

董家口海域水动力环境分析

赵迎春, 王海荣, 王海荣

(国家海洋局 北海海洋勘察研究院, 山东 青岛 266033)

摘要: 根据 2008 年 12 月董家口港附近海域 4 个站位的实测海流资料, 初步分析了研究海域的潮流场特征, 同时采用数值模拟的方法对整个海区的水动力环境进行了分析, 对进一步了解该海域的水动力环境具有积极的意义, 为董家口港近岸海域的环境保护提供了科学依据。

关键词: 董家口; 潮流特征; 数值模拟; 水动力环境

中图分类号: P731.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)08-0104-05

董家口港区是国家枢纽港——青岛港的重要组成部分, 是以大宗散货、液体化工品及杂货运输为主, 逐步发展成为服务腹地物资运输和临港产业开发的大型综合性港区, 是青岛市“环湾保护、拥湾发展”战略实施的核心组成部分。作为青岛港优化港口布局 and 实现可持续发展的重要依托, 沿岸海洋工程的建设, 将不可避免地对周围海域水动力环境、生态环境等产生影响。为合理地开发利用海洋资源, 科学地保护其海洋环境, 对该海域的水动力状况和物理自净能力的了解尤为重要。作者在实测资料分析的基础上, 模拟计算了董家口港区近岸海域的潮流场, 为作好该海域环境保护提供了科学依据。

1 董家口研究海域概况

规划的董家口港区位于胶南市辖区泊里镇董家口以东的琅琊台湾, 西起棋子湾西侧, 东至胡家山前咀。琅琊台湾是地质构造形成的原生海湾, 海域水深宽阔, 气候条件、地质条件适宜, 其北侧分布有两个较为狭窄的小海湾, 名曰陈家贡湾和杨家洼湾。海岸线曲折, 是典型的岬湾型海湾。研究海域位于董家口嘴以东琅琊台湾西南近岸海域, 地理坐标为: 119°47'16.976E, 35°34'3.102"N。见图 1。

2 实测资料分析

2.1 海流特征

国家海洋局北海海洋工程勘察研究院 2008 年 12 月 6~7 日小潮期和 2008 年 12 月 15~16 日大潮期, 在研究海域进行了 4 个站位表层、中层和底层连续 25 h 的周日海流观测。观测要素主要为流速、流向

和压力(水深)。详见图 1。

根据实测海流资料计算可知: 各站层涨潮流的平均流速为 39.9~48.3 cm/s, 落潮流平均流速为 31.4~46.0 cm/s。而各站层的最大涨潮流流速为 69~91 cm/s; 最大落潮流流速为 51~74 cm/s。最大流速出现在 04 站的表层为 91 cm/s。涨、落潮流向大致在 WSW~ENE 向。

2.2 潮流性质

根据 4 个站 2 个潮期的实测海流资料, 进行准调和分析^[1], 计算得该海区各站层均为 $K = \frac{W_{O1} + W_{K1}}{W_{M2}} \leq 0.5$ (W_{O1} 、 W_{K1} 、 W_{M2} 分别为 O_1 、 K_1 、 M_2 分潮流的最大流速); 因此该海区的潮流性质为正规半日潮流。

2.3 潮流的运动形式

2.3.1 椭圆要素

潮流的运动形式取决于该海区主要分潮流的椭圆要素。对于半日潮流占优的海区, 主要半日分潮流 (M_2 和 S_2) 的运动形式即代表了该海区潮流的运动形式。而反映潮流运动形式的参量为旋转率(亦称椭圆率) K' , 其值为该分潮流椭圆短轴与椭圆长轴的比值^[2], 其符号有“+”、“-”之分, 正号表示分潮流为逆时针旋转, 负号则为顺时针旋转(表 1)。

收稿日期: 2011-12-09; 修回日期: 2012-04-25

作者简介: 赵迎春(1963-), 女, 山东烟台人, 高级工程师, 学士, 主要从事海洋工程及管理研究, 电话: 13869880024, E-mail: yingchun601@126.com

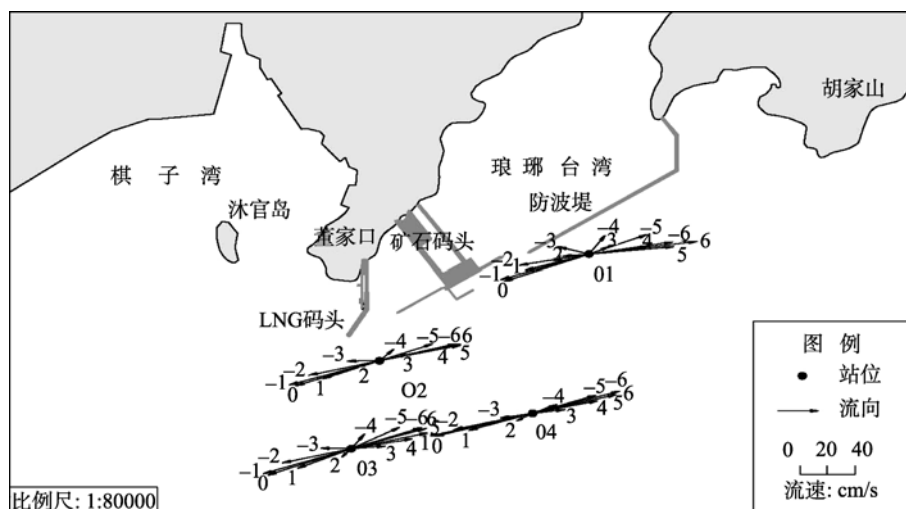


图 1 研究海域调查站位与表层潮流运动矢量图
Fig. 1 Survey stations and surface tidal current vectors

表 1 各站层 M₂ 分潮的椭圆要素

Tab. 1 Current ellipse factors of M₂ constituent at each station/layer

站位	层位	M ₂ 潮流椭圆长轴 (cm/ s)	M ₂ 潮流长轴方向 (°)	M ₂ 潮流椭圆短轴 (cm/ s)	K' _{M2}
01	表层	44.78	76.2	3.38	0.075
	中层	44.12	76.2	3.25	0.074
	底层	41.86	75	2.94	0.07
02	表层	43.89	73.7	2.38	0.054
	中层	42.98	75.8	2.92	0.068
	底层	38.76	76.2	2.66	0.069
03	表层	42.26	71.9	4.54	0.107
	中层	41.56	68.6	4.56	0.11
	底层	36.18	68.2	4.81	0.133
04	表层	48.60	74.1	1.85	0.038
	中层	45.65	73.5	1.45	0.032
	底层	40.31	71.8	3.85	0.095

由表中各分潮的椭圆率 K' 值来看, 各站层均为正值, 潮流均为逆时针旋转, 潮流的运动形式以往复流为主, 旋转为辅。

2.3.2 高潮前后各 6 h 流向流速

为进一步说明该海区潮流的运动形式, 根据此次实测潮位资料, 作者用调和分析的方法, 计算出该海域潮汐的调和常数, 从而计算出各站、层高潮前(负)、后各 6 h 潮流的流速和流向, 最大涨潮流流速一般发生在高潮前 1 h 左右, 最大值达 96 cm/s; 而最大落潮流流速一般发生在高潮后 6 h 左右, 流速值比涨潮时流速小, 为 67 cm/s。在一个潮周期内潮流的旋转情况: 涨潮过程流向由 WSW 逆时针转至 ENE

向; 而落潮过程则由 ENE 逆时针转至 WSW 向。该海区的潮波主要为前进波。大潮期各站表层潮流流速、流向矢量见图 1。

2.4 潮流特征值计算

潮流特征值的计算结果见表 2。表 2 表明: (1) 研究海区大潮时各站层潮流的平均最大流速为 49 ~ 65 cm/s。最大可能流速为 71 ~ 100 cm/s。水质点平均最大运移距离为 6.84 ~ 9.19 km。最大可能运移距离为 10.41 ~ 14.73 km。(2) 从潮流的垂直分布情况看, 各站潮流的平均最大流速和水质点的运移距离大致为随深度的增加而递减。(3) 从运移方向看各站涨、落潮流及水质点的运移距离与主流方向一致。

表 2 潮流特征值计算结果

Tab. 2 Calculation results of current eigenvalue

站号	层次	潮流性质 K	潮流平均最大流速(cm/s)			流向 (°)	水质点平均最大运移距离(m)			流向 (°)	最大可能流速 (cm/s)	流向 (°)	最大可能运移距离 (m)	流向 (°)
			大潮	中潮	小潮		大潮	中潮	小潮					
			01	表层	0.1		60	45	30					
	中层	0.1	59	44	29	76	8440	6278	4215	76	86	84	12586	82
	底层	0.2	56	42	28	75	7914	5957	4000	75	82	84	12235	82
02	表层	0.1	59	44	29	74	8298	6246	4194	74	87	78	12750	77
	中层	0.1	58	43	28	76	8125	6116	4106	76	84	78	12453	78
	底层	0.2	52	39	26	76	7238	5516	3704	76	78	78	11402	79
03	表层	0.2	57	42	28	72	7989	6014	4038	72	86	74	12667	74
	中层	0.2	56	42	28	69	7857	5914	3971	69	82	69	12209	69
	底层	0.1	49	36	24	68	6839	5148	3457	68	71	68	10406	68
04	表层	0.2	65	49	32	74	9188	6916	4644	74	100	72	14726	71
	中层	0.2	61	46	30	74	8630	6496	4362	74	93	72	13677	73
	底层	0.2	54	40	27	72	7620	5736	38515	72	82	71	12160	71

3 水动力环境数值模拟分析

3.1 水动力模型介绍

潮流场模拟采用丹麦水力学研究所研制的平面二维数值模型 MIKE21FM, 计算域网格设计灵活且可随意控制网格疏密。计算结果可靠。并采用标准的 Galerkin 有限元法进行水平空间离散, 在时间上, 采用显式迎风差分格式离散动量方程与输运方程。

3.1.1 模型控制方程

质量守恒方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) = 0$$

动量方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_x \frac{\partial u}{\partial y} \right) -$$

$$fv + \frac{gu\sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 H} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) +$$

$$fu + \frac{gv\sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 H} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y}$$

式中, ζ 为水位; h 为静水深; H 为总水深, $H=h+\zeta$; u 、 v 分别为 x 、 y 方向垂向平均流速; g 为重力加速度; f 为科氏力参数 ($f=2\omega\sin\varphi$, φ 为计算海域所处地理纬度); C_z 为谢才系数, $C_z=1/nH^{1/6}$, n 为曼宁系数;

ε_x 、 ε_y 为 x 、 y 方向水平涡动黏滞系数。

3.1.2 定解条件

初始条件:

$$\begin{cases} \zeta(x, y, t)|_{t=t_0} = \zeta(x, y, t_0) = 0 \\ u(x, y, t)|_{t=t_0} = v(x, y, t)|_{t=t_0} = 0 \end{cases}$$

边界条件: 固定边界取法向流速为零, 即 $\vec{V} \cdot \vec{n} = 0$; 在潮滩区采用动边界处理; 水边界采用预报潮位控制:

$$\zeta = A_0 + \sum_{i=1}^{11} H_i F_i \cos[\sigma_i t - (v_0 + u)_i + g_i], A_0 \text{ 为平均}$$

海面, F_i 、 $(v_0+u)_i$ 为天文要素, H_i 、 g_i 为某分潮调和常数, 即振幅与迟角。

3.2 计算域和网格设置

3.2.1 计算域设置

计算域范围为由灌河口、崂山湾两点以及岸线围成的海域, 模拟采用非结构三角网格^[3]。坐标范围为 $34^{\circ}17'50'' \sim 36^{\circ}16'11''N$, $119^{\circ}05'42'' \sim 120^{\circ}33'52''E$ 。为清楚了解研究海域潮流场特征, 对计算网格进行局部加密。加密区域为由北纬 $35^{\circ}30'$ 线、东经 $120^{\circ}01'$ 线及岸线围成的海域。整个模拟区域内由 2681 个节点和 4620 个三角单元组成, 最小空间步长约为 10 m。

3.2.2 模型水边界输入

开边界: 引用灌河口、崂山湾的 M_2 、 S_2 、 K_1 和 O_1 四个主要分潮调和常数, 采用下述公式进行预报潮位, 以预报潮位值输入计算。

$$\zeta = \sum_{i=1}^N \{f_i H_i \cos[\sigma_i t + (V_{oi} + V_i) - G_i]\}$$

式中, f_i , i 是第 i 个分潮(这里共取四分潮: M_2 、 S_2 、 O_1 和 K_1)的交点因子和角速度; H_i 和 G_i 是调和常数, 分别为分潮的振幅和迟角; $V_{oi}+V_i$ 是分潮的幅角。

闭边界: 以大海域和工程周边岸线作为闭边界。

3.2.3 计算时间步长和底床糙率

模型计算时间步长根据 CFL 条件进行动态调整, 确保模型计算稳定进行, 最小时间步长 0.1 s。底床糙率通过曼宁系数进行控制, 曼宁系数 n 取 32~45 $m^{1/3}/s$ 。

3.2.4 水平涡动黏滞系数

采用 Smagorinsky 公式^[4]计算水平涡黏系数, 表达式如下:

$$A = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

式中: C_s 为常数, l 为特征混合长度, 由

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), (i, j=1, 2) \text{ 计算得到。}$$

3.3 潮流数值模型及验证

作者对 03 站大潮期的潮流和潮位资料对模型计算结果进行了验证, 且吻合较好。能较好地反映所研究海域的潮汐、潮流状况(图 2 和图 3)。

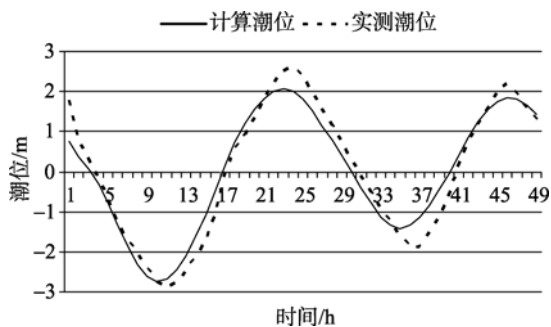


图 2 潮位验证曲线
Fig. 2 Calibration trace of tide level

3.4 研究海域潮流场数值模拟

3.4.1 工程前潮流场现状

大潮期间涨潮中间时潮流整体由 NE 往 SW 流, 棋子湾和琅琊台湾内潮流由湾口流向湾顶。从流速大小来看, 棋子湾和琅琊台湾近岸区域潮流流速较小, 基本在 30 cm/s 以内; LNG 码头东、西两侧及东、西防波堤口门以北均形成顺时针旋转的涡旋, 其流速普遍小于 30 cm/s, 但 LNG 码头南端海域潮流流速

一般为 40 ~ 60 cm/s, 其最大涨潮流速可达 71 cm/s, 而东、西防波堤口门处潮流流速一般为 60~85 cm/s, 其最大涨潮流速可达 109 cm/s。矿石码头前沿流速一般小于 20 cm/s, 由码头向外流速逐渐增大, 100 m 以外流速大于 80 cm/s; 胡家山前咀东北侧水道之间流速较大, 最大可达 155 cm/s。(图 4)

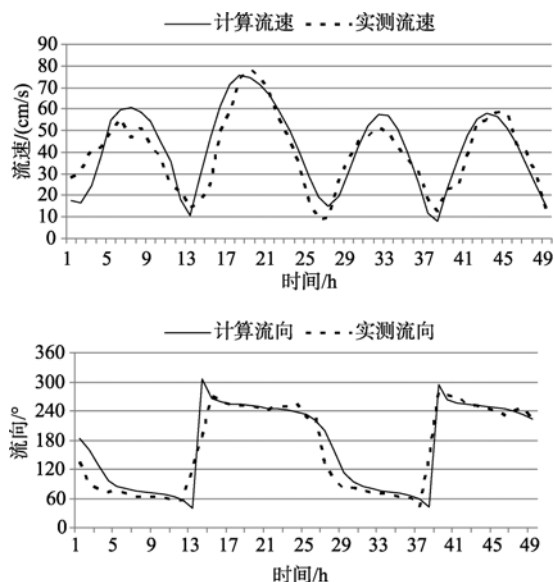


图 3 03 站流速、流向验证曲线
Fig. 3 Calibration trace of current speed and direction at 03 station

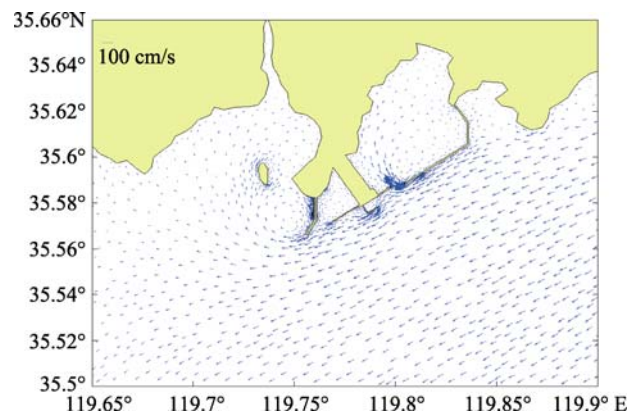


图 4 工程海域现状潮流场(涨潮中间时)
Fig. 4 Nowadays tidal current around the engineering sea area(at the middle time of flood)

而落潮中间时流向反之。棋子湾和琅琊台湾近岸区域潮流流速仍在 30 cm/s 以内; LNG 码头南端及东、西防波堤口门处流速相对较大, 最大落潮流速分别可达 89 cm/s 和 104 cm/s。胡家山前咀东北侧水道之间流速较大, 最大可达 170 cm/s。从近岸向外海, 流速呈逐渐增大的态势。

3.4.2 工程后潮流场数值预测

本工程依托已建的西防波堤和矿石码头工程引堤进行建设,引桥采用透水式结构,其建设对海域潮流场的影响主要集中在工程附近。预测结果表明:

大潮期间涨潮中间时的潮流场整体由 NE 往 SW 流,棋子湾和琅琊台湾内潮流由湾口流向湾顶。从流速大小来看,其整体格局与工程建设前差别不大,油品码头的引桥由于采用透水式,潮流由墩柱之间流出,由 NE 向 SW 流动,流速一般小于 40 cm/s,油品码头前沿流速一般小于 20 cm/s,由码头向外流速逐渐增大,最大可达 80 cm/s。(图 5)

而落潮中间时的潮流场流向反之,流速与涨潮中间时基本一致。油品码头前沿流速一般小于 20 cm/s,由码头向外流速逐渐增大,最大达 70 cm/s。

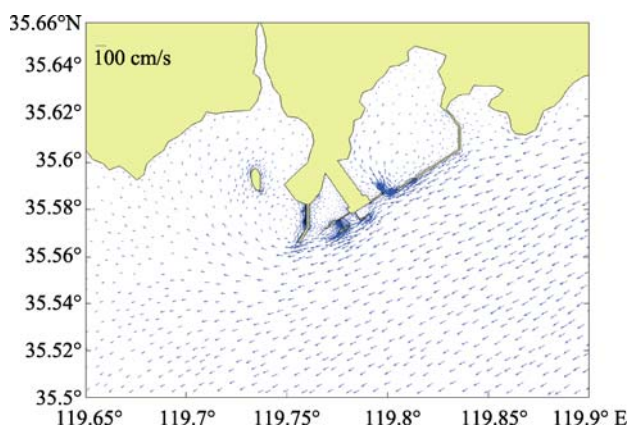


图 5 工程附近海域预测潮流场(涨潮中间时)

Fig. 5 Predicted tidal current around the engineering sea area(at the middle time of flood)

4 结语

作者基于实测数据对董家口海域的潮流特征进行

了初步分析,在此基础上,利用 Mike21FM 模型对该海域的潮流场进行了进一步的模拟分析。结果表明:

该海区的潮流为正规半日潮流,在近岸海域,涨、落潮流向大致在 WSW ~ ENE 向;从近岸向外海,涨、落潮流向逐渐转变为 SW ~ NE 向。从流速大小来看,棋子湾和琅琊台湾近岸区域潮流流速较小,从近岸向外海,流速呈逐渐增大的态势。而在近岸已建的一些海岸工程附近,流速大于近岸其他海域。潮流的运动形式以往复流为主,旋转流为辅。

工程后,油品码头及引桥西侧 1500 m 以外海域流速变化小于 15%,南侧各点流速变化小于 3%,东侧各点流速变化小于 6%,因此,本工程建设对潮流场的影响位于项目用海区 1500 m 范围内。

此外,作者对测站附近的水质点平均最大运移距离和最大可能运移距离进行了计算,对进一步了解该海域的悬浮泥沙扩散和污染物扩散具有积极的意义,为董家口港近岸海域的环境保护提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 乔璐璐, 鲍献文, 吴德星. 渤海夏季实测潮流特征[J]. 海洋工程, 2006, 24(2): 45-46.
- [2] 刘伟峰, 孙英兰, 陈时俊, 等. 胶南东部近岸海域实测海流分析及潮流场数值模拟[J]. 海洋科学, 2008, 32(8): 9-12.
- [3] 唐军, 沈永明, 邱大洪. 近岸沿岸流及污染物运动的数值模拟[J]. 海洋学报, 2008, 30(1): 148-155.
- [4] Smagorinsky J. General circulation experiment with the primitive equations[J]. Monthly Weather Review, 1963, 91(3): 99-164.

Analysis of hydrodynamic environment near Dongjiakou Area

ZHAO Ying-chun, WANG Hai-tang, WANG Hai-rong

(BEIHAI Marine Engineering Prospecting Institute of State Oceanic Administration, Qingdao 266033, China)

Received: Dec., 9, 2011

Key words: Dongjiakou; character of tidal current; numerical simulation; hydrodynamic environment

Abstract: Based on the observational current data of 4 stations near dongjiakou sea area in December in 2008, we analyzed the character of tidal current near dongjiakou sea area, and then further analyzed the hydrodynamic environment near this sea area through numerical simulation, which has important meaning for the further knowledge of hydrodynamic environment and can provide scientific foundation for the environmental protection of Dongjiakou sea area.

(本文编辑: 梁德海)