

◆海洋动力学◆

靖海湾春季实测潮流与温盐特征分析*

李智航, 孙璐**, 陈洁

(国家海洋局南海环境监测中心自然资源部南海局, 广东广州 510300)

摘要:为了解广东靖海湾潮流、余流特征,采用准调和分析方法对2015年4月靖海湾大潮期实测海流数据资料进行分析,计算得到潮流性质、各分潮潮流特征和余流特征,并预测最大可能海流流速。结果表明:靖海湾以不正规半日潮流为主,潮流运动方式以带旋转的往复流为主,往复流的流向为NE-SW向,旋转流的旋转方向为顺时针;各分潮传播方向一致,都受附近地形的影响;余流受风场影响,以偏东向为主;温盐变化与潮流运动密切相关。靖海湾潮流主要受地形影响,温盐变化特征与潮汐变化一致。

关键词:靖海湾 潮流 海温 盐度 余流 调和分析

中图分类号:P71 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2021)02-0174-07

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20210609.005

0 引言

靖海湾为粤东夏季上升流的多发区域,春季随着季风的转换,虽然无上升流活动,但在径流、环流等因素驱动下,仍然表现出复杂的海流运动特征^[1-4]。南海北部受季风影响,水文和水动力的季节变化特征明显,已有的海流运动研究以船测、浮标/潜标、遥感和数值模拟为主^[5-10]。历史资料显示:广东惠来靖海湾海域属于不规则半日潮,平均潮差小于1 m,大潮平均潮差小于1.5 m,潮汐作用较弱。靖海湾潮流以不正规半日潮流为主,顶流速较小,北炮台以东海域流速较大。潮流流向大部分具有往复流性质,涨潮流为

东北向,落潮流为西南向。在离岸较远且受地形影响较小处,其潮流运动形式为略带旋转流的往复流。余流方向为东北至东向。靖海湾附近无较大的河流入海,仅为间歇性小溪和泻湖排洪入海,泥沙来源少^[11-15]。近年来较少看到该海域海流实测分析的报道,本研究将丰富该方面的内容。本文从现场水文观测资料分析着手,通过准调和和分析获得潮流调和常数与椭圆要素,计算得到潮流性质、各分潮潮流特征和余流特征,并预测最大可能海流流速对靖海湾海域潮汐运动的影响,拟丰富区域海洋基础背景资料,为合理利用水利资源和海洋经济可持续发展提供科学依据。

* 国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金项目(1614)资助。

【作者简介】

李智航(1982-),男,助理工程师,主要从事海洋动力学研究。

【**通信作者】

孙璐(1983-),女,高级工程师,主要从事南海上层动力学研究,E-mail:sunlu@scsio.ac.cn。

【引用本文】

李智航,孙璐,陈洁.靖海湾春季实测潮流与温盐特征分析[J].广西科学,2021,28(2):174-180.

LI Z H, SUN L, CHEN J. Characteristics Analyses of Tide, Temperature and Salinity of Jinghai Bay in Spring [J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(2): 174-180.

1 数据与方法

1.1 数据来源

数据源自 2015 年 4 月大潮期广东靖海湾海域周日海流、水温和盐度连续观测资料(共 4 个连续观测站, 观测站位置见图 1)。具体观测时间为 4 月 2 日 16 时-4 月 3 日 17 时, 期间 H4 站还进行了定点气象观测, 观测时刻为当日的 16 时、19 时和 22 时, 以及次日的 1 时、4 时、7 时、10 时、13 时和 16 时。其中, 海流观测仪器为 Seaguard RCM SW 型安德拉海流计, 水温和盐度观测仪器为 Seabird CTD, 观测频次均为 1 h/次。

1.2 数据分析与计算

参考文献[10]方法, 分别对各站各层海流资料进行准调和分析, 应用差比关系法计算太阴主要半日分潮 M_2 、太阳主要半日分潮 S_2 、太阴赤纬半日分潮

O_1 、太阳赤纬半日分潮 K_1 、太阴浅水 1/4 分潮 M_4 、太阴太阳 1/4 分潮 MS_4 等 6 个分潮的潮流调和常数、椭圆要素和余流。潮流性质的划分采用潮流性质系数 $F = (W_{O_1} + W_{K_1})/W_{M_2}$ 作为判别标准, 其中 W_{O_1} 为 O_1 的最大流速, W_{K_1} 为 K_1 的最大流速, W_{M_2} 为 M_2 的最大流速。潮流性质划分标准如下: $F \leq 0.5$ 为正规半日潮性质; $0.5 < F \leq 2.0$ 为不正规半日潮; $2.0 < F \leq 4.0$ 为不正规日潮; $F > 4.0$ 为正规日潮。

潮流理论最大可能潮流 V_{\max} 计算公式为

$$V_{\max} = 1.295W_{M_2} + 1.245W_{S_2} + W_{K_1} + W_{O_1} + W_{M_4} + W_{MS_4}, \quad (1)$$

$$V_{\max} = W_{M_2} + W_{S_2} + 1.6W_{K_1} + 1.45W_{O_1}, \quad (2)$$

式中 W_{M_2} 、 W_{S_2} 、 W_{K_1} 、 W_{O_1} 、 W_{M_4} 、 W_{MS_4} 分别为对应分潮流的最大流速。取两式计算所得结果的较大者作为理论最大可能潮流。

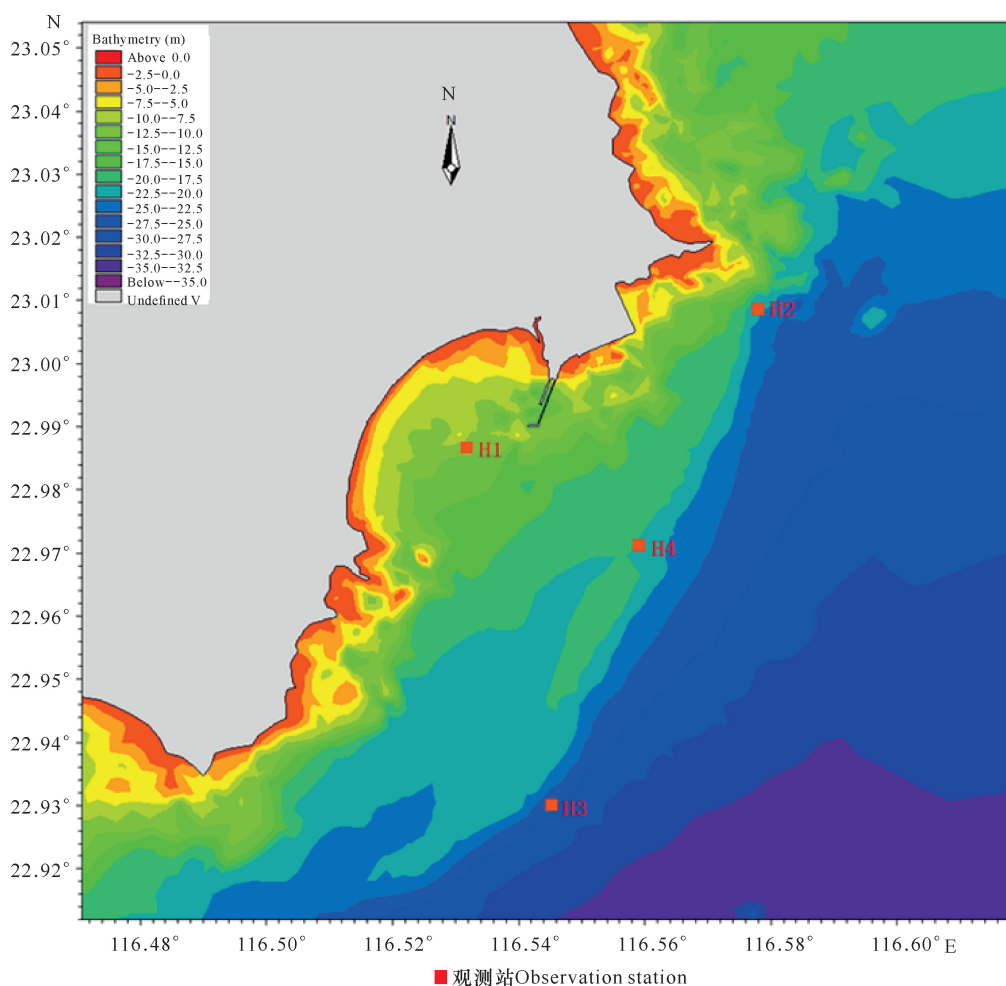


图 1 广东靖海湾海域海流观测站位置

Fig. 1 Position of current observation stations of Jinghai Bay in Guangdong

2 结果与分析

2.1 气象观测结果

根据 H4 站定点气象观测结果, 调查期间: 天气状况为晴; 风向稳定, 风速 $0.2 - 4.2 \text{ m/s}$, 风向西南; 海况 2 级; 气压 $1004.2 - 1007.6 \text{ hPa}$; 气温日变化特征显著, 为 $20.7 - 25.6^\circ\text{C}$ 。

2.2 海流观测结果

海流观测的统计结果显示, H2、H4 站海流强于 H1、H3 站, 其中 H1 站表层、中层和底层海流均为带旋转的往复流 (NE-SW 向), 旋转流为顺时针方向。H2、H3、H4 站海流性质较接近, 各站表层、中层和底层均为略带旋转的往复流 (NE-SW 向), 旋转流为顺时针方向 (图 2)。海流过程曲线以 H1 站为例, 如图 3 所示。

观测期间内, H1 站表层比中层和底层海流流速略大, 中层和底层海流流向大体一致, 与表层略有差异。其中: 表层、中层和底层海流的平均流速分别为 $0.15, 0.13, 0.14 \text{ m/s}$; 表层、中层和底层海流的最大流速分别为 $0.28, 0.22, 0.24 \text{ m/s}$ 。表层达到最大海流时流向为西南向, 中层和底层达到最大海流时流向为东北向 (表 1)。

H2 站各层海流流速大小相当, 各层海流流向较一致。其中: 表层、中层和底层海流的平均流速分别为 $0.38, 0.34, 0.32 \text{ m/s}$; 表层、中层和底层海流的最大流速分别为 $0.66, 0.58, 0.58 \text{ m/s}$ 。表层达到最大海流时流向为东南向, 中层和底层达到最大海流时流向为东北向 (表 1)。

H3 站各层海流流速大小相当, 各层海流流向较一致。其中: 表层、中层和底层海流的平均流速分别为 $0.14, 0.15, 0.15 \text{ m/s}$; 表层、中层和底层海流的最大流速分别为 $0.32, 0.39, 0.28 \text{ m/s}$ 。表层和中层达到最大海流时流向为东南向, 底层达到最大海流时流向为东北向 (表 1)。

H4 站各层海流流速相当, 各层海流流向较一致。其中: 表层、中层和底层海流的平均流速分别为 $0.35, 0.31, 0.30 \text{ m/s}$; 表层、中层和底层海流的最大流速分别为 $0.59, 0.59, 0.58 \text{ m/s}$ 。表层达到最大海流时流向为南向, 中层和底层达到最大海流时流向为东北向 (表 1)。

以往调查资料显示: 本海区海流流速为 $0.1 - 0.6 \text{ m/s}$, 潮流主要呈现往复流性质, 表层、中层、底层各层的潮流方向相差很小, 且基本呈涨潮潮流量大

于落潮的特点; 涨潮流作用具有一定的优势, 流速平面上呈愈往外海流速愈大的特点, 潮段平均流速也基本呈现湾内较小、外海较大趋势; 潮段历时表现为涨潮段历时大于落潮段历时的特点^[11-15]。本次海流调查分析结果与以往结论基本一致, 较以往报道 (2011 年) 更新了近 5 年的调查数据。

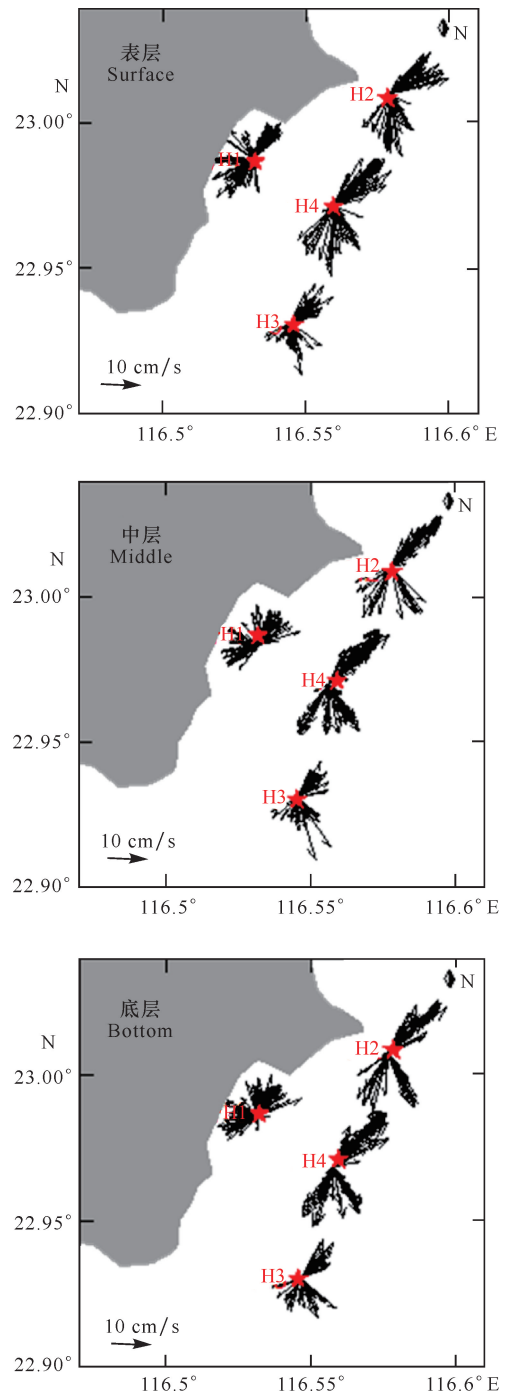


图 2 广东靖海湾海域海流矢量图

Fig. 2 Vector diagram current of Jinghai Bay in Guangdong

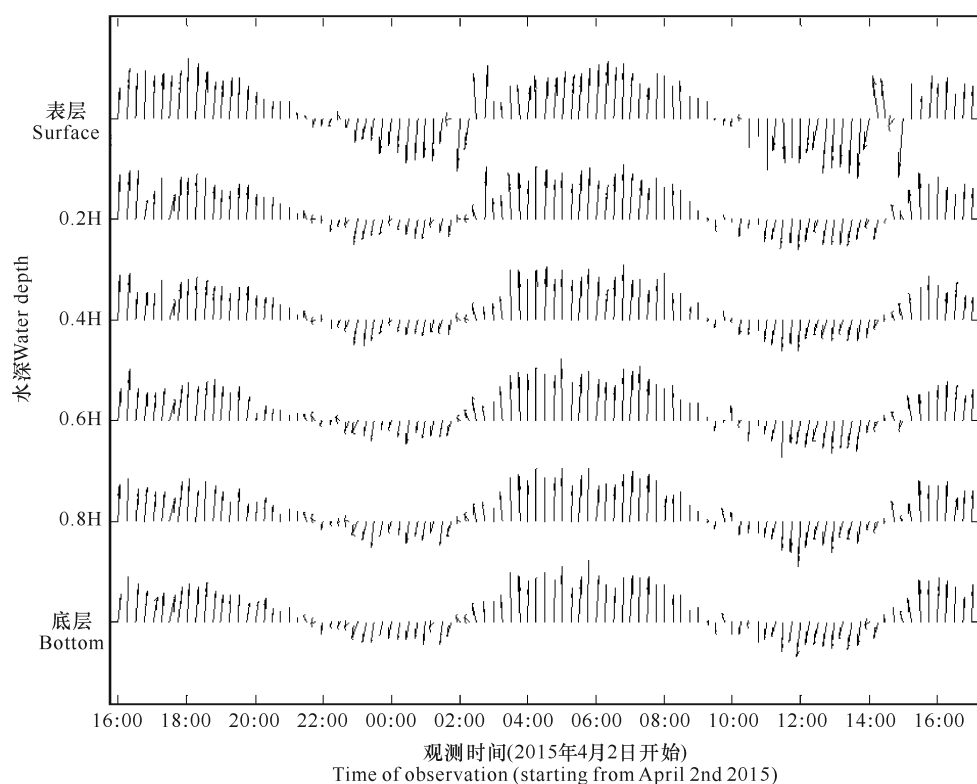


图3 H1 站海流过程矢量图

Fig. 3 Vector map of current process at H1 station

表1 各站点海流特征值统计

Table 1 Current eigenvalue statistics at each station

站点 Station	层次 Level	平均流速 Average current velocity (m/s)	最大流速 Maximum current velocity (m/s)	最大流速时流向 Flow direction at maximum current velocity (°)
H1	表层 Surface (1.0 m)	0.15	0.28	224
	0.2H	0.13	0.25	71
	0.4H	0.13	0.24	75
	0.6H	0.13	0.22	71
	0.8H	0.13	0.23	70
	底层 Bottom (H-0.5 m)	0.14	0.24	68
H2	表层 Surface (1.0 m)	0.38	0.66	169
	0.2H	0.39	0.63	172
	0.4H	0.38	0.64	75
	0.6H	0.34	0.58	45
	0.8H	0.33	0.57	47
	底层 Bottom (H-0.5 m)	0.32	0.58	52
H3	表层 Surface (1.0 m)	0.14	0.32	168
	0.2H	0.15	0.29	35
	0.4H	0.15	0.39	152
	0.6H	0.15	0.39	163
	0.8H	0.15	0.39	148
	底层 Bottom (H-0.5 m)	0.15	0.28	42
H4	表层 Surface (1.0 m)	0.35	0.59	182
	0.2H	0.34	0.56	49
	0.4H	0.33	0.56	44
	0.6H	0.31	0.59	51
	0.8H	0.31	0.58	45
	底层 Bottom (H-0.5 m)	0.30	0.58	40

2.3 温度和盐度观测结果

海流观测期间, 各站(H1、H2、H3和H4)每2h进行1次温度和盐度观测, 温度和盐度观测层次与海流观测层次相同。除H2站盐度比其余各站盐度略高外, 各站之间水温和盐度差异不大, 数值较接近, 说明水体性质单一, 水平向分布均匀; 各站中层、底层水温和盐度值接近, 表层温度明显高于中层和底层; 除H1站外, 其余各站中层和底层盐度略高于表层, 垂向结构特征明显。

水温和盐度的时间变化过程与潮流运动密切相关。涨潮时, 盐度值逐渐增加, 高平潮时达到盐度极大值; 落潮时, 盐度值逐渐降低, 低平潮时达到盐度极小值。各站水温时间变化特征与潮位变化的相关性更强。

2.4 潮流特征

各站层的潮流性质系数 F 值见表2。由表2可看出: 各站层的 F 值为0.42–1.70, 靖海湾的潮流主要为不正规半日潮流。 F 值的最小值为0.42, 出现在H2站中层; 最大值为1.70, 出现在H4站底层。以往调查资料也显示, 该海域潮流特征以不正规半日潮流为主^[11-15], 与本次结果一致。

根据调和和分析结果计算主要分潮流的椭圆要素, 并将 M_2 分潮流的椭圆率制成表3。

表2 潮流性质系数

Table 2 Property coefficient of tidal current

站点 Station	F值 F value		
	表层 Surface	中层 Middle	底层 Bottom
H1	0.69	1.05	0.64
H2	1.42	0.42	0.46
H3	1.66	1.25	1.10
H4	1.11	1.34	1.70

本海区各站各层的 O_1 、 K_1 分潮与 M_2 分潮椭圆长半轴方向近似, 说明各分潮传播方向一致, 都是受附近地形的影响(表3)。由于半日分潮流 M_2 在整个潮流中占支配地位, 所以可以通过分析 M_2 分潮的变化来揭示各站潮流特征。各站层 M_2 分潮流的椭圆率绝对值为0.02–0.34, 其值均较小, 说明潮流受地形影响较大, 各站各分潮椭圆长半轴方向基本与岸线平行或与水道方向一致, 距离岸边较远时, 潮流受地形影响减弱(表3)。本海区的潮流旋转方向全部表现为顺时针。

表3 M_2 分潮流最大可能流速、倾角及椭圆率

Table 3 M_2 tidal current velocity, inclination angle and ellipticity

站点 Station	层次 Level	最大可能流速 Tidal current velocity W (m/s)	倾角 Inclination angle d (°)	椭圆率 Ellipticity
H1	表层 Surface	0.19	34	-0.02
	中层 Middle	0.16	51	-0.06
	底层 Bottom	0.16	49	-0.11
H2	表层 Surface	0.38	29	-0.12
	中层 Middle	0.32	24	-0.34
	底层 Bottom	0.31	29	-0.26
H3	表层 Surface	0.14	34	-0.11
	中层 Middle	0.15	20	-0.24
	底层 Bottom	0.14	24	-0.27
H4	表层 Surface	0.32	30	-0.27
	中层 Middle	0.26	30	-0.28
	底层 Bottom	0.29	30	-0.25

各站从表层到底层 M_2 分潮流最大潮流到达时间大致相同, 其中H1站各层 M_2 分潮最大可能流速为0.16–0.19 m/s, 表层最大; H2站各层 M_2 分潮最大可能流速为0.31–0.38 m/s, 表层最大; H3站各层 M_2 分潮最大可能流速为0.14–0.15 m/s, 中层最大; H4站各层 M_2 分潮最大可能流速为0.26–0.32 m/s, 表层最大。从 M_2 分潮流最大可能潮流流速分析结果来看, M_2 半日潮流由大到小依次为H2站、H4站、H1站、H3站。

表4为计算得到的各站层最大可能潮流, 可以看到: H3站表层与其他站表层相比, 理论最大可能潮流流速均较其他站小; H2站表层理论最大可能潮流流速最大, 为1.14 m/s; H1、H2站表层最大可能潮流流速明显大于中层和底层; H3、H4站各层最大可能潮流流速大小相当。其中, H1站各层最大可能潮流流速为0.24–0.53 m/s, 表层最大; H2站各层最大可能潮流流速为0.44–1.14 m/s, 表层最大; H3站各层最大可能潮流流速为0.25–0.33 m/s, 底层最大; H4站各层最大可能潮流流速为0.81–0.98 m/s, 底层最大。各站层最大可能潮流流向与 M_2 分潮的椭圆长半轴方向趋近于一致, 均为东北向。

表 4 最大可能潮流流速大小和方向

Table 4 Probable maximum current speed and direction

站点 Station	层次 Level	流速 Current velocity (cm/s)	流向 Current direction (°)
H1	表层 Surface	0.53	45
	中层 Middle	0.24	95
	底层 Bottom	0.25	64
H2	表层 Surface	1.14	21
	中层 Middle	0.44	45
	底层 Bottom	0.67	38
H3	表层 Surface	0.25	93
	中层 Middle	0.27	76
	底层 Bottom	0.33	68
H4	表层 Surface	0.87	28
	中层 Middle	0.81	36
	底层 Bottom	0.98	37

2.5 余流特征

各站表层、中层和底层余流流速大小和方向如表 5 所示。表 5 显示, H2 站和 H4 站余流流速比 H1、H3 站强, H2、H3 和 H4 站余流方向较一致, 受风场影响^[16]。其中 H1 站表层、中层和底层余流流速大小分别为 0.02, 0.05, 0.04 m/s, 受地形影响各层余流方向均为西北向^[16]; H2 站表层、中层和底层余流流速大小分别为 0.18, 0.17, 0.17 m/s, 各层余流方向均为东北偏东向; H3 站表层、中层和底层余流流速大小分别为 0.06, 0.07, 0.07 m/s, 各层余流方向均为偏东向; H4 站表层、中层和底层余流流速大小分别为 0.14, 0.13, 0.14 m/s, 各层余流方向也均为偏东向。

表 5 余流流速大小和方向

Table 5 Size and direction of residual current velocity

站点 Station	层次 Level	流速 Current velocity (cm/s)	流向 Current direction (°)
H1	表层 Surface	0.02	290
	中层 Middle	0.05	320
	底层 Bottom	0.04	325

续表 5

Continued table 5

站点 Station	层次 Level	流速 Current velocity (cm/s)	流向 Current direction (°)
H2	表层 Surface	0.18	100
	中层 Middle	0.17	82
	底层 Bottom	0.17	82
H3	表层 Surface	0.06	91
	中层 Middle	0.07	92
	底层 Bottom	0.07	96
H4	表层 Surface	0.14	96
	中层 Middle	0.13	80
	底层 Bottom	0.14	82

3 结论

本文对 2015 年春季大潮期间靖海湾海域海温、盐度和海流实测资料进行统计与调和分析。研究结果表明: 靖海湾海域的海流表现出明显的往复流特征, 往复方向为 NE-SW 向; 潮流类型为不正规半日潮流, 其中各站层的 F 值为 0.42-1.70; M_2 分潮流的椭圆率绝对值为 0.02-0.34, 潮流受到地形影响较大, 各站各分潮椭圆长半轴方向基本与岸线平行或与水道方向一致; O_1 、 K_1 分潮与 M_2 分潮椭圆长半轴方向近似, 说明各分潮传播方向一致, 都是受附近地形的影响; 潮流旋转方向全部表现为顺时针; 理论最大可能潮流流速最大为 1.14 m/s; 余流流向受风场影响, 以偏东向为主; 水温和盐度差异不大, 数值较接近, 说明水体性质单一, 水平向分布均匀; 各站中层和底层水温和盐度值接近, 表层温度明显高于中层和底层; 除 H1 站外, 其余各站中层和底层盐度略高于表层, 垂向结构特征明显。

本研究更新了靖海湾近 5 年实测数据和结果, 丰富了该海域水文、水动力基础资料, 为当地海洋工程建设、海洋经济开发以及防灾减灾提供了数据支持和参考。

参考文献

- [1] 于文泉. 南海北部上升流的初步探讨[J]. 海洋科学,

- 1987(6):7-10.
- [2] 颜廷壮. 中国沿海上升流成因类型的初步划分[J]. 海洋通报, 1991, 10(6):125-132.
- [3] 吴日升, 李立. 南海上升流研究概述[J]. 台湾海峡, 2003, 22(2):270-277.
- [4] 曾滢宁, 胡建宇, 洪华生, 等. 西南季风不同阶段南海北部珠江口外断面水文调查分析[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(3):10-17.
- [5] 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [6] 王盛安, 龙小敏, 黎满球, 等. 近岸海浪、风暴潮及海啸灾害远程实时监测系统的现场试验及应用[J]. 热带海洋学报, 2009, 28(1):29-33.
- [7] 刘增宏, 许建平, 朱伯康, 等. 利用 Argo 资料研究 2001-2004 年期间西北太平洋海洋上层对热带气旋的响应[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(1):1-8.
- [8] 陈上及. 中国近海季风和热带气旋活动的气候特征及其对南海水文季节结构的影响[J]. 海洋学报, 1994, 16(1):1-11.
- [9] 陈波, 邱绍芳, 葛文标, 等. 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.
- [10] 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.
- [11] 王文介. 海陆相互作用下粤东岬湾海岸剖面的侵蚀演变[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(3):51-55.
- [12] 许荣超, 罗岸, 陆汉柱, 等. 惠来电厂一期扩建工程(3#、4#机组)循环冷却水物理模型试验研究[J]. 广东水利水电, 2013(8):25-28.
- [13] 吴伦宇, 郑斌鑫, 曾志, 等. 粤东甲子附近海域潮流特征研究[J]. 海洋科学进展, 2015, 33(2):131-141.
- [14] 姬泓宇, 陈沈良, 雷亚平, 等. 粤东靖海湾海岸地貌动力演变及其工程影响[J]. 海洋工程, 2016, 5(34):57-64.
- [15] 连石水, 黄炎潮, 黎维祥, 等. 粤东海域某电厂配套码头工程总平面布置思路及其方案优化[J]. 水道港口, 2017, 38(5):532-536.
- [16] 李雨田, 曾灿升, 詹杰民, 等. 粤东海湾沿岸工程对湾内波浪分布和近岸冲淤影响研究[C]. 第十届全国流体力学学术会议, 2018.

Characteristics Analyses of Tide, Temperature and Salinity of Jinghai Bay in Spring

LI Zhihang, SUN Lu, CHEN Jie

(Environment Monitoring Center of the South China Sea, State Oceanic Administration, Ministry of Natural Resources, Guangzhou, Guangdong, 510300, China)

Abstract: In order to understand the characteristics of tidal current and residual current in Jinghai Bay of Guangdong Province, the quasi-harmonic analysis method was used to analyze the measured current data in the spring tide period of Jinghai Bay in April 2015. The tidal current character, tidal current characteristics and residual current characteristics of each tidal component were calculated, and the maximum possible current velocity was predicted. The results show that the Jinghai Bay is dominated by irregular semi-diurnal tidal current, and the tidal current movement is dominated by reciprocating flow with rotation. The direction of reciprocation current is NW-SE, and the direction of rotating current is clockwise. The propagating direction of each tidal component is consistent, which is affected by the nearby terrain. The residual current is affected by the wind field and mainly eastward. Variations of temperature and salinity are closely related to the tidal current movement. The tidal current in Jinghai Bay is mainly affected by topography, and the variation of temperature and salinity is consistent with that of tide.

Key words: Jinghai Bay, tide, temperature, salinity, residual current, harmonic analysis

责任编辑: 陆雁