

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.03.013

张志飞, 诸裕良, 何杰. 多年围填海工程对湛江湾水动力环境的影响[J]. 水利水运工程学报, 2016(3): 96-104. (ZHANG Zhi-fei, ZHU Yu-liang, HE Jie. Influences of long term reclamation works on hydrodynamic environment in Zhanjiang bay[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(3): 96-104.)

多年围填海工程对湛江湾水动力环境的影响

张志飞¹, 诸裕良¹, 何 杰²

(1. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 湛江湾为一半封闭海湾,从2003年开始湛江湾进行了多次围垦造地工程,水域面积已减小3.2%,围填海工程必将造成湛江湾水动力环境的变化。采用平面二维水质数学模型,在对潮位、潮流实测数据验证的基础上,对湛江湾不同年份围填海工程实施后的潮流动力变化进行模拟,对比了湾内流态分布和特征点流速变化,计算了海湾纳潮量的变化,分析了围填海对于湾内水交换能力的整体及局部影响。模拟结果表明,围填海工程对湾内流场的影响仅限工程附近水域,对湛江湾主航道流速影响较小;纳潮量随湾内水域面积的减小而减小,2015年湛江湾纳潮量与2003年相比总体减小3.4%。对于深水区围填尤其是伸入到主流区的围填海工程,由其引起的水动力环境改变和纳潮量变化都比较大,应引起足够重视;湛江湾多年围填海对于工程附近局部水域的水交换能力的影响显著,其中宝满港区由于位于深水区且伸入到主流区,导致水交换率变幅较大,在远期岸线规划应结合污染物治理方案进行。

关 键 词: 围填海; 水交换; 纳潮量; 湛江湾

中图分类号: P731.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2016)03-0096-09

湛江湾作为华南地区的优良港湾,径流小,水体含沙量低,海床地形稳定,具备建设多功能综合性港口和大型工业园区的优越条件^[1]。根据《湛江港口及岸线利用规划》,湛江湾拟建霞山、霞海、宝满、调顺岛、东海岛、南三岛、坡头共7个港区,主要以东海岛、霞山、宝满3个港区为建设重点。从2003—2015年,通过围填海工程完成了湛江湾中期建设的初步阶段任务,在使码头岸线可利用长度增加的同时海湾水域面积在逐步减小,这种海域面积减小的变化趋势势必会对湾内原本平衡的水沙环境和生态环境带来影响。因此开展多年围填海工程对湛江湾水域造成的水动力环境影响研究对未来湛江湾岸线建设十分必要。

国内外已有多位学者以具体海湾为例,从流场结构、潮波变形、纳潮量以及水交换能力等角度分析了海湾水动力环境对围填海工程的响应^[2-8]。本文将基于平面二维潮流数学模型,分别针对2003—2007年、2007—2012年及2012—2015年形成的围填海工程,计算分析围填海工程对湛江湾的水动力环境变化的影响,重点论述对海湾纳潮量及水交换能力的变化影响程度。

1 模型的建立与验证

模型采用南京水利科学研究院自主研发的NHRI_RECO_CS河口海岸数值模拟潮流泥沙数值模拟系统软件(软著登字第0433442号)。该数值模拟系统采用Visual C++编程,具有系统集成性好、操作界面友好、可视化程度高、系统稳定等特点。

收稿日期: 2015-07-17

基金项目: 南京水利科学研究院基金资助项目(Y214001)

作者简介: 张志飞(1993—),男,山西朔州人,硕士研究生,主要从事海洋动力学方面的研究。

E-mail: zhangfei6220@163.com

1.1 数学模型

考虑到研究区域水域面积较大,水深相比于平面尺度较小,采用了平面二维水质模型进行研究,向量形式的水流控制方程如下:

$$\partial U / \partial t + \nabla E = S + \nabla E^h \quad (1)$$

$$E = (F, G) \quad (2)$$

$$F = (hu \ hu^2 + gd^2/2 \ huv \ hu\phi)^T, \quad G = (hv \ huv \ hv^2 + gd^2/2 \ hv\phi)^T$$

式中: $U = (h, hu, hv, h\phi)$, h 为全水深, $h = d + \eta$, d 为水平面以下水深, η 为水面波动; u, v 分别表示 x, y 方向的流速; ϕ 为污染物浓度值。

水流运动方程的紊动扩散项和污染物扩散项为:

$$E^h = (F^h, G^h) \quad (3)$$

$$F^h = (0 \ \varepsilon_x h \partial u / \partial x \ \varepsilon_x h \partial v / \partial x \ k_x h \partial \phi / \partial x)^T, \quad G^h = (0 \ \varepsilon_y h \partial u / \partial y \ \varepsilon_y h \partial v / \partial y \ k_y h \partial \phi / \partial y)^T$$

式中: $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ 分别为 x, y 方向的涡黏系数,取各向同性,即 $\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon$,可表示为 $\varepsilon = khU_*$, U_* 为摩阻流速, $U_* = n\sqrt{g(u^2 + v^2)}/h^{1/6}$; k_x, k_y 分别为 x, y 方向的污染物扩散系数。

$$\text{源项 } S \text{ 表示如下: } S = S_0 + S_f = (0 \ gh(S_{0x} + S_{fx}) + fv \ gh(S_{0y} + S_{fy}) - fu \ -k_1 h\phi + Rh)^T \quad (4)$$

式中: S_{0x}, S_{0y} 分别是 x, y 向倾斜效应项即河床底部高程变化; $S_{0x} = -\partial z_b / \partial x$, $S_{0y} = -\partial z_b / \partial y$, z_b 为河床底高程; S_{fx}, S_{fy} 是 x, y 向的底摩擦效应项, $S_{fx} = -n^2 u \sqrt{u^2 + v^2} / h^{4/3}$, $S_{fy} = -n^2 v \sqrt{u^2 + v^2} / h^{4/3}$, n 为曼宁系数, f 为柯氏系数, $f = 2\omega \sin \phi_0$, ω 代表地转速度, ϕ_0 为当地地理纬度; R 为单位时间、单位体积的源和汇项, k_1 为污染物的衰减系数,在对保守性物质扩散模拟中可认为 $k_1 = 0$ 。

模型定解条件分别为开边界处初始时以湾口潮位过程作为控制条件,并在计算过程中不断调整相位及潮差值,直到满足模拟精度要求;陆地边界处水质点的法向速度为 0,且为保证模型的稳定,引入 P. A. Sleight 等^[7]提出的动边界处理方法,即当网格单元上的水深变浅但尚未处于露滩状态时,相应水动力计算采用特殊处理,该网格单元上的动量通量置为 0,只考虑质量通量;当网格上的水深变浅至露滩状态时,计算中将忽略该网格单元直至其被重新淹没为止。模型采用基于无结构网格的有限体积法对方程离散,对流项的界面通量采用 Roe 格式的近似 Riemann 解计算,紊动黏性项采用单元交界面的平均值估算,底坡源项则采用特征分解法处理,求解二维潮波浅水方程^[8-9]。

1.2 模型计算区域及网格设置

本文将包括湛江湾及其部分外海海域作为模拟计算区域,东经 $110.15^\circ \sim 110.83^\circ$, 北纬 $20.49^\circ \sim 21.41^\circ$, 具体见图 1。模拟区域东西向和南北向均长约 53 km, 模型覆盖水域面积约为 $1\ 000\text{ km}^2$ 。为保证模

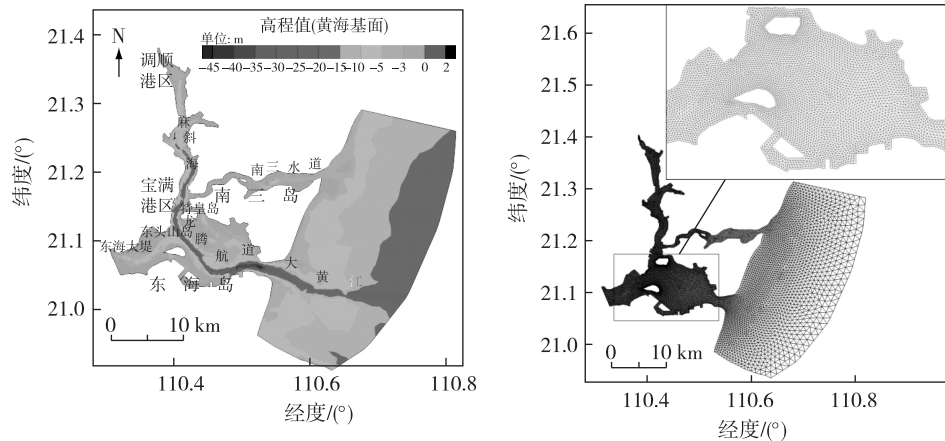


图1 湛江湾地势及模拟计算区域网格

Fig.1 Terrain and model grids for Zhanjiang bay

拟结果不受围填海工程的影响,将开边界设置湛江湾湾口以外 22 km。针对计算域内岛屿众多,岸线曲折边界复杂的特点,采用了三角形网格对计算区域进行剖分,这样既可以克服矩形网格锯齿形边界所造成的流动失真,也可以避免生成有结构贴体曲线网格的复杂计算和其他困难。湛江湾计算区域共划分 18 580 个三角单元,湾内区域相对外海密集,计算区域最小网格边长为 200 m,最大网格边长为 1 500 m。

1.3 模型验证

2015 年 6 月 3—12 日对湛江湾海域开展了水文测验工作,内容包括潮位观测、潮流观测、水体含沙量和底质采用与颗分。水文测验中共布置了 3 个潮位站(2 个临时和 1 个永久潮位站),观测时间为 2015-06-02T08:00/12T08:00;大潮期间进行了 4 个定点水文垂线,测流时间为 2015-06-03T18:00/04T18:00^[10]。图 2 为大王庙、湛江港和东山头 3 个潮位站大潮潮位实测值和计算值比较。图 3 为大潮期间 C1, C2, C3, C4 这 4 个潮流测站(测站位置见图 4)的垂向平均流速及流向的实测值和计算值比较,其中,落潮流速为负,涨潮流速为正。

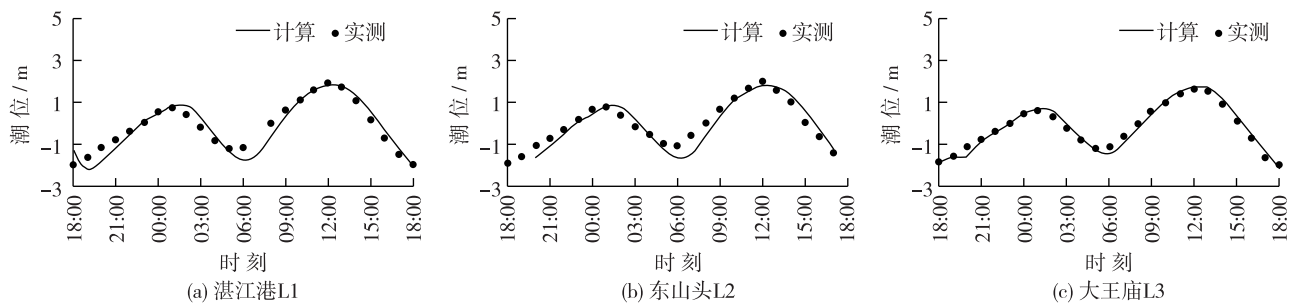


图 2 潮位验证

Fig. 2 Comparison between observed and simulated tide level values

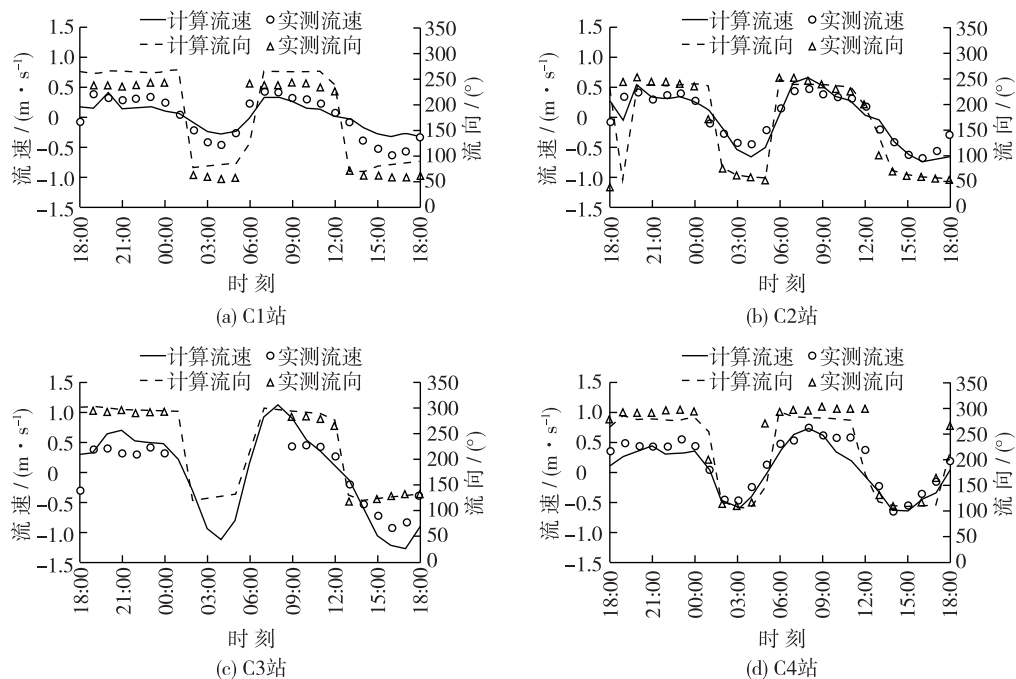


图 3 C1, C2, C3, C4 站流向、流速验证

Fig. 3 Comparison between observed and simulated vertical average velocity and direction at stations C1, C2, C3 and C4

从图中可见,湾内各测点处流动往复性明显,落潮流速大于涨潮流速,且涨潮历时大于落潮历时。从图中点、实曲线的线型以及峰谷位置比较来看,模型所模拟的各站潮位过程与天然情况比较吻合,模型计算出的各条垂线流速、流向变化与实测结果基本一致,但在部分时刻有一定偏差,这可能由于实测流速采用 ADCP 傍船舷的观测方式的原因,需将测船停在指定测点处,会对流速造成干扰,而且模型中未考虑风场因素的影响。总体而言,从 2015 年 6 月份大潮期间的水情验证结果来看,潮位、流速和流向的计算值与实测值基本吻合,说明模型采用的参数基本合理,计算方法可靠,能够模拟湛江湾内潮波运动特性,可用于进一步分析研究。

2 计算结果分析

2.1 湛江湾围填海现状

湛江湾是中国广东省一半封闭的台地溺谷型港湾,现水域面积为 250 km^2 ,湾口为沟通湛江湾与外海的主要通道。根据《湛江港口及岸线利用规划》,从 2003 年至今,湛江湾完成了大量围填海造地工程:2003—2007 年,宝满港区霞宝工业园区建设完成;2007—2012 年,在湛江湾内东海岛东北部,建设完成多个泊位,以促进湾口附近广东沥青项目码头工程的完成;2012—2015 年,在湛江湾经济开发区东海岛新区,建设原油、矿石专用码头,以发展集装箱、石油、散货中转运输。图 4 显示了 2003—2015 年湛江湾水域岸线变化及围填区域。

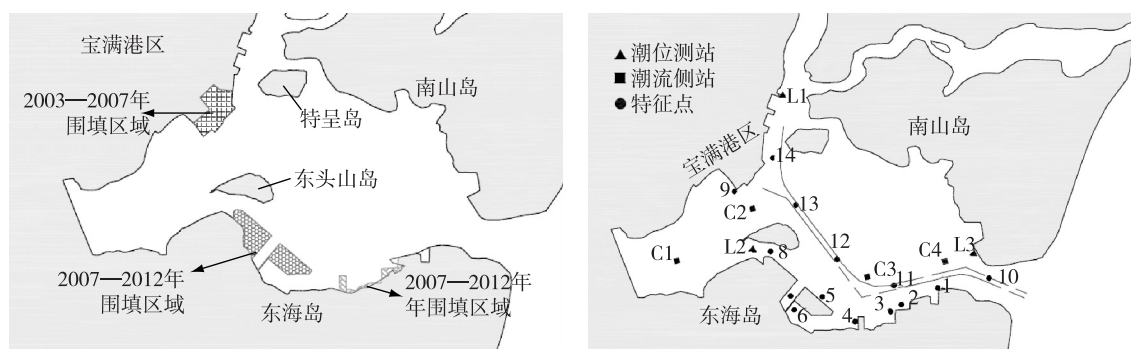


图 4 湛江湾湾内岸线变化、围填海区域及湾内测点位置

Fig. 4 Coastline changes, reclamation area and location of measuring points in Zhanjiang bay

2.2 流态分布对比分析

图 5 列举了 2003、2007、2012 和 2015 年岸线和地形下的涨潮平均流场分布(图中阴影区域为逐年围填海区域)。这里所说的涨潮平均流速是垂向平均流速在整个涨潮时间内或落潮时间内的流速再平均(如无特殊说明,以下均为此意)。

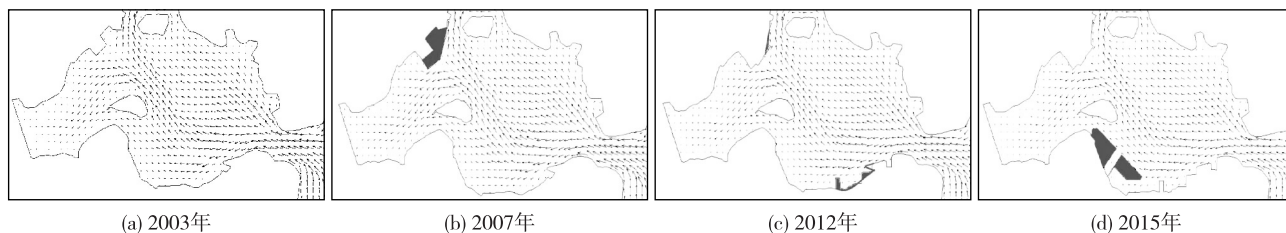


图 5 涨潮平均流场

Fig. 5 Mean current field of flood tide in Zhanjiang bay

由图 5 可知,经围填海后,4 个年份湛江湾内的潮流总体走向仍很相似,表现为往复流性质。模拟流场

显示,涨潮时,潮流从湾口涌入湾内,之后由东往西流向东头山岛北端,并在东头山岛北侧深槽处一分为二:一支往北上溯,一支往西南方向。落潮时,则潮流走向正好相反。从流速分布来看,湛江湾口处作为流速高值区,涨、落潮最大流速均超过 1 m/s。湛江湾内流速总体表现为航道深槽流速大于浅滩,潮汐潮流通道的湛江湾口为主要通道。

为定量研究分析围填海对于周围水域及湛江湾主航道的影响,在工程附近海域及沿主航道走向选取 14 个特征点(图 4),其中,9#点位于宝满港区附近,1#~4#点位于东海岛东北端水域,5#~8#点位于东海岛正北端水域,10#~14#点位于从口门沿主航道走向至湛江港,得到各点在围填海工程前后的平均流速变化率及流向改变值如表 1 所示(各年份均采用 2015-06-04T02:00/04T13:00 大潮时的涨、落潮来计算平均流速变化率及流向改变值)。

表 1 工程区域附近及主航道各特征点的涨、落潮平均流速和流向变化

Tab. 1 Changes in average flood and ebb tidal velocities at characteristic points of Zhanjiang bay

特征点	落潮期						涨潮期					
	2003—2007 年		2007—2012 年		2012—2015 年		2003—2007 年		2007—2012 年		2012—2015 年	
	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
1	-3.3	1	0	-14	-5.2	2	-10.5	-3	5.9	4	-5.6	-12
2	6.7	-2	2.1	24	2	1	3.6	0	20.7	-1	-5.7	4
3	-2.7	4	-5.6	-21	0	-8	0	-5	-3.8	24	8	-6
4	0	-1	-27.3	53	-12.5	-23	-4.3	-1	-50	-75	-27.3	28
5	0	-1	-3.8	3	-36	38	0	-1	-3.7	0	-38	27
6	0	-2	0	3	-64.7	-1	0	4	7.7	3	-57.1	-8
7	6.3	7	-5.9	0	-50	-60	0	9	0	5	-46.7	-92
8	0	1	0	1	6.7	-6	0	-2	0	-12	5.3	-22
9	42.1	35	3.7	2	3.6	0	20	7	0	3	-5.6	-1
10	-0.5	-1	-0.8	0	-2.3	-1	1.9	0	-2.7	-1	-3.2	0
11	-1.7	0	-2.5	-1	-1.5	0	-3.7	-1	-5.6	0	-0.8	0
12	-7.3	2	2.6	-2	-4.4	2	-2.8	0	0.9	0	-2.5	2
13	0.4	-1	-3.2	1	0.6	0	1.0	-1	0.3	2	0.6	0
14	-4.3	7	9.8	-3	-1.8	-4	-1.6	4	12.4	-9	-5.6	9

注:平均流速变化率单位为%;流向变化为(°)。

由表 1 可知,2003—2007 年,特征点平均涨潮流的最大增幅为 42.1%,平均落潮流的最大增幅为 20.0%,发生在工程区域前的 9#点,而其他区域流速变化不大,涨潮最大流向改变也发生在 9#点,落潮最大流向改变发生在靠近工程区域的 7#点;2007—2012 年,特征点平均涨潮流的最大减幅为 27.3%,平均落潮流的最大减幅为 50.0%,均发生在新建泊位附近周围的 4#点;涨落潮最大流向改变也发生在 4#点,工程区域附近流速流向均发生较大变幅;2012—2015 年,特征点平均涨潮流最大减幅为 64.7%,平均落潮流最大减幅为 57.1%,均发生在受新建人工岛掩护的 6#点,涨落潮最大流向改变发生在新建港池内的 7#点,工程区域附近流速流向均发生较大变幅。主航道特征点的流速改变基本维持在 5%左右,流向改变不超过 10°,其中 14#点由于靠近宝满港区围垦区域,且 2007 年宝满港区前沿进行了小范围围垦,造成流速改变相对较大。总体来说,围填海会使工程区域附近流速流向发生较大改变,对远离工程区域包括主航道水域流态影响则较小。

2.3 纳潮量

纳潮量定义为一个海湾可接纳潮水的体积,它的大小反映了海湾的自净能力,决定海湾与外海的水交换强度,对海湾内的生态、环境及冲淤变化等方面的意义重大。纳潮量被作为反映水动力环境的重要指标之一。数学模型计算结果包含了围填海工程引起的潮波变形因素^[1],根据纳潮量定义结合数学模型模拟结果可准确计算出 2003—2015 年湛江湾的纳潮量。本文通过计算 2015-06-03T18:00/04T18:00 大潮高、低潮

时湛江湾容纳海水的体积差得到纳潮量值,给出了大潮纳潮量逐年变化率及总变化率,计算式为:

$$\begin{cases} V = \sum_i \Delta S(H_i) \\ W = \max\{V\} - \min\{V\} \end{cases} \quad (5)$$

式中: V 为整个海湾容水体积; i 代表第 i 个网格; ΔS 为相应的网格面积; H_i 为涨潮或落潮时的总水深,由模型计算结果得到; W 为纳潮量。

2003,2007,2012,2015年对应的水域面积分别为263.08,260.56,259.19和254.57 km²,纳潮量分别为7.36,7.27,7.25和7.11亿 m³。由各年份纳潮量随海湾水域面积变化可以看出:经多年的围填海工程,湛江湾水域面积及纳潮量呈逐年递减的变化趋势,从2003—2015年,水域面积总体减幅为3.2%,纳潮量总体减幅为3.4%。另外,随着围填海工程的实施湾内水域面积在逐步减小,纳潮量随水域面积的下降在不断减少,二者基本呈正比关系。

宝满港区的建设(2003—2007年)使得湛江湾海域面积减小0.96%,纳潮量相应减小1.22%。湾口附近广东沥青项目码头工程(2007—2012年)建设则使得湾内水域面积继续减小0.53%,纳潮量随之减小0.28%。东海岛新区码头建设(2012—2015年)造成水域面积继续减小1.78%,纳潮量减小1.93%。从2003年以来的3次大规模围填海工程引起的水域面积和纳潮量变化来看,宝满港区和东海岛港区建设形成的围填海面积较大,且填海区域已深入湾内靠近主流区,对湾内水动力条件造成了相对较大的变化,纳潮量减幅也随之增加。广东沥青项目码头工程位于湾北侧浅水区,水动力条件较弱,其引起的纳潮量减幅相对较小。因此,不同区域的围填海工程引起的纳潮量变幅不尽相同,对于深水区围填尤其是伸入到主流区的围填海工程,其引起的水动力环境变化和纳潮量减幅都比较大。对于此类围填海工程应引起足够重视。

2.4 水交换能力

水交换能力反映了一个半封闭海湾接受外来“新水”的能力,是衡量海湾自净能力大小的重要指标。湛江湾属于半封闭溺谷型海湾,湾内水深跨幅较大,从0.1~50 m不等,深槽浅滩相间(见图1),其复杂的地形岸线使得湾内水交换能力横纵向存有明显差异。利用水质数学模型,对湛江湾水交换过程进行了模拟,初始时刻将湾内示踪剂浓度设为1.0,外海域为0,定义海水交换率为(1-浓度值)×100%。图6呈现了2003,2007,2012及2015年4种岸线地形下水交换7 d时湾内的浓度场分布。

图6表明东头山岛东侧海区,特别是靠近湾口处水交换能力最强,水交换率达到90%;东头山岛西侧、特呈岛南侧海区相对较弱,水交换率为40%~80%;北侧湾颈海区最弱,水交换率不足10%。多年围填海之后,湾内示踪剂浓度等值线基本维持不变,2003—2015年水交换7 d时湾内平均浓度值分别为0.686,0.688,0.689和0.691,总体变幅约0.7%,表明近年来围填海对于湛江湾内整体水交换能力的影响相对较弱。

为进一步探究围填海工程对水交换的局部影响,图7对比了不同时期围填海工程前后,特征点处示踪剂浓度随时间分布(其中实线代表工程前,虚线代表工程后)。9#点、5#点、3#点分别为2003—2007年、2007—2012年、2012—2015年围填海工程附近取点(具体位置见图4),9#点工程前后7 d的水交换率为23.5%和19.4%,变化率-17.45%;3#点的为78.6%和70.7%,变化率为-10.05%;5#点的为39.3%和37.4%,变化率为-4.83%。其中9#点由于远离湾口,水交换能力最弱,水交换7 d后,水交换率不足30%,浓度基本也呈线性减少的变化趋势;5#位于湾口附近,水交换能力最强,水交换7 d后,水交换率超过70%;3#位于海湾偏中部,距离湾口较近,水交换能力较强,水交换7 d后,水交换率接近40%。各时期围填海工程实施后,浓度曲线总体呈放缓趋势,表明工程区域附近水交换能力降低,可知,2003—2007年的围填海工程使附近水域水交换率由23.5%降低为19.49%,2007—2012年的围填海工程使附近水域水交换率由78.6%降为70.7%,2012—2015年的围填海工程使附近水域水交换率由39.3%降低为37.4%,这些数据证明围填海工程对于附近局部水域的水交换能力影响很明显。此外,由纳潮量随海湾水域面积变化可知,2003—2007年宝满港区围垦率为1.22%,小于2012—2015年东海岛新区的1.93%,但水交换率减幅为17.45%却远大于2012—2015年的4.83%,这说明水交换率的变化与围填面积间无明显正相关关系,主要受围填区所处水动力环境

的影响。宝满港区围填海工程所处海域水深为 15~35 m,属于较深水区,而且围填工程伸入到主流区,导致该区域内潮流动力变幅相对较大,使得水交换率变幅较大,此外该处水交换率原本就较弱,经围填海后,污染物更不易输移扩散,从生态环境角度分析,对于远期规划中该区的围填海工程应慎重考虑,在今后的岸线利用过程中,应结合污染物治理方案执行。

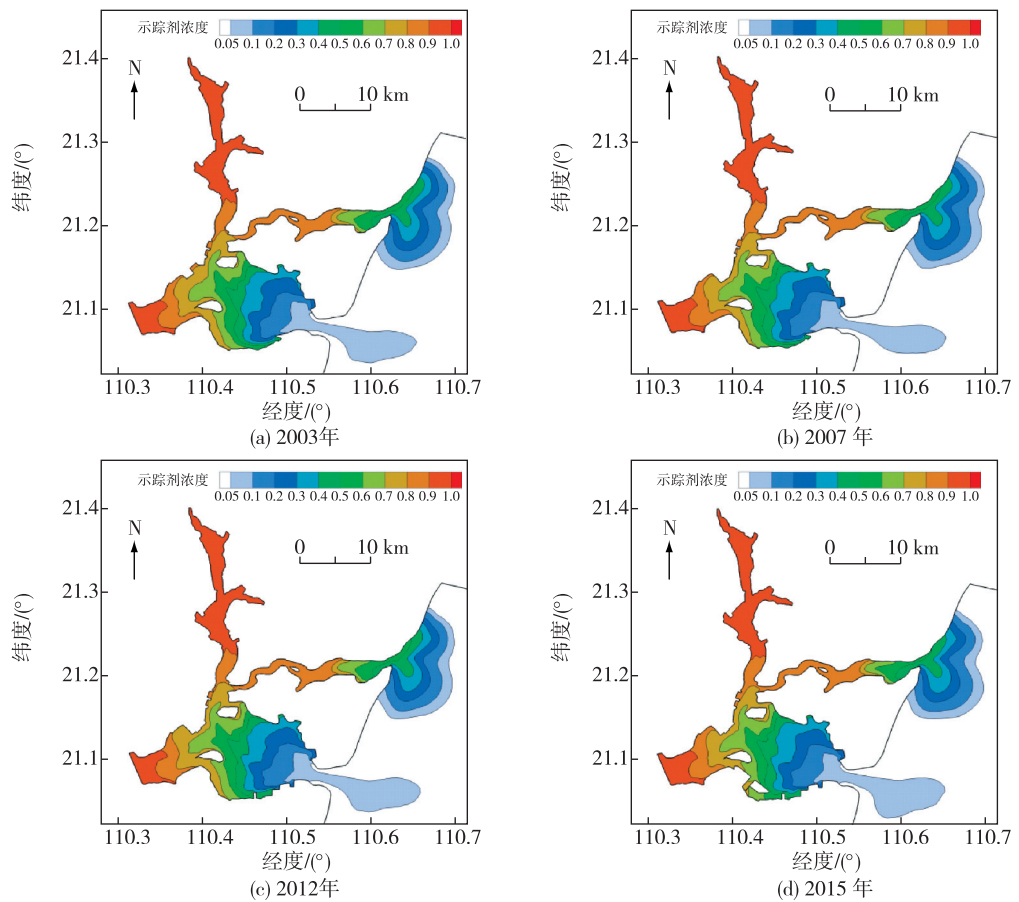


图 6 湾内水交换 7 d 时浓度场分布
Fig. 6 Soluble tracer concentration distribution after 7 days water exchange

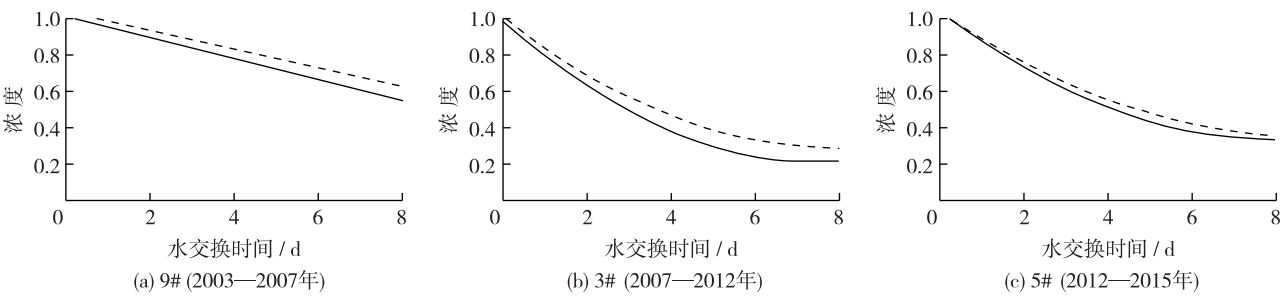


图 7 不同时期围填海工程前后特征点处示踪剂浓度随时间分布
Fig. 7 Changes in concentration at characteristic points with time after completion of different reclamation works

3 结 语

本文建立了湛江湾二维水质模型,通过与实测资料对比,证明了模型的可靠性。利用模型研究分析了多年围填海工程对于湛江湾水动力环境的影响,可得:

(1)围填海工程大都位于浅水区,湛江湾的主流运动趋势并未受到影响,仅在工程附近水域产生一定水动力条件变化。

(2)从2003—2015年,湛江湾水域面积减小了3.2%,纳潮量总体减幅为3.4%。

(3)随着围填海工程的实施,湛江湾内水域面积逐步减小,纳潮量减幅与水域面积减幅基本呈正比关系,但对于深水区围填尤其是伸入到主流区的围填海工程,由其引起的水动力环境改变和纳潮量变化都比较大,应引起足够重视。

(4)湛江湾多年围填海工程对于水交换能力的影响范围仅限于工程附近局部水域,湾内其他区域水交换能力基本保持不变。宝满港区围填海位于深水区且伸入到主流区,导致水交换率变幅较大,经围填海后,污染物更不易转移扩散,对于该区的围填海工程应结合污染物治理方案实施。

此外,本文主要研究围填海工程对湛江湾水动力环境的影响,并未考虑围填海对于湾内泥沙冲淤的影响,事实上,水动力环境的改变会对湾内泥沙冲淤状态带来影响,但由于湛江湾本属于冲淤基本平衡、轻微冲刷的海湾^[12],且2003—2015年围填面积有限,所以围填海工程引起的海床变形不会对湛江湾内地势造成明显改变,所以本文忽略了泥沙运动影响,在今后研究中可作进一步的分析。

参 考 文 献:

- [1] 林迪洋. 湛江湾填海工程的水动力条件影响及泥沙冲淤预测[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005. (LIN Di-yang. Effects of the hydrodynamic conditions of Zhanjiang bay reclamation project and prediction of its silt sedimentation[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005. (in Chinese))
- [2] 曾相明, 管卫兵, 潘冲. 象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应[J]. 海洋学研究, 2011, 29(1): 73-83. (ZENG Xiang-ming, GUAN Wei-bing, PAN Chong. Cumulative influence of long term reclamation on hydrodynamics in the Xiangshangang bay[J]. Journal of Marine Sciences, 2011, 29(1): 73-83. (in Chinese))
- [3] 夏华永, 林迪洋, 钮智旺. 湛江湾填海工程对水动力条件的影响预测[J]. 海洋通报, 2006, 25(6): 47-54. (XIA Hua-yong, LIN Di-yang, NIU Zhi-wang. Prediction of effects of reclamation works on hydrodynamic conditions in the Zhanjiang bay[J]. Marine Science Bulletin, 2006, 25(6): 47-54. (in Chinese))
- [4] 孙钦帮, 崔雷, 孙丽艳, 等. 围填海工程对曹妃甸海域水动力环境影响的数值分析[J]. 水运工程, 2015(7): 20-24. (SUN Qin-bang, CUI Lei, SUN Li-yan, et al. Numerical simulation of impact of land reclamation on hydrodynamic environment in Caofeidian area[J]. Port & Waterway Engineering, 2015(7): 20-24. (in Chinese))
- [5] 李希彬, 孙晓燕, 牛福新, 等. 半封闭海湾的水交换数值模拟研究[J]. 海洋通报, 2012, 31(3): 248-254. (LI Xi-bin, SUN Xiao-yan, NIU Fu-xin, et al. Numerical study on the water exchange of a semi-closed bay[J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(3): 248-254. (in Chinese))
- [6] 刘明, 席小慧, 雷利元, 等. 锦州湾围填海工程对海湾水交换能力的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 110-114. (LIU Ming, XI Xiao-hui, LEI Li-yuan, et al. The effects of coastal reclamation on hydrodynamics in Jinzhou bay[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2013, 28(1): 110-114. (in Chinese))
- [7] SLEIGH P A, GASKELL P H, BERZINA M, et al. An unstructured finite-volume algorithm for predicting flow in rivers and estuaries[J]. Computers and Fluids, 1998, 27(4): 479-508.
- [8] 何杰, 辛文杰. 含有紊动黏性项浅水方程的数值求解[J]. 水利水运工程学报, 2010(3): 95-100. (HE Jie, XIN Wen-jie. Numerical solution to the shallow water equation with diffusion motion[J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(3): 95-100. (in Chinese))
- [9] HE Jie, SUN Ying-jun, ZHAO Xin-sheng. Numerical model for hydrodynamic impact from HZM bridge[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 580-583: 2146-2149.

- [10] 何杰. 湛江港亚士德航道项目水文泥沙测量报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2015. (HE Jie. The report of hydrological and sediment measurement in Yashide channel of Zhanjiang harbour[J]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2015. (in Chinese))
- [11] 李君益, 纪育强, 郑安全, 等. 利用海图数据与卫星影像计算海湾纳潮量——以胶州湾为例[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(2): 205-210. (LI Jun-yi, JI Yu-qiang, ZHENG An-quan, et al. Calculation of the tidal prism in the Jiaozhou bay by using chart data and landsat-TM5 images[J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(2): 205-210. (in Chinese))
- [12] 夏华永, 林迪洋, 钮智旺. 湛江湾填海工程对海床冲淤的影响预测[J]. 海洋通报, 2007, 26(1): 61-66. (XIA Hua-yong, LIN Di-yang, NIU Zhi-wang. Prediction of effects of tidal and reclamation on the seabed erosion-accretions in the Zhanjiang bay [J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(1): 61-66. (in Chinese))

Influences of long term reclamation works on hydrodynamic environment in Zhanjiang bay

ZHANG Zhi-fei¹, ZHU Yu-liang¹, HE Jie²

(1. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: As a semi-closed bay, many reclamation works have been implemented in Zhanjiang bay since the year 2003, so that the water areas have been reduced by 3.2%. The reclamation works must have accumulative influences upon the flow field, tidal prism, water exchange and even the hydrodynamic environments. A two-dimension water quality numerical model is adopted in simulating the variation of tidal dynamics based on verification progress of the measured data concerning tide and tidal current. The changes in topography and coastline of 2003, 2007, 2012 and 2015 are simulated to compare the flow distribution and the feature point velocity variation, and calculate the changes of the tidal prism and the water exchange in the Zhanjiang bay. The analysis results indicate that the reclamation works have great impacts on the waters near the engineering areas, and less on the main channel. The tidal prism in the Zhanjiang bay decreases with the decrease of the water area, and in 2015 it decreases by 3.4% as compared with 2003. The reclamation works in the deep water, especially in the main current, which result in a bigger hydrodynamic environment change and tidal volume change, should be paid more attention to. The long-term reclamation construction in the Zhanjiang bay has obvious impacts on the water exchange near the engineering areas, and the Baoman harbor, which is located in the deep water, especially in the main current, has resulted in great changes of water exchange. The reclamation works should be taken into account in combination with the pollutant control schemes to implement in the long-term shoreline planning in the future.

Key words: reclamation works; water exchange; tidal prism; Zhanjiang bay