

广东红海湾海流季节性特征分析

王春阳¹ 张永强^{2,3} 王恩康^{2,3} 金永德²

(1. 山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250100; 2. 自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;
3. 山东科技大学, 山东 青岛 266590)

摘要: 基于 2017 年春季和冬季的海流资料分析了红海湾海区海流特征、潮流状况、涨落潮流特性、余流特征及表层漂流特征。研究海域共布设 3 个临时潮位观测站和 11 个全潮水文观测站。根据流速、流向过程曲线和潮位过程曲线的关系, 得出涨(落)潮流速最大的时刻和最小流速发生时刻与潮位关系并非固定在高(低)潮时或半潮面左右, 由此看出, 研究海域的潮波介于驻波与前进波之间, 属于不规则半日潮流主导的海域。研究海域中大部分站位潮流属于往复流, 少数站位潮流运动具有一定的旋转性, 平均涨潮流速最大为 7 cm/s, 平均退潮流速最大为 14 cm/s。春季大潮期和中潮期各站余流流向整体为偏东向, 小潮期, 除少数测站余流流向偏向南东向, 其余测站余流流向偏西向; 冬季大潮期和中潮期各站余流流向整体为偏西向, 小潮期, 湾西侧余流流向偏西向, 湾东侧余流流向偏南东向。垂向上各层余流流速由表至底逐渐减小, 流向基本一致。

关键词: 海洋地质学; 海流; 余流; 红海湾

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2020. 04. 004

中图分类号: P731

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2020)04-0480-10

海流是海洋内部能量和质量传输的重要形式, 使整个世界大洋的各种水文要素、化学元素及热盐状况保持长期相对稳定的状态, 对海洋生物、地质状况和过程以及海上和沿岸天气、气候都有影响和制约作用, 对海上生产活动和海上工程建设有重要影响。红海湾位于南海北部粤东沿岸中段(22°39′~22°51′N, 114°56′~115°27′E), 为半封闭海湾, 面积约 300 km², 水深 10~50 m。湾北部较平缓, 自北向南倾斜, 西部沿岸坡度较大^[1]。多年来对粤东海湾及南海北部海区潮流的研究已经有大量的工作。

俞慕耕(1984)探讨了南海的潮汐特征^[2]; 黄企洲(1982)进行了南海北部的深层海流观测^[3]; 管秉贤(1985)分析了南海北部冬季逆风海流的时空分布特征^[4]; 邱章等(1999)对南海北部春季海流的垂向变化进行了分析^[5]; 王卫强等(2002)估算了南海上层海洋季风性海流调整的特征时间尺度^[6]; 王江伟等(2007)计算了与温盐资料时间序列相对应的不同季节不同层深的南海海洋环流及流涡系统, 并得出相关结

论^[7]; 吴仁豪等(2007)用三维陆架海模式(HAMSOM)对大亚湾海域的潮汐、潮流和余流进行了数值模拟研究^[8]; 司广成等(2012)分析了南海北部东沙岛附近的内潮和余流特征^[9]; 夏综万等(2013)探讨了粤东甲子海域潮波异常和南海北部潮波的传播^[10]; 余学芳等(2016)对深圳大鹏湾的潮流运动进行了三维数值模拟研究^[11]; 许婷等(2017)基于 POM 海洋模式对南海不同深度环流的季节性变化进行了数值模拟研究^[12]。刘广平等(2018)利用 2008 年夏季和冬季的海流资料分析了红海湾西北海区潮流性质、运动形式、涨落潮流特性、余流特征。以上研究使人们对粤东海域和南海北部海域的潮汐和潮流特征有了一定的了解, 但由于研究不多, 对广东红海湾海域潮流特征的了解依然不足。本研究利用 2016 年冬季和 2017 年春季的实测海流数据分析了红海湾海区潮流动力学特征, 为后期的环评、海域使用论证, 以及工程设计提供翔实、准确的科学依据, 同时也为今后对海湾的生物地球化学过程的研究提供了重要的理论支撑。

收稿日期: 2019-08-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41876066)

作者简介: 王春阳(1984—), 男, 硕士, 高级工程师; E-mail: wchyang118@163.com

1 资料来源与研究方法

1.1 潮位

根据技术要求,需设置 3 个临时潮位站(S1 ~ S3 站,图 1)。潮位观测采用加拿大 RBR 公司生产的 TGR-2050 型温潮位仪,采样间隔 10 min,仪器置

于海底,获取水位连续观测资料。观测时间为 2016 年 12 月 3 日至 2017 年 1 月 2 日和 2017 年 4 月 3 日至 5 月 2 日。潮位观测期间,在 S2 站设立人工水尺验潮站,将潮位数据订正到 1985 国家高程基准,并给出工程区各基面关系。

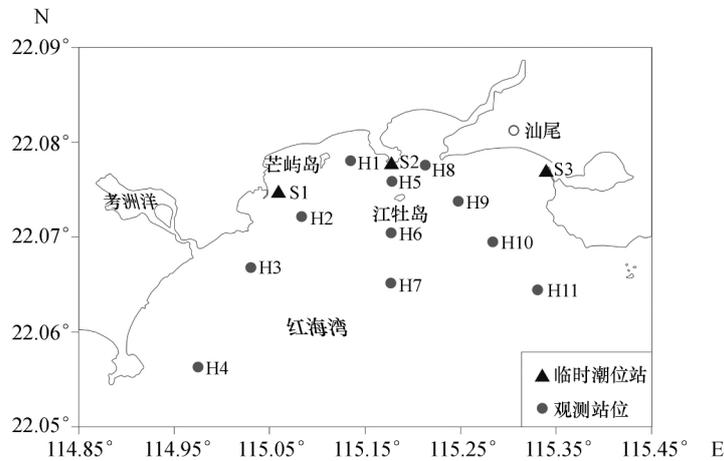


图 1 红海湾潮位观测站布设示意图

Fig. 1 Distribution of tidal level observation station in Honghai Bay

1.2 海流

海流观测按技术任务书的要求在工程海域布设 11 个站,在大、中、小潮期间各进行一次周日逐时连续观测,本研究观测实际站位见图 1。11 个测站总体布置原则为在工程海域的东、西、南侧各布设 1 个站位,并以此为起点,从湾顶向湾口辐射布置 3 条断面,分别代表湾西侧、湾中、湾东侧连线。

海流观测采用安德拉 RCM9 型海流计、诺泰克公司生产的小阔龙和日本 ALEC 公司生产的电磁亚力克海流计,采样时间间隔设置为 1 min,每层测量时间保持约 3 min,以保证每层至少有 2 个有效记录,最后根据仪器压力值的变化,筛选出各层实测海流流速、流向值。各站按六点法观测,即表、0.2 H(H 为整点时刻实测水深)、0.4 H、0.6 H、0.8 H 和底层。

本研究冬季大潮水文观测时间包括大潮观测:

2016 年 12 月 14 日 13 时至 15 日 15 时;中潮观测:2016 年 12 月 10 日 11 时至 11 日 13 时;小潮观测:2016 年 12 月 08 日 09 时至 09 日 11 时。春季大潮水文观测时间包括大潮观测:2017 年 4 月 29 日 10 时至 30 日 12 时;中潮观测:2017 年 4 月 25 日 08 时至 26 日 10 时;小潮观测:2017 年 4 月 22 日 11 时至 23 日 13 时。

2 结果与讨论

2.1 潮汐特征

对实测资料进行分析得到调查期间水位特征值见表 1,观测期间平均海平面冬季为 -8 cm,春季为 56 cm。从图 2 可以看出,冬季和春季 S1、S2、S3 站 3 个临时水位站相位相差较小,振幅波动、相位变化趋势基本一致。

表 1 红海湾观测期间潮汐特征统计表

Tab. 1 Statistic for tidal current characteristics during the observation in Honghai Bay

站位	平均海平面/cm		最高高潮位/cm		最低低潮位/cm	
	冬季	春季	冬季	春季	冬季	春季
S1	75	56	196	159	-22	-29
S2	76	56	192	156	-21	-28
S3	76	56	191	155	-24	-28

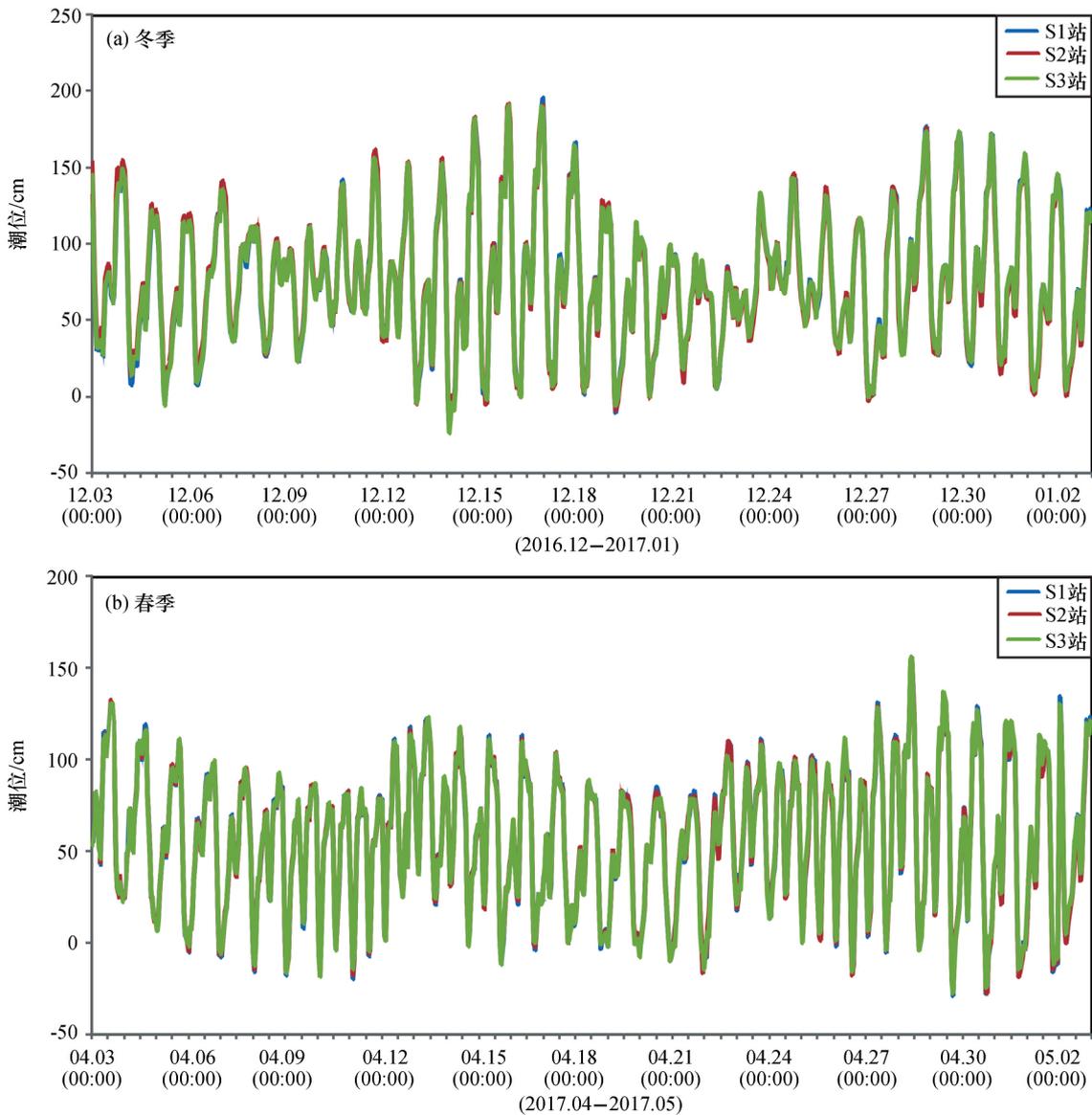


图2 红海湾观测期间潮位过程曲线

Fig. 2 Tidal process curves during the observation in Honghai Bay

2.2 海流特征

2.2.1 海流在平面上的分布 图3为冬季和春季大、中、小潮期间各站垂线平均流速流向矢量图,可以看出冬季大潮期和中潮期,整个海湾内海流呈现东进西出,为逆时针旋转特征,小潮期为西进东出,为顺时针旋转特征;春季大潮期和中潮期,整个海湾内海流呈现西进东出,为顺时针旋转特征,小潮期为东进西出,为逆时针旋转特征。

冬季垂线平均的涨、落潮流平均流速,其变化范围落潮流为1~25 cm/s,涨潮流变化范围为1~21 cm/s。大潮期落潮流平均流速最大为10 cm/s,流向为180°、202°,出现在H7站、H8站,涨潮流平均流速最大为19 cm/s,流向为312°,出现在H10站;中潮期落潮流平均流速最大为25 cm/s,流向为

245°,出现在H4站,涨潮流平均流速最大为21 cm/s,流向为281°,出现在H11站;小潮期,落潮流平均流速最大为19 m/s,流向为122°,出现在H11站,涨潮流平均流速最大为10 cm/s,流向为250°,均出现在H4站。在三次观测中,各站涨落潮平均流速中潮期最大。

大潮期垂线平均的落潮流最大流速的变化范围在9~42 cm/s之间,最大值出现在H7站,流向为80°,垂线平均的涨潮流最大流速的变化范围在11~50 cm/s,最大值出现在H7站,流向为69°。中潮期,垂线平均的落潮流最大流速的变化范围在7~43 cm/s之间,最大值出现在H11站,流向为85°,垂线平均的涨潮流最大流速的变化范围在10~35 cm/s,最大值出现在H7站,流向为95°。小潮期,垂

线平均的落潮流最大流速的变化范围在 8 ~ 29 cm/s 之间, 最大值出现在 H11 站, 流向为 130°, 垂线

平均的涨潮流最大流速的变化范围在 6 ~ 23 cm/s, 最大值出现在 H4 站, 流向为 245°。

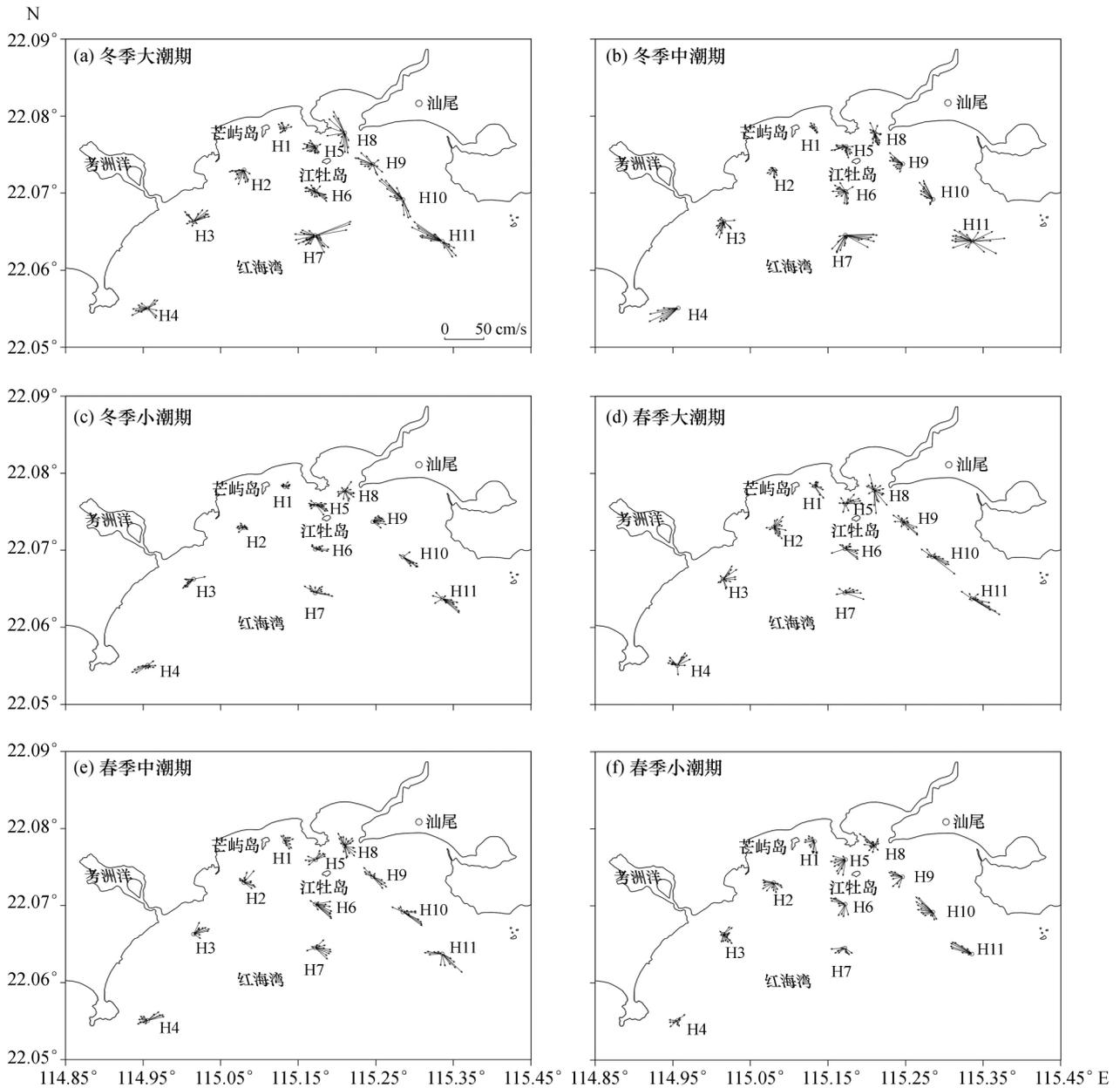


图3 红海湾垂线平均海流矢量图

Fig. 3 Vector maps of vertical average currents in Honghai Bay

春季垂线平均的涨、落潮流平均流速变化范围: 落潮流为 1 ~ 18 cm/s, 涨潮流为 1 ~ 19 cm/s。大潮期落潮流平均流速最大为 14 cm/s, 流向为 106°, 出现在 H11 站, 涨潮流平均流速最大为 7 cm/s, 流向为 73°, 出现在 H3 站; 中潮期落潮流平均流速最大为 10 cm/s, 流向为 63°, 出现在 H3 站, 涨潮流平均流速最大为 14 cm/s, 流向分别为 61°、118°, 分别出现在 H3、H6 站; 小潮期落潮流平均流速最大为 12 cm/s, 流向分别为 237°、294°, 分别出现在 H5、H11 站, 涨潮流平均流速最大为 15 cm/s, 流向为 291°,

出现在 H11 站。在三次观测中, 各站涨落潮平均流速属大潮期最大。总体来看, 离岸站点涨落潮平均流速大于近岸站点涨落潮平均流速。

大潮期垂线平均的落潮流最大流速的变化范围为 15 ~ 36 cm/s, 最大值出现在 H11 站, 流向为 119°, 垂线平均的涨潮流最大流速的变化范围为 19 ~ 42 cm/s, 最大值出现在 H11 站, 流向为 120°。中潮期垂线平均的落潮流最大流速的变化范围为 9 ~ 24 cm/s, 最大值出现在 H10 站, 流向为 115°, 垂线平均的涨潮流最大流速的变化范围为 13 ~ 36

cm/s,最大值出现在 H11 站,流向为 133°。小潮期垂线平均的落潮流最大流速的变化范围为 12 ~ 27 cm/s,最大值分别出现在 H10 站和 H11 站,流向分别为 315°和 304°,垂线平均的涨潮流最大流速的变化范围为 13 ~ 31 cm/s,最大值出现在 H11 站,流向为 297°。

2.2.2 海流在垂向上的分布 由各站实测涨、落潮流最大流速及流向数据可以看出,冬季各站各层涨、落潮流最大流速分布及变化趋势:大潮期,落潮流最大流速为 50 cm/s,流向为 97°,出现在 H7 站表层,涨潮流最大流速为 57 cm/s,流向为 39°,出现在 H7 站表层;中潮期,落潮流最大流速为 51 cm/s,流向为 230°,出现在 H4 站表层,涨潮流最大流速为 42 cm/s,流向为 107°,出现在 H7 站表层;小潮期,落潮流最大流速为 34 cm/s,流向为 155°,出现在 H11 站表层,涨潮流最大流速为 29 cm/s,流向为 280°,出现在 H4 站表层。

春季各站各层涨、落潮流最大流速分布及变化趋势:大潮期,落潮流最大流速为 41 cm/s,流向为 112°,出现在 H11 站表层,涨潮流最大流速为 48 cm/s,流向为 124°,出现在 H11 站 0.2 H 层;中潮期,落潮流最大流速为 28 cm/s,流向为 126°,出现在 H6 站 0.2 H 层,涨潮流最大流速为 40 cm/s,流向为 129°,出现在 H11 站 0.4 H 层;小潮期,落潮流最大流速为 37 cm/s,流向为 321°,出现在 H10 站 0.2 H 层,涨潮流最大流速为 39 cm/s,流向为 317°,出现在 H10 站 0.2 H 层。

由各站实测涨、落潮流平均流速及流向和涨、落潮流最大流速及流向数据可看出,冬季和春季大、中、小潮期三次观测中,海流流速在大部分测

站的最大值出现在表层或 0.2 H 层,流速基本上均自表至底逐渐减小,流向在垂直线上的分布比较一致。

2.2.3 潮流状况 潮流可分为规则的、不规则的半日潮流和规则的、不规则的全日潮流,其判别标准见表 2。

由表 3 可知,冬季在各站的潮型系数中,除 H2 站各层、H7 站 0.8 H、底层外各站各层潮流类型判别数均在 0.50 ~ 2.00 之间,其潮流性质为不规则半日潮流;H2 站 0.4 H 至底层、H7 站 0.8 H 和底层为不规则全日潮流,H2 站表层、0.2 H 层为全日潮流。春季在各站的潮型系数中,H4 站(表层、0.2 H、0.4 H、底层)、H5 站(表层)、H6 站(0.2 H、0.4 H、底层)、H7 站(0.2 H)、H11(0.2 H、底层)各站各层潮流类型判别数均在小于 0.5,其潮流性质为规则半日潮流;H3 站(0.8 H、底层)潮流类型判别数均在 2.00 ~ 4.00 之间,其潮流性质为不规则全日潮流;其余各站各层潮流类型判别数均在 0.50 ~ 2.00 之间,其潮流性质为不规则半日潮流。

表 2 潮流类型判别表

Tab. 2 Discrimination of tidal current types

判别标准	类型
$(W_{O1} + W_{K1}) / W_{M2} \leq 0.5$	规则半日潮流
$0.5 < (W_{O1} + W_{K1}) / W_{M2} \leq 2.0$	不规则半日潮流
$2.0 < (W_{O1} + W_{K1}) / W_{M2} \leq 4.0$	不规则全日潮流
$(W_{O1} + W_{K1}) / W_{M2} > 4.0$	规则全日潮流

注: $(W_{O1} + W_{K1}) / W_{M2}$ 称为潮流类型系数^[13]。通过潮流调和与分析计算出各实测海流观测站的潮型系数。

表 3 冬季、春季各站潮流类型判别数

Tab. 3 Discriminant number of tidal current types at the observation stations in winter and spring

站位	季节	潮流类型系数					
		表层	0.2 H	0.4 H	0.6 H	0.8 H	底层
H1	冬	0.71	0.64	0.70	0.67	0.64	0.64
	春	0.87	0.80	0.80	0.79	0.85	0.98
H2	冬	4.57	4.11	3.05	3.16	3.75	2.64
	春	1.27	1.29	0.78	0.83	0.96	1.05
H3	冬	1.43	1.31	0.88	1.05	1.20	1.34
	春	1.71	1.62	1.82	1.83	2.09	2.59
H4	冬	1.19	1.38	1.10	1.06	1.47	1.46
	春	0.34	0.20	0.35	0.52	0.46	0.44

续表 3

站位	季节	潮流类型系数					
		表层	0.2 H	0.4 H	0.6 H	0.8 H	底层
H5	冬	0.89	1.13	1.71	1.68	1.25	1.57
	春	0.45	0.53	0.65	0.78	0.75	0.68
H6	冬	1.31	1.08	1.26	1.11	1.12	1.07
	春	0.51	0.32	0.32	0.55	0.51	0.45
H7	冬	1.99	1.77	1.69	1.89	2.40	2.04
	春	0.62	0.43	0.67	0.57	0.54	0.72
H8	冬	1.37	1.36	1.46	1.39	1.28	1.12
	春	0.57	0.66	0.75	0.72	0.67	0.65
H9	冬	0.52	0.55	0.65	0.57	0.65	0.64
	春	0.61	0.55	0.80	0.88	0.90	0.86
H10	冬	0.93	0.91	0.70	0.76	0.79	0.98
	春	0.71	0.63	0.77	0.71	0.66	0.61
H11	冬	1.23	1.08	1.25	1.28	1.16	1.14
	春	0.51	0.35	0.59	0.56	0.53	0.43

①潮流的运动形式。潮流的运动形式分旋转流和往复流,通常以椭圆率 K 的绝对值大小来判断,当 $|K|=1$ 时,潮流椭圆成圆形,各方向流速相等,为纯旋转流;当 $|K|=0$ 时,潮流椭圆为一横线,海水在一横线上往返流动,为典型往复流。 $|K|$ 值通常在 0~1 之间, $|K|$ 值越大,旋转流的形式越显著, $|K|$ 值越小,往复流的形式越显著^[14]。

由于观测海域为半日潮流类型,因此,除 H2 站外主要以 M2 分潮流的椭圆率来对潮流运动形式作近似分析。各分潮流椭圆率计算结果见表 4。潮流的旋转方向,通常是以旋转率 K 前面的符号来判断。 K 前面为“+”,表示潮流逆时针旋转(左旋), K 前面为“-”,说明潮流是顺时针旋转(右旋)。

由表 4 可知,各站的潮流椭圆率 $|K|$ 值均较小,冬季 H3、H6、H7、H8、H9、H10、H11 站以往复流为主,H1、H2、H4、H5 站潮流运动具有一定旋转性;春季 H1、H2、H5、H6、H7、H8、H9、H10、H11 站以往复流为主,H3、H4 站潮流运动则具有一定旋转性。

因研究海域是半日潮流为主海域,讨论潮流的旋转方向时,可以 M2 分潮流的 K 值变化来讨论各站各层的潮流旋转方向。冬季 H1、H4、H5、H6、H9 站为逆时针旋转,H2、H7、H8、H10 站为顺时针旋转,其他各站各层潮流旋转方向不一致;春季 H2、H3、H4 站为逆时针旋转,H1、H5、H6、H8、H10 站为顺时针旋转,其他各站各层潮流旋转方向不一致。

表 4 冬季、春季各站各层主要分潮流的 k 值表

Tab.4 K-value of the component currents of each layer at observation stations in winter and spring

站位	季节	K 值					
		表层	0.2 H	0.4 H	0.6 H	0.8 H	底层
H1	冬	0.25	0.22	0.22	0.22	0.23	0.27
	春	-0.02	-0.04	-0.05	-0.03	-0.04	-0.02
H2	冬	-0.25	-0.50	-0.28	-0.26	-0.38	-0.14
	春	0.10	0.07	0.11	0.06	0.15	0.20

续表 4

站位	季节	K 值					
		表层	0.2 H	0.4 H	0.6 H	0.8 H	底层
H3	冬	0.05	0.08	-0.01	0.11	0.23	0.33
	春	0.13	0.47	0.27	0.20	0.12	0.17
H4	冬	0.30	0.26	0.22	0.34	0.65	0.50
	春	0.14	0.20	0.28	0.17	0.11	0.12
H5	冬	0.66	0.60	0.44	0.22	0.30	0.28
	春	-0.23	-0.20	-0.19	-0.18	-0.24	-0.32
H6	冬	0.19	0.05	0.18	0.18	0.22	0.24
	春	-0.09	-0.07	-0.07	-0.08	-0.06	0.06
H7	冬	-0.03	-0.03	-0.11	-0.20	-0.03	-0.06
	春	-0.01	0.02	-0.04	0.05	-0.01	0.12
H8	冬	-0.28	-0.30	-0.32	-0.30	-0.30	-0.29
	春	-0.04	-0.05	-0.07	-0.11	-0.08	-0.04
H9	冬	0.12	0.05	0.08	0.05	0.17	0.26
	春	-0.15	-0.13	0.05	0.03	0.01	0.11
H10	冬	-0.14	-0.12	-0.08	-0.06	-0.09	-0.22
	春	-0.13	-0.18	-0.16	-0.15	-0.13	-0.04
H11	冬	0.10	-0.12	-0.10	-0.25	-0.08	-0.04
	春	-0.01	-0.06	-0.08	-0.05	0.04	0.07

② 潮流的可能最大流速。规则半日潮流海区:

$$\vec{V}_{max} = 1.29\vec{W}_{M_2} + 1.23\vec{W}_{S_2} + \vec{W}_{K_1} + \vec{W}_{O_1} + \vec{W}_{M_4} + \vec{W}_{MS_4} \quad (1)$$

规则全日潮流海区:

$$\vec{V}_{max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.68\vec{W}_{K_1} + 1.46\vec{W}_{O_1} \quad (2)$$

式(1~2)中: \vec{W}_{M_2} 、 \vec{W}_{S_2} 、 \vec{W}_{K_1} 、 \vec{W}_{O_1} 、 \vec{W}_{M_4} 、 \vec{W}_{MS_4} 分别表示 M_2 、 S_2 、 O_1 、 K_1 、 M_4 、 MS_4 分潮流的最大流速。按规则半日潮流海区的公式计算,由计算结果得出冬季研究区潮流最大可能流速在 7~53 cm/s 之间。最大可能流速最大值出现在 H11 站 0.2H 层;春季研究区潮流最大可能流速在 10~36 cm/s 之间。最大可能流速最大值出现在 H11 站 0.4 H 层。

③ 潮流水质点最大可能运移距离。规则半日潮流海区:

$$\vec{L}_{max} = 183.6\vec{W}_{M_2} + 169.1\vec{W}_{S_2} + 274.3\vec{W}_{K_1} + 295.9\vec{W}_{O_1} + 71.2\vec{W}_{M_4} + 69.9\vec{W}_{MS_4} \quad (3)$$

规则全日潮流海区:

$$\vec{L}_{max} = 142.3\vec{W}_{M_2} + 137.5\vec{W}_{S_2} + 460.8\vec{W}_{K_1} + 432.0\vec{W}_{O_1} \quad (4)$$

按半日潮流海区的公式计算,计算结果显示冬季研究区水质点的最大可能运移距离在 1 056.2~9 214.0 m 之间,春季研究区水质点的最大可能运移距离在 1 676.2~5 937.9 m 之间。水质点可能最大运移距离的远近与潮流最大可能流速的大小是相对应的,潮流最大可能流速越大,水质点最大可能运移距离就越远。

2.2.4 余流 按调和分析得出观测期间各测站的余流情况^[15],冬季观测海域大潮期各站各层余流流速在 1.2~17.0 cm/s 之间,最大余流流速出现在 H11 站表层,流向为 253°;中潮期各站各层余流流速在 1.5~28.1 cm/s 之间,最大余流流速出现在 H4 站表层,流向为 252°;小潮期各站各层余流流速在 2.8~13.3 cm/s 之间,最大余流流速出现在 H3 站表层,流向为 242°。大潮期和中潮期各站余流流向整体为偏西向。小潮期,湾西侧余流流向偏西向,

湾东侧余流流向偏南东向(图4)。

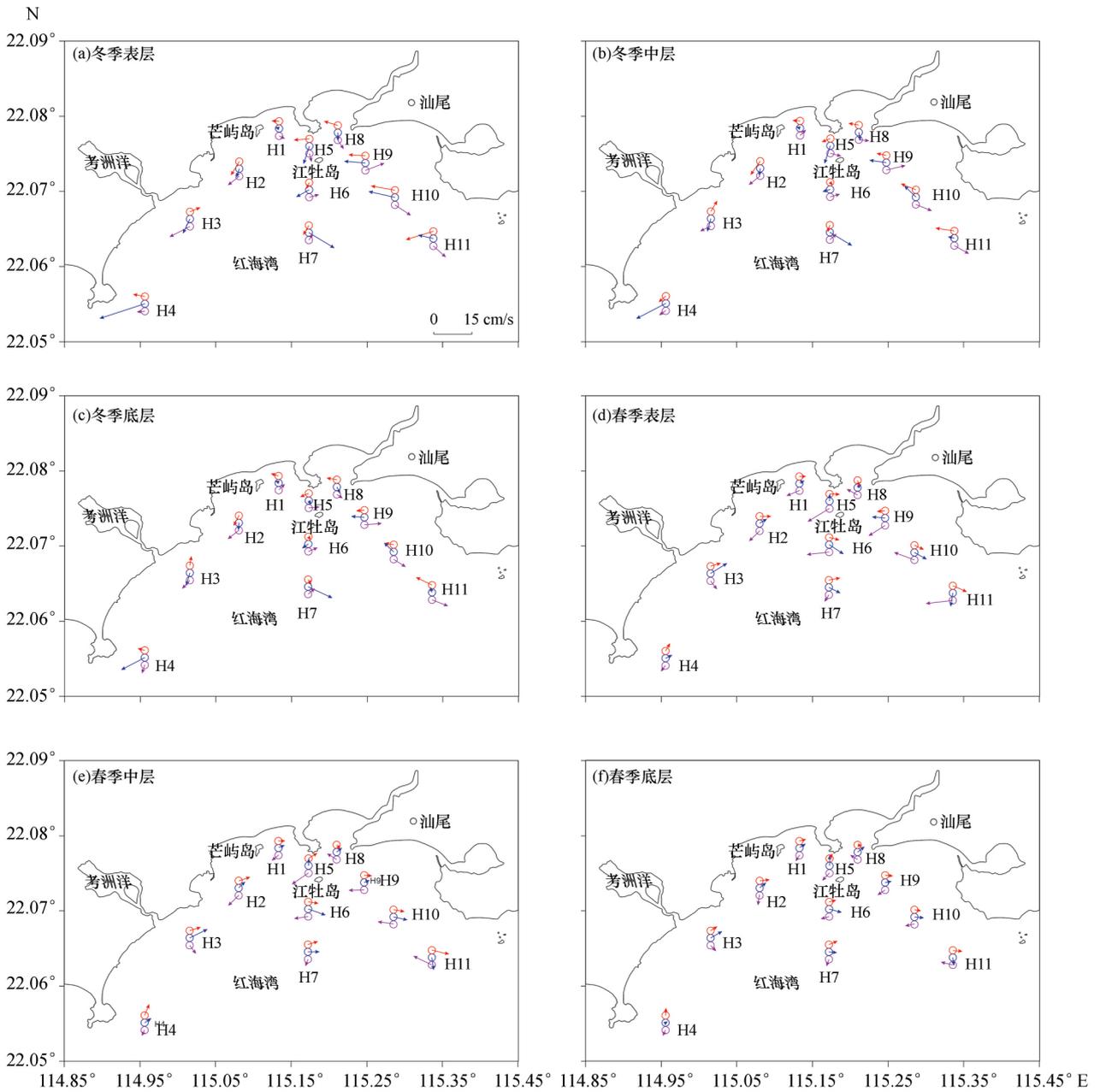


图4 冬季、春季各站余流矢量图

Fig.4 Surface, middle and bottom residual current vector maps of the observation stations in winter and spring
红色表示大潮,蓝色表示中潮,紫色表示小潮。

春季大潮期各站各层余流流速在 1.7 ~ 10.1 cm/s 之间,最大余流流速出现在 H11 站 0.6 H 层,流向为 103°;中潮期余流流速在 1.2 ~ 12.0 cm/s 之间,最大余流流速出现在 H3 站 0.6 H 层,流向为 63°;小潮期各站各层余流流速在 2.7 ~ 18.7 cm/s 之间,最大余流流速出现在 H11 站 0.2 H 层,流向为 297°。大潮期和中潮期各站余流流向整体为偏东向。小潮期,除 H3 站偏向南东向,其余余流流向偏西向。

垂向上各层余流流速由表至底逐渐减小,流向

基本一致。

3 结论

本研究利用 2016 年冬季至 2017 年春季的潮流资料,分析了红海湾海区海流特征,结果如下:

- (1) 红海湾海区属于不规则半日潮流主导的海域。潮流性质大部分站位属往复流,少数站位潮流运动具有一定的旋转性。
- (2) 海流流向受地形和风的影响而出现变化。

冬季,最大平均涨潮流为 21 cm/s,最大平均退潮流为 25 cm/s;春季,最大平均涨潮流为 15 cm/s,最大平均退潮流为 14 cm/s。

(3) 冬季在各站的潮型系数中,除 H2 站各层、H7 站 0.8 H、底层外各站各层潮流类型判别数均在 0.50~2.00 之间,其潮流性质为不规则半日潮流;H2 站 0.4 H 至底层、H7 站 0.8 H 和底层为不规则全日潮流,H2 站表层、0.2 H 层为全日潮流;春季在各站的潮型系数中,H4 站(表层、0.2 H、0.4 H、底层)、H5 站(表层)、H6 站(0.2 H、0.4 H、底层)、H7 站(0.2 H)、H11(0.2 H、底层)各站各层潮流类型判别数均小于 0.50,其潮流性质为规则半日潮流;H3 站(0.8 H、底层)潮流类型判别数均在 2.00~4.00 之间,其潮流性质为不规则全日潮流;其余各站各层潮流类型判别数均在 0.50~2.00 之间,其潮流

性质为不规则半日潮流。

(4) 冬季测区潮流最大可能流速在 7~53 cm/s 之间。最大可能流速最大值为 53 cm/s,出现在 H11 站 0.2 H 层。水质点的最大可能运移距离在 1 056.2~9 214.0 m 之间;春季测区潮流最大可能流速在 10~36 cm/s 之间。最大可能流速最大值为 36 cm/s,出现在 H11 站 0.4 H 层。水质点的最大可能运移距离在 1 676.2~5 937.9 m 之间。

(5) 冬季大潮期和中潮期各站余流流向整体为偏西向。小潮期,湾西侧余流流向偏西向,湾东侧余流流向偏南向;春季大潮期和中潮期各站余流流向整体为偏东向。小潮期,除 H3 站偏向南向,其余余流流向偏西向。冬季最大余流流速可达 17.0 cm/s,春季最大余流流速可达 10.1 cm/s。

参考文献:

- [1] 刘广平,何伟宏,邹晓理,等. 红海湾西北海区海流特征分析[J]. 热带海洋学报,2018,37(5): 40-49.
- [2] 俞慕耕. 南海潮汐特征的初步探讨[J]. 海洋学报,1984,6(3): 293-300.
- [3] 黄企洲. 南海的深层海流观测[J]. 海洋湖沼通报,1982(2): 74.
- [4] 管秉贤. 南海北部冬季逆风海流的一些时空分布特征[J]. 海洋与湖沼,1985,16(6): 429-438.
- [5] 邱章,方文东. 南海北部春季海流的垂向变化[J]. 热带海洋,1999,18(4): 33-40.
- [6] 王卫强,王东晓,施平,等. 南海季风性海流的建立与调整[J]. 中国科学(D辑:地球科学) 2002,32(12): 995-1002.
- [7] 王江伟,梁广建,叶丽娜. 南海海洋环流的诊断计算[J]. 海洋测绘,2007,27(1): 63-65.
- [8] 吴仁豪,蔡树群,王盛安,等. 大亚湾海域潮流和余流的三维数值模拟[J]. 热带海洋学报,2007,26(3): 18-23.
- [9] 司广成,侯一筠. 南海北部东沙岛附近的内潮和余流特征[J]. 海洋与湖沼,2012,43(1): 10-16.
- [10] 夏综万,廖世智,冯砚青. 粤东甲子海域潮波异常和南海北部潮波的传播[J]. 海洋学报,2013,35(1): 1-8.
- [11] 余学芳,朱嵩,李继选. 海湾潮流运动的三维数值模拟研究[J]. 人民黄河,2016,38(3): 22-29.
- [12] 许婷,曹永港. 南海海洋环流季节变化的数值模拟研究[J]. 海岸工程,2017,36(1): 62-71.
- [13] 吴德安,马林芝. 江苏辐射沙洲水道含沙量变化动力响应[J]. 泥沙研究,2010(5): 32-40.
- [14] 方国洪,郑文振,宗鏞,等. 潮汐和潮流分析和预报[M]. 北京: 海洋出版社,1986: 57-80.
- [15] 张静,孙省利,吴灶和,等. 广东流沙湾 4 个测站 2 个周日潮流观测的准调和解析[J]. 台湾海峡,2010,29(3): 408-413.

Seasonal characteristics of currents in Honghai Bay , Guangdong Province

WANG Chun-yang¹, ZHANG Yong-qiang^{2,3*}, WANG En-kang^{2,3}, JIN Yong-de²

(1. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Corp., Ltd, Ji'nan 250100, China;

2. First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China;

3. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: Based on the current data in spring and winter of 2017, the characteristics of currents, tidal current status, fluctuation tidal currents, residual currents and surface drifts in Honghai Bay are analyzed. Base on the observations at 3 temporary tidal level observation stations and 11 whole tide hydrologic observation stations in the study area, it is found that the relationship between the maximum and minimum velocity of the rising (falling) tidal cur-

rent and the tidal level is not fixed at the high (low) tide or at the left or right side of the tidal level according to the relationship among the velocity of flow , the curve of flow direction and the curve of tidal level. It can be seen that tidal wave , dominated by the irregular half-day tidal current , is located between standing wave and forward wave. The nature of tidal current is mostly reciprocating except for a certain degree of rotation at some sites. The average rising current is up to 7 cm/s and the average backward current is up to 14 cm/s. The residual flow direction during spring tide and mid-tide in spring is E-direction generally. During the low tide , the residual flow direction is to the west except for the SE inclining current at a few stations. The residual flow direction is westward as a whole during spring tide and mid tide in winter. In the west of the bay the residual flow directs to the west in contrast to the east of the bay where it flows to the SE. Vertically , the velocity of residual flow decreases gradually from the surface to the bottom and the flow direction is basically the same.

Key words: marine geology; current; tidal residual current; Honghai Bay

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2020. 04. 004

(责任编辑: 肖 静)