

253-258

厦门港南部附近海域的水动力输运特征

黄小平

(中国科学院南海海洋研究所, 广州, 510301)

P731.2

摘要 本文采用二维浅水潮汐方程、欧拉余流模型和拉格朗日余流模型, 并通过数值模拟的方法, 研究了厦门港南部附近海域的水动力输运特征。结果表明, 该海域的水动力输运条件良好, 水交换能力较强。

关键词 输运条件, 数值模拟, 厦门港

中国图书分类号 P731.26

海域, 水动力输运

厦门港南部附近海域, 水深条件良好, 水产资源丰富。其西部为龙海市港尾镇, 东部为金门岛。由于龙海市处于优越的地理位置和具备良好的经济基础, 已被福建省列为近期发展的“四小龙”之一, 并提出把港尾镇建成中国的第二个蛇口。随着港尾镇的建设开发, 急需弄清其所在海域的水动力输运条件和物理自净能力, 以利于经济建设和环境保护协调发展。本文将利用数学模型和数值模拟的方法, 研究厦门港南部附近海域的水动力输运特征。

1 研究海域的基本条件

研究海域属于厦门港南部附近海域, 北起大担岛北端, 南至香山附近, 东起虎仔屿(图1)。研究海域南北长约22km, 东西宽约16km。该海域水深条件普遍较好, 一般可达10~20m, 最深处超过30m; 但近岸海域水深条件相对较差, 为2~3m左右。

本海域的水动力条件主要受流经台湾海峡的潮波系统和九龙江径流的控制。其潮汐类型属正规半日潮。根据鼓浪屿验潮站的多年资料统计, 海域的平均涨潮历时6h8min, 平均落潮历时6h22min。平均潮差3.99m, 最大潮差6.42m, 最小潮差0.99m。

由于本海域的水深较大, 岸边多为基岩海岸, 泥沙来源少, 悬移质含沙量较小, 平均含沙量为 0.44kg/m^3 。海域的相对风浪较大, 实测最大风浪高达8.2m。

2 数学模型及其求解

2.1 浅水潮波模型

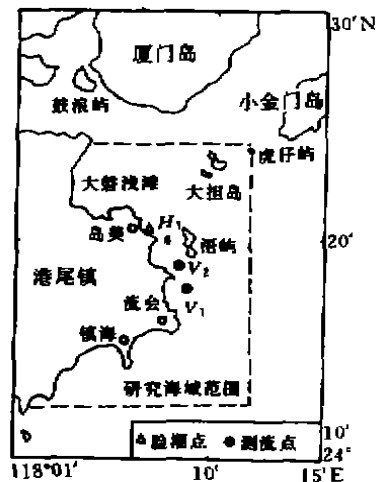


图1 研究海域的地理位置

Fig. 1 Location of the studied area

• 黄小平, 男, 1965年10月出生, 硕士, 副研究员。

本文于1988年6月29日收到。

海流运动是海域污染物输运自净的主要动力,选用二维浅水潮波方程来模拟该海区的流场,即:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HU) + \frac{\partial}{\partial y}(HV) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial Z}{\partial x} + g \frac{U \sqrt{U^2 + V^2}}{C^2 H} - A_t \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial Z}{\partial y} + g \frac{V \sqrt{U^2 + V^2}}{C^2 H} - A_t \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中, Z 为基面起算水位; $H = h + Z$, h 为水深; U 、 V 分别为 x 、 y 轴上垂线平均流速分量; C 为摩阻系数, $C = (H)^{1/6}/n$, n 为 Manning 系数; f 为柯氏参数, $f = 2\omega \sin\phi$; A_t 为侧摩擦系数。

上述方程的定解条件为:

初始条件: $Z(x, y, 0) = 0, U(x, y, 0) = 0, V(x, y, 0) = 0$

边界条件: 固壁边界条件上, $\vec{V}_n = 0$

开边界为潮位过程线, $Z = Z(t)$

开边界潮位主要利用鼓浪屿的同步观测资料,根据潮汐传播规律推算而得。

该方程采用显隐交替方向隐式法,即 ADI^[3]法进行计算,它兼有隐式差分稳定性好和显式差分简单的优点。空间步长为 $250\text{m} \times 250\text{m}$,时间步长 120s。

2.2 欧拉余流模型

欧拉余流对污染物迁移扩散起重要作用,它是研究海域污染物输运移特征的重要手段之一。欧拉余流 U_R 是用流速在一个潮周期 T 内的积分值计算而得的。

$$U_R = \frac{1}{T} \int_0^T u dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

其离散形式为:

$$U_R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中 N 是计算次数, $N = \frac{T}{\Delta t}$

2.3 拉格朗日余流模型

利用拉格朗日余流模型,可研究污染物在研究海域内的迁移轨迹、停留时间及水交换能力。这也是海域污染物输运的重要特征之一。处于某一位置的海水质点,随潮流涨落在进行往复运动,经过一个潮周期后,一般不再返回原来的出发位置,而出现一个净位移,称之为拉格朗日漂移,其漂移速度称为拉格朗日余流^[2,3]。

设以 $U_E[x, (t), t]$ 表示第 i 个海水微元的欧拉速度,当 Δt 足够小,由泰勒级数逼近,并忽略 Δx^2 以上项,则该微元从 t_{N-1} 时刻到 t_N 时刻的位置改变可用下式确定^[4]:

$$\begin{aligned} x_i(t_N) = & x_i(t_{N-1}) + \int_{t_{N-1}}^{t_N} \{U_E[x, (t_{N-1}), t]\} \\ & + \int_{t_{N-1}}^{t_N} U_E[x, (t_{N-1}), t'] \nabla_H L^* [X, (t_{N-1}), t] \} dt \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

由式(6)可计算一个潮周期的拉格朗日漂移 $[x_L(t)]$ 和拉格朗日余流 $[U_L(t)]$,即:

$$x_L(t) = x_i(t_N) - x_i(t_0) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$U_L(t) = [x_i(t_m) - x_i(t_0)] / T_L \quad \text{..... (8)}$$

式中 T_L 为一个太阴日; t_m, t_0 分别为一个太阴日的终了和开始时刻。

3 结果与讨论

3.1 模拟结果的验证

利用 1994 年 5 月 26~27 日大潮同步实测资料,对模拟潮位和海流分别进行验证。潮位在量值和位相上均有很好的吻合;模拟流速、流向和实测流速、流向在量值和位相上都比较一致。图 2 为 1 号和 2 号测流站的流速、流向的验证情况。表 1 则为 1994 年 5 月 26~27 日计算余流与同步实测余流的比较。由该表可知,计算余流的量值和总方向与实测值基本一致。

表 1 计算余流与实测余流的比较

Tab.1 Comparison of simulated residual current and observed residual current

站位名称	计 算 值		实 测 值	
	流速(cm/s)	流向(°)	流速(cm/s)	流向(°)
1 号站	12.8	189.5	11.2	145.2
2 号站	5.5	252.0	6.5	275.7

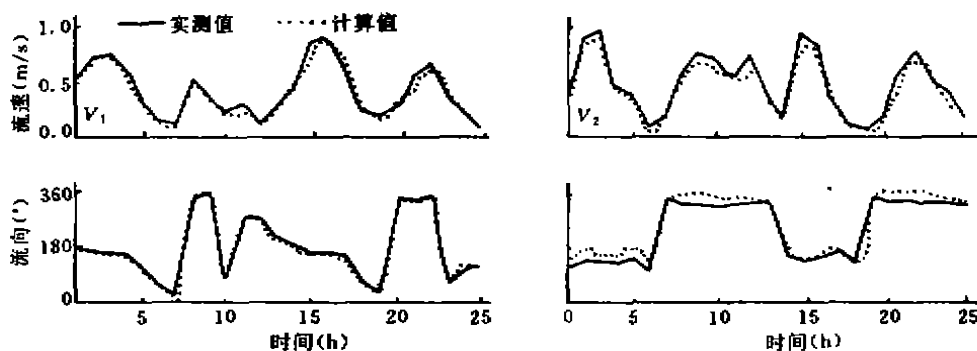


图 2 1 号站和 2 号站的流速、流向过程验证曲线

Fig. 2 Verification curves of flow velocity and flow direction course

3.2 流场时空变化规律

图 3 和图 4 分别为大潮模拟涨潮和落潮流场图(因计算格点过多,只输出奇数格点的结果,以下相同)。

根据海洋水文观测和数值模拟结果分析,该海域潮流以正规半日潮为主,但由于受到九龙江径流的影响,表现有一定的不规则性。潮流具往复特征,涨潮流以偏 N 方向为主,落潮流以偏 S 方向为主。受局部地形影响,各海域的涨、落潮流向略有不同。流会以南海域潮流以 NE-SW 方向为主,流会至岛美之间海域潮流以 N-S 方向为主,岛美以北海域以 NW-SE 方向为主。

该海域处于九龙江口外,水流受径流的影响较大,表层落潮流大于涨潮流,中层涨落潮差距不明显,底层受水下地形的影响,径流作用近于消失。至于涨、落潮平均流速,大潮大于中潮,中潮大于小潮。落潮流速明显大于涨潮流速。大潮平均涨潮流速约为 0.25~0.42m/s,落潮流速 0.40~0.55m/s;小潮平均涨落流速约为 0.15~0.22m/s,落潮流速 0.22~0.35m/s;涨潮实

测最大表层流速为 0.95m/s , 落潮实测最大表层流速为 1.45m/s 。近岸 $500\sim 1\,000\text{m}$ 以内的海域流速相对较小; 镇海以西海域和大磐浅滩海域则为较大范围的小流区。

3.3 欧拉余流特征

图 5 为欧拉余流场。本海域内余流最大值超过 0.20m/s , 一般为 $0.05\sim 0.15\text{m/s}$ 之间, 余流总的趋势偏南, 这主要与九龙江的径流影响有关。但岛屿周围及近岸区域因地形影响使余流分布比较复杂。在浯屿西南侧海域、流会西南侧海域和镇海西南侧海域各存在一个顺时针的环流, 但余流速度较小; 大担岛和二担岛附近的余流方向亦现较混乱。近岸的余流速度普遍较小。

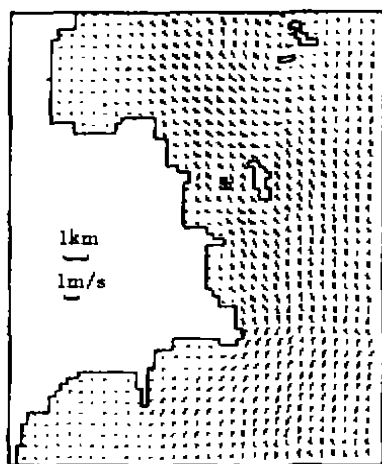


图 3 模拟涨潮流场

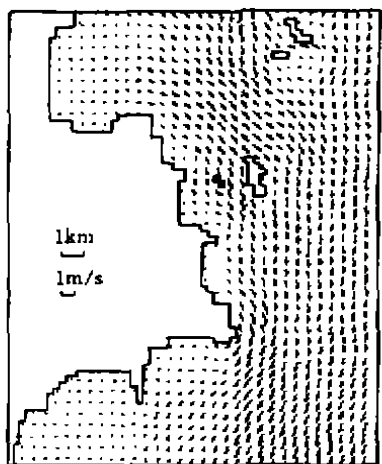


图 4 模拟落潮流场

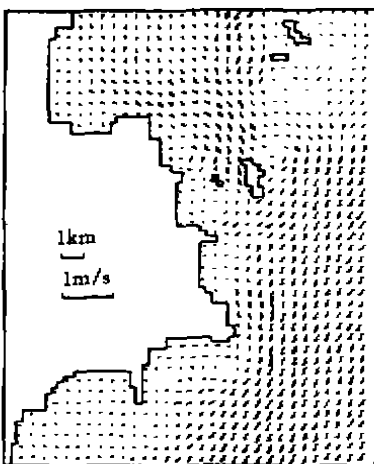


图 5 模拟欧拉余流场

Fig. 3 Simulated flood current field Fig. 4 Simulated ebb current field Fig. 5 Simulated Eulerian residual current field

3.4 拉格朗日余流场及水交换能力的区划

拉格朗日余流场不仅可以了解研究域内污染物经过一个太阴日后的输运速度和方向, 而且可以藉以划分海域水交换的活跃程度。这里列出了高潮时刻起算和低潮时刻起算的拉格朗日余流场, 具体结果分别见图 6a、b。计算结果表明, 不同时刻算起的拉格朗日余流场大致相同。由图 6 可以看出, 研究范围内的拉格朗日余流总的趋势向南, 这与欧拉余流是一致的。其东部离岸海域的拉格朗日余流速度相对较大, 一般可达 $15\sim 20\text{cm/s}$; 而贴岸海域、镇海以西海域和大磐浅滩海域的拉格朗日余流速度较小, 一般在 8cm/s 以下。按照上述计算结果, 厦门港南部附近海域的水交换能力大致可划分为三种交换区。

(1) 水交换活跃区 该区包括浯屿东南海域, 该区的拉格朗日余流为 $15\sim 20\text{cm/s}$ 。

(2) 水交换滞缓区 该区包括贴岸海域、镇海以西海域和大磐浅滩海域, 该区的拉格朗日余流速度较小, 一般在 8cm/s 以下。

(3) 水交换良好区 该区包括除上述活跃区和交换滞缓区以外的研究海域, 该区的拉格朗日余流为 $8\sim 15\text{cm/s}$ 。

4 结论

通过以上分析, 可初步提出以下结论:

(1) 厦门港南部附近海域水深条件好, 潮差大, 潮流强, 水动力输运条件较好, 利于污染物的迁移扩散。

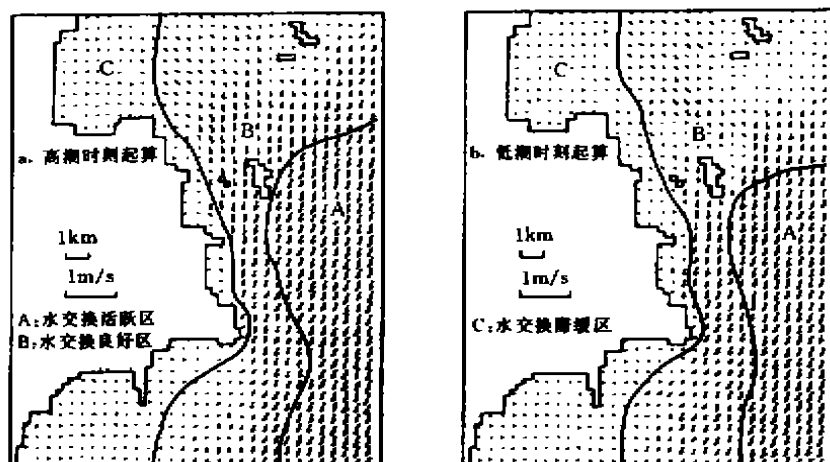


图 6 拉格朗日余流场及水交换区的划分

Fig. 6 Lagrangian residual current field and regional division of water exchange

(2) 该海域的欧拉余流和拉格朗日余流总的趋势向南, 流速相对较大, 有利于污染物向海外海输运。

(3) 镇海以西海域和大磐浅滩海域为相对滞流区, 污染物易于累积, 不宜设置较大规模的污水排放口。

(4) 由于近岸 500~1 000m 以内的海域流速相对较小, 水交换能力相对较差, 在经济和技术条件可能的情况下, 大规模的污水最好进行离岸海底排放。

参考文献

- 1 王化桐, 方欣华, 匡国瑞等. 胶州湾环流和污染扩散的数值模拟, I. 胶州湾潮流数值计算. 山东海洋学院学报, 1980, 10(1): 26~63
- 2 冯士筌. 论浅海环流及其输运过程的流体动力学基础, 见: 清华大学工程力学与工程物理学术会议论文集. 北京: 清华大学出版社, 1998. 199~208
- 3 陈时俊, 方欣华, 匡国瑞等. 胶州湾物理自净能力研究. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 11~27
- 4 Awaji T, Imasato N and Kunish H. Tidal Exchange through a strait: A Numerical Experiment Using a Simple Model Basin. J. Phys. Oceanogr., 1980, 10(11): 1 499~1 508

Study on characteristics of hydrodynamics transport in waters near south Xiamen Habor

Huang Xiaoping

(*South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301*),

Abstract

2-D shallow tidal wave equation, Eulerian residual model and Lagrangian residual model are employed to study the characteristics of hydrodynamics transport in the waters near south Xiamen harbor by means of numerical simulation. The results indicate good hydrodynamic transport and the ability of water exchange is relatively strong.

KEYWORDS Hydrodynamics, transport condition, numerical simulation, waters near south Xiamen Habor