

清水沟流路期间黄河三角洲区 潮波运动的模拟和预测*

乐肯堂 刘兴泉 郝 琰 于康玲

(中国科学院海洋研究所)

为了探讨黄河三角洲附近潮波运动的变化特征,乐肯堂等(1995)用二维数值模式模拟了 1855—1984 年该海区的潮汐和潮流的分布变化,并着重考察了 M_2 和 S_2 分潮的无潮点,以及规则全日潮区的位置变化。乐肯堂等(1995)的研究表明,黄河尾间的摆动以及由此而造成的黄河三角洲之进退,是该海区潮波特征发生变化的主要外因。自从 1976 年黄河尾间改道清水沟以来,该流路已稳定运行了 20 多年,由此造成了河口附近沙嘴不断向莱州湾内延伸,因而对该区的潮波分布特征产生了显著影响。从黄河三角洲区的经济可持续发展和海洋生态环境的可持续发展的目的出发来规划今后黄河尾间的走向,就必须对以下两个问题进行深入研究:(1)清水沟流路是否还能长期稳定下去;(2)如果清水沟流路长期稳定不变,并且按照清水沟流路期间黄河三角洲向莱州湾推进的方式来推演 10 a 后黄河三角洲的形势,那么到 2010 年该区的潮波运动将会发生什么变化。为此,在本文中我们仍然采用乐肯堂等(1995)已经过验证的数值模式和数值预测的方法对上述问题作初步探讨。

一、清水沟流路期间黄河三角洲区潮汐、潮流的分布特征

众所周知,在 1976 年黄河改道清水沟流路以来的 20 多年中,由于黄河口区经济发展的需要,有关部门采取了若干稳定黄河尾间流路的措施,再加上近年来黄河断流的出现,使黄河尾间出现了相对稳定时期。因此,总体来看,这一时期潮波运动的变化比预想中可能出现的变化要小,但如从黄河三角洲滨海区的潮汐、潮流分布变化来看,这些变化也不应忽视。为此,我们以 1976 年、1988 年和 1992 年 3 组实测岸形和水深资料为基础,来模拟这一时期黄河三角洲海区潮汐、潮流的分布,并阐述其潮汐、潮流分布的变化特征。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4029 号。
中国科学院“九五”重点资助项目, KZ952-S1-424 号。
收稿日期: 2000 年 4 月 15 日。

(一) 潮汐性质的变化

图 1 (a—c) 为相应于上述 3 个年份的黄河三角洲滨海区潮型系数分布, 与乐肯堂等 (1995) 的结果相比可以看出, 自 1976 年黄河口改道清水沟流路以来的 20 多年中, 尽管黄河尾间段河道已处于相对稳定状态, 但由于泥沙冲淤过程的发展, 海岸线及其滨海区水深的变化仍较为显著, 从而对黄河口附近岸段潮汐类型的变化产生了影响, 这种影响的主要后果是, 随着黄河尾间不断地向莱州湾延伸, 使神仙沟至清水沟之间的不规则全日潮岸段和规则全日潮岸段的范围逐渐缩小。如果黄河尾间向海延伸的这种趋势持续下去的话, 那么三角洲沿岸的规则全日潮岸段有可能消失 (表 1 给出了上述岸段中出现规则全日潮的位置)。将表 1 中 1992 年与乐肯堂等 (1995) 的表 4 中 1968 年的规则全日潮的位置进行比较可以看出, 上述趋势已相当明显。

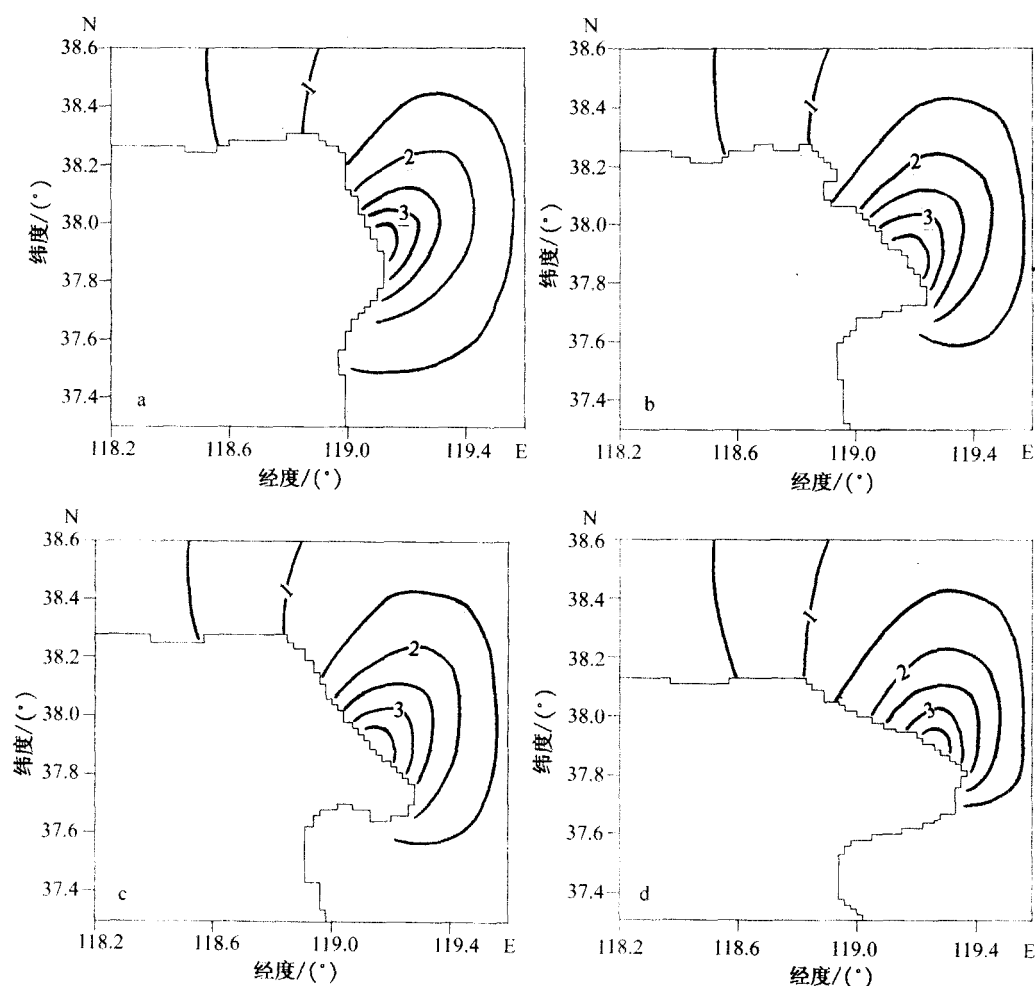


图 1 改道后黄河三角洲附近海区潮型系数 $(H_{K_1} + H_{O_1}) / H_{M_2}$ 的分布

a. 1976 年; b. 1988 年; c. 1992 年; d. 2010 年

表 1 清水沟流路期间黄河三角洲沿岸规则全日潮的站位

年份	序号	位 置		潮型系数值 ($H_{K_1} + H_{O_1}$) / H_{M_2}	潮汐性质
		北纬	东经		
1976	1	37°53'	119°05'	4.3	规则全日潮
	2	37°55'	119°04'	6.2	规则全日潮
	3	37°58'	119°02'	10.7	规则全日潮
	4	38°00'	119°01'	9.2	规则全日潮
	5	38°02'	119°01'	6.2	规则全日潮
1988	1	37°51'	119°12'	6.0	规则全日潮
	2	37°52'	119°09'	6.6	规则全日潮
	3	37°54'	119°08'	7.5	规则全日潮
	4	37°56'	119°05'	6.1	规则全日潮
	5	37°58'	119°01'	5.3	规则全日潮
	6	38°00'	118°58'	5.1	规则全日潮
	7	38°02'	119°00'	4.2	规则全日潮
1992	1	37°49'	119°11'	4.2	规则全日潮
	2	37°50'	119°09'	4.4	规则全日潮
	3	37°51'	119°08'	4.5	规则全日潮
	4	37°52'	119°06'	4.4	规则全日潮
	5	37°53'	119°05'	4.3	规则全日潮
2010	1	37°54'	119°20'	4.3	规则全日潮
	2	37°55'	119°18'	7.1	规则全日潮
	3	37°57'	119°15'	9.5	规则全日潮
	4	37°58'	119°11'	5.8	规则全日潮
	5	37°59'	119°08'	4.4	规则全日潮

(二) M_2 分潮分布的变化

图 2 给出了相应上述 3 个年份黄河三角洲附近海区 M_2 分潮的同潮图。比较图 2 和乐肯堂等 (1995) 的图 3 可以发现, 当黄河尾间处于清水沟流路相对稳定阶段时, 由于黄河尾间不断向海延伸, 使 M_2 分潮分布的变化仍然具有乐肯堂等 (1995) 指出的基本特征。值得注意的是, 在此阶段内 M_2 分潮无潮点位置的趋岸走向仍然在延续, 但其仍位于原有无潮带范围内, 然而在 $H_{M_2} \leq 3$ cm 的区间已难以发现。由于在清水沟流路期间原有无潮带中的潮汐振幅已显著增大, 因此如再用 $H_{M_2} \leq 3$ cm 作为划分这个带的判据已不适宜, 故在表 2 中给出的无潮带区间已改为 $H_{M_2} \leq 5$ cm。此外, 从表 2 中还可以发现, 在清水沟流路 (1976—1992 年) 期间 M_2 分潮无潮点的位置已略向东南移动, 这似乎与清水沟流路沙嘴向东南扩展有关。

这里需要指出的是, 由于 1855 年、1934 年和 1968 年的地形和水深资料取自乐肯堂等 (1995) 的部分内容, 而 1976 年、1988 年和 1992 年的地形和水深资料则直接取自现场观测数据, 因这两种数据在处理方式上并不相同, 且计算中的网距也不相同, 故从某种意义上说, 本文中不同方案的数模计算结果之间的比较仅具有相对意义。

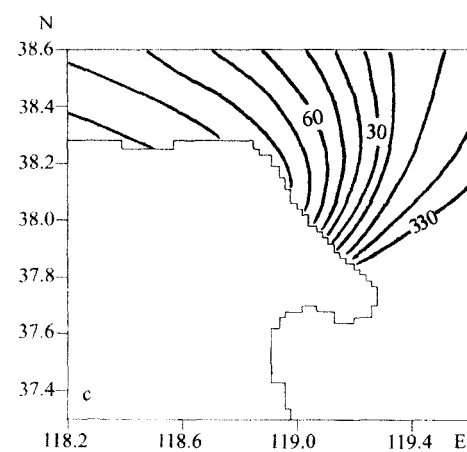
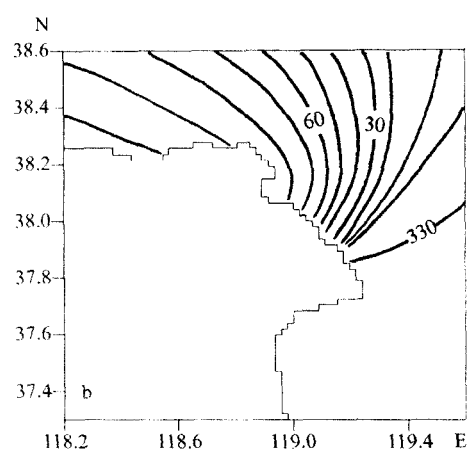
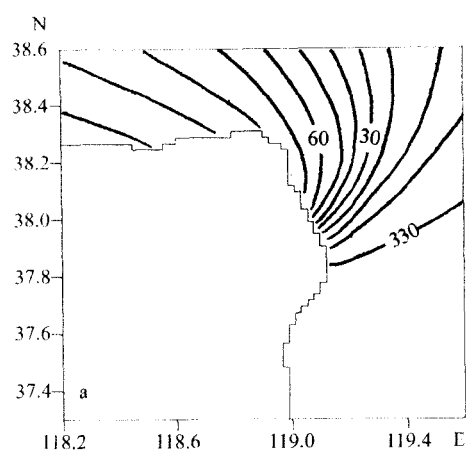


图 2A 改道后黄河三角洲附近海区 M_2 分潮等潮时线图/ ($^{\circ}$)

a. 1976 年; b. 1988 年; c. 1992 年

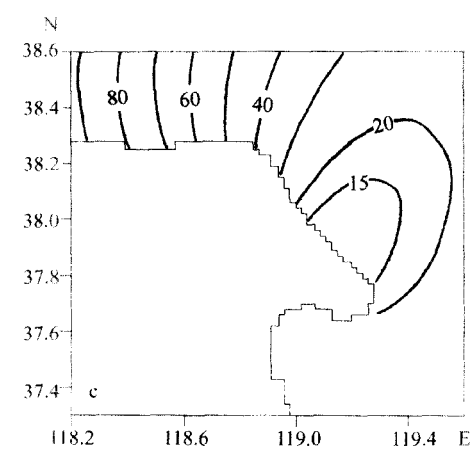
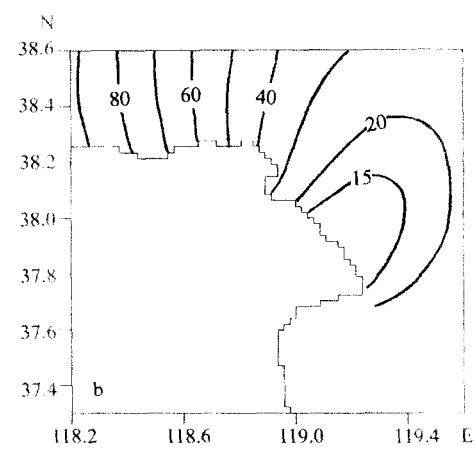
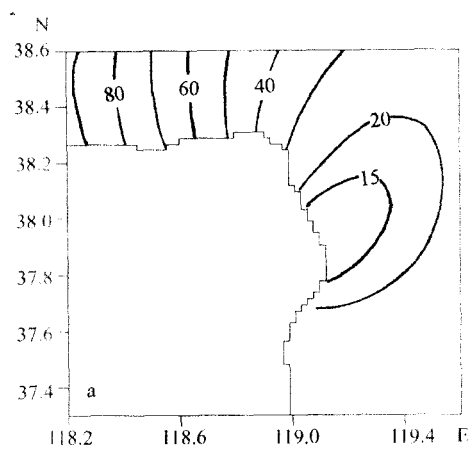
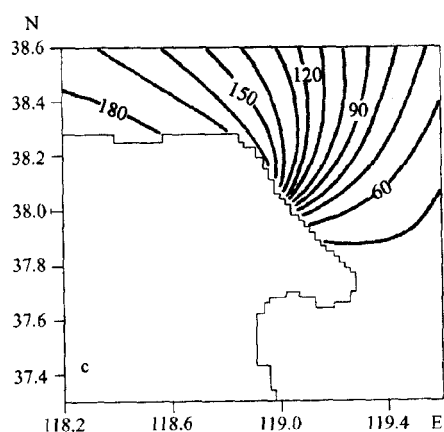
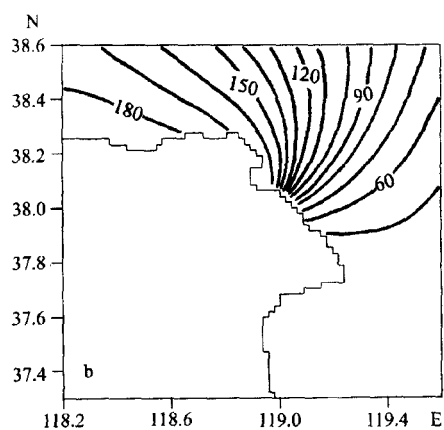
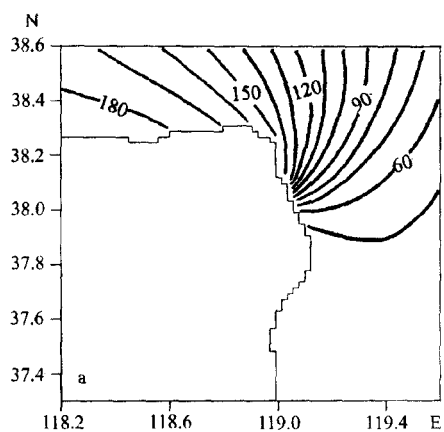


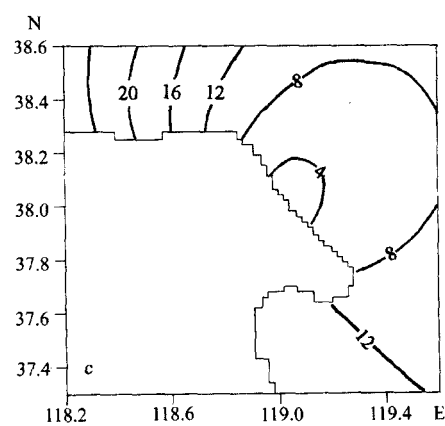
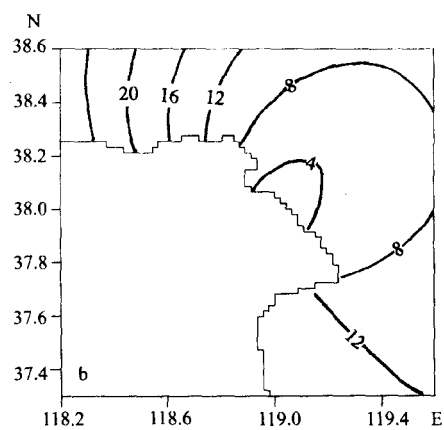
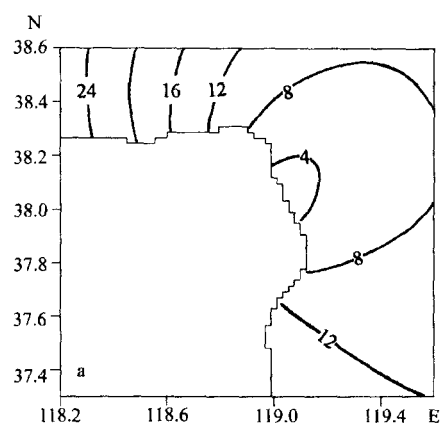
图 2B 改道后黄河三角洲附近海区 M_2 分潮等振幅线图/cm

a. 1976 年; b. 1988 年; c. 1992 年

(三) S_2 分潮无潮点的变化图 3A 改道后黄河三角洲附近海区 S_2 分潮同潮

时线图/(°)

a. 1976 年; b. 1988 年; c. 1992 年

图 3B 改道后黄河三角洲附近海区 S_2 分潮等振

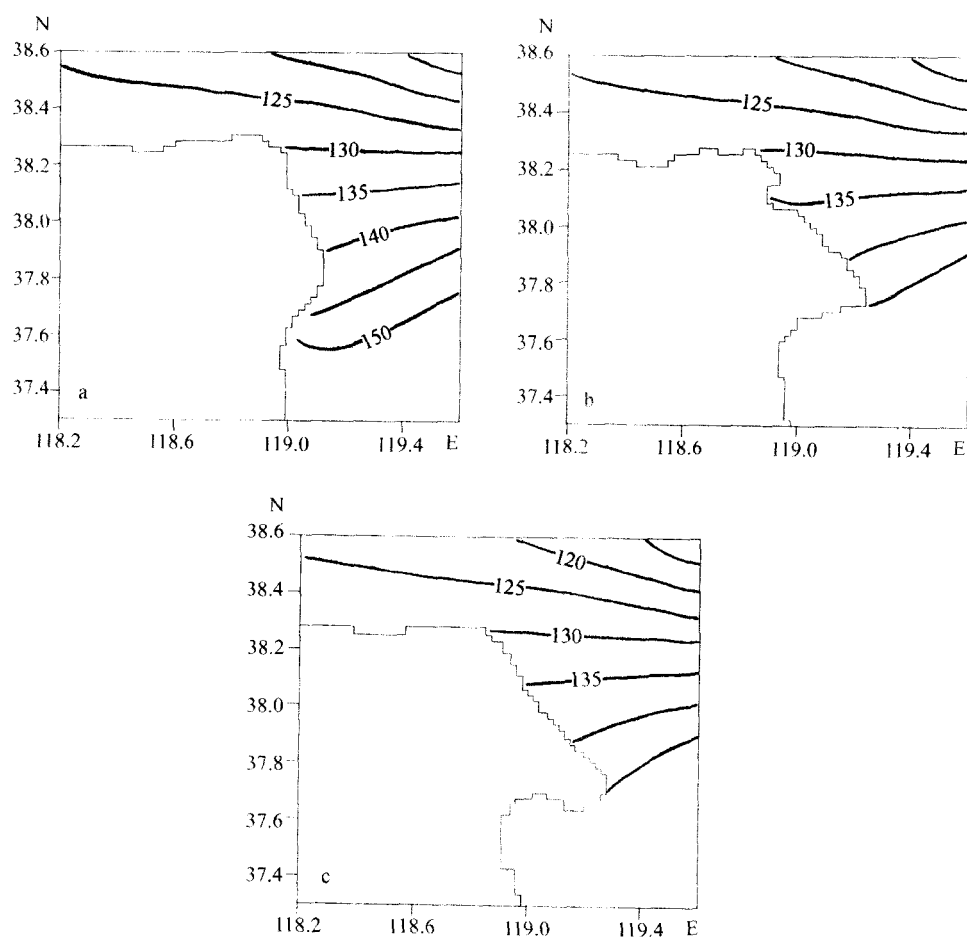
幅线图/cm

a. 1976 年; b. 1988 年; c. 1992 年

表 2 清水沟流路期间黄河三角洲附近海域 M_2 分潮无潮点位置的变化

年份	无潮带区间 ($H_{M_2} \leq 5$ cm)	无 潮 点 位 置		无潮点处的 M_2 分潮振幅/cm
		北纬	东经	
1976	37°58'—38°01'N 119°01'—119°06'E	38°02'	119°02'	3.68
1988	37°52'—37°58'N 119°06'—119°11'E	37°55'	119°08'	4.09
1992	37°52'—37°58'N 119°03'—119°08'E	37°55'	119°06'	3.60
2010	37°56'—37°58'N 119°13'—119°16'E	37°57'	119°14'	4.15

图 3 给出了 1976 年、1988 年和 1992 年 S_2 分潮的同潮图，与图 2 相比可以看出，在清水沟流路时期， S_2 同潮时线和等振幅线的变化不大；而无潮点的位置和该点处的潮

图 4A 改道后黄河三角洲海区 m_1 分潮同潮时线图/(°)

a. 1976 年; b. 1988 年; c. 1992 年

汐振幅虽有变化，但变化亦不显著。因此，如果黄河尾间流路不作大的改道，那么在将来 10 年内黄河三角洲外 S_2 分潮的无潮点仍将继续存在。

(四) m_1 分潮分布的变化

图 4 为清水沟流路期间 3 个年份（1976 年、1988 年、1992 年）的 m_1 分潮的同潮图，从图中可以看出，在清水沟流路期间，莱州湾近海的主要全日分潮的同潮时线和等振幅线的分布均无显著变化。但 1992 年黄河三角洲北岸外海 m_1 分潮的同潮时线和等振幅线的位置均比 1976 年和 1988 年有显著的位移，这种情况是否表明渤海海峡处 K_1 和 O_1 分潮无潮点的位置也会发生位移，尚待实测证实。

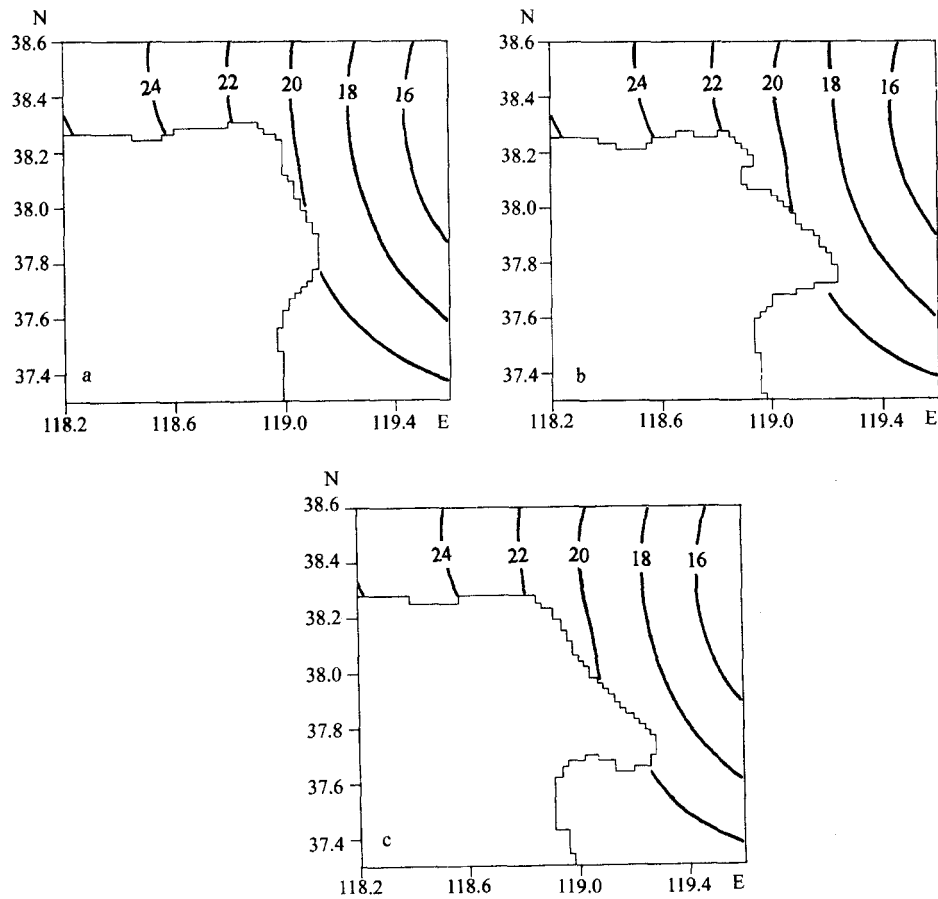


图 4B 改道后黄河三角洲海区 m_1 分潮等振幅线图/cm

a. 1976 年; b. 1988 年; c. 1992 年

(五) 最大可能潮流流速分布

图 5 是 1976 年、1988 年、1992 年和 2010 年最大可能潮流流速分布图。比较图 5 和图 4 可以发现,在清水沟流路期间,钓口河外和神仙沟附近的高速流动区已合二为一。1992 年,该高速流动区的范围已扩大了,其中心的流速也增加了。而清水沟外的最大可能潮流流速却明显小于海岸带调查(1984 年)时的结果,这一情况值得注意。

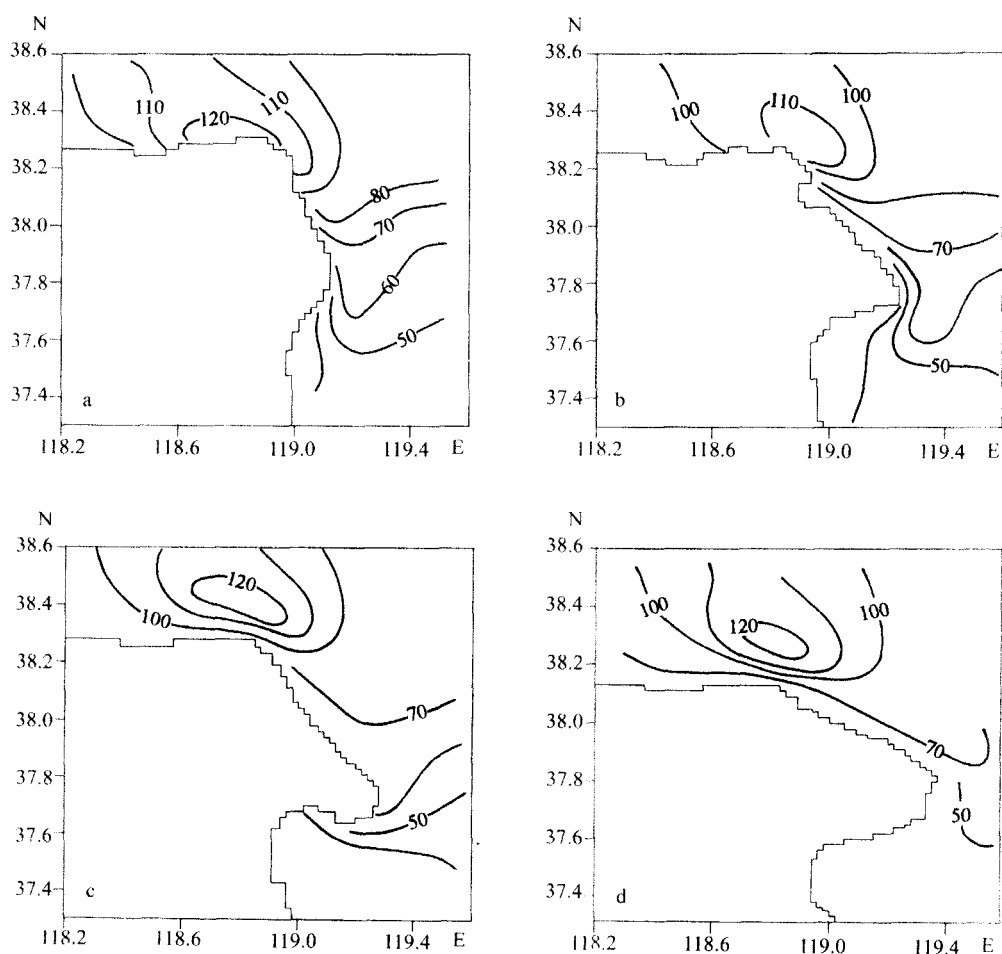


图 5 改道后最大可能流速分布/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$

a. 1976 年; b. 1988 年; c. 1992 年; d. 2010 年

表 3 清水沟流路期间黄河三角洲附近海域 S_2 分潮无潮点位置的变化

年份	无 潮 点 位 置		S_2 分潮振幅 /cm
	北纬	东经	
1976	38°04′	119°01′	1.75
1988	38°04′	119°02′	1.82
1992	38°00′	119°00′	1.68
2010	37°58′	119°08′	1.82

二、2010 年黄河三角洲区潮波运动变化趋势的数值预测

(一) 2010 年黄河三角洲区海岸线和水深场的推定

1. 2010 年黄河三角洲海岸零米线的推定

根据庞家珍等的论证¹⁾，利津站多年实测输沙量为 $9.2 \times 10^8 \text{t}$ ，但如果考虑到 70—80 年代黄河中、上游区水土保持工作的效益，估计该站每年输沙量能减少 $4 \times 10^8 \sim 5 \times 10^8 \text{t}$ 。同时，由于按照国家的部署，今后对黄河上、中游水土保持力度会加大，减沙效益也会日渐增加，因此，可以在 1992 年水深图基础上，按 1993 年起的 20 年间利津站年平均输沙量 $4 \times 10^8 \text{t}$ 进行估算，其总输沙量可达 $80 \times 10^8 \text{t}$ 。

由于最新的实测岸线和水深场的资料是 1992 年的，因此要据此推断 2010 年的零米线和水深场，只能采用地貌模拟方法。

(1) 1976—1992 年利津站输沙总量为 $118.6 \times 10^8 \text{t}$ ，而依上述估计，1993—2012 年利津站输沙总量应为 $80 \times 10^8 \text{t}$ ，因此可得基本权系数为 $80/118.6 = 0.715$ 。

(2) 利用 1976—1992 年沙嘴淤积延伸的面积及长度，对 1996 年 8 月的一次小改道及河口流路规划中的北汊 1 改道后的沙嘴前端采用最长的延伸距离，即采用 1976—1992 年共 16 年的沙嘴长度再乘以权系数；而对沙嘴的其余部分均采用已形成的清水沟沙嘴的相应部分乘以权系数或调整后的系数。

(3) 至于沙嘴两侧根部间的总宽度，黄河口历次形成的沙嘴范围均未超过 40km。

(4) 桩西油田以西近十余年来已形成相对稳定的海岸线，并已修建或正在修建稳固的防潮堤（此段海岸线沿用 1992 年实测结果）。同时考虑到 2010 年时清水沟沙嘴南端会出现部分蚀退，小岛河以南至小清河口岸也将会有少量淤进。

若按较保守的估计，1993—2012 年利津站年平均输沙量为 $5 \times 10^8 \text{t}$ ，则 20 a 间输沙总量可达 $100 \times 10^8 \text{t}$ ，这样最终推断出的零米海岸线应当在上述零米海岸线以外再延伸约 1/5。

2. 2010 年黄河三角洲近岸区（研究区）水深场的确定

2010 年研究区的水深场也是以 1992 年的实测水深图为基础，通过内插确定。海岸线以上述推定的海岸线作为冬季水深线，而外海水深线则假定为 20 m 的水深线不变，即大于 20 m 的水深与 1992 年的实测水深一致。而推定海岸线与 20 m 等深线之间的水深

1) 庞家珍、姜明星、李福林，1998，黄河三角洲海岸线变化及其发展趋势，黄河三角洲陆海相互作用对近海环境资源影响研究（内部报告）。

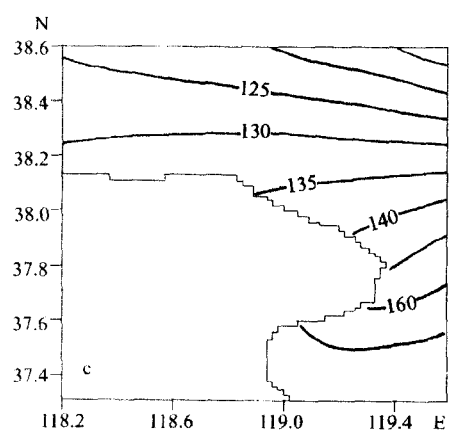
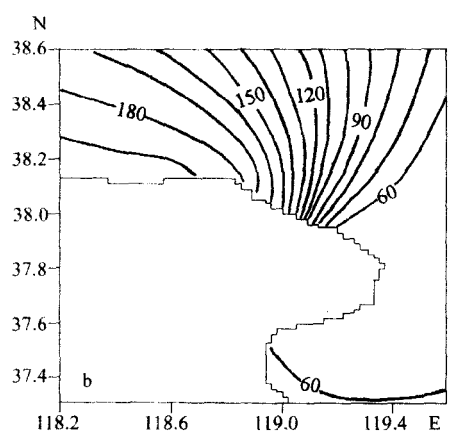
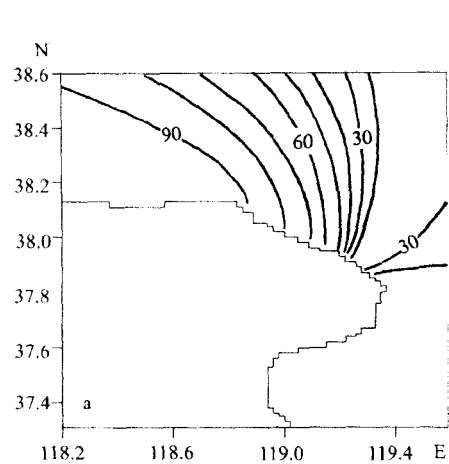


图 6A 2010 年的推算同潮时线图/(°)

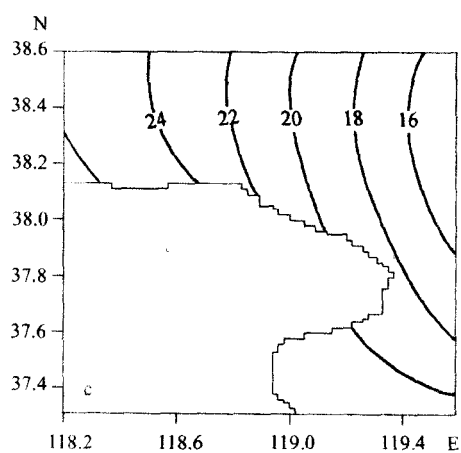
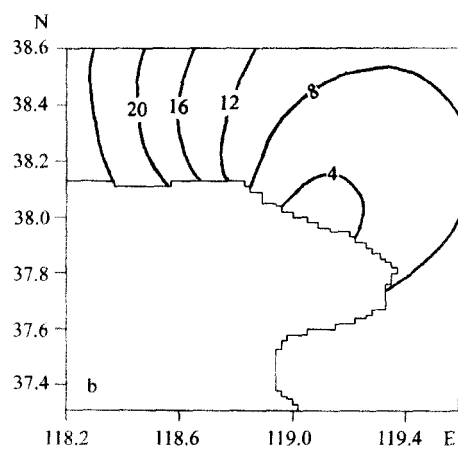
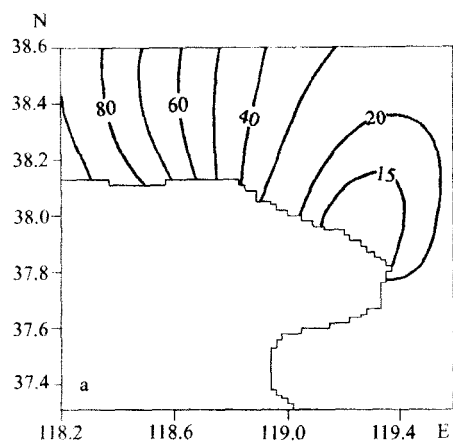
a. M_2 分潮; b. S_2 分潮; c. m_1 分潮

图 6B 2010 年的推算等振幅线图/cm

a. M_2 分潮; b. S_2 分潮; c. m_1 分潮

则可用下述公式进行内插：

$$h_{i,j} = h_{i-1,j} + (\hat{h}_{i-1,j} - h_{i-1,j})(x_i - x_{i-1})/(\hat{x}_i - x_{i-1})$$

式中， $h_{i,j}$ 为在上述区间内的推定水深， $\hat{h}_{i-1,j}$ ， $\hat{x}_i$ 分别为在 1992 年海图上相应点的水深和坐标。

(二) 数值模拟结果

根据上述方法推定的 2010 年水深场和乐肯堂等 (1995) 的数值模式，我们预测了 2010 年的潮汐和潮流场，其结果在图 1 (d)、图 6 和图 5 (d)，以及表 1, 2, 3 中给出。从这些图和表中可以看出，如果今后清水沟流路按推测的方案继续维持下去的话，那么到 2010 年黄河三角洲的全日潮区将进一步缩小，且 M_2 分潮的无潮带范围也进一步缩小，而该无潮点处的 M_2 分潮振幅将继续增大。

三、结 论

在乐肯堂等 (1995) 工作的基础上，本文利用二维潮波运动的数值模式，就 1976 年清水沟流路以来黄河三角洲的变迁对三角洲邻近滨海陆架海域潮波运动的影响进行了研究。结果表明，由于近百年来黄河口的不断变迁，不仅使黄河三角洲总是处于发育和变迁过程中，而且使黄河口及其三角洲附近海区的潮汐、潮流分布特征也处于不断变动过程中。对于渤海潮波运动来说，这种变动的最主要特征是：

(1) 在黄河三角洲外不规则的和规则的全日潮范围以 1855 年为最大，此后，随着黄河三角洲的变迁，其范围逐步缩小。如果清水沟流路还维持目前的发展趋势，那么这种情况将会持续下去，并且有可能使规则全日潮区消失。

(2) 五号桩外 M_2 分潮和 S_2 分潮的无潮点位置及其分潮振幅随着黄河三角洲的变迁而变动，而且随黄河三角洲的扩展方向作相应的调整，但它们离海岸的最近距离却越来越小，且相应分潮的振幅也逐渐增大。自清水沟流路以来，在无潮点处的 M_2 分潮振幅已大于 3 cm，且从 1976 年到 1992 年，其位置已略向东南方向移动。

(3) 尽管迄今为止，五号桩外 M_2 分潮和 S_2 分潮的无潮点仍然存在，但根据 100 多年来这两个无潮点的趋岸性和相应分潮振幅的增大趋势可以推测，如果清水沟流路继续维持几十年不变，并且黄河三角洲仍然保持自然发育和扩展，那么就不能排除这两个分潮的无潮带将会逐步缩小以至于消失的可能性。

(4) 黄河三角洲外存在着最大可能潮流大于 120 cm/s 的高速流动区，其范围、强度和性状随着黄河口和黄河三角洲的变迁而变化，而这一变化的一项显著特征是 1855 年的范围最小，且中心强度最低，而此后随着黄河三角洲的不断变迁和扩展，不仅其范围逐步扩大，而且其中心流速也逐步增强。自 1976 年黄河口改道以来，这一高速流动区仍然存在，但变化不太显著。

(5) 在莱州湾中， M_2 分潮的涨、落潮过程与渤海其余区域的 M_2 分潮的涨、落潮过程在位相上恰好相反，而 m_1 分潮和 S_2 分潮的涨、落潮过程却与渤海其他区域同步，此特征很可能也与现代黄河三角洲特殊的岸形和地形有关。

(6) 自 1976 年黄河尾间改道清水沟流路以来, 黄河三角洲北岸海区的全日分潮 (m_1 分潮) 的振幅似乎略有增加, 这是否会变成一种趋势, 目前尚难肯定, 但对这一现象需要加以关注。

参 考 文 献

乐肯堂、刘兴泉、史久新, 1995, 黄河口的变迁对邻近海区潮波运动影响的数值研究, 海洋科学集刊, 36: 33-46。

A SIMULATION AND PREDICTION ABOUT TIDAL MOVEMENT OFF THE HUANGHE RIVER DELTA WHEN THE HR PASSES THROUGH THE QINGSHUIGOU STREAM OUTLET*

Le Kentang, Liu Xingquan, Hao Yan, Yu Kangling

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

ABSTRACT

The influence of Huanghe (Yellow) River Delta (HRD) changes on the tidal wave movement in its adjacent area was studied by using a 2D numerical model. Previous study (Le et al., 1995) showed that in modern times the HRD had silted up forward by 2530.4 km² during the period 1855 to 1984. The changes of the Huanghe River Estuary (HRE) had significant influence on the tidal wave movement in the Bohai Sea. Due to the unceasing changes of the HRE in the past 100-odd years, some basic features of tidal wave movement have been varying with the HRD development. Although the tail of the Huanghe (Yellow) River (HR) has been relatively stable when the HR passes through the Qingshuigou Stream Outlet (QSO) since 1976, the HRD changes have influenced significantly the tidal wave movement. The main results from this study are as follows. (1) The regular diurnal region off the HRD was the largest in 1855 and has been gradually decreasing since then. If the QSO keeps its tendency, it will probably vanish in the future. (2) The M_2 and S_2 amphidromic point locations and their corresponding amplitudes off st. Wuhaozhuang vary as the HRD develops. The locations of the M_2 and S_2 amphidromic points have been very close to the coast and their amplitudes have become bigger and bigger since 1855. The M_2 amplitude at its amphidromic point location now is greater than 3 cm and the location slightly moved southeastward from 1976 to 1992. (3) The high speed region with probable maximum speed of > 120 cm/s varies with the development of the HRD from 1855 to 1976, but has not changed much since then. (4) It can be foreseen that if the QSO keeps on going its way for the coming decades, the amphidromic zones of constituents M_2 and S_2 will decrease gradually and even disappear. (5) It is noteworthy that the amplitude of diurnal constituent m_1 along the northern coast of the HRD has slightly increased since the HR tail moved from the Diaokouhe Stream Outlet to the QSO in 1976.

* Contribution No. 4029 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.