

陆源污染物对海州湾环境影响研究

龚 政, 邵佳爱, 张东生

(河海大学交通与海洋工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 应用沿深平均二维模型模拟海州湾水域的潮流场, 分析该水域的潮波运动规律. 计算不同风条件下海州湾水域的 Lagrange 余流场, 分析风对余流的影响. 以海州湾顶的临洪口为陆源污染源, 用数值方法求解物质扩散方程, 分析在不同风条件下湾内污染物平均浓度随时间的变化. 在保证污染物排放总量不变的情况下, 对不同排放方式下湾内污染物的平均浓度进行了比较.

关键词 海州湾 潮流数值模拟 污染物扩散 拉格朗日余流 污染物排放

中图分类号 X55 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2002)04-0005-04

在海湾地区, 由于地理条件、水动力条件的特点, 污染物的输移扩散问题尤其值得研究. 窦振兴^[1,2]等人在对渤海潮流、潮余流研究的基础上, 对渤海污染物扩散进行了数值模拟. 余光耀^[3]等人对胶州湾环流和污染扩散进行了数值模拟. 本文结合连云港市沿海地区陆源向海州湾海域排放废水污染物的基本情况, 从潮汐、风等动力的角度研究海州湾水体中污染物的运移规律. 迄今为止, 对连云港局部海域的潮流场已经有过不少研究^[4,5], 建立了有效的二维潮流数学模型, 但对海州湾水域潮流场、水环境的研究相对较少. 笔者曾应用三维潮流数学模型研究了海州湾和连云港的潮流特性^[6]. 本文采用沿深平均的二维 ADI 模式对海州湾水域的潮流及污染物扩散进行数值模拟, 为进一步研究海州湾的污染状况提供技术支持.

1 自然环境

海州湾北起山东省日照市岚山镇的佛手咀($35^{\circ}05'55''$ N, $119^{\circ}21'53''$ E), 南至江苏省连云港市连云区的高公岛($34^{\circ}45'25''$ N, $119^{\circ}29'45''$ E), 面临黄海, 宽 42 km, 岸线长 86.81 km^[7]. 连云港所属岸线大部分都在海州湾内.

海州湾多年年平均风速为 5.8 m/s, 一年中以 11 月平均风速最大(6.2 m/s); 7 月平均风速最小(5.4 m/s). 多年最多风向为 E 向和 ESE 向.

陆源污染物入海的途径基本上有两种, 一是污染物直排入海, 二是污染物直接或间接通过河流入海. 本文主要考虑入海河流污染源. 连云港市的水系分黄海、临洪、灌河三个水系, 根据 2000 年《连云港市陆源污染海域专项调查报告》, 三个水系相应的纳污量(工业废水和生活污水的总量)依次为 1 850 万 t/a, 3 948 万 t/a, 381 万 t/a, 以临洪水系的纳污量最大, 占整个纳污量的一半以上. 临洪水系中纳污河流汇入临洪河入海, 因此本文以临洪口点源排污为例研究海州湾污染物输运规律.

2 数学模型

2.1 基本方程及污染扩散方程边界条件

笔者曾对海州湾水域水动力场进行了三维数值模拟^[6], 由于该近岸水域的水深相对较小, 流速垂向分布较为均匀, 因此, 可将研究重点放在污染物平面分布的数值模拟上. 依据 Leendertse J J^①的非线性二维潮波模式建立了潮流数学模型, 沿深平均的二维水流运动方程和连续方程及物质扩散方程为

收稿日期 2001-12-14

基金项目 江苏省自然科学基金资助项目(BK 99104) 河海大学交通与海洋工程学院青年教师科学基金资助项目

作者简介 龚政(1975—), 男, 江苏张家港人, 博士研究生, 主要从事河口、海洋水环境研究.

① Leendertse J J. A water-quality simulation model for well-mixed estuaries and coastal seas. Principles of Computation. 1970.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - A_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) - \frac{\tau_x^s - \tau_x^b}{\rho_w (h + \zeta)} = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - A_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) - \frac{\tau_y^s - \tau_y^b}{\rho_w (h + \zeta)} = 0$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(\zeta + h)U] + \frac{\partial}{\partial y} [(\zeta + h)V] = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [(\zeta + h)C] + \frac{\partial}{\partial x} [(\zeta + h)UC] + \frac{\partial}{\partial y} [(\zeta + h)VC] = \frac{\partial}{\partial x} [(\zeta + h)K_x \frac{\partial C}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\zeta + h)K_y \frac{\partial C}{\partial y}] + R$$

文中只考虑点源排放守恒型污染物质的输移扩散问题, R 为源项。

污染物在水边界上的边界条件为:

a. 流出计算域时,

$$\frac{\partial}{\partial t} [(\zeta + h)C] + \frac{\partial}{\partial x} [(\zeta + h)UC] + \frac{\partial}{\partial y} [(\zeta + h)VC] = 0$$

b. 流入计算域时,根据域内浓度场一般呈指数分布的规律,由域内的浓度值外插得到边界线的域外浓度,插值公式为

$$C^* = C_M \exp \left[- (\ln C_M - \ln C_D) \left(\frac{D + \Delta S}{D} \right)^2 \right]$$

式中: C^* ——边界上风点的入流浓度; C_M ——域内沿某一方向的浓度最高值; C_D ——入流边界上的浓度; D ——入流边界点至域内浓度最高值点的距离; ΔS ——空间网格步长。

2.2 计算实施

模拟区域 东西向 $119^{\circ}10'E \sim 120^{\circ}03'E$, 距离 80.5 km 南北向 $34^{\circ}24'N \sim 35^{\circ}28'N$, 距离 118.6 km。整个计算域应用三重矩形交错网格离散,其尺度分别为 $1' \times 1'$, $0.5' \times 0.5'$, $0.1' \times 0.1'$ (图 1)。

计算中, Manning 系数 $n = 0.025$ 海水对风的拖曳力系数 $K_1 = 2.6 \times 10^{-3}$ 水平紊动涡粘系数 $A_h = \epsilon (\Delta S)^{4/3}$, ΔS 为网格步长,常数 ϵ 取 100 采用 Elder 公式, x, y 方向的污染物质扩散系数: $K_x = 5.9H|U|g^{1/2}C$, $K_y = 5.9H|V|g^{1/2}C$, 其中 C 为 Chezy 系数 潮流计算时间步长 $\Delta t = 15\text{ s}$ 扩散方程与潮流同时计算,采用时间步长 $\Delta t = 15\text{ s}$ 。

3 计算结果

3.1 潮流场

由潮流场计算可知,海州湾内近岸地区的潮流为往复流,涨潮流方向为 SW 向,落潮流为 NE 向,随着向东距离的增加逐渐过渡为旋转流.这与文献[7]的结论是一致的。

3.2 Lagrange 潮余流

在河口、海湾等浅海水域,最剧烈、占主导地位的水体运动是伴随着天文潮的周期性潮流.对于单纯的周期性潮流,标识质点在一个潮周期内的轨迹应该是封闭的,但由于表面风、密度水平梯度及浅海中潮的非线性动力耦合作用的存在,一个潮周期内标识质点的轨迹并不封闭,而是存在一个净位移,即产生了潮余流.潮余流对海湾及沿岸海域污染物质的迁移和分散起到了决定性的作用.海水中污染物质的迁移规律与海水的质点运动类似,具有 Lagrange 性质,因此,采用跟踪标识质点的 Lagrange 方法计算 Lagrange 余流,这对研究污染物质的迁移无疑是合理可行的.设在流场中 t_0 时刻位于 R_0 处的标识流体微团,经过时间 Δt 所到达的位置 $R = R_0 + V(R_0, t_0) \Delta t$ 经过时间 Δt 后所到达的位置 $R = R_0 + \sum_{k=0}^{n-1} V(R_k, t_0 + k \Delta t) \Delta t$ 经过一个潮周期 T 后其 Lagrange 平均速度 $V_{LM} = (R_T - R_0) / T = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{n-1} V(R_k, t_0 + k \Delta t) \Delta t$, 其中 $V(R_k, t_0 + k \Delta t)$ 是被标识的流体微团到达位置 R_k 时附近网格点在

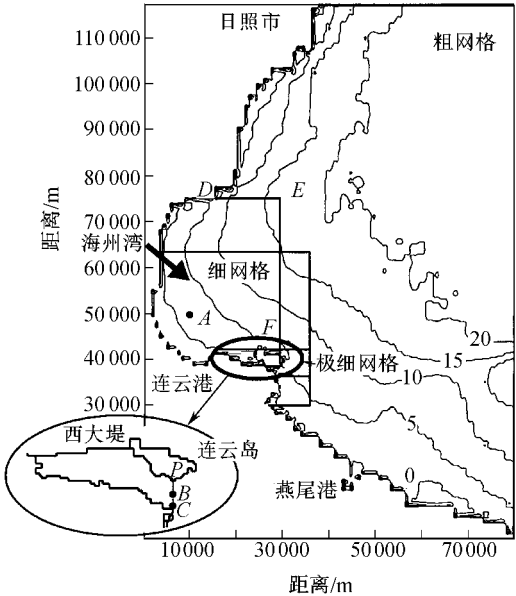


图 1 计算区域及网格示意图

Fig.1 Calculation domain and grids

$t_0 + k\Delta t$ 时刻欧拉速度的插值.

由于 Lagrange 余流不仅是释放空间坐标的函数,而且是释放时刻的函数,因此,本文研究了在相同时刻释放、无风、年平均风速(5.8 m/s)E 向和 ESE 向风作用下的余流场(见图 2).可以看出,临洪口(图中点 A,A 点两侧为浅滩,A 为临洪口实际的入海位置)附近的湾顶地区的余流方向均为向岸方向,有风时的余流强度大于无风时的,E 向和 ESE 向风作用时余流强度相近.从总体上说,向岸余流的存在不利于污染物向外海扩散,而且,风的作用使向岸余流增强,对污染物向外海扩散更不利.另外,无风时在海州湾湾口处形成一个以 p 点(图 2)为中心、南北向为长轴的不对称余流旋涡(图 2(a)),且外海侧余流明显强于近岸侧,有利于将污染物带出外海,E 向和 ESE 风作用时旋涡强度大大降低,且旋涡中心 p (图 3,4)靠近南部连云岛(图 2(b)(c)),这也不利于污染物向外海输移.

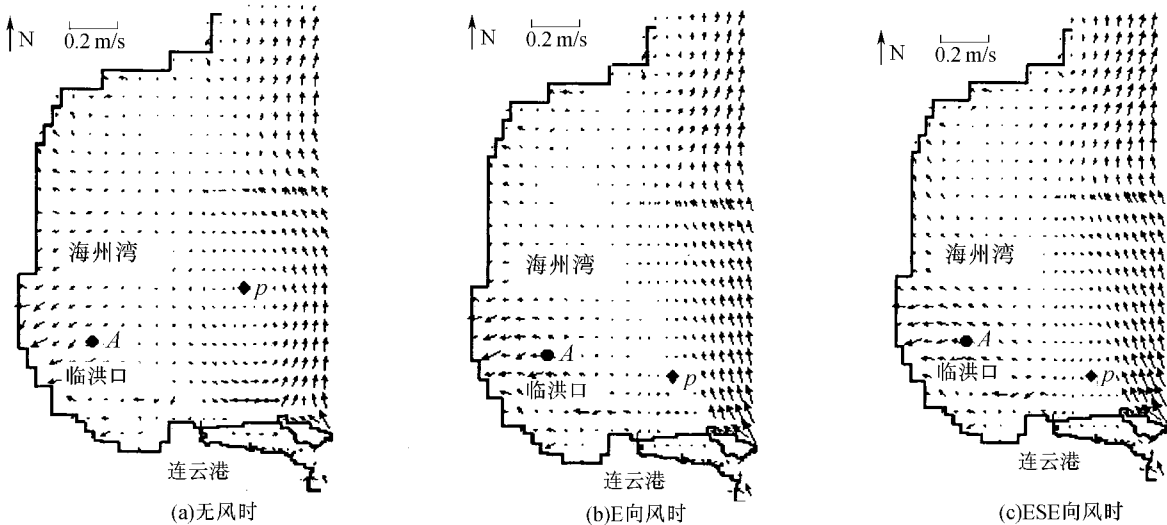


图 2 海州湾余流场
Fig.2 Residual currents for Haizhou Bay

3.3 风对湾内平均浓度的影响

为了研究风对湾内平均浓度的影响,在图 1 中选取由直线 DE,EF 围成的水域作为研究区域.以临洪口为污染源,源强为海秒 100 个相对浓度单位,即 100/s,连续排放约 12.4 h,观察无风、E 向风和 ESE 向风作用下区域内平均浓度的历时曲线(图 3).可以看出,在开始排污后 50 h 内,三条曲线基本重合,但随着时间的推

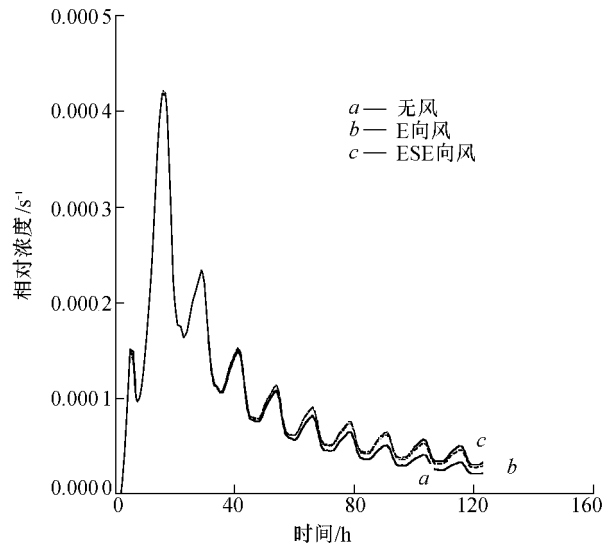


图 3 不同风条件下污染物平均浓度历时曲线
Fig.3 Variation of area-averaged concentration with time under different wind conditions

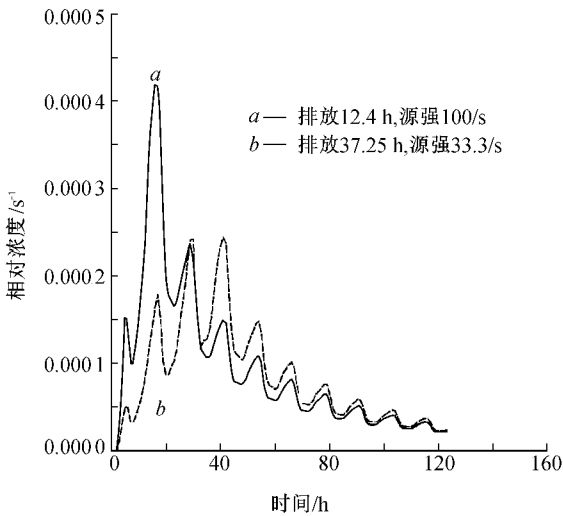


图 4 不同排放方式下污染物平均浓度历时曲线
Fig.4 Variation of area-averaged concentration with time under different discharge modes

移,无风和有风的差别逐渐明显.E向风和ESE向风作用下湾内平均浓度降低速度较为接近,但其平均浓度均高于无风时的平均浓度.这说明在E向及ESE向风作用下,不利于湾内污染物的向外输运,这个结论与从余流的角度分析得到的结论是一致的.

3.4 排污方式对湾内平均浓度的影响

以无风情况为例,在保证排放总量一定的前提下,排污方式一为短时间连续排放约12.4h(1个潮周期),源强仍为100/s,方式二为长时间连续排污37.25h,源强改为33.3/s.图4中a和b分别为两种排污方式下的湾内污染物平均浓度历时曲线.可以看出,由于方式一的源强大,但历时相对较短,因此,只有在排污开始后约30h内平均浓度相对较高,在此之后的一段时间内,方式二的平均浓度较高,但随着时间的推移,两种排污方式下的平均浓度很快就趋于一致.这表明,在保证排污总量一定的前提下,短时间排污和长时间排污对稳定后的湾内平均浓度的影响是相近的,但短时间集中排污时导致的瞬时平均浓度极大值会较高,可能对工农业生产或水产养殖业带来不利的影响.因此,选择合理的排污方式对改善污染物排放后果是有一定作用的.

4 结 论

- 海州湾水域的潮流基本为往复流,涨潮流方向为SW向,落潮流方向为NE向.
- 海州湾水域的余流场基本为向岸方向,不利于污染物的离岸输运.
- 在E向和ESE向风的作用下,海州湾水域的余流场方向仍为向岸方向,且在数值上相对无风时有所增大,加剧了污染物的向岸堆积.另外,无风时范围较大的不对称余流旋涡也因为风的作用而减弱和向南移动,更加不利于污染物的离岸输运.
- 在保证排放总量一定的前提下,短时间连续排放和长时间连续排放对稳定后的湾内平均浓度影响基本相近,但在排放初期二者产生的瞬时浓度极大值和出现的相应时间有较大差别,据此可按当地生产、生活对水环境的要求,对污染物的排放方式进行适当的选择.

参考文献:

- [1] 窦振兴,罗远诠,黄克辛,等.渤海潮流及潮余流的数值计算[J].海洋学报,1981,3(3):355~369.
- [2] 窦振兴,罗远诠,黄克辛,等.渤海潮流污染扩散的数值模拟[J].海洋学报,1982,4(6):667~678.
- [3] 俞光耀,陈时俊.胶州湾环流和污染扩散的数值模拟Ⅲ——胶州湾拉格朗日余流与污染物质的迁移[J].山东海洋学院学报,1983,13(1):1~12.
- [4] 赵士清,张镜潮.连云港潮流的数值模拟[A].见:连云港建港指挥部.连云港回淤研究论文集[C].南京:河海大学出版社,1990.133~140.
- [5] 张二骏,张东生,高飞,等.连云港水域流场数值模拟[A].见:连云港建港指挥部.连云港回淤研究论文集[C].南京:河海大学出版社,1990.141~153.
- [6] GONG Zheng. A 3-Dimensional numerical model of Haizhou Bay[A]. In: John F Kennedy, eds. The 29th IAHR Congress Proceedings [C]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001 (Student Paper Competition) 273.
- [7] 中国海湾志编纂委员会.中国海湾志——第四分册[M].北京:海洋出版社,1993.357~371.

Impacts of land pollution sources on Haizhou Bay environment

GONG Zheng, TAI Jia-ai, ZHANG Dong-sheng

(College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: On the basis of the depth-averaged 2-D tidal model, the tidal regime of the Haizhou Bay is studied. The influences of different wind conditions on the Lagrange residual flow are analyzed. With Linhongkou as a land pollution source, the variation of average pollutant concentration at the bay with time is studied according to the depth-averaged 2-D dispersion equation. Under the assumption of a constant volume of pollutants discharged, the average pollutant concentrations at the bay under different discharge modes are compared.

Key words: Haizhou Bay; numerical tidal model; pollutant dispersion; Lagrange residual flow; pollutant discharge