

黄河三角洲海区 2010 年潮波分布特征的数值预测*

郝 琰 乐肯堂 刘兴泉

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 利用二维非线性数值模式,对三角洲邻近海域的潮汐潮流进行了模拟,并根据 2010 年黄河三角洲的预测岸线,预测了该海区 2010 年各主要分潮的分布特征以及最大可能流速分布。数值预测的结果显示 2010 年黄河口附近海区的潮波分布与目前相比将不会有显著变化。

关键词 黄河三角洲海区,潮波分布特征,数值预测

黄河以水少沙多著称。黄河径流每年携带大量泥沙入海,泥沙淤积形成大片拦门沙,致使黄河三角洲不断向海域推进,因而导致其滨海大陆架区的潮波运动也有较明显的年际变化。由于黄河三角洲地区水产资源丰富,又是胜利油田的所在地,因此,预测该海区未来几年潮波运动的变化趋势对该地区经济发展规划具有重要意义。

本文根据黄河水利委员会山东水文水资源局和山东省水利科学研究院联合绘制的“黄河三角洲海岸线变迁及预测图”^①,对 2010 年黄河三角洲海区的潮汐潮流特征值进行了数值预测。同时,在乐肯堂等^[1,2]的工作基础上,本文还模拟了 1976、1988 和 1992 年的潮汐潮流场,分析了近几十年来黄河三角洲地区潮波运动的发展趋势。

1 岸线及水深场的确定

1.1 岸线的确定

黄河水利委员会山东水文水资源局和山东省水利科学研究院根据利津站多年实测输沙量和 1976 ~

1992 年沙嘴淤积延伸的面积及长度,考虑到近些年的水土保持效益、减沙效益和 1996 年小改道以及河口流路规划中的北汉 1 改道等因素,采用地貌模拟方法,绘制了“黄河三角洲海岸线变迁及预测图”。

1.2 水深场的确定

以“黄河三角洲海岸线变迁及预测图”和 1992 年实测水深图为基础,根据外海 20 m 水深线以外深度不变的原则,将 1992 年水深场进行内插和规律外推,作为 2010 年的水深场。

2 数值计算模式

2.1 基本方程

* 中国科学院重点资助项目 KZ952-SI-424 号和山东省科委软办资助项目 971-8 招;中国科学院海洋研究所调查报告第 3848 号。

① 庞家珍等,1998,黄河三角洲岸线变化及其发展趋势(内部报告)

收稿日期:1999-09-10;修回日期:1999-11-20

在笛卡尔直角坐标系中,二维非线性潮波运动方程组为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_H \Delta u - g \frac{u(u^2 + v^2)^{1/2}}{C^2(H + \zeta)} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_H \Delta v - g \frac{v(u^2 + v^2)^{1/2}}{C^2(H + \zeta)} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [u(H + \zeta)]}{\partial x} + \frac{\partial [v(H + \zeta)]}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, x, y 分别为向东和向北为正的 Cartesian 坐标轴; 其对应的潮流流速分量分别为 u, v ; ζ 为潮位, H 为水深, t 为时间, f 为 Coriolis 参量, g 为重力加速度, C 为 Chezy 系数, A_H 为侧向涡动黏性系数, Δ 为平面 Laplace 算子。

2.2 边界条件和初始条件

边界条件: 海岸处取法向流速为零; 在开边界处, 取

$$\zeta = H_i \cos(qt - g), \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2)$$

其中, $i = 1$, 对应于 m_1 分潮, 即 $(K_1 + O_1)/2$ 分潮; $i = 2$, 对应于 M_2 分潮; $i = 3$, 对应于 S_2 分潮。开边界处的调和常数 H_i 和 g ($i = 1, 2, 3$) 由乐肯堂等^[1]的计算值内插得到。

初始条件: $u = v = \zeta = 0$ 。

2.3 计算方法

计算方法见图 1。

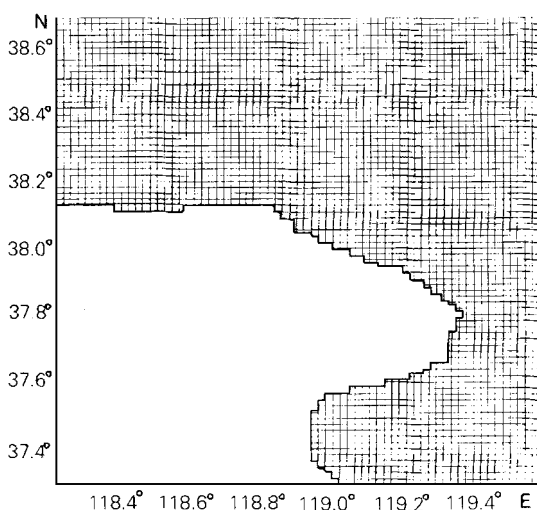


图 1 黄河口数值计算网格

Fig. 1 Computational grid of Huanghe Estuary

数值模拟的区域: $118^{\circ}10' \sim 119^{\circ}40' E, 37^{\circ}12' \sim 38^{\circ}40' N$; 空间步长: $\Delta x = \Delta y = \Delta s = 2.0 \text{ km}$; 网格点数目: 66×77 。

利用 Leendertse 交替方向隐式格式进行差分处理。底摩擦系数取为 $C = \frac{1}{n} H^{1/6}$, n 为 Manning 系数, 计算中取 $n = 0.01$ 。根据 CFL 条件, 取 $\Delta t = 839 \text{ s}$ 。每当计算进行到潮周期的 $1/24$ 时刻时, 就把该时刻的 u, v 和 ζ 值与前一个周期对应时刻的相应值进行比较, 求出最大偏差 ε 。当单位 $\varepsilon \leq 0.1$ (对于潮汐, 为 cm ; 对于潮流, 为 cm/s) 时, 认为潮波运动已经达到稳定状态。

2.4 模式验证

为了检验本文数值模式的适用性, 乐肯堂等 1995 年曾经用该模式计算了渤海各验潮站的主要分潮, 并将计算结果与实测值进行比较。其比较结果已发表在“黄河口的变迁对邻近海区潮波运动影响的数值研究”一文中^[1]。从其结果来看, 模式是适用的。

3 计算结果的讨论

为了与前人的工作进行衔接、比较, 本文除了对黄河三角洲海区 2010 年的潮波特征进行了数值预测外, 还分别计算了 1976, 1988, 1992 年的潮汐潮流要素, 列出了各年规则全日潮和 M_2, S_2 无潮点的位置表(表 1, 表 2, 表 3); 绘制了各年主要分潮的潮型系数分布图(图 2)、和最大可能流速分布图(图 3) (其中, 1855, 1934, 1968 和 1984 年的数据取自文献[2])。

从所绘制的图表中分析得出:

全日潮

从表 1 中可以看出, 规则全日潮区与地形变化密切相关。1976 年改道以前, 黄河口处由于泥沙堆积年年向东北扩展(1964 年改道也未影响该趋势), 规则全日潮区也向东北迁移。1976 年改道以后, 黄河口向东南方向延伸, 规则全日潮区也随之移向东南。按此规律, 若 2010 年地形如预测的那样向东北扩展, 那么规则全日潮区也应随之向东北迁移。本文数值模拟恰恰证实了这一点。表 1 中的数据显示, 2010 年规则全日潮区中心位置的潮型系数比 1992 年有所增大, 即该处全日潮更占优。

半日潮

早期人们提出“由于泥沙淤积, 黄河口延伸, M_2 无潮点可能会消失”的观点。由表 2 可以看出, 1976 年

表 1 黄河三角洲沿岸规则全日潮的位置

Tab.1 Location of the regular diurnal tide along Yellow River Delta

年代	序号	位置		潮型系数值 ($H_K + H_O$)/ H_{M_2}	年代	序号	位置		潮型系数值 ($H_K + H_O$)/ H_{M_2}
		北纬	东经				北纬	东经	
1855	1	37°26′	118°52′	4.2	1984	1	37°48′	119°06′	7.2
	2	37°28′	118°50′	5.1		2	37°48′	119°06′	10.3
	3	37°30′	118°50′	5.1		3	37°50′	119°06′	11.8
	4	37°32′	118°48′	6.3		4	37°52′	119°04′	9.5
	5	37°34′	118°46′	5.1		5	37°54′	119°04′	9.4
	6	37°38′	118°46′	5.9		6	37°56′	119°02′	7.4
	7	37°40′	118°44′	5.9		7	37°58′	119°00′	6.6
	8	37°42′	118°44′	7.4					
1934	1	37°42′	118°58′	5.2	1988	1	37°51′	119°12′	6.0
	2	37°44′	118°58′	6.9		2	37°52′	119°09′	6.6
	3	37°46′	118°56′	4.1		3	37°54′	119°08′	7.5
	4	37°48′	118°56′	10.0		4	37°56′	119°05′	6.1
	5	37°50′	118°56′	28.0		5	37°58′	119°01′	5.3
	6	37°52′	118°56′	25.5		6	38°00′	118°58′	5.1
	7	37°54′	118°56′	4.5		7	38°02′	119°00′	4.2
	8	37°56′	118°56′	10.3	1992	1	37°49′	119°11′	4.2
	9	37°58′	118°56′	5.8		2	37°50′	119°09′	4.4
1968	1	37°46′	119°02′	5.9		3	37°51′	119°08′	4.5
	2	37°48′	119°02′	5.1		4	37°52′	119°06′	4.4
	3	37°50′	119°00′	4.3		5	37°53′	119°05′	4.3
	4	37°52′	119°06′	5.1					
	5	37°54′	119°02′	7.1	2010	1	37°54′	119°20′	4.3
	6	37°56′	119°02′	21.7		2	37°55′	119°18′	7.1
	7	37°58′	119°00′	7.4		3	37°57′	119°15′	9.5
	8	38°00′	119°00′	4.9		4	37°58′	119°11′	5.8
1976	1	37°53′	119°05′	4.3		5	37°59′	119°08′	4.4
	2	37°55′	119°04′	6.2					
	3	37°58′	119°02′	10.7					
	4	38°00′	119°01′	9.2					
	5	38°02′	119°01′	6.2					

改道后, M_2 分潮无潮点处的振幅比改道前明显增大。而改道后这些年来, 无潮点处的振幅却变化不大, 其位置随着地形的变化而有所改变。这说明在相当长的一段时间内, M_2 分潮的无潮点不会消失。本文数值模拟结果显示, 2010 年的 M_2 和 S_2 分潮的无潮点仍将存在, 其中心位置的振幅变化不大, 只是向东偏移较大。

最大可能潮流流速分布

乐肯堂等 (1995) 曾对黄河口实测流场资料进行分析, 发现该海域存在两个高速流动区, 即神仙沟外高速流动区和行水期黄河口外高速流动区。由图 3 可以看出, 在本文所模拟的各年份中, 这两处高速流动区明显存在。也就是说, 模拟结果与实测资料比较吻合。图 3 显示, 2010 年神仙沟外高速流动区的中心流速仍可超过 120 cm/s, 其范围比 1992 年稍小。而黄河口外高速流动区由于黄河口的向东延伸而接近模拟

表 2 M_2 分潮无潮点的位置

Tab.2 Location of the amphidromic point of M_2 constituent

年份	无潮点位置		无潮点处的 M_2 分潮振幅 (cm)	年份	无潮点位置		无潮点处的 M_2 分潮振幅 (cm)
	北纬	东经			北纬	东经	
1855	37°48′	119°05′	0.92	1984	37°54′	119°06′	3.93
1934	37°52′	118°59′	0.11	1988	37°55′	119°08′	4.09
1968	37°57′	119°04′	0.52	1992	37°55′	119°06′	3.60
1976	38°02′	119°02′	3.68	2010	37°57′	119°14′	4.15

表 3 S_2 分潮无潮点的位置

Tab.3 Location of the amphidromic point of S_2 constituent

年份	无潮点位置		无潮点处的 S_2 分潮振幅 (cm)	年份	无潮点位置		无潮点处的 S_2 分潮振幅 (cm)
	北纬	东经			北纬	东经	
1855	37°40′	118°44′	0.27	1984	38°00′	118°56′	1.88
1934	37°58′	118°58′	1.60	1988	38°04′	119°02′	1.82
1968	37°59′	118°58′	1.43	1992	38°00′	119°00′	1.68
1976	38°04′	119°01′	1.75	2010	37°58′	119°08′	1.82

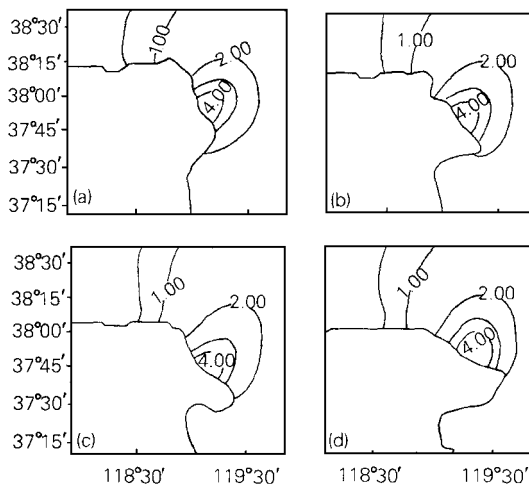


图 2 潮型系数 $(H_1 + H_4) / H_2$ 的分布
(a) 1976 年, (b) 1988 年, (c) 1992 年, (d) 2010 年

Fig.2 Distribution of the tidal type

区域的边缘,但仍隐约可见。

4 结语

本文的研究表明, 2010 年黄河口附近海区的潮流场与目前相比将不会有太大的改变。2010 年, 该海区 M_2 和 S_2 分潮的无潮点不会消失, 两个高速流动区也仍然存在。与 1992 年相比, 该海区的规则全日潮区和 M_2 分潮的无潮点将向东北方向移动。

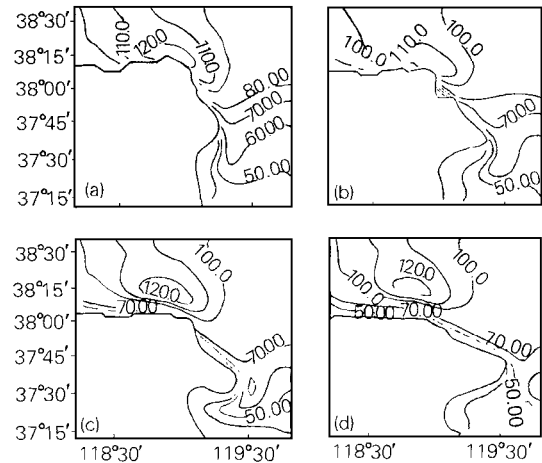


图 3 最大可能流速分布 (cm/s)

(a) 1976 年, (b) 1988 年, (c) 1992 年, (d) 2010 年

Fig.3 Distribution of the probable maximum tidal current

从数值模拟的结果来看, 自从 1976 年黄河口改道以来, 黄河三角洲滨海大陆架区的潮波分布特征虽然因三角洲不断向海扩展而逐渐变化, 但其总体特征无很大变化。在各分潮诸多要素的特征中, 无潮点位置的变化相对来讲是比较显著的, 这主要是由于黄河口处泥沙淤积造成的。

参考文献

- 1 乐肯堂 刘兴泉 史久新. 海洋科学集刊. 1995, 36: 33 ~ 46
- 2 乐肯堂 周参武. 海洋科学集刊, 1995, 36: 93 ~ 109

A NUMERICAL PREDICTION OF THE TIDAL CHARACTERISTICS IN 2010 OFF YELLOW RIVER DELTA

HAO Yan LE Ker-tang LIU Xing-quan

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences Qingdao 266071*)

Received: Sep., 10, 1999

Key Words: Yellow River Delta, Tidal characteristics, Numerical prediction

Abstract

Based on the predictive coastal line of Yellow River Delta in 2010, a two dimensional nonlinear numerical model is used to study the tidal characteristics off the Yellow River Delta. The predicted character of the main constituents and the distribution of the probable maximum current velocity are obtained. The results of the numerical modeling of the years 1976, 1988, 1992 and 2010 show that the location of the regular diurnal tide and the location of the amphidromic point of M and S constituents have close relationship with the topographic changes of the Yellow River Delta. Compared to year 1992, the amphidromic point of M and S constituents in 2010 will still exist, but they will move eastward greatly.

(本文编辑:张培新)