

ECOM 模式在胶州湾潮流计算中的应用

鲍献文¹ 闫菊¹ 赵亮¹ 石磊²

(¹ 青岛海洋大学 266003)

(² 青岛市南区环保局 266002)

提要 将 ECOM 模式应用于胶州湾分潮的潮汐与潮流数值模拟,结果与观测资料符合较好。模拟获得了三维潮流水平与垂向分布结构以及若干个潮致余流涡的水平分布状况。湍流封闭模式所获得的垂向湍粘性系数水平分布形态与地形的分布极为相似,并有中层大,底、表层小的垂向分布特征。

关键词 潮流、余环流、三维模式、胶州湾

王化桐等 1982 年,孙英兰^[1]1987 年对胶州湾的二维潮流进行了研究,但三维潮流研究尚不多见,更未深入探讨三维潮流的空间结构特征。本文利用普林斯顿大学的河口、陆架和海洋模式 (ECOM),对胶州湾三维潮汐与潮流进行数值模拟。获得了 M_2 分潮的潮位、潮流、潮致欧拉余流以及垂直湍粘性系数的三维空间分布结构。

1 ECOM 模式的概述

ECOM (3D Estuarine, Coastal and Ocean Model) 模式是由 Blumberg, Mellor, Casulli and Cheng 等人发展起来的一个较为成熟的浅海三维水动力学模式。它从原始三维方程出发,以自由水位、三方向速度分量、温度、盐度、密度以及代表湍流的两个特征量:湍动能、湍宏观尺度 (Turbulence macro-scale) 作为预报变量。该模式具有如下几个特点:

(1) 模式嵌套了一个二阶湍流封闭模型,提供垂向混合系数;

(2) 垂向采用 σ 坐标系;

(3) 水平方向采用曲线正交网格,采用“Arakawa C”网格差分;

(4) 动量方程中的正压梯度采用 Casulli 1990 年半隐方法,而在连续方程的水平速度散度以完全隐式处理。使得模式允许的时间步长长可比 CFL 条件所

限制的时间步长长几十倍;

(5) 模式有能力进行干湿网格的判断,解决有开阔潮间带区域的漫滩问题;

(6) 与内环流相关项采用水平显式时间差分,垂直隐式差分,因此模式具有很细的垂向分辨能力;

(7) 应用了完整的热力学方程;有关模式方程、差分格式以及二维湍流封闭模式在 Blumberg and Mellor 1987 年中有详细的描述,在此不再累赘。

2 胶州湾 M_2 分潮的潮汐和潮流的计算

利用 ECOM 模型,对胶州湾的 M_2 分潮进行了数值模拟。为了更合理地给定胶州湾潮汐模拟的开边界条件,采用了大小区嵌套方法。计算大区东至崂山头,西至灵山湾西侧,包括了胶州湾及其邻近海域。小区网格距 $\Delta x = 432$ m, $\Delta y = 540$ m (3' 经纬度 10 等分)。垂直方向为 11 层。计算 M_2 分潮时间步长为 149.04 s,计算大区的南、东开边界的 M_2 调和常数从海洋图集东黄渤海分册的同潮图内插获得,模拟采用零初始条件。为了保证计算的稳定性,强迫的边界潮

位从零开始逐步增加,经过两个潮周期后达到正常变化,第3个潮周期后形成稳定的潮波。

计算所得的同潮时线和等振幅线(图1a,b)表明,潮波由东北向西南传播,属于反时针潮波系统。潮波进入胶州湾后,向湾内转,湾底部较湾口高潮发生时刻落后约8 min,随着潮波向湾内传播,振幅逐渐加大,至湾底部达134 cm,比湾口振幅高出十多厘米。以上结论和1958年海洋普查的历史资料一致,与孙英兰等计算结果相符。

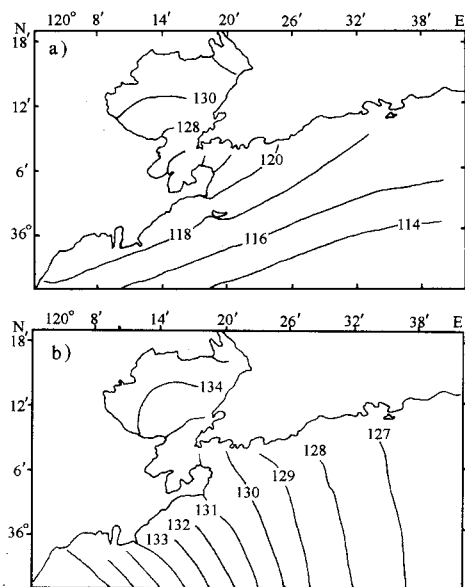


图1 M_2 分潮同潮图 (a)等振幅线, (b)同时线
Fig. 1 M_2 co-tidal chart: (a) amplitude, (b) phase-lag

2.1 胶州湾潮流水平结构

从数值模拟所得的逐时潮流图可以看出,涨潮流是从海区的东北流入,部分沿岸朝西南流去,部分进入胶州湾,落潮流则是外海水从海区西南部流入,汇同胶州湾落潮流出的海水一起从海区东北部流出,涨、落潮最大流速均发生在胶州湾口,流速为95 cm/s。

涨潮中间时,整个胶州湾为涨潮流,流速均很大。胶州湾口附近的外海海域,流速较小,为转流期。落潮中间时与涨潮中间时流场特征相同,只是流向相反。高潮时和低潮时胶州湾内为转流时刻,流速很小。湾外为最大涨潮流时刻。由上分析可见,胶州湾内的潮汐带有驻波性质,而湾外带有前进波性质。

各网格点上的分潮的潮流椭圆(图2)表明,除在沧口水道以西一条形域内接近为旋转流外,湾内绝大部分水域中为往复流。底层潮流椭圆与表层相似,只是椭圆的长轴衰减,和表层相比,底层椭圆长轴方向

一般右偏,但偏幅不大,一般在 $5\sim 10^\circ$ 左右。

2.2 水平速度的垂向分布

胶州湾海域水平最大流速的大小与发生时刻随深度有一致的变化规律。图3是胶州湾不同位置的代表性站位的水平速度的垂直分布,从中可看出,最大速度随深度的增加而减小,直到海底为零,这与理论结果是一致的,底层以上各水层的最大速度相差很小,符合潮流场是正压场这一特征。底层速度衰减迅速。这显然是海底摩擦对流场垂直分布影响所致。最大流速发生时刻随深度的增加而提前,但在底层以上的各水层最大流速几乎同时发生。

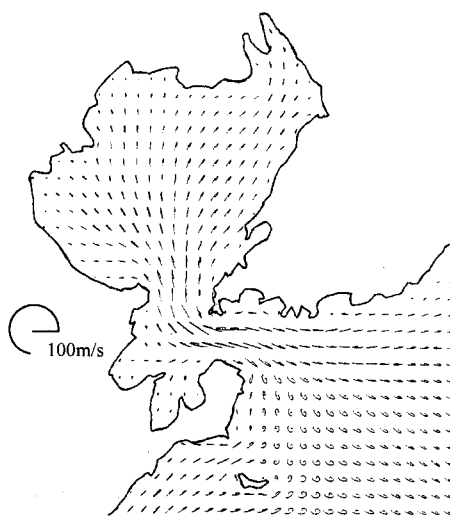


图2 M_2 分潮流椭圆图
Fig. 2 M_2 current ellipses

2.3 垂直湍粘性系数分布

垂直湍粘性系数是通过湍封闭模式来确定的,这是本模式的一大特点。图4显示了胶州湾垂直湍粘性系数的水平分布,无论是表层、中层和底层,其分布的空间特征与计算域的水深分布极为相似,水深大的区域,表、中和底层的垂向湍粘性值普遍较大。水深较浅,其量值也较小。从湍粘性表、中和底层的分布可看出,湍粘的垂直分布表现出中间大,两头小的分布特征。

2.4 胶州湾的欧拉余流

由于胶州湾形态(包括岸界和底形)较为复杂,形成了大小,强弱不等的许多余流涡(图5),胶州湾环流结构的基本特征如下:

(1) 团岛-薛家岛之间存在一反时针流涡(图5a),湾口余流呈现北进南出的趋势,流涡的中心在湾口中部,最大余流速度为9.5 cm/s,位于团岛以南。

海洋科学

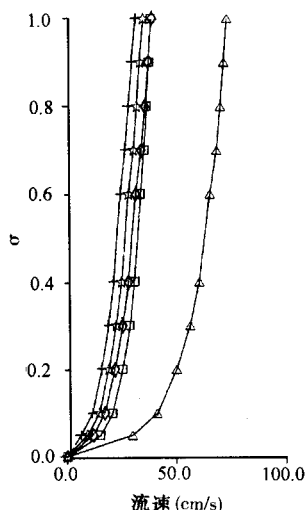


图3 最大流速垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of the maximum current

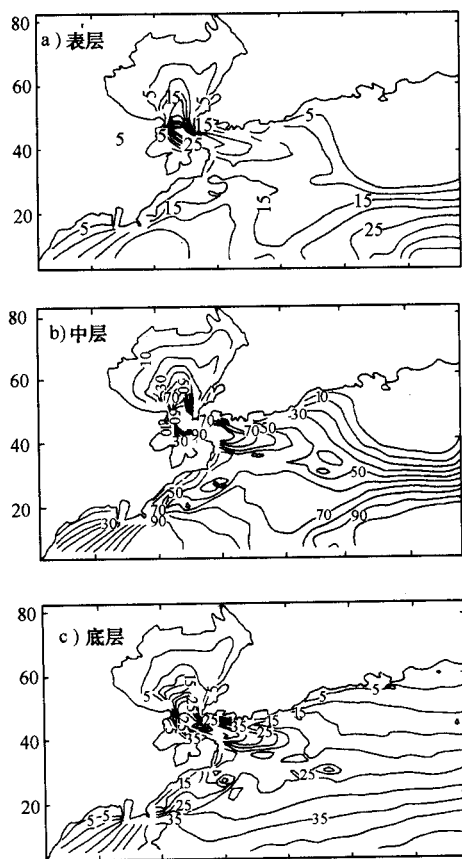


图4 垂直湍粘性系数水平分布

Fig. 4 Level distribution of the vertical mixing coefficient

(2) 团岛-黄岛间有一顺时针向、发育良好的强

流涡(图 5b),流涡中心位于团岛-黄岛中部,流涡范围呈东西、南北各 10 网格,最大余流速度为 13.3 cm/s,位于团岛咀西侧。

(3) 黄岛北侧存在一反时针流涡(图 5c),强度较前两个流涡弱,涡流中心位于黄岛咀正北约 4~5 个网格距处。范围较大,基本上控制着大沽河以南、黄岛以北的大部分海域。

(4) 沧口水道的两侧形成强度更弱,范围更大的顺时针流涡(图 5d),流涡呈葫芦形,湾顶范围比大港外侧大。流涡中轴呈南北向直线分布,最大流速位于 5 号码头西北侧。

(5) 在胶州湾的口门,即太平角与薛家岛连线以东海域,存在一个顺时针的流涡(图 5e),涡流中心位于薛家岛咀正东 4 网格处,此流涡的控制范围北到太平角,西至竹岔岛。

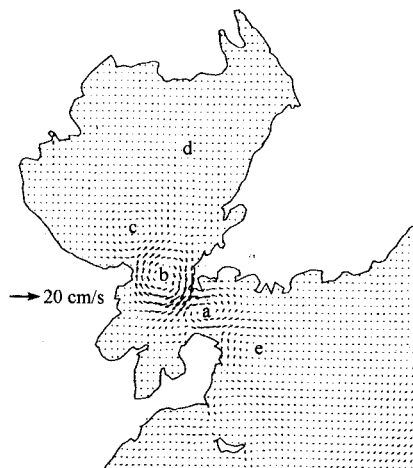


图5 胶州湾的欧拉余环流分布

Fig. 5 Eulerian residual current in Jiaozhou Bay

3 结论

利用 ECOM 模式,对胶州湾 M_2 分潮进行了潮汐潮流以及潮致欧拉余流的数值模拟。获得以下主要结论:

(1) ECOM 模式运用于浅海陆架区有其自身的优点,与 POM 模式相比,它不受 CFL 条件的限制,可取较长的时间步长。

(2) 胶州湾内的 M_2 潮波带有驻波性质,湾顶振幅比湾口高十几厘米,最大潮流发生在湾口,其值为 95 cm/s。

(3) 胶州湾及附近海域形成大小强弱不等的余

流涡,系统给出 5 个最明显余流涡的水平分布结构。

(4) 胶州湾及临近海域的垂向湍粘性系数分布形态与水深分布极为相似,垂向结构的分布特征为中层大,表、底层小。

参考文献

- 1 孙英兰等。青岛海洋大学学报,1994,24:106~119

APPLICATION OF ECOM TO SIMULATE TIDAL CURRENTS IN JIAOZHOU BAY

BAO Xian-wen¹ YAN Ju¹ ZHAO Liang¹ SHI Lei²

(¹*Ocean University of Qingdao, 266003*)

(²*Environmental Protection Bureau of Qingdao, 266002*)

Received: May, 1, 1999

Key Words: Tidal current, Residual circulation, 3D-mode, Jiaozhou Bay

Abstract

A 3D Estuarine, Coastal and Ocean Model was applied to simulate M_2 tide and tidal currents in Jiaozhou Bay, Qingdao. The horizontal and vertical structures of tidal currents were obtained and the inter-tidal Eurlarian residual circulation was analyzed. The distribution of vertical mixing coefficients showed it was related to depth.