

胶州湾潮流场的示踪粒子数值模拟研究*

褚芹芹, 李磊**, 李培良

(中国海洋大学物理海洋实验室, 山东 青岛 266100)

摘要: 本文采用直角坐标系, 矩形网格技术, 将 ECOMSED 模式应用于胶州湾内粒子运动轨迹模拟试验。在 ECOMSED 模式三维水动力模块基础上, 启用保守粒子的示踪模型, 模拟粒子在湾内的运动轨迹, 得到胶州湾排污口污染物在湾内表、中、底 3 层的运动路径, 从而为排污口选址和陆源污染治理方案提供环境依据, 以达到使湾内及附近海域受污染最低的目的。通过模拟获得了胶州湾及其附近海域三维潮流水平与垂向分布结构, 以及此海域的若干个流涡的水平分布状况。粒子示踪的模拟结果表明, 粒子的运动轨迹与湾内流速流向相一致, 即示踪粒子的运动轨迹与湾内流场有关, 此外也受到粒子释放时刻的影响, 高潮时释放的粒子更容易向湾外漂移, 利于污染物的输运。

关键词: 胶州湾; 潮流场; ECOMSED 模式; 水动力模块; 粒子示踪模块; 数值模拟

中图分类号: P731.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2010)11-029-06

胶州湾(见图 1)位于山东半岛沿岸, 是一个与黄海相通的半封闭海湾, 以团岛头(36°02'36" N, 120°16'49" E)与薛家岛脚子石(36°00'56" N, 120°17'30" E)连线为界, 周边有海泊河、李村河、墨水河、娄山河、板桥坊河等河流入海^[1]。



图 1 青岛海域分布图

Fig. 1 The distribution of sea area of Qingdao

数值模拟是研究海洋的重要手段, 虽然胶州湾的数值模拟工作取得了一定的进展, 但研究的目的不同, 模型的功能也不同。本文拟利用 ECOMSED 模式, 采用直角坐标系, 矩形网格技术, 在该模式三维水动力模块的基础上, 用粒子示踪模型模拟胶州湾内粒子运动轨迹, 以得到胶州湾排污口污染物在湾内的运动路径, 从而对排污口选址给出建议, 以达到使湾内及附近海域受污染最低的目的。

关于 ECOMSED 模式, 国内已有很多研究。一般

利用 ECOMSED 的专门用于浅水环境(河流、海湾、河口和近岸以及水库和湖泊)的版本 ECOM 进行模拟实验。例如 ECOM 被用于胶州湾三维潮汐、潮流数值模拟^[2-5], 模拟结果与观测资料符合较好, 并获得了三维潮流水平与垂直分布结构、及若干个潮致余流涡的水平分布状况。张越美等^[6]将 ECOM 模式引入干湿网格法开发了变边界潮流数值模式, 使胶州湾潮流数值模拟更符合物理实际。

ECOMSED 中的粒子追踪模块, 利用了示踪粒子与可溶粒子一样适用的保守质量输运方程去决定粒子的运动。Zhang^[7]将数值解与解析解做了比较, 证明该模块是可行的。国内已有研究者将该模块运用于胶州湾的研究中, 如万修全等^[5]利用该模块模拟了胶州湾化学耗氧量(COD)浓度扩散状况, 得到了 COD 在 1 个潮周期的平均浓度分布及 1 个潮周期内高潮时和低潮时的 COD 分布状况, 其模拟结果与调查结果基本相符。

1 ECOMSED 模型介绍

ECOMSED 研究起源于 1980 年代中期 POM (Princeton Ocean Model) 的产生, 包括的模块有: 水动力模块(详见文献^[8])、泥沙输运模块、风驱波浪模块、热通量模块和粒子示踪模块。以下详细介绍其中的中性漂浮物粒子示踪模块^[10]。

1.1 中性漂浮物粒子示踪模块

为获得胶州湾内粒子的运动轨迹, 在三维水动力

* 基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2007AA06A403)资助

收稿日期: 2009-07-06; 修订日期: 2010-04-16

作者简介: 褚芹芹(1986-), 女, 硕士生, 从事近海数值模拟及海啸数值模拟研究。E-mail: Celer0809@ouc.edu.cn

** 通讯作者: E-mail: lilei@ouc.edu.cn

模块的基础上,加入粒子示踪模块,该模块可以模拟由不同位置释放入水域中的离散粒子(这些粒子是中性浮游或保守的)轨迹。使用拉格朗日技术来计算粒子的平流输运,用随机游动程序来模拟湍流扩散的影响。粒子示踪模块可以用来模拟浮油漂溢或研究漂浮目标的轨迹。粒子可以以变化的速率释放自不同的位置,每个释放的粒子都与释放的时间和位置相联系,这在数据分析中是十分有用的信息。关于粒子示踪模块的完整理论描述和数值模拟方法详见文献[7]。

1.1.1 粒子示踪模块原理 根据迪穆和亚当斯 1993 年提出的 1 个随机游动粒子示踪方法,可以计算出粒子的位移。将粒子位移作为 1 个平流输运的确定成分和 1 个独立随机,在统计上接近海洋环境传播特性的马尔科夫过程成分的叠加。所涉及的平流输运和马氏成分应以适当的条件出现在守恒方程中,这就要求粒子的分布应与求解守恒方程得到的浓度分布相一致^[8]。

在三维环境下,保守物质的输运受到水平对流及传播过程的影响。这种输运问题一般依赖于质量守恒方程。在正交曲线坐标系上,保守示踪剂的输运方程可写为^[7],

$$h_1 h_2 \frac{\partial(DC)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \xi_1} (h_2 U_1 DC) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} (h_1 U_2 DC) + h_1 h_2 \frac{\partial(\omega C)}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{h_2}{h_1} A_H D \frac{\partial C}{\partial \xi_1} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{h_1}{h_2} A_H D \frac{\partial C}{\partial \xi_2} \right) + \frac{h_1 h_2}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right) \quad (1)$$

其中 ω 为 σ -坐标系下垂直速度,定义为:

$$\omega = W - \frac{1}{h_1 h_2} \left[h_2 U_1 \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial \xi_1} + \frac{\partial \eta}{\partial \xi_1} \right) + h_1 U_2 \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial \xi_2} + \frac{\partial \eta}{\partial \xi_2} \right) \right] - \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \right) \quad (2)$$

$(\xi_1, \xi_2, \sigma, t')$ 为 σ -坐标系下的各独立坐标变量,与笛卡尔坐标系的坐标 (x, y, z, t) 间的关系为:

$$\xi_1 = x \quad \xi_2 = y \quad \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad t' = t \quad (3)$$

$D = H + \eta$ 为总水深, H 为平均海平面下的水深, η 为自由表面相对于海平面的距离。 C 是浓度, h_1 和 h_2 分别是 ξ_1, ξ_2 方向上单位网格元的宽度, U_1 和 U_2 分别为沿 ξ_1, ξ_2 的速度分量, W 为笛卡尔坐标系下垂直速度。 K_H 为垂向混合系数, A_H 为水平湍流黏滞系数。

经转化,输运方程(1)可为:

$$\frac{\partial}{\partial t} (h_1 h_2 DC) + \frac{\partial}{\partial \xi_1} \left\{ \left[\frac{U_1}{h_1} + \frac{1}{h_1 h_2 D} \frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{A_H}{h_1^2} h_1 h_2 D \right) \right] h_1 h_2 DC \right\} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left\{ \left[\frac{U_2}{h_2} + \frac{1}{h_1 h_2 D} \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{A_H}{h_2^2} h_1 h_2 D \right) \right] h_1 h_2 DC \right\} +$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} \left\{ \left[\frac{\omega}{D} + \frac{1}{h_1 h_2 D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D^2} h_1 h_2 D \right) \right] h_1 h_2 DC \right\} = \frac{\partial^2}{\partial \xi_1^2} \left(\frac{A_H}{h_1^2} h_1 h_2 DC \right) + \frac{\partial^2}{\partial \xi_2^2} \left(\frac{A_H}{h_2^2} h_1 h_2 DC \right) + \frac{\partial^2}{\partial \sigma^2} \left(\frac{K_H}{D^2} h_1 h_2 DC \right) \quad (4)$$

输运问题也可以粒子的积累表示保守示踪剂的浓度的方法,利用粒子示踪模型来求解。依据已有的研究,粒子在随机游动模型中的位移是通过非线性 Langevin 方程得到的,

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = A(\mathbf{X}, t) + B(\mathbf{X}, t) Z_n \quad (5)$$

其中 $\mathbf{X}(t), A(\mathbf{X}, t)$ 和 $B(\mathbf{X}, t)$ 是矢量, $\mathbf{X}(t)$ 定义粒子的位置, $A(\mathbf{X}, t)$ 是平流作用下粒子的确定因子, $B(\mathbf{X}, t)$ 代表由粒子扩散导致的随机因子, $Z(t)$ 是在 $0 \sim 1$ 之间变化的独立随机数的矢量。

如果定义 $f = f(\mathbf{X}_t / \mathbf{X}_0)$ 作为粒子位置 $\mathbf{X}(t)$ 的条件概率密度函数,且初始位置在 t_0 时为 \mathbf{X}_0 。 f 值在粒子数非常多,且时间步长在求解守恒方程时较小的条件下,满足 Ito-Fokker-Planck 方程,

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \mathbf{X}} (A f) = \nabla^2 \left(\frac{1}{2} B B^T f \right) \quad (6)$$

因此,如果 $f = h_1 h_2 DC$, 质量输运方程(4)就等同于 Ito-Fokker-Planck 方程(6),

$$A = \begin{bmatrix} \frac{U_1}{h_1} + \frac{1}{h_1 h_2 D} \frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{A_H}{h_1^2} h_1 h_2 D \right) \\ \frac{U_2}{h_2} + \frac{1}{h_1 h_2 D} \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{A_H}{h_2^2} h_1 h_2 D \right) \\ \frac{\omega}{D} + \frac{1}{h_1 h_2 D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D^2} h_1 h_2 D \right) \end{bmatrix} \quad (7)$$

且

$$\frac{1}{2} B B^T = \begin{bmatrix} \frac{A_H}{h_1^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{A_H}{h_2^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_H}{D^2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

从而, $A(\mathbf{X}, t), B(\mathbf{X}, t)$ 在方程(4)中被确定,每个粒子位置 $\mathbf{X}(t)$ 就能计算出来。

方程(4)的数值运算与 ECOMSED 模型具有相同的网格设置和差值方法。为确保示踪方法的正确性,通过与解析解的对比进行验证。验证在长直水道,加入开边界或是闭合侧边界的平底或是斜底的圆形水道中进行。通过验证,得出该方法在以上所有的条件下能够获得正确解。

2 胶州湾内粒子运动轨迹模拟

胶州湾内粒子运动轨迹模拟,利用 ECOMSED 模

式,采用直角坐标系,矩形网格技术,在三维水动力模块的基础上,引入粒子示踪模块,不考虑风浪及河流输入的影响。

2.1 模型设置

模拟网格 在模拟海域采用矩形网格,经向和纬向的间距都是 1/4 分(经向间距约 318m,纬向间距约 463m),模拟海域为 120.0°E~120.4°E,35.85°N~36.20°N。

温盐密度设置 采用 20℃ 的固定温度场和 30 psu 的固定盐度场。参考密度 $\rho_0 = 1\ 025\ \text{kg/m}^3$ 。

开边界条件 青岛属于正规半日潮港,所以水界开边界处取

$$\eta(t) = H_{M_2} \cos(\sigma_{M_2} t - g_{M_2}) \quad (9)$$

式中: η 是水位; t 是时间; σ_{M_2} 是 M_2 分潮的频率; H_{M_2} 和 g_{M_2} 是 M_2 分潮的调和常数振幅和迟角。

粒子示踪模块设置 从空间分布上,胶州湾东岸拥有 7 个综合性排污口,自南而北依次为:团岛污水处理厂、海泊河污水处理厂、海泊河口、李村河污水处理厂、李村河口、板桥坊河口和娄山河口,由此决定了胶州湾东岸是胶州湾纳污量最大的海区,也是污染最严重的海区。胶州湾北岸和西北岸分布有墨水河口和大沽河口 2 个排污口(见图 2)

根据排污口位置,设置 7 个粒子释放点(由于海泊河污水处理厂与海泊河口以及李村河污水处理厂与李村河河口距离不远,故只在海泊河口、李村河河口释放粒子),将粒子分别释放在 7 个点的上、中、下 3 个水层中,每层释放 1 个示踪粒子,模拟示踪粒子在胶州湾及其附近海域 5 d 内的运动,可得到各示踪粒子随时间变化的坐标,即示踪粒子轨迹。

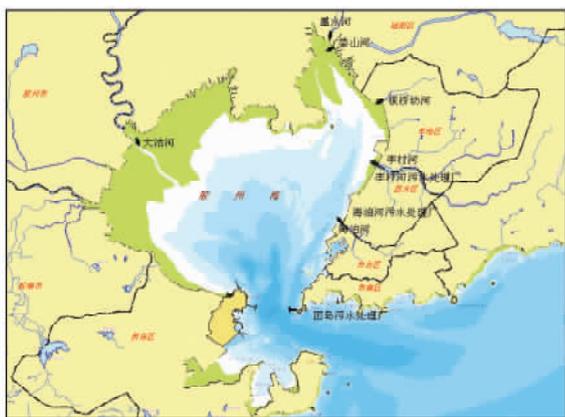


图 2 胶州湾海域主要排污口位置图

Fig. 2 The position of main sewerage diffuser in the Jiaozhou Bay

3 模拟试验结果及分析

3.1 胶州湾及其邻近海域模拟潮流场

由于胶州湾潮汐潮流类型属正规半日潮,因此从模拟结果中,取连续 12 h 的流速数据,进行潮流场的分析。从以下的潮流分布图(见图 3~6)可以看出:涨

潮流是从海区的东北涨入,一部分沿岸朝西南流去,一部分进入胶州湾。落潮流则是外海水从西南部流入海区,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湾口,最大流速可达 1 m/s 左右。涨潮中间时,整个胶州湾为涨潮流,流速均很大。胶州湾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、落潮流时刻。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,与鲍献文等^[2]、闫菊等^[4]的模拟结果基本相符。

对于落潮中间时及涨潮中间时的底层潮流场,胶州湾海域各点水平最大流速的大小随深度有一致的变化规律。从胶州湾不同海区的代表性站位水平速度的垂直分布看出,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,这显然是海底磨擦对流场垂直分布影响所致。

由于底层潮流场、中层潮流场与表层潮流场的流型结构相似,故以下将只就表层潮流场进行讨论。

从表层 1 个潮周期的流场分布可以看到,胶州湾及其附近海域存在多个流涡,最明显,强度最大的是,高潮时(见图 5)在团岛与黄岛之间的 1 个顺时针的流涡。其次是高潮时黄岛北部、鹿岛的北部及涨潮中间时(见图 4)大石岛东部均存在一个强度较小,逆时针的流涡。此外在落潮中间时(见图 6)薛家岛后岔湾东侧也存在一个强度较小的半封闭流涡,且范围比较大。相对于表层,高潮时的中层、底层的黄岛北部流涡及团岛-黄岛之间的流涡,有向着湾口方向移动的趋势,流速也变小。而正因为这些流涡的存在,直接影响了海区内示踪粒子的运动轨迹,进而影响了胶州湾内的水交换。

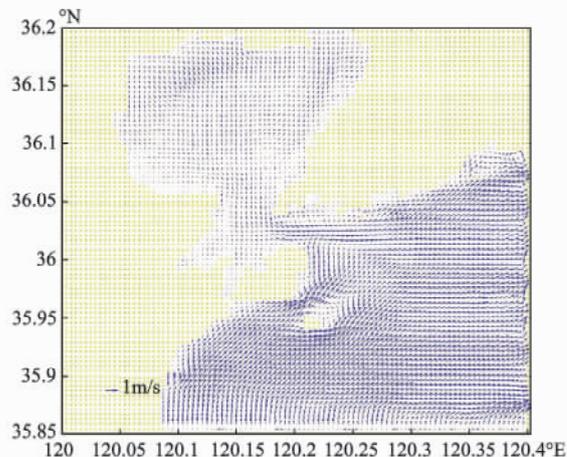


图 3 低潮表层潮流场分布图

Fig. 3 The tidal current field of ebb-tide on the surface layer

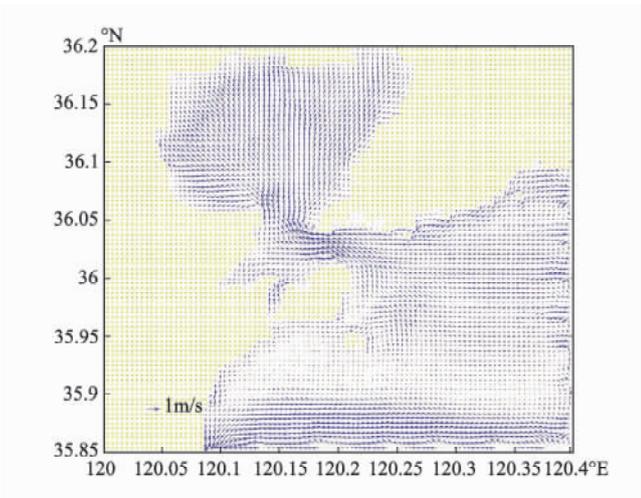


图 4 涨潮中间时表层潮流场分布图

Fig. 4 The tidal current field of the middle time of tidal rising on the surface layer

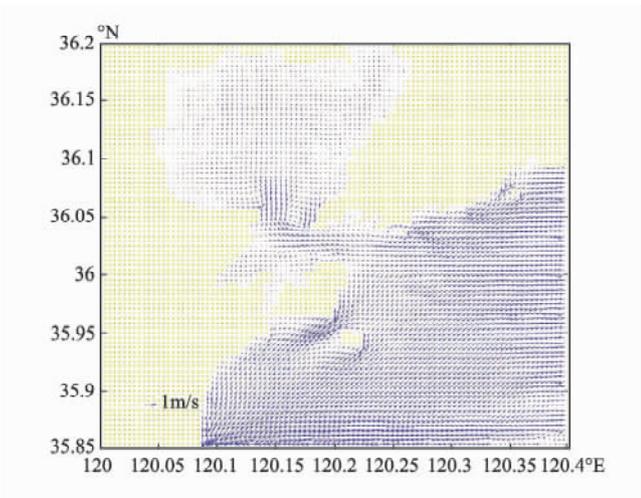


图 5 高潮时表层潮流场分布图

Fig. 5 The tidal current field of high tide on the surface layer

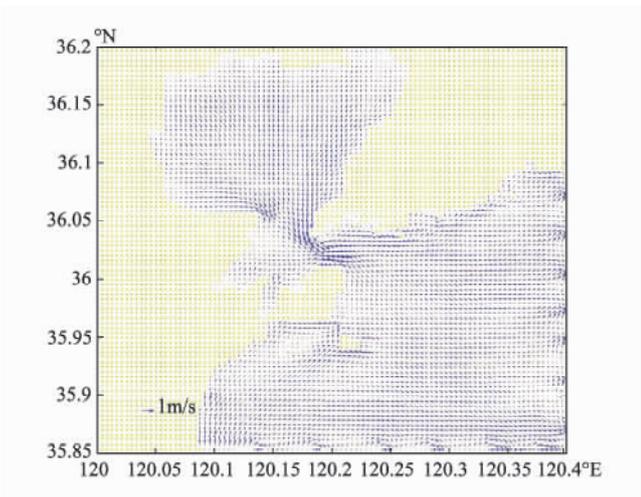


图 6 落潮中间时表层潮流场分布图

Fig. 6 The tidal current field of the middle time of ebb-tide on the surface layer

3.2 胶州湾内粒子运动轨迹模拟结果分析

图 7~9 分别是在模式稳定后 7 个释放点表层、中

层和底层释放粒子每 10 min 间隔的轨迹图。

从图中可以得出粒子 5 d 内的运动轨迹与胶州湾内流场符合得较好,粒子运动受到潮流的影响而做周期性往复运动,故从图中可以看到粒子每 10min 的运动轨迹是在释放点附近来回运动。

大沽河排污口、墨水河排污口、娄山河排污口、板桥坊河排污口及李村河排污口附近,各释放点的粒子运动范围较小,在释放点之外约 0.05(°)范围内徘徊,说明这几处水交换比较缓慢,污染物不易向湾外迁移,表、中、底 3 层的粒子运动轨迹稍有差异,但不明显。

海泊河及团岛污水处理厂处释放的粒子由于涨、落潮最大流速均发生在胶州湾湾口,而使其运动范围扩大,运动范围最大的是在团岛污水处理厂附近表层释放的粒子,纬度达 0.25(°),经度达到 0.1(°)。这 2 个排污口处粒子运动轨迹在表层、中层、底层有明显的不同,但落潮时粒子均向湾口方向迁移,有利于污染物的输运。海泊河释放点处,中层、底层的粒子轨迹比表层的要分散,粒子大部分时间处于湾内,受胶州湾湾口水流速度的影响,会向团岛-崂山头海域的沿岸扩散,从表至底,粒子越来越向背离岸界的方向漂移。团岛污水处理厂处释放的粒子由表及底向湾内的运动逐渐减小,并越来越集中靠近湾口东北部边界。粒子在湾外的运动则是:在表层主要沿岸运动,中层虽也是沿岸运动但比表层更加集中在团岛-崂山头海域沿岸,底层粒子以接近往复运动的形式在团岛-崂山头海域东南部运动,值得注意的是表、中、底 3 层释放的粒子在一段时间内均会向浮山湾内运动,这应与胶州湾沿岸流场关系密切。由此可见,海泊河河口及团岛排污口是比较理想的排污口,且其底层污染物比表层污染物更容易向湾外迁移。

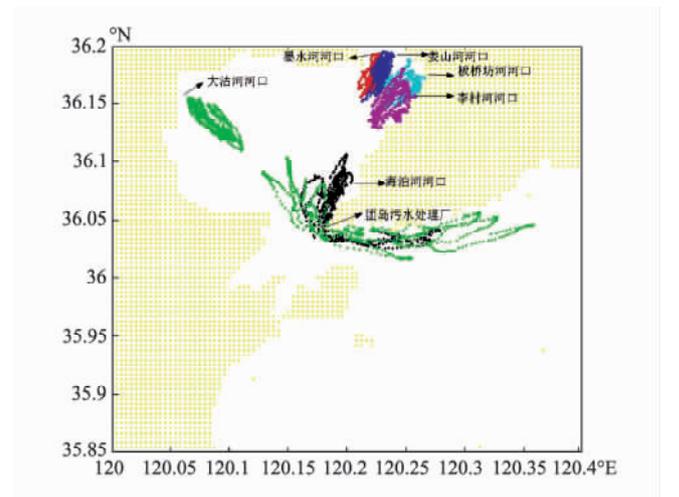


图 7 表层粒子每 10min 轨迹分布图

Fig. 7 The trajectories of particles on the surface layer every 10 minutes

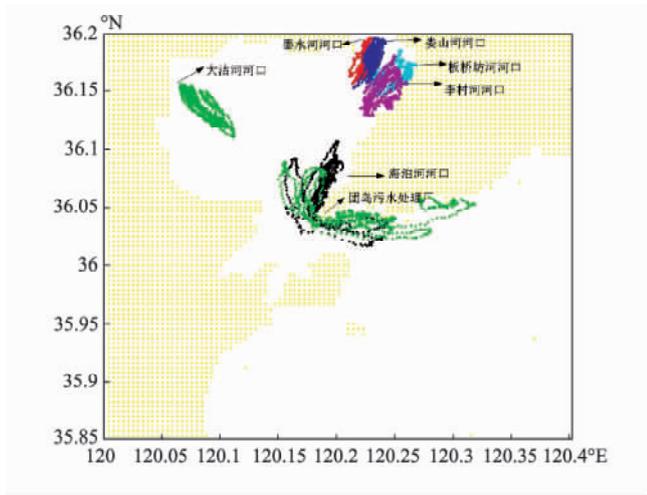


图 8 中层粒子每 10min 轨迹分布图

Fig. 8 The trajectories of particles on the middle-level every 10 minutes

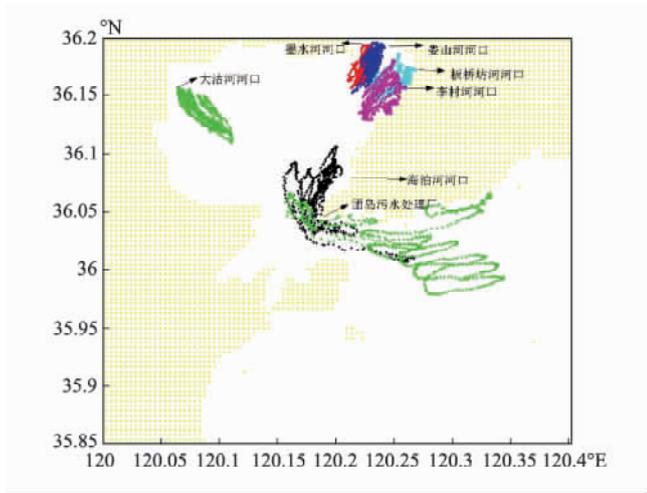
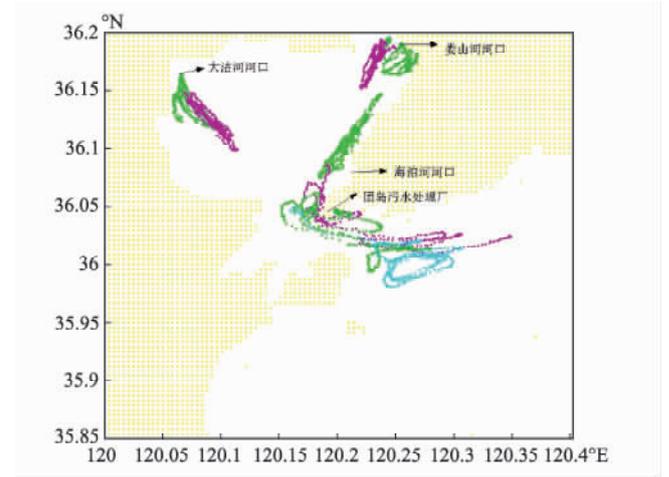


图 9 底层粒子每 10min 轨迹分布图

Fig. 9 The trajectories of particles at the bottom every 10 minutes

从以上对于表、中、底 3 层粒子运动轨迹的描述可以看出,胶州湾及其附近海域的流场是影响湾内污染物迁移的主要因素。然而,粒子运动轨迹也会受到粒子投放时间的影响。选取 4 个具有代表性的排污口:大沽河口、娄山河口、海泊河口及团岛污水处理厂,分别于高、低潮时,将粒子同时投放于表层,得到的粒子轨迹如图 10 所示。从图中可以明显看出,2 种时刻的粒子轨迹大不相同,低潮时投放于 4 个排污口处的粒子,漂移范围主要在沿岸,高潮时的则集中向着湾口方向运动,漂移范围较大,尤其是海泊河排污口,2 种时刻投放的粒子轨迹向着相反的方向运动,这与张学庆^[9]的模拟结果相一致。由此可见,高潮时投放的粒子落潮时向湾口方向迁移,有利于污染物的输运。当然,根据杜伊^[10]得到的模拟结果,粒子的运动轨迹同时会受到风浪影响,此外张学庆^[9]在粒子示踪试验中,得出在水交换缓慢的排污口,污染物要 1 个月左右才开始流

出湾口,本文中均未考虑及研究。对于粒子示踪模块,笔者以后会进行更深层次的研究,以得到更加符合实际的实验结果。



(绿色点为低潮时释放的粒子轨迹,粉色青色点为高潮时释放的粒子轨迹
Green points are released at high tide; pink and cyan points are released at low tide)

图 10 高低潮时每 10min 分别投放于表层的粒子运动轨迹分布图

Fig. 10 The trajectories of particles released in the time of high tide and low tide respectively on the surface layer every 10 minutes

4 结论

利用 ECOMSED 模式,采用直角坐标系统,矩形网格技术,在该模式三维水动力模块的基础上,建立粒子示踪模型,模拟胶州湾内粒子运动轨迹,得到了如下结论:

- (1) 胶州湾的潮流场呈现多涡结构。仅从模拟结果,可得到 5 个较明显的流涡。其中团岛-黄岛间的顺时针流涡基本与已有调查^[5]相符。其余几个流涡是否存在及方位还需进一步调查。
- (2) 粒子示踪试验模拟结果表明,湾内的大沽河排污口、墨水河排污口、娄山河排污口、板桥坊河排污口及李村河排污口附近,各释放点的粒子运动范围较小,说明这几处水交换比较缓慢,污染物不易向湾外迁移。而海泊河及团岛污水处理厂处释放的粒子由于涨、落潮最大流速均发生在胶州湾湾口,而使其运动范围扩大,且落潮时粒子均向湾口方向迁移,有利于污染物的输运。
- (3) 受胶州湾及其附近海域流场的影响,处于湾口附近的 2 个释放点的粒子轨迹在表、中、底 3 层的有些不同,从而得出在底层排放的污染物比表层更容易向湾外迁移,进而可为排污口选址,陆源污染治理方案提供环境依据。

参考文献:

- [1] 张学庆. 近岸海域环境数学模型研究及其在胶州湾的应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [2] 鲍献文, 闫菊, 赵亮, 等. ECOM 模式在胶州湾潮流计算中的应用[J]. China Academic Journal Electronic Publishing House, 1999, 5: 57-60.
- [3] 张越美, 孙英兰. 河口、陆架和海洋模式在胶州湾的应用[J]. Marine Environmental Science, 2000, 19(4): 13-17.
- [4] 闫菊, 王海, 鲍献文. 胶州湾三维潮流及潮致余环流的数值模拟[J]. 地球科学, 2001, 16(2): 172-177.
- [5] 万修全, 鲍献文, 吴德星, 等. 胶州湾及其邻近海域潮流和污染物扩散的数值模拟[J]. Marine Sciences, 2003, 27(5): 31-36.
- [6] 张越美, 孙英兰. ECOM 模式在丁字湾的应用[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(5): 659-665.
- [7] Zhang X Y. Ocean outfall modeling-interfacing near and far field models with particle tracking method[D]. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1995.
- [8] HydroQual, Inc. A Primer for ECOMSED, Version 1.3, Users Manual[M]. New Jersey: HydroQual, Mahwah, 2002: 2-32.
- [9] 张学庆. 胶州湾三维环境动力学数值模拟及环境容量研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.
- [10] 杜伊, 罗源湾海水交换三维数值模拟研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.

The Particle Tracking Numerical Experiment of Flow Field in the Jiaozhou Bay

CHU Qin-Qin, LI Lei, LI Pei-Liang

(Physical Oceanography Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: With rectangular coordinates system and rectangular grid technology, ECOMSED model is applied to the movement tracking simulation experiment of particles in the Jiaozhou Bay. Based on the 3-D Hydrodynamics module of ECOMSED model, the tracking model of conservative particles is established to simulate the movement tracking of floaters in the Jiaozhou Bay. From the experiment, the movements tracking of contamination from sewerage diffusers in the Bay on the surface layer, middle layer and bottom layer are indicated which can provide environmental gist for choosing sewerage diffusers' location and solving the pollution problem from land, in order to reduce the pollution in the Bay and its adjacent sea area. The horizontal and vertical structures of the 3-D tidal current field and the horizontal distribution of a few of current eddy are obtained by simulation in the Jiaozhou Bay and its adjacent sea area. And the computed results match well with the observations. The particle tracking simulation's result indicates that the movement tracking of particles is in accord with the velocity vector of tidal current, that is to say the movement tracking of particles is related to the tidal current field in the Bay. The released time of particles affects the movement. The particles are easy to excursion to the outer of the Bay when they were released in the time of high tide.

Key words: Jiaozhou Bay; flow field; ECOMSED model; hydrodynamics module; particle tracking module; numerical simulation

责任编辑 庞 旻