

渤海潮运动的一个二维数值模型*

方国洪 杨景飞

(中国科学院海洋研究所, 青岛) (国家海洋局科技情报研究所, 天津)

摘要 本文采用二维非线性潮波微分方程组的有限差分方法同时计算了渤海全日、半日和浅水潮。全日和半日潮计算结果与实测符合良好。四分日潮分布形式与实测一致, 但振幅偏大, 认为这可能是由于二维方程中摩擦项不能很好代表高频潮波的耗散效应。文章指出, 已有的半日同潮图在莱州湾差别较大, 可能是由于黄河口岸形改变造成的。本文结果与近年同潮图一致。对全日和半日潮流, 本计算给出了一个前人未注意到的圆流点。文章还给出了潮生余水位和余流的分布, 并计算了潮能通量。

潮运动是渤海的主要动力学过程之一。在中国近海的各个海区中, 本海区的潮汐是研究得最多的。最早可以追溯到50多年前 Ogura (1933, 见参考文献[9]) 的工作。他给出的同潮图的基本形态迄今没有重大改变。Ogura^[12] 在1936年对黄海北部潮汐的研究中, 利用了沿岸19个潮汐站和海中5个潮汐站以及海中10个潮流站的调和常数, 给出了相当细致的潮汐图和比较粗略的潮流图。Defant^[10] 在1961年对Ogura 1933年的同潮图作了一些修改。五十年代末至六十年代初, 我国对渤海的潮汐和潮流进行过大量观测, 这些结果在全国海洋综合调查报告¹⁾ 中作了报道。近年来, 出现了许多关于渤海潮汐的数值模拟工作。其中 An^[8], Choi^[9] 和沈育疆^[6] 在计算黄海和东海的潮汐和潮流时也包括了渤海部分; 窦振兴等^[7] 和山广林等^[11] 则专门计算了渤海半日潮运动; 而孙文心等^[5] 则模拟了渤海的 M_4 和 MS_4 潮。尽管如此, 目前对渤海潮汐、潮流的了解还是不够的。这里我们对渤海全日潮、半日潮及浅水潮同时进行了计算, 得到了一些新结果。

一、计算方法

计算所依据的二维潮波支配方程为

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v + \frac{k u (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}}{D + \zeta} - A \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = -g \frac{\partial (\zeta - \bar{\zeta})}{\partial x} \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u + \frac{k v (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}}{D + \zeta} - A \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = -g \frac{\partial (\zeta - \bar{\zeta})}{\partial y} \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [(D + \zeta)u] - \frac{\partial}{\partial y} [(D + \zeta)v] \quad (1.3)$$

其中 t ——时间; x, y ——Cartesian 坐标, 本计算中分别取向东和向北为正; u, v ——潮流在 x, y 方向的分量; ζ ——未扰动海面以上的水位高度; g ——重力加速度; $f = 2\Omega \sin \phi$,

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1214号。

收稿日期: 1984年8月1日。

1) 全国海洋综合调查报告, 1964。第5册, 89—120页。

Ω 为地球自转角速度, ϕ 为地理纬度; D ——未扰动水深; k ——海底拖曳系数; A ——侧向涡动粘性系数; ξ ——考虑了固体潮效应后的引潮势, 取作引潮势的 0.7 倍。

计算中采用修改的流体动力学数值方法, 具体格式将另文报道。

鉴于过去很少作过渤海全日潮的数值计算, 同时本海区的全日潮流又相当重要, 在本计算中我们把全日潮也包括了进去。为此, 与文献 [4] 一样, 我们把 M_2 作为半日潮的代表分潮, 取 K_1 和 O_1 的平均作为全日潮的代表分潮。 K_1 和 O_1 的平均分潮的频率正好是 M_2 的一半。为了简便但又不致与平常潮汐分析中的 M_1 分潮相混淆, 我们把这个分潮记作 m_1 。 m_1 表示的分潮的重要性要比 M_1 表示的大得多。 m_1 的振幅, 迟角和角频率都是 K_1 和 O_1 的平均值。常常有人为了计算全日潮, 把半日潮和全日潮分开计算, 这不但增加了计算量, 且有一个重大弊病, 即忽略了它们之间的非线性效应, 这种效应在摩擦力项中特别重要^[2]。再一种办法是同时考虑 M_2 , S_2 , K_1 和 O_1 四个分潮, 例如 Choi^[9] 在计算东海的潮汐时就是这样做的。这种方法当然能获得较好的效果, 但必须在潮汐运动达到稳定后至少再模拟 15 天潮过程, 并进行较复杂的调和与分析, 因此要花费较多的计算时间并要求大的存贮量。我们这里采用的方法能够在不增加计算量的前提下, 同时模拟全日潮和半日潮, 因而把它们之间的非线性效应也考虑在内。这时, 边界条件取作

$$\zeta = H_1 \cos(\sigma_1 t - \theta_1) + H_2 \cos(\sigma_2 t - \theta_2) \quad (1.4)$$

其中 H , θ 和 σ 分别为分潮的振幅、迟角和角频率, 下标 1 和 2 分别代表 m_1 和 M_2 分潮。引潮势为(单位: m):

$$\xi = 0.085 \sin 2\phi \cos [\sigma_1(t - S) + \lambda] + 0.170 \cos^2 \phi \cos 2[\sigma_1(t - S) + \lambda] \quad (1.5)$$

其中 λ 为地理纬度; S 为标准时区; 本计算中 $S = 8\text{h}$ 。

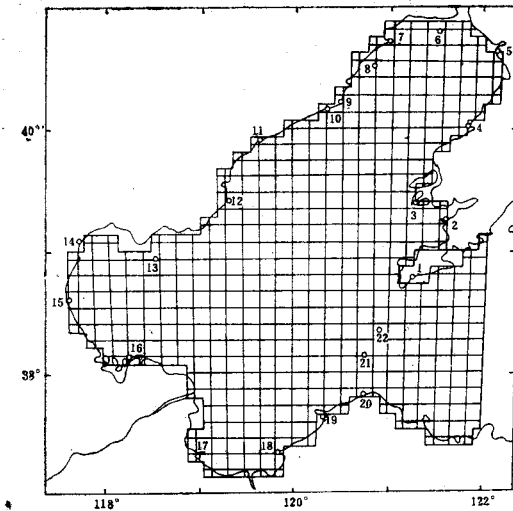


图 1 计算网格

小圆表示沿岸潮汐站(各站地名见表 1)

计算中取正方形网格(见图 1)。网格节点间的距离为 8 海里。开边界的潮汐调和常数系根据沿岸验潮站的经验数据并参照已有的同潮图确定。海中的底摩擦系数由尝试法决定, 最后取 $k = 0.0012$ 。侧向涡动粘性系数取 $A = 10^3 \text{m}^2/\text{s}$ 。根据 Courant-Friedrichs-Lewy 条件选定 $\Delta t = 207.01002\text{s}$, 亦即一个潮周期的 1/432。

初始条件取 $\zeta = u = v = 0$ 。计算每进行 1/24 潮周期, 将 ζ , u 和 v 值与一个潮周期以前的相应值进行比较, 并计算最大偏差。当最大偏差小于一个预先给定的小量 ε , 便认为潮运动已达稳定状态。本计算中取 $\varepsilon = 0.1$ (单位: 潮流 cm/s; 潮汐 cm)。对稳定状态下的潮过程每隔 1/24

周期选取一个计算值, 最后由这 24 个值进行 Fourier 分析, 算出角频率为 $n\sigma_1$ ($n = 0, 1, \dots, 11$) 的各分潮潮汐和潮流的调和常数。具体公式参阅文献 [4]。这些结果代表了 m_1 (相当于 K_1 和 O_1 平均), M_2, Mm_3 (相当于 MO_3 和 MK_3 平均), M_4, \dots 的结果。

二、与实测结果的比较

我们对图 1 中的各验潮站的 m_1 和 M_2 分潮计算和实测的结果进行了比较, 其振幅和迟角偏差绝对值 ΔH 和 $\Delta\theta$ 如表 1 所示。由表可以看到, 符合程度是良好的。对主要浅水分潮 M_4 也进行过比较, 其结果不如 m_1 和 M_2 好。

表 1 m_1 和 M_2 分潮计算和实测值的比较结果

No.	地 名	m_1		M_2	
		$\Delta H(\text{cm})$	$\Delta\theta$ (度)	$\Delta H(\text{cm})$	$\Delta\theta$ (度)
1	旅、顺	2	2	4	2
2	葫芦套	1	2	4	3
3	花椒岛	3	2	3	1
4	太平角	2	4	0	2
5	营 口	0	4	3	11
6	大陵河口	0	4	6	2
7	葫芦岛	1	0	4	0
8	菊花岛	3	2	2	2
9	团山角	0	1	2	5
10	娘娘庙	2	7	0	4
11	秦皇岛	1	4	1	9
12	滦河口	2	5	3	9
13	曹妃甸	3	6	2	9
14	塘 沽	2	0	3	2
15	歧河口	6	11	9	3
16	洼拉沟	1	1	2	8
17	小清河	5	9	0	13
18	太平湾	4	3	11	11
19	龙 口	2	2	6	6
20	蓬 莱	2	2	2	3
21	砣 矶 岛	1	1	5	0
22	北隍城岛	0	2	1	3
23	平均	2	3	3	5

三、计算结果的讨论

1. 全日分潮

渤海中 4 个长期验潮站 K_1 和 O_1 , S_2 和 M_2 , N_2 和 M_2 的振幅比和迟角差如表 2 所示。由表 2 可看出, 这些振幅比和迟角差随地点变化不大。 H_{K_1}/H_{O_1} 和 $\theta_{K_1} - \theta_{O_1}$ 的平均值分别为 1.26 和 54° 。故除了在无潮点附近外, 由 m_1 调和常数容易推算出 K_1 和 O_1 的调和常数: $H_{O_1} = 0.88 H_{m_1}$, $H_{K_1} = 1.12 H_{m_1}$, $\theta_{O_1} = \theta_{m_1} - 27^\circ$, $\theta_{K_1} = \theta_{m_1} + 27^\circ$ 。因而下面仅讨论 m_1 分潮的分布。

表 2 渤海 K_1 和 O_1 , S_2 和 M_2 , N_2 和 M_2 的振幅比和迟角差

验潮站	H_{K_1}/H_{O_1}	$\theta_{K_1} - \theta_{O_1}$	H_{S_2}/H_{M_2}	$\theta_{S_2} - \theta_{M_2}$	H_{N_2}/H_{M_2}	$\theta_{N_2} - \theta_{M_2}$
营 口	1.30	50°	0.26	63°	0.17	-33°
秦 皇 岛	1.27	50°	(0.44)	(88°)	(0.08)	(-21°)
塘 沽	1.27	54°	0.29	75°	0.15	-38°
龙 口	1.21	61°	0.30	82°	0.14	-33°
平 均	1.26	54°	0.28	73°	0.15	-35°

m_1 潮汐同潮图见图 2。这幅图与前人的结果没有显著差别。在渤海海峡偏南处有一个无潮点，潮波按逆时针方向绕此点旋转。辽东湾和渤海湾顶端振幅最大，约 0.3 m；莱州湾顶端振幅约 0.2 m。

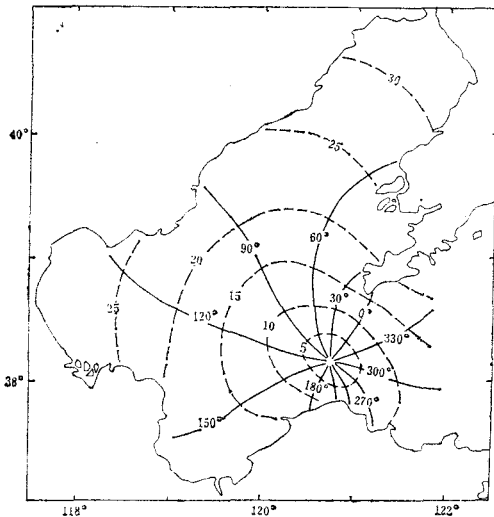


图 2 m_1 潮汐的等振幅线(虚线,单位: cm) 和等迟角线(实线,单位: deg)

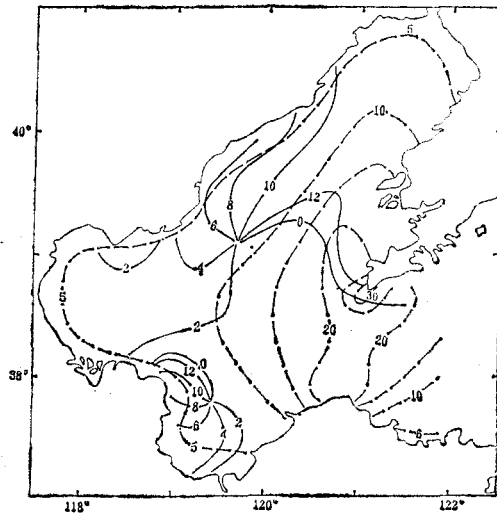


图 3 m_1 合成潮流的等振幅线(虚线,单位: cm/s) 和等潮时线(实线,单位: h)

m_1 潮流的分布见图 3, 4。一个分潮潮流椭圆长半轴的长度及对应的时间, 也可称为该分潮合成潮流的振幅和潮时。图 3 为 m_1 合成潮流的振幅和潮时分布图。值得注意的是, 全日潮流等潮时线有两个会聚中心。方国洪和王仁树^[3]曾把这种中心点叫做圆流点。在这些点上潮流椭圆是一个圆, 因而没有确定的最大流发生时间。与潮汐无潮点不同, 圆流点上潮流并不一定为零。在渤海全日潮流的这两个圆流点附近, 等潮时线都是按顺时针方向旋转的, 这与潮汐等潮时线旋转方向相反。北边的等潮时线旋转方向从 Ogura^[12] 的图 7 中就可以看得出来。但限于资料, 他未能画出圆流点。这个圆流点在郑文振等 (1964)¹⁾ 撰写的报告中已经出现, 但位置稍有不同。南部的圆流点从未有人注意

1) 同 337 页脚注 1)。

到过,它是否存在尚有待观测验证。

渤海海峡全日潮流相当强,最大在老铁山水道,约 0.35 m/s 。当月赤纬最大时,全日潮振幅为 O_1 和 K_1 之和,即 m_1 的两倍,可达 0.7 m/s 。海峡南部略弱于老铁山水道。

除了几个小的区域内全日潮流略呈右旋外,大部分是左旋的。

2. 半日分潮

图 5 为 M_2 潮汐同潮图。 S_2 和 N_2 的分布可以根据表 1 中的数值推测。

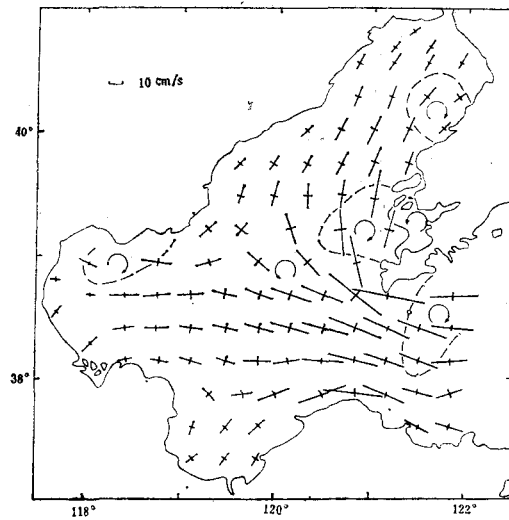


图 4 m_1 潮流椭圆轴

(箭头表示虚线所围区域内 m_1 潮流的旋转方向)

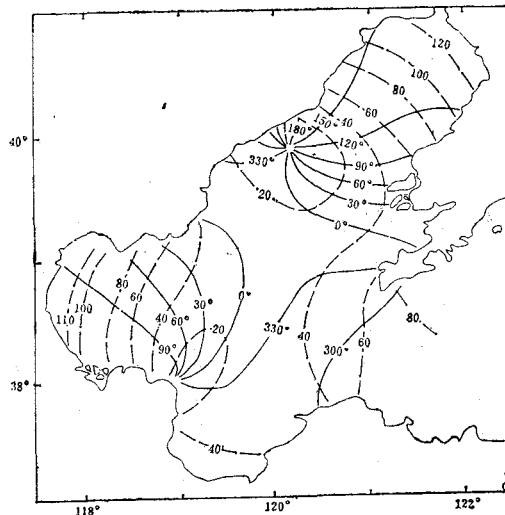


图 5 M_2 潮汐的等振幅线(虚线,单位: cm) 和等迟角线(实线,单位: deg)

一般认为 M_2 在渤海有两个无潮点^[1,5-7,10,11]。一个在秦皇岛附近,一个在黄河口附近。在 An^[8] 和 Choi^[9] 的同潮图中,秦皇岛附近未出现无潮点。而所有其余的同潮图,包括本文图 5 都确认在秦皇岛附近存在着无潮点。An 和 Choi 之所以不能得出符合实际的结

果,是因为在他们的计算中,渤海的底摩擦系数都取得太大了。

以往的同潮图都表明在黄河口外海存在无潮点,而据本文计算则表明这个无潮点已很靠近海岸。可以断言,由于黄河口泥沙的沉积,海岸正向外推移,无潮点将会消失。

我们对比了各种同潮图,发现它们在莱州湾差别较明显。Ogura^[12], Defant, An, Choi^[8-10], 孙文心等^[5] 和沈育疆^[6] 等的同潮图属于一类。在这些图中, M_2 同潮时线由西向东推迟。郑文振等(1964)^[1], 窦振兴等^[7], 山广林等^[11] 及本文则属于另一类。在这些图中,莱州湾潮时随地点变化很小。由于郑文振等^[1] 比 Ogura 年代较晚,且利用了更多的沿岸观测结果,后面一类的图比较接近目前实际情况。然而这里也向我们提出一个问题,即 Ogura 的同潮图和现在情况的不符,是由于当时观测资料缺乏, Ogura 没有得出符合实际的同潮图,抑或由于黄河口岸形的变迁改变了莱州湾的潮汐? 我们初步认为,后一种原因是主要的。这从 Choi 的计算结果可以看出。他采用了旧的海岸线位置,所得结果与 Ogura 的图型式类似。这说明 Ogura 的图可能是符合当时的实际情况的。由此看来,黄河口岸形的改变对其附近及莱州湾的潮汐有明显影响。

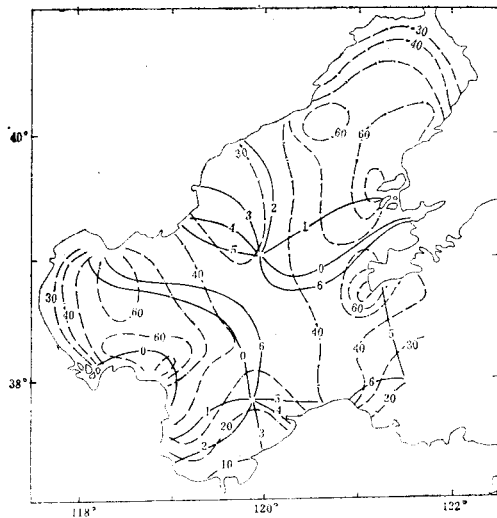


图 6 M_2 合成潮流的等振幅线(虚线,单位: cm/s) 和等潮时线(实线,单位: h)

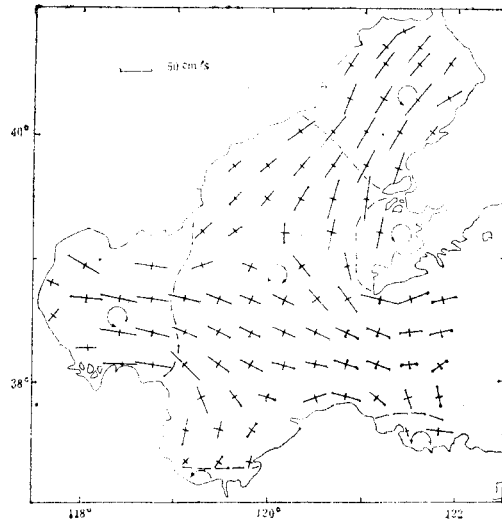


图 7 M_2 潮流椭圆轴 (箭头表示虚线所围区域内 M_2 潮流的旋转方向)

图 6, 7 是 M_2 潮流的计算结果。由图 6 可看到,与全日潮流类似,渤海半日潮流也有两个圆流点。不过与全日潮流相反,半日潮流等潮时线是绕圆流点作逆时针方向旋转的,这与潮汐等潮时线相仿。还有一点也与全日潮流相同,即南部的圆流点也从未被人注意到过(比较山广林等, 1983, 图 5, 6)^[11]。这个圆流点的存在与否尚需在将来的实际观测中予以检验。

半日潮流和全日潮流等潮时线旋转方向的不同是值得注意的现象。在北半球,等潮时线按逆时针方向旋转是我们所习惯的,然而渤海潮流的等潮时线,半日潮为逆时针旋转,全日潮则为顺时针旋转。这看来是与这里全日潮的角频率 σ 小于 Coriolis 参量 f 有

1) 同 337 页脚注 1)。

关。

由图 6 可看到, 渤海 M_2 潮流有三个最大流区, 一个在老铁山水道, 一个在长兴岛附近, 一个在黄河口。其流速值均可达 0.75 m/s 左右。由于老铁山水道又是全日潮流最强的区域, 这里总的潮流是很强的。由图 7 可看到, 渤海湾以及辽东湾的大部, 半日潮流为左旋; 而渤海的其余大部分海区为右旋。由于潮流旋转率总是向下增加 (见 Fang & Ichiye^[11], 1983), 在上层海中, 右旋区的范围要比图 7 中的右旋区更大一些。

3. 四分日分潮

本计算得出了各种频率浅水分潮的结果。其中最重要的是四分日分潮 M_4 。由近似关系 $H_{MS_4}/H_{M_4} \approx 2H_{S_2}/H_{M_2}$, $\theta_{MS_4} - \theta_{M_4} \approx \theta_{S_2} - \theta_{M_2}$ 可估算 MS_4 分潮。

计算所得 M_4 同潮图见图 8, 这幅图与孙文心等^[5] 的计算 M_4 同潮图差别很大。孙文心等的同潮图中有两个潮波系统逆时针旋转, 两个顺时针旋转; 而图 8 中则 4 个都是逆时针旋转的。为了验证 M_4 计算结果, 我们把渤海沿岸的计算值和实测值绘到图 9 中进行对比。总的来看, 本计算所得的迟角与实测值在趋势上是一致的。这说明图 8 给出的 M_4 潮波系统能大体代表实际情况。特别由图 9 明显看出, 逆时针地沿着海岸, 从大连一直到龙口, 实测 M_4 的迟角变化趋势是单调增加的。这说明在渤海内不会有顺时针旋转的潮波系统。但是从图 9 也可看到, 计算值和实测值在数量上的差别还是不小的, 特别是计算的振幅值普遍偏大。这表明, 用二维潮波方程 (1.1)–(1.3) 计算浅水潮汐还存在一些

问题。其症结很可能在摩擦力项。关于这个问题, 我们将另外进一步研究。

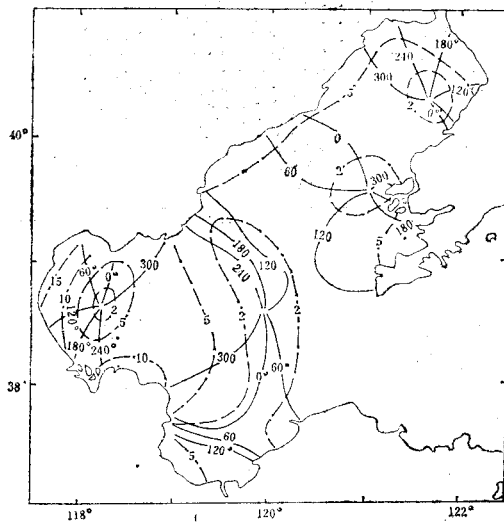


图 8 M_4 潮汐的等振幅线(虚线, 单位: cm) 和等迟角线(实线, 单位: deg)

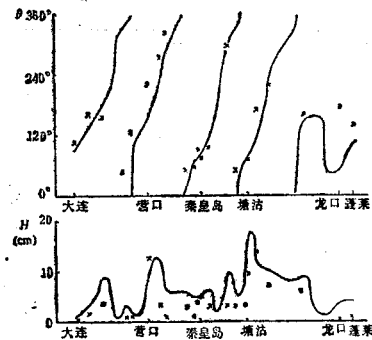


图 9 渤海沿岸 M_4 潮汐的计算结果(实线) 和观测值(叉点)的比较

4. 潮生余水位和余流

由潮波非线性效应在渤海产生的潮生余水位很小, 全部在 -1.5 至 0.3 cm 之间。同时大部海区为减水, 只在渤海中部至莱州湾一带及渤海外的烟台附近为增水, 这两个区域 M_2 分潮的潮流较弱 (见图 10 和图 6)。

潮余流一般也是微弱的, 流速在 1 cm/s 以下的区域占渤海总面积的 60% 以上。最强

的潮余流出现在老铁山水道西侧,达 11 cm/s , 方向西南(见图 11)。渤海内可以看到几个大的旋流,但也可看到许多具有计算网距尺度的小涡环。这些小涡环有一些是合理的,因为有些地方岸形的变化本身与网距具有相同的尺度,如老铁山以及长兴岛附近。但许多具有网距尺度的小涡环则可能是由于在差分网格中用阶梯形岸线代替实际的岸线所引起的,因而并不反映客观实际。

值得注意的是,在老铁山、长兴岛和黄河口外海都有一股相对较强的离岸潮余流。这种离岸潮余流的形成是与这些地点岸线剧烈弯曲有关的。图 12 给出在海角附近潮余流的一个简单模型。当潮流沿着海角流动时有很大的曲率而受到较强的离心力的作用,使海水向外流去,海角附近海面降低,而两侧海水向海角附近补充,形成旋转方向相反的两个涡环。

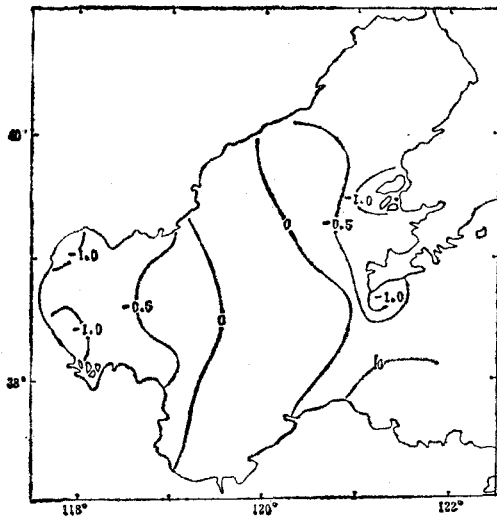


图 10 潮汐余水位(单位: cm)

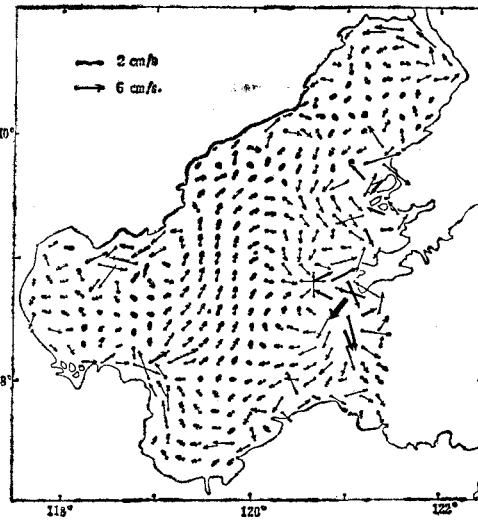


图 11 潮余流

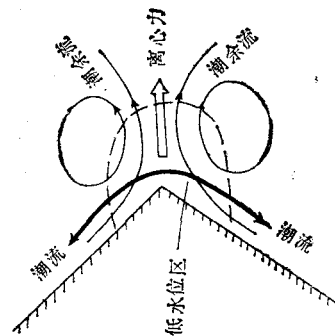
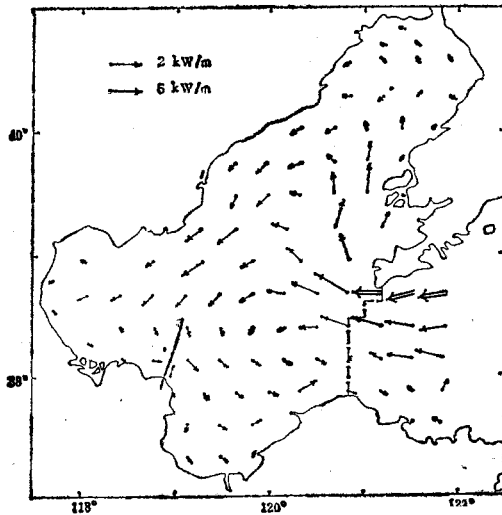
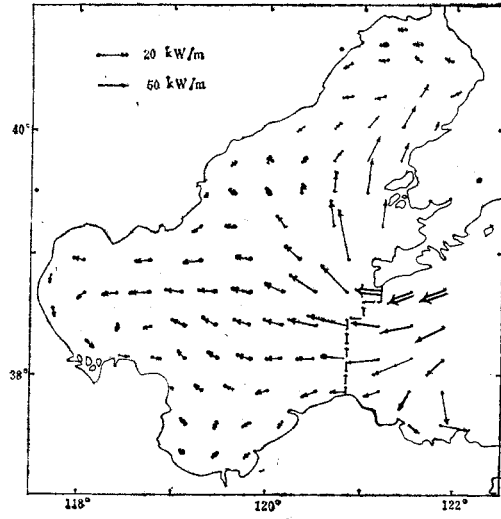


图 12 海角附近潮生余流和余水位的示意图

5. 能通量

图 13 和 14 分别是 m_1 和 M_2 分潮的能通量密度分布图。全日潮能量由渤海海峡北部进入,顺海岸按逆时针方向流动,最后有少量能量从海峡南部流出。半日潮能量则在整

图 13 m_1 分潮能通量密度图 14 M_2 分潮能通量密度

个海峡都是向内流动的,但从北部流入的占绝大部分。半日潮能流进入渤海后分成三股:北股沿辽东湾海岸作逆时针回转,向北的能流远比向南的能流强;中股进入渤海湾后也呈逆时针回转,流出的能流很弱,至黄河口附近已消失;南股简单地沿海岸方向由东向西流动。

我们把图 13 和 14 中所示的渤海海峡处的折线作为渤海内外的分界线,则通过这个断面进入渤海 m_1 和 M_2 分潮的能通量分别为 $\Phi_{m_1} = 0.33 \times 10^6$ 和 $\Phi_{M_2} = 4.43 \times 10^6 \text{ kW}$ 。参考表 2, 取 $\Phi_{O_1}/\Phi_{m_1} = 0.88^2$, $\Phi_{K_1}/\Phi_{m_1} = 1.12^2$, $\Phi_{N_2}/\Phi_{M_2} = 0.15^2$, $\Phi_{S_2}/\Phi_{M_2} = 0.28^2$, 则进入渤海的 O_1 , K_1 , N_2 , M_2 和 S_2 的能通量分别为 $0.26, 0.41, 0.10, 4.43$ 和 $0.34 \times 10^6 \text{ kW}$ 。如果再考虑到其它小分潮,进入渤海的总潮能通量大约为 $5.7 \times 10^6 \text{ kW}$ 。

参 考 文 献

- [1] 山广林、刘赞沛、王钟裙等, 1983。渤海潮混合数值模拟 I. 渤海主要半日分潮的数值模拟。海洋与湖沼 14 (5): 419—431。
- [2] 方国洪, 1980。潮汐摩擦的非线性效应 (I)。海洋与湖沼 11(2): 98—108。
- [3] 方国洪、王仁树, 1966。海湾的潮汐和潮流。海洋与湖沼 8(1): 60—77。
- [4] 方国洪、杨景飞、赵绪才, 1985。台湾海峡潮汐和潮流的一个数值模型。海洋学报 7(1): 12—20。
- [5] 孙文心、陈宗镛、冯士祚, 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。
- [6] 沈育疆, 1980。东中国海潮汐数值计算。山东海洋学院学报 10(1): 26—35。
- [7] 窦振兴、罗远途、黄克辛等, 1981。渤海潮流及潮流的数值计算。海洋学报 3(3): 355—369。
- [8] An, H. S., 1977. A numerical experiment of the M_2 tide in the Yellow Sea. *J. Oceanogr. Soc. Jap.* 33(2): 103—110。
- [9] Choi, B. H., 1980. A Tidal Model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. KORDI Report 80-02. Korea Ocean Research and Development Institute pp. 1—72。
- [10] Defant, A., 1961. *Physical Oceanography*. Pergamon Press, Oxford. Vol. II. pp. 423—426。
- [11] Fang, Guohong and Takashi Ichiye, 1983. On the vertical structure of tidal currents in a homogeneous sea. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* 73(1): 65—82。
- [12] Ogura, S., 1936. The tides in the northern part of the Hwang Hai. *Jap. J. Astr. Geophys.* 14 (1): 27—55。(或参看海洋与湖沼第 1 卷第 2 期管秉贤的译文)

A TWO-DIMENSIONAL NUMERICAL MODEL OF THE TIDAL MOTIONS IN THE BOHAI SEA*

Fang Guohong

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

Yang Jingfei

(Institute of Marine Scientific and Technological Information, NBO, Tianjing)

ABSTRACT

The diurnal, semidiurnal and shallow-water tides and tidal currents in the Bohai Sea are computed using finite-difference method based on two-dimensional nonlinear tidal wave equations. Good agreement of the computed results to the observed is achieved for diurnal and semidiurnal tides. General pattern of the computed quarterdiurnal tide conforms to the observed, yet the computed amplitudes are on the high side. This is attributed to the ineligibility of the friction terms in the two-dimensional governing equations to dissipate the energy of high frequency tidal waves. It is found that the existing semidiurnal cotidal charts have considerable difference in the Laizhou Bay and the difference is likely caused by the change of coastline around the Huanghe River Estuary. The present result coincides with the recent empirical cotidal chart. The computation shows a new current-amphidromic point for both semidiurnal and diurnal tidal currents. The diurnal current has two current-amphidromic points in the Bohai Sea with co-phase lines progressing clockwise round these points. The semidiurnal current has also two current-amphidromic points with co-phase lines progressing anticlockwise. The distributions of tide-induced residual elevation and current are illustrated, and the tidal energy fluxes are computed.

* Contribution No. 1214 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.