

钦州湾蓄泥坑泥沙扩散数值模拟*

Numerical Modeling of Sediment Diffusion from a Mud-storage Pit in Qinzhou Bay

吴桂丹,高劲松**,朱冬琳

WU Guidan,GAO Jingsong,ZHU Donglin

(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)

(Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:【目的】近年来,钦州港的快速开发在带动海洋经济发展的同时,也对周围的海洋环境造成一定的压力,本研究试图寻找钦州湾海上工程产生的泥沙扩散对周围环境影响最小的施工方法。【方法】基于 ECOMSED 模型模拟钦州三墩作业区蓄泥坑开挖引起的水动力变化和泥沙扩散情景,通过敏感性实验测试了不同围挡实验对减少泥沙扩散面积的效果。【结果】发现钦州湾潮流场呈往复流特征,落潮流大于涨潮流。涨潮中间时大部分海域流向以偏北方向为主,最大潮流流速为 1.85 m/s;落潮中间时大部分海域的潮流为偏南向,最大潮流流速为 2.34 m/s。蓄泥坑的北部基本为西南向流,东部基本为南向流,南部和西部为东南向流。无论表层还是底层,蓄泥坑东北部的流场在工程前后变化较大,流速偏差约为 10%,表层和底层的平均流向偏差分别为 5.05°和 4.55°。无围挡泥沙扩散实验中浓度为 10 mg/L 的悬浮泥沙包络线影响范围较大,可影响到保留区和航道。围挡实验中,东开口和西开口的泥沙扩散面积与无围挡实验基本相同。而南开口和北开口的泥沙扩散面积明显减小。【结论】采用三面围挡仅北端开口的施工方法可以显著降低泥沙扩散对周围海洋环境的影响。

关键词:钦州湾 蓄泥坑 ECOMSED 悬浮泥沙 潮流

中图分类号:U616 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2018)01-0043-08

Abstract:【Objective】In recent years, while the rapid exploitation of Qinzhou Bay has led to the development of marine economic, it has also caused some pressure on the marine environment around it. Therefore, it is necessary to try to find out a construction method that has the least impact on the surrounding environment caused by the sediment diffusion from Qinzhou Bay marine engineering. 【Methods】The ECOMSED model was utilized to simulate the hydrodynamic changes and the sediment diffusion caused by the excavation of mud-storage pit in Qinzhou Sandun working area, and the effect of different enclosure tests on the reduction of sediment

diffusion area was tested by sensitivity experiments. 【Results】It was found that the tidal current in Qinzhou bay was basically reversing current, and the ebb current was larger than the flood current. Most of the current direction was northward and southward in the mid-time of flood tide and ebb tide, respectively, with a maximum speed of 1.85 m/s and 2.34 m/s, respectively. The northern part of the mud-storage pit was basically a southwest current, the east was basically a south current, the south and the west were a southeast current. No matter the surface

收稿日期:2017-12-01

修回日期:2017-12-27

作者简介:吴桂丹(1985—),女,实习研究员,主要从事海洋科学研究。

* 国家自然科学基金项目(41406044,41566001),广西科技攻关项目(桂科攻 1598016-8),广西自然科学基金项目(2015GXNSFCA139023)和广西科学院基本科研业务费项目(2017YJJ23005)资助。

** 通信作者:高劲松(1984—),男,副研究员,博士,主要从事海洋动力学和海洋生态动力学研究,E-mail: keytothesuccess@163.com.

layer or the bottom layer, the currents to the northeast of the pit experienced the most significant changes before and after the project, with the velocity deviation of about 10% and the average deviation of the surface layer and the bottom layer being 5.05° and 4.55°, respectively. The suspended solid envelope with a concentration of 10 mg/L in the non-enclosure sediment diffusion experiment had a large impact range, which could affect the reserved area and the shipping lane. In the enclosure experiment, the sediment diffusion areas in the east and west gap were basically the same as that of the non-enclosure test. However, the area of sediment diffusion in the south and north gap decreased significantly. **【Conclusion】** Therefore, the affection of sediment diffusion on the marine environment will be sharply reduced when the construction method uses a three-sided enclosure with only the gap in the north.

Key words: Qinzhou Bay, mud-storage pit, ECOMSED, suspended solid, tidal current

0 引言

【研究意义】钦州湾位于广西壮族自治区南部钦州市以南,由内湾(茅尾海)和外湾(狭义的钦州湾)组成,湾内岛屿众多,岸线曲折,具备建设大型港口的自然资源条件。根据钦州港总体规划及临港工业区发展规划,钦州港的港口定位是地区性重要港口,远期将发展成为工业服务为主的多功能现代化国际贸易深水港,到2020年,钦州港港口功能区需填海造地58.3 km²。因此,研究钦州湾围填海工程引起的泥沙扩散情况对海洋环境保护有重要意义。**【前人研究进展】**李树华等^[1-2],陈波等^[3-4],鲍献文等^[5],宋德海等^[6],游慕贤等^[7]和孙永根等^[8]通过观测数据和数值模型对钦州湾的水动力特征进行了研究,但有关钦州湾泥沙扩散的研究不多。王玉海等^[9-10]通过历史观测数据和FVCOM模型研究了围填海工程对钦州湾水下地形冲淤演变的影响,提出大量工程的叠加效应不能忽略。董德信等^[11]利用Mike模型模拟了2008年和2012年钦州湾岸线变化对悬浮泥沙扩散和底质冲淤变化的影响。孙永根等^[12]通过2007年和2010年的实测泥沙数据分析了钦州湾的泥沙分布特征,提出悬浮泥沙主要受潮流控制。**【本研究切入点】**随着钦州湾大量围填海工程的实施,有必要构建一个蓄泥坑来储泥,为下一个工程提供原料,但这种海上工程产生的泥沙扩散对周围环境会产生怎样的影响还没有文献进行描述。**【拟解决的关键问题】**基于ECOMSED模型,本研究详细分析蓄泥坑引起的水动力变化和泥沙扩散特征,并进行多种围挡施工的情景模拟,试图找出对环境影响最小的施工方法。

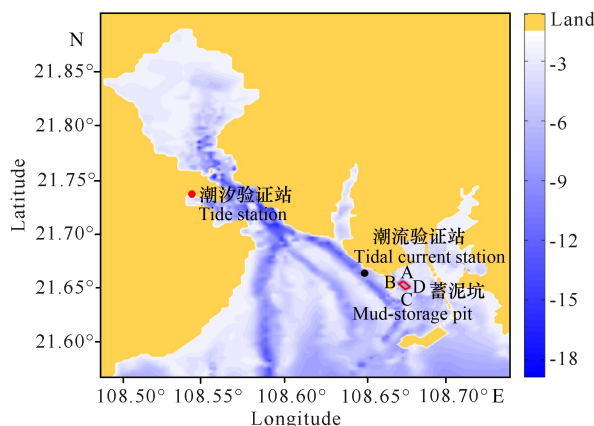
1 模型的建立

1.1 模型

采用的ECOMSED模型,共包含6个模块:水动力模块、黏性和非黏性泥沙输运模块、沉积物示踪模块、可溶性粒子输运模块、热通量模块和波浪模块,该

模型在模拟浅海污染物和泥沙输运方面有独特的优势。该模型采用了基于静力学假设和 Boussinesq 近似下的海洋封闭方程组;在水平方向上采用曲线正交网格,即 Arakawa C 网格;在垂直方向上采用 sigma 坐标,在拟合底地形方面比 z 坐标更准确,同时垂向上嵌套了 2.5 阶湍流封闭模型。模型的计算通过内外模的分离,提高了计算速度,在计算时其水平项和时间变化上采用显式差分,垂向上采用隐式差分。

模型计算区域位于 108.48°~108.84° E, 21.5675°~21.9° N(图1)。水平方向网格数为 134×105,水平分辨率为 0.15',约为 258 m。由于钦州湾的水深较浅,因此垂向上仅分成 7 个 sigma 层。开边界采用辐射边界条件,以潮汐调和常数驱动。本研究采用 K1, O1, P1, M2, S2 和 N2 等 6 个分潮,调和常数来自俄勒冈大学的中国海潮汐模型(<http://volkov.oce.orst.edu/tides/YS.html>),该模型在中国海的水平分辨率为 1/30',其中 K1 和 M2 的均方根误差(RMS)分别为 1.63 cm 和 4.16 cm^[13]。水深场采用海图水深,由于海图水深基准面为最低低潮面,因此需要将数据转化成平均海平面下的水深。

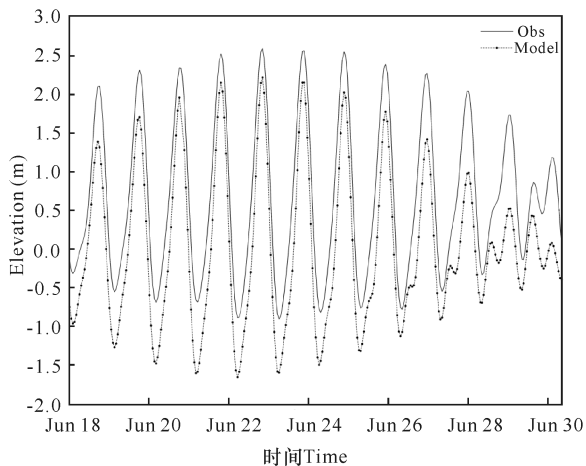


红色和黑色圆圈分别代表潮位和潮流验证点
Red circle: Water level station; Black circle: Tidal current station

图1 钦州湾水深分布

Fig. 1 The bathymetry in Qinzhou Bay

图 1 为钦州湾水深分布图,其中潮位验证点位于龙门(图 1 中的红色圆圈),经纬度为 108.54°E, 21.73°N。图 2 为观测和模型的潮位对比结果,观测时间为 2009 年 1 月 18 日至 1 月 30 日。可以看出观测潮位值与模型结果位相一致,变化同步,基本吻合。众所周知,实测的潮位值不仅包括周期性的变化,还包括一些扰动,因此模型与观测值的偏差在所难免,只要在一定幅度内都是可以接受的。



实线:实测值;点划线:模拟值

Solid line: Observation value; Dash line: Simulated value

图 2 龙门站实测和模拟潮位比较

Fig. 2 Comparison of observed and modeled water level at Longmen station

选取钦州湾东南部离岸较远的海流观测点来验证模型的准确性,站点位置如图 1 中的黑色圆圈所示,经纬度为 108.6481°E, 21.6625°N,海流观测时间为 2009 年 11 月 10 日的上午 10:00 至 11 月 11 日的上午 10:00。观测表明,钦州湾的表层平均落潮流速为 0.6 m/s,平均涨潮流速为 0.36 m/s,落潮时间为 11 h,涨潮时间为 14 h。底层的转向流时刻、涨潮时间、落潮时间与表层基本一致。受底摩擦影响,底层的流速值小于表层流速,底层的平均落潮流和涨潮流的流速分别为 0.46 m/s 和 0.29 m/s。从图 3 可以看出观测值与模型值基本吻合,但模型值比观测值略小,这与本研究只采用潮汐驱动未考虑季风等强迫因子有关。同时观测值和模型结果都显示钦州湾呈典型的全日潮流特征,落潮流流速略大于涨潮流速。

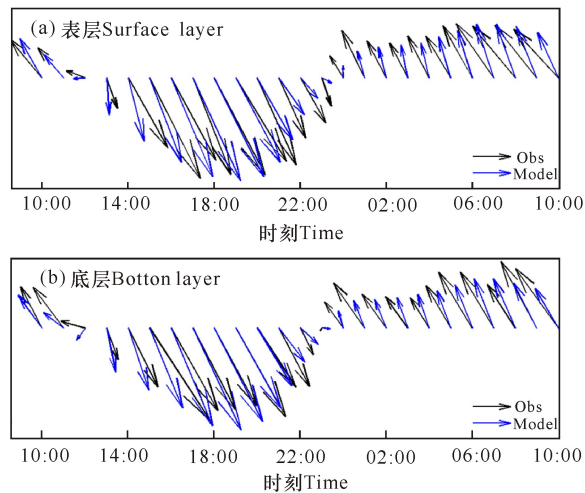
1.2 水动力模型设置

由于钦州湾的浅滩较多,所以在 ECOMSED 模型中加入干/湿网格判据,其中水动力模型的具体设置如下:

设置最小水深 $\epsilon = 0.1$ m, 当 $(D_{i-1,j} + D_{i,j}) * 0.5 \leq \epsilon$ 时水点干出,若 $(D_{i-1,j} + D_{i,j}) * 0.5 > \epsilon$ 时参

与计算,其中 $D = H + \eta$, H 为相对于平均海平面的水深, η 代表水位。

若 $(D_{i-1,j} + D_{i,j}) * 0.5 > \epsilon$, 当 $D_{i-1,j} > 0$ 且 $D_{i,j} > 0$ 时, $u_{i,j}$ 用动量方程计算,其它情况设为 0; 当 $D_{i,j-1} > 0$ 且 $D_{i,j} > 0$ 时, $v_{i,j}$ 用动量方程计算,其它情况设为 0。



黑色线:实测值;蓝色线:模型值

Black: Observation value; Blue: Simulated value

图 3 钦州湾表层和底层海流观测值和模型值验证结果

Fig. 3 Comparison of simulated and observed tidal current in the surface and bottom layer in Qinzhou Bay, respectively

1.3 泥沙输运模型设置

ECOMSED 可以模拟粘性和非粘性泥沙的输移,粘性泥沙由粘土、粉砂和有机物质组成,其再悬浮、沉积和输运用 SED 模块模拟。非粘性泥沙主要是细砂,使用 van Rijn 程序^[14] 计算。床床屏蔽的影响也引入了非粘性泥沙的输运模拟。这里床砂质的输移没有被考虑,因为它不会明显影响水体的光学性质。泥沙输移模块可以预测下列时空分布:(1)粘性与非粘性沙的悬沙浓度;(2)沙床高程的变化;(3)沙-水界面通量;(4)沙床组成的变化。具体控制方程如下:

其中泥沙的控制方程为

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial UC_k}{\partial x} + \frac{\partial VC_k}{\partial y} + \frac{\partial (W - W_{s,k})C_k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (A_H \frac{\partial C_k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H \frac{\partial C_k}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_H \frac{\partial C_k}{\partial z}) + S. \quad (1)$$

自由表面边界条件:

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = 0, z \rightarrow \eta. \quad (2)$$

底边界条件:

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = E_k - D_k, z \rightarrow -H. \quad (3)$$

侧边界条件:

$$\frac{\partial C_k}{\partial n} = 0, \quad (4)$$

其中 U, V, W 分别为 x 向, y 向及 z 向的流速, $W_{s,k}$ 为泥沙的沉降速度, C_k 为悬浮的粘性或非粘性泥沙的浓度, A_H 为水平扩散系数, K_H 为湍扩散系数, E_k 和 D_k 分别为再悬浮通量和沉降通量, η 为水位高度, H 为水深, S 为泥沙源强。

泥沙再悬浮通量表达式为

$$E_q = \frac{(sq_s - qzC_z)\Delta t}{\Delta x \Delta y}, \quad (5)$$

其中 C_z 为海底层的悬浮泥沙浓度, 而 q_s 的计算公式为

$$q_s = Fz u C_a. \quad (6)$$

另外, 泥沙沉降通量的表达式为 $D_2 = W_{s,2} C_2$, (7)

其中 D_2 为非粘性泥沙的沉降通量, 而 $W_{s,2}$ 为沉降速度, C_2 为海底的悬浮泥沙浓度。

2 结果与分析

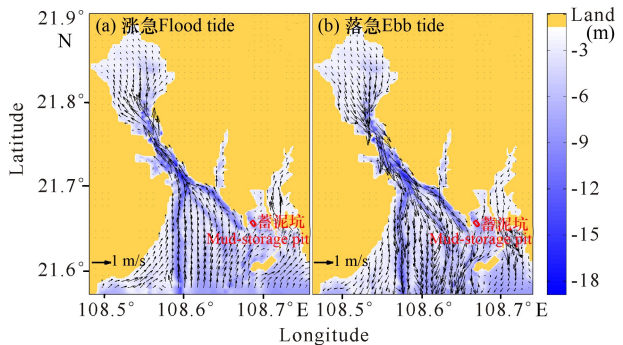
2.1 钦州湾流场分布

从图 4 可以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。最大潮流流速为 1.85 m/s, 对应流向 347°, 平均流速 0.34 m/s, 平均流向为 148°。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。最大潮流流速为 2.34 m/s, 对应流向 160°, 平均流速为 0.46 m/s, 平均流向为 176°。落潮流大于涨潮流。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它区域大。

2.2 蓄泥坑对背景流场的影响

蓄泥坑长度为 710 m, 宽度为 400 m, 面积约为 28.41 万 m^2 (位置如图 1 红色标记所示), 对应的 4 点位置分别为 A (108.6729° E, 21.6549° N)、B

(108.6699° E, 21.6527° N)、C (108.6739° E, 21.6476° N)、D (108.6770° E, 21.6498° N)。为此, 需要分析蓄泥坑对周围流场的影响, 由于钦州湾落潮流大于涨潮流, 因此本研究选取落潮中间时刻来分析蓄泥坑工程前后的流场变化。从图 5 可以发现蓄泥坑的北部基本为西南向流, 东部基本为南向流, 南部和西部为东南向流。



(a) 涨潮中间时; (b) 落潮中间时

(a) In the middle of flood tide; (b) In the middle of ebb tide

图 4 钦州湾大潮期流场分布

Fig. 4 The distribution of tidal current during spring tide in Qinzhou Bay

为了详细分析工程前后的流场变化, 本研究在 4 个角分别选取 3 个站点来分析流速和流向变化 (图 5), 结果如表 1 所示。表层落潮中间时, 工程前后流速偏差最大的两个站为 NE1 和 NW1 站, 其流速偏差分别达到 2.68 cm/s 和 1.65 cm/s, 而且这两个站工程前后的流向偏差分别为 5.20° 和 7.91°, 同时 NE2 站的流向偏差也达到了 6.89°。总的来讲, 蓄泥坑东北部的流速和流向影响最大, 平均流速偏差为 1.40 cm/s, 平均流向偏差为 5.05°。表层涨潮中间时 (未展示), 蓄泥坑西北部的 NW1 站和 NW2 站影响较大, 流速偏差和流向偏差分别为 (0.6 cm/s, 7.34°) 和 (0.35 cm/s, 3.71°)。

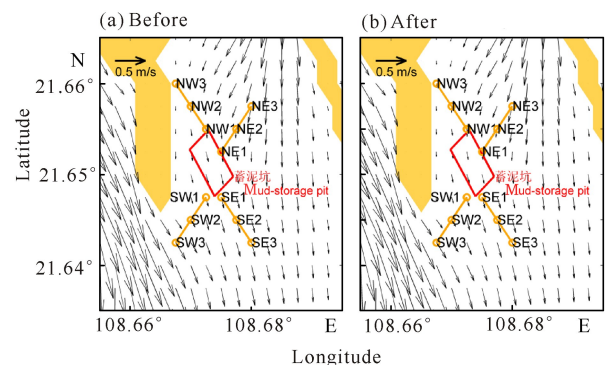


图 5 表层落潮中间时蓄泥坑工程前后流场分布特征

Fig. 5 The distribution characteristics of surface current before and after construction of mud-storage pit in the middle of ebb tide

底层的流场分布与表层基本相似,蓄泥坑的北部为西南向流,东部为南向流,而南部和西部为东南向流。与表层落潮中间时一样,底层落潮中间时(图 6)工程前后蓄泥坑东北部的流速流向偏差最大,平均流速偏差为 0.53 cm/s,平均流向偏差为 4.55°(表 2)。表层与底层变化基本相同,蓄泥坑东北部的流速偏差都为 10%左右。但与表层相比,底层的 NW1 站流速变化更大,其底层流速偏差为 24%,而表层流速偏差仅为 16.2%。

2.3 泥沙扩散结果

本研究在水动力模型基础上,嵌套泥沙输运模型模拟蓄泥坑挖泥期泥沙对周围环境的影响,由于主要模拟蓄泥坑挖泥期产生的悬浮泥沙对周围环境的影响,因此背景泥沙浓度设为 0,开边界泥沙浓度也设

为 0。

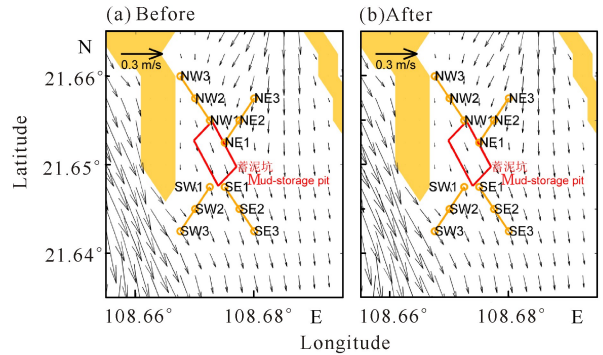


图 6 底层落潮中间时刻蓄泥坑工程前后流场分布特征

Fig. 6 The distribution characteristics of bottom current before and after construction of mud-storage pit in the middle of ebb tide

Table 1 The variation of surface current speed and direction before and after construction of mud-storage pit in the middle of ebb tide

断面 Cross section	工程前 Before construction		工程后 After construction		速度偏差 Speed difference (cm/s)	角度偏差 Direction difference (°)	
	速度 Speed (cm/s)	方向 Direction (°)	速度 Speed (cm/s)	方向 Direction (°)			
西北 Northwest	NW1	10.16	169.80	8.51	177.71	1.65	7.91
	NW2	6.60	180.36	7.10	181.86	0.50	1.50
	NW3	4.50	180.00	4.60	180.00	0.10	0.00
东北 Northeast	NE1	11.43	164.26	8.75	169.46	2.68	5.20
	NE2	10.07	186.84	9.26	193.74	0.81	6.89
	NE3	18.88	197.57	18.16	200.63	0.72	3.06
东南 Southeast	SE1	12.75	160.29	12.92	158.20	0.18	2.09
	SE2	15.19	157.15	15.35	155.77	0.16	1.38
	SE3	16.05	159.19	16.23	157.54	0.18	1.65
西南 Southwest	SW1	10.66	159.70	10.59	160.71	0.07	1.01
	SW2	10.41	138.50	9.90	136.64	0.51	1.87
	SW3	24.08	138.37	23.35	136.74	0.74	1.63

表 2 底层落潮中间时蓄泥坑工程前后断面流速流向变化

Table 2 The variation of bottom current speed and direction before and after construction of mud-storage pit in the middle of ebb tide

断面 Cross section	工程前 Before construction		工程后 After construction		速度偏差 Speed difference (cm/s)	角度偏差 Direction difference (°)	
	速度 Speed (cm/s)	方向 Direction (°)	速度 Speed (cm/s)	方向 Direction (°)			
西北 Northwest	NW1	5.32	151.99	4.02	153.43	1.30	1.44
	NW2	3.10	159.23	3.26	162.12	0.16	2.89
	NW3	2.00	180.00	2.10	180.00	0.10	0.00
东北 Northeast	NE1	5.25	149.04	4.52	144.90	0.73	4.13
	NE2	3.77	168.99	3.11	175.21	0.66	6.22
	NE3	6.71	197.35	6.52	200.66	0.19	3.30
东南 Southeast	SE1	5.95	153.00	6.31	150.59	0.37	2.41
	SE2	7.02	151.98	7.12	150.55	0.10	1.42
	SE3	7.20	154.50	7.33	154.13	0.13	0.37
西南 Southwest	SW1	4.57	156.80	4.85	158.20	0.28	1.40
	SW2	4.03	133.99	3.82	132.88	0.21	1.12
	SW3	9.27	136.31	9.19	135.00	0.07	1.31

另外,蓄泥坑采用规格为 4 500 m³/h 的耙吸式挖泥船挖泥,而耙吸式挖泥船挖泥过程搅动水体产生的悬浮泥沙量与挖泥船类型与大小、耙头种类、水力吸入能力的大小、作业现场的波浪与水流、现场水盐度、底质粒径分布有关。为减小溢流悬浮泥沙源强,在满仓溢流处设置过滤沉淀槽,槽壁内外加过滤网,进入槽内含泥沙水体沉淀后进入内侧二次沉淀槽,沉淀后通过溢流管排放,溢流管排放口设置在海底面上 0.5 m 处。通过二次沉淀过滤,溢流水体含泥量约为 10~15 kg/m³,按含泥量最大 15 kg/m³,计算当采用 4 500 m³/h 耙吸式挖泥船作业时,满仓溢流泥沙量(Q 值)最大为 18.75 kg/s。

根据 2014 年 12 月《钦州港 30 万吨级进港航道支航道工程疏浚物倾倒吹填拟设蓄泥坑周边海域海洋环境质量评估报告》,该区域砂(2~0.063 mm)和粉砂(0.063~0.004 mm)的比例约为 62%和 32%,因此本研究的泥沙中值粒径设为 1.1 mm。另外,计算泥沙沉速的公式较多(张瑞瑾^[15],钱宁和万兆惠^[16]),且多数实验在理想状态下,而实际海洋中泥沙沉降受海流扰动,泥沙颗粒互相干扰等因素影响,因此本研究取保守值 0.5 mm/s。模拟一个月后,泥沙扩散基本趋于稳定,取垂向平均结果来进行分析(图 7)。浓度为 10 mg/L、50 mg/L、100 mg/L 的悬浮泥沙扩散面积分别为 70.88 km²、36.64 km²及 22.93 km²,影响范围较大。其中 10 mg/L 的包络线向西和向南最远端扩散了 6.67 km 和 6.2 km,已影响到保留区和航道,而东边由于三墩公路的阻挡不会影响到旅游保护区。

为此,本研究进行了 4 个围挡模拟实验(图 8)。在东开口和西开口实验中,泥沙扩散面积与无围挡实验基本相同;而南开口和北开口实验中,泥沙扩散面积明显减小(表 3)。南开口实验中(图 8b),溢流口选在西南角,浓度为 10 mg/L 悬浮泥沙的面积仅为无围挡实验的 70.9%,而 50 mg/L 和 100 mg/L 悬浮泥沙的面积仅为无围挡实验的 76.2%和 78.2%。北开口实验中,泥沙扩散的影响面积最小,其泥沙包络线明显小于无围挡实验(图 8d)。其中 10 mg/L、50 mg/L、100 mg/L 悬浮泥沙的扩散面积分别为 31.01 km²、15.12 km²及 12.52 km²,只为无围挡实验的

42.3%,41.3%以及 54.6%。10 mg/L 悬浮泥沙的包络线向西和向南最远端扩散了 4.7 km 和 4.4 km,只对航道和保留区的南端有所影响。

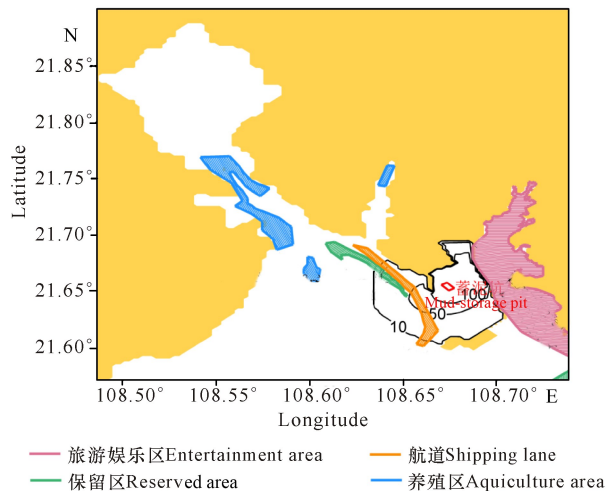


图 7 蓄泥坑挖泥引起的泥沙扩散分布

Fig. 7 The diffusion distribution of SS during the construction of mud-storage pit

表 3 蓄泥坑挖泥围挡实验结果分析

围挡设置 Enclosure settings	溢流口 Overflow position	泥沙扩散面积 Spreading area (km ²)		
		10 mg/L	50 mg/L	100 mg/L
无围挡 No enclosure	东北角 Northeast	70.88	36.64	22.93
北开口 Partial enclosure (gap in the north)	东北角 Northeast	31.01	15.12	12.52
东开口 Partial enclosure (gap in the east)	东北角 Northeast	74.26	39.80	25.25
南开口 Partial enclosure (gap in the south)	西南角 Southwest	50.28	27.92	17.93
西开口 Partial enclosure (gap in the west)	西南角 Southwest	70.88	36.64	22.93

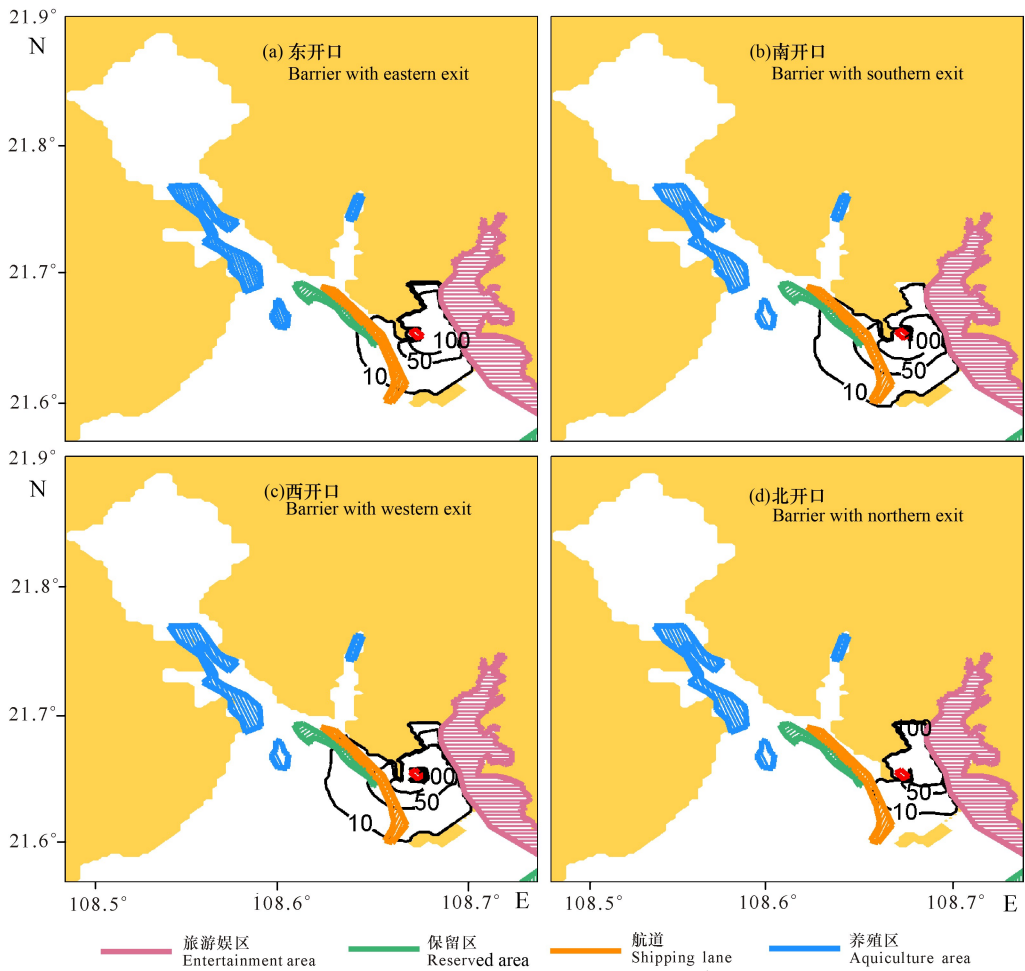


图 8 4 个敏感性实验的泥沙扩散分布

Fig. 8 The distribution of SS in the four sensitivity experiments

3 结论

本研究基于三维 ECOMSED 模型分析了钦州湾背景流场,并基于水动力场模拟了蓄泥坑开挖期间的泥沙扩散特征,并进一步通过敏感性实验测试了不同围挡实验对减少泥沙扩散面积的效果。结果发现:

钦州湾潮流场呈往复流特征,涨潮中间时大部分海域流向以偏北方向为主,最大潮流流速为 1.85 m/s,对应流向 347°,平均流速 0.34 m/s,平均流向为 148°。落潮中间时钦州湾大部分海域的潮流为偏南向,最大潮流流速为 2.34 m/s,对应流向 160°,平均流速为 0.46 m/s,平均流向为 176°。落潮流大于涨潮流。无论是涨落潮,航道附近的流速均较其他区域大。

落潮中间时蓄泥坑的北部基本为西南向流,东部基本为南向流,南部和西部为东南向流。无论表层还是底层,蓄泥坑东北部的流场在工程前后变化较大,流速偏差约为 10%。表层和底层的平均流向偏差分别为 5.05°和 4.55°。

无围挡实验中,10 mg/L、50 mg/L、100 mg/L 悬浮泥沙的扩散面积分别为 70.88 km²、36.64 km² 及 22.93 km²,影响范围较大。其中 10 mg/L 悬浮泥沙的包络线已影响到保留区和航道。围挡实验中,东开口和西开口泥沙扩散面积与无围挡实验基本相同。而南开口和北开口泥沙扩散面积明显减小,尤其北开口实验中 10 mg/mL 的悬浮泥沙包络线面积仅为无围挡实验的 42.3%,因此采用三面围挡仅北端开口的施工可以显著降低泥沙扩散对周围海洋环境的影响。

参考文献:

- [1] 李树华,童万平. 钦州湾潮流和污染物扩散的数值模型 (I) 钦州湾潮流的数值模拟[J]. 海洋环境科学,1987,6 (2):30-37.
- LI S H, TONG W P. Numerical model of tidal current and pollutant diffusion in the Qinzhou Bay: Numerical modeling of tidal current in the Qinzhou Bay[J]. Marine Environment Science,1987,6(2):30-37.
- [2] 李树华,夏华永,梁少红,等. 广西重点港湾的潮流和余

- 流[J]. 广西科学, 2001, 8(1): 74-79.
- LI S H, XIA H Y, LIANG S H, et al. Tidal currents and residual currents in the key harbors of Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2001, 8(1): 74-79.
- [3] 陈波, 邱绍芳, 葛文标, 等. 广西沿岸主要海湾潮流的数值计算[J]. 广西科学, 2001, 8(4): 295-300.
- CHEN B, QIU S F, GE W B, et al. Numerical calculation about the tidal currents in the main bays of Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2001, 8(4): 295-300.
- [4] 陈波, 侍茂崇, 邱绍芳. 广西主要港湾余流特征及其对物质运输的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2003(1): 13-21.
- CHEN B, SHI M C, QIU S F. Characteristics of residual currents and their influence on the material transformation in five main bays of Guangxi coast [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2003(1): 13-21.
- [5] 鲍献文, 陈波, 侍茂崇, 等. 钦州湾三维潮流数值模拟[J]. 广西科学, 2004, 11(4): 375-378, 384.
- BAO X W, CHEN B, SHI M C, et al. The numerical value simulation of the three dimensional tide of the Qinzhou Bay [J]. Guangxi Sciences, 2004, 11(4): 375-378, 384.
- [6] 宋德海, 鲍献文, 朱学明. 基于 FVCOM 的钦州湾三维潮流数值模拟[J]. 热带海洋学报, 2009, 28(2): 7-14.
- SONG D H, BAO X W, ZHU X M. Three-dimensional numerical simulation of tidal current in the Qinzhou Bay [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2009, 28(2): 7-14.
- [7] 游慕贤, 游立新. 钦州湾围滩工程前后潮流场的数值模拟[J]. 水道港口, 2009, 30(6): 394-401.
- YOU M X, YOU L X. Numerical simulation of tidal current field before and after engineering project in Qinzhou Bay [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2009, 30(6): 394-401.
- [8] 孙永根, 高俊国, 朱晓明. 钦州保税港区填海造地工程对海洋环境的影响[J]. 海洋科学, 2012, 36(12): 84-89.
- SUN Y G, GAO J G, ZHU X M. Effect of reclamation engineering in Qinzhou Bond Harbor on marine environment of Qinzhou Bay [J]. Marine Sciences, 2012, 36(12): 84-89.
- [9] 王玉海, 王崇浩, 刘大滨, 等. 钦州湾水道稳定性的初步研究[J]. 水运工程, 2010(8): 76-80.
- WANG Y H, WANG C H, LIU D B, et al. Preliminary study on channel stability in Qinzhou Bay [J]. Port & Waterway Engineering, 2010(8): 76-80.
- [10] 王玉海. 钦州湾滩槽地貌体系演化数值模拟研究[J]. 水运工程, 2013(1): 45-50.
- WANG Y H. Numerical modeling morphodynamics of channel-shoal system in Qinzhou Bay [J]. Port & Waterway Engineering, 2013(1): 45-50.
- [11] 董德信, 李谊纯, 陈宪云, 等. 海洋工程对钦州湾岸线地形及泥沙冲淤的影响[J]. 广西科学, 2015, 22(3): 266-273.
- DONG D X, LI Y C, CHEN X Y, et al. Impacts of ocean engineering on shoreline, topography and deposition-erosion environment in Qinzhou Gulf [J]. Guangxi Sciences, 2015, 22(3): 266-273.
- [12] 孙永根, 丰爱平, 王恩康, 等. 钦州湾悬浮泥沙特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(1): 79-86.
- SUN Y G, FENG A P, WANG E K, et al. Characters of the suspended load in Qinzhou Bay [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2016, 36(1): 79-86.
- [13] ZU T T, GAN J P, EROFEEVA S Y. Numerical study of the tide and tidal dynamics in the South China Sea [J]. Deep-Sea Res I, 2008, 55: 137-154.
- [14] VAN RIJN L C. Sediment transport, part II: Suspended load transport [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1984, 110(11): 1613-1641.
- [15] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- ZHANG R J. River sediment dynamics [M]. Beijing: China Water Power Press, 1998.
- [16] 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- QIAN N, WAN Z H. Mechanics of sediment transport [M]. Beijing: Science Press, 1983.

(责任编辑: 米慧芝)