

## 热带西太平洋潜流模拟:( I ) 模式配置与模拟结果验证

王庆业<sup>1</sup>, 张绪东<sup>2</sup>

(1. 广东海洋大学南海海洋环境研究所, 湛江 524088; 2. 海军海洋水文气象中心, 北京 100073)

**摘 要:**利用高分辨率准全球海洋模式 HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model), 采用局部加密网格的方法, 模式积分 30 年, 模拟了热带西太平洋环流的年平均状态和季节变化。通过与实测的海表面高度、测流资料、温盐资料等对比分析, 验证了模拟结果的有效性, 认为模式结果可以用于研究热带西太平洋潜流及其季节变化。

**关键词:**热带西太平洋; 环流; 数值模式; 潜流

**中图分类号:**P731 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2009)02-0027-07

### 1 引言

热带西太平洋海域环流的一个独特特点是有诸多潜流的存在<sup>[1]</sup>, 主要包括赤道潜流 (EUC-Equatorial Undercurrent)<sup>[2]</sup>、新几内亚沿岸潜流 (NGCUC-New Guinea Coastal Undercurrent)<sup>[3]</sup>、棉兰老潜流 (MUC-Mindanao Undercurrent)<sup>[4]</sup>、吕宋潜流 (LUC-Luzon Undercurrent)<sup>[5]</sup>和北赤道潜流 (NEUC-North Equatorial Undercurrent)<sup>[6]</sup>等。这些热带西太平洋潜流传输大洋次表层和中层海水, 是形成这一海域水团十字路口的重要原因<sup>[7]</sup>, 在全球海洋热盐环流变化中起重要作用<sup>[8]</sup>。

在上世纪 80 年代到 90 年代, 许多国家主持或参与了热带太平洋的诸多海洋大气调查, 其中包括 TOGA 和 WOCE 计划期间的美-澳西太平洋环流联合研究 (US-Australia WEPOCS)、中-美赤道西太平洋海气相互作用联合调查研究 (PRC/US)、中国科学院的热带西太平洋海气相互作用及年际气候变化调查研究 (CAS) 以及日本太平洋气候研究 (JAPACS)。这些调查研究, 使人们对热带西太平洋环流有了进一步的认识, 其中许多热带西太平洋潜流就是在此期间发现的。然而, 由于观测数据有限, 目前人们对热带西太平洋潜流的认识主要在“零阶”阶段<sup>[9]</sup>, 而对潜流的变化、起源与归宿、动力机制等等很多问题仍不清楚。

数值模式是一种研究环流变化规律的有效工具, 而目前为止用数值模拟手段开展热带西太平洋环流研究的工作非常少。因此, 本文将配置一个高分辨率准全球的 HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) 模式, 模拟热带西太平洋环流, 并初步分析热带西太平洋潜流结构与输运及其季节变化规律。

收稿日期: 2008-09-19

基金项目: 中国科学院海洋环境与波动重点实验室项目 (KLOCAW0803) 和广东海洋大学引进人才项目 (E06118)

作者简介: 王庆业 (1977-), 男, 博士, 讲师, 主要从事海洋环流与海气相互作用研究。

## 2 模式配置

本文运用的海洋环流模式是HYCOM 2.1.20版本<sup>[10]</sup>。模式采用交错C网格,垂直方向包括3种坐标( $z$ 坐标,  $\sigma$ 坐标和等密度面坐标),并包括可供选择的多种垂直混合策略。因此,与其他采用单一垂直坐标的海洋模式(如MOM – Modular Ocean Model, POM – Princeton Ocean Model, MICOM-Miami Isopycnic Coordinate Ocean Model等)相比, HYCOM模式可能将更加适合模拟海盆尺度环流。

设置的模拟区域几乎接近全球,从 $76^{\circ}\text{S}\sim 70^{\circ}\text{N}$ ,模式的水平网格是 $517\times 321$ 。其中在 $101^{\circ}\sim 165^{\circ}\text{E}$ ,  $15^{\circ}\text{S}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 区域,网格分辨率最高,纬向和经向分辨率均为 $1/6^{\circ}$ ,在上述区域以外网格分辨率逐渐降低至 $2^{\circ}$ ,网格变化过渡带宽度为 $37^{\circ}$ (见图1)。模式配置20层,相应的位势密度值 $\sigma_{\theta}$ 为19.50、20.25、21.00、21.75、22.50、23.25、24.0、24.70、25.28、25.77、26.18、26.52、26.80、27.03、27.22、27.38、27.52、27.64、27.74和27.82。底地形数据来自ETOPO5,模式中海岸线设置为等深线10m处,垂直混合方案采用KPP(K-Profile Parameterization)模型<sup>[11]</sup>。

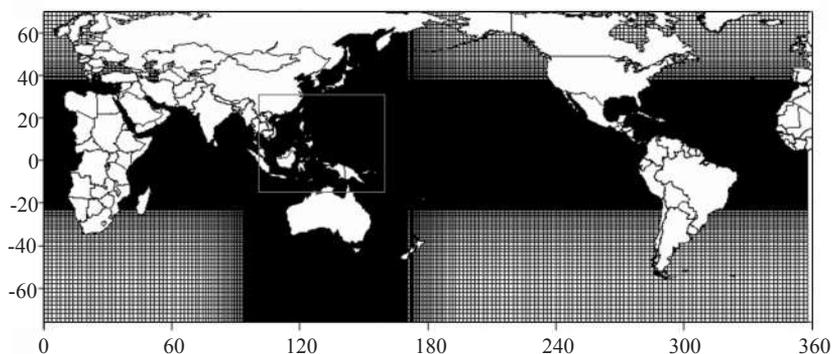


图1 模拟区域水平网格示意图,中心框范围是 $1/6^{\circ}\times 1/6^{\circ}$ 水平分辨率区域

模式的初始场采用Levitus夏季月平均温度、盐度资料<sup>[12]</sup>。模式的风场强迫和热力学强迫场都是来自于ECMWF(European Centre for Medium-range Weather Forecasts)气候态数据,风强迫包括月平均的经向和纬向的风应力、风速,热力学强迫包括表层气温、表层大气的比湿、净短波辐射、净长波辐射等,另外,表面温度和盐度都松弛到气候态Levitus资料。模式边界设置在 $76^{\circ}\text{S}$ 和 $70^{\circ}\text{N}$ 南北两处,边界上模式结果均在5网格点宽度上松弛到温度、盐度、界面深度Levitus气候态资料,松弛时间尺度从20~120天。

模式积分30年,模拟区域已经稳定,调整至气候平衡(见图2),其中第26~30年的模式结果进行平均用于本文分析。

## 3 模拟结果有效性验证

在这一部分里,我们将模拟的海表面高度、赤道断面的纬向流速以及 $143^{\circ}\text{E}$ 断面纬

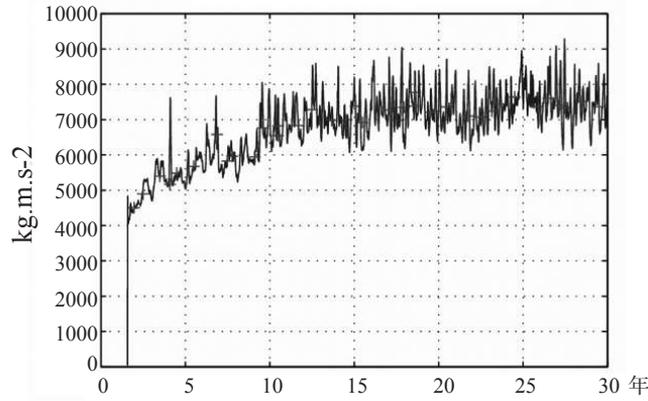


图2 整个模拟区域的平均动能(kgms<sup>-2</sup>)

向流速等与观测结果进行对比,以验证HYCOM模拟结果的有效性。图3显示了由观测资料计算得出的1992~2002年期间平均的动力地形<sup>[13]</sup>和HYCOM模拟的海表面高度。总的说来,模拟结果与观测结果比较一致,尤其是一些主要特征,如热带流环、副热带流环和副北极流环以及南海区域,其形状和趋势,两者相当一致。

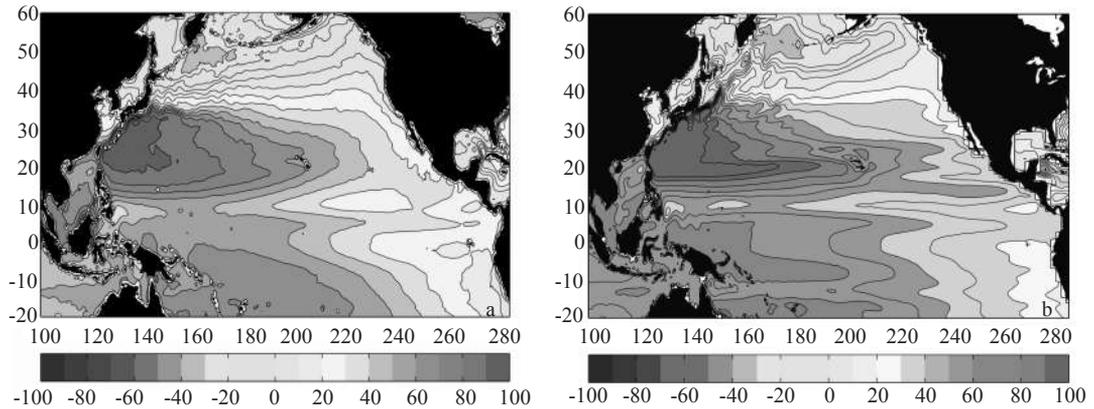


图3 a. 1992~2002年期间平均的动力地形(单位:cm),b. HYCOM模拟的海表面高度

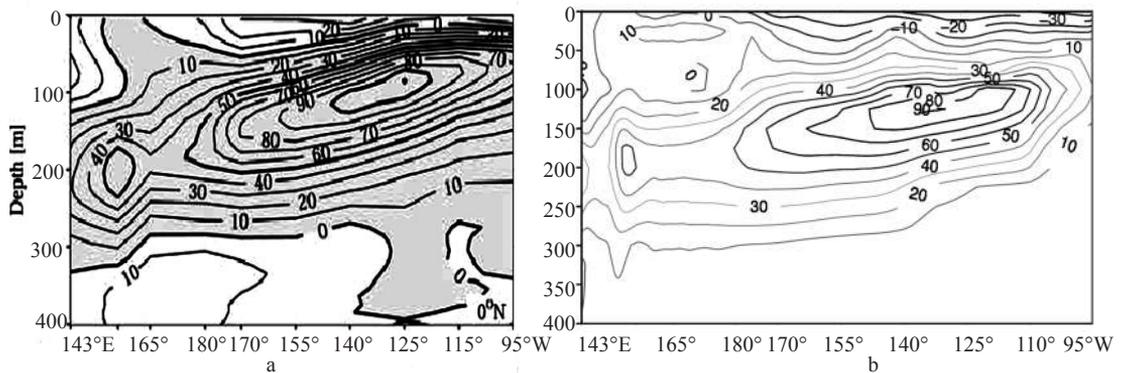


图4 沿赤道断面年平均的纬向速度,(a)观测(Johnson等2002),(b)模拟

图4显示了赤道断面上观测的纬向流速与模拟结果的对比,其中,观测数据来自于1990年的TAO(Tropical-Ocean-Atmosphere)与TRITON(Triangle Trans-Ocean Buoy Network)中的CTD/ADCP观测。比较可以发现,模拟结果与观测结果相当一致。如,赤道潜流核东西有两个,流轴深度自西向东逐渐变浅,流速逐渐增大,西太平洋的弱流核深度均位于200m左右,东太平洋的强流核变浅位于125m深度、130°W左右;呈现明显的西太暖水、东太冷水温度场差异,温跃层西深东浅的结构(175~50m)。当然,也有一些不同之处,如纬向速度的高值区,模拟的结果偏小,约有15%的差别;300~400m处的西向流动(约10cm/s),模式里没有体现。图5则显示了赤道断面上观测到的温度、盐度与模拟结果的对比。总的来说,HYCOM模拟的温度、盐度分布与观测结果是相当一致的。

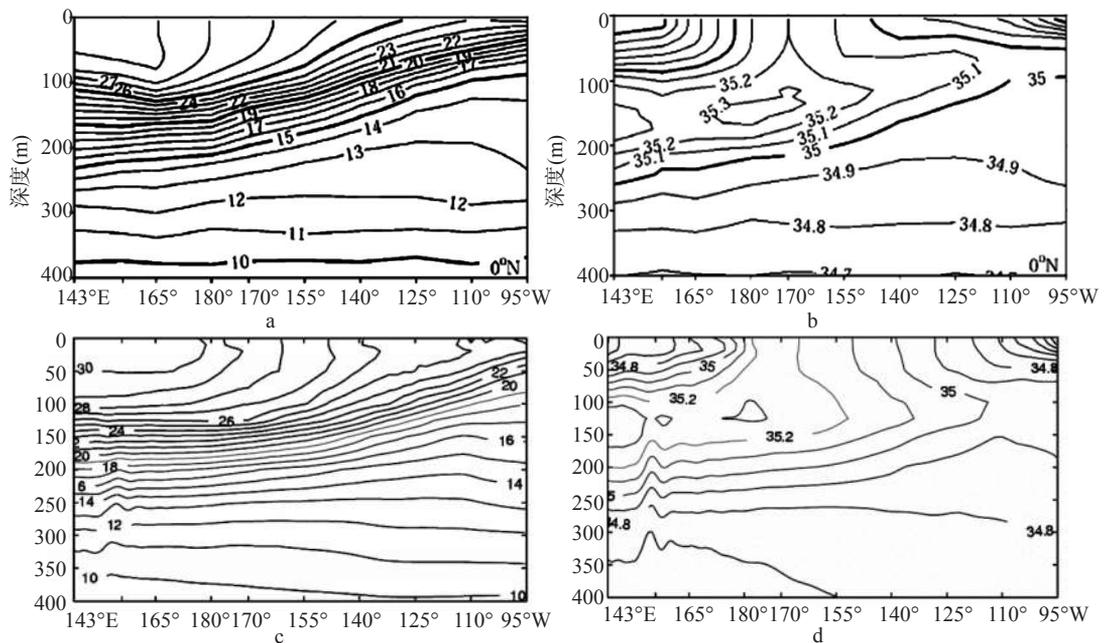


图5 沿赤道断面年平均的温度和盐度,(a-b)观测,(c-d)模拟

就年平均状态而言,图6给出了一个经向断面(143°E)上观测到的纬向流速分布<sup>[14]</sup>与本文的模拟结果,其中,观测数据也来自于1990年代的TAO数据。由两者的比较可以看出,赤道潜流和新几内亚沿岸潜流都得到了较好的模拟,其所处深度和纬向流速的大小均与观测结果基本相同。图7显示该断面温度场和盐度场与观测资料对比,总的说来,模拟结果与观测比较一致,特别是高盐核的位置和强度都相当吻合,只是模拟海表面温度仍然偏高1度左右。

为了检验月平均值模拟结果的可靠性,我们选取2月份和8月份(分别代表冬季和夏季)与观测结果做了对比(图略)。对比发现,在赤道断面上,2月份表层的南赤道流(北支)可以到达160°E,而8月份到达180°附近,8月份赤道潜流比2月份强,两者都有体现,但量值上,HYCOM的模拟结果比观测值小一点。模拟的温盐场结构,除了模拟的海表面温度偏高1度左右之外,都与观测结果比较相近。

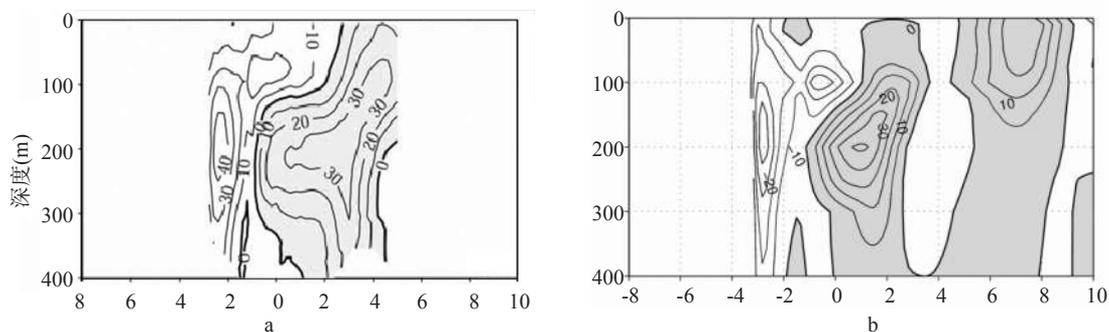


图6 沿143°E断面年平均经向速度,(a)观测(Johnson等2002),(b)模拟

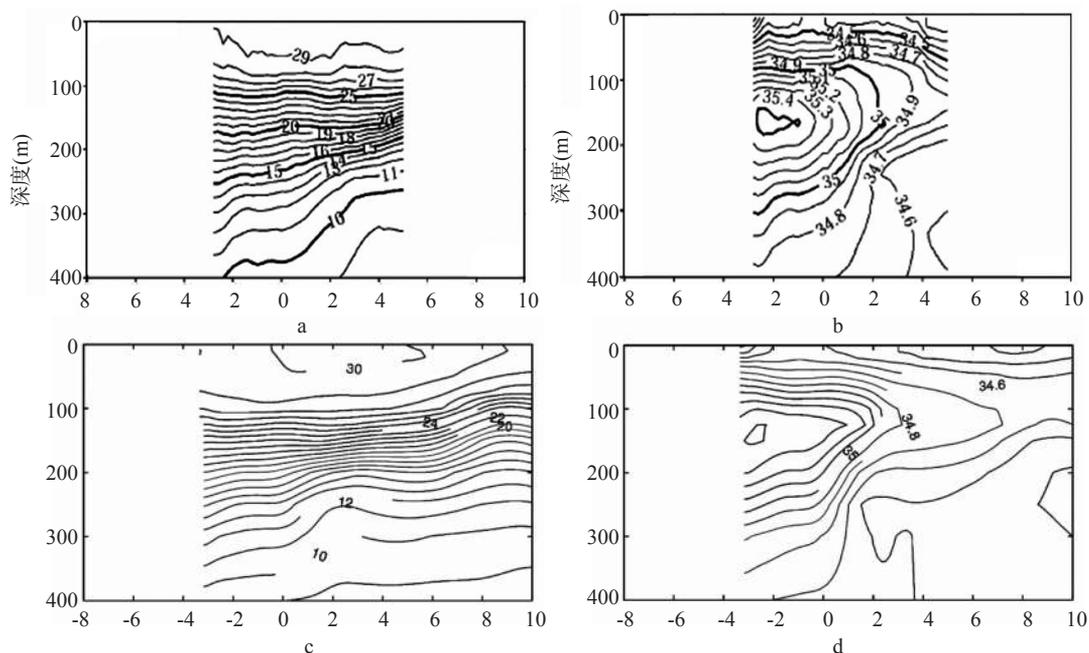


图7 沿143°E断面年平均温度和盐度,(a-b)观测,(c-d)模拟

## 4 总结

通过以上各种对比分析,可以看出,从年平均到月平均,从流场到温盐场,HYCOM的模拟结果与观测结果是相当一致。但模拟结果与观测之间也有些不同之处,其主要体现为,模拟得到的赤道潜流的强度一般都比观测值偏小,模拟的海表面温度则比观测值偏高约1度左右。我们推测后者可能与HYCOM模式没有考虑海面蒸发和降水有关。关于这2点差异,Shaji等<sup>[15]</sup>都曾提到过,他们认为造成这种差异的原因,除了HYCOM模式自身偏差,强迫场(比如风场)也可能是重要的因素。总而言之,本文的模式结果是比较可信有效的,较为准确地描述了热带西太平洋环流特征,因此,我们认为模式结果可以用来研究热带西太平洋潜流及其季节变化。

## 参考文献:

- [1] Qu T, Mitsudera H, Yamagata T. On the western boundary currents in the Philippine Sea [J]. *J Geophys Res*, 1998, 103:7537-7548.
- [2] Cromwell T, Montgomery R B, Stroup E D. Equatorial undercurrent in the Pacific Ocean revealed by new methods [J]. *Science*, 1954, 119: 648-649.
- [3] Lindstrom E, Lukas R, Fine R, et al. The western Equatorial Pacific Ocean Circulation Study [J]. *Nature*, 1987, 330: 533-537.
- [4] Hu D, Cui M. The western boundary current in the far-western Pacific Ocean [C]. *Proceedings of Western International Meeting and Workshop on TOGA COARE*, 1989, May 24-30, Noumea, New Caledonia, edited by Joel Picaut, Roger Lukas and Thierry Delcroix, pp. 123-134.
- [5] Qu T, Kagimoto T, Yamagata T. A subsurface countercurrent along the east coast of Luzon [J]. *Deep-Sea Res.*, 1997, 44:413-423.
- [6] Wang F, Hu D, Bai H. Western Boundary Undercurrents East of the Philippines [C]. *Proceedings of the 4th Pacific Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC)*, Qingdao, China, July 28-31, 1998, 551-556.
- [7] Fine R, Lukas R, Bingham F, et al. The western equatorial Pacific: A water mass cross-roads [J]. *J Geophys Res*, 1994, 99:25063-25080.
- [8] Gordon A L. Interocean exchange of thermocline water [J]. *J Geophys Res*, 1986, 91:5037-5046.
- [9] Lukas R, Yamagata T, McCreary J P. Pacific low-latitude western boundary currents and the Indonesian throughflow [J]. *J Geophys Res*, 1996, 101:12209-12216.
- [10] Bleck R, Halliwell G, Wallcraft A, et al. *HYbrid Coordinate Ocean Model, User's Manual*, 2002.
- [11] Large W G, McWilliams J, Doney S. Oceanic vertical mixing- a review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization [J]. *Rev Geophys*, 1994, 32: 363-403.
- [12] Levitus S, Boyer T. *World Ocean Atlas 1994, Volume 4: Temperature*. 1994, NOAA Atlas NESDIS 4. US Dept. of Commerce, Washington, DC.
- [13] Maximenko N A, Niiler P P. Hybrid decade-mean global sea level with mesoscale resolution. In N. Saxena (Ed.) *Recent Advances in Marine Science and Technology*, 2004, 55-59. Honolulu: PACON International, 2005.
- [14] Johnson G C, Sloyan B M, Kessler W S, et al. Direct measurements of the upper ocean currents and water properties across the tropical Pacific during the 1990s [J]. *Progress in Oceanogr*, 2002, 52:31-61.
- [15] Shaji C, Wang C, Halliwell G R, et al. Simulation of tropical Pacific and Atlantic Oceans using a Hybrid Coordinate Ocean model (HYCOM) [J]. *Ocean Modelling*, 2005, 9(3):253-282.

## Simulation of undercurrents in Western Tropical Pacific:

### (I) Model configuration and validity of results

WANG Qing-ye<sup>1</sup>, ZHANG Xu-dong<sup>2</sup>

(1. South China Sea Environmental Institute, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088 China; 2. Navy Marine Hydrometeorological Center, Beijing 100073 China)

**Abstract:** Annual mean status and seasonal variation of circulation in western tropical Pacific is simulated by using a quasi-global high-resolution ocean model HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model). The model used finer grid in some place, and was integrated for 30 years. By comparing with observations of sea surface height, velocity, and temperature and salinity fields, validity of modeling results is proved, and modeling results can be used to study undercurrents of western tropical Pacific and their seasonal variations.

**Keywords:** Western Tropical Pacific; circulation; numerical model; undercurrent