

技术报告

夏季长江口外东海海域实测海流资料分析*

展鹏¹, 陈学恩^{1**}, 胡学军², 赵健¹, 堵盘军²

(1. 中国海洋大学海洋环境学院, 山东 青岛 266100; 2. 国家海洋局东海预报中心, 上海 200081)

摘要: 根据2009年8、9月间长江口外海域C1, B1 2个站位的短期连续 ADCP 实测资料, 采用调和分析、EOF 分解、功率谱分析以及频率统计等方法, 分析了该海域海流随时间的变化趋势和空间的结构特征。结果表明, 2个站位流速在观测期间愈来愈强, 准定常流动均是南向流动占优。长江口外海域 M2 为主要分潮, 属于正规半日潮, 各层潮流呈现出旋转流性质, 旋转方向为顺时针占优。2个站位潮流的 U, V 分量均为第一模态主导, 其垂向模态基本一致, 体现了潮流的正压特征, 2个站位的斜压性均不明显。海流的流速、流向频率统计显示两站均在 SSE, S, SSW 方向的频率最大。

关键词: ADCP; 海流; 调和分析; EOF; 功率谱

中图分类号: P731.22

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2010)08-034-09

长江口外及舟山附近的浅海区域受外海潮汐作用和地形急流作用的影响, 潮流作用明显, 都属强潮海区, 潮汐能资源蕴藏量丰富。部分地区还分布有大片滩涂, 适宜于发展海水养殖业。由于流场对近海工程、航道利用、潮汐能利用、水产养殖、环境保护等均有重要的影响, 因此, 了解该区域流场分布态势及变化特征, 对于更好地开发利用已有资源以及可持续发展都很有意义。对这一海区及其周边海域的潮流观测和研究工作一直不断。丁文兰^[1]利用观测资料对东海潮汐和潮流的特征进行了分析。王凯、叶冬^[2]根据东海长江口附近3个站点的短期资料分析得到该海区的潮流特征, 指出该海区潮流属于正规半日潮流性质, 呈现按顺时针方向旋转的特征。陈倩等^[3]依据近年来浙江海岸带和海岛调查的实测海流数据, 研究了浙江近海的潮流、余流特征和分布规律, 指出浙江近海余流速度和方向的区域及垂向变化规律与 M2 分潮的最大流速及最大流速方向基本一致。Fang 等^[4]则根据实测资料 and 一系列数值结果, 绘制了中国近海较完整的潮汐潮流图。赵骞等^[5]利用 POM 模式模拟出中国近海流场和温度场的基本特征。此外, 长江等径流入海对于该海区的影响不可忽略。潘玉球^[6]指出长江冲淡水输运和扩散的途径分为顺岸南下型和转向型。潘玉萍^[7]采用三维斜压非线性的浅海陆架数值模式研究, 提出长江冲淡水不利于夏季闽浙沿岸尤其是浙江沿岸上升流的形成。这些成果, 加深了人们对于东海长江口外及舟山附近的浅海区域以及其近海区域海流特征的了解

和认识。

1 数据

1.1 数据来源

国家海洋局东海预报中心于2009年8月底~9月初在长江口附近进行地波雷达比测实验, 在 B1, C1 布设 ADCP 进行流速观测(见图 1), C1 站点位于 30°34'N, 122°53' E, 水深 42.5 m, B1 站点位于 29°56' N, 122°33' E, 水深 24 m。

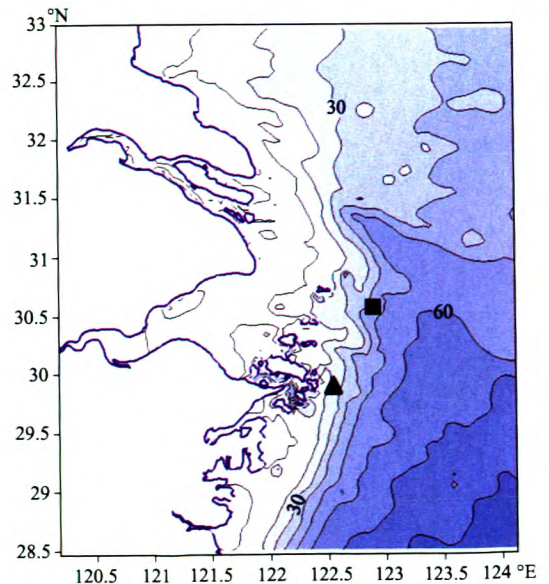


图1 观测点位置(■C1, ▲B1)及地形

Fig. 1 Observation position(■C1, ▲B1) and topography

* 基金项目:海洋公益性行业科研专项重点项目“重点海港和南海油气区水动力环境保护技术研究示范”项目(200905001)资助

收稿日期:2009-12-03; 修订日期:2010-04-29

作者简介:展鹏(1988-), 男, 研究生。E-mail: zhanpeng88@ouc.edu.cn

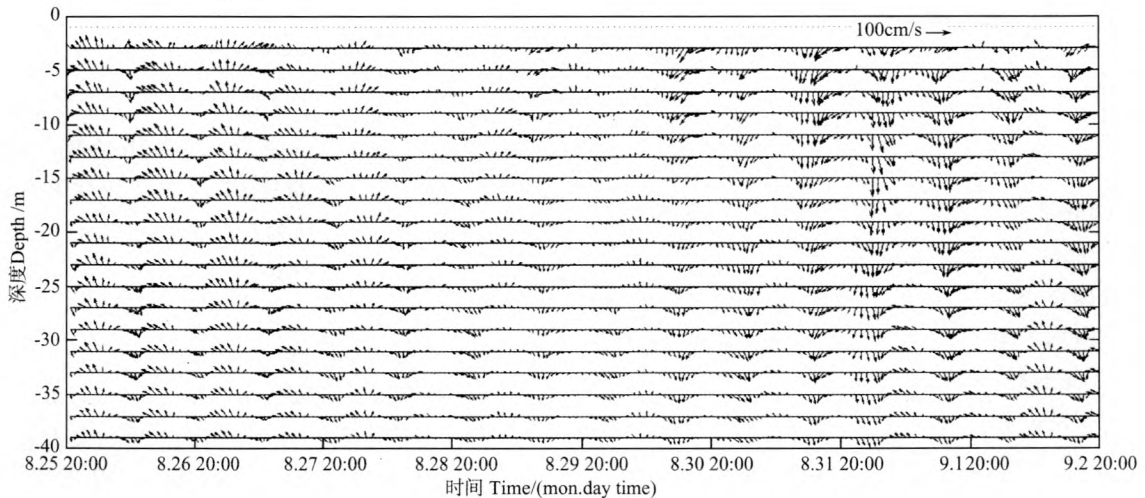
** 通讯作者: E-mail: xchen@ouc.edu.cn

ADCP 为座底方式布设,采用 307.2 kHz 带宽设置,垂向分辨率为 1 m/层,采样间隔为 20 min,C1 站点的时间跨度为 2009 年 8 月 25 日 20 时~2009 年 9 月 3 日 17 时,有效数据共 641 个。B1 站点自 2009 年 8 月 25 日 15 时开始观测,2009 年 9 月 8 日 8 时结束,有效数据共 837 个。本文对 C1 和 B1 站点分别选取了 8 月 25 日 20 时~9 月 2 日 19 时共 8 个周日和 8 月 25 日 15 时~9 月 2 日 14 时的共 10 个周日的完整数据,其垂向测量范围分别为水深 2.8~38.8 m 和 2.3~20.3 m。

1.2 流速矢量分布

C1 站原始观测流速的矢量分布如图 2,空间分辨率为 2 m,时间为 8 月 25 日 20 点~9 月 2 日 20 点。从图中可以看出:(1)同一时刻表层流速较底层流速大;(2)流动具有明显的周期性,在 1 个太阴日(24.841 2 h)

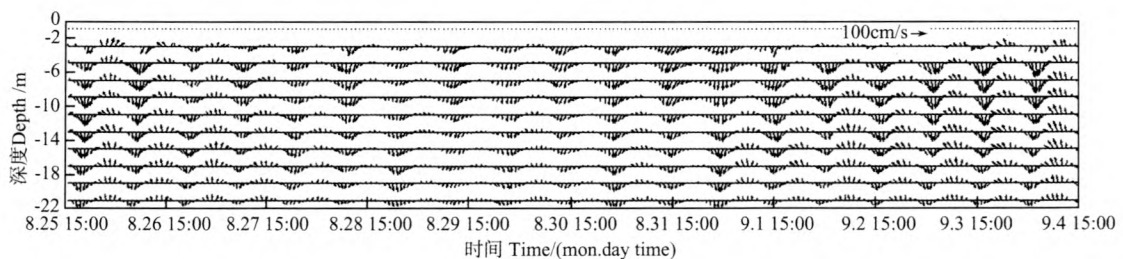
内潮流历经 2 次涨潮落潮。一日之中的 2 次涨潮落潮的流速具有比较明显的差异,潮流的大小和方向均会发生明显的变化,说明该站具有潮流日不等现象。半日周期在观测的期间基本稳定;(3)观测期间,流速由 8 月 25 日(农历七月初七)~9 月 2 日(农历七月十四)稍有减小后逐渐增大,垂向平均流速最大值出现在 9 月 1 日 2 点,为 108.9 cm/s,可能是由于小潮期向大潮期过渡的原因;(4)沿时间轴,各层海流的方向随时间顺时针旋转;(5)不同深度上的流向流速变化基本同时发生,没有显著的超前和延迟,这说明该地海水流动没有明显的垂向分层现象,各层次的流动基本呈现正压流动的特征;(6)在观测时间段内,在 8 月 30 日之前经向流以北向流动为主,此后却以南向流动为主,且南向流的强度更大。



(时间分辨率 1 h,空间分辨率 2 m。Data temporal and spatial resolution is 1 h and 2 m respectively.)

图 2 C1 站位速度矢量分布

Fig. 2 Observed velocity of C1 station



(时间分辨率 1 h,空间分辨率 2 m。Data temporal and spatial resolution is 1h and 2m respectively.)

图 3 B1 站位速度矢量分布

Fig. 3 Observed velocity of B1 station

B1 站原始流速的矢量分布如图 3,空间分辨率亦为 2 m,时间跨度为 8 月 25 日 15 点~9 月 4 日 15 点。该站潮流整体的特征与 C1 站点的差别不大,但流速相对较大,由于 B1 站点的观测时间更长,可以更明显地看出由于大潮影响流速增大的现象。

2 分析与讨论

2.1 准定常流动的分析

实测海流是潮流、密度流、风海流等的合成流,在分析实测海流资料时,一般把海流分解为准定常余流

和潮流。余流的量值虽不大,但它直接指示着水体的运移和交换情况,对海水中悬浮物质和可溶性物质的运输、稀释及扩散等都起十分重要的作用。

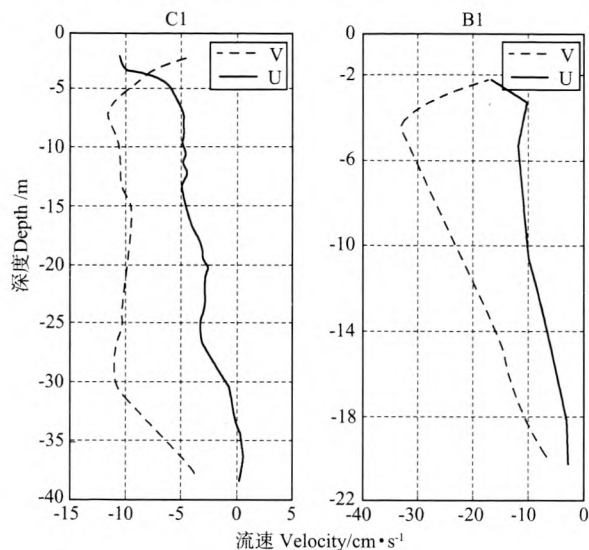


图4 速度U,V时间平均垂向分布

Fig. 4 Profile of U and V after temporal averaged

C1站时间平均后的准定常余流的U,V垂向分布结果如图4所示。最大流速位于5m层。整体上海流的强度随着深度逐渐减小。其中C1站点经向流速在整个观测层内均为南向流,纬向流在30m以浅均为西向流动,底层流速趋近于0。表层附近,可能由于风应力或者其他扰动的作用导致U的强度大于V,其余各个深度上,V的强度值大于U,基本为偏西的南向流动。

B1站时间平均后的准定常余流的U,V垂向分布结果如图4所示。除表层外,各分量均随着深度减小,U,V均为负值,最大流速也位于5m左右。V的强度大于U,南向流动亦为流动的主要部分。此外,B1站的流速较C1站大,且流速随着深度的衰减较C1站更为明显,这可能与B1处水深较浅有关。

准定常余流的U,V分量分解的垂向分布矢量结构如图5所示。C1站定常余流在垂直方向上,呈现出由西向逐渐南偏的空间分布结构,在底层甚至出现东方向的U分量。至本次观测的底层,距离海底3.8m处的海流方向基本为南向。除表层附近外,流速在25m以浅几乎相等,随着深度的增加缓慢偏南且逐渐变小。定常余流的垂向平均流呈南偏西 20° ,大小为 9.8 cm/s 。与C1站点不同,B1除表层附近外,定常余流的方向随深度增加没有出现明显的旋转,各层流动方向基本一致,流速随深度近似线性减小。定常余流的垂向平均流大约呈南偏西 22° ,方向与C1站位的差别不大,大小为 21.6 cm/s 。

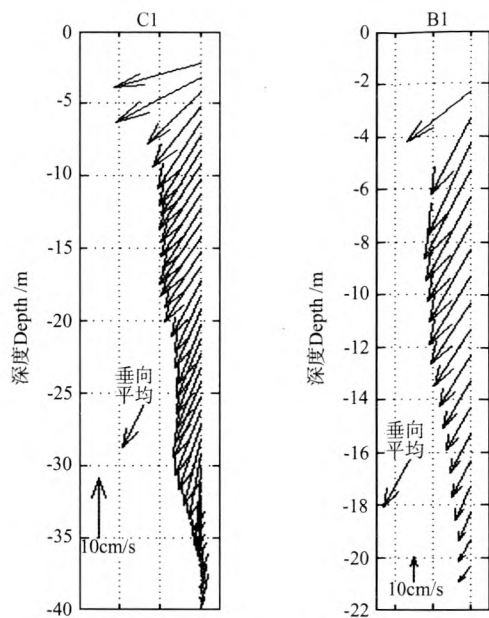


图5 准定常流动的垂向结构

Fig. 5 Vertical structure of quasi-steady current

此处近海余流主要受制于河川径流,特别是长江径流入海后的运动路径、风的季节变化和海外流系的消长^[8]。陈义中^[9]认为长江冲淡水的消长与运移方向存在季节性变化,受季风等影响6~8月为朝东北方向的扩展时期,9月份为由东北转向南下的过度时期。但浦泳修^[10]指出用海洋大面观测资料论证长江冲淡水的转向机制是不一定可靠的,在1周~1旬左右的时间里,长江冲淡水的扩展态势可以发生很大的方向性变动。在南向的季风没有完全消失的情况下,笔者认为这里的南向流动可能是由于长江冲淡水的提前向南下过渡,或者扩展态势发生变动的影晌所致。这里的余流特征与陈倩^[3]等的观测基本一致。

2.2 潮流的调和与分析

潮流调和与分析将不同天文分潮的频率固定,并将实际海水的流动分解成由不同天文分潮的作用引起的流动。只要时间序列足够长,能够将频率相隔很近的分潮完全进行分离,得到各个天文分潮的潮流椭圆要素。原始流速中包含潮流成分,通过垂向平均,得到正压流动。计算采用了Pawlowicz等^[11]提供的潮流调和与分析Matlab程序包。表中椭圆短轴正值表示潮流椭圆逆时针旋转,椭圆短轴负值表示潮流椭圆顺时针旋转。倾角是指椭圆的长轴与正东方向X轴正方向逆时针旋转的夹角。

由于资料的时间长度有限,经调和与分析分解,C1站点得到5个主要的正压分潮,B1站点得到4个主要的正压分潮,2个站点均是M2,K1分潮占优,K1分潮逆时针旋转,M2分潮顺时针旋转。潮流要素见表1和表2,各个潮流要素是在95%的信度下得到的。

表 1 C1 站位正压潮流椭圆参数

Table 1 The elliptical parameters of barotropic tidal current of C1 station

分潮 Partial tide	角频率/h ⁻¹ Angular frequency	长轴/cm Major axis	长轴误差/cm Major axis error	短轴/cm Minor axis	短轴误差/cm Minor axis error	倾角/(°) Obliquity	倾角误差/(°) Obliquity error	相位/(°) Phase	相位误差/(°) Phase error
K1	0.0417 807	8.672	4.057	1.782	4.21	47.49	27.65	311.78	33.10
M2	0.0805 114	31.473	11.571	-19.582	12.46	135.35	42.19	261.73	42.70
* M3	0.120 767 1	1.001	0.942	-0.127	0.89	77.84	65.83	317.63	65.36
M4	0.161 022 8	1.018	0.844	-0.766	0.70	123.26	77.95	80.39	107.99
2MK5	0.202 803 5	0.924	0.618	-0.127	0.46	29.07	31.46	104.01	43.26

表 2 B1 站位正压潮流椭圆参数

Table 2 The elliptical parameters of barotropic tidal current of B1 station

分潮 Partial tide	角频率/h ⁻¹ Angular frequency	长轴/cm Major axis	长轴误差/cm Major axis error	短轴/cm Minor axis	短轴误差/cm Minor axis error	倾角/(°) Obliquity	倾角误差/(°) Obliquity error	相位/(°) Phase	相位误差/(°) Phase error
* K1	0.041 780 7	5.233	5.103	2.766	2.63	73.44	44.34	354.16	98.35
* M2	0.080 511 4	58.190	23.412	-25.405	12.04	94.60	19.43	290.53	30.19
* M4	0.161 022 8	1.848	0.901	0.478	1.47	81.13	60.05	127.19	36.66
* 3MK7	0.283 314 9	0.707	0.586	0.044	0.64	9.69	73.72	95.73	66.14

根据不同分潮的潮流椭圆要素,得到日潮流和半日潮流长轴的比值 C1: $W_{K1}/W_{M2}=0.3$, B1: $W_{K1}/W_{M2}=0.1$,垂向平均的正压潮流的特征值小于 0.5,表明 2 站潮流均为严格的正规半日潮,这与上面根据原始矢量分布图得到的流速为半日周期的结论一致,也与以往的研究一致^[12]。

根据正压潮流椭圆要素分布同图绘制正压潮流椭圆(见图 6)。结合表 1,2,C1 站位 M2 分潮为主要分潮,其潮流椭圆的长轴相比其他分潮大得多,为 31.5 cm/s,方向为 135.35°,其次是 K1,其长轴为 8.7 cm/s,方向为 47.49°,M3,M4,2MK5 分潮较小,均在 1 cm/s 左右。全日分潮 K1 与半日分潮 M2 的长轴方向夹角为 87.86°,接近于垂直。在 B1 站点,仍然是 M2 分潮占绝对的主导地位,其长轴为 58.2 cm/s,方向为 96.40°,接近于正北方向,K1 分潮的长轴 5.2 cm/s,方向为 73.4 cm/s。M4 和 3MK7 分潮的最大流速亦在 1 cm/s 左右。需要指出的是,这 2 个站点所在区域的惯性周期(0.98 d)接近日周期,顺时针方向旋转,因此可能会对全日周期分潮的调和结果产生一定的影响。潮流的顺时针旋转是由于地球自转效应产生的结果,这里地处北半球,引潮力水平分量及地转偏向力的共同作用致使潮流右旋。^[3]此外,2 个站点相比较,可以看出 M2 分潮为这一地区的主要分潮,K1 次之,最大流速和流速方向也有差别。

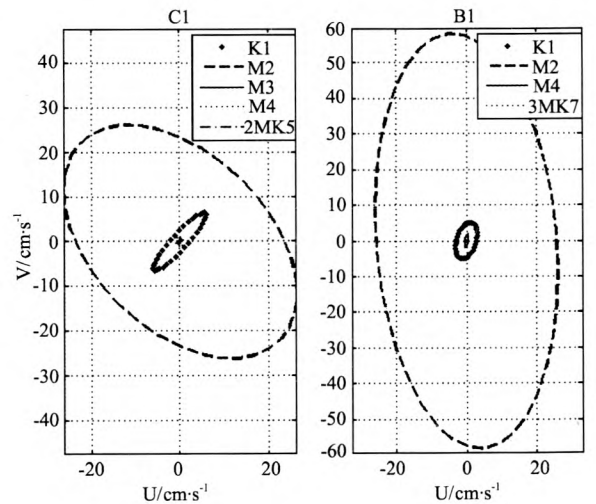


图 6 正压潮流椭圆

Fig. 6 Tidal ellipses of barotropic tidal current

C1 站点的潮流椭圆垂向分布结构如图 7。从中可以看出,各层(每 2 m 取一层)M2 潮流椭圆均为顺时针方向旋转。椭圆主轴方向基本呈现东南-西北方向。具体来看,大约在 12 m 以浅,主轴随着深度顺时针偏转,12~30 m 各层中,椭圆主轴逆时针偏转,30 m 至底层则又向顺时针偏转,但是整体偏转的角度都不大,各层椭圆主轴最大的偏角不到 20°。表层 2.2 m 处的潮流椭圆与其他的差异较大,可能是由于表层处存在较强的扰动。除表层外,M2 分潮的椭圆率绝对值基本呈现随深度逐渐减小的趋势。最小值出现在底层 38.8 m

处,为 0.45,最大值出现在 6.8 m 处,为 0.71,说明海流有一定的旋转性,王凯等^[7]于 2006 年夏季在该站附近的观测也得到相近的结果。除表层外,M2 潮流椭圆的长轴随深度的变化不大,在 32.8 m 水深处达到最大值,为 38.1 cm/s,在 12.8 m 处达到最小值,为 29.4 cm/s,短轴在表层 20.8 m 处达到最大值,为 22.2 cm/s,在底层 38.8 m 处达到最小值,为 13.7 cm/s。K1 分潮在 10 m 以浅为顺时针方向旋转,水深超过 10 m 则变为逆时针方向旋转。该地顺时针接近日周期的惯性运动成分引入全日分潮中,可能是表层附近 K1 分潮潮流椭圆顺时针旋转的原因之一。K1 分潮椭圆主轴没有明显的主方向,从表层到底层有逆时针偏转的趋势,但不明显。K1 分潮的椭率在 20 m 以浅存在较大的波动,但是在 20 m 以深直到底层则较为一致,介于 0.7~0.8 之间。其潮流椭圆的长轴主要变化随深度减小,最大值出现在 4.8 m 处,为 20.1 cm/s,最小值出现在底层 38.8 m 处,为 6.0 cm/s。短轴随深度的变化没有明显规律,最大值出现在 4.8 m 处,为 9.1 cm/s,最小值出现在 22.8 m 处,为 0.2 cm/s。椭圆长轴随深度变化的过程,短轴的大小也随之变化,这种现象中国海其他海区也有发现,与海洋的密度层结结构和地形约束有关^[13]。

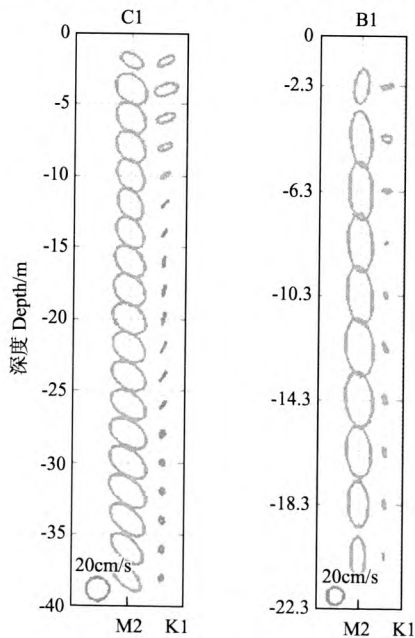


图 7 M2、K1 潮流椭圆垂向分布

Fig. 7 M2 and K1 tidal ellipses of vertical levels

从 B1 站点的潮流椭圆垂向分布如图 7,各层(每 2 m 取一层)M2 潮流椭圆亦为顺时针方向旋转。椭圆主轴方向基本呈现南北方向,随水深偏转的角度都不大,各层椭圆主轴最大的偏角为 15.2°。除表层外,M2 分潮的椭率绝对值随深度先增大后减小。最小值出现在底层 20.3 m 处,为 0.38,最大值出现在 12.3 m 处,为 0.5,此外,M2 潮流椭圆的长轴随深度的变化有逐渐减

小的趋势,最大值 65.7 cm/s,最小值 43.7 cm/s。K1 分潮主要为顺时针方向旋转,但是在 8.3 m 与 20.3 m 处为逆时针旋转。除表层外,K1 分潮的椭率随深度逐渐减小,其潮流椭圆的长轴和短轴随深度变化规律不是特别明显,长轴最大值 12.9 cm/s,最小值 4.9 cm/s,短轴最大值 6.6 cm/s,最小值 1.1 cm/s。

2.3 潮流的垂向模态

EOF(经验正交函数分解)方法是处理大量时空变化数据常用的多元分析方法,它可以将观测的现象分解为表征空间特征的空间模态和表征时间演变特征的时间模态,有助于揭示观测现象的基本特征和演变规律^[14]。在进行 EOF 分解前,先对各层实测数据(U,V 分量)分别进行 10~30 h 的带通滤波,保留潮频率部分。这样进行 EOF 分解得到的空间向量即反映了潮流的垂向模态结构^[15]。

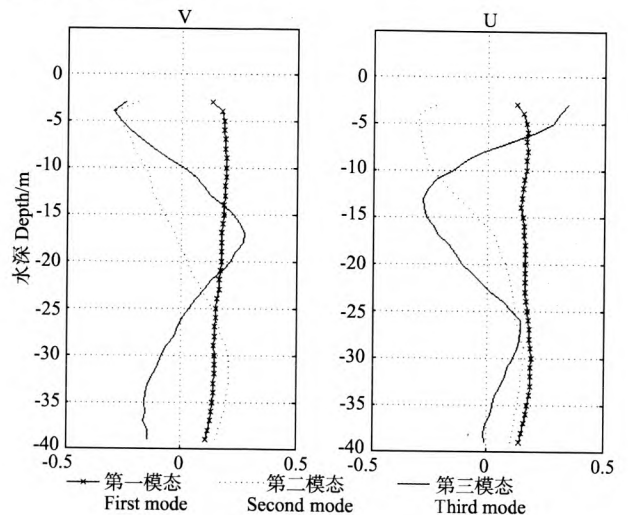


图 8 C1 站点 U、V 的前三个垂向模态

Fig. 8 First 3 vertical mods of C1 station

上述处理以后分别得到了 C1 站点潮流的 U、V 分量的垂向模态,如图 8 所示。U 分量的前 3 个空间模态方差贡献分别为 77.30%,12.41%,3.86%,V 分量的前 3 个空间模态的方差贡献分别为 84.57%,7.18%,3.30%。U、V 分量都是第一模态占优,均超过 75%,由垂向特征可以看出,第一模态是零阶模态,各层的速度分布基本相当,体现了潮流的正压部分,说明该地点海流以正压分潮为主,这也与图 2 各个层次上的海流特征基本相同。U、V 分量的第二模态在 15~20 m 左右分界上下流速反向,为一阶模态,第三模态出现 2 次反向,为二阶模态。不同阶数的高阶模态,体现了潮流的斜压特性,但是其方差贡献不大,说明斜压特征不明显,这也可以从垂向潮流椭圆的主轴方向基本一致看出,因为正是海流的斜压性导致每层的潮流椭圆随水深发生旋转^[13]。

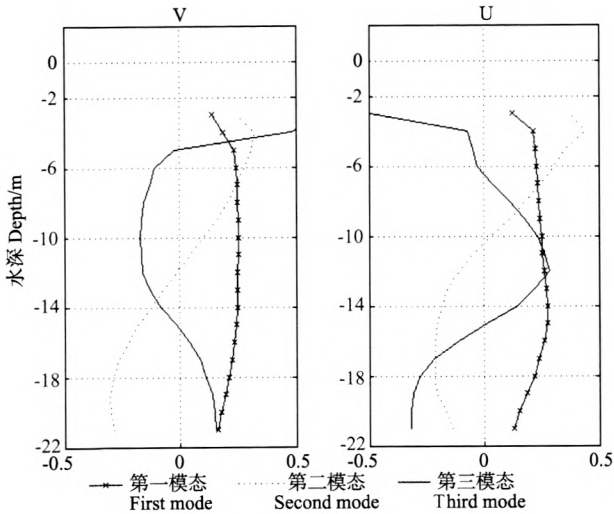


图 9 B1 站位 U, V 的前三个垂向模态

Fig. 9 First 3 vertical mods of B1 station

如图 9 所示 B1 站点潮流的 U, V 分量的垂向模态。U 分量的前 3 个空间模态方差贡献分别为 79.81%, 10.78%, 4.57%, V 分量的前 3 个空间模态的方差贡献分别为 90.79%, 5.04%, 2.31%。U, V 分量也是第一模态占优, V 分量第一模态的方差贡献甚至超过了 90%。第一模态是零阶模态体现了潮流的正压部分, 方差贡献也表征了正压潮流的主导地位, 同样体现在图中各个层次上的海流特征基本相同。U, V 分量的第二模态在 10~12 m 左右分界上下流速反向, 为一阶模态, 这与 C1 站点的分布相似, 但是 2 分量随深度增加由正值变为负值, 这与 C1 站点由负到正的变化趋势相反。第三模态以上为高阶模态, 体现了潮流的斜压特性, 但是其方差贡献很小, 说明斜压特征亦不明显。

2.4 正压流动的功率谱分析

分别对 2 个站点垂向平均得到正压潮流 U, V 分量, 做快速离散傅立叶变换功率谱分析, 得到的结果如图 10 所示。可以看出, C1 站点 U, V 分量的成分基本

一致, 半日周期峰值最高, 而周日周期峰值比半日周期峰值低得多, 这与通过调和计算出的潮汐类型为半日潮一致。此外还存在周期为 11.3 h 的振动, 其峰值与周日周期相当。B1 站点处同样是非常明显的半日周期, V 分量在半日周期的功率谱接近 U 分量的 4 倍, 表明这里的经向流动成分很大, 这与垂向平均的主要潮流椭圆长轴接近正北方向一致。从图中也能得到周日周期和 11.4 h 左右周期的振动。

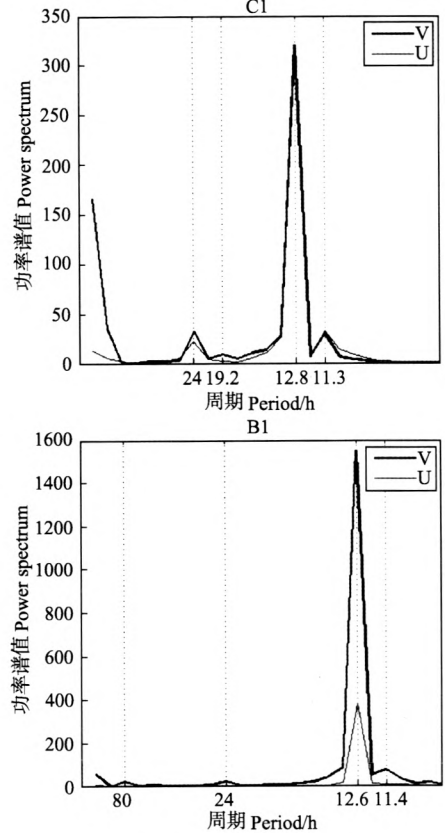


图 10 U, V 功率谱图

Fig. 10 Power spectrum of U and V

表 3 C1 站位流速频率统计表

Table 3 Frequency statistic of current data at C1 station

流向 Current direction	流速分布频率 Frequency of velocity/%				总计 Total
	0~19 cm/s	19~39 cm/s	39~59 cm/s	59~79 cm/s	
N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NNE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE	0.00	0.52	0.00	0.00	0.52
ENE	0.52	4.69	0.00	0.00	5.21
E	0.52	2.60	1.04	0.00	4.16
ESE	1.56	4.69	0.52	0.00	6.77
SE	0.00	7.81	2.08	0.00	9.89
SSE	1.04	5.73	4.69	2.08	13.54
S	1.04	3.65	3.13	2.08	9.90
SSW	0.00	5.21	4.69	0.00	9.90
SW	1.04	8.33	2.60	0.00	11.97
WSW	0.52	5.73	2.08	0.00	8.33
W	1.04	4.69	2.60	0.00	8.33
WNW	0.52	2.08	2.60	0.52	5.72
NW	0.00	0.52	3.13	1.56	5.21
NNW	0.00	0.00	0.00	0.52	0.52
总计	7.80	56.25	29.16	6.76	99.97

2.5 正压流动的频率统计

这里的正压流动是指单纯由于动力因素驱动产生的流动,包括周期性潮流、不随时间变化的定常余流等,不考虑海水由于冷热不均、降水蒸发不均所导致的密度水平差异而产生的斜压流动。

对所测的数据流速、流向进行频率统计,表 3,4 给

出了统计结果,并绘制流向流速频率分布图(见图 11)。从图中可以看出 C1 站位南向流动占绝对优势,SW,SSW,S,SSE,SE 方向的流动均接近或超过 10%。B1 站位亦为南向流动占优,S,SSW 方向的流动超过 15%,SSE 方向的流动出现的次数也较多,占总数的 11.67%。

表 4 B1 站位流速频率统计表

Table 4 Frequency statistic of current data at B1 station

流向 Current direction	流速分布频率 Frequency of velocity/%					总计 Total
	0~19 cm/s	19~39 cm/s	39~59 cm/s	59~79 cm/s	>79 cm/s	
N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NNE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.83
ENE	0.00	2.92	0.83	0.00	0.00	3.75
E	0.00	2.92	0.00	0.00	0.00	2.92
ESE	0.00	2.50	0.42	0.00	0.00	2.92
SE	0.83	2.50	3.33	0.83	0.00	7.50
SSE	1.67	2.50	2.50	3.75	1.25	11.67
S	0.00	0.42	4.58	5.83	7.50	18.33
SSW	0.83	1.67	2.08	6.25	4.17	15.00
SW	0.42	1.67	3.33	2.92	0.42	8.75
WSW	0.83	2.08	2.50	1.67	0.00	7.08
W	0.00	2.92	2.50	0.83	0.00	6.25
WNW	0.00	2.50	1.67	1.25	0.42	5.83
NW	0.00	1.67	2.92	2.50	0.00	7.08
NNW	0.00	0.00	0.42	1.25	0.42	2.08
总计	4.58	27.08	27.08	27.08	14.17	100.00

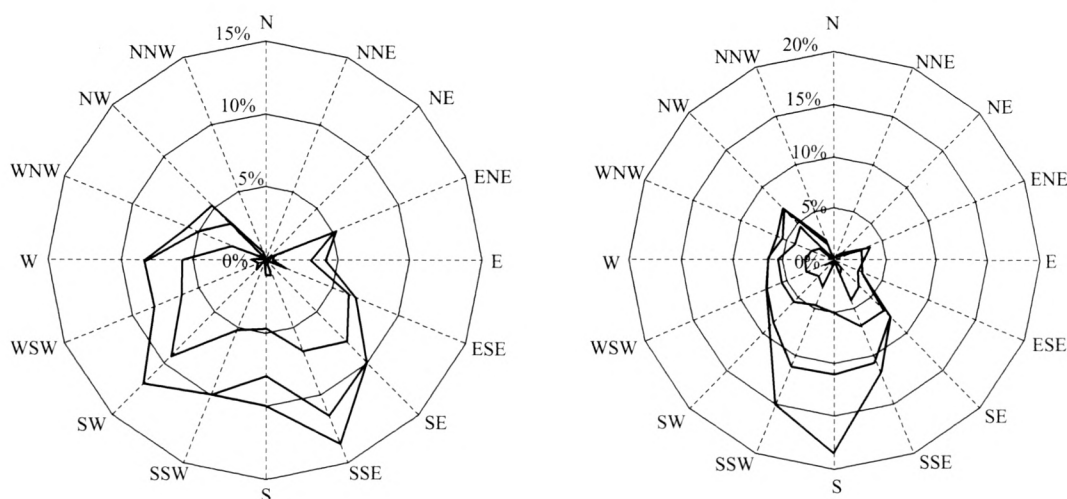


图 11 C1(左)、B1(右)流速频率统计

Fig. 11 Current frequency distribution of C1 (left) and B1 (right)

3 结论

通过对长江口附近海域 C1, B1 2 个站位短期 AD-CP 观测的海流资料进行分析,得到如下结论:

- (1) 观测期间 C1, B1 2 个站位整体的平均速度(U, V)分别为(3.2, 9.2) cm/s 与(8.2, 20.0) cm/s, 方向较一致,均接近东南方向,且海流速度随时间变得愈来愈强,这可能是由于潮流从小潮向大潮过度的原因。
- (2) 时间平均的垂向流动显示,流速随深度减小,且 2

个站位的准定常流动均是南向流动占优。

(3) 调和分析结果表明,长江口外海域 M2 为主要分潮,属于正规半日潮流性质,各层潮流均呈现出旋转流性质,旋转方向为顺时针占绝对优势。

(4) EOF 分解的结果显示,2 个站位潮流的 U, V 分量均为第一模态主导,其垂向模态基本一致,体现了潮流的正压特征,2 个站位的斜压性均不明显。

(5) 功率谱分析印证了流动的显著半日周期,海流的流速、流向频率统计显示 2 站均在 SSE, S, SSW 方向的频率最大。

参考文献:

- [1] 丁文兰. 东海潮汐和潮流特征的研究 [C]. 中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊(21). 北京: 科学出版社, 1983: 135-148.
- [2] 王凯, 叶冬. 东海三定点周日海流观测的准调和分潮分析 [J]. 研究报告, 2007, 31(8): 18-25.
- [3] 陈倩, 黄大吉, 章本照, 等. 浙江近海潮流和余流的特征 [J]. 东海海洋, 2003, 21(4): 1-14.
- [4] Fang Guohong. Tide and tidal current charts for the marginal seas adjacent to China [J]. Chinese J Oceanol Limnol, 1986, 4(1): 1-16.
- [5] 赵骞, 田纪伟, 褚忠信, 等. 渤海、黄海、东海海流场和温度场的数值同化研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2005, 29(6): 821-825.
- [6] 潘玉球, 王康增, 黄树生. 长江冲淡水输运和扩散途径的分析 [J]. 东海海洋, 1977, 15(2): 35-34.
- [7] 潘玉萍, 沙文钰. 夏季闽浙沿岸上升流的数值研究 [J]. 海洋通报, 2004, 23(3): 2-11.
- [8] 浙江省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室, 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告编写委员会. 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告 [R]. 北京: 海洋出版社, 1988.
- [9] 陈义中. 黄海东海环流和长江冲淡水季节连续变化的数值模拟 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [10] 浦泳修, 黄韦良, 许建平. 长江冲淡水扩展方向的周、旬时段变化 [J]. 东海海洋, 2006, 20(2): 1-4.
- [11] Pawlowicz, Beardsley, Lentz. Classical tide harmonic analysis including estimates in MATLAB using T-TIDE [J]. Computers and Geosciences, 2002, 28: 929-937.
- [12] 曹欣中, 唐龙妹, 张月秀, 等. 宁波、舟山海域实测海流分析及潮流场的数值模拟 [J]. 东海海洋, 1996, 14(2): 1-9.
- [13] 杜岩, 王东晓, 陈荣裕, 等. 南海西边界 ADCP 观测海流的垂直结构 [J]. 海洋工程, 2004, 22(2): 31-38.
- [14] 胡基福. 气象统计原理与方法 [M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1996.
- [15] 王雪竹, 李培良, 张婷婷. 南海中部深水海盆的潮流垂直结构 [J]. 海洋学报, 2009, 31(1): 20-27.
- [16] 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): 562-566.
- [17] 杜岩, 齐义泉, 陈举, 等. 东海定点连续观测站海流资料分析 [J]. 海洋工程, 2003, 21(1): 94-100.
- [18] 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.
- [19] 左军成. 海洋水文环境要素的分析方法和预报 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2003.
- [20] 叶安乐, 李凤岐. 物理海洋学 [M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1991.
- [21] 娄安刚, 王学昌, 吴德星, 等. 渤海中部一个月实测潮流资料分析 [J]. 研究报告, 2002, 26(11): 23-27.
- [22] 刘勇刚, 袁耀初, 刘倬腾, 等. 1999 年 6 月东海陆架海流观测与谱分析 [J]. 海洋学报, 2001, 24(3): 53-62.

Analysis of the Summertime Current Observations Outside of the Yangtze Estuary in Donghai

ZHAN Peng¹, CHEN Xue-En¹, HU Xue-Jun², ZHAO Jian¹, DU Pan-Jun²

(1. College of Physical and Environmental Oceanography, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Marine Forecast Center of East China Sea, State Oceanic Administration, Shanghai 200081, China)

Abstract: Based on the successive acoustic Doppler current profiler (ADCP) observations at 2 stations located outside of Yangtze estuary from August to September 2009, by the methods of Tidal Current Harmonic Analysis (TCHA), EOF, Fast Fourier Transform (FFT) and frequency statistics. The current trend during the observed period and its spatial structure characteristics are analyzed, the results show that velocity at both stations gradually becomes larger during the observation period, and the quasi-steady current of V-component is dominant for both stations. M2 is the dominant partial tide in this area, which is in charge of regular semi-diurnal tide. The tidal current turns to be rotating current, mainly clockwise. By EOF analysis, we find that the first vertical modes of U and V of both 2 stations are dominant, which incarnates barotropic tidal current feature, while the tidal current seems weak in baroclinic feature. Statistics show that the largest frequencies occur in the SSE, S and SSW directions.

Key words: ADCP; current; harmonic analysis; EOF; FFT

责任编辑 庞旻