

“纳沙”台风期间广西白龙尾近岸海域余流特征及产生机制*

Characteristics and Formation Mechanism of the Residual Current in the Coastal Waters of Bailongwei during the Nesat Typhoon

陈波¹,陈宪云¹,侍茂崇²,徐智昕¹,牙韩争¹

CHEN Bo¹,CHEN Xianyun¹,SHI Maochong²,XU Zhixin¹,YA Hanzheng¹

(1. 广西科学院广西近海海洋环境科学重点实验室,广西南宁 530007;2. 中国海洋大学,山东青岛 266003)

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266003, China)

摘要:【目的】研究“纳沙”台风影响期间广西白龙尾近岸海域余流特征及产生机制,为探讨台风作用下近岸余流的变形和强化提供理论依据。【方法】根据“纳沙”台风期间,广西白龙尾近岸一定点 S1 站的高分辨率连续实测海流剖面资料,对该观测点各层实测流速流向特征和余流流动特点进行研究。【结果】在无台风期间,观测点各层的余流流速一般小于 10 cm/s,表层的余流流速平均值为 5.7 cm/s,中层为 3.5 cm/s,底层为 3.1 cm/s。最大余流流速,表层为 16.3 cm/s,中层为 14.2 cm/s,底层为 12.0 cm/s。在台风登陆期间,观测点表、中、底层最大余流流速分别为 39.7 cm/s、32.4 cm/s 和 20.7 cm/s,最大流速值可达 60.9 cm/s,超出正常值 3 倍以上。随着水深深度的增加,风应力对水体的作用迅速减小,底层低频流流速最大值仅为 31.1 cm/s。从余流流向分级图可以看出:无台风期间,表层余流流向为 WSW 向,中层以下流向为 NE 向,台风登陆期间,余流流向为 SW 向。【结论】余流流速大小与方向的变化与风、补偿流、地形有密切关系。

关键词:余流特征 产生机制 白龙尾海域

中图分类号:P732 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2018)01-0036-07

Abstract:【Objective】To study the characteristics and formation mechanism of the residual current in the coastal waters of Bailongwei during the Nesat Typhoon can provide theoretical basis for the deformation and strengthening of the offshore residual current under the effect of typhoon. 【Methods】According to the high resolution continuous current profile data measured on S1 station during the “Nesat” typhoon, which was located in the coastal area of the Guangxi Bailongwei, the characteristics of the measured current velocity and direction at each layer and

the characteristics of the residual current of the observation point were studied. 【Results】In the period of no typhoon, the residual current velocity at each layer was generally less than 10 cm/s. The average residual current velocities of the surface layer, the middle layer and the bottom layer were 5.7 cm/s, 3.5 cm/s and 3.1 cm/s, re-

收稿日期:2017-12-06

修回日期:2018-01-24

作者简介:陈波(1954—),男,研究员,主要从事海洋动力学研究, E-mail:cbgkxxy@163.com.

* 国家自然科学基金项目(41576024)和广西重点研发计划项目(桂科 AB16380282)资助。

spectively. The maximum residual current velocity of the surface layer was 16.3 cm/s, the middle layer was 14.2 cm/s and the bottom layer was 12.0 cm/s. During the landing of the typhoon, the maximum velocities of the residual current were 39.7 cm/s at surface layer, 32.4 cm/s at the middle layer and 20.7 cm/s at the bottom layer. The maximum velocity was up to 60.9 cm/s, which was more than three times over the normal value. With the increasing of the water depth, the effect of the wind stress on the water reduced rapidly, the maximum velocity of the low frequency current was only 31.1 cm/s at the bottom layer. The classification diagrams of the residual current velocity showed that the direction of the residual current was WSW direction at the surface layer and the direction below the middle layer was NE without typhoon, while the residual current direction was SW during typhoon. **【Conclusion】**The variation of the velocity and direction of the residual current was closely related to the wind, the compensation current and the terrain.

Key words: residual current, formation mechanism, Bailongwei waters

0 引言

【研究意义】广西沿海是台风的多发区。据报道, 1949—2010年间, 影响北部湾北部的热带风暴(台风)总数为296个; 2011—2016年, 共有15个强台风登陆和影响北部湾北部^[1-3]。台风登陆北部湾对广西沿岸水位增减变化产生极大的影响, 据统计, 从1965—2010年, 台风登陆引起广西沿海水位升高0.5~1.0 m有18次, 1 m以上的有11次, 达到2 m及以上的有5次^[4]。几乎每相隔10年就会发生一次最大增水过程。2013—2015年, 登陆广西沿海引起水位超过1.5 m以上也有1次, 即2014年7月19—20日登陆广西的超强台风“威马逊”, 给广西造成138.4亿元的经济损失, 并使珊瑚礁、海草床、红树林等主要海洋生态系统受损, 海洋生态损失达5亿元以上。**【前人研究进展】**余流通常指实测海流资料中, 除去周期性流动(天文潮)之外剩余的那部分流动, 其中包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动^[5]。余流直接指示水体的运移和交换, 对海水中悬浮及可溶性物质的稀释、扩散和输运起重要作用, 尤其是在沿岸及港湾, 所以研究其运动规律及演变趋势更为有意义。历史观测资料 and 新的数值模拟结果表明, 北部湾夏季环流表现为湾内北部是气旋式环流, 而南部是反气旋式环流^[6-8], 湾北和南部分别受风应力旋度和南中国海流的影响。尽管关于冬季环流仍然存在不同观点, 但大量证据支持北部湾南部和北部均存在气旋式环流^[9-10]。**【本研究切入点】**以往的研究都是基于周日连续海流观测的结果, 台风期间观测的海流观测数据很少, 缺乏对长序列海流观测资料的研究。

【拟解决的关键问题】本研究主要对利用声学多普勒海流剖面仪在广西沿岸单点获得的高分辨率、连续一

年的流速、流向剖面资料进行分析, 了解台风期间各水层余流与风的响应情况, 重点研究受“纳沙”台风影响期间广西白龙尾沿岸水位变化与余流之间的内在规律及其产生机制, 为探讨台风作用下近岸余流的变形和强化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查站位

调查站位S1站位于广西防城港市白龙半岛附近(图1), 离岸约1 km, 该站东、南、西3面为开阔水域, 海图水深约为8 m。B08~B14断面资料来自厦门大学908-01-ST09项目的2006年航次。

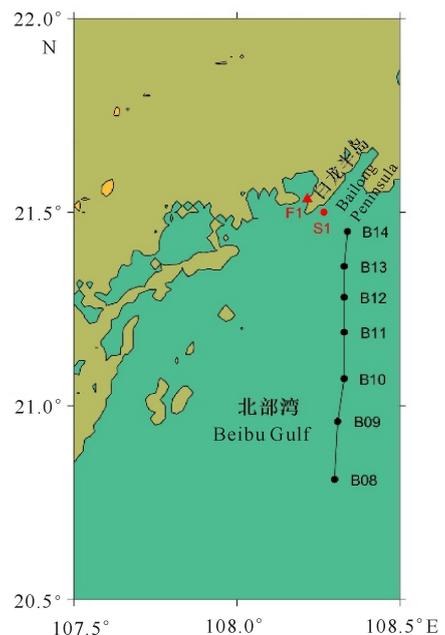


图1 观测站位位置示意图

Fig. 1 The position of the observation stations

1.2 调查方法

观测使用的仪器为 AWAC 声学多普勒海流剖面仪,采用座底方式向上进行观测。其中流速、流向观测层间距为 0.5 m。仪器每 1 min 发射 60 个声脉冲,经平均得到整个剖面海流数据^[11]。从剖面数据中挑选表、中、底 3 层数据进行分析。这里的表层是指水面下 1 m 处,底层是指离海底高度约 1.5 m 处,中层是指相对于表、底层中间的位置。

1.3 资料处理

实测海流资料中包含 3 部分,即高频流-噪声部分、潮流-周期性分量和定常余流-准定常分量。在分析资料时,首先通过 AWAC 声学多普勒海流剖面仪自带的 ExploreP.exe 软件对流速、流向原始数据进行高频滤波处理,将实测数据中的高频噪声成分基本滤掉,得到潮流和定常余流为主的流动;然后再将上述得到的流动分解成东、北分量,并采用 Lanczos 余弦滤波器^[12]对其分别进行滤波,得出实测海流中低频流动的部分,此滤波器的优点是对于周期大于 2 d 的低频振动只有微小的减弱,文中采用截止频率为 1/25 的海流连续记录,其中包括流速和流向。在此基础上再计算余流值,分析台风期间余流产生机制。

2 结果与分析

2.1 余流特征

2.1.1 正常天气余流特征

正常天气情况下 S1 站余流流速较小,观测点各层的余流流速一般小于 10 cm/s,表层的余流流速平均值为 5.7 cm/s,中层为 3.5 cm/s,底层为 3.1 cm/s,余流流速从表层至底层有逐渐减小的规律。各向中,WSW 向年平均余流流速最大,表、中、底层平均余流流速分别为 11.2 cm/s、8.5 cm/s 和 7.0 cm/s (图 2)。春季,表层各向平均余流流速最大值出现在 WSW 向,为 10.9 cm/s,中、底层最大值出现在 ENE 向和 NE 向,分别为 8.7 cm/s 和 7.2 cm/s;夏季,表、中、底层各向平均余流流速最大值均出现在 WSW 向,分别为 14.4 cm/s、8.9 cm/s 和 6.3 cm/s;秋季,表层各向平均余流流速最大值出现在 SW 向,为 9.4 cm/s,中层最大值出现在 WSW 向,为 8.9 cm/s,底层最大值出现在 NE 向,为 7.5 cm/s;冬季,表层各向平均余流流速最大值出现在 SW 向,为 8.6 cm/s,中层最大值出现在 ENE 向,为 7.7 cm/s,底层最大值出现在 NE 向,为 7.3 cm/s。

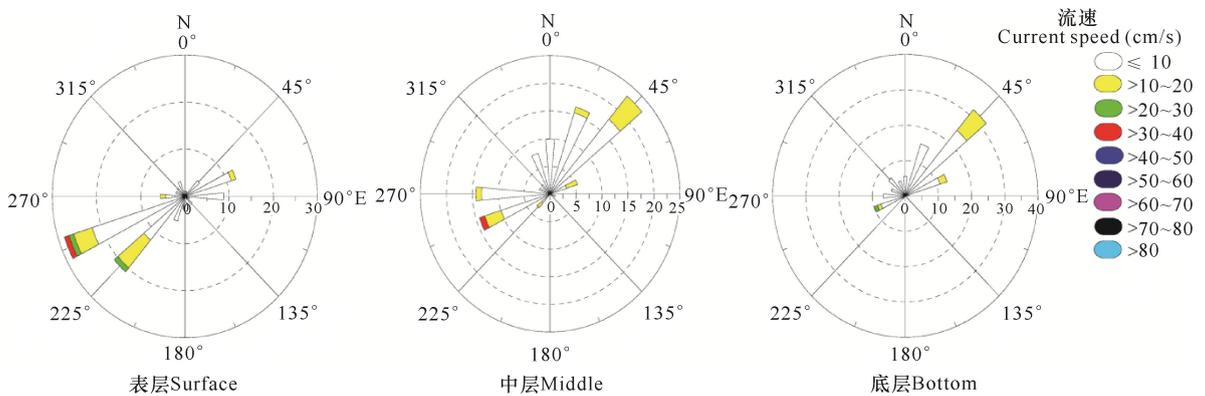


图 2 S1 站表、中、底层年平均余流流速、流向分级玫瑰图

Fig. 2 Rose diagrams of the annual average current velocity and direction of the residual current at the surface layer, middle layer and bottom layer in S1 station

2.1.2 台风期间余流特征

2011 年 9 月 29 日,第 17 号强台风“纳沙”影响海南、广东、广西等地,受“纳沙”影响,海南、广东、广西部分地区出现强风雨天气。据统计,28 日 20:00 至 30 日 14:00,广西南部沿海出现 11~14 级大风,广西防城港市局地降水 332 mm。2011 年 9 月 24 日,强台风“纳沙”在西北太平洋洋面上生成,9 月 26 日夜間和 29 日 7:00,“纳沙”台风二次加强成为强台风。9 月 27 日 7:00 在菲律宾吕宋岛东部沿海登陆,29 日 14:30 在海南文昌市翁田镇沿海登陆,21:15 在

广东徐闻角尾乡再次登陆,30 日 11:30 在越南北部广宁沿海登陆,20:00 在越南北部减弱为热带低压。

将 2011 年 9 月 27 日—10 月 5 日“纳沙”台风期间 S1 站逐时的低频流动绘制成过程曲线(图 3),图中横轴的时间间隔为 1 h。由图 3 可以看出:正常天气期间,各层低频流速小于 20 cm/s,方向为 N 和 NE 向。台风登陆前后,流速有较大变化:

(1)从 9 月 29 日 20:00 起,在台风登陆期间观测点各层流向从 NE 方向迅速沿顺时针方向转成 SW 向,很快达到最大值,其中表层逐时低频流流速最大

值达 60.9 cm/s,随着水深深度的增加,风应力对水体的作用迅速减小,中层低频流流速为 47.6 cm/s,而底层仅为 31.1 cm/s。

(2)从 10 月 1 日以后,台风开始移走,此时观测点各层流速逐渐减小,流向也逐渐恢复到 N 和 NE 向,但各层恢复的速度不一样,底层恢复快,10 月 1 日 2:00 流向就恢复常态。中层与表层相差并不大,但表层恢复慢,10 月 2 日 20:00 后流向才转向 NE。

(3)从表层至底层,流速最大值出现时间逐渐推迟,底层比表层延时约 2 h。

(4)对每日逐时的低频流流速进行日平均计算,9 月 30 日,表、中、底层余流日平均值分别达 40.0 cm/s、34.2 cm/s 和 21.7 cm/s。

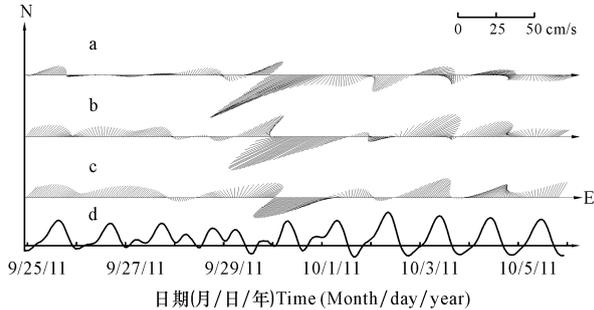


图 3 “纳沙”台风期间 S1 站表层(a),中层(b),底层(c)低频流动过程曲线和潮位过程曲线(d)(时间轴节点表示 0:00)

Fig. 3 The low frequency flow curve in S1 station at surface layer (a), middle layer (b), bottom layer (c), during Nesat typhoon and tidal level process curve (d) (time axis node represents 0 o'clock)

与历年登陆广西沿海的台风相比,“纳沙”的影响不是最强的。但是在“纳沙”影响下,原本东北向流,突然变成西南向流,日平均流速表层为 40.0 cm/s,

表 1 防城港气象站风速和风向统计(2011.9.28—10.4)

Table 1 Wind speed and direction statistics of the Fangcheng Port weather station(2011.9.28—10.4)

时间 (年-月-日) Time (year-month-day)	2:00		8:00		14:00		20:00		平均风速 Average speed (m/s)
	风速 Speed (m/s)	风向 Direction	风速 Speed (m/s)	风向 Direction	风速 Speed (m/s)	风向 Direction	风速 Speed (m/s)	风向 Direction	
2011-9-28	1.0	W	1.5	NW	4.5	NNW	1.0	N	2.0
2011-9-29	2.9	N	6.2	NW	6.1	N	10.2	EN	6.4
2011-9-30	1.3	SE	9.1	SE	7.1	SE	4.7	SW	8.5
2011-10-1	2.8	S	1.9	S	2.3	WS	1.5	SE	2.1
2011-10-2	1.3	NW	2.8	N	4.1	N	4.1	N	3.1
2011-10-3	6.6	N	6.6	N	7.6	N	6.5	N	6.8
2011-10-4	6.1	N	7.1	N	8.4	N	7.1	N	7.2
各时次平均 Average speed	4.8	—	5.0	—	5.7	—	5.0	—	5.1

中层为 34.2 cm/s,底层为 21.7 cm/s。表层余流最大流速为 60.9 cm/s,超出正常值 3 倍以上。这种现象在其它区域是很少见的。

2.2 余流产生机制

2.2.1 风的影响

根据位于观测点东北方向约 7 km 处的防城港气象站的观测结果(表 1),2011 年 9 月 28 日,台风登陆前,白龙尾半岛风向主要为 NW ~ NNW 向;2:00—20:00 风速只有 2.0 m/s 左右。9 月 29 日,风向开始偏向东北,风速也迅速增大;2:00 时,风速为 2.9 m/s;8:00—14:00,风速达到 6.2 m/s;20:00 时,风速达到 10.2 m/s,平均风速为 6.4 m/s。9 月 30 日,除 2:00 风速较小外,8:00,14:00 和 20:00 的风速分别为 9.1 m/s、7.1 m/s 和 4.7 m/s,平均风速最大达 8.5 m/s;风向开始转为 SE 向。10 月 1 日开始,风速明显减弱,风向逐渐向西偏转,为 S ~ WS 向。对应白龙尾岸站(F1)水位增减变化过程可以看出,风速的变化与水位增减的变化基本一致,“纳沙”台风过境期间,白龙尾岸站(F1)水位先减后增。由于北风(离岸风)的作用,9 月 29 日白龙尾半岛沿海岸海域 6:00 开始减水,20:00 急剧减水,到 30 日凌晨 2:00,减水达到最低,和偏北风作用直接相关。但是,到了 30 日 4:00,风向转为偏南风,平均风速为 7.3 m/s,最大风速超过 14 m/s。5:00—8:00,平均风速为 7.7 m/s,最大风速超过 16 m/s;9:00—12:00,平均风速降低,只有 5.5 m/s;12:00 过后,风向转为西南风,风速降至 5 m/s 左右。由于风向转为偏南风,风吹向岸边,水在岸边堆积,产生增水。到 30 日上午 10:00,增水达到最大 65 cm(图 4)。

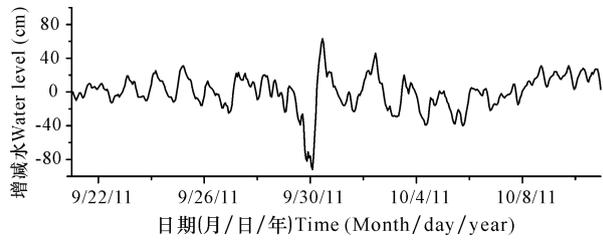


图4 “纳沙”台风过境期间白龙尾岸站(F1)水位增减变化过程

Fig. 4 The changing process of the water level in Bailongwei Station (F1) during Nesat typhoon

位于白龙尾岸站(F1)的水位增减变化明显受到台风的影响,台风登陆期间的2011年9月30日上午10:00增水值达最大。同样,与岸站(F1)相对应的观测点(S1)余流流速变化基本一致。台风登陆期间(9月29日20:00起),各层流向从NE方向沿着顺时针方向迅速转成SW向,观测点表层逐时低频流流速最大值达60.9 cm/s,随着水深深度的增加,风应力对水体的作用迅速减小,中层低频流流速为47.6 cm/s,而底层仅为31.1 cm/s。由此可见,余流大小变化与风的作用有关。

2.2.2 补偿流的影响

对白龙尾的海流观测资料进行滤波,并将得到的余流结果绘制成余流矢量玫瑰图,如图5和图6所示。由冬季3个月平均的表、中、底层余流矢量玫瑰图(图5)可以看出,表层受风的影响,余流流向呈东南向,但中层和底层的余流则指向东北,特别是底层更加明显。这与夏季余流(图6)相反,表明这里夏季是气旋式环流,这也与高劲松等^[13]的分析结果一致,即冬季是反气旋环流,夏季是气旋式环流。两种不同形式的环流导致温盐分布形式也不同。图7是断面B08~B14盐度分布,可以看出,夏季盐度底层明显向浅水(近岸)弯曲,这是上升流引起的;而冬季,近岸盐度曲线则有向岸外弯曲的趋势,这是下降流的盐度典型分布特征^[14-15]。

2.2.3 地形的影响

观测点位于北部湾北侧的广西白龙半岛海域,它的东面为防城港湾,西面为珍珠湾。防城港湾被NE-SW走向的渔万岛分成两部分,湾口东面为企沙半岛,西面为白龙半岛,湾内有防城河注入。珍珠湾呈漏斗状,东部、北部丘陵直逼海湾,西部由沙堤或海堤所围,仅南面湾口与北部湾相通。口门西面为万尾岛,东面为白龙半岛,湾顶有江平江、黄竹江注入。据气象资料统计,观测点冬半年盛行东北季风,风力较强而稳定;夏半年盛行西南季风,东北季风期长于西

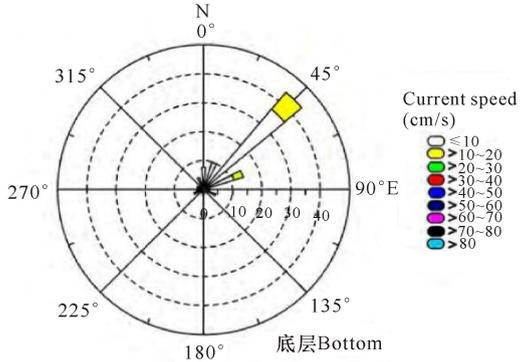
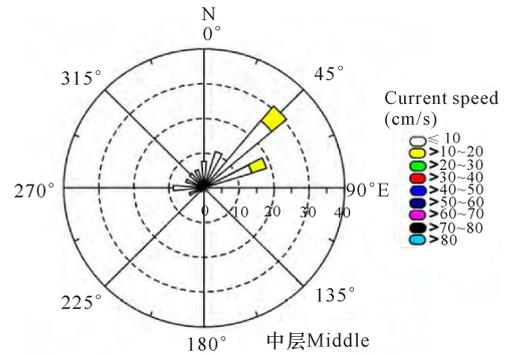
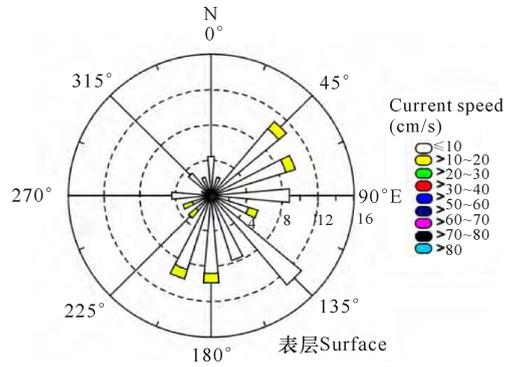


图5 冬季余流流速、流向分级玫瑰图

Fig. 5 Rose diagrams of current velocity and direction of residual current in winter

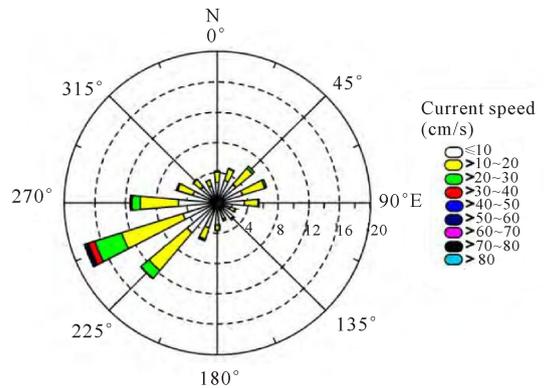


图6 夏季中层余流流速、流向分级玫瑰图

Fig. 6 Rose diagrams of current velocity and direction of residual current at middle layer in summer

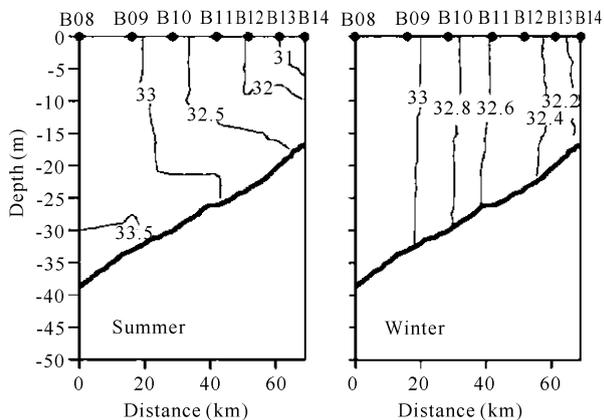


图7 2006年冬季和夏季断面B08~B14盐度分布

Fig. 7 The distribution of salinity in section B08~B14 in winter and summer, 2006

南季风期。受地理环境条件限制,加之北部湾海区尺度小,广西沿岸海域本身未能形成独立的潮波系统,主要受制于北部湾的潮波系统。潮汐、波浪、沿岸流、风应力等多种因子使观测点附近海域水动力状况较为复杂。据文献[16-18]报道,广西港湾水位增减过程具有自己的特点:在增水前期一般出现一次减水过程,然后迅速增水,增水幅度大,上升快,每次台风诱发增水一般都达1 m以上;而减水时间长,下降慢,可以延续10~20 h以上。例如:1983年03号强台风,防城港在不到1 h内增水2.0 m,而减水时间则延续10 h以上,有的甚至延续20 h以上,几乎无规律性可寻,这在其他海域是很少看见的。在防城港及珍珠港附近海区,由于白龙半岛向西南插入北部湾,所以,外海水在向白龙半岛移动时受阻。此时,来自沿岸的防城河、江平江、黄竹江入海径流势力仍然很强,并直逼外海水,外海水受到径流冲淡水冲击后,不得不改变原来的流动方向,所以在白龙半岛的西南处构成一个逆时针环流模式,这一环流模式在夏季受到东南季风的作用下在向岸推进的过程中,水深突然变浅,底摩擦作用产生,水质点向前移动的速度减慢,故该环流仍基本维持在白龙半岛以近,向近岸推进的范围不大。所以,在珍珠港湾附近海域并未构成独立的环流系统,而是以径流冲淡水作为补充的西向风浪流以及白龙半岛深水处的环流影响所致。但由于白龙半岛地形的影响,这股混合环流在靠近海岸时主流向发生了改变,从而形成了NE~SW向为主的沿岸流。S1站位的实测流速大小及流向证实了地形的作用,如2011年9月29—30日强台风“纳沙”影响期间,受白龙半岛地形走向的制约,主流向为NE~E向和SSW~WSW向,从表层至底层,东北向流出现频率逐渐增大,台风“纳沙”影响期间,表层实测流速出现了103.7 cm/s的最大流速,而其它方向的流速均较

小,一般小于50 cm/s,SW向余流流速最大值达60.9 cm/s。

3 结论

根据“纳沙”台风期间广西白龙尾近岸一定点S1站高分辨率连续的实测海流剖面资料进行初步分析得出:无台风期间,观测点各层的余流流速一般小于10 cm/s,表层的余流流速平均值为5.7 cm/s,中层为3.5 cm/s,底层为3.1 cm/s,余流流速从表层至底层有逐渐减小的规律。最大余流流速,表层为16.3 cm/s,中层为14.2 cm/s,底层为12.0 cm/s;在台风登陆期间,观测点表、中、底层最大余流流速分别为39.7 cm/s,32.4 cm/s,20.7 cm/s,最大流速值可达60.9 cm/s,超出正常值3倍以上。随着水深深度的增加,风应力对水体的作用迅速减小,底层低频流流速最大值为31.1 cm/s。台风对余流有重要的影响作用。

与观测点(S1)相近1 km岸站(F1)的水位变化比较同样得出,台风登陆期间岸站(F1)水位达最大,而位于观测点的余流值也出现最大,说明余流大小变化与风的作用有关。除此之外,余流最大值与沿岸补偿流及地形也有密切关系。

台风登陆期间,观测点各层流向从NE方向沿顺时针方向迅速转成SW向,余流最大值达到60.9 cm/s。无台风期间,WSW向年平均余流流速最大,表层平均余流流速为11.2 cm/s,中层以下流向为NE向,平均余流流速分别8.5 cm/s和7.0 cm/s。

参考文献:

- [1] 陈宪云,陈波,刘晖. 广西沿海风暴潮灾害及防治对策[J]. 海洋湖沼通报,2013(4):17-23.
CHEN X Y, CHEN B, LIU H. Guangxi coastal storm surge disasters and countermeasures[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(4): 17-23.
- [2] 陈宪云,刘晖,董德信. 广西主要海洋灾害风险分析[J]. 广西科学,2013,20(3):248-253.
CHEN X Y, LIU H, DONG D X. Analysis of Guangxi marine disaster risk[J]. Guangxi Sciences, 2013, 20(3): 248-253.
- [3] 陈波,董德信,陈宪云,等. 历年影响广西沿海的热带气旋及其灾害成因分析[J]. 海洋通报,2014,33(5):527-532.
CHEN B, DONG D X, CHEN X Y, et al. Analysis of tropical cyclones affecting Guangxi coast over the years and their disaster causes[J]. Marine Science Bulletin, 2014, 33(5): 527-532.
- [4] 陈波,邱绍芳. 北海港多年一遇风暴潮增减水极值推算

- [J]. 广西科学院学报, 2000, 16(3): 112-114.
- CHEN B, QIU S F. Reckoning of extremal water level fluctuation caused by storm surge in every years in Beihai Port [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2000, 16(3): 112-114.
- [5] 陈波, 严金辉, 王道儒, 等. 琼州海峡冬季水量输运计算 [J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(3): 357-364.
- CHEN B, YAN J H, WANG D R, et al. The transport volume of water through the Qiongzhou Strait in the winter season [J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(3): 357-364.
- [6] XIA H Y, LI S H, SHI M C. Three-D numerical simulation of wind-driven current and density current in the Beibu Gulf [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 20(4): 455-472.
- [7] 杨士瑛, 鲍献文, 陈长胜, 等. 夏季粤西沿岸流特征及其产生机制 [J]. 海洋学报, 2003, 25(6): 1-8.
- YANG S Y, BAO X W, CHEN C S, et al. Analysis on characteristics and mechanism of current system in west coast of Guangdong Province in the summer [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(6): 1-8.
- [8] 俎婷婷. 北部湾环流及其机制的分析 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- ZU T T. Analysis of the current and its mechanism in the Gulf of Beibu [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [9] 方雪原. 北部湾冬季环流及其水交换的数值模拟研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- FANG X Y. Numerical simulation of seasonally circulation and water exchange in the Beibu Gulf [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [10] 俞慕耕, 刘金芳. 南海海流系统与环流形势 [J]. 海洋预报, 1993, 10(2): 13-17.
- YU M G, LIU J F. South China Sea circulation system and situation [J]. Marine Forecasts, 1993, 10(2): 13-17.
- [11] 陈波, 陈宪云, 董德信, 等. 登陆北部湾北部台风对广西近岸水位变化的影响分析 [J]. 广西科学, 2015, 22(3): 245-249, 254.
- CHEN B, CHEN X Y, DONG D X, et al. Analysis of the influence of water level change in Guangxi near-shore caused by typhoon landed in the north of Beibu Gulf [J]. Guangxi Sciences, 2015, 22(3): 245-249, 254.
- [12] 陈上及, 马继瑞. 海洋数据处理分析方法及其应用 [M]. 北京: 海洋出版社, 2000.
- CHEN S J, MA J R. Analysis methods of marine data processing and its application [M]. Beijing: Ocean Press, 2000.
- [13] 高劲松, 陈波, 侍茂崇. 北部湾夏季环流结构及生成机制 [J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(1): 99-112.
- GAO J S, CHEN B, SHI M C. Summer circulation structure and formation mechanism in the Beibu Gulf [J]. Science China: Earth Science, 2015, 58: 286-299. DOI: 10.1007/s11430-014-4916-2.
- [14] 陈波, 李培良, 侍茂崇, 等. 北部湾潮致余流和风生海流的数值计算与实测资料分析 [J]. 广西科学, 2009, 16(3): 346-352.
- CHEN B, LI P L, SHI M C, et al. Numerical computation and analysis of observational data of tide-induced residual currents and wind-driven currents in Beibu Bay [J]. Guangxi Sciences, 2009, 16(3): 346-352.
- [15] 高劲松, 陈波. 北部湾冬半年环流特征及驱动机制分析 [J]. 广西科学, 2014, 21(1): 64-72.
- GAO J S, CHEN B. Analysis on characteristics and formation mechanism of the winter boreal circulation in the Beibu Gulf [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(1): 64-72.
- [16] 陈波, 侍茂崇. 廉州湾风暴潮的数值模拟 [J]. 海洋通报, 2001, 20(3): 88-92.
- CHEN B, SHI M C. A numerical simulation of storm surge in Lianzhou Bay [J]. Marine Science Bulletin, 2001, 20(3): 88-92.
- [17] 陈波, 魏更生. 广西沿海风暴潮的数值计算研究 [J]. 海洋湖沼通报, 2002(2): 1-8.
- CHEN B, WEI G S. Numerical calculation of storm surges near Guangxi coast [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2002(2): 1-8.
- [18] 陈波, 邱绍芳. 广西沿海港湾风暴潮增减水与台风路径和地形效应的关系 [J]. 广西科学, 2000, 7(4): 282-285.
- CHEN B, QIU S F. Impacts of typhoon course and landform on water level fluctuation in the coastal bays in Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2000, 7(4): 282-285.

(责任编辑: 陆 雁)