

晏红明 袁媛 著

印度洋海温异常的特征及其影响

内 容 简 介

本书系统总结了作者近年来对印度洋海气系统变化特征及其气候影响的研究成果,内容包括印度洋海温变化的多模态演变特征,印度洋热带和副热带海温变化与 ENSO 事件的相互联系,印度洋热带和副热带海温变化的关系,热带印度洋海温异常对南海夏季风爆发的影响,热带印度洋偶极型海温模态对季节内振荡传播的影响,印度洋热带和副热带偶极海温差异对气候的影响等,书中涉及的一些理论和方法是国内外气象研究中比较成熟的,得到的结论有助于认识印度洋海气系统变化的特征和机理,同时也为短期气候预测中了解印度洋海温的作用提供科学的依据。

本书可供从事气象科学研究,气候和气候预测的业务人员及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

印度洋海温异常的特征及其影响/晏红明,袁媛著.

—北京:气象出版社,2012.3

ISBN 978-7-5029-5427-7

I. ①印… II. ①晏… ②袁… III. ①印度洋-海温
异常-研究 IV. ①P731.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 022756 号

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:陈 红

封面设计:燕 彤

责任校对:石 仁

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:326 千字

版 次:2012 年 3 月第 1 版

定 价:70.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:黄润恒

责任技编:吴庭芳

印 张:13

彩 插:4

印 次:2012 年 3 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

序

海洋和大气的相互作用是气候变化的核心内容之一,只有在充分了解大气和海洋相互耦合作用及其动力学的基础上,才有可能最终提高短期气候预测的能力。印度洋的热状况对亚洲季风的形成和活动有重要的驱动作用,海洋温度的异常变化必然会改变海陆热力差异的变化,进而影响亚洲季风环流乃至全球大气环流和气候的异常。印度洋是最近几年来除太平洋之外最受关注的海洋之一,虽然其海盆尺度较小,海温变化幅度也不如太平洋明显,但由于其海温变化的多样性和复杂性,以及对气候影响的重要性,该区域的海气相互作用逐渐成为大气科学研究的热点,特别是 1999 年赤道印度洋海温偶极子(TIOD)概念提出以后,但在其研究结果中也还存在有许多矛盾之处,一些问题上仍然存在很大争议,如印度洋偶极子的形成、发展和消亡的机理,印度洋海气系统与太平洋海气系统的联系,印度洋海温对气候的影响等。因此,进一步研究印度洋海气系统的特征,不仅对于认识该区域的气候变异有重要作用,对于认识全球气候变异也有重要意义。

针对目前研究中存在的一些争议和问题,两位作者在前人工作的基础上,围绕印度洋海气系统的变化特征,及其与太平洋海温变化关系和对气候的影响等几个方面展开了进一步的研究,得到了一些很好的结论,这些结论有助于认识印度洋海气系统变化特征及其对气候的影响,同时也为短期气候预测中了解印度洋海温的作用提供科学的依据。

关于热带印度洋海温异常的模态特征,作者的研究不仅指出最主要的模态就是全区一致的海温变化;而且强调了东西反位相的偶极子型分布,这一模态表现出明显的季节锁定特征,通常在夏季开始出现,秋季发展成熟,冬季很快减弱消亡。在海洋次表层,东西反位相的偶极子型海温分布比表层更加明显,除夏季外,它是秋冬春每个季节最显著的模态。

关于热带印度洋海温异常不同模态与太平洋 ENSO 事件的关系,作者的研究表明,热带印度洋全区一致型海温模态是对太平洋 ENSO 事件的滞后响应,绝大多数的热带印度洋全区一致增暖(变冷)都在太平洋 El Niño(La Niña)事件结束

后的春季发展成熟；而热带印度洋偶极子(TIOD)和太平洋 ENSO 事件主要表现为相互联系和相互依赖性关系，只是极少数年的 TIOD 才是独立存在的；热带印度洋偶极子和太平洋 ENSO 事件的联系还存在明显年代际变化；印度洋偶极子并不只是被动的受 ENSO 事件的影响，而是会反过来通过影响热带西太平洋—中太平洋的低层纬向风及太平洋 Walker 环流对 ENSO 事件在其发展时期的强度有加强作用。

本书也指出了南印度洋副热带偶极模(SDP)的存在，及其与 ENSO 循环的关系和它对气候的影响；本书还用少量篇幅就印度洋海温模态对气候，特别是对中国气候的影响进行了初步数值模拟试验，同资料分析结果进行了对比，为进一步深入研究提供了借鉴。

这是一本关于印度洋海温变化特征及其影响的系统性专门论著，对于深入认识印度洋海温变化的时空特征、认识印度洋和太平洋海温异常的联系、揭示和认识印度洋海温对中国气候的影响等方面都会有一定的推进作用。

李崇张

2011 年 12 月 18 日

前言

海洋占有地球表面广阔的面积,具有巨大的热容量,它不仅是全球大气运动的主要能源区,也是大气中水汽的主要来源地,在提供和调节大气运动能量和大气水汽分配方面起着十分重要的作用,海洋热状况的异常变化将直接影响大气中能量和水分的时空分布,对大气环流和气候的异常具有十分重要的影响。因此,充分了解海洋的变化特征,以及大气和海洋的相互耦合作用对于了解亚洲季风区气候异常的原因,进而提高短期气候预测的能力有重要的实际意义。

印度洋位于亚洲大陆的西南面,是最近几年来除太平洋之外受到广泛关注的海洋之一,尽管与太平洋相比,印度洋海盆相对较小,海温变化幅度也不及太平洋明显,但由于印度洋东西向的海盆宽度仅为太平洋海域的三分之一,印度洋海温的纬向热力对比实际上与太平洋具有同等量级。自 20 世纪末以来,有关印度洋海温的变化特征及其对气候异常的影响越来越多地引起了人们的广泛关注,特别是 1997 年伴随热带东太平洋的 El Niño 事件在赤道印度洋出现的强西暖东冷的海温异常对气候的影响,以及 Saji 等在 1999 年提出了印度洋海温偶极子概念以来,人们的注意力更多地集中到了热带印度洋的海气相互作用。很多工作围绕赤道附近印度洋海温的变化特征、赤道印度洋偶极型海温变化与 ENSO 的关系及其对气候影响等问题展开了广泛和深入的研究,得到了许多有意义的结果。

但到目前为止,有关印度洋海气系统的特征及其机理还缺乏足够的认识,现有的研究结果中还存在很多矛盾之处,在一些问题上仍然存在很大争议,主要表现在:(1)热带印度洋东西部海温变化的同步和不同步问题,以及不同年代际背景下热带印度洋地区风场、热力场等相应的结构特征,其中最有一个问题是热带印度洋偶极子(Tropical Indian Ocean Dipole, TIOD)期间东西印度洋海温变化的关系。一些相关分析研究表明,东西印度洋海温的变化并不呈现明显的反位相特征,因此,认为 TIOD 分布可能只是一种叠加在大范围海温一致变化背景上的温度梯度扰动,并提出了印度洋海温纬向模(Indian Ocean Zonal Mode, IOZM)的概念。(2)TIOD 与 ENSO 变化的关系问题,一些研究认为,TIOD 是印度洋内在的一种耦合模态,独立于 ENSO;而一些研究则认为,TIOD 是 ENSO 的一个组成部分。(3)印度洋海温变化对气候影响的问题,许多研究表明印度洋海温变化具有多模态的变化特征,而有关这些模态对气候影响的差异及其影响的相对重要性问题还存在很多不清楚。

因此,针对目前印度洋地区存在的有关问题,本书的研究重点主要集中在以下几个方面:

- (1)印度洋海温异常不同模态的时空特征;
- (2)印度洋海温不同模态变化的相互关系;
- (3)印度洋海温异常不同模态与太平洋 ENSO 事件的关系;
- (4)印度洋海温异常不同模态对亚洲季风活动和气候变化的影响。

根据上述内容,本书共分为 9 章。第 1 章是绪论,概括目前国内外有关印度洋海温变化及

其影响的研究成果;第2章是深入探讨印度洋海温变化的多模态特征,重点分析印度洋热带和副热带地区海温的空间分布、季节演变、年际和年代际变化特征;第3章是热带印度洋与太平洋海温变化的相互联系,主要分析热带印度洋海温变化全区一致和东西偶极型两种模态与赤道东太平洋海温变化的相互联系;第4章是南印度洋副热带偶极模(Subtropical Dipole Pattern, SDP)与 ENSO 循环的关系,初步分析了南印度洋副热带海温西南—东北向反相偶极子变化与赤道东太平洋 ENSO 事件年际变化的相互联系,并探讨它们之间相互联系的可能机制;第5章是印度洋热带和副热带海温变化的关系,结合印度洋地区低层流场,主要分析印度洋热带和副热带地区海温变化的关系及可能原因;第6章是热带印度洋海温异常对南海夏季风爆发的影响,主要研究热带印度洋全区一致型和偶极型海温模态对南海夏季风爆发的影响;第7章是热带印度洋偶极型海温模态对季节内振荡传播的影响,主要分析热带印度洋偶极子对对流活动季节内振荡传播的影响机制;第8章是南印度洋副热带偶极海温差异对气候的影响,分析南印度洋副热带偶极子对中国气候的影响,并对比分析了其与赤道东太平洋海温变化影响的差异;第9章是热带印度洋广义偶极模对气候影响的数值模拟研究,通过资料诊断分析和数值模拟方法重点分析了热带印度洋反位相偶极子和海温梯度变化对气候的影响及其影响的差异。

印度洋地区的海气相互作用比较复杂,虽然本书的研究得出了一些有意义的结论,但对于系统认识印度洋海气系统的特征及其机理还存在很大的差距,在以后的工作中,我们仍需持之以恒地研究和探索。由于我们的水平有限,书中难免有不少错误和不当之处,敬请读者批评指正。

本书是在两位作者博士论文的基础上进一步研究和整理编写完成,特别感谢指导我们进行研究工作的李崇银院士,同时也衷心感谢在研究过程中给予我们关心、帮助和支持的黄荣辉院士、丁一汇院士、陈忠良教授、张庆云研究员、陈文研究员、陆日宇研究员、肖子牛研究员、琚建华教授、李维京研究员、林朝晖研究员、杨辉副研究员、周文博士等老师和同事,另外,还要感谢国家自然科学基金委——云南联合基金项目(U0833602)和国家自然科学基金项目(41065004)的资助。

作者

2011年12月8日

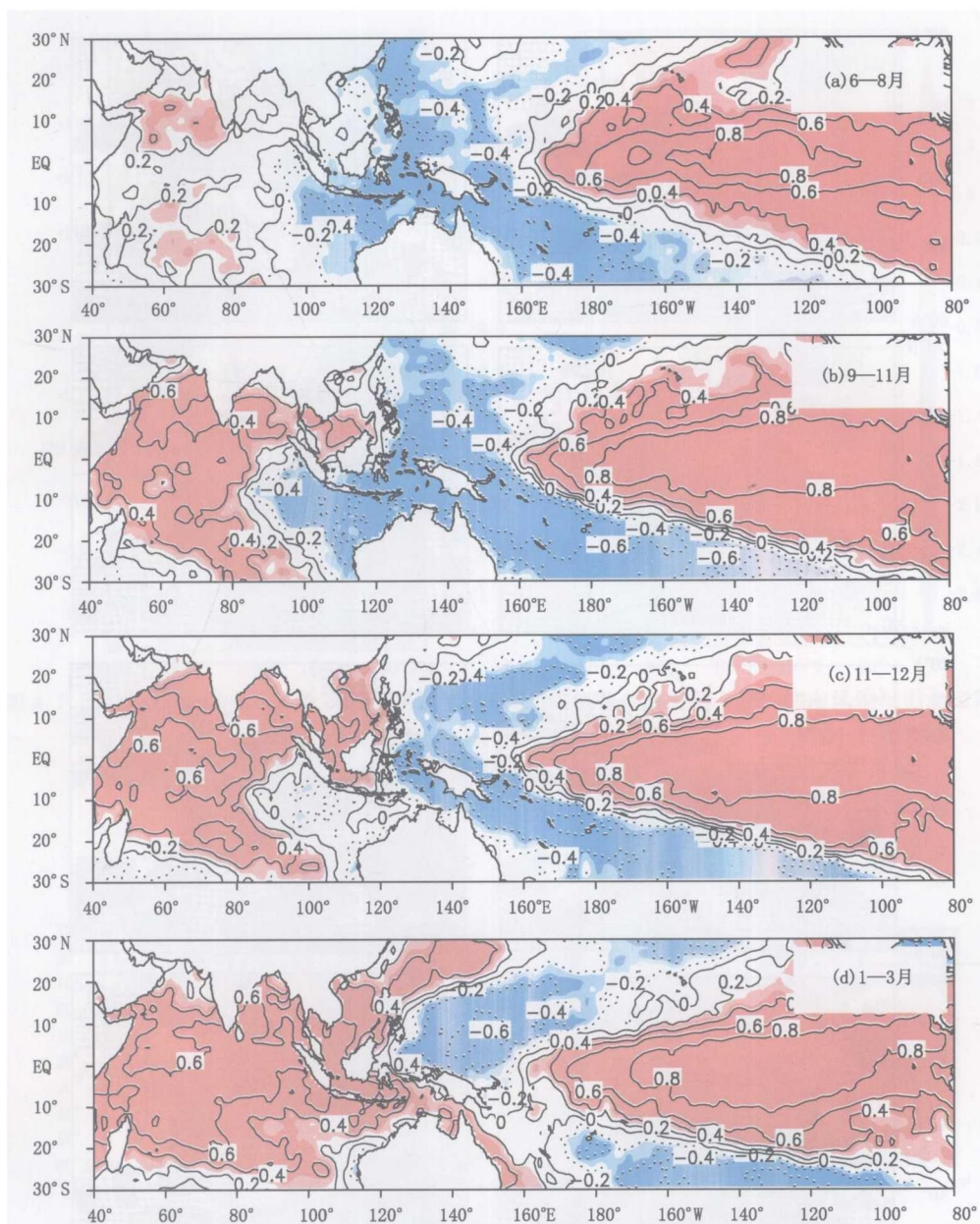


图 3.2 11—12 月平均的 Niño3 指数与热带印度洋—太平洋不同季节海温的相关系数,实线(虚线)表示正(负)相关,红色(蓝色)阴影区表示正(负)相关通过 95%的信度检验,等值线间距为 0.2。

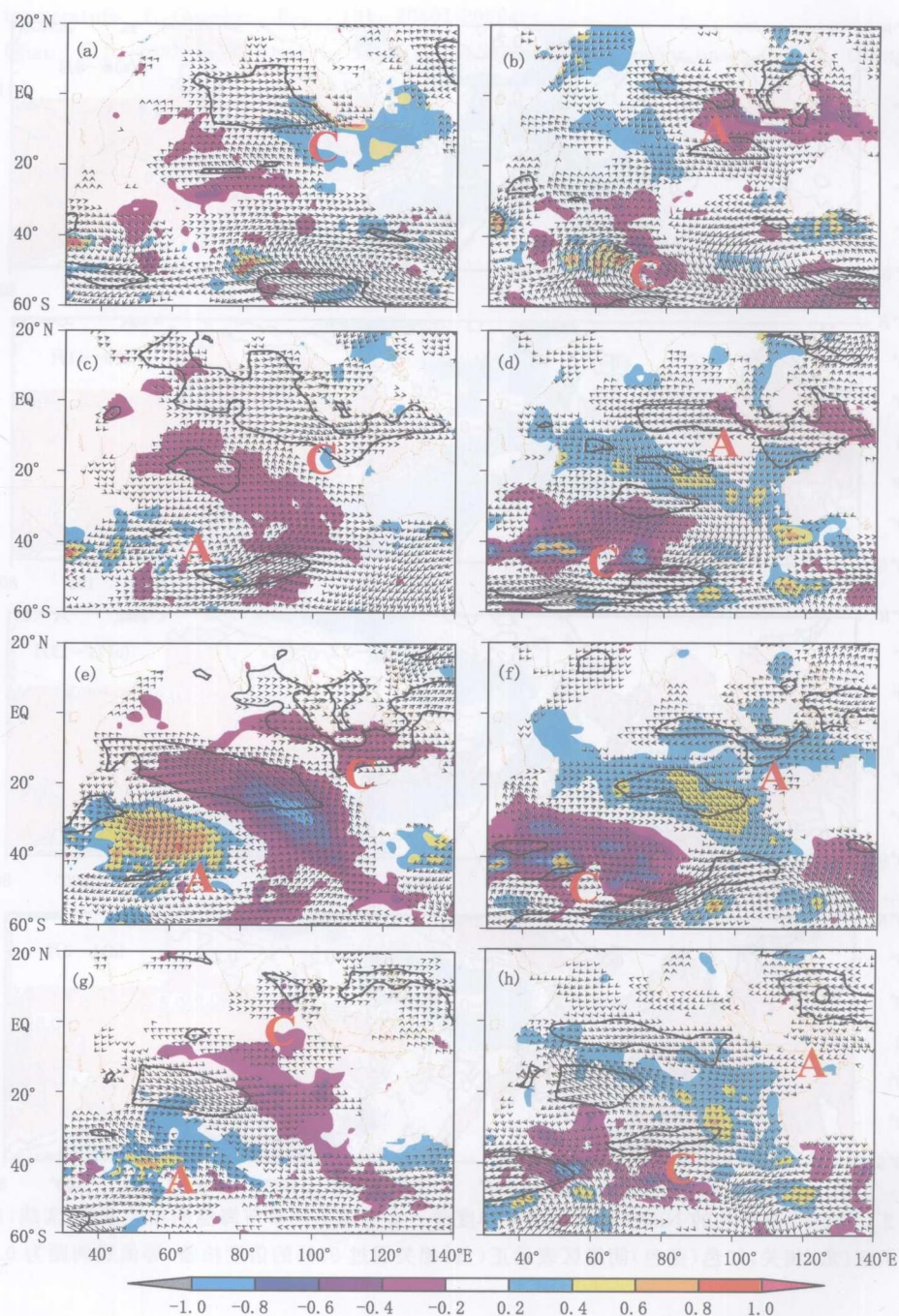


图 4.4 SDP 正位相年(a, c, e, g)和负位相年(b, d, f, h)5 m 次表层海温距平(超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 的区域用阴影区表示)和低层风应力距平(矢量箭头)合成场,风应力矢量通过 0.05 显著性检验的区域用粗实线标注。字母“A”表示反气旋,“C”表示气旋。a 和 b:前期 9—10 月;c 和 d:前期 11 和 12 月;e 和 f:同期 1—3 月;g 和 h:后期 4—5 月。

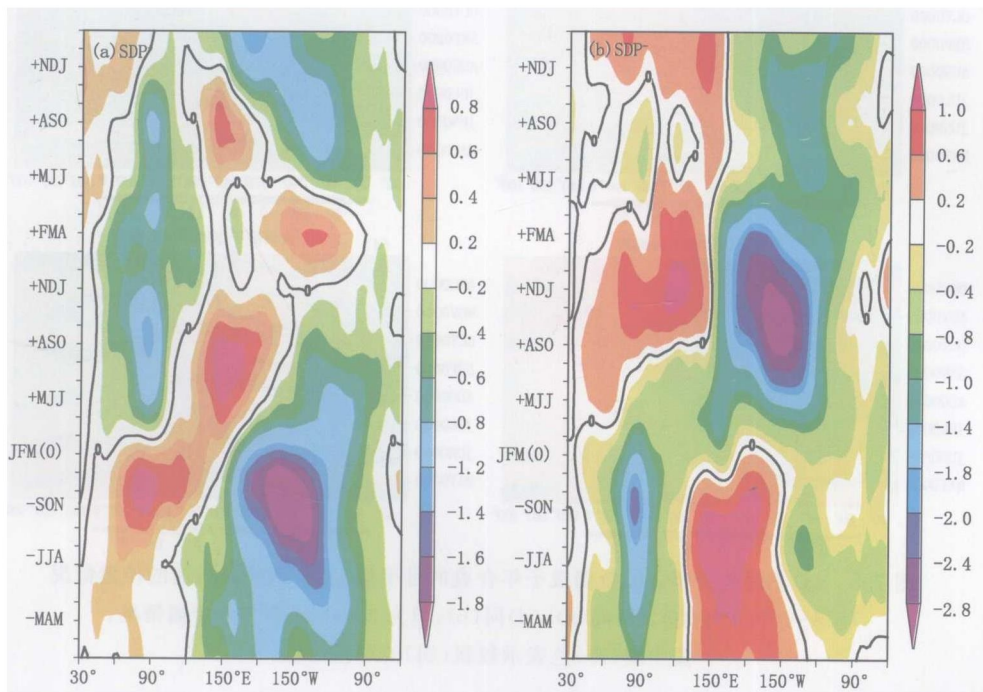


图 4.7 SDP 正(同图 4.5 年份)和负(同图 4.5 年份)位相年合成的 850 hPa 纬向风距平沿赤道附近 $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 的时间—经度剖面(单位: m/s),图中除成熟位相期为 1—3 月的 3 个月平均(JFM(0))外,其余均为 3 个月的滑动平均,阴影区为异常风风速大于 0.2 m/s 的区域,纵坐标上标注“—”的月份表示超前,“+”的月份表示滞后。

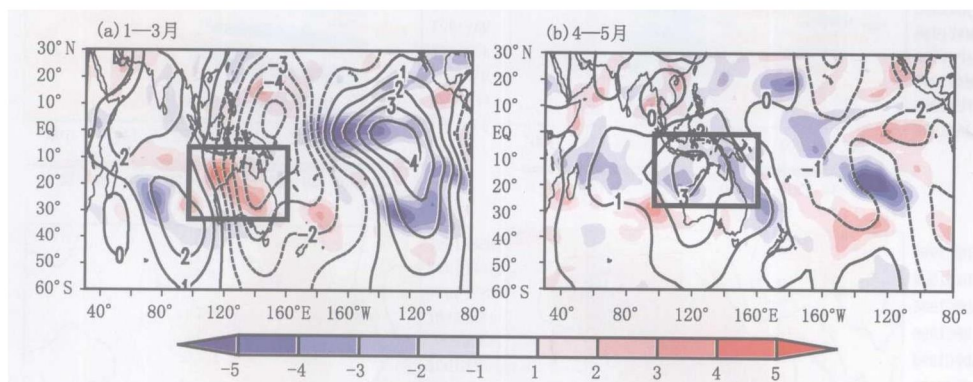


图 4.8 SDP 成熟正位相期间(正位相年同图 4.5)1—3 月 (a)和后期 4—5 月(b)850 hPa 的速度势距平场分布(等值线间隔: $0.1 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$),阴影区表示相应季节平均的总云量距平大于 ± 2 的区域。

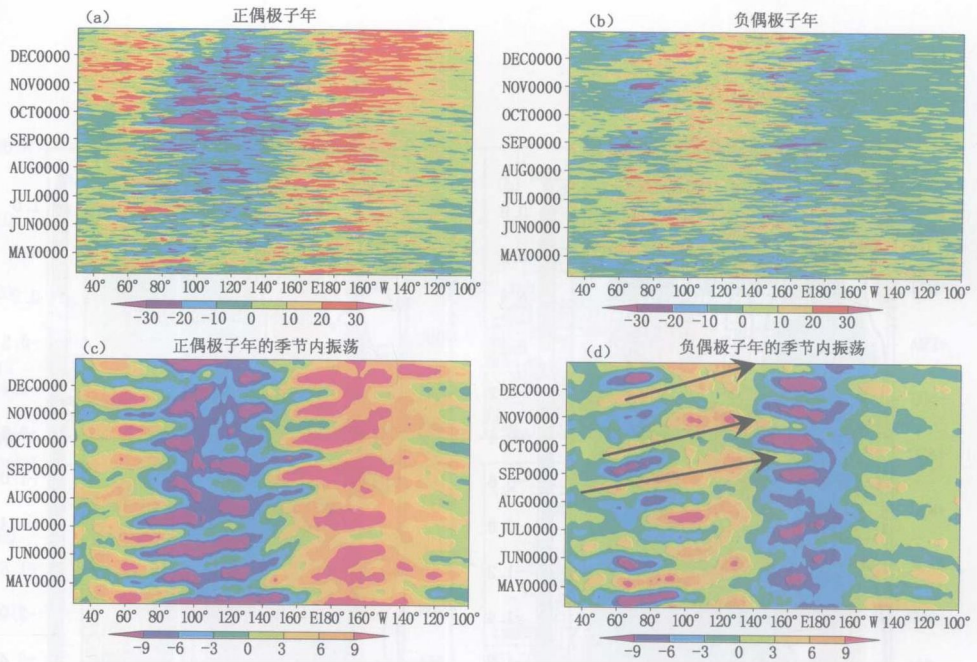


图 7.5 (a)正偶极子年、(b)负偶极子年合成的月平均 OLR 距平沿赤道的传播情况 (5°S~5°N 的平均), (c)同(a), (d)同(b), 但为 30~60d 季节内传播情况。

图中暖(冷)色表示较强(弱)的对流活动。

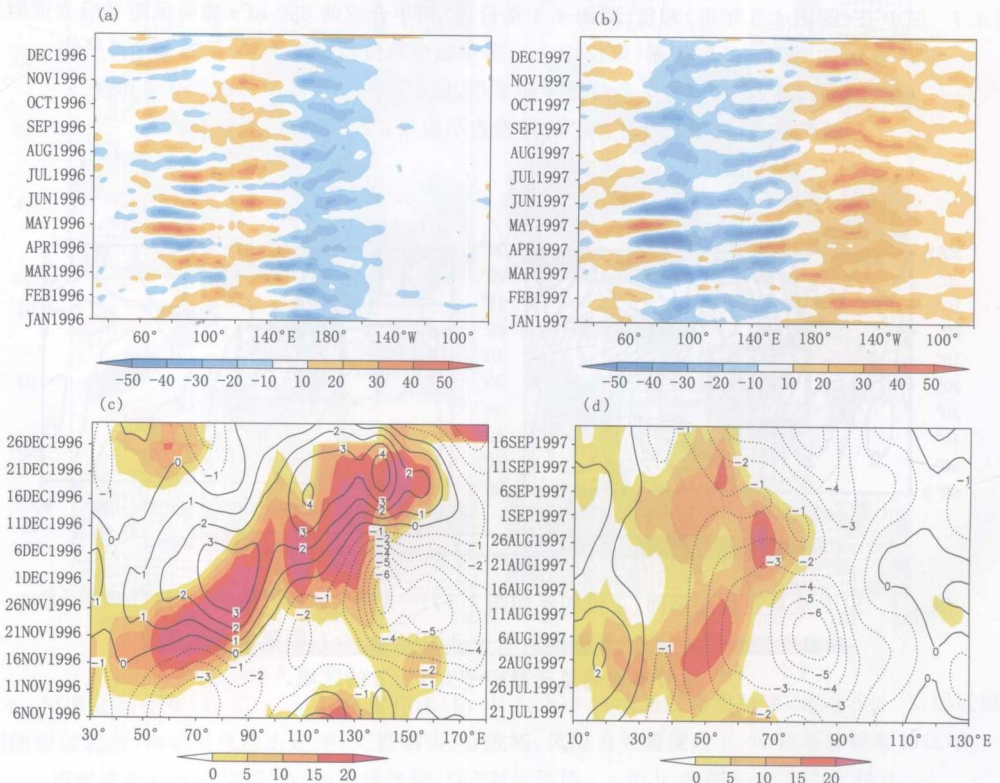


图 7.8 (a)1996 年和(b)1997 年沿赤道(5°S~5°N)平均的 30~60d OLR 距平的时间—经度剖面图。(c)1996 年 11—12 月、(d)1997 年 7—9 月 30~60d OLR 距平(阴影区)和 850 hPa 纬向风距平(等值线)沿赤道传播情况。其中 OLR 值已反号, 红色(蓝色)表明对流越强(弱), 等值线正(负)值表示异常西(东)风。

目 录

序

前言

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 引 言	(1)
1.2 研究背景	(2)
1.3 研究的重点问题	(6)
1.4 研究资料和方法	(8)
第 2 章 印度洋海温变化的多模态特征	(11)
2.1 印度洋海温变化的主要特征	(11)
2.2 南印度洋副热带海温变化特征	(15)
2.3 热带印度洋纬向海温变化差异的特征	(20)
2.4 印度洋次表层海温的偶极型差异特征	(37)
2.5 结论和讨论	(43)
第 3 章 热带印度洋海温异常与太平洋 ENSO 事件的相互联系	(45)
3.1 热带印度洋全区一致型海温模态对 ENSO 事件的响应	(45)
3.2 热带印度洋偶极子与 ENSO 事件在年际尺度上的联系	(51)
3.3 热带印度洋偶极子与 ENSO 关系的年代际变化研究	(53)
3.4 热带印度洋次表层偶极子与表层偶极子和太平洋 ENSO 事件的关系	(64)
3.5 本章小结	(79)
第 4 章 南印度洋副热带偶极型海温变化(SDP)与太平洋 ENSO 循环的关系	(80)
4.1 南印度洋偶极海温变化与 ENSO 的关系	(81)
4.2 SDP 正负位相年海温和低层流场的演变特征	(82)
4.3 SST—辐射—云的负反馈过程对区域海温变化的影响	(86)
4.4 赤道附近异常纬向风的变化	(89)
4.5 南印度洋偶极海温变化与 ENSO 相互联系的可能机制	(92)
4.6 结论和讨论	(95)
第 5 章 印度洋热带和副热带海温变化的关系	(99)
5.1 东南印度洋(SEIO)海温与热带印度洋海温变化的关系	(99)
5.2 SEIO 暖海温异常与热带海温变化相联系的可能原因	(104)

5.3 SEIO 冷海温异常时的流场变化特征 (106)

5.4 海温异常与风场变化的关系 (108)

5.5 赤道东太平洋海温对印度洋热带和副热带海温变化关系的影响..... (110)

5.6 结 论 (117)

第 6 章 热带印度洋海温异常对南海夏季风爆发的影响..... (118)

6.1 热带印度洋全区一致型海温异常对南海夏季风爆发的影响 (119)

6.2 1994 年热带印度洋偶极子对南海夏季风爆发的影响 (123)

6.3 热带印度洋偶极子对第二年东亚夏季风的影响 (128)

6.4 小 结 (134)

第 7 章 热带印度洋偶极型海温模态对热带大气季节内振荡传播的影响..... (135)

7.1 热带印度洋偶极型海温分布所对应的 30~60d 低层风场及 OLR 场特征 (136)

7.2 印度洋偶极子对热带大气季节内振荡传播的影响分析 (140)

7.3 个例对比分析 (143)

7.4 小 结 (148)

第 8 章 南印度洋副热带偶极海温差异对气候的影响..... (149)

8.1 南印度洋副热带和赤道东太平洋海温异常与中国气候的关系 (150)

8.2 南印度洋海温异常对冬、夏季大气环流变化的影响..... (160)

8.3 结 论 (164)

第 9 章 赤道印度洋广义偶极模对气候的影响及其数值模拟研究..... (166)

9.1 赤道印度洋海温偶极子的气候影响及数值模拟研究 (167)

9.2 赤道印度洋纬向海温梯度模特征及其气候影响的数值模拟研究..... (176)

9.3 赤道印度洋的偶极子与纬向海温梯度对气候影响的差异 (187)

参考文献..... (189)

第1章 绪论

1.1 引言

海洋不仅是全球大气运动的主要能源区,也是大气中水汽的主要来源地,在提供和调节大气运动能量和大气水汽分配方面起着十分重要的作用;海洋热状况的异常变化将直接影响大气中能量和水分的时空分布,对大气环流和气候的异常具有突出的贡献。因此,海洋在全球气候变化和气候异常中的作用一直是大气科学研究的重点。

亚洲季风系统是全球大气环流系统中的重要成员,直接控制着亚洲季风区乃至全球的气候变化,它是亚洲大陆与其周围海洋之间的热力差异和地形共同作用的结果,具有全球性的海—陆—气耦合相互作用的特征,因此,大陆与海洋任何一方热状况的变化都有可能改变海陆热力差异,导致亚洲季风变异,进而影响全球大气环流和天气气候的异常变化。作为影响季风活动和气候异常的一个重要方面,海洋对季风和气候的影响一直是人们关注的焦点。太平洋是世界上最大的水体,约占地球表面的 $1/3$,过去的绝大多数工作主要集中于研究赤道东太平洋海温的变化特征及其影响,而针对印度洋海温的研究却相对较少。

印度洋是西南夏季风的发源地和流经地,其海温变化通过影响季风活动,对亚洲季风区的天气气候有十分重要的作用。印度洋位于亚洲大陆的西南面,地理位置方面与太平洋同等重要,在夏季低空流场上,南半球东风和北半球热带西风带之间的三条跨赤道气流(45°E , 85°E , 105°E)均起源于热带印度洋,对维持西南季风和东亚季风起着重要的作用(陈隆勋,1991)。另外,印度洋地区海温异常的振幅虽然比起太平洋海域的海温异常振幅小,但是考虑到该地区东西向的海盆宽度仅为太平洋海域的三分之一,这样,印度洋海温的纬向热力对比就与太平洋具有同等量级。自20世纪末以来,有关印度洋海温的变化特征及其对气候影响的问题逐渐引起了人们的关注,特别是1997年伴随热带东太平洋的El Niño事件在赤道印度洋出现的强西暖东冷的海温异常对气候的影响,以及1999年印度洋海温偶极子概念的提出(Saji等,1999; Webster等,1999),使人们的注意力更多地集中到了热带印度洋的海气相互作用。许多工作围绕印度洋海气系统特征、赤道印度洋偶极型海温变化与ENSO的关系及其对气候的影响等展开了广泛和深入的研究,很多结果表明了印度洋在亚洲季风区的气候异常中有重要作用。

但到目前为止,有关印度洋海温的变化特征及其对气候影响的问题还不甚清楚,在许多问题上仍然存在很大争议。争论的焦点主要集中在:(1)热带印度洋东西部海温变化的同步和不同步问题,以及不同年代际背景下热带印度洋地区风场、热力场等相应的结构特征,其中最有一个问题是热带印度洋偶极子(Tropical Indian Ocean Dipole, TIOD)期间东西印度洋海温变化的关系。一些分析表明,东西印度洋海温的变化并不呈现明显的反位相特征,因此,

认为 TIOD 分布可能只是一种叠加在大范围海温变化一致背景上的温度梯度扰动,并提出了印度洋海温纬向模(Indian Ocean Zonal Mode, IOZM)的概念。(2) TIOD 与 ENSO 变化的关系问题, TIOD 是否为印度洋内在的一种耦合模态, 独立于 ENSO? 还是 ENSO 的一个部分? (3) 印度洋海温变化对气候影响的问题, 许多研究表明印度洋海温变化具有多模态的变化特征, 而有关这些模态对气候影响的差异及其影响的相对重要性问题还存在很多不清楚的地方。

针对目前印度洋地区海气相互作用方面存在的问题, 进一步研究印度洋地区海温变化的特征, 及其与其他地区海温变化的相互联系和对气候变化的影响, 对于了解亚洲季风区气候异常的原因, 进而成功预测我国气候变化具有重要的科学意义和实际价值。

1.2 研究背景

1.2.1 印度洋海温变化特征的研究

了解印度洋海温变化的特征是印度洋海气相互作用研究的前提和基础。近年来的许多研究表明, 由于受自身内部动力学和热力学机制的影响, 印度洋海温的变化比较复杂, 多表现为一种局地的特征, 其中变化最显著, 同时也是最近几年来讨论最多的, 即是 TIOD 的变化及其影响问题。

早在 20 世纪 80 年代人们就曾注意到印度洋地区近乎反相的海表温度(Sea Surface Temperature, SST)纬向差异现象(Reverdin 等, 1986; Flohn 等, 1987; Nicholls 等, 1989; 邓爱军等, 1989), 但这种现象当时并没有引起人们的广泛注意, 直到 1994 和 1997 年出现了两次较明显的印度洋海表温度东西反相振荡现象之后, 人们才开始关注这种海洋现象。Saji 等(1999)分析了多年印度洋 SST 变化, 发现了赤道东西印度洋地区明显的海温反相变化特征, 并明确提出了赤道印度洋偶极子的概念。晏红明等(2000a)通过对 1950—1997 年 48 年印度洋海温距平的经验正交函数分解(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析发现, 印度洋地区的海温变化有三种主要类型: 全区一致型、东西差异型和南北差异型, 其中全区一致型的第一模态海温变化有明显的由冷到暖的年代际特征, 第二模态则反映了东西印度洋海温偶极振荡特征, 同时还发现第二模态海温变化与赤道东太平洋海温的年际变化有密切联系。李崇银和穆明权(2001)的研究进一步证实了赤道印度洋海温的年际变化中确实存在偶极型振荡特征, 并指出印度洋赤道附近的这种偶极型振荡有明显的季节锁相特征, 秋季最明显而冬春季最弱。

印度洋地区除了 SST 表现的偶极型反位相差异特征外, 近年来巢纪平等(2003, 2004)通过对印度洋次表层极值面上海温距平的分析也发现, 赤道东西印度洋次表层海温距平同样存在偶极模态的分布特征。钱海峰等(2003)和巢纪平等(2003)的分析还进一步表明, 印度洋次表层海温偶极子比表层海温偶极子更加稳定, 其强度也要更强。

但最近几年来, 有关赤道印度洋海温偶极子现象引起了很大争议。针对 1999 年 Saji 等的研究结果, Dommenges 和 Latif(2002)对 EOF 分析方法提出了质疑。他们用 EOF 方法研究了多年印度洋海温距平等多种要素的空间分布特征, 发现 EOF 第二模态均反映了一种类似偶极振荡的分布特征, 而用 REOF 分析和回归方法对相同资料的分析则看不到这种现象。因此, 他们认为 Saji 等(1999)的结论中有关赤道印度洋海温的反相振荡现象是不存在的。而从相反的研究思路, Behera 等(2003)用一个单极模和一个偶极模人为构造了一组数据, 并用

REOF 方法和回归分析方法对这组数据进行了分析,发现这些分析方法不能重新得到原始数据中所包含的偶极模,由此认为 REOF 方法所得到的结论有时可能会产生一些误导。Hastenrath(2002)对偶极子的提法也表示了否定,认为赤道东印度洋和西印度洋 SST 异常并不存在显著的负相关,所以也就不存在东西向跷跷板式的反位相振荡,并指出赤道印度洋的海温偶极变化可能只是叠加在大范围海温变化一致背景场上的温度梯度扰动,并明确提出印度洋地区的这种偶极变化应该看作是一种纬向海温梯度的变化,而不应该看作东西海温变化的反位相振荡。针对这一说法,Saji 和 Yamagata(2003a)通过资料分析发现,年代际变化对赤道印度洋偶极型海温变化有着强烈的影响,在滤掉年代际海温异常后,印度洋跷跷板式的偶极子结构就变得比较显著。因此,鉴于目前对赤道印度洋海温变化的争议,一些学者认为最好将赤道印度洋东西海温变化的差异称为纬向模,而不应该仅仅看作是一种偶极型振荡现象。

在对赤道印度洋偶极型纬向海温差异进行研究的同时,人们注意到在南印度洋热带一副热带地区也存在明显的偶极子现象。晏红明等(2000a)对多年印度洋海温距平场的分析看到,春、夏、秋、冬四个季节的 EOF 第二模态都表现为东西差异,但载荷的大值区并不位于赤道印度洋,而是分别位于赤道以南的印度洋热带和副热带地区,表明这两个地区的海温变化最激烈,并呈明显的反相变化特征,在南印度洋热带一副热带地区主要表现为西南—东北向的偶极型海温变化。Swadhin 等(2001)指出北半球冬季(南半球夏季)南印度洋副热带地区的偶极型海温变化有明显的季节锁相,认为该偶极子的变化与南半球地区副热带高压的变化有密切的关系。杨秋明(2005)通过分析 1951—2001 年的观测资料指出,北半球冬季(南半球夏季)南印度洋副热带偶极型海温异常(Indian Ocean Subtropical Dipole, IOSD)的年际变化周期是 2.0a 和 6.5a。贾小龙等(2006)通过对印度洋海表温度的方差分析和相关分析,也发现了南印度洋偶极子的存在,并指出南印度洋的偶极子在北半球的夏秋季(南半球冬春季)最强。

从以上工作我们看到,无论是针对赤道印度洋海温变化还是南印度洋海温变化,不同分析得到的结果有些不一致的地方。有的研究发现南印度洋偶极子的季节锁相在北半球冬季,而有的研究发现南印度洋偶极子最强时段出现在北半球夏秋季。另外,有关赤道东西印度洋地区偶极型海温变化差异的特征及他们之间的相互联系还有很多不清楚的问题,值得进一步研究。

1.2.2 印度洋和太平洋海温变化关系的研究

全球海温的变化既各有特点又相互联系,赤道东太平洋地区的海温变化是全球海洋温度变化的最强信号,随着赤道东太平洋海温发生异常,全球其他海域的海温和全球气候也会出现相应的异常变化(李崇银和肖子牛,1991;吴国雄和孟文,1998;杨芳林和袁重光,1995)。印度洋和太平洋是两个密切相连的大洋,在赤道印度洋和太平洋地区分别存在着 Walker 环流和反 Walker 环流,在印度尼西亚附近存在着印度尼西亚贯穿流,这些环流和海流的变化究竟对赤道印度洋和太平洋地区的海温变化有什么影响?赤道印度洋和太平洋海温变化的相互联系究竟怎样?这些问题一直以来都是人们关注的焦点。

早在 20 世纪 80 年代初,Niiler 等(1982)就将赤道西太平洋与赤道东印度洋合在一起称之为“大暖池”。我国学者陈烈庭等(1988,1991)在早期的研究中发现,西印度洋海温的变化与赤道东太平洋海温有明显的正相关,大尺度海温距平分布主要表现为西印度洋和东太平洋的海温变化与东印度洋和西太平洋海温反位相变化的特征。吴国雄等(1995,1998)指出,赤道印

度洋和东太平洋 SST 年际变化有显著的正相关,两者之间的正相关高达 0.76。晏红明等(2000a)的分析发现印度洋海温第二模态所表现的偶极型同赤道东太平洋地区的海温变化有密切的关系,指出赤道印度洋西暖(冷)东冷(暖)的海温变化与赤道东太平洋的暖(冷)海温变化相联系。李崇银和穆明权(2001)分析了近百年赤道印度洋 SST 变化,认为赤道印度洋地区海温变化的偶极型振荡特征确实存在,并指出这种偶极型振荡尽管在极个别年似乎独立于太平洋 ENSO,但总体而言,它与赤道太平洋海温偶极子(类似反 ENSO 模)有很好负相关,两个海洋偶极指数之间的相关基本是同时的,没有明显的滞后现象,并指出联系它们的主要物理过程是赤道大气纬向环流的异常。谭言科等(2004)的研究则进一步指出了印度洋地区海温的单极、偶极型的变化与 Nino3 区海表温度距平变化在演变过程中存在密切的联系,认为印度洋从偶极到单极的变化对应着 El Niño 事件从发展到衰减的过程,并指出大气低层风场、对流和海温演变之间的相互关系及其在印度洋海温异常从偶极到单极、ENSO 从发展到衰减过程中起着重要的作用。杨辉等(2006)将赤道印度洋和太平洋的偶极型海温变化联系在一起,提出了太平洋—印度洋海温异常综合模概念,并研究了各个异常模态的不同特征,指出综合模的准常态要比 ENSO 模的准常态更能反映海温的准常态特征。

研究表明,ENSO 会以多种形式影响赤道印度洋地区的海洋现象。Latif 和 Barnett (1995)认为,热带印度洋在具有较深的温跃层并缺乏赤道上翻流的情况下,温跃层深度的变化对 SST 的影响很有限,这就导致了热带印度洋不能产生其自身的年际变率而必须被动地受到热带太平洋 ENSO 的影响。Hendon 等(2003)的研究表明赤道印度洋海温纬向梯度异常的发展与衰亡是由东印度洋海气相互作用的季节变化激发的,而东印度洋海气相互作用则被视为对太平洋 ENSO 的响应。Yu 和 Rienecker(1999,2000)发现 1997—1998 年间印度洋海温在很大程度上受到由 ENSO 激发的大尺度大气环流的影响,由此认为 TIOD 是 ENSO 的一部分。

许多研究发现,通过大气 Walker 环流和印度尼西亚贯穿流的作用,印度洋和太平洋地区的海温变化是有密切联系的。吴国雄等(1998)研究指出,赤道印度洋和赤道东太平洋 SST 显著的正相关关系主要是由于沿赤道印度洋上空的纬向季风环流和赤道太平洋上空的 Walker 环流之间的耦合造成的;孟文等(2000)的数值模拟研究也证实了这一结论。印度尼西亚贯穿流是连接太平洋和印度洋海温变化的重要通道之一,Annamalai 等(2003)发现印度尼西亚贯穿流减弱会导致东南印度洋冷却,从而触发 TIOD 在春季或夏季形成,而 TIOD 的形成反过来又会增强贯穿流。Song 等(2004)认为贯穿流异常的深度变化会引起印度洋的变化。王东晓等(2003)、徐建军等(1998)认为热带东印度洋在 1997—1998 年 El Niño 期间的异常,一定程度上是由热带西太平洋海温距平通过贯穿流的平流输送引起的。

进一步,除了研究海洋 SST 的变化外,Villwock 等(1994),Tourre 等(1995,1997)分析了印度洋和西太平洋地区次表层海温的热储量及表面风应力的变化,同样发现了这种 ENSO 型特征的存在。巢纪平等(2004)分析了次表层海温距平分布和变化特征,发现赤道印度洋和太平洋地区次表层海温距平的偶极子模态间也有密切的联系,并认为正是 Walker 环流异常的作用把两个大洋的海温变化联系在一起。

但有的研究也指出,尽管印度洋海温变化与太平洋海温变化有密切联系,但也存在一定的独立性。Astrid 等(2002)进一步研究了印度洋偶极子与太平洋海温变化的关系,发现印度洋偶极海温变化具有一定的独立性,在清除 ENSO 信息后的秋季,印度洋地区仍然可以看到类

偶极子的海温结构,相应的数值模拟还进一步表明,印度洋的这种类偶极子现象除了与海洋动力作用有关外,还与海洋混合层热惯性引起的表面热通量有密切的关系。Webster 等(1999)认为 TIOD 是印度洋海气系统内部自我维持的结果,且 TIOD 在热带海洋温度的季节和年际尺度的气候变化中可能起到独立的作用。

有的研究还指出,在赤道印度洋和太平洋海温变化的相互关系中,赤道印度洋海温的变化对 ENSO 的形成起着十分重要的作用。巢清尘等(2001)分析了 1960—1999 年的 850 hPa 风场变化,指出在热带西太平洋的西风距平爆发前,赤道东印度洋的异常西风已经持续了 2 年左右,然后异常西风快速向东扩展到热带西太平洋,导致西太平洋地区西风爆发,进而引起了 El Niño 事件的发生。晏红明等(2001b)的资料分析结果也初步表明了赤道印度洋海温异常逐渐向东传播的现象。

以上论述的许多工作主要是针对赤道印度洋和太平洋海温变化的相互联系进行的研究,在本章 1.2.1 论述中的分析也指出,目前的一些研究发现了南印度洋热带—副热带地区存在的偶极型海温差异现象,但这种现象与赤道东太平洋海温变化之间究竟有怎样的联系还不清楚? 现有的工作还很少针对这方面进行研究,是值得进一步探讨的问题。

1.2.3 印度洋海温异常对亚洲季风环流和气候影响的研究

印度洋是西南夏季风的发源地和流经地,该地区的海温异常通过影响海陆热力差异和南亚季风活动,对亚洲季风区乃至全球的气候变化起着十分重要的作用。

有关印度洋地区海温异常对季风区天气气候变化的影响,在 20 世纪 80 年代就有过一些研究,罗绍华等(1985)研究了印度洋和南海地区的 SST 异常与我国东部汛期降水的关系,指出前冬半年南海和孟加拉湾海温偏高时,我国东部梅雨期降水偏多;反之,则降水偏少。金祖辉等(1987)分析了长江中下游地区汛期降水与同期印度洋海温分布的关系,指出长江中下游偏涝年,孟加拉湾到南海为海温正距平,而索马里沿岸为海温负距平;偏旱年,上述地区的海温变化刚好相反。比较上述罗绍华和金祖辉的结论,可看出孟加拉湾和南海的海温变化对中国长江中下游旱涝有明显的影响,前期和同期的暖(冷)海温异常,有利于中国长江中下游偏涝(旱)。陈烈庭(1991)研究了阿拉伯海—南海海温距平的纬向差异特征及其对长江中下游夏季降水的影响,指出东西方向的海温差异对大气不均匀加热的强迫作用将导致印度季风和东亚季风的变异,并通过这两个季风系统的相互作用和调整,影响西太平洋副热带高压和热带辐合带,进而影响我国降水的异常分布。我们知道,中国汛期降水分布的主要特征为东西纬向雨带的变化,次主要特征为南北经向雨带的变化,晏红明等(2001a)研究发现印度洋地区海温的变化主要影响中国汛期次主要型降水分布,即南北经向型雨带的变化。另外的研究(晏红明等,2001c)还发现印度洋地区的对流活动对云南 5 月雨量有一定影响,北印度洋地区对流活动强(弱)与云南 5 月雨量偏多(少)有联系。梁肇宁等(2006)探讨了印度洋海温对南海夏季风建立早迟的影响,发现在没有去除 ENSO 信号情况下,全区一致型印度洋海温异常对南海季风的早迟起着重要作用,而去除 ENSO 信号后的结果表明,除了全区一致型,南印度洋偶极子也是影响南海夏季风建立早晚的一种主要海温分布型。陈文等(2006)指出,我国华北持续性干旱与印度洋和大西洋海温的年代际变化有明显的耦合关系。

除了资料分析方面的工作,20 世纪 70 年代以来人们也尝试用大气环流模式来进行研究。Shukla(1975)模拟了印度洋海温异常对印度夏季风的影响,结果表明索马里沿岸和阿拉伯海