

文章编号: 1674 - 5566(2015)03 - 0457 - 08

渤海潮汐潮流的数值研究

罗丹, 刘浩

(上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 基于 POM 数值模式构建了区域为(117.5°E ~ 122.5°E, 37°N ~ 41°N) 水平分辨率为 2.5' 的潮汐数值模式, 模拟了渤海 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 4 个主要分潮。模拟结果与 19 个验潮站观测资料拟合较好。渤海潮汐以半日潮为主, M_2 分潮占主导地位, 渤海沿岸及海湾顶潮差大, 中央海区潮差小; 潮流以半日潮流为主, M_2 分潮潮流最强, 最大流速达到 96 cm/s, 在渤海中央海域潮流呈现为旋转流, 在海湾多为往复流, 最大可能潮流流速存在 3 个强流区, 分别为: 老铁山水道及北侧海域、长岛和黄河口附近海域。

研究亮点: 建立了高分辨率的适合渤海海域的三维潮流模型, 模拟了渤海主要潮汐和潮流的基本特征, 在数值模拟结果验证的基础上, 对渤海的潮汐类型、潮差分布、潮流椭圆特性和潮流类型进行细致地分析和描述, 对于深刻认识渤海关键的水动力过程提供依据。

关键词: 潮汐; 潮流; 数值模型; 渤海

中图分类号: P 731

文献标志码: A

关于渤海潮波系统的研究, 尤其是数值模拟方面, 前人已经累积了许多经验和成果。学者们通常将渤、黄、东海视为一个整体展开研究。沈育疆^[1]首次对东中国海的潮汐做数值计算, 研究东中国海传播规律及潮汐分布情况, 给出了 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 4 个分潮的同潮图; 赵保仁等^[2]利用球坐标系中的二维非线性潮汐方程组, 对渤黄东海的 M_2 和 m_1 分潮的潮汐潮流进行数值模拟, 计算结果与实测对比吻合较好, 还证实或首次给出若干圆流点, 最后讨论了 M_2 和 m_1 分潮的潮能通量传播、耗散情况; 万振文等^[3]、王凯等^[4]也先后建立三维数值模式研究该区域的潮波系统, 做了大量有意义的工作, 使人们对渤、黄、东海潮汐潮流的认识不断完善, 基本达到共识。

前人针对渤海区域的潮汐数值研究工作取得不少成果, 窦振兴等^[5]采用 Leedertse 二维非线性长波模式模拟渤海潮流和余流, 并绘制了 M_2 和 K_1 分潮同潮图; 张占海^[6]利用二维非线性潮汐方程组, 计算了渤海 M_2 和 K_1 分潮, 分析渤海

半日潮和全日潮波运动; 于克俊^[7]利用三维潮波方程, 着重研究了 M_2 分潮潮流的垂直变化。但是这些研究大多只考虑 1~3 个分潮, 数据较少, 通常是单独模拟不同的分潮, 忽略了潮波传播过程当中不同分潮之间的非线性相互作用, 并且模式精度比较低, 对岸线拟合效果相对较差。因此, 本文借助高精度的水深资料(2.5' × 2.5'), 基于 POM 研究渤海 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 4 个主要分潮, 希望能对渤海潮波分布规律和传播特征有一个全面细致的了解。

1 模式介绍

本文基于 POM 来建立渤海潮波数值模式, 该模式目前已经被广泛地应用于海洋研究的很多领域。其基本特点是: 水平和垂直方向分别采用正交曲线坐标系和随地形变化的 sigma 坐标系; 自由表面可以模拟水位变化; 垂直和水平方向的混合扩散分别采用 2.5 阶的 Mellor-Yamada 湍流闭合模式和 Smagorinski 模式; 内外模态分别

收稿日期: 2014-09-22 修回日期: 2014-12-16

基金项目: 中国科学院海洋战略先导研究专项(XDA11020305.2); 上海市教育委员会创新项目(12ZZ165)

作者简介: 罗丹(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为近岸海域动力工程。E-mail: danluo1001@126.com

通信作者: 刘浩, E-mail: haoliu@shou.edu.cn

处理速度较慢的内重力波和速度较快的外重力波以提高整个模式计算效率等。本研究选取的模拟区域为(117.5°E ~ 122.5°E, 37°N ~ 41°N), 模式采用冷启动, 初始场设为 $u = v = \omega = \eta = 0$ 。水平计算域根据水深资料采用 2.5' × 2.5' 的网格, 垂直方向取 10 个 sigma 层。内外模态的时间步长分别取 90 s 和 3 s, 积分 35 d, 每小时记录一次水位和流速, 前 5 天用于稳定场的建立, 后 30 天的模拟结果进行调和与分析, 得到研究海区的潮汐调和常数。

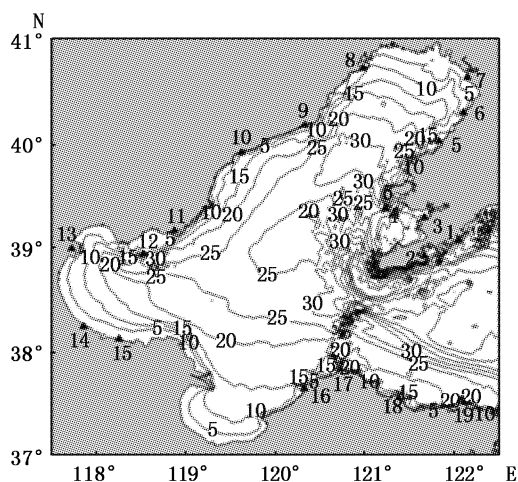


图1 渤海地形图及验潮站位图

Fig.1 Topography and tidal gauge stations in Bohai

2 模拟结果验证

本文主要利用渤海沿岸 19 个验潮站(图 1)调和常数资料^[8]对模拟所得的 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 4 个分潮的调和常数进行了验证, 首先采用了最常见的一种统计方法: 考察振幅和迟角的模拟值与观测值之间的绝对平均偏差 (M_H, M_g), 其计算公式为:

$$M_H = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |H_{s,n} - H_{o,n}| \quad (1)$$

$$M_g = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |g_{s,n} - g_{o,n}| \quad (2)$$

式中: s 代表模拟值, o 代表观测值, N 为验潮站个数。这种模拟结果对比方法比较直观, 但是存在一定缺陷: 当 H 值较小时, g 的计算和观测值都不太稳定, 同时 H 为较小值时 g 的误差对潮高误差影响也较小, 这就容易出现无潮点附近迟角误差

较大的情况^[9], 因此本文在此基础上进一步考察调和常数的相对偏差 (R) 和拟合程度 (F), 分析模式的模拟效果, 计算式如下:

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N [(a_{s,n} - a_{o,n})^2 + (b_{s,n} - b_{o,n})^2] \right\}^{1/2} \quad (3)$$

式中,

$$a = H \cos g \quad (4)$$

σ 也常常被称为模拟值和观测值之间的距离, 它表征了模拟值和观测值的偏离程度, 而它与观测值变化性的相对偏离程度可用相对偏差

$$R = \sigma / s \quad (5)$$

表示, 其中,

$$s = \left\{ \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N [(a_{o,n} - \bar{a}_o)^2 + (b_{o,n} - \bar{b}_o)^2] \right\}^{1/2} \quad (6)$$

这里, \bar{a}_o 和 \bar{b}_o 分别为 $a_{o,n}$ 和 $b_{o,n}$ 的平均值。而 $F^2 = 1 - R^2$

$$(7)$$

代表了模拟值和观测值的拟合程度, F 相当于线性回归中的相关系数。

图 2 ~ 5, 为 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 4 个分潮 19 个站位模拟值与观测值的比较, 表 1 给出对应的误差对比。其中 M_2 分潮的振幅绝对平均偏差为 4.4 cm, 迟角绝对平均偏差为 5.2°, 相对偏差 12.4%, 拟合程度高达 98.5%, 13 号站位的振幅偏差最大, 该站位位于渤海湾, 水深受渤海湾常年围填海等活动影响变化较大, 可能对部分验潮站调和常数存在影响, 使模拟结果出现较大偏差, 迟角偏差最大的为 9 号站位, 由于靠近无潮点, 迟角偏差达 20°。 S_2 分潮的振幅绝对平均偏差相比 M_2 分潮较小, 为 1.5 cm, 迟角绝对平均偏差为 6.8°, 相对偏差 13.1%, 拟合程度 98.3%, 振幅偏差最大区域出现在辽东湾顶, 迟角偏差最大区域与 M_2 分潮重合, 原因同 M_2 分潮。 K_1 分潮的振幅绝对平均偏差为 1.7 cm, 迟角绝对平均偏差为 3.0°, 相对偏差 15.7%, 拟合程度 97.5%, 4 号站位振幅偏差最大, 为 4 cm, 11 号站位迟角偏差最大, 为 16°。 O_1 分潮的振幅绝对平均偏差偏小, 为 1.0 cm, 迟角绝对平均偏差为 4.0°, 相对偏差 12.4%, 拟合程度 98.5%。

以上综合分析显示本模式对渤海潮波系统的模拟较为准确, 对比该区域研究学者^[2-3]的模拟结果, 发现本研究精度有所提高。可以用来分析研究渤海主要分潮的特征。

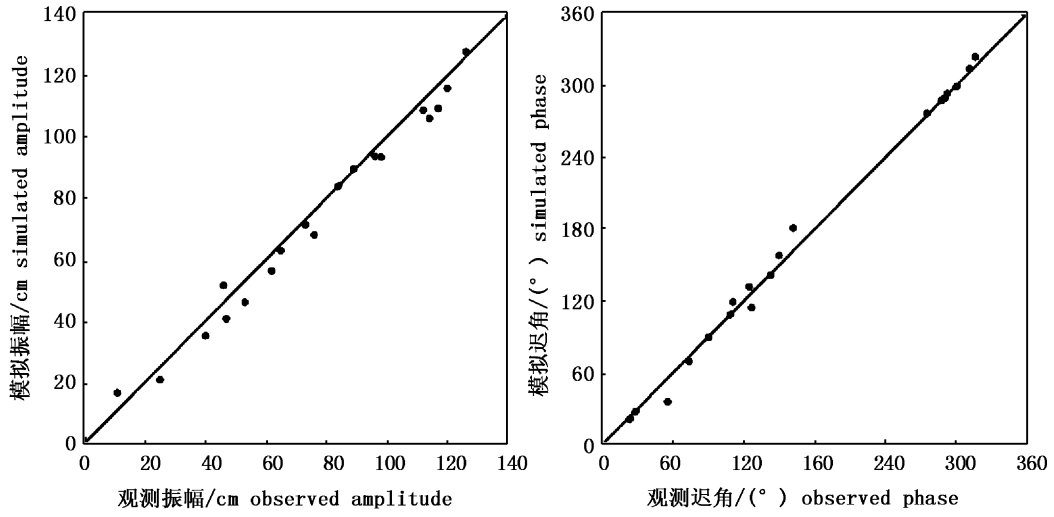


图 2 M_2 分潮模拟结果检验
Fig. 2 Model validation for M_2 tides

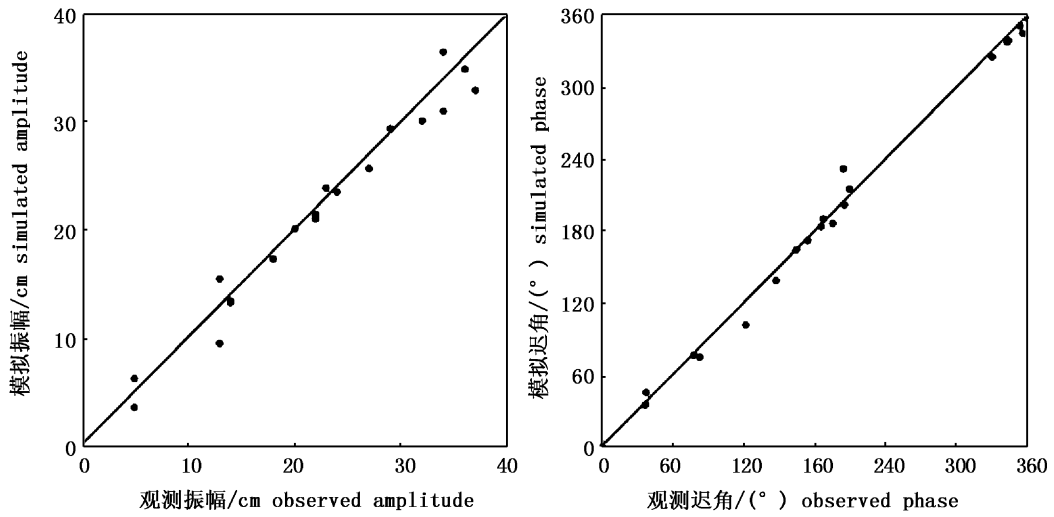


图 3 S_2 分潮模拟结果检验
Fig. 3 Model validation for S_2 tides

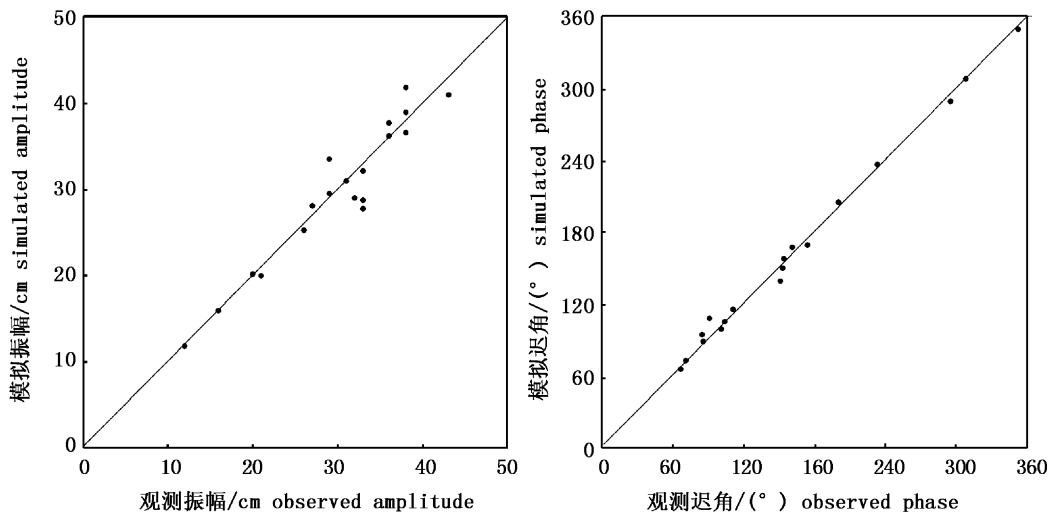
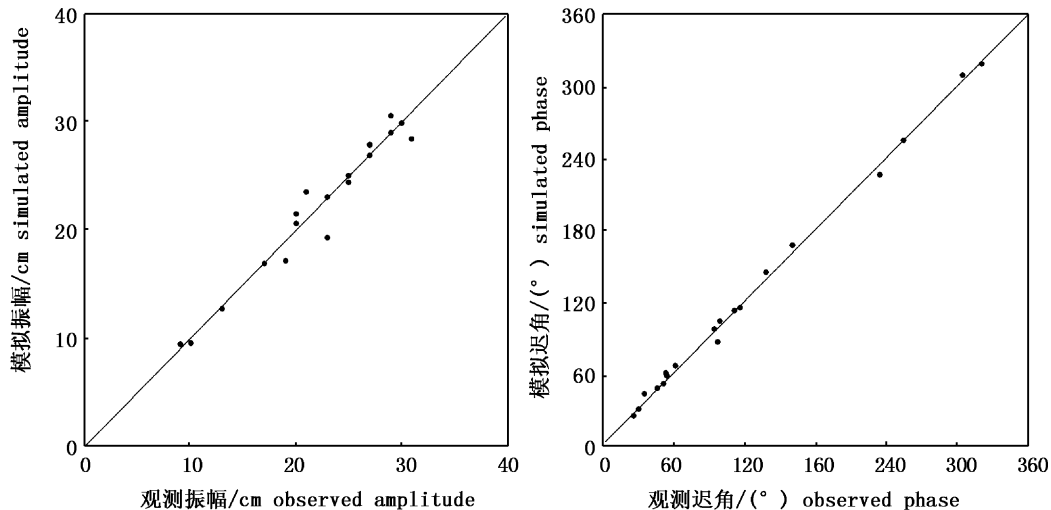


图 4 K_1 分潮模拟结果检验
Fig. 4 Model validation for K_1 tides

图5 O_1 分潮模拟结果检验Fig. 5 Model validation for O_1 tides表1 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 分潮模拟结果检验Tab. 1 Model validation for M_2 , S_2 , K_1 , O_1 tides

分潮 tidal constituent	振幅绝对平均偏差 M_H/cm	迟角绝对平均偏差 $M_g/(^\circ)$	相对偏差 $R/\%$	拟合程度 $F/\%$
M_2	4.4	5.2	12.40%	98.50%
S_2	1.5	6.8	13.10%	98.30%
K_1	1.7	3.0	15.70%	97.50%
O_1	1.0	4.0	12.40%	98.50%

3 渤海潮波分布特征

3.1 渤海主要分潮同潮图

图6给出了渤海 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 分潮同潮图。由图6a和6b可知, M_2 和 S_2 分潮的分布特征类似, 前进潮波经渤海海峡传入渤海, 在向西传播过程中, 受到渤海西岸的阻挡, 发生反射, 在地转效应的影响下, 反射潮波与前进潮波叠加分别在辽东湾西南侧和渤海湾东南侧形成两个逆时针旋转的驻波系统, 其对应无潮点分别位于秦皇岛外海和老黄河口附近。两个半日分潮的振幅在辽东湾和渤海湾湾顶最大, 而在莱州湾内潮汐振幅是3个海湾中最小, 渤海中部大片海区振幅相对比较小, 振幅的模拟结果与前人相比都相差不多。其中 M_2 分潮在这3个湾顶的振幅可达130 cm、110 cm和64 cm, 在渤海潮波系统中占据主要地位。 S_2 分潮振幅大约只有 M_2 分潮的三分之一, 在3个湾顶的振幅为39 cm、32 cm和22 cm。从图6b可以看到, 老黄河口的 S_2 分潮潮波系统出现一定程度的退化现象, 无潮点已经退化到岸上, 万振文等^[3]、黄祖珂^[10]、乐肯堂等^[11]认为黄

河三角洲水深和岸线演变是潮波系统运动变化的主要原因, 王永刚等^[12]的相关研究验证了黄河口海域水深和岸线变化对 M_2 分潮无潮点位置和振幅的影响。

K_1 和 O_1 分潮潮波系统两者也大致相似, 在渤海海峡附近均有一个逆时针的旋转驻波系统, 其无潮点位置位于渤海海峡附近。全日潮比较弱, 渤海海区平均振幅约21 cm, 随着水深变化, 振幅由无潮点向渤海沿岸逐渐增大。 K_1 分潮最大振幅在辽东湾湾顶, 接近42 cm, 渤海湾湾顶振幅次之, 约37 cm(图6c)。 O_1 分潮比 K_1 分潮稍弱, 振幅在辽东湾湾顶达到最大, 约31 cm(图6d)。与前人的研究结果相比, K_1 和 O_1 分潮无潮点位置基本一致, 振幅的模拟结果略有差异, 本文与王永刚等^[9]的结果类似。

3.2 渤海潮汐类型分布

潮汐类型是根据主要全日潮和半日潮振幅的比值来判别的。对于中国近海最主要的半日潮是 M_2 分潮, 而全日潮中 K_1 和 O_1 分潮大体相当, 因此当 $0 < (H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2} \leq 0.5$ 时潮汐类

型为规则半日潮,当 $0.5 < (H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2} \leq 2.0$
 是不规则半日潮,当 $2.0 < (H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2} \leq 4.0$

是不规则全日潮,当 $(H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2} > 4$ 是规则全日潮。

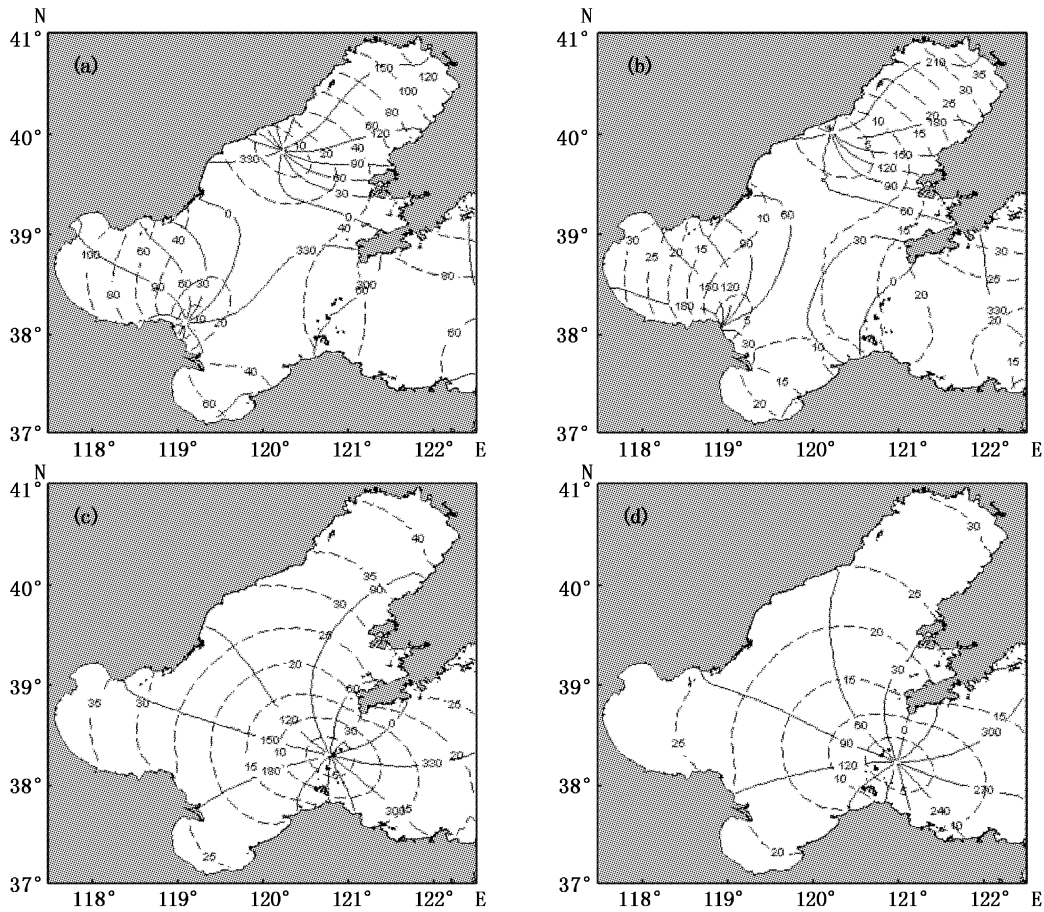


图 6 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 分潮同潮图: (a) M_2 分潮, (b) S_2 分潮, (c) K_1 分潮, (d) O_1 分潮
 Fig. 6 Simulated co-tidal charts for (a) M_2 tide, (b) S_2 tide, (c) K_1 tide, (d) O_1 tide

渤海虽然是中国近海面积最小的海域,但是潮汐类型分布却最为复杂,涵盖四种潮汐类型,潮汐类型分布如图 7 所示,渤海大部分海区为不规则半日潮,由于 K_1 分潮和 O_1 分潮的无潮点同时出现在渤海海峡水域,全日潮振幅较弱,因此该处潮汐类型以规则半日潮为主。秦皇岛外海和老黄河口附近有 M_2 驻波波节点分潮的无潮点,潮汐类型以规则全日潮和不规则全日潮为主,基本符合 Fang 等的研究成果^[13]。

3.3 最大可能潮差分布

由于渤海大部分海区潮汐类型半日潮,因此最大可能潮差选取如下计算公式: $2 \times (1.29H_{M_2} + 1.23H_{S_2} + H_{K_1} + H_{O_1})$ 。渤海最大可能潮差分布如图 8 所示,沿岸潮差大,中央海区潮差小,这主要是受到水深的影响;辽东湾湾顶潮差最大,超过

5.5 m,渤海湾潮差次之,达到 5 m,莱州湾潮差最小,最大潮差小于 3.5 m,这与各分潮在海湾的

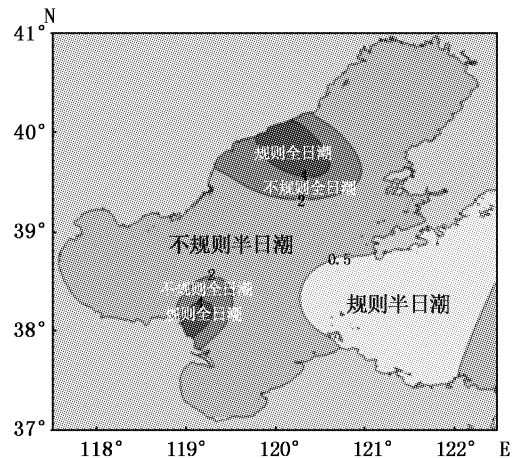


图 7 渤海潮汐类型分布
 Fig. 7 Tidal type of Bohai

振幅分布特征一致;由于渤海大部分海区潮汐类型半日潮,秦皇岛外海和老黄河口两个无潮点附近海域的潮差最小,均不超过 1.5 m。

3.4 表层潮流椭圆分布

图 9 给出了渤海 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 分潮潮流的椭圆分布,阴影部分表示负旋度即潮流顺时针旋转。 M_2 分潮潮流强流区出现在老铁山水道西侧、辽东湾南部和黄河口附近,尤其是老铁山水道附近最大流速达到 96 cm/s,在强流区潮流椭圆几乎退化成为直线,接近往复流形式;莱州湾和渤海中部海域流速相对较弱,流速多集中在 20 ~ 40 cm/s,以顺时针旋转流为主,与王凯^[4]的结果相吻合。 S_2 分潮流速比 M_2 潮流小很多,最大流速不超过 30 cm/s,流速大多集中在 10 ~ 20 cm/s,其潮流的旋转方向、强弱分布特征与 M_2 基本一

致,本文不做另外讨论。

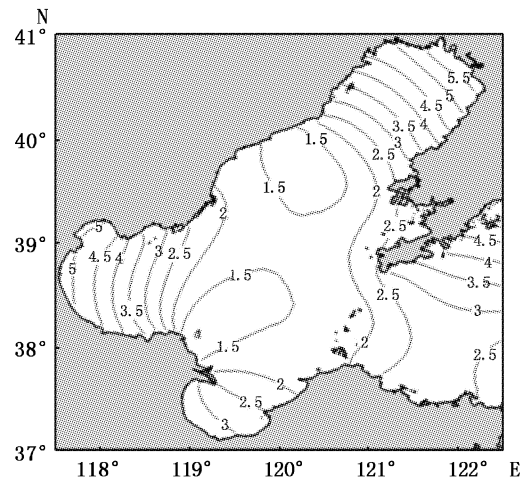


图 8 渤海最大可能潮差 (m) 分布
Fig8 Maximum possible tidal range (m)

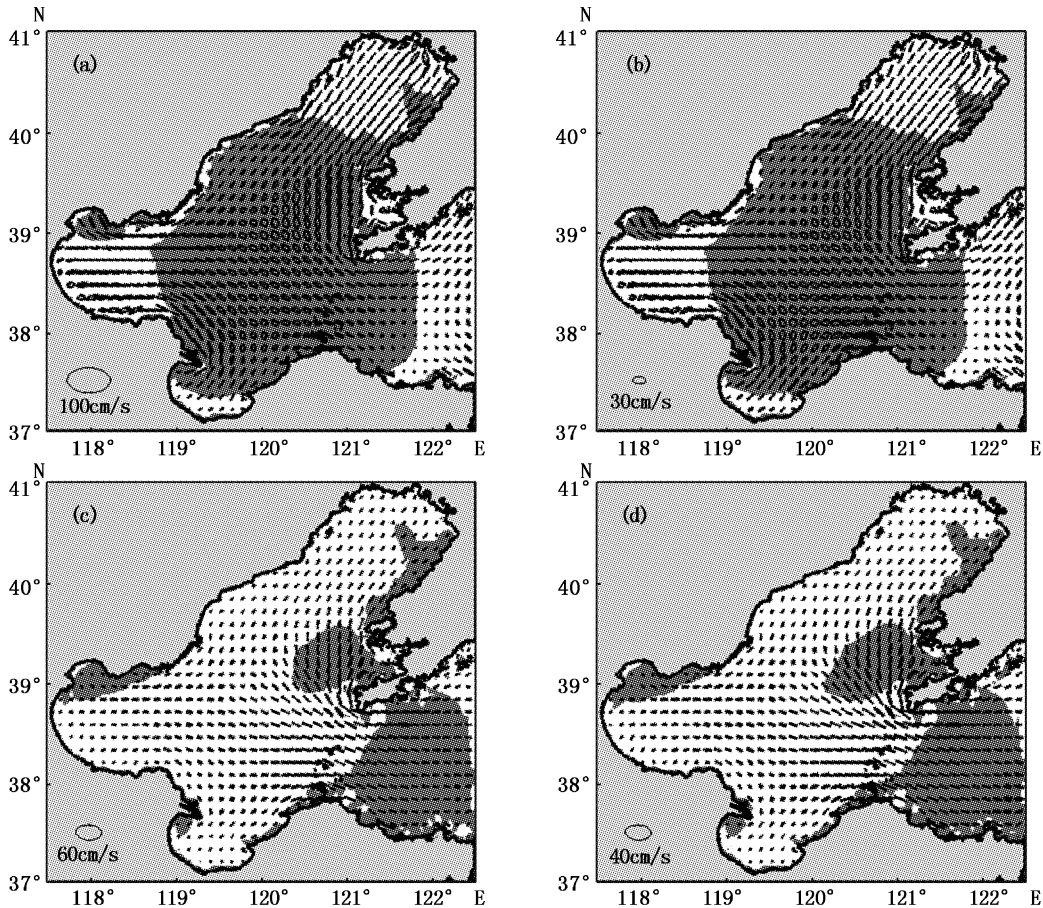


图 9 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 分潮流椭圆分布图 (a) M_2 分潮, (b) S_2 分潮, (c) K_1 分潮, (d) O_1 分潮
Fig.9 Simulated tidal flow ellipses for (a) M_2 tide, (b) S_2 tide, (c) K_1 tide, (d) O_1 tide

K_1 分潮潮流强流区出现在渤海海峡附近,流速集中在 20 ~ 30 cm/s,其中渤海海峡南北两侧流速最大,可超过 40 cm/s,其他海域流速介于

5 ~ 20 cm/s,分布特征大致与 FANG^[14]的结果一致。 O_1 分潮流速分布与 K_1 也大致相似,流速较 K_1 分潮弱,最大流速在 15 ~ 25 cm/s,其他海域为

5~15 cm/s。两个分潮流在渤海中央大部分海域为逆时针旋转,仅在辽东湾东北部至金州湾沿岸、渤海湾北部和莱州湾西部沿岸为顺时针旋转,往复流主要分布在 3 个海湾。

3.5 潮流类型和最大可能潮流流速分布

潮流性质判别依据与潮汐类型划分类似,只不过以分潮流最大潮流代替潮汐振幅。图 10 显示:渤海潮流是以半日潮流为主的混合潮流,辽东湾、渤海湾和莱州湾西南大部分海域为规则半日潮流,渤海中央海区为不规则半日潮流。比较图 7 和图 10 可以发现:烟台近海具有半日潮流和全日潮流的特征,而秦皇岛外海具有全日潮流和半日潮流的特征。可见对于同一海域,潮汐潮流的类型是可以不同的。

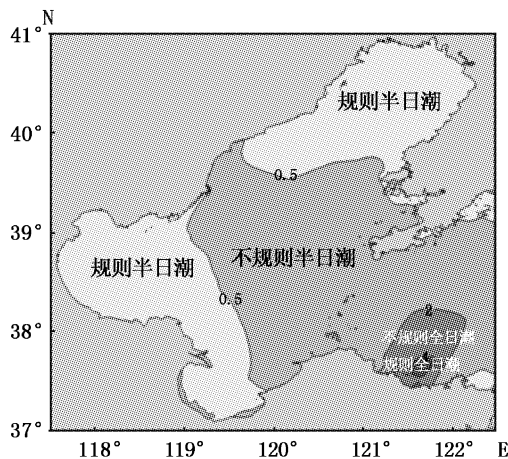


图 10 渤海潮流类型分布

Fig. 10 Tidal flow type of Bohai

图 11 为渤海最大可能潮流流速分布图,在整个渤海存在 3 个强流区:老铁山水道及北侧海域、长岛和黄河口附近海域,最大可能流速可达 2 m/s 以上,对渤海的物质输运和混合过程将产生重要影响。

4 结论

本文基于 POM 模式,建立了渤海海域的高分辨率潮波数值模式,利用渤海沿岸验潮站的潮汐调和常数对模拟结果进行检验,结果显示模拟与观测资料吻合较好, M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 4 个分潮振幅绝对平均偏差为 4.4 cm、1.5 cm、1.7 cm 和 1 cm,迟角绝对平均偏差为 5.2°、6.8°、3.0° 和 4.0°,拟合程度分别为 98.5%、98.3%、97.5%、98.5%。在此基础上,本文进一步分析了潮波的

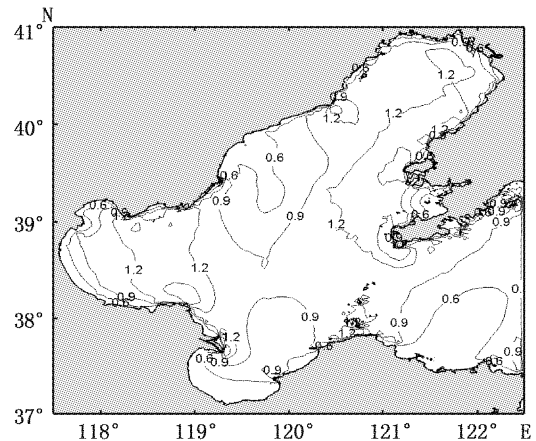


图 11 渤海最大可能潮流流速分布

Fig. 11 Maximum possible speed range of tidal flow

分布规律,结果表明:

(1) 渤海潮汐以半日潮为主,其中 M_2 分潮占主导地位,在辽东湾、渤海湾和莱州湾顶的振幅可达 130 cm、110 cm 和 64 cm;

(2) 渤海沿岸潮差大,中央海区潮差小;辽东湾湾顶潮差最大,渤海湾潮差次之,莱州湾潮差最小;

(3) 渤海潮流是以半日潮流为主的混合潮流。在渤海中央海域潮流呈现为旋转流,在海湾多为往复流。最大可能潮流流速存在三个强流区,分别为:老铁山水道及北侧海域、长岛和黄河口附近海域。

参考文献:

- [1] 沈育疆. 东中国海潮汐数值计算[J]. 山东海洋学院学报, 1980, 10(3): 26-35.
SHEN Y J. Numerical computation of tides in the East China Sea[J]. Journal of Shandong College of Oceanology, 1980, 10(3): 26-35.
- [2] 赵保仁, 方国洪, 曹德明. 渤、黄、东海潮汐潮流的数值模拟[J]. 海洋学报, 1994, 16(5): 1-10.
ZHAO B R, FANG G H, CAO D M. Numerical modelling of tide and tidal currents in the Bohai, Yellow and East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1994, 16(5): 1-10.
- [3] 万振文, 乔方利, 袁业立. 渤、黄、东海三维潮波运动数值模拟[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(6): 611-616.
WAN Z W, QIAO F L, YUAN Y L. Three-dimensional numerical modelling of tidal waves in the Bohai, Yellow and East China Seas[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1998, 29(6): 611-616.
- [4] 王凯, 方国洪, 冯士筌. 渤海、黄海、东海 M_2 潮汐潮流的三维数值模拟[J]. 海洋学报, 1999, 21(4): 1-13.

- WANG K, FANG G H, FENG S Z. A 3-D numerical simulation of M₂ tides and tidal currents in the Bohai Sea, the Huanghai Sea and the East China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1999, 21(4): 1-13.
- [5] 窦振兴, 罗远途, 黄克辛, 等. 渤海潮流及湖余流的数值计算[J]. *海洋学报*, 1981, 3(3): 355-369.
- DOU Z X, LUO Y Q, HUANG K X, et al. Numerical computation of tidal current and tide-induced residual circulation of the Bohai Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1981, 3(3): 355-369.
- [6] 张占海, 吴辉斌. 渤海潮汐和潮流数值计算[J]. *海洋预报*, 1994, 11(1): 48-54.
- ZHANG Z H, WU H D. Numerical model of the tide and tidal current in the Bohai Sea [J]. *Marine Forecasts*, 1994, 11(1): 48-54.
- [7] 于克俊, 张法高. 渤海潮波运动的三维数值计算[J]. *海洋与湖沼*, 1987, 18(3): 227-236.
- YU K J, ZHANG F G. A three-dimensional numerical model of the tidal motions in the Bohai Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1987, 18(3): 227-236.
- [8] 高秀敏. 渤海潮波伴随同化研究[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2010.
- GAO X M. Data assimilation of tides in the Bohai Sea by using the adjoint method [D]. Qingdao: The First Institute of Oceanography, SOA, 2010.
- [9] 王永刚, 方国洪, 曹德明, 等. 渤、黄、东海潮汐的一种验潮站资料同化数值模式[J]. *海洋科学进展*, 2004, 22(3): 253-274.
- WANG Y G, FANG G H, CAO D M, et al. Tides of the Bohai, Yellow and East China Seas by assimilating gauging station data into a hydrodynamic model [J]. *Advances in Marine Science*, 2004, 22(3): 253-274.
- [10] 黄祖珂. 渤海的潮汐余流[J]. *海洋湖沼通报*, 1992, (3): 1-8.
- HUANG Z K. The tide-induced residual current in the Bohai Sea [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1992, (3): 1-8.
- [11] 乐肯堂, 刘兴泉, 史久新. 黄河口的变迁对邻近海区潮波运动影响的数值研究[J]. *海洋科学集刊*, 1995(36): 33-46.
- LE K T, LIU X Q, SHI J X. A numerical study on the effect of the changes of the Huanghe River estuary on the tidal wave movement in its adjacent sea area [J]. *Studia Marina Sinica*, 1995(36): 33-46.
- [12] 王永刚, 魏泽勋, 方国洪, 等. 黄河口及其邻近海域水深和岸线变化对 M₂ 分潮影响的数值研究[J]. *海洋科学进展*, 2014, 32(2): 141-147.
- WANG Y G, WEI Z X, FANG G H, et al. A numerical study on the effect of changes in water depth and coastline on M₂ tidal component near the Yellow River estuary [J]. *Advances in Marine Science*, 2014, 32(2): 141-147.
- [13] FANG G H, YANG J F. A two-dimensional numerical model of the tidal motions in the Bohai Sea [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1985, 3(2): 135-152.
- [14] FANG G H. Tide and tidal current charts for the marginal seas adjacent to China [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1986, 4(1): 1-16.

Numerical study on the tides and tidal currents in the Bohai Sea

LUO Dan, LIU Hao

(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The POM model with the high resolution is used to reproduce the principal tidal constituents of M₂, S₂, K₁, O₁ in the Bohai Sea (117.5°E - 122.5°E, 37°N - 41°N). The model results are compared with observations at 19 tide gauge stations and show the reasonable consistency. Bohai Sea is mainly dominated by the semi-diurnal tides, and M₂ constituent plays the leading role. The maximum possible tidal range is great along Bohai Sea coast and at the top of gulves, while small in the center area of Bohai Sea. Bohai Sea has the feature of semi-diurnal flow and M₂ constituent tidal flow is the strongest with a max flow velocity of 96cm/s. The results show that the tide current is rotary in the center area of Bohai Sea and rectilinear current in three bays. What's more, the maximum possible speed range of the tidal flow is especially strong in the Lao Tieshan channel, the Long Island and the area near Yellow River Estuary.

Key words: tide; tidal current; numerical model; Bohai Sea