

黄河口的变迁对邻近海区潮波运动 影响的数值研究*

乐肯堂 刘兴泉 史久新

(中国科学院海洋研究所)

研究表明,黄河三角洲附近海区的潮汐和潮流分布具有如下显著特征:黄河口外存在 M_2 分潮的无点潮(方国洪,1986)和 S_2 分潮的无潮点(王淑雪等,1987),以及五号桩海区属于规则全日潮区¹⁾。

关于黄河口外存在 M_2 分潮无潮点的问题,自 Ogura (1936) 首次提出以来,一直是本区潮汐潮流研究中倍受重视的问题。据方国洪(1986)的统计,迄今为止,反映在黄河口外存在 M_2 分潮无潮点位置的渤海同潮图的文献已有 20 篇之多(丁文兰,1985;山广林等,1983;方国洪,1986;方国洪等,1985;方国洪等,1986;王淑雪等,1987;刘爱菊等,1980;孙文心等,1981;沈育疆,1980;侍茂崇等,1985;黄祖珂,1991;An, 1977; Fang 1986;

表 1 黄河口外 M_2 无潮点位置

发表年代	作 者	M_2 分潮无潮点位置	
		北 纬	东 经
1936	Ogura (小仓伸吉)	38°10'	119°13'
1958	Борис	38°10'	119°12'
1964	刘好治等 ²⁾	38°06'	119°13'
1980	沈育疆	38°22'	119°20'
1980	刘爱菊等	38°14'	119°20'
1980	窦振兴等	38°12'	119°08'
1983	山广林等	38°04'	118°57'
1985	丁文兰	37°59'	119°08'
1985	侍茂崇等	38°10'	119°03'
1986	方国洪	38°05'	119°00'
1987	王淑雪等	38°08'41''	119°03'57''

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2321 号。

于康玲打印文稿,杜湄山绘图,在此一并致谢。

收稿日期: 1993 年 11 月 12 日。

1) 王志豪,1983,黄河口无潮点与黄河三角洲开发,101—168(内部资料)。

2) 刘好治等,1964,中国近海的潮波系统(内部资料)。

Nishida, 1980; Ogura, 1936; Борис, 1958)。从表 1 可以看出, 历年来不同学者给出的黄河口外 M_2 分潮无潮点的位置各不相同, 本文作者认为这主要是由于黄河三角洲的变迁造成的。统计表明, 在 1855 年至 1984 年间, 近代黄河三角洲自套尔河口至淄脉沟口的年淤进速率为 0.16km, 挑河湾至宋春荣沟口为 0.16km, 而年淤进速率最大的五号桩区(即直接影响黄河口外 M_2 分潮无潮点位置的区域)的年淤进速率达 0.3km¹⁾。海湾中的无潮点是入射的潮波与自湾顶反射的潮波叠加而形成的节点, 由于近代黄河三角洲的海岸线不断向海中推进, 在黄河尾间的不同时期, 黄河三角洲海岸线的位置便有显著变化, 这必然会使无潮点的位置随着时间的推移而发生变化。然而表 1 中 M_2 无潮点的不同位置并不完全是由于黄河三角洲岸线变化引起的, 由于表 1 中的多数无潮点的位置是数值计算的结果, 而不同的人数值计算中所用的边界条件和底摩擦应力的表达式及其系数又不尽相同, 因此必然造成计算结果的差异。这里值得指出的是王淑雪等(1987)的结果, 这一结果是根据 1985 年 8—9 月在黄河口外几个站进行连续 1 个月的水位观测资料得出的 M_2 无潮点位置, 在此点上, M_2 分潮振幅仅为 0.8cm。当然, 由于渤海潮汐中存在着显著的天文-气象分潮(方国洪等, 1986), 故根据夏天一个月的潮汐资料分析得到调和常数与由长期(如一年)潮汐资料所得到的调和常数是有差别的, 由此而得到的无潮点的位置仍会有一定的误差, 但应该说, 这一结果所给出的无潮点位置对于清水沟流路的单一顺直阶段的黄河三角洲岸线而言, 已是最接近实际的了。既然黄河口的变迁是黄河口外 M_2 分潮无潮点位置变化的主要因子, 那么自 1855 年以来由于黄河口的不断变迁使黄河口外 M_2 分潮无潮点位置产生了怎样的变化? 本文将探讨这一问题。至于黄河口外是否有 S_2 分潮无潮点的问题, 或者说, 黄河口外曾存在过的 S_2 分潮的无潮点现在是否已经消失仍是人们所关心的问题, 本文中也将讨论。

实测表明, 在 M_2 分潮无潮点附近的验潮站处, 潮位的全日潮分量(即 K_1 和 O_1 分潮)作用突然增大, 使黄河三角洲沿岸的潮汐性质发生了显著变化, 即不规则半日潮→不规则全日潮→规则全日潮→不规则半日潮(表 2)。近一百多年来黄河三角洲的变迁对黄河三

表 2 黄河三角洲沿岸若干验潮站的潮型系数 $(H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2}$ 之值

站 名	站 位		平均海平面 (cm)	潮型系数 $(H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2}$	潮汐性质
	北 纬	东 经			
湾湾沟堡	38°04'	118°24'	144	0.74	不规则半日潮
黄河口西	38°11'	118°47'	116	1.36	不规则半日潮
嘴西计二	38°07'	118°51'	85	1.75	不规则半日潮
黄河口东	38°06'	118°52'	66	2.26	不规则全日潮
神仙沟口	38°06'	118°06'	73	3.33	不规则全日潮
东烂泥南	38°04'	118°59'	65	5.40	规则全日潮
神仙沟南	38°01'	119°02'	66	5.50	规则全日潮
五号桩	38°01'	119°00'	54	5.25	规则全日潮
甜水沟	37°46'	119°04'	90	0.97	不规则半日潮
清水沟	37°40'	119°06'	126	0.75	不规则半日潮

1) 王志豪等, 1989, 埕岛油田海域 1855 年以来的变迁及 2020 年前的泥沙冲淤预报, 8—26 (内部资料)。

角洲沿岸各站的潮汐性质的变化究竟产生了什么样的影响也是本文将探讨的内容之一。

本文将利用数值模拟方法,通过考察不同时期黄河三角洲附近海域潮汐、潮流的分布特征,对上述各问题加以探讨,为黄河口的开发提供依据。

一、数值模式及其验证

1. 基本方程

利用二维数值模式来考察黄河三角洲的变迁对其邻近海区潮汐、潮流分布变化的影响,主要是考虑到所研究的海区之最大水深不超过 25m。

基本控制方程为

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

x, y 分别为向东和向北为正的 Cartesian 坐标轴, 其对应潮流的流速分量为 u, v , ζ 为潮位, h 为水深, t 为时间, f 为科氏参量, g 为重力加速度, C 为 Chezy 系数, A_H 为侧向涡动粘性系数, Δ 为平面 Laplace 算子。

2. 边界条件和初始条件

关于边界条件,在海岸处取法向流速为零,在开边界处,则取作

$$\zeta_i = H_i \cos(\sigma_i t - g_i) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2)$$

当 $i = 1$ 时,对应于 m_1 分潮(方国洪等,1985);当 $i = 2$ 时,对应于 M_2 分潮;当 $i = 3$ 时,则对应于 S_2 分潮。初始条件为 $u = v = \zeta = 0$

3. 计算方法

为考察黄河三角洲的演变对其邻近海区潮汐潮流分布变化的影响,根据 1855 年以来这一区域水深变化的情况,取 $118^\circ 10' - 119^\circ 40' E$, $37^\circ 12' - 38^\circ 42' N$ 范围内的海区作为数值模拟区域。在此区域中,取 $\Delta x = \Delta y = \Delta s = 2.968 \text{ km}$ 作为空间步长,网格点的数目为 46×46 。由于没有足够的实测资料可以直接确定开边界条件,为此我们只能利用数值计算与内插相结合的方法来确定开边界计算网点上的调和常数。首先利用控制方程和渤海海峡处的开边界条件来模拟整个渤海的潮汐,并把模拟得到的渤海沿岸的调和常数与渤海沿岸若干验潮站的调和常数进行比较,以验证模拟结果的可靠性。在模拟时,取网格的距离为

$$\Delta x' = \Delta y' = \Delta s' = 14.84 \text{ km}, \text{ 即 } \Delta s = \Delta s' / 5$$

然后在经过验证确认模式适用性的基础上,把获得整个渤海的调和常数内插到本计算区的开边界网格点上,即得到了计算区的开边界条件。

我们利用 Leendertse 的交替方向隐式格式在交错的空间网格上对公式(1)进行差

分格式处理。计算中取 $C = \frac{1}{n} H^{1/6}$, 其中 n 为 Manning 系数。对于半日分潮 ($1/n$) 取 260, 对全日分潮则取 120。根据 Courant-Friendrichs-Lewy 条件, 取 $\Delta t = 207.01002s$ (即一个 m_1 分潮周期的 $1/432$)。计算在 AST286 微机上进行。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 值与一个周期前的对应时刻的相应值进行比较, 求出最大偏差 ε 的值。这样, 当计算进行到 $\varepsilon = 0.1$ 单位 (对于潮汐, 为 cm ; 对于潮流, 为 cm/s) 时, 便认为潮波运动已达到稳定状态。然后, 利用计算所得到的稳定状态下的潮汐、潮流过程的结果求出相应分潮的调和常数。

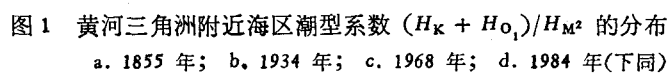
4. 模式验证

为了检验模式方程组 (1), (2) 的适用性, 我们把各验潮站的 M_2, S_2 和 m_1 分潮的计算结果与实测值进行了比较, 结果见表 3。在表 3 中 ΔH 和 $\Delta\theta$ 分别表示计算的分潮振幅和迟角与对应实测值之差的绝对值。

表 3 渤海各验潮站计算与实测潮汐调和常数 (M_2, S_2 和 m_1 分潮) 之比较

站号	站名	分潮					
		M_2		S_2		m_1	
		$\Delta H(cm)$	$\Delta\theta(^{\circ})$	$\Delta H(cm)$	$\Delta\theta(^{\circ})$	$\Delta H(cm)$	$\Delta\theta(^{\circ})$
1	旅顺	2.8	6.9	5.3	0.6	2.9	6.5
2	葫芦套	4.0	2.2	0.7	4.6	2.5	1.1
3	花椒岛	7.1	1.3	1.4	7.8	3.4	3.5
4	太平角	0.1	3.0	3.1	5.9	0.6	4.0
5	营口	3.4	10.8	4.4	2.6	1.7	5.8
6	大陵河口	3.8	0.8	3.2	9.1	2.7	3.2
7	葫芦岛	2.3	1.8	1.3	11.7	0.2	0.2
8	菊花岛	4.8	3.9	3.9	1.4	4.8	3.3
9	团山角	10.2	5.2	2.8	7.8	0.6	2.5
10	娘娘庙	2.2	1.0	0.8	13.7	1.0	9.9
11	秦皇岛	4.4	1.0	1.4	15.2	0.3	2.1
12	滦河口	3.8	7.8	1.2	7.4	2.3	0.4
13	曹妃甸	5.2	17.8	0.9	10.9	2.4	6.5
14	塘沽	1.5	2.9	0.4	9.6	2.0	0.8
15	歧河口	8.0	1.7	2.2	5.2	6.4	7.6
16	洼拉沟	3.9	19.3	0.1	1.4	0.1	9.4
17	小清河	13.0	2.8	2.1	15.6	1.8	7.4
18	太平湾	19.5	2.7	6.5	15.6	0.7	0.6
19	龙口	11.9	8.8	4.5	7.4	0.0	1.9
20	蓬莱	4.4	7.2	2.1	0.2	3.0	15.4
21	砣矶岛	1.8	4.3	0.6	4.4	0.8	41.3
22	北隍城岛	1.2	3.4	1.9	1.6	2.0	15.5
	平均	5.4	5.3	2.3	7.3	1.0	6.8

从表 3 可以看出, 除了砣矶岛处 m_1 分潮的迟角偏差明显偏大而不合理外, 其他偏差值均在合理范围内。砣矶岛站离所研究的黄河口区较远, 因此, 方程组 (1), (2) 对于本研究是适用的。



(一) 渤海潮流分布特征

计算结果(图略)表明,对于 S_2 和 m_1 分潮而言,渤海中各个湾的涨落潮基本上是同步的;而 M_2 分潮却出现了一个特殊现象,莱州湾的涨落潮过程与渤海中其他区域的涨落潮

过程相反,即当渤海其余海区涨潮时,莱州湾处于落潮过程;而当渤海其余海区落潮时,莱州湾则处于涨潮过程。

其次,方国洪等(1985)曾注意到在渤海中 M_2 分潮流与 m_1 分潮流的旋转方向相反,即在渤海中 M_2 分潮是逆时针旋转的(这是北半球常见现象),而 m_1 分潮则是顺时针旋转的,在这一点上,我们的研究结果与前人的一致,此外, S_2 分潮流的旋转方向与 M_2 分潮流是相同的。如果将我们的计算结果与前人的仔细进行比较,可以发现不同人的计算结果之间均有差异。黄祖珂(1991)曾探讨了渤海潮波系统的变迁问题,他把变迁的原因归结为 30 年代至今黄河三角洲海岸线的变动。当然,近代黄河三角洲的变迁无疑会对其邻近海域的潮汐、潮流的分布特征产生影响,但对渤海而言,最近一百多年来黄河三角洲的变迁毕竟是局部区域的变化,这种局部区域的变化对整个渤海潮波系统的变迁到底会产生什么样的影响,仍然值得研究。

在渤海潮汐的等潮时线图(图略)上,我们计算所得的两个 M_2 分潮的无潮点位置与前人的结果是吻合的,再一次证明了我们计算模式的可靠性。在 S_2 分潮的同潮时线图上,把我们的结果与黄祖珂(1991)的相比较可以看出,两者的两个无潮点的位置是接近的,但在其他方面还存在着一些差异。由于前人对渤海 S_2 分潮的分布特征关注较少,故这两者之间的差异尚不能说明哪一种结果更接近实际。本文第一节的验证结果表明,我们的计算结果与实测结果符合良好,因此基于本模式所作的分析应当符合实际。

至于合成的分潮流之等振幅线和同潮流时线的分布特征,计算表明,80 年代 M_2 , S_2 和 m_1 分潮之潮流在渤海中各有两个圆流点,且半日分潮(M_2 和 S_2)流为逆时针旋转,而全日分潮(m_1)流则为顺时针旋转,这一结果与方国洪等(1985)和黄祖珂(1991)的结果相同。

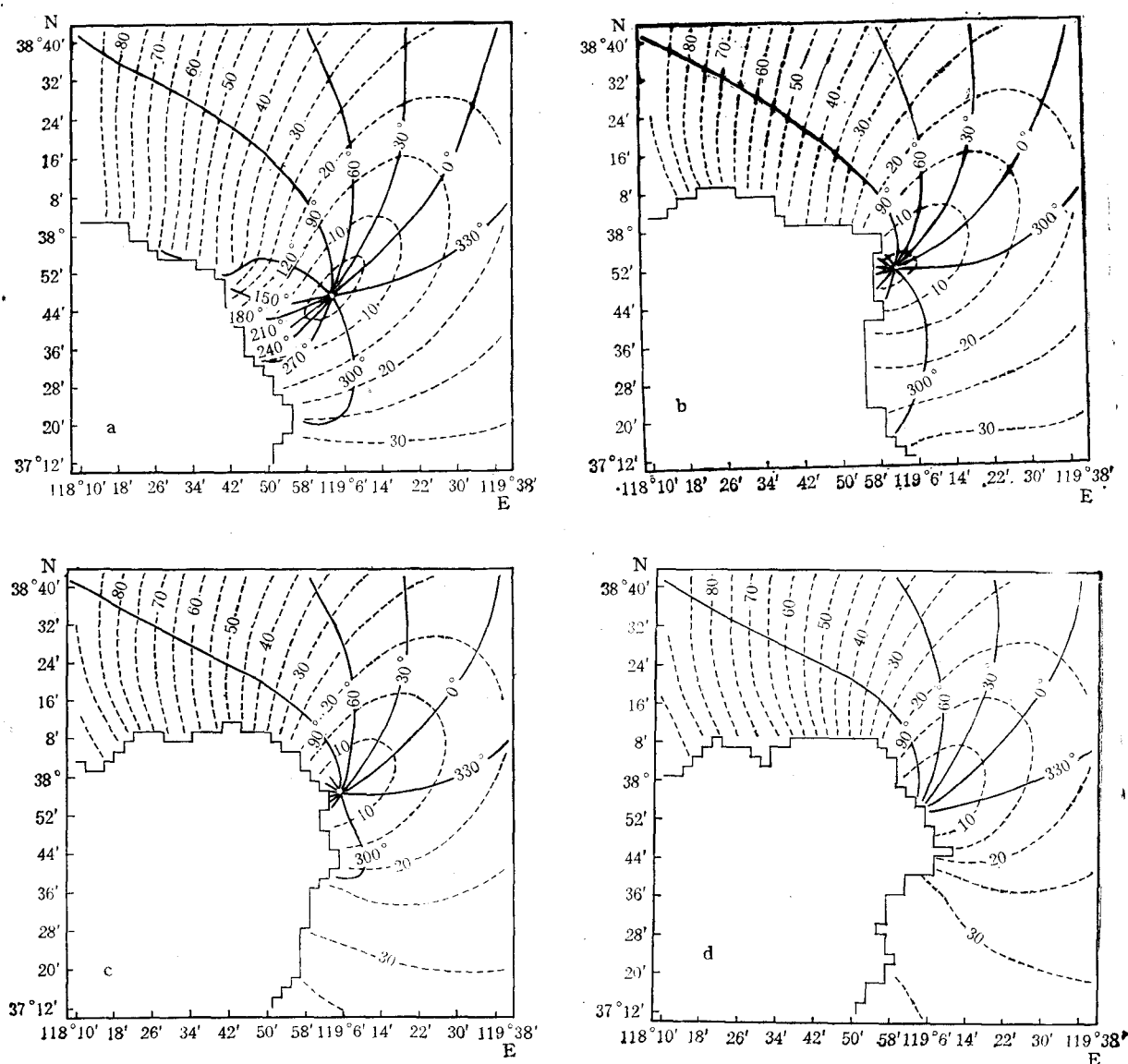
(二) 黄河三角洲的演变对其邻近海域潮汐潮流分布特征的影响

为了研究近一百多年来黄河三角洲的演变对其邻近海域潮汐、潮流分布的影响,选取 1855 年、1934 年、1968 年和 1984 年的实际的岸形和水深资料作数值后报,以模拟不同时期黄河三角洲邻近海域潮汐潮流的分布特征¹⁾。

1. 潮汐性质

图 1 给出了上述四个年份黄河三角洲附近海区 $(H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2}$ 的分布。从图 1 可以看出,黄河三角洲附近海域潮汐性质的分布变化具有下列特征:(1)黄河三角洲附近海域的潮汐性质之分布随着黄河三角洲的变迁而变化;(2)在黄河三角洲外存在着一个潮型系数大于 4 的规则全日潮区,这一全日潮区的分布范围在 1855 年最大,且随着黄河三角洲的变迁,不仅潮型系数大于 4 的规则全日潮区范围逐步缩小,而且不规则日潮区的范围也逐步缩小;(3)黄河三角洲沿岸的潮汐性质的分布变化(从北到南)应为不规则半日潮→不规则全日潮→规则全日潮→不规则全日潮→不规则半日潮。从表 4 可以看出,由于不同时期黄河三角洲岸线的位置和其邻近海域等深线的分布有巨大差异,使三角洲沿

1) 王志豪等,1989,埕岛油田海域 1855 年以来的变迁及 2020 年前的泥沙冲淤预报 8—26(内部资料)。

图2 近代黄河三角洲附近海区 M_2 分潮同潮时线图

岸所出现的规则的全日潮位位置一百多年来不断向偏北和偏东方向移动，它与黄河三角洲在同期向东北方向的扩展是一致的。

2. M_2 分潮无潮点位置的变化

黄河三角洲外 M_2 无潮点位置变化及其成因是几十年来潮汐研究中颇受关注而尚未解决的问题，而要彻底解决这一问题，就必须考察黄河三角洲的演变对 M_2 分潮无潮点的影响。

为了探讨黄河三角洲的变迁对其邻近海域 M_2 分潮无潮点位置的影响，我们根据本文模式模拟了上述四个时期黄河三角洲邻近海域 M_2 分潮的分布，给出了相应的同潮时线图(图2)。表5给出了不同时期黄河三角洲附近海域 M_2 分潮无潮点位置及无潮点处

表 4 不同时期黄河三角洲沿岸出现规则全日潮时的站位

年代	序号	位 置		潮型系数值	潮汐性质
		北 纬	东 经	$(H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2}$	
1855	1	37°26'	118°52'	4.2	规则全日潮
	2	37°28'	118°50'	5.1	规则全日潮
	3	37°30'	118°50'	5.1	规则全日潮
	4	37°32'	118°48'	6.3	规则全日潮
	5	37°34'	118°46'	5.1	规则全日潮
	6	37°38'	118°46'	5.9	规则全日潮
	7	37°40'	118°44'	5.9	规则全日潮
	8	37°42'	118°44'	7.4	规则全日潮
1934	1	37°42'	118°58'	5.2	规则全日潮
	2	37°44'	118°58'	6.9	规则全日潮
	3	37°46'	118°56'	4.1	规则全日潮
	4	37°48'	118°56'	10.0	规则全日潮
	5	37°50'	118°56'	28.0	规则全日潮
	6	37°52'	118°56'	25.5	规则全日潮
	7	37°54'	118°56'	4.5	规则全日潮
	8	37°56'	118°56'	10.3	规则全日潮
	9	37°58'	118°56'	5.8	规则全日潮
1968	1	37°46'	119°02'	5.9	规则全日潮
	2	37°48'	119°02'	5.1	规则全日潮
	3	37°50'	119°00'	4.3	规则全日潮
	4	37°52'	119°06'	5.1	规则全日潮
	5	37°54'	119°02'	7.1	规则全日潮
	6	37°56'	119°02'	21.7	规则全日潮
	7	37°58'	119°00'	7.4	规则全日潮
	8	38°00'	119°00'	4.9	规则全日潮
1984	1	37°48'	119°06'	7.2	规则全日潮
	2	37°48'	119°06'	12.3	规则全日潮
	3	37°50'	119°06'	11.8	规则全日潮
	4	37°52'	119°04'	9.5	规则全日潮
	5	37°54'	119°04'	9.4	规则全日潮
	6	37°56'	119°02'	7.4	规则全日潮
	7	37°58'	119°00'	6.6	规则全日潮

M_2 分潮振幅 (H_{M_2}) 值,同时,为了考察无潮点附近 M_2 分潮振幅分布,我们以 $H_{M_2} \leq 3\text{cm}$ 作为无潮带,并在表 5 中给出了此带的区间。从图 2 和表 5 可以看出,1855 年至 1984 年,由于黄河三角洲的变迁和扩展,使其邻近海域的无潮点位置发生了显著的变化。归纳起来,这些变化具有如下特征:(1) 由于近百年来黄河三角洲不断向偏东和偏北方向发展,使 M_2 无潮点的位置越来越趋近于海岸。但神仙沟口附近的 M_2 无潮点迄今仍然存在,这是由于该无潮点的位置因黄河三角洲的发育而不断地向外海推移所致;(2) 以 $H_{M_2} \leq 3\text{cm}$ 为界的无潮区,随着黄河三角洲的发育而向偏东和偏北方向推移,但其包围的面积却越来越小;(3) 自 1934 年黄河尾闾回归山东以来,无潮点处的 M_2 分潮的振幅呈逐渐增大的趋

表 5 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 ($H_{M_2} \leq 3\text{cm}$)	无潮点位置		无潮点处的 M_2 分潮振幅 (cm)
		北纬	东经	
1855	37°44'—37°52'N 118°56'—119°08'E	37°48'	119°05'	0.92
1934	38°48'—37°51'N 118°56'—119°04'E	37°52'	118°59'	0.11
1968	37°56'—37°58'N 119°02'—119°04'E	37°57'	119°04'	0.52
1984	37°54'—38°00'N 119°04'—119°08'E	37°54'	119°06'	1.93

势,如果黄河三角洲继续保持已有的扩展势头,那么这个 M_2 分潮的无潮点有朝一日将会消失;(4)若粗看这一百多年来黄河三角洲外 M_2 无潮点位置的变动似无规律可循,但仔细分析这个时期 M_2 无潮点位置的摆动,即可发现其中还是有某种规律性的东西,例如,1934年至1968年, M_2 无潮点的位置向北和向东各移动了5',即向东北方向移动了约15 km,其主要原因是在此期间黄河三角洲的海岸线不仅向北推进了6'(约11km)(从钓口河口至五号桩),而且向东移动了2'(约3.4km)(从五号桩至清水沟口)。1968—1984年, M_2 无潮点位置向南移动3',且向东移动了2',这是因为1976年以后,黄河尾闾从钓口河流路改道成向莱州湾入海的清水沟流路,此期间钓口河流路河口向北突出的地形被冲刷,钓口河口至神仙沟口之间的局部地段有所蚀退,而清水沟口外地形显著向东伸展了4'(约7.4km)。简而言之,在黄河流路的不同阶段中,海岸线不同区段向海域中部淤进的过程是非常复杂的,不仅同一区段的淤进速率随着时间而变化,而且不同时间不同区段的冲淤格局也是不断变化的¹⁾。因此难以把海岸线向海淤进速率与 M_2 无潮点移动距离作简单地比较,但是上述的例子表明,在一定时期内无潮点位置的移动方向和距离确实随着海岸线

表 6 近百年来 S_2 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	
1855	37°40'	118°44'	0.27
1934	37°58'	118°58'	1.60
1968	37°59'	118°58'	1.43
1984	38°00'	118°58'	1.88

1) 乐肯堂等,1992,近代黄河口三角洲变迁的基本特征及其与流场的关系(内部资料)。

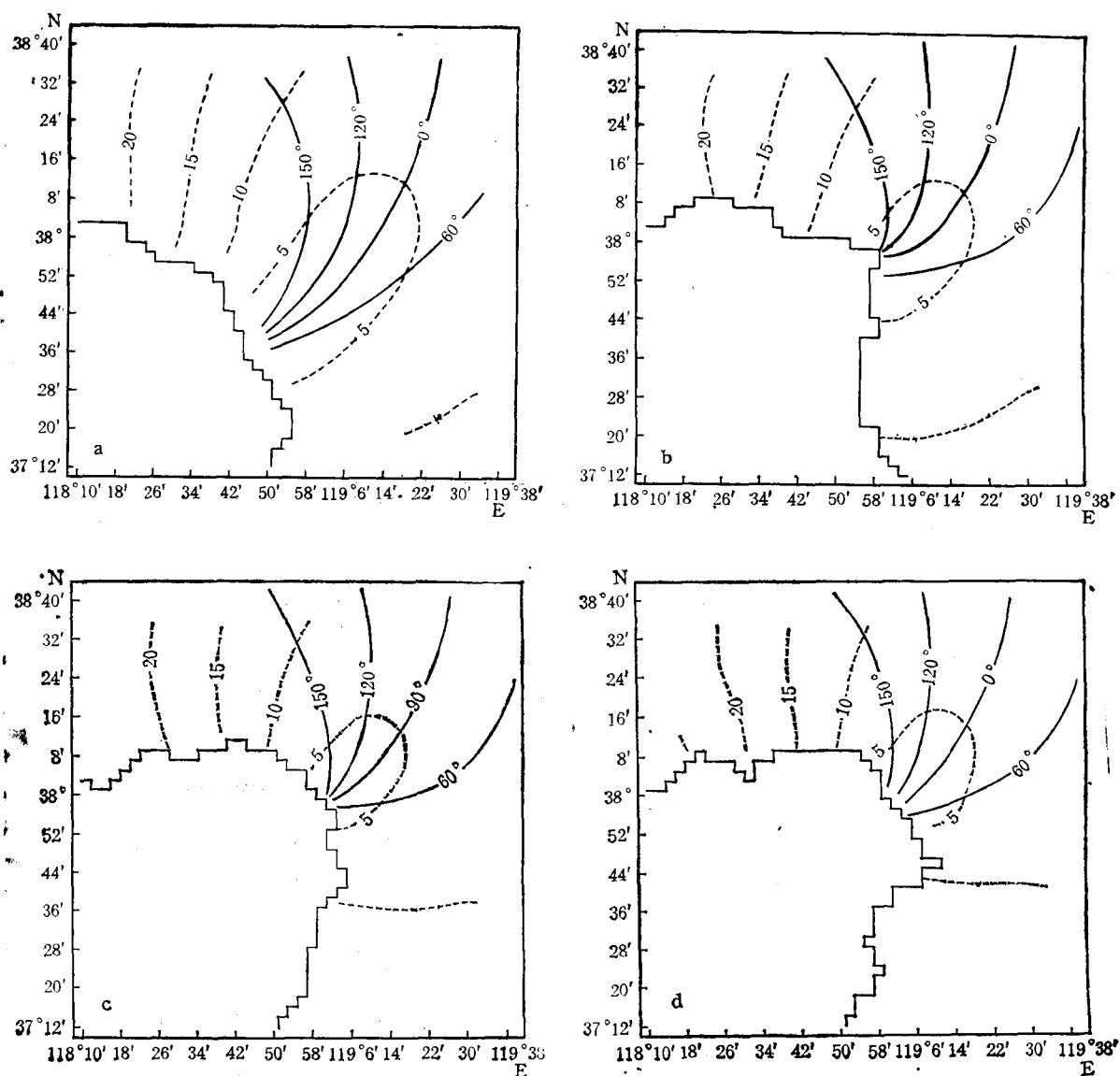


图3 近代黄河三角洲附近海区 S_2 分潮的同潮时线图

a. 1855 年; b. 1934 年; c. 1968 年; d. 1984 年(图4同)

的进退而变化。

这里应当指出,尽管表5的计算结果与表1的实测结果已相当接近,但就 M_2 无潮点的位置和该无潮点处 M_2 振幅的量值而言,两者仍存在差异,这主要是由于缺乏较为准确的滨海区岸形和地形资料,否则计算结果将会更加接近实测结果。

3. S_2 无潮点的变化

从图3和表6可以看出,近一百多年来,黄河三角洲附近 S_2 无潮点的位置及相应的 S_2 分潮振幅随着黄河三角洲的变迁而变化,这一变化的基本特征是随着时间的推移, S_2 无

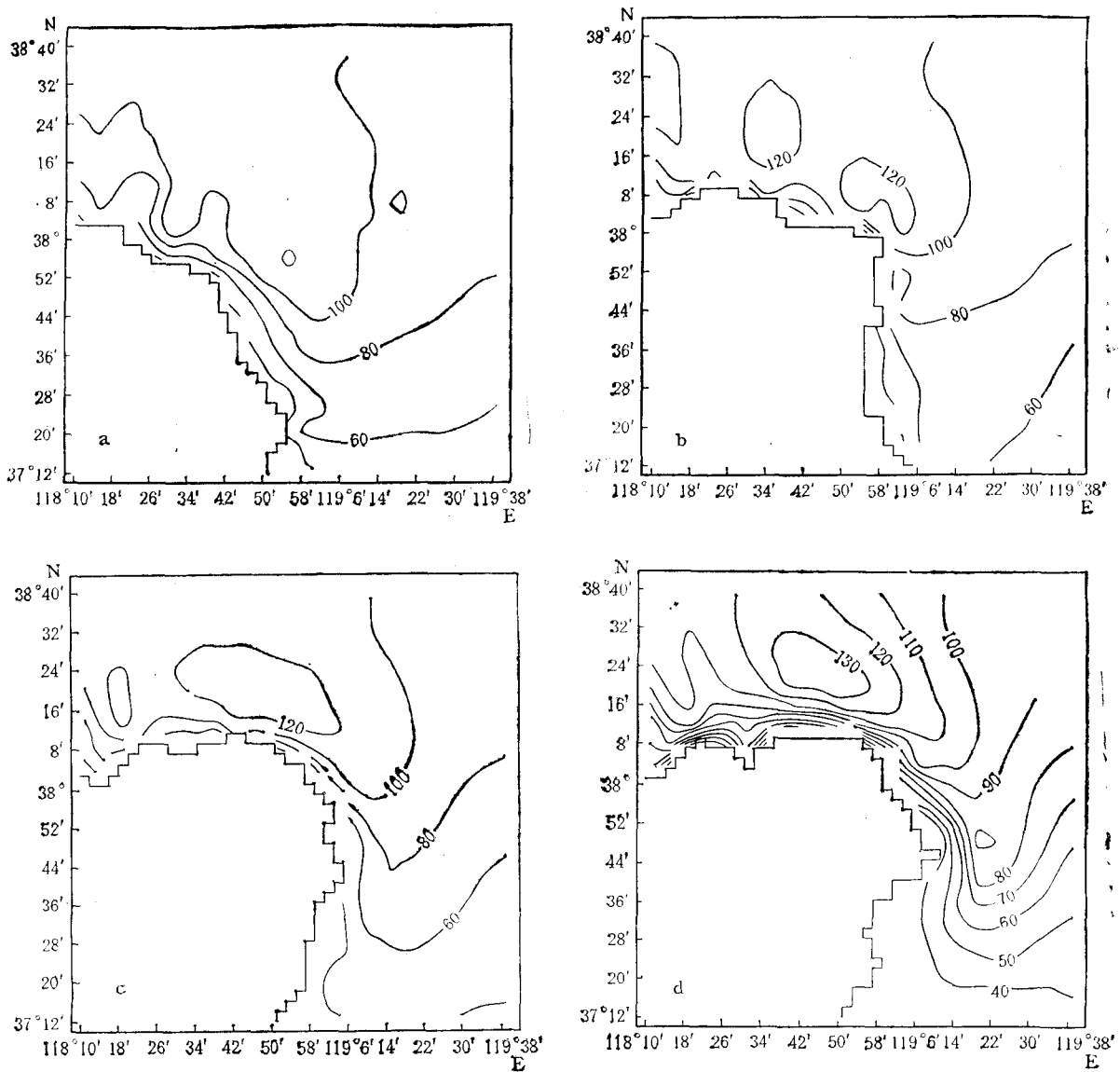


图4 最大可能潮流流速分布

—— 迟角； ---- 振幅(下同)

潮点的位置距黄河三角洲海岸越来越近。方国洪(1986)曾提出黄河口 S_2 无潮点是否已消失的问题, 本文的结果已明确回答了这个问题, 即迄今 S_2 无潮点仍然存在。但考虑到 1855 年以来, 该无潮点位置由于黄河三角洲的变迁而具有趋岸的特征, 且无潮点处的 S_2 分潮振幅又逐渐增大, 因此不能排除今后它将消失的可能性。

4. 最大可能潮流流速的分布

乐肯堂等(1995)通过对本区实测流场资料的分析得出, 在黄河三角洲邻近海区的潮流场中存在着两个高速流动区, 即神仙沟口外高速流动区和行水期黄河口外高速流动区, 这两个高速流动区的位置、范围和强度随着黄河三角洲的变迁而变化, 有时可合二为一。

本文的数值实验结果(图4)表明,1968年(钓口河流路时期)和1984年(清水沟流路时期)的最大可能潮流流速分布的计算结果与实测结果相当一致。由于缺乏1855年和1934年的实测流场资料,故这里的计算结果无法与实测流场作比较。但从对1968年和1984年的计算结果与实测结果的一致性不难看出,1855年和1934年的也应当符合实际。从图4可以看出,在1855年,最大可能潮流流速大于 120cm/s 的高速流动区非常小,此后,随着黄河三角洲的不断变迁和扩展,这一高速流动区的范围不断扩大,且其中心流速也不断增大,这是黄河口的变迁对其邻近滨海陆架区流场作用的一个重要特征。

(三) 结 论

本文利用二维潮波运动的数值模式研究了1855年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。研究表明,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(近代黄河三角洲自套尔河至淄脉沟口,1855—1984年共淤进 18.47km ,挑河湾至宋春荣沟口淤进 26km ,在129年中共造陆 2530.4km^2),而且使黄河口及其三角洲外海域的流场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) 在黄河三角洲外的规则全日潮区的范围以1855年为最大,以后,随着黄河三角洲的变迁,它不断向偏北和偏东方向移动,但其范围则逐步缩小。

(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都随着黄河三角洲的变迁而变动。尽管 M_2 分潮和 S_2 分潮的无潮点位置都随着黄河三角洲向偏北和偏东方向扩展,并向北偏东方向移动,但它们离海岸的最近距离却越来越短,且相应分潮的振幅逐渐增大。

(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,但由于一百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,因此,如果黄河口继续维持自然改道而使三角洲仍然保持自然发育和扩展,便不能排除这两个分潮的无潮点将会逐步消失的可能性。

(4) 黄河三角洲外存在着最大可能潮流大于 120cm/s 的高速流动区,这一高速流动区的范围、强度和性状随着黄河口和黄河三角洲的变迁而变化,且这一变化的一项显著特征是1855年的范围最小,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,而且其中心流速逐步增强。

(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、落潮过程在位相上相反,而 m_1 分潮和 S_2 分潮的涨落过程却与渤海其余区域同步,这一特征很可能也与现代黄河三角洲特殊的岸形和地形有关。

参 考 文 献

- 丁文兰,1985,渤海和黄海潮汐潮流分布的基本特征,海洋科学集刊,25: 27—40。
山广林,刘赞沛,王钟谔等,1983,渤海潮波的数值模拟,海洋与湖沼,14(5): 419—431。
于克俊,张法高,1987,渤海潮波运动的三维数值计算,海洋与湖沼,18(3): 227—236。
方国洪,1986,关于中国近海潮汐潮流分布的若干有待进一步研究的问题,第一届潮汐与海平面学术讨论会论文集,国

- 家海洋局海洋科技情报研究所出版社, 12—20。
- 方国洪, 王骥, 1986, 渤海天文-气象分潮的分析, 海洋学报, 8(4): 399—407。
- 方国洪, 杨景飞, 1985, 渤海潮运动一个二维数值模型, 海洋与湖沼, 16(5): 337—346。
- 王淑雪, 张瑞安, 赵迎春, 1986, 黄河口海域水位变化原因的初步探讨, 第一届潮汐与海平面学术讨论会论文集, 国家海洋局海洋科技情报研究所出版社, 66—72。
- 王淑雪, 董以芝, 丁玉兰, 1987, 黄河口 M_2 无潮点及潮汐特征分析, 海洋通报, 6(1): 1—6。
- 乐肯堂, 周参武, 1995, 黄河口的变迁对其滨海大陆架区流场变化的影响, 本集。
- 刘爱菊, 芦铭, 1980, 渤海潮汐数值的计算, 海洋研究, 4: 21—31。
- 孙文心, 陈宗镛、冯士筌, 1981, 一种三维空间非线性潮波的数值模拟 (I), 山东海洋学院学报, 11(1): 23—31。
- 沈育疆, 1980, 东中国海潮汐数值计算, 山东海洋学院学报, 10(3): 26—35。
- 侍茂崇, 赵进平, 1985, 黄河三角洲半日潮无潮区及水文特征分析, 山东海洋学院学报, 15(1): 81—95。
- 黄祖珂, 1991, 渤海的潮波系统及其变迁, 青岛海洋大学学报, 21(2): 1—11。
- 窦振兴, 罗远诠, 黄克辛等, 1981, 渤海潮流及余流的数值计算, 海洋学报, 3(3): 355—369。
- An, H. S., 1977, A numerical experiment of the M_2 tide in the Yellow Sea, *J. Oceanogr. Soc. Jap.*, 33(2): 103—110。
- Choi, B. H., 1980, A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea KORDJ Report (80-2), Korea Ocean Research and Development Institute, 72。
- Fang Guohong (方国洪), 1986, Tide and tidal current charts for the marginal seas adjacent to China, *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 4(1): 1—16。
- Nishida, H., 1980, Improved tidal charts for the western part of the north Pacific Ocean, *Report of Hydrographic Researches*, 15: 55—70。
- Ogura, S., 1936, The tides in the northern part of the Hwang Hai, *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics*, 14(1): 27—55。
- Борис, Л. И., 1958, Расчёт приливов и приливных течений, Жёлтого Мора. Тр. ЛГМИ, Вып. 7.

A NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF THE CHANGES OF THE HUANGHE RIVER ESTUARY ON THE TIDAL WAVE MOVEMENT IN ITS ADJACENT SEA AREA*

Le Kentang, Liu Xingquan and Shi Jiuxin
(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

ABSTRACT

A numerical 2D model for tidal movement was used to study the effect of changes of the Huanghe River Estuary (HRE) on the tidal wave movement in its adjacent sea area. Historical data showed that in modern times the Huanghe River Delta (HRD) had silted up forward by 2530.4 km² during 1855 to 1984. Due to the unceasing changes of the HRE in the past 100-odd years, it has been developing and changing. The behavior of the current field off the HRD has also been varying. The main features of the tidal wave movement variations in the Bohai Sea are as follows. (1) The regular diurnal tide region off the HRD was the biggest in 1855 but has been gradually decreasing and moving northeastward since then. (2) The amphidromic point locations of constituents M_2 and S_2 and their corresponding amplitudes off the Wuhaozhuang vary as the HRD develops, so that the distances between the coast and the amphidromic points become shorter and shorter and their amplitudes become bigger and bigger. (3) The high speed region off the HRD, where maximum tidal current speed can be greater than 120cm/s, varies with the development of the HRD. The extent and speed have been getting bigger and bigger gradually since 1855.

* Contribution No. 2321 from Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.