

大鹏湾潮流数值计算

王学昌¹ 娄安刚¹ 孟伟² 郑丙辉² 王增田³


(¹ 青岛海洋大学 266003)

(² 中国环境科学研究院 北京 100012)

(³ 沂水县环保局 山东 276000)

提要 应用分步杂交方法建立了大鹏湾变边界潮流数值模型, 并对其进行了模拟计算, 重现了该区域潮波及潮流的分布规律, 并根据实测资料对其进行了验证, 从而可系统地了解这一海区的潮波系统及潮流场等海洋要素的分布情况。

关键词 大鹏湾, 潮波, 潮流, 数值计算

 大鹏湾位于深圳半岛与香港九龙半岛之间。地理位置为 $22^{\circ}24' \sim 22^{\circ}36' \text{N}$, $114^{\circ}12' \sim 114^{\circ}30' \text{E}$ (见图 1)。大鹏湾对深圳的经济发展是非常重要的, 港口、航运、养殖、旅游、纳污等, 对近年来深圳经济的腾飞起着不可替代的作用, 所以, 进一步了解和研究大鹏湾水动力状况和海水的物理自净能力, 对今后更好地利用海洋、开发海洋、促进经济的发展都将有着非常深远的意义。

1 大鹏湾的自然条件

大鹏湾为溺谷湾, 东、北、西三面环山, 湾口东起大鹏半岛的大鹏角, 西至九龙半岛的大浪嘴, 海湾轴线呈东南-西北向, 湾口朝东南, 宽度为 9.3 km, 纵深 18 km, 海岸线长约 100 km, 高潮时的水域面积约为 335 km^2 。湾底沙头角附近水深 8~10 m, 中部水深

收稿日期: 2000-12-25; 修回日期: 2001-02-01

18 m 左右, 湾口附近海域水深大于 20 m。

2 大鹏湾潮流数值模型

本文采用不规则三角形网格的分步杂交方法^[1,2], 建立了大鹏湾二维变边界潮流数值模型。模型海域见图 1。

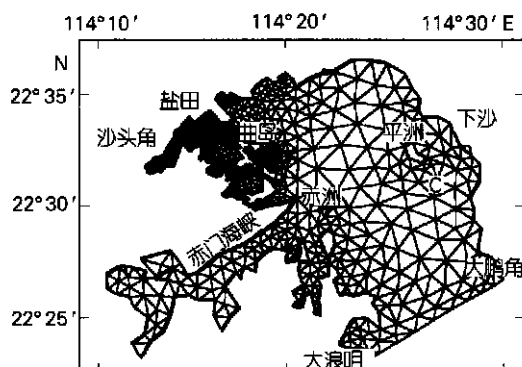


图 1 大鹏湾计算网格图
Fig.1 Grid layout of Dapeng Bay

2.1 二维平均运动方程组

选用一个固着于“t-平面”上的直角坐标系 (XOY) 和静止海面重合, X 轴向东, y 轴向北, Z 轴向上为正, 运动方程组为:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + fv - \frac{g}{c^2} \left[\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} u + \frac{\tau_{xx}}{\rho H} + \epsilon \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fu - \frac{g}{c^2} \left[\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} v + \frac{\tau_{yy}}{\rho H} + \epsilon \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \right] \quad (3)$$

式中: u 、 v 分别为 x 和 y 方向上的深度平均流速分量; ζ 是从平均海面起算的水位值; $H = H_0 + \zeta$ (H_0 为平均海面深度); f 为柯氏参量; ρ 为海水密度, g 是重力加速度; t 是时间变量; $C = 1/nH^{1/6}$ 为 Chezy 系数 (n 是 Manning 系数)。

求解方程的初始条件:

$$t = 0 \text{ 时, } u = u_0; v = v_0; \zeta = \zeta_0$$

岸边界条件: $\vec{V} \cdot \vec{n} = 0$ (\vec{n} 为岸界线方向)

水边界条件: $\zeta = \zeta'$

在实际计算中, 由于浅海较强的耗散作用, 一般将 u_0 、 v_0 和 ζ_0 取为零值, 因为任何初始能量经过一

段时间后总要耗散掉, 故当计算达到一定时间长度后, 初始效应便会消失, 而只是由 ζ' 这一协振潮的唯一强迫函数在起作用, 因此对 ζ' 的取值, 要求具有满意的精度。

2.2 计算网格的设置

本文是在深圳市污水排海研究项目的基础上进行的, 而污水排海的位置设在盐田港附近海域, 所以, 为了提高该海域的计算精度, 对这里的网格进行了加密。另外, 大鹏湾西部海域岛屿众多, 岸线复杂, 为了真实反映海岸线的实际情况, 近岸海域的网格也较密。

本次计算将大鹏湾划分为 1 139 个不规则三角形网格单元, 共 746 个节点, 最小网格间距为 0.1 km, 最大为 2.5 km, 一般在 0.5~1.0 km 之间。

2.3 稳定性参数的选择

根据分步杂交计算方法的稳定性条件, $\Delta t \leq d_i/V_i$, 其中 d_i 是所有三角形网格中最小的垂线长度 (m), $V_i = (u_i + v_i)$ 是所有格点中最大的流速值 (m/s)。从数值计算和实际观测的结果都可以说明, 大鹏湾中海水流速一般在 10~20 cm/s 左右, 最大也不过几十 cm/s, 若取 $V = 1$ m/s, 则时间步长应为 $\Delta t \leq 100$ s, 模型计算中取 $\Delta t = 15.528$ s, 满足稳定性条件的要求。

通过大量的计算证明, 该潮流模型经过 6 个日潮周期的计算后, 基本趋于稳定, 计算结果较真实地反映了该海域的实际情况。

2.4 开边界强迫函数

大鹏湾位于南海北部, 珠江口东侧, 该海域 $\frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$ 和 $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$ 的值均在 0.5~2.0 之间, 故这里属不规则半日潮海域。且 K_1 分潮所占比例仅次于 M_2 分潮, 所以, 模型海域开边界输入水位强迫函数取为:

$$\zeta'(t) = (H_{K_1} + H_{O_1}) \cos\left(\frac{\sigma_{K_1} + \sigma_{O_1}}{2} t - \frac{g_{K_1} + g_{O_1}}{2}\right) + H_{M_2} \cos(\sigma_{M_2} t - g_{M_2}) \quad (4)$$

式中: H_{M_2} 、 H_{K_1} 和 H_{O_1} 分别为 M_2 、 K_1 和 O_1 分潮振幅。

g_{M_2} 、 g_{K_1} 和 g_{O_1} 分别为 M_2 、 K_1 和 O_1 分潮初相位。

σ_{M_2} 、 σ_{K_1} 和 σ_{O_1} 分别为 M_2 、 K_1 和 O_1 分潮圆频率。

t 是时间, ζ' 是瞬时合成潮位。

在开边界两端点上取实测潮汐调和常数, 其他

潮波分布图,由两端点分段线性内插得到。

3 计算结果分析

3.1 潮流验证

图2是C点(见图1)M₂和K₁两个分潮的潮流验证玫瑰图,从图中可以看出,实测与计算潮流玫瑰图的主轴方向一致,旋转方向相同,由此可见,本海域的潮流数值模拟吻合良好。

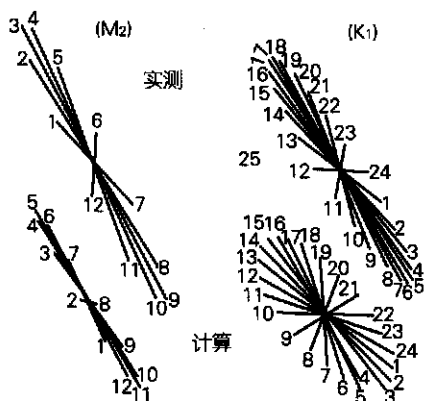


图2 潮流验证玫瑰图

Fig.2 Observed and computed roses of tidal current

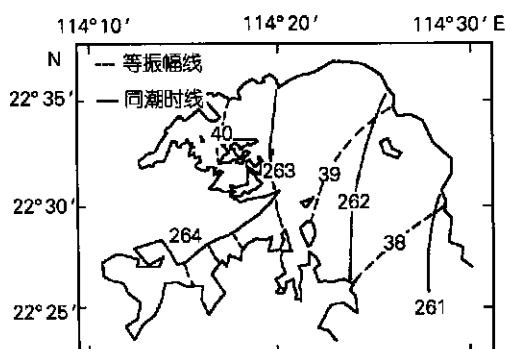


图3 M₂分潮同潮时线和等振幅线

Fig.3 Cotidal chart and iso-amplitude curves for M₂ constituent

3.2 同潮时线和等振幅线

图3和图4是M₂分潮和K₁分潮的同潮时线和等振幅线,图中实线为同潮时线,虚线是等振幅线。从图中可以看出,大鹏湾的潮波首先由大鹏角传入,然后慢慢向大鹏湾深入,到湾的底部M₂分潮

约需10 min。在湾口处M₂分潮同潮时线为261°,湾的最底部为265°,相差5°左右。K₁分潮潮波由湾口传到湾底约需16 min。湾口到湾底相差4°左右。M₂分潮振幅,湾口处为37 cm左右,湾底接近42 cm,振幅差为5 cm,K₁分潮振幅,湾口处为34 cm左右,湾底处振幅38 cm左右,振幅差为4 cm。如此小的振幅差可能是大鹏湾流速较小的主要原因。

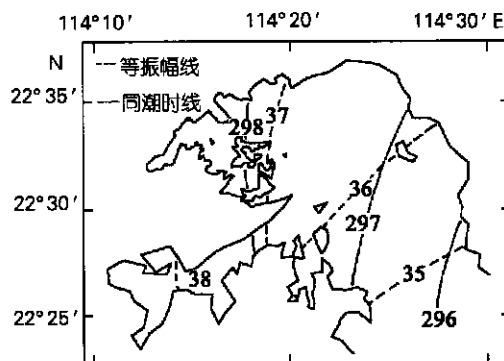


图4 K₁分潮同潮时线和等振幅线

Fig.4 Cotidal chart and iso-amplitude curves for K₁ constituent

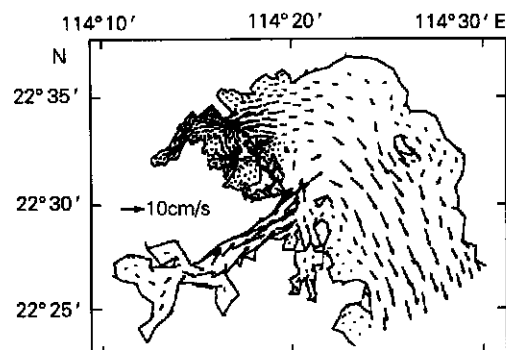


图5 计算潮流场(落潮中间时)

Fig.5 Computed tidal current field (half tide during ebb)

3.3 潮流场分析

根据(4)式给出的水边界上的强迫水位,计算得到了大鹏湾不同时刻的潮流场,图5和图6给出了以盐田港为基准的落潮中间时和涨潮中间时两个不同时刻的计算流场分布图。需要指出的是,由于大鹏湾为不规则半日潮海区,计算流场是由几个分潮叠加后的合成流场,所以潮位曲线不是一个规则的正弦或余弦曲线,这里给出的两个不同时刻的流场是根据合成后的结果,在不同的阶段所反映出来的

水流动过程。

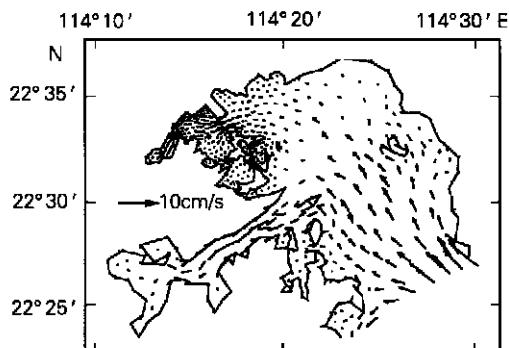


图 6 计算潮流场(涨潮中间时)

Fig. 6 Computed tidal current field (half tide during flood)

图 5 是落潮中间时的流场,也就是海水在落潮过程中流动最快的时候,流速在湾口处及赤门海峡最大,一般在十几 cm/s,最大可达 20 cm/s。另外,由于盐田港与曲岛之间有一狭窄区,所以这里的流速也相对较大。在沿岸海域,由于有许多岛屿和人工养殖区的阻碍作用影响了海水的流动,所以这些海域流速一般较小。图 6 是涨潮中间时的流场,与

落潮中间时正好相反,它是海水在涨潮过程中流动最快的时候,这个时候大鹏湾的海水全部由外海域流向湾内,并逐渐流向湾底。流场的结构及大小与落潮中间时基本一致,只是流向相反。

综上所述,在大鹏湾一个日潮周期的海水运动过程中,以流场图中左上角的潮位曲线为参考,4 时以前为落潮流,4~5 时为转流时刻,6~9 时为涨流时段,10~13 时有一较长时段的停流期,14~19 时为涨潮过程,20 时前后为停流期,20.5 时以后为落潮过程。

4 结语

大鹏湾潮波由外海传入,从湾口到湾底大约需要 25 min,湾口与湾底的潮位差 M_2 分潮约为 5 cm, K_1 分潮约为 4 cm。湾口附近海域及赤门水道流速最大,一般在 20 cm/s 左右。总的来说,大鹏湾流速偏小,物理自净能力较弱。

参考文献

- 1 吴江航等. 计算流体力学的理论、方法及应用. 北京: 科学出版社, 1988.
- 2 王学昌等. 海洋环境科学, 2000, 19(3): 55~59

NUMERICAL COMPUTATION OF TIDAL CURRENT FOR DAPENG BAY

WANG Xue - chang¹ LOU An - gang² MENG Wei ZHENG Bing - hui² WANG Zong - tian³

(¹ Ocean University of Qingdao, 266003)

(² Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012)

(³ Environmental Protection Bureau of Yishui, Shandong, 276000)

Received: Dec, 25, 2000

Key Words: Dapeng Bay, Tidal wave, Tidal current, Numerical computation

Abstract

A varied boundary tidal current numerical model of Dapeng Bay is established using the split steps finite element method. The tidal wave and current distributing pattern of this area is modeled by calculation and verified by observations, hence the distributions of the major factors such as the tidal wave systems and tidal current fields in this sea area are described.

(本文编辑:张培新)