

# IAP ENSO 预测系统预报技巧的时间依赖性 及对 1999 年 La Niña 事件的预测\*

周广庆 曾庆存

(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** 利用 IAP ENSO 预测系统对 1981 年 11 月至 1997 年 12 月系统性回报实验的结果, 分析了预报技巧的时间依赖性。结果表明: 该预测系统对 80 年代的 ENSO 具有较强的预报能力, 在 Nino 3 区接近 0.8 的预报相关技巧(预报与观测的相关系数)可达 1 年半左右, 而对 90 年代的 ENSO 现象, 预报技巧则较低, 超前半年以上的预报仅在 0.4 左右; 预报技巧具有季节依赖性, 从春季到秋初开始的预报较好, 高于 0.5 的技巧均可维持 15 个月以上, 其中从 7 月到 9 月开始的预报, 其高于 0.6 的相关技巧可达 16 个月; 而从秋末和冬季开始的预报, 其技巧衰减较快, 预报 5 个月后退到了 0.5 以下。对 1999 年 La Niña 事件的实时预测总体上是成功的, 即此次 La Niña 事件将维持到 2000 年; 但未能预测出其在 1999 年春季以后再次加强的过程。对其未来变化趋势的预测显示, 此次 La Niña 事件有可能于今年夏秋季结束。

**关键词:** ENSO; 预测; 时间依赖性

## 1 引言

自 1997 年, ENSO 循环进入了一个新周期。1997 年春季爆发了有纪录以来最强的一次 El Niño 事件, 1998 年的春夏之交, 此次强 El Niño 结束, 并转为 La Niña。这次 La Niña 事件维持了很长时间。目前, 赤道中东太平洋海表温度(SST)仍为负距平。ENSO 可以引起全球大范围气候异常, 对中国也不例外, 尤其对中国东南地区(包括江淮流域和华南地区)影响较为显著<sup>[1~8]</sup>。1998 年发生在长江流域和东北地区的特大洪涝灾害即与 1997/1998 年的强 El Niño 有关<sup>[9]</sup>。因此, 正确预测 ENSO 的演变对提高中国夏季旱涝趋势预测水平有着重要意义。

1997 年, 中国科学院大气物理研究所利用其自行设计研制的热带太平洋和全球大气耦合环流模式(IAP TP-CGCM)<sup>[10,11]</sup>, 设计了一个气候异常初始化方案, 建立了基于复杂海-气耦合模式的 ENSO 预测系统<sup>[12]</sup>。自 1998 年起, 利用该预测系统开展了不定期的试验性 ENSO 实时预测, 并分别于 1998、1999 年 3 月份将预测的未来几个月热带太平洋海表温度距平提供给 IAP 短期气候预测系统(IAP PSSCA)使用, 均取得了良好的效果<sup>[13,14]</sup>。

为了进一步考察该 ENSO 预测系统的预报能力, 本文利用 16 年系统性回报

(hindcast) 实验的结果, 进一步分析了该预测系统预报技巧对时间的依赖性, 并对 1999 年所做的几次实时预测进行了总结。在此基础上, 给出了对未来几个月海温演变的预报意见。

## 2 ENSO 预测系统简介

ENSO 预测系统所用动力学模式是 IAP 热带太平洋和全球大气耦合环流模式。模式的大气部分是 IAP 两层大气环流模式<sup>[15]</sup>; 海洋部分是 IAP 自由表面热带太平洋环流模式, 模式范围为  $30^{\circ}\text{S} \sim 30^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{E} \sim 70^{\circ}\text{W}$ , 它具有较高的分辨率(水平分辨率为  $1^{\circ} \times 2^{\circ}$ , 垂直分为 14 层, 240 m 以上有 9 层)<sup>[16]</sup>。大量数值模拟研究表明, 不论大气模式还是海洋模式对气候平均状态及其年际变化都具有很好的模拟能力<sup>[17,18]</sup>。

为了把两个模式耦合起来, 针对 IAP 模式的特点, 设计了基于“线性统计修正”技术的同步耦合方案(即在热带太平洋区域, 大气和海洋每天相互交换一次通量)。耦合方案最主要的特点是采用了海表强迫量年平均意义上的修正, 在控制“气候漂移”的前提下, 尽可能地保留了模式本身的行为特征, 同时对海表热通量计算方案也做了相应的调整, 使之更符合海气耦合反馈过程。IAP TP-CGCM 100 年的数值积分表明, 耦合模式不仅正确模拟出了大气和海洋环流的气候平均状态和季节循环过程, 而且对 ENSO 振荡特征的模拟也十分成功<sup>[10,11]</sup>。

在此基础上, 为获取有效的预测初值, 设计了适合于该耦合模式的气候异常初始化方案, 即用实测的海表温度异常叠加在耦合模式模拟的具有季节变化的气候海表温度上, 用所得的合成海表温度连续强迫耦合模式而得到所需的预报初值。这样所得到的初始场既包含了预报所需要的实际气候异常状态, 又使其具有耦合模式的平均气候态, 保证了预报初值与模式之间的协调平衡, 减小了由于这种不协调所造成的对预报的冲击(shock)。对从 1981 年 11 月至 1997 年 12 月连续初始化结果的分析表明, Nino 3 区( $150^{\circ}\text{W} \sim 90^{\circ}\text{W}$ ,  $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ ) 初始化模拟的海表温度异常与实测的相关达到了 0.91, 这说明所设计的方案是有效可行的<sup>[12]</sup>。

利用上述初始化结果, 进行了从 1981 年 11 月至 1997 年 12 月的系统性回报实验以检验模式的预报能力。分析表明, 该耦合模式对赤道中东太平洋海温具有较强的预报能力, 尤其对一年以上时效的预报, 系统表现平稳, 其总体预报相关技巧(预报与观测的相关系数)高于 0.5 的预报可维持 18 个月(在第 18 个月时为 0.52)(图 1)。该系统完全可用于试验性的 ENSO 实时预测<sup>[12]</sup>。

## 3 预测技巧的进一步分析

目前, 国际上 ENSO 预测研究表明, 耦合动力学模式总体上已具有相当的预报技巧, 但预报技巧具有明显的时间依赖性。对于不同的时期, 模式的预报技巧不同, 一般来讲对 80 年代发生的 ENSO 现象, 模式都具有较高的预报能力, 而对 90 年代尤其是 90 年代前半期的几次 ENSO 现象, 模式的预报技巧都较低<sup>[19,20]</sup>。IAP ENSO 预测系统也存在这样的问题。对 80 年代的海温异常的预测, 其高于 0.6 的相关技巧可维持 22 个

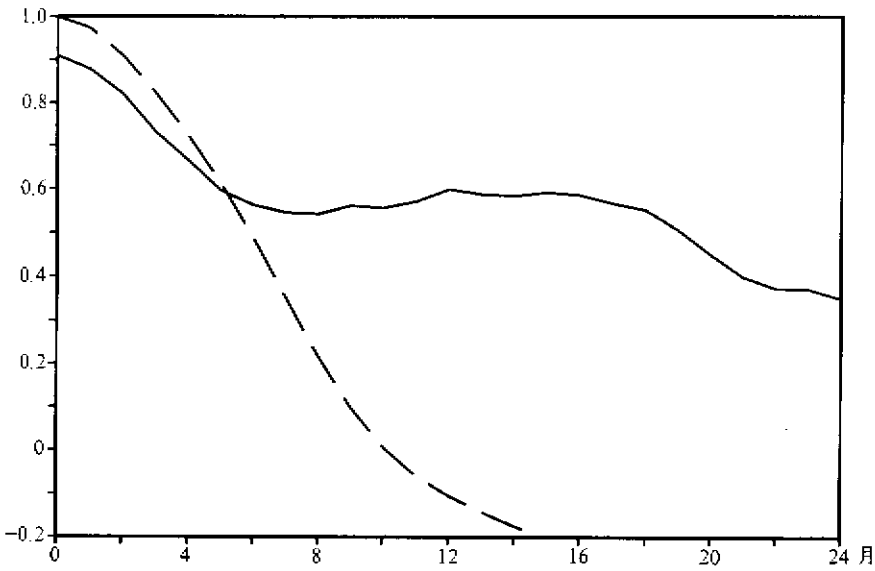


图 1 Nino 3 区 SSTA 预报相关技巧  
横坐标为预报时效 (月), 纵坐标为相关系数。实线为模式预报结果, 虚线为持续性外推结果

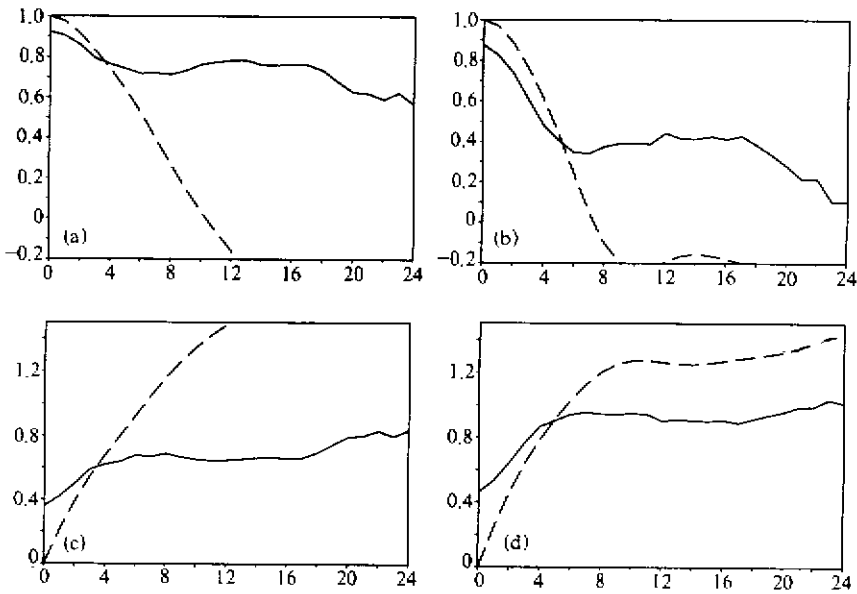


图 2 不同年代 Nino 3 区 SSTA 预报相关技巧 (a、b) 和均方根误差 (c、d)  
(a)、(c) 为 1982~1989 年结果; (b)、(d) 为 1990~1997 年结果  
横坐标为预报时效 (月), 纵坐标为相关系数或误差 ( $^{\circ}\text{C}$ )  
实线为模式预报结果, 虚线为持续性外推结果

月, 接近 0.8 的技巧可达 1 年半左右 (图 2a); 对 90 年代的 ENSO, 预报技巧在半年后就降为 0.4 左右 (图 2b), 如果分析样本中加入 1998、1999 年的预测, 则技巧可提高至 0.5 左右 (图略)。预报误差具有同样的特点, 对于 80 年代的 ENSO, 超前 18 个

月的均方根误差低于  $0.7^{\circ}\text{C}$  (图 2c), 而对 90 年代的 ENSO, 均方根误差在  $0.9^{\circ}\text{C}$  左右 (图 2d)。这些问题一方面与模式初始化方案有关, 另一方面与这期间 ENSO 本身的演变特征也不无关系。从 1991 年到 1994 年连续发生几次 El Niño 事件 (1991、1993、1994), 每次事件的强度不大, 但这一时期赤道中东太平洋海温距平大部分时间是正值, 这与以往的和 90 年代后期 (1997~1999) 的 ENSO 循环有所不同, 是一个 ENSO 不规则期。有研究表明中高纬的年代际变化可能对其有调制作用<sup>[19]</sup>。目前, 国际上对 90 年代前半期的 ENSO 预测还有很多问题, 基本不成功, 因此还需要从 ENSO 本身机制方面入手进行更深入的研究。

ENSO 预报的另一个特点是预报技巧对季节的依赖, 即从不同季节开始的预报, 其技巧不同<sup>[21]</sup>。为了更深入地认识 IAP ENSO 预测系统预报能力, 利用上述回报实验结果, 我们又进一步分析了从不同月份开始预报的技巧。图 3a 是 Nino 3 区预报相关技巧随预报时效和初值时间的分布, 图 3b 为相应的持续性结果。从图中可以看到 IAP ENSO 预测系统亦具有较强的季节依赖性, 表现为从秋末和冬季开始的预报, 其技巧衰减较快, 预报 5 个月后就降到了 0.5 以下, 与持续性相当, 在预报 1 年以后又有所回升, 并高于持续性结果; 而从春季到秋初开始的预报则较好, 高于 0.5 的技巧均可维持 15 个月以上。除预报头几个月 (3~4 个月) 低于持续性结果, 之后均远远高于持续性结果, 其中从 7 月到 9 月开始的预报, 其高于 0.6 的相关技巧可达 16 个月。这里需要着重指出的是, 从 3 月份开始的预报, 其预报技巧在 3 个月后就超过了持续性, 而且技巧高于 0.6 的预报可达 8 个月。因为每年 3 月份都要进行当年夏季旱涝趋势预测, 海温是一个主要的预测因子, 因此, 初始时间为 3 月份的海温异常预测具有重要的现实意义。根据上述分析, IAP ENSO 预测系统提供的预测海温是完全具有实用价值的。

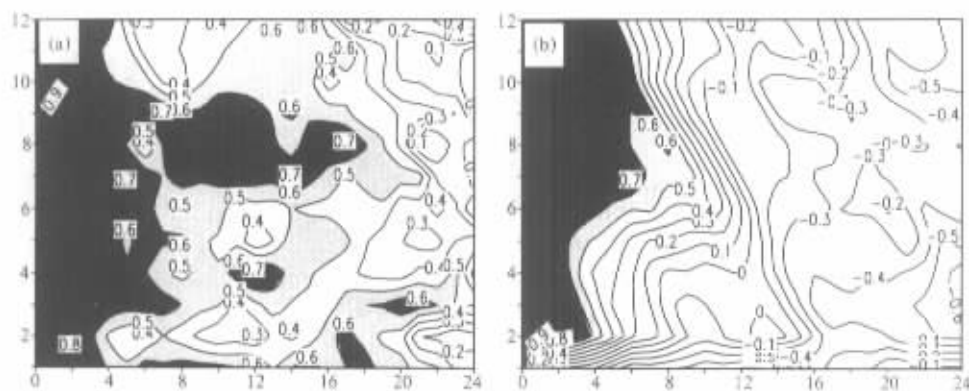


图 3 Nino 3 区 SSTa 预报相关技巧随预报时效和初值时间的分布

(a) 模式预报结果; (b) 持续性外推结果

横坐标为预报时效 (月), 纵坐标为初值时间 (月份)

## 4 1999 年预测回顾及未来趋势预测

自 1998 年夏季起, 赤道中东太平洋就一直为负海温距平所控制, 到目前为止已近

两年。对这次 La Niña 事件, 我们利用 IAP ENSO 预测系统做了几次实时预测试验, 总的来讲, 预测是成功的, 但也有不足的地方。图 4a 是 1999 年 3 月预测的 Nino 3 区海温异常, 初值分别为 1998 年的 10、11、12 月和 1999 年 1、2、3 月的 1 日。根据这个预测, 赤道东太平洋海温在 1999 年全年都将为负距平, 但负距平将逐渐减弱并有可能于 2000 年春季转为弱的正距平。图 4b 为 1999 年 10 月做的预测, 初值分别为 1999

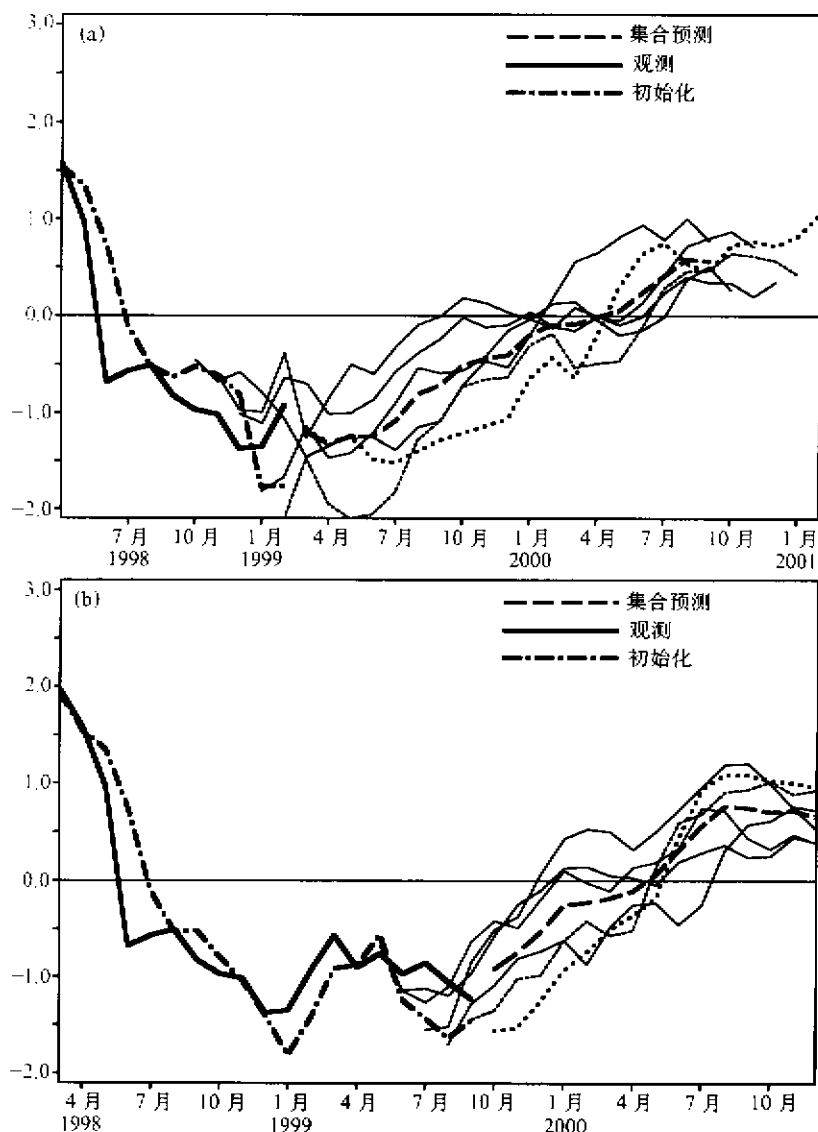


图 4 1999 年 IAP ENSO 预测系统预测的 Nino 3 区海温异常演变

(a) 初值分别为 1998 年 10、11、12 月和 1999 年 1、2、3 月的预测及集合预测; (b) 初值分别为 1999 年 5、6、7、8、9、10 月的预测及集合预测

年 5、6、7、8、9、10 月的 1 日。从这次预测看到,海温负距平要维持到 2000 年的春季结束并在夏季转为弱的正距平,与 1999 年春季所做的预测是一致的。对比实际情况,海温负距平要维持到 2000 年的春季这一总体趋势的预测是正确的,但在演变的细节上存在明显的不足,即预测的负海温距平将逐渐衰减,而实际情况是负海温距平在 1999 年初确有减弱趋势,但在 3 月份后又重新加强直至 1999 年 12 月份, IAP ENSO 预测系统对这一重新加强的过程没能预报出来。

对于今后海温异常的演变,我们于 2000 年 3 月份又进行了实时预测。图 5 为预报的 Nino 3 区海表温度距平随时间的变化。图 6 为预测的海表温度异常的分布。根据这个预测结果,这次 La Niña 事件将在 2000 年夏初结束,并转为正海温距平。这个预测结果与美国国家环境预测中心 (NCEP) 耦合模式 (CMP) 预测结果是一致的 (图略)。目前监测结果表明:赤道中东太平洋仍为较强的海温负距平,其上的大气为东风异常,在西太平洋还未出现明显的西风异常;但 NCEP 海洋同化分析显示,聚集在西太平洋的暖水(次表层海温异常)已开始缓慢东移至日界线附近(图略)。同时,其他预测系统(统计的和动力的)的预测也显示此次 La Niña 将逐渐减弱。综合以上预测结果,我们预计此次 La Niña 事件有可能在 2000 年夏秋季结束,并在接下来的几个月进入一个正常期或弱的暖期。

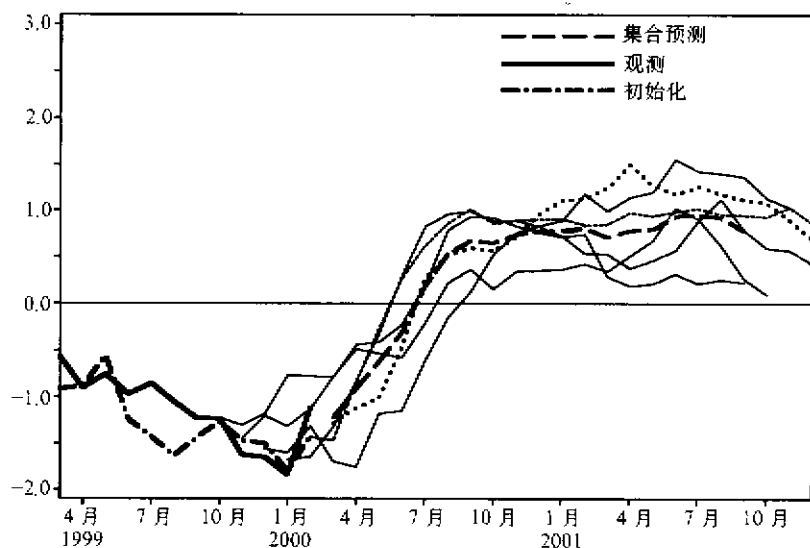


图 5 IAP ENSO 预测系统预测的 Nino 3 区海温异常未来演变  
初值分别为 1999 年 10、11、12 月和 2000 年 1、2、3 月

## 5 总结

本文对 IAP ENSO 预测系统 16 年 (1981 年 11 月至 1997 年 12 月) 回报实验结果进行了分析,并对 1999 年的实时预测结果进行了总结,结论如下:

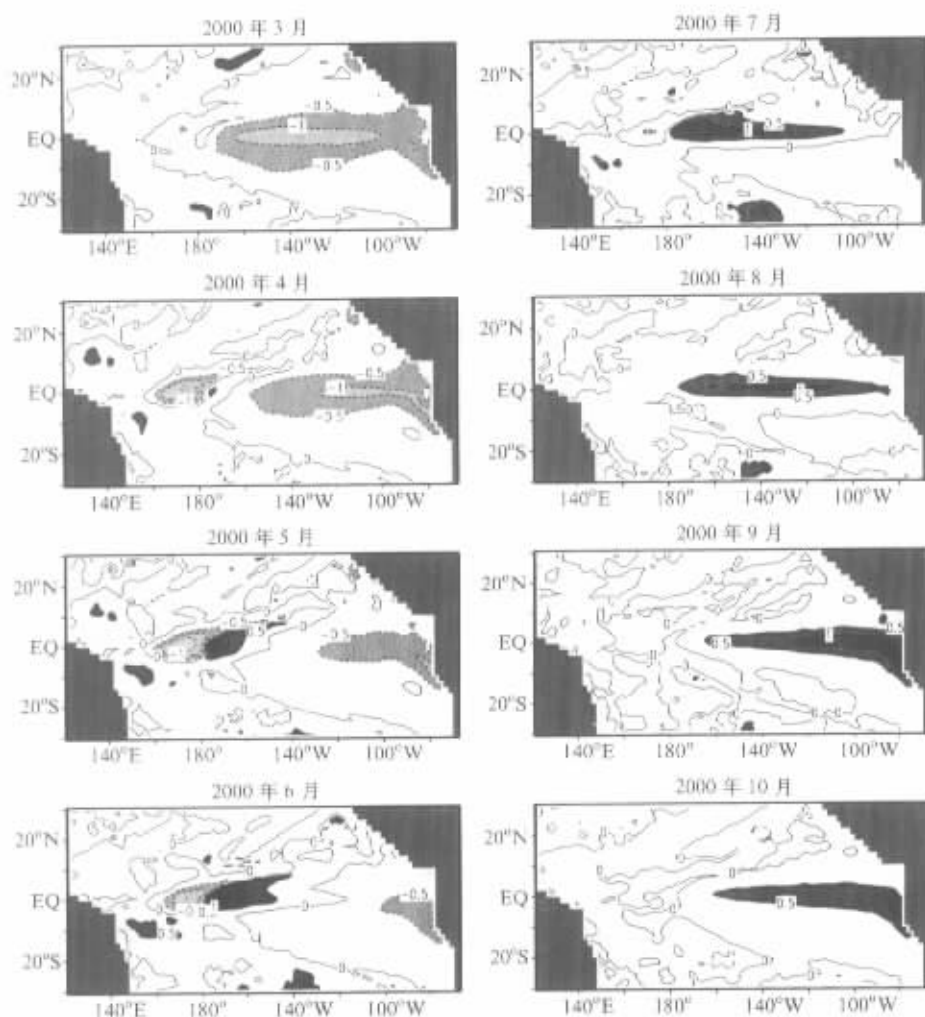


图6 预测的海表温度异常的分布

(1) IAP ENSO 预测系统的预报技巧具有时间依赖性。对 80 年代发生的 ENSO 现象具有较强的预测能力, 其 Nino 3 区高于 0.6 的相关技巧可维持 22 个月, 接近 0.8 的技巧可达 1 年半左右; 而对 90 年代的 ENSO 现象, 特别是 1990~1994 年时段, 系统的预报技巧则较低, 超前半年以上的预报仅在 0.4 左右。

(2) 预报技巧具有季节依赖性。从春季到秋初开始的预报较好, 高于 0.5 的技巧均可维持 15 个月以上, 其中从 7 月到 9 月开始的预报, 其高于 0.6 的相关技巧可达 16 个月; 而从秋末和冬季开始的预报, 其技巧衰减较快, 预报 5 个月后降到了 0.5 以下。

(3) 从 3 月份开始的预报, 其预报技巧在 3 个月后就超过了持续性, 而且技巧高于 0.6 的预报可达 8 个月, 这对中国夏季旱涝趋势预测有着重要现实意义。

(4) 对 1999 年 La Niña 的预测总体上是成功的。即此次 La Niña 事件将维持到

2000 年。但对其演变细节的预测存在明显不足,未能预测出其再次加强。

在此基础上,我们给出了这次 ENSO 循环未来演变的实时预测意见,即此次 La Niña 事件有可能在 2000 年夏秋季结束,并在接下来的几个月进入一个正常期或弱的暖期。

通过本文和以前的分析,一方面 IAP ENSO 预测系统总体上具有较好的预报技巧,可用于实际的预测试验研究,另一方面该系统的预测能力也具有较强的时间依赖性。后者可能有两个方面的原因:一是耦合模式的问题,ENSO 演变是非常复杂的,它具有十年际尺度的长期特征(受到中高纬变化的影响),同时它又与亚洲季风和大气低频振荡等相互作用,并且具有明显的准规则性,而目前的海气耦合模式还很难把这些现象全部很好地描述出来;另一原因是预报初始化问题,如何尽可能多地引进有价值的实际观测信息而又保持与模式的协调平衡,这仍是一个需要深入研究的问题。目前 IAP ENSO 预测系统的初始化方案还是一个简单的方案,虽然考虑了初值与模式的协调性,但所用的变量只有海表温度,海洋次表层和大气内部变化都是通过模式产生的,这显然是不够的。因此,要提高 ENSO 年际预测的水平必须从上述两个方面入手,一要进一步完善气候系统模式,包括大气、大洋、陆面和冰雪模式及其耦合模式,使其对各种气候变化的描述更加真实;同时要研究设计完整的适合于气候系统模式的初始化方案,以获得准确的包含多种气候变化信息的预测初值,这里应首先考虑发展海洋资料同化分析系统,因为对 ENSO 现象,海洋的初值显得更为重要,在此基础上再进一步考虑大气初值中包含的气候变化信息对 ENSO 预测的作用。

## 参 考 文 献

- 1 陈烈庭,东太平洋尺度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,1977,1(1),1~12.
- 2 Huang Ronghui and Wu Yifang, The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism, *Adv. in Atmos. Sci.*, 1989, 6(1), 21~32.
- 3 李崇银,厄尔尼诺影响西太平洋台风活动的研究,气象学报,1987, 45, 229~236.
- 4 陶诗言,张庆云,亚洲冬夏季风对 ENSO 现象的响应,大气科学,1998, 22, 399~407.
- 5 龚道溢,王绍武,ENSO 对中国四季降水的影响,自然灾害学报,1998, 7, 44~52.
- 6 王会军,试论短期气候预测的不确定性,气候与环境研究,1997, 2, 333~338.
- 7 王会军,薛峰、毕训强,气候模式的年际变率和可预报性,应用气象学报,1997, 8, 217~222.
- 8 赵彦、林朝晖、李旭等, IAP PSSCA 两组预测实验的评估及比较: I. 降水部分, 大气科学, 2000, 24, 215~222.
- 9 黄荣辉、徐子红、王鹏飞等, 1998 年夏长江流域特大洪涝特征及其成因探讨, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 300~313.
- 10 周广庆、曾庆存、张荣华, 一个改进的海气耦合模式及其数值模拟, 自然科学进展, 1999, 9, 542~551.
- 11 Zhou Guangqing, Zeng Qingcun and Zhang Ronghua, An improved coupled ocean-atmosphere general circulation model and its numerical simulation, *Progress in Natural Sciences*, 1999, 9, 374~381.
- 12 周广庆、李旭、曾庆存, 一个可供 ENSO 预测的海气耦合环流模式及 1997/1998 ENSO 的预测, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 349~357.
- 13 林朝晖、李旭、赵彦、周广庆等, IAP 短期气候预测系统的改进及对 1998 全国汛期旱涝趋势的预测, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 339~348.
- 14 林朝晖、赵彦、周广庆、曾庆存, 2000, IAP PSSCA 对 1999 年我国夏季气候的预测, 气候与环境研究, 2000, 5(2), 97~108.

- 15 Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Zhang Xuehong et al., IAP-GCM and its application to the climate studies, in: *Climate Change Dynamics and Modelling*, Beijing: China Meteorological Press, 1990, 303~330.
- 16 Zhang R-H and M. Endoh, A free surface general circulation model for the tropical Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**(C7), 11237~11255.
- 17 Sperber, K. R., T. N. Palmer, Interannual tropical rainfall variability in general circulation model simulation associated with the atmospheric model intercomparison project, PCMDI Report, No. 28, UCRL-ID-121725, 1995.
- 18 Zhang R-H and M. Endoh, Simulation of the 1986-1987 El Niño and 1988 La Niña events with a free surface tropical Pacific Ocean general circulation model, *J. Geophys. Res.*, 1994, **99**(C4), 7743~7759.
- 19 Ji M., A. Leetmaa and V. E. Kousky, Coupled model prediction of ENSO during the 1980s and 1990s at the National Centers for Environmental Prediction, *J. Climate*, 1996, **9**, 3105~3120.
- 20 Chen, D., S.E. Zebiak, A. J. Busalacchi and M. A. Cane, An improved procedure for El Niño forecasting, *Science*, 1995, **269**, 1699~1702.
- 21 Latif, M., T. P. Barnett, M. A. Cane et al., A review of ENSO prediction studies, *Clim. Dyn.*, 1994, **9**, 167~179.

## Time Dependence of the Forecast Skills of IAP ENSO Prediction System and the Forecasts for the 1999's La Niña

Zhou Guangqing and Zeng Qingcun

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

**Abstract** The time-dependence of the forecast skills of IAP ENSO Prediction System was analyzed based on the hindcasts for the period from November 1981 to December 1997. The results indicated that the forecast system showed the higher skills for the ENSOs in 1980s than that in 1990s. The correlation coefficients in Nino 3 region were near 0.8 at a lead time of about one and half years in 1980s, while it reduced to about 0.4 after a half year in advance in 1990s. The seasonal-dependence was also shown that the forecasts initiated from spring to autumn were more skillful with the correlation skills above 0.5 maintaining more than 15 months, where those initiated from July to September showed the skills above 0.6 within 16 months in advance. The skills of the prediction initiated from later autumn to winter were lower, which decreased rapidly to below 0.5 after 5 months. The near real time prediction for the 1999's La Niña event was successful in term that this event would persist to 2000, but its re-strengthening was not predicted properly. The prediction for the future shows that the cold episode conditions will return to near-normal or week-warm conditions in the later summer or autumn of this year.

**Key words:** ENSO; prediction; time-dependence