

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.01.008

童朝锋, 王俊杰, 张青. 兴化湾潮汐潮流特性及工程影响分析[J]. 水利水电工程学报, 2015(1):53-60. (TONG Chao-feng, WANG Jun-jie, ZHANG Qing. Tidal regime and impacts of works in Xinghua bay on hydrodynamics [J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(1):53-60.)

兴化湾潮汐潮流特性及工程影响分析

童朝锋^{1,2}, 王俊杰², 张 青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:福建省兴化湾内大量围填、疏浚工程建设直接影响湾内水动力环境。依据2009年2月水文观测资料,对实测资料进行分析,并利用潮汐调和分析、潮流准调和分析、潮流数值模拟等方法得到了兴化湾海区的潮汐、潮流特性以及湾内工程前后的潮位、潮流场和余流场特征。分析研究表明,兴化湾潮汐属于正规半日潮,浅水效应较弱;潮流为不正规半日潮流,浅海分潮作用较强;湾内潮波逐渐有驻波特征,形成湾内潮波的两股潮流流向稳定,呈往复流,其中兴化水道潮流涨潮占优,南日水道潮流落潮占优;工程实施后,基于调和常数的2013年7月潮位预报与实测潮位吻合较好,同时潮汐潮流性质不变,在港池、航道水域流速有所增加;兴化、南日两水道涨、落潮通量均减小,全湾纳潮量有所减少;湾内余流场整体不变,口门处涡漩有所加强。

关 键 词: 兴化湾; 潮汐潮流; 调和分析; 水流动力特性; 潮流通量

中图分类号: P731.23

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)01-0053-08

兴化湾位于福建省沿海中部,与福州市、福清市和莆田市相接,由北部和东北部的龙高半岛、西部莆田平原和南部石城半岛所环抱。湾内水域宽阔,东西长达50 km,南北宽约21 km,面积约800 km²。海湾略呈长方形,沿东南-西北方向。湾口受南日群岛掩护和分割,北侧为兴化水道,西侧为南日水道。两水道水深条件良好,深泓水深均在20 m以上,兴化水道最深可达50 m^[1-2]。

根据兴化湾深水港区总体布局规划,江阴作业区规划码头岸线15.1 km,各类生产泊位54个,江阴作业区西部以集装箱、杂货为主,东部以第五代和第六代集装箱和大型散货为主。同期规划建设的还有木兰溪入海口南侧和石城作业区西南侧的围填工程。港口建设中的围填和疏浚导致兴化湾海区的地形和岸线条件均被改变,考虑到围填、疏浚工程对兴化湾海域水动力环境的可能影响,在2009年2月水文观测资料的基础上,运用潮汐潮流调和分析,潮流数值模拟等方法对湾内工程前后潮汐、潮流特性展开研究。

1 数据来源和研究方法

现场水文测量在2009年2月11至12日大潮期间进行。流速和流向测量采用SLC9-2直读式海流计,各垂线测点数根据实际水深情况采用分层法施测。同步进行潮位站连续1个月潮位观测,潮位均采用RBR自动验潮仪测量,每10 min测量一次,在测量结束后根据水尺零点高程对潮位测量值进行修正。测点布置见图1。

调和分析是根据观测资料通过最小二乘法进行分析,计算各调和常数组成的过程^[3-4]。潮汐调和分析

收稿日期: 2014-06-15

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(51339005);交通运输部河口海岸交通行业重点实验室开放课题资助项目(KLECE201302);水文水资源与水利工程科学国家重点实验室资助项目(2010585312)

作者简介: 童朝锋(1973-),男,浙江宁波人,副教授,博士,主要从事河口海岸动力学研究。

E-mail: chaofengtong@hhu.edu.cn

采用 Pawlowicz 开发的 T_tide 调和分析程序,该程序改进了经典调和分析的节点校正,能够计算调和常数的置信区间,对长时间序列的潮汐资料有可靠的调和结果^[5]。潮流调和分析采用 Foreman 发展调和计算方法,该法在 Godin 调和计算方法基础上,应用最小二乘法外加节点调制推算算法和 Gram-Schmidt 数值计算方法改进得到^[6],该法对短期潮流资料也有精度较高的调和结果,可靠性已得到验证^[7-8]。

利用调和计算得到 M_2, S_2, K_1, O_1, M_4 主要分潮平均振幅 H , 并计算 $(H_{K1} + H_{O1})/H_{M2}$ 比值, 以此判定潮汐类型, 比值大于 4.0, 则潮汐为正规日潮, 介于 2.0~4.0 为不正规日潮混合潮, 介于 0.5~2.0, 为不正规半日混合潮, 小于 0.5 则是正规半日潮; 依据浅水影响系数 H_{M4}/H_{M2} 评估潮汐的浅水影响程度; 潮流类型利用主要全日分潮流与半日分潮流椭圆长半轴的比值 $(W_{K1} + W_{O1})/W_{M2}$ 来判定; 采用浅海分潮流椭圆长半轴的比值 W_{M4}/W_{M2} 评估海区浅海分潮流的强弱。

兴化湾水动力数值模拟基于 MIKE21 水动力模型^[9], 范围约 90 km×70 km, 包括江阴岛壁头、兴化水道、南日水道以及南日岛外侧邻近海区。数值模型的验证时段是 2009-02-11T10:00/2009-02-12T14:00 大潮时段, 潮位验证点包括 4 个潮位站和 4 个流速测点。潮位和流速流向验证对比见图 2, 对比结果表明, 模型模拟结果能准确地反应兴化湾内的潮流运动。在此基础上计算模拟不同时期潮流、余流及纳潮量等, 评估兴化湾内围填、疏浚工程对全湾水动力环境的影响。

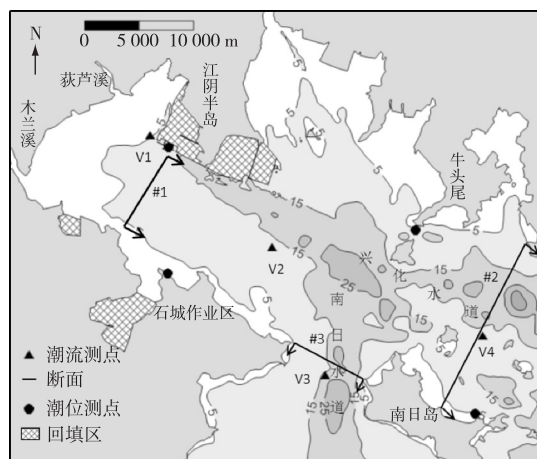


图 1 兴化湾现状地形和海流测点位置

Fig. 1 Topography of Xinghua bay and tide test points

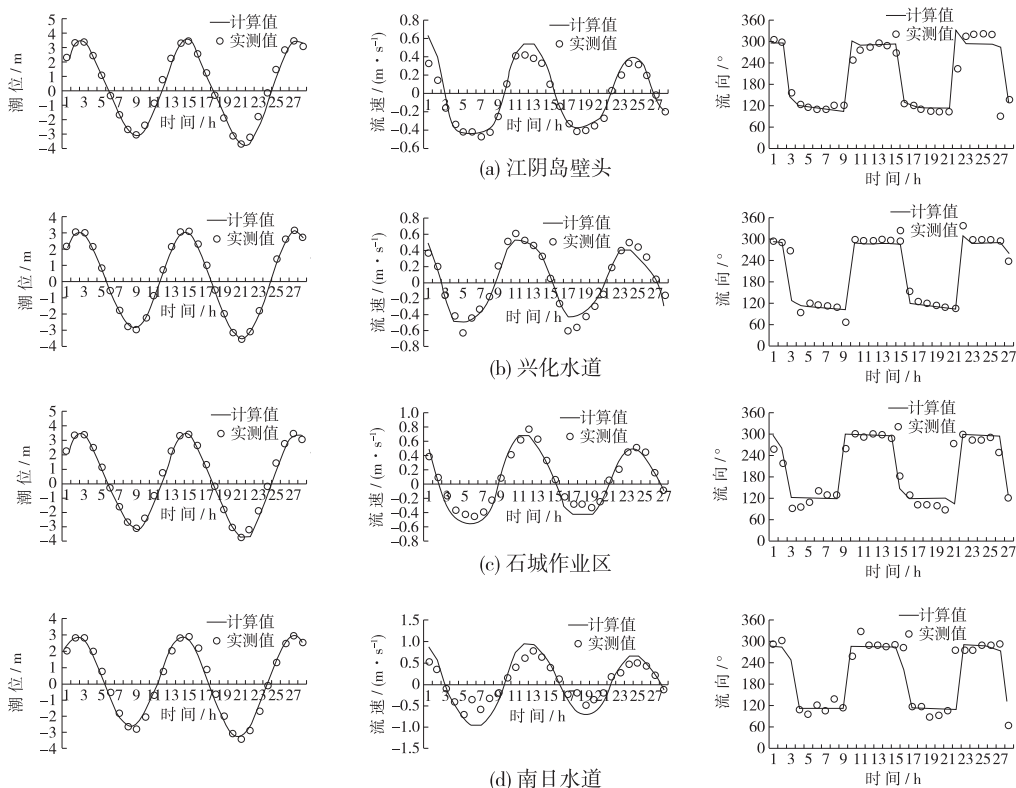


图 2 潮位和潮流验证(起始时刻为 2009-02-11T10:00)

Fig. 2 Comparison between measured and simulated values of tide level and current

2 结果与分析讨论

2.1 潮位特征与分析

潮位特征分析选取江阴岛壁头、石城作业区、牛头尾和南日岛四站,前两站代表湾内的左右两岸、后两站代表湾口的左右岸。各站潮汐特征值统计见表 1,统计表明,平均海平面 0.20 m(高程数据均基于 85 高程),最高潮位 3.82 m,最低潮位-3.88 m;兴化湾海区平均潮差均大于 5.00 m,最大潮差大于 6.50 m,属强潮海区。就潮汐特征值时空分布而言,湾内平均海平面要大于湾口;湾内潮差比湾口大,靠近湾底潮的江阴岛壁头站最大潮差达到 7.42 m;北岸平均高潮位稍大于南岸,平均低潮位相反,北岸潮差大于南岸;各站均具有落潮流历时稍长于涨潮流历时的特征。

兴化湾湾口过水断面较宽而湾底较窄,潮波由湾外向湾内传播过程中,由于受到地形的影响,有一定的壅水作用,水位抬高,导致湾内两潮位站潮位均高于口门处潮位,湾内平均海平面高于湾口。通过对大潮期的潮流数值模拟,得到涨落急时兴化湾内位于同潮时线上的江阴岛壁头和石城作业区站的横向水位差,涨潮时,江阴岛壁头站水位大于石城作业区站 0.27 m,落潮相反,石城作业区站比江阴岛壁头站高出 0.42 m。导致南北岸横向水位差的原因主要是地形和科氏力。根据科氏力对横比降的影响关系^[10],有:

$$\tan \alpha = 0.000\,014\,84 |v| \sin \varphi$$

其中: α 为水面倾斜角; v 为流速,涨、落急流速约 1.0 m/s; φ 为地理纬度,约为 25°。横向宽度取 10 km,估算出科氏力对横向水位差的贡献为 0.05 m。因此,产生南北岸横向水位差的主要因素为地形变化。

表 1 兴化湾潮位站潮汐特征统计

Tab.1 Tide record characteristics of Xinghua bay

潮位站	潮位/m					潮差/m		历时/h	
	最高潮位	最低潮位	平均高潮位	平均低潮位	平均海平面	最大潮差	平均潮差	平均落潮历时	平均涨潮历时
江阴岛壁头	3.79	-3.88	3.17	-2.66	0.25	7.42	5.83	6:00	6:12
牛头尾	3.42	-3.67	2.85	-2.59	0.12	6.78	5.44	6:02	6:12
石城作业区	3.82	-3.81	3.16	-2.65	0.31	7.18	5.80	6:00	6:17
南日岛	3.20	-3.43	2.61	-2.47	0.12	6.35	5.08	6:02	6:12

调和分析上述四站 2009 年 2 月逐时潮位,各站 5 个主要分潮的调和常数见表 2。可以看出,兴化湾潮汐的各个分潮中,半日分潮占绝对优势, M_2 分潮振幅 H 最大,分别为 2.22、2.09、2.23 和 2.01 m。潮汐性质比值 $(H_{K1}+H_{O1})/H_{M2}$ 均小于 0.5,浅水影响系数均较小,属正规半日潮,潮汐浅水作用相对较弱。潮波从湾外向湾内传播, K_1 和 O_1 天文全日分潮有所减小, M_2 和 S_2 天文半日分潮振幅均有所增加,迟角 g 没有明显变化, M_4 浅水分潮有所增大。潮波从湾外向湾内传播过程中,由于地形外宽内窄,浅水非线性作用增强,潮波能在频率上的分布从低频区向高频区迁移,全日分潮振幅有所减小,而半日潮和 M_4 分潮振幅则有所增加。分析表明深槽左右两侧分潮调和常数没有明显不同。

表 2 潮位调和分析结果

Tab.2 Results of tidal level harmonic analyses

潮位站	参数	分潮					$(H_{K1}+H_{O1})/H_{M2}$	H_{M4}/H_{M2}
		M_2	S_2	K_1	O_1	M_4		
江阴岛壁头	H	2.22	0.95	0.26	0.26	0.04	0.23	0.018
	g	111	25	87	196	167		
牛头尾	H	2.09	0.9	0.27	0.27	0.03	0.26	0.014
	g	109	25	87	196	162		

(续表)								
潮位站	参数	分潮					$(H_{K1}+H_{O1})/H_{M2}$	H_{M4}/H_{M2}
		M_2	S_2	K_1	O_1	M_4		
石城作业区	H	2.23	0.96	0.24	0.26	0.05	0.22	0.022
	g	112	25	88	196	126		
南日岛	H	2.01	0.84	0.25	0.26	0.03	0.25	0.015
	g	109	22	83	197	97		

2.2 潮流特征与分析

潮流调和分析选用 V1~V4 测点观测数据(见表 3),其中 V1 代表江阴岛壁头工程区,V2 代表航道中段,V3,V4 分别代表南日口门和兴化口门。从表 3 可以看出 V1~V4 垂向平均流速的 $(W_{O1}+W_{K1})/W_{M2}$ 比值均小于 0.5,半日潮流占绝对优势,属半日潮流。 W_{M4}/W_{M2} 的值基本在 0.05~0.27 之间,说明兴化湾潮流受浅海分潮的影响比较显著,所以,兴化湾海区属不规则半日浅海潮流。

潮流的运动形式通常可以分为旋转流和往复流两种,旋转流是潮流运动的基本形式,一般在外海和开阔的海域为旋转流,在近岸区、海峡、水道、河口等以往复流为主^[11]。V1~V3 点的潮流椭圆率 K 较小,说明 V1~V3 点处潮流均为往复流,V4 点潮流椭圆率偏大,是由于受到附近众多小岛屿的影响,同时各站位实际测量流速涨、落潮平均流向,涨、落潮流速峰值的流向,相差约 180°。所以兴化湾内的潮流主要是往复流。

江阴岛壁头站和牛头尾站潮位和潮流过程线比较见图 3。潮波在兴化湾口门处仍保持前进波特性,从口门向湾内传播,由于受到底摩擦和岛屿、地形的反射作用,相位差逐渐变大,在江阴岛壁头附近处,已经出现了一些驻波的特点,即潮位最高时,流速为零;半潮面时,流速最大。

表 3 潮流调和分析结果
Tab.3 Results of tidal current harmonic analyses

潮流点	M_2 分潮			$(W_{O1}+W_{K1})/W_{M2}$	W_{M4}/W_{M2}
	$W_{max}/(m \cdot s^{-1})$	$W_{min}/(m \cdot s^{-1})$	$K/(m \cdot s^{-1})$		
V1	0.486	0.037	0.076	0.107	0.177
V2	0.590	-0.061	0.103	0.097	0.197
V3	0.697	-0.005	0.007	0.159	0.049
V4	0.564	-0.225	0.399	0.133	0.273

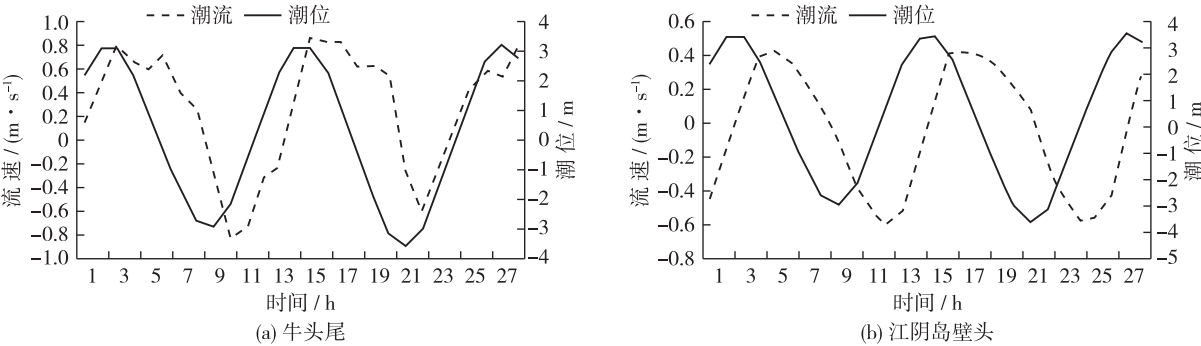


图 3 牛头尾站和江阴岛壁头站潮流、潮位过程线(起始时刻为 2009-02-11T10:00)
Fig.3 Comparison of tidal level and tidal current

利用潮流模型模拟潮流运动。图 4 为工程实施前涨、落急时刻流场图。兴化湾内潮流主要是由兴化水道和南日水道两股潮流形成,其中兴化水道的水流动力变化特征强于南日水道,湾内南侧海区主要受南日水

道潮流作用, 北侧及深槽海区主要受兴化水道潮流影响。涨、落潮时, 两股潮流基本都是沿着各自的流路呈现往复流运动, 涨落潮流向稳定。兴化水道中段由于礁石和岛屿的存在, 导致过水断面面积缩小, 流速增大, 涨落最大流速分别达到 1.6 和 1.4 m/s。工程前, 兴化水道的涨、落潮平均流速为 0.86 和 0.80 m/s, 南日水道的分别为 0.73 和 0.66 m/s; 工程后, 兴化水道的涨、落潮平均流速为 0.92 和 0.91 m/s, 南日水道的分别为 0.84 和 0.70 m/s。可见, 两水道涨潮流速均略大于落潮流速, 兴化水道平均流速大于南日水道平均流速。

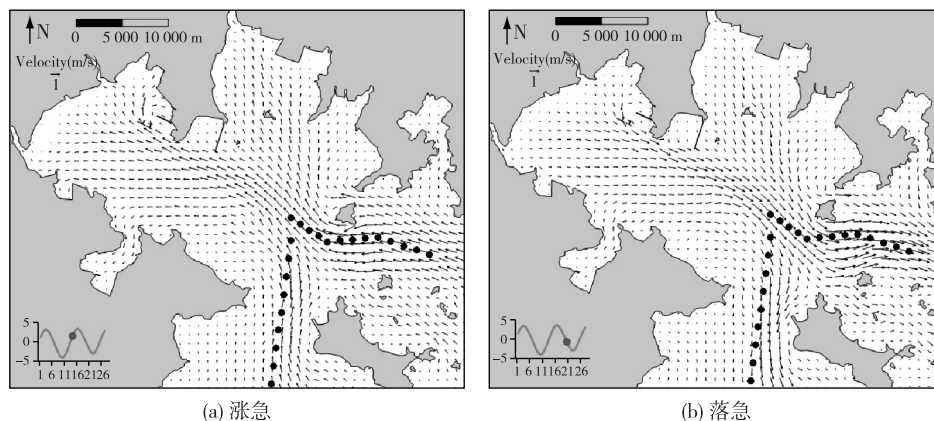


图 4 工程实施前涨、落急时刻流场和流速点

Fig. 4 Rapid flood and ebb current field without works and spots of velocity

表 4 为兴化口门和南日口门处在涨、落潮历时过程中, 断面通过流量的统计, 统计显示兴化口门断面的通过流量大于南日口门断面。由于湾口特殊的类似分汊河道地形和科氏力的作用, 兴化口门断面涨潮流量略大于落潮流量, 而南日口门断面相反, 兴化水道为净进水通道, 南日水道为净出水通道。大潮平均纳潮总量为 $5.67 \times 10^9 \text{ m}^3$, 小潮平均纳潮总量为 $2.92 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

表 4 兴化、南日口门纳潮总量统计

Tab.4 Flux of Xinghua and Nanri entrance sections

亿 m^3

断面位置	工程前大潮			工程前小潮			工程后大潮			工程后小潮		
	涨潮	落潮	净通量	涨潮	落潮	净通量	涨潮	落潮	净通量	涨潮	落潮	净通量
兴化口门	3.61	3.52	0.09	1.90	1.59	0.31	3.26	3.16	0.10	1.77	1.54	0.23
南日口门	2.05	2.16	-0.11	1.06	1.28	-0.22	2.00	2.09	-0.09	1.00	1.18	-0.18

2.3 余流特征

将一个固定测站的 25 h 等间距流矢量相加, 再除以 25 h, 剩余的那部分就叫欧拉余流^[11]。从图 5 兴化湾欧拉余流场的比较可以看出, 在兴化水道及湾东北侧的余流顺着涨潮流方向, 水净输移大部分是流向兴化湾内部的, 在南日水道和西南侧余流顺着其落潮方向, 以其落潮流占优, 所以南日水道为净出水通道。这也解释了上述的计算结果, 兴化水道涨潮断面通量大于落潮断面通量, 南日水道落潮断面通量大于涨潮断面通量。在湾内部, 余流强度较弱。由于地形的作用, 余流在兴化口门处形成了 4 个涡旋。在南日岛东北侧的众多岛屿对兴化水道过水断面的作用成为涡旋的主要驱动力。

另外从图 5(b) 可以看出, 江阴港远期规划完成后, 对兴化湾整体的余流性质改变不大, 余流主要指向不变。由于湾内余流不大, 口门处航道的浚深, 导致口门整个过水断面面积有所增加, 使得余流在兴化口门附近形成的涡旋有所增强。

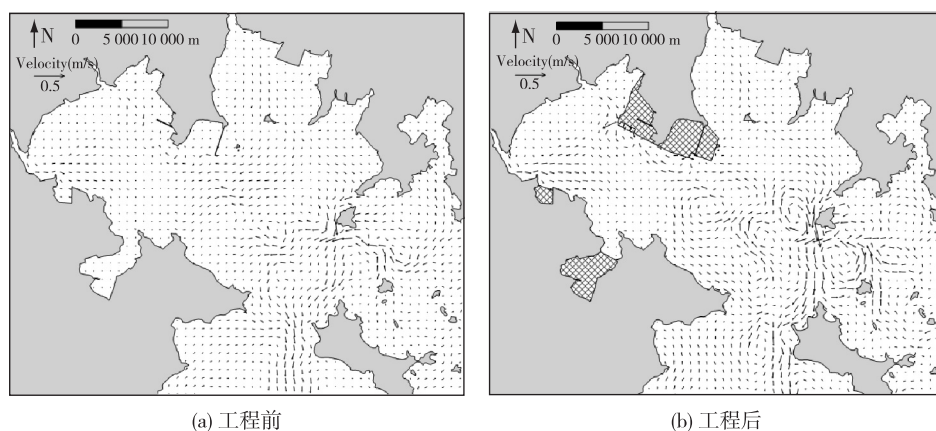


图 5 工程实施前、后欧拉余流场

Fig. 5 Eulerian residual current field without and with works

2.4 工程影响讨论

由于围填工程的实施,使得湾内有效纳潮面积减小约 7%,工程后两水道潮通量均有所减小,海湾的大、小潮纳潮量分别减少 4.2×10^8 和 $1.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占总量的 7.4% 和 6.1%。

将得出的调和常数对江阴壁头和牛头尾潮位站 2013 年 7 月 23 至 24 日的潮位进行预报^[12],潮位过程线实测值和预报值的比较如图 6。从图 6 可见,江阴壁头和牛头尾 2013 年 7 月大潮实测潮位和预报潮位过程整体较为吻合,且相位实测与预报之间基本一致。相应的拟合关系分别为 $H_{\text{实测}} = 1.073H_{\text{预报}} + 0.038$ (相关关系 $R_2 = 0.994$) 和 $H_{\text{实测}} = 1.085H_{\text{预报}} + 0.012$ (相关关系 $R_2 = 0.996$)。拟合结果表明,2009—2013 年兴化湾工程建设没有明显改变兴化湾潮位过程,已建工程对潮汐影响较小。

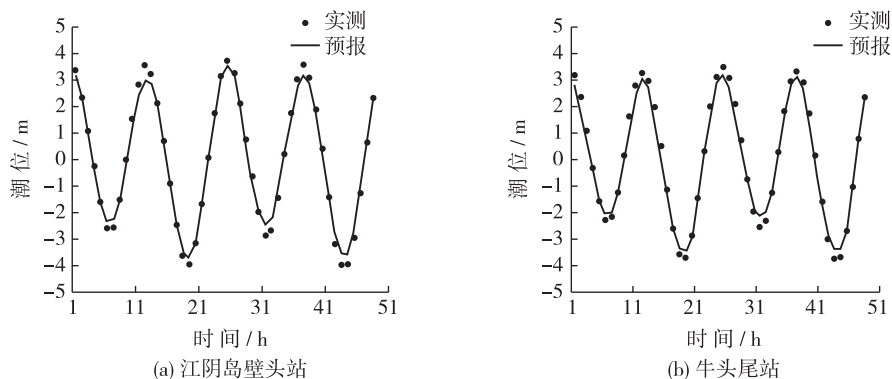


图 6 江阴岛壁头、牛头尾预报潮位过程与实测潮位过程比较

Fig. 6 Comparison between forecast and measured tidal process lines of Jiangyin and Niutouwei tidal level stations

图 7 为江阴港远期规划完全实施后,兴化湾海区涨、落急时刻流场图。由于江阴港规划泊位前沿线的方向与主槽流向几乎平行,所以工程的实施对兴化湾整体的潮流流向影响不大。而石城作业区附近的围填工程,由于远离深槽航道,所以,该区域的围填对水动力环境的改变几乎可以忽略。兴化水道工程前涨、落潮平均流速为 0.86 和 0.80 m/s,工程后分别为 0.92 和 0.91 m/s,相应地,南日水道工程前为 0.73 和 0.66 m/s,工程后为 0.84 和 0.70 m/s。可以看出,由于航道疏浚工程使得主航道的水深有所增加导致工程后兴化水道和南日水道主航道流速小幅度增大,增幅在 10% 左右。

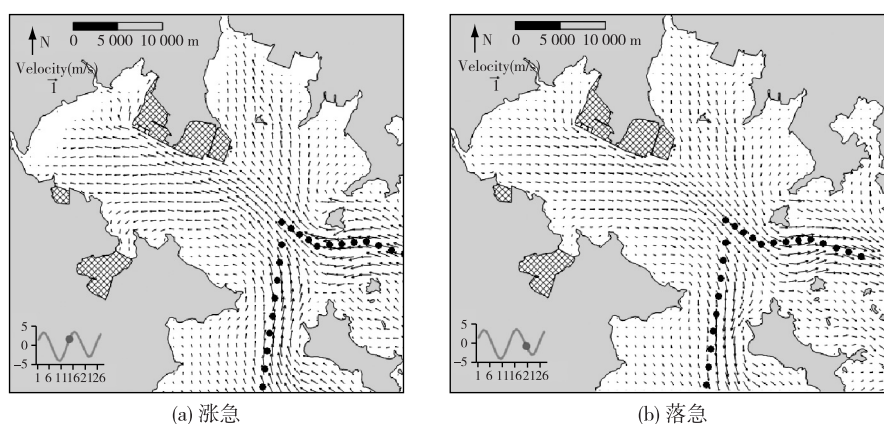


图7 工程后涨、落急时刻流场和流速点

Fig. 7 Rapid flood and ebb current fields with works and spots of velocity

3 结 语

(1) 兴化湾海域属于强潮海域,潮差较大,兴化湾水域潮汐属于正规半日潮,浅水作用较弱,涨潮历时小于落潮历时。

(2) 兴化湾水域的潮流主要由兴化水道和南日水道两股稳定潮流组成,属不规则半日浅海潮,具有往复流性质,湾内潮波具有一定的驻波特性,兴化水道属净进水通道,南日水道属净出水通道,湾内涨潮平均流速大于落潮,兴化水道流速大于南日水道流速,湾内余流较小,在兴化口门处有涡旋形成。

(3) 江阴港远期规划实施后,潮汐潮流性质不变,整体流场基本不变,余流场总体格局不变。工程区附近的潮位稍有改变,航道疏浚处流速有所增大,口门处余流涡旋有一定程度加强,湾内围填工程促使兴化湾纳潮量减小约 7.0%。

参 考 文 献:

- [1] 李孟国. 兴化湾水文泥沙特征分析[J]. 水道港口, 2001, 22(4): 156-159. (LI Meng-guo. Hydrographic and sediment analyses of Xinghua bay[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2001, 22(4): 156-159. (in Chinese))
- [2] 柯文荣, 张子闽. 兴化湾 20~30 万吨级深水航道的研究[J]. 水运工程, 2002(8): 44-46. (KE Wen-rong, ZHANG Zi-min. Research on Xinghuawan 200,000~300,000 dwt deep channel[J]. Port & Waterway Engineering, 2002(8): 44-46. (in Chinese))
- [3] 陈宗镛. 潮汐学[M]. 北京: 科学出版社, 1980. (CHEN Zong-yong. Tidology [M]. Beijing: Science Press, 1980. (in Chinese))
- [4] 方国洪. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 北京: 海洋出版社, 1986. (FANG Guo-hong. The analysis and prediction of tides and tidal currents [M]. Beijing: Ocean Press, 1986. (in Chinese))
- [5] PAWLOWICZ R, BEARDSLEY B, LENTZ S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE[J]. Computers & Geosciences, 2002, 28(8): 929-937.
- [6] FOREMAN G G. Manual for tidal heights analysis and prediction[R]. Sidney B C: Institute of Ocean Sciences, 2004.
- [7] 吴德安, 崔俊松, 张忍顺, 等. 江苏辐射沙洲水道潮流调和与分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(2): 105-111. (WU De-an, CUI Xiao-song, ZHANG Ren-shun, et al. Harmonic analysis on tidal current in tidal channel of radial sand ridges off Jiangsu coast[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2008, 39(2): 105-111. (in Chinese))
- [8] 严以新, 刘均卫, 吴德安, 等. 长江口综合整治工程前后潮汐特征分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 37(1): 100-104. (YAN Yi-xin, LIU Jun-wei, WU De-an, et al. Analysis of tidal characteristics before and after construction of regulation projects in Yangtze River estuary[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2009, 37(1): 100-104. (in Chinese))

- [9] WARREN I R, BACH H K. MIKE 21: a modelling system for estuaries, coastal waters and seas[J]. Environmental Software, 1992, 7(4): 229-240.
- [10] 金元欢, 沈焕庭. 科氏力对河口分汊的影响[J]. 海洋科学, 1993(4): 52-56.(JIN Yuan-huan, SHEN Huan-ting. Effects of Coriolis' force on estuarine branch fiord[J]. Marine Sciences, 1993(4): 52-56.(in Chinese))
- [11] 孔亚珍, 丁平兴, 贺松林. 长江口邻近海域余流的基本特征分析[J]. 海洋科学进展, 2007, 25(4): 367-375.(KONG Ya-zhen, DING Ping-xing, HE Song-lin. Analysis of basic characteristics of residual current in the Changjiang River estuary and adjacent sea areas[J]. Advances in Marine Science, 2007, 25(4): 367-375.(in Chinese))
- [12] 吴德安, 严以新, 童朝锋. 江苏海岸港口特征潮位计算与分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4): 471-476.(WU De-an, YAN Yi-xin, TONG Chao-feng. Calculation and analysis of characteristic tidal levels for main harbors along Jiangsu coast[J]. Journal of Hohai University(Natural Science), 2007, 35(4): 471-476.(in Chinese))

Tidal regime and impacts of works in Xinghua bay on hydrodynamics

TONG Chao-feng^{1,2}, WANG Jun-jie², ZHANG Qing²

(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: The Xinghua bay, located in the west of Taiwan Strait, has a large scale of reclamation and dredging works which will directly have impacts on the hydrodynamic environment. Based on the hydrological measurement data of February 2009, studies of characteristics of tidal level, current field and residential field with and without works are conducted by using the method of tidal harmonic analysis and current harmonic analysis, and a tidal flow mathematical model. As the analysis results show, in the Xinghua bay, the tide is a regular semidiurnal tide with subtle shoaling while the tidal current is a regular semidiurnal shallow current. From the outside to inside, the tide wave which is composed of stable direction tides of the Xinghua waterway and Nanri waterway has some characteristics of the standing wave, and the spring tide is dominants in the Xinghua waterway while the ebb is dominant in the Nanri waterway. After completion of works, the forecast tidal process lines of July 2013 based on the harmonic constants are in good agreement with the observational ones, and at the same time the characteristics of tide and current are kept the same. Velocities within the harbor and channel increase slightly. The tide fluxes of both the Xinghua waterway cross section and Nanri waterway cross section decrease, as well as the tidal prisms. And the Eulerian residual current field remains unchanged in the whole bay while the vortexes in the entrance areas are strengthened.

Key words: Xinghua bay; tide and tidal current; harmonic analyses; hydrodynamic characteristics; flux of tidal current