

# 97 ENSO 事件的发展和预测<sup>\*</sup>

钱维宏 朱亚芬 叶 谦

(北京大学地球物理系, 北京)

戴新刚

(兰州大学大气科学系, 兰州)

## 摘 要

本文通过 1997 年 ENSO 事件发展过程的分析总结出以下的主要特点和预报信息: ( i ) 行星尺度的海气耦合和局地海气耦合同时起作用, 形成了太平洋中部和东部的同时增温; ( ii ) 赤道东太平洋海温异常的时间序列中存在着比较稳定的年际和年代际变化规律, 这一规律较好地预示了 1997 年的 ENSO 事件; ( iii ) 赤道对流层大气纬圈平均距平的西风异常比赤道东太平洋海洋增温早 1 年左右的时间; ( iv ) 引进 Hadley 环流异常改进的 Zebiak-Cane 模式在引入赤道大气对流层纬圈风异常后可成功地预报出 1997 年的 ENSO 事件。

关键词: ENSO 事件, 预测, 信息, 模式。

## 一、引 言

时至 1997 年 7 月, 继 1982~ 83 年强的 ENSO 事件之后又一次很强的 ENSO 事件已经发展起来。这次事件发展迅速, 增温幅度可能会超过近百年来的历史记录。这次 ENSO 事件的发展有哪些显著的特征和前兆? 各种模式预报的结果如何? 本文仅就发展阶段的有关问题作一个简单的分析。

## 二、1997 年赤道太平洋海温增暖的过程

赤道东太平洋在经历了 1991/92 年的 ENSO 事件以及 1993 年末和 1994 年的短期升温后, 1995/96 年赤道东太平洋为负的海温距平, 1997 年 1 月 NINO3 区海温距平仍为  $-0.6^{\circ}\text{C}$ , 3 月份进入正距平, 6 月份达到  $2.1^{\circ}\text{C}$ , 7 月份达到  $2.7^{\circ}\text{C}$ 。到 6 月份就已形成较为典

<sup>\*</sup> 本文由国家“九五”攻关项目“我国短期气候预测系统的研究”96-908-02-05 资助。

<sup>\*\*</sup> 本文于 1997 年 11 月收到。

型的 ENSO 事件模态。根据 70 年代及其以前的 ENSO 事件增温过程, 增温首先开始于赤道东太平洋的南美沿岸, 然后沿赤道向西扩展。人们发现 80 年代和 90 年代初的 ENSO 事件增温过程与 70 年代的有所不同, 增温首先是从赤道中太平洋, 然后沿赤道向东发展 (Wang, 1995)。但是, 1997 年的增温过程在时间上比以往更快, 增温在赤道中太平洋和赤道东太平洋同时出现。图 1 为 1997 年 4 月太平洋洋盆区域的海温距平。从图 1 中看出, 赤道太平洋中部和东部美洲沿岸各有一个主要的增温中心。现在我们已经知道至少存在 3 种尺度的异常海气相互作用, 利用这 3 种海气相互作用可以解释一些基本的现象 (钱维宏和王绍武, 1997)。第一种海气相互作用在大气中包括行星尺度的 Hadley 环流, 它的增温过程是赤道纬圈西风导致沿赤道增温时, 赤道外降温。第二种海气相互作用在大气中包括洋盆尺度的 Walker 环流, 在大气西风的作用下它的增温过程主要是洋盆东部增温, 而西部降温。第三种是局地海气相互作用, 类似 Zebiak-Cane (1987) 模式的情形。所以, 我们认为 70 年代及其以前的 ENSO 事件增温过程主要表现为以第一、二种增温为主, 即在太平洋区域当赤道中东太平洋增温时西北太平洋和西南太平洋降温。与 70 年代不同, 80 年代的增温第三种海气相互作用占有很大的比重。1997 年的增温过程中同时包含了上述三种海气相互作用, 所以增温过程异常的迅速。图 2 是太平洋区域 1997 年 7 月份的月海温距平。从图 2 中可见, 典型的 ENSO 海温分布形式已经出现。赤道中东太平洋出现了大于  $1^{\circ}\text{C}$  的增温区, 西北太平洋和西南太平洋为降温区, 其中西北太平洋负海温距平中心达到  $-2^{\circ}\text{C}$ 。

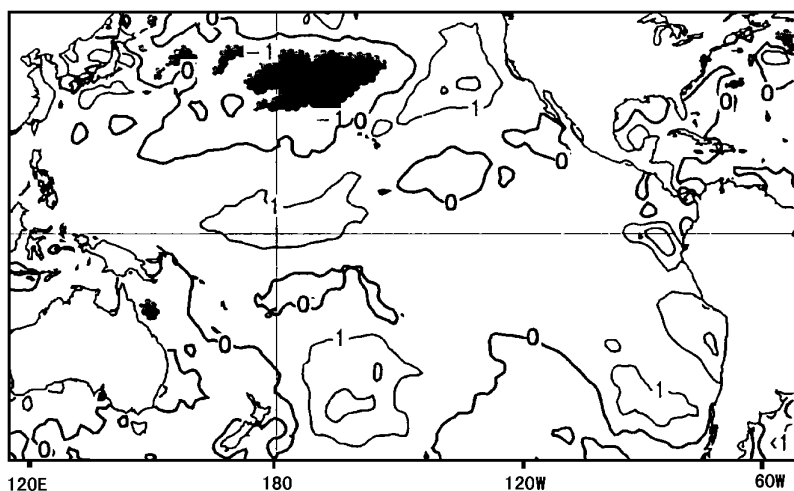


图 1 1997 年 4 月太平洋洋盆区域的海温距平 ( $^{\circ}\text{C}$ )

在上述赤道东太平洋海洋增温的形势下, 全球气候发生了显著的变化。赤道南美沿岸和印度及中国南方降水为正的距平, 欧洲部分地区降水也为正的距平。这一多降水的形势可以用图 3 加以说明。图 3 为 1979~1995 年赤道东太平洋 NINO3 区海温月距平序列与同期全球上层大气水汽亮温 (12 通道卫星辐射资料) 距平计算的相关。大气中水汽偏多时水汽亮温数值就偏小。从图 3 中可以看出, 当赤道东太平洋海温升高 (正距平) 时南美赤道区

域、印度和中国江南地区大气中水汽含量偏多。今年出现的南美、印度降水偏多与 5~ 6 月份赤道东太平洋海温升高之间的联系能从图 3 中得到解释。

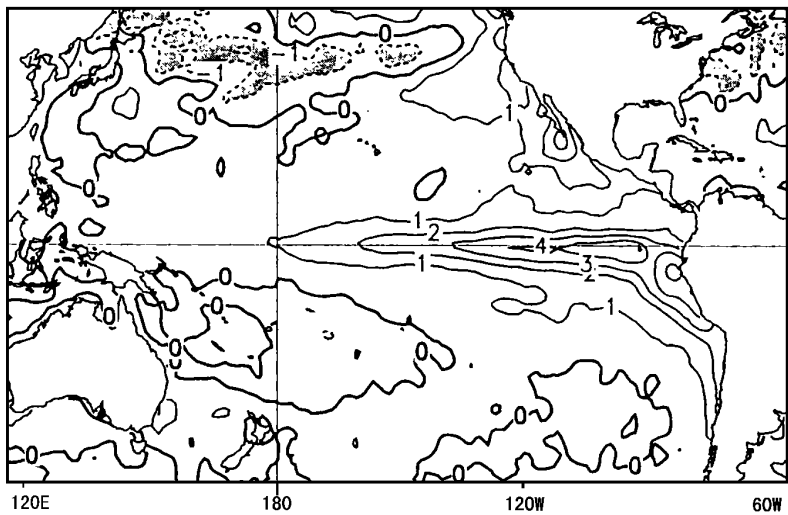


图 2 1997 年 7 月太平洋洋盆区域的海温距平( °C)

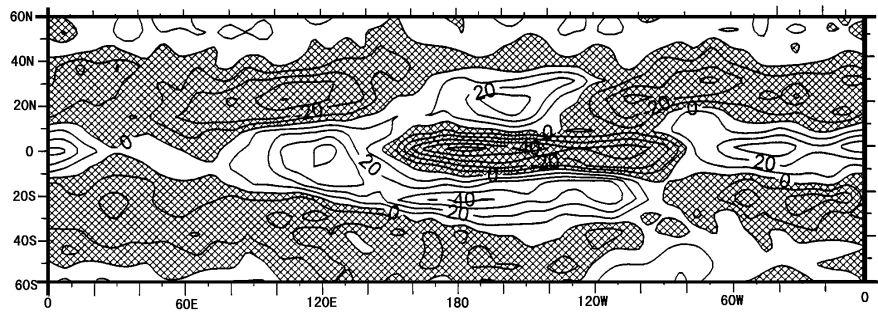


图 3 1979~ 1995 年赤道东太平洋 NINO3 区海温异常与  
全球大气上层水汽亮温距平计算的相关(  $\times 0.01$  )

三、前期征兆

如第二节已指出的, 早在 70 年代人们总结出了 ENSO 形成的海洋学模型和气象学模型, 其海温异常变化的显著特征是海温先从赤道东太平洋的南美沿岸开始升高, 然后沿赤道向西发展。然而进入 80 年代后, 1982/ 83 年的 ENSO 事件打破了这一传统的海洋增温形式, 增温开始于赤道中太平洋并向东扩展。1982/ 83 年的 ENSO、1986/ 87 年的 ENSO 和 1991/ 92 年的 ENSO 事件, 差不多 4 年左右出现一次。80 年代, Zebiak 和 Cane( ZC 模式, 1987) 发展了一个热带太平洋简单海气耦合的模式。这一模式在标准参数下的海温异常频

率也大约为 4~5 年。在此参数下该模式成功地提前 1 年预报出了 1986/87 年的 El Niño 事件(Cane and Zebiak, 1986)以及 1991/92 年的海温增暖。然而,1992 年以来,赤道东太平洋海温异常的频率加快了,1993 年和 1994 年分别出现了两次短的增温事件,这使得很多动力学模式和统计模式提前 6 个月的预报与观测在位相上也是相反的。那么,在赤道东太平洋的海温异常变化序列中到底包含着哪些信息,依这些信息能否作出未来海温异常的预报?这里,我们给出两种可以用作 ENSO 预报的信息。一是子波变换得到的赤道东太平洋海温异常中所包含的 ENSO 事件发生的信息,二是赤道大气对流层西风距平预报 ENSO 事件发生的信息。

1950 年 1 月至 1996 年 12 月 NINO3 区海温异常时间序列如图 4(a) 所示,海温正、负异常的出现是没有规则的,依此曲线很难简单地作出未来海温异常发展的预报。然而,近年发展起来的子波变换方法已开始应用在气候时间序列的信号检测中。子波变换作为时间和频率的函数,它使我们得到信号周期随时间演化的过程。它的基本原理是将信号投影到一组基本函数族上,而这些函数通过一个简单的基本函数的平移和伸缩而得到。这函数称为分析子波。我们选用墨西哥帽型(Mexican Hat)分析子波来检测 NINO3 区海温序列中所包含的信息。对 NINO3 区 1950 年以来的月海温距平时间序列选伸缩标度参数从 1 到 180 个月作子波变换,计算的子波系数如图 4(b) 所示。从图 4(b) 中看出,在伸缩标度 60 个月(5 年)时间尺度的附近海温变化的信号最强(振幅最大),这种尺度的海温异常称为年际变化。另外存在着大于 120 个月的年代际变化和 2~3 年的海温异常变化。在年代际时间尺度上,1977 年以前海温为负的距平,1977 年后海温出现了正的距平。前后两个时段的平均正负距平差达到 0.4~0.5℃。这就是海洋年代际基本态的变化。在年际时间尺度上,海温异常变化的时间间隔较有规则。从大的振幅变化上看,1955 年和 1975 年为两次强的反 El Niño 事件,这种规则到 1995 年仍能反映出负的海温距平。在年际时间尺度上,1995 年转冷,1996 年为冷年,1997 年为由冷向暖的转换年。依此预测 1997 年底到 1998 年会出现一次明显的 El Niño 事件。至此,我们能够从 NINO3 区海温异常的时间序列中看出 1997 年 ENSO 事件的征兆。

无论是早已提出的 ENSO 发展海洋学模型,还是气象学模型,以及各种指标,其目的都是在寻找能提前预报 ENSO 发展的信息。但很多的预报信息或指标很难超过 6 个月,而赤道对流层纬圈西风角动量距平变化的位相要比 ENSO 事件的发展早 1~2 年(Qian and Chou, 1996)。众所周知,对赤道对流层大气西风作纬圈平均后的距平就能将洋盆尺度的 Walker 环流和局地环流滤去,从而保留行星尺度的西风异常。利用美国 NOAA 月平均的再分析资料,我们对 1980 年 1 月~1996 年 10 月赤道纬圈 100hPa 以下的 12 层大气西风分量作了质量权重的时空平均和距平计算。图 4 中粗虚线是对这一西风所作的 9 个月的滑动平均,粗实线是赤道东太平洋 NINO3 区的海温距平。比较图 5 中的赤道纬圈西风距平与 NINO3 区海温异常的关系就会发现,当赤道纬圈对流层大气西风距平转东风距平时的时候 NINO3 区海温达到最大值,而当东风距平转西风距平的时候 NINO3 区海温达到最低值。可见,赤道对流层纬圈大气的西风距平位相超前赤道东太平洋海温的异常 1/2 位相。几个主要的西风转东风的时间在 1982 年底、1987 年初、1990 年初,1992 年的西风也下降到零。

这几个时间都对应着海温正距平的最大时刻。我们注意到每一个主要的西风峰值之后都对应要出现一次增温过程。1996 年 4 月份赤道纬圈西风距平已是正的距平, 在 7~ 8 月份达到 1. 5m/ s。一般来说, 在未来一年左右的时间内赤道东太平洋将会出现明显的增温过程。1997 年的增温正是出现在明显的赤道西风后 8~ 10 个月内。

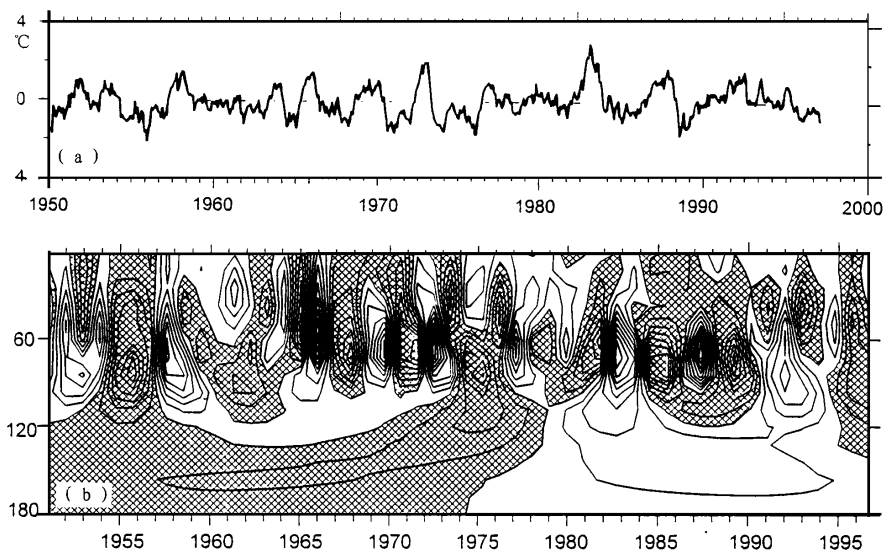
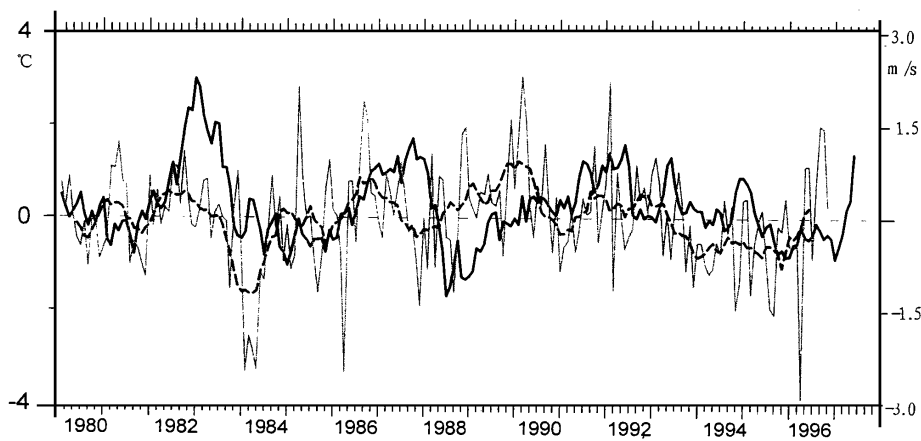


图4 (a) 1950 年 1 月~ 1996 年 12 月的 NINO3 区海温异常时间序列(℃)  
和(b)伸缩标度参数从 1 到 180 个月作子波变换计算的子波系数  
(等值线单位为 1℃, 有影区为负的海温距平)



5 1980 年 1 月~ 1996 年 10 月的 NINOC 区海温异常时间序列(粗实线:℃)  
和赤道对流层大气纬圈西风距平(细实线) 及其 9 点滑动平均(粗虚线:℃)

# 四、各种模式的预报结果

这里主要给出 1997 年 6 月公布在美国试验性长期预报公报(FB, 1997)上的几个动力学模式和统计与动力混合的模式对 1997 年增温的预报, 以及我们改进 ZC 模式的试验预报结果。

(1) 德国马普(Max Planck)研究所的混合海气耦合模式。这一模式的海洋部分是赤道太平洋 13 层的有限区域动力学模式, 大气依赖于海洋模式的输出统计(MOS), 即大气是统计的。模式的第 3 版本预报增温会从 1997 年下半年持续到 1998 年初。

(2) ZC 模式和改进模式的预报。这是一个赤道太平洋有限区域海气耦合的模式, 大气仅仅一层。ZC 模式无论是 3 个月的、6 个月的, 还是 9 个月的预报, 自 1996 年底以来到 1998 年都是负的。由 Chen 等(1995)所作的改进 ZC 模式的预报, 自发布预报以来到 1998 年的预报全是负距平。

(3) 引进 Hadley 环流异常改进的 ZC 模式。考虑 ZC 模式是一个一层大气与海洋耦合的模式, 我们已对 ZC 模式作了引进行星尺度 Hadley 环流异常的改进。改进的模式不但能提前 9 个月预报 70~ 80 年代的赤道东太平洋海温变化, 而且也较成功地预报了 90 年代以

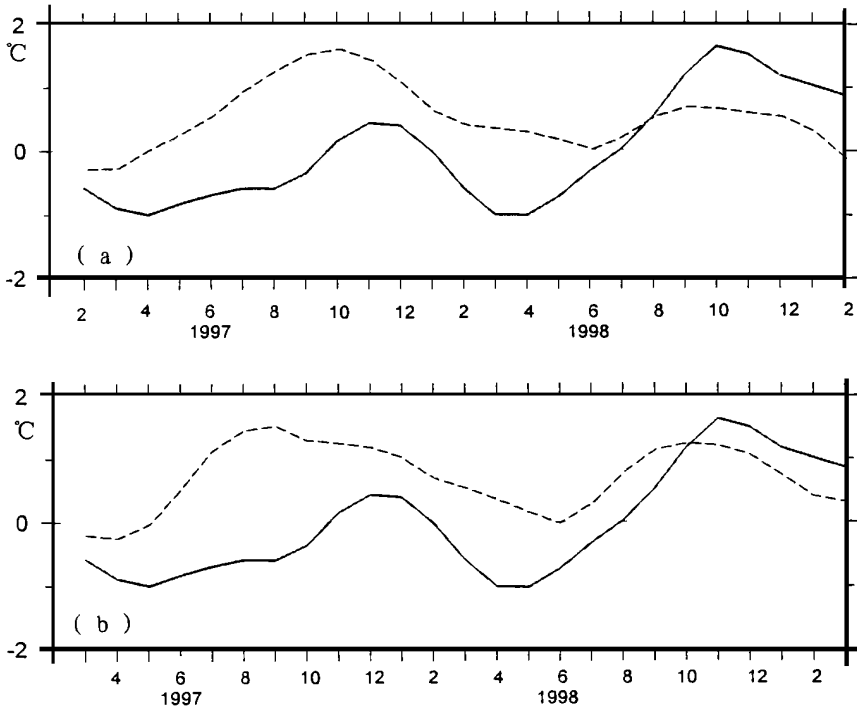


图 6 1997 年 1 月(a)和 1997 年 2 月(b)仅海温距平(实线)和加入初始西风距平(虚线)为初始场预报的 NINOC 区 1997~ 1998 年海温异常(°C)

来的增温过程。图 6(a) 和(b) 分别是以 1997 年 1 月和 2 月作为初始场用改进的模式作的 1997/98 年的 NINOC 区海温距平预报。所不同的是图 6 中实线是没有初始大气西风距平的预报, 而虚线是根据图 5 中赤道西风距平  $0.4\text{ m/s}$  引入模式作初始场预报的 NINOC 区海温异常。不加初始西风从两个不同月的初始海温出发预报的结果基本相同, 1997 年 8~9 月份以前都是负的海温距平。加入初始西风后从 1997 年 4~5 月份海温就进入了正的距平, 预报 1997 年的 9~10 月份海温正距平为最大值时段, 即 ENSO 的成熟时期。

(4) NCEP 模式的预报。Ji 等在美国国家环境预报中心(NCEP) 发展了一个复杂的海气耦合模式, 模式的大气部分是 NCEP 的中期预报模式, 海洋部分是美国 GFDL 的太平洋洋盆模式。1993 年他们用第 6 版本(CMP6) 发布预报, 1995 年模式改进成新版本 CMP9 和 CMP10, 但这两个新版本预报 1993 和 1994 年的短期增温与实况并不一致。最近的版本 CMP12 较好的预报出了 1997 年的增温过程, 并且预报增温会持续到 1997/98 年的冬季。

(5) 其它的动力学模式预报。关于 1997 年增温的预报还有以下的动力学耦合模式: Kirtman 等的耦合 GCM, 预报 1997 年夏海温增暖, 1997~98 年冬季出现强的异常; Kleeman 的一个低阶耦合模式预报 1997 年有一次明显的增温过程; Balmaseda 等的一个混合模式经过初始场的改进后最近的预报指出 1997 年海温将逐渐升高。

## 五、结 论

通过分析我们注意到 1997 年 ENSO 事件发展的过程中有以下几个主要的特点和预报信息:

(1) 行星尺度的海气耦合和局地海气耦合同时起作用, 所以形成了与以往有所不同的太平洋中部增温和东部增温的同时出现, 结果增温速度特别快。

(2) 尽管 70 年代、80 年代以及这次过程的增温形式不同, 但发现在赤道东太平洋海温异常的时间序列中存在着比较稳定的年际和年代际变化规律, 这一规律较好的预示了 1997 年的 ENSO 事件。

(3) 用赤道对流层大气纬圈平均距平的西风异常预报赤道东太平洋海温变化, 不但物理意义明确, 而且能提前 1 年左右的时间预报 ENSO 事件的发生。1996 年的西风异常就比 1997 年的 ENSO 事件早 7~8 个月。建议这一关系应该每月计算并发布在气候预测公报上。

(4) 除了 ZC 模式和 Chen 等改进的 ZC 模式外, 其它的动力学模式都较成功的预报了 1997 年的 ENSO 事件。无论成功的预报, 还是与实况不一致的预报, 还都需要进行 ENSO 形成机制和模式本身动力学的分析。

## 参 考 文 献

- [1] Wan, B., Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades, *J. Climate*, 8, 267~285, 1995.
- [2] 钱维宏、王绍武, 多尺度海气相互作用与 Zebiak-Cane 模式的改进, *中国科学, D 辑*, 27, 1997.

- 
- [3] Zebiak, S. E. , Cane, M. A. , A model El Niño-Southern Oscillation, Mon. Wea. Rev. 115, 2262~ 2278, 1987.
  - [4] Cane, M. A. , Zebiak, S. E. , Dolan, S. C. , Experimental forecasts of El Niño, Nature, 321, 827~ 832, 1986.
  - [5] Qian Weihong and Chou Jifan, Atmosphere-earth angular momentum exchange and ENSO cycle, Science in China ( Series D) , 39, 219~ 224, 1996.
  - [6] Chen, D. Zebiak, S. E. , et al. , An improved procedure for El Niño forecasting: implications for predictability, Science, 269, 1699~ 1702, 1995.
  - [7] NOAA, Experimental Long-lead Forecast bulletin, June, 6(2) , 1~ 23, 1997.



## DEVELOPMENT AND PREDICTION OF ENSO EVENT OCCURRED IN 1997

Qian Weihong      Zhu Yafen      Ye Qian

*(Department of Geophysics, Beijing University, Beijing)*

Dai Xinggang

*(Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou)*

### Abstract

There were some major characteristics and forecasting signals during the development process of ENSO event occurred in 1997 as follows: ( i ) the equatorial central-eastern Pacific warming in 1997 was due to the results of both the planetary and local atmosphere-ocean interactions; ( ii ) there existed obviously interannual and interdecadal variations in the time series of the equatorial eastern Pacific sea surface temperature (SST) anomaly and the interannual variation could well be used to predict the ENSO event occurred in 1997; ( iii ) the signal of mean westerly wind anomaly in the equatorial zonal troposphere was earlier than that of the equatorial eastern Pacific SST anomaly in 1-year advance; ( iv ) the improved Zebiak-Cane model by introducing anomalous Hadley circulation could also predict the ENSO event occurred in 1997 when the zonal wind anomaly was taken in the model.

**Key words:** ENSO event, Prediction, Signal, Model.