

北部湾潮汐数值计算参数的试验

Coefficient Tests on the Tidal Simulation of the Beibu Gulf

殷忠斌 陈明剑* 李树华 郭芝兰
Yin Zhongbin Chen Mingjian Li Shuhua Gou Zhilan

(广西海洋监测预报中心 北海市四川路 536000)

(Guangxi Ocean Observation and Forecast Center, Sichuan Road, Beihai, Guangxi, 536000)

摘要 选不同的海底摩擦系数以及水平湍流摩擦系数,对北部湾的 k_1 分潮进行了数值模拟试验。结果表明,当底摩擦系数取 0.002~0.003,而水平湍流摩擦系数取 $\times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ 时其模拟结果与实测潮波系统比较吻合。潮波动力学方程中的底摩擦项对数值结果影响较大,而水平湍流摩擦项对数值结果的影响不甚明显。

关键词 潮汐 数值试验 数值计算 潮波动力学

Abstract The k_1 constituent in the Beibu Gulf is studied using different coefficients of bottom friction and horizontal turbulent friction. The results show that, when coefficient of bottom friction is 0.002 to 0.003 and coefficient of horizontal turbulent friction is $\times 10^2$ to $5 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$, the computed values agree generally with the observed one. The bottom friction term in tidal wave dynamic equations is significant to the numerical result, but horizontal turbulent friction term is insignificant to it.

Key words tide, numerical experiment, numerical computation, tidal dynamics

我们曾用数值方法对北部湾的潮波系统进行了计算,取得了一些初步的结果^[3,4],对湾内潮波分布有了一个大致地了解。为了进一步掌握北部湾潮波数值模拟中有关参数选取的可能范围,我们采用不同的底摩擦系数以及水平湍流粘滞系数,在计算机上主要对 k_1 分潮进行了数值试验;还分别略去底摩擦项以及水平湍流摩擦项等,以期探讨它们对潮波数值模拟结果的影响。这些试验,使我们对北部湾的实际潮波模型更趋了解,为今后进一步模拟湾中各个分潮的分布提供了依据。

本文计算方法、各符号说明以及网格配置等均与文献[4]相同。有关参数的选取,除本文有说明的以外,其余取值也均与文献[4]一致。为了后面论述上的方便起见,我们将文献[4]的结果,称为原模式结果。

1 有关参数的数值试验结果

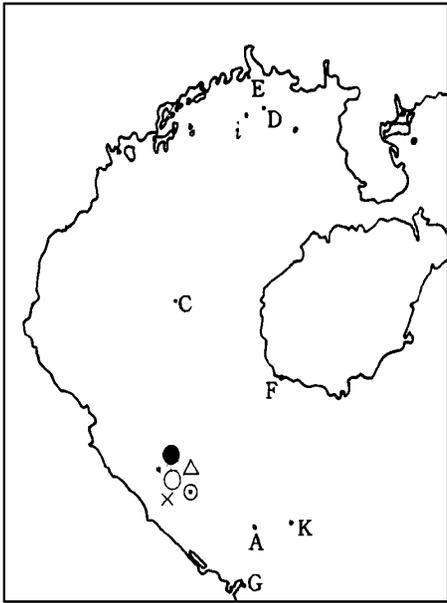
在文献[4]中, k 代表底摩擦系数, A 代表水平湍流粘滞系数。对于这两个参数,我们均分别进行了试验,兹将几个方案数值试验结果中无潮点位置的变化以及个别点潮波要素的变化简述如下。

1.1 不同 k 值数值试验结果的比较

对于 k 值,包括原模式,我们共进行了5个方案的数值试验。方案1,2,3,4和原模式的底摩擦系数 k 的具体取值分别为: $0.01/(\bar{h})^{1/2}$, 0.0020, 0.0025, 0.0030, $0.015/(\bar{h})^{1/3}$, 0.0025。计算中,其它参数的选取均与原模式相同。其中2,3号方案以及原模式方案的底摩擦系数 k 为常数;1,4号方案的 k 值随水深而变。 \bar{h} 为邻近4个计算点水深的平均值。

这5个方案无潮点位置的变化示于图1。从图1看出,当 k 取0.002~0.003时,无潮点位置变化不大,随着 k 的增大,无潮点位置稍微向越南沿岸靠近。当 k 取 $0.01/(\bar{h})^{1/3}$ 时,它随水深而变,水深越深, k 值越小,也就是说底摩擦随水深的增加而变小,由此

计算所得的无潮点位置比原模式稍微向东南方向移动。当 k 取 $0.015/(\text{无})^{1/3}$ 时,由于北部湾的水深一般在 120 m 以下,这就意味着任一计算点的 k 值均大于 0.003,此时,无潮点的位置已移至陆地上。从上述几个方案的计算结果来看,无潮点位置总的变化趋势是随 k 的增大,也就是说随摩擦力的增大,而向越南沿岸靠近,这与理论结果的解释是一致的。



○: 原模式 Original model; △: $k = 0.002$; >: $k = 0.003$;
⊙: $k = 0.01/\bar{h}^{1/2}$; ●: $k = 0$.

图 1 不同 k 值无潮点位置分布图

Fig. 1 The centre locations of the amphidromic points at different values of k

表 1 是不同 k 值的计算方案,湾中几个计算点潮振幅和位相的变化,点的位置见图 1 从表 1 中可以看出,湾中部和湾顶广大区域,高潮时基本上随 k 值的变化

Table 1 Variation of the tide at different values of k

| 方案 Model | 振幅 Amplitude (cm) | | | | 位相 Phase (°) | | | |
|-----------------------|-------------------|-----|------|-----|--------------|-----|------|----|
| | A点 | B点 | C点 | D点 | A点 | B点 | C点 | D点 |
| 1 | 14.3 | 345 | 2.8 | 298 | 39.4 | 67 | 76.7 | 84 |
| 2 | 18.7 | 312 | 6.7 | 68 | 47.1 | 84 | 81.4 | 68 |
| 原模式 Original model | 18.1 | 292 | 0.2 | 30 | 42.8 | 87 | 78.5 | 76 |
| 3 | 12.4 | 323 | 11.2 | 352 | 45.3 | 95 | 83.1 | 82 |
| 4 | 19.6 | 301 | 21.3 | 318 | 38.7 | 103 | 71.6 | 61 |

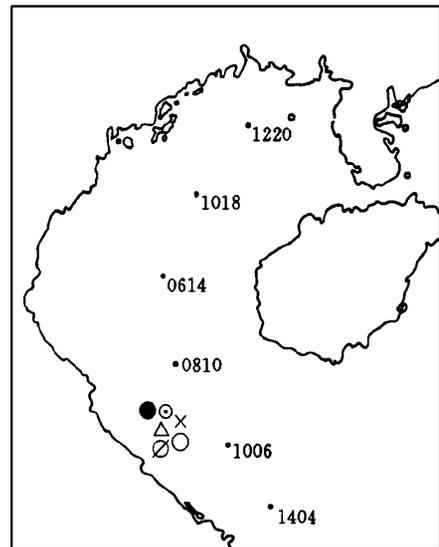
A点: 湾口 The mouth of Gulf; B点: 无潮点附近 Around amphidromic point; C点: 湾中部 The middle of Gulf; D点: 湾顶 The top of Gulf.

增大而延后;湾口区域,高潮时具有随 k 值的增大而提前的趋势,无潮点附近的同潮时线已发生了旋转。一般来说,湾内潮振幅主要随 k 值的增大而减低。

根据几个方案的计算结果与岸边潮位站实测结果的比较可知,取不同的底摩擦系数进行计算,对边界值是具有一定影响的。其中,2号,3号方案以及原模式结果与实测结果之间拟合得较好,湾中部实测结果与数值计算结果之间的相对误差一般在 15% 以下,湾口一带约为 18%,湾顶的误差较大,可达 25%;4号方案的相对误差最大,尤其是湾口及无潮点附近,个别点的误差达 65%;1号方案的误差一般在 30% 以下。相对地说,原模式结果与实际潮波模型拟合得较其它几个方案都理想。从总的结果来说,几个方案对湾中部的拟合程度较好,其相对误差一般在 28% 以下,大部分计算点的误差在 10% 左右;湾顶的拟合程度较差,其误差一般都大于 15%。

1.2 不同 A 值数值试验结果的比较

为了考虑不同的湍流粘滞系数对数值计算结果的影响,在原模式中,我们仅改变 A 的取值,对此作了四个方案的计算。方案 5,6,7,8 和原模式的 A 值分别为 $1 \times 10^2, 5 \times 10^2, 5 \times 10^3, 1 \times 10^4, 1 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$;从 A 的具体取值可看出, A 的取值范围变化较大,且均与水深无关。从计算结果来看, A 取 $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$, 对无潮点的位置都没有多大影响。当 A 增大时,无潮点有向湾顶推移的趋势(见图 2)。



○: 原模式 Original model; △: $A = 5 \times 10^2$; ×: $A = 5 \times 10^3$;
⊙: $A = 1 \times 10^2$; ●: $A = 1 \times 10^4$; ⊗: $A = 0$.

图 2 不同 A 值无潮点位置分布图

Fig. 2 The centre locations of the amphidromic points at different values of A

潮振幅和位相的变化,在湾中部及湾口,高潮时随 A 值的增加而稍微延后,潮振幅则基本不变;湾顶高潮时随 A 的增加而稍提前,潮振幅也有所降低。从几个方案的结果来看, A 值取 $1 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ 的计算结果与实际的潮波拟合得较好,因 A 值的改变而导致的误差一般不超过 6%;当 A 取 $1 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$ 时,其计算结果与实际潮波模型有较大的差异,其误差较大。

2 潮波动力学方程诸项对原模式结果的影响

为了掌握潮波动力学方程中各项对原模式结果的影响,我们在计算过程中先后略去水平湍流摩擦项以及底摩擦项,分别进行了试验。主要结果分述如下。

2.1 忽略水平湍流摩擦项时

在潮波动力学方程中,我们令 $A = 0$,即略去水平湍流摩擦项,按原模式的同样方法,对北部湾的潮波进行了数值试验。由计算结果可知,忽略了水平湍流摩擦项后,高潮时有延后的现象;在湾口以及湾中部,二者之间的潮波要素变化不大。图 3 是忽略了水平湍流摩擦项后计算的潮振幅与原模式的潮振幅在一个周期内的变化过程曲线(点的位置见图 1)从这

两点的潮振幅变化可以看出,忽略了水平湍流摩擦项后,最高高潮时间稍微提前了,而最低低潮却略有延后,这说明潮波波长相对变长了;但二者之间潮振幅的变化趋势是一致的。从二者潮振幅曲线的变化可看出,它们有一个共同特点,即潮振幅变化是不规则的,均出现了非线性现象。

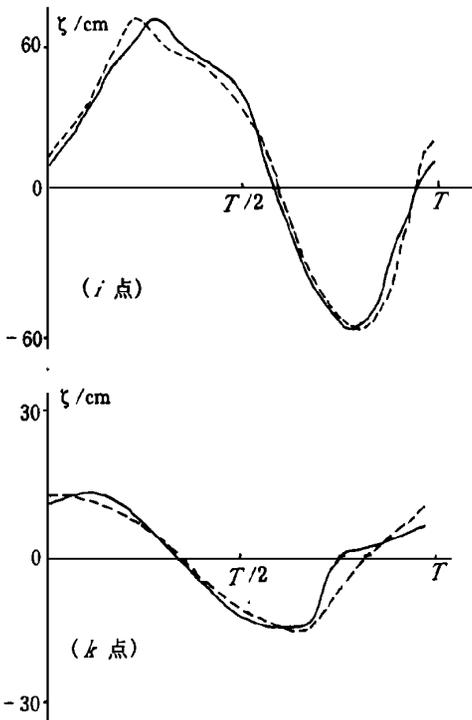
从无潮点位置的变化来看,忽略了水平湍流摩擦项后,无潮点比原模式向北推移了,但总的潮波系统与原模式潮波系统差异不大。与实测结果的相对误差,二者之间的都比较接近,一般不大于 1%。由此可以说明,在北部湾潮波数值计算中,即使略去水平湍流摩擦项的影响,其计算结果也基本上可以反映出该湾的实际潮波模型。

2.2 忽略底摩擦项时

在数值试验中,我们还略去底摩擦项,即假定 $k = 0$,从而进行了计算,以期探讨它对原模式结果的影响。当底摩擦项被略去后,其计算的潮振幅与原模式的潮振幅差异较大,在浅水区域,潮振幅比原模式提高了 8 cm 左右,高潮时提前了 1 个多小时;在湾中部,二者的潮振幅比较接近,高潮时比原模式略有提前,湾口一带,潮振幅变化幅度较大,个别点的振幅比原模式增大了 1 倍以上,高潮时稍微落后了,但原模式无潮点附近的高潮时却提前了 1 h 左右。无潮点的位置比原模式向东北方向推移了 30 km 左右,从而使整个湾内的等振幅线以及同潮时线都发生了明显的变化;而且,它与实测结果的误差也相当大,尤其在湾口附近,其相对误差高达 56%,在湾中部以及湾顶,其误差也达 3% 左右。从总的计算结果来看,底摩擦项对潮波数值计算结果的影响是很大的,一旦略去不计,与实际潮波系统相比,其计算的潮波系统就会面目全非。因此,对于北部湾的潮波数值计算,底摩擦项是必须考虑的因素之一。

为了探讨底摩擦项以及惯性项对北部湾潮波内部结构的影响,我们从湾口至湾顶沿潮波传播方向选取 6 个点,把这两个方案计算所得的 M_2 分潮以及原模式的 M_2 分潮,从中分离出其倍潮波 M_4 以及 M_6 ,分离结果如表 2 从表 2 看出,三种方案各个点都分离出了 M_4 以及 M_6 倍潮波, M_4 分潮振幅均在 3 cm 以下, M_6 分潮一般不超过 1 cm。从几个点的分离结果来看,原模式中的倍潮波较忽略底摩擦项及惯性项的都有所加强。由于在计算中,我们首先假定了 M_4 及 M_6 分潮的振幅都为零,因此,从 M_2 分潮中分离出来的倍潮波,纯粹代表了非线性效应在该湾中引起的潮波变形。

通过上述分析可知,惯性项及底摩擦项一方面导



— 原模式的潮振幅 Amplitude of the original model; ···· 忽略了水平湍流摩擦项的潮振幅 Amplitude in the absence of horizontal turbulent friction term.

图 3 湾内 k_1 分潮在一个潮周期内的变化过程
Fig. 3 Variation of the k_1 constituent in a tidal cycle

致了潮波的非线性变化,使湾内潮振幅增大或减小,位相也相应改变,从而影响了等潮差线以及同潮时线

表 2 湾内几个计算点从 M_2 分潮中分离出来的 M_4 和 M_6 倍潮波

| 站号 Point | 方案 Model | M_4 | M_6 |
|-------------|-----------------------|-------|-------|
| 1404 | 原模式 Original model | 0.3 | 0.0 |
| | (9) | 0.2 | 0.0 |
| | (10) | 0.4 | 0.1 |
| 1006 | 原模式 Original model | 0.9 | 0.1 |
| | (9) | 1.0 | 0.2 |
| | (10) | 0.6 | 0.1 |
| 0810 | 原模式 Original model | 2.3 | 0.4 |
| | (9) | 1.4 | 0.2 |
| | (10) | 2.6 | 0.3 |
| 0614 | 原模式 Original model | 1.2 | 0.2 |
| | (9) | 1.1 | 0.3 |
| | (10) | 0.9 | 0.3 |
| 1018 | 原模式 Original model | 2.4 | 0.5 |
| | (9) | 1.7 | 0.6 |
| | (10) | 2.1 | 1.1 |
| 1220 | 原模式 Original model | 2.7 | 1.1 |
| | (9) | 1.2 | 0.3 |
| | (10) | 2.1 | 0.4 |

(9) 号方案为忽略底摩擦项的分离结果 The results of model 9 are in the absence of bottom friction term; (10) 号方案为忽略惯性项的分离结果 The results of model 10 are in the absence of inertial acceleration term.

的分布;另一方面,它还使潮波衍生出倍潮波,尤其在沿岸浅水区域,倍潮波较为明显

3 结语

上述计算结果表明,在北部湾潮波数值模拟中,底摩擦系数 k 取 $0.002 \sim 0.003$, 水平湍流摩擦系数 A 取 $1 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ 比较合适;当 k 大于 0.003 , A 大于 $1 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$ 时,其计算结果与实测结果的误差较大。潮波动力学方程中的底摩擦项对数值结果影响较大,是数值计算中必须考虑的因素之一;水平湍流摩擦项对原模式结果有一定的影响,但不如底摩擦项影响明显。

在计算中,我们还输入不同的水深值,进行了计算,从计算结果看出,水深的分布对计算结果的影响是比较敏感的,因此,欲获取比较切合实际的潮波模型,输入准确的底形参数是十分重要的。

本文对底摩擦系数以及水平湍流摩擦系数,均是进行单独的试验。例如,当探讨底摩擦系数 k 对潮波数值模拟结果的影响时,仅仅改变 k 的取值,其它参数均不变。因此,上述提出的取值范围,还不能算作最佳范围。因为单独调整某一参数,是很难获得与实际结果比较符合的理想结果。欲确定各参数的最佳搭配,必须对各种参数进行多种组合,实行多方案比较,才能确定潮波数值模拟中的最佳参数。但由于这样做,计算工作量相当大,目前还没有足够的人力、物力去完成这些工作。只能留待今后进一步完成。

参考文献

- 1 方国洪等. 海洋与湖沼, 1996, 8 (1): 60~70.
- 2 陈宗镛. 潮汐学, 北京: 科学出版社, 1980.
- 3 李树华. 海洋通报, 1985, 4 (6): 6~9.
- 4 李树华. 热带海洋, 1986, 5 (3): 7~14.
- 5 Oonighi, Yukio and Hdeakie kunishi, Journal of oceanographical society of Japan, 1979, 35, 136~140.

(责任编辑: 蒋汉明 邓大玉)