

基于 HYCOM 模拟的南海西北部环流^{*}

朱冬琳¹, 陈波¹, 唐声全^{1,2**}

(1. 广西科学院, 广西北部湾海洋研究中心, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 中国海洋大学海洋与大气学院, 山东青岛 266100)

摘要:为研究北部湾在内的南海西北部海域环流结构的时空特征, 本文基于 Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) 模式和气象强迫数据, 通过三重嵌套模拟研究南海西北部环流在风力强迫下的结构及其时空分布特征, 结果表明: (1) 南海西北部流场受季风影响较大, 冬季基本为西南向流, 夏季基本为东向流, 流场结构复杂, 外海涡旋众多, Ekman 运动特征较为明显; (2) 北部湾流场呈现出较强的密度流特征, 冬季基本为气旋式环流, 夏季同时存在较小尺度的气旋式和反气旋式环流; 7 月湾口表层的气旋式环流结构向下直接影响到海底; (3) 北部湾的海表面盐度受蒸发降雨影响较大, 盐度分布西低东高, 这与湾口和琼州海峡入侵的南海高盐海水有关; (4) 在热盐作用和季风驱动下, 琼州海峡的表、底层流冬季为西向流, 夏季为东向流, 冬季广东沿海地区的富营养化海水可能通过琼州海峡影响广西近海海域环境质量。

关键词: 南海 北部湾 琼州海峡 环流 HYCOM

中图分类号: P731.21 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2019)06-0641-06



微信扫一扫, 与作者在线交流(OSID)

0 引言

南海是西北太平洋最大的半封闭边缘海, 岛屿众多, 地形复杂, 受季风、黑潮等因素影响, 南海环流在时空方面均呈现复杂多变的特点, 其在黑潮影响下的结构特征和中尺度涡旋更是研究关注的焦点。北部湾是南海的一个内湾, 其环流特征与广西沿岸海洋动力环境和物质输运关系密切; 南海海水除了从南部湾口流入外, 还通过琼州海峡与北部湾相连, 对湾内的海水水文和动力特征产生重要影响。

针对南海大尺度环流的季节和尺度特征已有不少研究成果, 也有不少学者对北部湾环流进行数据分析和数值模拟^[1-6], 但是大尺度的南海海域数值计算多为气候态模拟^[7-9], 分辨率不够精细, 且很少细化到具体年份去探讨环流结构特征; 而在针对北部湾的模拟中, 多数使用固定的温盐条件, 仅使用潮汐水位和风来驱动, 这样的边界条件会给模式结果带来很大的不确定性。

本文基于 Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) 模式, 通过多重嵌套的方法, 将多年气候态模拟的大尺度模式的温盐和速度作为高分辨率南

^{*} 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。

【作者简介】

朱冬琳(1990—), 女, 助理研究员, 主要从事北部湾潮汐、波浪与生态研究, E-mail: dlz2016@gxas.cn.

【**通信作者】

唐声全(1993—), 男, 博士, 主要从事南海数值模拟和环流动力分析, E-mail: 18354221590@163.com.

【引用本文】

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20191231.004

朱冬琳, 陈波, 唐声全. 基于 HYCOM 模拟的南海西北部环流[J]. 广西科学, 2019, 26(6): 641-646.

ZHU D L, CHEN B, TANG S Q. Northwest south China sea circulation based on HYCOM simulation [J]. Guangxi Sciences, 2019, 26(6): 641-646.

海模型的边界条件,以真实风场数据作为驱动,分析南海西北部环流场结构的时间和空间变化特征。

1 模式设置和数据来源

本文使用 HYCOM 模式进行模拟,该模式采用垂向混合坐标,其中在开阔的层化大洋适用等密度坐标,在弱层结的海洋上混合层可逐渐过渡到 z 坐标,到达浅海区域时则使用随底 σ 坐标,而到了更浅的海域又换成 z 坐标,本文的模拟试验中垂向混合方案采用 KPP,使用全球模式-西太平洋模式-南海模式三重嵌套网格以提高近岸区域的分辨率,其中全球模式的分辨率为 1° ,范围为 60°S — 54°N , 180°W — 180°E ;西太平洋模式分辨率为 0.2° ,范围为 6°S — 48°N , 95°E — 146°E ;南海模式分辨率为 0.04° ,模拟范围为 4°N — 24°N , 98.4°E — 124.4°E ,三重嵌套网格如图 1 所示。

全球模式采用冷启动,以气候态强迫数据驱动并计算 50 年,约 25 年后模式达到稳定状态;使用第 26 年的全球模型结果作为初始场,后 25 年的计算结果

作为边界条件驱动太平洋模式计算 25 年,约 2 年后后者也达到了稳定状态;以太平洋模式第 3 年的模拟结果作为初始场,第 3 年以后的模拟结果作为边界条件驱动南海模式并运行,2 年后达到稳定状态。

事实上,很多对北部湾环流研究的结果都支持北部湾海湾尺度的环流主要受风应力和密度梯度驱动^[2-4,6],因此本模式中仅考虑风力强迫和温盐导致的斜压效应。以南海模式第 3 年的计算结果作为初始场,使用来自 Navy Operational Global Atmospheric Prediction System (NOGAPS) 的 2006—2008 年真实气候强迫数据(包括风速风向、风应力、蒸发降水等,时间分辨率为 3 h/个,空间分辨率为 0.5° ,将其插值到 0.04° 分辨率的南海模式中)驱动模型,从 2006 年 10 月份到 2008 年 12 月连续计算 27 个月得到模拟结果。模式结果利用卫星数据进行验证^[10]。

本文主要关注从 2008 年 1—12 月的结果,结果经处理后为 z 坐标,选择其中的 0 m(即海表面处)、20 m、50 m、100 m、200 m 和 500 m 深度的数据进行分析和讨论。

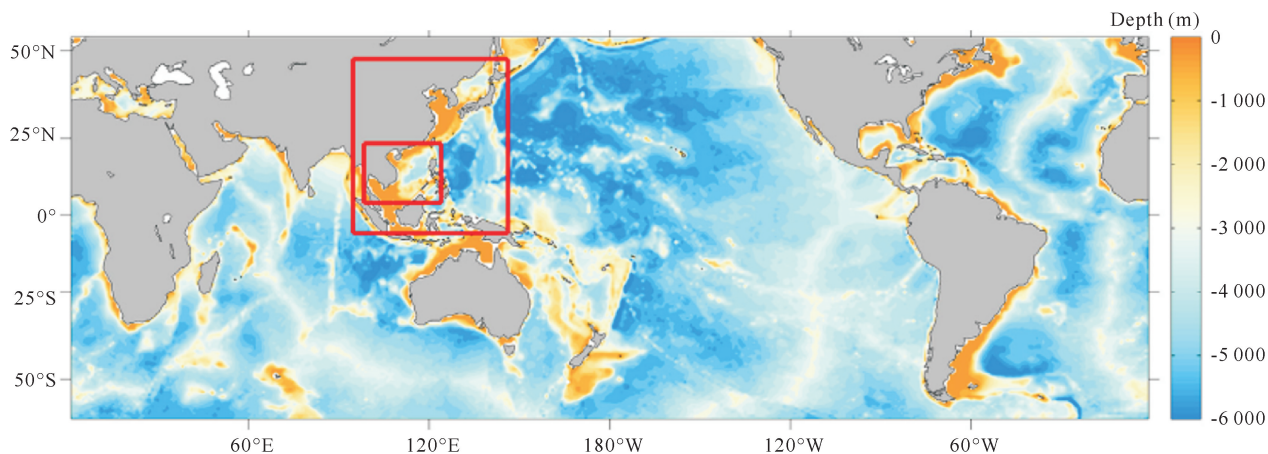


图 1 全球模式-西太平洋模式-南海模式的三重嵌套模拟区域^[10]

Fig. 1 Triple nested simulation area of global model-Western Pacific model-South China Sea model^[10]

2 结果与分析

2.1 南海北部流场结构的时空特征

如图 2 所示,整体而言海南岛东南方向的开阔大洋流速较大,最大流速超过 40 cm/s,流轴位置变化多端,多数月份都存在一个或者多个中尺度涡旋,表层流场结构复杂;随着水深增大,流场不规则性降低,涡旋结构更加明显,反气旋式涡旋对应高温中心,气旋式涡旋对应低温中心,反映了大洋环流中 Ekman 运动的特点。

春季温度较低,3 月湾口主要为气旋式环流,湾

口处南海海流入侵,流轴沿着海湾中线蜿蜒北上,基本沿着北部湾内等温线流动,呈现出较明显的密度流特征;4 月起海表面温度逐渐上升,5 月湾口处海流东入西出,在北部湾南部形成一个半海湾尺度大小的气旋式环流。而入侵海水沿着海南岛西岸一路北上,在北部湾北部约 108.4°E 处分成两支,分别转向形成东、西两个小的反气旋式环流和气旋式环流。7 月开始,西南季风的影响增强,湾内海水在其影响下基本为东向和东北向,流速增大,尤其是湾东侧流速基本超过 20 cm/s,湾口处形成一个强度较大的反气旋式中尺度涡,且其结构向下一直影响到底层海水

(图 2c~d); 8月、9月海表面温度达到峰值, 整个北部湾的海表面温度基本均在 30°C 以上。9月湾口有一支南海海流从湾口中部分入, 在其影响下越南沿岸流一部分转向东继而向南, 形成一个气旋式环流, 而在其西南侧则形成一个较小的反气旋式涡旋。9月时东北季风开始控制海面, 南海海水通过琼州海峡入

侵北部湾北部, 且在海南岛西北端分成两支, 一支向西横跨北部湾, 与湾顶的南向流汇合后向西北沿着地形岸线流出北部湾; 一支向西成为沿岸流, 在海南岛西南侧转向往北, 形成逆时针环流, 最终与沿着越南沿岸线流出的一支汇合。

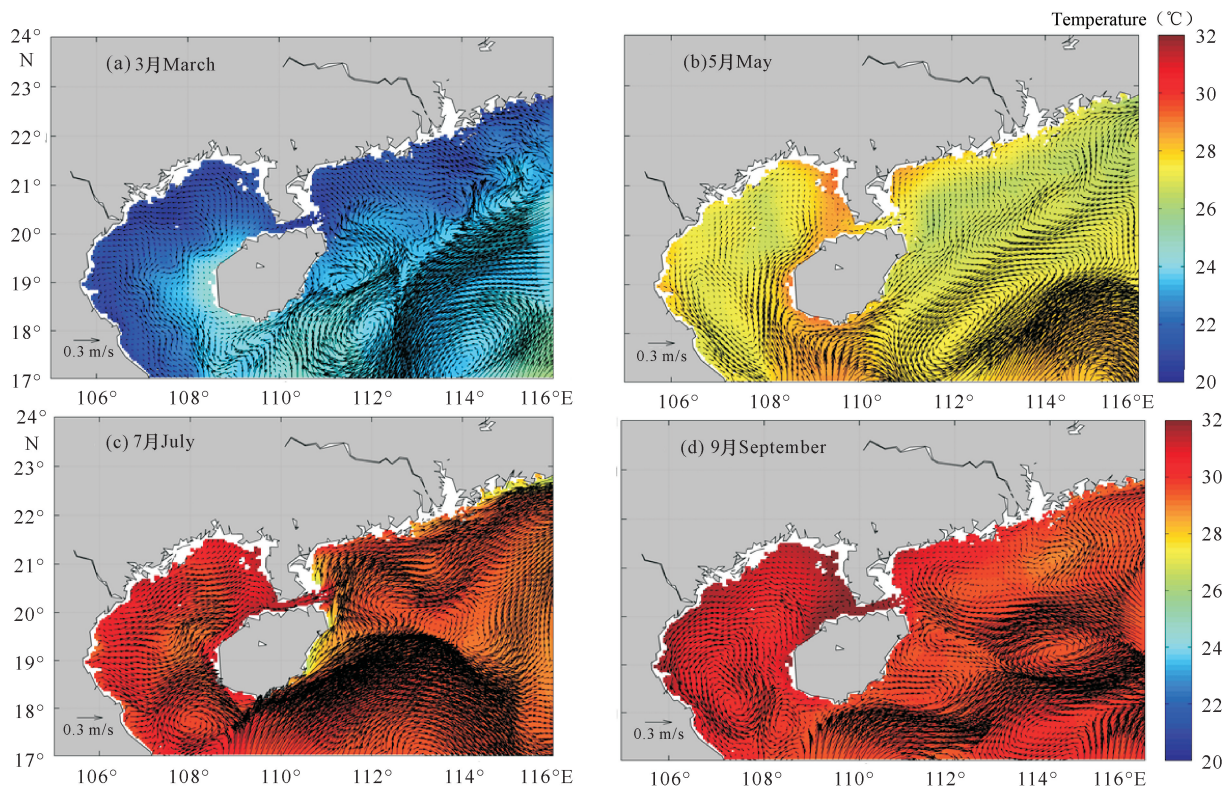


图 2 南海西北部不同月份表层流场分布及海表面温度

Fig. 2 The surface current field distribution and sea surface temperature of northwest of SCS in different month

深度 20 m 的次表层处, 6—11 月北部湾内均同时存在多个中尺度涡(图 3a~c): 6 月海南岛西北侧出现一个强度较大的反气旋式涡旋, 其西南侧和北侧又分别分布一大一小两个气旋式涡旋(图 3a); 7 月湾口表层的涡旋结构在次表层仍然存在, 事实上其在接近底层的 50 m 深度处依然清晰可见(图 3c~d), 且由于下降流的作用形成一个高温中心; 而其东北侧 6 月位于海南岛西北侧海岸的反气旋涡影响犹在, 两者中间又分布一个更小型的气旋式涡旋。深度 50 m 接近北部湾南部的湾底, 9 月在 18°N 附近形成气旋式和反气旋式两个涡旋, 分别对应低温和高温中心, 可能与气旋式涡旋造成的上升流和反气旋式涡旋造成的下降流有关; 10 月, 湾口处则只存在一较弱的气

旋式涡旋和低温中心。

2.2 南海和北部湾温盐特征

大洋一侧基本盐度都维持在一个较高的水平 (>34 PSU), 夏季由于降雨因素影响盐度降低至 33.2 PSU 左右; 200 m 深度处盐度基本在 $34.3 \sim 34.5$ PSU, 变化幅度很小。温度也有类似特征, 到了 200 m 深度处, 温度随季节变化也不大, 基本都在 $11 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 左右, 温度差异主要来自 Ekman 运动导致的上升流和下降流。反气旋式涡旋对应高温中心, 气旋式涡旋对应低温中心, 涡旋结构分明。深度 500 m 以下海流速度较小, 温度基本在 7°C 左右, 涡旋造成的高低温中心减弱但仍然存在, 其盐度约为 $34.4 \sim 34.5$ PSU。

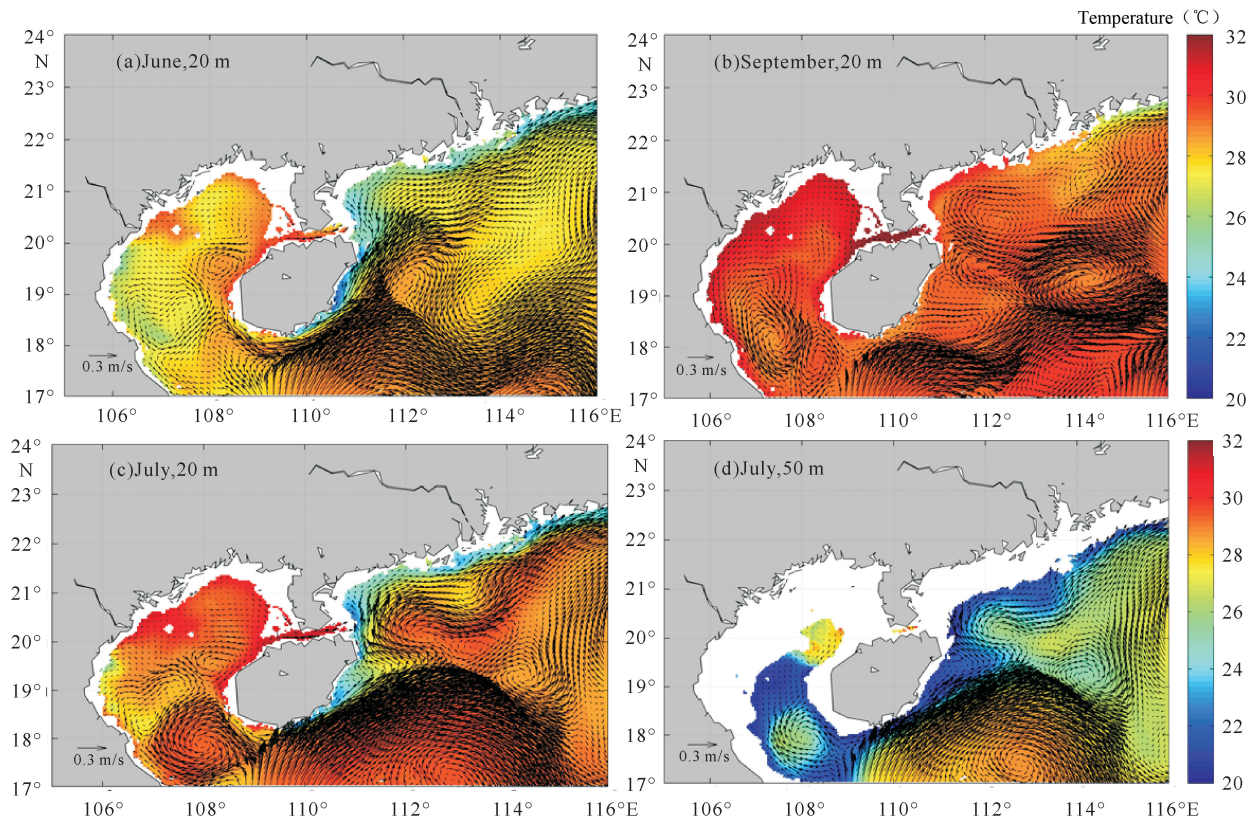


图3 20 m次表层处和50 m层处的流场分布和海水温度

Fig. 3 The current field distribution and sea temperature in northwest of SCS at 20 m and 50 m subsurface layer

北部湾受蒸发降水影响较为明显,从6月开始湾顶处海表面盐度便开始显著下降,在8月、9月雨季盐度下降至31.5 PSU以下;且湾内大部分时间呈现西低东高,湾顶低于外湾的状态。这可能与以下两个因素有关系:(1)入侵南海高盐海水多通过湾口沿海南岛西岸北上;(2)南海海流通过琼州海峡海水进入北部湾从而影响其水文特征。而次表层在2月、6月和10月也呈现出较为明显的热盐环流特征,次表层高盐海水向北入侵现象在10月份较为突出,海水从湾口东侧入侵至 19.5°N 左右,转向南下,形成一个半海湾尺度的反气旋环流和明显区别于湾内其他地方的高盐中心。在垂向结构上,表层海水盐度受蒸发降雨影响最大,而降水对次表层盐度的影响比表层要小得多(图4)。

2.3 琼州海峡流的特征

根据模拟结果,冬季琼州海峡流速也较大,流向

向西,3月、4月季风转向期间流向比较杂乱,流速也较小;5—8月和10月为很强的东向流,11月、12月又转为西向流,随着深度增加琼州海峡流速有所减小,但是大致结构和流向不变。本研究结果为基于风应力强迫和热盐边界条件的模拟结果,并未考虑潮汐作用。事实上琼州海峡海水输运方向一直存在争议^[11-13],南海海水在琼州海峡处的输运是全年向西还是随着季风变向而改变,未来有待更多观测验证;另外,正如上述分析指出,琼州海峡也是南海海水入侵北部湾的通道之一,其西向流对琼州海峡附近盐度分布存在影响,在季风影响下,珠三角附近海域在冬季也是西向的沿岸流,极有可能通过琼州海峡将珠江口一带富营养海水带入北部湾,从而影响冬季广西近海海水质量和生态环境,已经有相关研究针对海水温盐特征进行分析溯源^[13],未来还有待更详尽的观测数据或者物质输运模型进行验证。

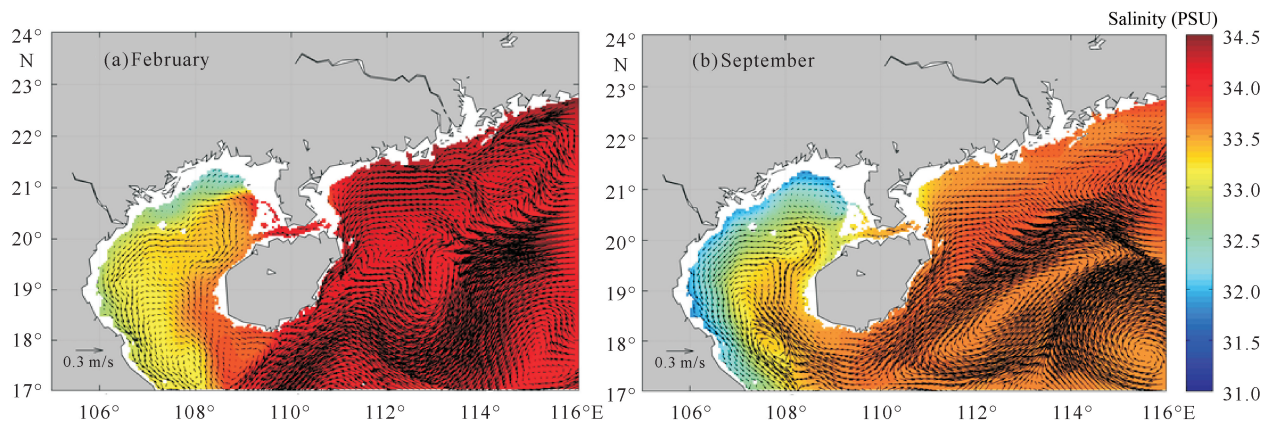


图4 20 m次表层处流场分布和海水盐度

Fig. 4 The current field distribution and sea salinity at 20 m subsurface layer

3 结论

本文基于 HYCOM 模式和气象强迫数据, 利用三重嵌套网格, 以较大模型的气候态稳定结果作为定初始场和边界条件, 以 0.04° 的水平分辨率对南海西北部环流在风力强迫下的结构及其时空分布特征进行三维模拟, 模拟结果分析主要结论如下:

(1) 海南岛东南侧的南海深水海域流速较大, 流轴的时空变化较为明显, 一年中多数月份都存在多个中尺度涡, 且 Ekman 运动特征较为明显。

(2) 北部湾内表层环流受季风影响较强, 且又呈现出较强的密度流特征。冬季基本为单一的气旋式环流, 而夏季则会存在两个或者多个气旋式或者反气旋式涡旋, 其尺度也较小, 这与之前的一些研究结果是一致的^[14-15]。深度 20 m 的次表层处在全年多数月份都存在多涡旋结构, 7 月表层的湾口气旋式环流其结构向下直接影响到底层流场。

(3) 南海西北部深水区的温度和盐度都较高, 且随着深度增加其季节变化特征减弱, 变化幅度较小; 北部湾的盐度受蒸发降雨影响较大, 盐度分布西低东高, 这与从湾口和琼州海峡入侵的南海高盐海水有关, 另外次表层海流呈现较强的密度流特性。

(4) 琼州海峡流受季节影响, 冬季向西, 夏季则相反; 冬季在季风影响下, 珠江口一带富营养海水极有可能通过琼州海峡进入北部湾, 影响广西近海海洋环境。

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] 夏华永, 李树华, 侍茂崇. 北部湾三维风生流及密度流模拟[J]. 海洋学报, 2001, 23(6): 11-23.
- [4] 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [5] 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.
- [6] 陈振华. 北部湾环流季节变化的数值模拟与动力机制分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [7] 卢著敏, 尚晓东, 陈桂英. 混合坐标模式 HYCOM 模拟 COADS 强迫下的南海平均环流[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(4): 23-31.
- [8] 于庆龙, 王辉, 万莉颖. 南海海表温度时空分布特征的数值模拟[J]. 海洋预报, 2010, 27(4): 59-66.
- [9] 吴力川. 南海区域海洋模式适应性比较分析及改进[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [10] TANG S Q, STORCH H V, CHEN X, et al. "Noise" in climatologically driven ocean models with different grid resolution [J]. Oceanologia, 2019, 61: 300-307.
- [11] 柯佩辉. 琼州海峡的海流和水交换的初步分析[J]. 热带海洋, 1983(1): 42-46.
- [12] 张国荣, 马腾, 潘伟然, 等. 琼州海峡西口低频流动特征及其季节风场的响应分析[C]//李炎, 胡建宇. 北部湾海洋科学研究论文集(第2辑). 北京: 海洋出版社, 2009: 64-76.
- [13] 杨士瑛, 陈波, 李培良. 用温盐资料研究夏季南海水通过琼州海峡进入北部湾的特征[J]. 海洋湖沼通报, 2006(1): 1-7.
- [14] 徐锡祯, 邱章, 陈惠昌. 南海水平环流的概述[C]//中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 1982.
- [15] GAO J, XUE H, CHAI F, et al. Modeling the circulation in the Gulf of Tonkin, South China [J]. Ocean Dynamics, 2013, 63(8): 979-993.

Northwest South China Sea Circulation Based on HYCOM Simulation

ZHU Donglin¹, CHEN Bo¹, TANG Shengquan^{1,2}

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environment Science, Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266100, China)

Abstract: In order to study the spatiotemporal characteristics of the circulation structure in the northwestern part of the South China Sea, including Beibu Gulf, based on Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) and meteorological forcing data, triple nested simulations were used to study the structure and spatial and temporal distribution characteristics of the northwestern South China Sea circulation under wind forcing. The results show that, (1) the Northwest SCS circulation is significantly affected by monsoon. It is generally a southwestern flow in winter and an eastward flow in summer. The structure current field is complicated, and there are many vortices in the open sea. The Ekman pumping is vigorous in these areas. (2) The current field of Beibu Gulf presents a strong density flow characteristic. It is basically a cyclonic circulation in winter, and there are smaller-scale cyclonic and anti-cyclone circulations in summer. The cyclonic circulation structure at the surface of the bay mouth in July directly affects the ocean floor. (3) The sea surface salinity of Beibu Gulf is greatly affected by evaporative rainfall. The salinity distribution is low in the west and high in the east, which is related to the high salinity of South China Sea invaded through the mouth of the bay and Qiongzhou Strait. (4) Driven by the effects of hot salt and monsoon, the surface and bottom currents of the Qiongzhou Strait are westward in winter and eastward in summer. In winter, eutrophic seawater in the coastal areas of Guangdong may affect the environmental quality of offshore waters in Guangxi through Qiongzhou Strait.

Key words: South China Sea, Beibu Gulf, Qiongzhou Strait, circulation, HYCOM

责任编辑: 陆 雁



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>