

厄尔尼诺的发生与赤道西太平洋 暖池次表层海温异常*

李崇银 穆明权

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘要 通过资料分析研究了厄尔尼诺事件的爆发与西太平洋暖池次表层海温正异常的重要关系。结果表明, El Niño 事件之前暖池次表层海温都有明显的持续升高; 这种暖池次表层海温正距平的出现, 尤其是它向赤道中东太平洋的传播对 El Niño 事件的爆发有直接关系, 是导致 El Niño 事件的重要原因。分析还表明, 暖池次表层海温正距平的东移原因因在于赤道西太平洋地区西风异常的发生和向东扩展。

关键词 厄尔尼诺 (El Niño) 暖池 海温异常

1 引言

自 80 年代以来, 厄尔尼诺 (El Niño) 已引起各国政府和科学家的关注, 因为它的发生往往给全球不少地区造成严重的自然灾害, 例如印度、印度尼西亚和澳大利亚的干旱, 南美地区的洪涝等^[1~3]。厄尔尼诺同样也给我国天气气候造成异常, 因为它明显影响西太平洋台风活动^[4,5], 影响我国东北夏季温度^[6]、东部夏季降水^[7~9]以及冬季寒潮活动^[10]。虽然各国科学家对 El Niño 进行了不少研究, 对其发生也提出了种种理论, 但是目前对其发生的机理并未完全搞清楚。因此, 1996~2010 年间实施的国际 CLIVAR (气候变化及可预报性研究) 计划已将 El Niño 列为重要的研究内容之一^[11]。

1997 年夏在赤道东太平洋又爆发了有记录以来最强的一次 El Niño 事件, 其最大海表水温 (SST) 异常达到 6℃ 以上。它的影响远不止因引起印度尼西亚和澳大利亚持续干旱而造成长时间森林大火。许多新闻媒介都报道了这次 El Niño 所引起的灾情, 它给全世界人民造成了严重影响, 有人说“1997 年人们是谈厄尔尼诺色变”, 虽有些夸张, 也不失其客观性。

在已有的研究中, 我们曾指出, 虽然 El Niño 事件发生在赤道东太平洋, 但它的前期征兆在赤道西太平洋地区; 并指出东亚冬季风的强异常所造成的赤道西太平洋地区持续西风异常及强对流活动对 El Niño 的发生有重要作用^[12]。近来, 我们又用耦合模式的数值模拟证明了上述结果^[13]。但是, 关于赤道西太平洋暖池热状况对 ENSO 的影响的了解还很不夠, 虽然有几个研究提到暖池海表水温异常 (SSTA) 对 El Niño 的影响, 而暖池 SSTA 信号比较弱, 难于得到确切的结论; 暖池次表层海温变化很大, 它与 ENSO 的关系尚无很好研究。

1998-05-28 收到, 1998-08-18 收到修改稿

* 本研究得到国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论的研究”以及国家自然科学基金资助项目 49823002 共同资助

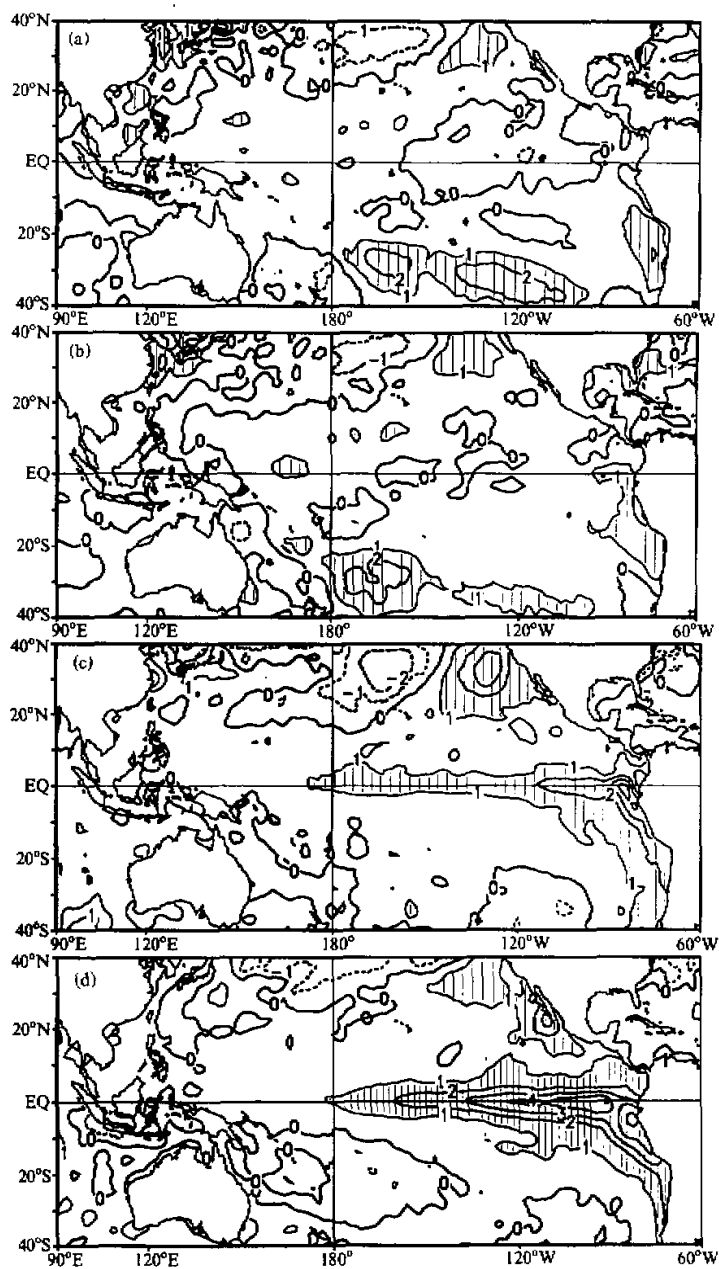


图1 热带太平洋SSTA的分布和演变(等值线间隔为1℃)
(a)、(b)、(c)和(d)分别表示1997年2月、3月、5月和7月的情况

本文将通过资料分析, 揭示赤道西太平洋暖池 (一般称 $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$, $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 海区为暖池, 因该处平均海温为全球最高) 次表层海温异常与 El Niño 发生的关系, 探讨 El Niño 的发生机理。

2 1997 年 El Niño 事件

1997 年 El Niño 事件开始于 5 月, 因为热带太平洋海面水温异常的分析表明, 1997 年 5 月开始赤道东太平洋 SSTA 已为大片正距平控制, 在秘鲁附近海域 SSTA 已超过 2°C (图 1c)。而在 1997 年 2 月, 赤道东太平洋地区还为 SSTA 负距平控制, 最大 SSTA 超过 -1°C (图 1a)。1997 年 3 月, 赤道东太平洋负 SSTA 明显减弱, 但仍有零星负距平区; 但在厄瓜多尔和秘鲁附近海域已出现系统性 SSTA 正距平区 (图 1b)。1997 年 4 月, 厄瓜多尔附近海域的 SSTA 正距平区有所发展并向西扩展; 同时赤道中太平洋出现了另一 SSTA 正距平区 (图略)。1997 年 5 月, 赤道中太平洋和厄瓜多尔附近海域的 SSTA 正距平都迅速加强, 并分别向东和向西扩展而造成大片 SSTA 正距平区, 一次厄尔尼诺事件爆发。

对于 1997 年厄尔尼诺事件的发生, 是否有什么前兆可寻? 资料分析发现最为明显的是赤道西太平洋暖池次表层海温的异常及其活动。赤道太平洋海温 (观测资料的同化分析结果) 异常的深度-经度剖面表明, 1996 年 8 月到 1996 年 11 月, 赤道西太平洋暖池次表层 ($100\sim 200\text{ m}$) 一直偏暖 (正距平超过 2°C), 而赤道东太平洋次表层 ($50\sim 100\text{ m}$) 却一直偏冷 (负距平亦超过 -2°C), 其异常的形势比较稳定 (图略)。但是到 1996 年 12 月赤道太平洋暖池次表层的海温异常明显增强, 正异常超过 3.5°C ; 而且海温异常的范围明显扩大且缓慢东传 (图略)。到 1997 年 1 月, 暖池次表层海温异常已达 5°C 以上, 而且 2°C 距平区已东扩到 160°W 以东 (图 2a), 随着暖池次表层海温正异

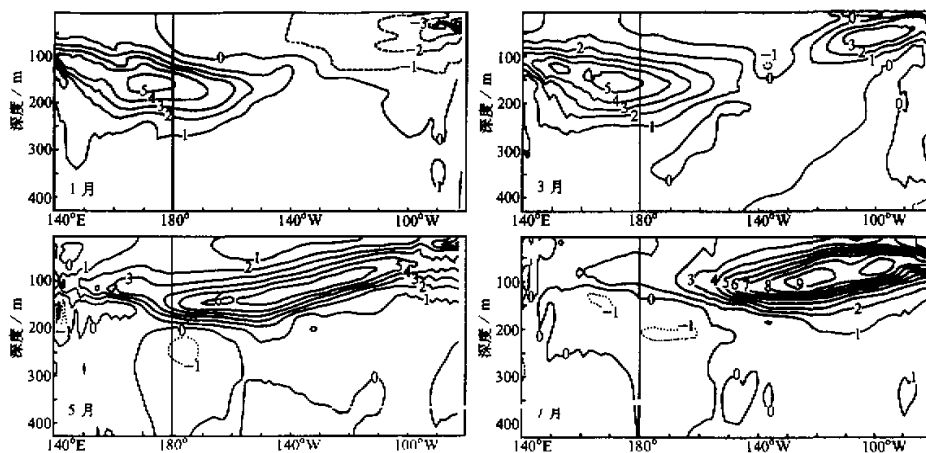


图2 1997年1月、3月、5月和7月平均的赤道太平洋海温异常的深度-经度剖面
(等值线间隔为 1°C)

常区的进一步东扩,赤道东太平洋次表层的海温负距平逐渐为正距平所代替;1997年3月,不仅赤道西太平洋暖池次表层仍维持一个强海温正距平中心,而且在赤道东太平洋也出现了次表层海温正距平中心(图2b)。其后,暖池次表层的海温正距平区逐渐移到赤道东太平洋,5月份,赤道太平洋次表层海温正距平(超过 6°C)中心已位于东太平洋,赤道西太平洋暖池次表层已开始出现海温负距平;同时赤道东太平洋次表层海温正距平逐渐扩展到海洋表面,导致海表水温出现明显正距平(图2c),El Niño事件爆发。厄尔尼诺爆发后,赤道太平洋的海温(包括次表层和表面)就维持着东为正距平、西为负距平控制的形势(图2d)。

从上述分析我们可以初步认为,1997年El Niño事件的发生与太平洋暖池次表层海温异常有密切关系。暖池次表层海温正异常的出现及其向赤道东太平洋的扩展对这次El Niño事件的发生有十分重要的作用。

3 历次 El Niño 事件的分析

上一节的分析确实表明西太平洋暖池次表海温正距平的出现及其向东扩展对1997年El Niño的发生有重要作用。是否El Niño的发生都有上述关系?为揭示这个问题,下面讨论过去一些El Niño事件的情况。

图3分别给出了1950~1993年期间月平均西太平洋暖池区($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$)次表层(150~200 m)海温异常和Niño 3区($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$) SSTA的时间变化。可以看到在几乎所有El Niño事件(例如1957、1963、1965、1968~1969、1972、1976、1982~1983、1986~1987和1991年El Niño)发生之前,西太平洋暖池次表层的海温都有持续的明显正异常;而在El Niño事件爆发后,则变为Niño 3区SST为正距平和暖池次表层海温为负距平的形势。也就是说,近半个世纪以来的

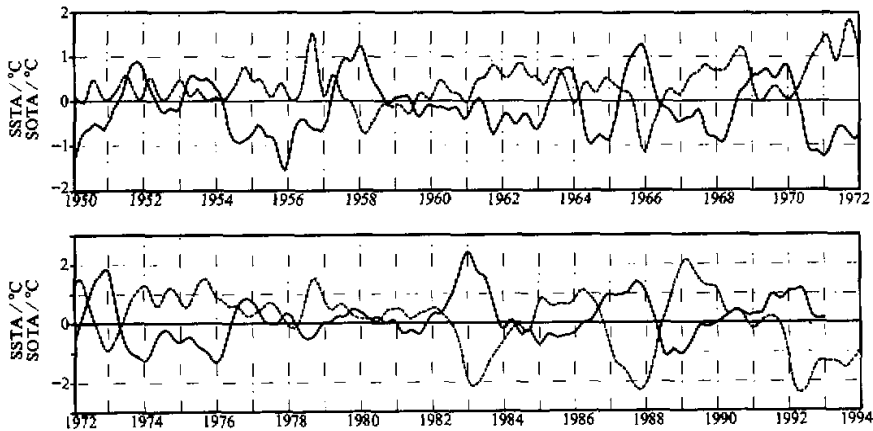


图3 1950~1993年期间月平均暖池区($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$)次表层(150~200 m)海温距平(虚线,资料取自美国JEDAC)及Niño 3区($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$) SST距平(实线,资料取自COADS)

历次 El Niño 事件的爆发都同西太平洋暖池海温的持续正异常有关, 而且暖池次表层的增暖要比 El Niño 早半年到 2 年时间。

在分析 1997 年 El Niño 事件时我们已经指出, 赤道西太平洋暖池次表层增暖同 El Niño 的发生有密切关系; 而且暖池次表层海温正距平区 (亦可视为暖水团) 的东移有极为重要的作用。暖池次表层海温正距平区在东移过程中随着斜温层的逐渐抬高而使得赤道东太平洋 SST 也出现正距平, 最终导致 El Niño 的发生。有时西太平洋暖池次表层海温正距平持续时间不长就明显向东移动, 那么 El Niño 事件的爆发与暖池次表层增暖间的时间差就比较短; 有时西太平洋暖池此表层海温正距平持续很长时间才向东移动, 那么 El Niño 事件的爆发与暖池次表层增暖间的时间差就比较长。这也说明了为什么暖池次表层增暖要比 El Niño 早, 但却有半年到两年的不同时间跨度。

分析赤道太平洋次表层海温距平的时间-经度剖面, 我们可以清楚看到 El Niño 事件爆发与暖池次表层海温正距平以及东传的密切关系。由于赤道太平洋的斜温层在西太平洋要比东太平洋深厚得多, 赤道太平洋次表层海温最大异常出现的层次也不同; 一般, 次表层最大海温异常在赤道西太平洋发生在 100~200 m, 在赤道中东太平洋发生在 80~150 m, 而在赤道东太平洋发生在 40~80 m。因此在分析赤道太平洋次表层海温距平的时间-经度剖面时, 需要取不同层次的值 (例如我们在 140°E~180° 范围取 120~160 m 的平均值, 在 180°~140°W 范围取 80~120 m 的平均值, 在 140°~120°W 范围取 60~80 m 的平均值, 在 120°~80°W 范围取 40~60 m 的平均值)。

各次 El Niño 的分析表明都有相类似的特征, 因篇幅关系, 这里只给出 3 个例子。图 4~6 分别给出了对应于 1957 年 El Niño、1972 年 El Niño 和 1986~1987 年 El Niño 的赤道太平洋次表层海温距平的时间-经度剖面。对于 1957 年 El Niño 事件 (图 4), 虽然暖池次表层海温在 1955 年就有弱的正距平, 但明显增暖开始于 1956 年 4~5 月份, 1956 年秋季出现最大正距平 (2.5 °C 左右), 1956 年冬到 1957 年春季暖池次表层海温正距平明显东移到赤道中东太平洋, El Niño 事件也就在 1957 年的 4 月份爆发。这次事件从暖池次表层明显增暖到 El Niño 事件爆发约为 1 年时间。对于 1972 年 El Niño 事件 (图 5), 西太平洋暖池次表层明显增暖开始于 1970 年 5 月, 最大海温异常在 1971 年 8~10 月份 (约 3 °C 以上), 但直到 1972 年春季, 暖池次表层海温正距平才明显东移扩展到赤道中东太平洋, El Niño 事件也就在 1972 年 5 月爆发。这次 El Niño 事件之前, 暖池次表层的增暖持续了比较长的时间, 从暖池次表层明显增暖到 El Niño 发生约为

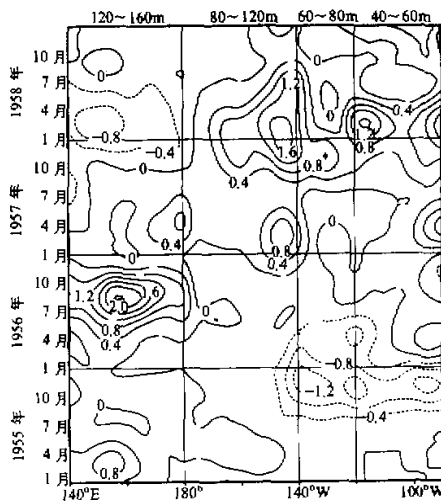


图 4 1955~1958 年期间赤道太平洋次表层海温距平的时间-经度剖面 (等值线间隔为 0.4 °C)

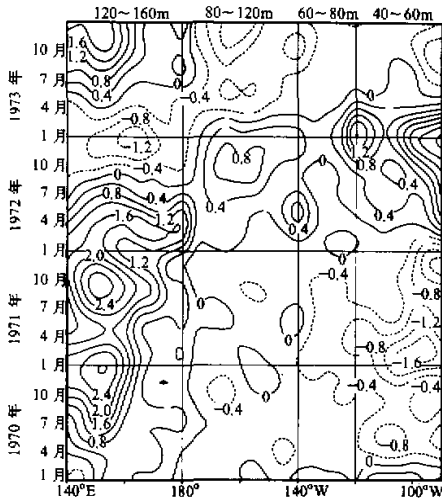


图 5 1970~1973 年期间赤道太平洋次表层
海温距平的时间-经度剖面
(等值线间隔为 0.4 °C)

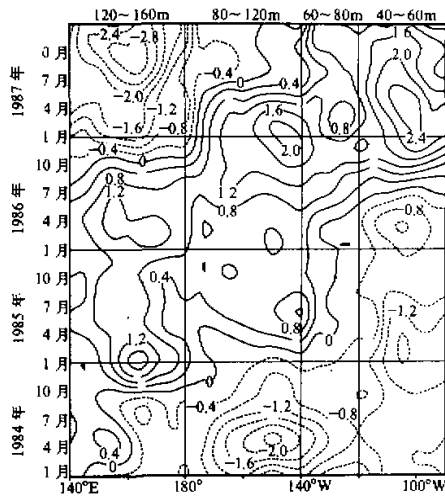


图 6 1984~1987 年期间赤道太平洋次表层
海温距平的时间-经度剖面
(等值线间隔为 0.4 °C)

2 年时间。对于 1986~1987 年 El Niño 事件 (图 6), 西太平洋暖池明显增暖开始于 1984 年 11 月, 但直到 1986 年初夏暖池次表层的海温正距平才明显东移, 7 月才到达赤道东太平洋, El Niño 事件也就在 6~7 月份爆发。这次事件从暖池次表层明显增暖到 El Niño 爆发约为 1 年半时间。十分明显, 无论暖池次表层海温异常持续多久, 一旦次表层海温正距平向东传播到赤道中东太平洋, El Niño 事件便随即发生。

分析海-气耦合模式长时间的数值积分结果 (第 61 年到 100 年), 也得到了同上面资料分析十分一致的结果。数值模拟结果我们将另文讨论。

4 赤道西风异常与暖池次表层海温正距平的东传

前面的分析已清楚地表明, El Niño 与西太平洋暖池次表层的增暖有密切关系, 而且 El Niño 的爆发直接与暖池次表层海温正距平区东传到赤道中东太平洋有关。暖池次表层暖水的持续东传显然有其动力学机制, 我们也会自然想到异常海洋 Kelvin 波的作用, 但异常海洋 Kelvin 波的产生直接与赤道西太平洋的大气西风异常有关。这可能正是为什么一些研究已经指出, El Niño 事件的发生往往伴随着赤道中西太平洋地区的西风异常 (西风爆发) ^[14~16]。因此, 这里我们将分析赤道太平洋西风异常与暖池次表层海温异常东移的关系。

为了比较, 图 7 和图 8 分别给出了对应 1957 年 El Niño 和 1972 年 El Niño 的赤道太平洋 (10°S~10°N) 纬向风异常的时间-经度剖面 (1986~1987 年 El Niño 也有类似情况, 未再给图)。对于 1957 年 El Niño 事件, 赤道西太平洋地区在 1956 年冬开始出

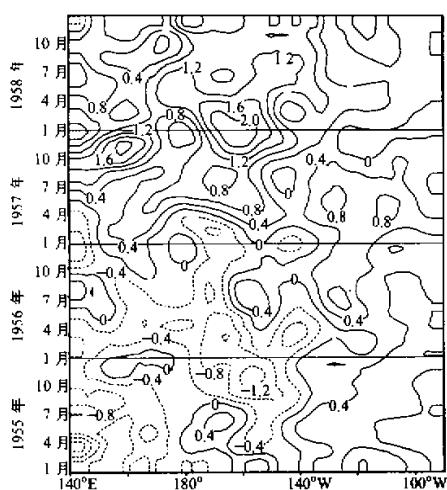


图7 1955~1958年间赤道太平洋(10°S~10°N)地区纬向风异常的时间-经度剖面
(等值线间隔为0.4 m/s)

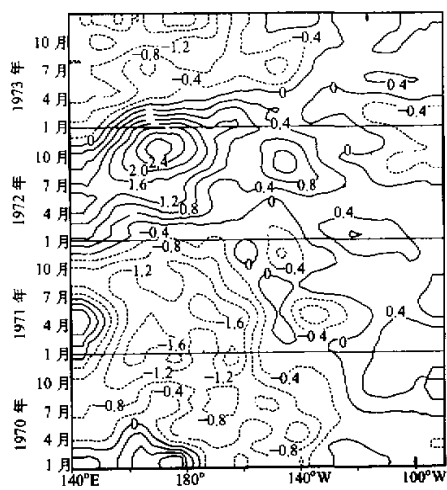


图8 1970~1973年间赤道太平洋(10°S~10°N)地区纬向风异常的时间-经度剖面
(等值线间隔为0.4 m/s)

现西风异常, 1957年1月已达0.4 m/s, 其后西风异常逐渐加强并向东传播; 1957年6月之后, 赤道中东太平洋地区已有1 m/s以上的西风异常。同图4相比较可以看到, 赤道西太平洋地区西风异常的出现及东传正好与暖池次表层海温正距平的东移相一致, 甚至西风异常略早于暖池次表层增暖区的东移。对于1972年El Niño事件也有类似情况, 1971年冬开始在赤道西太平洋出现西风异常, 1972年1月已达0.5 m/s以上, 其后异常西风逐渐加强并向东扩展, 1972年6月以后赤道中东太平洋已有1 m/s以上的西风异常。比较图8和图5也可以发现赤道西太平洋地区西风异常的出现和东扩同样与暖池次表层海温正距平的东移直接有关, 而且前者也略早于后者。

从以上的比较分析, 我们可以初步认为, 赤道西太平洋西风异常与暖池次表层海温正距平的东移有直接的关系, 赤道西风异常的出现和向东扩展可能是引起暖池次表层海温正距平东传的重要原因。当然, 其物理机制可能主要是异常海洋Kelvin波的影响, 也包括平流的作用, 这些都有待深入研究。

5 讨论和结论

(1) 基于观测资料的分析, 本文揭示了西太平洋暖池次表层海温正异常与El Niño爆发之间的重要关系; 在El Niño事件发生的半年到两年之前, 西太平洋暖池次表层海温就有明显的持续正距平出现。这种超前性可能成为预测El Niño发生的重要信号。

(2) El Niño事件的发生与西太平洋暖池次表层海温正异常的东传更有直接的关系。每当次表层海温正距平由暖池区东传到赤道中东太平洋, 增暖区会逐渐向海洋表层

扩展, 最终引起赤道东太平洋 SST 的正异常, El Niño 事件也就爆发。

(3) 暖池次表层海温正距平的东传与赤道西太平洋西风异常的出现和向东扩展直接有关, 而且西风异常的出现和向东扩展略先于暖池次表层海温正距平的东移。因此赤道西太平洋西风异常的出现和东扩, 可能是导致暖池次表层海温正距平东移的重要原因。已有研究表明, 赤道西太平洋西风异常的出现同中纬度强迫, 尤其是同东亚冬季风的强异常有关^[17,18]。这样, 这里又从另一个角度证明了我们很早就指出的东亚冬季风的强异常对 El Niño 事件的发生有重要激发作用^[12,19]。

(4) 本文的资料分析虽指出了 El Niño 事件的发生同西太平洋暖池次表层海温的紧密关系, 并提出西太平洋暖池次表层海温正距平的出现和东传对 El Niño 的发生有重要作用, 以及次表层海温正距平东传的原因可能是赤道西风异常所产生异常海洋 Kelvin 波的活动。但是一个十分重要的问题本文尚未涉及, 那就是暖池次表层海温异常的机制, 这有待进行深入的分析研究和数值模拟。看来, 要完全搞清 El Niño 的发生机制, 很有必要先搞清西太平洋暖池热状况的演变及机理。

参 考 文 献

- 1 Rasmusson, E. M. and Nicholls, N., 1983, Seasonal relationships between Australia rainfall and the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1998~2004.
- 2 Parthasarathy, B. and Pant, G. B., 1985, Seasonal relationship between Indian summer monsoon rainfall and southern oscillation, *J. Climate*, **5**, 369~378.
- 3 Ropelewski, C. F. and Holpert, M. S., 1987, Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño / Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1606~1625.
- 4 李崇银, 1986, El Niño 与西太平洋台风活动, *科学通报*, **31**, 538~542.
- 5 Dong Keqin, 1988, El Niño and tropical cyclone pequerrey in the Australian region and the northwestern Pacific, *Aust. Met. Meg.*, **36**, 219~225.
- 6 李崇银, 1989, El Niño 事件与中国东部气温异常, *热带气象学报*, **5**, 210~219.
- 7 陈烈庭, 1977, 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响, *大气科学*, **1**, 1~12.
- 8 符滨斌、滕星林, 1988, 我国夏季气候异常与埃尔尼诺 / 南方涛动现象的关系, *大气科学 (特刊)*, 133~141.
- 9 李崇银, 1992, 华北地区汛期降水的一个分析研究, *气象学报*, **50**, 41~49.
- 10 李崇银, 1989, 中国东部地区的暖冬与 El Niño, *科学通报*, **34**, 283~286.
- 11 ICSU, WMO and UNESCO, 1995, CLIVAR — A Study of Climate Variability and Predictability, WMO / TD No.690.
- 12 李崇银, 1988, 频繁的强东亚大槽活动与 El Niño 的发生, *中国科学 (B)*, No. 6, 667~674.
- 13 李崇银、穆明权, 1998, 异常东亚季风激发 ENSO 的数值模拟研究, *大气科学*, **22**, 481~490.
- 14 Egger, J., Meyers, G. and Wright, P. B., 1981, Pressure, wind and cloudiness in the tropical Pacific related to the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1139~1149.
- 15 O'Brien, J. J. and Busalacchi, A. J., 1983, The Pacific Ocean response to El Niño condition, WCRP Publications, Series, No. 1, 111~122.
- 16 黄荣辉、傅云飞, 1996, 关于 ENSO 循环动力学研究的若干进展和问题, 灾害性气候的过程及诊断, 北京: 气象出版社, 172~188.
- 17 Chu, P. S., 1998, Extratropical forcing and the burst of equatorial westerlies in the western Pacific — a synoptic study, *J. Meteor. Soc. Japan*, **35**, 997~1011.
- 18 Li Chongyin, 1995, Westerly anomalies over the equatorial western Pacific and Asian winter monsoon, Proceedings of the International Scientific Conference on the TOGA Programme, WCRP-91, WMO / TD No.717, 260~264.

- 19 Li Chongyin, 1996, A further study on interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño, *Acta Meteorologica Sinica*, **10**, 309~320.

El Niño Occurrence and Sub-Surface Ocean Temperature Anomalies in the Pacific Warm Pool

Li Chongyin and Mu Mingquan

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmosphere Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The close relationship of the El Niño occurrence with the positive anomalies of the sub-surface ocean temperature (SOT) in the Pacific warm pool region is studied through the data analyses. It is shown that there are continued positive anomalies of SOT in the warm pool region prior to the occurrence of El Niño event; The outbreak of El Niño event is directly associated to the eastward propagation of positive anomalies of SOT in the warm pool region and expanding to the sea surface in the equatorial eastern Pacific, so that the positive anomalies of SOT in the warm pool region and its eastward propagation are important factors to cause El Niño event. It is also clear that the reason to cause the eastward propagation of anomalous SOT in the warm pool region is the westerly wind anomalies over the equatorial western Pacific and their eastward expansion.

Key words El Niño warm pool ocean temperature anomalies