

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20180919.002

任叙合,尤启明,郭静,等.海南岛东北海域海流和余流特征分析[J].广西科学,2018,25(4):418-422.

REN X H, YOU Q M, GUO J, et al. Characteristics analysis of current and residual current in the northeastern sea area of Hainan island[J]. Guangxi Sciences, 2018, 25(4): 418-422.

# 海南岛东北海域海流和余流特征分析 \* Characteristics Analysis of Current and Residual Current in the Northeastern Sea Area of Hainan Island

任叙合<sup>1</sup>, 尤启明<sup>1</sup>, 郭静<sup>1</sup>, 张文虎<sup>2\*\*</sup>

REN Xuhe<sup>1</sup>, YOU Qiming<sup>1</sup>, GUO Jing<sup>1</sup>, ZHANG Wenhui<sup>2</sup>

(1. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028; 2. 国家海洋局南海环境监测中心, 广东广州 510300)

(1. CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100028, China; 2. South China Sea Environment Monitoring Center, State Oceanic Administration, Guangzhou, Guangdong, 510300, China)

**摘要:**【目的】研究海南岛东北海域的潮流、余流特征和分布规律。【方法】依据 2017 年 6 月在海南岛东北海域调查的夏季大潮实测海流数据, 采用准调和分析方法分析实测数据, 并根据该分析所得的一些参数分析研究区域的潮流性质、潮流运动形式、 $M_2$  分潮潮流椭圆、潮流的垂直分布及夏季的余流分布。【结果】海南岛东北海域的潮流以不正规半日潮流为主; 各站点潮流椭圆旋转率都较小, 潮流运动形式以往复流为主, 方向为 NW—SE; 除 S4 站以外, 其余各站海流均为略带旋转的往复流, 往复流的方向为 NW—SE, 旋转流的旋转方向为顺时针; 研究海域表层余流大于中底层, 近岸余流较弱, 琼州海峡附近的站点余流最强; 各站表、中、底层余流流向较一致, 表层余流主要受风场的影响作用, 底层余流主要受到地形影响。【结论】对调查区域的潮流、余流特性有了一个较为全面的认识。

**关键词:** 海流 余流 调和分析

**中图分类号:** P76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2018)04-0418-05

**Abstract:**【Objective】To analysis the characteristics and distribution law of the tidal current and residual current in the northeastern sea area of Hainan Island.【Methods】Based on the summer tide data measured in the northeastern sea area of Hainan Island in June 2017, the quasi-harmonic analysis method was used to analyze the measured data, and according to some parameters obtained from the analysis, the tidal nature of the research area, the form of tidal movement, the ellipse of the  $M_2$  tidal current, the vertical distribution of the tidal current and the residual current distribution in summer were analyzed.【Results】The irregular semi-diurnal tidal

current was the main tidal current in the northeastern sea area of Hainan Island. The elliptical rotation rate of tidal current at each station was small, and the tidal current movement was mainly in the form of reciprocating current in the past with the direction of NW—SE. Except for the station S4, the reciprocating currents at other stations were all slightly rota-

收稿日期: 2018-05-06

作者简介: 任叙合(1962—), 男, 高级工程师, 主要从事海洋工程环境条件及环境影响研究。

\* 中海石油(中国)有限公司科技项目(YXKY-2016-ZY-07)和南海分局局长基金(1603)资助。

\*\* 通信作者: 张文虎(1986—), 男, 工程师, 主要从事海洋环境动力学研究, E-mail: 343004686@qq.com。

ting reciprocating currents, the direction of reciprocating current was NW—SE, and the rotation direction of the rotating current was clockwise. The surface residual current was larger than the middle and bottom layer, the near-shore residual current was weaker, and the station residual current near the Qiongzhou Strait was the strongest. The surface residual current was mainly affected by the wind field, and the bottom residual current was mainly affected by the bottom topography. **【Conclusion】** With these results, we have a more comprehensive understanding of the trend and residual characteristics in the investigation sea area.

**Key words:** currents, residual currents, harmonic analysis

## 0 引言

**【研究意义】**南海是邻近中国大陆最大的半封闭深水海盆,海岸线和海底地形非常复杂。在季风、太阳辐射、地形和周边海域水交换等因素的共同作用下,南海海流运动特征也变得较为复杂。**【前人研究进展】**国内外已有很多海洋学者对南海海流运动进行相关研究,其主要研究手段以数值模拟为主<sup>[1-7]</sup>,或者以海洋浮标观测数据进行分析得到<sup>[8-9]</sup>;苏京志等<sup>[10]</sup>利用1988—1998年间26个浮标资料,分析了南海部分海域的表层流场,给出了 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 网格的平均海流矢量图;方文东等<sup>[11]</sup>对南海上层环流研究做了详尽评述。采用数值模拟方法研究存在着一些局限性,例如采用数值模拟方法计算地转流时零势面的选取、数值模式的边界条件、初始条件的确定都影响到反演出流场的准确性<sup>[12]</sup>。**【本研究切入点】**在前人研究的基础上<sup>[13-15]</sup>,利用2017年6月在南海北部海南岛东北海域大潮期9个连续周日海流观测资料,对研究区域海流随时间、深度的变化及各个分潮的特点进行研究。**【拟解决的关键问题】**通过准调和与分析获得各分潮流的调和常数和椭圆要素,进而讨论该海区的潮流性质、潮流运动形式、 $M_2$ 分潮椭圆要素以及夏季的余流分布,从中试图了解调查海域的潮流和余流特征及分布规律,以期为进一步研究南海海流提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本研究采用的实测海流数据主要来源于2017年6月实测的大潮周日海流观测数据,观测站点9个,站号为S1~S9(图1)。大潮观测采用准同步测量,S1~S4测站调查时间为2017年6月10日09:00—2017年6月11日10:00,S5~S9测站调查时间为2017年6月08日23:00—2017年6月10日00:00,各站点的站号、分布区域见图1。

### 1.2 方法

采用引入差比数的方法,对2017年6月实测的广西科学 2018年8月 第25卷第4期

大潮期海流资料进行准调和与分析,计算出主要分潮流的调和常数、椭圆要素和观测期间的余流。

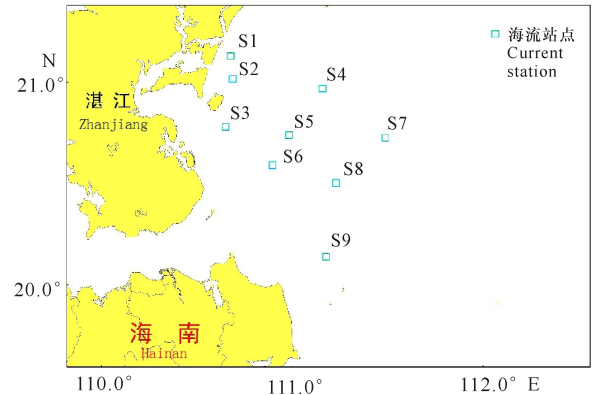


图1 海流站点分布

Fig.1 Distribution map of current stations

应用差比关系的方法计算 $M_2$ 、 $S_2$ 、 $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_4$ 、 $MS_4$ 等6个分潮的潮流调和常数;这些要素决定并反映了分潮流的基本特征。

潮流的性质也称潮流的类型,它主要是根据全日、半日分潮流的相对比率来划分的。根据我国《港口工程技术规范》的规定<sup>[16]</sup>,采用 $F = \frac{W_{O_1} + W_{K_1}}{W_{M_2}}$ 的值作为判别指标,其标准如下:

$$\text{正规半日潮流: } \frac{W_{O_1} + W_{K_1}}{W_{M_2}} \leq 0.5,$$

$$\text{不正规半日潮流: } 0.5 < \frac{W_{O_1} + W_{K_1}}{W_{M_2}} \leq 2.0,$$

$$\text{不正规全日潮流: } 2.0 < \frac{W_{O_1} + W_{K_1}}{W_{M_2}} \leq 4.0,$$

$$\text{正规全日潮流: } 4.0 < \frac{W_{O_1} + W_{K_1}}{W_{M_2}}.$$

式中, $W_{O_1}$ 、 $W_{K_1}$ 、 $W_{M_2}$ 分别为 $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 分潮流的椭圆长轴。

## 2 结果与分析

### 2.1 潮流性质

大潮期各站层的潮流性质系数 $F$ 值见表1。由表1可看出,9个站点各层的 $F$ 值为0.36~1.80,调

查海区的潮流主要为不正规半日潮流。 $F$  值的最小值出现在 S2 站表层,最大值出现在 S4 站底层。其中,S4 站日潮成分最大,S3 站次之。

根据调和分析结果,计算主要分潮流的椭圆要素,其中  $M_2$  分潮潮流椭圆参数数值见表 1。可以看到,S5、S6 和 S9 站潮流较强,S2、S3、S7 和 S8 站次之,S1 和 S4 站较弱;除 S3 和 S8 站以外,其余各站各层分潮椭圆长半轴方向基本一致,潮波从东南向西北传播。 $M_2$  分潮流的椭圆旋转率绝对值为 0.01~0.47,S7、S8 和 S9 站的旋转流较为明显。

## 2.2 潮流运动形式

海流观测的统计结果显示(表 2):各层海流流速

表 1 海流特征参数

Table 1 Characteristic parameters of current

站点 Station	层次 Layer	$F$ 值 Value F	$M_2$ 分潮 $M_2$ Tidal constituent		
			最大流速 Max current (m/s)	椭圆长半轴方向 Direction of ellipse major semiaxis $d$ ( $^\circ$ )	椭圆旋转率 Elliptical rotation rate
S1	表层 Surface	0.51	0.17	110	-0.02
	中层 Middle	0.74	0.14	99	0.09
	底层 Bottom	0.59	0.12	93	0.22
S2	表层 Surface	0.36	0.21	124	-0.10
	中层 Middle	0.55	0.19	115	0.07
	底层 Bottom	0.62	0.14	120	0.05
S3	表层 Surface	1.13	0.19	4	-0.12
	中层 Middle	1.09	0.19	8	-0.19
	底层 Bottom	1.14	0.13	16	-0.06
S4	表层 Surface	1.67	0.15	172	-0.08
	中层 Middle	1.72	0.14	168	0.01
	底层 Bottom	1.80	0.11	3	-0.02
S5	表层 Surface	0.91	0.25	141	-0.06
	中层 Middle	0.93	0.23	142	-0.07
	底层 Bottom	0.90	0.23	142	-0.13
S6	表层 Surface	0.97	0.23	141	-0.08
	中层 Middle	0.97	0.22	141	-0.01
	底层 Bottom	1.39	0.17	159	-0.01
S7	表层 Surface	0.71	0.19	151	0.24
	中层 Middle	0.72	0.18	149	0.20
	底层 Bottom	0.44	0.18	141	0.34
S8	表层 Surface	0.80	0.15	2	0.36
	中层 Middle	0.74	0.18	8	0.19
	底层 Bottom	0.46	0.19	149	0.13
S9	表层 Surface	0.81	0.22	86	0.47
	中层 Middle	0.75	0.22	92	0.42
	底层 Bottom	0.83	0.14	59	0.31

大小相当,各层流向基本一致,近岸海流流速较小,从近岸向外海海流逐渐增强;潮波传播类型主要以前进波为主,传播方向大致为垂直于等深线的方向;其中 S4 站海流以往复流为主,往复流的方向为 NW—SE;除 S4 站以外,其余各站海流均为略带旋转的往复流,往复流的方向为 NW—SE,旋转流的旋转方向为顺时针,各站海流玫瑰图见图 2~4。

表 2 海流特征值统计

Table 2 Current eigenvalue statistics

站点 Station	层次 Layer	平均流速 Mean current (m/s)	最大流速 Max current (m/s)	最大流速 时流向 Current direction with the max current ( $^\circ$ )
S1	表层 Surface	0.19	0.30	150
	中层 Middle	0.19	0.37	100
	底层 Bottom	0.18	0.33	170
S2	表层 Surface	0.29	0.48	118
	中层 Middle	0.29	0.46	115
	底层 Bottom	0.25	0.47	117
S3	表层 Surface	0.22	0.42	12
	中层 Middle	0.22	0.43	13
	底层 Bottom	0.18	0.36	159
S4	表层 Surface	0.21	0.44	359
	中层 Middle	0.21	0.45	352
	底层 Bottom	0.20	0.33	349
S5	表层 Surface	0.26	0.51	337
	中层 Middle	0.26	0.52	346
	底层 Bottom	0.27	0.42	324
S6	表层 Surface	0.26	0.43	323
	中层 Middle	0.25	0.42	329
	底层 Bottom	0.25	0.43	50
S7	表层 Surface	0.19	0.26	299
	中层 Middle	0.19	0.28	349
	底层 Bottom	0.20	0.32	150
S8	表层 Surface	0.18	0.28	24
	中层 Middle	0.20	0.26	25
	底层 Bottom	0.18	0.27	111
S9	表层 Surface	0.30	0.45	76
	中层 Middle	0.29	0.43	78
	底层 Bottom	0.23	0.46	234

注:各站点潮期均为大潮

Note: The tides of all sites are spring tide

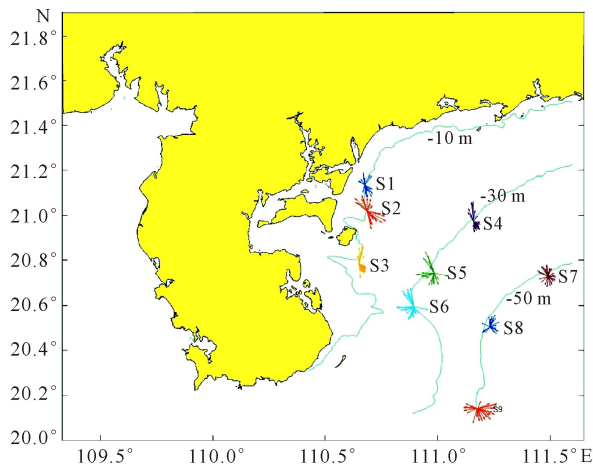


图2 表层海流矢量玫瑰图

Fig. 2 Surface current vector rose diagram

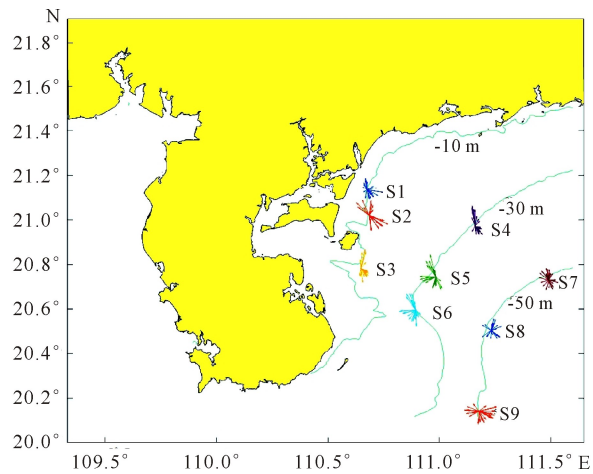


图3 中层海流矢量玫瑰图

Fig. 3 Middle current vector rose diagram

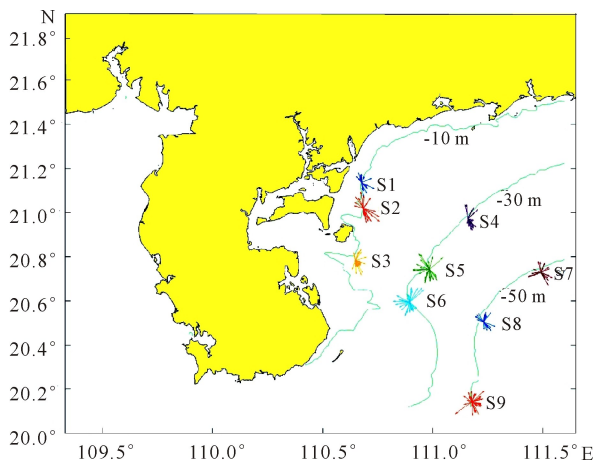


图4 底层海流矢量玫瑰图

Fig. 4 Bottom current vector rose diagram

### 2.3 余流特征

余流分析结果表明(表3),南海北部海南岛东北海域表层余流大于中底层,近岸余流较弱,琼州海峡附近的站点余流最强;各站表、中、底层余流流向较一致,表层余流主要受风场的影响作用,底层余流主要受到地形影响。大潮观测期间余流最大值为

0.13 m/s,位于海南岛东北部的S9站点,最小值为0.01 m/s,位于广州湾出口的S1站,该海域表层余流主要为偏西北向,中、底层的流向依次增大,与风海流的下层运动规律相反,受风应力传递时间滞后影响,下层风海流流向逐渐右偏即流向增大。

表3 各站位余流统计

Table 3 Statistics of residual current at various stations

站点 Station	层次 Layer	余流流速 Residual current velocity (m/s)	余流流向 Residual current direction (°)
S1	表层 Surface	0.06	11
	中层 Middle	0.01	297
	底层 Bottom	0.02	328
S2	表层 Surface	0.05	10
	中层 Middle	0.03	349
	底层 Bottom	0.05	353
S3	表层 Surface	0.10	97
	中层 Middle	0.09	101
	底层 Bottom	0.09	122
S4	表层 Surface	0.04	60
	中层 Middle	0.05	64
	底层 Bottom	0.08	97
S5	表层 Surface	0.11	269
	中层 Middle	0.11	270
	底层 Bottom	0.09	247
S6	表层 Surface	0.12	268
	中层 Middle	0.12	265
	底层 Bottom	0.04	252
S7	表层 Surface	0.03	347
	中层 Middle	0.03	350
	底层 Bottom	0.02	105
S8	表层 Surface	0.07	36
	中层 Middle	0.06	60
	底层 Bottom	0.04	50
S9	表层 Surface	0.13	124
	中层 Middle	0.12	123
	底层 Bottom	0.07	89

注:各站点潮期均为大潮

Note: The tide of all sites are spring tide

### 3 结论

通过对2017年6月在海南岛东北海域调查的9个连续周日海流观测资料进行分析研究,主要得到以下结论:

研究海域的潮流以不正规半日潮流为主;研究海域各站点潮流椭圆旋转率都较小,其中S4站海流以往复流为主,往复流的方向为NW—SE;除S4站以外,其余各站海流均为略带旋转的往复流,往复流的方向为NW—SE,旋转流的旋转方向为顺时针;海南岛东北海域潮流的垂向变化均不大,随着水深的增

加,潮流的椭圆旋转率增大,最大流速略减;海南岛东北海域表层余流大于中底层,近岸余流较弱,琼州海峡附近的站点余流最强;各站表、中、底层余流流向较一致,表层余流主要受风场的影响作用,底层余流主要受到底地形的影响。

参考文献:

[1] 蔡树群, 苏纪兰. 南海环流的一个两层模式[J]. 海洋学报, 1995, 17(2): 12-20.  
CAI S Q, SU J L. A two-tier model of circulation in the South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1995, 17(2): 12-20.

[2] METZGER E J, HURLBURT H E. Coupled dynamics of the South China Sea, the Sulu Sea, and the Pacific Ocean[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101(C5): 12331-12352.

[3] TAKANO K, HARASHIMA A, NAMBA T. A numerical simulation of the circulation in the South China Sea- Preliminary results[J]. Acta Oceanographica Taiwanica, 1998, 37(2): 165-186.

[4] CAI S Q, SU J L, GAN Z J, et al. The numerical study of the South China Sea upper circulation characteristics and its dynamic mechanism, in winter[J]. Continental Shelf Research, 2002, 22(15): 2247-2264.

[5] YUAN Y C, LIU Y G, LIAO G H, et al. Calculation of circulation in the South China Sea during the summer of 2000 by the modified inverse method[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 24(1): 14-30.

[6] WANG H Q, YUAN Y C, GUAN W B, et al. Circulation in the South China Sea during summer 2000 as obtained from observations and a generalized topography-following ocean model[J]. Journal of Geophysical Research C: Oceans, 2004, 109(7): 1-12.

[7] 陈波, 邱绍芳, 葛文标, 等. 广西沿岸主要海湾潮流的数值计算[J]. 广西科学, 2001, 8(4): 295-300.  
CHEN B, QIU S F, GE W B, et al. Numerical calculation about the tidal currents in the main bays of Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2001, 8(4): 295-300.

[8] 朱晓婷, 陈学恩. 南海西部海流和温度长期定点观测分析[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(4): 15-21.  
ZHU X T, CHEN X E. Analysis of temperature and currents long-term observations in the western South China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2014, 44(4): 15-21.

[9] 陈波, 侍茂崇, 郭佩芳, 等. 北部湾北部潮流谱分析和余流特征研究[J]. 广西科学, 2014, 21(1): 54-63.  
CHEN B, SHI M C, GUO P F, et al. Analysis of tidal

current spectrum and study of residual current in northern Beibu Gulf [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(1): 54-63.

[10] 苏京志, 卢筠, 侯一筠, 等. 南海表层流场的卫星跟踪浮标观测结果分析[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(2): 121-127.  
SU J Z, LU J, HOU Y J, et al. Analysis of satellite-tracked drifting buoys in the South China Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(2): 121-127.

[11] 方文东, 方国洪. 南海南部海洋环流研究的新进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(2): 166-172.  
FANG W D, FANG G H. The recent progress in the study of the Southern South China Sea circulation [J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(2): 166-172.

[12] 杨庆轩, 梁鑫峰, 田纪伟, 等. 南海北部海流观测结果及其谱分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(6): 561-566.  
YANG Q X, LIANG X F, TIAN J W, et al. Observation on the current in the northern South China Sea and spectrum analysis [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(6): 561-566.

[13] 中华人民共和国交通部. 港口工程技术规范: 上 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1988.  
Ministry of Communications of PRC. Technical specification for port engineering: Vol. 1 [M]. Beijing: People's Communications Press, 1988.

[14] 袁耀初, 赵进平, 王惠群, 等. 南海东北部 450 m 以浅水层与深层海流观测结果及其谱分析[J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32(2): 163-176.  
YUAN Y C, ZHAO J P, WANG H Q, et al. The observation results and spectral analysis of shallow water layer and deep ocean current in 450 m northeast China Sea [J]. Science in China: Series D, 2002, 32(2): 163-176.

[15] 陈波, 邱绍芳, 葛文标. 广西沿岸主要海湾余流场的数值模拟[J]. 广西科学, 2001, 8(3): 227-231.  
CHEN B, QIU S F, GE W B. Numerical simulation of residual current field of key bays along the coast of Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2001, 8(3): 227-231.

[16] 方文东, 郭忠信, 黄羽庭. 南海南部海区的环流观测研究[J]. 科学通报, 1997, 42(21): 2264-2271.  
FANG W D, GUO Z X, HUANG Y T. Study on the circulation of the southern sea area in the South China Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(21): 2264-2271.

(责任编辑: 陆雁)