

北部湾潮汐数值预报及其分析*

刘爱菊 张延廷

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

提要 采用二维非线性运动方程和连续方程组,以多个分潮同步输入,做耦合数值模拟,进行潮汐数值预报。结果表明, K_1 潮波等振幅线分布与历史潮波图明显不同,此线呈舌状向北伸展,特别在湾的南部海域,其中央区振幅很小,10cm等振幅线可以伸至北纬 19° 以北。 O_1 分潮的分布与 K_1 分潮类似;北部湾北部以全日潮为主,湾的南部潮汐性质指标数2.0的等值线呈舌状向湾内伸,两侧为不正规日潮,中间为不正规半日潮。4.0等值线向北推移,在 19°N 以南中央海区预报结果与前人的结果不同;南部海区中央一带潮差很小,最大可能潮差不超过2m,这种分布与前人结果有较大差异。

关键词 潮汐数值预报 同潮时 潮汐性质 潮差

近几年来不少学者对南海的潮汐特征进行了研究(丁文兰,1986;沈育疆等,1985;曹德明等,1990;俞慕耕,1984),但与东、黄、渤海相比,该区的研究还较少。由于南海水域辽阔,潮汐现象比较复杂,人们的认识也不够深入,更少进行整个海区潮的数值预报。以往的研究,大多数采用边值法、外推逐步逼近法,进行单个分潮数值模拟与分析,不仅受到岸边台站资料的多少及时间序列长短的影响,还由于外海无资料可用,外推到广阔的海域后,结果可靠性很难加以验证,单个分潮的计算及其少数分潮的线性迭加结果,也失去了各分潮非线性耦合作用及有关的浅水分潮,在应用方面受到了限制。为了工程需要,作者采用潮波运动方程和直接进行该海区潮汐数值预报时,发现北部湾的中部及南部海域潮差很小,较大范围为不正规半日潮区,潮汐性质的分布与前有所不同,为了证实这种情况的存在,结合任务在南部中央深海区设两个验潮站¹⁾(安德拉水位计观测),利用该站和沿岸及岛屿同步实测潮汐资料(或潮汐表),对潮汐数值预报值进行了检验。进而对一个月的数值预报结果进行调和分析和潮汐特征研究,既证实了潮汐数值预报的可靠性,又解决了海区内部缺少资料的困难,从而得到前人没能得到的若干结果。

1 潮汐数值预报模式及其计算结果

计算区域如图1所示,物理模式为二维非线性运动方程与连续方程组,选用直角坐标系, x 和 y 分别指向东和北。

* 中国海洋石油总公司东方1-1油气田“九五”攻关项目资助。刘爱菊,女,出生于1939年9月,副研究员。

1) 南海东方1-1工程1995年水位观测资料。

收稿日期:1996年3月6日,接受日期:1996年5月12日。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\tau_{ax} - \tau_{bx}}{h + \zeta}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\tau_{ay} - \tau_{by}}{h + \zeta}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(h + \zeta)u] + \frac{\partial}{\partial y} [(h + \zeta)v] = 0$$

式中, u, v 分别表示 x, y 方向的流速分量(垂直平均值); ζ 为潮位或水位; h 为从参考平面至海底的距离; ρ 为海水密度; τ_a, τ_b 分别表示风应力和底摩擦应力。进行潮汐计算时 τ_a 取为零。

以“ADP”法进行数值解, 空间、时间步长分别取为 20km 和 20min。

计算条件: $t = 0: \zeta = 0, u = v = 0$

闭边界: $V_n = 0$

开边界: $\zeta(x, y, t) = \sum_{i=1}^6 f'_i H_i(x, y) \cos[\sigma_i t + (v_0 + u')_i - g_i(x, y)]$

其中: H, g 分别为各分潮的调和常数, f' 为交点因子, $(v_0 + u')$ 为各分潮的天文相角初位相。

根据北部湾的实际情况, 日分潮振幅比较大, 故在开边界输入 $M_2, S_2, N_2, K_1, O_1, P_1$ 等几个主要分潮之和, 其中包含有各分潮的天文相角及任意时刻的初位相, 因而能计算出给定时刻的潮位和潮流。由于几个分潮同步输入, 彼此之间的耦合作用及其与地形的非线性效应产生的浅水分潮都能体现, 较好地反应计算海域的潮汐状况。

为了检验潮汐数值预报结果的可靠性, 利用海上几个点以及岸边站如莺歌海、东方和北海等长期验潮站的同步资料, 做了对比(图 2a), 可以看出, 无论岸边还是外海, 潮位的大小和位相的变化, 数值预报结果与实际相符合, 其结果是满意的。

另外, 利用边值方法所得的外海各点的诸分潮调和常数(同样是 $M_2, S_2, N_2, K_1, O_1, P_1$) 做潮汐计算, 与本文潮汐数值预报值做比较(图 2b), 由图 2b 可以看出, 两者有明显的差别, 前者与实测值相差较大, 特别在外海区域误差更大(图 2b, A), 说明边值法计算的潮汐在外海还欠准确。而本文的潮汐数值预报方法的结果, 比较理想, 从而具有广泛的实用性, 根据此结果进行潮汐特征的分析, 是可靠的。

2 潮汐特征分析

利用北部湾整个海区 1 个月(1995.5.24—6.23)的数值预报结果, 对每一点采用严格最小二乘法做调和分析, 得到 11 个主要分潮的调和常数, 其中可以看出一些浅水分潮也具有相当的量值。以此为基础, 进行潮汐特征值的计算和分析。

2.1 日潮波

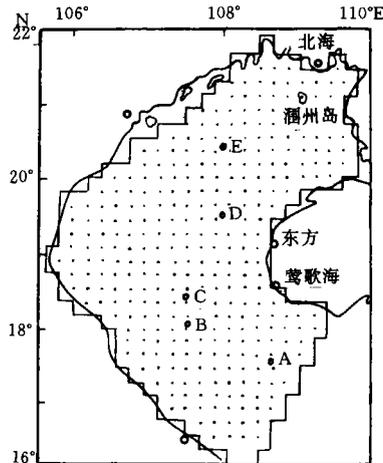


图1 计算网格
Fig.1 Computational grids
A—E为检验点(下图相同)

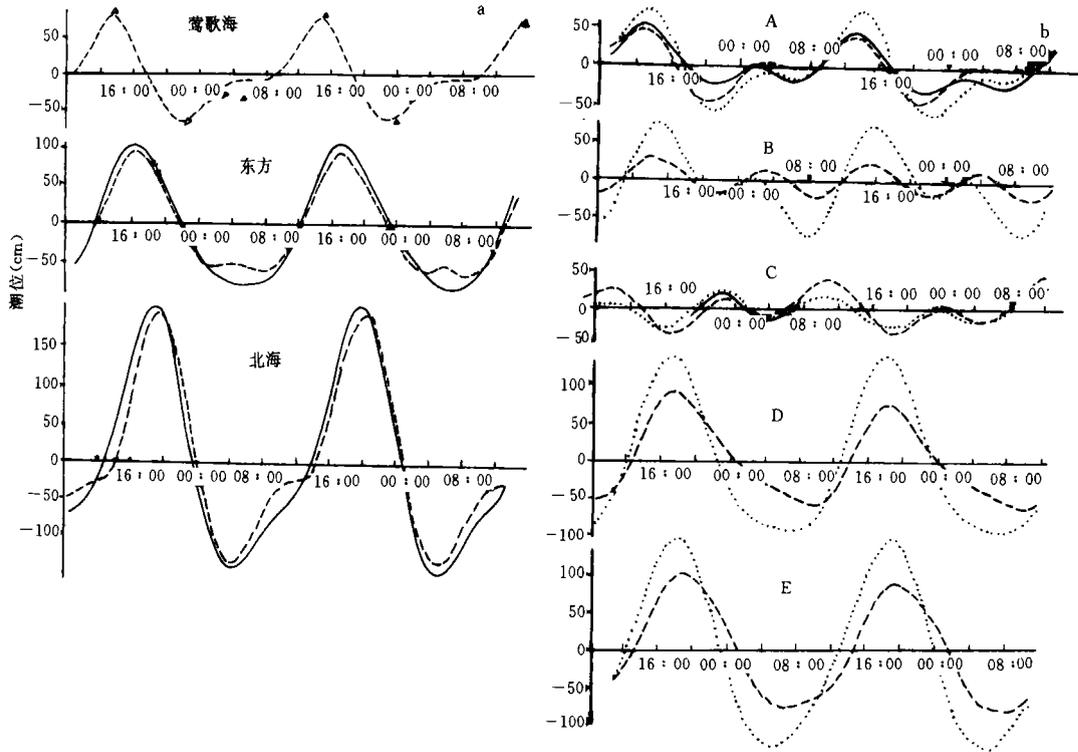


图2 潮位曲线

Fig.2 Tidal level curves

——实测值; $\Delta\Delta\Delta$ 高低潮; ---数值预报值;边值法计算值。

由图 3a, b 可以看出, 在北部湾口的左侧, 约在顺化附近海区, K_1 分潮波有一左旋潮波系统, 湾口同潮时线密集, 湾的西北及北部大片海域同潮时线稀疏, 就是说几乎同时达高潮。还可以看出, 潮波的等振幅线分布与历史潮波图(丁文兰, 1986; 沈育疆, 1985; 曹德明, 1990; 俞慕耕, 1984)明显不同, 此等振幅线呈舌状向北伸展, 而不是平行线式向北推移, 特别在湾的南部海域, 其中央区振幅很小, 10cm 等振幅线可以伸至北纬 19° 以北, 而以往的潮波图, 在该区域, K_1 分潮振幅竟达到 50cm, 等振幅线几乎与纬线平行。 O_1 分潮在北部湾没有形成无潮点, 但等振幅线的分布仍与 K_1 分潮的分布类似, 在湾的南部呈舌状向北伸展, 10cm 等振幅线伸至 18°N 以北, 同样与前人的潮波图也有较大差别, 在 18°N 附近历史潮波图振幅仍在 40cm 以上。靠近海南岛一侧等振幅线密集, 越南一侧较疏, 向湾顶增大, 在广西近海可达 100cm 以上。

由此而计算的潮汐性质图和潮差图较历史图都有较大的改进。

2.2 半日潮波

由图 3c, d 看出, M_2 分潮波在北部湾没有形成明显的独立潮波系统, 由于潮波的反射和摩擦等原因, 在海防附近有一小的振幅区(10cm 左右), 湾的中部约为 20cm, 涠洲岛附近和湾顶大于 30cm, 南部海区约 15cm。 S_2 分潮在湾内也没有明显的旋转潮波系统, 整个海区振幅较小, 除北纬 19° 附近靠越南一侧和东北部涠洲岛附近海区振幅大于 10cm 以外, 大部分海区只有 5cm 左右, 此结果与历史图差别不大。

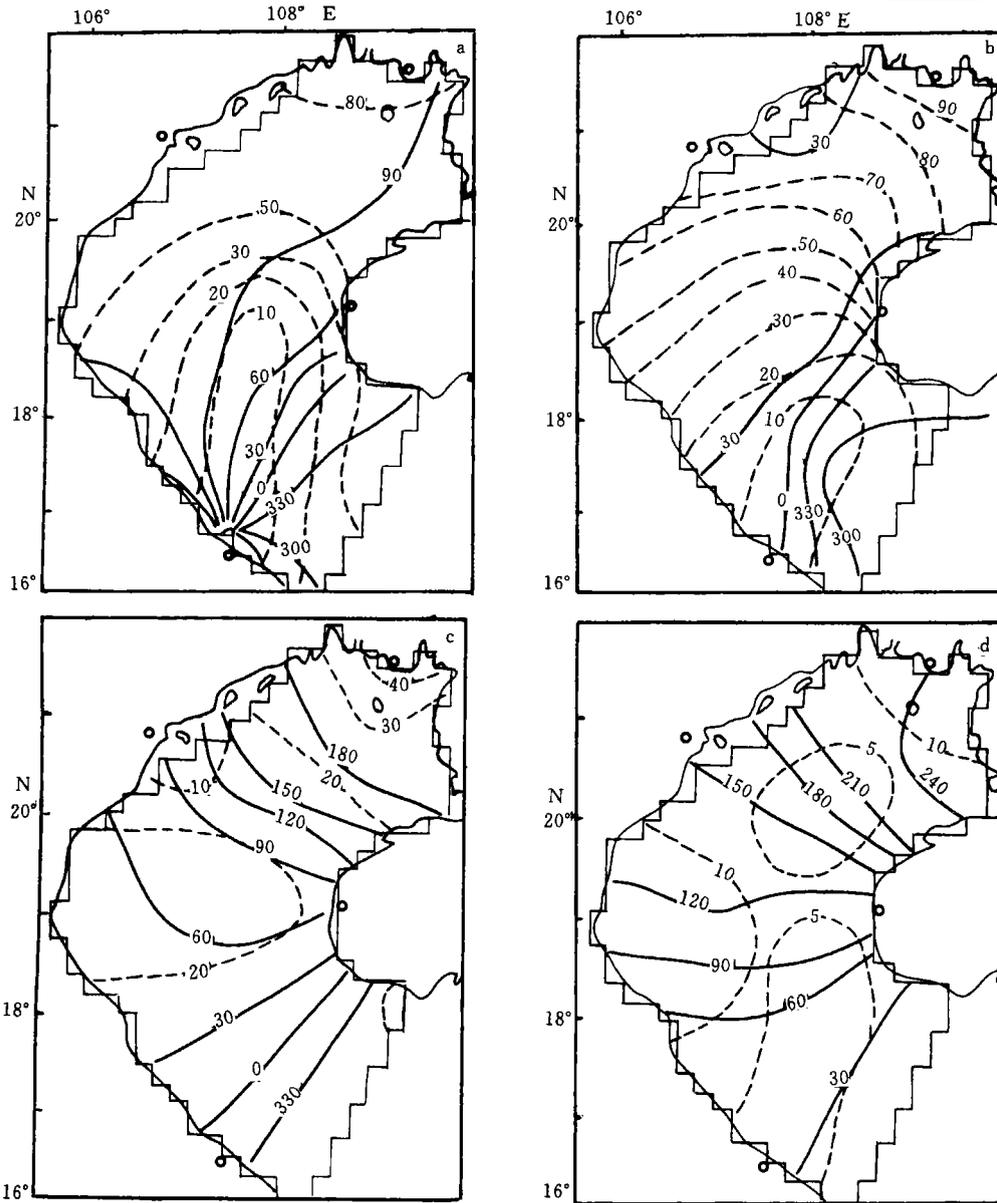


图3 K_1 (a), O_1 (b), M_2 (c)和 S_2 (d)等潮图

Fig.3 Cotidal chart K_1 (a), O_1 (b), M_2 (c) and S_2 (d) constituent

实线为迟角($^{\circ}$); 虚线为振幅(cm).

2.3 潮汐性质

由上述潮波的分布可以看出,北部湾全日潮非常显著,而半日潮波较弱。因此,根据潮汐性质判别指标可知,北部湾大部分区域潮汐性质以全日潮为主,湾的北部为全日潮,特别在海防近海潮汐性质判别指标数达20以上,全日潮性质特别显著。湾的南部海区潮汐性质指标数2.0的等值线呈舌状向湾内伸,两侧为不正规日潮,中间为不正规半日潮(图4a)。与前人结果相比,全日潮与半日潮的分界线(4.0)向北推移,在 $19^{\circ}N$ 以南中

央海区与前人完全不同。

2.4 最大可能潮差

最大可能潮差的大小,与各分潮振幅密切相关,因此它的分布,取决于分潮振幅的分布,由图 4b 看出,南部海区中央一带潮差很小,最大可能潮差不超过 2m,这种分布与前人的结果有较大差异,其他区域往湾顶增大,湾顶达 7m 以上。

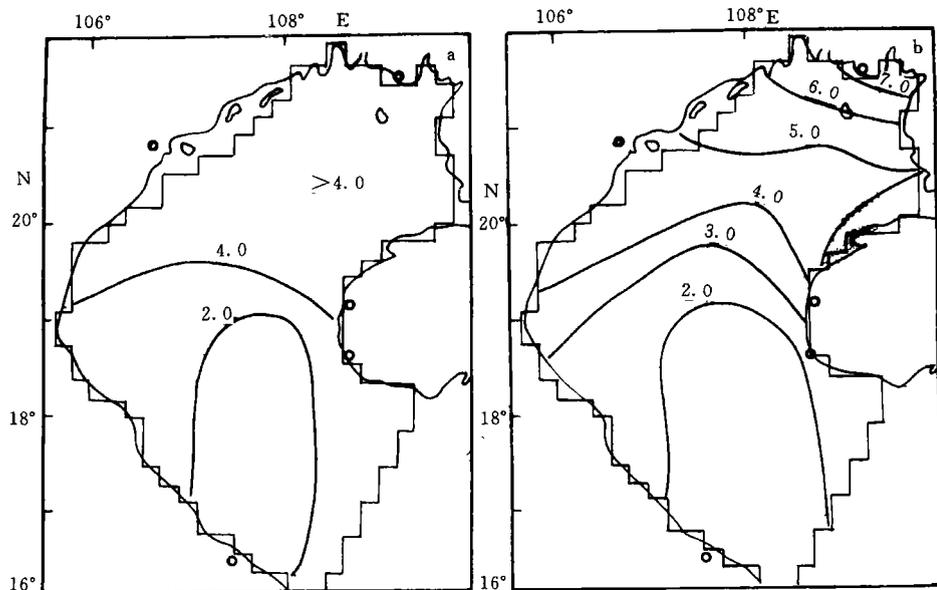


图4 潮汐性质(a)和最大可能潮差(b)

Fig.4 Tidal characteristics (a) and maximum possible tidal range (b)

3 结语

综上所述,本文潮汐数值预报方法比较合理地反映出实际潮汐变化,克服了外海区域获取潮汐资料的困难,可为海洋工程、海上油井、测绘等进行较准确的海上潮汐预报;同时为潮汐分析、特征参数的计算提供合理的依据,为其他海洋动力的研究如泥沙运移、污染扩散、溢油漂移等的研究提供可靠的背景场。

参 考 文 献

丁文兰, 1986, 海洋与湖沼, 17(6): 468—480.
 沈育疆等, 1985, 海洋湖沼通报, 1: 1—11.
 曹德明、方国洪, 1990, 海洋与湖沼, 21(2): 105—113.
 俞慕耕, 1984, 海洋学报, 6(3): 295—300.

NUMERICAL PREDICTION AND ANALYSIS OF THE TIDE IN BEIBU BAY

Liu Aiju, Zhang Yanting

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003)

Abstract A numerical simulation was made for tidal prediction by using the 2-D nonlinear motion equation and the continuity equation and simultaneous input of several tidal constituents. The equation system for the simulation are as follows:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\tau_{ax} - \tau_{bx}}{h + \zeta}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\tau_{ay} - \tau_{by}}{h + \zeta}, \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(h + \zeta)u] + \frac{\partial}{\partial y} [(h + \zeta)v] &= 0 \end{aligned}$$

and the boundary condition at the open boundary is:

$$\zeta(x, y, t) = \sum_{i=1}^6 f_i' H_i(x, y) \cos[\sigma_i t + (v_0 + u')_i - g_i(x, y)].$$

The predicted results showed that the distribution of K_1 amplitude isoline is different from that of historical tidal wave distribution. The tongue lines stretch northward, and the K_1 amplitude in the central area of southern Beibu Bay is small, with the 10cm amplitude line stretching as far north as 19°N . The distribution of the O_1 constituent is similar to that of the O_1 constituent. The diurnal tide is predominant in the northern Beibu Bay, and the tongue isolines of tidal characteristics index 2.0 in the southern Beibu Bay stretch into the Bay with the irregular diurnal tide on its sides and the irregular semi-diurnal tide in the tongue isolines. The index 4.0 isolines stretch northward, and the prediction results in the central area south of 19°N are different from previous results; the tidal range in the central area of the southern Beibu Bay is small, with the maximum possible tidal range being not greater than 2m, which is quite different from previous results.

Key word Tidal numerical prediction Cotidal hour Tidal characteristics
Tidal range