的崖门口双向射流系统, 垂直密度环流, 三角山狭口射流和南段的水平环流. 这4个动力结构在很大程度上控制了东槽上中下三段的水下地形发育和水流泥沙运动.

### 3.1 动力尺度分析

为了对海区一些动力的相对重要性有一宏观的认识, 我们计算下列两个无量纲参数.

(1) 罗斯贝数. 罗斯贝数是反映运动方程中非线性项和科氏力项的相对重要性:

$$\text{非线性项} / \text{科氏力项} = U/f_0L = R_0L = R_0$$

$f_0$  是区域的科氏力系数, 约为  $10^{-4}$ , 如果取  $u = 1\text{m/s}$ ,  $L$  为水平特征长度, 在黄茅海海区  $L = 10^3 \sim 10^4$ , 则本海区罗斯贝数

$$R_0 = 1 \sim 10$$

对于大洋内部  $R_0 \leq 10^{-3}$ , 一般以量阶 1 为大尺度环流的上限罗斯贝数. 因此黄茅海河口的环流不能认为是大尺度环流, 即非线性项不能忽略.

(2) 埃克曼数. 另一无量纲比值是埃克曼数:

$$\text{摩擦力项} / \text{科氏力项} = A_z/f_0L^2 = E_z \quad (13)$$

其中  $A_z$  为水平涡动粘滞系数. 埃克曼数反映摩擦力项和科氏力项的相对重要性. 对于黄茅海区上部  $L$  取  $10^3$ , 对于河口湾下部  $L = 10^4$ , 据估计  $A_z$  的值均为  $10^3$ . 因此黄茅海海区的埃克曼数从上段的 10 变化到河口湾下段的 0.1. 表明摩擦力项和科氏力项都相当重要. 但科氏力项在湾口部分时作用更加重要.

### 3.2 河口湾流速分布

(1) 欧拉流速及余流. 图 3 是二维流场模型计算结果, 在一个全潮过程中, 拦门沙浅滩在大部分潮相与上下段相比, 都处于一低流速状态, 在落急时, 北槽流速达  $110\text{cm/s}$  以上, 中口流速亦在  $90\text{cm/s}$  以上. 而拦门沙的流速在  $60\text{cm/s}$  以下. 落平时, 北面和南面分别为  $40\text{cm/s}$  等值线, 而拦门沙的流速在  $20\text{cm/s}$  以下. 在涨平时也是一样. 由于拦门沙河段处于低流速状态下, 无论从海上或河流带下的泥沙都易于落淤. 当流速从  $110\text{cm/s}$  降至  $60\text{cm/s}$  时, 推移质和悬移质的搬运能力都大大降低, 造成大量泥沙落淤.

造成这种流速分布格局的原因主要是地形边界. 湾顶较窄, 水流亦集中在北深槽. 过水断面到拦门沙段突然增大, 流速迅速减低. 而河口湾南面三个口门, 其总量度还不及河口湾的中腰大. 加上口外有强劲的粤西岸流. 使得黄茅海河口湾形成两端高, 中间低的流速分布. 这一流速格局与潮波变形和潮波反射形成的凯尔文波系统有待进一步研究.

图 3b 是河口湾余流分布图. 拦门沙的余流亦小于北深槽和口外深水区. 从余流  $U$  分量可看出, 0 流速线在东口以北.

(2) 拉格朗日流迹. 流场数值模型验证后可作为基础, 由方程(11) 计算某一水质点在一全潮或某时段运动轨迹. 图 4 是河口若干点在一不规则半日潮的全潮过程中的运动轨迹. 从计算结果看, 拉格朗日净位移与潮程相比, 处于同一数量级. 一些径流很弱的海湾, 拉格朗日净位移要比潮程小一个数量级<sup>(3)</sup>. 说明本河口淡水径流在水体和悬移质运输中的主道作用. 流迹计算还表明, 从河口湾顶部和近口处起始的流迹明显大于从河口中部起始的流迹. 图 4 还可看出, 在河口上部不同位置起始的小水团, 其结束点却很接近, 都在河口中部, 揭示了河口中部拦门沙形成的主要动力机制.

### 3.3 河口小尺度动力结构及其沉积作用

华南河口区存在一系列罗斯贝数从  $1 \sim 10$  的河口小尺度(相对于大洋环流和中尺度涡旋) 动力结构, 包括密度环流、狭口射流、河口水平环流以及河口大尺度涡旋等<sup>(4)</sup>. 这些小尺度的动力结构同时存在于河口不同位置, 对河口中的沉积物搬运和沉积形态有深刻

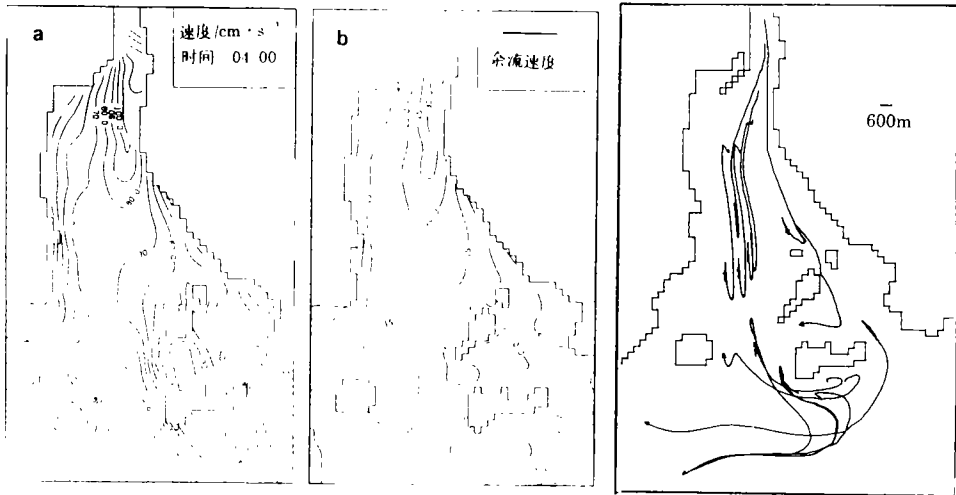


图 3 河口湾计算流场等流速线

Fig. 3 Velocity isogram from 2D model

图 4 河口湾计算流迹

Fig. 4 Labelled water trajectories

的影响, 这些动力结构具有一些鲜明的特点: (1) 动力结构有相对的稳定性, 在时间上和空间上又有一定的变化规律, 同时具有一定的随机性. (2) 这些动力结构的罗斯贝数从 1 ~ 10 或更大, 埃克曼数为  $10^3 \sim 10^4$ . 显示结构的小尺度性和复杂性. 非线性作用和科氏力作用都不能忽略. (3) 由于河口水深的限制, 动力结构的水平尺度远大于垂直尺度. 但其垂直变化不可忽视. 由此, (4) 这些小尺度动力结构对于地形边界是很敏感的. (5) 动力结构往往形成余环流系统, 彼此相对独立又相互联系. 系统之间可能存在不连续面, 或锋面. 构造之间的过渡状态包括能量和物质交换还很不清楚. (6) 这些动力结构具有不同的主导动力驱动机制, 包括密度、惯性、浮力、边界阻力、科氏力以及行星涡度的改变等.

由于上述特性, 特别是它们所形成的余流系统和长周期性, 对于河口中沉积物运动特别是稳定搬运途径和沉积形态都有重要的作用. 在华南不少河口, 我们观测到许多与小尺度动力结构相应的水下堆积(侵蚀)形态.

3.3.1 垂直密度环流 是指一个或多个潮周期平均意义下的环流. 是由水面高程引起的水平梯度力(正压力)和密度梯度力(斜压力)之间的平衡在水体垂向上变化所引起的. 河口水体所受到的水平压力梯度可以分解为正压和斜压部分:

$$\frac{\partial p}{\partial X} = g \int_{-z}^{\zeta} \frac{\partial \rho}{\partial X} dz - g \rho_s \frac{\partial \zeta}{\partial X} \quad (14)$$

式中,  $p$  为压力,  $\rho_s$  为表面海水密度,  $\rho$  为河口水深密度,  $g$  为重力加速度.

黄茅海河口垂直环流首先受到河流流量的季节性变化影响, 洪水对垂直环流发育的作用表现为多方面, 一是洪水期径流可以使整个河口区变为冲淡水, 15‰ 的盐度线推至荷苞一大襟岛以南, 而枯水期 30‰ 的盐度线可以深入崖门口附近. 洪水的另一作用是带来大量的淡水, 而淡水增加将加强河口水体的层化. 使水平和垂直梯度在一定范围内增

加,从而增大了斜压力,使环流作用加强,上溯距离增加.但如前所述,由于洪水使整个冲淡水界线南移,整体看来,洪季时盐水的上游部位是南移的.

图 5 是 1991 年 6 月 29 ~ 30 日同步水文测验 H<sub>2</sub> 站的流速垂直结构图,H<sub>1</sub> 和 H<sub>2</sub> 站在试挖槽上,测验时是大潮,但因为是洪水期,下泄流区一直推至 H<sub>1</sub> 站以下,H<sub>2</sub> 站有底层上溯流.

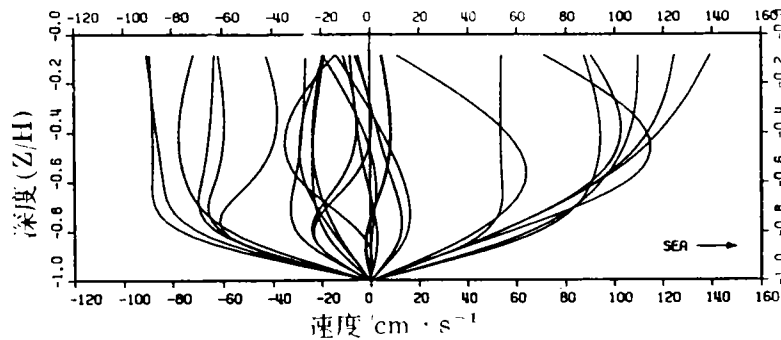


图 5 实测流速垂直结构,1991 年 6 月 29 日 11:00 - 30 日 11:00, H<sub>2</sub> 站

Fig. 5 Velocity profile measured in June 29 - 30, 1991 at station H<sub>2</sub>

在东槽,垂直密度环流在经过三角山—大芒岛之间狭口时,受到狭口射流作用的干扰.在狭口南面,又存在另一水平环流系统.因此垂直密度环流的南端实际上消失在十字海的水平环流之中.在拦门沙及北部深槽,水流以往复流为主,横向动力较弱.主要的动力是密度梯度,水面梯度和垂直涡动,其次是潮流的水平对流项之间的平衡.而进入十字海和东口以外,地形复杂,河口开阔,科氏力作用加强,风和近岸流使动力更加复杂.从 H<sub>2</sub> 站的流速结构图看,表层艾克曼层,底层艾克曼流,梯度流的作用都很明显,构成复杂的流态.完全不同于河口湾上部的流速结构.

黄茅海东槽密度环流的存在与变化对河口淤积有直接关系,枯水期河流带入的悬沙少,海域来沙少,而且北深槽动力作用较强,泥沙不易落淤.此时密度流的顶部一般远超过拦门沙口位置,因此枯水期拦门沙不发生淤积,还有少量冲刷.在洪水期,垂直密度环流的北端恰位于拦门沙的顶部(H<sub>1</sub> 和 H<sub>2</sub> 站上下).此时河流带下的大量泥沙,主要集中在下层下部,在拦门沙附近与密度环流北端的底层上溯流相遇而发生严重淤积.这是黄茅海拦门沙形成的主要动力机制之一.

3.3.2 三角山狭口射流 东槽在大芒岛和三角山之间有一冲刷深槽.水深超过 5m,将拦门沙分为南北两部分.这是由于涨落潮流经过狭口时,水位在上游方向壅高,造成局部大比降.据 1989 年 1 月 II 3 站资料,中潮时表层流速可达 1m/s 以上,底层也在 0.8m/s 以上.至狭口外,流速逐渐减小.在不同季节,大芒和三角山之间的射流作用也有变化,在此仅考虑浮力射流和紊动射流.射流是以浮力射流还是以紊动射流为主,可以从密度弗劳德数判断:

$$F = U / \sqrt{rgh} \quad (15)$$

其中,  $U$  为表层与底层流速差,  $r = 1 - \rho_{\text{上}} / \rho_{\text{下}}$ ,  $\rho_{\text{上}}$  和  $\rho_{\text{下}}$  分别代表上下水层密度.  $g$  为重力加速度, 根据 Wright 等的研究, 当  $F \geq 16.1$  时, 水体主要是紊动扩散. 当  $F$  值接近 1.0 时, 水流呈明显分层. 据历次狭口附近实测资料, 冬季  $F$  值在 2~8 之间, 有时可达 8~40. 在夏季, 浮力作用加强,  $F$  值一般在 0.4~2.0 之间. 由于拦门沙主要在夏季落淤. 夏季以浮力射流为主. 落潮时射流作用使较粗泥沙在离狭口一定距离内沉积. 据研究, 沉积沙坝的顶点一般在狭口宽 4~6 倍的距离内. 三角山—大芒岛狭口约为 1km, 南部拦门沙的顶点距狭口约 3~4km. 考虑到从东口向北口余流作用, 上述距离大体符合这一规律. 模型计算, 经狭口自北而南的流速由狭口向南北明显降低.

狭口射流动力对于东槽拦门沙的形成发育有至为重要的作用. 狭口南北两面均发育有拦门沙浅滩, 中部为狭口深槽所分隔. 南面的浅滩水深较大, 顶部深度略浅于 5m. 这两部分的拦门沙滩浅不仅在形态上分隔, 而且在成因上也有很大区别. 北部的浅滩主要是由于泥沙在低流速区和密度环流北端滞流点落淤所成, 同时也有射流作用的影响. 而狭口南的浅滩则主要是落潮水流经狭口流出后, 流速减小, 造成泥沙落淤.

据研究<sup>2)</sup>, 近 40 年来内坡南移 86m, 而外坡向外推进 36m. 而东槽的拦门沙浅滩, 无论是狭口北面还是南面的浅滩, 其外坡自 1861 年以来都没有向海推进. 自 1938 年以来, 顶部水深略有变浅, 但整个沙体变化不大. 且狭口北拦门沙内坡自 1938~1977 年有向北推进的趋势. 由于东槽拦门沙动力比较稳定, 不易改变. 治理拦门沙时应予重视.

3.3.3 湾口水平环流 历次水文观测资料及数学模型都表明, 十字海存在一水平环流. 这环流是余流性质的环流. 水流从东口流入十字海, 与三角山东西两面的南向余流汇合经大芒—荷苞通道复入南海. 环流流速在十字海内为 5~15cm/s, 在东口外可达 20cm/s.

影响这水平环流的机制较为复杂. 主要是河口开尔文波, 地形条件和近岸流以及涡量平衡. 在开尔文波作用下, 河口湾的水位界和流速比公式是

$$\zeta = R_0 e^{-(f/c)y} \cos(\sigma t - \frac{\sigma}{C} x), \quad U = \frac{C}{g} R_0 e^{-(f/c)y} \cos(\sigma t - \frac{\sigma}{C} x)$$

其中  $x$  是以河口为零指向陆地.  $C$  是潮波相速,  $\sigma$  是潮波角频率,  $f$  是科氏系数,  $y$  是以河口中部为 0 点的横坐标,  $R_0$  是潮波振幅. 在河口开尔文波作用下, 右岸(面向潮波传播方向)潮差和涨潮流速大于左岸. 这样就易于形成一反时针方向的环流. 在黄茅海河口开尔文波的作用受到荷苞、高栏、大等岛屿的地形阻隔而复杂化, 而且由于下泄流的作用而进一步受到抑制不能向湾内深入发展. 影响水平余流环流的还有粤西沿岸流. 如将其视为一地转流. 是科氏力与海岸边界形成的梯度力的平衡. 流至河口时梯度消失, 沿岸流经东槽口流入十字海. 一般经大芒—荷苞通道流出, 在径流相对较弱时, 可以形成经大芒—三角山流向西北的余流.

单位面积  $\delta A$  上的环流  $\delta \Gamma$  是涡度,  $\xi = \delta \Gamma / \delta A$ . 位涡守恒原理在大河河口的作用已经引起研究者的注意. 珠江河口的西四口门和虎门都是南北向的河口. 黄茅海河口的相对涡度大体在  $10^{-5} \sim 10^5$  之间, 河口南北尺度在 50~100km, 由此引起的行星涡度的变化已足以影响到相对涡度的变化, 并有利于形成河口下段的反时针方向的环流. 凯尔文波也有利于

2) 中山大学河口海岸研究所. 珠江口黄茅海冲淤分析, 1991

反时针方向环流形成, 两者作用一致, 从而强化了其作用机制.

这水平环流的存在改变了东槽下泄水流和泥沙的搬运方向, 经十字海西口流出河口湾, 而东口的上溯余流对于东槽带下的泥沙有一定阻滞作用, 促进了大芒—荷苞之间浅滩的发育. 由于陆架水含沙量低, 而且潮流流速很大, 东口能维持较大水深, 不易淤积.

#### 4 黄茅海自然沉积率及航道回淤

黄茅海河口地区的悬移质泥沙 77% 来自河流. 从海向进入河口的泥沙有相当部分也来自磨刀门和鸡啼门. 根据 1937 ~ 1977 年海图量测比较, 河口区平均淤积率为 1.28cm/a. 河口区有 3 个高淤积区, 平均最大自然回淤率超过 4.0cm/a. 由于西滩及东部大海环自 60 年代以来不断围垦促淤, 所以自然回淤率最高的区域是河口中部的拦门沙滩. 拦门沙北坡冲刷而南坡淤积, 面积减小. 高沉积区与动力低能区在空间上是一致的.

1990 年 10 月在东槽拦门沙段开挖了一长约 7.4m, 底宽 60m 的试挖槽. 平均挖深 1.14m. 其后一年对航道进行了重复回声测量(图 6). 回淤严重时(如台风期间)有浮泥出现. 如不被水流迅速带走, 浮泥在 1 ~ 2 周内变为淤泥而永久沉积下来. 第一年回淤率超过 60cm/a.

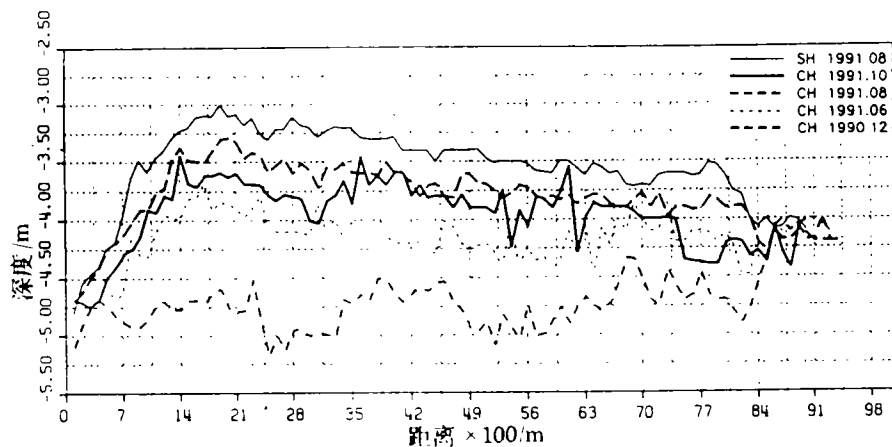


图 6 试挖槽重复回声测量纵剖面

Fig. 6 Repeat echo sounding of the experimental channel.

SH — Shoulder of the Channel CH — Channel Bottom

#### 5 结 论

(1) 黄茅海河口的环流不能认为是大尺度环流, 应考虑非线性作用. 科氏力和摩擦项大体在同一数量级, 向湾口科氏力的作用加强, 不应忽略.

(2) 黄茅海潮流场和余流场存在两头大, 中间小的格局. 中部低流速区位于拦门浅滩. 海陆两面来沙都易于在此落淤.

(3) 东槽(自北槽至东口)存在 4 个小尺度动力结构, 自北而南分别是巨大的崖门双向射流系统. 垂直密度环流、狭口射流和南段水平环流.

(4) 垂直密度环流是拦门沙形成的重要动力原因,其北端即通常所谓“滞流点”。汛期在拦门沙顶部,造成严重的淤积。环流的南端受到三角山—大芒岛狭口射流作用的强烈干扰,最终消失在十字海水平环流以北。

(5) 三角山—大芒岛狭口射流作用使东槽拦门沙分为南北两部分。南北段拦门沙形成的动力机制不相同。南段拦门沙主要是落潮射流作用形成。西槽拦门沙内坡以每年86m速度向海相进,东槽拦门沙、特别是南段,自1861年来变化不大。

(6) 河口区有3个高沉淤区。由于西滩及东部大海环自60年代以来不断围垦促淤,所以自然回淤率最高的区域是河口中部的拦门沙浅滩。

### 参 考 文 献

- 1 Cheng R T, Xi. P On Lagrangian residual ellipse, in *Physics of Shallow Estuaries and Bays*. Springer—Verlag, 1986. 102 ~ 113.
- 2 Jobson H E. Temperature and solute transport simulation in stream flow using a Lagrangian reference frame. *U S Geol. Surv. Water Resour. Invest*, 1981. 81 ~ 2 165
- 3 Cheng R T, Casulli V. On Lagrangian residual current with applications on South San Francisco Bay, California. *Water Resource Research*, 1982, 18(6): 1652 ~ 1662
- 4 Wu C Y, Wu J X. Small scale dynamic structures and their sedimentation effects in estuarine environment. *Coastal Dynamics'94 International Conference*, Feb. 21 ~ 25, 1994, Barcelona, Spain

## Dynamic Structures and Their Sedimentation Effects in Huangmaohai Estuary

Wu Chaoyu \*

**Abstract** Based on hydrographical surveys carried out during the period of 1985 ~ 1991, theoretical consideration and numerical models, the present paper provides a brief analysis on the dynamics of Huangmaohai estuary, emphasizing on the low frequency flow patterns and circulation. Labeled water parcel trajectories reveals the important formation mechanism of the mid—estuary bar. Four small scale dynamic structures are found in the estuary along the North and East Channel which have profound effects on the sedimentation. They are from north to south (1)the vass Yamen bi—direction jet system, (2)vertical density driven circulation, (3)gorge jet current and (4)horizontal circulation. The effects of estuarine dynamics on the sedimentation processes, especially those concerning the river mouth bar are discussed.

**Keywords** estuary, dynamic structure, sedimentation, South China

\* Institute of Coastal and Estuarine Studies, Zhongshan University, Guangzhou 510275