

登陆北部湾北部台风对广西近岸水位变化的影响分析* Analysis of the Influence of Water Level Change in Guangxi Nearshore Caused by Typhoon Landed in the North of Beibu Gulf

陈波¹, 陈宪云¹, 董德信¹, 侍茂崇², 邱绍芳¹

CHEN Bo¹, CHEN Xian-yun¹, DONG De-xin¹, SHI Mao-chong², QIU Shao-fang¹

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

摘要:根据台风“纳沙”登陆期间广西白龙半岛南面海域 1 km 处 S1 站连续的实测海流剖面资料, 白龙尾 F1 站的水位资料和台风“榴莲”登陆期间铁山港石头埠 F2 站的水位资料, 分析登陆北部湾北部台风对广西近岸水位变化的影响, 得出如下结论: 在无台风期间, S1 观测点表层的最大实测潮流流速为 40.0 cm/s, 表层的最大余流流速为 20 cm/s。在台风登陆期间, S1 观测点表层的实测潮流最大流速为 103.7 cm/s, 表层的最大余流流速为 39.7 cm/s, 比无台风期间高 2 倍左右。但随着水深的增加, 潮流和余流的流速逐渐减小; 岸站 F1、F2 的水位变化过程是, 台风登陆前, 水位减至最低; 台风登陆后, 水位增至最大, 水位的增、减变化与台风作用过程有关。同时, 认为台风登陆期间广西沿岸水位的抬升和下降变化与风、港湾地形、大气重力波所产生的共振作用有着密切的关系。

关键词: 水位变化 潮流 余流 台风影响

中图分类号: P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2015)03-0245-05

Abstract: The influence of water level change in Guangxi nearshore caused by typhoon landed in the north of Beibu Gulf was analyzed according to the continuous current profile data measured at Station S1 in the south water of Bailong Peninsula, the tidal data measured at Station F1 during typhoon Nesat landed in Guangxi nearshore and the tidal data measured at Station F2 in Tieshan Port during typhoon Durian landing. The results showed that the maximum measured current speed and residual current speed of surface layer were 40 cm/s and 20 cm/s, respectively, at Station S1 during non-typhoon. But during the strong typhoon, the maximum current speed at the surface layer reached 103.7 cm/s, and the residual current speed was 39.7 cm/s,

which was about 2 times during non-typhoon. With increasing water depth, the speed of tidal current and residual current were gradually reduced. The water level at Stations F1 and F2 dropped to the minimum before typhoon landing, whereas the water level increased to the maximum after typhoon landing. Increasing or

收稿日期: 2014-12-10

修回日期: 2014-12-25

作者简介: 陈波(1954-), 男, 研究员, 主要从事近海环境动力学研究。

* 国家自然科学基金项目(批准号: 41266002)和广西重大基础专项(合同号: 2012GXNSFEA0533001)资助。

reducing of water level associated with the typhoon process. Meanwhile the change of water level rising or falling in Guangxi nearshore was closely related to the resonant interaction generated by wind, harbor terrain and atmospheric gravity waves during typhoon landing.

Key words: water level change, tidal current, residual current, typhoon impact

0 引言

台风作用引起沿岸水位的变化,是指海水在运动过程中受到台风的直接影响后其传播的速度随水深、地形而改变的一种波动现象。这种波动现象在近岸海区表现为水位波动的振幅增加或减小,在半封闭的海湾则表现为水位的抬升与下降,即通常说的台风引起的海面增水或减水,亦叫台风暴潮增减水。台风暴潮是由于剧烈的大气扰动导致海水异常升降,是一种典型的海洋灾害。由台风引起的暴潮高出正常的潮水位(即天文潮水位)称为风暴潮增水,反之,则称为风暴潮减水^[1]。近 50 年来登陆广西沿海台风引起了港湾增水,造成很大的损失,根据文献^[2~4]的报道,1965~2012 年,广西沿海地区受台风影响共有 90 余次,其中 18 次最严重者都是由直接登陆广西沿海台风引起的。直接登陆的台风引起的沿岸水位变化最为显著,平均增水值为 111.2 cm,超过非直接登陆的台风 2.6 倍。台风登陆期间,广西沿岸主要港湾实测水位为 5.08~8.33 m,比正常水位高出 2 m^[5,6]。台风登陆期间引起的增水造成的灾害损失也极为惨重^[7~9]。如:1996 年 9 月 9 日,广西沿海遭受 15 号强台风袭击,北海市一县三区受灾人口达 111.48 万,直接经济损失 25.55 亿元;钦州市倒塌房屋 2 万间,海堤被毁 300 m。2001 年 6 月 26 日 3 号强台风“榴莲”正面袭击北海市,全市受灾人口达 50 多万。2013 年 11 月 11 日登陆的强台风“海燕”给北海、钦州、防城港各市造成严重的经济损失,受灾人口近 3 万。

关于台风引起北部湾沿岸附近的水位变化的研究,丁扬等^[10]曾对 2013 年第 11 号台风“尤特”和第 16 号台风“玉兔”登陆广东湛江期间的南海北部沿岸水位的变化进行了定量分析,得出:在台风过境时,水位波动有从东北向西南沿岸传播的趋势,波动信号在台风的影响下十分强烈,随着台风的消失,水位波动的振幅逐渐减小。台风“尤特”引起的波动在南海北部沿岸传播速度约 5.2~11.4 m/s,当波动传播至海南岛东岸时,波动的速度明显减小,速度约为 4.2 m/s。这意味着台风引起的波动越过琼州海峡后,继续围绕海南岛传播的速度会变慢。同样地,台风“尤特”引起的水位波动在南海北部沿岸传播速度约 3.4 m/s,而波动绕海南岛传播的速度约为 2.5 m/s。此

外,还有一些学者对南海北部沿岸水位的波动展开了相关的研究,并取得了一定的成果^[11,12]。台风登陆北部湾北部对广西近岸水位变化影响的研究,至今尚未见报道,少数已有的研究也是基于周日连续海流观测结果。由于台风影响期间周日连续观测的海流数据很少,缺乏长序列海流观测资料,其研究的科学性还有待于提高。本文根据登陆北部湾北部台风“纳沙”登陆期间广西沿海白龙半岛一定点(S1 站)高分辨率连续的实测海流剖面资料及该海域岸边的潮位观测站(F1)的水位资料,以及台风“榴莲”登陆期间铁山港潮位观测站(F2)的水位资料进行分析,了解台风登陆期间各水层流速、流向的响应情况,以及港湾内水位的变化情况,以期找出引起水位变化的影响因素,为防灾减灾提供科学依据。

1 潮流、余流及水位的变化

2011 年 9 月 29 日 14 时,台风“纳沙”第一次在海南省文昌、海口市登陆,9 月 30 日 8 时,台风“纳沙”第二次在广西东兴市附近登陆。受台风“纳沙”影响,海南、广西、广东出现强风雨天气。据统计,2011 年 9 月 28 日 20 时至 30 日 14 时,广西防城港市局地降水 332 mm,南部沿海出现 11~14 级大风,近岸海域潮流和余流及港湾内的水位发生明显的变化。

1.1 潮流和余流的变化

白龙半岛位于广西沿岸的西部,调查位站(S1)距白龙半岛约 1 km。S1 站东、南、西三面为开阔水域,海图水深约为 8 m(图 1)。调查使用的仪器为 AWAC 声学多普勒海流剖面仪,并采用坐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,平均后得到整个剖面海流数据。从剖面数据中挑选表、中、底三层数据进行分析。这里的表层是指水面下 1 m 处,底层是指离海底约 1.5 m 处,中层是指相对于表、底层中间的位置。通过 AWAC 海流剖面仪自带的 ExploreP.exe 软件对实测的流速、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。

台风“纳沙”影响前,S1 站表、中、底各层流速分别为 40.0 cm/s、32.0 cm/s、30.0 cm/s。各层的实测流速一般小于 50 cm/s,说明风对流的影响较小。

表层流向为西南向,中、底层流向为东北向。但在强台风“纳沙”登陆期间,受风应力影响,S1 站表、中、底 3 层最大流速分别为 103.7 cm/s、94.1 cm/s、71.0 cm/s,比无台风影响时的实测流速大 2 倍以上,各层的实测流速均大于 70 cm/s;在正常天气期间,各层逐时低频流流速一般小于 20 cm/s,但台风“纳沙”登陆时,表层逐时低频流流速最大值达 60.9 cm/s。随着水深的增加,风应力对水体的作用迅速减小,底层低频流流速最大值减小为 31.1 cm/s(表 1)。

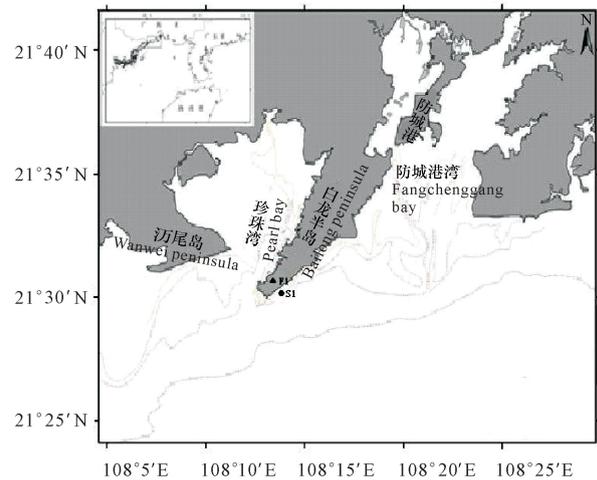


图 1 观测站位(F1,S1)

Fig. 1 Observation station of (F1,S1)

表 1 S1 站表、中、底各层流速流向

Table 1 Current velocity and direction on surface, middle and bottom layer at Station S1

层次 Level	正常天气期间 Normal weather		台风登陆期间 Typhoon period	
	流速 Current velocity (cm/s)	方向 Direction	流速 Current velocity (cm/s)	方向 Direction
表 Surface	40.0	SW	103.7	SW
中 Middle	32.0	NE	94.1	N
底 Bottom	30.0	NE	71.0	NE

将台风“纳沙”影响期间 S1 站逐时的低频流动绘制成过程曲线(图 2),其中横轴的时间间隔为 1 h。由图 1 可以看出:正常天气期间,各层低频流流速小于 20 cm/s,方向为 N 和 NE 向。台风登陆前后,流速有较大变化:

- (1)在台风登陆期间(9 月 29 日 20 时起),各层流向从 NE 方向迅速转成 SW 向,流速达到最大值。
- (2)从表层往底层,流速最大值出现时间逐渐推迟,底层比表层延时约 2 h。
- (3)台风移走后,各层流速逐渐减小,流向也逐渐恢复到 N 和 NE 向。但是表层恢复慢,直到 10 月 2 日 20 时才转向 NE,中层比表层快(10 月 1 日 12

时),底层更快(10 月 1 日 14 时)。几乎台风一移走,流向就恢复正常状态。

由此看出,台风登陆期间,海水从表层至底层都会受到风力的作用而使流动的速度加快。

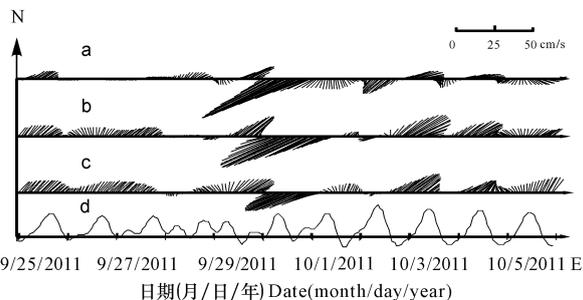


图 2 S1 站低频流动过程曲线

Fig. 2 The time series of the low-frequency current at Station S1

a:表层;b:中层;c:底层;d:潮位过程曲线。时间轴节点表示 0 时。

a, b, c represent surface, middle and bottom layer, respectively; d represents time series of tidal elevation. Every node on the time plot means 0 o'clock.

台风“纳沙”影响期间的余流:9 月 29 日 10 时,表、中层余流转向 NE 方向;到 9 月 30 日 13 时,余流突然转向 SW,10 时余流流速达到最大,然后开始减小;10 月 1 日 10 时,西南向流转为南向流,表层流速减弱,中层则在 10 时完全终止西南向流,转而向北,底层则比中层提早 5 h 转向北流。由此可见,东北向流是在岸边减水时段,西南向流则与岸边增水时段吻合。这表明:台风期间的余流完全受海面高度场控制,是典型的地转流,与风的直接吹刮(风漂流)关系不大。

综上得到观测点实测潮流和余流变化特征:在无台风期间,观测点各层的最大流速一般小于 50 cm/s,表、中、底层的流速平均值分别为 10.8 cm/s、8.6 cm/s 和 8.4 cm/s;在无台风的季节,观测点各层的最大余流流速一般小于 20 cm/s,表层余流流速平均值为 5.7 cm/s,中层为 3.5 cm/s,底层为 3.1 cm/s。在台风登陆期间,观测点各层的余流流速达最大,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。

1.2 水位增减的变化

台风“纳沙”影响期间,2011 年 9 月 29~30 日,白龙半岛沿岸海面的风向从西北转向北,在 9 月 29 日 17~20 时平均风速达到 8.0 m/s,9 月 30 日风速一直较大,17~20 时风力才显著减弱。当台风转成西南向时,观测点附近迅速发生减水,到 30 日 2 时,减水达到最大值 -92 cm,然后台风西移,风向逐渐

转为偏南向,表层海水流向岸边,受到海岸阻挡,观测点附近开始增水,到 10 时,增水达到最大 65 cm(图 3),然后迅速降低。后来又发生多次余震动:第一次余震动增水 45 cm,第二次余震动增水 20 cm。



图 3 F1 站水位增减变化过程

Fig. 3 The variation process of the elevation at Station F1

为了进一步研究台风登陆广西近岸港湾水位增减的变化过程,还选取 2001 年 7 月 1~3 日台风“榴莲”登陆期间铁山港石头埠站(F2)水位增减变化情况进行分析(图 4)。台风“榴莲”于 2001 年 7 月 2 日 3:30 分在广东湛江市登陆,风力 12 级,8 时,移入广西东部铁山港附近,风力 11 级。铁山港位于广西沿岸的东部,港湾东、西、北面为陆岸所围,南面为开阔海域。台风“榴莲”运行方向为自东向西行,约在 7 月 2 日 8~10 时,低压中心位于安铺港和铁山港上空。12 时左右,低压中心到达北海廉州湾一带,14~16 时,低压中心经过钦州湾和防城港一带。台风最大风速 25~30 m/s。在台风场的驱动下,港湾内的水位发生变化。由图 3 可见,在台风过境期间,石头埠附近海域的水位经历先减水后增水的过程,在低压中心从石头埠以东接近石头埠的过程中,石头埠附近开始出现减水,并逐渐增大(-48 cm)。最大减水发生在 7 月 2 日 8 时前后。此时低压中心位于石头埠的东侧,距离很近,石头埠附近吹刮强北风。10 时前后,石头埠处于低压中心,风速变小,水位处在恢复状态。之后,南风逐渐加强,石头埠附近进入增水过程,最大增水发生在 7 月 2 日 14~16 时。此时石头埠海区处于强风带,强烈的向岸风导致岸边增水达到最高值(140 cm)。随着低压中心的继续西行,风力减弱,水位逐渐恢复。

由此可以认为,在近岸及港湾内,台风对于水位的增减变化起着决定性的作用,台风登陆前,水位发生减水过程;台风登陆时,水位迅速增高,而增减幅度接近 200 cm;台风减弱后,水位恢复正常状态,增减变化平缓。水位的增减过程伴随着台风的发生而变化,取决于台风场和气压场的分布及变化。

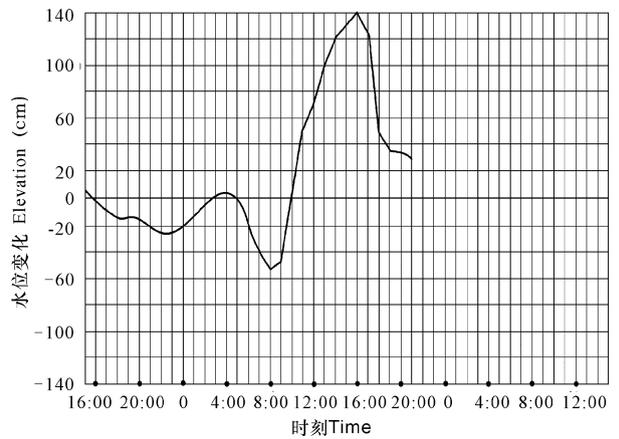


图 4 2001 年 7 月 1 日 15 时~3 日 15 时 F2 站水位增减变化过程

Fig. 4 The variation process of elevation at Station F2 from 3 p. m. on July 1st to 3 p. m. on July 3rd, 2001

2 影响因素分析

2.1 风是主要因素

根据东兴气象站观测结果(表 2),2011 年 9 月 29 日白龙尾半岛风向起初偏北,9~13 时平均风速 3.3 m/s,13~17 时平均风速 4.9 m/s,17~21 时平均风速 8.0 m/s,21~1 时平均风速 5.8 m/s,风向逐渐向西偏转。由于北风(离岸风)作用,白龙尾半岛沿岸海域 29 日 6 时开始减水,20 时急剧减水,到 30 日 2 时,减水到最低,这和偏北风作用直接相关。但是,到 30 日 2~5 时,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。5~9 时,平均风速为 7.7 m/s,最大风速超过 16 m/s;9~12 时,平均风速降低,只有 5.5 m/s;12 时过后,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 22 时,增水达到最大 65 cm。综上可知,风是影响水位变化的主要因素。

2.2 地形是制约因素

广西沿海港湾众多,且都为半封闭状态,深入陆域很远,地理环境条件复杂,加之北部湾海区尺度小,广西岸段受越南沿岸反射的回潮波影响较大。因此,水位增减过程具有广西港湾独有的特点: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 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,无规律性可寻^[3],这种现象在其他海域很少见。实测站位的实测流速大小及流向也同样受到地形的

表 2 2011 年 9 月 28 日~10 月 1 日东兴气象站风速和最多风向

Fig. 2 Wind velocity and the most frequent wind direction at Dongxin from 28 September to 1 October in 2011

日期 Date	日平均风速 Daily mean wind velocity (m/s)	日最多风向 Most-frequency direction	每 4 h 平均风速 Average wind velocity every 4 h(m/s)					
			21:00~1:00	1:00~5:00	5:00~9:00	9:00~13:00	13:00~17:00	17:0~21:00
9-28	1.5	NW	1.0	1.2	1.1	1.3	2.1	1.6
9-29	4.2	N	1.0	1.5	2.4	3.3	4.9	8.0
9-30	5.9	N~S~SW	5.8	7.3	7.7	5.5	6.5	2.7
10-1	1.2	W	1.9	1.0	0.9	1.8	1.5	1.0

制约,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,S1 站主流向为 NE~E 向和 SSW~WSW 向,从表层往底层,东北向流出现频率逐渐增大,台风“纳沙”期间,表层出现了 103.7 cm/s 的最大流速,而其他方向的流速均较小,一般小于 50 cm/s。

2.3 大气重力波是强化因素

水位增减在近岸港湾的强化、分布及极值的出现与大气重力波密切相关^[6]。研究发现,即使处在同一侧的同一天气条件下的港湾,引起的水位增减变化也有很大差别。我们对台风发生期间,不同港湾连续几天的增水、减水值进行能谱分析发现,能谱最高值对应的频率各不相同,但是最大值出现总是与港湾的固有振荡频率颇为一致。例如,1986 年 09 号强台风,风力不大,但是增水却达 2 m,最大能谱对应的周期为 102 min,与港湾固有的振动周期 99 min 很接近。同样,我们对连续几天气压变化进行能谱分析也发现,如果气压变化的能谱周期与港湾固有振动周期相接近,这时出现最大增减水。因此,可以认为大气重力波与海湾共振是导致增减水出现最大值的重要原因,近岸港湾中水位的强化、分布与其有直接相关。

3 结束语

本文通过对台风“纳沙”登陆期间广西近岸观测定点 S1 站连续的实测海流剖面资料,F1 潮位观测站水位资料及台风“榴莲”登陆期间铁山港 F2 潮位观测站的水位资料,分析登陆北部湾北部台风对广西近岸水位变化影响,发现:

(1)强台风“纳沙”是近 6 年来登陆北部湾北部的最强台风。受其影响,在 2011 年 9 月 30 日 S1 站出现了 63 cm 的增水及-92 cm 的减水。

(2)受白龙半岛的地形走向的制约,S1 站主流向为 NE~E 向和 SSW~WSW 向,从表层往底层,东北向流出现频率逐渐增大。无台风季节,S1 站流速较小,秋季表、中、底层的实测流速平均值一般仅为 9.5 cm/s、9.0 cm/s 和 8.1 cm/s,S1 站各层的实测流速一般小于 50 cm/s,但“纳沙”台风登陆期间,受

风应力影响最大的表层出现了 103.7 cm/s 的最大流速。

(3)台风“纳沙”过境期间,S1 站表、中层余流流向由 NE 转向 SW,当西南向流转为南向流时,表层流速减弱,中层余流转向北流,底层则比中层转向北流更早。由此可见,东北向流是在岸边减水时段,西南向流,则与岸边增水时段吻合。表明:台风期间,余流完全受海面高度场控制,是典型的地转流,与风的直接吹刮(风漂流)关系不大。

(4)强台风“纳沙”影响期间,白龙尾站水位变化经历先减后增过程。2011 年 9 月 29 日晚上,风向从西北转向北,风力显著减弱。当台风由北转成西南向时,观测点附近迅速发生减水,减水达到最大值-92 cm;然后台风西移,风向逐渐转为偏南向,表层海流向岸边,受到海岸阻挡,观测点附近开始增水,30 日 10 时,增水达到最大 65 cm,然后迅速降低。后来又发生多次余震动:第一次余震动增水 45 cm,第二次余震动增水只有 20 cm。同样,强台风“榴莲”登陆广西东部铁山港附近时的水位变化过程,台风登陆前,水位发生减水过程是,台风登陆时,水位迅速增高,台风减弱后,水位恢复正常状态,也说明台风对于近岸水位的增减变化起着决定性的作用。由此可以认为,台风登陆期间广西沿岸水位的抬升与下降变化与台风场和气压场变化和分布有关。此外,港湾地形、大气重力波所产生的共振作用也会对水位的变化产生影响。

参考文献:

- [1] 张智全. 0307 号台风“伊布都”风暴潮增水分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2010, 46(5): 16-17.
Zhang Z Q. Analysis of storm surge increasing water caused by No. 0307 typhoon Imbudo[J]. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 2010, 46(5): 16-17.
- [2] 农作烈,李武全,王丹,等. 广西海洋灾害区划报告[R]. 南宁:广西壮族自治区海洋局,2009.
Nong Z L, Li W Q, Wang D, et al. Report of Guangxi Marine Hazard Zonation[R]. Nanning: The Oceanic Administration of Guangxi, 2009.

(下转第 254 页 Continue on page 254)

in Beilun River Estuary[J]. Ecological and Environmental Sciences, 2011, 20(7): 1053-1062.

- [8] Zu T T, Gan J P, Erofeeva S Y. Numerical study of the tide and tidal dynamics in the South China Sea[J]. Deep-Sea Res I, 2008, 55: 137-154.
- [9] 孙英兰, 张越美. 丁字湾物质输运及水交换能力研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(1): 1-6.
Sun Y L, Zhang Y M. A numerical model of pollutant transport and seawater exchange in Dingzi Bay[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(1): 1-6.
- [10] 郑斌鑫, 李九发, 曾志, 等. 北仑河口潮流和余流特征分

析[J]. 台湾海峡, 2012, 31(1): 121-129

Zheng B X, Li J F, Zeng Z, et al. Characteristical analysis of tidal and residual currents in Beilun Estuary[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2012, 31(1): 121-129.

- [11] Gao J S, Xue H J, Chai F, et al. Modeling the circulation in the Gulf of Tonkin, South China Sea[J]. Ocean Dynamics, 2013, 63(8): 979-993.

(责任编辑: 竺利波)

(上接第 249 页 Continue from page 249)

- [3] 陈宪云, 刘晖, 董德信, 等. 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, et al. Analysis of Guangxi marine disaster risk[J]. Guangxi Sciences, 2013, 20(3): 248-253.
- [4] 陈宪云, 陈波, 刘晖, 等. 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, et al. Guangxi coastal storm surge disasters and countermeasures[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(4): 17-23.
- [5] 邱绍芳, 陈波. 广西沿海海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.
Qiu S F, Chen B. Impacts of typhoon course and landform on water level fluctuation in the coastal bays in Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2000, 7(4): 282-285.
- [6] 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 on causes of tropical cyclones and their disasters affecting on Guangxi coast based on historical data[J]. Marine Science Bulletin, 2014, 33(5): 527-532.
- [7] 陈波. 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, 6(3): 12-15.
Chen B. Reckoning of extremal water level fluctuation caused by storm surge in every year in Beihai Port[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2000, 6(3): 12-15.

- [8] 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. Numerical simulation of storm surge in Lianzhou Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2001, 20(3): 88-92.
- [9] 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]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2002, 2: 1-8.
- [10] Ding Y, Bao X W, Shi M C. Characteristics of coastal trapped waves along the northern coast of the South China Sea during year 1990[J]. Ocean Dynamics, 2012, 62: 1259-1285.
- [11] 李立. 南海北部沿岸冬季水位亚潮波动特征研究[J]. 热带海洋, 1993, 12(3): 52-60.
Li L. A study of winter subtidal sea level fluctuation along the northern coast of the south China sea[J]. Tropic Oceanology, 1993, 12(3): 52-60.
- [12] 李立. 台湾海峡冬季亚潮频水位波动的初步研究[J]. 海洋学报, 1989, 11(3): 275-283.
Li L. A preliminary study of winter subtidal sea level fluctuation in Taiwan Strait[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1989, 11(3): 275-283.

(责任编辑: 尹 闯)