

平潭海域定点实测海流资料分析

陈金瑞¹, 李雪丁¹, 郭民权¹, 陈凌彦², 林梅辉¹, 陈剑桥¹

(1. 福建省海洋预报台, 福建 福州 350003; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098)

摘要: 利用2014年8月11日—2015年3月19日布放在平潭海域海床基海流调查资料, 通过调和分析、EOF分解和低通滤波等方法, 对海流剖面分布特征进行了分析, 结果表明: 4个主要分潮潮流椭圆主轴方向呈现西南-东北方向; 准定常流呈现出上下两层流速方向相反的垂直空间结构, 以水深32 m处为界, 上层呈现偏南方流动, 下层则呈现偏北方流动, 流向随深度增加不断向左偏; 9月份准定常流垂直结构开始发生变化, 于次年1月份转流深度达到最深; U 、 V 分量第一空间模态方差贡献分别为60.8%、76.5%; 近表层余流随时间的变化与海面风基本一致, 对风的响应非常迅速; 上层余流流速随着水深增加逐渐减小同时滞后的规律, 说明风变化的信号由表层逐渐向下传播且影响逐渐减弱, 传播的深度主要取决于海表面风速的大小。

关键词: 平潭; 海床基; 海流分析; 余流

中图分类号: P731.21 **文献标识码:** A

文章编号: 1003-0239(2016)04-0046-07

1 引言

平潭岛位于福建省东部沿海, 东临台湾海峡, 西隔海坛海峡, 其周边海域岛屿众多, 地形复杂, 加上台湾海峡的狭管效应, 使得附近海域海流复杂, 结构形态多变。随着近年来平潭的开放和开发上升为国家战略, 周边海域的海上活动日益频繁, 船只航行安全等问题日益突出, 开展其周边海域海洋环境的调查研究愈发重要。

针对该海域流系特征, 前人已经做过不少研究: 平潭附近海域的海流具有季节性变化^[1-2], 夏季西南季风控制整个台湾海峡, 使得海水流动的总趋势是向东北方流动, 进而导致平潭附近海域上升流运动; 林培根等^[3]根据2011年夏季台湾海峡的调查资料分析平潭附近海域上升流的变化主要受西南季风的影响, 大概有3 d左右的滞后响应时间; 肖晖等^[4]指出平潭上升流区形成的主要原因是地形抬升、北上海流经向运动和西南季风作用等所致。冬季平潭周边海域主要受浙闽沿岸流控制, 朱大勇^[4]

对“908”台湾海峡西侧沿岸海床基观测资料进行分析, 猜测2007年冬季平潭岛南部海域近底层的暖水来源于黑潮南海分支或者黑潮与南海的混合后并由台湾海峡东侧运移到台湾海峡西侧; 潘爱军等^[5]发现平潭岛外海浙闽沿岸流对冬季风松弛的响应(海流和近海底水温)主要是由于冬季影响中国东南沿海的大气锋面系统过境激发的沿岸向南传播的陆架截获开尔文波引起的, 而非局地风场驱动的埃克曼平流及其产生的向(离)岸水体堆积效应所致。本文旨在总结前人研究成果的基础上, 利用平潭海域定点连续实测海流和海面风资料开展垂向结构特征分析, 加深对平潭海域海流的了解和认识。

2 数据来源

2.1 海流数据

本文所用海流数据由福建省海洋预报台于2015年7月份布设在平潭海域(水深50 m, 见图1)的海床基监测系统^[6]获取。该系统由国家海洋技术

收稿日期: 2015-11-25

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2013BA04B00); 国家海洋局2014年海域使用金福建省海洋预警能力升级改造项。

作者简介: 陈金瑞(1985-), 男, 工程师, 硕士, 从事海洋预报工作。E-mail: chenjinrui0@163.com

中心研发,自带罗盘,能记录海床基的方向、倾斜和摇摆等角度,用于间接监测测量数据的有效性;采用 Nortek 600 KHz AWAC 自底向上测量剖面海流数据,流速测量准确度为 $(\pm 1\% \text{测量值} \pm 1) \text{cm/s}$,流向为 $\pm 5^\circ$,垂向分辨率为2 m/层,测量范围为2—48 m,

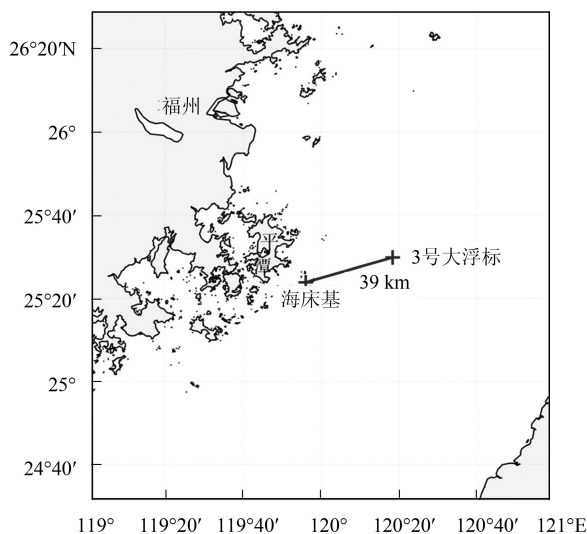


图1 定点观测站位图

采样间隔为1 h,本文选取了各深度上比较完整的2014年8月11日—2015年3月19日的海流数据,有效观测数据达98 %。

2.2 海面风数据

本文所用海面风数据由位于海床基监测系统东偏北方39 km(见图1)的大型海洋环境监测浮标(3号大浮标)获取。该浮标采用 Young 05106 型风速风向传感器测量距海面上方10 m高的风矢量,采样间隔为10 min。选取3号大浮标的海面风数据作为参考主要依据为二者相对较近,观测的海面风数据受陆地影响较小。

3 分析与讨论

3.1 潮流椭圆

平潭附近海域属于强潮区,潮流作用尤为明显。通过调和分析可以将实测海流分解成由不同天文潮的作用引起的流动和非周期性的余流部分^[7],本文采用 Pawlowicz 等^[8]提供的潮流调和分析 Matlab 程序包计算站点的潮流椭圆要素(见表1),椭圆短轴正值表示潮流椭圆逆时针旋转,负值表示

表1 主要分潮潮流椭圆参数

深度/m	分潮											
	长轴/cm				短轴/cm				倾角/ $^\circ$			
	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁
2	19.5	8.0	9.9	6.8	6.9	3.8	-1.4	-1.2	43.3	79.1	24.5	60.4
4	22.2	11.7	9.0	5.3	6.7	3.0	-0.6	-1.2	54.8	66.5	36.0	51.1
6	34.1	12.5	9.2	5.9	9.6	2.6	-0.6	-0.7	62.5	65.3	50.4	60.6
8	41.4	13.4	12.0	7.2	11.1	2.8	-1.0	-0.3	61.7	64.0	55.6	56.9
10	45.6	15.8	13.6	9.3	11.1	3.0	-1.0	-0.2	61.4	63.7	55.9	54.3
12	45.8	15.9	13.7	9.4	10.8	3.0	-0.7	-0.3	60.9	62.8	55.7	54.6
14	46.1	15.9	13.5	9.5	10.6	3.1	-0.5	-0.5	60.5	62.3	57.1	55.1
16	46.1	15.9	13.4	9.4	10.7	3.0	-0.3	-0.3	60.1	62.0	56.5	55.3
18	46.2	16.0	13.1	9.6	10.4	3.0	0.1	-0.4	59.6	61.6	56.5	54.6
20	46.3	15.9	12.9	9.5	10.3	3.0	0.6	-0.3	59.2	61.2	57.4	55.5
22	46.4	16.1	12.6	9.5	10.5	2.9	0.7	-0.1	58.3	60.7	56.6	56.1
24	46.3	16.1	12.3	9.6	10.6	3.1	1.0	0.2	57.6	60.3	58.1	56.3
26	46.1	16.1	12.1	9.5	10.7	3.3	1.1	0.5	56.9	60.1	59.3	57.1
28	46.1	16.2	11.9	9.5	11.1	3.3	1.3	1.0	55.9	59.3	60.0	57.1
30	45.9	16.2	11.8	9.4	11.5	3.6	1.4	1.3	54.8	58.6	61.4	58.4
32	45.7	16.3	11.4	9.1	11.9	3.8	1.5	1.6	53.9	57.6	62.7	58.1
34	45.4	16.0	11.0	8.9	12.7	4.2	1.5	2.0	52.7	57.0	63.6	59.6
36	44.9	15.8	10.7	8.7	13.3	4.4	1.8	2.2	51.4	55.1	64.7	61.0
38	44.3	15.6	10.2	8.5	13.9	4.5	2.1	2.3	50.1	53.7	66.8	62.2
40	43.6	15.4	9.7	8.0	14.5	4.6	2.2	2.6	48.9	53.6	69.0	64.9
42	42.5	15.0	9.0	7.4	14.9	4.9	2.6	2.6	47.9	53.3	70.7	66.7
44	41.1	14.6	8.5	6.8	15.3	4.9	2.7	2.9	47.3	52.7	71.6	67.7
46	38.9	13.9	7.7	6.1	15.1	4.8	2.8	2.6	47.1	52.5	71.9	66.9
48	33.0	12.2	6.2	4.9	13.2	4.5	2.4	2.5	47.4	51.9	73.2	57.9

潮流椭圆顺时针旋转,倾角表示椭圆长轴与正东方逆时针旋转的夹角。站点4个主要分潮潮流椭圆垂向结构如图2所示。

从该站点的潮流椭圆垂向结构可以看出:4个主要分潮潮流椭圆主轴方向基本一致,呈现西南-东北方向, M_2 分潮椭圆主轴方向随深度增加先呈逆时针旋转至6 m水深后转为顺时针旋转, S_2 分潮椭圆主轴方向随深度增加呈顺时针旋转, K_1 分潮椭圆主轴方向随深度增加呈逆时针旋转;从表层至10 m层, M_2 和 S_2 两个主要半日分潮潮流椭圆长轴随深度增加急剧增大, K_1 和 O_1 两个主要全日分潮潮流椭圆长轴则随深度增加先减小后增大,从44 m层至底层,各分潮潮流椭圆长轴随深度增加急剧减小,中间层各分潮潮流椭圆变化不大; M_2 分潮潮流椭圆长轴在22 m水深处达到最大值,为46.4 cm, S_2 分潮潮流椭圆长轴在32 m水深处达到最大值,为16.3 cm, K_1 分潮潮流椭圆长轴在12 m水深处达到最大值,为13.7 cm。各分潮椭圆率随深度增加先减小后增大,

M_2 和 S_2 分潮潮流椭圆呈逆时针旋转, K_1 和 O_1 分潮潮流椭圆在15—20 m水深以浅呈顺时针旋转,以深呈逆时针旋转。

3.2 准定常流

近海海流中除了由引潮力引起的周期性潮流运动外,还包括准定常流动,准定常流能直接反映水体的运移和交换情况,对水中悬浮物质和可溶性物质的输运、稀释及扩散等都起十分重要的作用。

本文对实测海流数据进行时间序列平均得到准定常流^[7],图3给出了准定常流的垂向结构,该站点的准定常流在垂直方向上呈现出上下两层流速方向相反的空间分布结构,以水深32 m处为界,上层呈现南偏西方流动,下层则是东北方流动,上层准定常流流速大小随深度增加不断减小,下层准定常流流速大小随深度增加逐渐增大,近底层又开始减小;上层流速明显大于下层流速,最大值出现在表层,达42 cm/s,最小值出现在32 m层,为2.7 cm/s;

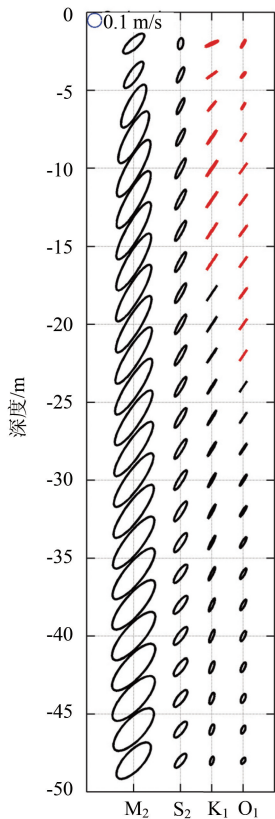


图2 主要分潮潮流椭圆垂向结构图
(红色:顺时针旋转潮流;黑色:逆时针旋转潮流)

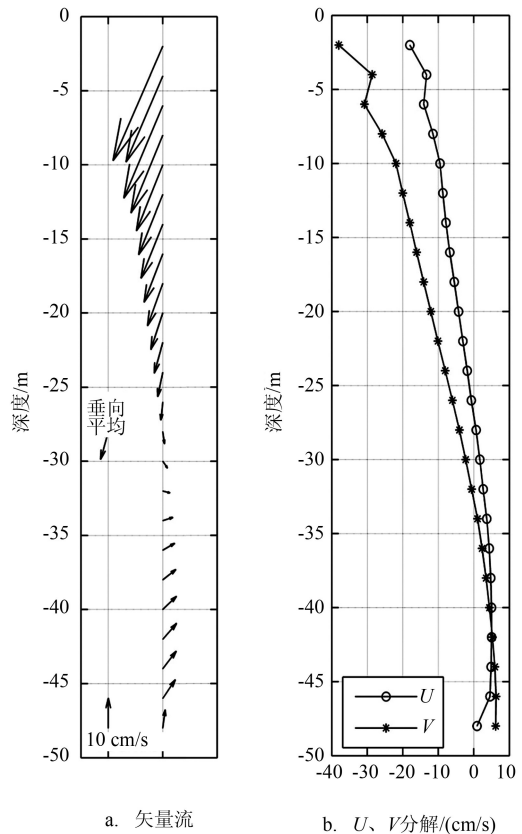


图3 准定常流的垂向结构图

各层准定常流流向随深度增加不断向左偏,表层准定常流流向为南偏西 25° ,底层则为北偏东 8° ;在垂直方向上以 v 变化明显。通过垂向平均准定常流得到全流流速大小为 9.6 cm/s ,流向南偏西 17° 。

为了更细致分析准定常流随时间的变化,对实测海流进行月平均(见图4),8月份准定常流以东北

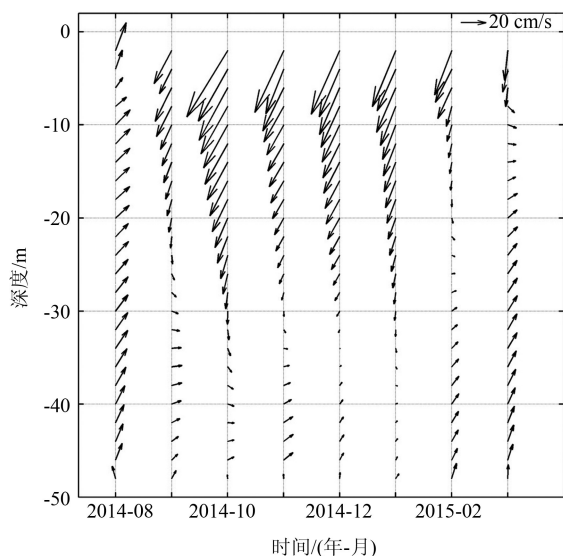


图4 准定常流随时间的变化

方流动为主;9月份准定常流垂直结构开始发生变化,上层开始呈现西南方流动,下层还是以东北方流为主;10月份上层准定常流相比于其他月份的准定常流偏大,且转流深度偏深,笔者认为这是由于10月份期间1419号台风“黄蜂”和冷空气配合影响,加大台湾海峡的海表面风,增强上层水体的流动,从而影响该点准定常流的转流深度;11月份至次年1月份,无台风影响,冷空气影响逐渐加强,在其作用下的准定常流也逐渐加强,且转流深度变深;2月份之后,准定常流又开始逐渐恢复到夏季整个水层的东北方流动。

3.3 EOF分解

经验正交函数分解(Empirical Orthogonal Function, EOF)是一种处理大量时空变化数据比较有效的多元分析方法^[9],它的主要优点在于对数据时空分离,即能分解成不随时间点变化的空间函数和不随空间点变化的时间系数,从而揭示变量的基本特征和演变规律。

本文将站点实测海流数据先经过滤潮,然后采用EOF分析方法分解得到的前3个垂向模态(见图5), U 分量的前3个空间模态方差贡献分别为

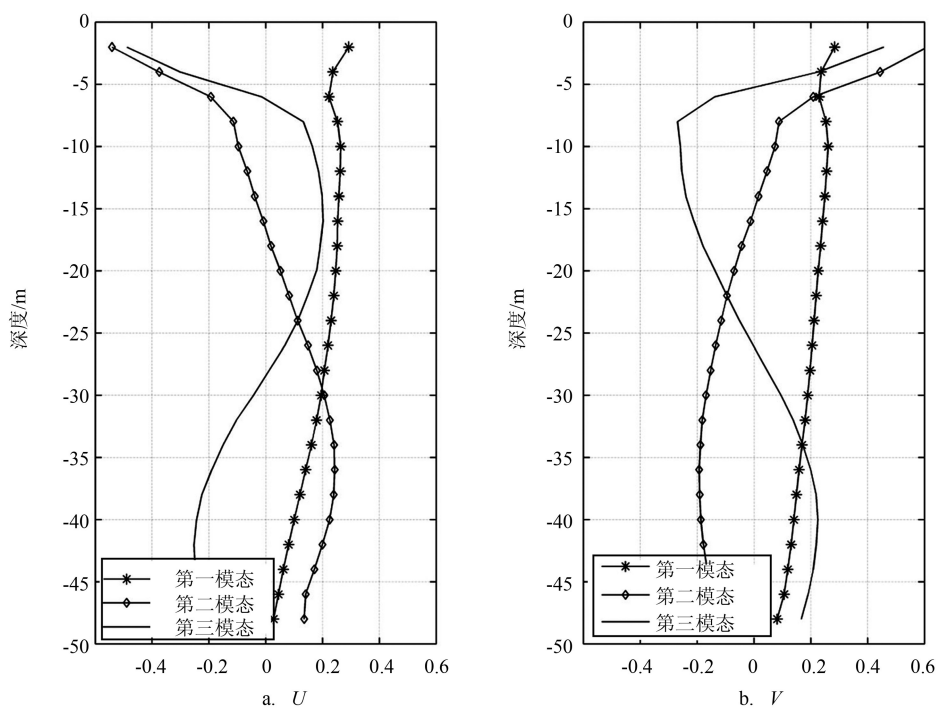


图5 测站 U 、 V 的前3个垂向模态

60.8%、18.2%和8.2%， V 分量的前3个空间模态方差贡献分别为76.5%、12.3%和5.0%。 U 和 V 分量的第一模态的方差贡献大于其他模态，占主导地位，其垂直模态都是正值，但从表层到海底逐渐变小；第二模态揭示一个反向流，在16 m水深处发生变化，所以为一阶模态；第三模态的符号在6—8 m和26—28 m处改变了两次，为二阶模态。

第一模态是零阶模态，体现准定常流特性。其余各模态为不同阶数的高阶模态，体现了海流的斜压特征。 U 、 V 分量第二模态和第三模态有一定程度的反相关性。

3.4 风生余流

为了探讨海面风对海流垂向结构的影响，本文将实测海流数据剔除周期性潮流成分后，进行40 h低通滤波得到各层次时间序列余流认为该站点的风生余流^[10-11]。

本文仅给出3个典型月份(2014年9月、10月和2015年1月)的海表面风矢量与余流的对比图(见图6—8)，近表层余流随时间的变化与海面风基本

一致，对风的响应非常迅速，风较强时余流加强，风较弱时余流减弱，风转换方向时余流方向也随之转换；上层余流流速随水深增加逐渐减小同时滞后的规律，说明风变化的信号由表层逐渐向下传播且影响逐渐减弱，传播的深度主要取决于海表面风速的大小；下层余流流速呈现与海面风不一致变化规律。

9月份副高逐渐南退，大陆冷高压开始建立并加强，冬季风迅速建立，弱冷空气开始影响我省海域，但台风次数仍较多。台湾海峡受夏冬季风交替驱动下，风向变化明显；除了受台风影响期间(9月14—16日和20—22日)海表面风速较大，其他时段风速普遍较小。9月14—16日受弱冷空气与1415号台风“海鸥”共同影响和9月20—22日受1416号台风“凤凰”影响下，海面风力大，各层余流流向基本一致，风生余流能传播到底层。

10月份开始，台湾海峡基本上受冷高压天气系统控制，以偏北风为主。虽然由于狭管效应造成台湾海峡的海面风普遍比其他海域大，但从图7和8可以看出，大部分时间段的风生余流无法传播到底

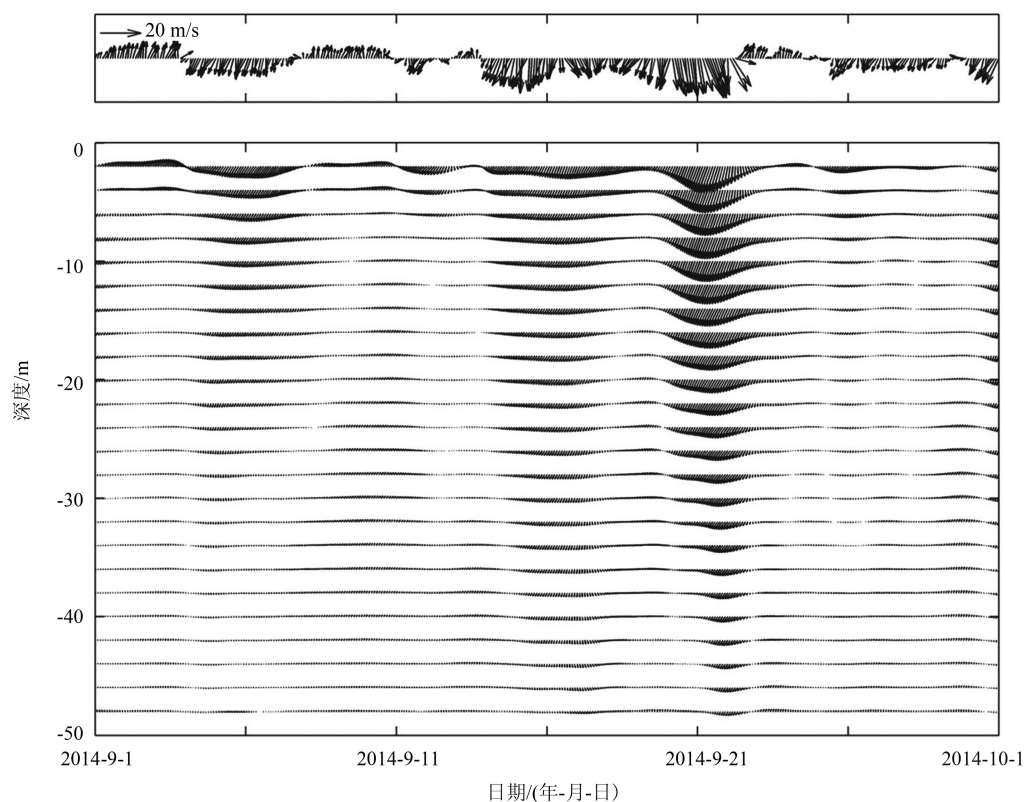


图6 2014年9月海面风和余流的矢量图

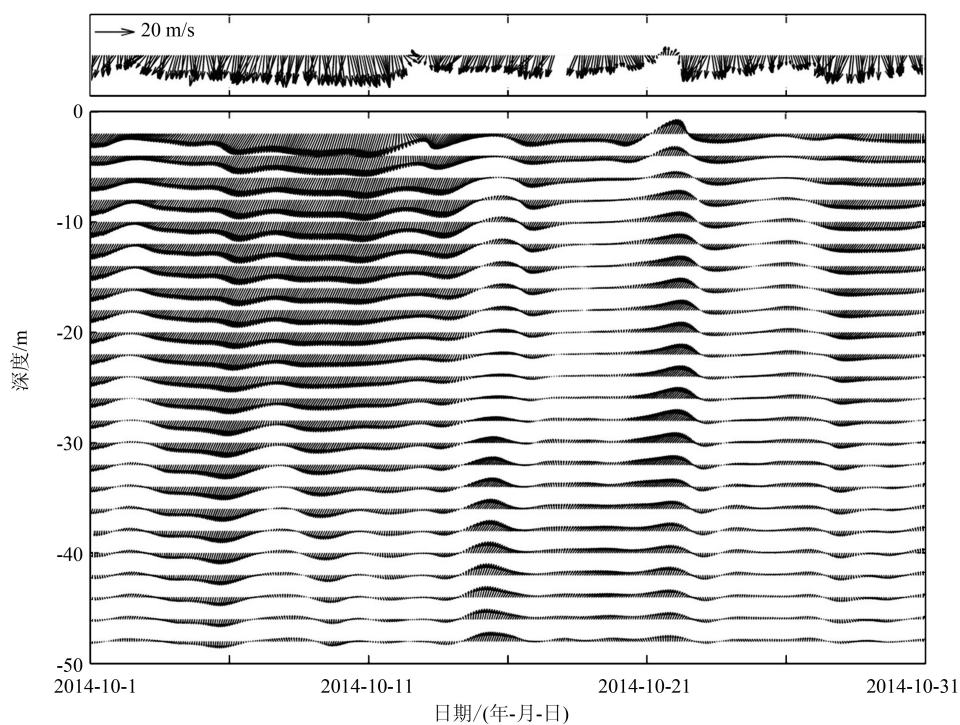


图7 2014年10月海面风和余流的矢量图

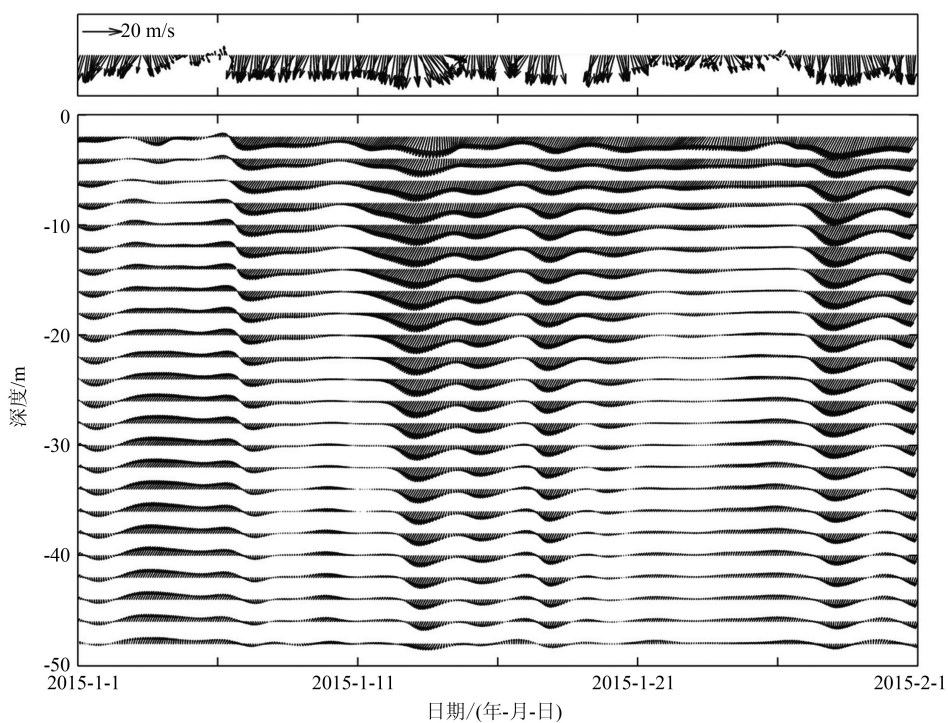


图8 2015年1月海面风和余流的矢量图

层;在天气系统减弱期间(冷空气交替),如1月5日或26日附近,东北风减弱,风生余流仅能传到很浅

的深度,甚至整层都转为东北风流动;在两种情况下风生余流能传播到底层,一种是10月10日受冷

空气与1419号台风“黄蜂”共同配合影响下,海面风足够大;第二站情况是冷空气影响足够强,使得海面风大,如1月28日附近。

4 结论

本文通过对平潭海域7个多月定点连续实测海流和海面风资料进行定量分析,结论如下:

(1)潮流调和分析表明:4个主要分潮潮流椭圆主轴方向基本一致,呈现西南-东北方向,10—44 m层各分潮潮流椭圆变化不大,椭率随深度增加先减小后增大;

(2)准定常流在垂直方向上呈现出上下两层流速方向相反的空间分布结构,以水深32 m处为界,上层呈现偏南方流动,下层则是偏北方流动;准定常流流向随深度增加不断向左偏;

(3)EOF分解结果显示: U 、 V 分量第一空间模态方差贡献分别为60.8%、76.5%,体现了准定常流特性;

(4)通过对海面风与余流的对比分析,近表层余流随时间的变化与海面风基本一致,对风的响应非常迅速;上层余流流速随着水深增加逐渐减小同时滞后的规律,说明风变化的信号由表层逐渐向下传播且影响逐渐减弱,传播的深度主要取决于海表

面风速的大小。

参考文献:

- [1] 肖晖,郭小钢,吴日升.台湾海峡水文特征研究概述[J].台湾海峡,2002,21(1): 126-138.
- [2] 刘金芳,刘忠,顾翼炎,等.台湾海峡水文要素特征分析[J].海洋预报,2002,19(3): 22-32.
- [3] 林培根,陈照章,胡建宇,等.2011年夏季台湾海峡上升流的变化特征及其与风场的关系[J].台湾海峡,2012,31(3): 307-316.
- [4] 朱大勇.2007年冬季平潭岛南部海域近底层暖水的来源与振荡分析[J].应用海洋学学报,2013,32(4): 480-487.
- [5] 潘爱军,万小芳,郭小钢,等.平潭岛外海浙闽沿岸流对2006年冬季风松弛的响应特征与机理[J].中国科学:地球科学,2012,42(9): 1317-1328.
- [6] 齐尔麦,张毅,常延年.海床基海洋环境自动监测系统研究[J].海洋技术,2011,30(2): 84-87.
- [7] 于华明,鲍献文,朱学明,等.夏季北黄海南部定点高分辨率实测海流分析[J].海洋学报,2008,30(4): 12-20.
- [8] Pawlowicz R, Beardsley B, Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE[J]. Computers & Geosciences, 2002, 28(8): 929-937.
- [9] 吴俊杉,刘子洲,刘聪,等.蒙特利湾底层潮流特征分析[J].海洋湖沼通报,2014,(3): 13-21.
- [10] 费岳军,史军强,堵盘军,等.冬季舟山外海定点实测海流资料分析[J].海洋通报,2013,32(6): 648-656.
- [11] 刘天然,魏皓,赵亮,等.北部湾春季季风转换时期两潜标站余流分析[J].热带海洋学报,2010,29(3): 10-16.

Analysis of the observed current data near Pingtan islands

CHEN Jin-rui¹, LI Xue-ding¹, GUO Min-quan¹, CHEN Ling-yan², LIN Mei-hui¹, CHEN Jian-qiao¹

(1. Fujian Marine Forecasts, Fuzhou 350003 China; 2. Hohai University, Nanjing 210098 China)

Abstract: The flow profiles, measured by a sea-bed buoy around Pingtan Island from August 11, 2014 to March 19, 2015, are analyzed by tidal current harmonic analysis, empirical orthogonal function (EOF) and low pass filter. The results show that the long axis directions of four major semi-diurnal tidal currents ellipse are from southwest to northeast. The subtidal flow is characterized by two layers with a southward flow in the upper layer and a northward flow in the lower layer. Vertically, the flow tends to flow leftward with an increase of depth and these two layers are divided at 32 m. In September, the two-layer flow profile starts to form and the border line of these two layers is the deepest in January. The EOF results indicate the first mode of velocity in U and V direction contributes 60.8% and 76.5%, respectively. The surface subtidal current coincides well with the wind variation through a fast response. The flow velocity and corresponding response time to wind in the upper layer decrease with depth. This suggests the signal of wind variation transports downward with a reduced effect on velocities and the transportation depth depends on the wind speed.

Key words: Pingtan; seabed-based; current analysis; residual current