

海洋工程对钦州湾岸线地形及泥沙冲淤的影响

Impacts of Ocean Engineering on Shoreline, Topography and Deposition-erosion Environment in Qinzhou Gulf

董德信, 李谊纯, 陈宪云, 陈波, 牙韩争

DONG De-xin, LI Yi-chun, CHEN Xian-yun, CHEN Bo, YA Han-zheng

(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】海洋工程对海湾港口的冲淤环境有一定的影响,而近 20 多年来钦州湾海洋工程建设较为频繁。了解该地区地形地貌的变化,可以给海洋开发提供参考。【方法】采用外业调查、资料分析与数值模拟等手段对钦州湾围填海与海洋开发建设引起的岸线变迁、地形改变、泥沙冲淤等问题进行研究。【结果】近 20 多年来,钦州湾大规模海洋开发活动导致海湾面积明显缩小,岸线变化呈现平顺化趋势,人工岸线逐渐替代自然岸线。钦州湾东部浅滩因填海使得 0 m 等深线被阻断,而 10 m 等深线因东航道扩建得以贯通至湾口。钦州湾的泥沙主要来源于陆相径流、海相输送以及近岸海洋工程建设等几个方面;含沙量分布随季节变化而不尽相同,但总体属低含沙量范畴。数值模拟结果显示,钦州湾总体呈现微冲微淤的稳定态势,但在龙门水道等急流水域,底床冲蚀较为明显。【结论】在钦州湾东部,因大规模围填海建设,导致局部海域的冲淤环境发生显著改变:三墩公路东侧中部的潮滩,由微弱淤积状态转变为明显冲蚀状态,年冲刷量可达 0.07 m。

关键词: 钦州湾 海洋开发 岸线 地形 冲淤环境

中图分类号: P737.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2015)03-0266-08

Abstract: 【Objective】Ocean engineering has a certain influence on the deposition-erosion environment of harbor or gulf. Ocean engineering construction in Qinzhou Gulf was more frequent in the past 20 years. Understanding the changes of topography in this region can provide a reference for ocean development. 【Methods】Field investigation, data analysis and numerical simulation have been used to study this issue. 【Results】In recent twenty years, large-scale development activities led to the gulf area significantly reduced in Qinzhou Gulf. The shoreline change exhibited smooth trend, and artificial shoreline gradually replaced natural shoreline. Reclamation made 0 m isobath blocked at the gulf eastern shoal, meanwhile 10 m isobath connected to the mouth of the gulf due to east channel construction. The gulf sediment mainly came from three aspects: Continental runoff, marine transportation and coastal marine construction. The distribution of sediment concentration changed in different seasons, but overall was a low sediment concentration scope in the gulf. Numerical simulation results showed that the gulf generally exhibited stable situation with mi-

收稿日期: 2015-02-20

修回日期: 2015-05-10

作者简介: 董德信(1980-),男,助理研究员,主要从事河口海岸物质输运研究。

* 广西自然科学基金项目(2012GXNSFEA053001, 2011GXNSFE018002),广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1355007-13)和广西科学院基本科研业务费项目(11YJ24HY01)资助。

cro-erosion and micro-siltation, but seabed erosion was obvious in the jet waters of Longmen.

【Conclusion】In the east of Qinzhou Gulf, erosion and deposition environment in some waters had undergone a significant change due to large-scale reclamation. The shallow status in the middle of east Sandun road turned to be obvious erosion from weak deposition, and the annual erosion was up to 0.07 m.

Key words: Qinzhou Gulf, ocean development, shoreline, topography, erosion and deposition environment

0 引言

【研究意义】钦州湾位于广西沿岸中部,经纬度约在 $21^{\circ}33'20''\sim 21^{\circ}54'30''N$ 、 $108^{\circ}28'20''\sim 108^{\circ}45'30''E$,由内湾(茅尾海)、外湾(钦州湾)构成,内湾平均水深 2.38 m(理论基面),海水养殖业十分发达;外湾发育有 3 条深槽水道,水深条件优良,为重要的港口航运区。海湾港口由于受风、浪、潮、流、地形等诸多因素的综合作用,以致泥沙输运、岸滩演变、海床冲淤以及航道回淤等泥沙问题变得更为复杂,一直以来为学术界和工程界所关注。**【前人研究进展】**钦州湾的泥沙问题研究始于 20 世纪 80 年代,早期研究主要针对钦州湾潮滩的沉积结构、物质来源与运移^[1,2],基于实测资料的悬沙季节分布特征^[3],航道开挖引起的泥沙回淤^[4,5]等问题。进入 2000 年后,随着大规模海洋工程开发建设的兴起,钦州湾泥沙研究成果日渐丰富,如从沉积物重矿物动力分区角度探讨钦州湾泥沙来源及其运移趋势^[6];采用近年钦州湾近海区大面积底质调查资料,分析外湾的沉积物特征^[7];钦州电厂取排水工程建设对附近海域的海床稳定性影响^[8]等,其他一些学者也从不同角度对钦州湾的泥沙问题进行了诸多有益探索^[9~13]。**【本研究切入点】**查阅已有的研究成果,它们或侧重某个工程项目建设导致的局部海床冲淤研究,或仅主要关注航道开挖、扩建引起的局部回淤问题,缺乏将近几年围填海建设作为整体研究对象来说明其对钦州湾冲淤环境的影响研究。**【拟解决的关键问题】**结合近年来的实测水文资料与地形影像数据,并通过数值模拟手段,对钦州湾海洋开发活动引起的岸线变迁、地形改变、泥沙冲淤等问题进行研究。

1 水文基本特征

钦州湾潮波主要由传入南海的太平洋潮波系统控制,其潮汐判别系数为 4.6,为正规全日潮海区。

根据龙门验潮站 1966~2002 年观测资料统计,海区历年最高高潮位 3.96 m(国家 85 基面),最低低潮位 -2.55 m,多年平均潮差 2.46 m,涨潮历时大于落潮历时,平均涨潮历时 10 h 29 min。钦州湾潮流判别系数为 2.33~3.59,属不规则全日潮流,呈往复流特征,落潮流速一般大于涨潮流速,涨、落潮流向基本与深槽、航道走向平行。研究发现,龙门水道潮流动力最为强劲,大潮期间涨、落潮最大流速分别可达 1.08 m/s、1.41 m/s;茅尾海夏季潮流强于冬季,潮汐河口受径流影响尤为显著,落潮流速最大超过 1.0 m/s;外湾西水道潮流相对较强,最大落潮流速 0.84 m/s,中水道次之(0.81 m/s),东水道相对较弱(0.52 m/s)^[14]。

根据三娘湾海洋观测站 1991~2002 年观测资料统计,本海区波浪以风浪为主,常浪向 SSW 向,频率占 17.67%,其次浪向为 NNE 向,频率为 17.2%;强浪向为 SW 及 SSW 向,次浪向为 S 向及 N 向;小于 1.0 m 的波高发生频率为 96.21%,大于 1.5 m 的波高发生频率仅为 1.1%;实测最大波高 3.4 m,波向为 ESE,实测最大波周期 6.8 s。

2 围填海与岸线变迁状况

钦州湾岸线长 562.64 km,主要类型有基岩海岸、沙质海岸、泥质海岸、生物海岸以及人工海岸等。近 20 多年来,由于大规模围填海建设,钦州湾岸线发生了显著变化(图 1)。

1990 年之前,钦州湾尚未开发建设,海岸线多为自然岸线。2000 年,钦州湾开发利用逐渐兴起,勒沟、果子山以及鹰岭等地的港口与码头初具雏形,面积约 2 km²。2005 年,钦州港第一个深水港码头逐步完善,钦州电厂水下工程基本完成,陆上建筑开工建设,同时保税港区开始围堰。2008 年,保税港区一期基础设施工程建成,面积约 2.5 km²,金鼓江东、西两侧一号、二号公路等基础配套工程也已完成。

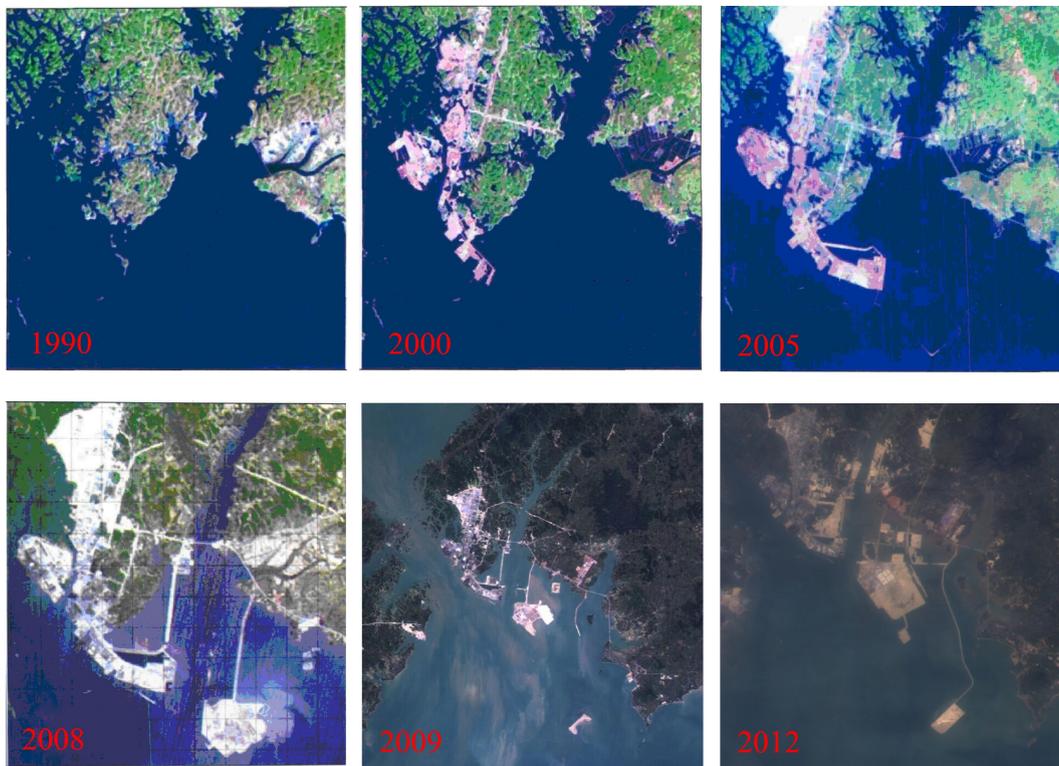


图1 1990~2012年钦州湾围填海与岸线变迁影像

Fig. 1 Image of reclamation and shoreline change from 1990 to 2012 in Qinzhou Gulf

2009年,与保税港区相连的大榄坪作业区吹填施工继续推进,三墩公路北段以及三墩作业区已部分填海成陆。2012年,经过多年建设,保税港区以及大榄坪作业区成陆面积显著扩大,金鼓江大桥两侧填海面积也明显增加;此外,三墩公路已全线贯通,三墩作业区初具规模。

总之,因围填海工程建设,钦州湾自然岸线逐年递减,岸线平直化趋势明显,人工岸线逐渐替代自然岸线。据统计,钦州湾人工岸线长度由1980年的17.2 km增长至2007年的30.6 km,年均增速为2.16%,考虑到近几年的大规模围填海建设,钦州湾人工岸线逐渐取代自然岸线的趋势仍在持续。

钦州湾2010~2012年围填海面积分别为3.9 km²、2.8 km²、3.0 km²,3年累积填海面积达9.7 km²。据2013年广西海洋环境质量公报,钦州湾2013年批复的填海面积约0.7 km²,至2013年底钦州湾已填海约22.5 km²。根据北部湾港总体规划,到2030年,仅钦州港区占用滩涂及海域面积将达到51.7 km²。另据钦州市城市总体规划,2008~2025年钦州湾规划围填海域达79 km,其填海范围将达到钦州湾面积的近四分之一。大规模海洋开发必然会对海湾的水动力环境与底床冲淤环境产生影响。

3 水下地形变化

3.1 水下地形

钦州湾2012年水下地形见图2,其水下地貌主要有潮间浅滩、潮沟、潮流沙脊、潮流深槽、拦门沙、水下岸坡以及河口沙坝等类型。潮间浅滩广泛分布于茅尾海、金鼓江与鹿耳环江沿岸以及钦州湾外湾东、西两侧沿岸,其中最宽的潮间浅滩位于茅尾海,宽度达4~6 km。潮沟由发育于潮间浅滩以及深入内陆的潮汐汉道构成,主要有茅岭江、钦江、金鼓江以及鹿耳环江等潮沟,宽度一般为50~100 m。潮流沙脊主要分布于钦州湾外湾,从青菜头往南顺着落潮流方向呈辐射状展开,其中以老人沙的规模最大,长约7.5 km,宽约0.7 km,呈西北-东南走向,低潮时可部分出露,与相邻潮流深槽水深相差可达6~7 m。潮流深槽主要有龙门水道以及外湾的东、中、西水道:龙门主槽长约8 km,宽1~2 km,水深5~22 m,在亚公山附近水深最深可达22 m;外湾东水道水深5~20 m,10 m深槽长3 km,以青菜头附近水深最深;外湾中水道相对宽浅,水深5~10 m,7 m深槽长约10 km;外湾西水道呈南北走向,水深5~15 m,10 m以上深槽长约6.6 km。拦门沙主要位于外湾口门附近,水深2~5 m;中水道南端拦门沙水深3 m,宽2.5

km,由于拦门沙阻挡导致5 m深槽线不能与湾外贯通;东、西水道拦门沙呈西南-东北走向,这2条水道为涨、落潮流主流通道,因航道开挖浚深,目前5 m深槽均已全线贯通。水下岸坡主要分布于钦州湾口门外,水深5~12 m。河口沙坝主要发育于茅岭江、钦江河口内。

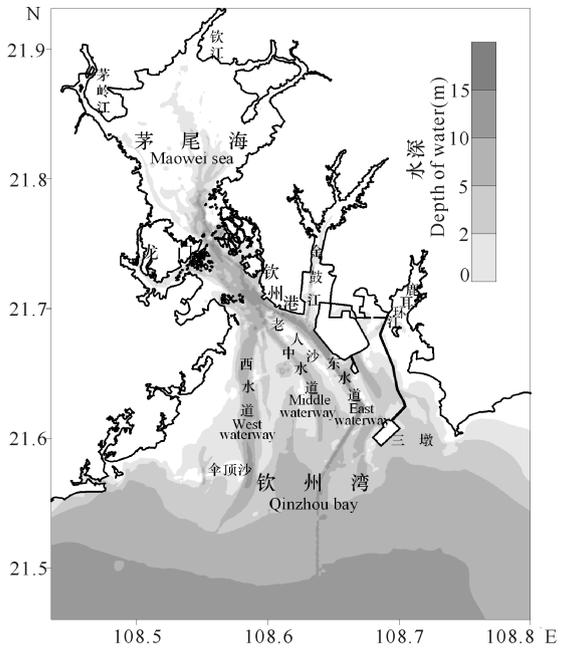


图2 钦州湾2012年水下地形(理论基面)

Fig. 2 Underwater topography of Qinzhou Gulf in 2012 (theoretical depth datum)

3.2 水下地形变化状况

2004~2012年,由于围填海工程建设、航道扩建疏浚以及自然条件等诸多因素共同作用,钦州湾的等深线形态发生了一些改变。从图3可以看出,在金鼓江口,因航道开挖及沿岸港口码头建设,2012年0 m等深线向两侧退缩,而金鼓沙以及江口沙等大片浅滩已填海成陆,0 m等深线已不能相通。东航道北段附近,2012年保税港区码头建成后,保税港区码头西侧2 m等深线局部中断,紧靠5 m等深线西侧,新形成一小长条状2 m闭合等深线,这可能由航道扩建抛泥造成。东航道中段,2007年的航道扩建使5 m等深线向其东、西两侧扩展;2012年航道进一步扩建后,5 m等深线继续向两侧扩大。东航道南段即钦州湾口,2004年时10万t级航道尚未建设,10 m等深线未能贯穿至湾口;2007年随着10万t级航道逐渐建成,10 m等深线已基本全线贯通;2011年该航道完成单侧向西拓宽工程,航道底宽由2008年的160~190 m扩展至190~210 m,底标高为13 m(理论基面)。此外,进一步分析发现,2004~2012年,在钦州

湾口中部,10 m等深线呈向南推进的趋势,这表明湾口水下沙洲仍在缓慢向湾外淤长。

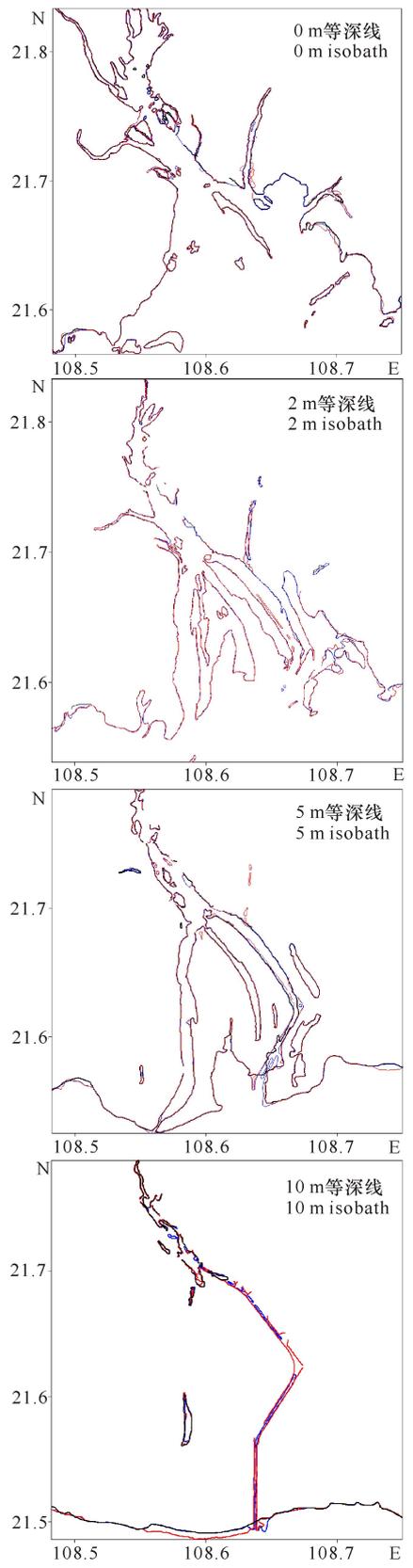


图3 钦州湾2004~2012年等深线变化(黑色,2004;蓝色,2007年;红色,2012年)

Fig. 3 Isobath change of Qinzhou Gulf from 2004 to 2012 (black, 2004; blue, 2007; red, 2012)

4 泥沙来源与悬沙分布

4.1 泥沙来源

钦州湾的泥沙主要来源于陆相径流、海相输送、近岸海洋工程建设等几个方面。

4.1.1 陆相径流

注入钦州湾的较大河流主要有茅岭江、钦江以及季节性小溪金鼓江、鹿耳环江等,这些河流为茅尾海潮滩发育提供了主要物质来源,也为外湾沙脊、拦门沙及浅滩形成提供部分沙源。茅岭江全长 112 km,流域面积 2959 km²,多年平均径流量为 15.97 × 10⁸ m³,多年平均输沙量为 31.86 × 10⁴ t;钦江全长 179 km,流域面积 2457 km²,多年平均径流量 11.69 × 10⁸ m³,多年平均输沙量为 26.99 × 10⁴ t;金鼓江及鹿耳环江等无实测水文数据,但洪季暴雨切割冲刷沿岸地层带来的泥沙对塑造其两侧浅滩也起到较大作用。

4.1.2 海相输送

海相来沙主要以波浪侵蚀海岸以及湾外掀沙作用为主。钦州湾潮差大、潮流强,有利于波浪冲刷、侵蚀海岸和潮流搬运物质。从钦州湾沉积物中重矿物分析结果来看^[6],外湾东南部与西南部海域沉积物中的碎屑重矿物组合与沿岸母岩的碎屑重矿物组合基本一致,这说明钦州湾海域沉积物中的部分泥沙是来源于波浪对沿岸侵蚀或片流切割;此外,在外湾沉积物中还发现少量海相沉积形成的海绿石、鲕绿泥石和自生黄铁矿,这是海相来沙的标志,但其量甚少。

4.1.3 近岸海洋工程建设

近年来,近岸海洋工程建设带来的泥沙形成了钦州湾泥沙的又一来源。如钦州湾东航道拓宽浚深、金鼓江航道开挖以及 30 万 t 进港航道建设、海域挖沙等开发活动,航道的疏浚方式、抛泥方式以及挖沙方式均可能形成局部沙源;保税港区、大榄坪作业区、金鼓江两侧、三墩作业区等地围海造陆过程中,局部区段未建设不透水围堰,直接从陆域倾倒沙土,或仅采用编织袋装土堆筑简易隔堤,吹填的泥沙从相对较大的隔堤缝隙泄漏,构成钦州湾短期局部沙源。

4.2 悬沙分布

钦州湾水体含沙量受径流、潮期、天气等因素影响,在不同季节表现不同特征。2008 年防城港红沙核电厂夏、冬二季全潮水文调查结果显示,夏季,钦州湾外湾大潮平均悬沙浓度为 0.01 kg/m³,中潮时因个别测站附近有挖泥船作业,导致总体平均含沙量为 0.033 kg/m³,小潮平均含沙量为 0.006 kg/m³;冬季,大潮平均含沙量为 0.007 kg/m³,中潮为 0.007 kg/m³,小潮为 0.005 kg/m³。从平面分布看,夏季,

果子山至燃煤电厂一带的北部水域含沙量相对较高,全潮平均为 0.039 kg/m³,中部水域全潮平均为 0.008 kg/m³,南部水域较低,为 0.004 kg/m³;冬季,北部水域全潮平均含沙量为 0.009 kg/m³,中部为 0.008 kg/m³,南部为 0.005 kg/m³。2009 年 11 月上旬大潮期间,广西科学院于东航道中部与三墩公路中部东侧海域布设 2 个测站,进行周日水文观测,悬沙浓度变化范围为 0.006~0.037 kg/m³,2010 年同期的观测结果显示,悬沙浓度变化范围为 0.001~0.007 kg/m³。历次含沙量观测资料分析表明,钦州湾海域属低含沙量海域,夏季含沙量大于冬季,茅尾海含沙量大于钦州湾外湾。

5 悬沙输运与冲淤变化的数值模拟

5.1 数学模型的建立

日益成熟的数学模型是研究河口港湾悬沙输运与底床冲淤有效手段,可以弥补观测资料在时空范围的不足,利于从整体上把握研究区域内的泥沙运动规律。为此,本文建立了一个高分辨率的钦州湾平面二维潮流泥沙数学模型;采用非结构三角形网格划分研究区域,网格单元 15468 个,网格步长由近岸 50 m 逐渐过渡至外海边界 1800 m;数值方法采用有限体积法,动边界以干湿网格法处理。该模型的潮流模块已成功建立^[15],本文在此基础上加入泥沙模块,其中悬沙输运方程为

$$\frac{\partial dS}{\partial t} + \frac{\partial duS}{\partial x} + \frac{\partial dvS}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_x d \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_y d \frac{\partial S}{\partial y} \right) + F_s, \quad (1)$$

底变形方程为

$$\rho'_s \frac{\partial Z_b}{\partial t} = -F_s, \quad (2)$$

式(1)~(2)中, d 为水深, u 、 v 分别为 x 、 y 方向上流速, S 为垂线平均含沙量, ϵ_x 、 ϵ_y 为泥沙扩散系数, Z_b 为底部高程, ρ'_s 为泥沙干密度。 F_s 为源汇项函数,由切应力方法给出^[16]。模型的径流泥沙边界取年平均输沙量,其中茅岭江取 0.199 kg/m³,钦江取 0.231 kg/m³,外海南边界取 0.002 kg/m³,东、西边界从外海向近岸由 0.002 kg/m³线性插值至 0.005 kg/m³。泥沙初始场取 0.005 kg/m³。

5.2 数值模拟结果

5.2.1 悬沙输运

采用 2009 年秋季我们在钦州湾的 2 个泥沙测站资料对模型进行验证,限于篇幅文中不再列出。数值模拟结果显示,钦州湾的悬沙浓度空间分布与涨、落

潮流密切相关(图4)。涨潮时,外湾尚未落淤的泥沙以及潮流掀起的泥沙随着涨潮流进入茅尾海中北部,加之茅岭江、钦江下泄的泥沙在此汇聚,使得沙井港至茅岭江口一线以北局部形成含沙量浓度较高的区域,茅尾海中西部悬沙浓度最大可达45~48 mg/L;30 mg/L等值线覆盖了茅尾海大部分海域,龙门水道以南至外湾大片区域则为5~10 mg/L的悬沙所覆盖。落潮时,茅尾海内的部分泥沙通过龙门水道随流进入外湾,加之强劲的落潮流的掀沙作用,导致外湾中部从老人沙至西航道,形成一个较高浓度的泥沙聚集区,其含沙量分布介于45~50 mg/L;20 mg/L等值线向南延伸至湾口,向北可深入茅尾海南部;值得指出的是,三墩公路东侧中部海域的含沙量高达30~40 mg/L,这应与该海域的底床冲蚀引起的泥沙悬浮有关,由于三墩公路的建成,导致其东侧潮流动力显著增强,强潮流足以掀起底床泥沙。

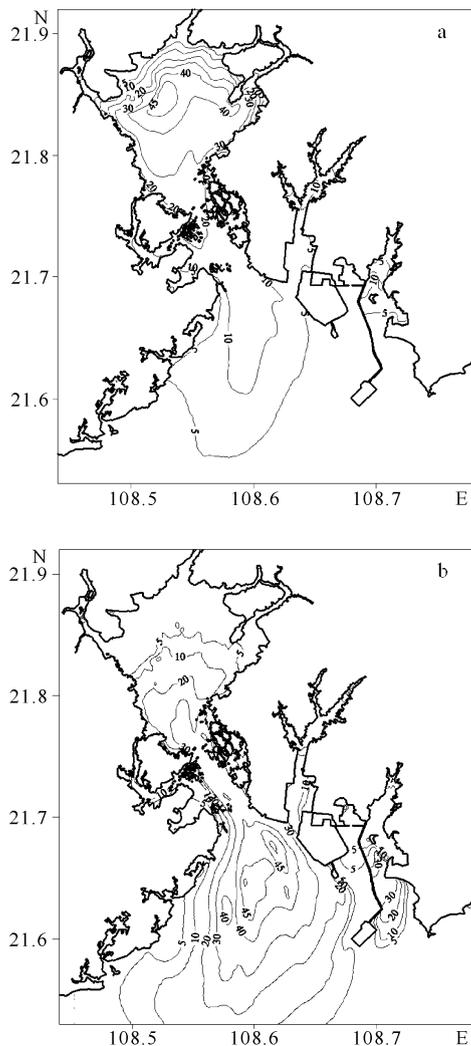


图4 钦州湾高潮(a)、低潮(b)时悬沙浓度等值线分布(mg/L)

Fig. 4 Distribution of contour line of suspended sediment concentration at high tide (a) and low tide (b) (unit: mg/L)

对于悬沙的输运方向,主要受余流、径流控制。已有调查研究结果表明,茅尾海海域夏、冬季余流流向均与潮沟、深槽的走向一致,并指向外湾,悬沙输运亦表现为向南输运;夏季受上游径流来水增加的影响,茅岭江口的余流流速最大可达0.3 m/s,这显示在强劲落潮流与径流的共同作用下,茅尾海的部分悬沙向外湾输运,参与外湾的底床塑造。在钦州湾外湾青菜头东南端,夏季存在局部气旋式环流^[17~19],导致外湾东侧部分悬沙向湾内输运,而其西侧悬沙向湾外输运;冬季,外湾余流受北向季风影响,悬沙总体表现为向湾口输送。

5.2.2 冲淤变化

钦州湾大规模围填海前(2008年)与围填海后(2012年)的海床冲淤对比情况如图5所示(图例中,负值表示冲刷,正值表示淤积)。

2008年,钦州湾大片海域表现出微冲微淤的动态平衡,其冲淤变化介于-0.01~0.01 m/a;茅尾海中西部局部海域存在一个淤积量0.03 m/a左右的淤积区域;外湾3条水道中西端每年的淤积量约为0.03 m,其两侧浅水区间或出现冲刷;龙门七十二泾个别岛屿的缓流区,年淤积量可达0.05~0.08 m;冲刷区域最为显著的出现在龙门水道,其中端急流区附近的冲刷量最大可达0.135 m/a,其北部的冲刷量最高也可达0.08 m/a,由于该区域的底床表层泥沙经多年冲刷后已日渐粗化,可以预计经过初期的可观冲刷,其冲刷量将逐渐缩小并趋于稳定;金鼓江口门附近,因保税港区与钦州燃煤电厂的建设,导致口门束窄,在其岸线岬角处表现为冲刷的态势,冲刷量约为0.05 m/a。

2012年,钦州湾中西部海域距离东部围填海区域较远,其海床稳定性受围填海工程建设影响较小,冲淤趋势与2008年基本一致。但在麻蓝岛南部至三墩公路中段,连接三墩作业区的公路建成后,地形改变导致底床冲淤变化较为显著:2008年,该区域原为潮滩,处于微冲微淤的稳定状态;2012年,则呈现出明显的冲刷态势,其冲刷量最大可达0.07 m/a,这是由地形束窄引起的潮流动力增大所导致,随着此种冲刷状态的持续,可以预计,该区域将逐渐形成新的潮沟,并成为鹿耳江的新出海通道。扩建的保税港区西南侧码头前沿及三墩作业区码头西南侧也表现轻微冲刷的趋势。另外,由于东航道扩建浚深,2012年东航道年淤积量0.03 m/a等值线较2008年向西南方扩展;老人沙沙脊的冲刷区域面积有所扩大,但其年冲刷量级不大;金鼓江两侧大量填海后,导致金鼓江纳潮量减小,口门附近的冲刷量有所缩小,但在其中

部海域由于过水断面面积缩小而造成了局部冲刷范围有所增大。

由于资料所限,上述模拟结果目前只考虑悬移质运输所引起的冲淤环境变化,推移质运动以及波浪的掀沙作用等影响因素有待于在数学模型中进一步研究。

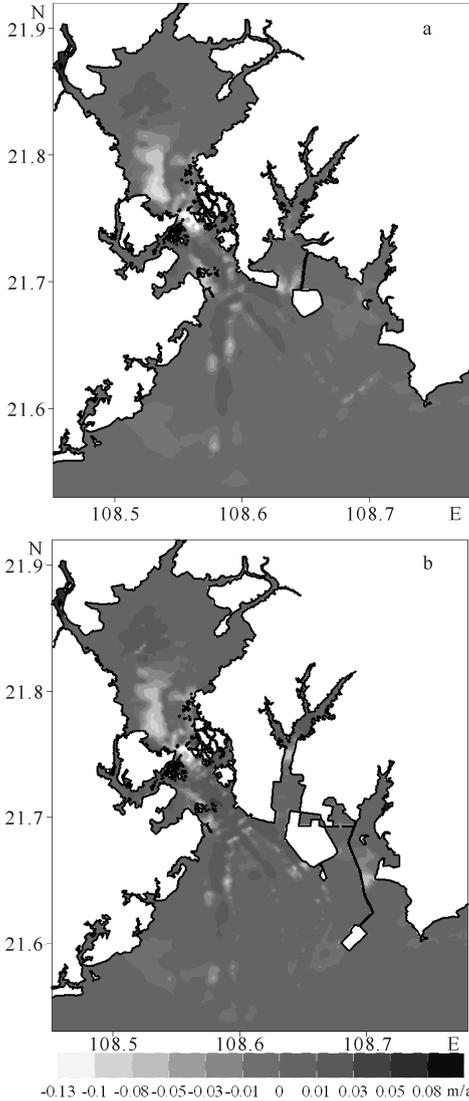


图5 钦州湾大规模围填海前(2008,a)、围填海后(2012,b)海床冲淤变化

Fig. 5 Seabed erosion or deposition of Qinzhou Gulf before (2008, a) and after (2012, b) large-scale reclamation

6 结论

近 20 多年来的海洋开发建设,导致钦州湾的岸线、地形地貌发生了较大改变,岸线平直化以及人工岸线替代自然岸线的趋势非常明显,大片浅滩已围填成陆,航道开挖使 10 m 等深线贯穿至湾口外。海洋开发活动构成了钦州湾泥沙的来源之一,但整个海湾水清沙少,属底含沙量海域。钦州湾海床总体表现出

微冲微淤的态势,但在龙门水道、岸线岬角等急流水域,冲刷趋势较为明显;因东部大规模围填海建设,导致局部海域冲淤环境发生了显著变化,尤以三墩公路东侧海域最为明显,原处于微小淤积的潮滩转为冲刷状态(年冲蚀量可达 0.07 m),金鼓江及老人沙等海域的冲淤状态也发生微小改变。

总体上看,目前钦州湾的围填海主要集中在东部浅滩,对钦州湾海床稳定性影响的也仅局限于该海域,影响较大的区域为三墩公路东侧海域。值得关注的是,钦州湾除按照规划在东部海域继续填海外,未来将对三墩作业区进行扩建,水平方向缩窄湾口 1.38 km,企沙东面的伞顶沙浅滩将建设一个面积约 13.64 km² 离岸岛,老人沙也将建成为面积 12.79 km² 或 13.12 km² 的作业港区,这些大型工程的建设必然会进一步改变钦州湾的水动力与冲淤环境。

参考文献:

[1] 莫永杰. 广西钦州湾潮滩沉积特征[J]. 海洋湖沼通报, 1988,4:46-49.
Mo Y J. The features of tidal flat deposits in the Qinzhou Bay of Guangxi Province[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1988,4:46-49.

[2] 莫永杰. 钦州湾溺谷湾地貌、沉积与物质运移[J]. 海洋通报, 1993,12(5):56-61.
Mo Y J. Coastal geomorphological and sediment type of Qinzhou drowned-valley-bays[J]. Marine Science Bulletin, 1993,12(5):56-61.

[3] 郑暖方. 钦州湾水动力条件及悬沙分布特征[J]. 海岸工程, 1988,7(1):48-54.
Zheng N F. Hydrodynamic conditions and distribution characteristics of suspended sand in Qinzhou Bay[J]. Coastal Engineering, 1988,7(1):48-54.

[4] 王文介,李飞永,朱良生,等. 广西钦州湾的泥沙运动与航道回淤问题[J]. 南海研究与开发,1996,4:23-29.
Wang W J, Li F Y, Zhu L S, et al. Sediment movement and waterway silting problem in Qinzhou Bay of Guangxi Province[J]. South China Research and Development, 1996,4:23-29.

[5] 杨细根,乐培九. 钦州港西航道拦门沙开挖回淤研究[J]. 水道港口,1998,2:1-9.
Yang X G, Le P J. Study on the silt after excavation of west-chanel sand bar of Qinzhou Harbor[J]. Waterway and Harbor, 1998,2:1-9.

[6] 黎广钊,梁文,刘敬合. 从沉积物中重矿物动力分区论钦州湾泥沙来源及运移趋势[J]. 海洋通报,2002,21(5):61-68.
Li G Z, Liang W, Liu J H. Discussion on the source and transport tendency of silt in the Qinzhou Bay in terms of

- the dynamic partition zones of heavy minerals in the sediments[J]. Marine Science Bulletin, 2002, 21(5): 61-68.
- [7] 阎新兴, 刘国亭. 钦州湾近海区沉积特征及航道淤积研究[J]. 水道港口, 2006, 27(2): 79-83.
Yan X X, Liu G T. Study on deposition characteristics and channel siltation in offshore zone of Qinzhou Bay [J]. Waterway and Harbor, 2006, 27(2): 79-83.
- [8] 白玉川, 廖世智. 广西钦州湾海域海床稳定性特征的研究[J]. 海洋通报, 2005, 24(2): 26-32.
Bai Y C, Liao S Z. Analysis on the features of seabed stability in Qinzhou Bay, Guangxi [J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(2): 26-32.
- [9] 许家帅, 李蓓, 张征. 钦州港总体布局规划方案泥沙回淤研究[J]. 水道港口, 2008, 29(1): 31-35.
Xu J S, Li B, Zhang Z. Study on sedimentation for general plan project of Qinzhou Harbor [J]. Waterway and Harbor, 2008, 29(1): 31-35.
- [10] 张伯虎, 陈沈良, 谷国传, 等. 钦州湾潮流深槽的成因与稳定性探讨[J]. 海岸工程, 2010, 29(3): 43-50.
Zhang B H, Chen S L, Gu G C, et al. Formation and stability of tidal channels in Qinzhou Bay [J]. Coastal Engineering, 2010, 29(3): 43-50.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 刘洋, 孙永福, 杨宗严, 等. 钦州湾港口功能区布局对海洋动力环境的影响[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(3): 360-363.
Liu Y, Sun Y F, Yang Z Y, et al. Impact of port functional division layout of Qinzhou Bay on marine dynamic environment [J]. Marine environmental science, 2013, 32(3): 360-363.
- [14] 董德信, 李谊纯, 陈宪云, 等. 钦州湾潮流季节变化特征[J]. 广西科学, 2014, 21(4): 351-356.
Dong D X, Li Y C, Chen X Y, et al. Analysis of current seasonal characteristics variation in Qinzhou Bay [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(4): 351-356.
- [15] 董德信, 李谊纯, 陈宪云, 等. 大规模填海工程对钦州湾水动力环境的影响[J]. 广西科学, 2014, 21(4): 357-364.
Dong D X, Li Y C, Chen X Y, et al. Analysis of the impact of hydrodynamic environment caused by large-scale reclamation in Qinzhou Bay [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(4): 357-364.
- [16] 董德信, 陈波, 李谊纯, 等. 基于平面二维潮流模型的北仑河口悬沙输运与床底冲淤数值模拟[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(6): 16-21.
Dong D X, Chen B, Li Y C, et al. Numerical simulation of suspended sediment transport and seabed change in the Beilun Estuary based on a two-dimensional tidal current model [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2013, 32(6): 16-21.
- [17] 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: 13-20.
Chen B, Shi M C, Qiu S F. Characteristics of residual currents and their influence on the material transportation in five main bays of Guangxi coast [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2003, 1: 13-20.
- [18] 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.
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.
- [19] 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 Qinzhou Bay based on FVCOM [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2009, 28(2): 7-14.

(责任编辑:米慧芝)