广西钦州茅尾海综合整治水动力影响研究

夏长水[1,2],陈振华[3],韦重霄[4],薛宇欢[1],张 栋[4],宋卫杰[5],张 良[5]

(1. 自然资源部 第一海洋研究所,山东 青岛 266061
2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 区域海洋动力学与数值模拟功能实验室,山东 青岛 266061
3. 北部湾大学,广西 钦州 535000
4. 钦州市海洋环境监测预报中心,广西 钦州 535000
5. 中国原子能科学研究院,北京 102413)

摘 要:为了评估广西钦州茅尾海综合整治对水动力的影响,基于普林斯顿海洋模式(POM 模式)建立了广西钦州湾及茅尾海精细化水动力模式,模式的水平分辨率达到 100 m,同时采用干湿网格技术考虑漫滩过程。通过数值模拟的方法,研究了茅尾海综合整治对茅尾海和外湾的潮流场以及茅尾海的纳潮量所产生的影响。结果表明:清淤一期、二期和三期工程完成后茅尾海的大潮纳潮量分别增加了 6.1%,13.0%和 21.7%,而平均纳潮量分别增加了 3.1%,9.8%和 18.1%。在茅尾海清淤的范围内,由于水深加深,大部分海区的流速均有明显减小;而在从龙门港到外湾的大部分海区,由于茅尾海清淤后纳潮量显著增大,流速明显增强,有利于钦州湾航道的维护。

关键词:茅尾海;钦州湾;清淤;纳潮量

中图分类号:P76 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-3682(2020)03-0157-12

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2020.03.001

引用格式: XIA C S, CHEN Z H, WEI C X, et al. Study on hydrodynamic influence induced by comprehensive regulation of the Maowei Sea in Qinzhou, Guangxi province[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(3): 157-168. 夏长水, 陈振华, 韦重霄, 等. 广西钦州茅尾海综合整治水动力影响研究[J]. 海岸工程, 2020, 39(3): 157-168.

茅尾海为钦州湾的内湾,位于广西钦州湾海域顶部,南临北部湾,因其形似猫尾,曾称“猫尾海”,后因滩涂盛长茅尾而更名为“茅尾海”。茅尾海内宽口窄,形似布袋状又如湖泊,是半封闭式的内海,面积约 135 km^2[1]。近年来,茅尾海周边围塘养殖面积不断扩大,海域纳潮面积逐渐减少;茅尾海内大量打排吊养大蚝,严重影响了茅尾海的水动力环境。茅尾海上游河流钦江和茅岭江带来的泥沙从河口不断向海推进;钦江、茅岭江带来的工业、生活污水及沿岸虾塘养殖排出的污水以及矿山开采使茅尾海海水污染日益严重,水质变差。由于茅尾海的底质多为淤泥,在涨落潮和风浪扰动的情况下,海水混浊度较高。茅尾海的淤积如果不加以整治,将直接影响航道通航能力,危及钦州港现有的码头泊位。

滨海新城的建设,要求茅尾海有“碧海金沙”的海岸景观;同时,钦州大港的建设要求茅尾海具有足够大的纳潮量以保障其水深条件和通航能力;沿岸渔业的发展要求茅尾海继续维持河口湿地的高生物生产力,保护茅尾海特色海产品养殖基地。因此,有必要对茅尾海进行综合整治,通过清淤和回填,增加茅尾海纳潮量和建设用地,维持钦州湾的可持续发展。

近 30 a 来,国内外学者对钦州湾和茅尾海的水动力研究取得了不少成果。邱绍芳等[2]根据观测资料分析认为钦州湾涨潮流速小于落潮流速,最大流速(178 cm/s)出现于龙门附近水域;该研究成果指出了钦州湾进水水道主要是东侧水道,出水水道为西侧,为水动力治理提供了一定的理论依据。鲍献文等[3]

收稿日期:2020-03-09

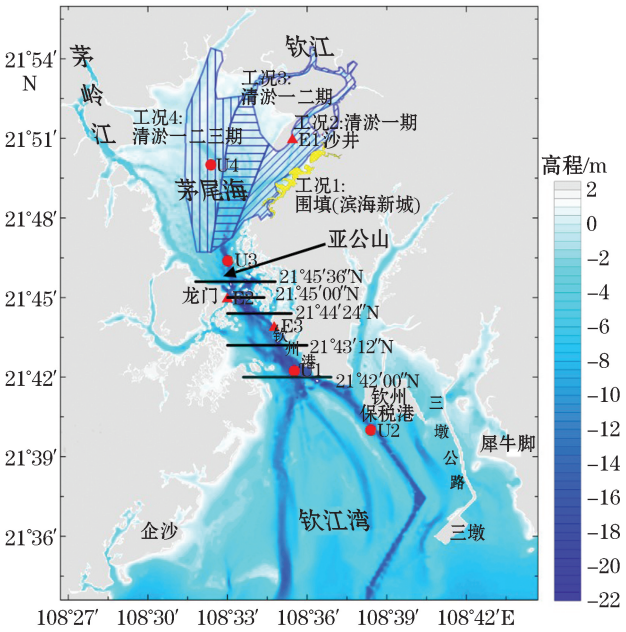
资助项目:国家重点研发计划项目——高分辨率海洋模式关键物理过程参数化方案的研发(2017YFA0604100),海洋环境高性能数值模拟应用软件研制(2016YFB0201100)和海洋生态环境损害基线、因果关系及损害程度的判定技术方法(2016YFC0503602)

作者简介:夏长水(1974-),男,博士,高级工程师,主要从事近海动力学及海洋数值预报方面研究. E-mail: xiacs@fio.org.cn

(李 燕 编辑)

曾选用 ECOM 模式建立了钦州湾三维潮流模型，空间分辨率为 0.2′，约为 400 m，计算网格为 81×81。该模型水平分辨率较低，不能很好地分辨钦州湾和茅尾海复杂的曲折岸线和众多岛屿，同时没有考虑漫滩过程。近年来钦州湾海域的岸线和水深发生了较大变化，如钦州保税港区和三墩公路建成使得原来钦州湾水动力发生了一定变化。针对前人数值模式中的不足，本文采用普林斯顿海洋模式建立了钦州湾及茅尾海精细化水动力模式，模式的水平分辨率达到 100 m，同时采用干湿网格技术考虑漫滩过程。同时采用最新的水深和岸线数据，使得数值模式能够反映钦州湾最新的水动力状况。

根据茅尾海综合整治计划，我们设计了 5 个工况，包括现状、滨海新城围填和三期清淤工程（具体位置和范围见表 1 和图 1），通过数值模拟，研究不同工况对钦州湾水动力的影响范围及影响程度。



注：蓝色网格线区域为不同时期的清淤范围，红色三角形为潮位观测站位置，红色圆形为潮流观测站位置，黑线为纳潮量计算参考断面

图 1 钦州湾水深分布

Fig.1 Contour map of water depth in the Qinzhou Bay (m)

表 1 各工况方案说明

Table 1 Descriptions of individual operating mode

工况名称	工况说明	清淤面积/km²	清淤深度/m
工况 0	现状岸线与地形	—	—
工况 1	围填滨海新城	—	—
工况 2	清淤一期完成	18	2
工况 3	清淤一、二期完成	18＋20	2
工况 4	清淤一、二、三期完成	18＋20＋28	2

注：“—”表示无数据

1 模式与方法

1.1 模式设置

本文基于普林斯顿海洋模式（Princeton Ocean Model，POM）[2] 建立钦州湾水动力模式，模拟钦州湾潮汐潮流动力过程。POM 是 20 世纪 70 年代发展起来的一个比较成熟的三维海洋模式，它基于原始方程，包含了海洋运动的主要物理过程。经过几十年的应用和发展，该模式已被广泛应用于世界各海区，并被很多的实测资料所验证。此模式也曾在我国近海多个海区使用过，均取得良好模拟效果[5-7]。

模式计算区域为（108°26′42″～108°44′42″E，21°33′36″～21°55′58.8″N，图 1），水平分辨率约为 100 m，可以很好地分辨钦州湾和茅尾海复杂的曲折岸线和众多岛屿，垂直方面采用跟随地形的 σ 坐标，分为 6 层。闭

边界采用光滑固壁假设，即垂向速度为零，侧向无摩擦。开边界由水位控制，考虑了 4 个主要分潮和 2 个浅水分潮，即 M_2、S_2、K_1、O_1、M_4 和 MS_4，根据方国洪[8]提出的准调和分析方法生成开边界水位：

$$A = \sum_i D_i H_i \cos(\omega'_i t - g_i - d_i), \tag{1}$$

式中，A 为潮位；i 为某分潮；ω' 为经过订正的潮汐角频率；D 和 d 分别为振幅和迟角订正；H 和 g 分别为振幅和迟角。开边界各分潮的调和常数由北部湾潮模式插值取得[9]。摩擦系数最大值取 0.002 8，最小值取 0.001。垂直混合系数由 Mellor-Yamada 2.5 阶湍闭合模型[10]计算，水平黏性、扩散系数由 Smagorinsky 公式[11]给出。

水深主要取自自然资源部第一海洋研究所 2009 年测量得到的实际测深数据，同时利用海图资料加以补充。岸界的确定参考了最新的大比例尺岸线水深地形图，并考虑了三墩、观音堂等海区最新的岸线变化。钦州湾存在着非常广阔的滩涂区域，许多区域在涨潮时被淹没而在退潮时又会干出，为了准确刻画这一潮动力过程，本文采用了干湿网格判别法描述漫滩现象，此时水陆边界是不断动态变化的，参与计算的水体随着滩地的淹没和露出而不断的发生变化。该方法是目前国内外使用最多的一种方法，采用一定的规则判断模式计算区域内的网格干湿变化，使得模式在每个步长计算区域都在发生变化。具体方案参见文献[6]。

1.2　纳潮量计算方法

纳潮量是海湾环境评价的重要指标，纳潮量的大小可反映海湾的自净能力，决定海湾与外海的交换强度，在海湾环境、生态及冲淤等方面意义重大。海湾纳潮量定义为海湾高潮水量与低潮水量之差，纳潮量的数值主要取决于海湾高、低潮时潮位的变化和海域面积的变化[12]。

传统方法海湾纳潮量的计算一般采用以下的计算公式[13]：

$$W = \frac{1}{2}(S_1 + S_2)(h_1 - h_2), \tag{2}$$

式中，W 为纳潮量；S_1，S_2 分别为高低潮时的水域面积；h_1，h_2 分别为 S_1，S_2 时对应的潮高。

随着海流观测特别是断面走航观测的增多，产生了利用湾口海流数据计算海湾纳潮量的新方法[12,14]。陈红霞等[12]采用传统方法以及走航 ADCP 直接测流资料这两种方式对胶州湾 2006 年秋季小潮期间进行了纳潮量计算。结果表明，传统方法计算得到的结果范围大于根据测量结果的计算范围。2 种方法计算得到的纳潮量平均值相差不大，这既验证了通过海流计算纳潮量的精确性，也体现了通过纳潮量算法计算纳潮量在平均意义上的有效性。本文参考通过海流计算纳潮量的方法，采用模拟得到的断面流场计算茅尾海的纳潮量：

$$W = \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} V_{it} S_{it}, \tag{3}$$

式中，W 为纳潮量，T 为一个潮周期的时长，n 为湾口断面的网格数，V_{it} 为 t 时刻湾口断面上第 i 个网格点的流速，S_{it} 为 t 时刻第 i 个网格点的过水断面面积。

2　模式结果与验证

本文利用自然资源部第三海洋研究所观测的不同时期 3 个潮位、4 个潮流观测点的现场测量数据，校验数值模式的模拟效果，具体测量时间位置见表 2。

表 2 潮位潮流观测概况表

Table 2 Summary of tidal level and current observations

测 站	测量要素	位 置	使用仪器	观测时间
E1	水位	108°35′27″E,21°51′00″N	RBR XR-420-TG	2010-01-29T18:00—2010-02-03T13:00
E2	水位	108°33′00″E,21°45′00″N	RBR XR-420-TG	2010-01-15T00:00—2010-02-14T23:00
E3	水位	108°34′45.3″E,21°43′55.38″N	RBR XR-420-TG	2010-01-15T00:00—2010-02-14T23:00
U1	海流	108°35′31.2″E,21°42′14.1″N	Aanderaa RCM9MK	2007-01-31T10:00—2007-02-01T11:00
U2	海流	108°38′24.3″E,21°40′00″N	Aanderaa RCM9MK	2007-01-31T10:00—2007-02-01T11:00
U3	海流	108°33′0.96″E,21°46′22.86″N	ALEC 电磁海流计	2010-01-30T12:00—2010-01-31T14:00
U4	海流	108°32′22.62″E,21°50′0.36″N	ALEC 电磁海流计	2010-01-30T12:00—2010-01-31T14:00

2.1 模式验证

2.1.1 调和常数模拟与观测的对比

将 E2,E3 两个潮位观测站的模拟水位结果进行调和分析,得到 4 个主要分潮的调和常数,与观测水位调和分析得到的调和常数进行了对比(表 3),振幅的误差在 2 cm 以内,迟角的误差小于 4°。结果表明模式计算结果较准确。

表 3 潮位站主要分潮调和常数模拟与观测值的偏差

Table 3 Deviations between simulated and observed harmonic constants of tidal components

分 潮	E2		E3	
	H/cm	g/(°)	H/cm	g/(°)
O_1	0.99	−1.79	−0.25	1.11
K_1	0.57	−2.42	−0.78	1.30
M_2	0.76	−4.01	−1.74	3.11
S_2	0.92	−4.13	1.22	2.84

2.1.2 潮水位模拟与观测对比

图 2 是 E1,E2,E3 三个潮位站的模拟水位时间序列与观测的水位时间序列及潮汐表资料比较,结果表明这 3 个站模拟结果与观测结果吻合较好。E2 中的蓝色点线为潮汐表给出的水位,模拟水位与潮汐表水位也符合较好。E2,E3 点在 2010-02-12 实测水位比模拟偏低。我们也试着在数值模式中再增加 4 个分潮(Q1,P1,N2 和 K2),结果并没有明显改善,经查询当天气象资料,发现当天存在大风天气,这一模拟误差可能是由风强迫等非潮因素所致。

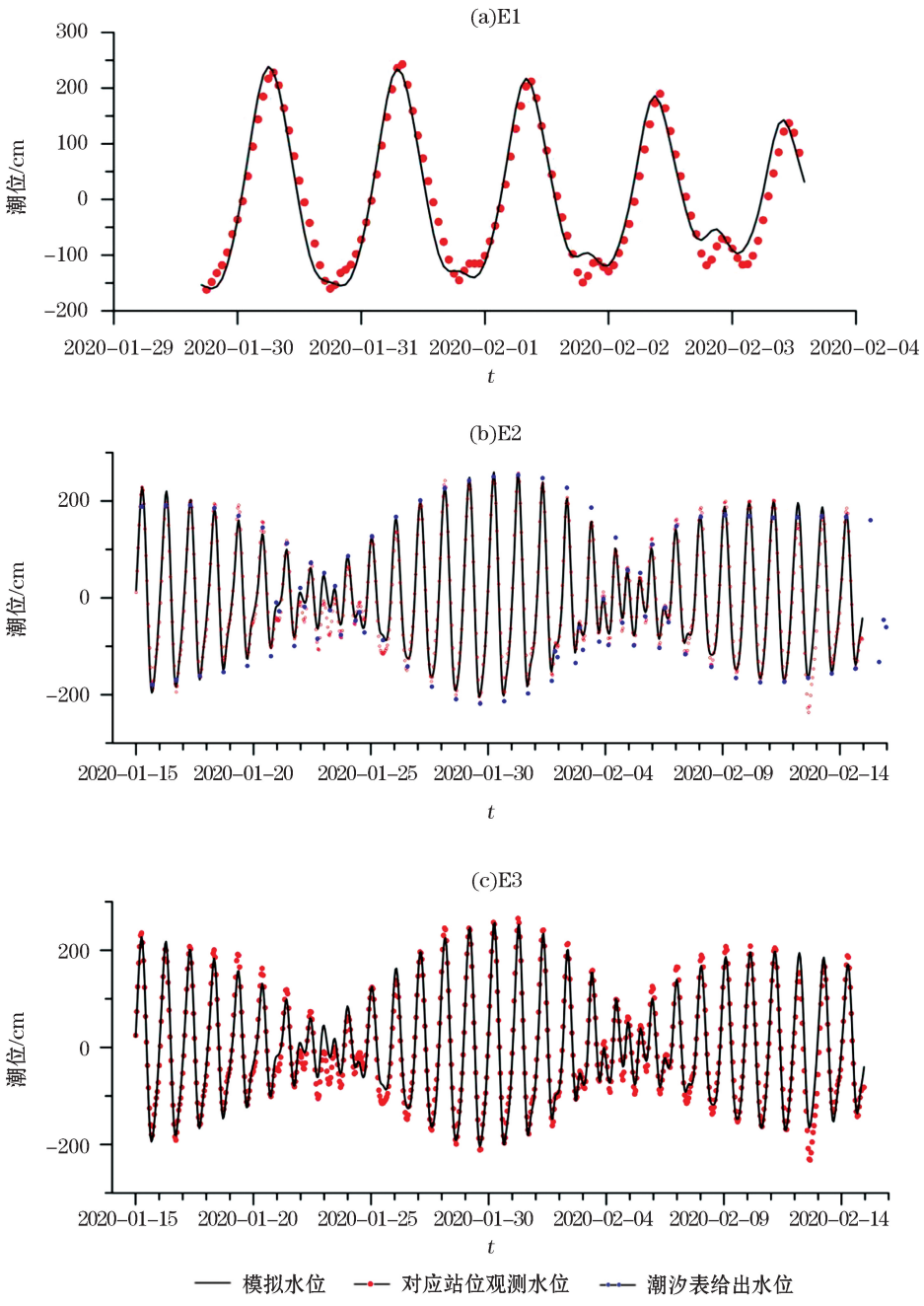


图 2　模拟与观测的水位时间序列对比

Fig.2　Comparison of the time series between the simulated and the observed water levels

2.1.3　潮流模拟与观测的对比

图 3 是 4 个潮流观测点模拟与观测的垂直平均流速流向的对比。以上实测海流资料与模拟结果的对比表明，本文建立的潮汐潮流动力模式能够较好地刻画钦州湾海区的潮动力特征，除了小潮期间的潮流流速模拟结果略有偏小以外，流速振幅、位相、潮流方向等模拟结果与观测资料基本符合。

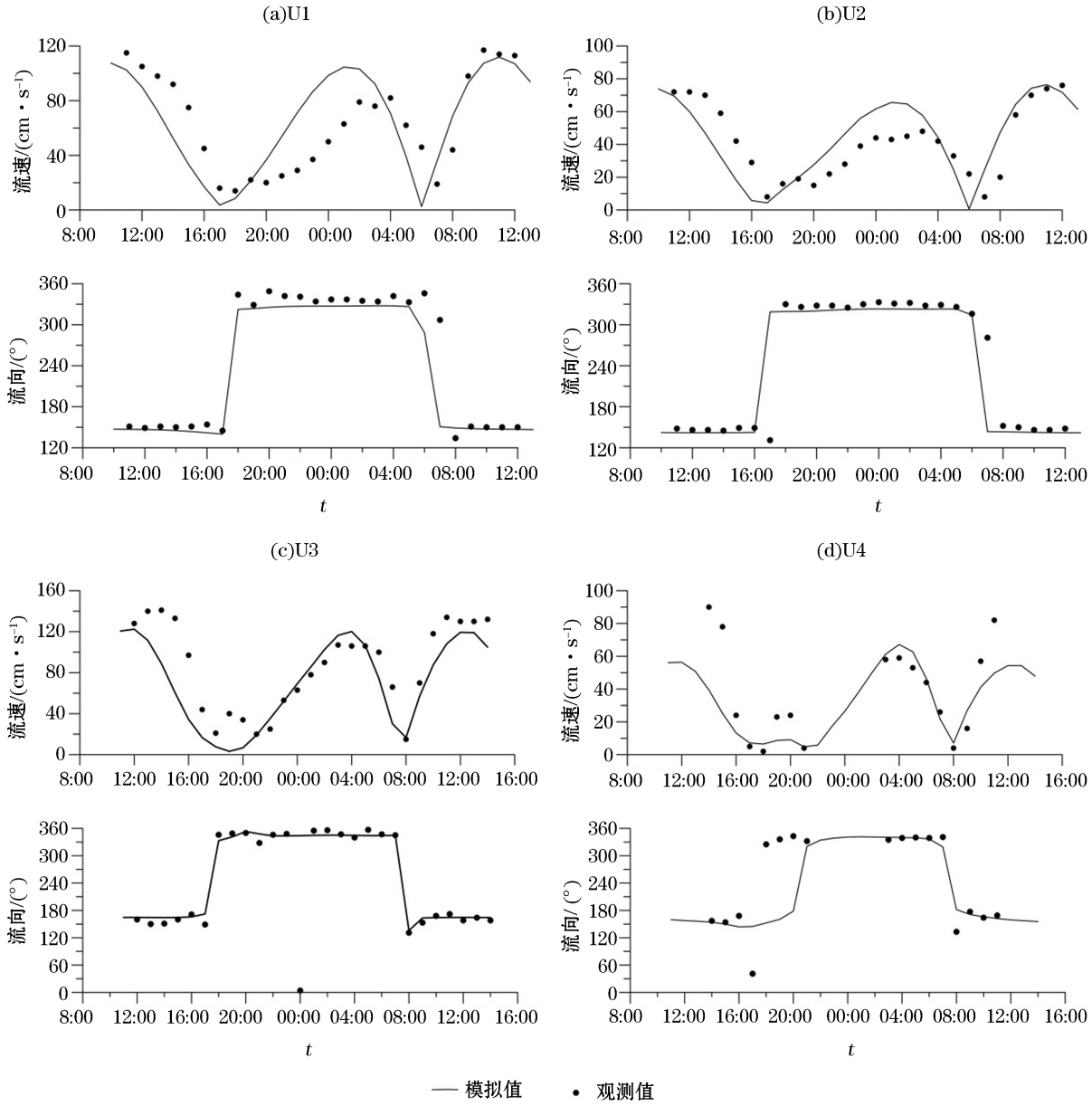


图 3 4 个潮流观测点的模拟与观测流速、流向对比

Fig.3 Comparison of current velocities and directions between simulated and observed at 4 tidal stations

2.2 钦州湾的潮汐潮流特征

从图 2 中可以看出钦州湾海区的潮汐特征:除了小潮期间表现出一定的半日潮特征外,多数时间为典型的全日潮。

图 4 是现状下(工况 0)的潮流场。可以看出,潮流最大值区域位于龙门水道,最大值高达 1.80 m/s,这与观测值是一致的[15]。外湾 3 条主要水道流速也较大,水道以外海区的流速较小。

钦州湾海区潮流主要呈往复流特征（图 4），流向基本与水道走向一致。一个重要特征是：落潮流速远大于涨潮流速。这种涨落潮流速度的不同在整个钦州湾都有体现，在外湾表现更加明显；在某些海区，落潮流可达涨潮流的 1.8 倍以上。

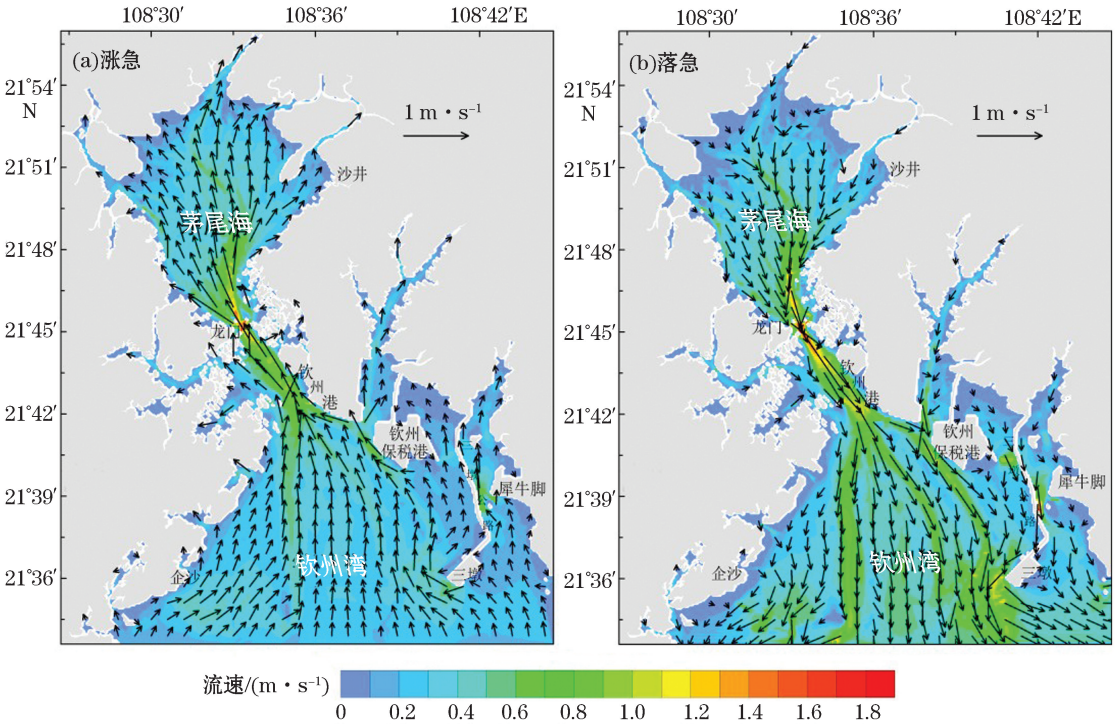


图 4　钦州湾现状（工况 0）下潮流场分布

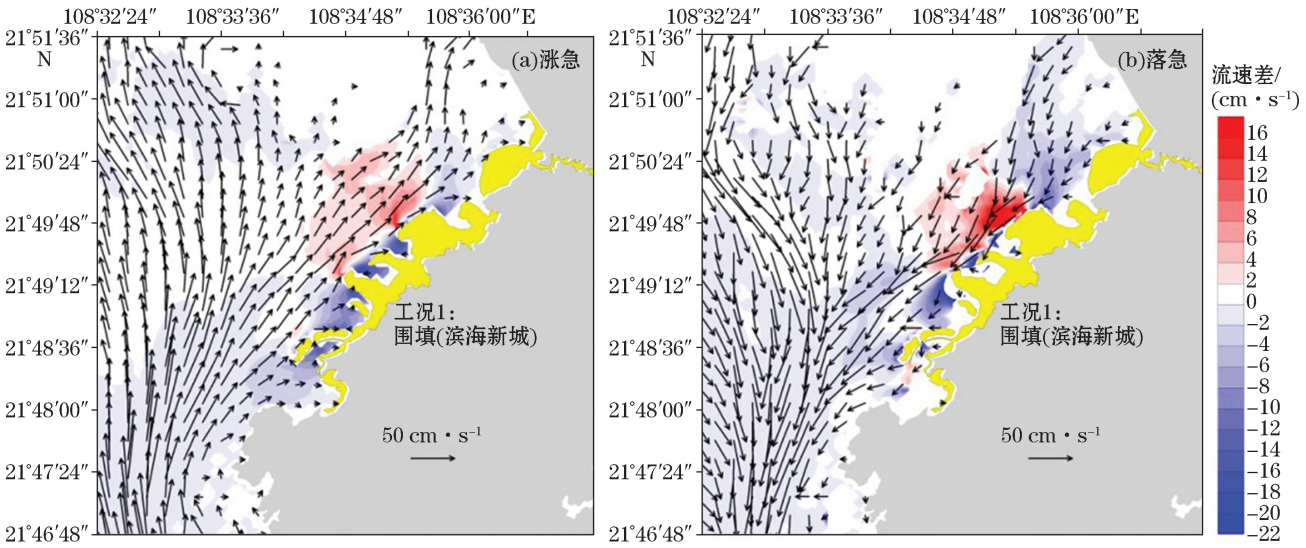
Fig.4　Tidal current field under the present status (Operating Mode 0) in the Qinzhou Bay

本文模拟的钦州湾的潮汐潮流特征与观测数据吻合较好，总体上也与前人的研究成果比较一致[16-18]。但本文使用了钦州湾围填开发后的最新水深岸线数据，在围填区附近潮流发生了较大的变化，例如由于三墩公路的修建，使得原来落潮时可以直接向东南方向的潮流受到了限制，改道绕过三墩岛而向东南方向，涨潮时同样受到了束流作用，但钦州湾的潮波主要是受北部湾潮波系统的控制，局部的围填对整个钦州湾的潮波没有造成显著变化。

3　不同工况下水动力场的变化

3.1　流场的变化

图 5 为工况 1 完成后流场的变化情况，可以看出，工况 1 填海完成后对水动力场的影响仅限于岸线附近的局部海域，新岸线的凹陷处的沿海区域流速减小，岸界向海突出部分的沿海流速由于填海的束流作用流速有所增大，湾颈部的龙门航道流速略有减小，但影响甚微。

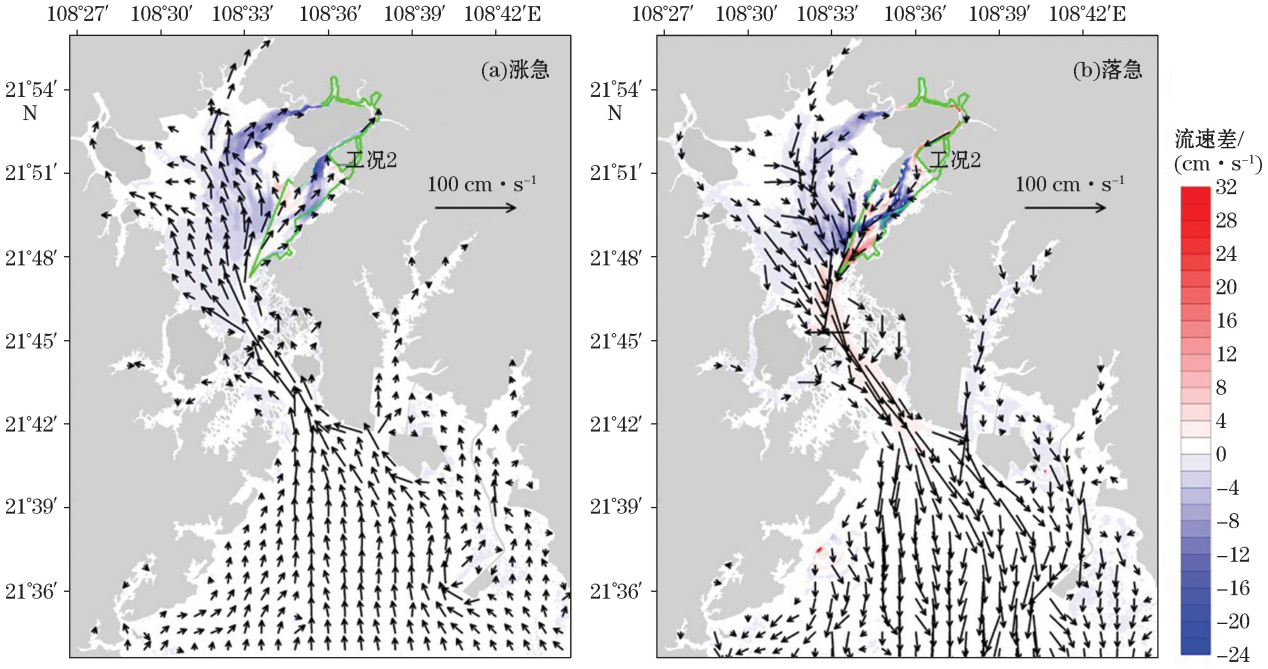


注:填色为工况 1 的流速值－工况 0 的流速值,黑色箭头为工况 1 实施后的流场

图 5 工况 1 实施后流场及流速变化

Fig.5 Changes in tidal current field and current velocity after the implementation of Operating Mode 1

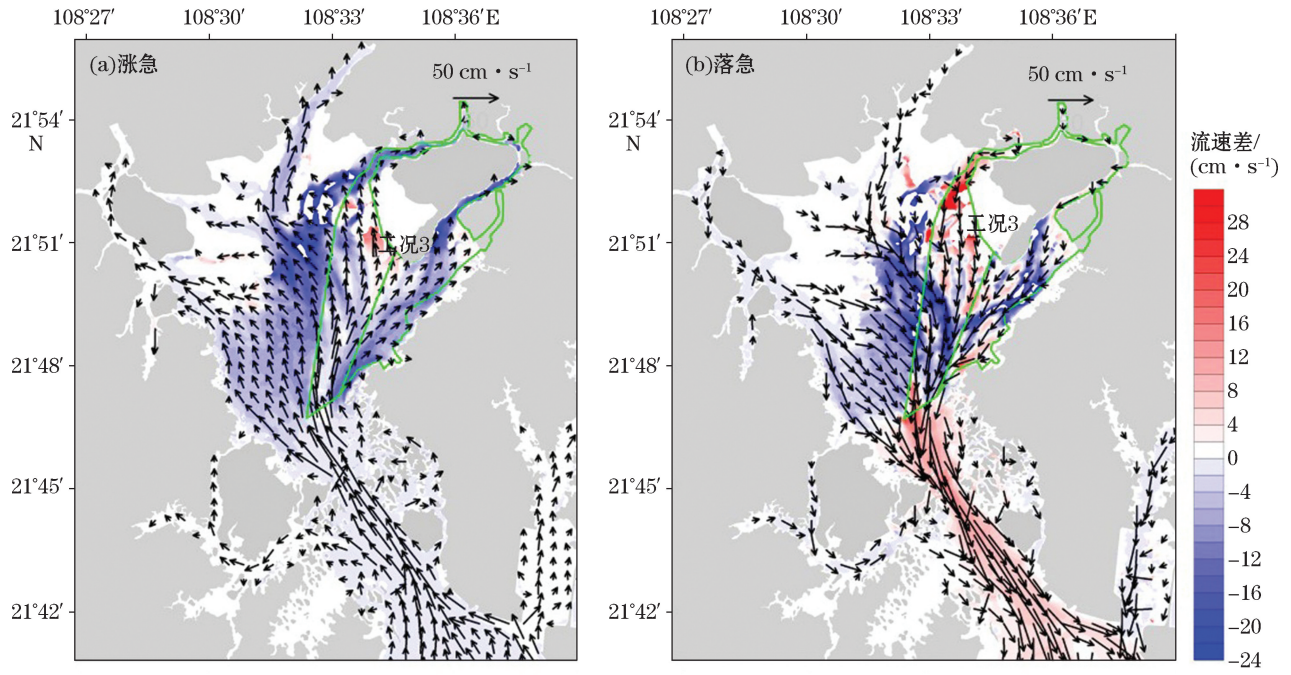
图 6～8 分别为工况 2～4 完成以后流场分布和流速的变化,从图中可以看出工况 2、工况 3、工况 4 完成后对水动力的作用是一致的,只是由于清淤面积的不同,影响程度也有所不同,工况 4 的作用最显著,工况 3 次之,工况 2 影响最小。在清淤的范围内,由于水深变深,大部分海域流速减小;从龙门港(湾颈部)到外湾的大部分区域,清淤后流速有所增强,这有利于航道的维护。



注:填色为工况 2 的流速值－工况 0 的流速值,黑色箭头为工况 2 实施后的流场

图 6 工况 2 实施后流场及流速变化

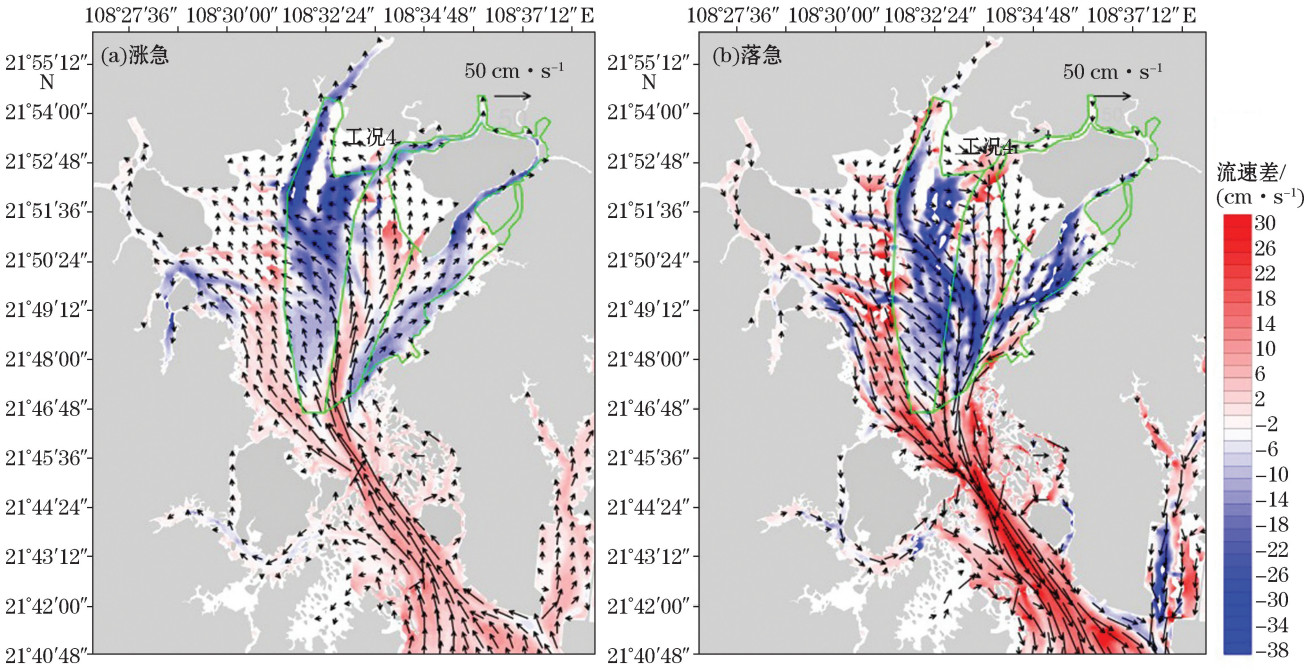
Fig.6 Changes in tidal current field and current velocity after the implementation of Operating Mode 2



注：填色为工况 3 的流速值－工况 0 的流速值，黑色箭头为工况 3 实施后的流场

图 7　工况 3 实施后流场及流速变化

Fig.7　Changes in tidal current field and current velocity after the implementation of Operating Mode 3



注：填色为工况 4 的流速值－工况 0 的流速值，黑色箭头为工况 4 实施后的流场

图 8　工况 4 实施后流场及流速变化

Fig.8　Changes in tidal current field and current velocity after the implementation of Operating Mode 4

3.2 纳潮量的变化

一个海湾的纳潮量与湾口位置的选取存在密切关系。蒋磊明等[17]2009 年采用从企沙到乌雷的断面计算钦州湾的纳潮量，得到的平均纳潮量为 7.55×10^8 m^3。对于茅尾海我们分别以 21°42′00″N，21°43′12″°N，21°44′24″N，21°45′00″N 和 21°45′36″N 断面作为湾口位置(图 1)，计算了茅尾海纳潮量。结果(图 9)显示，纳潮量的数值随着计算区域的扩大而增加，尽管内外湾之间的水道面积较小，但它对纳潮量的计算结果影响很大。在大潮期间，以 21°42′00″N 作为茅尾海的南边界，得到的纳潮量为 6.812×10^8 m^3，而以 21°45′36″N 断面作为南边界的计算结果仅为 4.864×10^8 m^3。一般用龙门至亚公山作为内外海的分界，本文计算中我们选取 21°42′00″N 断面作为计算纳潮量的断面。

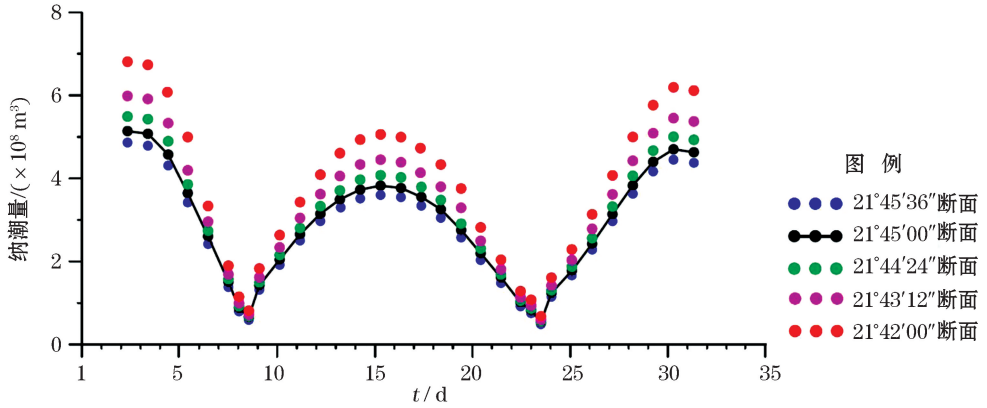


图 9 茅尾海纳潮量与计算范围之间的关系

Fig.9 Relationship between the tidal prism and the calculation domain in the Maowei Sea

在一个月的大潮期间选取若干典型潮周期的纳潮量取平均，得到大潮纳潮量；对一个月内所有潮周期的纳潮量取平均，得到平均纳潮量(表 4)。结果表明：工况 1 规划的滨海新城处于滩涂区，填海面积又比较小，所以对茅尾海纳潮量的影响轻微，工况 1 完成后茅尾海大潮纳潮量和平均纳潮量都仅减少了 0.8%。而清淤工程对茅尾海纳潮量的影响就比较显著，清淤一期、二期、三期完成后茅尾海大潮纳潮量分别增加了 6.1%，13.0%和 21.7%，而平均纳潮量分别增加了 3.1%，9.8%和 18.1%。清淤工程特别是工况 4 完成后，对茅尾海水动力环境影响很大，其原因主要在于两方面：一是滩涂减少，影响潮滩动力过程；二是本底水深很浅，挖深 2 m 对原水体改变较大，流速也受到明显影响。

表 4 茅尾海大潮纳潮量和平均纳潮量的变化

Table 4 Changes in tidal prism of spring tide and average tidal prism of tidal cycle

工 况	大潮纳潮量			平均纳潮量		
	纳潮量/×10⁸ m³	变化量/×10⁸ m³	变化率/%	纳潮量/×10⁸ m³	变化量/×10⁸ m³	变化率/%
工况 0	4.887	—	—	2.814	—	—
工况 1	4.849	−0.038	−0.8	2.792	−0.022	−0.8
工况 2	5.186	0.299	6.1	2.900	0.086	3.1
工况 3	5.523	0.636	13.0	3.089	0.275	9.8
工况 4	5.949	1.062	21.7	3.323	0.509	18.1

注：“—”表示无数据

4 结　论

本文基于 POM 模式，模式的水平分辨率达到 100 m，同时采用干湿网格技术考虑漫滩过程，考虑了 4 个主要分潮和 2 个浅水分潮，以钦州湾最新的水深和岸线数据，建立了钦州湾水动力模式。经过 3 个潮位站和 4 个潮流站的检验，模拟的潮位和潮流与观测符合较好，总体上也与前人的研究成果比较一致。

根据茅尾海综合整治方案，设计了 5 个工况，研究了滨海新城围填及茅尾海清淤对钦州湾水动力的影响，得到如下结论：

1）新城填海后茅尾海纳潮量仅减少了 0.8%，影响轻微；清淤一期、二期和三期工程完成后茅尾海的大潮纳潮量分别增加了 6.1%，13.0%和 21.7%，而平均纳潮量分别增加了 3.1%，9.8%和 18.1%。

2）在水动力方面，滨海新城填海完成后，对水动力场的影响仅在岸线附近的局部范围表现明显，在新岸线凹陷处的局部区域流速减小，岸界向海突出部分由于填海的束流作用流速有所增大。湾颈部航道由于内湾纳潮量降低，流速有轻微减弱。在茅尾海清淤的范围内，由于水深加深，大部分海区的流速均有明显减小（但纳潮量是增加的）；而在从龙门港（湾颈部）到外湾的大部分海区，由于茅尾海清淤后纳潮量显著增大，流速明显增强，有利于航道维护。

参考文献（References）：

[1] Editorial Committee of Chinese Gulf. Chinese Gulf: vol. 12[M]. Beijing: Ocean Press, 1993. 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志：第十二分册[M]. 北京：海洋出版社，1993.

[2] QU S, SHI M C, CHEN B. Analysis of tidal current characteristics in Qinzhou Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2003, 22(2): 9-14. 邱绍芳，侍茂崇，陈波. 钦州湾潮流特征分析[J]. 海洋通报，2003，22(2)：9-14.

[3] BAO X W, CHEN B, SHI M C, et al. Three dimensional numerical simulation of tidal current in Qinzhou Bay[J]. Science in Guangxi, 2004, 11(4): 375-378. 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.

[4] BLUMBERG A F, MELLOR G L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model[J]. Three-dimensional coastal ocean models, 1987(4): 1-16.

[5] LÜ X G, ZHAO C, XIA C S, et al. Numerical study of water exchange in the Jiaozhou Bay and the tidal residual currents near the bay mouth[J]. Haiyang Xuebao, 2010, 32(2): 20-30. 吕新刚，赵昌，夏长水，等. 胶州湾水交换及湾口潮余流特征的数值研究[J]. 海洋学报，2010，32(2)：20-30.

[6] LÜ X G, QIAO F L, XIA C S. Numerical simulation of tides and three-dimensional tidal currents in Jiaozhou Bay by a movable land-sea boundary model[J]. Haiyang Xuebao, 2008, 30(4): 21-29. 吕新刚，乔方利，夏长水. 胶州湾潮汐潮流动边界数值模拟[J]. 海洋学报，2008，30(4)：21-29.

[7] SHAN F, QIAO F L, LÜ X G, et al. A numerical study of the wintertime double-warm-tongue structure in the Huanghai (Yellow) Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2009, 28(4): 8-15.

[8] FANG G H. Analysis and prediction of tides and tidal currents[M]. Beijing: Ocean Press, 1986. 方国洪. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 北京：海洋出版社，1986.

[9] ZHAO C, LÜ X G, QIAO F L. Numerical study of the tidal waves in the Gulf of Tonkin[J]. Haiyang Xuebao, 2010(4): 1-11. 赵昌，吕新刚，乔方利. 北部湾潮波数值研究[J]. 海洋学报，2010，32(4)：1-11.

[10] MELLOR G L, YAMADA T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems[J]. Reviews of Geophysics, 1982, 20(4): 851-875.

[11] SMAGORINSKY J. General circulation experiments with the primitive equations: I. the basic experiment[J]. Monthly Weather Review, 1963, 91(3): 99-164.

[12] CHEN H X, HUA F, LIU N, et al. Comparison among different methods for tidal prism calculation: neap tide of Jiaozhou Bay in autumn 2006 as expounded example[J]. Advances in Marine Science, 2009, 27(1): 11-15. 陈红霞，华锋，刘娜，等. 不同方式的纳潮量计算比较——以胶州湾 2006 年秋季小潮为例[J]. 海洋科学进展，2009，27(1)：11-15.

[13] EDITIORIAL COMMITTEE OF CHINESE GULF. Chinese Gulf: vol. 4[M]. Beijing: Ocean Press, 1993. 中国海湾志编纂委员会. 中

国海湾志：第四分册[M]. 北京：海洋出版社，1993.

[14] QIAO G Y, HUA F, FAN B, et al. Tidal water capacity computed from ADCP measurement at bay mouth[J]. Advances in Marine Science, 2008, 26(3): 285-291. 乔贯宇，华锋，范斌，等. 基于 ADCP 湾口测流的纳潮量计算[J]. 海洋科学进展，2008，26(3)：285-291.

[15] QIU S F, SHI M C, CHEN B. Analysis of tidal current characteristics in Qinzhou Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2003, 22(3): 9-14. 邱绍芳，侍茂崇，陈波. 钦州湾潮流特征分析[J]. 海洋通报，2003，22(3)：9-14.

[16] LI S H, FANG L J. Distribution characterstics of tide and tidal current in Qinzhou Bay[J]. Coastal Engineering, 1989, 8(3): 39-45. 李树华，方龙驹. 钦州湾潮汐和潮流的变化特征[J]. 海岸工程，1989，8(3)：39-45.

[17] JIANG L M, CHEN B, QIU S F, et al. Calculation of tidal prism and water exchange period and simulation of current about Qinzhou Bay[J]. Guangxi Sciences, 2009, 16(2): 193-195. 蒋磊明，陈波，邱绍芳，等. 钦州湾潮流模拟及其纳潮量和水交换周期计算[J]. 广西科学，2009，16(2)：193-195.

[18] SONG D H, BAO X W, ZHU X M. Three-dimensional simulation of tidal current in Qinzhou Bay[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2009, 28(2): 7-14. 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.

Study on Hydrodynamic Influence Induced by Comprehensive Regulation of the Maowei Sea in Qinzhou, Guangxi Province

XIA Chang-shui[1,2], CHEN Zhen-hua[3], WEI Chong-xiao[4], XUE Yu-huan[1], ZHANG Dong[4], SONG Wei-jie[5], ZHANG Liang[5]

(1. *First Institute of Oceanography, MNR*, Qingdao 266061, China;
2. *Laboratory for Regional Oceanography and Numerical Modeling, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao)*, Qingdao 266061, China;
3. *University of Beibu Bay*, Qinzhou 535000, China;
4. *Qinzhou Marine Environment Monitoring and Prediction Center*, Qinzhou 535000, China;
5. *China Institute of Atomic Energy*, Beijing 102413, China)

Abstract: In order to evaluate the hydrodynamic influence induced by the comprehensive regulation of the Maowei Sea in Qinzhou of Guangxi Province, a refined hydrodynamic model is established for the Maowei Sea based on the Princeton Ocean Model. The horizontal resolution of the model is up to 100 meters and the flooding process is considered by using wet and dry grid technology. By using this model, the influences of the Maowei Sea comprehensive regulation on the tidal field and tidal prism in the Maowei Sea are studied. The results show that after finishing Phase I, II and III of the dredging project the tidal prisms during the spring tide in the Maowei Sea increase by 6.1%, 13.0% and 21.7%, respectively, and the average tidal prisms during the tidal cycle increase by 3.1%, 9.8% and 18.1%, respectively. Within the scope of dredging in the Maowei Sea, the current velocity in most of the sea areas decreases due to the deepening in water depth. In most of the sea areas from the Longmen Port to the outer bay, however, the current velocity increases obviously because of the significant increase of tidal prism after dredging in the Maowei Sea, which could be in favor of the maintenance of the waterways in the Qinzhou Bay.

Key words: Maowei Sea; Qinzhou Bay; dredging; tidal prism

Received: March 9, 2020