

田横岛、绿岛码头建设对附近水域水动力影响数值研究^{*}

袁道伟 姜安刚 李凤歧 吴德星

(中国海洋大学环境科学与工程学院 青岛 266003)

提要 利用有限元方法,建立了崂山头至古龙咀连线以西海域二维潮流数值计算模式,数值模拟了田横岛、绿岛码头建成后对附近水域水动力的影响,数值模拟结果表明:码头建成前后流场分布在离码头区 500 m 以外几乎无变化,在码头附近除围海造田减少了部分海域面积外码头周围水域流场有变化,其最大量值减少范围 500 m 外流速小于 1.73 cm/s、余流小于 0.44 cm/s,而流速方向角变化范围小于 8.1°、余流小于 12.8°。最大流速发生时刻基本没有变化。

关键词 有限元,数值模拟,水动力,田横岛,绿岛

中图分类号 P75 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)12-0062-04

田横岛(120°57'32"E, 36°25'08"N)位于崂山湾北侧的横门湾内。岛体东西长 3 km,南北宽 0.43 km,总面积 1.262 km²,是青岛市第三大岛。岸线长 9.54 km,田横岛周围有牛岛、绿岛、马龙岛、猪岛、车岛、涨岛、赭岛和水岛,构成星罗棋布的岛群。绿岛在田横岛以西约 1.5 km,目前,绿岛已与大陆相连,绿岛与大陆之间基本无水流通过。两岛周围浅海养殖面积达 666.7 hm²,田横岛现有简易码头一座,码头长 30 m,宽 7.5 m,水深 0.0~0.1 m 左右。由于码头配套不完善,且无登陆点,不能进行货物装卸和滚装作业,货物运输只能依靠渔船和交通艇进行装卸,一旦潮位不合适,只能从天然海滩依靠肩扛人抬进行货物装卸。同时,由于码头掩护条件及小型船舶抗风浪能力差,每遇恶劣天气,岛上居民不能正常出海,岛上的海鲜产品不能及时外运,损失严重;而且物资装卸和人员进出难以保证安全。因此难以维持岛上正常的生产、生活秩序,制约了海岛的对外交往和经济发展。现有码头已不能满足日益增长的货运量和田横岛旅游业发展的需要,并且存在安全隐患。因此,为改善当地居民的生产、生活条件,促进田横岛渔业和旅游业的发展,方便岛上居民和游客,尽快解决田横岛的陆岛交通问题,2002 年 11 月地方政府大力扶持并争取国家交通主管部门补助的情况下,拟新建绿岛-田横岛陆岛交通码头,增设滚装设施。田横岛码头建 600 t 级客运、货运码头各一座,码头突堤布置,引堤长 500 m,绿岛陆地码头新建 600 t 级客运、货运泊位各一座,码头突堤布置,引堤长 600 m。码头建成后年货运 5.2 万 t,客运

19.8 万人次,一方面将促进区域经济的有力发展,另一方面亦必将影响附近水域的水动力。为弄清码头建成后水动力的变化,数值模拟了码头建成前后的潮流及潮余流。

1 流体动力学方程

对沿岸浅海,特别是半封闭海湾,其基本运动是由外来潮波引起的潮汐运动,即谐振潮,选用一个固着于“ f -平面”上的直角坐标系(XOY 平面)和静止海面重合,组成右手坐标系, Z 轴向上为正,于是描写正压海洋深度平均的运动方程组为:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial t} + \frac{\partial (Hv)}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial t} - fv + \frac{g}{C^2} \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} u = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial t} + fu + \frac{g}{C^2} \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} v = 0 \quad (3)$$

^{*} 山东省自然科学基金重点项目 Z99E01 号。

第一作者:袁道伟,出生于 1978 年,硕士,主要从事近海数值模拟研究。电话:0532-2031693

收稿日期:2003-04-04;修回日期:2003-06-18

式中: u, v 分别为对应于 x, y 轴的流量分量; t 为时间坐标; g 为重力加速度; $f = 2\Omega \sin \varphi$ 为柯氏参数; Ω 为地球角速度; φ 为地理纬度; ζ 为自静止水面算起的水位高度; h 为自静止水面算起的水深; H 为自海底算起的水位高度, $H = h + \zeta$; C 为 Chezy 系数 ($\text{cm}^{1/2}/\text{s}$)。

在陆边界:

$$u \cos \alpha + v \cos \beta = 0 \quad (4)$$

在开边界:

$$\zeta = \zeta' \quad (5)$$

$$t = 0 \text{ 时 } v = v_0, \zeta = \zeta_0 \quad (6)$$

由方程 (1) ~ (6) 构成了完整的二维浅海潮波的闭合定解方程组。

2 潮流场数值模拟

2.1 计算海域及网格设置

计算海域取崂山头至古龙咀连线及西北侧的陆地岸线所围成的海域, 如图 1 所示, 采用有限元不规则三角形的分布杂交方法求解^[1, 2], 设置的三角形网格点共有 1 986 个, 最小网格步长 50 m。

2.2 水深及岸界

水深和岸界根据海图 12310 号和 12321 号确定。

2.3 水界水位

计算域开边界两端的调和常数由一个月潮汐资料经调和与分析得出^[3]。其余水界点的调和常数根据该海域的潮汐系统分布内插得出。由于该海区半日潮为主, 故只考虑 M_2 和 S_2 分潮并考虑大潮时的情形。水界强迫水位调和方程为:

$$\zeta(t) = (H_{M_2} + H_{S_2}) \cos(\alpha_{M_2} t - g_{M_2})$$

式中: H_{M_2} 为 M_2 分潮调和常数振幅; H_{S_2} 为 S_2 分潮调和常数振幅; g_{M_2} 为 M_2 分潮调和常数位相; α_{M_2} 为 M_2 分潮圆频率; ζ 为自静止水面起算的水位高度; t 为时间坐标。

2.4 流场模拟结果及其验证

以崂山头的潮位为参考潮位, 图 2 和图 3 给出了涨潮和落潮时刻的计算潮流场, 由图可以看出, 涨潮时, 田横岛码头附近潮流由东偏北向西南流, 绿岛码头附近潮流由北向南流, 横门湾内潮流由外向湾内流动, 田横岛码头以外的海域由西南向东北流。落潮时, 田横岛码头附近潮流由西南向东北流, 绿岛码头附近潮流由南向北流, 横门湾内潮流向外海流动, 田横岛码头以外的海域由西南向东北流。图 4 和图 5 分

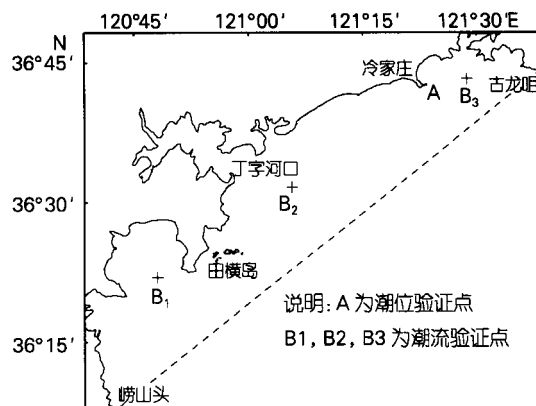


图 1 计算海域

Fig.1 The computed sea area

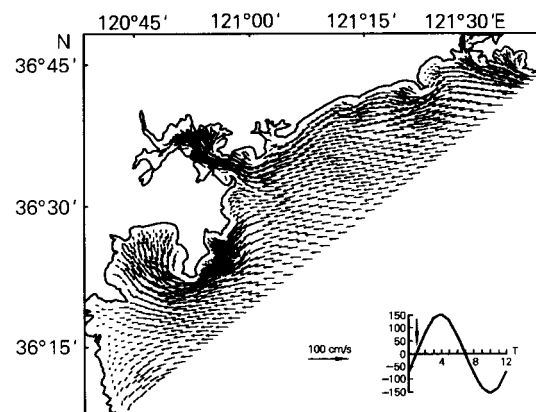


图 2 涨潮时的计算潮流场

Fig.2 Computed tidal current field during flood

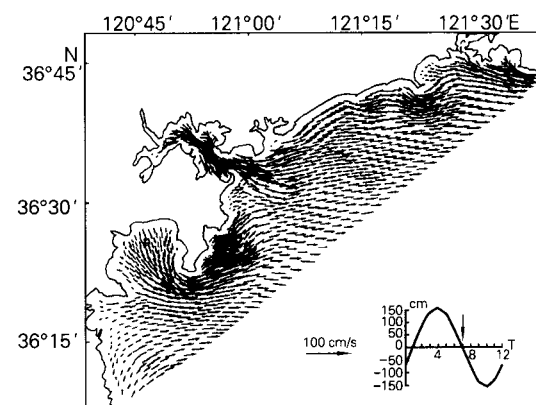


图 3 落潮时的计算潮流场

Fig.3 Computed tidal current field during ebb

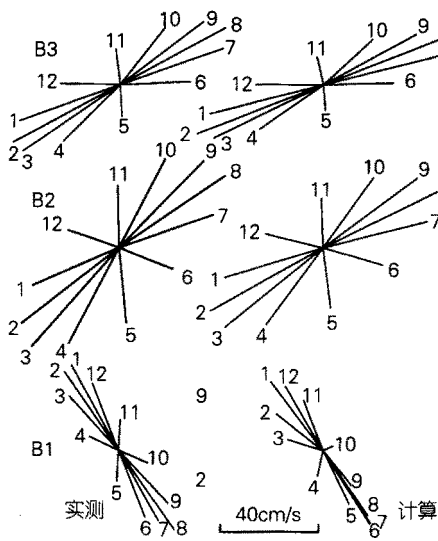


图 4 实测与计算的潮流验证
Fig. 4 Observed and computed tidal current

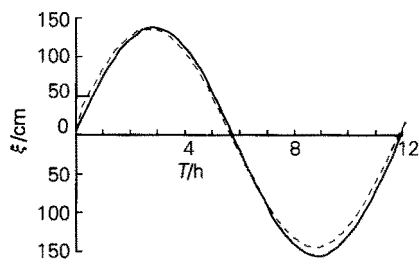


图 5 实测与计算的潮位验证
Fig. 5 Observed and computed tidal curves

别给出了实测与计算的潮位与潮流验证 (验证点位置见图 1, 验证所用实测资料的观测时间为 1994 年 10 月 20 日), 由图可以看出, 计算值和实测值符合良好, 说明建立的该海域的潮流模型是正确的。

3 码头建成后的潮流场预测

根据工程给出的码头位置及竣工后的水深, 预测了工程建成后的海域流场, 由计算知海域整体流场无多大变化, 只在工程附近海域, 流场稍有变化。表 1 给出了 8 个代表点最大流速在工程前后的变化, 代表点的位置如图 6 所示。

由表 1 可以看出, 工程前后流场分布在离工程

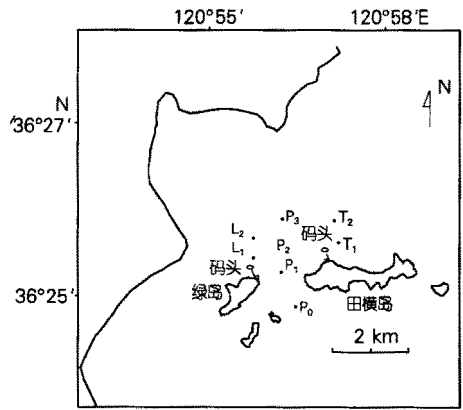


图 6 最大流速在工程前后的变化代表点的位置示意图
Fig. 6 Site of the representative points which are used to show the changes of the maximum current velocity before and after the wharfs finished

表 1 工程前后代表点最大流速、流向及发生时刻

Tab. 1 The maximum current velocity, current direction and the instant of the maximum current velocity happening of the representative points before and after the wharfs finished

点位	工程前			工程后			变化值		
	流速 (cm/s)	流向 (°)	发生时刻 (h)	流速 (cm/s)	流向 (°)	发生时刻 (h)	流速 (cm/s)	流向 (°)	发生时刻 (h)
P ₀	29.51	281.2	2.6	28.95	280.6	2.6	-0.56	-0.6	0.0
P ₁	39.23	275.6	2.6	39.21	274.0	2.6	-0.02	-1.6	0.0
P ₂	35.44	253.3	2.4	35.39	255.7	2.4	-0.05	2.4	0.0
P ₃	31.62	210.6	1.2	31.59	210.8	1.2	-0.03	0.2	0.0
L ₁	19.34	299.8	2.6	17.61	307.9	2.6	-1.73	8.1	0.0
L ₂	17.87	233.2	1.2	16.62	232.9	1.2	-1.25	-0.3	0.0
T ₁	38.82	184.6	1.8	39.49	180.2	1.8	0.67	-4.4	0.0
T ₂	43.57	206.8	1.2	43.45	205.7	1.0	-0.12	-1.1	-0.2

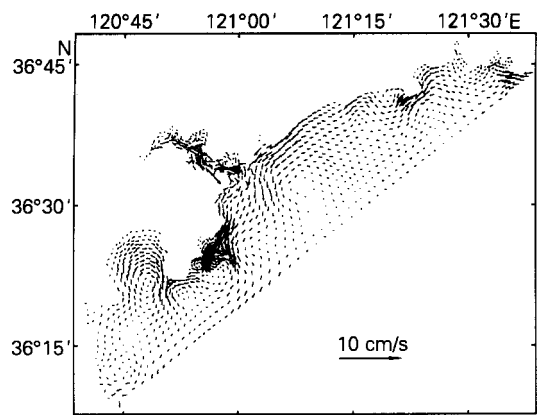


图 7 工程前欧拉余流计算结果
Fig.7 The computed result of the Eulerian residual current before the wharfs finished

区 500 m 以外几乎无变化,在工程附近除围海造田减少了部分海域面积外码头周围水域流场略有变化,其最大流速的量值减少范围 500 m 外小于 1.73 cm/s,而流速方向角变化范围小于 8.1°,而最大流发生时刻基本没有变化。工程附近区流速的变化将不利于污染物的输运,但上述变化不会对海域环境造成明显的影响。

4 欧拉余流场的预测

欧拉余流为空间某点流速在一个潮周期内的平均值,代表流经该处的物质长期输运的趋势。

工程前欧拉余流的计算结果如图 7,工程后的余流基本相似,图形略。代表点的欧拉余流计算结果列于表 2。

由表 2 可以看出,除离绿岛码头约 500 m 的 L₁点余流大小和方向变化较大外,其余点变化不大。

表 2 工程前后代表点欧拉余流

Tab.2 The Eulerian residual current of the representative points before and after the wharfs finished

点位	工程前		工程后		变化值	
	流速(c m/s)	流向(°)	流速(c m/s)	流向(°)	流速(c m/s)	流向(°)
P ₀	2.87	279.2	2.64	278.0	- 0.23	- 1.2
P ₁	4.72	276.3	4.81	273.6	0.09	- 2.7
P ₂	3.02	245.1	3.07	249.5	- 0.05	4.4
P ₃	1.84	202.8	1.74	206.5	- 0.10	3.7
L ₁	2.14	294.4	1.70	307.2	- 0.44	12.8
L ₂	1.62	243.5	1.33	247.7	- 0.29	4.2
T ₁	3.12	181.6	3.06	180.8	- 0.06	- 0.8
T ₂	2.46	213.6	2.46	213.6	0.00	0.0

5 小结

田横岛、绿岛码头建成前后水动力在码头区 500 m 以外变化不大,在码头附近除围海造田减少了部分海域面积外码头周围水域的潮流场和余流场有变化,水动力减弱。码头附近海区水动力的变化将不利于附近海域污染物的输运,要加强码头区污染物排海的管理,保护好码头区水质环境,本文目的亦基于此。

参考文献

- 1 吴江航,韩庆书.计算流体力学的理论、方法及应用.北京:科学出版社,1988.243- 258
- 2 娄安刚,王学昌,吴德星.胶州湾大沽河邻近海域海水水质预测.海洋环境科学,2002,21(1):52- 56
- 3 黄祖珂,陈宗镛.我国沿海若干验潮站的 19 年潮汐分析.中国科学(D),1997,2(2):174- 179

(下转第 70 页)

NUMERICAL STUDY ON THE IMPACT OF WHARF CONSTRUCTION ON GREEN ISLAND AND TIANHENG ISLANDS ON THE LOCAL HYDRODYNAMIC ENVIRONMENT

YUAN Dao - Wei LOU An - Gang LI Feng - Qi WU De - Xing

(College of Environmental Science and Engineering , China Ocean University , Qingdao , 266003)

Received : Apr . , 4 , 2003

Key Words : Finite element , Numerical simulation , Hydrodynamic , Tianheng & green islands

Abstract

A two dimension tidal current numerical model was constructed using the finite element method . The calculation field was the sea area west of the line from Laoshantou to Gulongzui . The effect of wharfs completion on Tianheng island and Green islands on the surrounding hydrodynamic environment was numerically modeled . Results of the numerical simulation indicate that the distribution of the tidal current field beyond 500 meters will experience no major changes as a result of wharf construction . The area immediately around the wharf will see small changes caused by overall reduction of sea-area . The maximum reductions were found to be ; current velocity less than 1.73 cm/s , residual current velocity less than 0.44 cm/s . Change to the current direction angle was less than 8.1 degrees and the residual current direction was less than 12.8 degrees . The was basically unchanged .

(本文编辑 : 刘珊珊)