

A Research on Numerical Simulation of Effect on Wind-Driven Currents to the Pollutant Diffusion

Ying Wang, Aizhen Liu, Yuxin Zhu, Mingchang Li

Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, M.O.T, Tianjin

Email: ruozhu1106@163.com, 147491256@qq.com, 55450526@qq.com, 252254889@qq.com

Received: Jan. 29th, 2018; accepted: Mar. 6th, 2018; published: Mar. 13th, 2018

Abstract

The paper uses the research means of numerical simulation for the current environmental pollution problem of the ocean dumps from offshore industries, which is concerned by the coastal countries; it adopts ECOM 3D Porous Water Quality Model; and it has carried out the simulation research on those projects' influence on the environment of sea area. It places emphasis the effect on wind-driven currents to the pollutant diffusion, the factors include the size of the wind-force, vertical stratification and different waste water movement at different depth and different mixed conditions. These changes will affect the vertical limitation, waste water diffusion and seasonal differences.

Keywords

Numerical Simulation, Wind-Driven Currents, ECOM 3D, Contamination

风吹流对海洋污染物排放的数值模拟研究

王莹, 刘爱珍, 朱宇新, 李明昌

交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津

Email: ruozhu1106@163.com, 147491256@qq.com, 55450526@qq.com, 252254889@qq.com

收稿日期: 2018年1月29日; 录用日期: 2018年3月6日; 发布日期: 2018年3月13日

摘要

本文以当前沿海国家关心的近岸海域工业倾废环境污染问题为前提, 利用数值模拟研究手段, 采用ECOM

三维水质模型为造纸项目进行排污口B3点的多种条件下使用后,对海域产生的环境影响进行模拟,重点研究风吹流对污染物扩散的影响,影响因素包括风力的大小、垂直分层、在不同深度处和不同清水混合条件下的不同废水运动,这些因素的变化会影响垂直限制和废水扩散及季节性的差别。

关键词

数值模拟, 风吹流, ECOM三维水质模型, 污染物

1. 引言

在我国海洋水质监测中,通常以 COD_{Cr} 代表海水中有机的耗氧量,本文选用此因子进行模型的构建,用潮流场作用下污染物的对流扩散方程进行污染物运输、扩散过程的研究。研究区域斯道拉恩索(广西)林浆纸厂排污口 B3 点,位于广西铁山港湾内[1](见图 1)。排污口设在铁山港航道的西北侧。

由于排污口所在海域形成的混合区,不能影响邻近功能区水质,排放口海域其水质需维持《海水水质标准》(GB3097-97)中第三类标准之内,所以需要预报污染物排放的分布情况并分析污水排放对纳污水体的影响。



Figure 1. The comparison diagram of location, tide, tidal current verification point and the current velocity in research area

图 1. 研究区地理位置、潮位、潮流验证点及流速流向对比点图

2. 数值模拟方法

2.1. 三维水动力、水质模型

本模型采用三维河口海岸海洋模式(ECOMSED),该模型可以模拟在海岸、河流、河口地区的浪、潮、流、水质、生态以及泥沙输运过程。水动力模块建立在 $N-S$ 方程的基础上,采用有限差分(半隐式)数值解法对 σ 坐标系下的控制方程进行离散求解。三维潮流运动连续性方程、动量方程和质量守恒方程以及对流扩散方程可见文献[2]。Ecom 水质模型[3]是在水动力模拟的基础上,借助于质量守恒原理,考虑物质由于对流、紊动扩散[4]等因素计算污染物在水体中的输运、扩散以求得污染物浓度在水域分布的状况。

为提高潮流场计算的准确性,在计算域内涨潮淹没、退潮露滩的潮间带,利用干湿判别法的动边界处理技术,使计算区域内的潮间浅滩动态变化,真实地反映出潮涨、潮落潮过程中,潮间带水陆边界的移动过程。干湿网格的判别标准为水深 ≤ 0.05 m。在对流扩散中,规定流速为零的“干点”没有扩散;由于水动力的计算区域比较大,排污口距开边界较远,为了在计算过程中开边界不会对计算区域内的扩散有影响,所以规定开边界处没有扩散。

2.2. 模型及参数的选取

本文计算域设置、水深和岸界条件、模型水边界输入条件与文献[2]相同,其他模型参数设置如下:

1) 风场参数选取

废水扩散的季节性差别体现在季风风向的差别,根据北海地区冬季海面风的多年平均统计资料,冬季季风主要考虑为 N 向风的影响,夏季季风为 S 向风的影响,选取铁山港附近海域 6 级风速 10.8 m/s 条件下对污水排海后水质影响进行模拟。

2) 扩散系数

根据紊动扩散理论及对实测资料的修正,选取横向与纵向扩散系数[5];降解系数 K 与水流特性、海洋生物的种类和数量、海面气体交换速度、污染物浓度及水温等因素有关,参考国内外有关手册[5],模型实际采用的 K 一般取为常数[5],且水温范围在 $10^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 时,降解系数 K 值介于 $0.02\sim 0.07\text{ d}^{-1}$ 之间。根据北部湾沿海的具体情况,选择水温 21°C 时研究区域内的降解系数 K 为 0.03 d^{-1} 。

3. 验证计算及结果分析

3.1. 潮位与流速验证

水文资料选择 2007 年 7.2~2 日大潮 4 个潮流站(#1~#4)及 2 个潮位站(A、B)实测的潮流资料。

根据上述资料和条件进行计算,对各测点流速和流向的实测结果和计算结果进行对比,结果列于图 2~5。由图可见,三维模型的水位验证良好,三维模拟结果的流速呈现表、中层大,底层小的特点,而且流态也较为合理,基本上能反映出工程附近水域的水流状况,可以作为进一步分析计算的基础资料。

3.2. 风吹流场模拟结果分析

在工程区外侧区域选取代表点进行流速、流向对比说明,如图 1 所示。

3.2.1. 风吹流对流速的影响

图 6~9 是本海域风吹流的三维水动力数值模拟结果,选取了涨急和落急时刻受风应力影响大的表层的流场矢量图,中层和底层受风应力影响较小,由于本文篇幅有限,不给出矢量图。

1) 表层流速

N 向风:在强风作用下,水体表面受风应力的作用,形成风吹流。风吹流与潮流相互作用,根据风

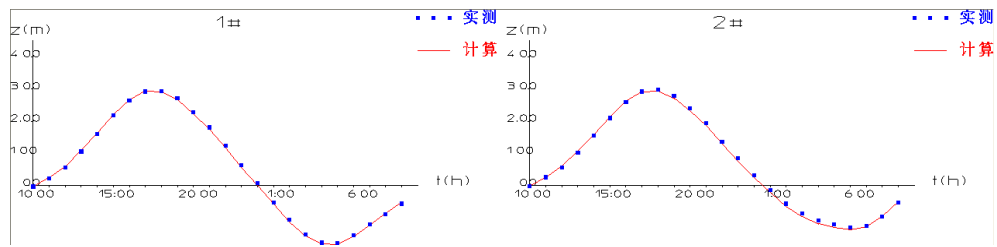


Figure 2. Tide validation curve

图 2. 潮位验证曲线

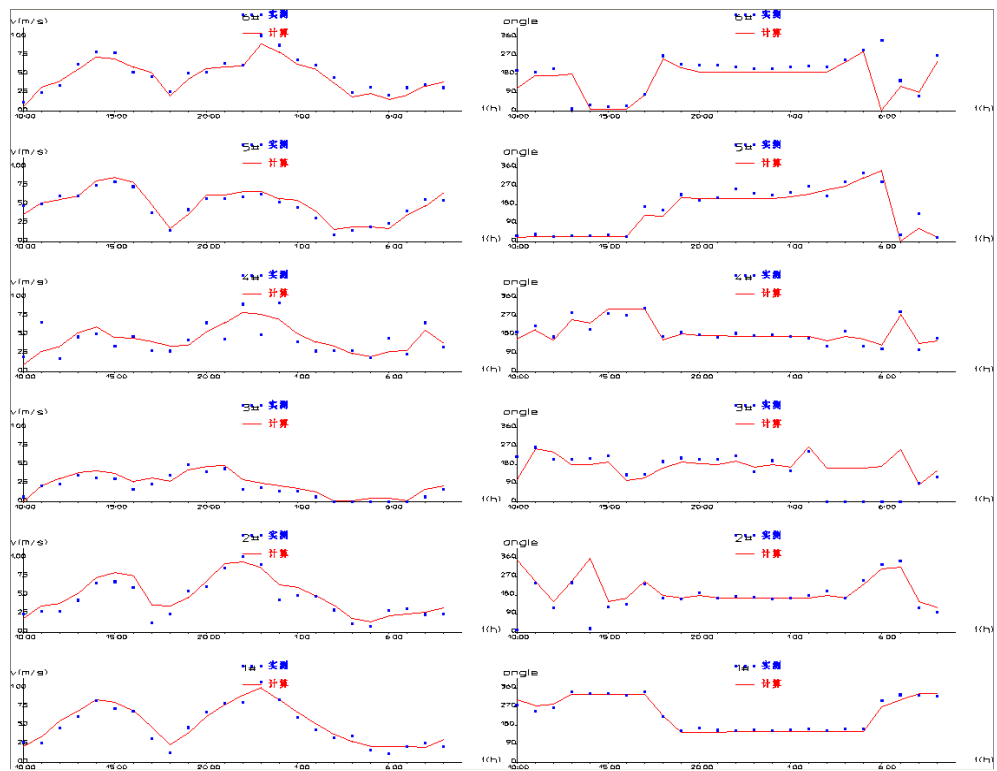


Figure 3. Surface flow velocities and direction validation curve

图 3. 表层流速、流向验证曲线

向、流向的不同，流场显示不同的变化特性。计算海区涨潮时遇 N 向风，流向与风向相反，迎风逆流使得风吹流后的流速与无风方案相比涨潮流速减小，其中 1#断面涨潮最大流速减小 8%~43%，2#断面减小 13%~30%，由河口向外海流速减小趋势加大。落潮时风向与流向相同，顺风顺流故流速增加 5%~13%。

S 向风：S 向风对计算海区的表层流场影响与 N 向风相反，涨潮流速增加落潮流速减小。涨潮 1#断面流速增加 5%~42%，2#断面增加 5%~29%，落潮 1#断面减小 25%~49%，2#断面减小 35%~57%。

2) 中层流速

根据海水具有连续性和不可压缩性的特点，中层水体以对应表层流速变化相反的方式，形成一个闭合的循环。

N 向风：1#断面涨潮流速增加 5%~31%，2#断面增加 8%~23%。落潮 1#断面减小 2%~10%，2#断面减小 4%~7%。

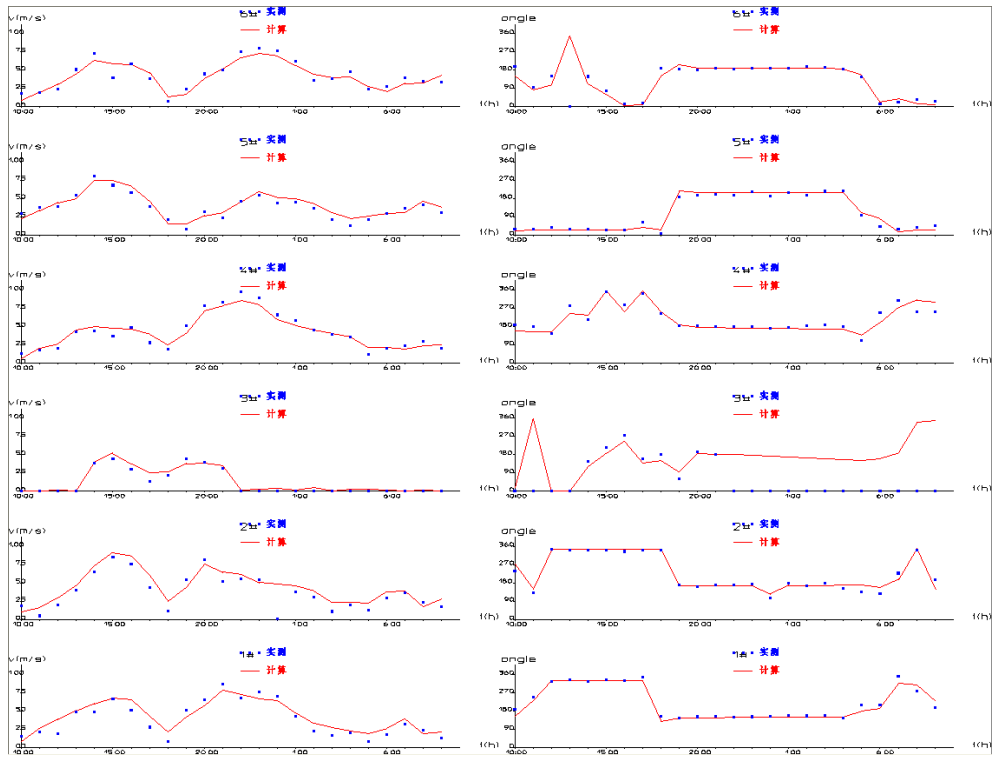


Figure 4. Middle velocity and direction validation curve

图 4. 中层流速、流向验证曲线

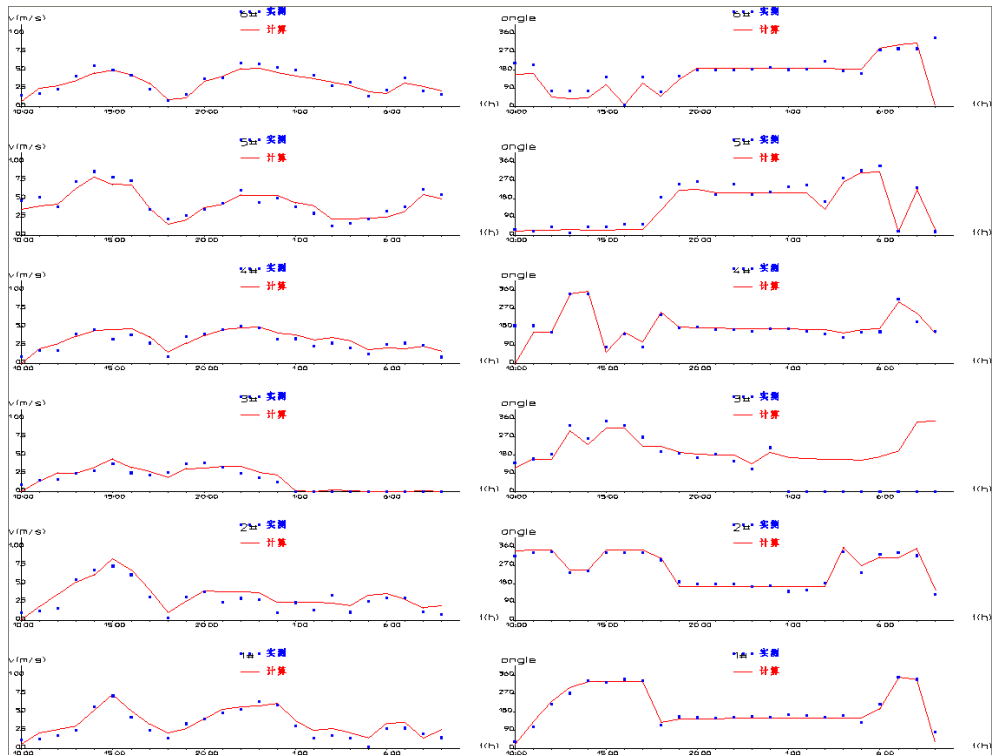


Figure 5. Bottom velocity and direction validation curve

图 5. 底层流速、流向验证曲线

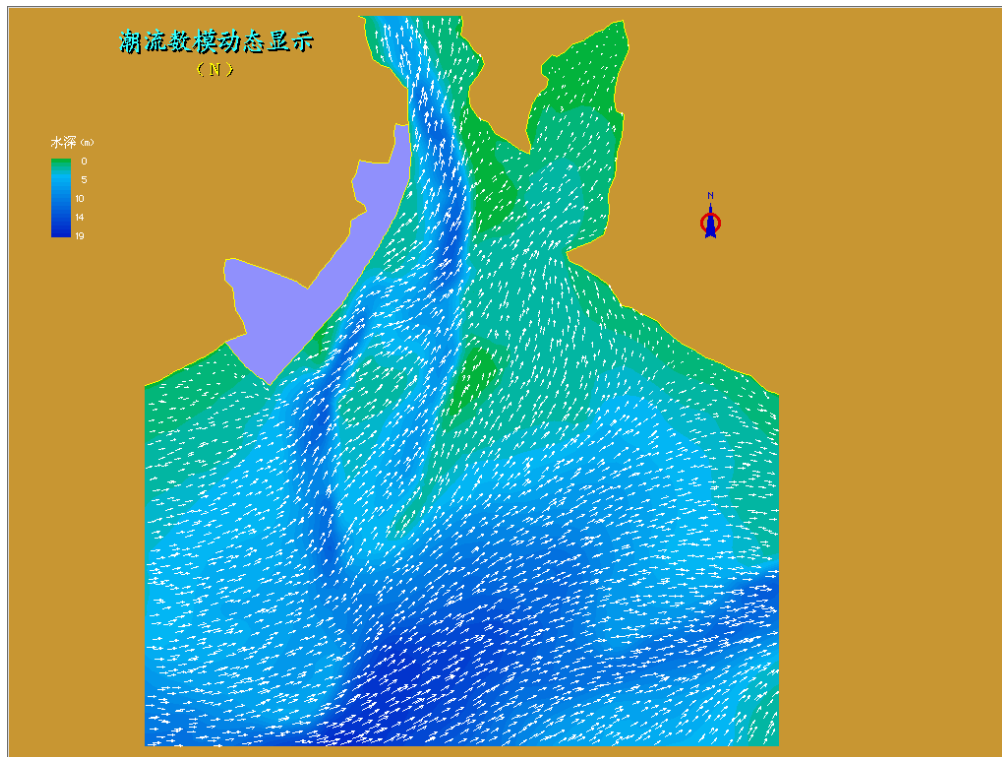


Figure 6. Velocity vector of surface-layer of N wind at the flood tide
图 6. 表层 N 风作用下涨急时流场图

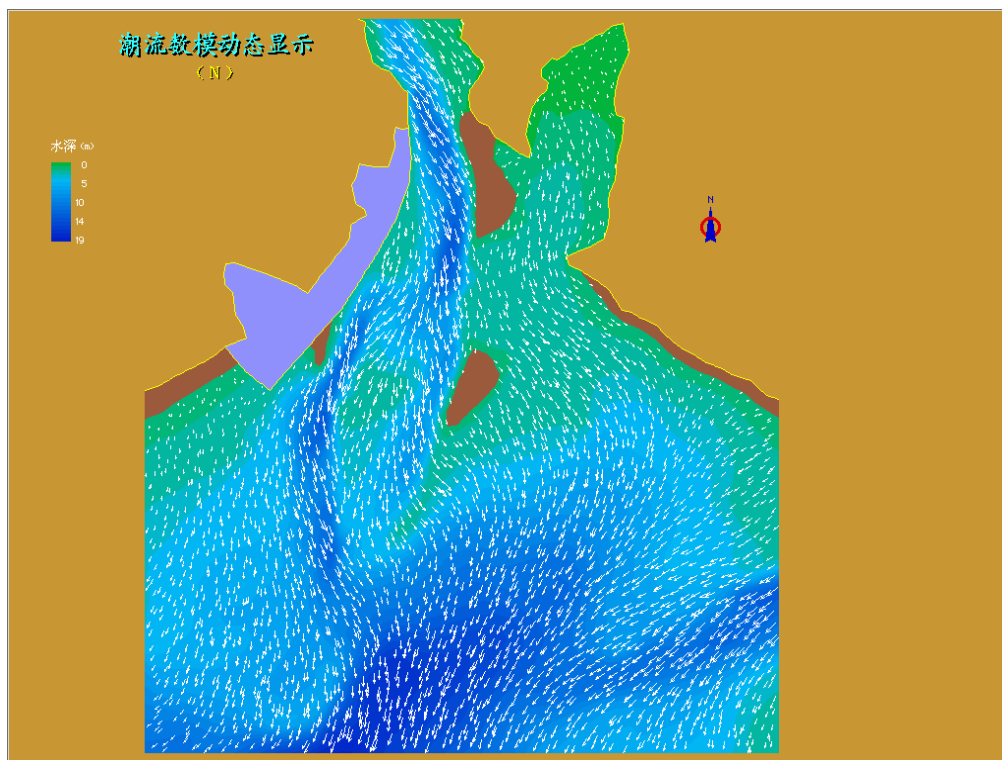


Figure 7. Velocity vector of surface-layer of N wind at the ebb tide
图 7. 表层 N 风作用下落急时流场图

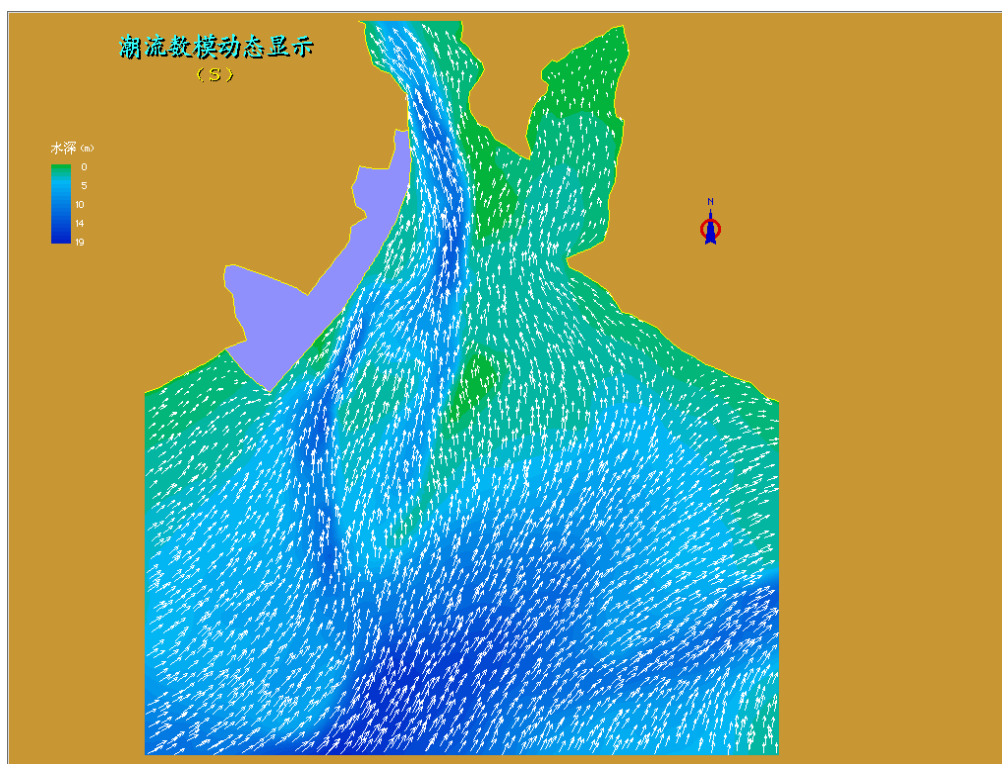


Figure 8. Velocity vector of surface-layer of S wind at the flood tide
图 8. 规划后表层 S 风作用下涨急时流场图

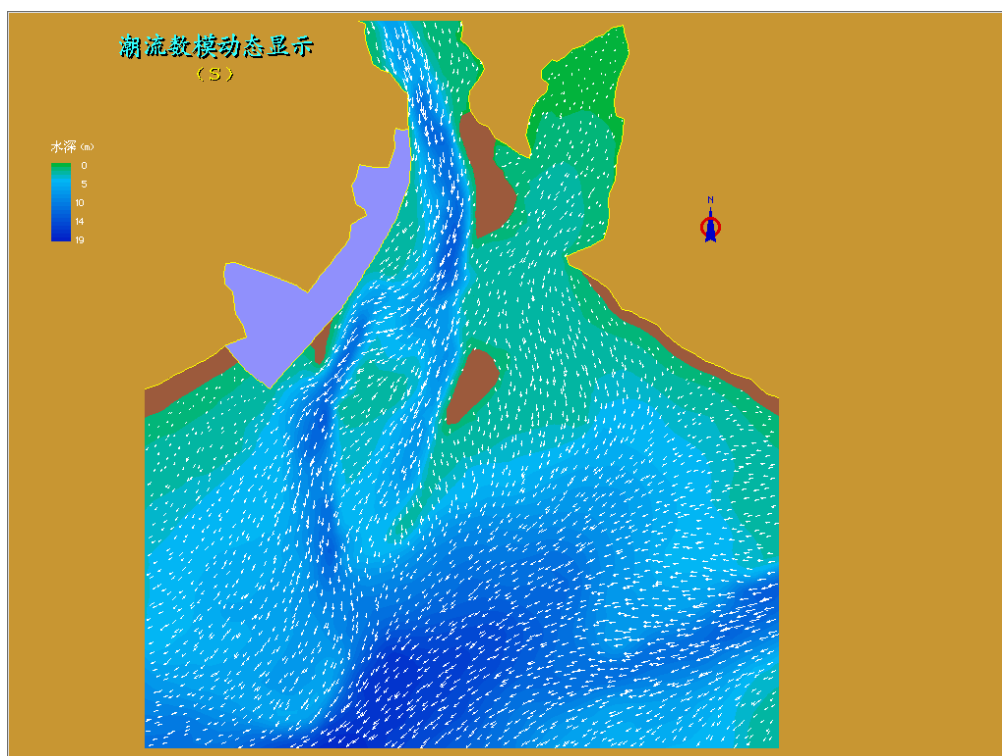


Figure 9. Velocity vector of surface-layer of S wind at the ebb tide
图 9. 规划后表层 S 风作用下落急时流场图

S 向风: 涨潮流速 1#断面减小 3%~27%, 2#断面减小 2%~14%。落潮 1#断面、2#断面的增加值为 9%~35%、26%~37%。

3) 底层流速

两个风向的风吹流计算后, 底层流速不受影响, 无变化。

3.2.2. 风吹流对流向的影响

1) 表层流向

N 向风: 计算海区北风为离岸风, 涨、落潮流向受 N 向风顶托、压迫向东偏, 1#断面偏转 16° ~ 46° , 流向变化最大处在 1-5#点附近, 2#断面偏转 19° ~ 25° 。落潮流向 1#断面流向变化 14° ~ 39° , 最大变化在 1~7#点附近, 2#断面流向偏东 17° ~ 20° 。

S 向风: S 向风计算后流向的偏转方向为, 涨、落潮流向西偏。1#、2#断面涨潮流向变化 4° ~ 11° 、 5° ~ 11° ; 落潮流向变化 4° ~ 16° 、 8° ~ 12° 。

2) 中层流向

6 级强风对计算海区中层水体的流速方向影响不大, N 向风计算后, 涨、落潮流向变化 1° ~ 2° , S 向 0° ~ 1° 。

3) 底层流向

N、S 风向的风吹流计算后, 底层流向不变。

综合上述, 风吹流计算后的表层流速变化为: N 向风(离岸风)涨潮流速减小, 落潮流速增加; S 向风(向岸风)涨潮流速增加, 落潮流速减小。

4. 风吹流作用下污染物 COD_{Cr} 的扩散情况

4.1. N 风作用下污染物扩散数值模拟

本次预测计算中 COD_{Cr} 与 COD_{Mn} 的换算关系考虑为 2.5, 该海域 COD 本底值为 1.5 mg/L, 排放量为 109,158 m³/d, 排放浓度为 100 mg/L, 污水中 COD_{Cr} 排放量为 9.82 t/d。预测计算时分别以此作为计算源强。对 COD 扩散连续进行 15d 的计算, 并将计算结果叠加 COD 本底值。

各层预测计算结果见图 10 及表 1, 其中各层的包络图为污染物扩散连续进行 15 d 的计算结果统计。结果显示污水从扩散器进入海水后, 100 mg/L 排放浓度下中层最大, 表层最小。

4.2. S 风作用下污染物扩散数值模拟

根据规划, 本次预测按 1 种排放浓度进行预测计算(计算中 COD_{Cr} 与 COD_{Mn} 的换算关系考虑为 2.5, 根据资料该海域 COD 本底值为 1.5 mg/L), 排放量为 109158 m³/d, 排放浓度为 100 mg/L, 污水中 COD_{Cr} 排放量为 9.82 t/d。预测计算时分别以此作为计算源强。对 COD 扩散连续进行 15 d 的计算, 并将计算结果叠加 COD 本底值。

各层预测计算结果见图 11 及表 2, 其中各层的包络图为污染物扩散连续进行 15 d 的计算结果统计。结果显示污水从扩散器进入海水后, 100 mg/L 排放浓度下中层最大, 表层最小。

4.3. 污水中 COD 对海洋环境的影响

根据上述研究结果可知: 污水排放后表层、中层和底层的污水总体上随涨、落潮沿岸线往复运动, 垂直岸线方向的运动幅度很小, 这有利于减少污染物对岸滩和敏感区的影响。从垂向看, 排放污水在上升过程中浓度不断降低, 在垂直方向上呈现排污口附近的中层浓度最高、表层浓度相对最低的特点。

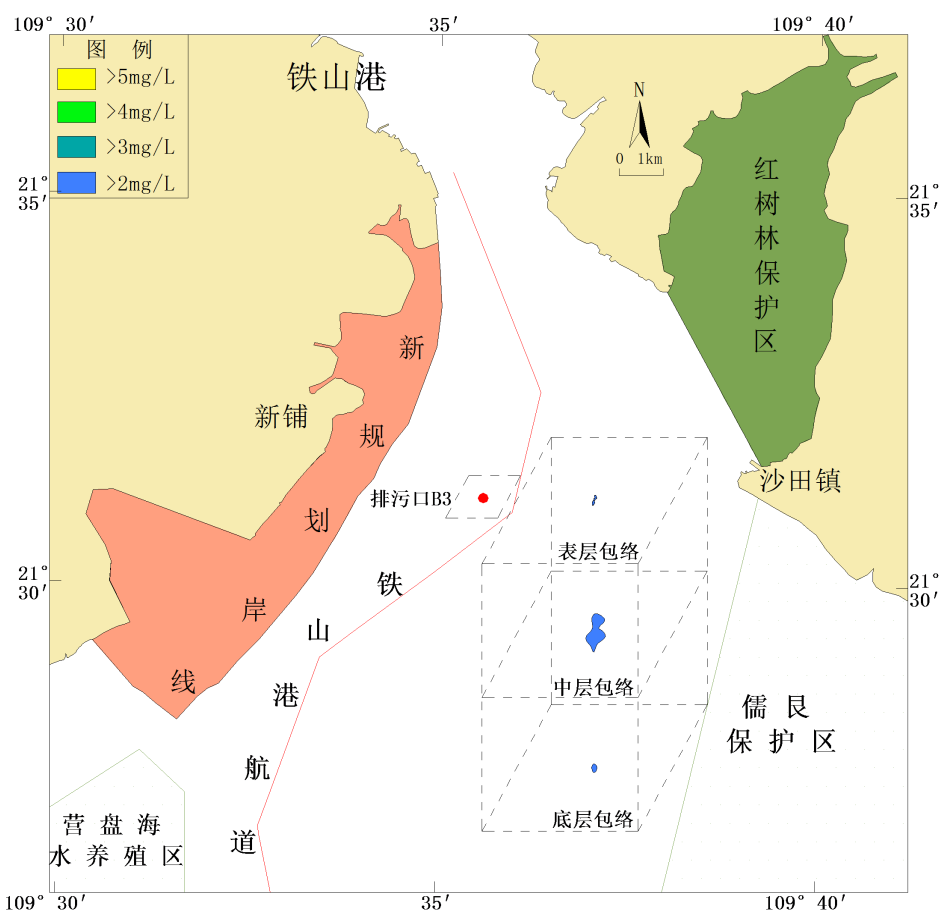


Figure 10. CODCr each layer's influence envelope of 100 mg/L
图 10. 规划后 COD 排放浓度为 100 mg/L 时各层的影响包络

Table 1. Sewage disposal CODCr environmental impact analysis on water environment
表 1. 污水排放 COD 对水环境影响分析

浓度 mg/L 空间分布	不同浓度最大可能影响面积(km ²)			
	≥5 mg/L	≥4 mg/L	≥3 mg/L	≥2 mg/L
表层	-	-	-	0.0092
中层	-	-	-	0.0148
底层	-	-	-	0.009

Table 2. Sewage disposal CODCr environmental impact analysis on water environment
表 2. 污水排放 COD 对水环境影响分析

浓度 mg/L 空间分布	不同浓度最大可能影响面积(km ²)			
	≥5 mg/L	≥4 mg/L	≥3 mg/L	≥2 mg/L
表层	-	-	0.0003	0.0095
中层	-	-	0.001	0.02
底层	-	-	-	0.009

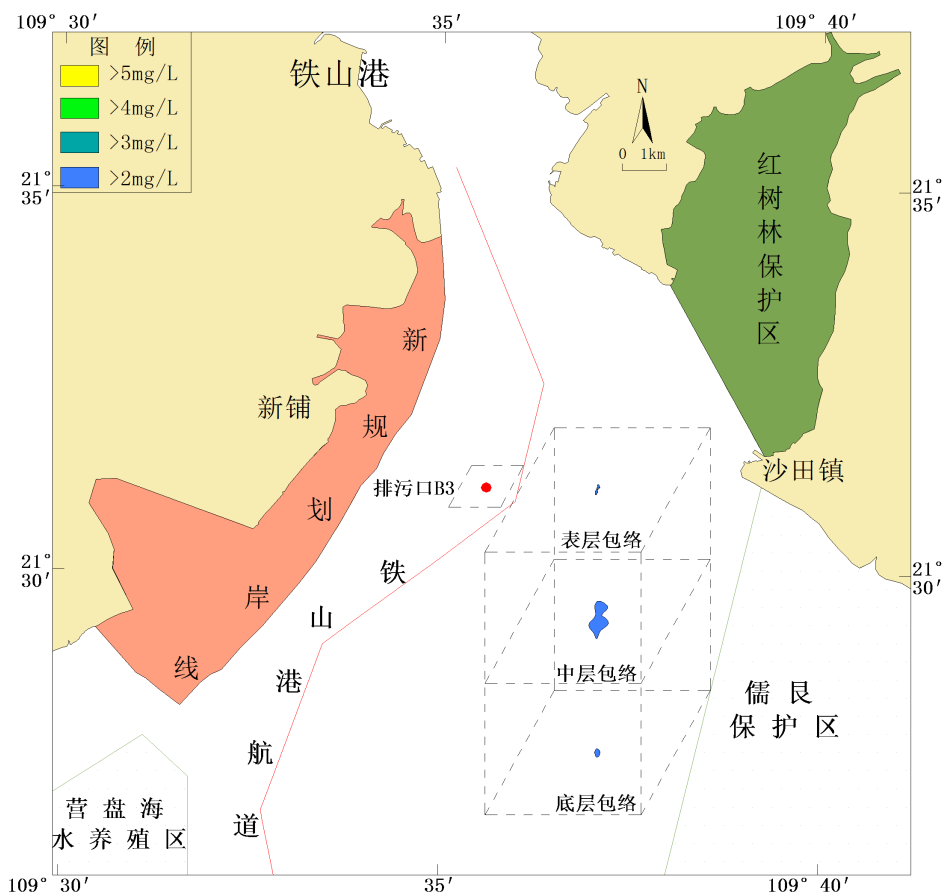


Figure 11. COD_{Cr} each layer's influence envelope of 100 mg/L
图 11. 规划后 COD 排放浓度为 100 mg/L 时各层的影响包络

总体来说，从垂向看排污口附近各特征水层的浓度存在一定区别，中层排污口附近的水域存在一个高浓度区，随着污染羽流上升，不断与周围海水掺混，垂向浓度梯度较大(浓度迅速降低)。

COD_{Mn} 各层的超海水水质标准的影响范围都很小，不会对营盘海水养殖区、儒艮保护区及红树林保护区产生直接危害。

5. 小结

研究表明，研究区海域水动力条件和污染物扩散规律具备以下特点：

- 1) 风吹流计算后，垂向流速的变化特点为：强风作用于水面，风向与潮流向综合作用造成表层流速增、减，中层水体以对应表层流速变化相反的方式形成闭合的循环，底层流速几乎无变化。
- 2) 风吹流与潮流综合作用后的表层流场与无风潮流场相比，流速方向受风向影响有所变化，但流速方向仍由潮流向控制。中层流向变化很小，底层流向无变化。
- 3) 在 N、S 向风作用下使得表面水流加强，结果更有利于各层与层之间掺混，由预测结果可知对表层、中层污染物扩散产生一定影响。
- 4) 在垂直方向污染物规律与无风条件相似，随着不断与周围海水掺混，排放污水在上升过程中浓度不断降低，在垂直方向上呈现排污口附近的中层浓度高、表层浓度最低的特点，在有风条件下各浓度等值线较无风条件下向岸边靠近。

5) 在季风影响下, 污染物扩散范围较无风条件下略大, 但是差别不明显, 从各层超海水水质标准的最大影响范围来看没有对敏感目标产生影响。

因此, 该水质模型模拟结果可以更准确的确定环境保护目标是否受到海洋工程排污的影响, 研究方法可以作为海域环境污染研究的可靠方法, 研究成果有助于海洋环境保护的实施, 可以作为环境保护部门的参考依据。

资金项目

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(TKS160227, TKS160209).

参考文献 (References)

- [1] 赵俊生. 海洋环境有效利用的分析研究[M]. 广西: 海洋出版社, 2007: 50-51.
- [2] Wang, Y., Zhang, G.Y., Wang, J.N. and Zhu, Y.X. (2010) Application of 3D Porous Water Quality Model in Pollution Research of Coastal Environment. *Proceedings of the 20th international Offshore and Polar Engineering Conference*, Beijing, 20-25 June 2010, 1076-1080.
- [3] 王莹. 斯道拉恩索广西林浆纸一体化项目推荐排污口 B3 点的详细研究[D]. 天津: 交通部天津水运工程科学研究院, 2011.
- [4] 沈永明, 郑永红, 吴修广. 近岸海域污染物迁移转化的三维水质动力学模型[J]. 自然科学进展, 2004, 14(6): 694-699.
- [5] Maidment, D.R. (1993) *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill Inc., New York.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org