

大连新港附近海域的水动力环境特征分析研究

胡超魁, 李楠, 赵海勃, 田金, 李安龙, 王昆*

(辽宁省海洋水产科学研究院, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 为了解近年大连新港附近海域的水动力环境特征, 基于大连新港附近海域一个潮位观测站和 3 个海流观测站的同步连续潮位和海流实测数据, 分别采用潮汐调和分析与海流矢量分析的方法, 获得常江咀验潮站 13 个主要分潮的调和常数, 并详细分析研究了该海域的潮汐和海流特征。研究结果表明: 该海域平均潮位为 0.68 m, 最高潮位为 2.91 m, 最低潮位为 -1.1 m, 平均潮差为 2.73 m, 最大潮差为 3.71 m, 平均涨潮历时 6 h 6 min, 平均落潮历时 6 h 18 min; 潮汐性质为规则半日潮, 最大可能潮差为 5.2 m; 海流具有明显的往复流特征, 垂向流速有逐渐减小的趋势, 观测站位一般呈现表层最大、中层次之、底层最小的特点。对该海域的水动力环境特征的研究能够为该海域的水体环境保护及海洋灾害预警与防治提供基础数据, 为政府部门制定相关的海洋防灾减灾决策提供技术支撑。

关键词: 大连新港; 水动力环境特征; 调和分析

中图分类号: P731

文献标识码: A

文章编号: 1002-3682(2019)04-0272-08

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2019.04.003

引用格式: HU C K, LI N, ZHAO H B, et al. Study on hydrodynamic characteristics in sea area near the Dalian New Port[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(4): 272-279. 胡超魁, 李楠, 赵海勃, 等. 大连新港附近海域的水动力环境特征分析研究[J]. 海岸工程, 2019, 38(4): 272-279.

大连湾位于黄海北部, 三面环陆, 湾口朝向东南, 属于典型的半封闭型海湾^[1]。由于海湾处于海陆过渡带, 是海陆交互作用和人类干扰活动的强烈承受区域, 也是环境变化的敏感带和生态系统的脆弱带^[2]。一直以来, 溢油事故对海湾生境的影响备受关注, 海上溢油扩散, 伴随着海水动力推动作用, 运动状态十分复杂, 不仅造成沿岸养殖企业的经济损失, 还给海洋生物和生态系统等带来极大危害^[3]。大连湾沿岸化工企业、港口及码头众多, 导致溢油风险及海洋赤潮灾害发生率均较高, 如大连湾新港附近海域在 2010-07-16 曾发生一起严重的溢油事故。本研究可为油膜漂移路径的模拟预测, 为政府管理部门针对溢油损失定量评估和制定应急预案提供技术支持, 同时, 准确把握目标海域的水动力状况也是规避和制定科学合理的溢油灾害应急预案的前提与基础。

有关大连湾及大连新港附近海域的水动力特征研究, 国内一些学者^[4-7]曾做过此海区水动力场的分析研究, 但主要利用的是数值模拟手段, 基于详实的观测资料对该海域的水动力状况进行分析研究的文献尚属少见。本文正是针对此海域, 基于近年潮汐和海流的同步连续观测资料^[8-12], 采用调和分析和矢量分析的方法对大连新港附近海域的水动力环境特征进行分析研究, 明确研究出该海域的潮汐性质和海流属性, 此项工作也可对大连新港附近海域其他相关水质模型的准确建立提供必要的验证数据。

1 数据来源

1.1 站位布设及数据获取

数据主要来源于大连新港附近海域的同步、长期、连续的海流和潮位观测、分析数据。为准确分析海域

收稿日期: 2019-05-15

资助项目: 辽宁省自然科学基金项目——基于数值模型的褐潮漂移预测模拟研究 (20180551183)

作者简介: 胡超魁(1986-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事海洋调查与测绘方面研究。E-mail: hkyhck@163.com

* 通讯作者: 王 昆(1979-), 女, 研究员, 博士, 主要从事海洋水体环境保护相关的数值模拟方面研究。E-mail: wangkunkun@163.com

(陈 靖 编辑)

水动力特征,保证资料的丰度,提高数据可靠性,确定了主要观测内容,包括:在该海域的常江咀附近海域建立一个临时验潮站(图 1),观测时间段是 2015-06-02T12:00—17T12:00,共进行了 15 d 的潮位观测,观测频次为 5 min/次。根据大连新港港区附近海域涨潮流海水流入大窑湾、落潮流海水从湾内流出,于湾口处分成 2 支(一支流向北黄海东北部,一支流向西南部)的水道特点,我们布设 3 个海流观测站(图 1),进行船舶定点同步人工观测,观测时间段是 2015-06-02T12:00—03T13:00,观测历时为连续 25 h,观测频次为 1 h/次,观测水层为表层(水下 1 m)、中层(水深一半)和底层(底面上 1 m)三层。观测期间,同时进行风速、风向和海况的观测,风速、风向及波浪每 3 h 观测一次,观测时间段为 2015-06-02T14:00—03T11:00。

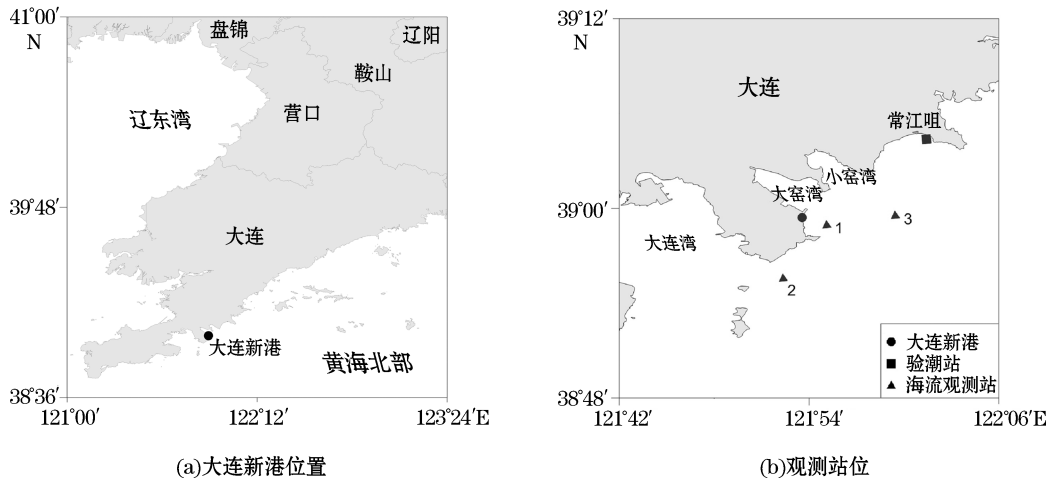


图 1 大连新港位置及附近海域观测站位分布

Fig.1 Location of the Dalian New Port and distribution of the survey stations in the sea area near the port

1.2 观测仪器技术参数

利用加拿大 RBR 公司 solo D 型自容式潮位仪观测潮位,采用美国天宝 R8 系列 RTK 测量高程;采用中国海洋大学仪器厂 SLC 9-2 型直读式海流计、日本自容式电磁海流计(JFEInfinity MODEL AEM-USB)和声学多普勒海流剖面仪 TRDI workhouse ADCP(600k)观测海流。另外,为了满足后续研究中获得 1 号站稳定、连续数据的需要,在 1 号站增加了 1 台 TRDI ADCP 和 4 台电磁海流计,这 4 台电磁海流计分别放置于水下 2,5,10 和 15 m。海流测量仪器技术参数见表 1。

表 1 海流测量仪器技术参数

Table 1 Technical parameters of the current measuring instrument

仪器型号与名称		SLC9-2 型 直读式海流计	AEM-USB 型 自容式电磁海流计	TRDI workhouse 型 声学多普勒海流剖面仪
原理		机械转子	电磁	声学
测量方式		人工	自记	自记
流速	测量范围	3~350 cm·s ⁻¹	0~500 cm·s ⁻¹	0~500 cm·s ⁻¹
	准确度	±1.5%	±1 cm·s ⁻¹	0.3%±0.3 cm·s ⁻¹
	分辨率	1 cm·s ⁻¹	0.02 cm·s ⁻¹	0.1 cm·s ⁻¹
流向	测量范围	0~360°	0~360°	0~360°
	准确度	±4°	±2°	±2°
	分辨率	2°	0.01°	0.01°
测量点或剖面		单点	单点	剖面

2 结果与分析

2.1 风速、风向与海况

在海流观测期间,同步观测海况、风速及风向观测,具体观测时刻为 2015-06-02T14:00,17:00,20:00,23:00 以及 2015-06-03T02:00,05:00,08:00,11:00,各测站观测平均值如表 2 所示。由表 2 可知,观测期间风速较小,平均风速为 6 m/s;06-03T11:00 测得最大风速 9 m/s;06-02 风向有一定波动,风向由 S 转为 NW,而 06-03 风向较稳定,以 NW 风为主。

表 2 风速、风向、波浪及海况同步观测值
Table 2 Values of wind speed, wind direction, waves and sea conditions measured synchronously

日 期	时 刻	风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	风 向	波高/m	波 向	海况级别
2015-06-02	14:00	5	S	0.6	S	3
2015-06-02	17:00	6	SW	0.8	SW	3
2015-06-02	20:00	5	NW	0.6	SW	3
2015-06-02	23:00	6	NW	0.6	SW	2
2015-06-03	2:00	6	NW	0.5	SW	2
2015-06-03	5:00	8	NW	0.6	SW	2
2015-06-03	8:00	8	NW	0.5	SW	2
2015-06-03	11:00	9	NW	0.5	SW	2

2.2 潮汐特征分析

2.2.1 观测数据结果

根据常江咀验潮站历时 15 d 的连续潮位观测值,绘制潮位时间序列曲线(图 2)可知,潮汐满足明显的半日潮特征,采用统计分析的方法分析此潮位站潮汐的各个典型特征值,可知,该时间段内观测潮位的最高值为 2.91 m,发生时刻为 2015-06-06T12:05,最高潮位为-1.10 m,发生时刻为 2015-06-06T02:45,平均潮位为 0.68 m,平均潮差为 2.73 m,以及最大潮差、最小潮差和涨、落潮历时如表 3 所示。

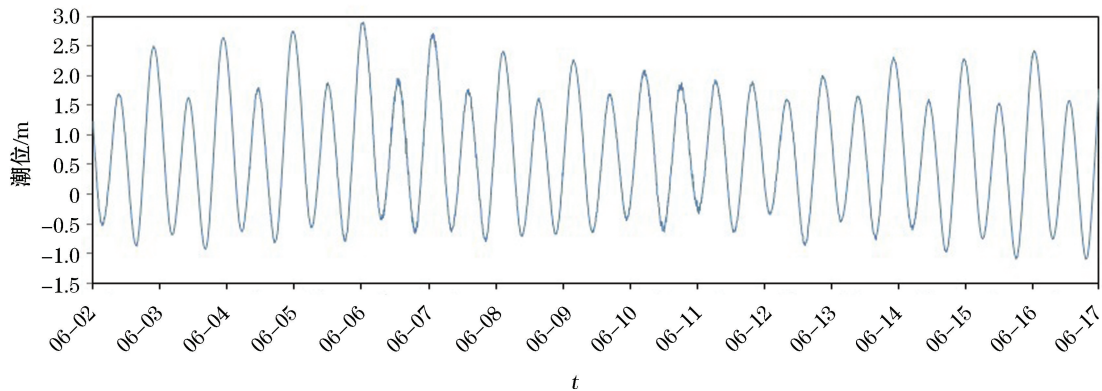


图 2 2015-06-02—17 历时 15 d 实测潮位随时间的变化过程(1985 国家高程基准)

Fig.2 Changes of tidal level measured over 15 days with time (National height datum 1985)

表 3 常江咀验潮站实测潮汐统计特征值(1985 国家高程基准)

Table 3 Tidal statistical characteristic values measured at the Changjiangzui tidal station (National height datum 1985)

潮汐参数	数 值	潮汐参数	数 值	潮汐参数	数 值
平均潮位	0.68 m	平均潮差	2.73 m	最小涨潮历时	5 h 35 min
最高潮位	2.91 m	最大潮差	3.71 m	平均落潮历时	6 h 18 min
最低潮位	-1.10 m	最小潮差	1.94 m	最大落潮历时	6 h 55 min
平均高潮位	2.04 m	平均涨潮历时	6 h 6 min	最小落潮历时	5 h 35 min
平均低潮位	-0.70 m	最大涨潮历时	6 h 35 min		

注:空白处表示无数据

2.2.2 潮汐调和分析

潮汐调和分析^[13] 目的在于推算分潮的潮汐调和常数,用以分析潮汐特征值及预报潮位。在进行潮汐调和和分析时,采用最小二乘法对潮位站 2015-06-02—17 共 15 d 的实测潮位观测数据进行潮汐调和和分析。

实测潮位数据可看作是许多调和分潮数据迭加的结果,在调和分析中可选取其中有限个分潮数据进行计算。因此,潮位高度 H 可表示为

$$H = h + \zeta = S_0 + \sum_{i=1}^m H_i \cos(\sigma_i t + v_{oi} - g_i), \quad (1)$$

式中, h 为静水深; ζ 为自由面升高值; S_0 为长期平均海面高度; t 为区时; H_i 为分潮的振幅; σ_i 为分潮的角频率; v_{oi} 为分潮的天文初相角; g_i 为分潮的迟角。本文共获得常江咀验潮站 13 个主要分潮的潮汐调和常数(表 4)。

表 4 常江咀验潮站的潮汐调和常数

Table 4 Tidal harmonic constants at the Changjiangzui tidal station

分潮序号	分潮名称	振幅/cm	迟角/°	分潮序号	分潮名称	振幅/cm	迟角/°
1	K_1	39.7	342.3	8	$2MS_6$	1.4	98.4
2	M_2	123.8	269.1	9	$3MK_7$	0.6	298.9
3	O_1	21.8	306.8	10	M_3	1.3	233.9
4	MSF	11.6	120.3	11	M_8	0.2	231.4
5	M_4	1.2	32.3	12	MS_4	0.6	117.5
6	M_6	1.7	43.5	13	S_4	0.6	209.3
7	S_2	31.6	316.8				

注:空白处表示无数据

基于表 4 的潮汐调和和分析结果,利用潮汐性质判别公式:

$$\begin{cases} (H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2} \leq 0.5 & \text{规则半日潮} \\ 0.5 < (H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2} \leq 2.0 & \text{非规则半日潮}^\circ \end{cases} \quad (2)$$

可知,该海域以 M_2 半日分潮作用占优,主要日分潮 K_1 和 O_1 的振幅 H_{K_1} 与 H_{O_1} 之和与主要半日分潮 M_2 的振幅 H_{M_2} 之比为 0.496,所以,潮汐属性主要为规则半日潮特征,但由于计算结果接近于 0.5,所以该域已呈现出不规则半日潮性质。

2.3 海流特征分析研究

统计分析 3 个海流站位表、中、底三层的同步连续观测的流速、流向值随时间的变化过程(图 3),并通过时间序列分布,统计 3 个观测站位的典型海流特征值(表 5),同时,为直观显示大连湾新港附近观测海域海流的时空变化,分析各个站位表、中、底三层的海流矢量分布(图 4)。分析可知,本海域海流的主要特征:1)1 号站涨潮流流向多为 W—N 向,落潮流流向多为 S—SW 向;2 号站涨潮流流向多为 NW—SW 向,落潮流流向多为 NE—E 向;3 号站涨潮流流向多为 SW 向,落潮流流向多为 NE 向。2)2 号站流速最大,流速多为 30

~60 cm/s;3 号站流速次之,流速多为 20~50 cm/s;1 号站流速最小,流速多为 10~40 cm/s。3)调查海域海流有往复流的特点,其中 2 号站和 3 号站海域往复流特征明显。4)随着水深加大,调查海域垂向流速有逐渐减小的趋势,即整体来说表层最大、中层次之、底层最小。各站、各层海流略有不同,可能是受海底地形、岸线和防波堤等建筑物的影响所致。

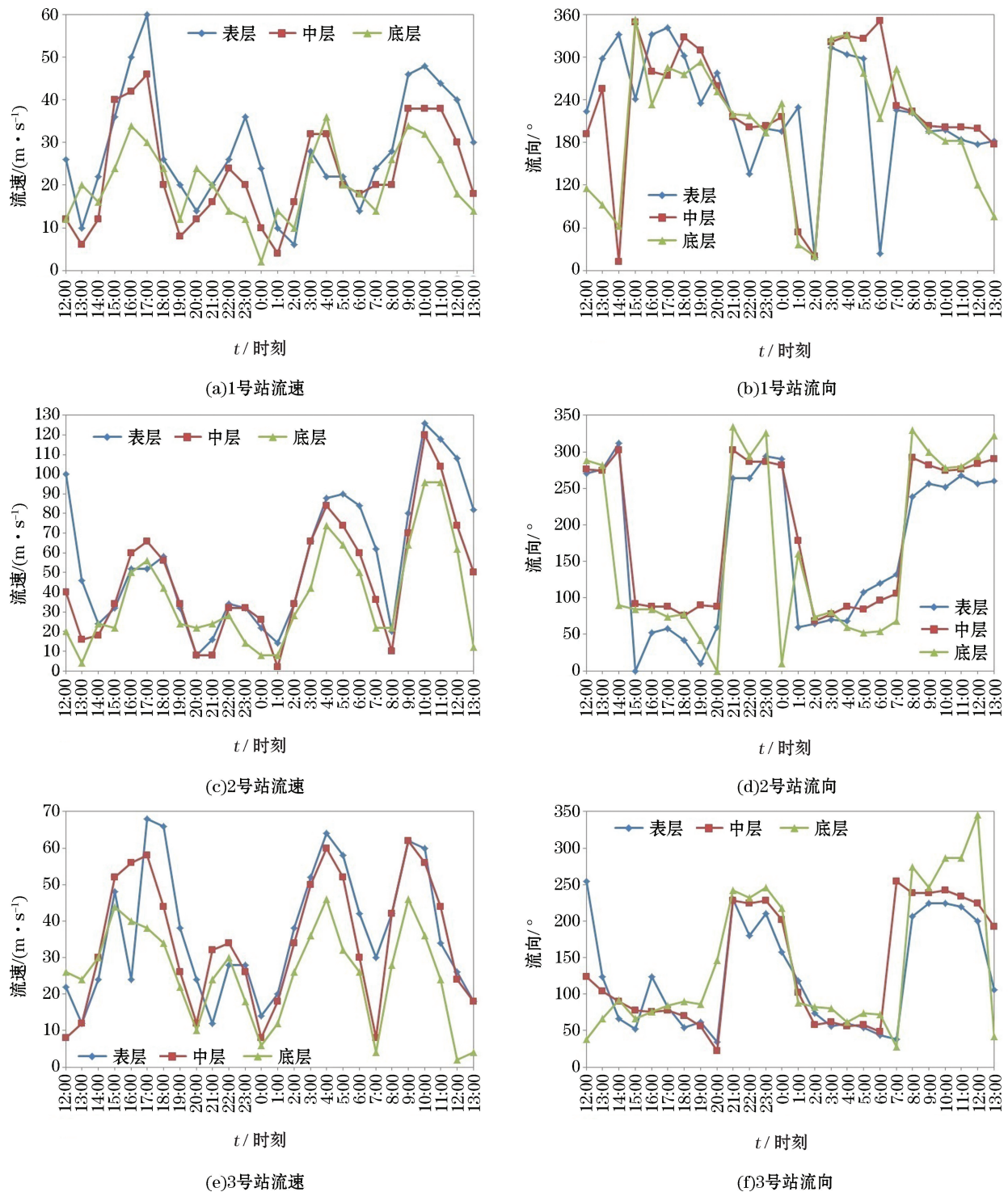


图3 1~3 号站流速、流向随时间的变化

Fig.3 The graphs of tidal current speed and direction at station 1,2 and 3

调查期间,最大实测涨潮流为2号站表层126 cm/s、流向252°,最大实测落潮流为2号站底层90 cm/s、流向108°;各站位最大实测涨潮流流速略大于最大实测落潮流流速;2号站流速最大、3号站流速次之、1号站流速最小。

表 5 最大实测涨、落潮流的流速和流向

Table 5 The maximal measured speeds and directions of rising-and ebb-tidal currents

站 位	涨、落潮	表 层		中 层		底 层	
		流速/(cm · s ⁻¹)	流向/°	流速/(cm · s ⁻¹)	流向/°	流速/(cm · s ⁻¹)	流向/°
1 号	涨潮	60	342	46	274	36	332
	落潮	48	198	38	202	34	198
2 号	涨潮	126	252	120	274	96	278
	落潮	90	108	84	88	74	60
3 号	涨潮	62	224	62	238	42	246
	落潮	68	82	58	78	46	62

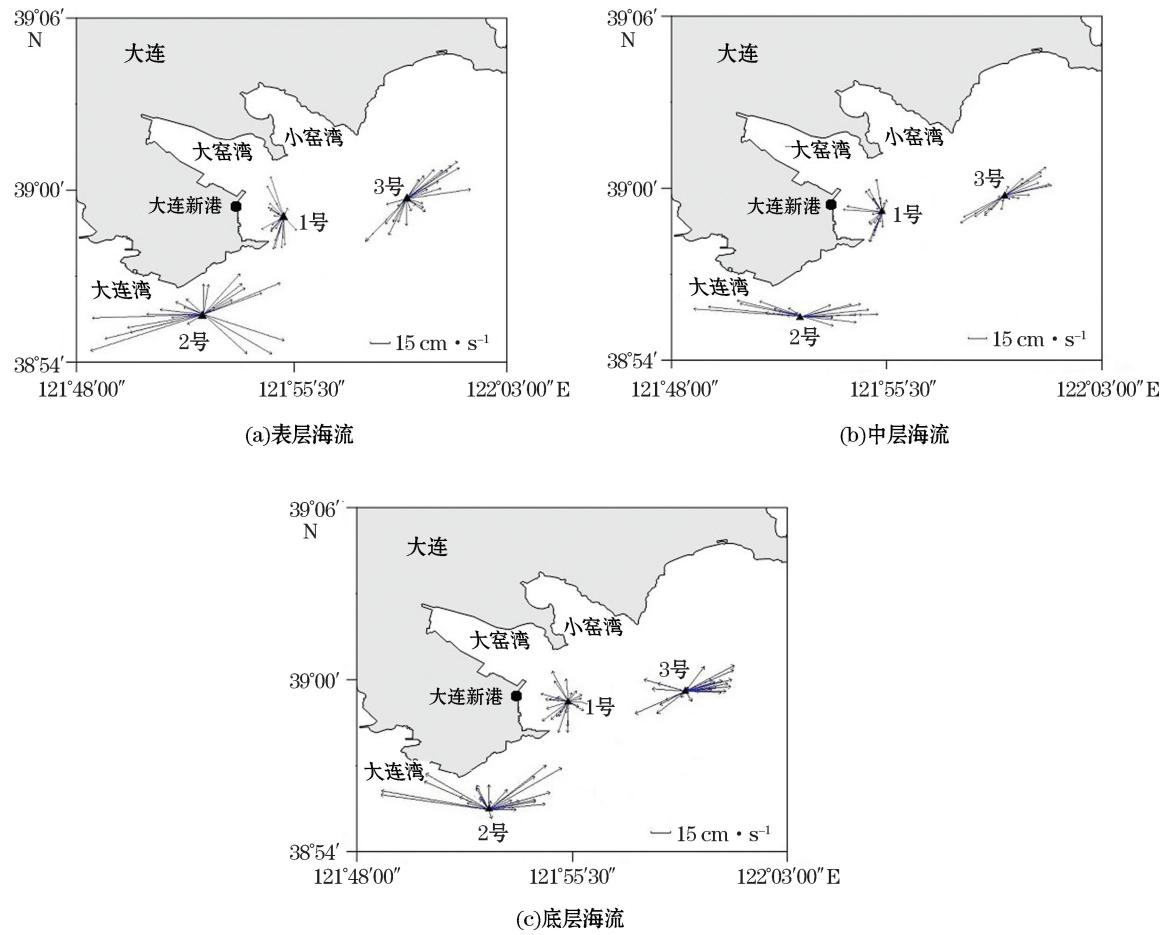


图 4 表、中、底层实测海流矢量分布

Fig.4 The current vector graphs measured at different layers

3 结 语

通过对大连湾新港附近海域 1 个验潮站和 3 个海流观测站位的同步连续观测值,对该海域的水动力环境特征进行统计分析。首先采用潮位和海流与时间序列之间关系的形式对实测值进行直观演示,然后采用潮汐调和分析与海流矢量分析的方法,获得了常江咀验潮站各个分潮的潮汐调和常数,以及对该海域的海流分布特征进行了分析,最后,综合评价了大连新港附近海域的水动力特征。综合分析可知,该海域的潮汐呈现正规半日潮特征,即一天内将发生 2 次涨落潮过程;海流各层分布有所不同,垂向流速有逐渐减小的趋势,即呈现表层最大、中层次之、底层最小的特点。本研究能够为该海域入海污染物的输移扩散、油膜的漂移扩展、海洋污染事故的鉴定评估和海洋环境容量的确定等数值模拟工作提供必要的基础验证数据,为海洋水体环境保护的水质状况预测、企业制定行之有效的海洋灾害应急预案以及政府部门制定科学完善的防灾减灾政策提供技术支撑。

参考文献(References):

- [1] HE C B, CONG L L, GAO X G, et al. 16SrDNA analysis of bacterial diversity in Dalian Bay and Liaodong Bay during summer[J]. Fisheries Science, 2008, 27(9): 473-477. 赫崇波, 丛林林, 高祥刚, 等. 大连湾和辽东湾夏季海水细菌多样性 16SrDNA 分析[J]. 水产科学, 2008, 27(9): 473-477.
- [2] QIN Y B, LIU X Z, DONG J, et al. Structure of fish community in Dalian Bay[J]. Fisheries Science, 2016, 35(3): 261-266. 秦宇博, 刘修泽, 董婧, 等. 大连湾海域鱼类的群落结构研究[J]. 水产科学, 2016, 35(3): 261-266.
- [3] WU Y N, DONG S, GAO J G, et al. Numerical simulation study of oil spilling diffusion of Haimiao Port[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2015(2): 177-184. 吴亚楠, 董胜, 高俊国, 等. 海庙港溢油扩散数值模拟研究[J]. 海洋湖沼通报, 2015(2): 177-184.
- [4] HAN K, ZHANG C Z, ZHANG Y F, et al. Numerical computation of tidal current field in Dalian Bay and neighbouring water area[J]. Marine Science Bulletin, 1994(4): 20-25. 韩康, 张存智, 张砚峰, 等. 大连湾及附近海域潮流场数值模拟[J]. 海洋通报, 1994(4): 20-25.
- [5] PEI X B, ZHAO D Z. A GIS-SD-based spatio-temporal modelling and regulating policies on water pollution in Dalian gulf[J]. Journal of Remote Sensing, 2000, 4(2): 118-124. 裴相斌, 赵冬至. 基于 GIS-SD 的大连湾水污染时空模拟与调控策略研究[J]. 遥感学报, 2000, 4(2): 118-124.
- [6] PEI X B, ZHAO D Z. A based-GIS spatial optimization for the total pollutant discharge-controlling study on Dalian gulf as an example [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2000, 20(3): 294-298. 裴相斌, 赵冬至. 基于 GIS 的海湾陆源污染排海总量控制的空间优化分配方法研究——以大连湾为例[J]. 环境科学学报, 2000, 20(3): 294-298.
- [7] WANG K, LIU P, JIN S, et al. Sea-ice growth and decay model of Bohai Sea based on thermodynamic process[J]. Advances in Water Science, 2017, 28(1): 116-123. 王昆, 刘潘, 金生, 等. 基于热力学过程的渤海海冰生消模型[J]. 水科学进展, 2017, 28(1): 116-123.
- [8] ZENG D Y, NI X B, HUANG D J. Harmonic analysis of tide and tidal current near Nanji Island, Zhejiang Province[J]. Haiyang Xuebao, 2012, 34(3): 1-10. 曾定勇, 倪晓波, 黄大吉. 南麂岛附近海域潮汐和潮流的特征[J]. 海洋学报, 2012, 34(3): 1-10.
- [9] ZHAO Q, WANG M J, DING D W, et al. Study on hydrodynamic characteristics in the eastern part of Liaodong Bay Mouth based on long-term observation[J]. Haiyang Xuebao, 2016, 38(1): 20-30. 赵骞, 王梦佳, 丁德文, 等. 基于长期观测的辽东湾口东部海域水动力特征研究[J]. 海洋学报, 2016, 38(1): 20-30.
- [10] SONG Z K, SHI W Y, ZHANG F, et al. Field observation and analysis on the characteristics of tidal dynamics in Sanmen Bay[J]. Journal of Applied Oceanography, 2017, 36(2): 279-285. 宋泽坤, 施伟勇, 张峰, 等. 三门湾近期水动力特性观测研究[J]. 应用海洋学报, 2017, 36(2): 279-285.
- [11] XIE D F, PAN C H, LU B, et al. A study on the hydrodynamic characteristics of the Qiantang tidal bore based on field data[J]. Journal of Hydrodynamics, 2012, 27(5): 501-508. 谢东风, 潘存鸿, 陆波, 等. 基于实测资料的钱塘江涌潮水动力学特性研究[J]. 水动力学研究与进展, 2012, 27(5): 501-508.
- [12] WANG K, JIN S, MA Z Q, et al. 3D numerical simulation of free surface flow on tri-prism grids[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4): 490-494. 王昆, 金生, 马志强, 等. 三棱柱形网格下自由表面流的三维数值模拟[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 490-494.
- [13] FANG G H, ZHENG W Z, CHEN Z Y, et al. Analysis and prediction of tides and currents[M]. Beijing: China Ocean Press, 1986. 方

- 国洪,郑文振,陈宗铺,等.潮汐和潮流的分析和预报[M].北京:海洋出版社,1986.
- [14] PENG T, CHEN X H, CHEN Z H, et al. Study of threshold discharge for balance of sediment transport in estuary [J]. Journal of Sediment Research, 2011(2): 9-14. 彭涛,陈晓宏,陈志和,等.维持河口冲淤平衡洪水流量阈值研究[J].泥沙研究,2011(2): 9-14.
- [15] BELL P S. Shallow water bathymetry derived from an analysis of X-band marine radar images of waves[J]. Coastal Engineering, 1999, 37(3-4): 513-527.
- [16] SENET C M, SEEMANN J, ZIEMER F. The near-surface current velocity determined from image sequences of the sea surface[J]. Geoscience & Remote Sensing IEEE Transactions, 2001, 39(3): 492-505.
- [17] CHEN H X, YUAN Y L, LIU N, et al. Application of nonlinear conjugate gradient method in geostrophic velocity calculation of Kuroshio in the East China Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2003, 25(6): 31-38. 陈红霞,袁业立,刘娜,等.非线性共轭梯度法在东海黑潮流计算中的应用[J].海洋学报,2003,25(6): 31-38.

Study on Hydrodynamic Characteristics in Sea Area near the Dalian New Port

HU Chao-kui, LI Nan, ZHAO Hai-bo, TIAN jin, LI An-long, WANG Kun

(Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China)

Abstract: In order to understand the hydrodynamic characteristics in the sea area near the Dalian New Port in recent years, harmonic constants of 13 main tidal components are obtained at the Changjiangzui tidal station and the characteristics of tide and current in the sea area near the Dalian New Port are analyzed in detail based on the tidal level and current data measured synchronously and continuously at one tidal level station and three current stations and by means of tidal harmonic analysis and current vector analysis. The results show that in the study area the average tide level is 0.68m, the highest tide level is 2.91 m, the lowest tide level is -1.1 m, the average tidal range is 2.73 m, the maximum tidal range is 3.71 m, the average rising-tide duration is 6 hours and 6 minutes and the average ebb-tide duration is 6 hours and 18 minutes. The tidal nature belongs to regular semidiurnal tide and the possible maximum tidal range is 5.2 m. The tidal current in the study area has the character of rectilinear current and tends to decrease in its vertical velocity gradually. At a station, the current velocity is generally maximal at the surface, shows next in the middle layer and becomes minimal at the bottom. This study can not only provide basic data for the water environment protection and marine disaster early warning in the study area, but also offer technical supports for government department to make relevant marine disaster prevention and mitigation decisions.

Key words: Dalian New Port; hydrodynamic characteristics; harmonic analysis

Received: May 24, 2019