

云南省应用基础研究基金项目（2003D0085M）资助

印度洋偶极型异常海温 的气候影响

肖子牛 编著

气象出版社

中国书画函授大学肇庆分校建校二十周年纪念册

中国书画函授大学肇庆分校建校二十周年纪念册

云南省应用基础研究基金项目(2003D0085M)资助

印度洋偶极型异常海温的气候影响

肖子牛 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书研究分析了印度洋异常海温的气候特点和季节变化、年际变化和年代际变化特点,证实了印度洋异常海温的偶极型特点,给出了印度洋偶极型异常海温的变化特征,着重分析研究了印度洋偶极型异常海温对亚洲和中国气候的影响,并用数值模式进行了模拟研究,在数值模拟和资料分析的基础上,得到了印度洋偶极型异常海温气候影响的主要特点。研究讨论了印度洋偶极子与太平洋异常海温的相互关系、年代际变化特征以及维持两者相关关系的原因。有益于理解和揭示印度洋偶极型异常海温的气候影响与太平洋 ENSO 异常海温气候影响的不同机制。

本书可供从事气候和气候预测研究的专业人员和科研人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

印度洋偶极型异常海温的气候影响/肖子牛著.

—北京:气象出版社,2006

ISBN 7-5029-4238-6

I. 印... II. 肖... III. ①印度洋-海水-温度-
影响-气候变化-研究-中国②印度洋-海水-温度-
影响-气候变化-研究-亚洲 IV. ①P468.2②P468.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 151648 号

出版者:气象出版社

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail:qxcbs@263.net

责任编辑:俞卫平 纪乃晋

封面设计:王 伟

印刷者:北京中新伟业印刷有限公司

发行者:气象出版社

开 本:787mm×1092mm 1/16 印 张:9.5 字 数:250 千字

版 次:2006 年 12 月第一版 2006 年 12 月第一次印刷

书 号:ISBN 7-5029-4238-6/P·1569

印 数:1-1000 册

定 价:30.00 元

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编:100081

电 话:总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

终 审:章澄昌

序

海洋温度异常对全球天气、气候产生的影响一直是大气科学研究的重点问题,许多观测事实分析和数值试验研究都表明,热带异常海洋表面温度的强迫是造成不少地区气候异常的重要原因。赤道太平洋的海表温度异常(ENSO)对气候的影响是多年来大家都关注的问题,而作为气候系统重要组成部分的亚洲夏季风就源于印度洋,印度洋的海温异常对亚洲气候也有重要的影响。印度洋异常海温存在东西反位相变化的结构特征,研究印度洋异常海温对亚洲季风和气候的影响,特别是研究印度洋东西异常海温梯度差(即偶极模)的气候影响,是研究气候变化领域的一个热点问题。近十余年来,国际上比较重视赤道印度洋海温距平的偶极型及其对亚洲夏季气候的影响,开展了大量研究工作。我国是著名的季风区,来自印度洋的西南季风是我国水汽的重要供给者,天气、气候必然会受到印度洋异常海温的影响,特别是我国西南地区,印度洋异常海温通过西南季风而影响该地区气候会更为直接和重要。因此,研究印度洋异常海温对气候的影响是十分重要的科学问题。

本书较为系统地分析研究了印度洋异常海温偶极模的特征,目的在于分析印度洋偶极型异常海温对亚洲和中国天气、气候的影响,揭示其气候效应和太平洋 ENSO 气候效应的区别。作者根据 100 年来的海温资料,定义一个印度洋海温偶极型指数(IODI),以此研究了印度洋异常海温偶极型多年平均的季节变化、年际和年代际变化特征;并深入研究了偶极型海温异常对印度和中国气候异常的影响;探讨了印度洋海温异常偶极型与 ENSO 和 Walker 环流的关系,得到了一些具有一定创新性的发现和结论。其研究成果揭示了印度洋偶极模对亚洲季风活动和天气、气候的重要作用,不仅对理解印度洋异常海温对中国气候的影响有十分重要的意义,也有助于深入认识 ENSO 及其对亚洲气候的影响;同时,也能加深对气候异常变化的动力、物理机制的了解,为预测气候灾害的发生提供科学依据。

李常禄

前 言

无论在气候研究中还是在气候预测的业务中,热带异常海洋表面温度的强迫对气候的影响,均是作为造成气候异常的重要原因加以考虑的。长期以来,对于赤道东太平洋异常海表温度的作用,已进行了许多研究工作,这些工作着重研究了赤道东太平洋海表温度异常对全球气候变化的影响,并得出了许多有意义的结论。而事实上,对大气产生影响的是空间更为广泛的全球海洋,各海区温度对大气的作用、海气之间的相互作用、各海区的相互影响和联系,是更为复杂的。

源于印度洋的西南季风是亚洲气候的重要组成部分,印度洋海温对亚洲气候有重要的影响。早在上个世纪 70 年代,人们就研究了印度洋海表温度异常对夏季印度季风的影响,以后我国学者对印度洋海温异常对我国夏季风的影响也做过资料分析和数值模拟的研究工作。研究分析表明,热带印度洋海温距平的纬向分布存在东西反相特征,具有明显的偶极结构。虽然印度洋的海温距平没有赤道东太平洋的大,但其东西空间尺度较小,其纬向热力对比与太平洋具有同等量级。因此,热带印度洋地区海洋的纬向热力对比对季风环流的年际变化可能有非常重要的作用。

印度洋作为西南季风的发源地和流经地,该区域海温的异常对西南季风有着重要的作用,因此,印度洋海温的这种偶极结构不仅会对印度次大陆的气候产生影响,也会对中国的气候产生影响。因此研究印度洋异常海温偶极结构对中国气候的影响十分重要和有意义,同时也是深入认识 ENSO 及其影响的重要问题。

我们对印度洋异常海温的演变特征、偶极模特征及其对中国气候的影响进行比较系统和深入的研究,初步揭示了印度洋偶极模对中国气候的重要影响,特别是对中国南方的降水分布型的重要影响。我们还探讨了印度洋异常海温偶极模与 ENSO 气候影响的异同点。本书汇集了这些研究成果,对于丰富我们对印度洋海温气候影响效应的认识可起到参考作用。

本书在云南省基金项目“印度洋异常海温偶极模对西南地区气候的影响”(2003D0085M)的部分资助支持下完成,在此对云南省科技厅和云南省气象局科技处同志们的帮助致以谢意。李崇银院士对研究工作给与了悉心的指导和帮助,云南省气象局的晏红明、梁红丽、段玮、任菊章等同志参与了部分工作,在此深表谢意。另外还要感谢云南省气象局和国家气象中心的领导和同志们提供的大力帮助和支持。

气候系统是多圈层相互作用的复杂的非线性系统,本书从一个侧面研究了不同区域海温影响气候的复杂多样性,也说明了影响气候因素的复杂性和气候预测的困难程度。由于我们基础和水平有限,其中的很多研究和分析还很肤浅,书中难免有不当或错误之处,恳请读者批评指正。

作者
2006 年 11 月于昆明

目 录

序

前言

第一章 引言	(1)
1.1 海洋异常海表温度的气候影响	(1)
1.2 印度洋异常海温偶极模特征及其与 ENSO 的关系	(2)
1.3 印度洋偶极模异常海温对气候的影响	(4)
1.4 研究关注的主要问题	(5)
1.5 研究资料和方法	(7)
第二章 印度洋异常海温的时空分布特征	(8)
2.1 印度洋异常海温的分布特征	(8)
2.2 印度洋异常海温的季节变化	(11)
2.3 印度洋异常海温的年际和年代际变化	(14)
2.4 印度洋热带海表异常温度的偶极型结构	(16)
2.5 小结	(20)
第三章 赤道印度洋海温偶极模及其特征	(21)
3.1 赤道印度洋异常海温偶极子指数及其与异常海温场的联系	(21)
3.2 赤道印度洋异常海温偶极子指数的时间演变特征	(24)
3.3 印度洋异常海温偶极子的基本气候模态	(25)
3.3.1 异常海温场的分布特征	(26)
3.3.2 其他要素的分布特征	(29)
3.4 小结	(33)
第四章 印度洋异常海温偶极模对亚洲及中国气候的影响	(36)
4.1 印度洋异常海温偶极模对亚洲初夏气候的影响	(36)
4.1.1 El Nino 和印度洋偶极模正位相对初夏气候的影响	(36)
4.1.2 La Nina 和印度洋偶极模负位相对初夏气候的影响	(43)
4.1.3 小结	(50)
4.2 印度洋异常海温偶极模对亚洲夏季气候的影响	(51)
4.2.1 El Nino 和印度洋偶极模正位相对夏季气候的影响	(51)
4.2.2 La Nina 和印度洋偶极模负位相对夏季气候的影响	(56)
4.2.3 小结	(62)
4.3 印度洋偶极模异常海温对中国降水 and 气温的影响	(64)
4.3.1 对中国夏季降水的影响	(64)
4.3.2 对中国初夏降水的影响	(69)

4.3.3 对中国冬季气温的影响·····	(69)
4.3.4 对中国云南地区夏季降水的影响·····	(74)
4.3.5 小结·····	(75)
第五章 印度洋异常海温偶极模气候影响的数值模拟试验 ·····	(77)
5.1 数值模拟试验设计·····	(77)
5.2 对中国初夏气候影响的数值模拟·····	(78)
5.2.1 El Nino 背景下印度洋偶极模对初夏亚洲气候影响的数值模拟 ·····	(78)
5.2.2 La Nina 背景下印度洋偶极模对初夏亚洲气候影响的数值模拟 ·····	(85)
5.3 对中国夏季气候影响的数值模拟·····	(94)
5.3.1 El Nino 背景下印度洋偶极模对亚洲气候影响的数值模拟 ·····	(94)
5.3.2 La Nina 背景下印度洋偶极模对亚洲夏季气候影响的数值模拟 ·····	(101)
5.4 小结 ·····	(114)
第六章 热带印度洋异常海温偶极模与太平洋异常海温 ·····	(115)
6.1 印度洋偶极模与太平洋热带异常海温相互关系 ·····	(115)
6.2 印度洋偶极子指数的年代际变化特征 ·····	(121)
6.3 印度洋—太平洋热带异常海温相互关系的年代际变化特征 ·····	(122)
6.4 小结 ·····	(128)
第七章 印度洋偶极模与 ENSO 的联系和区别 ·····	(130)
7.1 印度洋偶极模的主要特征和气候影响 ·····	(130)
7.2 印度洋偶极模与太平洋异常海温的联系 ·····	(132)
7.3 印度洋偶极模气候影响的复杂性 ·····	(135)
参考文献 ·····	(137)

第一章 引言

随着社会经济的发展,人类活动对地球环境影响的作用日益扩大,气候和气候变化已经成为各国政府、科学家乃至公众最为关心的问题之一。气候系统包括大气圈、水圈、冰冻圈、岩石圈(陆面)和生物圈五个圈层,研究气候系统多圈层相互作用的机理是揭示和把握气候异常和气候变化的关键,海洋和大气的相互作用是其中关系最密切、变化最频繁的相互作用。长期以来异常海温对气候的影响一直是人们研究的重点问题,也是人们了解和认知最多的领域,气候预测的进展很大程度上依赖于对气候与海洋相互作用规律的认识。

海洋是迄今为止地球上最不可知和最神秘的领地,但同时,由于海洋面积占地球总表面积的 71% 左右,全球海洋吸收的太阳辐射量约占到达地球总辐射量的 70% 左右,因此,海洋在形成地球气候中起到了重要的作用。在诸多影响气候变化的因子中,海温异常在大气环流异常中更是担负着重要的角色,尤其是 ENSO 现象出现时的海温异常,是全球气候异常变化中的最强信号,对于当今的气候研究,海洋表面温度变化特征的重要性,是不言而喻的。但由于海洋对气候影响的广泛性和海气耦合的复杂性,迄今为止,尽管人们已就主要的海温异常现象及其对气候影响进行了大量的研究,但很多问题仍然还很不清楚,主要的研究工作也基本上是集在太平洋地区,对于其他大洋地区的研究相对还比较少。

1.1 海洋异常海表温度的气候影响

关于太平洋海温对气候的影响自 20 世纪 80 年代以来人们已经做过大量的研究工作,Horel 和 Wallace(1981)等认为赤道东太平洋海温激发了大气对海洋的响应,并通过 PNA 波列引起了全球很多地区的气候异常,随后用数值模拟验证了这一结论(Shukla 和 Wallace, 1983)。李崇银等研究了(1989,1992)ENSO 事件对西太平洋台风生成、我国东北夏季低温天气及我国汛期降水的影响。黄荣辉(1988,1994)、张人禾(1996,1999)等对赤道东太平洋海温和西太平洋暖池对中国气候特别是中国旱涝的影响也做过大量的工作。同时,针对海温对气候影响的机制、ENSO 事件在不同的发生时间的气候效应也做了更多的深入研究工作(赵振国,1996;刘永强和丁一汇,1995;杨芳林和袁重光,1995;杨修群等,1996;Xu Jianguo 等,2000)。大量对观测资料的分析研究和数值模拟研究表明,ENSO 与亚洲季风存在强烈的相互

作用(Lau 和 Wu; 2001; Kirtman 和 Shukla, 2000)。

源于印度洋的西南季风是亚洲气候系统的重要组成部分,从海气相互作用的事实来看,印度洋海表温度异常同样会影响到大气系统及天气气候的变化,从而产生天气气候的异常。中国西南地区主要受到西南季风的影响,因此,印度洋海温异常对该地区的作用是不容忽视的。事实上,早在 20 世纪 70 年代,Shukla 和 Washington 等就研究过印度洋海表温度异常对夏季印度季风的影响,以后我国学者(陈烈庭,1977;罗绍华,1985;高士英,1988;邓爱军,1989;陈月娟,1992;吴国雄,刘平等,2000)对印度洋海温异常对我国夏季风的影响也做过资料分析和数值模拟的研究工作。

1.2 印度洋异常海温偶极模特征及与 ENSO 的关系

印度洋处于季风气候区,同太平洋比较,因受季风的影响,在季风风向转向的海区,海温的年较差和年际变化都很大。邓爱军等(1989)的研究表明,印度洋不同区域的海温变化随季风有明显的季节变化特征,由于季风变化的作用,冬半年印度洋西南部为暖水区,西太平洋和南海为冷水区;夏半年海温分布刚好相反。在平均状况下,北印度洋海温分布为东暖西冷。夏季,随着西南季风的建立,非洲沿岸、索马里沿海产生离岸流,致使深层海水上翻,海流又把冷水输送到阿拉伯海,印度洋西部产生冷水堆积,使东暖西冷的热力差异更为明显。

另一个方面,某一地区海温的变化并不是一种孤立的现象,全球的海温变化既各有特点又有相互联系,随着赤道太平洋的海温发生异常变化,全球其他海域的表面温度也有异常的变化,何有海等(1996)的研究发现,南海南部海温明显增温的开始时间比赤道东太平洋落后半年左右。陈烈庭等(1985, 1988, 1991)的研究表明,西印度洋的海温不仅有明显的年际变化特征,而且与赤道东太平洋的海温变化有密切的正相关关系。分析还表明,热带印度洋海温距平的纬向分布基本存在 El Nino 和反 El Nino 两种主要类型,东西印度洋异常海表温度的这一特征具有明显的偶极结构。因此,在赤道附近的洋面上,除了太平洋东西部海温的偶极结构特征外,印度洋地区也有明显的偶极结构特征。周天军,宇如聪等(2001)研究了 20 世纪印度洋气候变率特征,指出印度洋海温变化的极大值中心在 40°S , 50°E 的南印度洋地区,阿拉伯海,孟加拉湾的变率较小。但北印度洋季节变化有明显的季风特色,在 7—9 月温度降低最大,8 月达到最低温,尤其在印度洋西部地区。印度洋气候变化的整体一致性特征明显,20 世纪 50 年代后增暖,主要区域在热带印度洋。印度洋 SST 变化比 Nino3 区滞后 4 月左右,其联系可能是通过大气实现的。印度洋海温与暖池的联系密切,尤其是南印度洋,其年代际变化也有很好的一致性。

Sagi(1999)等分析了印度洋异常海温,指出西印度洋($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{E}$)和东印度洋($10^{\circ}\text{S}\sim \text{EQ}$, $90^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$)具有反相位的异常海温,即印度洋异常海温偶极模。李崇银、穆明权(2001)认为印度洋海温存在偶极子型振荡的变化特征,在 9—11 月最强,1—4 月最弱,年际变化也比较明显,总体与赤道太平洋海温偶极子有很好的负相关。但印度洋的异常海温又具有很好的一致性,东、西异常海温符号相反的偶极状态并不经常出现,由此,人们对有关偶极子是否存在开始了深入研究。

Hastenrath(2002)就对偶极子的提法表示了否定,因为东印度洋和西印度洋海表温度异常并不存在显著的负相关,所以也就不存在东西反相位的振荡。Saji 和 Yamagata(2003)利用观测资料就这些争议进行了讨论,他们发现年代际变化对印度洋海温异常有着强烈的影响,由于 20 世纪 70 年代中期以后的加速增暖,在此之后印度洋东西部海温异常缺乏负相关。

事实上,印度洋偶极子是一个不同层次海洋(钱海峰等,2003)、以及大气相互关联的海洋大气基本模态。巢纪平和袁绍宇(2003)用次表层海温距平极值面上海温距平的分布确认了印度洋偶极的存在,他们通过分析发现热带西、东印度洋的海温距平呈偶极子模态,即当西印度洋海温距平为正(负)时,东印度洋海温距平为负(正)。谭言科,张人禾,何金海等(2004)研究了热带印度洋海表温度距平空间分布的年际变化与赤道中东太平洋海温的关系。指出印度洋海温的变化主要存在全区符号一致的单极型和西部与东南部符号相反的偶极型,它们具有显著的年际变化。印度洋海温单极、偶极的变化与 Nino3 区海表温度距平存在密切关系,印度洋海温距平从偶极到单极的变化对应着 El Nino 事件从发展到衰减的过程。平均而言,印度洋偶极超前 Nino3 区海温距平约 4 个月,单极滞后约 6 个月。

李东辉和俞永强(2005)利用 FGCM 耦合模式对热带印度洋偶极子进行模拟,模拟出热带印度洋海表温度距平(SSTA)气候变化的整体一致性和偶极性的特征,并讨论了热带印度洋海温的气候变率特征。杜振彩等(2006)研究了热带印度洋海温异常单、偶极模态及其相互作用。范伶俐(2006)讨论了热带太平洋、热带印度洋 SSTA 间的关系,指出冬季 Nino3 指数与热带印度洋 SSTA 间的关系表现为热带印度洋整体相关系数为正的单极形态,夏季两者关系表现为偶极形态。

人们也对印度洋偶极子发生的机制进行了研究。谭言科等(2004)对整个热带印度洋—太平洋地区海气耦合特征演变分析研究表明,与 El Nino 从发展到衰减相联系的热带西太平洋海气耦合相互作用在印度洋海温距平从偶极到单极的演变过程中起着非常重要的作用。赵其庚(2003)对印度洋偶极子期间海洋环流异常进行了模拟研究,发现 IOD 过程中热带印度洋海温异常(东冷西暖)现象,可从水平和垂直海流的异常变化,特别是大范围异常涌升流和沉降流的出现得到解释。李东辉、张铭、张瑰(2005)等用数值模式研究热带印度洋偶极子发生、发展和消亡的物理机制,研究结果表明,赤道印度洋表面异常东风引起的异常环流结构是偶极子发生、发展的主要动力学原因,其表面异常东风转换为异常西风所引起的异常环流结构调整是偶极子消亡的主要动力学原因,而海气界面热通量异常的交换、垂直输送作用对热带印度洋海表温度距平偶极子模态的形成和演变也起着重要的作用。闫晓勇和张铭(2005)则利用数值模式研究了风应力对印度洋上层环流的影响和作用。

从大量的分析研究可以看到,印度洋偶极子与太平洋异常海温及 ENSO 事件有何种关系,是一个重要的问题。印度洋异常海温偶极模所包含的 ENSO 信息,或者应该说是印度洋异常海温偶极模与 ENSO 的相互关系已经引起了科学家们的重视。但印度洋异常海温偶极子是一个独立的现象还是与 ENSO 密切相关,有不同的两种观点。

但 Saji 等提出 Dipole mode 与 ENSO 并无对应关系,Webster(1999)指出印度洋的异常状态可能不是对 El Nino 的响应,而是印度洋系统内部的海气陆相互作用所产生的对年循环的显著性扰动。Murtugudd(2000)等认为印度洋异常海温偶极模是与 ENSO 无关的独立结构。

人们曾用 EOF 方法研究太平洋海温的分布型,发现其特征向量就反映了 ENSO 循环的基

本特征。张勤、丁一汇等(1996)研究了20世纪90年代热带太平洋海温距平的变化,发现EOF第二特征向量反映了1991—1995年的ENSO循环。吴国雄等(1998)的研究表明,热带印度洋SSTA与太平洋ENSO具有显著的正相关关系,他提出了赤道印度洋—太平洋地区海气系统的齿轮式耦合图像,用它来说明印度洋对ENSO的作用。

李崇银和穆明权(2001)揭示了印度洋偶极型异常海温与ENSO循环有密切的联系。他们分析了ENSO事件中印度洋海温的时空分布特征,发现ENSO事件中印度洋地区海温有明显的东西反相的偶极结构现象并与ENSO有明显的反位相关系,联系它们的主要物理过程主要是赤道大气纬向(Walker)环流的异常。巢纪平和袁绍宇(2003,2004)分析了次表层海温距平极值面上海温距平的分布和变化,认为热带西、东印度洋的海温距平呈偶极子模态,且偶极子模态的海温距平分布在热带太平洋同样存在。因此,两大洋海温距平的偶极子模态间有密切的联系,他们进一步指出,在印度洋东西方向的海温距平分布呈现出距平符号相反的偶极子现象,在大气中的纬圈环流即Walker环流上也呈现出与海温距平相协调的或匹配的上升和下沉分支(距平意义下)分布。这种海温距平偶极子模态的形成、发展是和这两大洋热带上空Walker环流相互作用的结果,同时正是Walker环流异常把两大洋的海温距平变化联系起来。刘娜、陈红霞和陈显尧(2005)研究了印度洋海温偶极子型振荡(Indian Ocean Dipole, IOD)和太平洋之间在对流层上的遥相关模态,指出在热带太平洋上空的对流层存在明显和IOD变化密切联系的遥相关作用中心,该中心和热带印度洋之间由一明显的大气遥相关波列结构连接起来,这种波列结构从热带印度洋出发,向东南方向发展进入澳大利亚和太平洋的亚热带海域,最终到达热带太平洋。因此,大气行星波的能量传播是热带印度洋海温偶极子型振荡和热带太平洋之间对流层遥相关的一种可能的联系方式。

印度洋偶极子与太平洋异常海温的关系是密切的,还是相互独立的,可能有年代际的变化(姜大膀,王会军等,2004)。殷永红、史历和倪允琪(2001)的分析表明,热带印度洋的内部耦合动力特征模态,偶极子模的强度存在年代际变化,20世纪80年代偏弱,90年代偏强,热带印度洋与太平洋海气耦合系统存在相互作用,80年代热带印度洋的SSTA主要反映出对太平洋ENSO的响应,90年代太平洋ENSO的异常发展在一定程度上反映出受到印度洋偶极子模态的影响。范伶俐(2006)指出冬季Nino3指数与热带印度洋SSTA间的关系在1970年代后期有一个转折,1976年后,冬季两者的关系减弱,而夏季两者的关系有所加强。

1.3 印度洋偶极模异常海温对气候的影响

印度洋地区也有明显的偶极结构特征,其对气候的影响是一个很有意义的问题。印度洋地区的海温异常振幅虽然比起太平洋海域的海温异常振幅较小,但是考虑到该地区东西向的海盆的宽度仅为太平洋海域的三分之一,纬向热力对比与太平洋具有同等量级。因此,热带印度洋地区海洋的纬向热力对比对季风环流的年际变化会有非常重要的作用,是影响气候异常的一个重要因素。李崇银和穆明权(2001)研究了赤道印度洋海温偶极子型振荡对亚洲气候的影响。美国CLIVAR计划亚澳季风工作组(2001)把印度洋偶极模态作为亚澳季风研究中最重要课题之一,他们认为,理解印度洋地区的可能作用是了解区域气候变化和全球影响的重

要基础。对印度洋异常海温偶极子的深入探索对于研究亚洲季风变异和季风区气候异常可能具有关键的作用,我们知道,印度洋作为西南季风的发源地和流经地,该区域海温的异常对西南季风有着重要的作用,因此,印度洋海温的这种偶极结构不仅会对印度洋周边地区的气候产生影响,也会对中国的气候产生影响。

1997年发生了本世纪最强的一次厄尔尼诺事件,但1997年印度次大陆没有像一般厄尔尼诺年那样出现严重的干旱,而这一年赤道西印度洋的异常暖海温高达2度。这一现象引起了人们对印度洋异常海温偶极模及其作用的极大重视。

Hoerling等(2001)、Higgins等(2000)、Lan和Weng(2000)等的研究发现印度洋的增温和印度洋地区的对流活动对全球气候变化有联系。李崇银和穆明权(2001)研究了赤道印度洋海温偶极子型振荡对亚洲气候的影响,表明印度洋偶极子与亚洲南部流场、青藏高亚和西太平洋副高均有重要联系。

闫晓勇,张铭(2004)模拟研究了不同东太平洋海温异常背景下印度洋偶极子对东亚季风区天气气候的影响,指出了赤道东太平洋海温异常和印度洋偶极子有协同作用,研究结果还表明:当没有东太平洋影响时,印度洋偶极子使东亚地区西南季风的爆发偏晚,而使南海夏季风增强,我国大陆降水偏多;而在东太平洋海温异常和印度洋偶极子的共同影响下西南季风的爆发将更偏晚,南海夏季风减弱,华北降水偏少。杨秋明(2005)研究分析了夏季江淮地区雨量与印度洋海温联系的年代际变化,指出不同季节的印度洋海温与夏季江淮地区雨量之间的联系存在显著的年代际变化。在PDO冷位相(1951—1976年),同期夏季和后期秋季南印度洋海温与夏季江淮地区雨量的负相关最显著;而在PDO暖位相(1977—2000年),从前期春季到后期秋季热带印度洋表现为持续的正相关。同时分析还进一步指出印度洋海温和东亚季风降水之间年际相关的不稳定性是季风系统中年际和年代际振荡间的相互作用的结果。PDO和伴随的亚非大陆和印度洋地区之间海陆热力差异的年代际变化对印度洋海温和东亚季风降水年际联系具有明显的调节作用。刘青春、秦宁生、李栋梁等(2005)也分析了印度洋海温的偶极振荡与高原汛期降水和温度的关系,分析表明,印度洋地区东西海温的偶极振荡与青藏高原汛期降水、温度有较好的相关关系,其原因是印度洋地区东西海温的偶极指数与欧亚500 hPa的高度场异常有密切的关系,并通过印度西南季风的强弱,影响到青藏高原汛期降水和温度的变化。唐卫亚、孙照渤(2005)分析讨论了印度洋海温异常偶极振荡对东亚夏季大气环流及降水的影响,表明印度洋海温偶极振荡异常可以影响季风的强度和雨带分布。印度洋海温偶极振荡正位相年时,印度洋上为东风异常,西太平洋副高偏西、偏南、偏强,菲律宾附近对流活动减弱,东亚夏季风偏强,华南夏季降水偏多;印度洋海温偶极振荡负位相年时,西太平洋副高偏东、偏北,东亚夏季风偏弱,长江黄河之间有异常辐合,降水偏多。

1.4 研究关注的主要问题

综上所述,研究印度洋异常海温对亚洲季风和气候的影响,特别是研究印度洋东西异常海温梯度差(即偶极模)的气候影响,是研究气候变化领域的一个热点问题,对这一问题的研究分析,不仅对理解印度洋异常海温对中国气候的影响有十分重要的意义,同时也有助于深入认识

ENSO 及其对亚洲气候的影响。

针对印度洋异常海温研究的进展和存在的问题,我们研究关注的主要议题是:(1)印度洋偶极模是否是印度洋异常海温的重要属性;(2)印度洋偶极模与赤道太平洋东西反相位异常海温是相互联系的还是独立的;(3)印度洋异常海温或印度洋偶极模对气候的主要影响;(4)印度洋偶极模与 ENSO 对气候影响的异同点。

我们试图分析揭示印度洋异常海温的基本特征、演变规律和与其他地区异常海温的相关关系,探索印度洋偶极型异常海温对气候的影响和作用,阐释印度洋偶极型异常海温与太平洋 ENSO 异常海温气候效应的主要异同点。我们将首先分析研究印度洋异常海温的时空分布、印度洋异常海温与太平洋异常海温的差异和相互联系,进而分析研究印度洋异常海温的演变特征,重点研究印度洋异常海温偶极模结构的演变规律。在此基础上,研究探讨印度洋异常海温、特别是印度洋异常海温偶极模对亚洲季风活动和中国天气气候的影响,并用数值模式模拟研究其对中国气候影响,最后讨论分析赤道印度洋海温偶极模与太平洋异常海温关系的年代际变化。

主要研究内容包括:

(1) 印度洋的异常海温的结构和变化分析

对太平洋、印度洋的异常海温的结构和变化进行系统分析,重点研究印度洋热带海表温度异常的空间分布特征、季节演变特征、年际演变特征和年代际演变特征。研究分析太平洋、印度洋海温偶极模(东西梯度差)的变化特征,包括季节变化特征、年际、年代际变化特征。研究分析印度洋海温偶极模变化特征和太平洋海温偶极模变化特征的相互联系和不同特征。

(2) 热带印度洋海表温度异常偶极模的气候效应

定义构建印度洋偶极指数,统计分析太平洋、印度洋海温偶极指数与降水、温度等气候要素的相关关系,统计分析太平洋、印度洋海温偶极指数与高度场、风场、季风指数、西太平洋副热带高压、南亚高压、越赤道气流的相关关系,研究印度洋海温偶极模对亚洲气候系统的影响。

(3) 印度洋热带海温异常对中国气候的影响

用实测资料研究分析印度洋偶极模与亚洲季风和中国气候的相关关系,重点研究其对中国旱涝异常及早涝分布的影响,研究印度洋偶极型异常海温对中国初夏降水、夏季降水和冬季温度的影响。

(4) 印度洋热带海温异常对气候影响的数值模拟

用数值模式模拟研究印度洋海表温度异常偶极模不同相位对夏季大气环流的影响,其中重点研究印度洋热带海温偶极模对中国夏季气候的影响,比较分析其与太平洋 ENSO 异常海温对气候影响的异同点,进一步验证印度洋海温偶极模的气候影响和作用。

(5) 印度洋海温偶极模与太平洋异常海温的关系

太平洋和印度洋是包围亚洲大陆的两个宽广海洋,也是全球最大的两个大洋,我们将深入分析印度洋异常海温和太平洋异常海温既相互密切联系又各有其变化规律的特点,重点研究印度洋海温偶极子与太平洋异常海温关系及年代际变化特征。

1.5 研究资料和方法

研究采用的主要资料包括:1950 年到 1999 年 Hadley 中心的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 全球海表温度资料, 1955 年到 1999 年 NCEP/NCAR $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 全球表层海温资料, 1955 年到 1999 年 NCEP/NCAR $5^{\circ} \times 2^{\circ}$ 全球次表层海温资料, 1948 年到 2000 年 NCEP 再分析气候资料, 中国 160 个气象站 1951 年到 1999 年实际观测资料等。

研究分析方法应用了实际资料分析和数值模式模拟研究相结合的研究方法, 实况资料诊断分析运用了相关分析、EOF 分析、小波分析和合成分析等统计分析方法, 数值模式研究所用大气环流数值模式为中国科学院大气物理研究所自行研制发展的 IAP9L - GCM 模式(毕训强, 1993)。该模式是在原来的 IAP2L - GCM 模式的基础上发展起来的, 是一个包括对流层和低平流层的全球格点模式, 其动力框架是在曾庆存院士理论的基础上创立的, 张学洪和梁信忠完成了 IAP9L AGCM 的动力框架设计, 并由梁信忠完成了全套的物理过程, 包括 Smolarkiewicz 多维正定水汽平流输送方案、稳定凝结过程、地表面边界层的参数化方案, 并综合改进了辐射参数化方案、垂直扩散方案, 深对流积云参数化方案等。之后由毕训强博士对原模式进行了进一步完善和重新调整, 重新构建了模式的标准大气, 调整了部分模式参数和物理过程参数化方案的控制参数, 并对模式的结构和程序进行了优化。模拟研究和敏感性实验表明, IAP9L - GCM 对全球气候状况、季节变化和外强迫引起的气候异常具有较好的模拟能力, 也能较好地描写东亚季风的活动, 是气候研究中较好的模式工具之一。

第二章 印度洋异常海温的时空分布特征

近年来,人们对海温的异常变化作了一系列研究工作,研究结果表明,全球的海温变化既各有特点又相互联系,随着赤道太平洋地区的海温发生异常变化,全球的其他海域表面温度也有异常的变化。何有海等(1996)的研究发现,南海南部海温明显增温的开始时间比赤道东太平洋落后半年左右。陈烈庭等(1985,1988,1991)的研究表明,西印度洋的海温不仅有明显的年际变化特征,而且与赤道东太平洋的海温变化有密切的正相关关系。印度洋处于季风气候区,同太平洋比较,因受季风的影响,在季风风向转向的海区,海温的年较差和年际变化都很大。邓爱军等(1989)的研究表明,印度洋不同区域的海温变化随季风有明显的季节变化特征,由于季风变化的作用,冬半年,印度洋西南部为暖水区,西太平洋和南海为冷水区;夏半年海温分布刚好相反。在平均状况下,北印度洋海温分布为东暖西冷,夏季,随着西南季风的建立,非洲沿岸、索马里沿海产生离岸流,至使深层海水上翻,海流又把冷水输送到阿拉伯海,印度洋西部产生冷水堆积,使东暖西冷的热力差异更为明显。分析还表明,热带印度洋海温距平的纬向分布基本存在类似 El Nino 和反 El Nino 两种主要类型,虽然印度洋的海温距平没有赤道东太平洋大,但其纬向热力对比与太平洋具有同等量级。因此,热带印度洋地区海洋的纬向热力对比对季风环流的年际变化有非常重要的作用,是影响气候异常的一个重要因素。人们曾用 EOF 方法研究太平洋海温的分布型,发现其第一特征向量就反映了 ENSO 循环的基本特征。张勤、丁一汇等(1996)研究了 20 世纪 90 年代热带太平洋海温距平的变化,发现 EOF 第二特征向量反映了 1991—1995 年的 ENSO 循环。但印度洋海温的时空分布有什么特征? 其演变规律和气候变化有什么联系,是我们要研究的问题。

2.1 印度洋异常海温的分布特征

利用 Hadley 中心提供的 1950 年到 1999 年 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 全球海表温度资料,图 2.1.1 给出了印度洋低纬度热带地区平均海表温度的分布。从图中可以看到,印度洋海表温度的分布在南北半球有明显的区别,北半球整体温度较高,以东西向的水平梯度分布为主,海温差较小;而南半球印度洋海表温度较低,以南北向的水平梯度分布为主,海温差较大。赤道印度洋西部的平均海温在 27°C 以下,东部在 28.5°C 以上,年平均的东西温差大于 1.5°C ,年平均温度最高的暖区

位于赤道中、东印度洋,以及阿拉伯海和孟加拉湾的西南部。热带印度洋海温的平均状况表现出的东西温度差异特征决定了该地区的天气气候和季风活动特征,但我们更为关心的是其时间和空间的变异,以下将用 EOF 分析印度洋海温的变异特征。

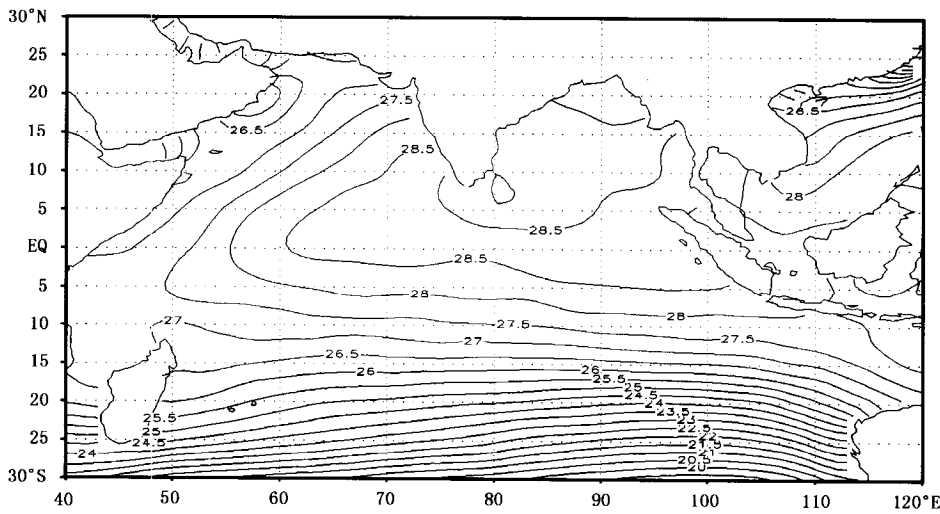


图 2.1.1 1950—1999 年热带印度洋平均温度的分布(单位:°C)

EOF 方法是近代气象学中常用的气象要素场的分析方法,它将气象要素场分解为特征向量和时间系数两个部分。特征向量反映场的空间分布特征,不随时间变化,时间系数(主要分量)描述场随时间的变化规律。EOF 方法可将要素场的主要特征浓缩在前几个特征向量和时间系数上。我们用 1950—1997 年近 50 年印度洋地区(30°~120°E,30°S~30°N)月平均海温距平场资料,格距为 5.0°×5.0°,月平均海温距平相对于 1960—1990 年月平均而言,通过 EOF 方法来分析年季平均海温距平场的时空变化特征。

表 2.1.1 年平均和季节平均海温距平场前 10 个主要分量累计方差贡献(%)

特征向量	春季	夏季	秋季	冬季	年
1	29	28	30	26	48
2	40	40	39	35	59
3	48	47	47	44	64
4	53	54	54	50	69
5	58	60	58	54	72
6	61	64	62	58	75
7	64	67	65	61	78
8	67	70	67	64	80
9	70	72	70	67	82
10	72	74	72	69	84