

西太平洋暖池变异及其对西太平洋次表层海温场的影响

陈锦年¹, 何宜军¹, 孙树远², 许兰英¹, 宋贵霆¹, 张艳慧¹

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 兰州气象学校, 甘肃 兰州 730021)

摘要: 应用热带太平洋上层 XBT 温度资料, 分析研究了西太平洋暖池区 ($0^{\circ} \sim 16^{\circ} \text{N}$, $125^{\circ} \sim 145^{\circ} \text{E}$) 上层海洋的变化特征以及与西太平洋次表层海温场之间的关系. 研究表明, 西太平洋暖池区的垂向温度存在显著的年际变化, 尤其在次表层 (120~ 200 m) 的变化最为明显. 西太平洋暖池区的次表层冷暖信号明显早于西太平洋次表层的海温异常. 分析发现, 西太平洋暖池区的海温异常是导致整个西太平洋次表层海温场变异的关键区, 当西太平洋暖池区的次表层冷暖信号加强时, 3~ 4 个月后西太平洋海温场出现大范围的冷暖异常.

关键词: 西太平洋; 暖池; 次表层冷暖信号; El Niño 和 La Niña

中国分类号: P732

文献标识码: A

文章编号: 0253- 4193(2002)03- 0035- 010

1 引言

西太平洋暖池区海表面常年维持着 28°C 以上的高温, 通常比赤道东太平洋海温高出 $3 \sim 9^{\circ} \text{C}$. 该区的海温异常变化制约着亚太区域乃至全球的气候变化^[1~ 7], 甚至导致重大自然灾害的形成. 但是近年来的研究表明, 赤道西太平洋的次表层异常海温东传对 El Niño 和 La Niña 事件起到比表层更为重要的作用^[8], 这一分析结果对进一步分析研究 ENSO 循环过程的热力学和动力学过程具有重要的科学意义.

在分析研究西太平洋暖池特性以及在海气相互作用过程中, 对西太平洋暖池的定义, 迄今为止, 没有完全统一的标准, 其分析结果也各有不同. 目前对于西太平洋暖池的定义主要有以下几种, 一是以热带西太平洋表面温度高于 28°C 的海域^[9, 10]. 二是 $10^{\circ} \text{S} \sim 10^{\circ} \text{N}$, $140^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ}$ 范围的区域^[8], 三是 $0^{\circ} \sim 16^{\circ} \text{N}$, $125^{\circ} \sim 145^{\circ} \text{E}$ 范围的区域^[4]. 很明显前一种定义不符合“暖池”的本意, “暖池”应为常年维持在热带西太平洋的高温区. 如某些年的 28°C 海面温度等温线可

发稿日期: 2001- 05- 03; 修订日期: 2002- 02- 15.

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(49976008); 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2- 205); 国家自然科学基金重点基金资助项目(40136010)和中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力学开放实验室课题资助项目.

作者简介: 陈锦年(1954-), 男, 山东省临沂市人, 研究员, 博士, 硕士生导师, 从事大尺度海气相互作用研究.

达赤道东太平洋的 100°W ^[10], 但不能由此定义整个赤道太平洋为暖池, 这种现象只是暖池的异常变化而已. 第二种定义的范围是包含了 140°E 以东赤道西太平洋, 这种定义恰恰将最早出现海温异常信号的区域 (10°N , $135^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$) 给忽略掉了. 本文主要是对 ENSO 循环过程起重要作用的西太平洋次表层海温异常的机制进行分析和研究, 因此采用了文献[4]定义的西太平洋暖池, 其目的在于重点分析研究西太平洋西边界的海温异常(由 Kelvin 波引起)及其对整个西太平洋海温场变异所作的贡献.

本文的目的是应用较长序列(1955~1998年)逐月各深层的海洋 XBT 海温资料^[11](0 m, 20 m, 40 m, 60 m, 80 m, 120 m, 160 m, 200 m, 240 m, 300 m, 400 m 共 11 层, 水平分辨率 $2^{\circ}\times 5^{\circ}$), 在分析西太平洋暖池区的海温时空变化特征的基础上, 进而分析研究了赤道西太平洋次表层异常海温的变化特征与暖池之间的关系, 试图给出西太平洋暖池区的冷暖信号影响赤道西太平洋次表层海温异常的过程, 为更进一步深入研究 ENSO 循环过程提供理论依据.

2 西太平洋暖池区海温的年际变化特征

暖池区海温变化的重要特点之一是温度的显著变化发生在次表层^[4], 本文的分析也证实了这一结论, 在此不再赘述. 为说明问题, 我们只给出暖池区垂向温度距平变化最为明显的次表层(120 m)的年际变化特征(图1). 由图1可以看出, 暖池区次表层的温度距平的年际变化显著, 20世纪70年代以后的正负距平变化明显强于70年代以前. 从总的温度距平倾向率来看, 该层的温度(距平)变化是随时间递减的, 温度(距平)的递减率为 $-0.2^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$. 另外我们还可以看出, 西太平洋暖池区的最大负距平和最大正距平分别与 El Niño 和 La Niña 事件对应, 这一现象也进一步显示了暖池区的次表层海温正负距平变化与赤道中东太平洋上层海洋温度场有着密切的关联.

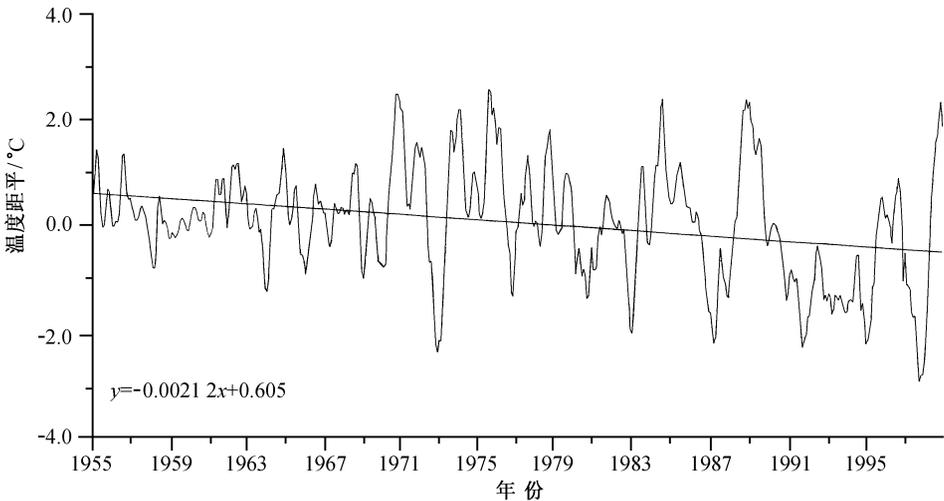


图1 西太平洋暖池区次表层(120 m)温度距平年际变化

3 暖池区温度场变化与西太平洋海温异常及 ENSO 的关系

上述分析给出了暖池海温异常变化的年际变化特征以及与 El Niño 与 La Niña 存在密切联系的事实. 本节将重点讨论暖池区的次表层海温异常变化对整个西太平洋的海温场影响过程以及对 ENSO 所作的贡献, 试图给出暖池区次表层海温异常对西太平洋次表层海温场影响的机制.

3.1 暖池区异常温度东传过程

我们选取的反映暖池区-赤道东太平洋的异常海温在深度-经度剖面上的变化特征与文献[8]不同的是:我们主要强调了暖池区的海温异常变化在赤道西太平洋的海温场变异中的作用. 因此,我们选取的海温场既能显示出暖池区海温场的变化特点,又能反映出西太平洋海温场的变化特征,避免将暖池和西太平洋混为一体. 其选取方法是:沿 $120^{\circ}\text{E} \sim 80^{\circ}\text{W}$ 经度范围的 $120^{\circ} \sim 160^{\circ}\text{E}$ 经度中;对应取 $20^{\circ} \sim 18^{\circ}\text{N}$, $18^{\circ} \sim 16^{\circ}\text{N}$, $16^{\circ} \sim 14^{\circ}\text{N}$, $14^{\circ} \sim 12^{\circ}\text{N}$, $12^{\circ} \sim 10^{\circ}\text{N}$, $10^{\circ} \sim 8^{\circ}\text{N}$, $8^{\circ} \sim 6^{\circ}\text{N}$, $6^{\circ} \sim 4^{\circ}\text{N}$, $4^{\circ} \sim 2^{\circ}\text{N}$, $2^{\circ}\text{N} \sim 2^{\circ}\text{S}$ 的平均值,其他经度范围($165^{\circ}\text{E} \sim 80^{\circ}\text{W}$),取 $2^{\circ}\text{N} \sim 2^{\circ}\text{S}$ 的平均值. 这一选取更有利于在暖池海温异常机制的分析研究中提取有用的信息(另文).

我们对 20 世纪 70 年代至 90 年代以来所发生的 7 次 El Niño 事件(1972, 1976, 1979/80, 1982/83, 1986/87, 1990, 1997/98)和 5 次 La Niña 事件(1970, 1974/75, 1984, 1988/89, 1998/99)期间暖池海温异常变化,对 El Niño 和 La Niña 的贡献进行分析. 结果表明,在 El Niño 和 La Niña 事件发生前至结束期间,暖池区的次表层温度距平变化最为明显,且无一例外. 为说明问题,我们只给出了 20 世纪 90 年代发生的最强的一次 El Niño 和 La Niña 事件(受篇幅所限只给出 1997/98(El Niño)和 1998/99(La Niña))过程(见图 2).

由图 2 可以看出,在 1997/98 和 1998/99 发生的 El Niño 和 La Niña 事件中,暖池区次表层的异常海温变化最为明显. 在 El Niño 形成过程中,暖池区次表层的正距平(或称暖水)向东传输,其东传途径是沿斜温层东传到赤道中东太平洋上层. 在 El Niño 事件发生的同时,在暖池区最早出现负距平(或称冷水),并向东向赤道扩展,这意味着 La Niña 事件正在孕育之中. 当在 El Niño 事件发展为最强盛期时(1997 年 10 月至 1998 年 2 月),暖池区次表层的冷水由赤道西太平洋东传到日界线以东. 自 1998 年 4 月以后,东传到中东太平洋的次表层的冷水开始向上层输送,导致中东太平洋上层温度场降低(El Niño 减弱),10 月份 La Niña 事件爆发. 暖池区次表层异常海温对西太平洋次表层异常海温场的影响也可从图 3 和图 4 中看出.

3.2 西太平洋温度异常变化特征

由于西太平洋次表层温度距平的东传对 El Niño 和 La Niña 事件的发生起着重要作用,因此,对西太平洋次表层温度场的异常变化特征的分析研究显得尤为重要. 首先我们给出了 1996~1998 年西太平洋($20^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$)次表层(120 m)的海温距平变化图(见图 3). 图中清楚地再现了 1997/98 年 El Niño 事件和 1998/99 年 La Niña 事件期间西太平洋次表层温度距平变化的全过程. 在 1996 年的 11 月份,西太平洋暖池区就已出现了负距平,随着时间的推移,西太平洋暖池区的负距平的面积明显向东向赤道扩展,面积由 1996 年 11 月到 1997 年 10 月增加了大约 5 倍. 负距平的强度也明显加强,自 1996 年 11 月至 1997 年 10 月,负距平由 -1°C 增加到 -4°C . 1998 年 6 月,在暖池区出现了一弱的正距平,10 月份这一正距平面积已明显扩大和加强,到 12 月份,正距平面积已占据了西太平洋的大部.

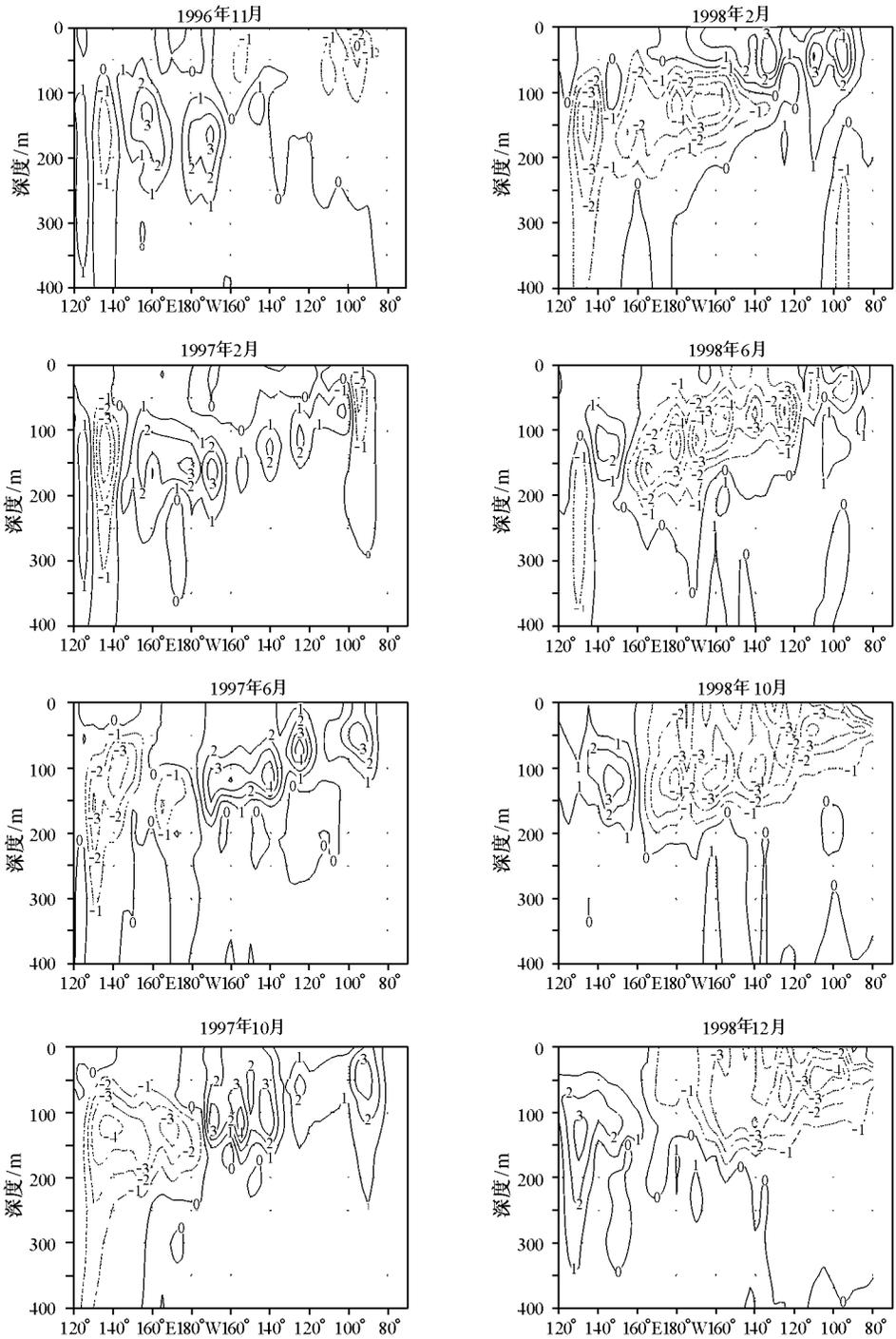


图2 1996~1998年赤道海温异常的深度-经度剖面

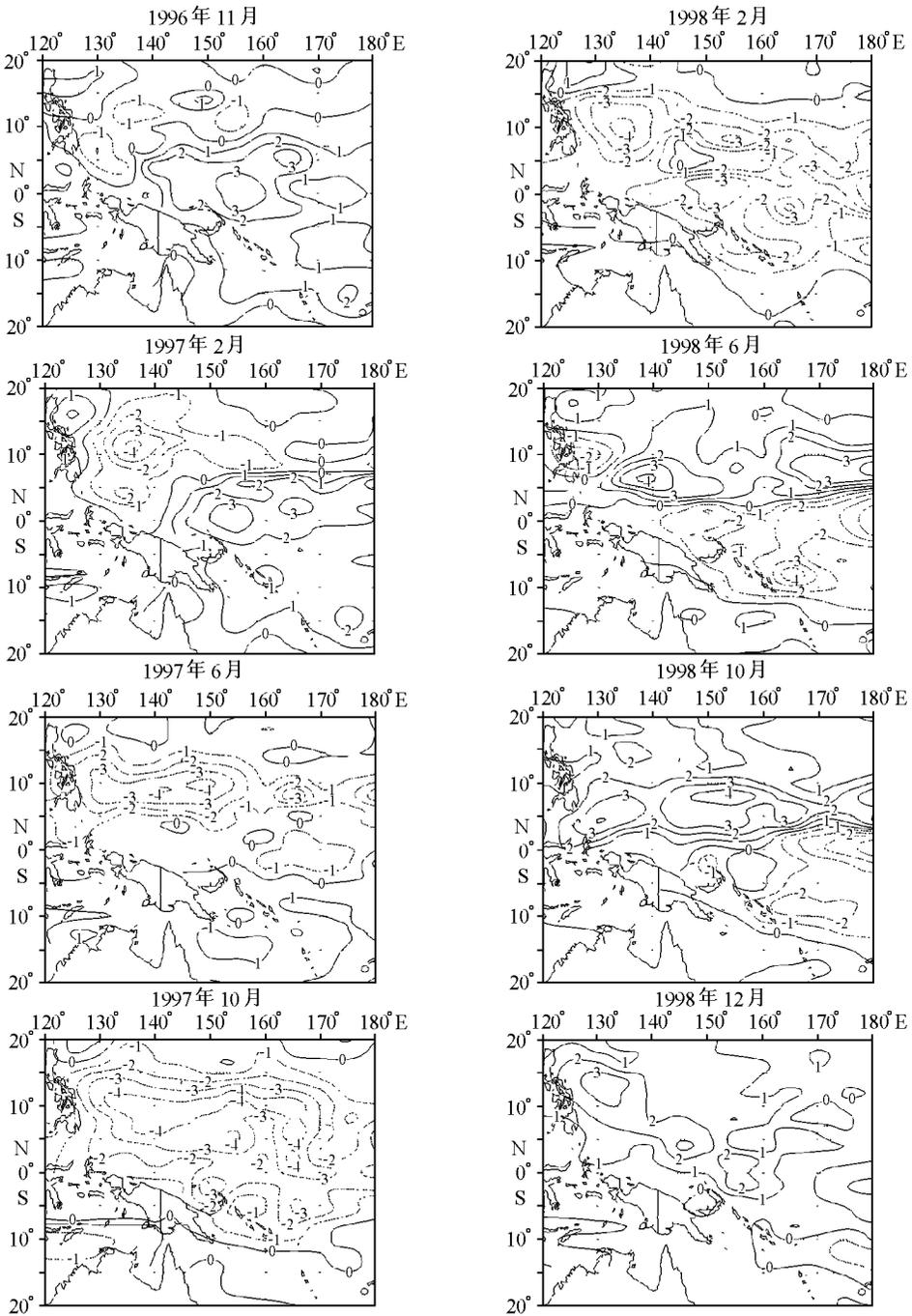


图3 1996~1998年赤道西太平洋次表层(120 m)水温距平变化特征

为进一步说明问题, 现应用400 m以浅的热含量[$W/(s \cdot m^2)$]的变化特征讨论西太平洋的异常变化过程. 图4表示了1996~1998年赤道太平洋热含量的变化特征, 由图清楚地看到在El Niño和La Niña过程中西太平洋的热含量的显著变化特点: 在El Niño发生前的1996年11

月, 西太平洋区域大范围为正的热含量, 而在暖池区出现了弱的热含量负值区, 随着时间的推移, 位于赤道西太平洋区的热含量正值区减小(热量东传), 暖池区热含量负值区的范围逐渐扩展(向东和向赤道方向), 强度也明显增强. 1998年2月负值区已完全占据了赤道西太平洋, 此

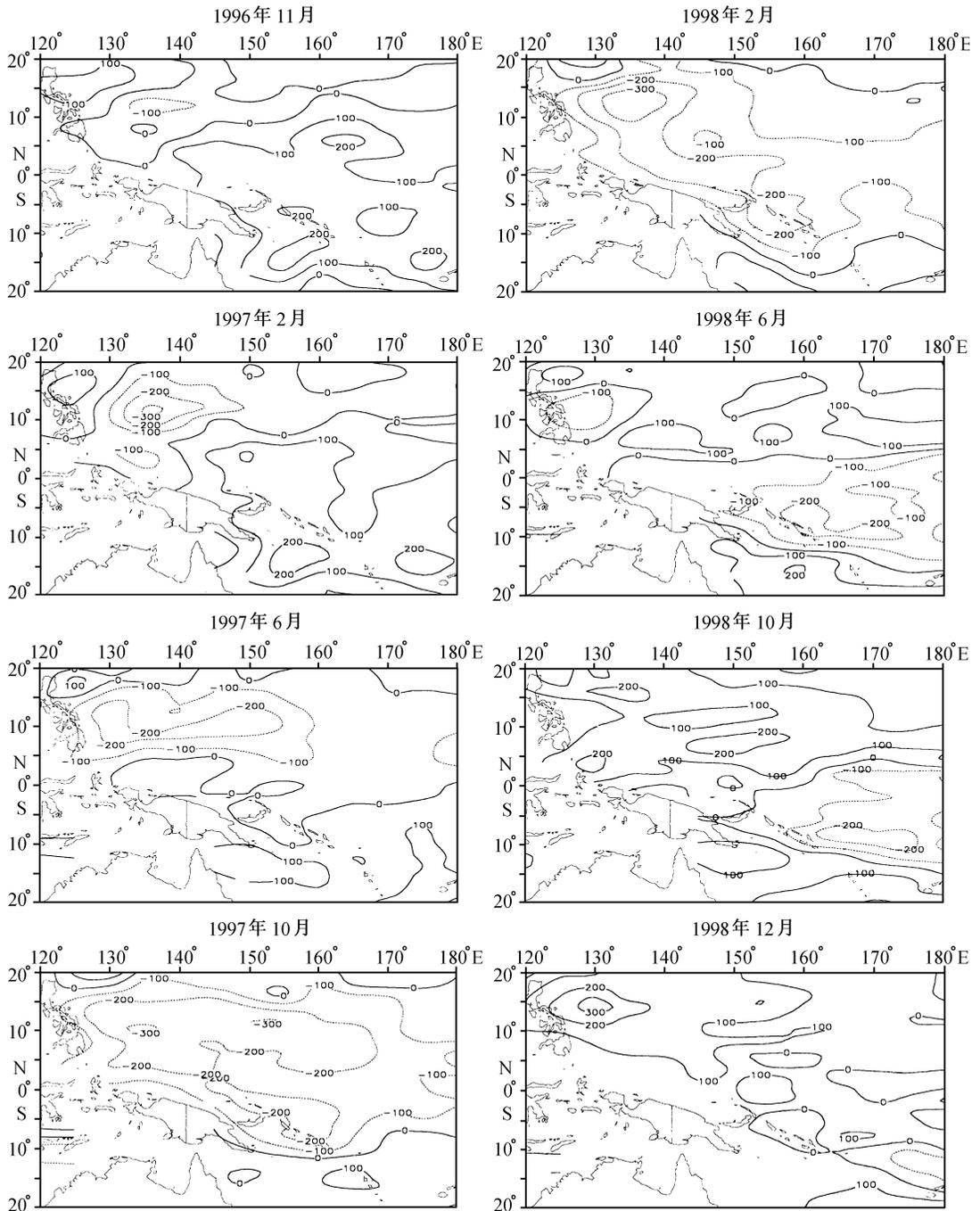


图4 1996~1998年热带西太平洋热含量变化特征[$W/(s \cdot m^2)$]

时正值 El Niño 的强盛期. 1998 年 4 月, 在 $5^{\circ} \sim 10^{\circ} \text{N}$, 135°E 以东范围出现了弱的正值区, 在 6 ~ 11 月间, 正的热含量区快速向东向赤道方向扩展, 此时正值 La Niña 事件的发展期. 由热含量的变化过程说明, 西太平洋区域的异常温度变化的最敏感区是在暖池区, 而暖池区的正负距平信号的强弱直接会影响到赤道西太平洋区域的温度异常. 对照上述分析结果可知, 赤道西太平洋的热含量的变化特征与次表层的温度距平变化是一致的.

3.3 暖池区次表层海温异常对西太平洋次表层异常海温变化的贡献

上述给出的赤道西太平洋次表层海温和热含量的变化特征, 其主要目的是揭示赤道西太平洋次表层海温正负距平以及热含量变化的特征, 从分析中我们也可以看出, 西太平洋次表层海温异常变化与暖池区的异常海温信号的加强和向东扩展存在密切关系. 现在的问题是暖池区的异常海温是通过什么样的途径影响西太平洋的次表层异常海温场的. 本小节试图对此问题作出回答, 由图 2 和图 3 均可以看出, 在 1996~1998 年期间, 最先出现正负距平信号的区域为暖池区, 当该区的正负距平信号达到一定强度后, 然后向东向赤道扩展. 为清楚起见, 我们给出了位于暖池区域沿 135°E 温度距平的时空变化特征(图 5), 图中清楚地给出了暖池区的冷暖信号向赤道传输的全过程. 由图可以看出, 在 El Niño 事件发生前期的 1996 年 11 月, 暖池区就已出现弱的负距平信号, 随着时间的推移, 负距平信号明显增强, 到 1997 年 10 月负距平信号的范围已扩展到赤道, 此时正值 El Niño 事件的发展期. 1998 年 6 月之后, 暖池区出现一弱的正距平信号, 到 10 月份正距平信号已扩展到赤道, 这一信号具有二重作用, 其一是驱动原来维持在西太平洋的负距平信号沿赤道东移(当然还有风场的作用), 导致 La Niña 事件爆发. 其二是为下次的 El Niño 事件的爆发贮备能量(海温正距平). 这一分析结果具有一定的普遍性, 即在 El Niño 和 La Niña 事件中无一例外(因篇幅所限, 不能一一列举), 只是过程强弱的不同而已.

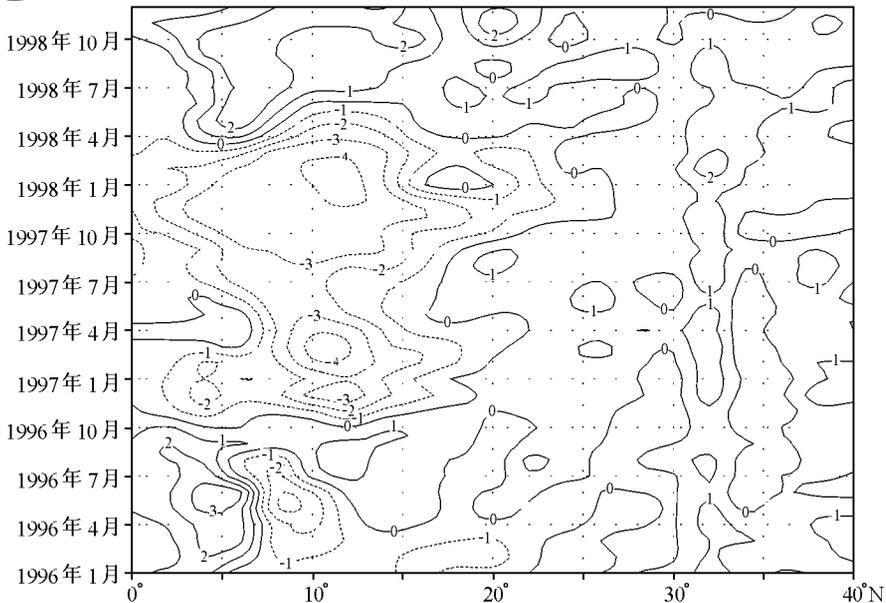


图 5 135°E 海温异常经向-时间剖面图(120 m)

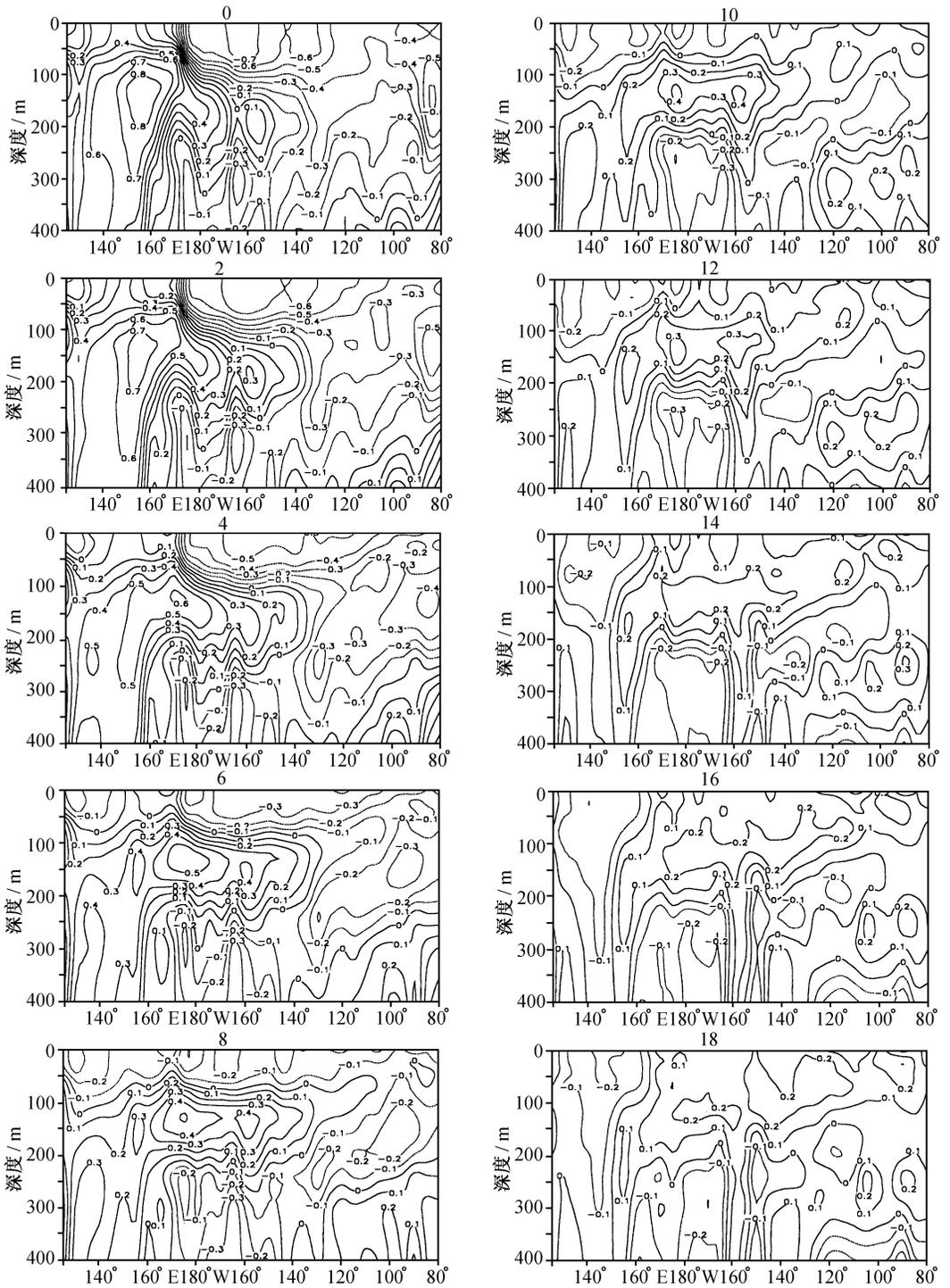


图6 西太平洋暖池区域表层水温与沿暖池-赤道太平洋-深度水温时滞相关
 上方数字0表示同期相关,1,2,4,6,8,10,12,14,16,18表示后者滞后前者月数

为分析暖池区的异常海温东传过程,我们选取 1955~1998 年共 528 个月的暖池区次表层 (120 m) 海温和沿经暖池区至赤道东太平洋表层到 400 m 深的海温 (16°N , 120°E ; 14°N , 120°E ; 12°N , 125°E ; 10°N , 130°E ; 8°N , 135°E ; 6°N , 140°E , 4°N , 145°E , 2°N , 150°E ; 0° , $160^{\circ}\text{E} \sim 80^{\circ}\text{W}$) 进行时滞相关计算. 在计算中,始终保持数据样本 $N = 504$ 个,以此进行的相关中,达到信度要求 $\alpha = 0.001$ 的相关系数 $r \geq 0.15$. 由时滞相关计算可知,暖池区次表层的海温变化与暖池区-赤道东太平洋不同经度上的海温变化存在显著的时滞相关关系(见图 6).

由图 6 可以看出,在同期暖池区次表层的海温对其周围海温有显著的影响,这是因为暖池区的正负距平信号在该区要维持一定的时间,达到一定强度后再向东向赤道传输,随着时滞时间的增加,正的相关区域明显向东扩展,而且显著的时滞相关区域由赤道西太平洋区域的次表层向赤道东太平洋的表层延伸,达到信度要求的相关关系可持续到赤道温度场变化滞后西太平洋暖池次表层温度场约 18 个月.

4 讨论和结论

暖池区次表层的海温距平具有明显的年际变化特征,在 El Niño 事件期间,暖池区出现负距平,在 La Niña 事件期间,暖池区出现正距平. 暖池区次表层的海温距平具有明显的降温趋势,其温度的递减率为 $-0.2^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$.

在 ENSO 循环过程中,赤道西太平洋的次表层海温异常信号最早出现于西太平洋暖池区,其异常信号在暖池区不断加强,然后向东向赤道扩展,当异常海温信号达到一定程度后,(在大气的强迫下)由赤道西太平洋沿斜温层向赤道中东太平洋传输至表层. 这一传播过程大约需时 18 个月左右. 也就是说,暖池区次表层异常海温信号是引起西太平洋海温场异常的重要条件,因此暖池区次表层海温异常是导致 El Niño 或 La Niña 事件发生的关键.

本研究只是从海洋角度出发,通过暖池区冷暖信号的分析进而探讨了对 ENSO 循环过程的作用. 暖池区的冷暖信号只是导致 El Niño 和 La Niña 事件发生的必要条件,但其发生还取决于大气的强迫条件. 因此,要全面了解 ENSO 循环过程的机制,不仅要考虑海洋过程,而更不能忽视大气过程的作用.

参考文献:

- [1] PHILANDER S G H. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation [M]. Academic, San Diego, Calif, 1990. 293.
- [2] MCPHADEN M J, BUSALACCHI A J, CHENEY R, et al. The tropical ocean global atmosphere observing system: a decade of progress [J]. J Geophys Res, 1998, 103 (C7): 14 169—14 240.
- [3] MCPHADEN M J. Genesis and evolution of the 1997-98 El Niño [J]. Science's Compass, 1999, 283: 950—954.
- [4] 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, 1994, 18(2): 141—151.
- [5] 黄荣辉,孙凤英. 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节内变化的影响[J]. 大气科学, 1994, 18(4): 456—465.
- [6] KURIHARA K, KAWAHARA M. Extremes of East Asian weather during the post ENSO years of 1983/84 severe cold winter and hot summer [J]. J Meteor Soc Japan, 1986, 64: 494—503.
- [7] KURIHARA K. A climatological study on the relationship between the Japanese summer weather and the subtropical high in the western Northern Pacific [J]. Geophys Mag, 1989, 43: 45—104.
- [8] 李崇银. 气候动力学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2000.

- [9] WYRTKI K. Some thoughts about the West Pacific Warm Pool [A]. Proceedings of the Western Pacific International Meeting and Workshop on TOGA-COARE [C]. ORSTOM, 1989. 99—109.
- [10] 翁学传, 张启龙, 颜廷壮. 热带西太平洋暖池及其与南方涛动和副热带高压关系 [J]. 海洋科学集刊, 1998, 40: 35—40.
- [11] WHITE W B. Grid fields of global upper ocean [Z]. Joint Environmental Data Analysis Center, Scripps Institution of Oceanography, 2001.

The West Pacific warm pool variation and its influence on subsurface ocean temperature field in the West Pacific

CHEN Jir nina¹, HE Y r jun¹, SUN Shu r yuan², XU Lar r y ing¹,
SONG Gui r ting¹, ZHANG Yar r hui¹

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*; 2. *Lanzhou Meteorological School, Lanzhou 730021, China*)

Abstract: The relationship between the characteristics of the upper ocean change in the West Pacific warm pool region ($0^{\circ} \sim 16^{\circ} \text{N}$, $125^{\circ} \sim 145^{\circ} \text{E}$) and the subsurface ocean temperature field in the West Pacific is analyzed by XBT temperature data in the upper tropical Pacific. The research results show that the annual change of the vertical distribution of the ocean temperature in the West Pacific warm pool region is notable and particularly that in subsurface layers (120~200 m) is most obvious. The anomalous change of the ocean temperature signals in the warm pool earlier than that of the subsurface in the West Pacific, and the former is leading to the key region of the subsurface ocean temperature variation in the West Pacific. The subsurface ocean temperature in the West Pacific anomalous change will appear after 3~4 months when the anomaly signals of the subsurface ocean temperature enhance in the warm pool region.

Key words: West Pacific; warm pool; cool and warm signals in the subsurface; El Niño and La Niña