

西太平洋暖池表层暖水的纬向运移

张启龙¹, 翁学传¹, 侯一筠¹, 程明华¹, 颜廷壮¹

(中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 基于 1950~2000 年太平洋月平均 SST 资料, 运用 Morlet 小波分析等方法研究了西太平洋暖池表层暖水的纬向运移特征. 结果表明: 暖池表层暖水纬向运移的年际(2~8 a)和年代际(10~16 a)变化都非常明显; 表层暖水的纬向运移于 1982 年前后经历了一次气候跃变, 跃变后暖水东界的平均位置比跃变前东移了 10 个经度; 表层暖水的纬向运移对 ENSO 暖(El Niño)、冷(La Niña)事件的形成和发展具有直接的作用.

关键词: 西太平洋暖池; 表层暖水; 纬向运移

中图分类号: P732

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2004)01-0033-07

1 引言

西太平洋暖池位于太平洋中、西部广大海域, 拥有约 $20 \times 10^{14} \text{ m}^3$ 水温高于 28°C 的暖水^[1]. 暖池暖水的位置除有季节性的经向(南、北向)摆动外, 还存在着非常明显的不同时间尺度的纬向(东、西向)运移. 研究表明, 暖池暖水的纬向运移会引起大气对流区和降水区的纬向变动^[2], 从而导致热带大气环流的变化, 对东亚乃至全球的气候产生重要影响.

近年来, 随着对 ENSO 研究的逐步深入, 关于西太平洋暖池与 ENSO 发生的研究引起了人们的莫大关注. 符淙斌^[3,4]研究了赤道太平洋暖水区的东西向振荡与 El Niño 发展的关系, 并提出应把研究重点从东太平洋移到中、西太平洋暖水区. White 等^[5]、竹内^[6]和黄荣辉^[7]的研究都指出, 西太平洋暖池处于暖的状态是 El Niño 发生必不可少的条件, El Niño 事件主要是由于西太平洋暖池向东扩展导致的. McPhaden^[8]分析了 1986~1987 年 El Niño 事件期间赤道西太平洋暖池的移动情况, 得出了暖池在 El Niño 期间东伸的观点. 龙宝森等^[9]认为, 1992~1993 年 El Niño 事件中热带东太平洋表层的增温是由西太平洋暖池异常东伸导致的. 近期, 李崇银等^[10]的研究表明, 西太平洋暖池次表层海温的暖(冷)异常及其东传对 ENSO 的发生起着十分重要、且更直接的作用. 总之有关西太平洋暖池与 ENSO 关系已有较多研究, 但迄今有

收稿日期: 2002-08-24; 修订日期: 2003-03-29.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-202); 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040900)第一部分.

作者简介: 张启龙(1954—), 男, 山东省昌邑县人, 研究员, 主要从事海气相互作用研究. E-mail: qlzhng@ms.qdio.ac.cn

关西太平洋暖池暖水的纬向(东、西向)运移特征尚缺乏系统而深入的研究. 因此, 本文从海洋学的观点出发, 按照西太平洋暖池的定义^[1,11], 对 1950~2000 年间西太平洋暖池表层暖水 ($SST \geq 28^{\circ}\text{C}$ 的暖水体) 的纬向(东、西向)运移特征进行研究, 试图为进一步了解暖池的变异特征及其在 ENSO 形成中的作用提供理论依据. 文中所用的 SST 资料为美国气候资料中心 (National Climate Data Center, USA) 提供的 1950~2000 年太平洋 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 经纬度网格点月平均 SST 资料. 有关暖池整体(表层及其以下)暖水的纬向运移特征将另文报道.

2 暖池表层暖水纬向运移指标的时间序列

已有研究表明, 暖池的分布范围具有较大的季节变动, 且主要表现在经向(南、北向)上, 即暖池的主体冬季位于赤道南侧, 而夏季则移至赤道北侧^[11]. 为了避免暖池位置的这种季节变动所带来的影响, 选用暖池终年盘踞的太平洋赤道区($5^{\circ}\text{N} \sim 5^{\circ}\text{S}$)作为本文的研究海域. 根据该区内各经线上的平均 SST, 确定了 1950~2000 年间各月暖池东界的表层位置(28°C 等温线所在的经度), 从而建立了暖池表层暖水纬向运移指标的时间序列.

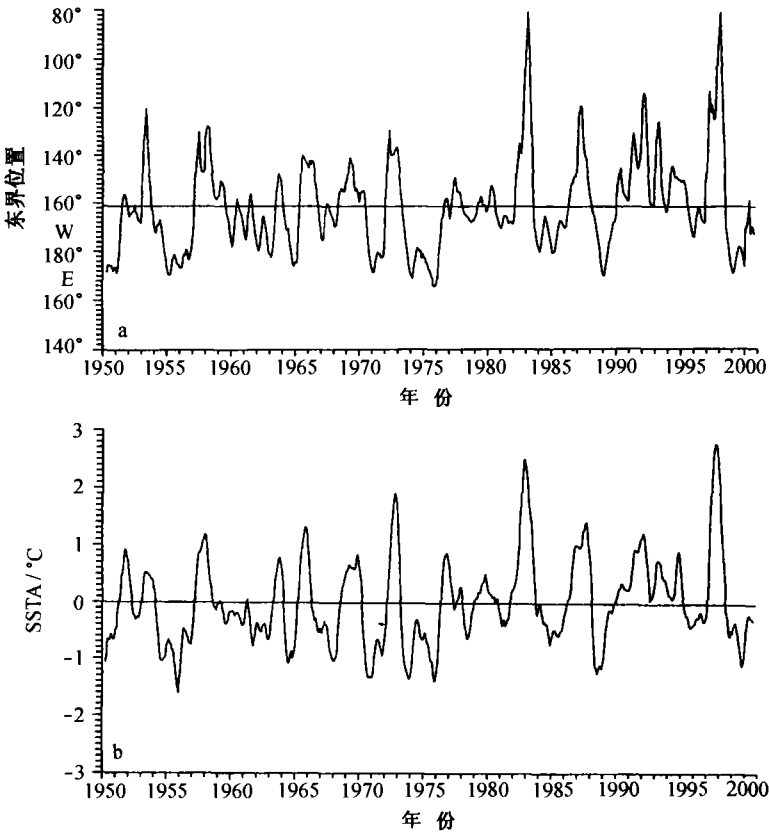


图 1 西太平洋暖池表层暖水东界(a)和 NIN03 区 SSTA(b)的年际变化(5 个月滑动平均)

分析暖池表层暖水东界的时间序列得出, 暖池表层暖水东界的多年平均位置为 161°W . 其中, 表层暖水东界最东可达 81°W (1983 年 3~6 月, 1998 年 1~5 月), 而最西可及 164°E (1955

年 2 月, 1975 年 11 月), 可见暖池表层暖水纬向运移的最大幅度达 115 个经度. 图 1a 引列了经 5 个月滑动平均后的暖池表层暖水东界的年际变化. 由图 1a 可见, 暖池表层暖水纬向运移的年际变化十分突出, 峰(东伸)、谷(西缩)变化相当明显, 其中, 较大的峰值分别出现在 1952, 1953, 1957, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976, 1983, 1987, 1991, 1993, 1994 和 1998 年, 而较大的谷值则见于 1955, 1964, 1968, 1971, 1974, 1975, 1985, 1988, 1996 和 1999 年.

值得指出的是, 图 1a 还表明, 暖池表层暖水的纬向运移除有年际变化外还蕴藏着年代际时间尺度的长期变化. 这具体表现在: 20 世纪 80 年代以前, 表层暖水纬向运移的距离相对较小; 80 年代以后, 表层暖水纬向运移的幅度明显增大, 而且在大多数 El Niño 期间其东界位置都明显地比 80 年代以前偏东. 这表明, 自 80 年代以来, 暖池的表层暖水已明显东扩.

3 暖池表层暖水纬向运移的时频特征

图 2 为暖池表层暖水东界距平序列的 Morlet 小波变换系数的模平方和实部的时频分布. 由图 2a 可以得出, 暖池表层暖水东界具有明显的年际和年代际变化. 其年际变化的周期之一是 4~7 a, 强信号出现在 20 世纪 50 年代初至 60 年代中期, 周期中心为 5.5 a; 另一个年际变化周期为 2~8 a, 其强信号出现在 60 年代中期至 90 年代末期, 但周期中心随时间而缓慢增大, 在 60 年代中期至 70 年代中期, 周期中心为 3.7 a, 而在 70 年代末至 90 年代初期, 周期中心则缓增至 4.2 a, 但在 90 年代中期以后, 周期中心增大至 6.6 a. 此外, 在 90 年代末期还出现了准两年的年际振荡. 表层暖水东界年代际变化的主周期为 10~16 a 左右, 强信号出现在 60 年代初至 90 年代末期, 周期中心为 13 a. 由此可见, 暖池表层暖水的年际和年代际变化周期都不是一个固定值, 而是随时间变化的. 其中年际周期主要为 2~8 a, 而年代际周期为 10~16 a.

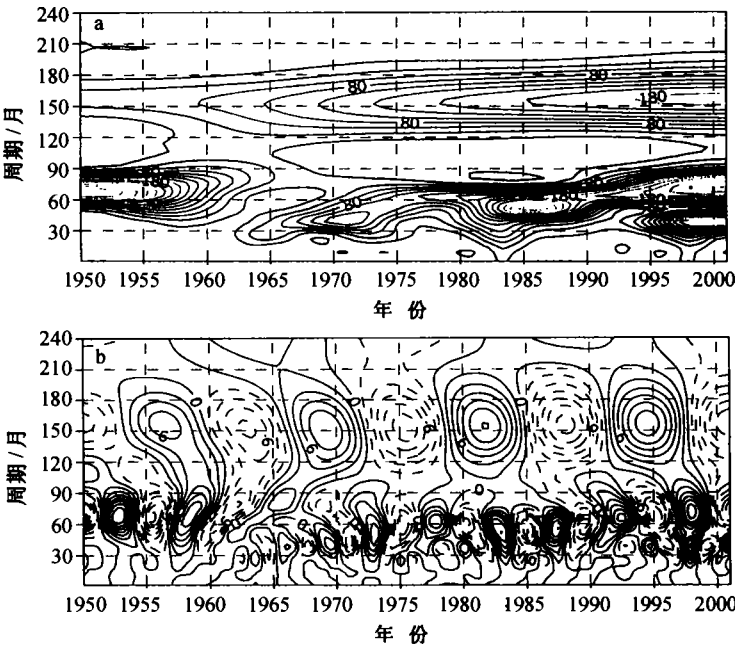


图 2 暖池表层暖水东界距平的 Morlet 小波变换系数的模平方(a)和实部(b)的时频分布

由于小波系数实部绝对值的大小反映了周期信号的强弱,同时其正、负值分别表示暖池表层暖水东界位置的东伸和西缩,因此,从小波系数实部的时频分布形式既能得知表层暖水东界的周期变化特征又能了解不同周期下的位相结构.图 2b 列示了暖池东界距平小波系数实部的时频分布.由图 2b 可见,暖池表层暖水东界 13 a 左右时间尺度的年代际变化表现得非常清楚,其相应的位相则有 12 a 左右的时间振荡,即在 1950~2000 年间的 51 a 中,1953~1959 年,1966~1972 年,1978~1985 和 1991~1998 年的各时段实部均为正,表明暖池表层暖水的东界位置在这些时段是偏东的;在 1953 年以前,1959~1966 年,1972~1978 年和 1985~1991 年和 1998 年以后的各时段实部均为负,暖池表层暖水的东界位置在这些时段是偏西的.

此外,从小波系数的实部分布(图 2b)还可得出,暖池表层暖水东界年际变化的位相与 ENSO 有较密切的联系,即实部正、负值的出现时间分别与 ENSO 的暖(El Niño)、冷(La Niña)事件的出现时间有较好的对应.这表明暖池表层暖水在 El Niño 期间向东伸展,而在 La Niña 期间则向西收缩.

4 暖池表层暖水纬向运移的气候跃变

已有研究表明,东太平洋 SST 在 1977 年前后出现了一次气候跃变^[12],而西太平洋暖池东区(8°S~4°N,170°E~160°W)的平均 SST 则在 1976 年前后也发生了一次由冷到暖的气候跃变^[13].那么,暖池表层暖水的纬向运移是否也存在这种气候跃变?为此,本文运用滑动的 *t* 检验法^[14],对表层暖水东界距平序列作一分析.

t 统计量表示如下:

$$t = \frac{\overline{x_2} - \overline{x_1}}{S_p(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})^{1/2}},$$

式中, *n*₁, *n*₂ 分别为两段时间的年数; $S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$ 是两子样序列的联合方差; $\overline{x_1}$, $\overline{x_2}$ 分别是两子样序列的平均值,而 *S*₁, *S*₂ 则分别是它们的方差.

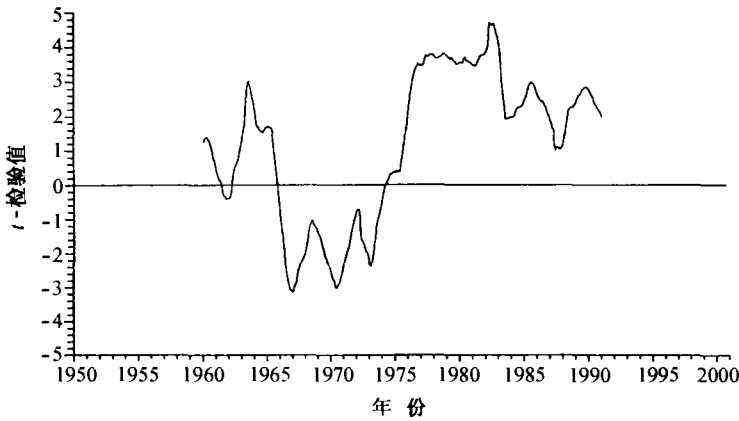


图 3 暖池表层暖水东界距平 10 a 平均滑动的 *t* 检验分布

这里取 $n_1 = n_2 = 10(a)$. 图 3 为暖池表层暖水东界距平滑滑动的前后 10 a 平均差值的 t 统计量检验分布. 由于其自由度是 18, 信度取 0.01 和 0.001 时 t 分布临界值分别为 2.878 和 3.922. 由图 3 可以看到, 1982 年的 t 统计值(4.612)超过了 0.001 的信度检验. 因此, 可以认为暖池表层暖水的纬向运移在 1950~2000 年间的这 51 a 中于 1982 年前后经历了一次气候跃变. 在跃变前(1950~1982 年)暖池表层暖水的东界位置偏西, 其平均位置为 165°W , 而在跃变后(1983~2000 年), 表层暖水东界的平均位置已东移至 155°W , 比跃变前东移了 10 个经度. 可见, 自 20 世纪 80 年代初以来, 暖池表层暖水已明显向东扩伸.

5 暖池表层暖水纬向运移与 ENSO

为便于分析, 将通常用来表征 ENSO 信号的 NINO3 区 SSTa 的年际变化曲线绘于图 1b. 对比图 1a 和图 1b 这两条曲线不难得出, 暖池表层暖水东界位置年际变化峰(东伸)、谷(西缩)的出现时间分别与 ENSO 暖(El Niño)、冷(La Niña)事件有较好的对应. 在 1950~2000 年间的 14 次 El Niño 事件期间, 暖池表层暖水的东界位置均有较大的东伸, 特别在强的 El Niño 事件(如 1983~1998 年)期间, 表层暖水向东伸展最远, 可及 81°W 附近. 而在 10 次 La Niña 期间, 表层暖水的东界位置都向西退缩, 特别在强 La Niña(如 1955 年、1975 年)期间, 表层暖水西撤尤甚, 可退缩至 164°E 以西海域. 用 1950~2000 年间 612 个月的资料进行相关分析得出, 暖池表层暖水东界与 NINO3 区 SSTa 的同期相关系数高达 0.77(信度远超过 0.001). 可见, 暖池表层暖水的纬向运移与 ENSO 存在非常密切的关系.

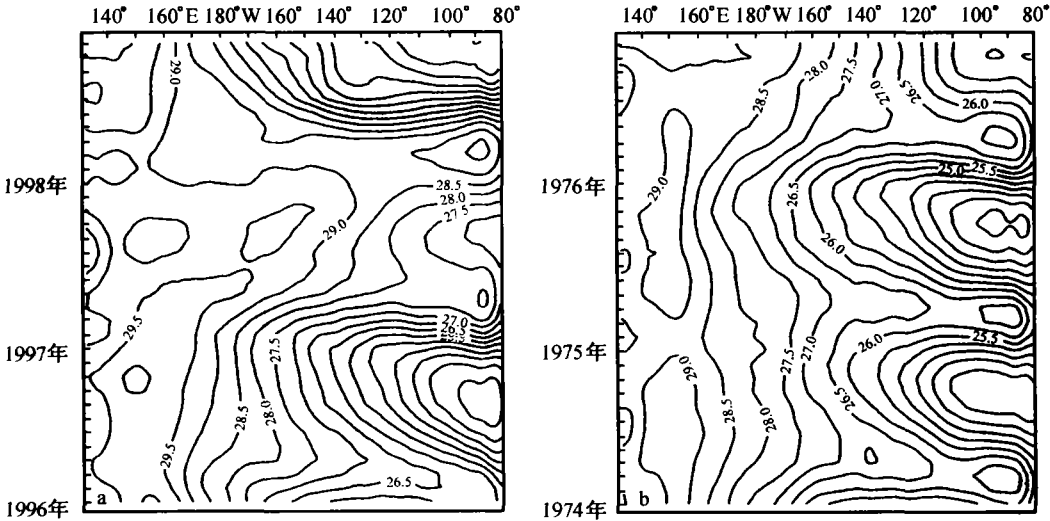


图 4 赤道太平洋($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$)平均 SST 时间—经度剖面
a. 1997 年 El Niño 事件, b. 1975 年 La Niña 事件

为了进一步了解暖池表层暖水在 El Niño 事件期间纬向运移的具体过程及其所起的作用, 本文分别选用具有代表性的 1997 年 El Niño 事件进行分析. 1997 年 El Niño 事件始于 1997 年 5 月^[10]. 由图 4a 可见, 在 1996 年 10 月至 1997 年 3 月间, 暖池表层暖水($\text{SST} \geq 28^{\circ}\text{C}$ 的暖水体)展布于 170°W 以西海域, 而东太平洋的 SST 则较低, 最低仅 23.5°C . 但自 1997 年

3 月以后, 暖池表层暖水向东扩伸, 5 月表层暖水的东界已东伸至 115°W 附近. 受其影响, 此时赤道东太平洋的冷水基本消失, 而被高于 27.5°C 的暖水所占据, SST 比原来上升了 4°C , 一次强 El Niño 事件形成. 之后, 暖池表层暖水在原地 (115°W 附近) 徘徊了数月后, 于 1997 年 10 月又继续东伸, 12 月表层暖水抵达太平洋东部 (81°W 附近). 此时, 整个赤道太平洋被暖池表层暖水所覆盖. 这种状态一直维持到 1998 年 5 月——El Niño 事件结束.

1975 年 La Niña 事件始于该年 5 月^[15]. 由图 4b 可见, 1975 年初, 暖池表层暖水展布于日界线附近海域, 而东太平洋 SST 在 $25.0\sim 26.0^{\circ}\text{C}$ 间. 5 月以后暖池表层暖水逐渐西缩, 而东太平洋 SST 迅速降低. 10 月, 表层暖水西撤至 164°E 以西海域, 此时赤道东太平洋的冷水明显增多, 并向西伸展, 冷水中心的 SST 降至 23.0°C 以下, 与同年年初相比 SST 下降了 2°C 多, La Niña 事件达最盛. 此后, 暖池表层暖水开始逐渐东伸, 东太平洋 SST 也随之逐渐上升. 当 La Niña 事件结束时 (1976 年 3 月), 暖池表层暖水已返回至日变线附近海域, 而东太平洋 SST 也回升至 26.0°C 左右.

通过以上分析可以认为, 暖池表层暖水的纬向运移对 ENSO 暖 (El Niño)、冷 (La Niña) 事件的形成和发展具有直接的作用.

6 结语

根据上述分析可得出以下几点结论:

(1) 西太平洋暖池表层暖水通常展布于 161°W 以西海域, 但其纬向运移的幅度具有非常大的年际差异, 其最东可达 81°W , 而最西可及 164°E 附近, 最大变幅达 115 个经度;

(2) 暖池表层暖水具有明显的年际尺度的纬向运移特征. 其主周期为 2~8 a, 强信号出现在 20 世纪 60 年代中期至 90 年代末期, 但周期中心随时间而缓慢增大, 由 60 年代中期至 70 年代中期的 3.7 a, 到 90 年代中期以后增大至 6.6 a;

(3) 暖池表层暖水年代际尺度的纬向运移也很明显, 主周期为 10~16 a 左右, 强信号出现在 60 年代初至 90 年代末期, 周期中心为 13 a;

(4) 暖池表层暖水的纬向运移于 1982 年前后出现了一次气候跃变. 跃变后表层暖水的平均位置比跃变前东移了 10 个经度. 这表明自 20 世纪 80 年代初以来, 暖池表层暖水已明显向东移伸;

(5) 暖池表层暖水的纬向运移对 ENSO 暖 (El Niño)、冷 (La Niña) 事件的形成和发展具有直接的作用.

参考文献:

- [1] WYRTKI K. Some thoughts about the west Pacific warm pool[A]. Proceedings of the Western Pacific International Meeting and Workshop on TOGA-COARE[C]. New Caledonia: France Institute of the Scientific Research for the Development on the Cooperation, 1989. 99—109.
- [2] 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响[J]. 大气科学, 18(2): 141—151.
- [3] 符淙斌, DIAZ H, FLETCHER J. 赤道太平洋暖水区的东西振荡与“埃尔尼诺”(El Niño)发展的关系[J]. 科学通报, 31(2): 126—128.
- [4] FU Cong-bin, DIAZ H F, FLETCHER J O. Characteristics of the response of surface temperature in the central Pacific

- associated with warm episodes of the Southern Oscillation[J]. *Mon Wea Rev*, 1986, 114: 1 716—1 735.
- [5] WHITE B B, MEYES G A, SONGUY J R, et al. Short-term climatic variability in the thermal structure of the Pacific Ocean during 1979~1982[J]. *Phys Oceanogr*, 1985, 15: 917—935.
- [6] 竹内謙介. FSUモデルに見られる El Niño/Southern Oscillation 前兆[B]. 北海道大学地球物理学研究报告[R]. 1987. 492: 381—386.
- [7] 黄荣辉, 傅云飞. 关于 NESO 循环动力学研究的若干进展与问题[A]. 灾害性气候的过程及诊断[M]. 北京: 气象出版社, 172—188.
- [8] McPHADEN M J, Picaut J. El Niño - Southern Oscillation displacements of the western equatorial Pacific Warm Pool[J]. *Science*, 1990, 250: 1 385—1 388.
- [9] 龙宝森, 李伯成, 邹娥梅. 热带西太平洋暖池异常东伸与热带东太平洋增温[J]. *海洋学报*, 1990, 20(2): 35—42.
- [10] 李崇银, 穆明权. 厄尔尼诺的发展与赤道太平洋暖池次表层海温异常[J]. *大气科学*, 1999, 23(5): 513—521.
- [11] 张启龙, 翁学传. 热带西太平洋暖池的某些海洋学特征[A]. *海洋科学集刊*(38)[C]. 北京: 科学出版社, 1997. 31—38.
- [12] 钱维宏, 朱亚芬, 叶 谦. 赤道东太平洋海温异常的年际和年代际变率[J]. *科学通报*, 1998, 43(10): 1 098—1 102.
- [13] ZHANG Qi-long, WENG Xue-chuan. Regional features of long-term SST variation in the western Pacific warm pool area [J]. *Chinese J Oceano Limnol*, 2001, 19(4): 312—318.
- [14] 丁裕国; 江志红. 气象数据时间序列信号处理[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 46—47.
- [15] NESO 监测小组. 厄尔尼诺事件的划分标准和指数[J]. *RNQJ*, 1989, 15(3): 37—38.

Zonal movement of surface warm water in the western Pacific warm pool

ZHANG Qi-long¹, WENG Xue-chuan¹, HOU Yi-jun¹, CHENG Ming-hua¹, YAN Ting-zhuang¹

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*)

Abstract: Based on the monthly mean SST data on 2 latitude multiplied by 2 longitude grid in the Pacific Ocean during 1950~2000, the zonal movement of surface warm water in the western Pacific warm pool in the equatorial Pacific band (5°N~5°S) was analyzed by using the Morlet wavelet transformation method. The results show that the maximum zonal movement range of surface warm water in the warm pool is 115 longitudes, and the eastern boundary of the surface warm water is of most striking interannual (2~8 a) and interdecadal (10~16 a) changes. The zonal movement of surface warm water in the warm pool underwent a climatic jump in about 1982, and as against before the jump, the eastern boundary of the surface warm water had migrated eastwards by 10 longitudes. Besides, the zonal movement of surface warm water in the warm pool plays a direct part in the formation and development of ENSO.

Key words: western Pacific warm pool; surface warm water; zonal movement