

渤海潮汐潮流精细化数值模拟及可视化预报系统

冯兴如^{1,2,3}, 尹宝树^{1,3}, 杨德周^{1,3}

(1.中国科学院 海洋研究所,山东 青岛 266071; 2.中国科学院 研究生院,北京 100049;
3.中国科学院 海洋环境与波动重点实验室,山东 青岛 266071)

摘 要:利用有限元海洋模式 ADCIRC(Advanced Circulation Model),建立了高分辨率的渤海二维潮汐潮流数值模型,该模型以 M2, S2, K1, O1 等 8 个分潮的水位作为驱动,模拟出了该 8 个分潮的潮汐潮流调和常数;利用该调和常数预报的潮位和二维平均潮流与实测资料相比,符合较好;利用模拟得到的潮汐潮流调和常数,以 Matlab 为平台,建立了能独立运行的可视化潮汐潮流预报系统,该系统可以预报渤海任意时刻、任意地点的潮位和平均潮流,并且可以查询渤海任意地点的部分潮汐特征值,该系统运行快捷,使用方便,可为海上作业提供环境预报服务。

关键词:ADCIRC 模式;潮汐潮流预报系统;渤海

中图分类号:P731 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2011)04-0065-05

1 引言

潮汐潮流对人类在近岸的活动有着很大的影响,因此潮汐潮流的预报是一个海洋研究中重要而久远的话题。传统的方法一般采用潮汐潮流图表,这种方法只能预报有限站位,使用不方便,且不适合外海使用,因此开展区域海洋的微机化潮汐潮流预报系统就显得非常有必要。方国洪等^[1]在 2005—2006 年期间通过同化高度计和沿岸站的数据,得到了分辨率为 5'×5' 的潮汐潮流预报产品,该预报产品覆盖了我国近海各海区,可预报任意时刻和地点的潮汐潮流;中国海洋大学开发的 Chinatide^[2]潮汐预报软件,可以对我国近海各海区和日本海的一部分进行潮汐预报,其分辨率也是 5'×5'。但是近岸地形和岸线复杂,5'×5' 的分辨率有时不能满足要求,因此在近岸开展更高分辨率的潮汐潮流数值模拟及预报系统的开发就非常有意义。

非结构网格的海洋模式能够对岸线复杂,地

形变化剧烈的海域进行高分辨率的模拟,因此其越来越多地被用来进行近岸和河口的数值研究。例如,王培涛等^[3]利用基于三角形网格的 ELCIRC (3D Eulerian-Lagrangian Circulation) 海洋模型,对黄渤海的温带风暴潮进行了高分辨率的数值模拟;冯兴如等^[4]利用有限体积海洋模式 FVCOM (Finite Volume Coast and Ocean Model) 对龙口海域的潮汐潮流进行了精细的数值研究。本文首先利用非结构网格的有限元海洋模式 ADCIRC (Advanced Circulation Model)^[5]模拟得到渤海近岸高分辨率的潮汐潮流调和常数,然后基于这些调和常数,以 matlab 为平台开发了一套可视化的潮汐潮流预报系统。

2 ADCIRC 模式简介及设置

ADCIRC 是美国北卡罗来纳州大学开发的有限元海洋模式,该模式可以采用笛卡尔坐标,也可以采用球坐标,有二维和三维两种运行方式。该模式采用三角形网格,易于拟合边界,可以对岸

收稿日期:2010-11-01

基金项目:中科院创新项目(KZCX2-YW-BR-215-3);中科院创新项目群(KZCX2-YWQ07-01);国家“908”补充调查项目(908-01-BC12);“908”“风暴潮灾害对沿海地区社会经济发展综合评价”(908-02-03-02)

作者简介:冯兴如(1984-),男,博士研究生,主要从事波浪相互作用研究, E-mail:fengxingru07@qdio.ac.cn

线复杂的海域进行高分辨率的数值模拟。二维 ADCIRC 模型采用沿水深积分的时均连续方程和运动方程,其表达式为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV &= -\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{P_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right\} \\ &+ \frac{\tau_{sx}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0 H} + D_x - B_x \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU &= -\frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{P_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right\} \\ &+ \frac{\tau_{sy}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0 H} + D_y - B_y \end{aligned}$$

其中, t 为时间, x 和 y 分别为 x 轴和 y 轴方向, ζ 为从平均海平面起算的水位高度, U 和 V 分别表示 x 和 y 方向垂向平均流速, H 为总水深, f 为科氏力系数, P_s 为表面大气压力, ρ_0 为水密度, g 为重力加速度, $(\eta + \gamma)$ 表示牛顿潮势和固体潮作用, τ_{sx} 和 τ_{sy} 表示表面风应力和波浪辐射应力的 x 和 y 向分量, τ_{bx} 和 τ_{by} 、 D_x 和 D_y 、 B_x 和 B_y 分别代表底部切应力、扩散项以及斜压梯度的 x 和 y 向分量。

本文采用的是二维球坐标系,模式的分辨率由渤海海中央的 $5'$ 逐渐过渡到近岸的 $1'$ (见图 1), 一共 61357 个节点, 117265 个三角形网格。边界上采用 M2, S2, K1, O1, N2, S2, P1, Q1 共 8 个分潮的调和常数预报的水位作为驱动, 边界上的调和常数来自 NAO99 潮汐模型^[6]。模式时间步长为 10 s。

3 模式结果与验证

模式一共运行 50 天, 采用后 40 天的数据进行调和分析。得到了和边界驱动对应的 8 个分潮的潮汐潮流调和常数。由于篇幅限制, 本文只给出其中 M2 和 K1 分潮的同潮图 (见图 2), 从图 2 可以看出, 该模式成功模拟出了半日分潮 M2 在渤黄海的 4 个无潮点和全日分潮 K1 在渤黄海的 2 个无潮点, 模式模拟的 M2 和 K1 的同潮图, 同《渤海 黄海 东海海洋图集》^[7] (水文) 里相应的同潮图基本一致。

为了进一步验证模式结果, 我们搜集了渤海黄海四个观测点的一些实测的水位和流速资料, 将这四个观测点分别标记为 A, B, C, D, 其位置见图 3。

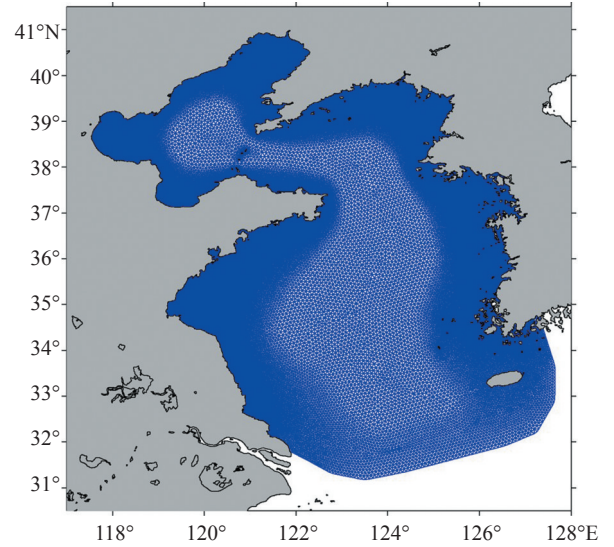


图 1 模式计算网格

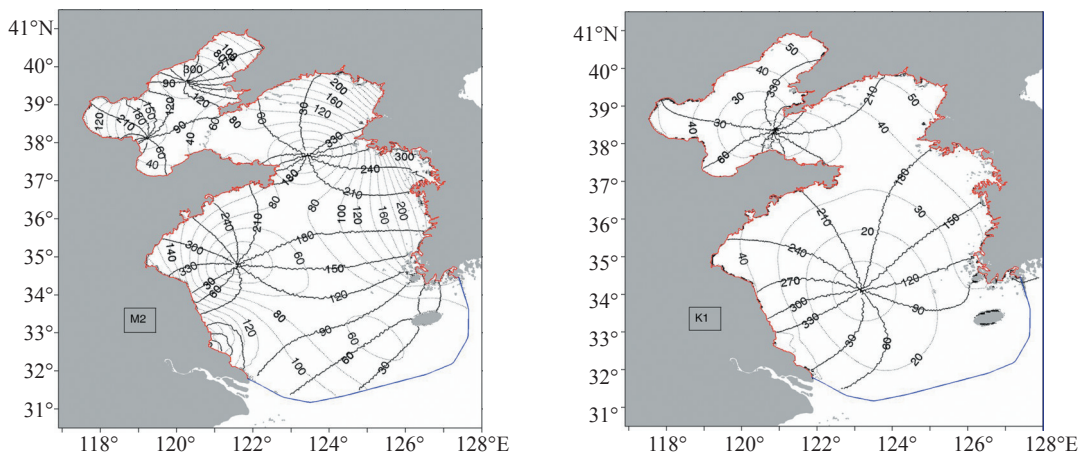


图 2 M2, K1 分潮同潮图, 虚线为等振幅线, 实线为等迟角线 (格林威治迟角)

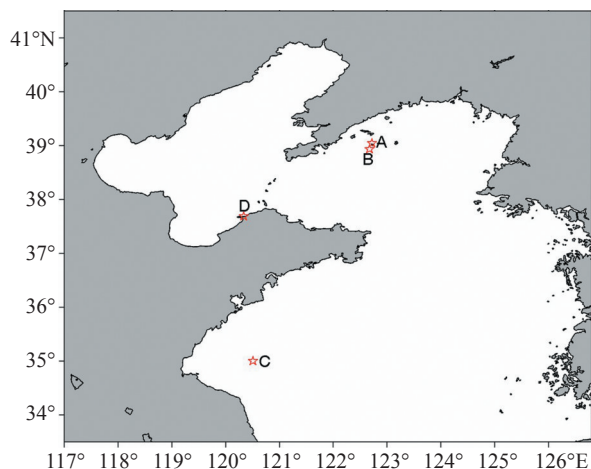


图3 观测点位置示意图

这四个观测点的资料情况是:A、D两点仅有水位资料,B点仅有流速资料,C点既有流速又有水位资料。利用模拟的调和常数预报的潮位和平均潮流与实测资料的对比情况分别见图4和图5。

四个观测点的对比结果显示,调和常数预报的水位和流速与实测值的位相基本重合,水位绝对误差的平均值为15 cm,而利用NAO99资料预报的水位与上述实测水位的绝对误差平均值为17.8 cm,因此本文得到的调和常数在中国的近岸能更好一些;流速东分量绝对误差的平均值为8.95 cm/s,流速北分量绝对误差的平均值为9.22 cm/s。我们认为,这些误差都在可以接受的范围内。模拟结果与实测结果的误差可能来源于

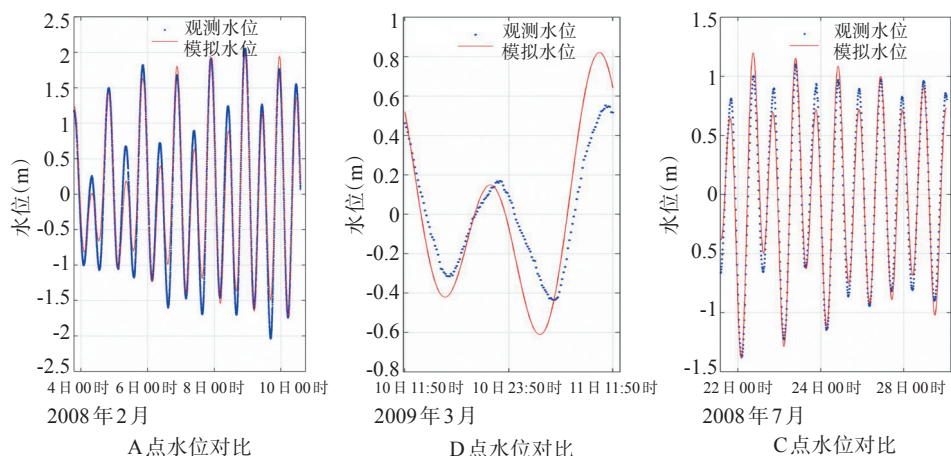


图4 水位模拟结果与实测结果对比图

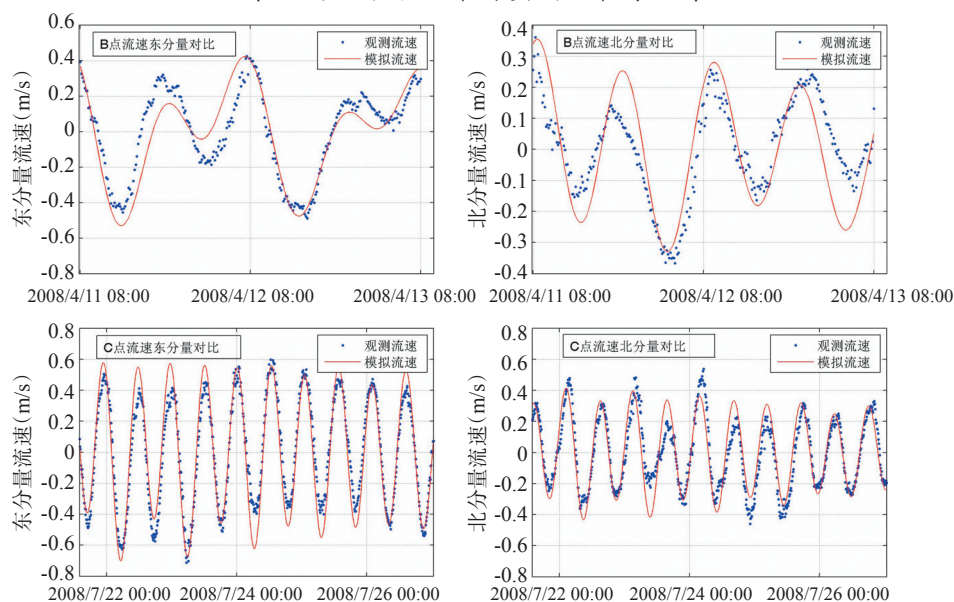


图5 流速模拟结果与实测结果对比图

开边界的驱动、地形精度和模式参数的设置等。

4 可视化潮汐潮流预报系统的实现

为了快速方便地将模拟得到的潮汐潮流调和常数用来预报潮位和潮流，我们以 Matlab 为平台，开发了能独立运行，可视化的潮汐潮流预报系统，其界面见图6。该系统分为输入区、查询功能区和预报功能区。

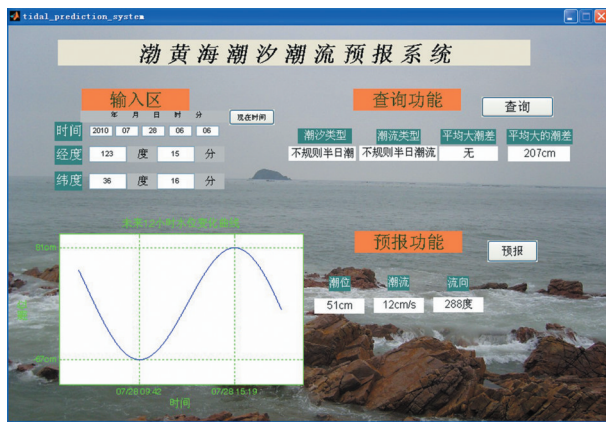


图6 渤海潮汐潮流预报系统界面

到各个网格点的潮流类型判别系数。当K1,K2的值小于0.5时，潮汐和潮流的类型为正规半日潮；当K1,K2的值介于0.5和2.0之间时，潮汐和潮流的类型为不规则半日潮；当K1,K2的值介于2.0和4.0之间时，潮汐和潮流的类型为不规则全日潮；当K1,K2的值大于4.0时，潮汐和潮流的类型为正规全日潮；根据方国洪^[8]提供的方法，当网格点潮汐类型为正规半日潮时，可以计算出该格点的平均大潮差，当网格点潮汐类型为不规则半日或全日潮和正规全日潮时，可以计算出该格点的平均大的潮差。系统根据用户在输入区输入的经纬度信息，自动寻找和输入地点最近的网格点，在界面上显示该地点的潮汐潮流类型和相应的潮差特征值。

预报功能区工作原理为：系统根据用户在输入区输入的经纬度和时间信息，自动寻找和输入地点最近的网格点，得到该地点的潮汐潮流调和常数，然后自动调用 t_tide ^[9]函数，预报所要求时刻的潮汐和平均潮流值，并显示在界面的相应位置。

4.1 系统工作原理

查询功能区工作原理为：利用模拟得到的潮汐潮流调和常数，根据公式 $k_1 = \frac{(H_{K1} + H_{O1})}{H_{M2}}$ (H_{K1} , H_{O1} , H_{M2} 分别是分潮 K1, O1 和 M2 的振幅) 可以得到各个网格点的潮汐类型判别系数，根据公式 $k_2 = \frac{(W_{K1} + W_{O1})}{W_{M2}}$ (W_{O1} , W_{K1} , W_{M2} 分别代表 O1, K1, M2 分潮的潮流椭圆半长轴长度) 可以得

4.2 系统使用方法

输入区的使用：在输入区，用户可以手动输入要预报的时间，经纬度。如果想自动输入当前时间，可以点“现在时间”按钮。

查询功能的使用：点击“查询”按钮，系统便会根据用户输入的经纬度查询该位置的潮汐类型、潮流类型、平均大的潮差或者平均大潮差。当潮汐类型为“正规半日潮”时只显示“平均大潮差”的结果，“平均大的潮差”显示为“无”，当潮汐类型为“正规半日潮”以外的类型时，只显示“平均大的潮差”的结果，“平均大潮差”显示为“无”。

预报功能的使用：点击“预报”按钮，系统会根据用户输入的经纬度和时间来预报该地点输入时刻的水位和潮流、流向，并把结果显示在相应的文本框里，其中流速方向的规定为：流向北为0°，东为90°，南为180°，西为270°。同时在界面的左下方，会显示输入时刻之后12小时的潮位变化曲线，在该曲线图里，会自动标出输入时刻之后的12小时里，出现最大和最小潮位的时刻以及

对应的水位值。

5 总结与未来工作展望

本文开发的潮汐潮流预报系统具有近岸高分辨率,运行快捷方便等特点,可以为海上作业提供海洋环境预报和查询服务,未来的工作主要集中在:(1)搜集更多的实测数据,不断改善模式模拟的结果;(2)重点区域再加密,在一些重要的港口和城市进行分辨率更高的模拟;(3)将模式从二维发展到三维,使系统可以预报任意时刻和深度的潮流;(4)外拓模式的开边界,以保证边界上调和常数的准确性。

致谢:感谢美国北卡罗来纳州大学提供ADCIRC模式源代码。

参考文献:

- [1] 方国洪,魏泽勋,王永刚.我国潮汐潮流区域预报的发展[J].地球科学进展,2008,23(4):331-336.
- [2] 李孟国,郑敬云.中国海域潮汐预报软件Chinatide的应用[J].水道港口,2007,28(1):65-68.
- [3] 王培涛,董剑希,赵联大等.黄渤海精细化温带风暴潮数值预报

模式研究及应用[J].海洋预报,2010,27(4):1-8.

- [4] 冯兴如,杨德周,尹宝树.FVCOM在龙口海域潮汐潮流模拟中的应用研究[J].海洋科学,2010,34(6):94-99.
- [5] Luettich R A, Hu J S, Westerrink J J. The development of the direct stress solution technique for three-dimensional hydrodynamic models using finite elements[J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1994,(19):295-319.
- [6] Matsumoto K, Takanezawa T, Ooe M. Ocean tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model around Japan[J]. Journal of Oceanography, 2000, 56: 567-581.
- [7] 海洋图集编委会.渤海 黄海 东海 海洋图集(水文)[M].北京:海洋出版社,1993. 429-432.
- [8] 方国洪,郑文振,陈宗镛等.潮汐和潮流的分析和预报[M].北京:海洋出版社,1986. 216-233.
- [9] Pawlowicz R, Beardsley B, Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE[J]. Computers and Geosciences, 2002,28:929-937.

Refined simulation and establishment of a tide and tidal current forecasting system in the Bohai Sea and the Yellow Sea

FENG Xin-gru^{1,2,3}, YIN Bao-shu^{1,3}, YANG De-zhou^{1,3}

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071 China; 2. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049 China; 3. Key Laboratory of Ocean Circulation and Wave, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071 China)

Abstract: A refined two-dimensional tide and tidal current model is built based on the finite element ocean model ADCIRC (Advanced Circulation Model). The model is forced by 8 tide constituents of M2, S2, K1, O1, etc, and the corresponding 8 tide harmonic constituents are calculated using the model result. The tide and tidal current forecasted by the calculated harmonic constituents agrees well with the observation. A visual tide and tidal current forecasting system which can be operated independently is established based on Matlab. The system can forecast the tide and depth-integrated tidal current in the Bohai Sea and the Yellow Sea. Some of the tide characteristics also can be shown through the system. The tide and tidal current forecasting system can be operated fast and conveniently and provide forecasting service for the offshore operation.

Key words: ADCIRC model; tide and tidal current forecasting system; Bohai Sea and Yellow Sea