

## ◆特邀栏目◆

## 钦州湾典型工程溢油对周边海域影响的数值模拟研究\*

杨建强, 陈逸航, 陈玲, 李柏池, 高劲松\*\*

(南宁师范大学, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001)

**摘要:**广西龙门大桥作为滨海公路, 是北部湾区域经济的控制性工程, 存在一定的溢油风险。本研究基于 FV-COM 模型分析钦州湾的潮流特征, 通过溢油模型对无风、全年最大概率常风和极值风等 3 种风况情景下的油膜漂移扩散特征和归宿行为进行研究。结果表明, 钦州湾潮流主要为往复流, 龙门水道最大流速可达 1.8 m/s。风速、风向和发生时刻对油膜厚度、残油量、最大扩散距离和扫海面积有重要作用; 风速越大, 溢油蒸发速度越快; 同等风速下, 72 h 后北向风的油膜厚度和残油量大于南向风, 而高潮时发生溢油 72 h 后油膜的最大扩散距离比低潮时大。涨潮期间, 极值风风况情景下油粒子到达广西茅尾海红树林自治区级自然保护区坚心围片; 落潮期间, 油粒子扩散至钦州港青菜头南浅海滩涂养殖区。研究结果为提升溢油预警预测能力、降低溢油造成的损失提供了理论基础。

**关键词:**钦州湾; 龙门大桥; 溢油; 数值模型; 漂移扩散和归宿

中图分类号: P731.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2023)02-0394-09

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20220922.001

根据《北部湾港总体规划(2021-2035年)》, 2025年和2035年货物吞吐量将分别达到 $5 \times 10^8$  t和 $1 \times 10^9$  t, 主要货类包括集装箱、金属矿石、煤炭、石油等, 北部湾海域存在发生大规模溢油污染的风险<sup>[1]</sup>。溢油事故会恶化海洋生态环境并对海洋生物构成严重威胁<sup>[2]</sup>, 最终造成海洋生态系统失衡<sup>[3]</sup>。以美国墨西哥湾为例, 经过十年的自然恢复和人工生态恢复, 生态环境仍未恢复到溢油事故之前<sup>[4]</sup>。在北部

湾海域, 2008年广西涠洲岛海域发生的溢油事件导致受污染的养殖面积超 $1\,333\text{ m}^2$ , 养殖产量损失约4 000 t, 经济价值约8 000万元<sup>[5]</sup>, 还未计算由此造成的生态环境损失。

龙门大桥横跨钦州茅尾海龙门水道, 是联系北部湾区域经济的滨海公路(公车至钦州港段)的控制性工程<sup>[6]</sup>。龙门大桥南北侧海域内有红树林保护区、海洋公园、牡蛎养殖区和沿海旅游区等敏感区(图1)。

收稿日期: 2022-04-18

修回日期: 2022-08-28

\* 国家自然科学基金项目(41966001), 广西自然科学基金项目(2018GXNSFDA281031), 广西科技重大专项(桂科 AA18118025)和国家级大学生创新创业训练计划项目(201910603081)资助。

## 【第一作者简介】

杨建强(1997-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事自然地理学研究。

## 【\*\*通信作者】

高劲松(1984-), 男, 博士, 研究员, 主要从事物理海洋方面研究, E-mail: keytothesuccess@163.com。

## 【引用本文】

杨建强, 陈逸航, 陈玲, 等. 钦州湾典型工程溢油对周边海域影响的数值模拟研究[J]. 广西科学, 2023, 30(2): 394-402.

YANG J Q, CHEN Y H, CHEN L, et al. Numerical Simulation Research on the Effect of Oil Spill from Typical Engineering on the Surrounding Waters in Qinzhou Bay [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(2): 394-402.

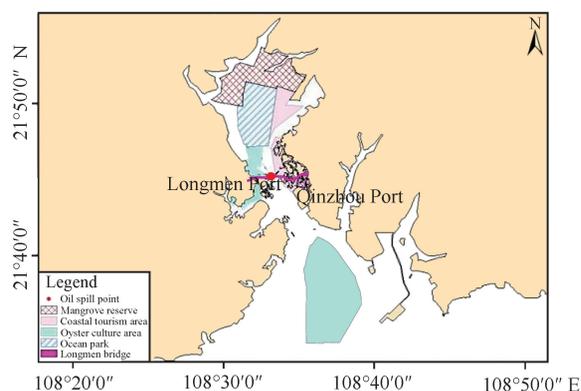


图1 龙门大桥附近海域敏感区分布

Fig. 1 Distribution of sensitive areas around the sea area of the Longmen Bridge

在龙门大桥施工和运营过程中,可能出现船舶和车辆碰撞从而引发溢油事故,对龙门大桥南北两侧海域内的敏感区造成破坏。

研究人员对珠江狮子洋<sup>[7]</sup>、长江流域<sup>[8]</sup>、青岛港油港区<sup>[9]</sup>、大亚湾<sup>[10]</sup>、厦门海域<sup>[11]</sup>、崎头洋<sup>[12]</sup>和金塘港<sup>[13]</sup>等海域应用数值模型模拟了溢油事故发生后的油膜漂移轨迹和扩散范围。在钦州湾,李筠等<sup>[14]</sup>利用 Olimap 溢油模型对钦州湾航道和锚地发生溢油事故后产生的后果进行模拟,发现钦州湾海岸线和湾内敏感资源在航道和锚地发生溢油事故后均受到不同程度的影响。牙韩争等<sup>[15]</sup>基于 MIKE 模型在不同工况条件下对钦州港海上溢油扩散进行数值模拟,得出钦州湾海上溢油漂移扩散的特点和影响因素。曾小辉等<sup>[16]</sup>对钦州湾围滩的前沿码头的溢油事故进行预测,模拟在两种盛行风工况下的油膜漂移轨迹、扫海面积和油膜厚度。吴桂丹等<sup>[17]</sup>对代表风况下钦州湾金鼓江的溢油事故进行模拟,分析风场对溢油轨迹和油膜厚度的影响。曾濠<sup>[18]</sup>对在不同风况和潮时组合下钦州湾海上溢油过程进行研究,模拟不同扩散系数、固定源点、动点源点下溢油扩散情况。在北部湾,杨毅等<sup>[19]</sup>对涠洲岛附近海域的溢油进行数值模拟,得到在不同工况下溢油事故发生后油膜到达敏感区的时间。然而目前针对龙门大桥的溢油事故风险分析还未见报道。为探究龙门大桥的溢油事故对周边红树林保护区、沿海旅游区、海洋公园和牡蛎养殖区等敏感区的影响,本文拟通过 FVCOM 模型<sup>[20]</sup>和溢油模型分析无风、全年最大概率常风和极值风风况情景下溢油扩散特征及其对敏感区的影响程度,从而提高应急处置能力,降低生态和经济损失。

## 1 模型设置

### 1.1 水动力模型

水动力模型采用 FVCOM 模型,该模型采用三角形网格,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。模型计算区域如图 2 所示,包括 33 764 个网格单元和 18 601 个网格节点,对龙门水道附近进行网格加密,最小分辨率为 30 m,模型的水深数据基于 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。模型计算步长为 30 s,计算时间为 2016 年 6 月 15 日 16:00 到 2016 年 6 月 30 日 00:00。



图2 模型计算区域和网格分布

Fig. 2 Model calculation area and grid distribution

### 1.2 溢油模型

溢油模型考虑风、流、物理分散作用和 STOKES 散射等引起的粒子移动,对溢油的风化、扩散、溶解、岸线吸附等一系列过程进行模拟,预测溢油的漂移轨迹和物理转化过程。潮流数据来自 1.1 节的 FVCOM 水动力模型结果。

#### 1.2.1 湍流和随机游动扩散过程

①湍流过程。模型假设泄漏油品可概化成独立的具有已知质量的拉格朗日粒子。油粒子在  $t$  时刻的位置向量表示为  $X_t$ :

$$\vec{X}_t = \vec{X}_{t-1} + \Delta t \vec{U}_{oil}, \quad (1)$$

式中,  $\Delta t$  为时间步长(s);  $\vec{X}_{t-1}$  为表面油粒子位置,  $t-1$  即  $t - \Delta t$  时刻;  $\vec{U}_{oil}$  为粒子的漂移速率(m/s)。

粒子的漂移速率  $\vec{U}_{oil}$  (m/s) 计算公式如下:

$$\vec{U}_{oil} = \vec{U}_w + \vec{U}_i + \vec{U}_r + \alpha \vec{U}_e + \beta \vec{U}_p, \quad (2)$$

式中,  $\vec{U}_w$  为风力和波浪作用产生的速度分量(m/s);

$\vec{U}_t$  为潮流作用产生的速度分量(m/s);  $\vec{U}_r$  为余流(如密度流)作用产生的速度分量(m/s);  $\vec{U}_e$  为埃克曼流作用产生的速度分量(m/s);  $\vec{U}_p$  为喷射流作用产生的速度分量(m/s)。油粒子为表面漂浮粒子时,  $\alpha$  取值为 0; 若为水下粒子时,  $\alpha$  取值为 1。溢油泄漏方式为非喷射型泄漏时,  $\beta$  取值为 0; 若为喷射型泄漏时,  $\beta$  取值为 1。

②风力系数。风力系数是油膜漂移速率与风速的比值。油膜漂移速率  $U_{wc}$  和  $V_{wc}$  的计算公式如下:

$$U_{wc} = C_1 U_w, \quad (3)$$

$$V_{wc} = C_1 V_w, \quad (4)$$

式中,  $U_w$  为风速的东向分量(m/s);  $V_w$  为风速的北向分量(m/s);  $C_1$  为风力系数(%), 本评价取 3%。

③随机游动扩散过程。模型加入了随机游动扩散过程, 该过程是一种随机现象, 描述了粒子以随机方向和随机大小移动。油膜的弥散距离计算公式如下:

$$x_{dd} = \gamma \sqrt{6D_x \Delta t}, \quad (5)$$

$$y_{dd} = \gamma \sqrt{6D_y \Delta t}, \quad (6)$$

式中,  $D_x$ 、 $D_y$  分别表示  $x$  和  $y$  方向的水平弥散系数( $m^2/s$ );  $\Delta t$  表示时间步长(s);  $\gamma$  表示随机数, 取值为 -1 至 +1。

### 1.2.2 归宿模型

①延展过程。延展是湍流扩散以及重力、惯性、黏性和表面张力平衡联合作用的结果。延展过程决定了表面浮油的面积扩展, 从而进一步影响水面油膜的蒸发、溶解、扩散和光氧化作用。由于厚油膜延展造成的浮油面积的变化速率  $\tilde{A}_{tk}$  ( $m^2/s$ ) 计算公式如下:

$$\tilde{A}_{tk} = \frac{dA_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left( \frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3}, \quad (7)$$

式中,  $A_{tk}$  为浮油表面积( $m^2$ ),  $K_1$  为延展速率常数(1/s),  $V_m$  为浮油体积( $m^3$ ),  $t$  为时间(s)。

②蒸发过程。蒸发过程可导致 20% - 40% 的浮油从水面进入大气, 具体百分比取决于油种。油品蒸发率  $F_v$  计算公式如下:

$$F_v = \ln[1 + B(T_G/T)\theta \exp(A - BT_0/T)][T/(BT_G)], \quad (8)$$

式中,  $T_0$  为修正的蒸馏曲线的初沸点(K),  $T_G$  为修正的蒸馏曲线的梯度,  $T$  为环境温度(K),  $A$ 、 $B$  为无量纲常数,  $t$  为时间(s),  $\theta$  为蒸发能力。

③乳化过程。水-油乳化物又称为乳胶状物, 它的形成取决于油的组分和水环境条件。乳化油可能有 80% 是以连续相油存在的微米级油粒子。乳化油的黏度通常要高于形成乳化油之前的油品黏度。由于水的混入, 油/水混合物的体积明显增大。水混入油相的速率  $\tilde{F}_{wc}$  (1/s) 计算公式如下:

$$\tilde{F}_{wc} = \frac{dF_{wc}}{dt} = K_2 U^2 \left( 1 - \frac{F_{wc}}{C_2} \right), \quad (9)$$

式中,  $U$  为风速(m/s),  $K_2$  为经验常数,  $C_2$  为常数(用于控制水分的最大比例),  $F_{wc}$  为水在油相中的最大比例(油品特性参数)。本研究考虑的柴油属于水包油型乳化油。

### 1.2.3 模型设置

本研究考虑运营期桥上油罐车发生交通事故坠海导致的溢油事故, 因此假设 10 t 柴油在 1 h 内全部泄漏入海, 溢油模型各参数参照文献[14], 纵向扩散系数取  $0.25 m^2/s^2$ , 横向扩散系数取  $0.1 m^2/s^2$ , 水温设置为  $25^\circ C$ , 并假定油膜最终扩展厚度为 0.01 mm, 泄漏地点位于钦州湾龙门水道中部(图 1)。根据钦州湾气象统计结果, 本次模拟取无风、全年最大概率常风(北向、南向, 全年平均风速 3.3 m/s)和极值风(北向 22.5 m/s、南向 12.5 m/s)等情景进行预测, 同时每个风况情景下分别设置两个溢油发生时刻(高潮和低潮), 共设计 8 组不同工况。

### 1.3 模型验证

采用龙门站的水位(T1)和 6 个潮流站(P1、P2、P3、P4、P5、P6)的观测结果进行验证, 位置分布如图 3 所示。水位观测时间为 2016 年 6 月 24 日至 6 月 25 日(大潮期), 潮流数据为连续 28 h 的观测结果。由验证结果可知, 水动力模型计算的潮位过程与实测资料吻合较好, 高、低潮时的相位差不超过 0.5 h, 模拟结果的潮差略小于观测值, 观测和计算结果的偏差基本小于 0.4 m。龙门水位的最大潮差约 3 m, 潮汐为全日潮特征(图 4)。水动力模型模拟潮位、流速、流向与实测数据验证较为吻合(图 5), 因此本研究的水动力模拟结果可用来模拟溢油事故。

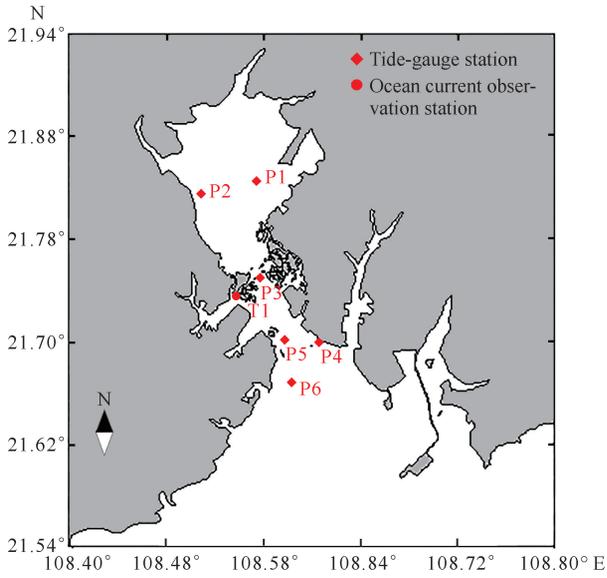


图3 水文观测站和潮流观测站分布

Fig. 3 Distribution of hydrological observation stations and tidal current observation stations

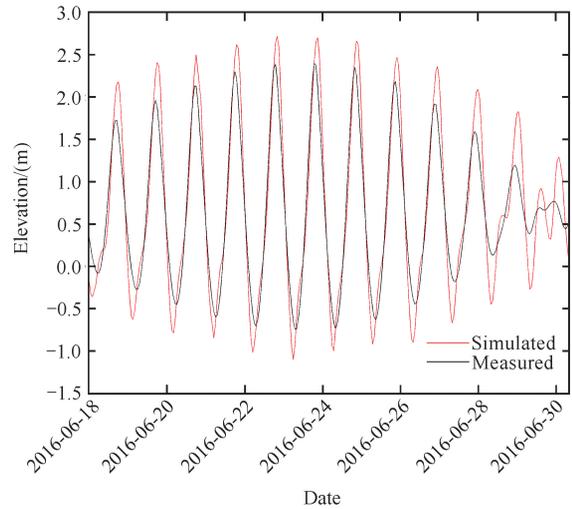


图4 龙门潮位站观测和模拟值验证

Fig. 4 Verification of observation and simulation value in the Longmen tidal station

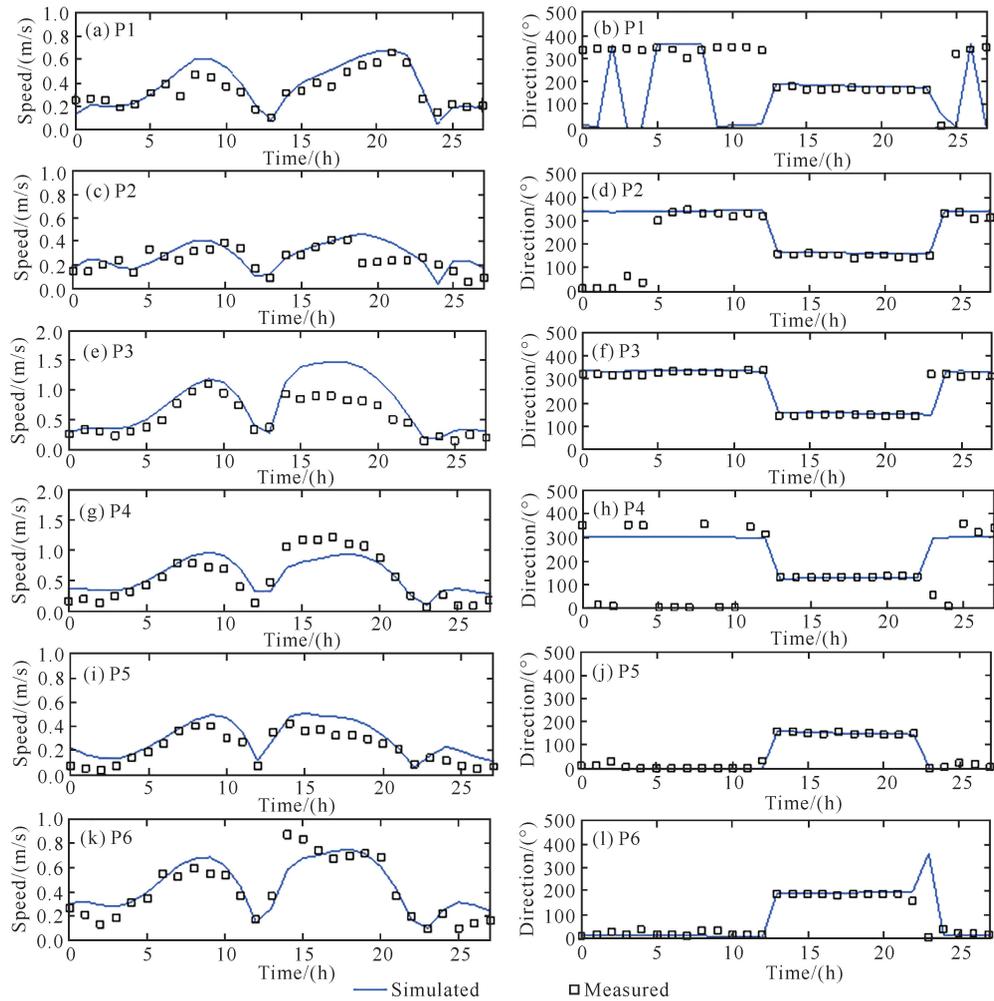


图5 大潮期6个观测站的流速和流向验证结果

Fig. 5 Verification results of flow velocity and direction of six observation stations in spring tide period

## 2 结果与分析

### 2.1 钦州湾潮流特征

大潮期涨急时刻和落急时刻的垂向平均潮流场分布如图6所示。从图6(a)可以看出,钦州湾潮流运动形式以往复流为主,涨潮时刻大部分海域流向以偏北方向为主,涨潮流从湾口汇入龙门海峽峡口,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,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。从图6(b)可以看出,落潮时刻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海峽峡口,至钦州外湾后呈放射状散开,落潮流速大于涨潮流速。受岸形收缩的影响,湾内流速通常大于湾外,在龙门海

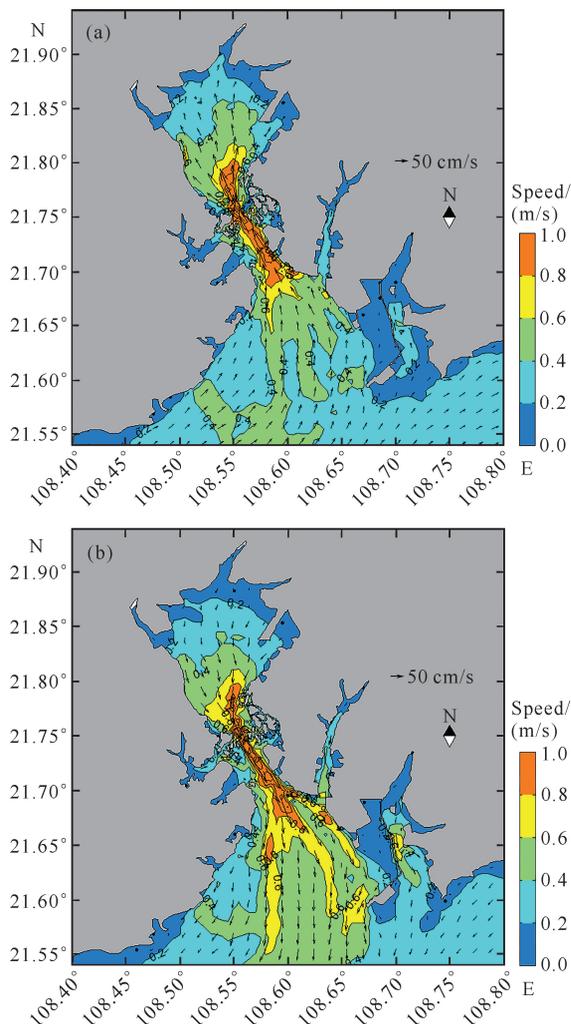


图6 钦州湾大潮期涨急时刻(a)和落急时刻(b)流场分布

Fig. 6 Current distribution of uprush moment (a) and downrush moment (b) during the spring tide in the Qinzhou Bay

峽处流速最大。在涨急时刻和落急时刻,由于龙门海峽处两边岸线突然收窄,狭管效应导致龙门水道附近的潮流流速明显增大,最大流速为1.8 m/s。擦人墩东侧和大胖山南侧最大流速为1.2 m/s。

### 2.2 溢油漂移扩散和归宿预测

溢油的漂移扩散和归宿行为受风速、风向和发生时刻共同控制,不同风况情景下72 h后的油膜厚度、残油量、最大扩散距离和扫海面积有较大差异。

首先,风速和风向对油膜的厚度和残油量有重要影响。由表1可知,低潮时发生溢油的时间经过72 h后,无风情景下油膜厚度为0.43 mm,残油量为4.85 t;而北向风(3.3 m/s)情景下,油膜厚度为0.37 mm,残油量为4.29 t,同等风速下,南向风油膜厚度比北向风小0.06 mm,残油量小0.67 t;极值南风(12.5 m/s)和极值北风(22.5 m/s)情景下,油膜厚度分别为0.25 mm和0.10 mm,残油量分别为2.92 t和1.24 t。

其次,溢油的发生时刻对油膜最大扩散距离和扫海面积有重要影响。由表2可知,4种风况情景下高潮时发生溢油的最大扩散距离比低潮时平均多10.36 km,扫海面积平均多81.41 km<sup>2</sup>。极值风风况情景下,低潮时最大扩散距离比无风情景下多2.49 km,扫海面积多23.20 km<sup>2</sup>;高潮时最大扩散距离比无风情景下多14.60 km,扫海面积多205.94 km<sup>2</sup>。

最后,溢油发生时刻对敏感区的影响程度也存在差异。低潮时释放油粒子在涨潮流作用下向北漂去,在不同风况情景下,油粒子会在10.0–10.5 h后到达龙门大桥北侧茅尾海海域内的红树林保护敏感区,到达敏感区时的油膜厚度为0.56–0.76 mm,在极值南风(12.5 m/s)情景下,72 h内在敏感区的扫海面积为38.65 km<sup>2</sup>。高潮时释放油粒子在落潮流作用下向南漂去,在不同风况情景下,油粒子会在3.9–4.3 h后到达溢油点南侧的红树林保护区,到达敏感区时的油膜厚度为0.24–0.85 mm,在极值北风(22.5 m/s)情景下,72 h内在敏感区的扫海面积为90.57 km<sup>2</sup>。

低潮时发生溢油时,油膜可扩散至茅尾海国家级海洋公园、七十二泾风景区边缘,在极值风风况情景下,低潮时发生溢油的最大扩散距离为15.38 km,可能到达广西茅尾海红树林自治区级自然保护区坚心围片,但基本不会扩散至七十二泾片(图7);高潮时发生溢油的最大扩散距离为34.92 km,落潮期间油粒子向南漂移,将扩散至规划养殖区(钦州港青菜头

南浅海滩涂养殖区), 但不会扩散至金鼓江红树林分布区、三娘湾旅游度假区及北部湾中华白海豚活动区、北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区(图7)。

表 1 不同风况情景下油膜厚度和残油量

Table 1 Oil depth and residual oil amount under different wind conditions scenarios

风况 Wind conditions	溢油后 经过时间/ (h) Time after oil spill/(h)	低潮时发生溢油 Oil spills occur at low tide		风况 Wind conditions	溢油后 经过时间/ (h) Time after oil spill/(h)	高潮时发生溢油 Oil spills occur at high tide	
		油膜厚度/ (mm) Thickness of oil slick/ (mm)	残油量/(t) Residual oil mass/(t)			油膜厚度/ (mm) Thickness of oil slick/ (mm)	残油量/(t) Residual oil mass/(t)
No wind	6	0.83	6.75	No wind	6	0.80	6.62
	12	0.72	6.20		12	0.71	6.13
	24	0.61	5.69		24	0.59	5.65
	72	0.43	4.85		72	0.41	4.80
Northward wind (average wind speed was 3.3 m/s)	6	0.73	6.03	Northward wind (average wind speed was 3.3 m/s)	6	0.74	6.20
	12	0.64	5.53		12	0.66	5.74
	24	0.54	5.07		24	0.56	5.29
	72	0.37	4.29		72	0.38	4.49
Southward wind (average wind speed was 3.3 m/s)	6	0.62	5.08	Southward wind (average wind speed was 3.3 m/s)	6	0.75	6.25
	12	0.54	4.66		12	0.67	5.79
	24	0.45	4.28		24	0.58	5.34
	72	0.31	3.62		72	0.39	4.53
Southward wind (extreme wind, maximum wind speed was 12.5 m/s)	6	0.50	4.09	Northward wind (extreme wind, maximum wind speed was 22.5 m/s)	6	0.21	1.71
	12	0.44	3.76		12	0.18	1.58
	24	0.37	3.45		24	0.15	1.46
	72	0.25	2.92		72	0.10	1.24

表 2 溢油 72 h 后最大扩散距离和扫海面积

Table 2 Maximum diffusion distance and sea sweeping area of oil spill after 72 h

风况 Wind conditions	低潮时发生溢油 Oil spills occur at low tide			高潮时发生溢油 Oil spills occur at high tide		
	最大扩散 距离/(km) Maximum diffusion distance/(km)	扫海面积/ (km <sup>2</sup> ) Sea sweeping area/(km <sup>2</sup> )	敏感区 扫海面积/ (km <sup>2</sup> ) Sea sweeping area of sensitive area/(km <sup>2</sup> )	最大扩散 距离/(km) Maximum diffusion distance/(km)	扫海面积/ (km <sup>2</sup> ) Sea sweeping area/(km <sup>2</sup> )	敏感区 扫海面积/ (km <sup>2</sup> ) Sea sweeping area of sensitive area /(km <sup>2</sup> )
No wind	12.89	24.26	11.56	20.32	60.89	38.41
Northward wind (average wind speed was 3.3 m/s)	12.61	22.92	7.57	20.50	61.98	39.21
Southward wind (average wind speed was 3.3 m/s)	13.24	27.98	18.30	19.83	58.57	34.58
Extreme wind (maximum wind speeds were 12.5 m/s and 22.5 m/s, respectively)	15.38	47.46	38.65	34.92	266.83	90.57

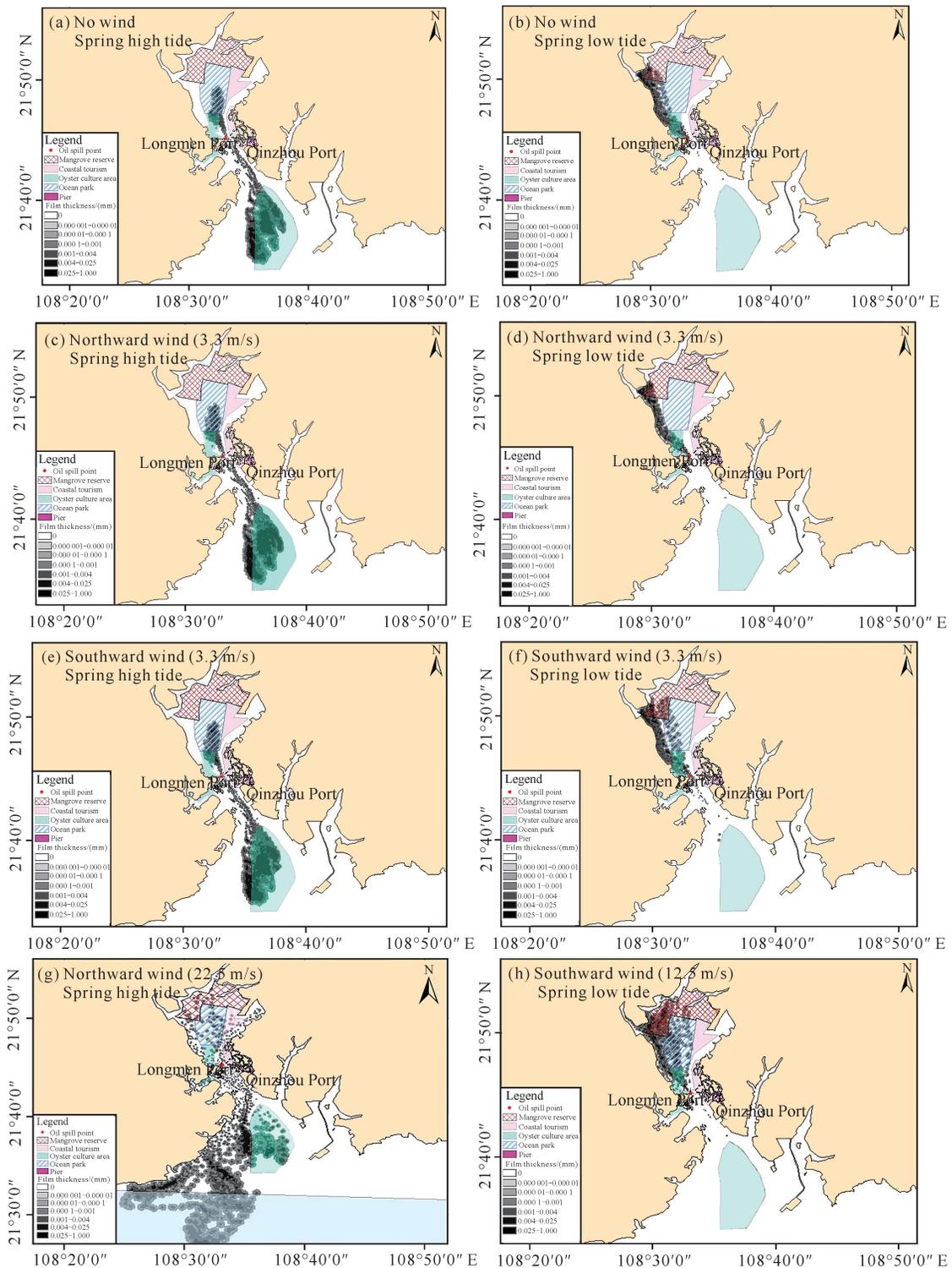


图7 不同风况情景下大潮高潮时和低潮时发生溢油的油膜特征

Fig. 7 Oil characteristics occurred at high and low tide level under the different wind conditions scenarios

此外,龙门大桥附近存在一些无证的养殖区,在低潮无风时发生溢油事故后,油粒子在涨潮流的作用下向茅尾海漂去,在最初的几小时会经过养殖区从而对养殖区的功能造成严重影响。因此需要在溢油发生的前几小时内采取围油栏等措施,降低溢油的生态

和经济损失,同时加强大桥的交通安全管理 and 强化海上航行安全措施,减少溢油事故的发生。

### 3 结论

龙门大桥是广西典型的海洋工程,在工程建设中

存在一定的溢油发生概率。为提高溢油预警预测能力,降低溢油造成的损失,本文通过 FVCOM 模型分析了钦州湾的潮流特征,并采用溢油模型预测油膜漂移轨迹和归宿行为,得出以下结论。①钦州湾潮流运动形式以往复流为主,流向总体较均匀,局部受地形影响而发生偏转。在涨急时刻和落急时刻,由于龙门海峡处两边岸线突然收窄,狭管效应导致龙门水道附近的潮流流速明显增大,最大流速为 1.8 m/s。②溢油的漂移扩散和归宿行为受风速、风向和发生时刻共同控制。风速越大,72 h 后的油膜残油量越低,厚度越薄。但在同等风速情景下,不同风向也会导致油膜的厚度和残油量存在差异。同等风速和风向情景下,高潮时发生溢油的最大扩散距离和扫海面积大于低潮时发生的溢油。③溢油事故发生后,溢油会扩散至龙门大桥南侧和北侧的敏感区,尤其是在涨潮极值风况情景下,若不采取有效的措施,溢油会到达广西茅尾海红树林自治区级自然保护区坚心围片,对敏感区的功能造成破坏。因此,今后仍需提高溢油预警预测能力,结合科学的应急处置方案如溢油围控、溢油集中和溢油导流等,从而降低溢油造成的损失。

#### 参考文献

- [1] 张明华.服务型政府视角下的北部湾海域防油污染对策研究[D].大连:大连海事大学,2012.
- [2] 张九新.海上溢油对海洋生物的危害评估研究[D].大连:大连海事大学,2011.
- [3] 贺世杰,王传远,刘红卫.海洋溢油污染的生态和社会经济影响[C]//中国环境科学学会.中国环境科学学会学术年会论文集(第四卷).北京:中国农业大学出版社,2013:2660-2667.
- [4] 董文婉,王彦昌,吴军涛.墨西哥湾溢油事件生态影响分析[J].油气田环境保护,2020,30(6):47-50,69.
- [5] 陈圆,青尚敏.广西北部湾海洋油污染影响与应急管理浅析[J].南方国土资源,2012(12):32-35.
- [6] 高衡,袁洪,欧阳平,等.广西滨海公路龙门大桥的绿色设计[J].公路,2018,63(7):143-148.
- [7] 刘军英.基于油粒子模型的珠江狮子洋溢油模型研究[J].广东化工,2020,47(13):41-43,55.
- [8] 黄轶康,李一平,邱利,等.基于 EFDC 模型的长江下游码头溢油风险预测[J].水资源保护,2015,31(1):91-98.
- [9] 尹德鹏.青岛港油港区溢油污染影响及防治措施研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [10] 袁春光,王义刚,黄惠明,等.大亚湾芒洲岛海域移动溢油数值模拟研究[J].海洋通报,2014,33(6):659-667.
- [11] 郑仕锋.厦门海域船舶溢油事故风险评价与应急对策研究[D].大连:大连海事大学,2012.
- [12] 高建丰,梅启亮,郑豫,等.崎头洋海域岙山码头溢油扩散数值模拟[J].中国水运(下半月),2022,22(3):24-26,103.
- [13] 欧阳锡钰,信书,耿宝磊,等.浙江金塘港海域溢油扩散数值模拟研究[J].海洋环境科学,2020,39(2):253-259.
- [14] 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].交通节能与环保,2010(1):19-24.
- [15] 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.
- [16] 曾小辉,方建章,安琪,等.钦州湾突发性溢油事故的数值模拟[C]//中国科学技术协会.中国科协 2009 年海峡两岸青年科学家学术活动月:海上污染防治及应急技术研讨会论文集.北京:中国环境科学出版社,2009:231-241.
- [17] 吴桂丹,朱冬琳,高劲松.钦州湾溢油数值模块及其应用[J].海洋湖沼通报,2019(2):24-31.
- [18] 曾濠.广西北部湾海域溢油迁移扩散数值模拟研究[D].舟山:浙江海洋大学,2020.
- [19] 杨毅,娄安刚,徐艳东,等.涠洲岛附近海域溢油数值模拟[J].海岸工程,2008,27(4):1-10.
- [20] CHEN C S, LIU H D, BEARDSLEY R C. An unstructured grid, finite-volume, three-dimensional, primitive equations ocean model: application to coastal ocean and estuaries [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2003, 20(1): 159-186.

# Numerical Simulation Research on the Effect of Oil Spill from Typical Engineering on the Surrounding Waters in Qinzhou Bay

YANG Jianqiang, CHEN Yihang, CHEN Ling, LI Baichi, GAO Jingsong\* \*\*

(Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

**Abstract:** As a coastal road, Guangxi Longmen Bridge is a control project of Beibu Gulf regional economy, and there is a certain risk of oil spill. In this study, based on the FVCOM model, the tidal current characteristics of Qinzhou Bay are analyzed. The oil spill model is used to study the oil film drift and diffusion characteristics and fate behavior under three wind conditions: no wind, annual maximum probability normal wind and extreme wind. The results show that the tidal current in Qinzhou Bay is mainly reversing current, and the maximum velocity of the Longmen channel can reach 1.8 m/s. Wind speed, wind direction and occurrence time play an important role in oil film thickness, residual oil, maximum diffusion distance and sweeping area. The greater the wind speed, the faster the evaporation rate of spilled oil. Under the same wind speed, the oil film thickness and residual oil amount of the north wind are greater than those of the south wind after 72 h, the maximum diffusion distance of the oil film after 72 h of oil spill at high tide is larger than that at low tide. During the flood tide, the oil particles reach the core enclosure of Maowei Sea Mangrove Nature Reserve in Guangxi under the extreme wind condition. During the ebb tide, the oil particles spread to the aquaculture area of Qingcaitou South Shallow Beach in Qinzhou Port. The research results provide a theoretical basis for improving the early warning and prediction ability of oil spill and reducing the loss caused by oil spill.

**Key words:** Qinzhou Bay; Longmen Bridge; oil spill; numerical model; drift diffusion and fate

责任编辑:唐淑芬



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxk@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxk.ijournal.cn/gxxk/ch>