

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

国家重大基础研究发展计划项目

《我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究》系列专著之三

系列专著主编：张人禾 周秀骥 倪允琪

顾问：陶诗言

中国南方洪涝和持续性 暴雨的气候背景

陈文 杨修群 等著

 气象出版社
China Meteorological Press



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

中国南方洪涝和 持续性暴雨的气候背景

陈 文	杨修群	黄荣辉	钱永甫
何金海	张庆云	黄 刚	封国林
吴统文	鲍 名	杨 辉	周连童
简茂球	丁治英	王 林	马 音
远 芳	陈 栋	陈际龙	黄丹青
赵 勇	黄 樱	朱宵峰	闵 岫

著

内容简介

本书对中国南方洪涝和持续性暴雨的气候背景作了比较系统的研究,涉及中国洪涝灾害的基本时空变化特征和持续性暴雨的气候统计特征,旱涝并存和旱涝急转现象,极端降水阈值的判断方法的讨论;集中研究了夏季长江、淮河流域持续性暴雨发生的大尺度环流条件及动力学机理,分析了江淮流域持续性暴雨和洪涝发生与从热带 ITCZ 到中高纬度西太平洋副热带高压、西风带环流及东北冷涡的配置关系,又对华南前汛期持续性暴雨发生的大气环流异常作了探讨;从热带海洋的热力状态和中纬度海陆热力差异方面研究了中国南方洪涝发生的影响因子,提出了长江流域夏季洪涝灾害发生的气候学概念模型和江淮流域洪涝年代际变化的气候背景。其结果对了解持续性暴雨和洪涝发生的机理,改进灾害的短期气候预测均有重要应用价值。

本书主要供气象、水文部门的研究人员和业务工作者,高等院校有关专业的大学生和研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国南方洪涝和持续性暴雨的气候背景/陈文等著.

北京:气象出版社,2012.10

(我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和研究方法研究系列专著;3)

ISBN 978-7-5029-5579-3

I. ①中… II. ①陈… III. ①暴雨洪水-研究-中国

IV. ①P426.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 231758 号

Zhongguo Nanfang Honglao he Chixuxing Baoyu de Qihou Beijing

中国南方洪涝和持续性暴雨的气候背景

陈文 杨修群 等著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:李太宇 王祥国

封面设计:蓝色航线

责任校对:赵 媛

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:474 千字

版 次:2013 年 10 月第 1 版

定 价:60.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68406961

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

彩 插:8

印 张:17.5

印 次:2013 年 10 月第 1 次印刷

序

中国气象科学研究院主持的“国家重点基础研究发展计划”项目（即“973”项目）“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究”（2005—2009 年）课题组在暴雨的遥感监测技术、南方暴雨的结构与机理研究、暴雨预报理论和方法以及我国南方暴雨野外科学试验等方面取得了一系列重要研究成果，其中包括遥感监测和数值预报模式系统的应用软件系统，在国内外重要学术刊物上发表的 702 篇学术论文（其中 SCI 文章 212 篇）。在此基础上，课题组专家又进一步总结、完成了研究成果系列专著。这套系列专著反映了我国近年来在暴雨机理、监测与预测方面的最新研究成果，并将研究成果与提高气象观测预报业务能力相结合，注重研究成果的业务应用，体现了国家“973”项目面向国家需求的正确方向，也体现了项目组研究人员对基础研究成果在气象业务中应用的重视。为此，我对该课题组取得的丰硕研究成果和系列专著的出版表示由衷的祝贺，也对课题组为研究成果的应用所付出的努力表示衷心的感谢。这套系列专著既对深入研究我国暴雨问题起着进一步推动作用，又对于大气科学及相关领域的科研、业务、管理人员以及广大读者来说，具有很好的参考价值。

在近代科学发展中，基础科学具有根本性的意义，是一切科学技术创新的源泉。开展基础科学研究对于整个学科的发展具有很重要的意义。如何将大气科学基础研究的成果转化为气象业务应用技术，这是大气科学领域科学家们面临的现实问题。如何把大气科学及相关交叉学科的基础研究成果应用到各种尺度的大气现象及其运动的监测，并做出正确的预测，这更是中国大气科学领域科学家们必须面对并努力解决的问题。科学家的责任在于从科学实践中不断推进科学基础研究的进步，并造福于人类。因此，我很高兴地通过这套系列专著看到，我国有一批大气科学研究的科学家从提升气象业务能力出发研究大气科学的基础问题，推动基础研究成果应用于实际气象业务中。这确实是大气科学研究本身进步的表现。

当前，我国气象工作者正在按照国务院提出的“到 2020 年，要努力建成结构完善、功能先进的气象现代化体系”的战略目标努力工作。要实现这一宏伟

目标，必须依靠科技进步的推动，其中要努力解决气象业务服务中的一系列基础科学问题。因此，重视国家重大项目的研究，包括国家“973”项目的研究，对于提升我国气象业务服务能力和水平，加快实现气象现代化具有十分重要的意义。中国气象局将继续支持广大科技工作者围绕气象业务服务需求，开展大气科学基础理论研究、应用研究和研究成果的推广应用。

郑国光

（中国气象局局长）

2012年4月于北京

目 录

序	
第 1 章 绪 论	(1)
1.1 研究意义、现状	(1)
1.2 研究内容	(2)
1.3 本书章节安排、作者	(2)
第 2 章 中国洪涝灾害的时空变化特征	(4)
2.1 中国汛期月降水量年际异常型的持续特征分析	(4)
2.2 中国夏季降水异常的时空变化特征及其与海温的关系	(10)
2.3 旱涝并存和旱涝急转	(21)
2.4 非线性时序信息提取及其在长江三角洲洪涝气候背景分析中的应用	(27)
2.5 幂律尾指数分析在中国华南和华北降水特征中的应用	(40)
第 3 章 中国持续性暴雨的时空变化特征	(56)
3.1 中国持续性暴雨的气候统计特征	(56)
3.2 中国暴雨和极端降水的变化特征	(63)
3.3 中国南方持续性暴雨过程中的双雨带分析	(72)
第 4 章 中国极端降水事件的时空变化特征	(80)
4.1 中国极端降水阈值的判断方法研究	(81)
4.2 江淮地区极端降水的时空分布特征	(90)
4.3 极端降水事件的区域性和持续性的定量分析	(103)
第 5 章 长江、淮河流域持续性暴雨发生的环流条件及其机理	(112)
5.1 中国暴雨灾害的严重性和特征	(112)
5.2 长江中、下游地区持续性暴雨发生的大尺度环流条件	(115)
5.3 淮河流域持续性暴雨发生的大尺度环流条件	(119)
5.4 引发长江上游地区持续性暴雨发生的大尺度环流条件	(128)
5.5 长江、淮河流域持续性暴雨发生的动力学机理	(132)
第 6 章 夏季长江、淮河流域洪涝和持续性暴雨发生的高低纬环流配置	(138)
6.1 夏季江淮流域持续性降水的多时间尺度特征	(138)
6.2 夏季江淮流域持续性暴雨洪涝与 ITCZ	(140)
6.3 夏季江淮流域持续性暴雨洪涝与西太平洋副热带高压	(143)
6.4 夏季江淮流域持续性暴雨洪涝与东亚中纬度西风带环流	(148)

6.5	夏季中国洪涝与东北冷涡	(151)
第7章	华南洪涝和持续性暴雨发生的大气环流异常	(158)
7.1	华南前汛期暴雨的降水特征及其变化规律	(158)
7.2	华南前汛期持续性暴雨的环流条件	(163)
7.3	西太平洋对流活动对华南持续性暴雨的影响	(170)
第8章	热带海洋对中国南方洪涝和持续性暴雨的影响	(179)
8.1	中国长江、淮河流域洪涝灾害的严重性和成因的复杂性	(179)
8.2	热带西太平洋热力状态对中国长江、淮河流域洪涝灾害的影响及其机理	(183)
8.3	热带西太平洋热力状态对长江、淮河流域洪涝灾害的准两年周期振荡的影响及其机理	(188)
8.4	热带太平洋 ENSO 循环对长江、淮河流域洪涝的影响及其机理	(194)
8.5	热带印度洋热力状态对长江、淮河流域洪涝的影响及其机理	(199)
8.6	淮河流域洪涝与长江中、下游流域洪涝时热带海洋的热力异常强迫作用的比较	(206)
第9章	中纬度海陆热力差异对中国南方洪涝的影响及其机理	(210)
9.1	中纬度海陆热力差异对中国南方洪涝的影响机理	(211)
9.2	北非地区海陆热力差异与夏季江淮流域旱涝的关系	(223)
9.3	青藏高原地区地表热力异常与江淮流域降水异常的关系	(231)
9.4	中国西北干旱、半干旱区感热的年代际变化特征及其与中国夏季降水的关系 ...	(240)
第10章	总 结	(253)
10.1	长江流域夏季严重洪涝灾害发生的气候学概念模型	(253)
10.2	长江、淮河流域洪涝年代际变化的气候背景	(254)
参考文献		(257)

第1章 绪论

1.1 研究意义、现状

中国南方地区持续性的致洪暴雨主要包括长江中下游(包括江淮流域)的梅雨锋暴雨和华南前汛期暴雨,由这类暴雨引发的洪涝灾害是中国重要的气象灾害。一次暴雨事件可能只会引起局地性、短时间的天气灾害,而持续性的暴雨往往导致大范围、长时间的气候灾害,对农业、工业、牧业、水利、交通等产生巨大影响,从而造成巨大的经济损失。20世纪50年代以来长江流域(包括江淮地区)的历次大水(如1954、1980、1991、1998、2003年)都是由这类致洪暴雨造成的,给国家造成重大损失。如1998年夏季长江流域汛期降水比常年多了1倍,造成了全流域严重洪涝,导致3000多人死亡,2600亿元的经济损失。据国家民政部门统计,近10年来中国大陆平均每年因洪涝灾害造成的粮食损失约200亿kg,经济损失近2000亿元。由气象灾害造成的国民经济的损失约占国民经济生产总值的3%~6%。因此,提高致洪暴雨及其引发的洪涝灾害的监测与预报水平,不仅是各级政府部门指挥减灾防灾、为确保人民生命财产与国家重大工程安全做出决策最为迫切需要的科学依据之一,同时也对增强中国防灾减灾的总体能力,确保中国在21世纪国民经济得到可持续发展具有极为重要的意义。

关于暴雨与洪涝的研究得到了国家有关部门的高度重视,比如国家科技部在首批启动的国家重点基础研究发展规划项目中就分别资助了“我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究”和“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”项目。这些项目的实施在中国长江中下游梅雨锋暴雨形成机理与预测理论研究上、在中国南方洪涝气候灾害的形成机理上均取得了重大进展。然而,以往对暴雨和洪涝的研究基本上是分开进行的。持续性、频发性的暴雨通常会导致气候异常,从而说明这类致洪暴雨的发生很可能有一定的气候背景。针对暴雨形成的大尺度环流形势及中尺度系统的研究以及可能的短期预测,对于减轻暴雨灾害和损失非常重要,但这只是暴雨研究的一个方面;另一方面,从国民经济发展需求的角度来看,同样重要甚至更重要的是,政府决策部门及有关生产部门,需要尽早了解中国南方地区夏季的暴雨和洪涝趋势,以便更有效、更科学、更经济地安排国家基本建设及国民经济规划。由此可见,在关于暴雨的研究中亟需开展持续性暴雨的气候背景研究,这也是国际大气科学的前沿科学问题之一。

目前人们对于气候的认识已经有了一个突破性的飞跃,这就是:气候变化与异常不仅和大气圈的内部热力、动力作用有关,而且与大气圈、水圈、冰雪圈和岩石圈所构成的地球气候系统中各圈层的相互作用有关。具体来说,气候变化与异常是地球大气、海洋、冰雪、陆地等相互作用的结果,也与生物圈及人类活动有很大关系。因此,要了解气候灾害的成因,不仅要知道控制气候灾害发生的大气内部的动力、热力过程,而且还要知道大气外部,如海洋、陆面等的热力

状况及其对大气的影晌。尽管中国洪涝等气候灾害的成因很复杂,但它必然受东亚气候系统异常的控制,是东亚气候系统各成员变化及其相互作用的结果,也就是说,洪涝等气候灾害受大气圈中东亚季风、西太平洋副热带高压、中纬度扰动、海洋圈中的 ENSO 循环、热带西太平洋暖池和印度洋的热力状况、青藏高原的动力和热力作用、北冰洋海冰、欧亚积雪以及干旱/半干旱区的陆面过程等因子的变化及其相互作用的影响。1998 年夏季发生在长江流域的特大洪涝的形成过程就充分说明了中国严重洪涝是东亚气候系统变化及其相互作用的结果。因此,引发流域性洪涝灾害的持续性暴雨是在一定气候背景条件下,并在一系列长期动力过程影响下发生的异常强降水过程。这就需耍把暴雨的持续性特点与气候背景结合起来,即将中小尺度的天气问题与大尺度气候异常背景直接联系起来,开展我国南方持续性暴雨和洪涝的气候背景研究。

1.2 研究内容

中国气象科学研究院主持的“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方祛研究”项目作为国家重点基础研究发展规划项目之一,于 2004 年立项,并于 2009 年底顺利通过科技部组织的结题验收。该项目第三课题“引发我国南方频发性与持续性暴雨的气候背景研究”的研究目标是,揭示中国南方洪涝气候灾害的时空演变规律与特征,并从东亚气候系统各成员的相互作用出发揭示产生频发性与持续性暴雨的大尺度环流条件和关键物理过程,建立引发中国南方严重洪涝灾害的频发性与持续性暴雨的气候学模型和气候背景。

该课题以 20 世纪 50 年代以来中国南方所发生的严重洪涝灾害为研究的切入点,系统分析中国洪涝气候灾害的时空演变规律和特征,并从观测事实、动力诊断,特别是气候数值模拟来分析研究中国南方洪涝灾害的机理。该课题还以 20 世纪 70 年代后期以来中国南方,特别是长江、淮河流域所发生的严重洪涝灾害为研究的重点,分析研究产生长江、淮河流域严重洪涝的持续性暴雨发生的大气环流条件和关键物理过程,并从东亚气候系统各成员的相互作用出发,即从大气圈的东亚季风、西太平洋副热带高压和中纬度扰动系统,从海洋圈的 ENSO 循环(包括厄尔尼诺和拉尼娜事件)、太平洋年代际振荡、西太平洋暖池和印度洋的热力变异,以及青藏高原与西北干旱区陆面过程来分析中国南方(特别是长江、淮河流域)持续性暴雨发生的气候学模型和气候背景。具体研究内容为:

(1)中国南方从 20 世纪 50 年代到 21 世纪初洪涝气候灾害时空演变规律与特征以及演变机理;

(2)产生长江、淮河流域严重洪涝灾害的持续性暴雨发生的大尺度环流条件和关键物理过程;

(3)引发中国南方(特别是长江、淮河流域)持续性暴雨的气候学模型和气候背景。

1.3 本书章节安排、作者

本书是由参与该课题研究的科学家根据其 5 年来的研究成果精心提炼而成。为方便读者与各方专家联系,现将本书各章节的作者列表如下。

第1章 陈文 杨修群

第2章 2.1 陈文 简茂球

2.2 王林 陈文 马音

2.3 何金海

2.4~2.5 封国林

第3章 3.1 鲍名

3.2 黄刚

3.3 丁治英 何金海

第4章 4.1 封国林

4.2 黄丹青 黄樱 朱宵峰 赵勇 钱永甫

4.3 黄丹青 闵岫 赵勇 钱永甫

第5章 黄荣辉 鲍名 陈文 陈栋 陈际龙

第6章 6.1~6.4 张庆云

6.5 何金海

第7章 7.1 陈文 远芳

7.2 杨辉

7.3 鲍名

第8章 黄荣辉 黄刚 陈文 鲍名 马音

第9章 9.1 吴统文

9.2~9.3 钱永甫 赵勇

9.4 周连童

第10章 黄荣辉 陈文

第5、第8和第10章由黄荣辉执笔,钱永甫对第4和第9章作了修改润色工作,全书由陈文统稿。

第2章 中国洪涝灾害的时空变化特征

中国地处东亚季风区,季风年际变化很大,这种变化往往引起大范围的旱涝等气候灾害。比如,华北地区1977年以后,降水连年减少,20世纪80年代的年平均降水量约比50年代减少了1/3,形成了严重干旱(黄荣辉等,1999a)。而1998年夏季长江流域和东北嫩江、松花江流域汛期降水量将近常年的2倍,发生了特大洪涝,经济损失超过2600亿元,死亡人数超过3000人。黄荣辉等(2003)统计和研究了中国主要气候灾害的时空分布特征,指出中国的干旱主要发生在西北和华北地区,而洪涝则主要发生在长江中、下游地区和东南沿海。本章拟在以往研究的基础上进一步对中国降水的时空变化特征作更为深入的研究。

2.1 中国汛期月降水量年际异常型的持续特征分析

2.1.1 中国汛期月降水量年际异常型的相关性

到目前为止,已有相当多的工作从不同的角度研究中国汛期降水尤其是夏季降水的时空变化特征(邓爱军等,1989;黄荣辉等,1992;宋连春,1992;廖荃荪和赵振国,1992;陈烈庭和吴仁广,1994;林爱兰和吴尚森,1996;王绍武等,1998)。然而,上述已有的研究大多数是用夏季6—8月总降水量或按经纬度地理区域、行政区域来分析降水的异常,而甚少对各月根据降水异常的自然空间分布型来划分区域研究降水的异常及其相互联系。因此,本小节的目的是要研究中国汛期(4—9月)各月降水的自然异常空间分布型以及它们之间的相关性。为此,首先对1958—2000年中国汛期4—9月160站逐月降水量距平做经验正交函数(EOF)分解,然后利用特征向量来计算相关,研究中国汛期相邻月份和相隔月份之间降水异常型的相关特征。由于我们重点分析的是降水的年际变化分量,所以利用了谐波分析方法(黄嘉佑,2000)对资料进行了时间尺度分解,保留8a以下周期分量,即年际变化分量。

表2.1.1给出了中国汛期4—9月各月降水量年际分量EOF分析的前5个特征向量场占总方差的百分比。可以看出,各月前5个特征向量场的累计方差超过49.5%,前3个特征向量中绝大部分的方差百分比都在10%以上。所以,下面仅用各月前3个特征向量来分析降水异常型的相关特征。

经计算,具有显著相关的相邻月份特征向量对分别是:(1)5月第一特征向量与6月第二特征向量(相关系数为0.5),(2)7月第一特征向量与8月第一特征向量(相关系数为0.53),(3)8月第二特征向量与9月第一特征向量(相关系数为0.6)。

表 2.1.1 4—9 月各月年际降水量 EOF 分析的前 5 个特征向量占总方差的百分比(%)

月份	前 5 个特征向量					前 5 个总和
	1	2	3	4	5	
4	26.7	19.0	10.9	6.7	6.0	70.3
5	23.5	13.9	11.1	6.1	5.8	60.4
6	18.2	11.6	10.1	8.7	6.5	55.1
7	14.6	11.7	10.1	6.8	6.3	49.5
8	15.8	12.1	8.6	7.0	6.0	49.5
9	17.1	10.8	8.8	8.1	7.3	52.1

第一对显著相关特征向量对应的特征向量场如图 2.1.1a、2.1.1b 所示,5 月第一特征向量在中国东南部有一明显的极值中心区,6 月第二特征向量反映的降水量异常分布型是,在 28°N 即长江中下游附近为一个主要的极大值中心(长江中下游型),而云南则是一个与前者反号的弱极大值中心。由于 5 月降水的第一特征向量与 6 月的第二特征向量有显著的正相关,可推断出如果 5 月份中国东南部地区降水偏多,则 6 月份长江中下游至江南地区的降水也偏多,反之亦然。

第二对显著相关的特征向量是 7、8 月的第一特征向量。7 月第一特征向量如图 2.1.1c 所示,长江流域是降水正异常中心区(长江流域型),是 7 月降水异常的一个主要区域。8 月第一特征向量如图 2.1.1d 所示,其主要分布特点是长江至黄河之间为正值区,中心位于长江中游及其北部,江南南部至华南地区和黄河以北地区则为负值带,可称为南北三极型。7、8 月第一特征向量之间有相关系数为 0.53 的显著正相关,说明 7 月长江流域型和 8 月的南北三极型有显著的同相年际变化特性,即同相偏多或偏少。

第三对显著相关的特征向量是 8 月第二特征向量与 9 月第一特征向量。8 月第二特征向量如图 2.1.1e 所示,长江以南基本是正值区,主要中心位于江西—湖南—广西北部的带状区域,与甘肃南部—四川北部—陕西经黄河下游至山东的带状区域是互为反号区。9 月降水量 EOF 分析的第一特征向量如图 2.1.1f 所示,其主要特点是在华南中东部有一明显的极大值中心,可称为东南沿海型,与该模态有关的主要天气系统是热带气旋(台风)。上述两个特征向量的显著高相关表明,如果 8 月沿江西—湖南—广西一带的降水偏多(少),则 9 月东南沿海地区降水也会偏多(少)。

我们还进一步分析了汛期相隔一个月的各月降水异常型的相关性,发现存在两对显著相关模态。第一对是 6 月第一模态和 8 月第二模态,它们的特征向量间有相关系数为 -0.53 的显著相关。6 月降水量的 EOF 第一特征向量反映出长江以南地区是主要的降水异常区(图略),是中国 6 月份的降水变异的一个主要模态。由于 6 月降水的第一特征向量和 8 月降水的第二特征向量(图 2.1.1e)在长江以南地区都是正值,那么它们的特征向量之间的显著负相关表明,如果 6 月中国南方中部的降水偏多(少),则在江西—湖南—广西北部带状区域 8 月的降水是偏少(多)的。

相隔月份降水异常型存在显著相关性的另一对模态是 7 月第三模态和 9 月第一模态,它们的特征向量间同样有相关系数为 -0.53 的显著相关。7 月第三特征向量在长江至华南北部为正值区,其中又以广西北部—湖南—江西为主要的正值中心区(图略)。由于 9 月第一特征向量在华南中东部区域也是正值(图 2.1.1f),那么 7 月第三特征向量和 9 月第一特征向量的显著负相关表明,如果在广西北部—湖南—江西一带 7 月的降水偏多(少),则 9 月在华南中东部的降水会偏少(多)。

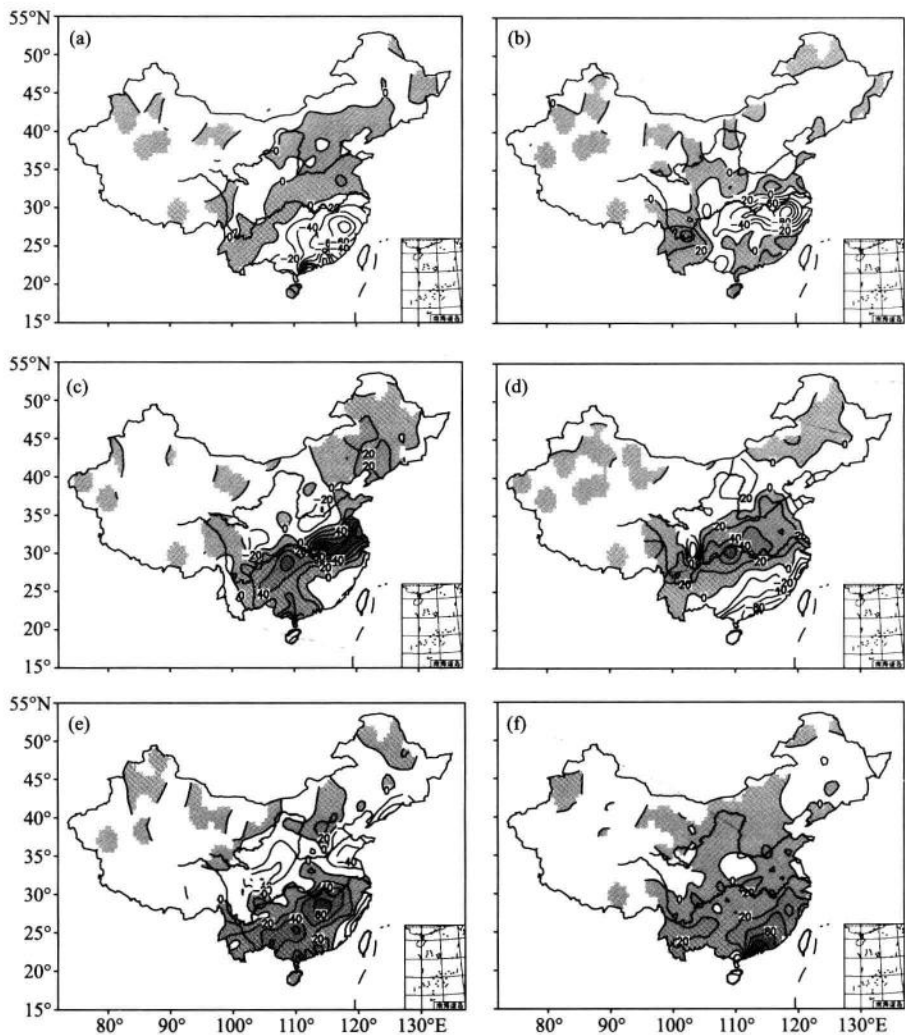


图 2.1.1 中国月降水量年际变化分量的 EOF 分析的特征向量空间分布

(a. 5 月第一特征向量, b. 6 月第二特征向量, c. 7 月第一特征向量, d. 8 月第一特征向量, e. 8 月第二特征向量, f. 9 月第一特征向量;特征向量场已乘上各相应特征向量的标准差,阴影区为正值区,等值线间隔为 20 mm)

2.1.2 初夏东亚—太平洋大气热源与长江流域地区 7、8 月降水持续异常的关系

大气热源即大气中的非绝热加热,是驱动大气环流的重要因素,大气环流异常造成的旱涝与大气热源异常有密切联系。罗会邦和陈蓉(1995)分析夏季青藏高原东部大气热源异常对环流和降水的影响的结果表明,当高原热源加强时,长江上游和淮河流域的降水增多,而中国东南地区的降水减少。高原热源加强还预示淮河流域未来 1~2 个月的降水增加。Zhao 和 Chen(2001)的研究也发现,青藏高原春季 4 月的热源异常对于随后的夏季中国江淮地区降水量异常(正相关),华南地区和华北地区的降水量异常(负相关)有一定的指示意义,夏季高原热源与夏季长江流域降水存在着明显正相关。此外, Nitta(1987) 和黄荣辉等(1988, 1992, 1994a, 1994b)的研究表明,热带西太平洋暖池的热力状况及其上空对流活动的异常与中国夏季降水异常有非常密切的联系。最近的一些研究也进一步证实了青藏高原东部夏季大气热源

的异常与长江流域及附近地区同期的降水变化有很好的正相关关系(Yang, 2001; 简茂球等, 2004; Jian, *et al.*, 2006)。前一小节的结果已表明, 长江流域 7 月降水量异常与长江和黄河之间区域 8 月的降水量异常有显著的同相关系(图 2.1.1c、2.1.1d), 那么, 与该现象有关的前期大气热源异常关键区在哪里? 其物理机制又如何? 这是本小节要探讨的问题。本小节用到的 1958—2000 年大气热源资料是根据热力学方程采用倒算法计算出全球逐日高空逐层视热源(即大气中的非绝热加热率), 并对其进行垂直积分得到。具体公式详见文献(Yanai, *et al.*, 1973)。

根据图 2.1.1 给出的 7、8 月降水量 EOF 分析的第一特征向量极大值区平均得到的实测降水距平曲线, 以各曲线的 $\pm 0.75\sigma$ (σ 为标准差) 为标准来划分各月降水偏涝/旱年份, 得出 1958—2000 年的 7、8 月都偏涝的年份有 4 a(1969、1974、1987、1998 年), 而同期偏旱的年份有 5 a(1966、1967、1972、1978、1990 年)。

对上述划分的偏涝/旱年 5、6 月的热源距平合成如图 2.1.2 所示。在偏涝年 5 月(图 2.1.2a), 赤道中、东太平洋地区有热源正距平, 即对流加强, 而在赤道两侧有热源负距平, 这种特征甚至可追踪到前期 1 月(图略); 偏涝年 6 月的情形(图 2.1.2c)与 5 月的类似, 表明在 7、8 月长江流域及邻近地区持续偏涝年的前期 5、6 月, 热带中、东太平洋地区的大气热源异常有明显的持续性。偏旱年 5、6 月热源距平分布并非与偏涝年的分布完全反相, 其主要分布特征是在赤道中太平洋北侧有明显的热源正距平, 而在赤道东、西太平洋有热源负距平(图 2.1.2b、2.1.2d)。上述结果表明, 中国 7、8 月长江流域及邻近地区持续偏涝/旱灾害的发生与前期 5、6 月热带太平洋的大范围热源异常有密切的联系。为了找出对 7、8 月持续偏涝/旱灾害有较直观指示意义的前期热源异常的关键区——偏涝年和偏旱年反号的区域, 我们对偏涝/旱年合成平均的前期 5、6 月热源距平场进行如下的判别处理, 即将热源距平在 5、6 月是同号的但在

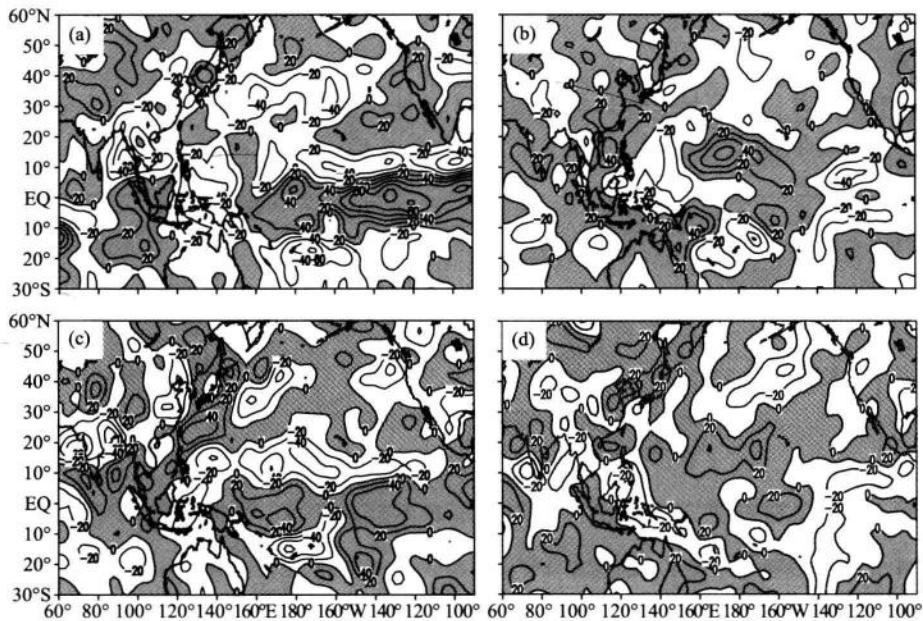


图 2.1.2 偏涝/旱年 5、6 月大气热源距平的合成图

(a. 偏涝年 5 月, b. 偏旱年 5 月, c. 偏涝年 6 月, d. 偏旱年 6 月; 阴影为正距平区, 单位: W/m^2)

偏早年和偏涝年却反号的区域分别找出(图 2.1.3)。从图可知,范围较大的热源异常关键区主要出现在赤道东太平洋和赤道中太平洋北侧区域,前者的大气热源在偏涝年为正、偏早年为负,而后的热源距平则相反。

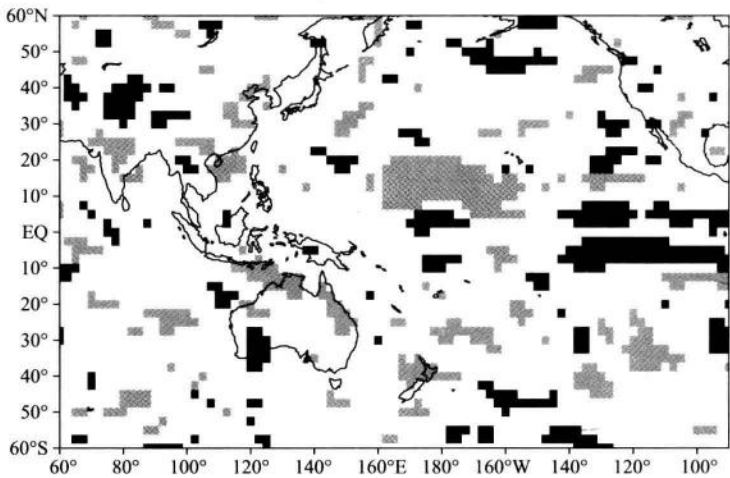


图 2.1.3 7、8 月持续偏涝/早年合成平均的 5、6 月大气热源距平同号且在偏早年和偏涝年反号的区域
(深阴影代表热源在偏涝年有正距平而在偏早年为负距平的区域,浅阴影则相反)

为了验证上述关键区 5、6 月热源异常是否确实与后期 7、8 月中国长江流域及附近地区降水异常有关,我们首先将 5、6 月赤道东太平洋区域($7.5^{\circ}\text{S}-7.5^{\circ}\text{N}, 122.5^{\circ}-135^{\circ}\text{W}$)与赤道中太平洋北侧区域($10^{\circ}-20^{\circ}\text{N}, 165^{\circ}\text{E}-175^{\circ}\text{W}$)平均的热源距平之差定义为热带中东太平洋的热源异常指数,然后计算该指数分别与中国 7、8 月 160 站降水的相关。结果发现,热带中东太平洋的热源异常指数的确与中国 7、8 月长江及附近地区的降水异常有显著的正相关(图 2.1.4)。这表明,当 5、6 月赤道东太平洋的大气热源正异常而赤道中太平洋北侧的热源负异常,则中国 7 月长江流域及邻近地区偏涝,8 月长江中上游及长江北侧附近地区和内蒙古东部偏涝,华南偏旱;反之亦然。

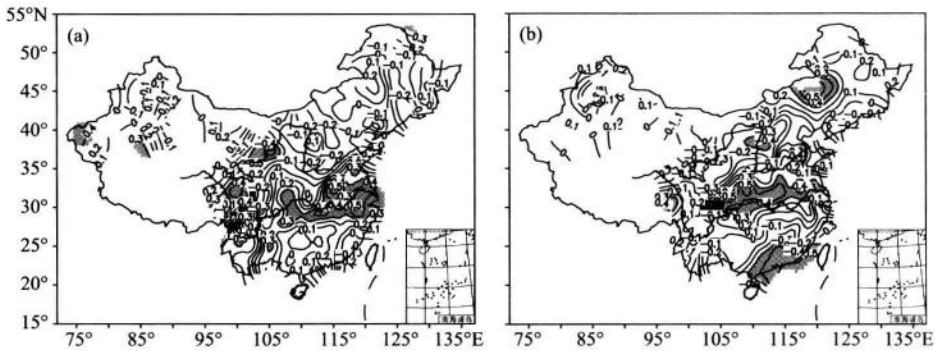


图 2.1.4 热带中东太平洋的热源异常指数与中国 160 站年际尺度降水的相关系数分布
(a. 7 月, b. 8 月; 阴影为通过 95% 信度检验区域)

下面分析前期的热源异常影响后期中国 7、8 月降水的物理过程。图 2.1.5、2.1.6 分别给出了涝年合成的 5—8 月海温距平、500 hPa 垂直运动 ω 距平场。在偏涝年 5 月,赤道中、东太

平洋海温有明显的正距平(图 2.1.5a),由于下垫面的异常加热使得其上空有距平上升运动(图 2.1.6a),与之相伴,赤道中、东太平洋有明显热源正异常(图 2.1.2a),并通过高层向赤道两侧辐散(图略),而导致两侧是距平下沉运动。到 6 月,海温的距平场基本维持 5 月的分布型,赤道中、东太平洋的海温依然维持正距平,但强度有所减弱(图 2.1.5b),赤道中太平洋与热源正异常相联系的异常上升运动区明显向西扩展(图 2.1.6b),并在热带中西太平洋上空高层伴随有一对明显增强的辐散辐合的中心,从而使得 10° — 15°N 的中、西太平洋的异常下沉运动明显增强,同时也在菲律宾东侧附近洋面高层出现范围较小的辐合中心(图略),对应着中层是一异常下沉中心。在 7 月,海温距平场的分布与前两个月相比有明显的差异,主要表现在南海形成较明显的海温正距平中心,东亚沿海的“南正北负”的海温距平梯度加大,这是与夏季长江流域偏涝对应的典型海温距平分布(陈烈庭和吴仁广,1998;孙秀荣等,2001)相对应,原赤道中、西太平洋的正海温距平区往赤道北侧偏移并占据西太暖池区域,与此同时,从赤道西太平洋沿东南方向形成一条较明显的负距平区(图 2.1.5c)。与海温距平场的变化相对应,原赤道西太平洋的距平上升运动区北移,而原赤道中西太平洋北侧的显著距平下沉运动区及高层的距平辐合区也随之往西、北移动至巴士海峡及其以东洋面上空,使得中国长江流域至日本上空的上升运动加强,易于发生洪涝灾害(图 2.1.6c)。到 8 月,海温距平分布变化不大(图 2.1.5d),华南南部—南海北部地区继续维持异常下沉运动(图 2.1.6d),从而有利于长江流域及其北侧地区的降水继续偏多。

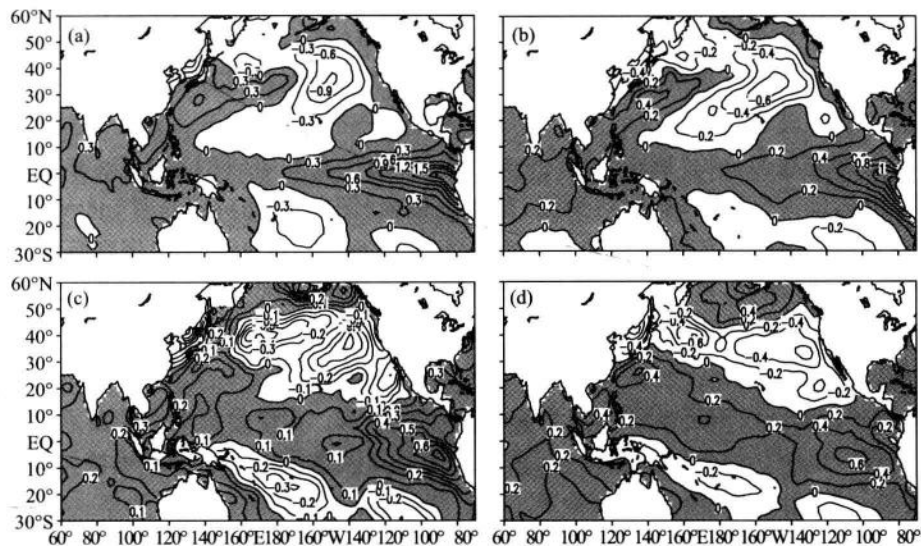


图 2.1.5 7、8 月持续偏涝年合成平均的 5—8 月海温距平场
(a. 5 月, b. 6 月, c. 7 月, d. 8 月; 单位: $^{\circ}\text{C}$)

值得注意的是,与夏季长江流域及附近地区偏涝对应的西北太平洋典型的“南正北负”的海温距平分布型早在 5 月初步形成,并一直加强和维持到 8 月份(图 2.1.5)。另外,从图 2.1.6 还可以注意到,从 6 月至 8 月,青藏高原东部上空存在一个异常的上升运动中心,说明高原东部夏季对流活动活跃,这些对流系统部分可以移出高原并东移至长江流域,从而导致 7、8 月在长江流域及附近地区发生持续洪涝灾害。

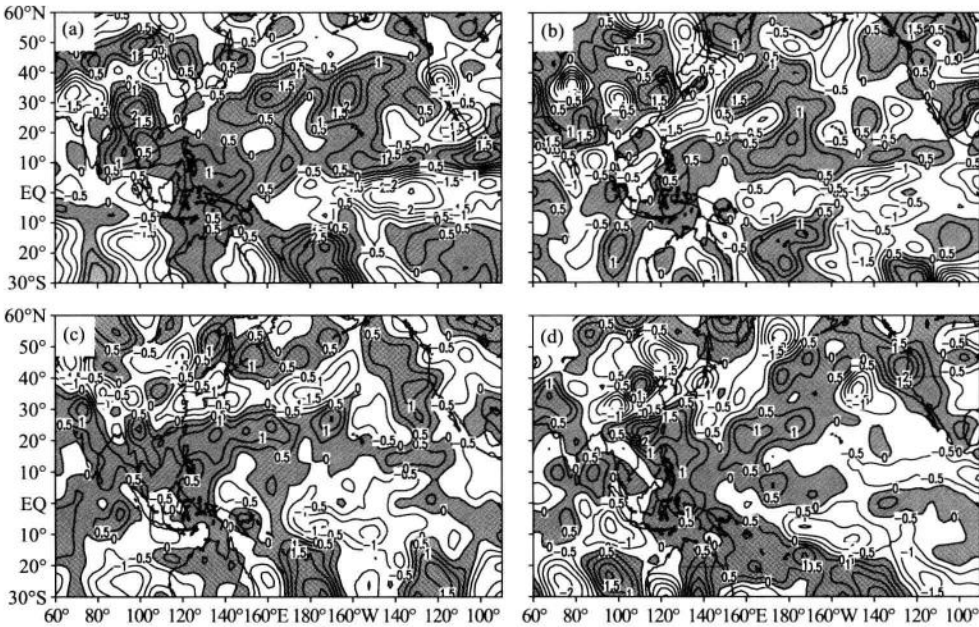


图 2.1.6 同图 2.1.5, 但为 500 hPa 垂直速度 ω 距平场(单位: 10^{-2} Pa/s)

对于 7、8 月持续偏旱的年份, 从 5 至 8 月海温距平场的分布可发现如下演变特征: 北太平洋各月的海温距平从北向南一致呈“正、负、正”相间分布(图略), 西北太平洋这种“南负北正”的海温距平分布对应长江流域夏季偏旱的海温异常分布型, 这意味着在 5 月海温异常分布已经具有与夏季长江流域偏旱对应的同期海温异常空间分布特征; 由于 5 月的海温距平在北太平洋中部中低纬有较明显的“南正北负”的南北梯度, 使得在其零线附近 10° — 20° N 形成了明显的距平上升运动区(图略), 即对流加强, 热源也偏强(图 2.1.2b); 到 6 月, 北太平洋中部副热带地区的距平上升运动区继续维持并向西扩展, 同时也由于北太平洋中纬度海温距平的“南负北正”的南北梯度加强, 以致在 30° N 附近形成一条几乎横跨太平洋的西南—东北向距平下沉运动区; 7 月, 北太平洋副热带海区中部的距平上升运动西移至巴士海峡东部的洋面上, 强度有所加强, 其北侧的距平下沉运动强度也较 6 月明显增强, 西太平洋副热带高压位置较常年偏北, 因此使长江流域及附近地区的降水偏少, 导致旱灾发生, 与之相对应的西北太平洋海温距平的南北梯度也明显加大(图略); 8 月, 南海北部及其以东洋面上空继续维持异常的距平上升运动, 使长江流域附近有异常的距平下沉运动, 利于长江流域附近地区偏旱。另外, 对偏早年而言, 涝年的情形类似但反相的是, 从 6 月起, 高原东部出现距平下沉运动中心(图略), 有利于 7、8 月在南海北部—巴士海峡附近一带形成距平上升运动, 从而有利于长江流域及附近地区 7、8 月持续偏旱。

2.2 中国夏季降水异常的时空变化特征及其与海温的关系

中国的降水主要发生在夏季, 竺可桢(1934)就指出, 中国降水与东亚夏季风有关。在分析东亚夏季风对中国降水的影响中, 有关海温与中国夏季降水的关系的研究已有不少。通过这些研究我们知道, ENSO 循环对东亚夏季风降水有很大影响(黄荣辉和陈文, 2002), 而热带西