

风对北部湾入海径流扩散影响的研究*

Wind Effects on Spread of Runoffs in Beibu Bay

侍茂崇¹, 陈波², 丁扬¹, 吴伦宇³, 郑斌鑫⁴

SHI Maochong¹, CHEN Bo², DING Yang¹, WU Lunyu³, ZHENG Binxin⁴

(1. 中国海洋大学, 山东青岛 266003; 2. 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; 3. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东青岛 266061; 4. 国家海洋局第三海洋研究所, 福建厦门 361005)

(1. Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266003, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Coastal Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 3. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266061, China; 4. Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen, Fujian, 361005, China)

摘要: 本文根据北部湾红河等入海径流的最新资料, 使用 FVCOM 数值模式计算风场显著不同的 1988 年和 1989 年夏季径流扩散特征; 使用冬季平均风场计算包括径流在内的冬季北部湾环流。得出如下结论: (1) 1988 年 8 月, 强的西南风除了在北部湾西岸产生较强的北向沿岸流外, 东部涠洲岛附近形成气旋式环流; 相应地在北部湾中偏北部有一个弱的反气旋涡, 中部出现较大的气旋式环流; (2) 1989 年 8 月的西南风非常弱, 表层的红河冲淡水主要沿北部湾西岸向南流, 来自琼州海峡的余流, 在北部湾北部形成范围较大的气旋式环流, 与此同时, 海湾南部也出现一个较强的气旋式环流; (3) 冬季, 在冬季偏北风驱动下, 北部湾基本是气旋式环流, 只有西北部水域出现一个反气旋式环流。

关键词: 北部湾 红河 径流 环流

中图分类号: O475 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2016)06-0485-07

Abstract: By using the FVCOM numerical model and the latest runoff data of the Red River in the Beibu Gulf, diffusion characteristics of the runoffs were simulated in the summer of 1988 and 1989, since there were apparent difference in wind distribution in summer in these two years. Furthermore, the current circulation of Beibu Gulf in winter was simulated with the mean wind field in winter and the runoffs. The conclusions are as follows: (1) In August 1988, the strong southwest wind formed a strong northern coastal current in the west bank of the Beibu Gulf, and a cyclonic circulation near the Weizhou Island in the east. Accordingly, there were a weak anti-cyclonic circulation in the north of the Beibu Gulf and a larger cyclonic circulation in the middle. (2) In August 1989, the southwesterly wind was weaker than in August 1988, and the surface runoffs of the Red River went mainly to the south along the west bank of the Beibu Gulf. The residual current from the Qiongzhou Strait formed a large cyclonic circulation in the northern area of the Beibu Gulf. At the same time, there was a strong cyclonic circulation in the southern area of the Beibu Gulf. (3) In the winter, the Beibu Gulf reveals mainly cyclonic circulation driven by strong northerly wind in winter. An anti-cyclonic circulation appears only in the northwest waters of Beibu Gulf.

Key words: Beibu Gulf, Red River, runoffs, current circulation

收稿日期: 2016-11-09

作者简介: 侍茂崇(1937-), 男, 教授, 主要从事海洋环流研究, E-mail: meshi@ouc.edu.cn.

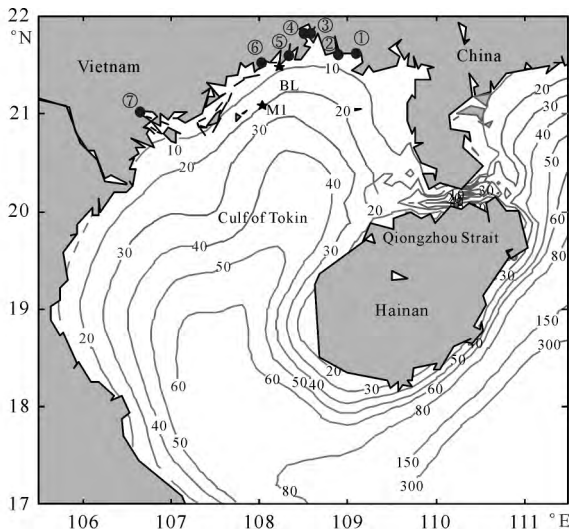
* 国家自然科学基金项目(41576024)和广西重点研发计划项目(桂科 AB16380282)资助。

0 引言

北部湾位于南海西北部,在北纬 $17^{\circ}00' \sim 21^{\circ}30'$ 和东经 $105^{\circ}40' \sim 110^{\circ}00'$,北临广西壮族自治区,东靠海南岛和广东省的雷州半岛,西靠越南民主共和国,南连南海,以海南岛莺歌嘴与越南来角之间的连线为界^[1]。北部湾全部位于大陆架内,平均深度为 46 m,属于大陆架上一个浅海湾,水下地形平坦,最大水深不超过 100 m。

北部湾处于热带和亚热带,季风特征明显,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,东北季风期长于西南季风期。干、湿季较显著。全年总降水量都在 1 100~1 700 mm(西北部沿岸达 2 500 mm 以上)。5~9 月为雨季,雨量充沛,月平均降水量都在 100 mm 以上。7~9 月雨量最大,约占全年总雨量的 55%~70%。

注入北部湾的河流,由东至西依序排列有南流江、大风江、钦江、茅岭江、防城河、北仑河和越南的红河等(图 1)。除红河之外,越南还有马江、朱江和兰江(图中未标出)。



①南流江 Nanliu River; ②大风江 Dafeng River; ③钦江 Qin River; ④茅岭江 Maoling River; ⑤防城河 Fangcheng River; ⑥北仑河 Beilun River; ⑦红河 Red River

图 1 北部湾北部入海河流

Fig. 1 The runoffs in Beibu Gulf

河口是河流向海洋过渡的区域,陆海两种动力在这里相互作用。由于入海径流量及河口区地形的不同,因此陆海相互作用的程度也不尽相同。盐淡水混合既可发生在河口湾内,也可发生在近岸海洋中。淡水在河口地区逐渐混合,就会形成不同其他海水的羽状体,这种羽状体亦称为河口羽。河口冲淡水以近似漂浮的羽状,在较高盐度的水体上,向海平流扩散,并

对周围海域的水文特征、生物化学特征、泥沙运动特征产生巨大的影响。

要研究北部湾水文、生物、化学特征,就需要有覆盖全部海湾的调查资料。鉴于跨国调查的困难,至今也只有 20 世纪 60 年代初的两次“中越北部湾合作海洋综合调查”资料可用:第一次,是 1959 年 12 月~1960 年 12 月;第二次,是 1961 年 12 月~1962 年 12 月。因此,最早讨论北部湾入海河流对环境影响的文献,就是 1964 年出版的《中越合作-北部湾海洋综合调查报告》^[2],在这个文献中论述了越南红河和中国广西沿岸入海河流对北部湾温盐分布的影响。第二次调查,出版了资料汇编,还对北部湾水文季节的划分进行了研究,把 1~3 月定为北部湾水文的冬季,4~6 月为春季,7~9 月为夏季,10~12 月为秋季,并以 2 月、5 月、8 月和 11 月分别作为海洋水文的四季代表月^[3]。

在注入北部湾的这些河流中,对北部湾水文要素(尤其是盐度)影响最大的是红河。据 1960 年和 1962 年的统计,流入北部湾诸河流的径流总量为 1 400 亿 m^3 ,而越南沿岸的河流径流量占 94.5%,约为 4 195 m^3/s 。我国沿岸的河流径流量只占 5.5%,约为 244 m^3/s 。越南的红河,年径流量占注入北部湾径流总量的 75%左右,约为 3 330 m^3/s 。

从径流量的年变化来看,以 7,8 两月最大,2~4 月最小。以 1960 年的红河为例,8 月经流量为 $250.4 \times 10^8 m^3$,约为 9 660 m^3/s ;4 月经流量为 $17.1 \times 10^8 m^3$,相差 15 倍之多(图 2),这对北部湾西岸的盐度分布与变化无疑有重要影响。

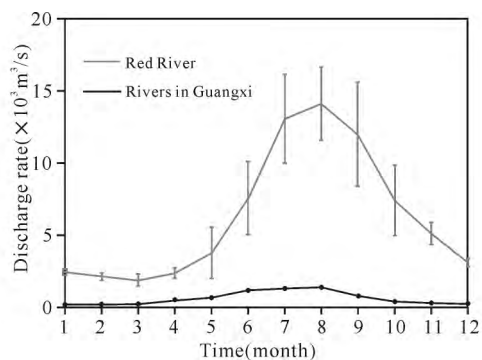


图 2 越南红河和中国广西沿岸河流的气候态月平均淡水流量

Fig. 2 Climatological monthly-mean freshwater discharges from the Red River, Vietnam and the rivers along the coast of Guangxi Province, China

但是,美籍学者陈长胜教授在 2012 年参加越南的学术讨论会^[4],越方科学家在会上提供的红河径流量与 20 世纪 60 年代统计的径流量相差很大:红河平均径流量 6 250 m^3/s ,几乎高出 20 世纪 60 年代统计

的径流量一倍,是我国珠江径流量 $10\ 654\ \text{m}^3/\text{s}$ 的 59%。

同样,我国径流量统计也相差很大。根据多年统计结果,广西沿海入海河流径流量约 $548\ \text{m}^3/\text{s}$,超出 20 世纪 60 年代一倍之多^[5]。由于 20 世纪 70 年代之前径流实测资料很少,小河尤甚,从图上查得的年径流量,有较大的误差,很难保证一定的精度,现在实测站点增多,系列延长,因此统计结果可信度更高。

1 历史资料显示北部湾入海径流特征

1.1 入海径流产生的低盐水控制北部湾大部分水域

广西入海河流和越南红河等入海径流分别向南和东南向入海,受科氏力作用,产生偏西向运动。加之入海径流抬升当地的海平面,这种沿岸的水位抬升的梯度可进一步驱动西南向沿岸流。从中越联合调查报告中 8 月份表层盐度分布图^[2](图 3)可以看出,受沿岸径流影响,广西西部和越南东部沿海都为低盐水平盘踞,甚至低盐水呈舌状影响到海南岛西部近岸。

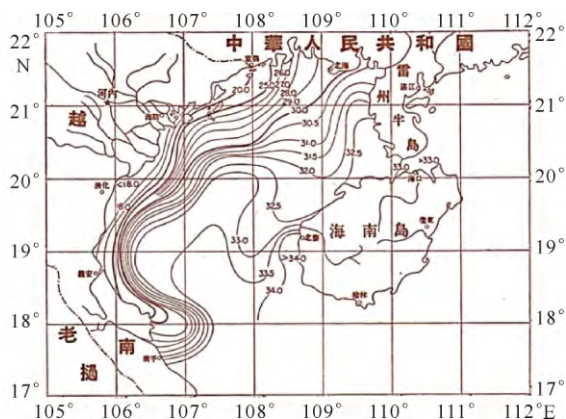


图 3 1960 年 8 月北部湾表层盐度

Fig. 3 The salinity distribution at surface layer in Beibu Gulf in Aug, 1960

位于 21°N 、 108°E 点处 8 月实测风速以西南风为主,平均风速 4 级,出现频率 20%;南风平均风速 4 级,出现频率 5%;西北风平均风速 2 级,出现频率 22%;西风平均风速 3 级,出现频率 2%;合成风速小于 $1\ \text{m/s}$,风向 275° 。

1.2 红河径流量大,入海径流具有射流性质

图 4 是根据北部湾第二次调查报告中盐度资料绘制的表、底层盐度分布图。从中可以看出红河水入海后,有明显的东南向舌状分布,前锋可以达到海南洋浦港西面深槽。

2 风对径流影响分析

季风也有加强沿岸流的可能。风速观测资料表明,夏季的常风向为西南向,这就存在沿岸西北向的风力分量,可以驱动沿岸流。

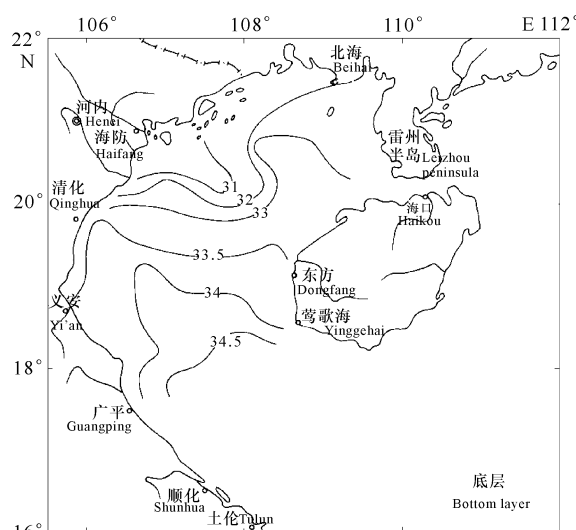
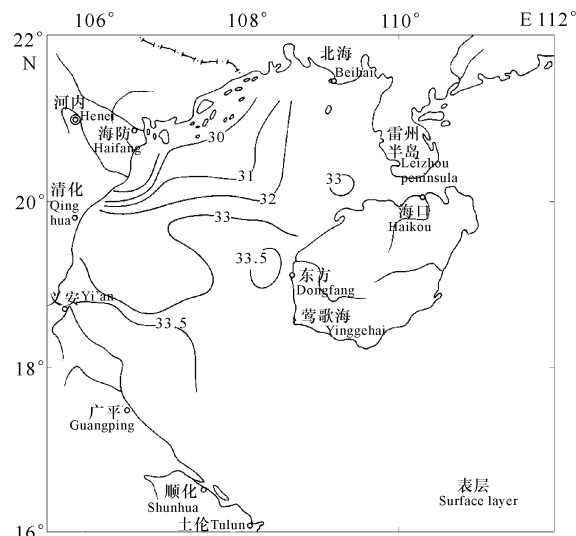


图 4 1962 年 7 月表底层盐度

Fig. 4 The salinity distribution at surface layer (upper panel) and bottom layer (lower panel) in Jul, 1962

2.1 夏季季风影响

根据北部湾综合调查报告,红河冲淡水主要分布在约 40 m 等深线附近。夏季,受西南季风影响,一部分径流向北,一部分的径流直接向南。向南的这部分径流量约占红河总径流量的 $1/3$ 。虽然夏季径流向南扩散范围减少,但是由于总径流量显著多于冬季,所以南向流还是具有很强的势力。秋季,由于红河径流逐月减少,冲淡水逐渐向岸边退缩,主要分布在红河口以南沿岸,最大幅度不及 50 km。

通过数值计算表明,北部湾径流扩散与风有密切关系^[6]。这可以从模式模拟的 1988 年 8 月和 1989 年 8 月表层流的对比结果中得到证明。从 1988 年和 1989 年红河水流量图(图 5)中可以看到,1988 年和 1989 年的 6 月到 8 月期间,红河向北部湾注入大量淡水。另外,尽管这两年的 8 月份都盛行西南季风,1988 年 8 月份的风速却强于 1989 年。

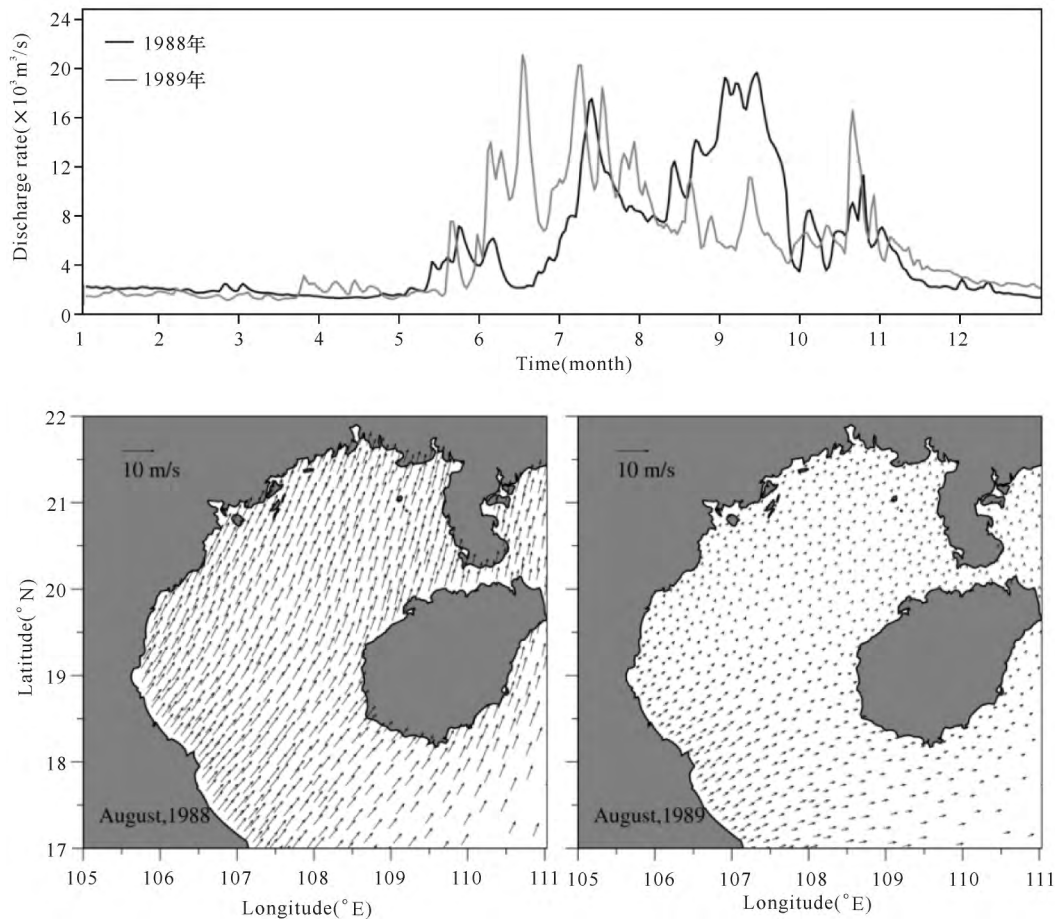


图 5 1988 年和 1989 年红河淡水通量和相应的 10 m 高处月平均风场

Fig. 5 Time series of freshwater discharge from the Red River (upper panel) over 1988 and 1989, respectively, and maps of the monthly-averaged 10 m wind velocity in August of 1988 and 1989 (lower panels)

针对 1988 年和 1989 年实际径流和风场,我们使用 FVCOM 数值模式进行计算。在南海北部湾网格分辨率约为 15 km(图 6)。垂向网格采用适应地形的混合纵坐标。在北部湾海域,垂向分辨率约为 2.2 m,在水深小于 100 m 的区域分辨率更高。Global-FVCOM 通过半隐格式进行积分,积分的时间步长为 300 s。

计算结果如图 7 所示。由图 7 可以看出:

(1)1988 年 8 月,强的西南风在北部湾西岸产生较强的北向沿岸流,到达广西钦州湾西部,低盐冲淡水向外海输运,然后在东部涠洲岛附近形成气旋式环流。这个由风和浮力驱动的气旋型环流主要出现在近表层较薄的水层中,对海流进行垂向平均后,气旋型环流并不明显。相应地在北部湾中偏北部有一个弱的反气旋涡,中部出现较大的气旋式环流。

(2)1989 年 8 月的西南风非常弱,表层的红河冲淡水主要沿北部湾西岸向南流。来自琼州海峡的余流,在北部湾北部形成范围较大的气旋式环流。与此同时,海湾南部也出现一个较强的气旋式环流。

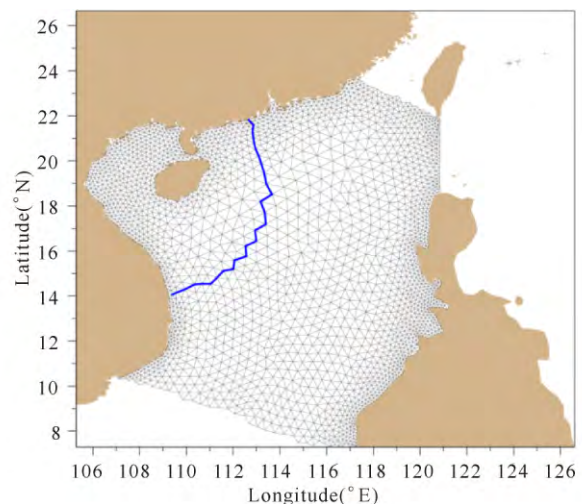


图 6 北部湾、南海区域嵌套模型无结构网格图(其中蓝线代表北部湾嵌套边界)

Fig. 6 Unstructured triangular grids of Gulf of Tonkin, South China Sea region which is nested in Global-FVCOM (The blue line denotes the nesting boundary of the Gulf of Tonkin model)

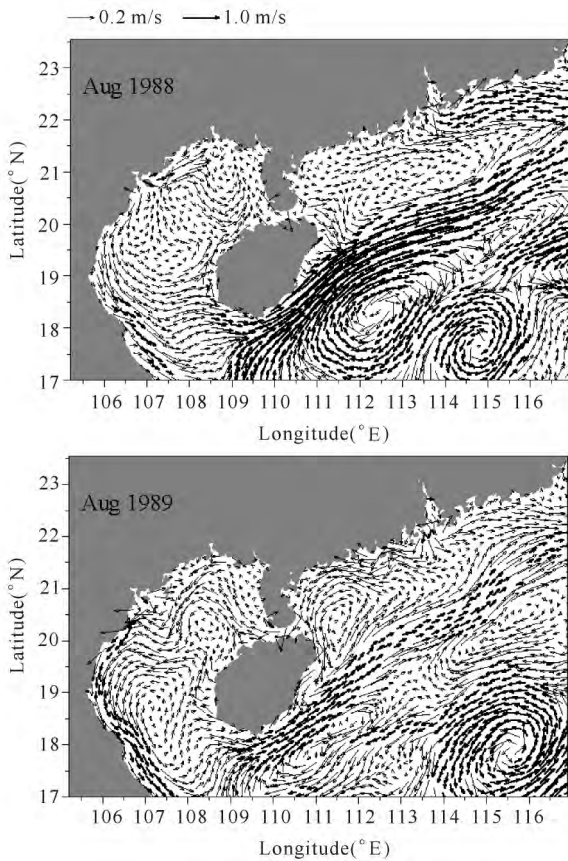


图7 1988年和1989年8月南海西北部海域月平均0~10 m层环流分布的模型计算结果

Fig. 7 The model simulated results of monthly mean current distribution at surface layer in Aug, 1988 and in Aug, 1989

2.2 冬季季风影响

冬季, 由于红河仍处于枯水期, 径流较弱, 且东北季风仍然较强, 所以红河冲淡水主要向西南扩散。同样我们使用 FVCOM 模型计算了冬季环流(图8)。

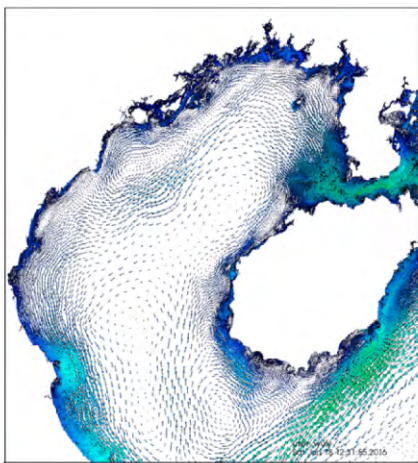


图8 冬季中层环流

Fig. 8 The current distribution of medium layer in winter in Beibu Gulf

由图8可以看出, 在冬季偏北风驱动下, 北部湾广西科学 2016年12月 第23卷第6期

基本是气旋式环流。但是, 受地形影响, 西北部水域却出现一个反气旋式环流。为了证明这个环流存在, 我们收集了一些调查资料进行佐证。图9给出这些资料的所在位置, 其中, 等值线为水深(m), “A”代表白龙尾坐底 ADCP 海流观测站(国家海洋局第三研究所); 黑点 B08~B14 代表“908”项目 2006年冬、夏季温、盐调查断面(厦门大学)。

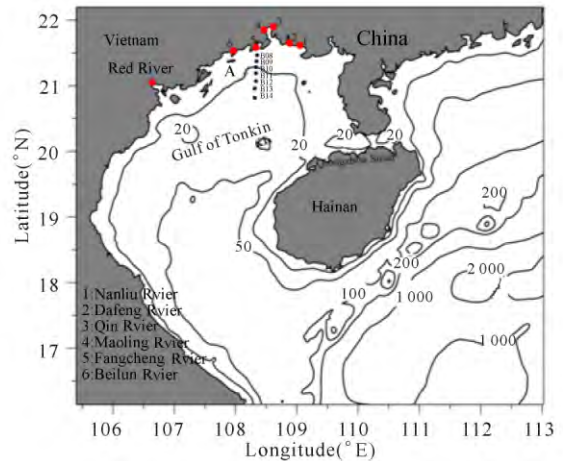


图9 北部湾北部海流与温盐观测站位分布

Fig. 9 The observed stations set for current, temperature and salinity in the northern Beibu Gulf

对白龙尾的海流观测资料进行滤波后得到余流结果进行分析。由冬季3个月平均的表中底层余流矢量玫瑰图(图10)可以看出, 表层受风的影响, 多朝南、东南向, 但是, 中层、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11)相反, 表明这里夏天是气旋式环流。这也与高劲松等^[7]的分析结果一致。

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12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^[8-9]。

红河径流每年携带的上亿立方米的悬浮泥沙及其他悬浮物质, 伴随着冲淡水的向外扩散而相应演化, 并随着水流的减弱或增强、盐淡水混合的强弱、羽状锋的演化, 在不同的空间位置会出现多种沉积过程。因此, 冲淡水的扩散变化规律及其动力学的研究, 对于研究河口及北部近岸海域悬浮物质的输移、分布、河口及其邻近海域的沉积过程也非常重要, 可为广西沿岸海洋生态保护与开发, 提供重要的背景知识^[10]。例如, 1960年底层溶解氧饱和度与径流扩散基本一致(图13)。

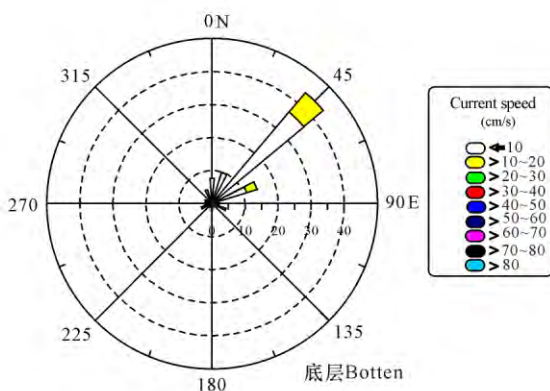
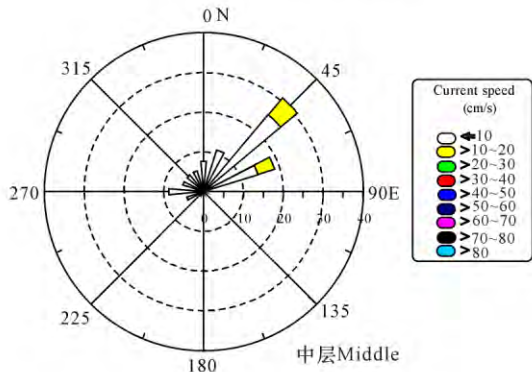
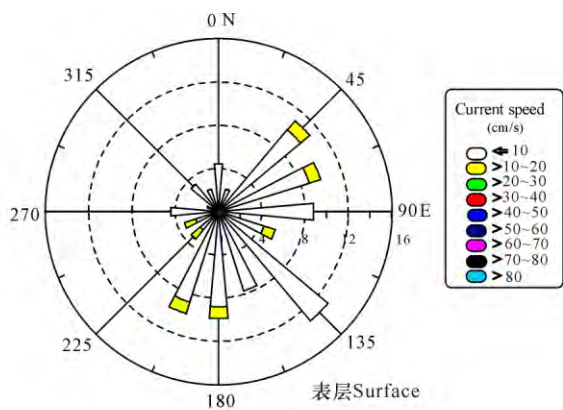


图 10 冬季余流流速、流向分级玫瑰图

Fig. 10 The rose diagrams of residual current velocity and direction in winter

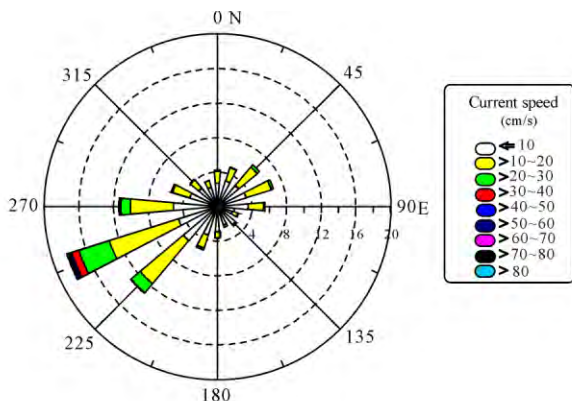


图 11 夏季 3 个月中层平均余流

Fig. 11 Mean residual current at medium layer of three months in summer

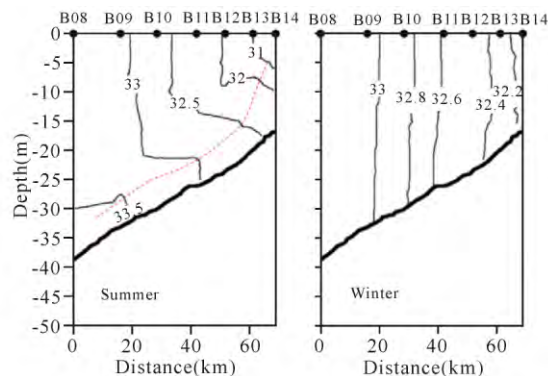


图 12 2006 年冬季和夏季断面 B08~B14 盐度分布

Fig. 12 Vertical profile of salinity in winter and summer, 2006

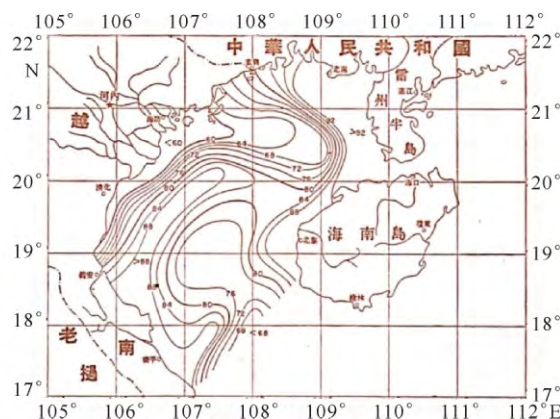


图 13 1960 年 8 月底层溶解氧饱和度

Fig. 13 Dissolved oxygen saturability at bottom layer in Aug, 1960

溶解氧饱和度是水质的一个重要测量指标,是表示溶氧含量的另一种方法;溶解氧饱和度(%)=(溶解氧实测含量/实测条件下溶解氧的饱和含量)×100%;藻类大量繁殖,溶解氧降低;而水温升高如暖流的影响也可以使溶解氧降低。

3 结论

河口生态系统一直是我国海洋科学家关注的焦点。但是,北部湾由于一些政治的因素,自 1964 年以后,再没有进行覆盖全水域的、全方位的调查。对入海径流最大的红河的了解,也一直停留在 20 世纪 60 年代水平。通过美籍学者陈长胜教授访问越南,与越南科学家深入交谈,才对红河径流有一个全新的了解,真实的红河径流量比 1960 年的统计结果要多出将近一倍,为珠江径流的 59%。加上越南其他河流和广西的入海径流,其总径流量要超过珠江入海径流 70%。这一巨大的淡水体入海,必然对三面封闭的总面积约为 12.93 万 km² 的北部湾海域产生显著的影响。研究广西近海物质运输、环境保护,建立良好生态系统,都不能脱离入海径流这一重要事实。

本研究根据 20 世纪 60 年代的水文调查资料和陈长胜教授最新资料,讨论北部湾入海径流,特别是红河入海径流的扩散特征,运用 FVCOM 模式,计算 1988 年和 1989 年风场相差较大情况下,夏季径流扩散的主要特征;计算平均风场条件下,冬季北部湾环流结构,取得如下结论:

(1)1988 年 8 月,强的西南风除了在北部湾西岸产生较强的北向沿岸流,到达广西钦州湾西部,低盐冲淡水向外海输运,然后在东部涠洲岛附近形成气旋式环流。这个由风和浮力驱动的气旋型环流主要出现在近表层较薄的水层中,对海流进行垂向平均后,气旋型环流并不明显。相应地在北部湾中偏北部有一个弱的反气旋涡,中部出现较大的气旋式环流。

(2)1989 年 8 月的西南风非常弱,表层的红河冲淡水主要沿北部湾西岸向南流。来自琼州海峡的余流,在北部湾北部形成范围较大的气旋式环流。与此同时,海湾南部也出现一个较强的气旋式环流。

(3)冬季,在冬季偏北风驱动下,北部湾基本是气旋式环流。但是,受地形影响,西北部水域却出现一个反气旋式环流。用 2011 年~2012 年白龙尾海流观测资料证明,冬季这个反气旋环流确实存在。

(4)从防城港向西直到北仑河口,这里夏季是气旋式环流,冬季是反气旋环流。

参考文献:

[1] 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 X, 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.

[2] 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室. 中越合作北部湾海洋综合调查报告[R]. 北京:中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室,1964.
Integrated Marine Investigation Office, Ocean Group, Scientific and Technical Committee of the People's Republic of China. Sino-Vietnamese Cooperation Beibu Gulf Marine Comprehensive Investigation Report[R]. Beijing:Scientific and Technical Committee of the People's Republic of China Ocean Group Integrated Marine Investigation Office,1964.

[3] 中越北部湾海洋综合调查队. “中越北部湾海洋综合调查报告”二:水文物理. 简称“第二次北部湾调查报告”[R]. [S. l.]:[s. n.],1965.
China-Vietnam Beibu Gulf Marine Integrated Survey

Team. “Sino-Vietnamese Beibu Gulf Marine Comprehensive Survey Report” II. Hydrophysics. Abbreviated as “the Second Beibu Gulf Investigation Report”[R]. [S. l.]:[s. n.],1965.

[4] CHEN C S, LAI Z G, BEARDSLEY R C, et al. Current separation and upwelling over the southeast shelf of Vietnam in the South China Sea[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans,2012,117(C3):C03033.

[5] 代俊峰,张学洪,王敦球,等. 北部湾经济区河流水质评价研究[J]. 中国农村水利水电,2012(1):21-24.
DAI J F, ZHANG X H, WANG D Q, et al. An assessment of river water quality in the Beibu gulf economic zone[J]. China Rural Water and Hydropower,2012(1):21-24.

[6] 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.
DING Y. Investigation on the Circulation and Coastal Trapped Waves in the Northern South China Sea[D]. Qingdao:Ocean University of China,2015.

[7] 高劲松. 南海北部中尺度涡及北部湾环流结构与生成机制研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.
GAO J S. The Research on the Eddy in the Northern South China Sea and Circulation in the Beibu Gulf[D]. Qingdao:Ocean University of China,2013.

[8] 李炎,胡建宇. 北部湾海洋科学研究论文集:物理海洋与气象专辑:第 2 辑[M]. 北京:海洋出版社,2009.
LI Y, HU J Y. Proceedings of the Beibu Gulf Marine Scientific Research Series: Physical Oceanography and Meteorology: Part II [M]. Beijing: Ocean Publishing House,2009.

[9] 中国科学院南海海洋研究所. 广东沿海及北部湾的表层海流状况——1964 至 1971 年漂流瓶资料总结[R]. [S. l.]:[s. n.],1971.
South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Guangdong Coastal and Northern Gulf of the Surface Current Situation (Drift Bottle Data Summary from 1964 to 1971)[R]. [S. l.]:[s. n.],1971.

[10] 王小刚,郭纯青,田西昭,等. 广西南流江流域水环境现状及综合管理[J]. 安徽农业科学,2011,39(5):2894-2895,3010.
WANG X G, GUO C Q, TIAN X Z, et al. Water environment status and comprehensive management of Nanliu River basin in Guangxi[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2011,39(5):2894-2895,3010.

(责任编辑:陆雁)