

青岛近海海域污染扩散数值模拟

王 钟 裙

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

夏 综 万

(国家海洋局南海分局, 广州)

摘 要

本文通过数值计算对青岛近海海域的自净能力进行了研究。文章首先计算了此海区的 M_2 分潮流。在较准确流场的条件下计算了扩散方程, 对扩散能力进行了分析, 从而提出在所研究的排污情况下, 只要十天就可以达到本底值的条件。

一、前 言

本文污染扩散计算海域为西起 $120^\circ 28.5' E$, 东至 $120^\circ 42' E$ 。为了计算的准确性, 流的计算区域为西起胶州湾, 东至 $121^\circ E$ 。南起 $35^\circ 54' N$, 北至陆地边界。此海区最大水深 34m。最浅的地方只有 2m 左右, 一般在 20m 左右。取 0m 等深线为海区陆地边界。

二、计算海域 M_2 分潮流的数值模式

计算 M_2 分潮采用二维潮波的原始方程在直角坐标系中的表达式, 即

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v = -g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{k u \sqrt{u^2 + v^2}}{H + \xi} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u = -g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{k v \sqrt{u^2 + v^2}}{H + \xi} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(H + \xi) u] + \frac{\partial}{\partial y} [(H + \xi) v] = 0 \quad (3)$$

其中各量的意义为:

u, v 分别为流的东分量、北分量; H 为自海平面算起的海水深度; f 为科氏参量, k 为摩擦系数; g 为重力加速度。

此式未考虑粘性效应, 根据经验摩擦系数 k 取为 0.0025。由于计算区域狭小, f 取为平均值 $f = 2\omega \sin(36^\circ)$ 。

计算中采用中央差分的显式格式。变量 u, v, ξ 采用空间的交错配置, 计算区域的边界和网格的划分如图 1 所示。

区域的左边界和部分上边界为陆地边界, 其余各边均为开边界。网格长为 2.17km 左右, 宽为 2.78km 左右。开边界的水位取为“黄海 M_2 分潮的数值模拟”的计算结果。以

本文于 1989 年 5 月 12 日收到, 修改稿于 1989 年 12 月 5 日收到。

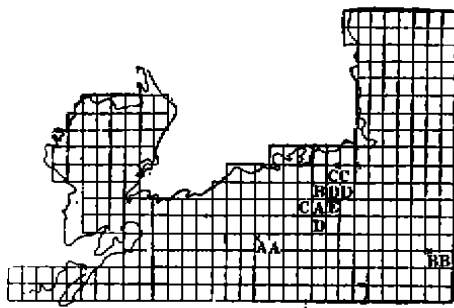


图 1 计算网格图

东北西南走向,全海区没有无潮点,其大小在65~85cm之间,这一结果基本上与“黄海 M_2 分潮的数值模拟”的结果一致,在胶州湾海区振幅值偏低,迟角在120~150°之间,这与黄海数值模拟”的结果一致。

图3为潮流椭圆图,整个海区椭圆率较小,胶州湾呈现往复流的性质更为明显,这一结论与“胶州湾环流和污染扩散的数值模拟”一文的结论是一致的。在此海域内岸边各点椭圆长轴方向与海岸线平行。这与实测的结论一致。它对污染物的向外海扩散是不利的。

M_2 分潮余弦函数形式输入。初值取全域为零。时间步长取为74.5s。计算了6个潮周期达到稳定。

在计算所得的水位和流速中,没有将 M_2 分潮与其倍潮分离,认为他们近似地代表 M_2 分潮值。

计算结果以图、表的形式绘出,其中包括振幅和迟角图、潮流椭圆图、椭圆率、潮流余流图等,详见图2~5。

图2为调和常数振幅和迟角图,振幅线

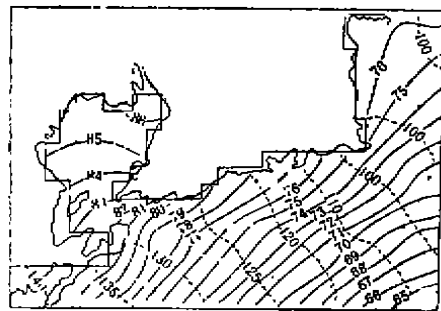


图 2 振幅、迟角图

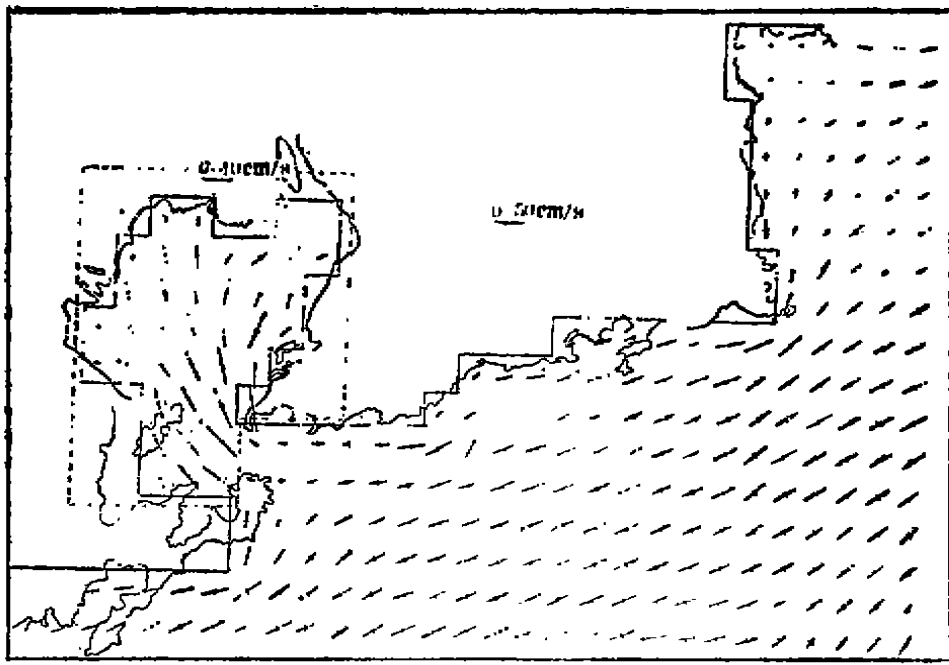


图 3 潮流椭圆图

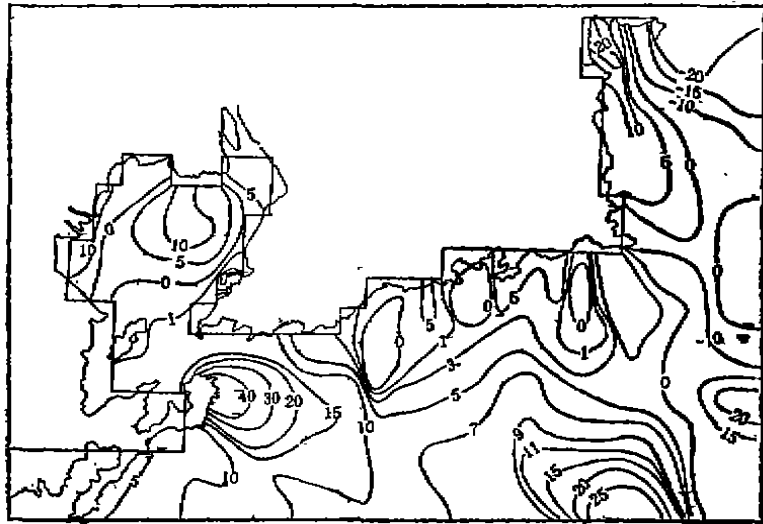


图 4 椭圆率图

图 4 为椭圆率图, 从图上看胶州湾和东部开边界的小部分地区是右旋外, 其余都是左旋的。图中标出的数字为实际值 $\times 100$ 。

在整个海区内我们选择了三个点: AA, BB, CC 的实测值与计算值进行比较列于下表:

站 号	实 测 值*							计 算 值						
	HU	HV	QU	QV	WL	WS	ARG	HU	HV	QU	QV	WL	WS	ARG
AA	20.0	41.5	298	380	45.6	5.57	246	18.9	43.7	283	274	47.6	2.7	247
BB	26.6	43.3	308	276	49.2	11.8	241	27.1	43.5	272	270	52.7	1.7	239
CC	34.9	24.9	251	345	33.3	1.92	225	18.2	45.1	272	266	48.6	1.7	248

* 实测值为各层的平均值。

表中各量的意义为: HU, HV, QU, QV 为 M_2 分潮调和常数; WL, WS 为椭圆长、短轴; ARG 为长轴方向。从表上看出计算数值和观测值符合得比较好。

图 5 为潮余流图, 整个海区的涡旋基本集中在胶州湾, 排污区基本上没有旋涡, 排污区沿岸余流向东流动, 余流值一般在 10cm/s 以下, 涨潮流值很小, 从而说明排污区污染物的搬运主要靠潮流完成。

综上所述, 说明数值模拟方法计算出的流场情况基本上是正确的。

在 M_2 分潮的基础上, 对方程 (1) 和 (2) 分别加入了 $\tau_x/(H+\xi)$, $\tau_y/(H+\xi)$ 项, 即考虑了风应力对流的影响, 其中 $\tau_x = \rho C_D W_1 \sqrt{W_1^2 + W_2^2}$, $\tau_y = \rho C_D W_2 \sqrt{W_1^2 + W_2^2}$, W_1 , W_2 分别表示风速的东分量、北分量。计算中取 $\rho = 1.29 \times 10^{-3}$, $C_D = 1.46 \times 10^{-3}$, $W_1 = 0$, $W_2 = 10\text{m/s}$ 。所以 $\tau_x = 0$, 这种风持续了两天, 经过计算所得水位调和常数振幅、迟角、潮流椭圆、旋转方向等要素与未加风场的情况均无差异。这是因

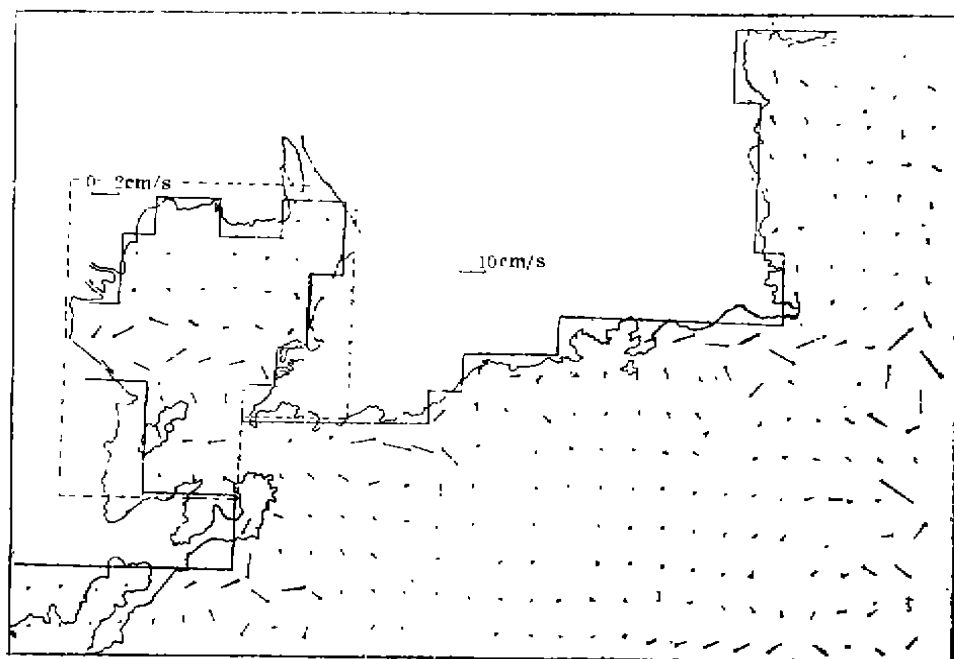


图 5 余流图

为在运动方程中 y 方向底摩擦的量级为2.2, x 方向摩擦的量级为4.5, y 方向风应力项的量级为1.8, 在风速小于10m/s时风应力项远小于摩擦项, 另外计算海域狭小, 风的作用很难反映出来。因而在计算扩散方程时采用了潮流场的计算值。若要考虑风的影响, 则需要考虑大范围的风长时间的作用。

三、扩散方程的计算

在流的计算基础上, 进行了扩散方程的数值计算, 其二维方程如下:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial[(H+\xi)p]}{\partial t} + \frac{\partial[(H-\xi)up]}{\partial x} + \frac{\partial[(H+\xi)vp]}{\partial y} \\ & = \frac{\partial[(H+\xi)k_x \frac{\partial p}{\partial x}]}{\partial x} + \frac{\partial[(H+\xi)k_y \frac{\partial p}{\partial y}]}{\partial y} + S_m \end{aligned}$$

式中 u , v 为流的东、北分量; p 为污染物的浓度; k_x , k_y 为宏观的 x , y 方向的扩散系数; S_m 为排污点的排放量。

计算此方程式取域只取流的计算区域的一部分, 所采用的网格与流的计算网格大小相同, 污染物的浓度安排在水深点上。计算时采用了中央差分的显式形式, 初始条件全域为零, 陆地边界的浓度值认为是零, 开边界的浓度视流的情况而定。取其公式为:

$$P_{i-1,i}^{t+1} = P_{i-1,i}^t - \frac{\Delta t}{2\Delta x} u_{i,i}^t (P_{i,i}^t - P_{i-1,i}^t) \quad (\text{流出情况})$$

$$P_{i-1,i}^{t+1} = 0.0 \quad (\text{流入情况})$$

扩散系数经验地取为 $k_x = 3.3$, 时间步长取为 $149s$, 计算不到 60 个潮周期就达到稳定。排污点设在点 DD, 以每小时排放 20t 污染液为源点(其浓度为 10^{-12}), 实际每秒钟排放污物为 $5.6 \times 10^{-9}g$ 。计算分三种情况进行, 其一为在整个时间内连续不断地每个时间步长进行排放, 计算结果以图 6 表示, 此图 M_2 分潮流作用下一个潮周期污染浓度平均值的分布。从图 6 中看出浓度等值线西南方向稀疏, 东北方向密集。说明污染物向西南方向扩散得快, 向东扩散得慢。这和潮流的传播方向是一致的。图 6 中所示数值 $\times 10^{-15}$ 为实际污染物的分布值。

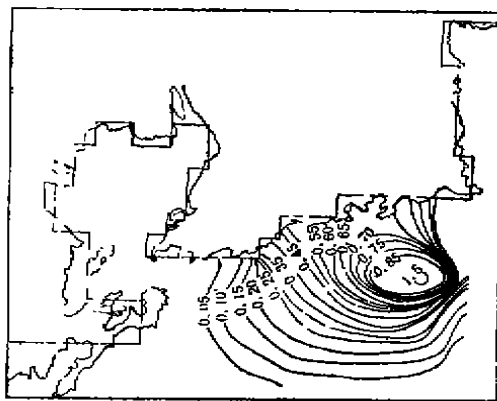


图 6 浓度等值线图

其二为在排污点以每秒钟排放 5.6×10^{-9} 的速率连续两小时每个时间步长进行排放, 以后停止排放。这种排放方式计算了 30 个潮周期, 打印了每个潮周期浓度平均值的分布。现在将排污点及其周围四

点浓度随潮周期的变化曲线绘于图 7。A 点的最高值为 1.4×10^{-16} 。排污点在停止排放后第一个潮周期浓度值就降到允许值范围内; 第六个潮周期浓度值达到 7×10^{-18} , 即达到本底值的量级; 第十个潮周期达到 3×10^{-18} ; 第十二个潮周期达到 2×10^{-18} ; 第十七个潮周期达到 1×10^{-18} 。C 点的最高值为 1.14×10^{-16} , 同样衰减很快, 第六个潮

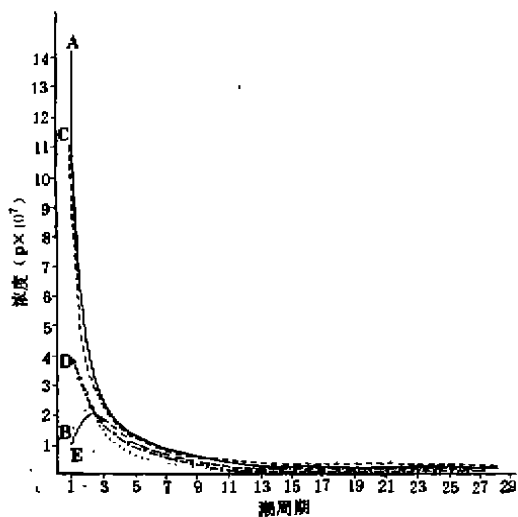


图 7 五个点浓度随时间变化图

周期达到 9×10^{-18} ; 第十个潮周期达到 5×10^{-18} ; 第十二个潮周期达到 3×10^{-18} ; 第十七个潮周期达到 2×10^{-18} ; 第十九个潮周期达到 1×10^{-18} 。D 点曲线最高值为 3.9×10^{-17} ; 第五个潮周期浓度达到 3×10^{-18} ; 第十个潮周期达到 3×10^{-18} ; 第十六个潮周期达到 1×10^{-18} 。B 点和 E 点曲线在第二个潮周期达到最高值仅有 2×10^{-16} 左右, 在第四个潮周期就降为 1×10^{-17} 。从浓度分布曲线上看出污染物主要向着西南方向扩散, 这和潮流的传播方向是一致的。

另外停止排放后第一个潮周期浓度平均值的分布(图 9)看出 6×10^{-17} , 5×10^{-17} , 1×10^{-17} 等值线的范围。 5×10^{-17} 的等值线为从污染源起向西伸展的一区域达到 4 km 左右; 1×10^{-18} 的等值线, 以污染源为中心向西伸展 10 km 左右。这一海区污染物主要向西、南方向传播开去。

其三, 排放方式同第二种, 计算了 20 个潮周期, 打印了每个潮周期浓度分布的瞬时值。排污点 A 浓度值随时间的变化曲线绘于图 8。第一个潮周期浓度值为 6×10^{-17} ,

到第五个潮周期浓度达到 1×10^{-18} 。

全域在第四个潮周期达到 1×10^{-17} ，第十个潮周期达到 5×10^{-18} 以下，第二十个潮周期达到 2×10^{-18} 以下。可以认为第十个潮周期达到本底值。

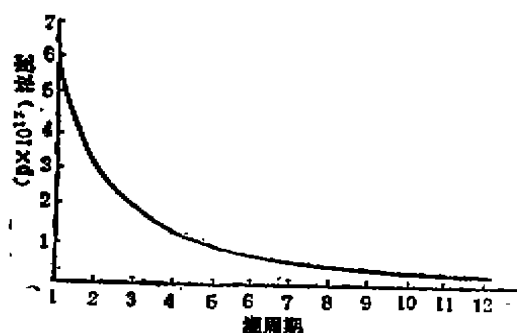


图 8 A点浓度随时间变化

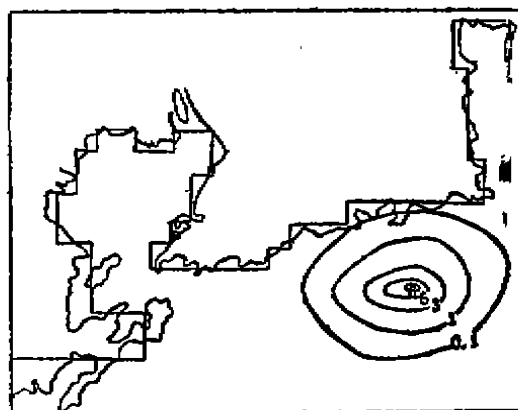


图 9 停止排放后一个周期浓度分布图

本数值计算采用流入的海水均为干净水，而实质上流入的海水已是被污染的海水。所以实际上净化所需要的天数应比计算所得的天数要多。在上述排污情况下，我们认为要十天才能达到本底值。

参 考 文 献

- [1] 夏综万，黄海M₂分潮的数值模拟，黄渤海海洋，2(1)1984，1~6。
- [2] 山广林，渤海主要半日分潮数值模拟，渤海环保成果汇编，1983.1。
- [3] 徐洪达，渤海COD污染物扩散的数值计算，渤海环保成果汇编，1983.1。
- [4] 王化桐，胶州湾环流特征与污染物输送及排污的关系，山东海洋学院，1981。

A NUMERICAL SIMULATION OF THE POLLUTION DIFFUSION OF THE SEA AREA NEAR QINGDAO

Wang Zhongjun Xia Zongwan

(First Institute of Oceanography, SOA) (South China Sea Branch, SOA)

Abstract

In this paper a study of the self-purification capacity of the sea area near Qingdao has been made by using a numerical model. First the M₂ tidal current component was computed. Based on the accurate sea current field the diffusion equation was calculated and the ability of diffusion was analysed. Thus we conclude that on the conditions of the pollutant discharge studied the background value can be reached within only ten days.