

烟墩角海域二测站周日水温及潮流变化特征

郝佳佳^{1,2}, 林鹏飞², 温小虎³, 王 德³

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029; 3. 中国科学院 烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 为加深对山东半岛东部养殖区的海流、海温变化特征, 及其与该地区生态特征分布之间关系的认识, 应用短期资料的潮流准调和分析方法, 计算了烟墩角海域两个测站的 O_1 , K_1 , M_2 , S_2 , M_4 , MS_4 6 个主要分潮的北、东分量潮流调和常数, 并给出了各测站在各层的潮流椭圆要素。结果表明: 该海区水温呈现层化结构, 在 1 天内呈现两个波动, 与 N-S 向潮流变化关系密切。海区除湾内表层外属日潮性质外, 潮流属于正规半日潮流性质, 半日分潮流的北分量大于东分量, 呈现典型往复流特征, 最大流向多为南北向。分析结果也反映出表层、中层的浅水分潮在观测海流中所占的份额高于底层的浅水分潮。

关键词: 烟墩角; 潮流; 准调和; 调和常数; 椭圆要素

中图分类号: P717; P722.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)04-0121-05

烟墩角位于山东半岛东部荣成市内, 属小港湾, 总面积约 0.25 km², 呈“布袋”形式, 北与养鱼池毗邻, 南与俚岛湾毗邻, 东南开口朝向黄海, 湾口介于大黑石与崮山头之间, 宽 1 800 m。烟墩角是我国北方重要的渔业养殖基地, 渔港位于临洛湾北部, 港内水深 4~7 m, 2 m 等深线距岸 300 m, 底质大部为泥沙及沙, 间有石底, 可供锚泊水域 0.52 km², 能同时提供 200 余条渔船锚泊^[1]。港湾东岸是一海拔约 200 m 的山丘, 可以屏蔽冬季我国北部外海的西北季风, 水面安静, 是大天鹅最理想的生存环境之一^[2]。因此, 该海域的海岸带生态发展问题受到多方面的关注^[3-4]。

2010 年 7 月, 中国科学院烟台海岸带研究所 在烟墩角进行海洋综合调查时, 在海湾内部 A 站(37°17'32.3"N, 122°33'57.2"E)和外部 B 站(37°17'9.8"N, 122°35'7.5"E)分别进行了 25 h 的定点连续水温、流速、流向观测, 所使用仪器为 ALEC ELECTRONICS 公司的 INFINITY-EM 海流计。本文利用二测站的周日水温和海流观测资料, 对该海区的潮流进行调和与分析, 以便进一步得出该海区水温垂向变化以及潮流的一些特征。

1 观测资料及处理方法

分别在 A 测站表层和底层进行连续观测, 观测时间自 2010 年 7 月 3 日 13:30 至 7 月 4 日 14:30, 持

续两个潮周期; 分别在 B 测站表层和底层进行连续观测, 自 2010 年 7 月 3 日 13:00 至 7 月 4 日 14:00, 也进行了两个潮周期的观测。观测程序严格按照《海洋调查规范》^[5], 测站信息见表 1。

表 1 海流观测信息一览表

Tab. 1 List of current observation information

站位	层次	资料数量 (个)	取样频率 (次/s)
A	表层	90060	1
	底层	90060	1
B	表层	90060	1
	底层	90060	1

由于原始记录带有扰动信息, 需对原始海流观测资料进行质量控制, 滤去不合理的值。参考王凯和叶冬^[6]的具体做法: 分别计算东分量和北分量在 1 min 观测时段内的均值和标准差, 剔除偏离 3 倍标准差的数据, 再对这些 1 h 内的观测数据进行平均构成常规 1 次/h 的海流观测结果。每个站点在每层进

收稿日期: 2010-09-07; 修回日期: 2012-02-07

基金项目: 国家 973 计划项目(2010CB428904); 国家自然科学基金项目(41106026); 中国科学院海洋环流与波动重点实验室开放基金项目(KLOCAW0902)

作者简介: 郝佳佳(1981-), 男, 山东潍坊人, 助理研究员, 博士, 从事中国近海水文分析与模拟, 电话: 0532-82898681, E-mail: haojjia@qdio.ac.cn

行的 25 h 观测可得 25 个数据, 所得 1 次/h 的观测数据见图 1, 其中 U 为流速北分量, V 为流速南分量。水温资料的处理同海流资料(图 1)。由于是周日观测, 资料时间序列比较短, 通过引入差比关系, 可对上述海流观测资料进行潮流的准调和和分析^[6-8], 获得每一测点每层的 $O_1, K_1, M_2, S_2, M_4, MS_4$ 等 6 个主要分潮流的调和常数和观测期间的余流值。获得的潮流调和常数列于表 2 中, 相应的潮流椭圆要素列于表 3 中。

2 二测站的水温及流况特征

2.1 水温及海流过程曲线

从图 1 水温变化过程来看, 该海域内海水具有明显的层化特征, 其中湾外 B 站点在一天内, 海温

呈现两个波动, 底层水温在 14:00 和 2:00 时最低, 此时海水层化最强, 在 18:00 和 5:00 时最高, 此时海水层化最弱。可以看到它们分别近似对应于南向流速最大和北向流速最大的时刻。南向流将北部海域具有较低温度的海水带到这一海域, 引起海温的降低, 层化变强, 而北向流时情况刚好相反。湾外 B 站点水温变化过程的另一个显著特征是, 底层水温变化大于表层水温变化, 这可能主要是由该处水温的水平梯度变化引起的。夏季, 表层海温在外海(相对而言)和近海相差不大, 但在底层, 由于近岸混合强烈, 而外层层化较强, 引起底层海水的水平变化一般会强于表层。因此, 在较强的底层平流作用下, 底层水温变化要大于表层。

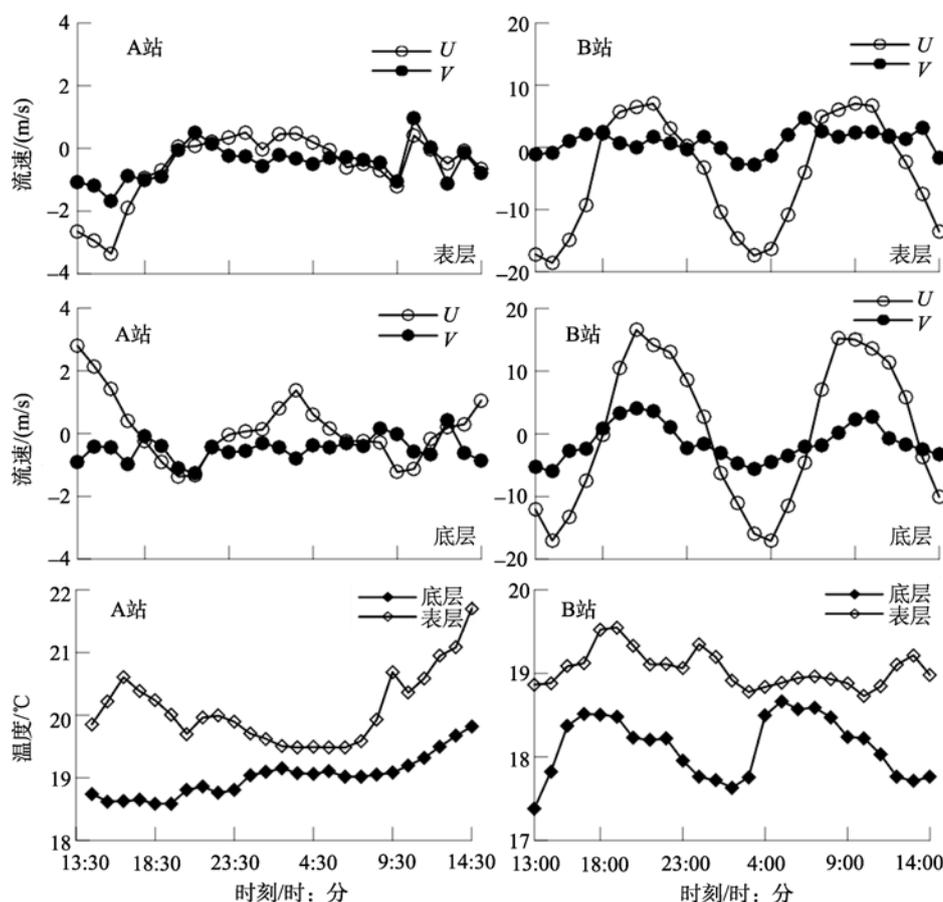


图 1 A 站和 B 站每小时平均观测海流与海温数据

Fig. 1 Averaged current and temperature per hour at stations A and B

由图 1 流速变化曲线可以看出, 湾内与湾外明显呈现不同的变化过程。湾外 B 站点在一天的变化过程中, 流速、流向呈现两个波动结构, 在 20:00 和 9:00 处于北(东)向最大值, 14:00 和 4:00 处于南(西)

向最大值, 即说明这一海域是以半日潮流为主。而湾内 A 站点表层海流无明显周日波动, 底层流呈现两个波动, 在 13:30 和 3:30 处于北(东)向最大值, 21:30 和 9:30 处于南(西)向最大值, 与湾外海流波动过程

正好相反。这可能主要是由于湾内岸线复杂,水深较浅,容易受到各种障碍物的影响,与湾外呈现不同的变化过程。总体上说,该海域内(特别是 B 站点)北分量基本上大于东分量,其中北分量的变化幅度明显大于东分量的变化幅度。湾外 B 站点表、底潮流有明显差异,底层流明显大于表层流,且方向有一定差异。

2.2 潮流调和常数

由表 2,比较二测站的潮流调和常数,除湾内 A 点表层外,总的来说是以半日潮流为主,该海域北、东分量的半日潮流振幅均大于全日潮流的北、东分量,说明这一海域半日潮流占据主要地位,呈现半日潮流的性质。对半日分潮流(M_2, S_2)各测站各层的结果均体现北分量大于东分量。对于全日潮流($K_1,$

O_1)湾内 A 站点呈现北分量大于东分量,而湾外呈现东分量大于北分量的结果。浅水分潮 M_4 和 MS_4 湾内 A 测站深层上东分量大于北分量,其他站点层次上处于北分量大于东分量的状态。所以虽然有些测站某些水层上东分量大于北分量,但由于此海域半日潮流占主导地位,因而无法改变北分量海流大于东分量海流的结果。

对比各层余流的结果,一般表层的余流较大。湾外 B 站的余流是 2 个测站中最大的一个,其表层余流达 4.3 cm/s,底层只有 1.5 cm/s。表层余流的北分量大于东分量,而底层的北分量余流小于东分量。湾内 A 站表层余流 0.6 cm/s,底层为 0.5 cm/s。表层余流的北分量大于东分量,而底层的北分量余流小于东分量。总体上看,该海域内余流较小,表层余流表现为南偏西或偏东,而底层余流表现为北偏西。

表 2 A, B 连续站潮流调和常数

Tab. 2 Harmonic constants of tidal current at Stations A and B

站 位	水 层	分 量	振幅(cm/s)						迟角(°)						余流 (cm/s)
			O_1	K_1	M_2	S_2	M_4	MS_4	O_1	K_1	M_2	S_2	M_4	MS_4	
A	表 层	北	1.1	159.8	1.5	205.8	0.8	151.5	0.3	200.5	0.4	87.8	0.2	136.8	-0.5
		东	0.3	165.8	0.4	211.8	0.5	142.8	0.2	191.8	0.2	250.6	0.1	299.6	-0.4
	底 层	北	0.4	326.1	0.5	12.1	1.6	281.0	0.5	330.0	0.2	238.3	0.1	287.3	0.1
		东	0.3	245.3	0.4	291.3	0.1	99.9	0.1	148.9	0.3	44.3	0.2	93.3	-0.5
B	表 层	北	0.2	263.9	0.3	309.9	15.4	83.1	5.2	132.1	2.8	33.1	1.8	82.1	-4.3
		东	1.1	267.7	1.5	313.7	1.8	64.8	0.6	113.8	2.1	335.5	1.4	24.5	0.9
	底 层	北	0.7	315.7	1.0	1.7	19.8	94.4	6.7	143.4	2.1	78.1	1.4	127.1	0.3
		东	1.1	33.0	1.5	79.0	4.5	77.9	1.5	126.9	0.7	120.6	0.4	169.6	-1.5

2.3 潮流椭圆要素

为进一步分析潮流的一些特征,分别计算出二测站在表、底层上 $O_1, K_1, M_2, S_2, M_4, MS_4$ 6 个主要分潮的潮流椭圆要素,列于表 3 中,潮流椭圆示意图见图 2。下面对计算所得各层的潮流椭圆要素结果进行进一步的比较和分析。

对于湾外 B 站点,计算潮流性质 $F = (W_{K_1} + W_{O_1}) / W_{M_2}$ [9] 可以得到表、底两层 F 值分别为 0.2 和 0.1,说明该海域属于正规半日潮流区。表、底均以 M_2 潮流占优,最大流速分别可达 15.5 和 20.2 cm/s,最大流速方向以北向偏东(NE)为主,最大流发生时刻从表层到底层基本一致,底层大约晚 0.3 h。通过计算最大可能流速 $V_{max} = 1.295W_{M_2} + 1.245W_{S_2} + W_{K_1} + W_{O_1} + W_{M_4} + W_{MS_4}$ [9], 得出该海域表、底层最大可能流速分别为 34.4 cm/s 和

41 cm/s。计算所得表层全日潮和半日潮椭圆率较小,为典型的往复流(图 2)。底层半日潮椭圆率较小,全日潮为负值,说明底层潮流以往复流为主,以旋转流为副。浅海中一般用 $G = (W_{M_4} + W_{MS_4}) / W_{M_2}$ [9] 的大小作为衡量浅水分潮流在总海流中影响的指标,计算可得 G 值在表、底层分别为 0.32 和 0.18,说明底层浅水分潮在总海流所占份额要比表层相应浅水分潮占有的份额为小,意味着浅水分潮在底层衰减的要比半日分潮来得大。

对于湾内 A 站点,计算潮流性质可以得到表、底两层 F 值分别为 2.8 和 0.6,说明该海域表层属于全日潮流,底层属于不正规半日潮流区。表层以 K_1, O_1 潮流为主,底层以 M_2 潮流占优,最大流速均为 1.6 cm/s,最大流速方向以南向(S)为主,湾内底层流速达到最大值的时刻要比表层早 1.6 h 左右。通过计

算得出该海域表、底层最大可能流速分别为 5.2 cm/s 和 4.1 cm/s。计算所得表层全日潮和半日潮椭圆率较小, 为典型的往复流。底层半日潮椭圆率较小, 全日潮为正值, 说明底层潮流以往复流为主, 以旋转流为副。计算得 G 值在表、底层分别为 0.7 和 0.3, 说

明底层浅水分潮在总海流所占份额要比表层相应浅水分潮占有的份额为小, 意味着浅水分潮在底层衰减的要比半日分潮来得大。同时 A 站点 G 值明显大于 B 站点, 说明 A 站浅水分潮的份额比 B 测站在总海流中占有稍大一些的份额。

表 3 A, B 连续站潮流椭圆要素

Tab. 3 Tidal current ellipse elements at stations A and B

站位	水层	分潮	最大流速 (cm/s)	最小流速 (cm/s)	椭圆率	最大流发生 时刻(时)	最大流方向 (°)	潮流性质 $(W_{K_1} + W_{O_1})/W_{M_2}$			
A	表层	O ₁	1.2	0.03	-0.03	19.5	14.7	2.8			
		K ₁	1.6	0.04	-0.03	9.7	194.7				
		M ₂	1.0	0.06	0.06	13.1	30.6				
		S ₂	0.3	0.02	0.07	8.6	210.6				
		M ₄	0.4	0.06	-0.15	9.4	330.3				
		MS ₄	0.3	0.04	-0.13	10.2	330.3				
	底层	O ₁	0.4	0.3	0.75	17.7	194.5	0.6			
		K ₁	0.5	0.4	0.80	8.1	14.5				
		M ₂	1.6	0.002	0.00	11.5	177.1				
		S ₂	0.5	0.001	0.00	13.0	177.1				
		M ₄	0.3	0.04	-0.13	8.9	130.8				
		MS ₄	0.2	0.03	-0.15	9.7	130.8				
		B	表层	O ₁	1.1	0.02	-0.02		14.3	257.7	0.2
				K ₁	1.6	0.02	-0.01		16.9	257.7	
M ₂	15.5			0.6	0.04	10.9	6.4				
S ₂	5.3			0.2	0.04	12.4	6.4				
M ₄	3.0			1.6	0.53	8.3	31.9				
MS ₄	2.0			1.0	0.50	9.1	31.9				
底层	O ₁		1.1	0.7	-0.64	9.8	77.8	0.1			
	K ₁		1.6	0.9	-0.56	12.8	77.8				
	M ₂		20.2	1.3	0.06	11.2	12.5				
	S ₂		6.9	0.4	0.06	12.8	12.5				
	M ₄		2.2	0.5	-0.23	9.4	14.1				
	MS ₄		1.4	0.3	-0.21	10.2	14.1				

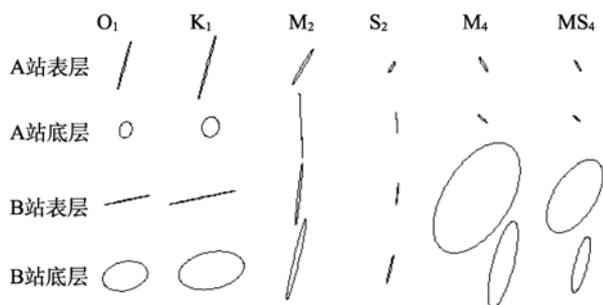


图 2 潮流椭圆示意图

Fig. 2 Tidal current ellipses

B 站 M₂, S₂ 分潮椭圆半径为原始值的 10%

radiuses of the M₂, S₂ at station B are 10% of the initial values

3 结论

本文利用便携式 INFINITY-EM 海流计在烟墩角海域二测站的周日水温和海流观测资料, 对该海区的潮流进行调和和分析, 得出了该海区水温垂向变化以及潮流的一些特征, 将有助于加深对该海域的流场特征的认识, 并为潮流数值模拟提供了校验的实测数据, 进一步与同期获得的营养盐和生物量数据的比对, 将有助于研究海流、海温变化与该地区生态特征分布之间的关系。

该海域内海水具有明显的层化特征, 在一天内,

海温呈现两个波动, 主要受 N-S 向半日潮流的影响。底层水温变化大于表层水温变化, 这可能主要是由于该处水温的水平梯度变化以及底层流大于表层流引起的。由流速变化曲线可以看出, 湾内与湾外明显呈现不同的变化过程。湾外 B 站点在一天的变化过程中, 流速、流向呈现两个波动结构。总体上说, 该海域内观测海流的北分量大于东分量, 其中北分量的变化幅度明显大于东分量的变化幅度。湾外 B 站点表、底潮流有明显差异, 底层流明显大于表层流, 且方向有一定差异。

由二测站的潮流调和可以发现, 该海域北、东分量的半日潮流振幅均大于全日潮流的北、东分量, 说明该海域以半日潮流为主, 同时半日分潮流各测站各层的结果均体现北分量大于东分量。对比各层余流的结果, 一般表层的余流较大。湾外 B 站的余流最大, 其表层余流达 4.3 cm/s, 底层为 1.5 cm/s。湾内 A 站表层余流 0.6 cm/s, 底层为 0.5 cm/s。总体上看, 该海域内余流较小, 表层余流表现为南偏西或偏东, 而底层余流表现为北偏西。

通过比较分析各测站各分层的潮流椭圆要素结果, 表明该海域除湾内 A 站点表层外, 均属于半日潮流性质, 湾外最大可能流速为 34.4 cm/s 和 41 cm/s, 明显大于湾内最大可能流速。湾内 A 站点以往复流为主, 流向为北偏东为主, 而湾外 B 站点以往复流

为主, 旋转流为辅, 流向以南向为主。通过计算浅水分潮指标, 反映出浅水分潮在底层衰减的要比半日分潮大, 浅水分潮在表层的总海流中所占份额高于底层的浅水分潮。

参考文献:

- [1] 山东省荣成市地方志编纂委员会. 荣成市志[M]. 济南: 齐鲁书社, 1999.
- [2] 李安市, 李月伟, 耿学磊, 等. 烟墩角大天鹅受到人类影响并产生适应性[J]. 科技信息, 2008, 22: 514-516.
- [3] 张定民, 缪国荣, 杨清明. 沿岸流与海带养殖关系的研究 II. 流速对海带生长的影响[J]. 山东海洋学院学报, 1986, 16(4): 180-186.
- [4] 王大建, 宋云杰, 郭旭强. 荣成海岸带生态保护与多经济种资源修复技术研究[J]. 齐鲁渔业, 2009, 26(11): 21-22.
- [5] 国家技术监督局. 海洋调查规范——海洋调查资料处理(GB12763.7-91)[M]. 北京: 中国标准出版社, 1991: 104-120.
- [6] 王凯, 叶冬. 东海三定点周日海流观测的准调和分潮分析[J]. 海洋科学, 2007, 31(8): 18-25.
- [7] 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潮分析[J]. 海洋科学, 2002, 26(7): 50-53.
- [8] 方国洪. 潮汐分析和预报的准调和分潮方法 III. 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.
- [9] 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.

One-day current and temperature variations at two anchored stations near Yandunjiao

HAO Jia-jia^{1,2}, LIN Peng-fei², WEN Xiao-hu³, WANG De³

(1. Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. Yantai Institute of Coastal Zone Research, the Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Received: Sep., 7, 2010

Key words: Yandunjiao; tidal current; quasi-harmonic analysis; harmonic coefficient; elliptic element

Abstract: We analyzed water characteristics based on water temperatures and tidal current at Yandunjiao. To collect these data, we observed the surface and bottom water layers for 25 hours. Using the tidal current quasi-harmonic method for short term data, we calculated the harmonic coefficients of O_1 , K_1 , M_2 , S_2 , M_4 and MS_4 tidal current constituents in north and east components, along with the tidal current elliptic factors. The sea water showed stratification with two fluctuations, which was closely related with the N-S tidal currents. The tidal current in the studied area was classified as regular semidiurnal current, except the surface layer in the Yandunjiao Bay. The north component of semidiurnal current was generally stronger than the east one from our result. The semidiurnal current was reversing current in our observed area with the N-S direction. The ratio of shallow water tidal current constituent to observed current in surface layer was greater than that of the bottom one.

(本文编辑: 刘珊珊)