

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20180608.002

蓝锦毅, 朱冬琳, 吴桂丹. 钦州湾可溶性化学品泄漏预测[J]. 广西科学院学报, 2018, 34(2): 130-136.

LAN J Y, ZHU D L, WU G D. Prediction of leakage of dissolved chemicals in Qinzhou Bay[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2018, 34(2): 130-136.

钦州湾可溶性化学品泄漏预测*

Prediction of Leakage of Dissolved Chemicals in Qinzhou Bay

蓝锦毅¹, 朱冬琳^{2**}, 吴桂丹²

LAN Jinyi¹, ZHU Donglin², WU Guidan²

(1. 广西海洋环境监测中心站, 广西北海 536000; 2. 广西科学院, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007)

(1. Guangxi Marine Environment Monitoring Center, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:【目的】随着海洋经济发展, 钦州湾船舶运输量不断上升, 化学品泄漏事故风险也不断增加, 因此增强对化学品泄漏事故的应急模拟研究具有重要意义。【方法】应用水动力模型及其物质输运模块对钦州湾金鼓江的可溶性化学品泄漏事故进行情景模拟。【结果】水动力模型结果与实测潮位和实测潮流吻合较好。低潮时发生泄漏, 化学品向北漂移, 48 h后影响范围覆盖金鼓江上游全部水域、保税港区沿海及其以南的外海, 污染面积为 42.884 0 km²; 高潮时发生泄漏, 48 h后污染面积几乎为低潮泄漏时的 8 倍, 影响范围向南超过 21°33' N, 向北几乎到达茅尾海中中部, 对茅尾海七十二泾处的养殖以及旅游产业等造成很大的影响。【结论】化学品泄漏事故会对海洋水质环境造成很大负面影响, 今后将考虑风场的作用, 进一步完善广西近海可溶性化学品泄漏模拟工作, 为地方经济发展和海洋环境保护提供科技支撑。

关键词: 钦州湾 MIKE 模型 可溶性化学品 潮流 泄漏

中图分类号: P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2018)02-0129-07

Abstract:【Objective】With the development of the marine economy, the transportation volume of ships in the Qinzhou Bay continues to increase, and the risk of chemical leakage accidents also increased continuously. Therefore, it is of great significance to enhance the emergency simulation study of chemical leakage accidents.【Methods】In this paper a 2-D mike hydrodynamic model with the transport module inside are used to stimulate a hypothetical leakage accident of dissolved chemicals at one of the wharfs inside Qinzhou Bay.【Results】The simulated water level and current fit the observations well. At the time of low tide, leakage occurred and the chemicals drifted northward. After 48 h, the affected areas covered all the waters of the upper reaches of the Jingujiang River, the coasts of the bonded port areas and

the outskirts of the south of the bonded port area, with an area of over 42.884 0 km² being polluted. While the leakage occurred at high tide, 48 h later, the contaminated area was almost 8 times that of the low tide, the impact area was more than 21°33' N southwards, and it reached almost to the middle of Maowei Sea to the north. It had a great influence on the breeding and tourism industries in the 72 Jing of Mao-

收稿日期: 2017-11-16

作者简介: 蓝锦毅(1965—)男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋环境监测、评价及研究。

* 广西科技攻关项目(桂科攻 1598016-8)和广西科学院基本业务费项目(2017YJJ23005)资助。

** 通信作者: 朱冬琳(1990—)女, 研究实习员, 主要从事北部湾潮汐潮流与海浪研究, E-mail: dlz2016@gxas.cn.

wei Sea. **【Conclusion】**Chemical spills will have a great negative impact on the marine water quality environment. In the future, the role of wind farms will be taken into account to further improve the simulated leakage of dissolved chemicals in coastal areas of Guangxi and provide scientific and technological support for local economic development and marine environmental protection.

Key words: Qinzhou Bay, MIKE model, dissolved chemicals, tidal current, leakage

0 引言

【研究意义】随着世界经济贸易不断恢复以及国内经济持续升温,钦州港经济开发区一大批新上的石化、造纸、能源、冶金、粮油加工等支柱产业全面进入建成投产的高峰期和黄金收获期,石油化工及各类化工制品等货物的吞吐量发展迅猛,并呈逐年上升的趋势。随着“中国-东盟”贸易合作的开展和深化,钦州湾作为我国西南重要海上通道的地位其重要性进一步提升,各类化学化工产品的船舶运输量也逐年上升,船舶来往频繁不仅增加了溢油事故的风险,也增大了化学品泄漏入海的风险。**【前人研究进展】**之前对广西近海的研究往往只关注溢油事故的模拟和防范^[1-4],事实上根据以往的统计资料,常运的液态化学品中超过半数可为可溶性化学品^[5],因此可溶性化学品泄漏的风险也不可忽视。国内关于可溶性化学品泄漏的研究不多,程锦潮^[6]利用CHEMMAP分析了中山市附近海域苯泄漏事故在正常和汛期条件下的影响;刘晓东^[7]利用非稳态二维水流水质模型对长江泰州段码头的硫酸泄漏进行模拟;丁大星^[5]利用POM和Flowcoast对长江流域镇江站、盘锦港防波堤水域和长江流域岳阳水域不同化学品泄漏进行模拟;姜尚等^[8]利用Delft3D模型模拟了福建湄洲湾肖厝港附近的冰醋酸泄露事故;王光明等^[9]也是利用非稳态二维水流水质模型对长江南通段乙二醇泄漏进行研究。**【本研究切入点】**可见长江流域的化学品泄漏研究得较多,而临海水域只有辽宁、福建和广州做过相关分析,还未见有针对广西近海化学品泄漏对海域影响的研究。**【拟解决的关键问题】**本研究选择广西北部湾内的金鼓江航道进行化学品泄漏的数值模拟研究。金鼓江两岸布设了钦州石化产业园的两大园区——金谷和金光工业园,同时金谷工业园在金鼓江西岸计划并投入建设了多个5万t级泊位,这些泊位通航带来的化学品泄漏风险也不可低估,因此本研究根据码头现实情况分析金鼓江可溶性化学品事故对钦州湾水质的影响。

1 模型介绍

1.1 水动力模型

本研究采用MIKE 21 FM模型模拟水动力场,该模型利用连续方程和动量方程在深度上的积分(即二维浅水方程)对划分成三角形网格的计算水域进行求解,三角形网格最大的优点是空间分辨率的灵活调整和对复杂曲折的自然岸线精准贴合。模式计算区域如图1所示,包括9290个网格单元和5287个网格节点,同时在本研究关注的金鼓江水域进行网格加密,最小分辨率为30m。模式的水深数据基于2012年版钦州海图以及广西908专项局部调查数据。开边界主要考虑8个主要分潮(M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), 2个长期分潮(Mf, Mm)和3个非线性调和分潮(M4, MS4, MN4), 调和常数来自俄勒冈州立大学的中国海潮汐模型(volkov. oce. orst. edu/tides/region. html)。

1.2 污染物扩散模块

1.2.1 预测模式

预测模式采用污染物扩散模式,与二维水流预测模式联解,即可得到可溶性物质浓度分布,模式如下:

$$\frac{\partial dC}{\partial t} + \frac{\partial duC}{\partial x} + \frac{\partial dvC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon d \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon d \frac{\partial C}{\partial y} \right) + M. \quad (1)$$

1.2.2 可溶性化学品泄露入海及入海量

根据《广西壮族自治区近岸海域环境功能区划调整方案》^[10],研究海域属于金鼓江工业用海区,海水水质要求为三类,根据《海水水质标准》^[11](GB 3097—1997),pH值要求为“6.8~8.8同时不超出该海域正常变动范围的0.5pH单位”,一般水路运输过程中危险性较高的几种化学品分别为硫酸、盐酸、磷酸和液碱,其中以前两者为强酸,液碱为强碱。水质调查结果显示金鼓江观测站点pH值最小值为7.70。pH值由7.7降至6.8时,98%浓硫酸的浓度为0.0230mg/L,37%盐酸的浓度为4.5347e-02mg/L;从8.12升至8.8时,31%氢氧化钠(液碱)浓度为6.4404e-01mg/L。保险起见,选择浓硫酸的

浓度作为水质低于三类标准的阈值,即 $0.023\ 0\ \text{mg/L}$ 。

本次研究海域发生化学危险品泄漏的主要事故是搁浅或碰撞事故,根据码头设置,到港船舶最大吨位为 $5 \times 10^4\ \text{t}$,根据以往的资料, $5 \times 10^4\ \text{t}$ 化学品船最大货舱舱容为 $2\ 900\ \text{m}^3$,则浓硫酸单舱最大携带量为 $5\ 307\ \text{t}$,故设化学品泄漏量为 $5\ 307\ \text{t}$,在 $1\ \text{h}$ 内全部泄露入海。从事故发生的概率来看,运输船舶从金鼓江航道与码头进港航道的交汇处发生碰撞事

故可能性较大,但由于金鼓江航道到码头前沿的距离仅 $200\ \text{m}$ 左右,故本次模拟考虑的泄露地点为码头前沿附近。

1.3 模型验证

本研究采用龙门站的水位观测数据和 S1~S6 6 个潮流观测站进行验证,观测站位置如图 1b 所示。水位观测时间为 2016-6-18 0:00:00~2016-6-30 8:00,潮流数据包括连续 28 h 的观测结果,具体位置坐标和时间如表 1 所示。

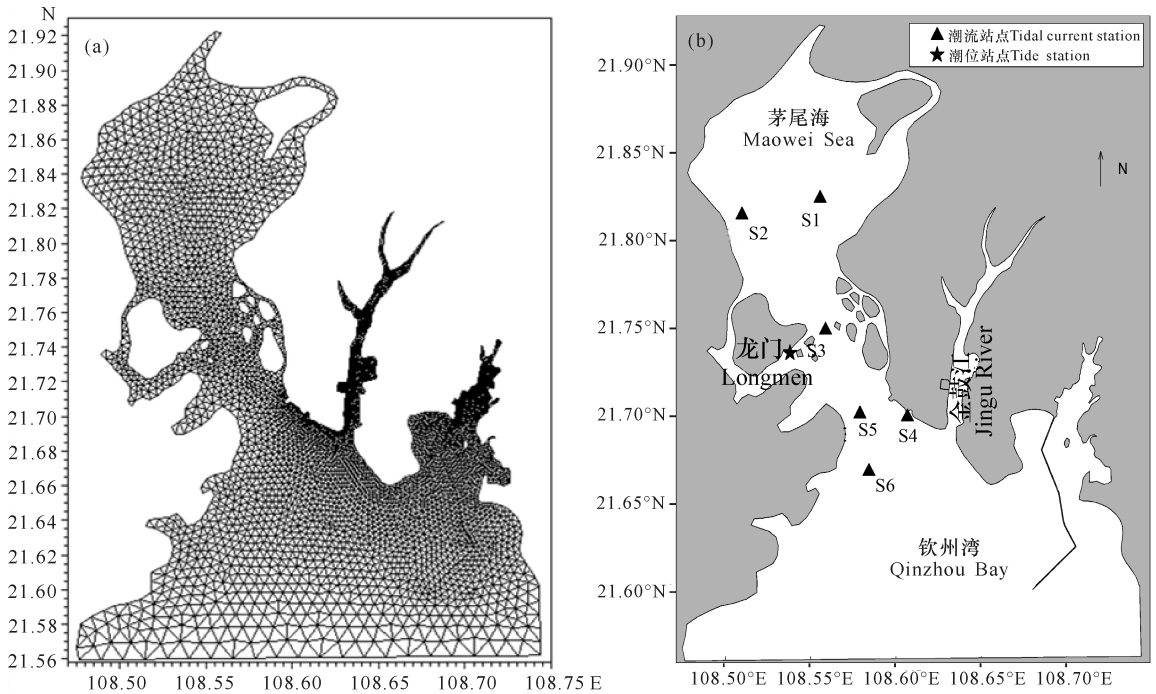


图 1 模型网格分布图(a)及观测站位图(b)

Fig. 1 Map of model grid (a) and observation location(b)

表 1 海流观测站位及时间表

Table 1 Location and period of current observations

站号 Station	观测时间 Observation period	坐标 Location	
		经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)
S1	2016-6-24 9:00~2016-6-25 12:00	$108^{\circ}33'20.042''$	$21^{\circ}49'23.377''$
S2	2016-6-18 11:00~2016-6-19 14:00	$108^{\circ}30'34.878''$	$21^{\circ}48'49.334''$
S3	2016-6-18 11:00~2016-6-19 14:00	$108^{\circ}33'31.3''$	$21^{\circ}44'52.8''$
S4	2016-6-28 10:00~2016-6-29 13:00	$108^{\circ}36'24.2928''$	$21^{\circ}41'54.42''$
S5	2016-6-18 11:00~2016-6-19 14:00	$108^{\circ}34'43.753''$	$21^{\circ}42'0.830''$
S6	2016-6-24 9:00~2016-6-25 12:00	$108^{\circ}35'2.8429''$	$21^{\circ}40'2.6364''$

2 结果与分析

2.1 模型验证结果

从图 2 可以看出,计算的潮位过程与实测资料吻合较好,高低潮时间的相位差不大于 $0.5\ \text{h}$,模拟

结果的潮差略小于观测值,观测值和计算结果的偏差基本小于 $0.4\ \text{m}$ 。同时,可以发现龙门水位的最大潮差约为 $3\ \text{m}$,潮汐为全日潮特征。另外本研究采用了 6 个潮流观测站(S1~S6)的流速流向数据进行验证,为节省篇幅本文仅列出 S1 和 S2 两个站

点(图 3)。由图 3 可见,模型结果基本再现了实测数据的变化规律,其中流向基本一致,而流速有所偏差。事实上模型自身的误差和实测数据的噪音导致模型和观测数据不可能完全一致,因此在一定的误差范围内是可以接受的。从实测流速值可以看出,大潮期间钦州湾的最大潮流流速为 1.35 m/s,平均流速约为 40 cm/s,落潮流大于涨潮流。

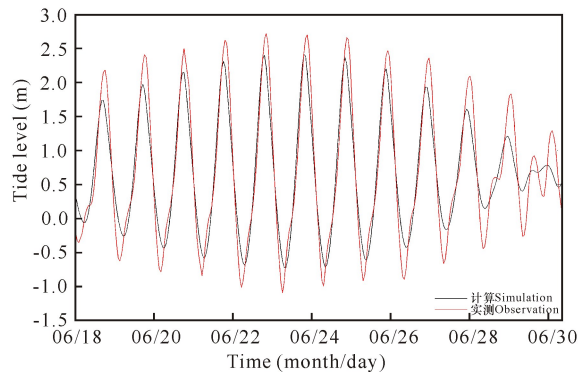


图 2 龙门潮位站实测水位与模型模拟结果的比较

Fig. 2 Comparison of measured water levels (red) and model simulation results (black) at Longmen tidal station

2.2 可溶性化学品扩散预测

2.2.1 钦州湾背景流场

从图 4 可发现,钦州湾潮流运动形式以往复流为主,涨潮中间时大部分海域流向以偏北方向为主,涨潮流从湾口汇入龙门峡口,至茅尾海后呈放射状散开,流向总体较均匀,局部受地形影响而发生偏转。开阔水域流速较大,流向较均匀,浅滩、岛屿周围以及岸边流速相对较小,流向多变;航道和深槽处流速最大,流向与航道、深槽走向基本一致。落潮中间时钦州湾大部分海域的潮流为偏南向,落潮流从茅尾海汇入龙门峡口,至钦州外湾后呈放射状散开,落潮流速大于涨潮流速。涨潮时,保税港区航道附近涨落潮潮流分为两支,一支顺着公路流向鹿耳环江附近海域,另一支绕过保税港区顺着航道至金鼓江口,再分两支,一支流入金鼓江,溯江而上;另一支则继续沿着航道过龙门进入茅尾海;落潮时过程则反之,水流沿水道、航道以及公路两侧流向钦州外湾,潮流呈现典型往复流特征。无论是涨落潮,航道附近的流速均较其他区域大。

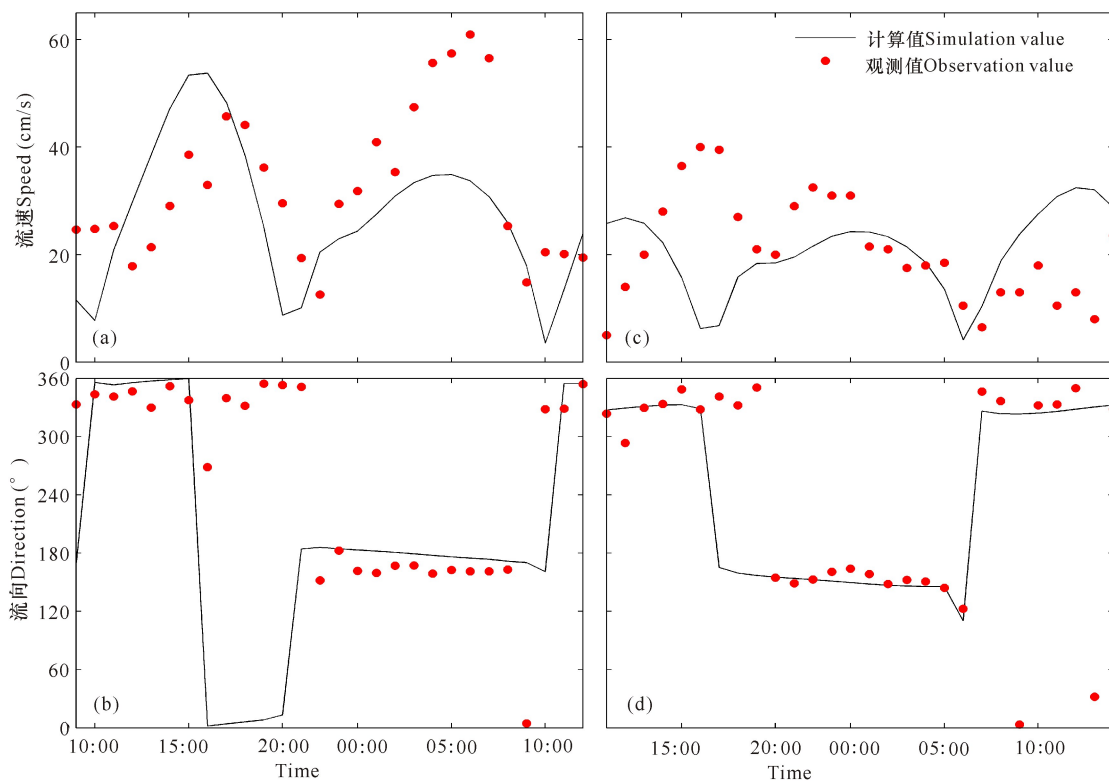


图 3 S1 与 S2 站流速流向实测结果和模式模拟结果的验证,其中(a)为 S1 站流速验证,(b)为 S1 站流向验证,(c)为 S2 站流速验证,(d)为 S2 站流向验证(流向以北方向为起始,顺时针旋转为正)

Fig. 3 Comparison of simulated current speed and direction with observations of S1 and S2, in which (a) is for speed of S1, (b) for direction of S1, (c) for speed of S2 and (d) for direction of S2 (Flow direction starts from the north, clockwise rotation is positive)

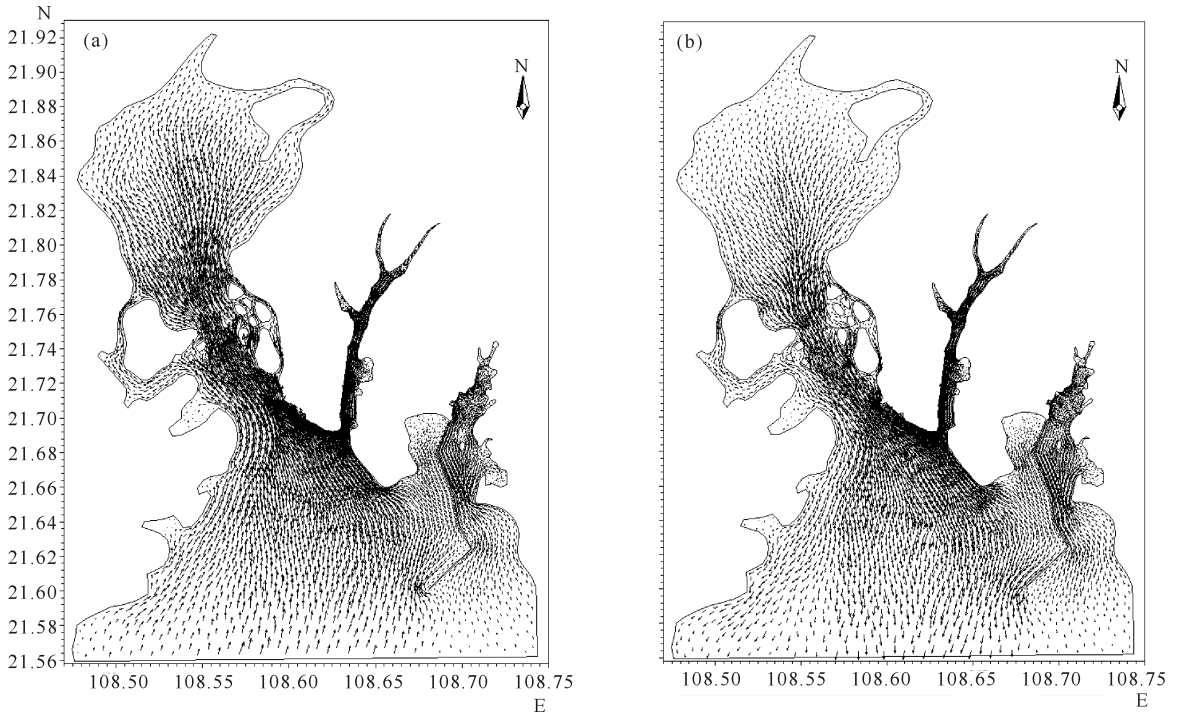


图4 钦州湾海域涨潮中间时(a)和落潮中间时(b)流场分布图

Fig. 4 Map of currents in Qinzhou bay in the middle of (a) flood tide and (b) ebb tide

2.2.2 预测结果

根据上述条件进行预测计算,得出化学品在高潮时和低潮时泄漏 48 h 后浓度大于阈值(0.023 0 mg/L)的面积包络线图(图 5~6,其中最外层化学品浓度为 0.023 0 mg/L);统计得到第 6 h、12 h、24 h、36 h 和 48 h 化学品浓度大于 0.023 0 mg/L 的面积(表 2)。

表 2 硫酸泄漏引起的海域浓度增量超过阈值(0.023 0 mg/L)的等值线包络面积

Table 2 The influence area of leakage accident caused by sulfuric acid with concentration larger than the threshold value (0.023 0 mg/L)

泄露时间 Leakage time (h)	Influence area (km ²)	
	高潮时 High water	低潮时 Low water
6	4.924 0	1.982 0
12	61.992 0	6.868 0
24	168.660 0	12.400 0
36	285.358 0	18.922 0
48	314.110 0	42.884 0

从预测结果可以看出,化学品(浓硫酸)溶于水后迅速扩散,并伴随着潮流作用向南北方向扩散。低潮时泄露后,化学品主要向金鼓江上游漂移,48 h 后影响范围覆盖金鼓江上游全部水域和保税港区沿海及其以南的外海,影响面积为 42.884 0 km²,其浓度高值区(>10 mg/L)主要集中在泄露地点以北

的金鼓江内,落潮时在潮流的作用下,低潮泄露的化学品也会被带至保税港区西南海域和鹿耳环江,再次涨潮的时候则沿着龙门水道一路延伸至龙门岛东北边的海域附近(图 5);高潮时泄露后化学品影响范围很大,泄露 12 h 以后就达到了 61.992 0 km²,24 h 后为 168.660 0 km²,48 h 后则达到了 314.110 0 km²,为低潮时泄露影响面积的 8 倍左右,这主要是因为低潮时泄露的化学品扩散受限于北边岸线,而高潮时泄露的化学品从一开始就被落潮带至外海,故其影响最大的范围基本集中在泄漏点附近的下游方向,即保税港区西南和鹿耳环江,向南其影响面积超过了数值模拟区域(21°33'N 以南)几乎到达茅尾海中南部,对茅尾海七十二泾处的养殖以及旅游产业等造成很大的影响(图 6)。总体而言,涨潮时,工程区以北海域内水动力条件较弱,可溶性化学品入海后不能够快速扩散,高浓度水体将在较长时间内在工程所处附近浅滩保持存在,并将对该海域产生较长时间的不良影响,尤其对金鼓江上游的零散养殖水域以及红树林影响较大;落潮时,可溶性化学品随海流扩散至金鼓江南面的钦州湾,钦州湾较宽阔的海域以及航道、深槽附近较大的流速有利于可溶性化学品的稀释扩散,也造成了较大面积水域的污染。因此应在化学品泄漏初期及时采取有效措施,防止更严重的损失。

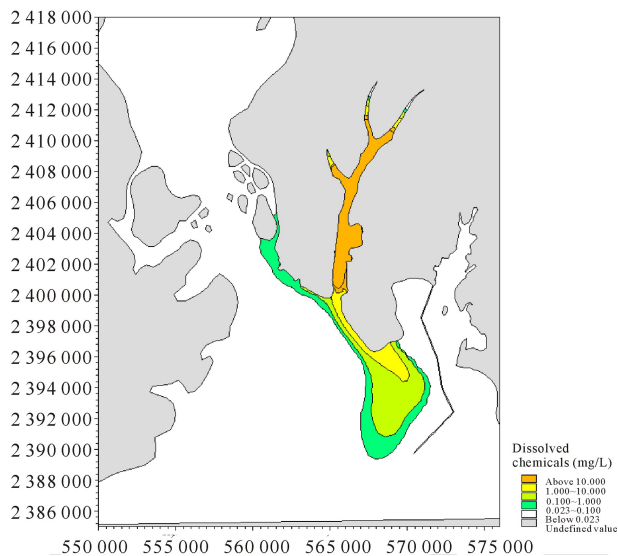


图5 低潮平潮时泄漏后48h扫海面积

Fig. 5 The polluted area 48 h after a leakage occurred at low and flat water

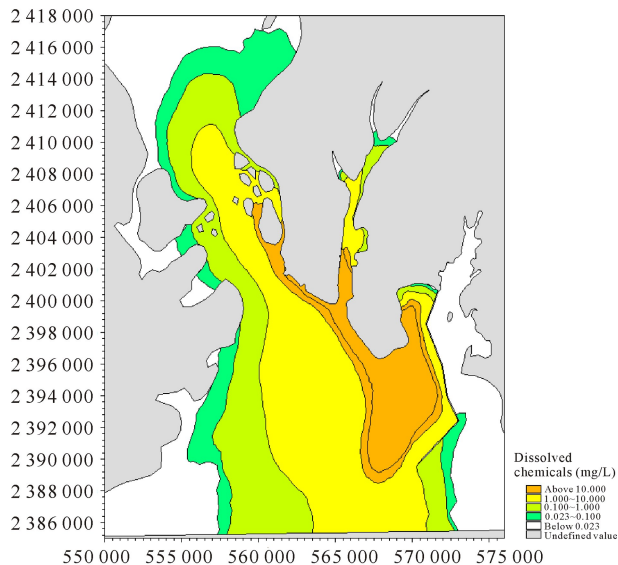


图6 高潮平潮时泄漏后48h扫海面积

Fig. 6 The polluted area 48 h after a leakage occurred at high and flat water

3 结论

本研究以 MIKE 21 HD 计算的钦州湾水动力场为基础,对金鼓江码头附近水域可能发生的可溶性化学品泄漏进行了情景模拟,主要发现如下:

(1)钦州湾龙门潮位站的最大潮差约为 3 m,潮汐为全日潮特征。实测流速显示大潮期钦州湾最大潮流流速为 1.35 m/s,平均流速约为 40 cm/s,落潮流大于涨潮流。潮流呈现典型往复流特征,无论涨落潮航道附近的流速均较其他区域大。

(2)低潮时发生泄漏,化学品向北漂移,48 h 后

影响范围覆盖金鼓江上游全部水域、保税港区沿海及其以南的外海,污染面积为 42.884 0 km²;高潮时发生泄漏,48 h 后影响范围向南超过 21°33'N,向北几乎到达茅尾海中中部,对茅尾海七十二泾处的养殖以及旅游产业等造成很大的影响。

风对海流有很大作用,在本研究的基础上,下一步将基于北部湾 WRF 模型的风场,进一步优化可溶性化学品输运模拟的研究,为地方经济发展和海洋环境保护提供科技支撑。

参考文献:

- [1] 李筠,陈荣昌,颜惠民.基于溢油轨迹和归宿模型的钦州湾溢油风险研究[J].港航节能,2010,1:19-24.
LI Y, CHEN R C, YAN H M. Oil spill risk assessment based on oil spill trajectory and fate model[J]. Port and Waterway Energy Conservation, 2010, 1: 19-24.
- [2] 龙颖贤,韩保新,宋巍巍.钦州湾突发性溢油的生态风险研究[C].北京:战略环境评价中的区域生态风险评估理论与方法国际研讨会论文集,2011:209-214.
LONG Y X, HAN B X, SONG W W. Research on ecological risk caused by oil spill in Qinzhou Bay[C]. Beijing: Proceedings of the International Symposium on Theories and Methods of Regional Ecological Risk Assessment in Strategic Environmental Assessment, 2011: 209-214.
- [3] 黄成.二维海上溢油扩散预测模型及其在广西近海的应用[D].长沙:长沙理工大学,2013.
HUANG C. The forecasting model for the spread of two dimensional oil spill and its application in Guangxi offshore[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2013.
- [4] 牙韩争,李谊纯,董德信.钦州湾海上溢油扩散数值模拟[J].广西科学,2016,23(2):156-162.
YA H Z, LI Y C, DONG D X. Numerical simulation of oil spill in the Qinzhou Bay[J]. Guangxi Sciences, 2016, 23(2): 156-162.
- [5] 丁大星.化学品水域泄漏三维浓度场研究[D].大连:大连海事大学,2014.
DING D X. Numerical simulation of 3D concentration field concerning chemicals leakage in waters [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2014.
- [6] 程锦潮.内河油类和危险化学品泄漏风险识别及应急对策[J].中国水运,2009,9(9):99-100.
CHENG J C. Risk identification of oil and hazardous chemical leakage in inland river and emergency strategies[J]. China Water Transport, 2009, 9(9): 99-100.
- [7] 刘晓东.长江下游水域码头硫酸泄漏事故风险评价

[J]. 水资源保护, 2009, 25(3): 76-79.

LIU X D. Risk assessment of vitriol leakage accident at wharf in downriver reach of Yangtze River[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(3): 76-79.

- [8] 姜尚, 吴耀建, 罗阳, 等. 基于Delft3D模型的液体化工码头醋酸泄露风险数值模拟[J]. 海洋湖沼通报, 2013, 1: 137-144.

JIANG S, WU Y J, LUO Y, et al. Numerical simulation for the risk of the acetic acid leakage from liquid chemicals terminal based on Delft3D model[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013, 1: 137-144.

- [9] 王光明, 韩龙喜, 张茜, 等. 长江下游水溶性化学品泄漏风险预测研究[J]. 四川环境, 2016, 35(4): 36-41.

WANG G M, HAN L X, ZHANG X, et al. Prediction study on the leakage risk of water soluble chemical in lower reaches of Yangtze River[J]. Sichuan Environ-

ment, 2016, 35(4): 36-41.

- [10] 广西壮族自治区环保厅. 广西壮族自治区近岸海域环境功能区划调整方案[Z]. 南宁: 中国广西壮族自治区人民政府办公厅, 2011.

Department of Environment Protection of Guangxi Province. Environmental function arrangement modulation plan of Guangxi coastal area[Z]. Nanning: Office of People's Government of Guangxi, 2011.

- [11] 黄自强, 张克许, 昆灿, 等. 海水水质标准: GB 3097—1997[S]. 北京: 环境科学出版社, 2004.

HUANG Z Q, ZHANG K X, KUN C, et al. Sea water quality standard: GB 3097—1997[S]. Beijing: Environmental Science Press, 2004.

(责任编辑: 陆 雁)

(上接第 129 页 Continue from page 129)

- [9] 中华人民共和国农业部. 建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程: SC/T 9110—2007[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.

Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical regulation for impact assessment of construction projects on marine living resources: SC/T 9110—2007[S]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2008.

- [10] PINKAS L M, OLIPHANT S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters[J]. Calif Fish Game, 1971, 152: 5-10.

- [11] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: The University of Illinois Press, 1949.

- [12] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. Society for General Systems Research, 1958, 3: 36-71.

- [13] PIELOU E C. Ecological diversity[M]. New York: Wiley, 1975.

(责任编辑: 陆 雁)