

引文格式: 曹永港, 冯砚青, 欧阳永忠, 等. 粤西阳江海域夏季海流特征分析[J]. 海洋测绘, 2022, 42(3): 27-32.

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3044.2022.03.007

## 粤西阳江海域夏季海流特征分析

曹永港<sup>1,2</sup>, 冯砚青<sup>1</sup>, 欧阳永忠<sup>1,2</sup>, 陈宜展<sup>1</sup>, 廖世智<sup>1</sup>, 刘同木<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局 南海调查技术中心, 广东 广州 510300;

2. 自然资源部 海洋环境探测技术与应用重点实验室, 广东 广州 510300)

**摘要:** 为提高对粤西区域海洋动力特征的认识, 基于阳江沙扒南部海域夏季全潮海流实测数据, 采用潮流准调和和分析方法, 对其水动力空间特征及潮流性质进行综合分析。结果表明, 夏季小潮期海流主要流向为 E, 与粤西南向沿岸流方向相反; 中、大潮期海流主要流向为 SW, 与粤西沿岸流流向一致; 最大海流流速均出现在 S2 站表层。观测期间逆时针旋转流特征明显。同时, 潮流主要类型为不规则半日潮。夏季各站层的分潮流运动方向为 W-E, 底层余流流速小于表中层流速。观测期余流具有风海流的性质。研究结果可为该海域工程建设提供技术支撑, 并为该海域科学研究提供基础数据。

**关键词:** 海流观测; 观测数据; 潮流性质; 准调和和分析; 水动力特征; 沙扒南部海域

**中图分类号:** P229.7      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-3044(2022)03-0027-06

### 1 引言

粤西阳江沙扒南部海域, 东至阳西县河北港, 西至茂名市博贺港, 范围为 111°22'E~111°40'E, 21°10'N~21°35'N, 属于亚热带季风气候区, 夏季盛行西南风, 风向大致与岸线平行, 冬季则盛行东北风<sup>[1]</sup>。

近十几年来, 国内外学者基于海区水文实测资料开展了大量的研究工作<sup>[2-7]</sup>, 产生了一系列研究成果。其中, 粤西海域作为我国西南的重要海上通道, 海域水文要素的研究是保证海上运输安全的基础。对于气象、波浪、潮流等已相继开展了一些研究工作, 例如, 谢玲玲等阐述了粤西沿岸环流的基本特征, 并进行了驱动机制等方面的研究<sup>[8]</sup>; 杨士瑛等对夏季粤西环流进行了详细研究, 发现夏季粤西近岸海水为西南运动<sup>[9]</sup>; 严金辉等利用 ADCP 流速实测资料进行分析, 发现粤西近海的低频流为西向<sup>[10]</sup>。虽然部分学者针对粤西海域开展了有价值的研究, 但目前基于观测资料, 针对粤西阳江海域的海流水动力状况研究不足, 该海域仍然缺乏工程建设所需的水动力资料分析, 有待开展进一步研究。

随着粤西阳江海域的不断开发和海洋能源的利用, 深入分析粤西阳江海域海流水动力特性及分布特征, 对该海域的工程设计、海域使用论证、海洋环境影

响评价和施工组织安排等有着重要的意义。鉴于此, 本文采用 2018 年夏季全潮水文观测资料, 对粤西阳江沙扒南部海域的海流特征进行了综合研究分析。

### 2 数据来源及处理方法

#### 2.1 海流与风观测点位

数据主要来源于粤西阳江海域的 10 个点 (S1 站~S10 站) 全潮水文观测, 见图 1。夏季全潮水文观测时间为: 2018 年 7 月 6 日 05 时~7 日 06 时 (小潮)、2018 年 7 月 10 日 02 时~11 日 03 时 (中潮) 和 2018 年 7 月 14 日 04 时~15 日 05 时 (大潮)。观测要素及站位布设见图 1, 各站位水深在 20~30 m。观测期间, 海况为三至四级, 浪高 1 m 左右, 天气晴好。

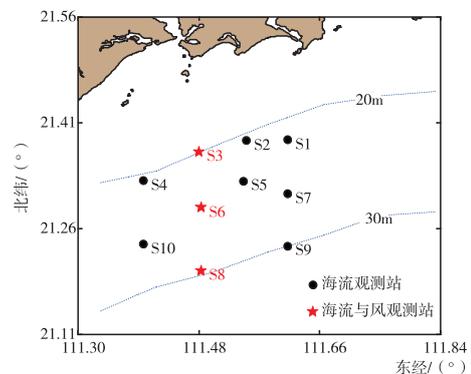


图 1 全潮水文观测站位布设示意图

收稿日期: 2021-12-28; 修回日期: 2022-01-27

基金项目: 国家自然科学基金(42174013); 广东省海洋经济发展(海洋六大产业)专项资金项目(粤自然资合[2020]022号、[2021]38号); 国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金(180106)。

作者简介: 曹永港(1984-), 男, 湖南永兴人, 高级工程师, 博士, 主要从事海洋水动力环境调查与分析及数值模拟研究。

### 2.2 数据处理方法

潮流的性质根据《港口与航道水文规范》(JTS 145—2015)<sup>[11]</sup>进行划分,采用潮流性质系数  $F = (W_{O1} + W_{K1}) / W_{M2}$  作为判别标准,见表 1。

表 1 潮流的性质判别标准

潮流性质系数 $F$	潮流的性质
$F \leq 0.5$	规则半日潮流
$0.5 < F \leq 2.0$	不规则半日潮流
$2.0 < F \leq 4.0$	不规则全日潮流
$F > 4.0$	规则全日潮流

其中,  $W_{O1}$  为主要太阴日分潮流  $O_1$  的最大流速 ( $W$  为分潮流椭圆长半轴),  $W_{K1}$  为主要太阴太阳合成日分潮流  $K_1$  的最大流速,  $W_{M2}$  为主要太阴半日分潮流  $M_2$  的最大流速。通过引入差比关系的准调和和分析方法来分析观测数据,此处选取 2014~2016 年闸坡海洋站的潮位资料来计算差比数,对海流观测资料进行分析计算,得出观测期间的余流和  $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$  (主要太阳半日分潮)、 $M_4$  (浅水分潮) 和  $M_{S4}$  (浅水四分之一分潮) 等 6 个主要分潮流的调和常数以及椭圆要素等潮流特征值。对于规则半日潮流的海区,最大可能潮流  $\vec{V}_{MAX}$  按式(1)计算;对于规则全日潮流的海区,最大可能潮流  $\vec{V}_{MAX}$  按式(2)计算;对于不规则半日潮流和不规则全日潮流的海区,最大可能潮流  $\vec{V}_{MAX}$  取式(1)和式(2)计算中的较大值:

$$\vec{V}_{MAX} = 1.295\vec{W}_{M2} + 1.245\vec{W}_{S2} + \vec{W}_{K1} + \vec{W}_{O1} + \vec{W}_{M4} + \vec{W}_{MS4} \quad (1)$$

$$\vec{V}_{MAX} = \vec{W}_{M2} + \vec{W}_{S2} + 1.600\vec{W}_{K1} + 1.450\vec{W}_{O1} \quad (2)$$

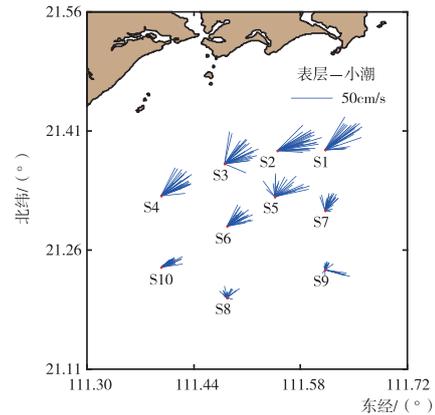
式中,  $\vec{W}$  为分潮流的最大流矢量。

### 3 水动力特征分析

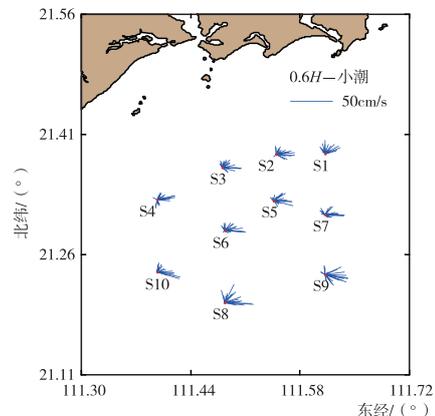
#### 3.1 海流

由于调查海域的海流不但受外海潮波和风场的影响,再加上粤西沿岸流的影响,从而造成调查海域海流的复杂性。各潮期各站表层(水面下 0.5 m)、0.6H(H 为瞬时水深)和底层(海底面上 0.5 m)海流平面分布玫瑰图见图 2~4。在空间分布上,观测海区位于外海开阔海域,因粤西沿岸流影响,近岸站位海流流速大于外海站位海流流速,20 m 和 30 m 等深线 SW-NE 走向与岸线走向基本一致,各站点流向相近与此有一定关系;在垂向分布上,表层流速要大于底层流速,基本呈递减规律。调查海域各站海流的旋转流特征明显。从表层到底层,各站层海流形态较为相

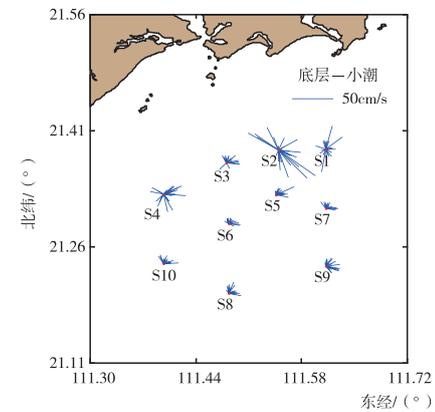
似,各站的垂线平均流速、平均流向与其 0.6H 处相近。夏季小潮期海流主要流向为 E,海流方向范围为 ES~N,最大海流流速为 56.1 cm/s,出现在 S2 站表层,流向为 73°。由图 3 可知,中潮海流主要流向为 SW,底层流向范围沿主导的 SW 两侧有所扩大,海流方向范围为 SE~NW。与小潮期相比,中潮期各站流速有所增大,中潮期的最大海流流速出现在 S2 站表层,流速为 103.5 cm/s,流向为 258°。图 4 显示大潮期海流流向及范围与中潮期相同,最大海流流速为 134.9 cm/s,出现在 S2 站表层,流向为 242°,各站的涨潮期流速和落潮期流速相近。



(a) 表层海流



(b) 0.6H 海流



(c) 底层海流

图 2 小潮期各站层海流平面分布玫瑰图

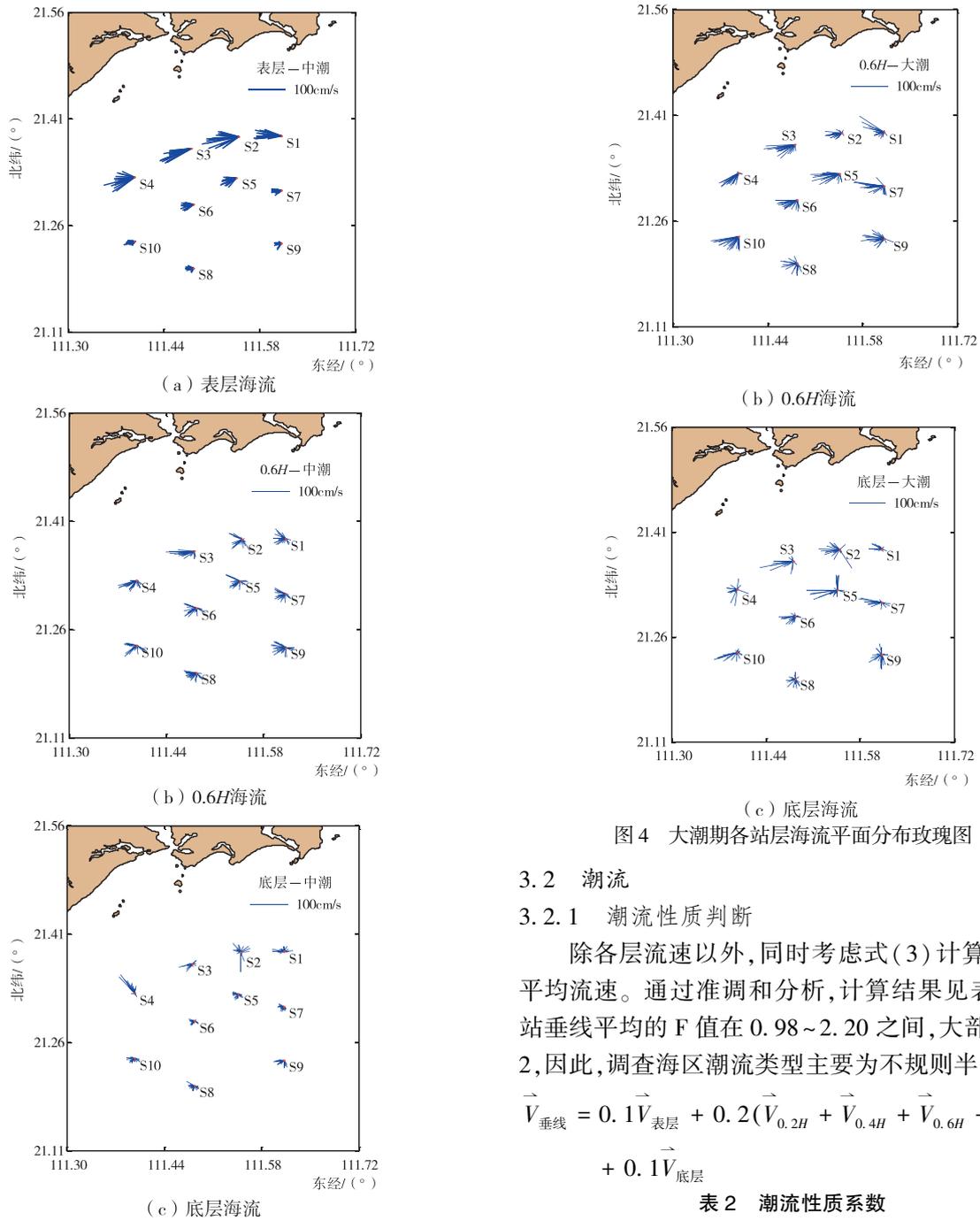


图 3 中潮期各站层海流平面分布玫瑰图

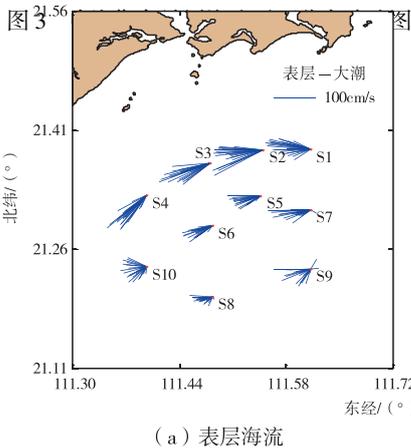


图 4 大潮期各站层海流平面分布玫瑰图

### 3.2 潮流

#### 3.2.1 潮流性质判断

除各层流速以外,同时考虑式(3)计算的垂线平均流速。通过准调和分析,计算结果见表 2。各站垂线平均的 F 值在 0.98~2.20 之间,大部分小于 2,因此,调查海区潮流类型主要为不规则半日潮流。

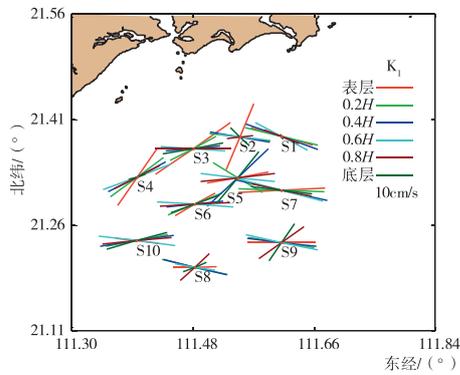
$$\vec{V}_{\text{垂线}} = 0.1\vec{V}_{\text{表层}} + 0.2(\vec{V}_{0.2H} + \vec{V}_{0.4H} + \vec{V}_{0.6H} + \vec{V}_{0.8H}) + 0.1\vec{V}_{\text{底层}} \quad (3)$$

表 2 潮流性质系数

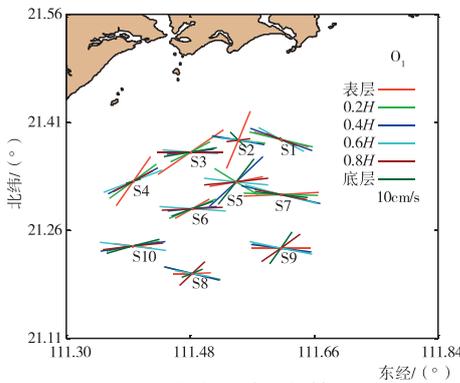
测站	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
S1	2.22	2.30	2.54	1.36	1.12	1.02	1.73
S2	2.41	2.17	1.75	1.47	1.48	1.73	1.96
S3	2.80	0.97	1.05	1.09	2.21	2.38	1.30
S4	2.28	1.78	1.85	2.21	2.45	1.35	2.20
S5	2.63	2.68	2.78	1.32	3.24	1.48	2.06
S6	1.70	1.10	1.12	1.59	1.59	1.51	1.22
S7	2.48	1.40	1.62	1.52	1.13	1.38	1.52
S8	1.65	1.19	1.22	0.72	0.78	0.68	0.98
S9	2.66	1.48	1.63	1.58	1.24	1.01	1.38
S10	1.08	0.95	1.17	1.38	1.19	1.42	1.17

3.2.2 潮流形式及椭圆要素

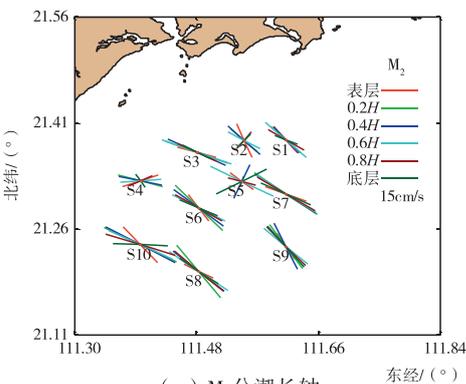
潮流运动可分为往复流和旋转流,它可由潮流的椭圆旋转率  $k$  值来描述。其中,  $k$  值为潮流椭圆的短半轴与长半轴之比,其值介于  $-1 \sim 1$  之间。 $k$  的绝对值越小越接近往复流,越大越接近于旋转流,其临界值一般取 0.25。 $k$  值的正号表示逆时针方向旋转,负号表示顺时针方向旋转。调查海区浅水分潮流  $M_4$  和  $MS_4$  的量值较小,  $M_2$ 、 $S_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$  等主要分潮流长轴平面分布见图 5。结果显示,本海区潮流主要以  $K_1$ 、 $O_1$  和  $M_2$  分潮流为主,其次是  $S_2$ 。各站层  $K_1$ 、 $O_1$  和  $M_2$  分潮流的  $k$  的绝对值大部分大于 0.25,说明观测期间的潮流以旋转流为主,各站层各分潮流的椭圆率有正有负,表明观测海区潮流顺时针和逆时针旋转都有。各站层的分潮流运动方向主要为  $W \sim E$ ,其次为  $NW \sim SE$ 。



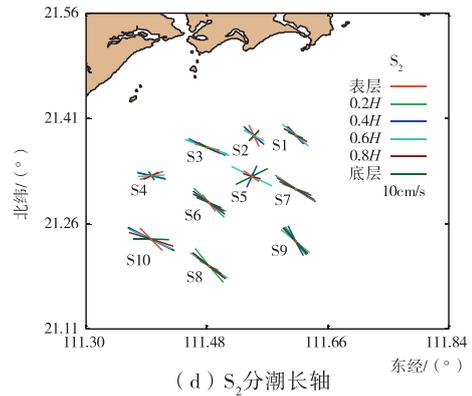
(a)  $K_1$ 分潮流长轴



(b)  $O_1$ 分潮流长轴



(c)  $M_2$ 分潮流长轴



(d)  $S_2$ 分潮流长轴

图5 各站主要分潮流的长轴分布示意图

3.2.3 潮流的可能最大流速

根据公式(1)和(2),计算得到潮流的可能最大流速及对应的流向,见表3.4。

表3 潮流的可能最大流速 单位:cm/s

测层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
S1	34.8	40.4	40.1	40.4	30.8	11.3
S2	22.5	33.6	35.3	28.1	18.0	15.5
S3	44.9	41.7	41.6	47.0	42.0	32.4
S4	37.4	36.5	36.4	40.4	27.9	9.6
S5	31.1	22.1	44.0	49.0	37.0	46.4
S6	21.9	37.4	38.5	46.7	41.9	30.3
S7	46.1	54.0	56.8	54.0	45.5	41.5
S8	26.0	44.5	44.0	38.0	28.9	24.6
S9	32.6	39.6	38.3	44.9	29.3	22.2
S10	30.5	49.2	50.8	50.6	48.1	40.5

表4 潮流的可能最大流速对应流向 单位:(°)

测层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
S1	116	112	117	125	115	125
S2	43	107	112	106	69	87
S3	67	92	99	101	98	90
S4	45	71	75	74	62	102
S5	92	114	41	104	89	57
S6	87	107	110	102	99	87
S7	93	104	111	112	109	103
S8	99	120	115	121	113	108
S9	104	116	117	112	104	105
S10	113	100	102	106	95	81

最大可能潮流流速值出现在 S7 站 0.4H, 为 56.8 cm/s, 流向为 ESE。S3、S4、S5、S6 和 S9 站潮流的可能最大流速极大值均出现在 0.6H, S2、S7 和 S10 站出现在 0.4H, S1 和 S8 站出现在 0.2H。流速极大值多出现在 0.6H, 其次为 0.4H、0.2H。各站层最大可能潮流流向与  $K_1$  分潮流的椭圆长半轴方向  $WNW \sim ESE$  基本一致,且随深度变化差异不明显。

3.3 余流

余流通常指实测海流资料中除去周期性流动(天文潮)之外,剩余的部分流动<sup>[10]</sup>。调查海区各潮期的余流流速及流向平面分布见图6。调查海区余流介于 2.0~100.3 cm/s。小、中、大潮期各站的余流

最大值分别为 39.2 cm/s、64.2 cm/s 和 100.3 cm/s,都出现在 S2 站表层。各站底层余流流速比其余各层流速小。这是由于底摩擦耗能的结果,近海海底余流一般要小于表层。

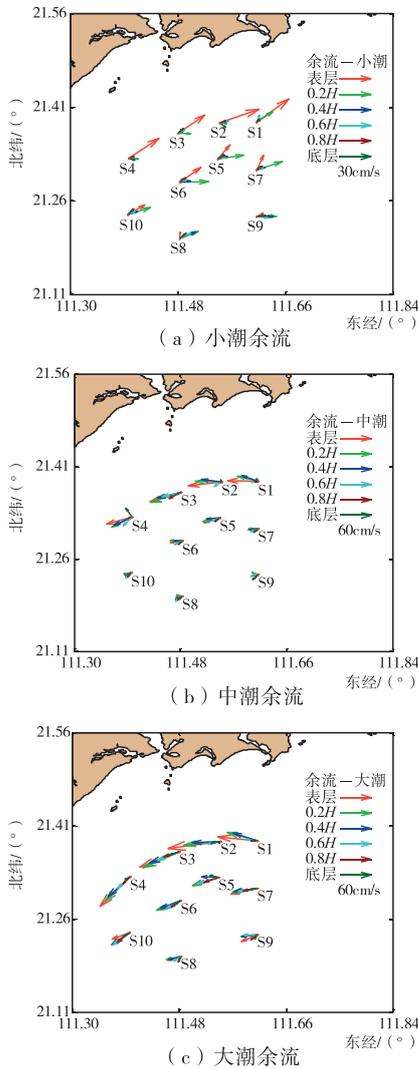


图 6 各潮期余流平面分布示意图

各海面风观测站(S3 站、S6 站和 S8 站)观测到小潮观测期间风向为 S,小潮期各站层余流方向偏 E,中潮期和大潮期观测期间风向为 NE,各站层余流方向基本为 SW。为了量化粤西阳江海域风向与余流方向之间的关系,给出两者的相关趋势线,见图 7 和式(4)。

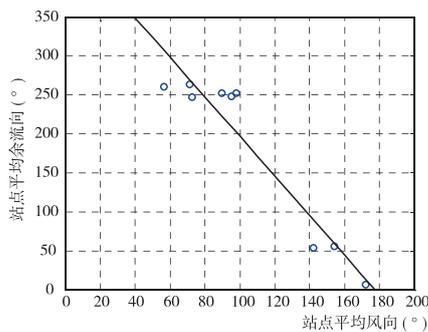


图 7 粤西阳江海域风向与余流向关系( $R=0.9522$ )示意图

$$y = -2.54x + 450.36 \quad (4)$$

式中, $x$  为站点平均风向; $y$  为站点平均余流向。两者相关系数  $R=0.9522$ ,表明余流方向与风向基本一致,余流具有风海流的性质。近岸海域余流相对较大,因东北风长期作用下粤西近岸海域海水辐聚,海水离岸运动,通过埃克曼输运促使水体形成强烈的西向沿岸流。

#### 4 结束语

本文基于粤西阳江沙扒南部海域夏季全潮水文观测数据,对其海流特性进行了分析,结论如下:

(1) 调查海域各站海流的旋转流特征明显。从表层到底层,各站层海流形态较为相似,最大海流流速均出现在 S2 站表层。小潮期海流流向主要为 E,海流方向范围为 SE~N;中潮期和大潮期海流流向主要为 SW,海流方向范围为 SE~NW。

(2) 全潮观测期间,各站实测海流呈现不规则半日潮流特征。潮流可能最大流速的最大值出现在 S7 站 0.4H,为 56.8 cm/s,流向为 ESE。最大可能潮流流速极大值多出现在 0.6H,其次为 0.4H、0.2H。各站层最大可能潮流流向与 K1 分潮的椭圆长半轴方向 W~E 基本一致,且随深度变化差异不明显。

(3) 观测期余流具有风海流的性质。调查海域观测期的余流主要介于 2.0~100.3 cm/s。小、中、大潮期各站的余流最大值均出现在 S2 站表层,分别为 39.2 cm/s、64.2 cm/s 和 100.3 cm/s。相较于其他各层,底层余流流速最小。

(4) 本文仅对粤西阳江海域夏季海流特征进行了分析,从工程建设技术支撑的可靠性与海流科学研究的系统性角度考虑,后续有必要对调查海域的冬季全潮流特征加以对比分析,形成有机的统一整体。

#### 参考文献:

[1] 李立,许金电,靖春生,等.南海海面高度、动力地形和环流的周年变化——TOPEX/Poseidon 卫星测高应用研究[J].中国科学(D 辑:地球科学),2002,32(12):978-986.

[2] 宋晓飞,石荣贵,孙羚晏,等.珠江口磨刀门盐水入侵的现状与成因分析[J].海洋通报,2014,33(1):7-15.

[3] 肖莞生,卢婧青,陈国轩,等.珠三角八大口门潮汐调和分析及潮性特征对比[J].广东水利水电,2013(5):6-11.

[4] 周争桥.基于实测资料的珠江口海域风和潮汐特征分析[J].海洋湖沼通报,2019(1):47-53.

- [5] MAO Q, PING S, YIN K, et al. Tides and tidal currents in the pearl river estuary [J]. *Continental Shelf Research*, 2014, 24(16), 1797-1808.
- [6] GRIFFIN D A, LEBLOND P H. Estuary/ocean exchange controlled by spring-neap tidal mixing [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1990, 30(3), 275-297.
- [7] SAWYER A H, SHI F, KIRBY J T, et al. Dynamic response of surface water-groundwater exchange to currents, tides, and waves in a shallow estuary [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2013, 118(4), 1749-1758.
- [8] 谢玲玲, 曹瑞雪, 尚庆通. 粤西近岸环流研究进展 [J]. *广东海洋大学学报*, 2012, 32(4): 94-98.
- [9] 杨士瑛, 鲍献文, 陈长胜, 等. 夏季粤西沿岸流特征及其产生机制 [J]. *海洋学报(中文版)*, 2003, 25(6): 1-8.
- [10] 严金辉, 陈达森. 粤西水东单点系泊海域潮流和低频流特征 [J]. *海洋湖沼通报*, 2005(3): 8-15.
- [11] 中交第一航务勘察设计院有限公司. 港口与航道水文规范: JTS 145—2015 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.

## Analysis of summer current characteristics in Yangjiang sea area of Western Guangdong

CAO Yonggang<sup>1,2</sup>, FENG Yanqing<sup>1</sup>, OUYANG Yongzhong<sup>1,2</sup>,  
CHEN Yizhan<sup>1</sup>, LIAO Shizhi<sup>1</sup>, LIU Tongmu<sup>1</sup>

- (1. South China Sea Marine Survey and Technology Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China;  
2. Key Laboratory of Marine Environmental Survey Technology and Application, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** In order to improve the understanding of the regional marine dynamic characteristics in western Guangdong, the spatial characteristics of hydrodynamics and tidal current properties were comprehensively analyzed based on the measured data of summer full tide current in southern sea area of Shapa, Yangjiang by using the method of quasi-harmonic analysis. The results showed that the main flow direction of current in summer neap tide period was E, which was opposite to the westward coastal current in western Guangdong; The main current flow direction in the middle and spring tides was SW, which was consistent with the coastal current flow direction in western Guangdong. The maximum current velocity appeared on the surface of S2 station. During the observation period, the tidal current was obviously characterized by counterclockwise rotating flow. The main type of tidal current was irregular semidiurnal tide. In summer, the direction of component tidal current of each station layer was W-E, and the bottom residual current velocity was less than the surface middle current velocity. The residual current in the observation period has the nature of wind current. The research results provide technical support for engineering construction and basic data for scientific research in this sea area.

**Key words:** current observation; observation data; tidal current characteristics; quasi harmonic analysis; hydrodynamic characteristics; southern sea area of shaba