

《国家重点基础研究发展规划》项目

我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究

第一部分 我国重大气候灾害的形成机理和
预测理论研究项目论文集(二)



ENSO循环机理 和预测研究

ENSO CYCLE

巢纪平 李崇银 陈英仪 等编

气象出版社

《国家重点基础研究发展规划》项目

我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究

**第一部分 我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究
项目论文集(二)**

ENSO 循环机理和预测研究

ENSO CYCLE

巢纪平 李崇银 陈英仪 等编

气象出版社

内容提要

本集是《国家重点基础研究发展规划》首批启动项目之一“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究”第一部分“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”项目论文集序列的第二集。它集中反映了本项目在关于 ENSO 循环的机理和预测理论以及 ENSO 循环对我国重大气候灾害影响方面的研究成果。本集共收入有关论文 31 篇,包括了以下五部分的研究成果:

- (1) ENSO 循环及其对亚洲季风和东亚气候异常的影响;
- (2) ENSO 循环的物理机制;
- (3) 西太平洋暖池热力结构的变化及其影响;
- (4) 赤道印度洋海温变化及其影响;
- (5) 全球海-气相互作用特征及其影响。

本书可供大气科学、海洋科学和环境科学的科研人员、有关院校师生参考,也可供从事防灾减灾、环境保护的工作人员以及从事全球变化研究的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

ENSO 循环机理和预测研究/巢纪平等编.

—北京:气象出版社,2003.11

ISBN 7-5029-3685-8

I. E... II. 巢... III. 南方涛动-研究 IV. P732

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 101821 号

ENSO 循环机理和预测研究

巢纪平 李崇银 陈英仪 等编

责任编辑 李太宇 陈志荣 终审 纪乃晋

出版:气象出版社

发行:新华书店总店北京发行所 全国各地新华书店经销

出版社地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

出版社电话:68406262

传真号码:62176428

出版社网社:<http://cmp.cma.gov.cn/>

电子邮箱:ams@cma.gov.cn

印刷:北京市金瀑印刷有限责任公司

开本:787×1092 1/16

版次:2003 年 11 月第一版

印张:21.75

印次:2003 年 11 月第一次印刷

字数:557 千字

印数:1~1000 册

定价:55.00 元

ISBN 7-5029-3685-8/P·1305

《国家重点基础研究发展规划》项目

我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究

第一部分

我国重大气候灾害的 形成机理和预测理论研究

项目论文集总编辑委员会

主编:黄荣辉

编委:曾庆存 巢纪平 丑纪范

吴国雄 李崇银 王绍武

陈泮勤 张人禾 陆日宇

序

我国地处东亚季风区,由于东亚季风年际和年代际变化很大,因此,我国气候灾害发生频繁且严重,尤其是 20 世纪 80 年代以来,大范围的旱涝等重大气候和天气灾害已给我国工农业生产和国民经济带来严重损失。每年由于旱涝灾害造成经济损失达 2000 亿元左右,约占国民经济总产值的 3%~6%。1998 年长江流域、松花江和嫩江流域的特大洪涝灾害给国民经济带来了 2600 亿元的严重经济损失;1999~2001 年我国华北地区严重干旱不仅给工农业生产带来严重损失,而且严重影响到华北地区水资源和生态环境,特别是造成扬沙和沙尘暴天气剧增。因此,开展我国重大气候灾害的形成机理和预测理论的研究,提高跨季度和年度气候异常的预测水平,从而防御和减轻旱涝等重大气候灾害造成的经济损失是我国国民经济建设当务之急。

气候异常的机理及其预测是当前国际大气科学的前沿研究课题,也是“国际气候变率及其可预测性研究计划(CLIVAR)”的核心内容。鉴于我国重大气候和天气灾害的严重性,《国家重点基础研究发展规划》把我国重大气候和天气灾害的形成机理和预测理论作为首批项目的重点研究内容之一。此项目鉴于气候和天气灾害在时间和空间尺度的差别又分成两部分:我国重大气候灾害的形成机理和预测理论与我国重大天气灾害的形成机理和预测理论研究。第一部分“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”作为我国参加 CLIVAR 国际计划的一个核心计划,此项目从我国旱涝重大气候灾害的发生为研究的切入点,从气候系统各圈层相互作用,特别是从“东亚气候系统”各成员的相互作用进行了深入分析,提出我国重大气候灾害的形成机理,并构建相应的气候数值模型,从而提出我国重大气候灾害的跨季度和年度预测理论和模式;并且,为了更好地揭示气候灾害的形成机理并在数值模型中能有更真实的物理参数,本项目还成功地进行了两个大型野外观测试验,获取了许多有关海—气和陆—气相互作用宝贵的科学观测数据。

在国家科学技术部的《国家重点基础研究发展规划》首批启动项目之一“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究”第一部分“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”的资助下,来自中国科学院有关研究所、教育部有关院校、国家气象局和国家海洋局,以 6 位中国科学院院士为指导的 70 多位专家组成的项目研究队伍经过四年多的辛勤努力,在重大气候灾害的形成机理和预测理论方面取得了重大进展。为了总结本项目在这四年多的研究成果,特别是反映本项目所取得创新和具有闪光点的研究进展,在项目全体参研人员的撰稿基础上,项目专家组特编辑如下论文集序列:

第一部:我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究

第二部:ENSO 循环机理和预测研究

第三部:青藏高原与西北干旱区对气候灾害的影响

第四部:气候系统的动力理论、模型和预测研究

在本论文集序列的编辑、修改与编排中,耿淑兰、王磊、刘春燕等同志作出了不少贡献,特此感谢。由于撰写和编辑此论文集序列时间匆忙,论文集的文章肯定有不少欠妥之处,恳请指正。

《国家重点基础研究发展规划》首批启动项目

我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究

第一部分 我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究(G1998040900(I))

项目首席科学家 黄荣辉

2003 年 4 月 10 日

前 言

本集是《国家重点基础研究发展规划》首批启动项目之一“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究”第一部分“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”项目论文集序列的第二集。它集中反映了本项目在关于 ENSO 循环的机理和预测理论以及 ENSO 循环对我国重大气候灾害影响方面的研究成果。本集共收入有关论文 31 篇,包括了以下五部分的研究成果:

- (1) ENSO 循环及其对亚洲季风和东亚气候异常的影响;
- (2) ENSO 循环的物理机制;
- (3) 西太平洋暖池热力结构的变化及其影响;
- (4) 赤道印度洋海温变化及其影响;
- (5) 全球海-气相互作用特征及其影响。

参加本集编审工作的还有黄荣辉院士、张人禾研究员。

巢纪平 李崇银 陈英仪

2003 年 4 月 20 日

目 录

序 前言

第一部分 ENSO 循环及其对亚洲季风和东亚气候异常的影响

ENSO 循环对东亚夏季风的影响及热带西太平洋纬向风异常对 ENSO 循环的动力作用	黄荣辉 严邦良 陈际龙 周连童 张人禾(3)
东亚夏季风与太平洋 SSTA 关系的年代际变化及其机制研究	何金海 李 峰(16)
厄尔尼诺期间东亚气候的异常特征	张人禾(28)
异常的东亚冬、夏季风循环与 ENSO 事件的关系	陈 文(43)
ENSO 循环各阶段我国地温和海平面气压的变化特征及其对东亚季风的影响	
.....	陈月娟 周任君 简 俊(57)
热带太平洋海温异常气候态变率与我国气候异常	赵永平 吴爱明(68)
Nino 1+2 海区冷暖水期东亚季风和降水的变化特征	陈月娟 周任君 简 俊(74)
热带西太平洋暖池热力状况的年际变异影响大气 30~60 天低频振荡变化的初步分析...	
.....	任保华 王 雨(91)

第二部分 ENSO 循环的物理机制

温跃层和厄尔尼诺信号	巢纪平(109)
论 ENSO 循环的本质	李崇银 穆明权(120)
西太平洋暖池表层暖水的纬向运移及其与 ENSO 关系	
.....	张启龙 翁学传 程明华 颜廷壮(135)
赤道太平洋温度、流场距平 EOF 分析及与 El Niño 的关系	
.....	蔡 怡 王彰贵 宇宙文 陈幸荣(142)
赤道太平洋风场和热容量距平场分析及与 El Niño 的关系	蔡 怡 陈英仪(150)
西太平洋暖池 SST 多时间尺度变化分析	纪凤颖 侯文峰(158)
ENSO 事件中纬向异常流反向与东西侧边界反射的联系	严邦良(162)
气候基本态在 ENSO 循环位相锁定中的作用	严邦良(176)
东亚冬季风变化与 ENSO 循环的耦合关系研究	李跃清 李崇银 黄荣辉(189)
赤道行星波对西太平洋暖池热传播作用研究	石 强 许建平 朱伯康(198)
风应力强迫变化对赤道太平洋斜压扰动的影响	林永辉(209)
强迫耗散作用下 Kelvin 波的解析求解	林永辉 布和朝鲁(217)

第三部分 西太平洋暖池热力结构的变化及其影响

热带太平洋上层热含量的时空变化	蒲书箴 于 非 胡筱敏(225)
-----------------------	------------------

西太平洋暖池热状态的变异特征及其影响	张启龙 翁学传 程明华(235)
热带太平洋气候变率与 ENSO 循环	赵永平 吴爱明(244)
西太平洋暖池上层热结构对平均 Madden-Julian 振荡响应的研究	石 强 许建平 朱伯康(251)
热带西太平洋黑潮源流的变化及其影响	蒲书箴 周明煜 刘赞沛 于 非 胡筱敏(260)
热带太平洋及邻近海平面年际及年代际变化的研究	蔡榕硕 李 立 吴培木 廖康明(266)

第四部分 赤道印度洋海温变化及其影响

热带印度洋海温异常的变率特征分析	何金海 张人禾 谭言科 胡邦辉(279)
热带印度洋和赤道中东太平洋海温异常的相互关系	张人禾 何金海 谭言科 胡邦辉(294)

第五部分 全球海-气相互作用特征及其影响

全球海-气系统年际和年代际气候变化的时空特征	杨修群 谢 倩 郭燕娟 徐桂玉 朱益民(311)
全球海-气相互作用的气候特征分析	钱永甫 张卫青(321)
热带大气海洋相互作用的理论和分析研究进展	林一骅 游小宝(330)

第一部分

ENSO 循环及其对亚洲季风和 东亚气候异常的影响

ENSO 循环对东亚夏季风的影响及热带西太平洋 纬向风异常对 ENSO 循环的动力作用^{*}

黄荣辉¹⁾ 严邦良¹⁾ 陈际龙¹⁾ 周连童¹⁾ 张人禾²⁾

1) 中国科学院大气物理研究所, 北京 100080 2) 中国气象科学研究院, 北京 100081

摘要 本研究首先利用 1951~2000 年我国降水的详细观测资料分析了 ENSO 循环(包括 El Niño 事件和 La Niña 事件)的不同阶段对我国旱涝灾害的影响,表明了 ENSO 循环的不同阶段,我国和东亚地区夏季旱涝分布有很大差别;并且,本研究还从观测资料分析了 1982/1983、1986/1987、1991/1992 和 1997/1998 年 El Niño 事件发展和衰减以及 La Niña 事件发生过程中赤道西太平洋对流层下层环流和纬向风异常及其作用,结果表明:在 El Niño 事件发展阶段前,在热带西太平洋上空对流层下层产生气旋性环流异常,从而使印度尼西亚和赤道西太平洋上空产生西风异常;而当 El Niño 事件发展到成熟阶段,在热带西太平洋上空对流层下层产生反气旋性环流异常,从而使印度尼西亚和赤道西太平洋上空产生东风异常。此外,本研究还利用一个简单的热带海洋动力学模式,计算了本世纪最强的 1997/1998 ENSO 循环过程中赤道海洋波动对实际海表风应力距平的响应,结果表明,热带西太平洋海表附近的纬向风异常通过激发 Kelvin 波与 Rossby 波,从而对 El Niño 事件的发展与衰减和 La Niña 事件的发生起到重要的动力作用。

关键词 ENSO 循环 西风异常 东风异常 赤道 Kelvin 波 赤道 Rossby 波

1 引言

El Niño 事件是热带太平洋地区海-气相互作用最重要的现象。它的发生会在全球引起严重的气候异常,从而在世界许多地区造成严重的旱涝与低温冷害,使许多国家的工农业生产受到很大损失。El Niño 事件的发生也给我国带来严重的气候灾害,在 El Niño 事件发展的夏季,我国华北往往发生干旱;而在 El Niño 事件的衰减期,我国长江流域往往发生洪涝^[1, 2]。为此,目前我国和世界各国的气象与海洋学家非常重视这一现象的发生规律及其机理的研究,以达到有朝一日可以预测这一现象的发生,从而给气候灾害的预测提供可靠的信息与物理依据。

Bjerknes^[3]首先提出 El Niño 事件是赤道东太平洋海-气相互作用结果的观点,从这一看法提出到目前为止,对 El Niño 产生机制及海气相互作用进行了大量的研究。McCreary^[4], McCreary 和 Anderson^[5], Anderson 和 McCreary^[6]系统地研究了 ENSO 循环的物理机制,他们从理论上提出赤道海洋波动在 ENSO 循环中的作用;并且, Schopf 和 Suarez^[7]从不稳定海气相互作用和赤道波系传播的观点解释了 ENSO 循环,他们的研究表明了西太平洋暖池(Warm Pool)处于暖的状态是 El Niño 事件发生必不可少的条件,当西太平洋暖池热容量处于异常大的状态,随后就有可能发生 El Niño 事件。然而,这些研究所提出的理论在一些 El Niño 事件的发展过程中并不完全正确,有的年份西太平洋暖池的温度异常高,其热容量异常大,但这些年的第二年并不发生 El Niño 事件。这表明,西太平洋暖池处于异常暖的状态只不

• 本研究得到《国家重点基础研究发展规划》第一批启动项目“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究”第一部分“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”的资助。

过是 El Niño 事件发生的必要条件之一,还应有热带西太平洋上空大气状态的条件。因此,还应分析在 El Niño 事件发生过程中热带太平洋大气环流和海面风应力的异常情况。

Philander^[8]利用数值试验说明了赤道中、东太平洋信风的减弱对赤道东太平洋增温的动力作用。Tang 和 Weisberg^[9]利用简单线性重力约化模式的数值模拟结果讨论了 1982/1983 年海表附近西风风应力异常对赤道中、东太平洋增温的作用。这些研究只是从数值试验来说明赤道太平洋海表附近西风风应力异常对赤道东太平洋增温的作用,因此,很有必要从理论上进一步从赤道太平洋海面附近实测风应力异常对赤道海洋波动的激发作用来说明实际海表附近纬向风应力异常对 ENSO 循环的动力作用。

鉴于上述一些原因,最近几年,在《国家重点基础研究发展规划》首批启动项目“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”的资助下,我们系统地研究了 ENSO 循环对东亚夏季风的影响及热带西太平洋对流层低层环流和纬向风异常对 ENSO 循环的动力作用。本研究首先利用 1951~2000 年我国降水的详细观测资料分析了 ENSO 循环(包括 El Niño 事件和 La Niña 事件)的不同阶段对东亚和我国降水异常的影响;并且,本研究还应用 1980~1998 年 NCEP/NCAR 热带太平洋海表温度以及 850 hPa 风场的再分析资料和 FSU 热带太平洋海表风场的观测资料,分析和讨论 1980~1998 年中所发生的 4 次 ENSO 循环中热带太平洋上空对流层下层环流和风场的演变及其对 El Niño 和 La Niña 事件形成的动力作用,特别是分析了 1997/1998 年热带太平洋纬向风应力异常对 1997/1998 ENSO 循环的动力作用。

2 ENSO 循环对于东亚季风降水和气候的影响

ENSO 循环对于东亚夏季风降水有很大影响,早在 20 世纪 80 年代,黄荣辉和吴仪芳^[1]已指出了 ENSO 事件的不同阶段对于中国夏季降水有不同的影响。在此研究基础上,黄荣辉和周连童^[10]利用 1951~2000 年 50 年我国降水的详细观测资料,分析了 ENSO 循环(包括了 El Niño 和 La Niña 事件)的不同阶段我国夏季风降水异常的分布(见图 1)。分析结果表明了 ENSO 循环的不同阶段东亚旱涝灾害的分布有很大差异。如图 1a 所示,在 El Niño 事件的发展阶段,我国江淮流域和长江中、下游地区的夏季风降水偏多,而华北和江南地区的降水偏少,华北地区经常出现干旱灾害;相反,在 El Niño 事件的衰减阶段,如图 1b 所示,我国江淮流域的夏季风降水偏少,往往出现干旱,而江南地区,特别是洞庭湖和鄱阳湖流域以及湘江、资水、沅江和澧水流域降水偏多,经常出现洪涝灾害。我国重大旱涝灾害一般发生在 ENSO 事件的发展与衰减阶段。在 La Niña 事件的不同阶段,我国降水距平分布也不一样。如图 1c,d 所示在 La Niña 事件的发展阶段,我国江南地区、河套地区和湘江、资水、沅江和澧水流域多雨,淮河流域和四川盆地少雨,而在 La Niña 事件衰减阶段、黄淮流域和内蒙古地区多雨,华北北部、东北南部、西北东部以及江南地区和东南沿海少雨,这些地区则有可能发生干旱。

从上述分析结果可以看到 ENSO 循环的不同阶段能引起我国夏季降水异常不同的分布。这已成为预测我国夏季汛期旱涝分布的重要依据之一。

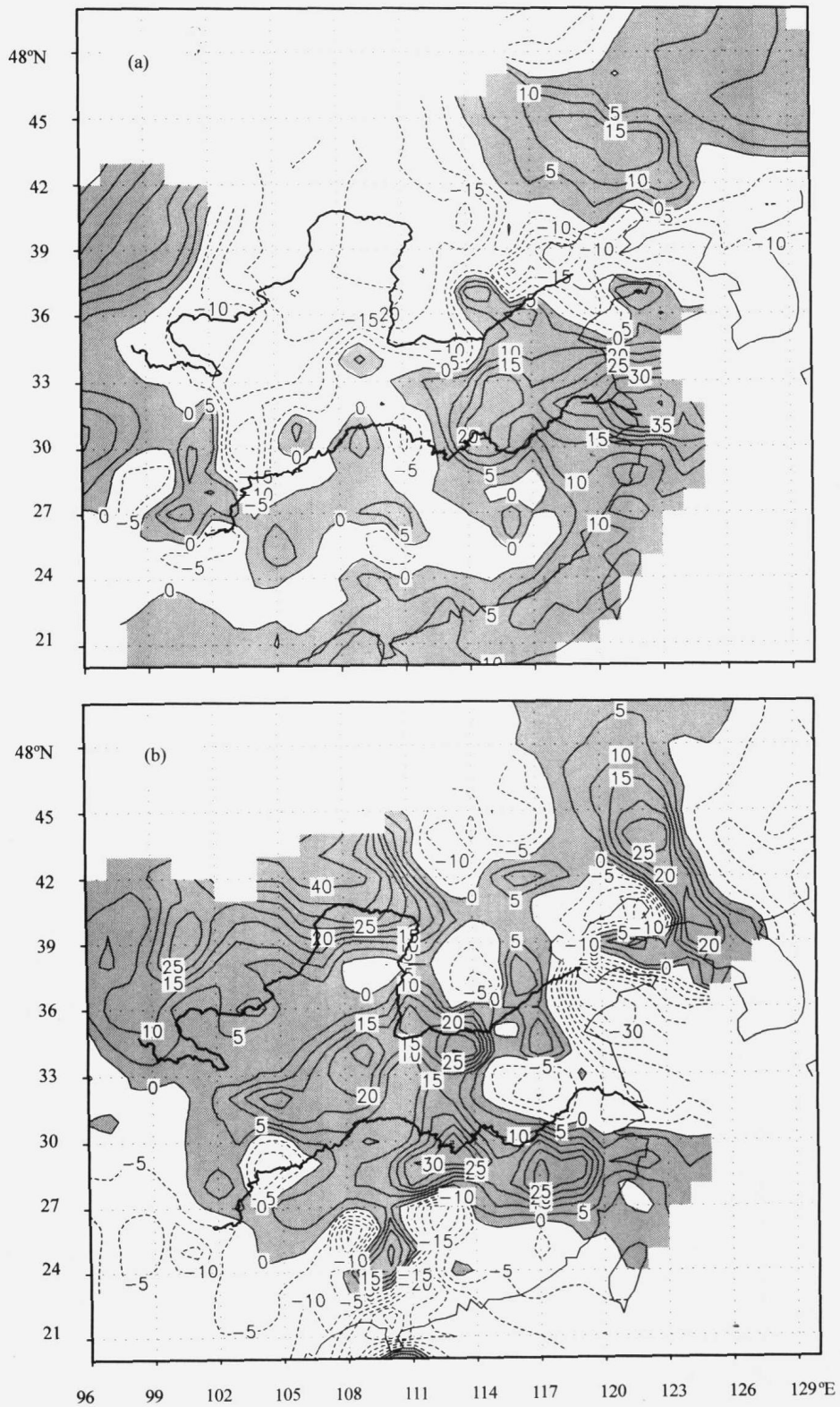


图 1 1951~2000 年 ENSO 循环的不同阶段,我国夏季降水距平百分率的合成图
(a) El Niño 事件的发展阶段;(b) El Niño 事件的衰减阶段;(c) La Niña 事件的发展阶段;
(d) La Niña 事件的衰减阶段。图中阴影区表示“+”距平区,虚线表示“-”距平

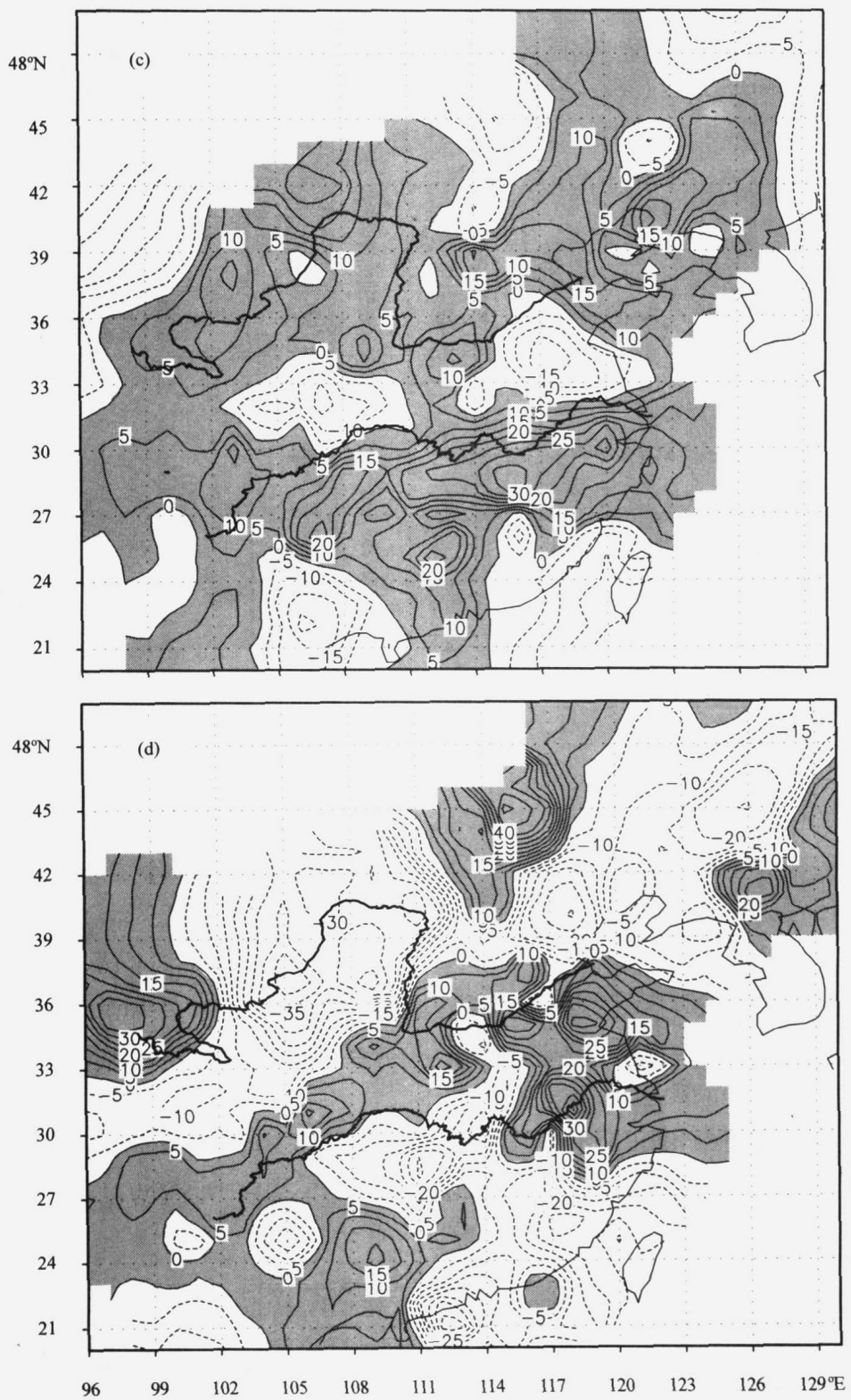


图 1 (续)

3 热带西太平洋上空对流层下层纬向风异常与 ENSO 循环的关系

3.1 与 El Niño 事件发生的关系

图 2 是 1980~1998 年季节平均的赤道东太平洋 NINO3 区海表温度距平(图 2a)和赤道西太平洋上空 850 hPa 纬向风距平(图 2b)的年际变化图。从图 2a 可以清楚看到,从 1980~1998 年期间,除了在 1993 年和 1994 年也发生了较弱的增温事件,赤道中、东太平洋在 1982/1983 年,1986/1987 年,1991/1992 年和 1997/1998 年发生了 4 次很明显的 El Niño 事件,其中 1997/98 年 El Niño 事件为 20 世纪最强;并且还可看到,1984/1985 年,1988/1989 年,1995/1996 年和 1998 年冬季赤道中、东太平洋发生了明显的冷事件,即发生了 La Niña 事件。

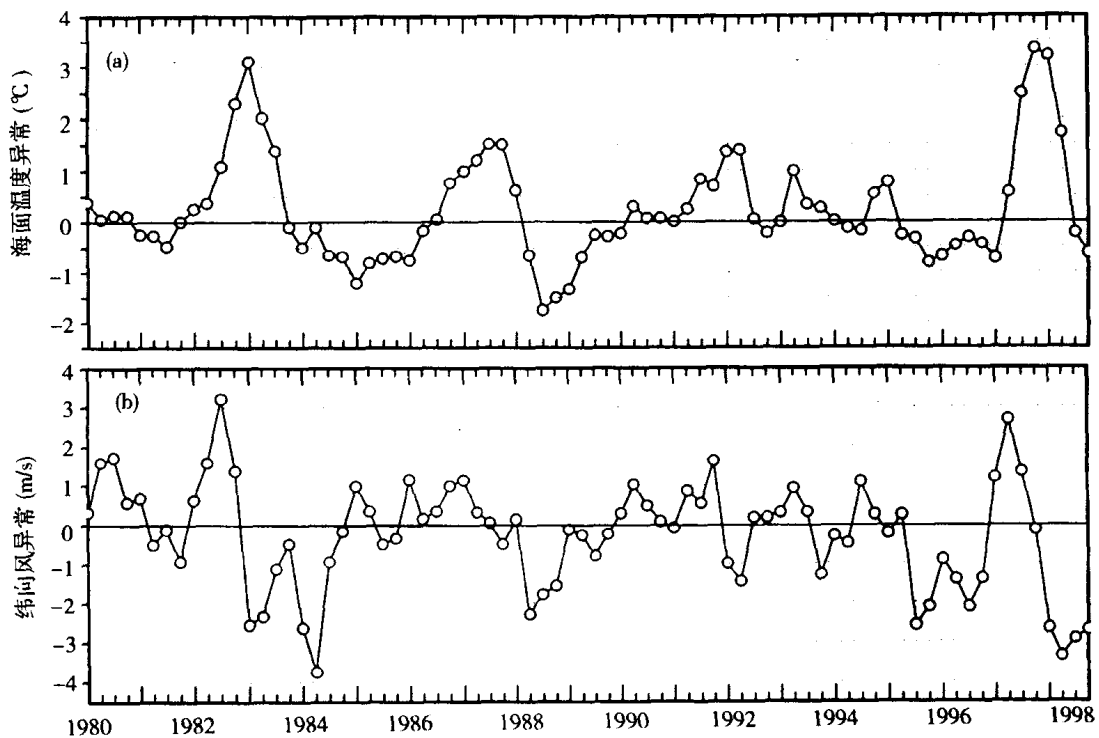


图 2 1980~1998 年季节平均的赤道东太平洋 NINO3 区(90°~150°W, 5°N~5°S)海表温度距平(a;单位:°C)和赤道西太平洋(120°~160°E, 5°N~5°S)上空 850 hPa 纬向风距平(b;单位:m/s)的年际变化

3.2 与 La Niña 事件发生的关系

从图 2b 可以看到,热带西太平洋上空对流层下层纬向风距平年际变化呈波动振荡。在 1982/1983 年 El Niño 事件发展阶段之前的 1981 年冬季到 1982 年秋季,在 1986/1987 年 El Niño 事件发展阶段之前的 1985 年冬季到 1986 冬季,1991/1992 年 El Niño 事件发展阶段之前的 1991 年春季到秋季和 1997/98 年 El Niño 事件发展阶段之前的 1996 年冬季到 1997 年夏季,均出现较强的西风异常。此外,与较弱的 1993 和 1994 年 El Niño 事件相联系,1992 年冬

季到 1993 年春季和 1994 年夏季也出现了明显的西风异常。同时从图 2b 还可看到,在 La Niña 事件发生之前,即从 1982 年冬季到 1983 年夏季,1988 年的春季到秋季,1995 年夏、秋、冬季和 1997 年冬季到 1998 年秋季,均出现明显的东风异常。这表明热带西太平洋上空东风异常对 La Niña 事件的发生起了很重要的作用。

比较图 2a 和图 2b,可以清楚看到,这 4 次 El Niño 事件发生前,赤道西太平洋 850 hPa 纬向风异常均有较大的西风异常;而在这 4 次 La Niña 事件发生前,赤道西太平洋均有较大的东风异常。这说明了 ENSO 循环与赤道西太平洋上空对流层下层的纬向风异常有很大关系。黄荣辉和张人禾^[11]和 Huang 等^[12]分析了 1980~1994 年所发生的 3 次 ENSO 循环的赤道太平洋上空对流层下层纬向风的变化情况,表明了 El Niño 事件的发展阶段赤道西、中太平洋有强的西风异常;并且在紧随西风异常的西部为东风异常区,它随西风异常的东传而向东伸展。这里的分析结果与他们所发现的现象一致。

4 热带西太平洋上空对流层下层环流异常对 ENSO 循环的影响

4.1 对 El Niño 事件发生的影响

利用 NCEP/NCAR 再分析资料,我们分析了 1980~1998 年 4 次 El Niño 事件发展与衰减阶段前热带西太平洋上空 850 hPa 环流异常的季度平均距平风场分布^[13]。图 3 a, b 分别是 1982 年春季、1985 年冬季、1991 年春季以及 1996 年冬季热带西太平洋上空 850 hPa 距平风场分布,可以看出,在 El Niño 事件发生之前,热带西太平洋上空对流层下层有一个明显的气旋性异常风场分布,在印度尼西亚和菲律宾以东的热带西太平洋上空有明显的西风异常。这个西风异常将有利于西太平洋暖池海域产生暖 Kelvin 波,使暖池暖水向东输送,从而使 El Niño 事件产生。

4.2 对 La Niña 事件发生的影响

图 3e~3h 分别是 1982 年冬季、1987 年秋季、1992 年春季和 1997 年秋季 El Niño 事件成熟期热带西太平洋上空 850 hPa 季度平均的距平风场分布。可以明显地看到,在 El Niño 衰减之前,在热带西太平洋上空对流层下层有一明显的反气旋式的距平风场分布,这样,从巴布亚新几内亚沿印度尼西亚到苏门答纳一带有明显的东风异常,这个东风异常使得西太平洋暖池产生冷 Kelvin 波,从而使 El Niño 事件衰减、消亡,并使 La Niña 事件产生。然而,应指出:由于 1992 年春季在热带西太平洋对流层下层所出现的反气旋环流异常维持很短时间,到夏、秋季又变成气旋性环流异常,使之 El Niño 事件在 1993 年再度发生。

上述热带西太平洋环流异常是与对流活动相联系。Ren 和 Huang^[14]的研究表明,当西太平洋暖池暖,则它上空对流活动强;反之,则它对流活动弱。对于大尺度运动,运动可以近似看成是准水平,这样,涡度方程可以近似写成:

$$\frac{d}{dt}(f + \zeta) \cong -(f + \zeta)D.$$

其中 f 是柯氏参数, ζ 是环流的相对涡度, D 是环流的散度。当热带西太平洋对流活动强,低层气流辐合加强,则 $D < 0$, 因此, $\frac{d}{dt}(f + \zeta) > 0$, 故在热带西太平洋上空气旋性环流要增强;相反,