

北太平洋低纬度西边界流(NMK)的时空特征

康霖^{1,2}, 王凡¹, 陈永利¹

(1.中国科学院海洋研究所海洋环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071; 2.中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要:利用高分辨率的长时间序列海洋模式资料OFES(OGCM for the Earth Simulator),对北太平洋低纬度西边界流的时空分布特征及其与ENSO循环的联系进行了初步分析。结果表明:北太平洋低纬度西边界流具有明显的季节和年际变化特征。在季节尺度上,整个NMK系统都表现为春强秋弱,而在年际尺度上,NEC和KC主要为2—7年的ENSO周期;MC主要表现为准两年周期振荡。另外,整个NMK系统与ENSO循环密切相关,当El Niño发生时,NMK系统流量增大,流系加强,而当La Niña发生时,NMK系统流量减小,流系变弱。整个过程大约为6—10个季节,是一个准ENSO过程。

关键词:OFES 海洋模式;NMK 系统;ENSO 循环;

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2011)03-0032-08

1 引言

北太平洋西边界流系主要包括北赤道流、棉兰老流、黑潮以及一些涡旋。北赤道流(NEC)位于8°—20°N范围内,它横跨整个东西太平洋,是一支稳定的由信风引起的风生漂流,自东向西流动,它是由风和浮力通量驱动的浅层环流(McCreary et al.1994)。在其到达菲律宾沿岸后,由于地形的影响,北赤道流发生分叉形成两支经向西边界流:分别是向北流动的黑潮(KC)和向南流动的棉兰老流(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(NECC)(见图1)。通常意义上,将由北赤道流(NEC)、棉兰老流(MC)和黑潮(KC)所组成的系统称为NMK系统。

关于北太平洋低纬度西边界流的研究工作,自上世纪30年代开始,一些学者就开始注意了,其中,Schott(1939)第一个给出了太平洋北赤道流在菲律宾以东分叉,形成向北的黑潮和棉兰

老流。而Wyrski(1961)则利用船舶资料研究了西太平洋及东南亚海域海流,对太平洋低纬度西边界流做了定性的描述,并命名为棉兰老流,他同时在Takahashi(1959)动力地形的基础上,又命名了棉兰老涡旋(ME)和哈马黑拉涡旋(HE)。随后许多学者(Masuzawa 1969, Nitani 1972),对太平洋低纬度西边界流又做了许多研究工作。同时,在上世纪60—70年代,也有许多学者通过KC联合调查(Cooperative Study of the Kuroshio)对该区域也进行大量的实际调研工作,取得了许多至今仍然非常有学术价值的成果。而从80年代至今,随着观测手段的不断更新和观测方法的改进,对该海域的现场观测计划越来越多,其中包括了热带海洋与全球大气(TOGA),热带大气海洋(TAO),世界大洋环流实验(WOCE),美-澳西太平洋环流联合调查(USA-Australia WEPOCS),中-美赤道西太平洋海气相互作用联合调查研究(PRC/USA),中国科学院热带气候研究(JAPACS),气候变化预测(CLIVAR),中国科学院海洋研究所主持的北太平

收稿日期: 2011-04-19

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB4118021); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q11-02)

作者简介: 康霖(1983-),男,博士研究生,主要从事海气相互作用和气候变化研究。E-mail: kanglingucas@yahoo.com.cn

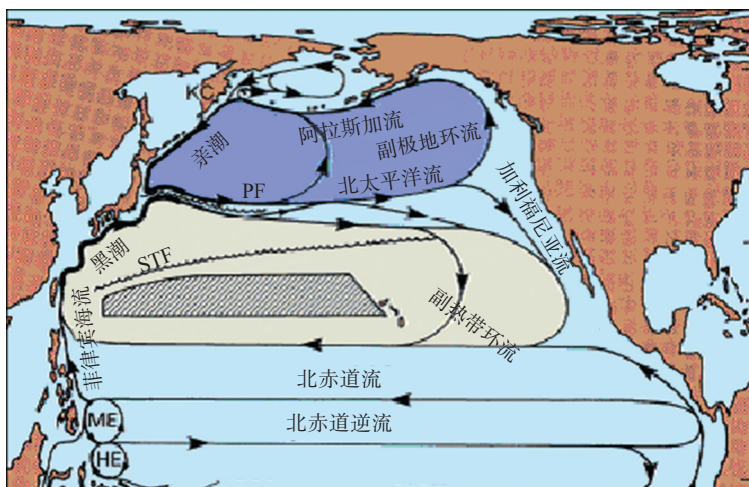


图1 北太平洋西边界流系结构(摘自 Tomczak and Godfrey, 2001)

洋海洋环流与实验(NOPCE)等,取得了大量宝贵的资料。使得对该海域的研究工作取得了巨大的进展,新几内亚沿岸潜流和棉兰老潜流就是在这个时期发现的。同时,许多学者(Lukas et al.1996; Yaremchuk et al.2004; Qiu et al.1996; Metzger et al.1996)等利用线性和非线性约化重力模式成功的模拟了低纬度西边界流的季节以及年际变化,并探讨了西边界流系的动力机制及其与ENSO的关系,最近,关于西边界流系的长时间尺度变化,包括年代际的变化也逐渐成为该海域的一个研究新热点(Qiu et al. 2010),总之,关于这个重要海域的一系列研究,使得人们对热带西太平洋流系的认识日益深刻。

2 模式和数据

本文采用的数据为日本地球模拟器模拟计算得到的长时间序列的涡解高精度海洋模式(OGCM for the Earth Simulator, 简称OFES)。该模式基于GFDL/NOAA(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/National Oceanic and Atmospheric Administration)的MOM3(Modular Ocean Model)模式,并改进为并行计算。模式的计算区域为75°S—75°N,几乎覆盖除北极海域的全球区域。模式的水平空间分辨率为0.1°,垂直方向上分为54层,每层的深度参考真实海洋的温跃层厚度而随海洋深度增加而逐渐变大,从表层的5 m水深度到最

底层的330 m水深度,最大水深为6065 m。模式的地形采用南安普顿海洋中心OCCAM计划测得的1/30°的地形测量数据(由GFDL/NOAA提供),并采用partial cell方法将地形平滑的与真实地形非常相近。动量方程中的水平湍流扩散项采用双调和算子以抑制水平网格尺度的误差。垂直混合采用KPP边界层混合方案。月平均风应力采用1950—1999年的NCEP/NCAR的再分析数据,表面热通量也是利用NCEP/NCAR的再分析数据的月平均输出结果,并采用Rosati and Miyakoda的公式计算得到,温盐资料采用World Ocean Atlas 1998(WOA 98)的结果。

3 北太平洋低纬度西边界流(NMK)的时空特征

3.1 NEC断面

一般意义上,以130°E、18°N、8°N 3个断面分别表征NEC, KC, MC。下面我们利用这3个断面来讨论它们的垂直分布情况。

图2给出了OFES资料在130°E断面处的气候年平均的纬向流场分布。从纬向流场的分布可以看到,西向的NEC在8°—18°N的范围内,出现了双核的结构,中心点分别在9°N和13°N处,最高流速分别达到了30 cm/s和20 cm/s,这与Qu等(1998)利用实测资料所得的结果基本一致。在13°N处的高速流核与气候式流场是一致的。NEC的主体结构达到了400 m深度,流速结构随着深度

的增加而向北偏移。在NEC以下, 10° — 15° N范围内, 出现与NEC反向的NEUC, 两个流核中心分别在500 m、 12° N和900 m、 14° N处, 最大流速达到5 cm/s。SCC位于 18° — 20° N处, 流幅较窄, 流核中心位于表层 19° N左右, 最大平均流速为10 cm/s。

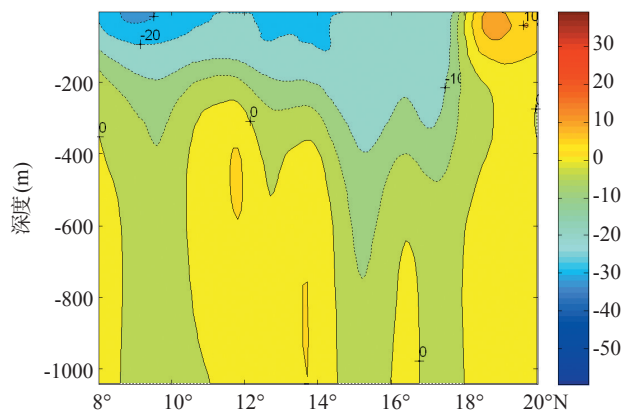
通过以上分析可以看出, 130° E断面纬向流速结构的最显著特点是: NEC以及NEC下方的NEUC, 都不是单纯的单支海流, 而是存在两支或多支现象; 流速带状结构非常明显, 东西向流相互交错间隔出现。这也验证了孙湘平(2000)利用 137° E断面的实测资料分析出的结果。

3.2 KC断面

图3给出了OFES资料在 18° N断面处的气候年平均的经向流场分布。从经向流场分布可以看到, 北向的KC集中在西边界 122.3° — 125° E的范围内, 深度达到600 m, 流速核心位于表层 122.5° E处, 最大流速可达80 cm/s。在KC下方, 出现与KC反向的LUC。

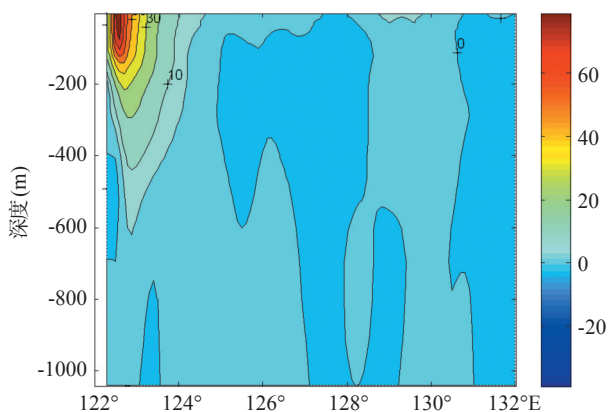
3.3 MC断面

图4给出了OFES资料在 8° N断面处的气候年平均的经向流场分布。从经向流场分布可以看



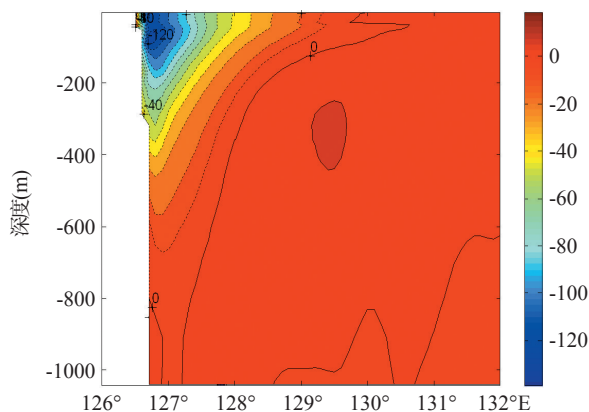
单位: cm/s, 向东为正

图2 130° E断面年平均流场分布



单位: cm/s 向北为正

图3 18° N断面气候态年平均流场分布



单位: cm/s 向北为正

图4 8° N断面气候态年平均流场分布

到,南向的MC集中在西边界 126.5° — 130° E 的范围内,主体深度在 700 m 以上,流核中心位于 126.8° E 处,最大流速可达 120 cm/s 以上。在 MC 下方,出现与 MC 反向的 MUC,流核中心位于大概深度为 400 m、 129.5° E 处,最大流速在 5 cm/s 左右。

4 NMK 系统的流量变化规律

为了方便计算,我们分别将 3 个断面 1957—2006 年逐月的 OFES 资料分别在水平方向和垂直方向上进行线性插值,水平方向上插值到 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$,垂直深度上插值到 5 m 一层,分别计算了 NEC、KC、MC 的流量变化情况,流量计算的范围分别是,NEC 取 8° — 18° N, 500 m 以上西向流, KC 取 122° — 130° E, 500 m 以上的北向流, MC 取 126° — 130° E, 500 m 以上的南向流进行计算,并且对计算后的流量进行了去倾处理。

4.1 季节变化

NEC、KC、MC 在 130° E、 18° N、 8° N 3 个断面处流量异常值变化的季节分布见图 5,就季节变

化而言,NEC 表现为双峰型分布,分别是 5 月份和 7 月份,最大值出现在 5 月份,最小值出现在 12 月份。而 KC, MC 则表现出单峰型分布, KC 的最大正异常值出现在 7 月份,最小值出现在 12 月份,而 MC 的最大正异常值出现在 5 月份,最小值出现在 10 月份。同时要注意到, KC 的流量在 5 月份也出现了减小的趋势,这可能与吕宋岛以东的中尺度涡活动有关,具体原因还需要进一步分析。总体来看, NMK 系统的流量异常具有很明显的季节性特征,在季节性时间尺度上, NEC, KC 流量同向变化,春季流量增大,冬季流量减小;而对 KC,除冬季外,其输运与 MC 反向,这与于非等(2000)棉兰老流与黑潮在季节变化中存在反向关系的结论是一致的。其最大的正异常出现在 7 月份,最小值出现在 12 月份,总体上存在春强秋弱的规律。

4.2 年际变化

图 6 和为 NEC、KC、MC 的流量 1957—2006 年去除倾向后逐月的年际变化曲线。从图上可以看出, NEC、KC、MC 的流量不仅存在着明显的季

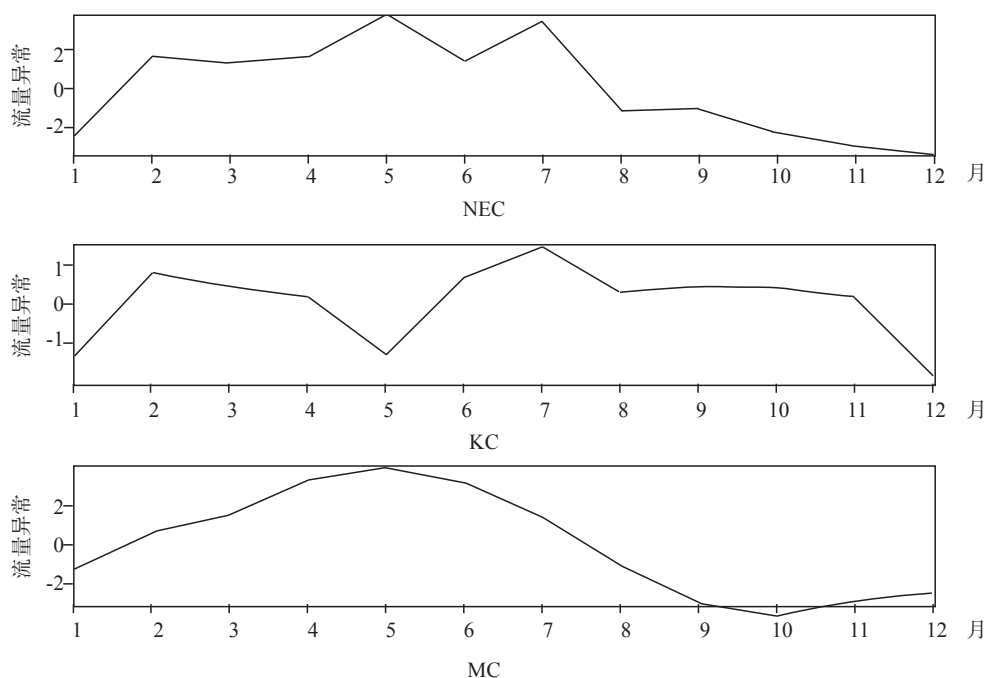


图 5 NEC、KC、MC 流量的季节异常变化(单位:Sv)

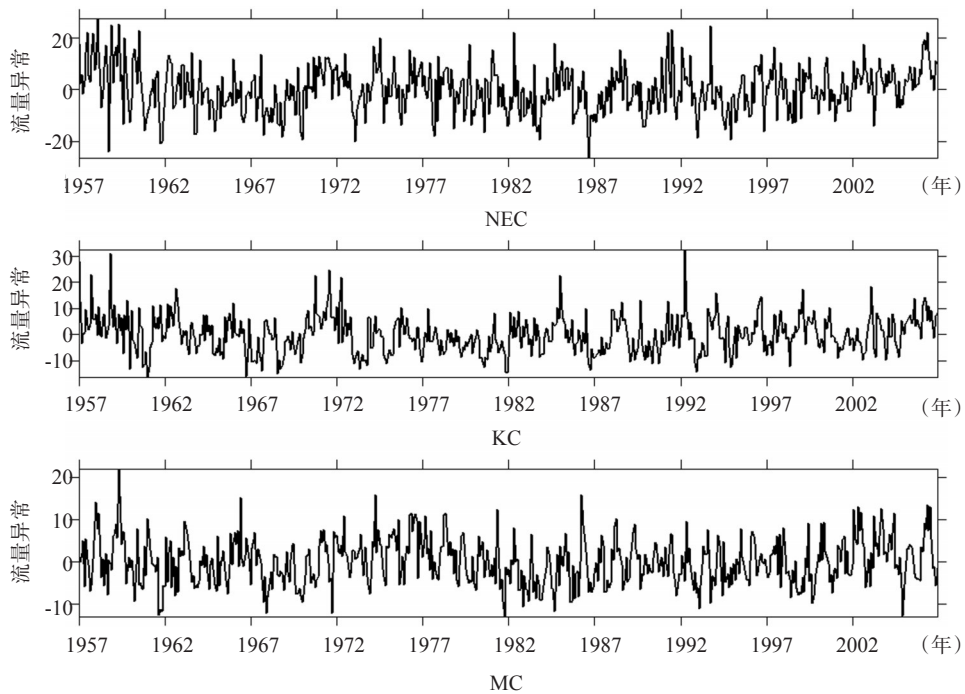


图6 NMK逐月流量异常值(单位:Sv)

节变化,也存在明显的年际变化。流量极值的变化在强的年际信号 El Niño/La Niña 期间尤其明显。在 La Niña 年, NEC、KC 和 MC 都出现了流量的极小值,而在 El Niño 年期间 NEC、KC 和 MC 都出现了流量的极大值。一般流量在 El Niño 年成熟期流量增加,而极小值出现在 El Niño 发生的次年。由此可见, NMK 系统的流量具有较强的年际变化信号,且与 ENSO 暖、冷事件的发生密切相关,当 El Niño 发生时, NMK 系统流量增大,流系加强;而当 La Niña 发生时, NMK 系统流量较小,流系减弱。同时,我们还可以发现,在 ENSO 的不同位相时, NMK 系统的流量变化幅度大小并不一样,在 El Niño 年期间,流量的变化幅度较大,而在 El Niño 年期间,流量的变化幅度则相对较小。表明 ENSO 暖位相对 NMK 系统的影响大于 ENSO 冷位相。

表1 ENSO不同位相期间NMK系统的流量变化值

	NEC(Sv)	KC(Sv)	MC(Sv)
El Niño 年	6.9	6.2	3.5
La Niña 年	5.8	4.6	2.3

我们还利用小数谱对 NMK 系统的周期变化进

行了分析(见图7)。结果表明,北太平洋低纬度西边界流 NMK 流量的周期变化主要表现为3—6个月的季节内振荡和两年、2—7年左右 ENSO 尺度周期振荡。其中 NEC 流量还具有10年以上周期的年代际变化。在年际尺度上, KC 的周期变化频谱较宽,最长可以达到7年左右,而 NEC 主要为2—5年的 ENSO 周期;与此不同的是, MC 主要表现为准两年周期振荡,可能与受热带低纬度大气 QBO 的影响有关。这与前人的研究结果是一致的(Lukas, 1988; Qu et al, 1998)。总的来说,对应 NMK 系统而言,基本上具有2—7年的准 ENSO 周期,其中 KC 的周期最长可达7年,而 MC 的周期最短,一般在2—5年之间, NEC 除了具有 ENSO 尺度的周期外,还具有10年以上的长期年代际周期。

为了进一步说明 NMK 系统与 ENSO 循环的关系,我们对 NMK 系统的流量异常值做了2—7年的低通滤波(见图8),并对 NMK 系统与 ENSO 指数进行了带通滤波后季节平均超前滞后相关分析(见图9)。可以看出, NMK 系统的流量之间在 ENSO 时间尺度上具有很好的同位相变化关系。同时, NEC, KC 在滞后 Niño 指数4—6个季节时达

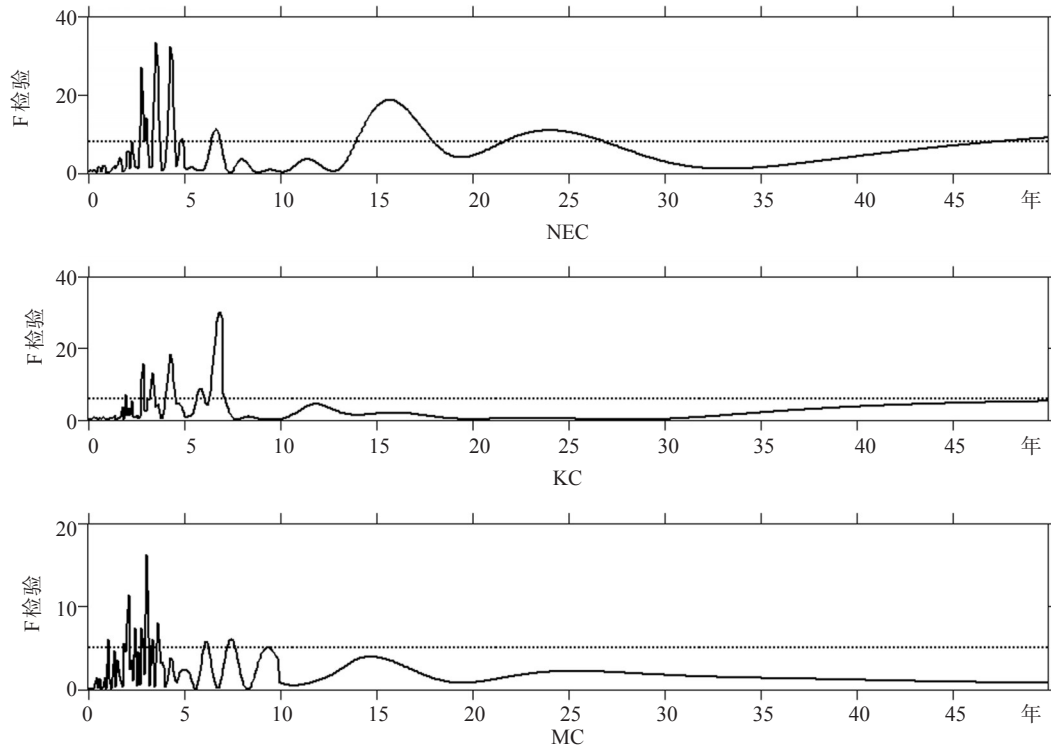


图7 NMK系统的小数谱分析周期图

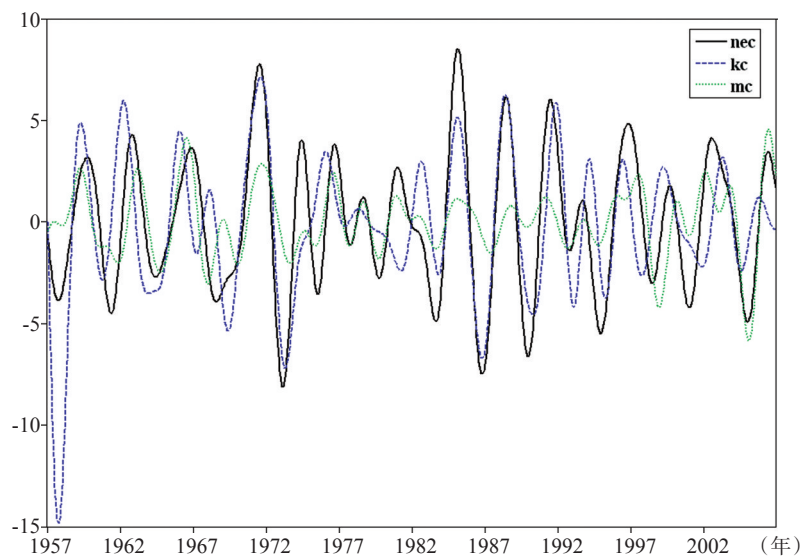


图8 NMK系统2—7年低通滤波后流量异常对比图(单位:Sv)

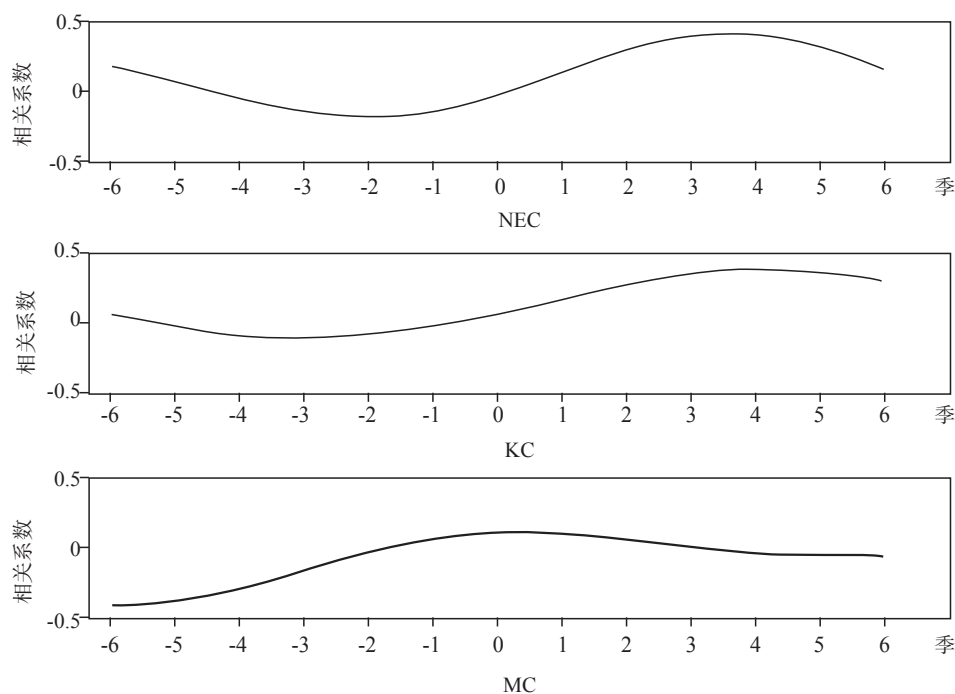


图9 NMK系统经2—7年带通滤波后与Niño 3.4指数的超前(负),滞后(正)相关分析

到最大正相关,在落后Niño指数1—2个季节时达到最好的负相关。而MC的流量与之并无明显的相关性。这说明,在ENSO暖位相形成过程中,NMK系统的流量是一种逐渐增大的趋势,而在ENSO冷位相过程中,情况则正好相反。

5 结论

本文基于OFES模式数据对北太平洋低纬度西边界流的时空规律及其与ENSO循环的联系进行了统计分析,结果表明:

(1) 在130°断面上,西向的NEC主要集中在8°—18°N的范围内,主体结果一般在500 m以上,具有双核结构,带状结构明显。其流速和流幅具有明显的季节变化规律,夏季流幅较窄,流速较大,秋季流幅较宽,流速较小。在18°N断面上,KC主要集中在122°—124°E的范围内,主体结构一般在600 m以上。冬季流幅较宽,流速较小,最小流速出现在12月。夏季流速较大。最大流速出现在7月份。而在8°断面上,MC主要集中在西边界126°—130°E的范围内,主体结构可以达到700 m

的深度。其最大流速一般出现在春夏季节,而秋季流速则较小;

(2) NMK系统的流量具有明显的季节和年际特征。周期主要包括为3—6个月的季节内振荡和2年、2—7年左右ENSO尺度周期振荡。在季节尺度上,整个NMK系统都表现为春强秋弱,而在年际尺度上,KC的周期变化频谱较宽,NEC和KC主要为2—7年的ENSO周期;MC主要表现为准两年周期振荡。另外,整个NMK系统与ENSO循环密切相关,当El Niño发生时,NMK系统流量增大,流系加强,而当La Niña发生时,NMK系统流量减小,流系变弱,ENSO对NEC和KC的流量变化影响较大,而对MC影响则相对较小。NMK系统对于ENSO事件的响应时间大约在落后4—6个季度时达到最大正相关,而在超前1—3个季节时达到最显著负相关,表明NMK系统与ENSO循环密切联系。而整个反馈过程约为6—10个季节。

下一步我们将会进一步结合观测资料,对我们得到的结果进行验证,分析在更长时间尺度上(年代际)的NMK系统变化规律,为北太平洋低纬度西边界流的研究提供新的思路。

参考文献:

- [1] 于非,蒲书箴,赵新等.热带西太平洋主要流系的季节变化和年际变化[J]. 热带海洋,2000,19(1):30-37.
- [2] 孙湘平. 西北太平洋副热带逆流、北赤道流、北赤道逆流几个特征的比较[J]. 黄渤海海洋, 2000,18(1):1-11.
- [3] McCreary J P, Lu P. Interaction between the Subtropical and Equatorial Ocean Circulations - the Subtropical Cell[J]. J Phys Oceanogr, 1994(24): 466-497.
- [4] Schott G. Die aquatorialen stromungen des westlichen Stillen Ozeans[J]. Ann Hydrogr Mar Meteorol, 1939,(67):247-257.
- [5] Wyrtki K. Physical oceanography of the southeast Asian waters [M]. Scripps Inst. of Oceanogr., University of California, San Diego. 1961, 195.
- [6] Takahashi T. Hydrographical researches in the western equatorial Pacific[J]. Mem Fac Fish Kagoshima Univ, 1959,(7): 141-147.
- [7] Masuzawa J. The Mindanao Current. Bull, Jpn. Soc. Fish. Oceanogr, 1969, 99-104.
- [8] Nitani, H. Beginning of the Kuroshio, in Kuroshio, Physical Aspects of the Japan Current edited by H. Stommel and K. Yoshida [M], Seattle: University of Washington Press, 1972,129-163.
- [9] Lukas R, et al. Pacific low-latitude western boundary currents and the Indonesian throughflow[J]. J Geophys Res-Oceans, 1996, (101):12209-12216.
- [10] Yaremchuk M, Qu T D. Seasonal variability of the large-scale currents near the coast of the Philippines[J]. J Phys Oceanogr, 2004, (34): 844-855.
- [11] Qiu B, Lukas R. Seasonal and interannual variability of the North Equatorial Current, the Mindanao Current, and the Kuroshio along the Pacific western boundary[J]. J Geophys Res-Oceans, 1996,(101): 2315-12330.
- [12] Metzger E J, Hurlburt H E. Coupled dynamics of the South China Sea, the Sulu Sea, and the Pacific Ocean[J]. J Geophys Res-Oceans, 1996,(101): 12331-12352.

Characteristics of temporal and spatial distribution of North Pacific low-latitude Western Boundary Currents

KANG Lin^{1,2}, WANG Fan¹, CHEN Yong-li¹

(1. Key Laboratory of Ocean Circulation and Wave Studies, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao

266071 China; Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049 China)

Abstract: Characteristics of temporal and spatial distribution of North Pacific low-latitude Western Boundary Currents and its relationship with ENSO cycles are analyzed with OFES Ocean Model. The whole system has strong seasonal and interannual variability signal. On the seasonal timescales, the whole system is stronger in spring and weaker in autumn. On the interannual timescale, NEC and KC exhibit ENSO period with 2—7 years while MC is dominated by a quasi-biennial oscillation. The NMK system has a bigger net transport during El Niño years, and during La Niña years the transport is much smaller. The whole period is about 6—10 seasons, about a quasi-ENSO cycles.

Key words: OFES ocean model; NMK system; ENSO cycle