

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.02.020

江苏沿海大规模围垦对近海潮汐潮流的影响

陶建峰^{1,2} 张长宽² 姚 静²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098 ;
2. 河海大学港口海岸与近海工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 : 基于江苏近海二维潮汐潮流预报数值模型 , 以 2008 年为基准水平年(现状) , 对江苏沿海滩涂围垦规划(2010—2020 年) 的 3 个阶段进行了数值模拟 . 从该海域主要分潮潮波分布、潮汐通道流速和单宽纳潮通量变化 3 个方面探讨了大规模滩涂围垦工程对江苏近海潮汐潮流的影响 . 数值模拟结果显示 3 个阶段围垦工程实施后 , M_2 分潮无潮点位置向东北方向略有平移 , 沿岸潮波传播速度加快 , 潮波辐聚有所增强 . 第 1 和第 2 阶段围垦工程实施后 , 西洋通道涨落潮单宽纳潮通量增幅超过 10% , 涨落急流速增幅 20% 左右 , 其他通道涨落潮单宽纳潮通量变化 5% 左右 , 涨落急流速变化不大 . 第 3 阶段围垦工程实施后 , 西洋通道涨落潮单宽纳潮通量和涨落急流速增幅均超过 20% , 小庙洪通道落潮单宽纳潮通量减幅超过 20% , 流速减幅 10% 左右 .

关键词 : 江苏近海 ; 滩涂围垦 ; 潮汐通道 ; 潮汐潮流 ; 数值模拟

中图分类号 : P714.7 文献标志码 : A 文章编号 : 1000-1980(2011)02-0225-06

江苏海域位于南黄海西部 , 岸外浅海区分布着世界上特有的海底辐射沙脊群 . 整个海域受东海前进潮波系统控制和黄海逆时针旋转潮波的影响^[1] . 张长宽等^[2]曾用潮流场、波浪场和风暴流场的数值模拟结果解释了黄海海底辐射沙脊群形成演变的动力机制 , 即“潮流塑造—风暴破坏—潮流恢复” , 指出 : 朝鲜半岛、山东半岛及江苏海岸的形状 , 决定了江苏北部外海出现移动性驻潮波分布以及辐射状潮流场的必然性 , 而辐射状潮流场则是塑造和维持辐射状沙洲的原动力 . 这种独特的动力环境与海岸线和水下沙脊群长期处于动态平衡中 .

江苏沿海和岸外辐射沙脊群拥有丰富的滩涂资源 , 是江苏海岸最重要的自然资源之一 , 也是海岸湿地的重要组成部分 . 根据 2008 年江苏近海海洋综合调查与评价专项调查资料 , 沿海滩涂总面积 500 167 hm^2 , 约占全国滩涂总面积的 1/4 . 2009 年 6 月 10 日 , 国务院批准通过《江苏沿海地区发展规划》 , 实施沿海滩涂围垦开发是《江苏沿海地区发展规划》提出的重大战略任务 . 为科学开发沿海滩涂资源 , 提高滩涂资源开发效益 , 江苏省发展和改革委员会和江苏省沿海地区发展办公室联合编制《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》 . 《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》提出 , 2010—2020 年 , 江苏沿海滩涂规划围垦 18 万 hm^2 , 分为 3 个阶段实施(图 1) . 大

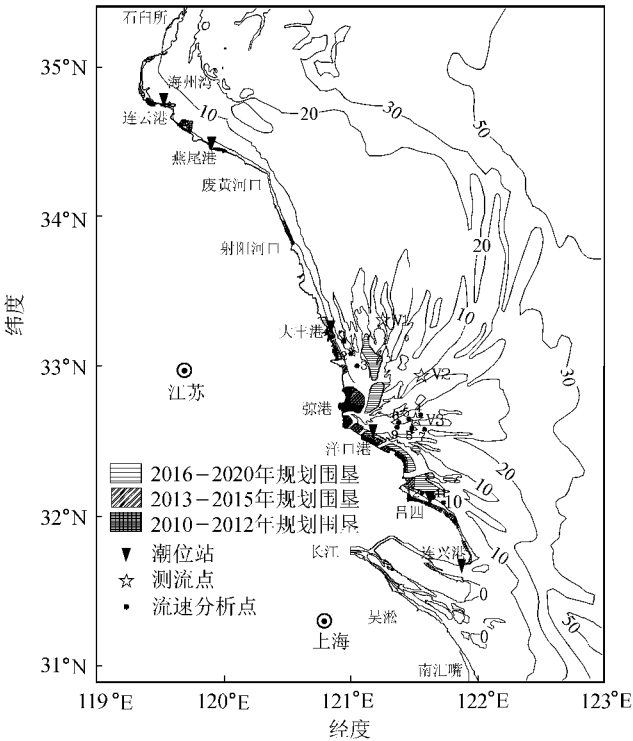


图 1 江苏省沿海滩涂围垦规划
Fig. 1 Planning of reclamation of coastal tidal flats in Jiangsu Province

规模滩涂围垦工程的实施,将改变海岸线的轮廓,引起沿海水动力和海岸冲淤总体格局的变化,同时也会对海岸带环境产生一定的影响^[3-4].因此,对江苏沿海大规模滩涂围垦后引起的江苏近海水动力,尤其是对移动性驻潮波系统和辐射状潮流场的影响进行相应研究十分必要,也是全面剖析该海域水动力特征变化的重要组成部分.

本文建立了江苏近海二维潮汐潮流预报数值模型,依据《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》,以2008年为基准水平年(现状),对滩涂围垦规划的3个阶段进行数值模拟.重点研究规划前后以及不同阶段沿海主要分潮潮波分布、潮汐通道流速和单宽纳潮通量的变化情况,分析大规模围垦对近海潮波系统和潮流场的影响.

1 平面二维潮流数学模型

1.1 模型概况

由于江苏近海海域属宽浅型水域,因此采用二维半隐浅水模式求解^[5],模型控制方程和离散方法见文献[6].模型计算域包括江苏近海和长江口附近海域,南北范围为 $30^{\circ}54'N\sim 35^{\circ}24'N$,东西范围为 $119^{\circ}09'E\sim 123^{\circ}00'E$ (图1).计算网格为 $300\text{ m}\times 300\text{ m}$.时间步长取 1 min .水平涡动黏性系数采用Smagorinsky公式^[7]计算.初始条件以零启动的形式给出.边界条件分为闭边界条件和开边界条件.闭边界采用不可入条件,取法向流速为0.外海开边界潮位由东中国海潮波数学模型^[8]提供,流速的边界条件根据Orlanski辐射条件^[9-10]来确定.江苏沿岸河口众多,潮滩广泛分布,辐射沙脊群脊槽相间.随着潮位的涨落,潮滩和沙脊存在淹没和裸露交替的现象,为此模型中用干湿网格法^[11]处理动边界问题.

1.2 分阶段围垦规划

根据《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》,2010—2020年江苏沿海滩涂围垦总规模 18.17万 hm^2 .第1阶段,2010—2012年,围垦滩涂 5.33万 hm^2 ,选择条件比较成熟的区域,实施边滩围垦;第2阶段,2013—2020年,围垦滩涂 12.84万 hm^2 ,实施沙洲围垦和大型垦区的低滩部分围垦,以及东沙、高泥和腰沙—冷家沙围垦.具体滩涂围垦实施时序方案见图1和《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》中表2.

1.3 模型验证

为了检验二维潮汐潮流预报数值模型对江苏近海海域潮流场是否具有良好的重现性,模型计算了连续1个月的流场,对潮位和潮流的计算结果进行验证.潮位验证选取沿岸连云港等6个潮位站(图1)主要分潮的调和常数进行验证,计算和实测半日分潮 M_2 和全日分潮 K_1 的潮位调和常数结果见表1.潮流验证选取2006年8月24—25日大潮3个测流站 $V1\sim V3$ (图1)的资料进行验证,验证结果见图2.

表1 主要分潮 M_2 、 K_1 潮汐调和常数计算值与实测值比较

Table 1 Comparison between computed and observed tidal amplitudes and phases of M_2 and K_1 tides

站名	位置		M_2				K_1			
	东经	北纬	振幅 H/cm		迟角 $g(^{\circ})$		振幅 H/cm		迟角 $g(^{\circ})$	
			计算值	实测值	计算值	实测值	计算值	实测值	计算值	实测值
连云港	$119^{\circ}27'$	$34^{\circ}45'$	165.9	161.9	179	183	32.4	30.1	11	16
燕尾港	$119^{\circ}47'$	$34^{\circ}29'$	155.8	151.6	187	192	26.2	27.6	15	20
大丰港	$120^{\circ}48'$	$33^{\circ}17'$	164.7	169.9	326	321	22.5	24.8	55	61
洋口港	$120^{\circ}59'$	$32^{\circ}33'$	188.9	193.0	345	340	19.0	22.9	105	99
吕四港	$121^{\circ}37'$	$32^{\circ}08'$	167.4	170.6	349	353	20.1	21.6	144	149
连兴港	$121^{\circ}52'$	$31^{\circ}41'$	134.6	130.7	344	340	24.2	22.3	173	169

从表1可得, M_2 分潮振幅差 4.14 cm 、迟角差为 4.53° , K_1 分潮振幅差 2.37 cm 、迟角差为 5.21° .由此可见,计算结果与实测符合得相当好.从图2可以看出,计算值与实测值吻合良好.

2 结果与分析

2.1 M_2 分潮波

江苏近海海域是南黄海的一部分,具有独特又相对稳定的潮汐动力环境,其潮汐与潮流反映出外围南黄海带来的一种响应潮波系统和响应潮流场特征,该响应潮波系统为由东海前进潮波和黄海旋转潮波辐聚而成的移动性驻潮波^[12].该海域以半日潮波占绝对优势,为了研究围垦规划工程对整个海域潮波动力系统的影响,本文以 M_2 分潮为例,模拟了规划实施前(2008年)和规划实施后(2020年)的潮波分布,分析大规模围垦

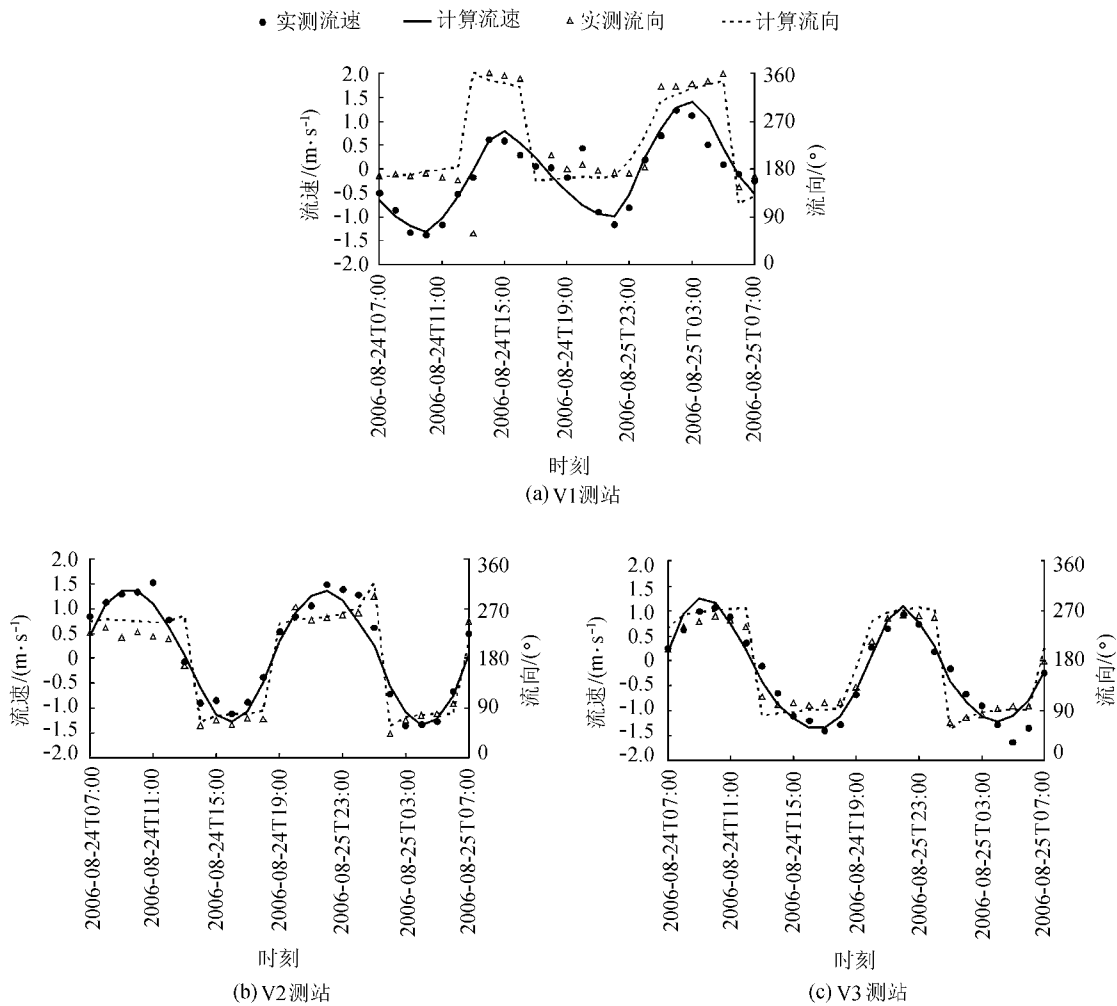


图 2 潮流验证结果
Fig. 2 Verification results of tide currents

后 M_2 分潮潮波的变化情况.

图 3 (a) 和图 3 (b) 分别为江苏沿海滩涂规划围垦工程实施前后 M_2 分潮波同潮图. 由图 3 可以看出, 各条同潮时线在废黄河口外绕某一中心点作逆时针旋转, 其中心为无潮点, 在 港和洋口港岸外, 旋转潮波和前进潮波在此辐聚, 振幅超过 1.8 m.

比较图 3 (a) 和图 3 (b) 可以发现 2010—2020 年江苏沿海滩涂 18 万 hm^2 围垦工程实施后, 局部海域的 M_2 分潮等振幅线和同潮时线发生一定变化. (a) M_2 分潮无潮点位置向废黄河口东北方向海域平移了约 3 km, 规划实施前 M_2 分潮无潮点位置为 $(121^\circ 17.2' \text{E}, 34^\circ 35.2' \text{N})$, 规划实施后为 $(121^\circ 18.1' \text{E}, 34^\circ 36.5' \text{N})$. (b) 港和洋口港岸外 1.8 m 等振幅线向海平移了一定距离, 即沿岸振幅有所增大, 西洋通道和小庙洪通道振幅增大也较为明显. (c) 以射阳河口为界, 射阳河口以北至连云港沿岸, 同潮时线往北偏移, 平均偏移了约 0.8 km, 射阳河口以南至 港沿岸, 同潮时线往南偏移, 平均偏移了 1.8 km. 相邻 2 条同潮时线的间隔逐步增大 (射阳河口同潮时线基本不变), 表明沿岸潮波传播的速度变快, 其中 315° 与 330° 2 条同潮时线尤为明显. 港外侧由原本 345° 同潮时线向岸辐聚变为 330° 同潮时线向岸辐聚, 且 330° 同潮时线已由东沙西侧转至外海. 但围垦方案的实施, 对辐射沙脊群东北部沿海的潮波系统几乎没有影响.

2.2 流速

江苏沿海潮汐通道具有优越的建港条件. 为了分析规划围垦工程不同实施阶段对主要潮汐通道港口资源的影响, 分别在西洋通道大丰港附近 (1 号 ~ 3 号)、黄沙洋通道 (4 号 ~ 6 号)、烂沙洋通道洋口港附近 (7 号 ~ 9 号) 和小庙洪通道吕四港附近 (10 号 ~ 12 号) 布设了流速分析点 (图 1). 从数值模拟得到的规划围垦工程实施前后不同阶段的流场可以看出, 第 1 和第 2 阶段主要是对边滩和沙洲进行围垦, 工程实施后, 高潮位期间

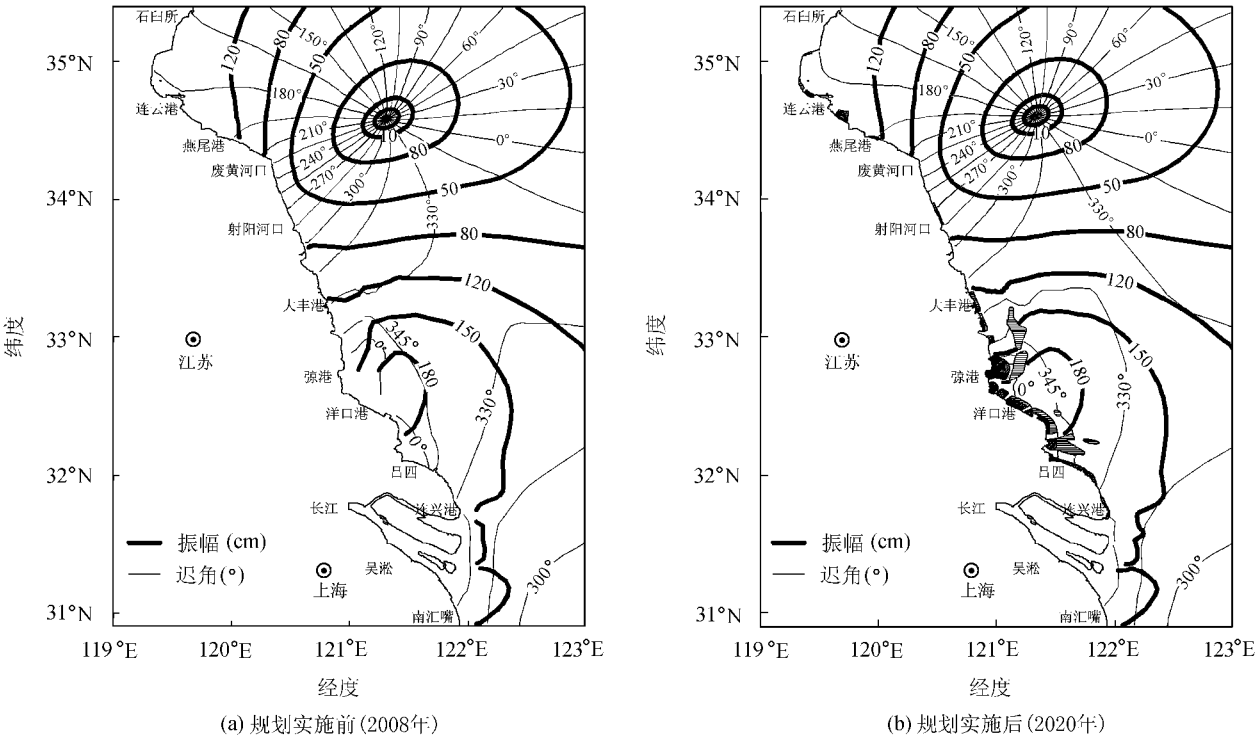


图 3 M_2 分潮同潮图

Fig. 3 Cotidal and iso-amplitude lines of M_2 tidal constituents

不再有漫滩水流,中低潮位期间涨落潮流态与现状岸线基本一致;第 3 阶段围垦工程实施后,由于匡围了较大面积的沙洲,缩窄了潮汐通道(西洋、小庙洪)的纳潮断面,局部流态与工程前有所不同,但潮汐通道流向主轴并未发生较大变化。

表 2 列出了规划围垦工程 3 个阶段后,主要潮汐通道涨落潮最大流速的变化。从计算结果来看:第 1 和第 2 阶段围垦工程对各潮汐通道的涨落急流速影响不大,涨急流速仅西洋通道的 3 号点增幅超过 10%,第 2 阶段围垦工程实施后,黄沙洋和小庙洪通道落急流速有 10% 左右的减幅。但第 3 阶段围垦工程对西洋和小庙洪的涨落急流速影响较大,西洋通道涨急流速增幅超过 25%,落急流速除西洋通道尾部的 3 号点减小外,1 号和 2 号点落急流速仍然增大,增幅在 20% 左右。小庙洪通道除 11 号点在涨急时刻由于断面缩窄流速增大外,其余流速均有明显减小,减小幅度在 10% 左右。

表 2 不同阶段潮汐通道单宽纳潮量和涨落潮最大流速变化

Table 2		Variations of unit tide volumes and maximum velocities of flood and ebb tides in different tidal inlets at various stages											
位置	流速点	2010—2012 年变化幅度/%				2013—2015 年变化幅度/%				2016—2020 年变化幅度/%			
		最大流速		单宽纳潮通量		最大流速		单宽纳潮通量		最大流速		单宽纳潮通量	
		涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮
西洋	1	3.4	1.6	5.3	−1.3	6.9	6.3	10.1	−4.9	26.2	21.9	34.8	24.2
	2	6.4	1.4	12.7	−1.5	9.3	5.8	19.6	−5.1	37.4	18.8	69.9	24.6
	3	13.0	4.9	3.3	−2.1	19.1	9.8	11.4	13.9	71.7	−54.3	103.5	6.8
黄沙洋	4	2.1	0.0	2.6	0.5	4.8	−3.5	5.1	−1.0	9.6	−3.5	5.2	4.0
	5	2.2	−3.9	3.2	−0.5	4.8	−10.1	5.9	−3.8	9.3	−11.8	2.2	2.8
	6	3.1	−5.9	2.3	−1.5	6.2	−13.4	2.0	−7.0	10.6	−15.5	2.9	−2.2
烂沙洋	7	0.6	0.0	0.5	1.7	1.7	−2.9	1.2	2.7	3.9	1.5	−0.5	7.0
	8	0.0	2.1	−4.2	18.4	1.2	−3.1	−4.8	19.8	6.0	21.9	−4.6	34.3
	9	1.0	−6.8	0.7	−1.8	1.4	−15.1	0.1	−8.7	6.2	−15.6	−4.5	1.8
小庙洪	10	0.6	−3.8	0.9	−2.2	6.7	−2.5	1.0	−2.7	−4.9	−17.6	−8.1	−19.6
	11	−1.3	−4.4	−0.8	−3.8	5.9	−11.5	−0.8	−12.1	17.6	−13.9	9.6	−20.6
	12	0.0	−3.3	−0.9	−4.1	3.8	−13.0	−6.9	−21.6	−11.0	−8.9	−17.6	−20.9

2.3 单宽纳潮通量

本文统计了规划围垦工程3个阶段实施前后主要潮汐通道分析点的单宽纳潮通量(位置同流速分析点)分析潮汐通道单宽纳潮通量的沿程变化.从数值计算结果来看,3个阶段的规划围垦工程实施后,西洋通道单宽纳潮通量涨潮有所增大,落潮略有减少.第1和第2阶段规划围垦工程实施后,进潮量增幅为10%左右,特别是第3阶段围垦工程实施后,缩窄了纳潮断面,流速增大,从而增大了涨潮通量,进潮量增幅超过30%,这对潮汐通道航道维护具有一定的益处.但由于对辐射沙脊群东沙和高泥的围垦,阻挡了东北部的涨潮流进入西洋通道,从而落潮流量的增幅仅20%左右.3个阶段的规划围垦工程方案距黄沙洋通道和烂沙洋通道较远,围垦工程的实施对其涨、落潮通量影响不大.黄沙洋涨潮通量增幅5%左右,第1和第2阶段落潮通量略有减少,第3阶段略有增大,但幅度也仅5%左右;烂沙洋涨潮通量略有减少,落潮通量增幅相对较大,其中8号点超过15%.对于小庙洪通道来说,第1阶段并没有对腰沙—冷家沙实施围垦,因此工程的实施对涨潮通量影响甚微,落潮通量减少小于5%.但第2和第3阶段开始对腰沙—冷家沙实施大面积围垦,大大缩窄了小庙洪的纳潮通道,因此对小庙洪通道的涨、落潮通量影响较为明显,小庙洪中部和尾部落潮通量减幅超过20%.

3 结 论

a. M_2 分潮潮波数值模拟结果表明,2010—2020年18万 hm^2 规划围垦工程实施后,废黄河口外 M_2 分潮无潮点位置向东北方向偏移了约3 km,射阳河口至港近岸区域,潮波传播的速度变快,港外侧由原本 345° 同潮时线向岸辐聚变为 330° 同潮时线向岸辐聚,且 330° 同潮时线已由东沙西侧转至外海,洋口港沿岸潮差增大.

b. 第1和第2阶段规划围垦工程实施后,由潮汐通道单宽纳潮通量和流速计算可知:西洋通道涨潮单宽纳潮通量增幅10%左右,对黄沙洋、烂沙洋涨、落潮通量影响不大;对小庙洪通道涨潮通量影响不大,但第2阶段落潮通量减幅20%左右.第3阶段规划围垦工程实施后,西洋通道涨、落潮通量增幅超过20%,对于航道维护有一定的益处,小庙洪通道落潮通量减幅超过20%,容易造成泥沙淤积.

c. 大规模、高强度的围垦工程将打破淤泥质平原海岸的自然演变过程,本文仅对江苏沿海滩涂规划围垦工程的3个阶段进行了潮汐潮流数值模拟,针对具体的围垦工程,可进一步开展工程局部高分辨率数值模拟.

参考文献:

- [1] 王颖. 黄海陆架辐射沙脊群[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 30-63.
- [2] ZHANG Chang-kuan, ZHANG Dong-sheng, ZHANG Jun-lun, et al. Tidal current-induced formation—storm-induced change—tidal current-induced recovery: interpretation of depositional dynamics of formation and evolution of radial sand ridges on the Yellow Sea seafloor[J]. Science in China (Series D), 1999, 42(1): 1-12.
- [3] 王义刚, 王超, 宋志尧. 福建铁基湾围垦对三沙湾内深水航道的影响研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2002, 30(6): 99-103. (WANG Yi-gang, WANG Chao, SONG Zhi-yao. Impacts of Tieji Bay reclamation project on the deep at Sansha Bay[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2002, 30(6): 99-103. (in Chinese))
- [4] 陈导信, 陈木永, 张弛. 围垦工程对温州近海及河口水动力的影响[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 37(4): 457-462. (CHEN Dao-xin, CHEN Mu-yong, ZHANG Chi. Influence of reclamation projects on hydrodynamic force in offshore and estuary of Wenzhou[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2009, 37(4): 457-462. (in Chinese))
- [5] CASULLI V. Semi-implicit finite-difference methods for the two-dimensional shallow water equations[J]. Journal of Computational Physics, 1990, 86(1): 56-74.
- [6] 陶建峰. 河口、海岸三维斜压水流数值模式研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [7] SMAGORINSKY J. General circulation experiments with the primitive equations I: the basic experiment[J]. Monthly Weather Review, 1963, 91(3): 99-164.
- [8] 张东生, 张君伦. 黄海海底辐射沙洲区的 M_2 潮流[J]. 河海大学学报, 1996, 24(5): 35-40. (ZHANG Dong-sheng, ZHANG Jun-lun. M_2 tidal wave in the Yellow Sea radiate shoal region[J]. Journal of Hohai University, 1996, 24(5): 35-40. (in Chinese))
- [9] ORLANSKI I. A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flow[J]. Journal of Computational Physics, 1976, 21(3): 251-269.
- [10] BLUMBERG A F, KANTHA L H. Open boundary condition for circulation models[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1985, 111(2):

237-253.

[11] 陶建峰, 张长宽. 黄海辐射沙脊群海域水环境数值模拟研究[J]. 河海大学学报 :自然科学版, 2005, 33(4) :472-475.(TAO Jian-feng, ZHANG Chang-kuan. Numerical simulation of water environment for radial sandy ridge area of the Yellow Sea[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences, 2005, 33(4) :472-475.(in Chinese))

[12] TAO Jian-feng, ZHANG Chang-kuan, YAO Jing ,et al. Numerical simulation of tides and tidal currents in Jiangsu offshore areas ,China [C]//Osaka :Proceedings of 19th ISOPE Conference. Cupertino :International Society of Offshore and Polar Engineers, 2009 :1243-1247.

Effect of large-scale reclamation of tidal flats on tides and tidal currents in offshore areas of Jiangsu Province

TAO Jian-feng^{1 2} , ZHANG Chang-kuan² , YAO Jing²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Harbor , Coastal and Offshore Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : A two-dimensional mathematical model for tides and tidal currents in offshore areas of Jiangsu Province was employed to simulate the three stages of reclamation plan from 2010 to 2020 by regarding the year of 2008 as the datum year(initial state). The effect of large-scale reclamation projects of tidal flats on the tides and tidal currents in offshore areas of Jiangsu Province were discussed from three aspects of the main tidal constituents ,tidal current velocity and tidal capacity. The results of numerical simulations show that after three stages ' large-scale reclamation of tidal flats , the location of tide-free point of M₂ tidal constituents has a translation from the present place towards the northeast direction , the propagation velocity of tidal waves is accelerated and the tidal range is enlarged. After the completion of the first and second stages ' reclamation , the unit tidal volumes of the flood and ebb tides in Xiyang tidal inlet increase by over 10% and the maximum velocity of the flood and ebb tides increases by about 20% . The unit tidal volumes of the flood and ebb tides in other tidal inlets increase by about 5% , and the maximum velocity of the flood and ebb tides in other tidal inlets basically do not change. After the completion of the third stage 's reclamation , the unit tidal volumes of the flood and ebb tides in Xiyang tidal inlet increase by over 20% , and those in Xiaomiaohong tidal inlet decrease by over 20% . The maximum velocity of the former increases by about 20% , and that of the latter decreases by about 10% .

Key words : offshore area in Jiangsu Province ; tidal flat reclamation ; tidal inlet ; tide and tidal current ; numerical simulation