

填海造地对胶州湾污染物输运影响的数值研究*

孙长青 王学昌 孙英兰 姜安刚

(青岛海洋大学环境科学与工程研究院 266003)

提要 以胶州湾为例,采用分步杂交法,在已建潮流场的基础上,建立胶州湾海域二维变边界对流—扩散数值模型,选 COD 为有机污染的指标因子,并视为保守元素。对不同的填海方案,造成胶州湾内 COD 浓度场的改变及污染物通量的变化,进行计算分析,并给出对污染物输运影响数值研究的初步结论。

关键词 胶州湾,数值模拟,填海造地,污染物输运

胶州湾位于胶东半岛南侧,青岛市座落于胶州湾东海岸。根据有关历史资料和近年来的研究,胶州湾的水域面积变化如下:1928 年为 560 km²,1958 年为 535 km²,1971 年为 452 km²,1977 年为 423 km²,1986 年为 403 km²,1988 年为 390 km²,胶州湾水域面积减小的速度约为 2.8 km²/a^[1]。近十几年来胶州湾沿岸的填海造地工程不断上马,使胶州湾水域面积继续减小,导致潮流、纳潮量等减小,从而使物理自净能力削弱,污染情况一年比一年加重。

根据现场调查得到的浓度资料,只能反映现状,但在此基础上建立的数值模型可用来预测,也可按不同的目的和要求,设计和建立不同的模型,预测和估价可供选择的各种方案的优选结论,为环境规划和管理等提供科学依据。开展此方面的基础理论研究,对于我国沿海区域环境综合治理和经济发展具有相当重要的意义。因此,本文以整个胶州湾为计算域(图 1),利用数值模拟可以重现污染物的浓度分布,通过模型的调整和验证,预测不同填海造地方案引起海域形态变化,对胶州湾内 COD 浓度场及污染物通量等的影响进行研究并予以报道。

1 计算方法

本文采用不规则三角形网格(图 2)的分步杂交法,在已建潮流场的基础上,建立胶州湾二维变边界对流—扩散数值模型。

1.1 经过垂向空间平均的物质输运方程

$$\frac{\partial(HP)}{\partial t} + \frac{\partial(HP_u)}{\partial x} + \frac{\partial(HP_v)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x}(HD_x \frac{\partial P}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(HD_y \frac{\partial P}{\partial y}) = HS \quad (1)$$

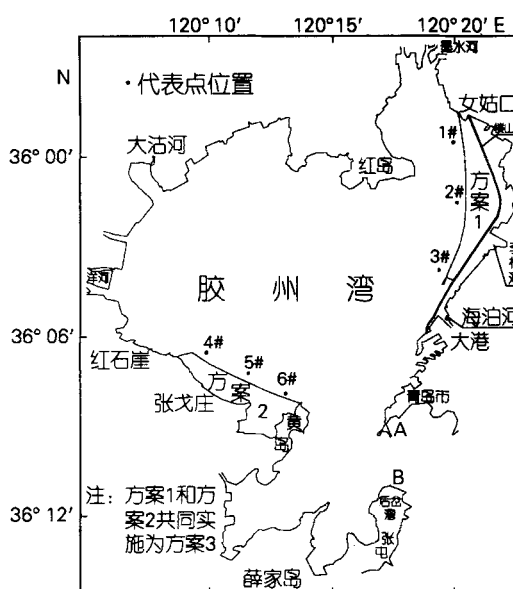


图 1 胶州湾地形及代表点位置

Fig.1 Topography of Jiaozhou Bay and position of representative point

其中: P 为污染物浓度; S 为单位时间排给单位体积的污染物质量; $H = \zeta + H_0$ 为瞬时水深 (H_0 为海

* 国家“九五”科技攻关课题资助项目 96-922-02-02 号。
第一作者: 孙长青, 出生于 1957 年, 高级工程师, 主要从事海洋环境与海洋环境影响评价等领域的研究工作。电话: 0532-2032983。

收稿日期: 2001-09-15; 修回日期: 2001-11-28

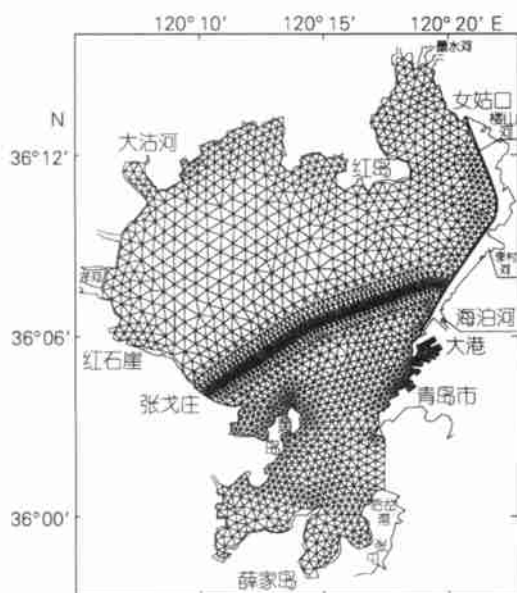


图2 计算网格
Fig.2 Grid layout

图水深, ζ 为从平均海面起算的水位); D_x , D_y 为分散系数。

对于二维模型, 分散系数可用如下形式:

$$(D_x, D_y) = 5.93 Hg^{1/2} C^{-1}(u, v)$$

如果考虑到 $\frac{1}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \cdot \frac{\partial H}{\partial y} \right) \ll 1$, 则方程(1)可简化为:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial P}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial P}{\partial y} \right) = S \quad (2)$$

u, v 分别为 X, Y 方向上的深度平均流速分量;

对于上述的物质输运方程, 尚需配以适定的边界和初始条件方可求解。对于二维问题, 必须给出陆边界和开边界条件。在陆边界, 由于在岸边已有法向流速为零的条件, 这就满足了法向污染物平流运输消失的要求, 此外, 尚需给出法向扩散也为零的条件, 即

$Dn = \frac{\partial P}{\partial n} = 0$, 当然, 这是岸边无污染源的情况。而在开边界处, 如能给定开边界的值, 自然最为理想, 然而实测资料很难获得, 因而, 一般认为在涨潮入流阶段, 流入的海水为纯净的海水, 只有在落潮流出阶段, 才假定有法向平流运输, 且在边界处无污染源。这样, 对于开边界来说, 可以引用如下的边界条件:

$$P = P' \quad (P' \text{ 为水界浓度}), \text{ 入流段} \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + v_n \frac{\partial P}{\partial n} = 0, \text{ 出流段}, \quad (4)$$

采用分步杂交方法求解方程组(1)~(4)。

至于初始条件也可以零值起算。

1.2 分步杂交方法^[2]

分步杂交是分裂算子的一种方法, 该方法采用分步技巧, 在不规则三角形网格上, 计算对流用特征线方法, 计算扩散用集中质量有限元方法。采用不规则三角形网格, 边界拟合良好, 在同一海域又可以有不同的空间步长, 得到不同的分辨率。

应用分步方法可将方程(2)归结为下列方程:

如果 $t \in (n \Delta t, (n+1/2) \Delta t)$ 时,

$$\frac{1}{2} \frac{\partial P^{(1)}}{\partial t} + u \frac{\partial P^{(1)}}{\partial x} + v \frac{\partial P^{(1)}}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

如果 $t \in ((n+1/2) \Delta t, (n+1) \Delta t)$ 时,

$$\frac{1}{2} \frac{\partial P^{(2)}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial P^{(2)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial P^{(2)}}{\partial y} \right) + S \quad (6)$$

本文采用不规则三角形网格的分步杂交方法求解物质输运方程, 对岸界有良好的拟合。

2 现状浓度场数值计算

2.1 网格设置及强迫函数^[3]

胶州湾所处海域为正规半日潮海区, 本文只对 M_2 分潮进行讨论, 即开边界输入强迫函数为 M_2 分潮。以胶州湾为计算域(图2)。计算域内共设 2 029 个结点, 3 660 个单元。最小网格间距为 80 m, 一般在 500 m 左右不等。时间步长取潮流数值计算时间步长(10.35 s)的 60 倍, 为 621.00 s。

2.2 入海污染源(COD)

入海污染源共有 33 个, 具体分布见图 3, 其总入海排放速率为 3 136.14 g/s。最大污染源为海泊河, 排放速率为 725.18 g/s。其次为李村河, 排放速率为 657.55 g/s, 楼山河与湾头河(两者入海位置相同), 排放速率为 382.61 g/s。以上三个污染源排放速率占总排放速率的 56.29%。主要排放位置位于胶州湾东岸。

2.3 实测 COD 浓度分布

为反映胶州湾海域水质现状, 青岛市环保局共布设监测站位 45 个。其实测 COD 浓度分布见图 3 中实线部分, 浓度高值区分布在大沽河口(3.74 mg/L)、墨水河口(2.42 mg/L)、楼山河口(2.07 mg/L)、李村河口(2.00 mg/L)、海泊河口(3.08 mg/L)。浓度较高区域分布在胶州湾东海岸和西北部的浅海海域, 东海岸

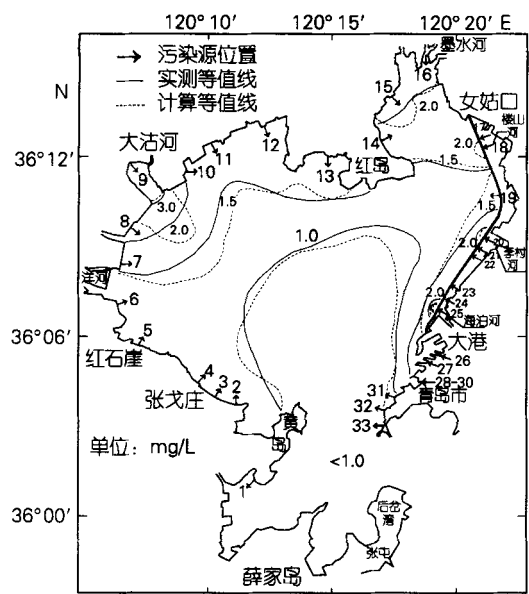


图3 污染源位置、实测 COD 分布和计算 COD 分布
Fig.3 Position of pollution sources, observed distribution

主要受青岛市区工业废水和生活污水排放影响,西北部主要受滩涂养殖排污影响。

2.4 计算 COD 浓度分布

利用所建胶州湾数值模型,模拟的 COD 浓度分布见图 3 中虚线部分,实测与计算趋势一致,吻合良好。计算高值区位于上述 5 个河口,大沽河口 (3.70 mg/L)、墨水河口 (2.67 mg/L)、楼山河口 (2.03 mg/L)、李村河口 (2.09 mg/L)、海泊河口 (2.88 mg/L),浓度较高区域分布与实测相同。

3 岸线变化对污染物输运影响的预测

海岸形状的变化,将导致水动力环境发生改变,如潮流、纳潮量等减小,从而对物理自净能力和水质产生影响,同时湾口断面的污染物通量也将发生变化。研究结果如下。

填海造地所引起污染源入海位置变化,新位置均垂直于岸线向海延伸至填海形成的新岸边。

表 1 填海方案

Tab.1 Sea-filling plans

方案	填海长度(km)	最大宽度(km)	填海面积(km ²)
1	11.0	0.203	13.7
2	7.2	0.170	8.9
3	方案 1,2 同时实施		22.6

3.1 填海方案

选取 3 种岸线变化情况作为讨论方案。各方案填海位置、形状及大小,分别见图 1 和表 1。

3.2 预测结果分析

在填海方案附近水域选取 6 个代表点 (图 1),以此来反映由各方案引起的水质变化。由于各方案填海面积、形状的不同,对物理自净能力影响也不同。从计

表 2 各种填海方案对 M₂ 分潮湾口断面污染物通量的影响

Tab.2 Impact of plans 1~3 on influx of bay mouth section for M₂ constituent

方案	污染物通量(kg)	绝对变化(kg)	相对变化(%)
现状	472 594.30	/	/
1	445 669.12	-26 925.18	-5.70
2	460 435.46	-12 158.84	-2.57
3	426 301.47	-46 292.83	-9.80

表 3 方案 1 对附近代表点水质的影响

Tab.3 Impact of plan 1 on water quality at marked points

方案	现状 (mg/L)	方案 1 (mg/L)	绝对变化 (mg/L)	相对变化 (%)
1	1.55	1.64	0.09	5.81
2	1.35	1.36	0.01	0.74
3	1.43	1.27	-0.16	-11.19

注:1,2,3 为代表点。

表 4 方案 2 对附近代表点水质的影响

Tab.4 Impact of plan 2 on water quality at marked points

方案	现状 (mg/L)	方案 2 (mg/L)	绝对变化 (mg/L)	相对变化 (%)
4	1.26	1.57	0.31	24.60
5	1.04	1.45	0.41	39.42
6	1.00	1.21	0.21	21.00

注:4,5,6 为代表点。

表 5 方案 3 对附近代表点水质的影响

Tab.5 Impact of plan 3 on water quality at marked points

方案	现状 (mg/L)	方案 3 (mg/L)	绝对变化 (mg/L)	相对变化 (%)
1	1.55	1.67	0.12	7.74
2	1.35	1.38	0.03	2.22
3	1.43	1.30	-0.13	-9.09
4	1.26	1.40	0.14	11.11
5	1.04	1.25	0.21	20.19
6	1.00	1.04	0.04	4.00

注:1,2,3,4,5,6 为代表点。

算结果分析,填海面积越大,对湾口断面污染物通量和代表点水质影响越大。对通量和水质的影响见表 2~5。

表 2~5 中所列数据,正值表示增加,负值表示减小。

表 2 中对污染物通量影响最大的是方案 3,与现状的相对变化减小了 9.80%,方案 1 相对变化减小了 5.70%,变化最小的是方案 2,相对变化减小了 2.57%。从这一点说明填海面积越大,对通量影响越大。

由表 3~5 可看出 COD 浓度增加最大的是 5 点,方案 2 中 5 点浓度绝对变化增加了 0.41 mg/L,相对变化增加 39.42%,方案 3 中 5 点相对变化也增加了 20.19%。在以上方案中 COD 浓度减小的点是 3 点,方案 1 中绝对变化减小了 0.16 mg/L,相对变化减小了 11.19%,方案 3 中相对变化减小 9.09%。

虽然代表点水质 COD 浓度有增有减,但决大多数是增加的,只有一个点减小。而污染物通量均为减小。总体来看,对污染物输运将产生不利影响。此结论与文献[3]是一致的。

4 结语

4.1 胶州湾面积在过去 60 a 的时间里减小了近三分之一,这直接导致潮流、纳潮量等减小,从而使物理自净能力削弱,影响到污染物的输运。

4.2 方案 1 中的 3 代表点 COD 浓度出现减小

的情况,这是由于填海在 3 代表点附近形成一个“岬角”,使局部物理自净能力加大,输运增强造成的,绝对变化减小 0.16 mg/L,相对变化减小 11.19%。

4.3 方案 2 的填海面积虽没有方案 1 大,但其附近的 4,5,6 点的变化比方案 1 附近的 1,2,3 点都大,浓度值均为增大。方案 2 对变化和相对变化最小点(6)的值分别为 0.21 mg/L 和 21.00%。这说明在滩涂上填海比在海图零米等深线以下海域填海,对污染物输运的影响更大。

4.4 方案 3 的计算结果说明,不同的填海方案和不同的填海位置,对不同海域的影响是不同的,这一结论从表 5 中可以清楚地看出。方案 3 是方案 1 和方案 2 的组合,1,2,3 点的浓度值比单独实施时(方案 1)有所增加。而此种情况下 4,5,6 点的浓度值比方案 2 有所降低。

4.5 填海造地是经济建设的需要,但在施工前一定要进行环境影响评价,作出详细的科学论证,选择较适当的位置、面积和形状,以期把对污染物输运的影响减小到最低程度,最大限度地保护海洋环境。

参考文献

- 1 胶州湾及邻近海岸带功能区划联席会议.胶州湾及邻近海岸带功能区划.北京:海洋出版社,1996.227~326
- 2 吴江航,韩庆书等.计算流体力学的理论、方法及应用.北京:科学出版社,1988.
- 3 王学昌,孙长青,孙英兰等.填海造地对胶州湾水动力环境影响的数值研究,海洋环境科学,2000,3:55~59

STUDY ON IMPACT OF JIAOZHOU BAY SEA-FILLING ON POLLUTANT TRANSPORTATION

SUN Chang-qing WANG Xue-chang SUN Ying-lan LOU Ai-gang

(Department of Physical Oceanography and Environmental, Ocean University of Qingdao, 266003)

Received: Sep., 15, 2001

Key Words: Jiaozhou Bay, Numerical modeling, Sea-filling, Pollutant transportation

abstract

A two dimensional varied boundary pollutant transportation numerical model of Jiaozhou Bay is established by using the split steps finite element method. Based on the computed tidal current field, it chooses COD as a pollutant factor. Predictions are made according to several sea-filling plans. The impact of COD distribution and pollutant influxes are obtained, with giving introduction summing up impact of pollutant transportation. (本文编辑:李本川)