

◆水动力与生态环境◆

防城港湾以西海域水体输运及其机制研究^{*}

陈波,张继云,韦聪

(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)

摘要:为了探究防城港湾外海域的水体输运方式及机制,本文对历史调查数据及最新的海流调查资料的海流玫瑰图进行分析,结果发现:防城港湾以西海域的水体输运,冬季为反气旋式环流控制,水体输运主要为NE向;夏季为沿岸入海径流、气旋涡控制,水体输运主要为WSW向。春季和秋季,表层水体输运主要为WSW向,中层以下水体输运为NE向。风对表层流的影响较明显,夏季西南季风造成沿岸水的堆积产生正压梯度力使表层水体往西南向输运,但不起主导作用。中层以下主要受北部湾北部气旋式、反气旋式两种不同形式的环流控制。除此之外,琼州海峡西向流、入海径流、地形等对水体输运也产生重要的作用。

关键词:防城港湾 余流特征 水体输运 机制 环流

中图分类号:P731.2 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2022)06-1033-11

DOI:10.13656/j.cnki.gkx.20230110.003

北部湾内充满着各种中尺度涡,水动力环境复杂,东部有琼州海峡外海水入流,西部有巨大的越南红河径流流入,南部有外海水进出。湾内环流系统同时受到东部琼州海峡外海水和湾内入海径流两大驱动因子的影响,南部外海水进出是补偿性的。然而,在以往众多的研究中,对北部湾环流结构有着不同的认识。传统的观点认为,北部湾环流受季风控制,冬季为逆时针环流,海水从海南岛西岸的莺歌海附近海域沿岸向北流,一支流向琼州海峡,一支转向西流,然后沿中国广西、越南沿岸流出;夏季则为顺时针环流,海水由越南沿岸北上进入湾内,至中国广西沿岸由西

向流转为东向流,其中一支从琼州海峡流出,另一支沿海南岛西岸南下流出。近20年来许多研究表明,在北部湾,气旋涡常年占主导地位,潮流是广西沿岸最主要的水动力因素之一,余流则控制着水体的运移和交换,对水体中的物质稀释、扩散和输运起重要作用,尤其是近岸及港湾。所以,研究近岸水流运动形态对于近岸物质输运及变化趋势更有意义^[1-4]。

防城港湾位于广西沿海的西段,地理环境复杂,湾东部为企沙半岛,西部为珍珠湾、北仑河口,湾口南部为开阔海域;白龙半岛向西南插入北部湾,将防城港湾分割成东、西两部分;以白龙半岛为界,东有拦门

收稿日期:2022-10-12

修回日期:2022-11-08

^{*}国家自然科学基金项目(42066002)和广西科学院发展基金项目“基于台风影响下广西近岸风暴流产生及风流、增减水模式研究”(022107438)资助。

【作者简介】

陈波(1954-),男,研究员,主要从事海洋动力学研究,E-mail:gkxycb@163.com。

【引用本文】

陈波,张继云,韦聪.防城港湾以西海域水体输运及其机制研究[J].广西科学,2022,29(6):1033-1043.

CHEN B,ZHANG J Y,WEI C. Study on Water Transport and Mechanism in the West Waters of Fangchenggang Bay [J]. Guangxi Sciences,2022,29(6):1033-1043.

沙,西有浅滩;防城港湾及其邻近海域的水体输运受地形、风、外海水、河流冲淡水等影响,呈现复杂的态势。2003年,邱绍芳等^[5]基于周日连续海流观测资料对防城港附近水流运动形态展开分析,认为广西沿岸入海河口的水体是以河流冲淡水作为补充与外海水混合形成的环流模式所控制,这种环流模式终年存在,且从东向西流动;西向流于每年春季开始形成,随着沿岸径流增加,冲淡水在岸边堆积产生正压作用,迫使沿岸水向西运动;之后,夏季西南季风盛行,西向流紧贴沿岸;冬季东北季风增强,西向流再度加强,不同的是,在靠近河口海湾处,由于水深变浅和地形效应,西向流形态发生变化。2018年,陈波等^[6,7]利用2011年5月1日至2012年4月30日广西防城港白龙半岛附近S1站表、中、底3层剖面海流观测数据进行潮流、余流特征分析,从余流流向分级图中发现:正常天气期间,S1站表层余流流向为WSW向,中层以下流向为NE向,余流流速小于20 cm/s;台风影响期间,表层、中层、底层余流流向均为SW向,余流流速日平均值分别为40.0 cm/s、32.2 cm/s、20.7 cm/s,最大值达60.9 cm/s,风应力对余流起主要作用;夏季以WSW向流为主,这是由于夏季西南季风造成沿岸水堆积产生正压梯度力使水流往西南流;冬季以NE向流为主,这是该站周围特殊地形所致。余流流速大小、方向的变化与风、地形、补偿流有密切关系。

本文以S1站资料为基础,结合2021年夏季(7月)、2022年冬季(1月)的周日连续观测结果进行对比分析,对防城港湾及其邻近海域的季节性环流结构进行垂向研究,深入了解该港湾及其以西海域水体输运状况及机制,找出水体输运形成原因。这将对海洋污染物迁移与扩散影响、海洋生态环境保护、海水养殖生产等具有重要的现实意义,也可以为广西沿岸高精度潮流数值模拟提供验证资料。

表1 观测项目和时段

Table 1 Observation items and periods

| 站位 Station | 观测项目 Observation item | 观测起止时间(年-月-日) Starting and ending time of observation (Year-Month-Day) | 数据间隔 (min) Data interval (min) | 观测仪器 Observation instrument |
|---------------|--------------------------|---|---|--|
| S1 | Velocity and direction | 2011-05-01 - 2012-04-30 | 30 | AWAC Acoustic Doppler Current Profiler |
| F1 | Wind speed and direction | 2011-09-01 - 2012-08-31 | 10 | EL15-2 anemometer |
| D1 - D4 | Velocity and direction | 2021-07-28 - 29 (summer) 2022-01-08 - 09 (winter) | 10 | RTI Acoustic Doppler Current Profiler |

1 资料来源与处理方法

1.1 观测资料来源

为了研究台风与北部湾增减水的关系,2011年郑斌鑫等^[8]将单点ADCP声学多普勒海流剖面仪锚定于白龙尾南面10 m水深、距岸约1 km处进行连续一周年的海流观测(图1,S1站)。观测项目和时段见表1。其中水文观测采用座底方式,由底层向上进行观测,观测层厚为0.5 m。仪器在1 min内等时发射60个脉冲信号对海流进行观测,之后自动平均得到剖面各层次的海流数据。从剖面中选择水面以下1.0 m处以及距海底高度约1.5 m处的数据分别作为表、底层数据,选择表层、底层中间位置的数据作为中层数据,对表层、中层、底层3层数据进行分析。同时,结合2021年夏季(7月)、2022年冬季(1月)分别在防城港湾口及西面海域观测的4个周日海流资料观测站位为D1、D2、D3、D4,以及白龙半岛附近F1站2011年9月至2012年8月的风速、风向资料进行水文特征分析(图1)。

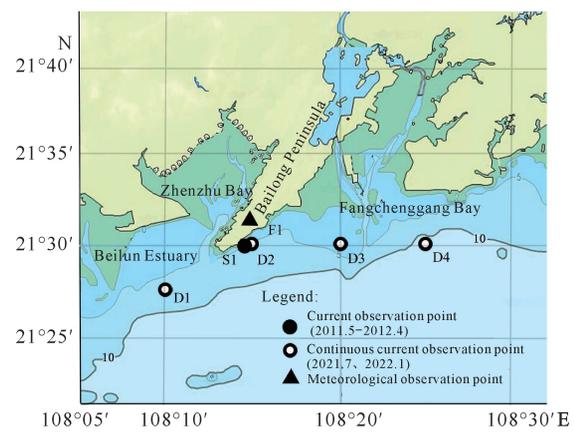


图1 观测站位置

Fig. 1 Position of observation station

1.2 资料处理方法

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,得到以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^[9]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周期大于 2 d 的低频振动只有微小的减弱。本研究采用截止频率为 1/25 的海流连续记录,其中包括流速和流向。根据上述得到的流速、流向数据,再计算余流值,对表层、中层、底层逐时实测流速、流向进行分级统计,并分季度对余流做出系列流玫瑰图,分析余流产生机制。

2 结果与分析

2.1 风速、风向

研究区域属亚热带过渡带季风区。对 F1 站 10 m 高度的一年风速、风向进行统计可知:该站年常风向为 NNE 向,其中冬、春两季常风向为 NNE 向,夏季为 SW 向,秋季为 N 向。年平均风速为 3.20 m/s,冬季平均风速最大,为 3.98 m/s;春、夏、秋 3 季分别为 3.02 m/s、2.95 m/s、2.85 m/s。

2.2 S1 站周年实测海流流速、流向特征

对 S1 站表层、中层、底层 3 层逐时实测流速、流向进行分级统计,并分季度对余流做出系列流玫瑰图(图 2-5),可以看出,春、夏、秋、冬的流玫瑰图完全不同。冬季受反气旋式环流控制,水体输运主要为 NE 向;夏季受沿岸入海径流和气旋涡控制,水体输运主要为 WSW 向;春季、秋季表层水体输运为 WSW 向,中层以下水体输运为 NE 向。同时,由于观测点水浅(小于 20 m),表层流受风的影响比较明显。

(1)冬季(12月至次年1-2月)。

2011年12月至2012年2月为冬季,将这3个月的实测资料,按不同流速间隔分级,做成流玫瑰图。观测期间海面盛行东北季风,风向和风速相对稳定,风速为 7-15 m/s;表层仍然对东北季风响应显著,表现为 WSW 向,而中层和底层的海流流向则表现为稳定的 NE 向,出现频率分别为 18.4% 和 19.7% (图 2)。

(2)春季(3-5月)。

2012年3月至5月为春季,观测期间表层、中层海流流向出现频率最多的方向为 WSW 向,分别为 18.0% 和 15.5%;底层则为 NE 向,出现频率为 12.7%(图 3)。

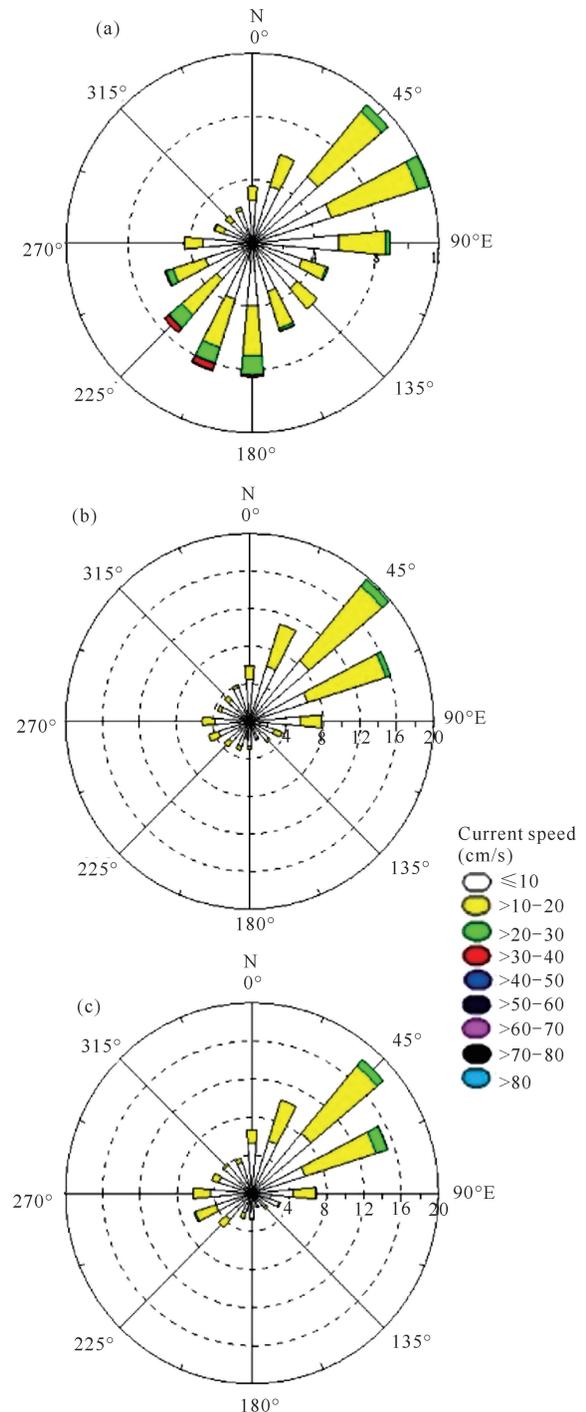


图 2 冬季实测表层(a)、中层(b)、底层(c)余流流速、流向玫瑰图(2011.12-2012.02)

Fig. 2 Rose diagram of residual flow velocity and direction of surface layer (a), medium layer (b) and bottom layer (c) in winter (2011.12-2012.02)

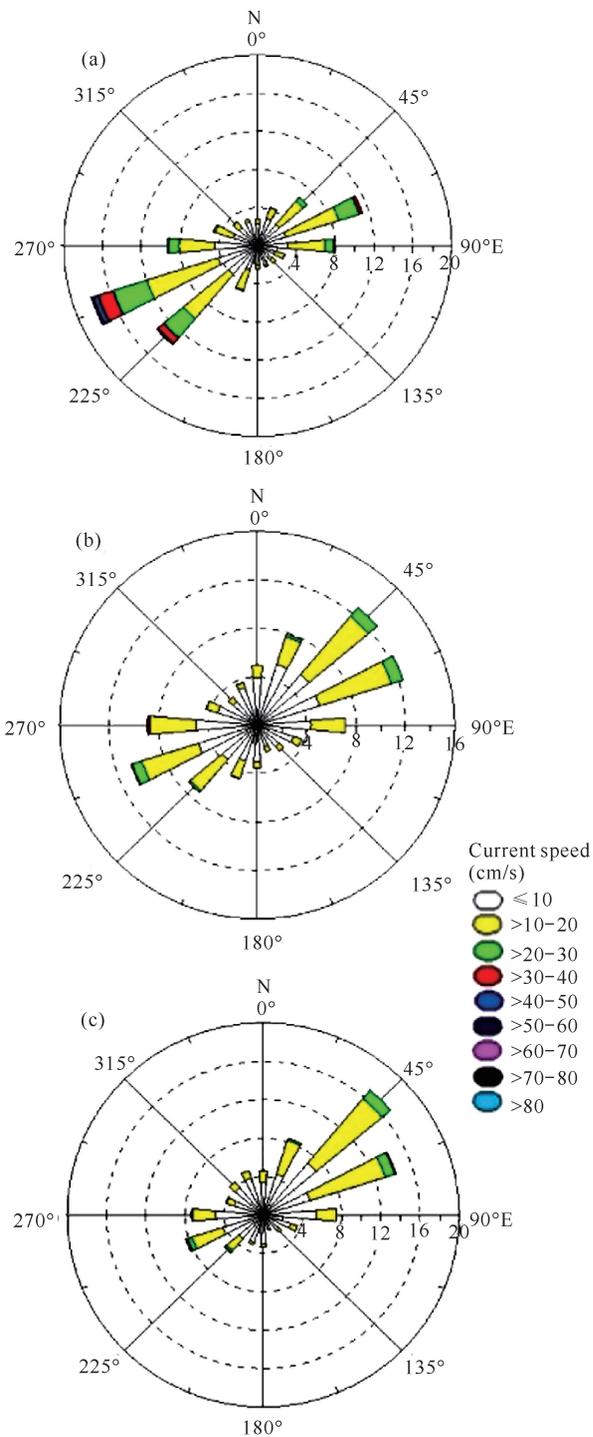


图3 春季实测表层(a)、中层(b)、底层(c)余流流速、流向玫瑰图(2012.03-2012.05)

Fig. 3 Rose diagram of residual flow velocity and direction of surface layer (a), medium layer (b) and bottom layer (c) in spring (2012.03-2012.05)

(3)夏季(6-8月)。

2012年6月至8月为夏季,观测期间海面盛行西南季风,风向和风速相对稳定,风速为3-7 m/s;

表层仍然对西南季风响应显著,表现为NE向;表层、中层、底层海流流向出现频率最多的方向均为WSW向,分别为13.1%、18.2%和14.0%(图4)。

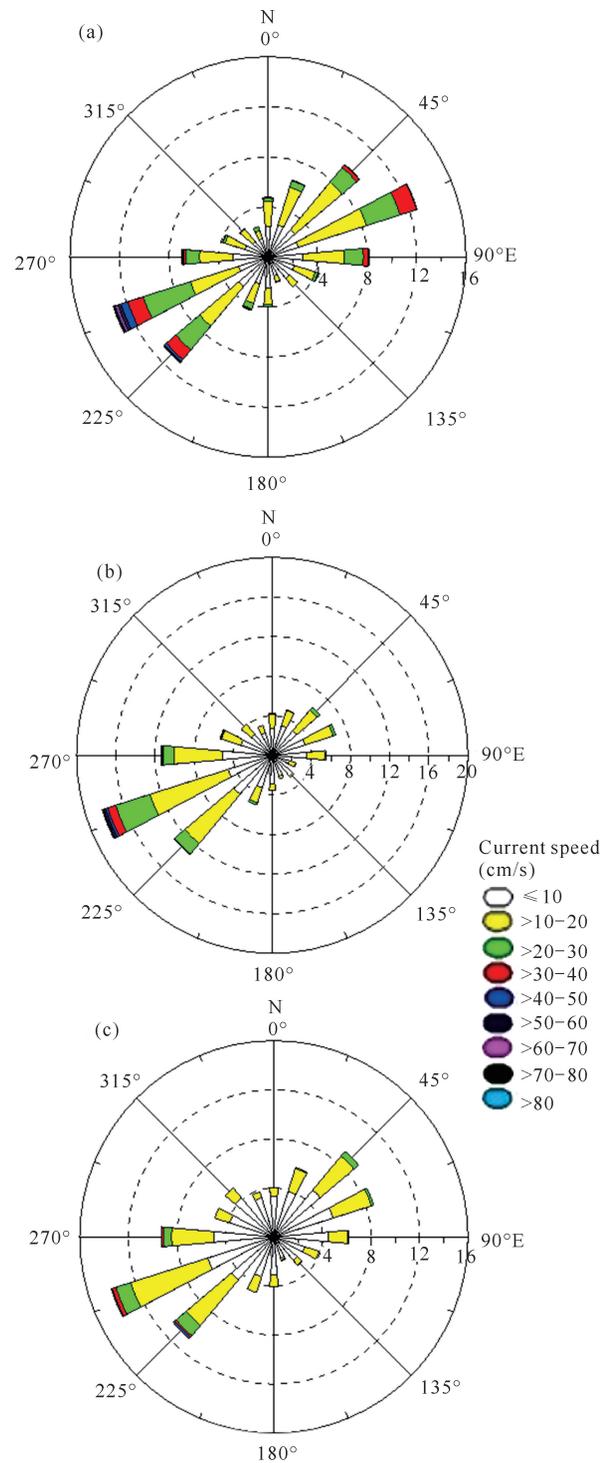


图4 夏季实测表层(a)、中层(b)、底层(c)余流流速、流向玫瑰图(2011.06-2011.08)

Fig. 4 Rose diagram of residual flow velocity and direction of surface layer (a), medium layer (b) and bottom layer (c) in summer (2011.06-2011.08)

(4)秋季(9-11月)。

2011年9月至11月为秋季,其流玫瑰结构见图5,表层海流流向出现频率最多的方向为WSW向,为

15.3%,中层、底层则为NE向,出现频率分别为13.6%和16.9%(图5)。

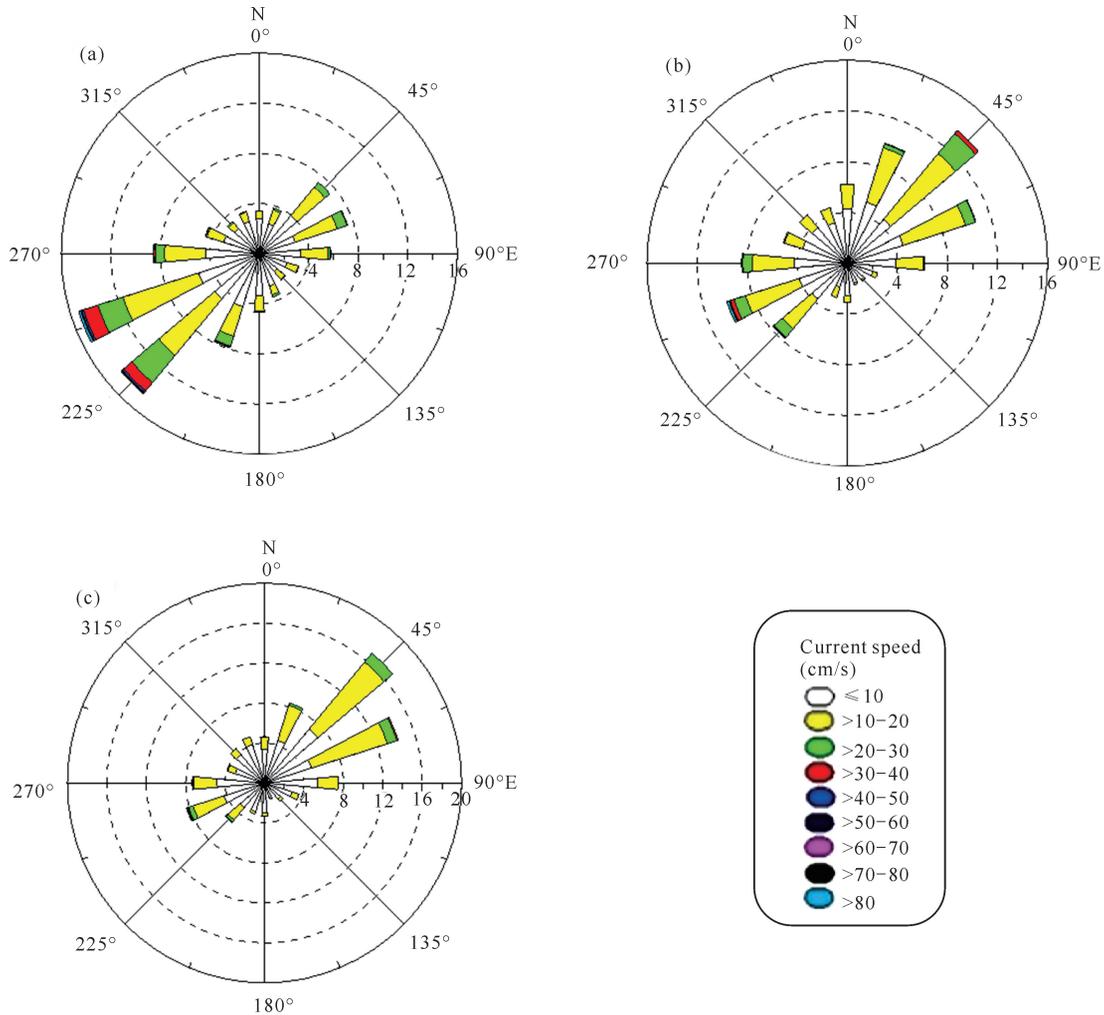


图5 秋季实测表层(a)、中层(b)、底层(c)余流流速、流向玫瑰图(2011.09-2011.11)

Fig. 5 Rose diagram of residual flow velocity and direction of surface layer (a), medium layer (b) and bottom layer (c) in autumn (2011.09-2011.11)

2.3 周日观测站实测海流流速、流向特征

为了进一步研究防城港湾邻近海域水体输运状况,2021年夏季(7月)、2022年冬季(1月)分别在防城港湾及以西海域布设了4个周日海流观测站进行25h的同步连续观测(图1)。观测期间,夏季海面为偏南风,风速为3-5 m/s,冬季海面为东北风,风速为5-7 m/s。

从周日观测站实测海流观测结果(图6-9)看,夏季,观测点D1表层、底层余流为WSW向;观测点D2表层余流为NE-WSW向,底层余流为NE向;观测点D3表层、底层余流为NE向;观测点D4表层、底层为NE向。冬季,观测点D1表层余流为稳

定的NE向,底层余流向较零乱;观测点D2表层、底层余流为NE向;观测点D3表层、底层余流为稳定的WSW向,观测站D4表层、底层余流为NE向。

2021年夏季(7月)、2022年冬季(1月)的周日观测资料分析结果表明,防城港湾以西海域水体输运趋势与历史同期冬、夏季观测资料分析结果基本一致。冬季余流流向为NE向,夏季余流流向为WSW向。尤其是接近S1站的D2站,无论是冬季或是夏季,余流方向均与历史同期观测资料分析的余流方向相同。湾口海域水体输运则与以西海域不同,冬季余流方向为WSW向,夏季余流方向为NE向。

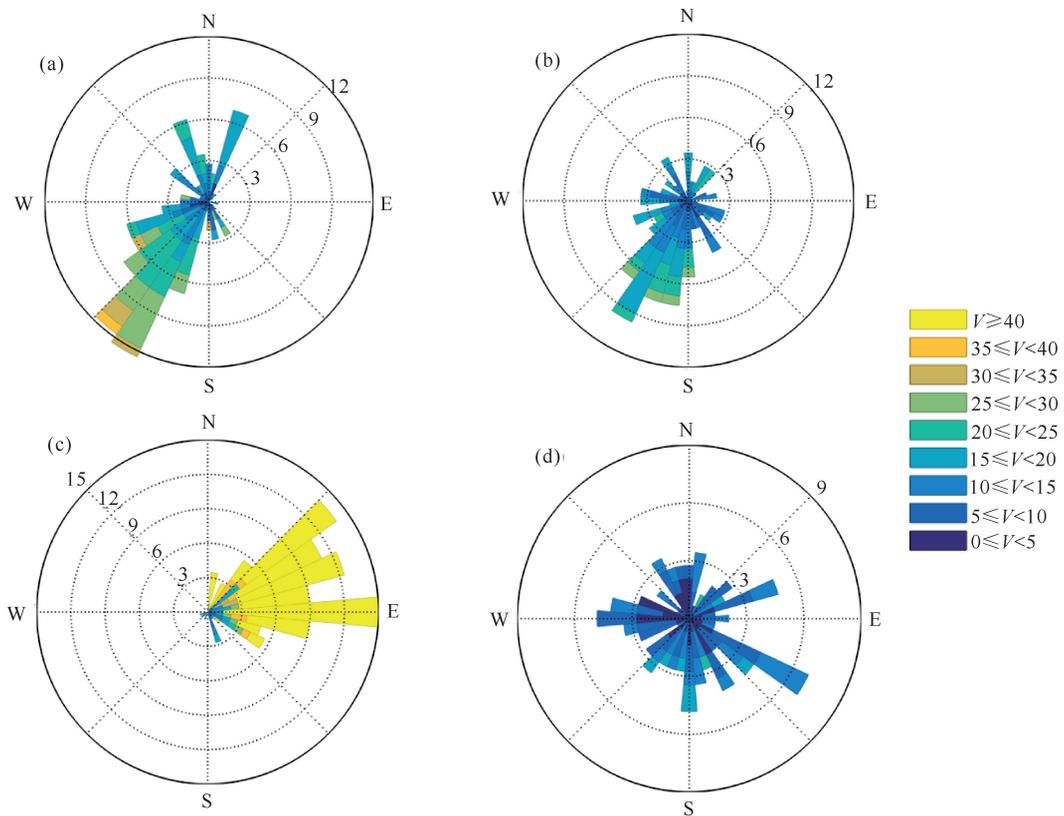


图6 D1站夏季实测表层(a)、底层(b)和冬季表层(c)、底层(d)余流流速、流向玫瑰图

Fig. 6 Rose diagram of residual flow velocity and direction of surface layer (a), bottom layer (b) in summer and surface layer (c), bottom layer (d) in winter at station D1

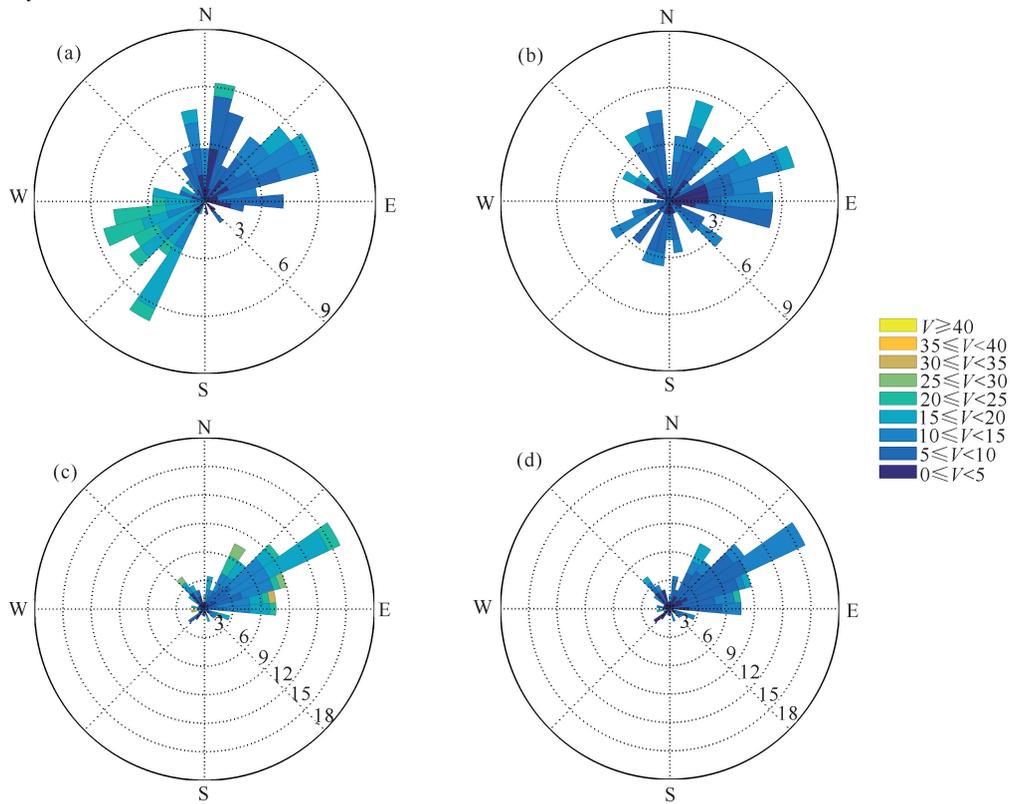


图7 D2站夏季实测表层(a)、底层(b)和冬季表层(c)、底层(d)余流流速、流向玫瑰图

Fig. 7 Rose diagram of residual flow velocity and direction of surface layer (a), bottom layer (b) in summer and surface layer (c), bottom layer (d) in winter at station D2

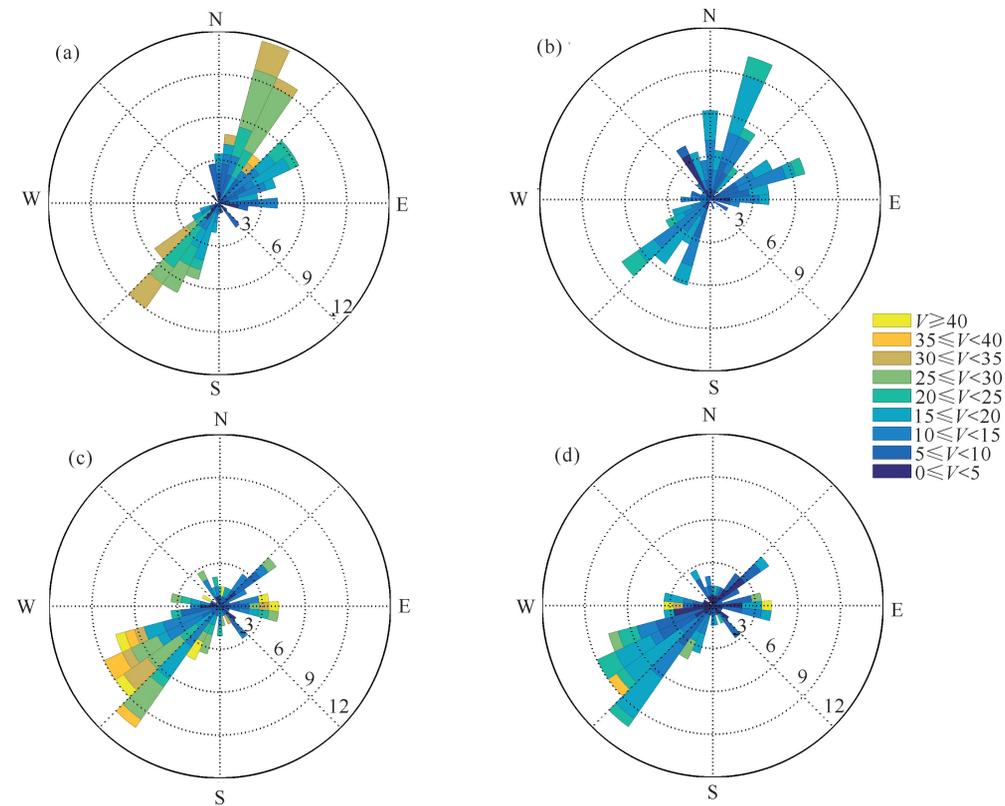


图8 D3站夏季实测表层(a)、底层(b)和冬季表层(c)、底层(d)余流流速、流向玫瑰图

Fig. 8 Rose diagram of residual flow velocity and direction of surface layer (a), bottom layer (b) in summer and surface layer (c), bottom layer (d) in winter at station D3

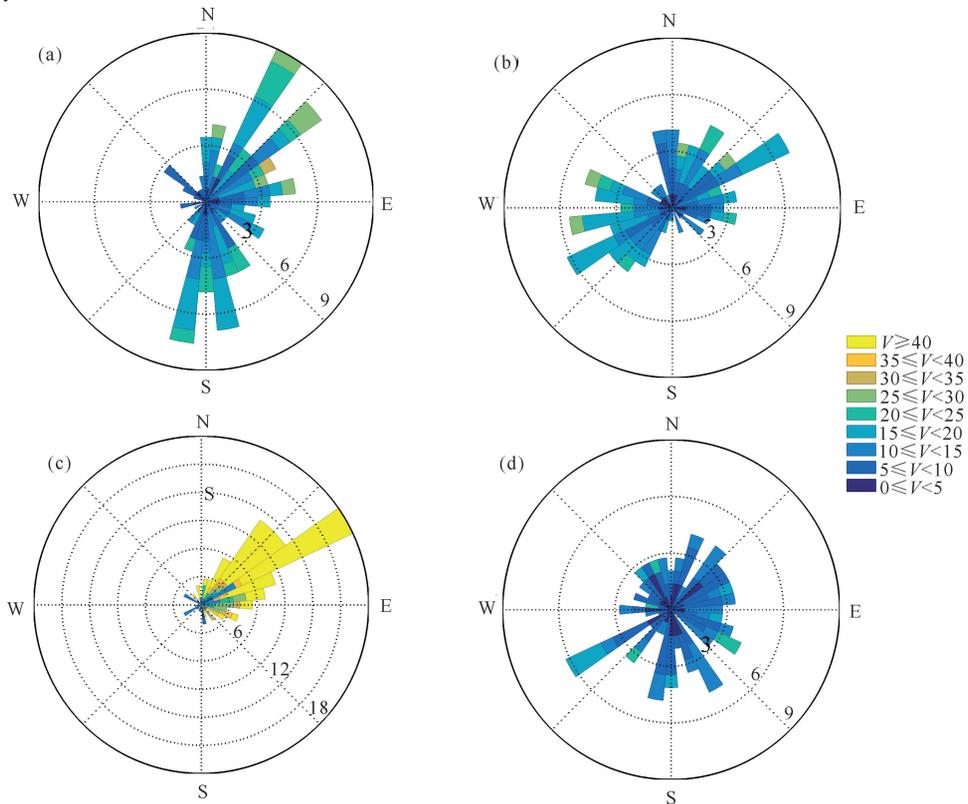


图9 D4站夏季实测表层(a)、底层(b)和冬季表层(c)、底层(d)余流流速、流向玫瑰图

Fig. 9 Rose diagram of residual flow velocity and direction of surface layer (a), bottom layer (b) in summer and surface layer (c), bottom layer (d) in winter at station D4

3 水体输运形成机制分析

北部湾是一个半封闭的陆架浅海,西、北、东三面为陆地和岛屿,通过南部湾口和东部琼州海峡与南海相通。北部湾处于亚热带地区,季风特征明显,冬半年盛行东北季风,夏半年则盛行西南季风,东北季风期长于西南季风期。全年总降水量为 1 100 - 1 700 mm,5 - 9 月为雨季,雨量充沛,月平均降水量都在 100 mm 以上。湾内环流受琼州海峡西向流、地形、风、河流冲淡水等影响,呈现复杂态势,对北部湾内海水的长期输送起着重要作用^[10]。

3.1 冬、夏季不同形式的环流对防城港湾邻近海域水体输运的响应

根据丁扬^[11]数值计算结果分析,北部湾北部终年受气旋式和反气旋式两种不同形式的环流控制。正是这两种不同形式的环流,导致广西防城港湾邻近海域水体输运的复杂性。冬季,表层、中层、底层为 NE 向;夏季,表层、中层、底层则为 WSW 向;春季、秋季,表层为 WSW 向,底层则为 NE 向。水体输运形成自己的特点且有别于其他海湾。

(1) 冬半年北部湾北部为反气旋式环流形式。

冬半年(10月至次年3月),北部湾被横贯全域的气旋式环流占据。来自南部湾口的南海水,沿海南岛西侧向北,到 20°30' N 附近转向西,然后从距离海南海岸约 100 km(约占海湾宽度 1/3)处,折转向南流出湾口,从而形成与海南岛西部岸线近似平行的、弧状的、南北长 250 km、东西宽约 50 km 的气旋式环流。在沿岸部分,受岬角地形影响,又产生众多涡旋。广西近海 21° N 以北的区域,从西向东分别被两个反气旋涡占据:一个是从北仑河口向东到北海的入海岬角处,东西尺度约 100 km 的大尺度反气旋涡,其形成与北海的入海岬角有关;另一个是铁山湾外一个只有 20 km 的小型反气旋涡。越南北部近海,从北仑河口向西南到红河口,基本被气旋涡和反气旋涡占据,中间以姑苏群岛作为分界,它们的形成与姑苏群岛的岬角地形有关。在冬半年 6 个月的时间中,环流中心的北缘基本在 20°20' N 附近,即与琼州海峡的中心线一致;20°20' N 以北的广西近海,受来自琼州海峡东部南海水与广西沿海的入海径流控制;20°20' N 以南,来自南部湾口的南海水沿着北部湾 60 m 深槽,先是西北、然后东北流向海南岛洋浦的西缘,构成这个气旋环流的东界。

(2) 夏半年北部湾北部为复杂结构气旋式环流形式。

夏半年(4-9月),4-6月,南海水从北部湾南部湾口进入,经湾中心向西北运动,在 19° N 以北水域分别形成东部气旋涡、西部反气旋涡;到 20° N 附近,一部分水体开始做反气旋式运动,在海南岛西岸昌江-洋浦的西部深水处形成反气旋涡,只是 5 月,在反气旋涡上缘还有一个气旋涡存在。7-8 月,由于西南风增强,北部湾北部仍然保持气旋涡与反气旋涡的东西对应结构;除了在海南岛西南部近岸有一个反气旋涡之外,在北部湾中部还有一个狭长的、尺度约 200 km 的气旋涡;受南向季风驱动,以越南红河为代表的入海径流沿着海岸向西北方向运动,到钦州湾南面转而向北流,形成反气旋涡。9 月是过渡月,与 8 月的环流结构类似,但是在广西近海海域受单一反气旋涡控制,靠近海南岛一侧的反气旋环流也消失。

在冬半年反气旋式环流和夏半年气旋式环流的影响下,防城港湾及其邻近海域水体输运具有与其他海域不同的特点。冬季,受地形影响,西北部水域出现一个从北仑河口到防城港的反气旋式环流。从 2011 年的周年海流观测资料表层、中层、底层余流玫瑰图可以看出,表层受东北季风的影响,余流为 WSW 向,但中层和底层的余流则指向 NE,特别是底层更加明显。表层与底层余流方向不同的主要原因是风应力,表层受风的控制,随着水深的增加,风应力对水体的作用迅速减小,中层和底层则受冬半年存在的反气旋式环流控制。除此之外,东部沿岸水持续向西流,引起外海底层水流向近岸加以补偿。2021 年 7 月、2022 年 1 月白龙半岛附近的 D1 站、D2 站周日海流观测资料分析中,也同样证实冬季这个反气旋式环流影响的存在。夏季,这里受气旋式环流控制,同时西南季风和入海径流增强,观测点表层、中层、底层水体形成稳定的 WSW 向流动。上述观测结果与侍茂崇等^[12]的分析结果基本相符。白龙半岛沿岸西南向流形成的原因,一是风的作用,夏季西南风向北岸吹刮,使得外海水在广西近岸堆积,岸边海平面高于远岸,按照地转流计算方法,由岸向外海面倾斜的正压效应将驱使沿岸水向西南方向流动;二是地形的作用,白龙半岛向西南插入北部湾,外海水在向白龙半岛移动时受阻,来自沿岸的入海径流与外海水相遇,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,故在白龙半岛西南处构成一个逆向流模式,受地形走向的制约,主流向发生了改变,从而由 NE

转向 SW 向流。

3.2 琼州海峡水向西输入对防城港湾邻近海域水体运输的贡献

琼州海峡是北部湾与东部南海水交换的重要通道。根据 Shi 等^[13] 实测资料研究结果,琼州海峡终年有一向西流,冬季和春季以 0.2–0.4 Sv ($Sv = 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) 向北部湾输入,夏季以 0.1–0.2 Sv 向北部湾输入。这对于北部湾季节性环流的形成有着不可忽视的作用。冬季,琼州海峡的月平均输入水量约为北部湾水量的 1/30–1/15;夏季,琼州海峡西向平均输运水量约为北部湾水量的 1/60–1/30。琼州海峡水体输送全年都是自东向西,冬季多于夏季,虽然水量不完全一致,但均是进入北部湾。琼州海峡东部南海水进入北部湾对广西近海环流有重要影响,即加强了北部湾北部气旋式环流的形成,产生较强的北部湾西岸北向沿岸流,促使低盐冲淡水向外海输运^[14]。

受琼州海峡东部南海水输入的影响,广西近岸水从东向西流动,因此又称这股环流为西向沿岸流^[15]。西向沿岸流于每年春季开始形成,随沿岸径流逐渐增强,冲淡水在岸边堆积产生正压作用,促使沿岸水向西运动。夏季(6–8月),观测点水体自表至底层向 WSW 输运,这是因为夏季西南季风造成沿岸水的堆积产生正压梯度力使水体往西南向流。冬季(12月至次年2月),由于受地形的影响,外海水在向岸推进过程中浅滩处水深突然变浅,受底摩擦作用的影响,水质点向前移动速度减慢,故该外海水仍基本停留在白龙半岛附近,向西推进的范围不大,加之冬季偏北季风强盛,入海径流减少,以河流冲淡水作为补充的西向风浪流大为减弱。所以,在东北季风作用下的离岸水与外海水在白龙半岛附近构成一个逆时针环流,正是这一环流模式改变了水体原来的流动方向,从而形成了观测点水体稳定的 NE 向流,且自表层至底层。春季开始,入海径流逐步加强,表层水体以与夏季相同的西南方向输运,而此时底层水作为补偿,需要向岸输运。因此,中层以下水体为稳定的 NE 向流。有所不同的是,在靠近河口海湾区域,由于水深变浅和地形效应,水流形态发生变化^[16]。

从观测点的水体输运可以看出,在白龙半岛至北仑河口海域并未构成独立的环流系统,而是受以河流冲淡水作为补充的西向风浪流以及白龙半岛附近的混合环流影响所致。夏季,由于受到西南季风推进的影响,这股混合环流在靠近海岸时得到加强,从而形成 NE–WSW 与海岸平行的西向沿岸流。琼州海

峡东部南海水的输入是维持西向沿岸流水体输运的重要基础。

3.3 风对防城港湾邻近海域水体运输的影响

北部湾处于热带和亚热带,季风特征明显,常风向以 N 向为主,S 向次之。风向的季节性变化明显:冬半年盛行偏北风气流,风向以 N 向为主;夏半年盛行偏南风气流,风向以 SW 向为主。季风交替期间的风向多变,平均风速也较小。

F1 站 10 m 高度的一年风速、风向的统计结果表明,该站年常风向为 NNE 向,其中,冬、春两季常风向为 NNE 向,夏季为 SW 向,秋季为 N 向。年平均风速为 3.20 m/s,以冬季风速最大,为 3.98 m/s,春、夏、秋 3 季平均风速为 2.94 m/s。

从对应的 S1 站海流观测资料余流结果分析看出,冬、春、秋 3 季,表层流向为 WSW 向,中层及底层流向为 NE 向;夏季,表层、中层、底层流向均为 WSW 向。风对观测点 S1 站水体运输的影响,只是在冬季东北季风对表层水体运输的响应较为显著,余流流向呈西南向,但中层和底层的余流则指向东北,特别是底层更加明显。这与夏季余流方向相反,表明这里夏季是气旋式环流,与高劲松等^[17,18] 所得的冬季是反气旋环流的分析结果一致。也就是说,风对水体运输的影响是存在的,但不起主导作用。首先西南季风是不稳定和不持续的,在北部湾北部西南季风的平均风力比东北季风小,对气旋式环流的形成有其局限性^[19]。

2021 年夏季(7月)和 2022 年冬季(1月),防城港湾及其以西海域 4 个周日连续海流观测结果同样证实风的影响是存在的,如夏季表层水体输运余流流向呈 SW 向是因为西南季风向岸推进产生正压梯度力使水体向西南输运(图 6),而冬季表层水体输运则取决于反气旋式环流的作用(图 9),但水体输运余流流向则呈 NE 向,说明风不起主导作用。

4 结论

(1)对 S1 站一周年表层、中层、底层 3 层逐时实测流速、流向进行各季节分级统计可知,冬半年受反气旋式环流控制,水体输运自西向东;夏半年受气旋涡控制,水体输运自东向西。风对表层水体的输运响应,主要体现在夏季西南季风造成沿岸水的堆积产生正压梯度力使表层水体往西南向输运。

(2)2021 年夏季(7月)和 2022 年冬季(1月),周日海流连续观测资料分析结果表明,防城港湾以西海

域水体输运总体趋势,夏季(7月)余流为WSW向,冬季(1月)余流为NE向。水体输运趋势与2011年9月至2012年8月同期观测资料分析的结果基本一致。

(3)防城港湾及其邻近海域水体输运受北部湾北部气旋式、反气旋式两种不同的环流形式控制,呈现复杂性特征,且有别于其他海湾。除此之外,琼州海峡西向流、入海径流、地形等对水体输运也产生重要的影响。风对港湾及其邻近海域水体输运有影响,但不起主导作用。

参考文献

- [1] 钟欢良. 北部湾北部春季环流分析[J]. 海洋通报, 1995, 14(1): 81-85.
- [2] 孙洪亮, 黄卫民, 赵俊生. 北部湾潮致、风生、和热盐余流的三维数值计算[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(5): 561-568.
- [3] 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.
- [4] 李谊纯, 董德信, 王一兵. 防城港湾潮流及潮汐不对称特征[J]. 广东海洋大学学报, 2021, 41(4): 50-57.
- [5] 邱绍芳, 陈波, 何碧娟. 广西沿岸两大入海河口区域的环境变化与水流动力影响分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003, 3: 24-29.
- [6] 陈波, 朱冬琳, 牙韩争, 等. 台风“纳沙”期间广西近岸风暴射流产生与增减水异常现象[J]. 广西科学, 2019, 26(6): 626-633.
- [7] 陈波, 陈宪云, 牙韩争, 等. 防城港湾及其邻近海域潮流和余流特征研究[J]. 海洋湖沼通报, 2020, 3: 16-23.
- [8] 郑斌鑫, 侍茂崇, 廖康明, 等. 北部湾北部白龙尾附近海域潮流谱分析[J]. 海洋科学进展, 2015, 33(1): 1-10.
- [9] 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, 1991.
- [10] 侍茂崇. 北部湾环流研究述评[J]. 广西科学, 2014, 21(4): 313-324.
- [11] 丁扬. 南海北部环流和陆架陷波研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- [12] 侍茂崇, 陈波, 丁扬, 等. 风对北部湾入海径流扩散影响的研究[J]. 广西科学, 2016, 23(6): 485-491.
- [13] SHI M C, CHEN C S, XU Q C, et al. The role of Qiongzhou Strait in the seasonal variation of the South China Sea circulation [J]. Journal of Physical Oceanography, 2002, 32(1): 103-121.
- [14] CHEN B, XU Z X, YA H Z, et al. Impact of the water input from the eastern Qiongzhou Strait to the Beibu Gulf on Guangxi coastal circulation [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 38(9): 1-11.
- [15] 陈波. 北部湾水系形成及其性质的初步探讨[J]. 广西科学院学报, 1986, 2(2): 92-95.
- [16] 陈波, 邱绍芳, 葛文标. 广西沿岸主要海湾余流场的数值模拟[J]. 广西科学, 2001, 8(3): 227-231.
- [17] 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.
- [18] 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, 2015, 45(1): 99-112.
- [19] 陈波, 侍茂崇. 北部湾海洋环流研究进展[J]. 广西科学, 2019, 26(6): 595-603.

Study on Water Transport and Mechanism in the West Waters of Fangchenggang Bay

CHEN Bo, ZHANG Jiyun, WEI Cong

(Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

Abstract: In order to explore the water transport mode and mechanism in the waters outside Fangchenggang Bay, the current rose diagram of historical survey data and the latest current survey data are analyzed in this article. The results showed that the water transport in the west waters of Fangchenggang Bay was controlled by anti-cyclonic circulation in winter, and the water transport was mainly in NE direction. In summer, it was controlled by coastal runoff and cyclonic eddy, and the water transport was mainly WSW. In spring and autumn, the transport of surface water was mainly WSW, and the transport of water below the middle layer was

NE. The influence of wind on the surface flow was obvious. In summer, the southwest monsoon caused the accumulation of coastal water to generate a barotropic gradient force to transport the surface water to the southwest, but it did not play a leading role. Below the middle layer, it was mainly controlled by two different circulation forms of cyclone and anticyclone in the northern Beibu Gulf. In addition, the westward flow from Qiongzhou Strait, runoff into the sea and topography also play an important role in water transport.

Key words: Fangchenggang Bay; residual current characteristics; water transport; mechanism; circulation

责任编辑:陆雁

投稿指南

1 来稿要求

1.1 稿件要素

稿件内容必须包括题目、作者姓名、作者所在单位、作者所在省份和城市、邮政编码、中文摘要、关键词、英文题目、作者英文姓名、作者英文单位、英文摘要、英文关键词、正文、致谢(非必选)、参考文献等内容。

1.2 题目

应以简明、确切的语言反映稿件的重要思想和内容,一般不超过 20 字。

1.3 作者与单位

多位作者姓名用逗号隔开。所有作者均须注明所在单位全称、省份城市及邮编。

1.4 汉语姓名译法

姓在前名在后,姓用大写字母,名首字母大写(如:欧阳奋发,OUYANG Fenfa)。

1.5 中、英文摘要

用第三人称撰写,应完整准确概括论文的实质性内容,试验研究论文摘要须包含目的、方法、结果、结论 4 个要素。英文摘要与中文摘要内容相对应。

1.6 首页脚注标识要素

资助项目:项目名称(项目编号)。作者简介包括姓名(出生年-),性别,职称或职务,主要研究方向。如有通信作者,请注明×××为通信作者,包括姓名(出生年-),性别,职称或职务,主要研究方向,E-mail。

1.7 稿件正文

试验研究论文应包括引言、材料与方法、结果与分析、讨论、结论等要素。引言须包含研究意义、前人研究进展、本研究切入点、拟解决的关键问题等基本内容,“讨论”与“结论”部分须分开阐述。各层次标题用阿拉伯数字连续编号,如 1, 1.1, 1.1.1, 1.1.1.1……; 2, 2.1, 2.1.1, 2.1.1.1……,层次划分一般不超过 3 级。

1.8 参考文献

参考文献表采用顺序编码制组织,其编排格式示例如下:

[1] 陈宝玲,宋希强,余文刚,等.濒危兰科植物再引入技术及其应用[J].生态学报,2010,30(24):7055-7063.

[2] CHEN B L, SONG X Q, YU W G, et al. Re-introduction technology and its application in the conservation of endangered orchid [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 7055-7063.

1.9 图和表

稿件可附必要的图和表,表用三线表表示,忌与文字表述重复,表的主题标目要明确。图表题、表头须为中英文对照,图表内采用全英文格式。图要大小适中,清晰,标注完整;照片尽量选用黑白照片。

1.10 量和单位

量名称及其符号须符合国家标准,采用法定计量单位(用国际通用符号,如面积单位“亩”换算成“公顷 hm²”)。书写要规范化,并注明外文字母的大小写、正斜体及上下角标。容易混淆的字母、符号,请特别注明。

2 注意事项

2.1 本刊已开通网络投稿系统,投稿请登录 <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch/index.aspx>,使用网上投稿和查稿系统。我刊审稿周期为 2 个月,2 个月未收到审稿结果可另投他刊。

2.2 稿件一经采用,酌收版面费;刊登后,付稿酬含网络发行(《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网、万方数据网及台湾华艺 CEPS 中文电子期刊服务网等)的稿酬,同时赠送样刊 2 本。

2.3 本刊入编《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网、万方数据网及台湾华艺 CEPS 中文电子期刊数据库并已签订 CNKI 优先数字出版合作协议。

2.4 囿于人力、物力有限,本刊只通过期刊采编系统发送“稿件处理意见”,如需纸质意见,请向编辑部索取。