

全球海温异常作用下的低层大气环流 和降水异常的数值模拟*

游性恬**

钱维宏

(中国科学院大气物理研究所 LASG, 北京, 100080) (北京大学地球物理系, 北京, 100871)

摘 要

通过在 IAP AGCM 中加进太平洋和印度洋海温异常的数值模拟, 证实了实况月平均 850hPa 上的异常环流特征: El Niño 海温位相时低纬太平洋低层大气出现异常的西风气流以及在东南亚沿海出现向赤道的异常气流; 而在 La Niña 位相时, 低纬太平洋低层大气出现异常的东风气流和在东南亚沿海出现离赤道的异常气流。若在模式中仅引入太平洋的海温异常或在模式中去掉地形以后, 模拟的低纬低层异常气流与上述结果有所不同。用该模式还模拟出了与观测相符的低纬地区降水的异常。

关键词: 海温异常, 大气环流, 数值模拟。

1 引 言

在诸多影响气候变化的因子中, 海温异常, 尤其是 El Niño 和 La Niña 现象出现时的海温异常, 对全球气候的影响最为明显, 这也是 El Niño 现象被广泛研究且受到人们重视的原因。美国学者研究发现, 可以通过太平洋北美型(即 PNA 型)解释 El Niño 对北美天气和气候的影响^[1]。一般认为, 美国处于 El Niño 事件强信号区的下游, 海气相互作用通过大气中的行星波传播到北美。那么, El Niño 事件通过怎样的途径影响中国的天气和气候呢? 这是中国气象工作者迫切需要研究的课题之一。

考虑到低纬印度洋海温异常与赤道东太平洋海温异常具有同步性的关系, 以及与西北太平洋和西南太平洋海温异常的反相变化关系^①, 分别引入 El Niño 位相和 La Niña 位相时的这几个海区的典型海温距平, 叠加到两层原始方程大气环流模式^[2](IAP AGCM) 中的下垫面海温季节变化上, 模拟全球海温异常对低层大气环流的影响, 从中分析出与实况一致的异常环流结构。这种异常环流结构可以解释 ENSO 事件对中国天气和气候影响的途径。在这一试验中还对不同的海温异常下的低纬降水异常作了考察。

2 海温异常的全球结构

众所周知, 赤道东太平洋的海温异常增暖, 即 El Niño 事件发生时的海温异常, 是全球海温异常变化中信号最强的一种, 因而有些工作仅用赤道东太平洋或热带低纬太平洋

* 初稿时间: 1995 年 10 月 13 日; 修改稿时间: 1996 年 4 月 26 日。

** 永久性工作单位: 北京气象学院, 北京, 100081。

①钱维宏。地球系统中 ENSO 循环的理论研究和数值模拟。兰州大学博士论文。

的海温异常作为外强迫,模拟其对全球大气和气候的影响。但是,现发现,在 El Niño 或 La Niña 事件中,这一强信号区以外的西北太平洋和印度洋上也存在着明显的海温变化,而且它们与强信号区的海温距平有密切的相关(见图 1)。由于其范围不比上述强信号区小,因而这些地区的海温异常对大气环流的作用是不可忽视的。一个合理的作法是同时考虑全球海温异常对全球大气的作用。钱维宏曾用英国气象局和美国麻省理工学院 1990 年整编的 12a(1968—1977 年和 1982—1983 年)共 144 个月 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度网格点上的海温距平^[3],取赤道东太平洋上相邻的矩形四格点的平均海温距平值作为一组资料,由这组资料与全球所有格点(包括这 4 个点)的海温距平值求相关,所得的全球海温距平序列相关

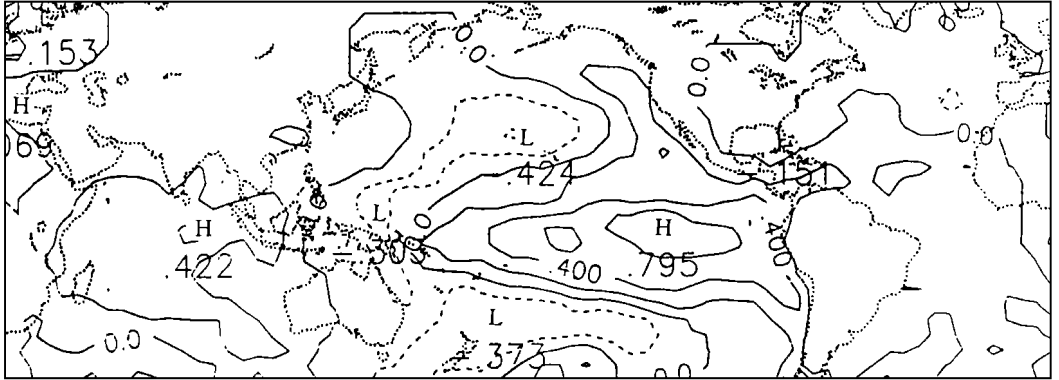


图 1 赤道东太平洋 4 格点平均的海温距平与全球格点海温距平的相关分布^①

如图 1 所示^①。从图 1 看出,赤道东太平洋强信号区的海温异常与赤道中太平洋和低纬印度洋海温变化有正的相关,而与西北太平洋和西南太平洋的海温变化有负的相关;但是与大西洋上的海温变化相关不显著。图 1 表明海温异常具有全球结构,尤其是太平洋整个洋盆和印度洋之间具有同步或协同一致的变化关系。众多研究表明,大气中也存在全球性的变化。这些反映出海气相互作用不完全是一个局地的或有限区域中发生的事件,而是具有全球性的相关。

钱维宏^①曾用随纬度呈余弦变化的全球纬向西风作用于一个全球的有海陆分布但无地形的海洋模式,成功地模拟出了如图 1 所示的海温异常全球分布。作为海气相互作用的两个部份,这里选取全球异常的海温代入两层大气模式(IAP AGCM)^[2],作为迭加在正常季节海温变化上的异常强迫,模拟海温异常对低层,尤其是对低纬大气环流的作用。

3 数值模拟和实况比较

根据图 1 所示的海温异常全球变化结构和相关信度,取图 2 所示的全球海温距平分布,其中海温异常只包括太平洋洋盆和印度洋洋盆,大西洋部份由于相关不显著而未引入。一般赤道东太平洋正的变温中心为 El Niño 时的变温距平位相(如图 2)。负的变温中心(即与图 2 反号的海温异常分布)为 La Niña 时的变温距平位相。分别将这两种不同位

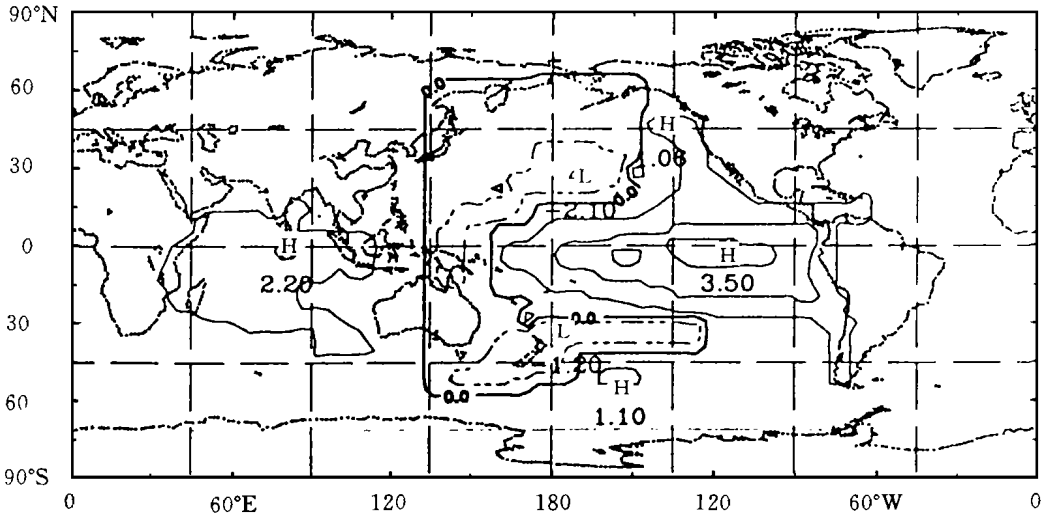


图 2 加进 IAP AGCM 中的全球海温异常分布(单位:)

相的海温异常分布加进 IAP AGCM 中, 模拟各月的异常风场。从模式年 25 年 1 月份起继续积分 1a, 得到 12 个月的背景场, 一般称为控制运行(CT)。再将上述 El Niño 位相和 La Niña 位相的海温距平分别加在各月的月平均海表温度上, 也从模式年 25 年 1 月份起积分, 称之为试验运行。由二者算出 850hPa 风速的差(试验运行-CT)即为 850hPa 上的异常风, 它反映了由异常海温引起的大气低层的异常流型。图 3 为用 El Niño 位相海温距平

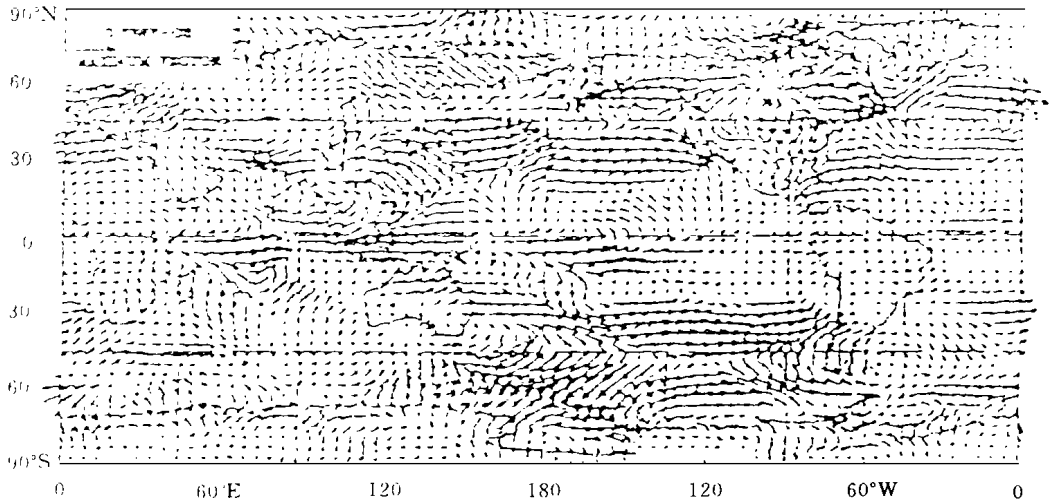


图 3 用 El Niño 位相海温距平模拟的 3 月份 850hPa 异常流型

加进模式模拟的 3 月份 850hPa 异常风矢。由图 3 可见, El Niño 位相时中纬带西风明显增强, 赤道印度洋上有一明显的异常流场辐合, 太平洋上赤道以南主要为异常西风, 中国南海及菲律宾附近出现向赤道的异常气流。为了核实这一模拟结果, 选取了最近(1992 年)

发生的一次 El Niño 事件中 3 月份观测的月异常风矢来与模拟结果图 3 进行比较。1992 年 El Niño 事件发生时 1—3 月的海温异常与图 1 或图 2 分布基本相同,但最大变温中心只有图 2 中的一半,赤道低纬中东太平洋和低纬印度洋都维持正的海温距平(图略)。图 4

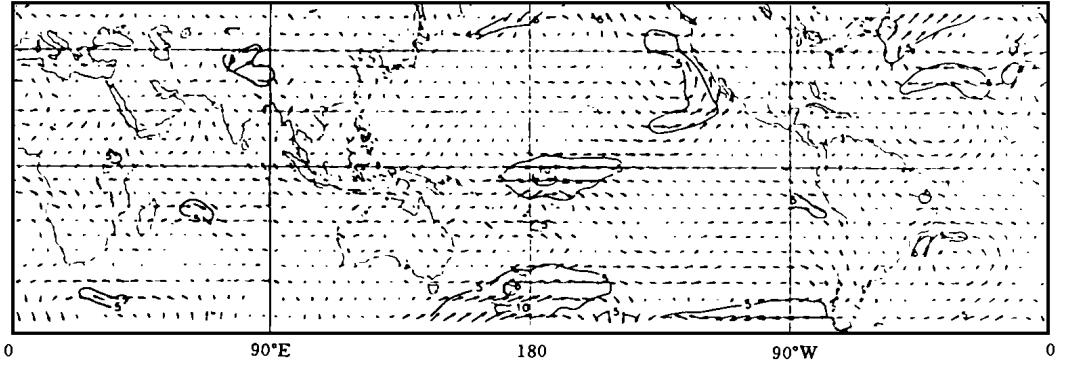


图 4 1992 年 3 月月平均 850hPa 异常风矢(引自美国气候诊断公报 C. D. Bl⁴⁾)

为 1992 年 3 月月平均 850hPa 异常风矢实况。比较图 3 与图 4 中的异常风分布,可以看到二者有很好的相似:赤道日界线附近的异常西风、东南亚沿海(菲律宾及其以东)的偏北向赤道异常气流都模拟出来了。中纬度太平洋上和印度附近的印度洋上的模拟与实况也较一致。主要差异在大陆上。

将 La Niña 海温异常引入模式中,模拟的 3 月份 850hPa 的异常风矢见图 5。由图 5

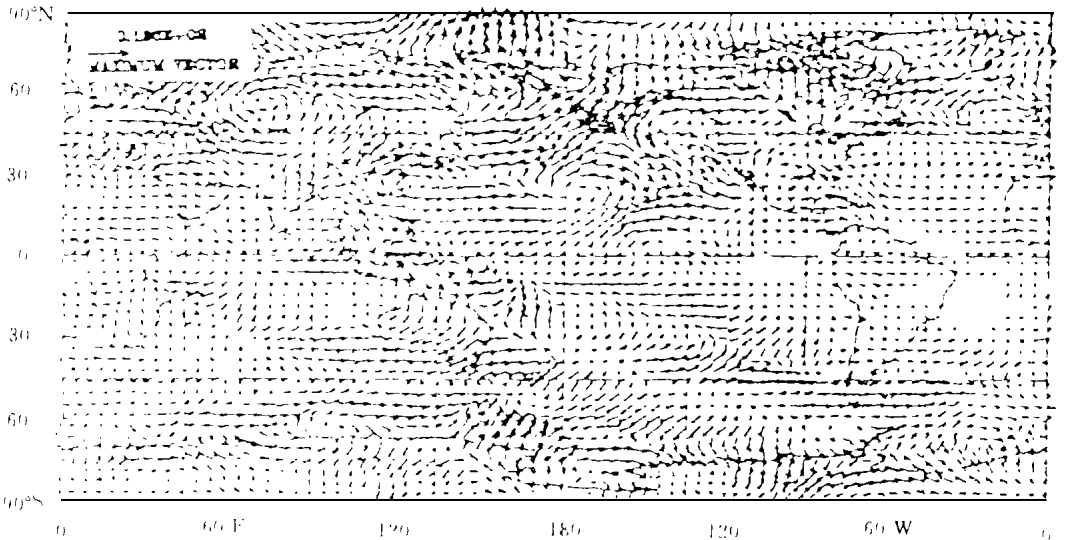


图 5 用 La Niña 位相海温距平模拟的 3 月份 850hPa 异常流型

见,中纬度西风不及图 3 明显,但低纬地区的异常东风很活跃,热带辐合带(ITCZ)和南太平洋辐合带(SPCZ)都表现有所增强。在不同的异常海温作用下,图 5 与图 3 的主要差别

是: 低纬太平洋上的异常气流是完全相反的, 同时在东南亚沿海(菲律宾附近)的经向风矢也大不相同, 图 5 上这一带是离赤道的偏南风异常。

为了证实图 5 所示的模拟结果, 现对比分析一例 La Niña 海温位相时观测的 850hPa

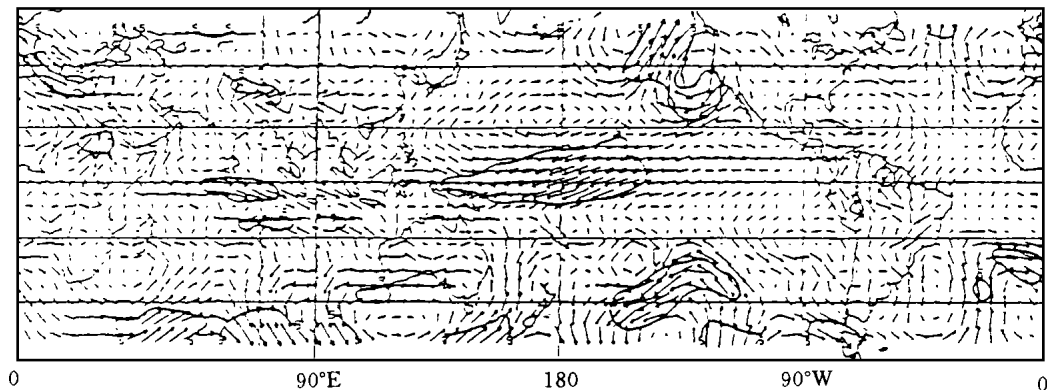


图 6 1988 年 3 月月平均 850hPa 异常风矢(取自美国 C. D. B. [5])

全球月平均风矢异常分布。图 6 为 1988 年 3 月月平均 850hPa 全球异常风矢^[5]。由图 6 看到, 20 S—20 N 的热带太平洋地区为异常东风, 印度以南的印度洋上为异常西风, 在东南亚沿海(菲律宾以东及西北)和美洲墨西哥湾等邻近大陆的地区出现异常的偏南气流。这些 850hPa 上中低纬的异常环流特征与模式模拟的 La Niña 位相时的海温异常强迫的异常环流结构(图 5)是一致的。其实图 6 与 1988 年 4, 5, 6 各月月距平风矢量都比较一致, 而这几个月都属于 La Niña 位相的月份。图 6 中北太平洋中西部洋盆区域上存在的反气旋环流距平也与模拟结果一致, 表明在这类海温异常作用下太平洋副高偏强。这与中国气象工作者研究发现的西太平洋暖池增强时西太平洋副高增强的结论^[6]是吻合的。此外, 由图 5 和图 6 还看出, 热带异常东风源自东部太平洋。异常东风到达澳大利亚的东北部及东南亚沿海一带转向偏北到达中国南海和东南沿海一带。这种形势下, 一方面西太平洋副高环流偏强, 不利于江淮或华东地区的降水; 另一方面到达华南沿海的偏南异常气流将大量水汽输送到大陆边缘, 因此华南沿海多雨。

总之, 由上看到, 将不同海温异常代入模式, 模拟的低层大气异常环流(图 3 和图 5)与相应实况(图 4 和图 6)比较, 中低纬低层大气环流的总体结构模拟出来了。El Niño 海温异常位相时, 低纬太平洋形成异常的偏西气流, 东南亚沿海出现异常的偏北气流; La Niña 海温异常位相时, 上述典型的异常气流方向相反。

4 太平洋海温异常和无地形强迫的异常环流

为了深入研究上述海温异常所对应的低纬太平洋和东南亚沿海异常风的成因, 又进一步作了另外两个数值试验。一是在 La Niña 海温异常位相时只取太平洋的海温距平代入模式, 而置印度洋海温异常为零, 以比较只有太平洋海温异常的强迫影响与前述包含太平洋与印度洋二大洋海温异常强迫的差异。模拟得到的 3 月份 850hPa 的异常风矢见图

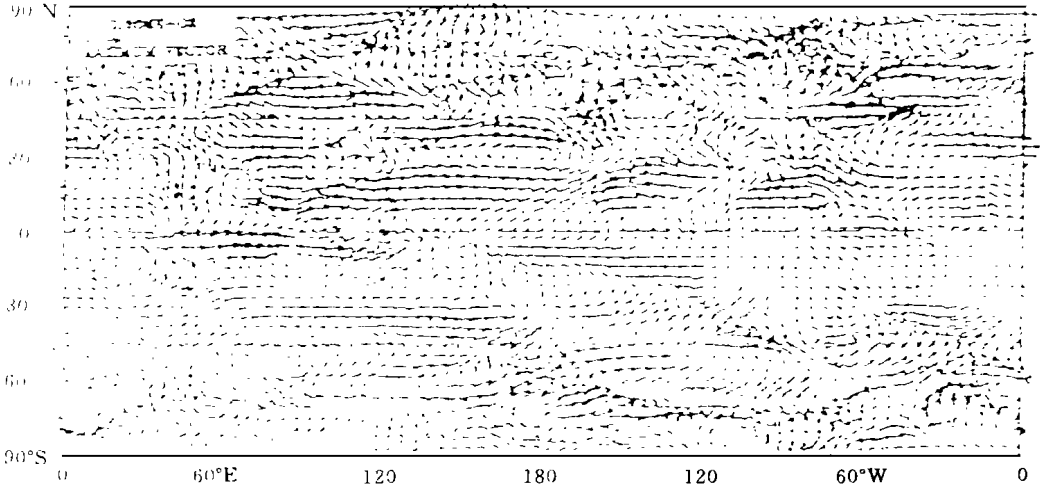


图 7 只含太平洋区域 La Niña 位相海温距平模拟的 3 月份 850hPa 异常风矢

7. 比较图 7 与图 5 可见, 在低纬太平洋和中高纬带的大气异常环流二者基本相同, 不同之处在东南亚沿海和印度洋上。图 7 中由于仅是考虑印度洋的海温异常而致东南亚沿海的南风距平分量消失了。

另一数值试验是取 La Niña 位相的海温异常分布(与图 2 反号), 但与图 5 模拟不同的是去掉了地形(保留海陆分布), 模拟得到 3 月份 850hPa 风矢异常见图 8。比较图 8、图

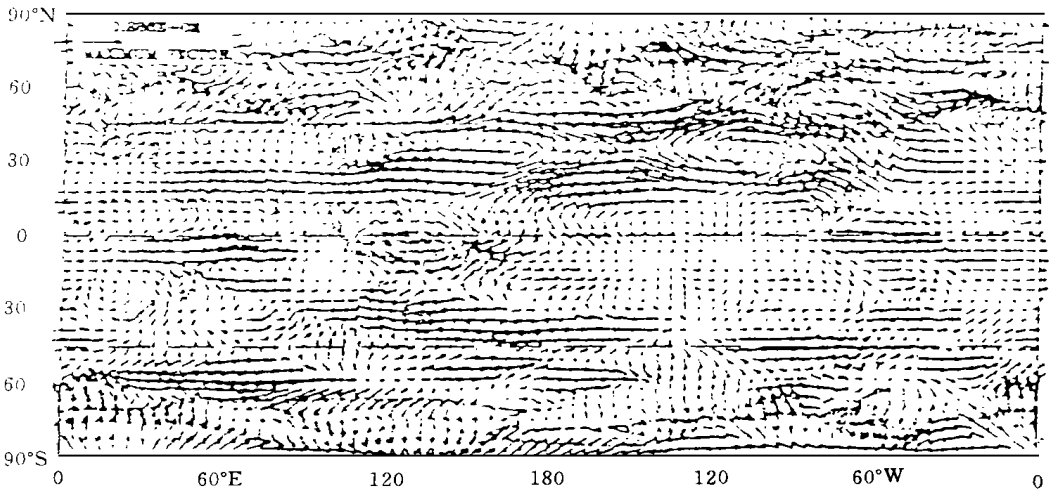


图 8 用 La Niña 位相时的海温距平, 但无地形模拟的 3 月份 850hPa 的异常风矢

7 和图 5 看出, 在去掉地形以后, 虽然海温异常强迫相同, 但模拟的低纬太平洋地区、东南亚沿海和印度及青藏高原一带的异常气流完全不同了。在图 8 上中低纬的纬向东风大大加强, 几乎绕地球一周, 同时东南亚一带的偏南气流(见图 5)则不出现。

5 低纬地区降水的模拟

显然, 如果对月平均环流形势能够模拟得比较准确和细致, 则应该可以模拟以至预报月降水量的分布。已对 El Niño 位相时的海温异常积分到 6 个月。从模式低层环流形势来看, 各月都存在与图 3 基本相似的结构, 只是强度上有所差别。

注意到在低纬, 尤其是海洋上, 模拟的降水异常具有典型的、可理解分布。图 9 为用 El Niño 位相海温距平模拟的 3 月份月平均异常降水。由图 9 看到, 赤道西太平洋(印度尼

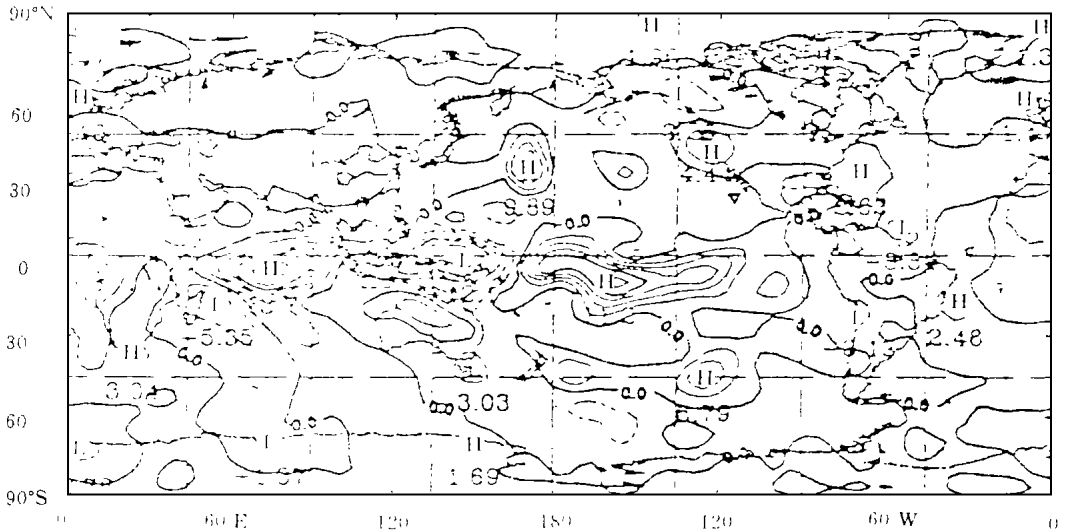


图 9 相应于 El Niño 位相海温距平模拟的 3 月份降水异常分布(单位: mm)

西亚一带) 降水偏少, 赤道附近的日界线以东地区和印度洋上降水偏多, 全球赤道海洋上的这种降水分布形势与 El Niño 事件发生时的观测结果是吻合的。图 10 是对 1982/1983, 1986/1987 和 1991/1992 年 3 次 El Niño 事件观测降水距平的合成平均^[7]。可见正距平降

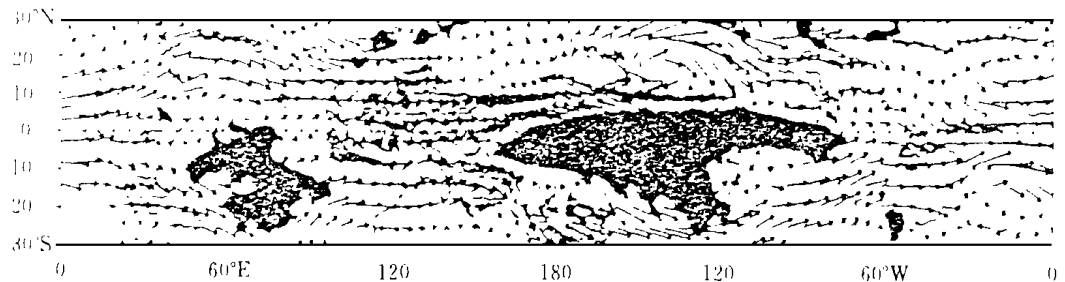


图 10 1982/1983, 1986/1987, 1991/1992 年 3 次 El Niño 事件观测降水距平的合成平均^[7]

(黑阴区为降水正距平(最大值 7mm/d), 浅阴区为降水负距平(最大值 -5mm/d), 矢线为 200hPa 上风矢异常)

水位于中、东太平洋和印度洋上, 负距平在印尼一带, 与模拟的图 9 分布相当一致。在大陆上, 模拟的 El Niño 影响期间(图 9) 印度半岛北部降水偏多, 南部降水偏少; 中国东北和沿

海一带降水偏多, 内地偏少; 美国, 尤其是西部降水偏多。模拟的 6 个月 El Niño 位相海温距平时的降水异常在低纬海洋上的分布形式类似。这些都与天气气候的观测事实基本一致。但在亚洲大陆上各月降水异常分布变化较大。这是由于大陆上的降水不仅与海温异常的分布和强度有关, 而且可能与欧亚雪盖及陆面下垫面的温度、湿度密切相关。这些因子虽然在模式中业已存在, 但没有进行耦合。

由 La Niña 位相时的海表温度异常模拟的降水距平见图 11。由图 11 看到: 赤道太平

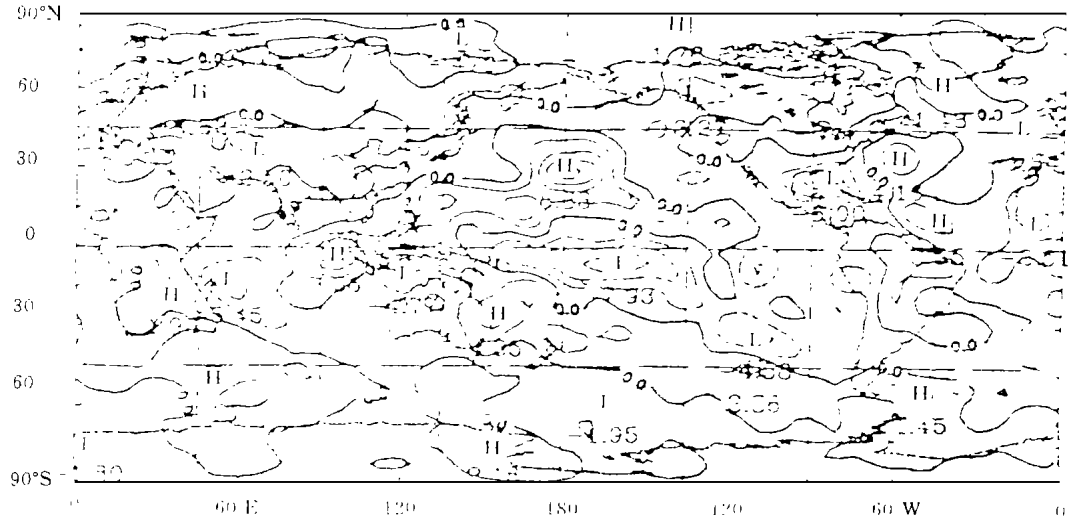


图 11 相应于 La Niña 位相海温距平模拟的 3 月份降水异常分布(单位: mm)

洋中、东部降水偏少; 西太平洋暖池区、印度洋东部及印度半岛降水偏多; 中国除西南和东北地区外, 其他均降水偏少。这些与观测事实也是基本一致的。

总的来看, IAP AGCM 能够模拟低纬, 尤其是海洋上降水距平的基本特征。这说明全球(主要是太平洋和印度洋区域)海温异常确实操纵着低纬地区降水的分布。然而, 更为关心的是大陆降水的异常。利用上述模式, 目前还只能得出一些大尺度降水结构的主要特征, 远没有达到希望利用模式预报局地天气的要求。

6 结果和讨论

通过把 El Niño 和 La Niña 位相时的海温异常典型分布加进 IAP AGCM 中所作的数值模拟发现:

1. El Niño 和反 El Niño(即 La Niña)事件都是赤道东太平洋海温异常的强信号。El Niño 位相时, 西太平洋暖池偏弱; La Niña 位相时, 暖池偏强。相应的全球海温异常作为一个整体对大气环流施加影响。

2. La Niña 位相全球海温异常情况下, 源自东太平洋的异常东风到达澳大利亚的东北部, 并在菲律宾附近转向北, 导致中国南方和东南亚沿海的偏南气流加强; 同时, 西太平洋副高也增强。这一形势可以解释 La Niña 位相海温异常时中国大陆及其邻近地区降水

异常分布的总体特征。从低纬度低层大气中存在的异常偏东气流及其在菲律宾附近转向来看, 中国大陆正是处于赤道东太平洋海温异常强信号区的下游。需要沿着这个线索去研究 ENSO 事件与中国气候的关系。

3. 通过将全球(太平洋和印度洋)海温异常代入模式模拟的低层大气 850hPa 低纬异常风矢的分析, 发现赤道东太平洋海温异常强信号区的作用将沿着赤道太平洋上的异常纬向风和东南亚沿海的异常经向气流影响到中国南方。如果在模式中去掉印度洋海温异常强迫, 或者去掉地形强迫, 都将使这一作用的路径发生变化。由此可以说明: 一是海温异常对气候的影响不仅局限于赤道太平洋; 二是地形的存在对大气质量的再分布(气压场变化)有影响, 从而可以形成异常气流。由这两方面可以证实: 行星尺度的大气环流异常依赖于全球海温异常和地形的共同作用。

4. 在太平洋和印度洋异常海温的强迫下, 能够较好地模拟出低纬海洋上的降水异常分布结构。但对大陆上的降水异常分布还需作进一步的研究。

参考文献

- [1] Wallace J G and Gutzler D S. Teleconnection in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 785– 812.
- [2] Zeng Qingcun, Zhang Xuehong, Liang Xinzong, et al. Documentation of IAP two-level AGCM. TRO44, DOE/ER/60314-HI. 1989. 383pp.
- [3] Meteorological Office, Bracknell, U. K. and Dept. of Earth Planetary Sciences MIT. Global Ocean Surface Temperature Atlas. 1990.
- [4] Climate Analysis Center, U. S. . Climate Diagnostics Bulletin. 1992.
- [5] Climate Analysis Center, U. S. . Climate Diagnostics Bulletin. 1988.
- [6] Huang Ronghui. The east Asia/Pacific pattern teleconnection of Summer Circulation and climate anomaly in east Asia. *Acta Meteor Sinica*, 1992, 6(1): 25– 36.
- [7] Hoerline M, Kumar A, Ji M, et al. Climate predictability within two nearly identical atmospheric GCMs. Proceedings of the 19th Annual climate diagnostics workshop, 1994, 64– 67.

A NUMERICAL SIMULATION OF THE EFFECT OF GLOBAL SST DEPARTURE ON LOW-LEVEL ATMOSPHERIC CIRCULATION AND PRECIPITATION ANOMALIES

You Xingtian

(Beijing Meteorological College, Beijing, 100081)

Qian Weihong

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract

Introducing SST departure of the Pacific Ocean and the Indian Ocean during El Niño or La Niña episode into IAP AGCM, the monthly mean circulation anomaly which is similar to observation on the 850hPa has been simulated. The results show that west-erly (easterly) anomalous flow appears on the low-latitude Pacific and the anomalous flow toward Equator (Polar) appears on Southeast Asia Sea during the El Niño (La Niña) episode. If only introducing SST departure of the Pacific Ocean into IAP AGCM or the topographies drop from the AGCM, the anomalous flow by simulated is not same with above. The precipitation anomalies over low-latitude have been simulated and compared with observations also.

Key words: SST departure, Atmospheric circulation, Numerical simulation.