

大小门岛海域表层潮流和余流特征分析

杨万康, 袁 笛, 张俊彪, 许雪峰, 施伟勇

(国家海洋局 第二海洋研究所 工程海洋学重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 利用 2012 年 4 月份进行水文调查得到的实测海流数据, 依据多周日观测的准调和和分析原理, 对大小门岛海域表层潮流进行调和分析。基于调和分析结果对大小门岛海域潮流和余流特征进行精细化研究。结果表明: 大小门岛海域潮流类型为不正规半日浅海潮流, 大小门岛西部海域受浅水分潮影响最大。整个海域潮流运动形式以往复流为主, 由于受到多股往复流的干涉作用, 大门岛西侧旋转流较强; 实测落潮流要强于涨潮流, 流速在瓯江口外侧达到最大。余流走向存在区域性差异, 小门岛西北、瓯江口内部及黄大峡海域余流方向与涨潮流一致, 其它区域与落潮流一致, 余流流速大小与最大流速分布基本一致。

关键词: 大小门岛; 潮流; 余流

中图分类号: P731.23 文献标识码: A
doi: 10.11759/hyhx20130716001

文章编号: 1000-3096(2014)07-0076-06

大小门岛隶属温州市洞头县, 地处浙江温州瓯江口外, 该海域西接瓯江口, 东濒东海, 北邻乐清湾, 南望洞头县青山、状元岙、霓屿诸岛, 是我国海上南北交通的要津, 随着温州港深水大港的开发研究, 大小门岛海域成为温州深水港的优良港址, 港口、水运、滩涂、潮流能等资源开发潜力较大。近年来围绕大小门岛海域建设的海洋工程越来越多, 因此研究大小门岛海域的潮流分布特征及变化规律对资源开发和海洋工程建设都具有很重要的现实意义。

前人对大小门岛海域潮流特征做过一些研究: 陈倩等^[1]利用海岸带和海岛调查的海流实测资料得出了温州湾的潮流和余流特征: 潮流类型多为非正规半日浅海潮流, 以往复流为主; 杨成浩等^[2]利用连续站点观测资料分析研究了乐清湾内的潮汐潮流特征, 发现从乐清湾口到湾顶潮差逐渐增大, 半日潮比率逐渐增大; 郑敬云等^[3]利用实测水文资料分析了瓯江口的水文泥沙特征, 结果表明瓯江口潮流动力较强, 属于强潮河口; 庄小将等^[4]利用数值模拟方法预测了大小门岛实施围垦工程后的水动力和冲淤变化; 郑敬云等^[5]、李孟国等^[6-7]还分别对状元岙码头和瓯江口、洞头北岙围垦工程进行了潮流数值模拟研究, 此外, 陈道信等^[8]还研究了围垦工程对温州近海及河口水动力的影响。

总结前人的研究可知, 专门针对大小门岛区域潮流的研究相对较少, 由于早期数据资料匮乏, 缺

少对大小门岛潮流性质的精细化研究。本文在前人研究的基础上, 以 2012 年 4 月份在大小门岛海域水文调查中获得的多周日实测海流资料为主要依据, 采用准调和和分析方法^[9-10], 得到了各分潮调和常数和椭圆要素, 并进一步得到了整个区域的余流场, 进而分析整个区域的潮流特征及分布规律。

1 资料与方法

2012 年 4 月份, 国家海洋局第二海洋研究所水文室在大小门岛海域进行了全潮水文调查, 获得了宝贵的实测资料。本次观测一共布放了 24 个站位, 由站位和地形水深分布(图 1)可见, 本次观测站位分布密集, 涵盖了大小门岛海域所有重要水道, 这对于分析局部潮流性质十分宝贵。由于本次观测的站位多且分布范围广, 我们将各站位划分为若干区域进行对比分析, 以便更加直观的描述整个观测水域的潮流状况, 具体站位的区域划分如表 1 所示。

本次观测是非连续的多周日观测, 大潮观测时间为 4 月 22 日 14:00~4 月 23 日 15:00, 中潮观测时间为 4 月 26 日 12:00~4 月 27 日 13:00, 小潮观测时间为 4 月 29 日 11:00~4 月 30 日 13:00, 参考方国洪

收稿日期: 2013-07-16; 修回日期: 2013-10-17

基金项目: 海洋可再生能源专项资金项目(GHME2011CX01)

作者简介: 杨万康(1987-), 男, 山东青州人, 硕士, 研究方向为物理海洋, 电话: 0571-89715123, E-mail: yangwankang@126.com; 张俊彪, 通信作者, 高级工程师, 电话: 0571-81963260, E-mail: 37085731@qq.com

表 1 站位划分

Tab.1 Observation stations partition

瓯江口		小门岛西北					大门水道			黄大峡	
1#	2#	4#	5#	7#	8#	13#	6#	12#	14#	17#	19#
沙头水道		乐清湾南		黄大岙水道		重山水道		鹿西岛北		鹿西岛南	
3#	18#	9#	10#	15#	11#	16#	21#	22#	20#	23#	24#

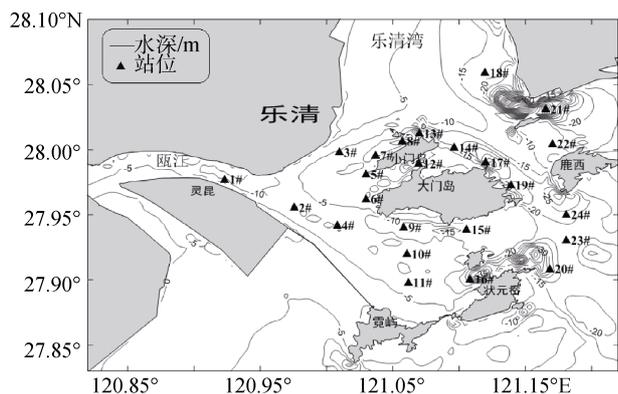


图 1 大小门岛海域站位和水深(m)分布

Fig.1 Distribution of bottom topography(m) and observation stations

等^[11-13]的准调和分析原理,引入周围黄华、洞头长期站的分潮差比关系,采用最小二乘法对采集到的潮流数据进行准调和分析,提取了M2、S2、K1、O1、M4、MS4共6个分潮结果。

2 结果和分析

2.1 调和分析验证

为了验证准调和分析的准确性,本研究根据得到的调和常数进行后报,与实测资料进行对比,由于篇幅关系,仅列出来1号站的比较结果,如图2、图3所示。由流速和流向对比图可以看出准调和分析方法准确度还是较高的,流速和流向都拟合较好,能够满足潮流分析计算的精度要求。

2.2 潮流类型

根据我国《港口工程技术规范》^[14]的规定,潮流

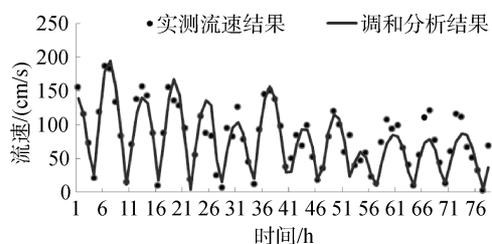


图 2 1#站实测流速与调和分析结果比较

Fig.2 Comparison of current speed between harmonic analysis and observation at NO.1 station

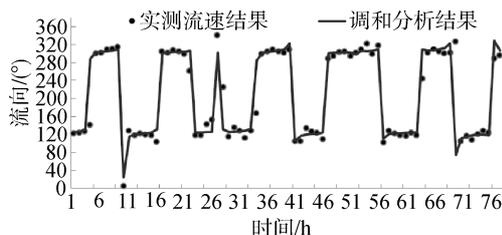


图 3 1#站实测流向与调和分析结果比较

Fig.3 Comparison of current direction between harmonic analysis and observation at NO.1 station

类型参数 $F=(W_{O1}+W_{K1})/W_{M2}$, W_{O1} 、 W_{K1} 、 W_{M2} 分别为 O1、K1、M2 分潮流的椭圆长轴, F 判断标准如下:

- 正规半日潮流: $F < 0.5$
- 不正规半日潮流: $0.5 < F < 2.0$
- 不正规全日潮流: $2 < F < 4.0$
- 正规全日潮流: $F > 4.0$

由于大小门岛位于浅海区域,浅水分潮作用不可以忽略,我们用 $G=(W_{M4}+W_{MS4})/W_{M2}$ 衡量浅水分潮的影响, W_{MS4} 表示 MS4 分潮流的椭圆长轴。根据调和和分析结果绘制潮流类型和浅水分潮比值示意图,如图4、图5所示。由图明显可见,大小门岛大部分海域 F 值为 0.1~0.2,而 G 值都超过了 0.2,说明在近岸随着水深变浅,浅水分潮所占比例增大,故大小门岛海域均属于不正规浅海半日潮流区。大小门岛海域浅水分潮影响最大的区域位于沙头水道、大门水道与瓯江口的交汇处,结合地形图可知,造成浅

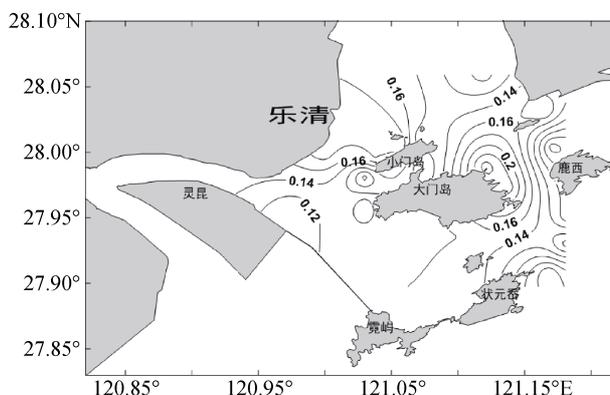


图 4 潮流类型(F值)示意图

Fig.4 Distributions of tidal current characteristics

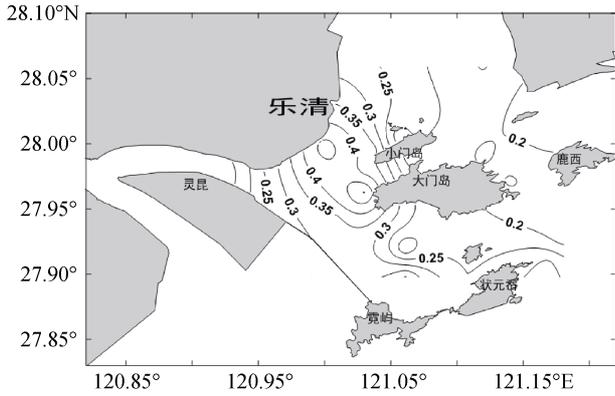


图5 浅水分潮比值(G 值)示意图
Fig.5 Proportion of shallow-water constituents

水分潮变大的原因是这个区域水深与周围相比浅滩广布、水深锐减,导致浅水分潮比例迅速增加。

2.3 潮流运动形式

潮流的运动形式可用潮流的椭圆旋转率 K 来表示, K 为潮流椭圆短轴与椭圆长轴的比值,当 K 绝对值大于 0.25 时,潮流表现为较强的旋转性;当 K 绝

对值小于 0.25 时以往复流为主, K 值为正表示潮流沿逆时针运动,负值表示沿顺时针运动。由于大小门岛地区半日潮流占绝对优势,且浅水分潮效应不可忽略,故选取 M2、M4 分潮来分析研究区域的潮流运动形式。由图 6 可以看出,在地形的约束下,大小门岛海域大部分区域 M2 分潮旋转率在 0.1 左右,具有明显的往复流特征,但在大门岛西侧区域即 6# 站点处,椭圆旋转率大于 0.3,运动形式为旋转流,而且旋转方向为逆时针。原因是 6# 站位于潮波干涉区,处在沙头水道、大门水道、瓯江口的交汇处,不同运动方向的往复流相互作用形成了旋转流。M4 分潮在大门岛沿岸旋转率较大,深水区域基本以往复流为主,在 6 号站附近旋转率最大,也具有明显的旋转流特征。

2.4 M2 分潮潮流椭圆

根据调和和分析结果,我们选取 M2、M4 分潮作为潮流代表,绘制了大小门岛海域潮流椭圆分布。由图 7 可知, M2 分潮长轴的变化规律与地形密切相关。椭圆长轴的走向受地形约束明显,基本与水道走向一致,流动形式以往复流为主,流速都超过了 50 cm/s,

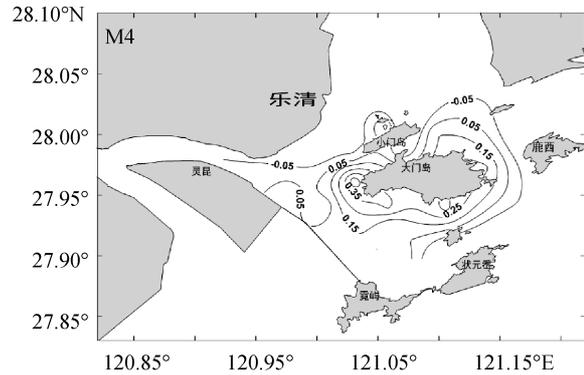
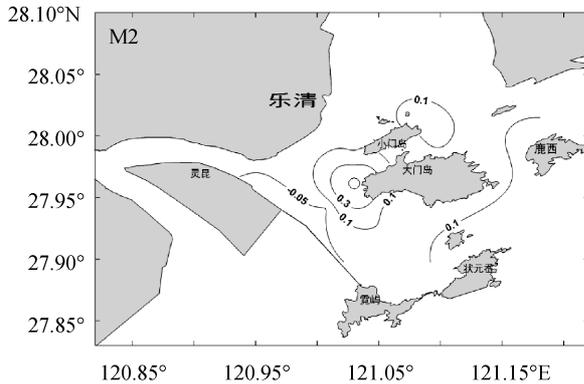


图6 表层 M2 和 M4 分潮的旋转率分布
Fig.6 The rotation rate(K) of M2 and M4 tidal in the surface

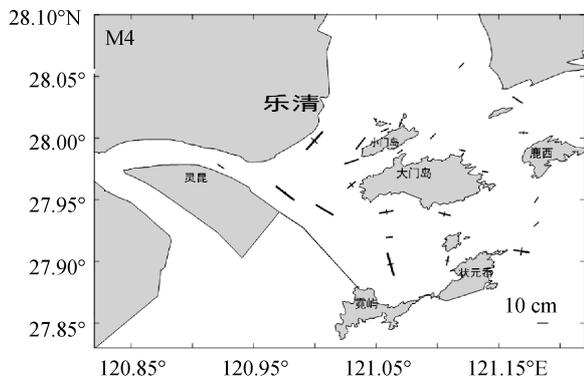
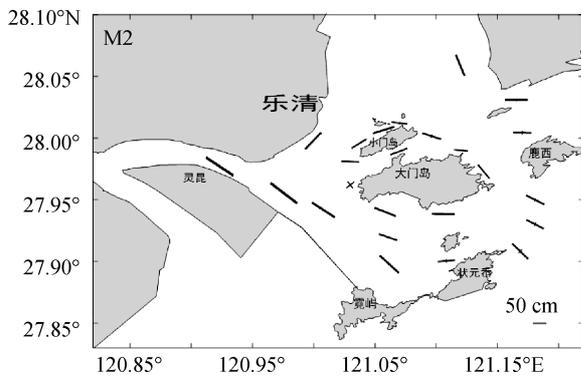


图7 M2、M4 分潮潮流椭圆
Fig.7 The current ellipse of M2 and M4 tidal current ellipses

最大流速出现在瓯江口门处, 流速超过 120 cm/s。由潮流椭圆分布图也可以明显的看到在大门岛西部 6 号站点附近存在一个较强的旋转流, 但旋转流速与往复流相比要小, 大约在 40 cm/s。M4 分潮潮流椭圆分布与 M2 类似, 但椭圆长轴较小, 瓯江口处达到最大值, 为 20 cm/s。

2.5 实测涨落潮流

根据实测海流资料, 分别绘制了实测最大涨落潮流速分布(图 8、图 9), 从图上可以看出大小门岛海域潮流动力较强, 强流速基本都出现在水道狭窄区域。涨潮期间大部分测站的最大流速超过 100 cm/s, 其中在瓯江北口、沙头水道、黄大岙等水域最大流速超过 130 cm/s, 瓯江口内部由于水道变窄, 流速显著增强, 最大流速超过 170 cm/s。在大门岛西部 6 号站点和鹿西岛南部潮流较弱, 流速不足 80 cm/s。

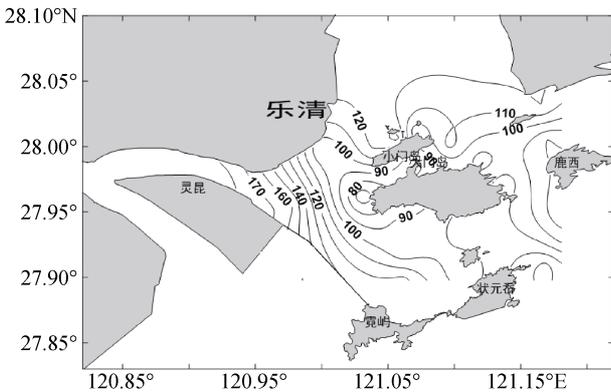


图 8 实测表层最大涨潮流速(cm/s)
Fig.8 Measured max surface flood strength

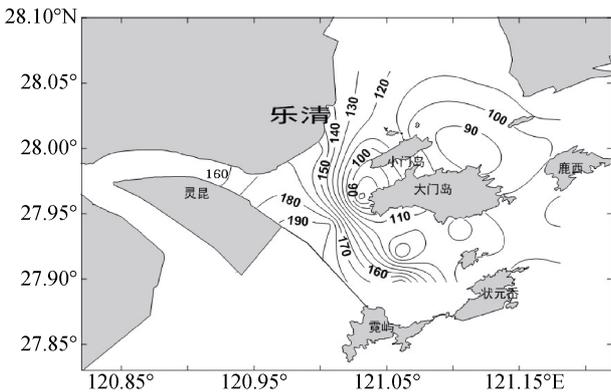


图 9 实测表层最大落潮流速(cm/s)
Fig.9 Measured max surface ebb strength

落潮期间, 由于惯性作用最大流速不在瓯江口内部, 而是位于瓯江口外侧 4 号站点附近, 最大流速超过了 190 cm/s, 大于涨潮流速。大门岛西部和黄大

峡海域流速较弱在 90 cm/s 左右。受径流影响, 大部分区域落潮流要强于涨潮流, 差值在 20~40 cm/s 左右。但在小门岛西北与黄大峡区域、瓯江内部海域, 涨潮流要强于落潮流。

2.6 最大可能流速

为了更好的了解整个区域的潮流强度特征, 利用各分潮调和常数, 按照《港口工程技术规范》^[14] 的规定计算最大可能流速, 对于半日潮流, 浅水分潮不可忽略, 计算公式选为:

$$V_{\max}=1.29W_{M2}+1.23W_{S2}+W_{K1}+W_{O1}+W_{M4}+W_{MS4}$$

由于本海域浅水分潮不可忽略, 所以对最大流速进行了浅水分潮订正, 绘制了最大可能流速分布图。由图 10 可知, 强流速区主要分布在沙头水道、瓯江口门、黄大岙水道, 最大流速位于瓯江口门外, 超过 230 cm/s, 沙头水道流速在 170 cm/s 左右, 黄大岙水道流速也超过 130 cm/s。大小门岛西部浅滩处, 流速较小, 为 90~110 cm/s。此外, 黄大峡至乐清湾一线流速也在 90~110 cm/s 左右。

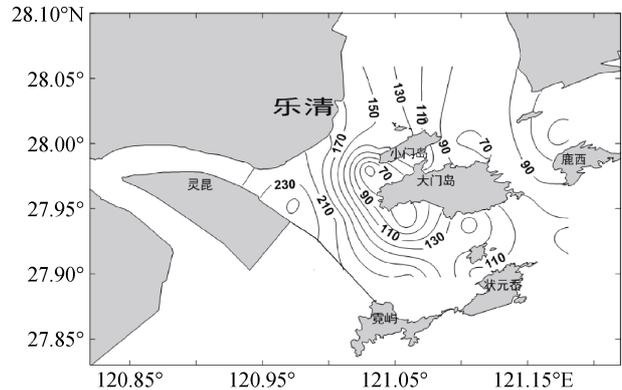


图 10 最大可能流速(cm/s)分布图
Fig.10 Distribution of the calculated maximum possible current velocity

2.7 余流特征

余流是指从实测海流中剔除潮流后的运动, 对水体的输运和交换起着十分重要的作用。根据计算结果分别绘制了大潮、中潮、小潮情况下的余流分布, 以便更好的刻画余流分布形态和变化规律。

大潮期间, 瓯江口外侧区域余流基本沿东南走向与落潮流一致, 但在黄大峡、小门岛西北海域、瓯江口内部, 余流则是沿着涨潮流方向运动。从强度分布来看, 瓯江口外和沙头水道余流较强, 超过 20 cm/s, 鹿西岛南部海域也超过了 18 cm/s, 乐清湾南部、小门岛西北、黄大岙海域余流较弱, 小于 10 cm/s, 其

他区域余流在 12~16 cm/s。中潮余流分布与大潮基本类似, 但中潮期间黄大岙水域余流较弱, 不足 10 cm/s, 整体强度也小于大潮。小潮期间余流场比较复杂在瓯江口外和鹿西岛北部余流最强, 超过 20 cm/s, 东南向流动。大小门岛东部海域余流方向为西北方向, 流速在 12~16 cm/s。黄大岙水道, 小门岛西北水域余流流速较弱, 在 6 cm/s 以下。在表层余流分析中, 瓯

江口内部 1# 站大潮和中潮期间的表层余流为涨潮流方向, 小潮期间为落潮流方向。其原因是在涨潮时间外面多个水道的潮流汇入瓯江, 由于水道变窄集能效应显著, 超过了径流对潮汐的阻碍作用, 而在小潮期间, 流速较弱, 集能作用不明显, 径流作用更大。实测潮流数据也证实在大潮、中潮期间, 1# 站涨潮流速远大于落潮流速, 而小潮期间落潮流速大于涨潮流速, 与调和分析结果一致。

3 结论

1) 大小门岛海域均属于不正规半日浅海潮流区, 大小门岛西部浅滩处浅水分潮影响比例最大, 造成浅水分潮变大的原因是这个区域地形与周围相比浅滩广布、水深锐减, 导致浅水分潮比例迅速增加;

2) 在地形的约束下, 潮流运动形式以往复流为主, 但由于受到多股潮波的干涉作用, 大门岛西侧旋转流较强, 旋转方向为逆时针;

3) 大小门岛海域水域潮流动力较强, 大部分区域落潮流要强于涨潮流, 流速在落潮期间的瓯江口外侧达到最大;

4) 受瓯江口径流的影响, 余流走向存在区域性差异, 小门岛西北与黄大岙区域、瓯江内部余流方向与涨潮流一致, 其他区域与落潮流一致。余流流速大小分布规律与最大流速分布基本一致, 即流速强的区域余流也较强; 大潮余流最强, 中潮次之, 小潮余流规律性较差。瓯江口内部表层余流受地形集能作用和径流的双重影响, 大潮和中潮期间与涨潮流一致, 小潮期间与落潮流一致。

参考文献:

- [1] 陈倩, 黄大吉, 章本照, 等. 浙江近海潮流和余流的特征[J]. 东海海洋, 2003, 21(4): 1-14.
- [2] 杨成浩, 廖光洪, 罗锋, 等. 乐清湾的潮位、潮流和余流特征[J]. 海洋学研究, 2010, 28(2): 1-13.
- [3] 郑敬云, 李孟国; 麦苗, 等. 瓯江口水文泥沙特征分析[J]. 水道港口. 2008, 29(01): 1-7.
- [4] 庄小将, 陈方东, 王丰平, 等. 温州大门跨海大桥及大、小门岛填海工程实施后流场及冲淤变化的数值研究[J]. 海洋学研究, 2010, 28(3): 43-51.
- [5] 郑敬云, 李孟国, 麦苗, 等. 温州状元岙化工码头工程潮流泥沙数模研究[J]. 水道港口, 2008, 29(4): 259-266.
- [6] 李孟国, 时钟, 范文静. 瓯江口外洞头岛北岙后涂围垦

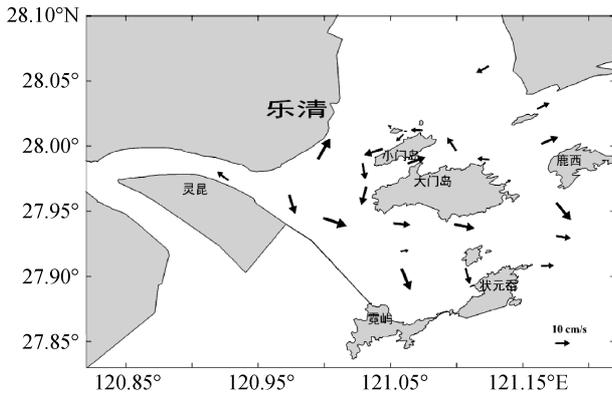


图 11 大潮表层余流分布

Fig.11 Distribution of spring tide surface residual current

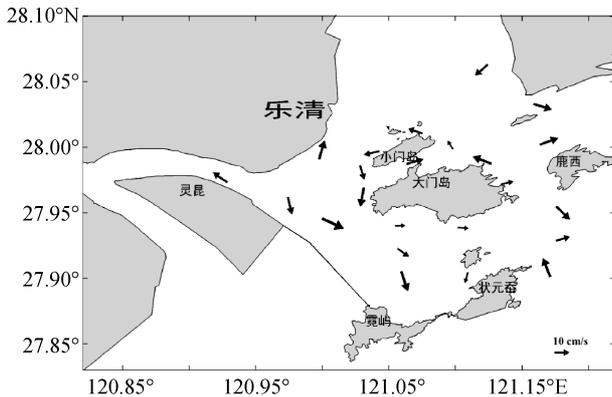


图 12 中潮表层余流分布

Fig.12 The surface residual current of middle tide

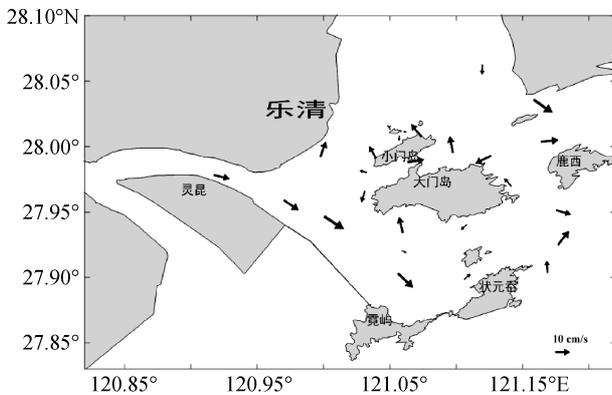


图 13 小潮表层余流分布

Fig.13 The surface residual current of neap tide

- 工程潮流数值模拟研究[J]. 海洋通报, 2005, 24(1): 1-7 .
- [7] 李孟国, 王正林. 瓯江口潮流数值模拟[J]. 长江科学院院报, 2002, 19(2): 19-22 .
- [8] 陈道信, 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 .
- [9] 王凯, 叶冬. 东海三定点周日海流观测的准调和分析[J]. 海洋科学, 2007, 31(8): 18-25 .
- [10] 丘仲锋, 胡建宇, 陈照章. 台湾浅滩南部二测站多周日海流观测资料的调和分析[J]. 海洋科学, 2002, 26(7): 50-53 .
- [11] 方国洪. 潮流和潮汐分析的一个实际计算过程[C]//中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊(18). 北京: 科学出版社, 1981: 19-40 .
- [12] 张凤焯, 魏泽勋, 王新怡, 等. 潮汐调和分析方法的探讨[J]. 海洋科学, 2011, 35(6): 68-75 .
- [13] 方国洪, 郑文振, 陈宗镛, 等. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 北京: 海洋出版社, 1986, 161-168 .
- [14] 中华人民共和国交通部. 港口工程技术规范(上册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1987: 43-46 .

Characteristics of surface tidal and residual current around the Da-men and Xiao-men islands

YANG Wan-kang, YUAN Di, ZHANG Jun-biao, XU Xue-feng, SHI Wei-yong

(Key Laboratory of Engineering Oceanography, the Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Received: Jul., 16, 2013

Key words: Da-men and Xiao-men islands; tide current; residual current

Abstract: Based on the field data obtained from the investigation of Da-men-Xiao-men islands in April 2012, we characterized the tidal and residual currents according to the principle of quasi-harmonic. The harmonic analysis results agreed well with the measured results. The results showed the currents around Da-men and Xiao-men islands area was dominated by irregular semi-diurnal shallow currents. The proportion reached most at the west of Da-men and Xiao-men islands because of shoal topography. The Da-men and Xiao-men islands were dominated by rectilinear currents, but at the west of Da-men island, it was characterized by strong rotary current due to multi-tide interference effect. The measured data showed that ebb currents were stronger than flood currents. The currents got greatest outside the Oujiang estuary. The residual direction showed regional differences. The residual direction inside the Oujiang, near northwest of Xiao-men island and Huang-Da channel was consistent with the flood tide, and other areas were consistent with ebb current. The residual magnitude distribution was similar to maximum speed distribution.

(本文编辑: 李晓燕)