

一个耦合模式下北赤道流分叉的初步研究

孟庆佳^{1,2}, 王 凡¹, 刘 娜³

(1.中国科学院海洋研究所中国科学院海洋环境与波动重点实验室, 山东 青岛 266071; 2.中国科学院研究生院, 北京 100039;
3.国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘 要: 利用一个全球海洋-大气耦合模式, 对北赤道流分叉的季节、年际变化特征进行了初步研究。模式结果表明北赤道流的分叉纬度, 在表层大约是 15.2°N , 随深度而向北移动, 在 1000 m 深度大约为 20°N 。北赤道流分叉在春、夏季节偏南, 而秋、冬季节偏北, 可能主要与局地的 Ekman 抽吸有关。北赤道流分叉的年际变化周期表现有准 2 年、3~4 年和 10 年左右, 其中 3~4 年 ENSO 周期最为显著。该耦合模式对于北赤道流分叉的变化特征的模拟结果与已有的观测结果大体一致, 可以用于从海气相互作用的角度来深入研究北赤道流分叉的长期变化机制, 以及对气候变化的影响。

关键词: 海气耦合模式; NEC 分叉; 季节变化; 年际变化

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2011)01-0001-07

1 引言

太平洋中的北赤道流 (North Equatorial Current, NEC) 位于赤道以北 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 之间, 是一支由信风引起的自东向西的风生漂流。在其到达菲律宾沿岸后, 由于地形阻隔, NEC 发生分叉并形成两支经向西边界流: 向北的黑潮和向南的棉兰老流 (Mindanao Current, MC), 这两支西边界流最终都转向东运动, 分别形成黑潮延伸体和北赤道逆流 (见图 1)。NEC 分叉的位置是衡量 NEC 在黑潮和棉兰老流之间流量变化的重要指标, 它是控制北太平洋西边界区质量、热量和盐量的经向输送的一个关键海洋过程, 并对气候变化产生重要影响, 是气候系统中不可忽视的重要分量。同时, 它在副热带海洋流涡和热带海洋流涡的水体交换中发挥重要作用, 在很大程度上决定着海盆尺度的大洋环流结构, 在大洋环流动力学上具有重要的意义和地位。

自 20 世纪 80 年代以来, 关于 NEC 分叉的研究得到了越来越多的国内外海洋学家的关注。目前确定 NEC 分叉位置的方法主要有流函数法、经向流速法和 Lagrange 轨迹法等方法 (周慧等^[1], 何映晖等^[2]), 但由于流场的不确定性、数据的不均匀性和方法的不一致性, 造成结果均有所差异, 需要更多的观测资料和更深入的研究加以验证。

最初, 人们关于 NEC 分叉的研究主要还是基于一次或几次的观测资料对 NEC 分叉进行估算。Nitani^[3]根据 1934~1968 年间几个航次获得的水文资料研究认为, NEC 分叉大约在 $11^{\circ}\sim 14.5^{\circ}\text{N}$ 之间, 而且分叉位置随水深增加而向北移动。Toole 等^[4]利用 1987 年 9 月与 1988 年 4 月的中美联合调查的水文资料, 得出其分叉纬度在 13°N 附近。随着观测资料的增加, 以及模式的运用, 上世纪 90 年代开始, 许多研究开始关注分叉纬度的季节与年际变化规律。Qiu 和 Lukas^[5]运用非线性约化重力模式, 认为 NEC 分叉纬度 2 月份最偏南, 10 月份最

收稿日期: 2010-11-08

基金项目: 国家自然科学基金(40890152); 中国科学院知识创新项目(KZCX2-YW-Q11-02; KZCX1-YW-12);
中国科学院海洋环境与波动重点实验室开放基金(KLOCAW1102)

作者简介: 孟庆佳(1983-), 男, 博士研究生, 主要从事海气相互作用和气候变化等研究。E-mail: mengqingjia@ms.qdio.ac.cn

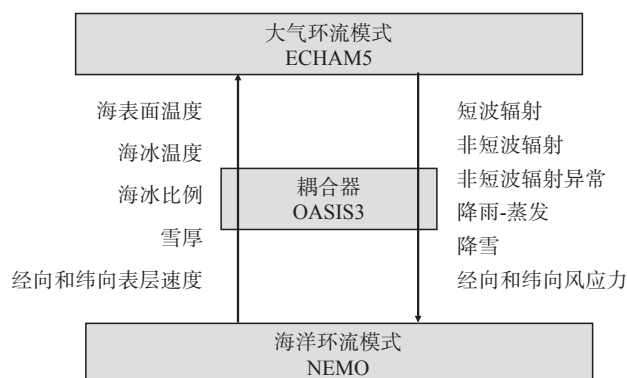


图2 KCM运行示意图

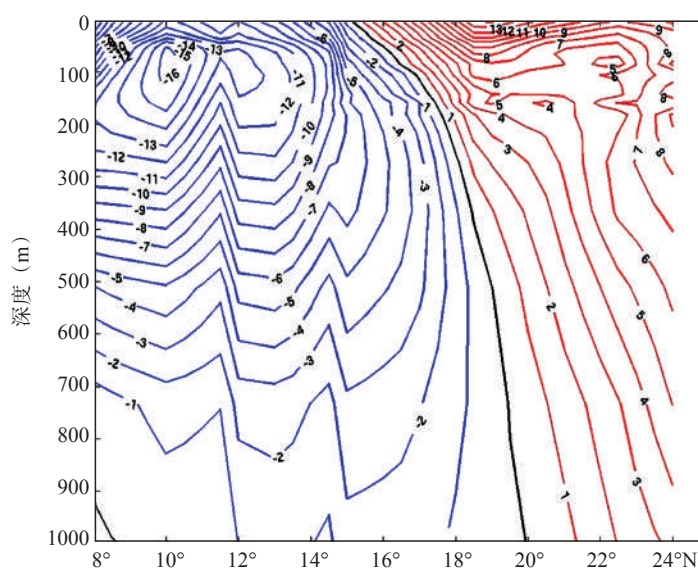
ECHAM5。这些物理场用于计算大气中的热通量、淡水通量和动能通量海洋和大气间的耦合频率是每天一次。模式中的大气部分采用T31的高斯网格($3.75^{\circ} \times 3.75^{\circ}$ 的水平分辨率,垂直方向有19层)。海洋的水平分辨率基于Mercator网格,在赤道附近经向分辨率加密为 0.5° ,平均分辨率为 1.3° ,全球为 182×149 的网格分布,海洋垂向分31层。

本研究所用的模拟主要是20世纪的控制实验模拟(20C)。模式首先采用Levitus等^[14]的气候态数据,经过多年(大约500年)耦合模拟运行达到稳定

后,继续运行4500年,最后我们只选用最后稳定的1000年结果(即模式时间是3500~4499),并且将模式的海洋数据在水平方向线性插值为 $2^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的分辨率以便于计算。

3 NEC分叉的季节变化

本文通过经向流速对NEC分叉定义,将距离菲律宾海岸4个经度范围内经向速度为零的位置定义为NEC的分叉。根据上述定义,我们对该海域的多年平均的经向速度进行了计算。图3是距离菲律宾海岸4个经度范围内的气候态经向速度分布。



(黑线是北赤道流分叉点位置,红线是黑潮,蓝线是棉兰老流,下同)

图3 多年平均的距离菲律宾沿岸4个经度范围内的经向平均速度

图中黑线即为NEC分叉,其北边的红线为黑潮,南边的蓝线为棉兰老流(下同)。从图中可以明显的看到NEC分叉随深度增加而向极地方向移动,这与前面学者的研究一致。NEC的分叉纬度,在表层大约是 15.2°N ,随深度而向北移动,在1000 m深度大约为 20°N 。Qu和Lukas^[6]利用多年水文数据建立起来的NEC分叉的气候态变化,从表层的 14°N 随深度向北移动,在800~1000 m处,分叉位于 20°N 以北。相比较于观测数据,KCM的结果在表层向北偏差 1°N 左右,这可能是由于KCM的误差,输出的NEC比观测要北移一些。

用上述方法,我们计算了1~12月离菲律宾海岸4个经度范围内0~500 m深度的气候态经向速度分布见图4。NEC分叉具有明显的季节循环,在

上层海洋中,季节循环显著,而在海洋深处,季节循环信号减弱,NEC分叉随深度滞后。从图中可以明显的看到,海洋表层(5 m)的NEC分叉在4月份达到最南端,大约是 13.6°N ,而在8月份达到最北端,大约是 17.9°N ,这与Kim等^[7]的结果相似,但存在一个月的偏差。从水深75~512 m,分叉最南端都发生在5月,而最北端大都在10、11月。在水深500 m处,分叉在5月份到达最南端,为 17.9°N 左右,而在11月份时分叉最靠北,在 20.1°N 左右。季节振荡幅度随深度增加逐渐减小,在表层可以达到 4° 左右,而到了500 m处,减小到 2° 左右。

从NEC分叉的季节循环上可以看出,分叉位置在春、夏季节偏南,而秋、冬季节偏北。虽然

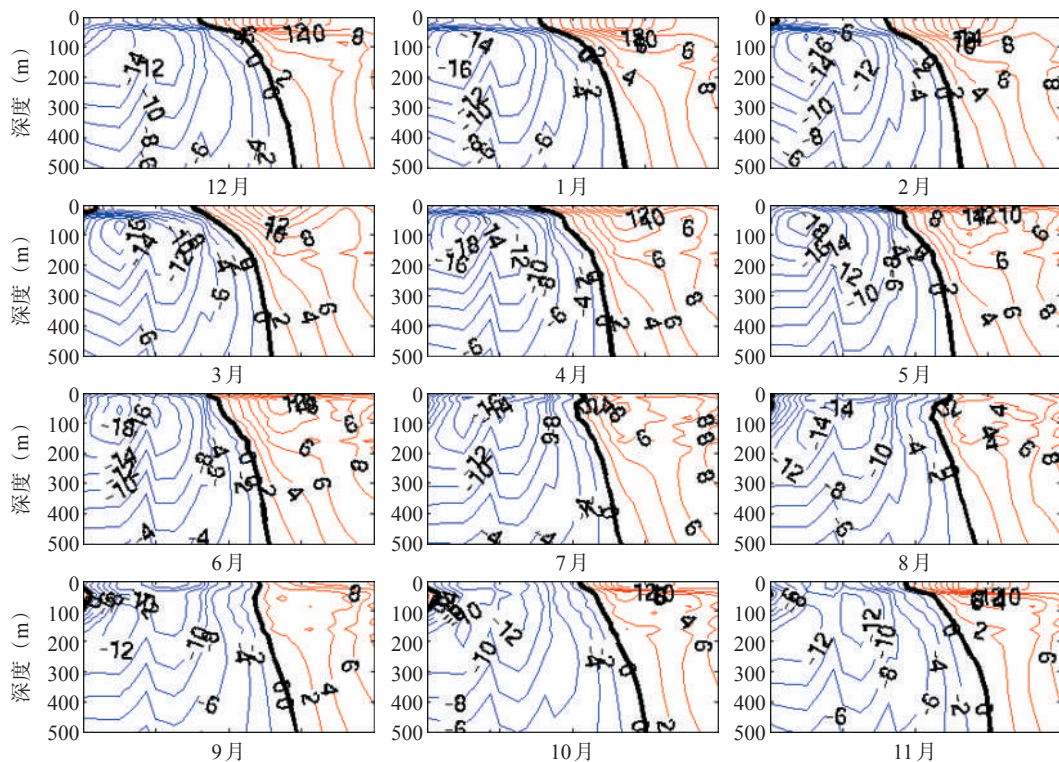


图4 1~12月多年平均的距离菲律宾沿岸4个经度范围内的经向平均速度

不同作者(Qiu and Lukas^[5]; Qu and Lukas^[6]; Kim等^[7]; Wang and Hu^[8])所得出的分叉最靠南(北)时的具体月份有所差异(见表1),但总体上都有春、夏季节偏南,秋、冬季节偏北的季节特征,我们与前人的结果近似一致。

NEC分叉的季节循环受东亚季风影响显著,图5和6分别是850 hPa风场和表层流场相对于年平均在春季和秋季的分布。从图中可以明显的看出,春季东亚夏季风开始时,在分叉海域产生反气旋式的大气和海洋环流异常,在西边界附近该

环流的北向流异常引起NEC分叉发生于较低纬度(见图5a、图6a)。在秋季东亚冬季风开始时,分叉海域产生气旋式大气和海洋环流异常,在西边界附近该环流的南向流异常使得NEC分叉位于较高纬度(见图5b和6b)。这和Qu和Lukas^[5]的结论一致,他们指出NEC分叉的季节变化可能主要与局地的Ekman抽吸有关,东亚季风是引起NEC纬度发生季节性变化的最直接强迫。

综上所述,在季节尺度内,NEC分叉位置

春、夏季节偏南,秋、冬季节偏北,东亚季风是引起NEC纬度发生季节性变化的最直接强迫。

4 NEC分叉的年际变化

NEC分叉除了具有季节特征外,还具有年际变化特征。利用同样的资料和方法,我们计算了NEC分叉的年际变化时间序列。图7是通过5个季节的低通滤波的海洋表层(5 m)、近表层(106 m)和中层(512 m)NEC分叉的年际变化序列。从图中

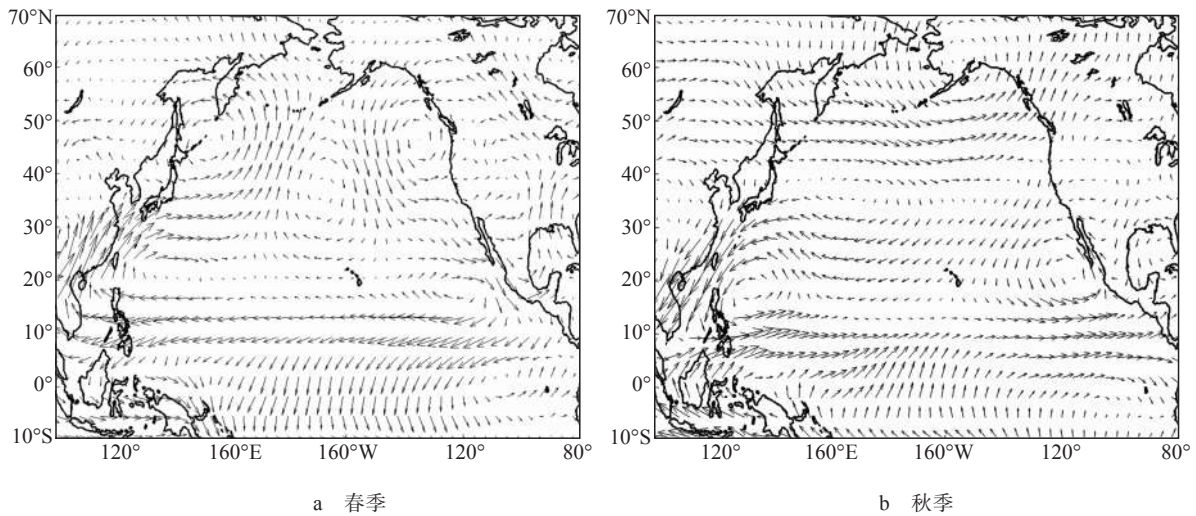


图5 KCM模拟的850 hPa风场相对于全年平均的异常

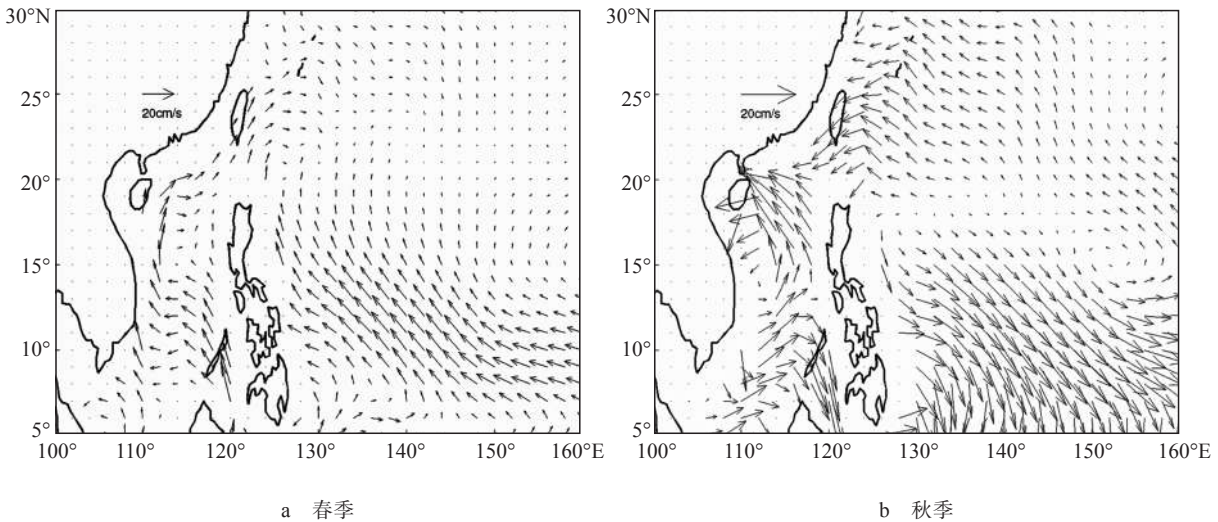


图6 KCM模拟的表层流场相对于全年平均的异常

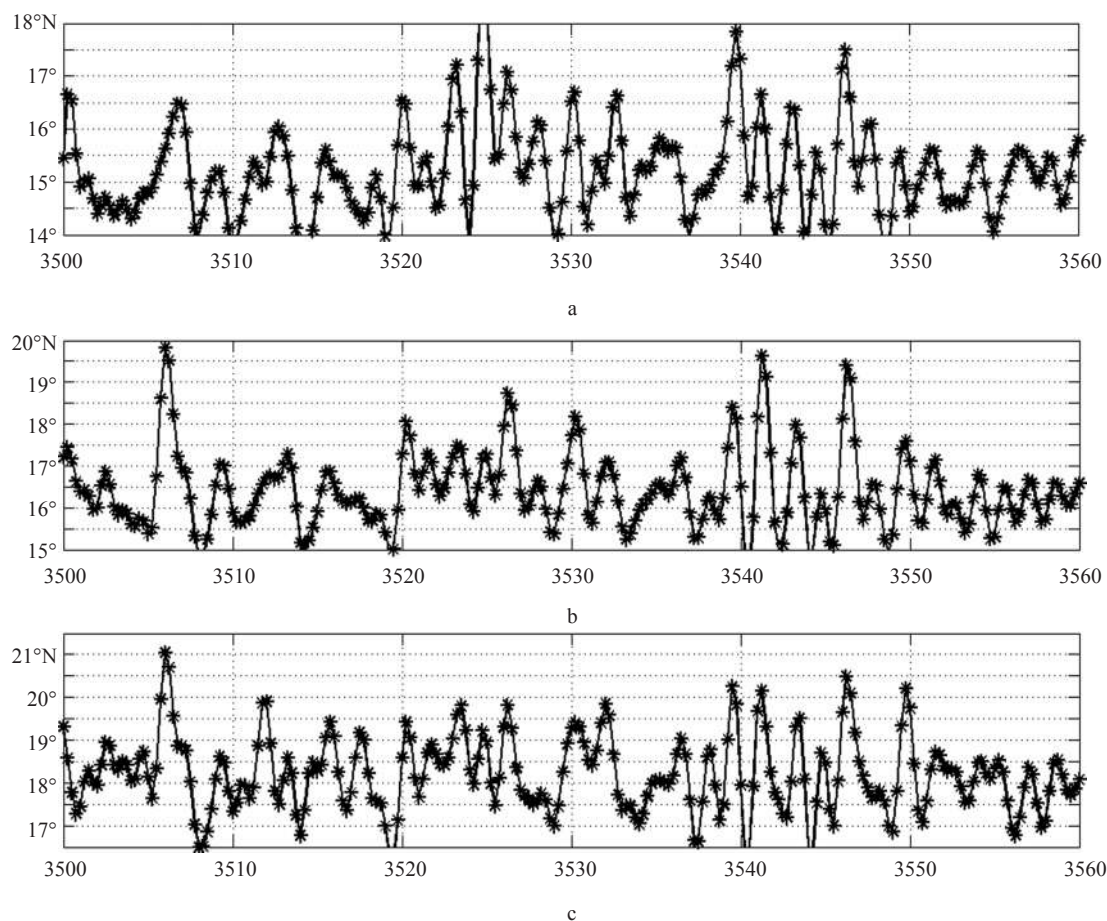


图7 海洋上层5 m(a)、106 m(b)和512(c)深度平均的NEC分叉年际变化(经过5个季节的低通滤波)

可以明显看出, NEC分叉具有显著的年际变化和年代际变化特征, 在海洋表层、近表层和中层的变化规律相。谱分析结果表明在海洋各层中, NEC分叉的年际周期信号强, 周期表现有准2年、3~7年和10年左右, 总体上以2~7年ENSO周期为显著, 但在海洋表层准2年周期更加显著, 而在海洋中层, 10年左右的周期。

5 结论

本文基于KCM耦合模式长时间序列数据, 将距离菲律宾海岸4个经度范围内经向速度为零的位置定义为NEC的分叉纬度。利用此方法, 计算了NEC分叉的多年气候态分布, 并且研究了自然变化条件下NEC分叉的季节变化和年际变化规律。

NEC的分叉纬度, 在表层大约是15.2°N, 随深度而向北移动, 在1000 m深度大约为20°N。相

比较于观测数据, KCM的结果在表层向北偏差1°N, 这是由于KCM模式输出的NEC比观测要北移一些, 是KCM模式误差所造成的。

NEC分叉具有明显的季节循环和年际变化。NEC分叉纬度在春、夏季节偏南, 而秋、冬季节偏北。NEC分叉纬度的季节变化主要与东亚季风有关。NEC分叉的年际变化周期表现有准2年、3~4年和10年。

通过上述分析可以得知, 对于NEC分叉具体位置的确定, KCM的模拟与观测相比存在着误差, 但对于NEC分叉的垂向变化、季节变化和年际变化特征的研究, KCM模拟的整体结果与已有的观察结果大体一致。下一步我们将利用耦合模式的特点, 从海气相互作用的角度结合全球变暖背景, 分析研究NEC分叉的长期变化趋势机制以及与ENSO循环的关系, 为分析海洋与东亚气候变化的关联提供新思路。

参考文献:

- [1] 周慧,许建平,郭佩芳等.北太平洋西边界流研究综述[J].海洋学研究,2006,24(2):49-59.
- [2] 何映晖,蔡树群,王盛安.北赤道流分叉点及南海北部环流的研究进展[J].海洋学研究,2009,27(3):74-84.
- [3] Nitani H.Beginning of the Kuroshio,in Kuroshio,Physical Aspects of the Japan Current[M].Seattle:University of Washington Press,1972:129-163.
- [4] Toole J M ,R C Millard,Z Wang et al.Observations of the Pacific North Equatorial Current Bifurcation at the Philippine Coast[J].J Phys Oceanogr,1990,20:307-318.
- [5] Qu T D,R Lukas.The bifurcation of the North Equatorial Current in the Pacific[J].J Phys Oceanogr,2003,33:5-18.
- [6] Qiu B, R Lukas.Seasonal and interannual variability of the North Equatorial Current,the Mindanao Current,and the Kuroshio along the Pacific western boundary[J].Geophys Res-Oceans,1996,101:12315-12330.
- [7] Kim Y Y,Tangdong Qu,Tommy Jensen et al.Seasonal and interannual variations of the North Equatorial Current bifurcation in a high-resolution OGCM[J].Geophys Res-Oceans,2004,109: C03040.
- [8] Wang Q Y, D X Hu.Bifurcation of the North Equatorial Current derived from altimetry in the Pacific Ocean[J]. Journal of Hydrodynamics,2006,18:620-626.
- [9] Roeckner E. and Coauthors.The atmospheric general circulation model ECHAM5, Part I: Model description[M]Hamburg,Germany:MPI Tech. Rep.2003:349.
- [10] Madec G,P Delecluse.NEMO ocean engine[J].Note du Pole de modelisation,Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL),2008,27: 1288-1619.
- [11] Madec G, P Delecluse,M Imbard et al.Levy OPA 8.1, Ocean General Circulation Model Reference Manual[J].Note du Pole de modelisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL),1998,11: 97.
- [12] Valcke S,E Guilyardi, C Larsson.PRISM and ENES: A European approach to Earth system modeling[J].Concurrency Computat.: Pract. Exper.,2006,2:231-245.
- [13] Park W,N Keenlyside,M Latif et al.Tropical Pacific climate and its response to global warming in the Kiel Climate Model[J]. Journal of Climate,2009,22:71-92.
- [14] Levitus S, Coauthors.World Ocean Data Base 1998[M].NOAA Atlas NESDIS,1998,18:346.