

# 灌河口沿岸流场的数值模拟

张东生 谢金赞

(河海大学, 南京)

郑小平

(福建省闽江流域规划委员会, 福州)

**提要** 苏北灌河的人海口门处有沙咀, 其岸形和底形都比较复杂。本文对潮流、波浪流和灌河径流综合作用下的口外沿岸流场进行了数值模拟。用一、二维联合法求解。口外水域用有限元模式求解, 口内河道用一维显式差分求解。用现场资料和公式推算分别对计算的潮流场和波浪沿岸流进行了验证, 结果令人满意。

灌河口的口门处有沙阻碍航。为了弄清沙咀的形成原因和演变规律, 对其进行合理的整治, 需要对河口内外的水动力条件作全面的综合分析。灌河口位于废黄河口以北, 口外水域开阔, 岸线较平直, 呈 NW-SE 向。等深线基本与岸线平行。口门沙咀附近, 等深线发生弯曲, 形成浅滩。这一地区的沿岸水流, 除了受到潮流、灌河径流的制约外, 还受到波浪引起的波浪沿岸流以及局部地形的影响, 分布及变化规律都比较复杂。过去, 虽曾对口外水域进行过一些流场的现场观测, 但多集中在口外的航道, 测点少而且多不同步。沙咀区域因水浅而无法进行观测, 所以, 仅依据口门处的少量观测资料, 难以分析各种水动力因素对沙咀形成的相对重要性, 也难以全面评价各种动力因素的综合作用。

本文采用一、二维联合数学模式, 对包括灌河径流、口外潮流以及波浪流等在内的沿岸流场进行了数值模拟。口内河道部分采用一维显式差分格式, 口外二维水域采用三节点三角形有限元格式。三角形有限元格式能对口门沙咀附近的局部地形进行较准确的概化。

## 一、基本方程

### 1. 一维河道水流

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{u|u|}{C^2 R} = 0 \quad (2)$$

式中,  $h$  为水位;  $Q$  为断面过水流量;  $u$  为断面平均流速;  $b$  为断面的水面宽度;  $R$  为水力半径;  $g$  为重力加速度;  $C$  为河段的谢才系数。

### 2. 二维沿岸水流

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{(D+h)u\} + \frac{\partial}{\partial y} \{(D+h)v\} = 0 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g}{C_1^2} \frac{uV}{(D+h)} \\ & + C_2 \frac{2\zeta u}{(D+h)T \cdot \sinh\left(\frac{2\pi D}{L}\right)} \\ & + A_L \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho(D+h)} \\ & \times \left\{ \frac{\partial S_{XX}}{\partial x} + \frac{\partial S_{XY}}{\partial y} \right\} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{g}{C_1^2} \frac{vV}{(D+h)} \\ & + C_2 \frac{2\zeta v}{(D+h)T \cdot \sinh\left(\frac{2\pi D}{L}\right)} \\ & + A_L \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho(D+h)} \\ & \times \left\{ \frac{\partial S_{XY}}{\partial x} + \frac{\partial S_{YY}}{\partial y} \right\} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $h = h_1 + h_2$ ,  $h_1$  为潮水位,  $h_2$  为波动引起的水位超高;  $u, v$  分别为垂线平均流速在  $X, Y$  方向上的分量;  $f = 2\omega \sin \phi$ , 为科氏参数;  $D$  为水深;  $V = \sqrt{u^2 + v^2}$  为流速模。

式(4)和(5)中的第六项为潮流引起的底部阻力项, 其中  $C_1$  为谢才系数。

两式中的第七项, 即

$$C_2 \frac{2\zeta u}{(D+h)T \cdot \sinh\left(\frac{2\pi D}{L}\right)} \text{ 和 } C_2 \frac{2\zeta v}{(D+h)T \cdot \sinh\left(\frac{2\pi D}{L}\right)},$$

为波动水质点在底部产生的阻力项<sup>[3]</sup>, 其中  $C_2$  为无因次底摩擦系数,  $\zeta$  为波高,  $T$  为波动周期,  $L$  为波长。它们也可以改写成类似于潮流阻力项的形式:

$$\begin{pmatrix} D_x \\ D_y \end{pmatrix} = C_2 \cdot u_m \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (6)$$

在破波带内,

$$u_m = \alpha_1 \sqrt{g(D+h)}, \quad \alpha_1 = 0.3 - 0.6,$$

所以

$$\begin{pmatrix} D_x \\ D_y \end{pmatrix} = C'_2 \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot (D+h)^{\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (7)$$

式中,  $C'_2 = \alpha_1 C_2$  为波浪摩阻系数。

第八项  $A_L \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$  和  $A_L \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$  为水平粘滞力项, 其中  $A_L$  为水平粘滞系数。

第九项

$$\frac{1}{\rho(D+h)} \left\{ \frac{\partial S_{XX}}{\partial x} + \frac{\partial S_{XY}}{\partial y} \right\} \text{ 和 } \frac{1}{\rho(D+h)} \left\{ \frac{\partial S_{XY}}{\partial x} + \frac{\partial S_{YY}}{\partial y} \right\}$$

为波浪辐射应力项, 其中  $S_{XX}$ ,  $S_{XY}$ ,  $S_{YX}$  和  $S_{YY}$  为辐射应力的 4 个分量。波浪辐射应力项是产生波浪沿岸流的主要外力。辐射应力与波能成正比:

$$\begin{pmatrix} S_{XX} & S_{XY} \\ S_{YX} & S_{YY} \end{pmatrix} = \frac{\rho g \zeta^2}{8} \times \begin{pmatrix} n(1 + \cos^2 \alpha) - \frac{1}{2}, & \left(\frac{n}{2}\right) \sin 2\alpha \\ \left(\frac{n}{2}\right) \sin 2\alpha, & n(1 + \sin^2 \alpha) - \frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad (8)$$

式中,  $n$  为波群速度与波速之比;  $\alpha$  为波向与  $X$  轴的交角。

$$\frac{\partial S_{XY}}{\partial y} = \frac{d}{dy} \left( \frac{1}{8} \rho g \zeta^2 n C / C_0 \sin \alpha_0 \cos \alpha \right) \quad (9)$$

在破波带以内的浅水区,  $\zeta = r(D+h)$ ,  $r$  为浅水系数,

$$n \cong 1, \quad C = \sqrt{g(D+h)}, \quad \cos \alpha \cong 1.0^{[4]}。$$

于是, 式(9)可以写成:

$$\frac{\partial S_{XY}}{\partial y} = \frac{5}{16} \rho g^{\frac{3}{2}} r^2 (D+h)^{\frac{3}{2}} \sin \alpha_0 / C_0 \cdot \operatorname{tg} \phi \cdot \cos \beta \quad (10)$$

式中,  $\operatorname{tg} \phi = \frac{d(D+h)}{dy}$ , 为海底沿垂直于岸线方向的坡度;  $\beta$  是  $X$  轴与岸线的夹角。

其余三个应力项也可以同样分解成沿岸线方向和垂直于岸线方向的分量。只保留引起沿岸线方向水流的应力分量, 即只保留垂直于岸线方向的分量, 则得到:

$$\frac{\partial S_{XY}}{\partial x} = \frac{5}{16} \rho g^{\frac{3}{2}} r^2 (D+h)^{\frac{3}{2}} \cdot \sin \alpha_0 / C_0 \cdot \operatorname{tg} \phi \cdot \sin \beta \quad (11)$$

$$\frac{\partial S_{XX}}{\partial x} = \frac{3}{4} \rho g r^2 (D+h) \cdot \operatorname{tg} \phi \cdot \left[ \sin \beta - \frac{g}{6} (D+h)^{\frac{1}{2}} \sin \alpha_0 / C_0 \cdot \cos \beta \right] \quad (12)$$

$$\frac{\partial S_{YY}}{\partial y} = \frac{3}{4} \rho g r^2 (D+h) \cdot \operatorname{tg} \phi \cdot \left[ \cos \beta + \frac{g}{3} (D+h)^{\frac{1}{2}} \cdot \sin \alpha_0 / C_0 \cdot \sin \beta \right] \quad (13)$$

### 3. 一维河道与二维水域计算的连接<sup>1)</sup>

在一、二维计算的连接处应满足下面的连接条件:

$$h_I = h_{II} \quad (14)$$

$$Q_I + Q_{II} = 0$$

式中,  $h_I$  和  $Q_I$  分别表示一维计算在连接处的水位和流进连接处的流量;  $h_{II}$  和  $Q_{II}$  分别为二维计算在连接点  $i$  处的水位和流量。采用 G. Gray 的公式,  $Q_i$  的计算式为:

$$Q_i = N_i \left[ \left( \int_E \frac{\partial}{\partial x} (\phi_i h) d\Omega \right)^2 + \left( \int_E \frac{\partial}{\partial y} (\phi_i h) d\Omega \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

1) 张二骏等, 1985。不恒定流一、二维联解潮流计算。

$$\text{而} \quad \int_E \frac{\partial}{\partial x} (\phi_i h) dQ = \frac{1}{6} [2h_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}) + h_{i-1}(Y_i - Y_{i-1}) + h_{i+1}(Y_{i+1} - Y_i)] \quad (16)$$

$$\int_E \frac{\partial}{\partial y} (\phi_i h) dQ = \frac{1}{6} [2h_i(X_{i-1} - X_{i+1}) + h_{i-1}(X_{i-1} - X_i) + h_{i+1}(X_i - X_{i+1})] \quad (17)$$

式中,  $X, Y$  为节点的坐标, 下标  $i$  为连接点的序号,  $i-1$  和  $i+1$  为与  $i$  点有关单元的岸边节点的序号。用(15)–(17)式即可得到连接点  $i$  处的当量法向流速矢量  $N_i$ 。

## 二、验证计算

图 1 为计算区域示意图。图中还给出了水位和流速验证点的位置。口内河段用一维显式特征差分格式计算。计算河段概化成 29 个小段。口外水域用三节点三角形有限单元格式计算<sup>[1]</sup>。计算水域根据实际地形划分成 93 个三角形单元, 60 个节点。近岸及沙咀周围的小范围(图 1 中的虚线框)内地形复杂, 又用加密网格计算。在小范围内划分为 186 个三角形单元, 113 个节点。图 2 中绘出了小范围计算域的有限元剖分, 并以虚线标出了等深线的趋势。

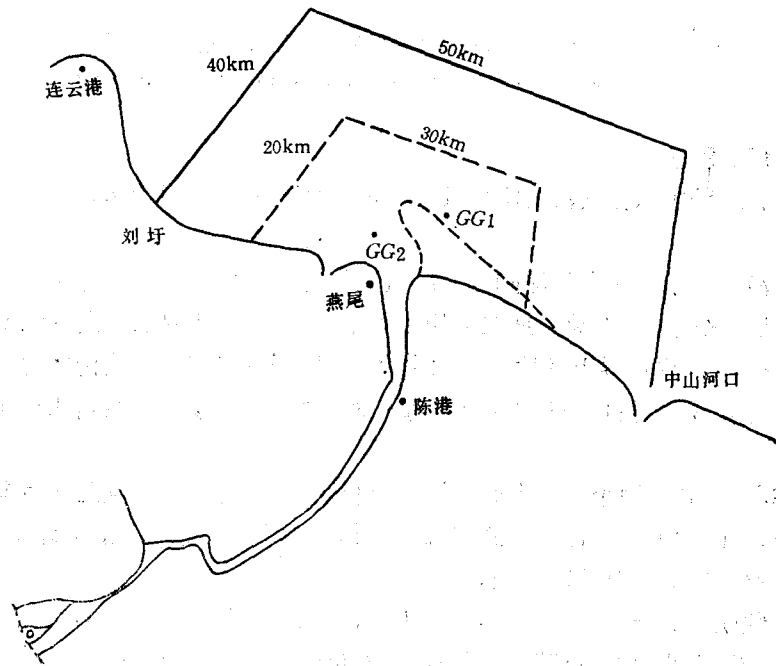


图 1 计算域示意图

Fig. 1 Sketch of Guanhe River estuary showing location of survey sites and the boundary of simulated domain

由于缺乏风浪情况下沿岸流的实测资料, 难以对此综合模式的计算成果进行检验, 故用实测潮流资料对计算的潮流场进行验证, 用波浪沿岸流计算公式的成果与模式计算的波浪流场作比较。

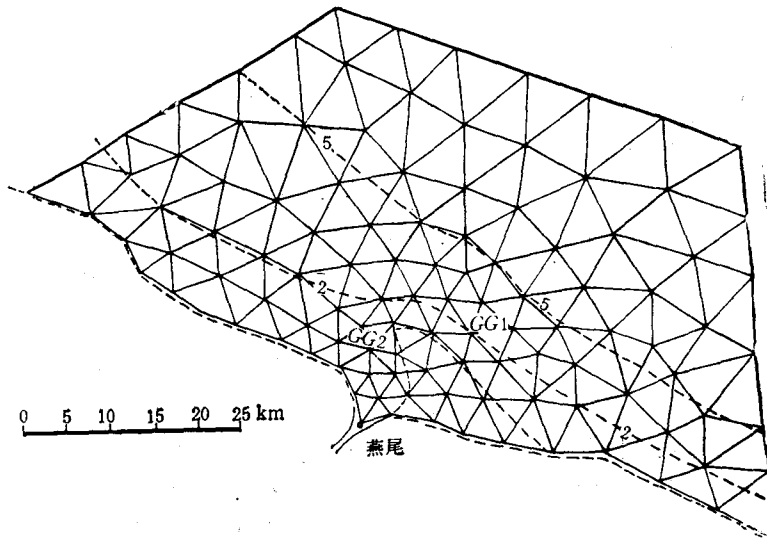


图2 小范围计算域的有限元网格剖分

Fig. 2 Sketch of nearshore area divided into finer elements

### 1. 潮流场的验证

方程(4)和(5)中除去波浪流阻力项和波浪辐射应力项,即为单独计算二维潮流场的运动方程。

用口内河道上游的4个挡潮闸的开闸流量作为一维计算的上边界条件,取1985年7月19日大潮的水位过程作为二维水域的边界条件。口外边界水位测站的位置在刘圩和中山河口(图1)。水边界上各计算点的水位,是根据南黄海的潮波传播特性由岸边的实测水位作适当衰减得到的。各边界点在每一时步的水位值,则由拉格朗日4点插值公式得出。

只  $GG_1$  和  $GG_2$  两个测点有同步测流资料可供验证比较,而且此两点又处在偏于近岸的航道上,难以代表整个计算域的流态。因此,除了与实测流速进行比较外,还将计算潮流的椭圆率与历史资料进行比较。

一、二维联算的结果与1985年7月19日灌河口测验  $GG_1$  点、 $GG_2$  点(口外)和陈港断面(口内)的垂线平均流速以及燕尾港的潮位进行比较,结果示于图3。图3表明,燕尾港的计算水位与实测值符合很好,口内陈港断面的计算流速也与实际情况有很好的吻合。口外  $GG_1$  点和  $GG_2$  点的计算流速,其位相与实测颇为符合,但流速量值略偏小,在小潮情况偏差较大。这与口门处的地形比较复杂,概化比较困难有关。

口外余流的计算值与实测值极为相近。 $GG_1$  点的实测余流为  $0.07\text{m/s}$ , 方向  $100^\circ$ ; 计算值为  $0.08\text{m/s}$ , 方向  $90^\circ$ 。

表1中将计算的潮流椭圆率与由历史资料经调和与分析得到的潮流椭圆率作了比较。

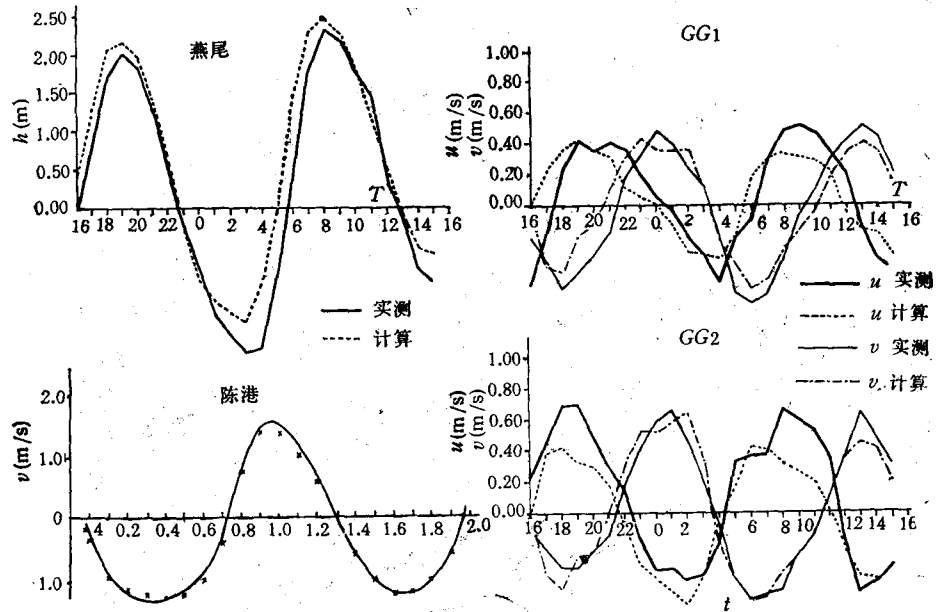


图3 一维河道及二维水域的水位及流速验证结果

Fig. 3 Comparison between numerical results and field data

图4为计算的大潮潮流场,图5为历史资料中的大潮实测结果。两个图中都用矢量表示潮流的周期性变化。由表和图可以看出,计算的流场无论在潮流的椭圆率方面,还是在潮流的旋转性、潮流量值方面都与实测值吻合。

表1 灌河口外潮流椭圆率(K值)比较

Tab. 1 Comparison of tidal ellipticity (K value)

| 测站    | 201  | 202  | 301  | 302  | 401  | 402  | 501  | 502  | 平均   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 调和分析* | 0.15 | 0.30 | 0.45 | 0.34 | 0.70 | 0.45 | 0.54 | 0.49 | 0.43 |
| 数值计算  | 0.25 | 0.15 | 0.50 | 0.45 | 0.70 | 0.60 | 0.65 | 0.50 | 0.48 |

\* 谢金赞,灌河口外水文情势和航道演变。

## 2. 波浪沿岸流场的验证

将方程(4)和(5)中的潮流阻力项去掉,恢复波浪流阻力项和波浪辐射应力项,即得波浪沿岸流的控制方程。此时方程中的 $h$ 纯属波浪引起的水位超高, $u$ 和 $v$ 分别为波浪流在 $X$ 、 $Y$ 两个方向的分量。

### (1) 波动参数的确定

据有关研究<sup>1)</sup>分析,灌河口外海区5级风以下基本是清水,6级风以上海水开始混浊。6级风产生的波浪其波高达2.5m左右。我们关心的是能掀起泥沙的大浪,为此,计算中取深水波高 $H_0 = 2.8\text{m}$ ,波周期 $T = 9\text{s}$ ,波向为NE( $\alpha_0 = 60^\circ$ )。据此,查得破波角 $\alpha_b = 20^\circ$ ,破波波高 $H_b = 3.9\text{m}^{[5]}$ 。按孤立波理论,破波水深 $D_b$ 与破波波高的关系为

1) 连云港外海航道淤积试验报告,1985。河海大学连云港组。

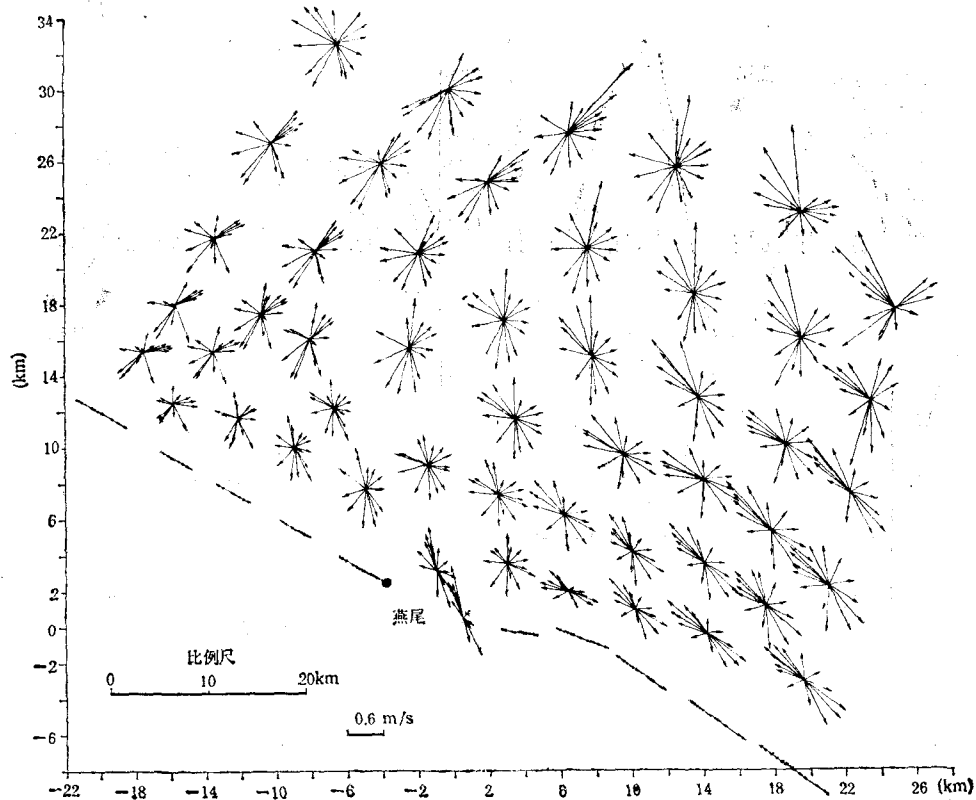


图4 口外二维水域1985年7月19日(大潮)计算全潮周期流速矢量

Fig. 4 Computer plots of calculated tidal current

$D_b/H_b = 1.28$ , 所以  $D_b = 1.28 \times 3.9\text{m} \cong 5.0\text{m}$ 。

(2) 其它参数的确定

深水波速  $c_0 = \frac{gT}{2\pi} = 14.0\text{m/s}$ ; 底坡

$$\text{tg } \phi = \frac{d(D+h)}{dy} = \frac{1}{2000};$$

X轴与岸线的交角  $\beta = 15^\circ$ ,  $\sin \beta = 0.26$ ; 破波带内的浅水系数  $r = 0.8$ ; 波浪流底摩擦系数  $C_2 = 0.01$ ; 水平粘滞系数  $A_L = 10$ 。

(3) 边界条件的确定

口内河道的上边界条件仍为开闸流量; 二维水域的开边界取  $h(x) = 0$ , 即假定在边界处没有波浪作用。

(4) 计算结果

图6为计算波浪流瞬时流场图。可以看出, 波浪流的方向为NW向, 基本与岸线平行, 其平均量为  $0.05\text{m/s}$ 。因为缺乏波浪流的实测资料, 计算结果只能用各种简化计算公式的结果作验证比较(见表2)。

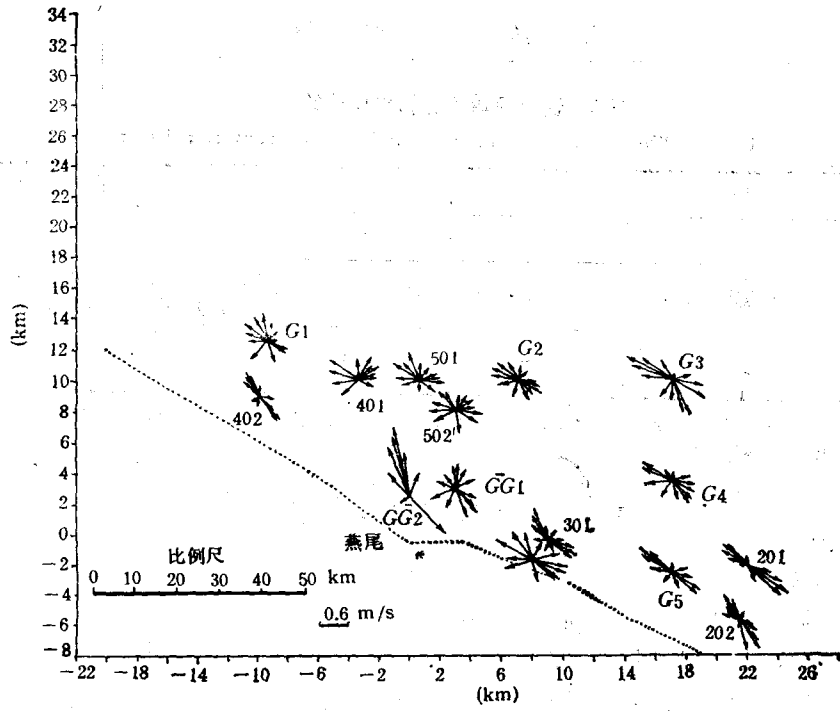


图5 1980—1985年间灌河口外实测全潮流速矢量  
 Fig. 5 Computer plots of field tidal current

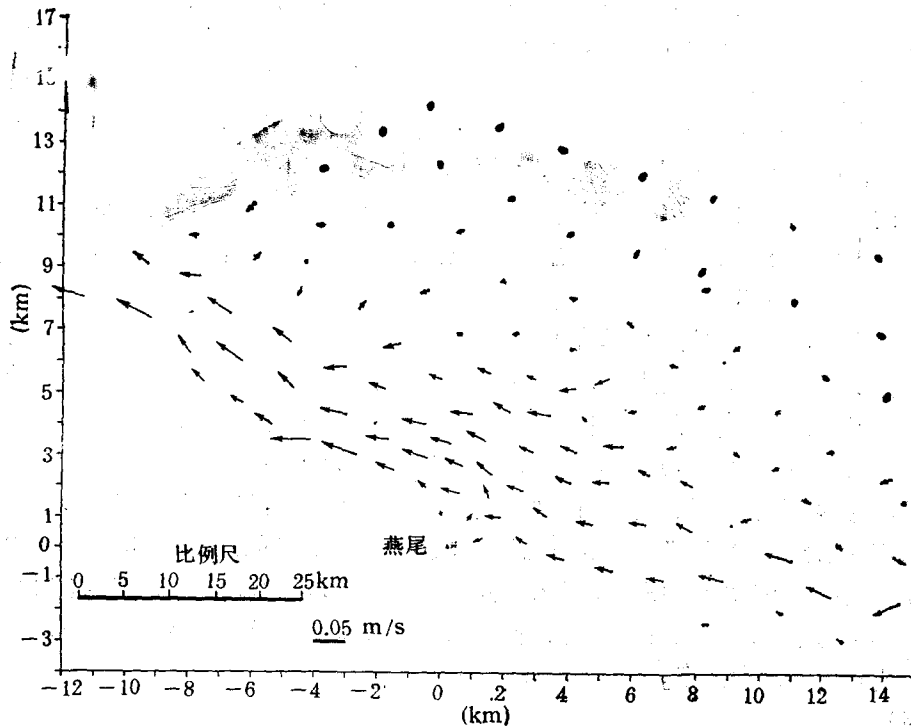


图6 灌河口外计算波浪沿岸流流速矢量  
 Fig. 6 Computer plots of wave induced longshore current



表 2 波浪沿岸流计算结果比较

Tab. 2 The comparison of wave induced current calculation

| 方法              | Longuet-Higgins                 |  | Galvin                   | Bijker   | 数值计算 |
|-----------------|---------------------------------|--|--------------------------|--|------|
|                 | 1                               | 2  |                          |  |      |
| 公式              | $20.7m(gH_b)^{1/2}\sin 2\alpha$ | $\frac{5\pi}{8} \frac{m}{C_f} u_m \cdot \sin \alpha_b$ | $K_g m T \sin 2\alpha_b$ | $\frac{5\pi}{8} \frac{\sqrt{g}}{\sqrt{2}} m \sin \phi_0 \frac{\gamma h c}{c_0 \sqrt{f_w}}$ |      |
| $u(\text{m/s})$ | 0.04                            | 0.05   | 0.04                     | 0.06   | 0.05 |

注:  $H_b$  为破波波高;  $C_f$  为底摩擦系数;  $K_g$  为常数;  $U_m$  为底部波动质点的轨迹速度;  $\alpha$  为入射波波向角;  $c_0$  为深水波速;  $f_w$  为摩擦系数。

### 三、计算结果及讨论

#### 1. 计算结果

计算了洪、枯两季大、中、小潮六种情况下的沿岸流。

口外海区的潮流为逆时针旋转流(图4)。椭圆长轴的分布与以往的研究结果<sup>1)</sup>基本一致。潮流的大小及旋转性由岸边向离岸逐渐增大,近岸区基本为往复流。在河口东侧的近岸水域,涨潮流向为 $100-120^\circ$ ,落潮流向为 $290-310^\circ$ ;西北侧的涨潮流向为 $200-245^\circ$ ,落潮流向为 $20-60^\circ$ 。计算海区的落潮流历时比涨潮流长 $0.5-1.0$ 小时。离岸区的最大涨潮流速为 $0.6-1.2\text{m/s}$ ,最大落潮流速为 $0.6-1.0\text{m/s}$ ,大潮的流速平均比小潮约大 $0.2\text{m/s}$ 。近岸区的余流值为 $0.04-0.08\text{m/s}$ 。值得特别指出的是,由于灌河径流和潮流的交会以及口门处的特殊地形,在口门外形成了一个范围不大的小流速区。用大网格计算时这个小流速区几乎没有反映出来,但用加密网格在小范围计算时,小流速区明显地显现出来。区内的流速很小,约为 $0.2\text{m/s}$ ,明显地低于口内的流速和周围的流速。区内呈现微弱环流的趋势,涨潮为顺时针向,落潮为逆时针向。图7为口门附近小范围用加密网格计算的流场图,图中用虚线勾划出小流速区的范围。从图中可以看出,小流速区的位置基本上与口门沙咀的位置相对应。

灌河上游有四个挡潮闸,洪季开闸放水。在一般情况下开闸与否对口外流场的影响并不明显。计算中,洪季的上边界为上游挡潮闸的开闸流量,枯季为关闸流量。因为两者差别不大,所以计算的洪、枯季口外流场差别也不大。洪、枯季径流量变化的影响只限于 $5\text{m}$ 等深线以内(图7中实线),影响流速的量值不大于 $0.03\text{m/s}$ 。

在破波带内,波浪沿岸流基本与等深线平行,方向为NW,量值为 $0.02-0.08\text{m/s}$ 。

比较潮流、径流和波浪沿岸流的量值发现,尽管在小流量时径流量对口外流场的相对影响较小,但在口门的特殊地形下,径流与潮流汇合形成口门附近的小流速区,这对口门复杂地形的塑造起着不可低估的作用。波浪沿岸流和余流的量值相当,在沿岸泥沙搬运中也是一支重要的动力因素。

#### 2. 讨论

本文对灌河口包括潮流、径流和波浪流在内的沿岸流进行数值模拟,分别经过验证计

1) 谢金赞,灌河口外水文情势和航道演变。

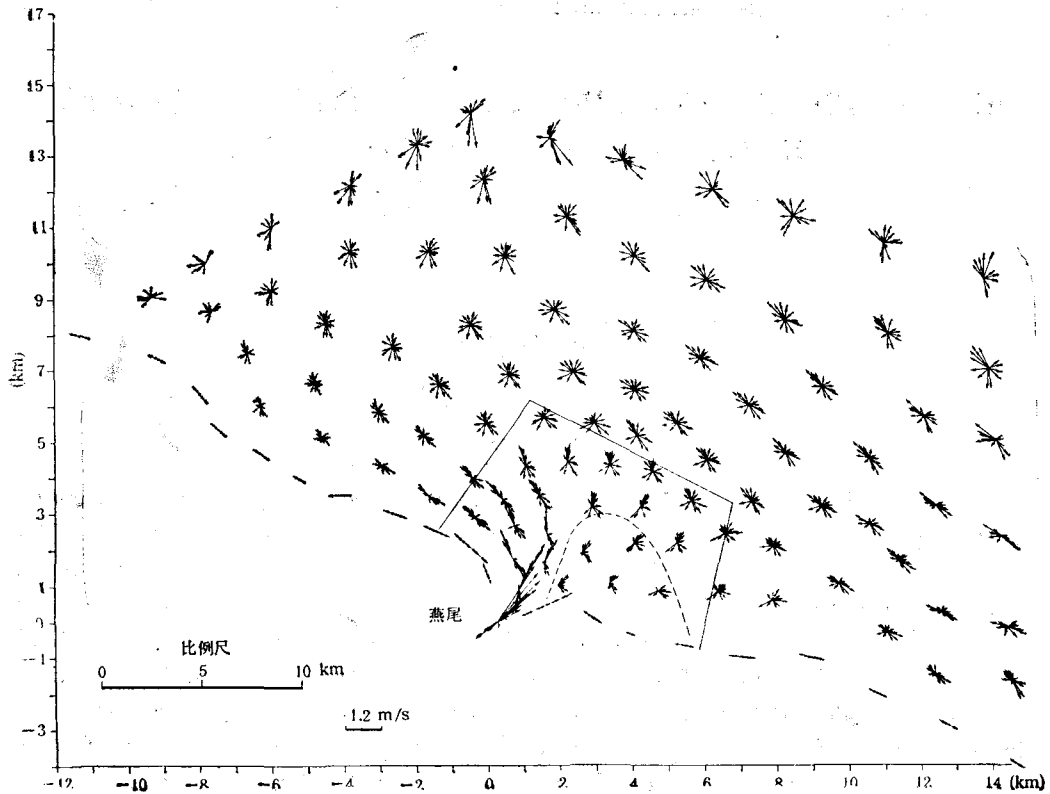


图7 小范围计算域1985年7月19日(大潮)加密网格计算全潮周期流速矢量

Fig. 7 Computer plots of tidal current pattern simulated with finer grids

算,比较正确地反映了口外沿岸流场的实际情况,弥补了现场观测资料的不足。特别是在沙咀的浅水区,由于观测手段的限制,在那里一直没有进行过潮流观测。计算结果对沙咀形成机理及演变规律的分析研究和治理方案的确定都具有实际意义。

在波浪流推算中,一般把坐标轴取得和岸线平行,从而只保留了波浪辐射应力项中的 $S_{xy}$ 分量<sup>[4]</sup>。本文的计算坐标轴与岸线不平行,保留了全部4个分量,使计算更具有普遍性。在计算格式上采用了三角形有限元格式,对地形和底形都有较好的吻合。

一、二维的连接方法对口门处的流场有重要影响,当模拟上游河流行洪对口外流场的影响时,口门处应作特殊处理。

口外的实测资料偏少给验证计算带来了一定困难,也影响了计算成果的可信性。波浪流的计算尚属尝试,入射波高定为2.8m略显偏大。在以后的工作中应补充实测资料,作更进一步的验证。

### 参 考 文 献

- [1] 耿兆铨,1981。二维非恒定流的有限元计算。华东水利学院学报 1: 1—12。
- [2] 佐藤昭二、永井纪彦、小笹博昭,1978。波による海浜流の数值計算の一例。港湾技研资料 290: 3—16。
- [3] Longuet-Higgins, M. S., 1970. Longshore currents generated by obliquely incident sea waves. *Journal of Geophysical Research* 75(33): 6778—6789.
- [4] Per Bruun, 1981. *Port Engineering*. (Third edition). Gulf Publishing Company, Houston, pp. 496—508.

- [5] U. S. Army Coastal Engineering Research Center, 1977. Shore Protection Manual. Vol. 1. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., pp. 2-120—2-127.

## THE NUMERICAL MODELING OF LONGSHORE CURRENT OF GUANHE RIVER ESTUARY

Zhang Dongsheng, Xie Jinzan

(Hohai University, Nanjing)

and

Zheng Xiaoping

(Planning Committee of Minjiang River, Fuzhou)

### ABSTRACT

The Guanhe River estuary, which has an irregular geometry and bottom topography complicated by the entrance bar, is open to the South Huanghai Sea (Yellow Sea). Tides enter the estuary up to the top at which four sluices were set up. Freshwater enter through sluices during flood periods, and mix with sea water within the inner part and the outer part of the estuary. The dominant wind influencing Guanhe River estuary is from NE, and wave induced current is expected from SE to NW. The longshore current of Guanhe River estuary, which includes tidal current, run-off and wave induced current, plays an important role in the formation of the entrance bar. Numerical simulation has been carried out for the Tidal current considering the influence of run-off and wave induced current. Some results of model verification and current calculation are presented here in the hope of giving a reasonable explanation of the entrance bar formation.

The modeled domain included a trapezoid region 60 km by 40 km for the outer part of the estuary and a river section with three crosspoints at the upper end for the inner part.

The computation was performed by 1D explicite characteristic difference model for the inner part and 2D 3 nodal finite element model for the outer part. Wave induced currents were calculated by considering radiation stress terms in the equation set.

There is a close agreement between computed tidal current and the field data. The field data used for verification were derived from the observation of Guanhe River estuary in July 1985. The agreement between computed and observed currents is strong with regard to phase, flow direction and occurrences of strong and weak currents. However, the model generally underestimates the magnitudes of the currents of the entrance area especially during neap tides. The computed residual currents are in good agreement with those derived from observation. The wave induced currents were simulated and the simulated results are in good agreement with the results calculated by different formula.

The computed current charts in the outer part, including those obtained with finer grids in the region surrounding the entrance bar, are presented. It is noticed that the existence of the river channel must influence the current pattern of the region around the entrance, although river discharge variations under normal condition have less importance to current patterns of the outer part. There is a small velocity area near the entrance bar. The small velocity area discovered by the tidal current simulation presents a reasonable explanation about the mechanism of the formation of the entrance bar.