

贾小龙 李崇银 著

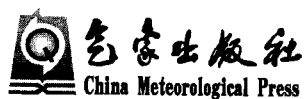
热带大气季节内振荡 及其数值模拟



 气象出版社
China Meteorological Press

热带大气季节内振荡及其数值模拟

贾小龙 李崇银 著



内容简介

热带大气季节内振荡(简称热带大气 ISO 或 MJO)的数值模拟是近十年来国际大气科学研究的重要前沿问题之一,本书基于数值模拟试验结果,系统地讨论了热带大气季节内振荡数值模拟的一些问题。为了介绍新的研究结果,也为了分析和对比研究数值模拟结果,本书又先行进一步系统地论述了热带大气季节内振荡的基本特征及其动力学机制。全书内容主要包括热带大气 ISO 对一些气候系统的重要作用,如亚洲夏季风和 ENSO(El Niño-Southern Oscillation);热带大气季节内振荡的主要观测特征,包括其时空谱特征,空间分布、季节变化和结构特征,传播特征以及生命循环过程等;热带大气季节内振荡的动力学机制;针对目前大气环流模式(AGCM)对热带大气季节内振荡的模拟很不理想的情况,重点讨论了热带大气季节内振荡的数值模拟问题,包括大气季节内振荡模拟误差对气候模拟误差的影响;模式分辨率对热带大气季节内振荡模拟的影响;热带大气季节内振荡的模拟对积云对流参数化方案、特别是对非绝热加热廓线和对积云动量垂直输送敏感性的影响等问题。

本书可作为气候及气象科研人员、教学人员和专业工作者阅读和工作参考之用,也可作为研究机构 and 高等院校气候动力学专业研究生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

热带大气季节内振荡及其数值模拟/贾小龙,李崇银著. —北京:气象出版社,2009.10
ISBN 978-7-5029-4689-0

I. 热… II. ①贾… ②李… III. 热带-大气振荡-数值模拟 IV. P433

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 177123 号

热带大气季节内振荡及其数值模拟

Redai Daqi Jijienei Zhendang jiqi Shuzhi Moni

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

邮 编:100081

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

电 话:总编室 010-68407112,发行部 010-68409198

责任编辑:郭彩丽 何晓欢

终 审:周诗健

封面设计:王 伟

责任技编:吴庭芳

责任校对:时 人

印 刷 者:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

印 张:14.25

插 页:8

字 数:365 千字

版 次:2009 年 10 月第 1 版

印 次:2009 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1—1000 册

定 价:50.00 元

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

前 言

热带大气季节内(30~60 d)振荡已被视为热带地区重要的气候系统之一,它常被简称为热带大气 ISO 或 MJO。由于它不仅对热带地区而且对热带外许多地区的天气气候异常都有重要的影响,热带大气季节内振荡也就成为自 20 世纪 80 年代以来大气科学研究领域的重要问题之一。作者之一已在《大气低频振荡》一书中对热带大气季节内振荡的一些观测事实进行过较为系统的介绍和论述(李崇银 1991,1993)。但是,近些年的研究又进一步揭示了有关热带大气季节内振荡的一些新事实,以及热带大气季节内振荡对一些气候系统的重要作用。尤其是随着对热带大气季节内振荡的现象、本质以及动力学机制的深入认识,近些年来热带大气季节内振荡的数值模拟研究更引起了国内外学者的广泛重视。一方面是由于一些数值天气预报结果表明,模式对大气季节内振荡的描写(预报)如何,对预报效果有十分重要的影响,大气季节内振荡的预报误差对整个预报起着重要作用;而另一方面,目前全球大气环流模式(Atmospheric General Circulation Model, AGCM)对热带大气季节内振荡的模拟还很不理想,至今没有一个 AGCM 能很好再现观测到的热带大气 ISO 的特征。因而,如何提高 AGCM 对热带大气 ISO 的模拟能力就成为一个亟需解决的问题,这不但可以加深我们对热带大气季节内振荡动力学机制的理解,而且对于改进目前气候模式的模拟性能都有着重要的意义。因此,很有必要以热带大气季节内振荡的数值模拟为重点,揭示模拟和预报热带大气季节内振荡的一些基本问题,并结合近年来有关热带大气季节内振荡的重要研究成果,对热带大气季节内振荡的主要特征和性质作新的简要论述。

全书共分 9 章。第 1 章介绍了热带大气季节内振荡的研究简史,以及热带大气 ISO 对亚洲夏季风的影响和与 ENSO 有关系的一些新的研究成果;第 2 章系统地讨论了热带大气季节内振荡的基本观测事实和相关物理过程;第 3 章简要讨论了热带大气季节内振荡的动力学机制;第 4 章讨论了大气季节内振荡在气候模拟中的重要性;第 5 章讨论了模式分辨率对热带大气季节内振荡模拟的影响;第 6 章通过利用不同模式不同积云参数化方案讨论了模拟热带大气季节内振荡对模式积云参数化方案的敏感性;第 7 章结合动力理论结果和数值模拟试验,讨论了热带大气季节内振荡的模拟对非绝热加热廓线的敏感性,指出了它是目前大气环流模式模拟热带大气季节内振荡不理想的可能原因之一;第 8

章讨论了热带大气季节内振荡的模拟对积云动量垂直输送的敏感性,指出了模式改进的可能途径;第9章给出全书总结以及问题与展望。

本书内容是近几年的研究新成果,有些问题的研究还在继续深入中。鉴于认识水平有限,书中难免有不当或错误之处,欢迎读者批评指正。

本书主要研究工作的完成和出版得到国家自然科学基金委(基金号40575027)的资助,特此致谢。

作 者

2009年元旦于北京

目 录

前言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 热带大气季节内振荡研究简史	(1)
1.2 热带大气季节内振荡对亚洲夏季风活动的影响	(9)
1.3 热带大气季节内振荡与 ENSO 的关系	(16)
第 2 章 热带大气季节内振荡的基本特征	(25)
2.1 引言	(25)
2.2 热带大气季节内振荡的一般特征	(26)
2.3 热带大气季节内振荡的时空谱特征	(32)
2.4 热带大气季节内振荡的季节变化	(33)
2.5 热带大气季节内振荡的时空演变特征	(42)
2.6 夏季南亚季风区热带大气 ISO 的经向传播	(50)
2.7 小结	(59)
第 3 章 热带大气季节内振荡的动力学机制	(61)
3.1 引言	(61)
3.2 积云对流加热反馈(CISK 波)及蒸发-风反馈理论	(61)
3.3 大气对外源强迫的低频遥响应	(67)
3.4 大气非线性相互作用	(69)
3.5 海气相互作用	(71)
3.6 小结	(72)
第 4 章 大气季节内振荡在气候模拟中的重要性	(73)
4.1 引言	(73)
4.2 模式和分析方法	(73)
4.3 模拟结果的均方根误差分析	(75)
4.4 热带大气季节内振荡动能的比较	(80)
4.5 小结	(83)

第 5 章 模式分辨率对热带大气季节内振荡模拟的影响	(84)
5.1 引言	(84)
5.2 SAMIL-R42L9 对热带大气 ISO 的模拟	(85)
5.3 水平分辨率对热带大气季节内振荡模拟的影响	(107)
5.4 垂直分辨率对热带大气季节内振荡模拟的影响	(116)
5.5 分辨率对其他方面的影响	(123)
5.6 小结	(126)
第 6 章 热带大气季节内振荡的模拟对积云参数化方案的敏感性	(128)
6.1 引言	(128)
6.2 R42L9 模拟的热带大气季节内振荡对积云参数化方案的 敏感性	(130)
6.3 R42L26 模拟的热带大气季节内振荡对积云参数化方案的 敏感性	(144)
6.4 CAM2 所模拟的热带大气季节内振荡对积云参数化方案的 敏感性	(155)
6.5 小结	(174)
第 7 章 热带大气季节内振荡的模拟对非绝热加热廓线的敏感性	(176)
7.1 引言	(176)
7.2 热带大气季节内振荡模拟对非绝热加热廓线的 敏感性试验	(177)
7.3 非绝热加热影响热带大气季节内振荡模拟的机制	(187)
7.4 小结	(192)
第 8 章 热带大气季节内振荡的模拟对积云动量垂直输送的敏感性	(193)
8.1 引言	(193)
8.2 积云动量垂直输送对热带大气季节内振荡模拟的影响	(194)
8.3 积云动量垂直输送影响季节内振荡模拟的可能途径	(200)
8.4 小结	(205)
第 9 章 结语	(206)
9.1 主要结论	(206)
9.2 问题与展望	(210)
参考文献	(211)

第1章 绪 论

热带大气季节内(30~60 d)振荡也有人简称为 MJO (Madden-Julian Oscillation) 或热带大气 ISO(Intra-Seasonal Oscillation), 已被视为重要的大气环流(或气候)系统之一, 它的活动及其异常对不少地区的天气和气候都有重大影响。因此, 自热带大气季节内振荡在 20 世纪 70 年代初被发现以来(Madden 等 1971, 1972), 国内外已对其进行了一系列研究, 作者之一也已在《大气低频振荡》一书中对热带大气 ISO 进行了较为系统的介绍和论述(李崇银 1991, 1993)。但是, 近几年的研究又进一步揭示了有关热带大气 ISO 的一些新事实, 以及热带大气 ISO 对一些气候系统的重要作用。特别是热带大气 ISO 的数值模式研究更引起了国内外学者的广泛重视, 主要是在目前全球大气环流模式(AGCM)对热带大气季节内振荡的模拟中遇到了很大的问题, 气候模式作为目前研究气候变化的一个重要工具, 尽管评价其对气候平均环流的模拟能力是非常重要的, 而对模式评价来说其能否再现各种时间尺度的变率也是一个很重要的部分, 尤其是针对热带大气季节内振荡的模拟。因而, 如何提高 AGCM 对热带大气 ISO 的模拟能力就成为了一个急需解决的问题, 这不仅对于加深我们对热带大气 ISO 动力学机制的理解, 而且对于改进目前气候模式的模拟性能都有着重要的意义。因此, 很有必要以热带大气 ISO 的数值模拟为重点, 结合近年来有关热带大气 ISO 的重要研究成果, 对热带大气 ISO 作新的综合论述。

1.1 热带大气季节内振荡研究简史

1.1.1 热带大气季节内振荡的资料分析研究

热带大气季节内振荡是热带大气中最显著的信号之一, 最先由 Madden 和 Julian 在 1971 年发现(因此也被称为 Madden-Julian Oscillation)。他们在分析南太平洋坎顿(Canton)岛 1957—1967 年的观测资料时发现其纬向风和地面气压存在着一个周期为 40~50 d 的低频振荡; 后来他们的研究(1972)又进一步发现这种振荡在全球热带大气中普遍存在, 并且主要以纬向一波的结构向东传播, 振荡起源于热带印度洋和西太平洋。在他们之后, 由于资料的缺乏, 一段时

期里并未引起人们的多大注意。

直到 20 世纪 80 年代初, Yasunari (1980) 发现印度季风区的云量也有 30~40 d 的周期变化, 这不仅又一次证实了 30~60 d 振荡的存在, 而且将热带大气季节内振荡同季风活动联系了起来。同时 1979 年的全球大气研究计划 (Global Atmospheric Research Programme, GARP) 第一期全球试验 (First GARP Global Experiment, FGGE) 和 GARP 季风试验 (Monsoon Experiment, MONEX) 的进行, 为热带大气季节内振荡的研究提供了较为完整的全球资料。通过对 MONEX 资料的分析, Krishnamurti (1982) 发现印度季风区的槽脊活动也有 30~50 d 的振荡和向北传播的特征; 而 Lorenc (1984) 分析 FGGE 资料发现 200 hPa 速度势也有 30~60 d 振荡的向东传播。Murakami 等 (1984, 1985) 的研究不仅揭露出季节内扰动风场和位势高度场的东传和向北移动特征, 而且提出了扰动能量频散问题。这样, 大气季节内振荡的研究从 20 世纪 80 年代开始得到了蓬勃开展, 不仅把大气 30~60 d 振荡作为大气运动的准周期变化现象, 而且视其为大气运动的一类实体 (系统)。

之后, 国内外进行了很多对热带大气 ISO 的结构特征和基本活动规律的研究, 对其也揭露得较为清楚 (Lau 等 1985, Lau N 等 1986, Knuston 等 1987, Li 1988, Li 等 1990, Chen 等 1988, Madden 等 1994, Zhang 1996, Sperber 2004, 董敏等 2004)。李崇银在《大气低频振荡》一书中对国内外大气季节内振荡, 尤其是热带大气 ISO 的研究进行过总结, 系统地讨论了大气 ISO 的结构特征、移动规律和时间变化, 以及动力学机制等问题。

概括而言, 热带大气 ISO 具有纬向 1 波为主的行星尺度空间结构; 它没有严格的周期, 表现为 30~60 d 的宽频带振荡周期, 典型周期为 45 d 左右; 在垂直结构上表现为对流层上、下反相的“斜压”特征, 上层西风对应下层的东风, 上层的暖区对应下层的冷区; 热带大气 ISO 主要以纬向东传和经向北传为主, 但也有明显的西传情况, 特别是在赤道以外的热带地区大气 ISO 的向西移动还是常见的现象; 热带大气 ISO 在季节上表现为冬、春较强而夏、秋较弱的季节性特征。热带大气 ISO 在主要对流区的热带印度洋和西太平洋上空相对更为显著, 其他地区也有它的活动, 尤其是在对流层的上层。热带大气季节内振荡的空间分布存在着明显的季节变化特征, 夏季主要分布在北半球 5° — 20° N 的南亚和西太平洋地区, 冬季则主要分布在南半球 20° — 5° S 的印度洋和中西太平洋的狭长地带, 春秋作为过渡季节介于冬夏之间。进一步的分析表明, 热带大气 ISO 活动的明显季节性特征与大气环流和气候背景场的季节变化有着紧密关系, 它们中主要包括平均海平面温度场和大气平均纬向风场的季节性转换。

热带大气季节内振荡除了有季节变化外, 年际变化也十分明显, 而且热带

大气季节内振荡的年际变化与 ENSO 有一定的联系。

1.1.2 热带大气季节内振荡的动力学研究

随着热带大气季节内振荡事实及其活动规律的揭露,人们相应开展了对热带大气 ISO 产生原因的研究,并从动力学理论上进行了探讨。关于热带大气 ISO 的动力学机制,较早的动力学研究认为热带大气 ISO 与大气内重力波有关,提出准 40 d 振荡的向东传播是由对流驱动并拦截赤道开尔文波(Kelvin wave)的表现形式,指出这种运动的垂直尺度和时间尺度同有积云摩擦和牛顿冷却存在情况下的赤道波理论相吻合(Chang 1977)。Dunkerton(1983)和 Stevens(1983)的研究认为赤道附近地区大气运动的对称和非对称不稳定可能激发热带大气的低频振荡,但他们的研究难以说明热带大气 ISO 的行星尺度特征。Anderson(1983)的研究发现在基本气流加入纬向对称的哈得来(Hadley)环流时能够产生缓慢移动的波型。Goswami 等(1984)的研究指出由于湿对流与纬向对称的大气动力学过程相互作用可以产生低频振荡。但这些理论研究都难以解释热带大气 ISO 的结构和活动特征。

李崇银(1985)最先将积云对流加热反馈引入到热带大气 ISO 的动力学研究中,提出积云对流加热反馈(CISK)是激发产生热带大气 ISO 的重要动力学机制。Lau(1987)基于同样的波动-CISK 理论,进一步研究了热带大气 30~60 d 振荡的积云对流加热反馈机制,将热带大气 ISO 的产生归结为“可移动性”波动-CISK(‘mobile’ Wave-CISK),较好地说明了热带大气 ISO 的缓慢东传。Takahashi(1987)和 Chang 等(1988)又对 Lau(1987)提出的理论做了进一步研究。Wang(1988a)在理论模型的研究中引入了边界层摩擦引发的水汽辐合,认为波动-CISK 使低层的水汽辐合并引发了深厚积云对流,凝结造成的潜热释放强迫出不稳定的东传模;而不稳定的东传模在原潜热释放的东面进一步促进了低层的辐合,然后又产生了潜热加热。后来, Li(1990b, 1993)又研究指出了 CISK-Rossby 的作用,认为在积云对流加热的反馈作用下,热带大气还可以产生一种 CISK-Rossby 波,既可以向西移动也可以向东移动,并且 CISK-Rossby 波具有能量频散性,因而 CISK-Rossby 波型是赤道以外大气 30~50 d 振荡的重要激发和驱动机制,进而完善了热带大气 ISO 的 CISK 波理论。刘式适等(1992)采用描写低纬大气运动的斜压半地转 Wave-CISK 模式,讨论了由 CISK 机制激发的 CISK-Kelvin 波和 CISK-Rossby 波,并求得了 $\eta=0$ 和 $\eta\neq 0$ 条件下模式的解析解,研究也指出 Wave-CISK 机制对大气季节内振荡起着重要作用。

另一方面,为了从动力学机制上解释热带大气 ISO 的东传,Emanuel(1987)和 Neelin(1987)提出了蒸发-风反馈机制,认为积云对流产生的非绝热加

热几乎为绝热冷却所补偿;但异常的对流在对流层低层对流区东侧强迫出了与 Kelvin 波相联系的东风异常,在西侧强迫出了西风异常。如果对流是发生在平均的东风区,这种东、西风响应场叠加在平均东风上,就造成了蒸发和加热的东—西不对称性。热源东部的加热强于西部,对于对流发展更为有利,这样,反馈过程也就有利于对流区的东移;同时大气中对流加热的增强又更加强了热源东部的 Kelvin 波和东风响应。但是 Jones 等(1996)对观测资料的分析表明,对热带大气 ISO 最活跃的东半球来说平均风速很弱甚至为西风;其他一系列的观测研究(Wang 1988b, Lau 等 1997, Hendon 等 1997)及数值模拟研究(Sperber 等 1997, Waliser 等 1999)都表明对流区西侧的蒸发实际上比东侧要强。这些结果都表明了蒸发-风反馈机制不能根本解释热带大气 ISO 的存在。李崇银等(1996, 2000)的研究将 CISK 机制和蒸发-风反馈机制同时引入到一个动力学模式中,表明 CISK 机制对于热带大气 ISO 的激发起着更为重要的作用;而仅有蒸发-风反馈机制并不利于激发产生热带大气 ISO;但蒸发-风反馈作用可引起激发波的不稳定,它同 CISK 机制一起考虑可以更好地解释热带大气 ISO 的特征和活动规律。

大气对外源(海温异常等)强迫有极为明显的遥响应(Blackmon 1983, Shukla 1983),但是大家对这种遥响应的性质,特别是其谱特征起初并不清楚。通过数值模拟试验,李崇银等(1991, 1993)发现大气对外源强迫的遥响应主要是低频(30~60 d)遥响应。而且这种大气低频遥响应场的形势同一般的大气遥相关型有些类似,无论在热带还是中高纬地区这种低频响应的扰动结构及其移动特征都同实际大气中所观测的大气 ISO 十分相近。因此可以认为大气对外源强迫的低频响应也是大气中 ISO 产生的重要机制。

中国学者在大气非线性相互作用激发大气 ISO 方面有很多的研究(朱抱真等 1991, 罗德海等 1992, Luo 等 1993, 徐祥德等 1999, 罗德海, 2000),包括波与波的共振相互作用,基本气流的不稳定性,波与基本气流的相互作用,大气环流的多重平衡态以及平衡态的失稳与分叉等。这些研究结果充分表明大气中的非线性相互作用也是激发产生 ISO 的重要机制,尤其是对于中高纬度地区大气季节内振荡的产生,大气非线性相互作用有着极其重要的作用。

由于已经发现海洋中也存在季节内振荡,海气耦合相互作用也被认为对大气 ISO 的激发和维持具有相当的作用。在一个海气耦合模式的数值试验中(Hirst 等 1990)既存在年际振荡也存在季节内振荡。李崇银(1996)利用一个简单的非线性海气耦合模式进行理论分析也清楚地显现出大气 ISO 的存在和特征。Wang 等(1998)利用大气与海洋混合层耦合模式讨论海气相互作用对维持热带大气 ISO 的作用发现,海气混合层热力过程与大气的相互作用对热带大

气 ISO 起着一定的支撑作用,其物理过程包括对大气 Kelvin 波的不稳定化,对长波的选择性以及激发波的减速特性。用 CGCM(Coupled General Circulation Model)所做的数值模拟也表明,海气耦合的引入能更好地模拟和描写大气季节内振荡(Waliser 等 1999, Li 等 2002)。Li 等(2002)利用一个既包含积云对流加热反馈(CISK),同时也被引入了蒸发-风反馈和海气耦合作用的大气 ISO 的理论模式对热带大气 ISO 的动力学机制进行了进一步的研究,表明积云对流加热反馈机制虽然不及对流加热反馈作用,但海气耦合作用有利于降低激发波的频率,因此比较强的海气耦合作用可以成为热带大气 ISO 的动力学机制。

1.1.3 热带大气季节内振荡的数值模拟研究

1. 热带大气季节内振荡数值模拟中出现的严重问题

国内外关于热带大气季节内振荡的数值模拟研究开展的相对较晚,从 20 世纪 90 年代初才真正关注大气环流模式(General Circulation Model, GCM)对其的模拟能力。Park 等(1990)用三个格点分辨率相同的 GCM(GLAS、UCLA、GLA)所作数值模拟结果,分析了各个模式对热带大气 ISO 模拟的好坏,表明只有 GLAS-GCM 能较好模拟出大气 ISO 及其东传,而其他两个模式模拟结果均不理想。这是因为模式的参数化和计算格式存在差异,在积分过程中所产生的风场、湿度场和加热场等都很不同,从而出现不同的大气 ISO 模拟结果。

在大气环流模式比较计划 AMIP(Atmospheric Model Intercomparison Project, Gates 1992)中,用各国 15 个 GCM 就大气 ISO 的模拟结果进行了比较(Slingo 等 1996),其结果表明,虽然大多数模式能够反映大气季节内时间尺度的振荡信号,再现对流层上层速度势异常的向东传播,但严格来说,没有一个模式能够抓住观测到的热带大气 ISO 的主要特征。目前,大多数大气模式都低估了 ISO 的强度;未能再现 ISO 的季节性倾向;模拟结果倾向于较短的季节内振荡周期,30 d 以内的高频信号比观测有更强的功率谱;不能模拟出季节内振荡的连续东传特征。

2. 模式分辨率的影响

Hayashi 等(1986)分析了两个不同分辨率版本地球物理流体动力学实验室(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL)模式对热带大气 ISO 的模拟,其结果显示低分辨 R15 模拟的 ISO 信号要弱于高分辨率的 R30。似乎表明模式分辨率的提高可能改善对热带大气 ISO 的模拟结果。Inness 等(2001)的研究也认为垂直分辨率的提高有利于改善对热带大气 ISO 的模拟。然而 Slingo

等(1996)对 15 个 GCM 模拟结果进行比较后认为,高分辨率的 GCM 对热带大气 ISO 的模拟不一定就比低分辨的要好,因为法国国家气象研究中心(Centre National de Recherches Meteorologiques, CNRM)三个不同分辨率的 GCM (T21, T42, T79)所模拟的热带大气 ISO 的强度是随着分辨率提高而减弱的。同样, Gualdi 等(1997)分析研究了三种水平分辨率 ECHAM3 (European Center Hamburg version 3)模式(T21, T42, T106)结果显示提高水平分辨率实际上降低了对热带大气 ISO 的模拟能力。Jia 等(2008)分析了中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室发展的大气环流模式 SAMIL (Spectral Atmospheric Model of IAP/LASG)三个分辨率版本(R15L9, R42L9 和 R42L26)对热带大气 ISO 的模拟,模式对热带大气 ISO 的模拟能力并没有因分辨率的变化而发生本质上的变化。但模式分辨率的变化对模拟的热带大气 ISO 的某些特征起到了明显的调制作用。比如,由于热带大气 ISO 行星尺度的结构特征,水平分辨率的降低(R15L9)没有降低对 ISO 主要特征的模拟能力,反而使得高频扰动信号有所减弱,模拟谱特征与观测结果更为接近。垂直分辨率的提高(R42L26)使得降水场的谱值分布相对 R15L9 和 R42L9 而言更加集中在季节内尺度上。另外,与 R42L9 相比 R42L26 模拟的 ISO 传播上的连续性也有所提高。这些不同模式的模拟结果表明模式的分辨率不是各个模式模拟热带大气 ISO 差异的直接原因,模式模拟热带大气 ISO 对模式分辨率的依赖性,根据不同模式有不同的情况和机制。

3. 云辐射参数方案的影响

Slingo 等(1991)用美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)的气候模式 CCM1 (Community Climate Model version 1)研究了云-辐射相互作用,发现去除云的长波辐射强迫,会轻微地调制大气 ISO 的振幅;但对振荡的周期没有明显的影响。Lau 等(1986)以及 Hayashi 等(1986)在模式中用固定的云量,研究模式所产生的热带大气 ISO,其结果表明云-辐射反馈对 GCM 模拟热带大气 ISO 来说也不是关键。

4. 大气-海洋相互作用的影响

Sperber 等(1997)用观测资料分析了印度洋-太平洋的对流和海面温度(Sea Surface Temperature, SST)之间的关系,认为热带大气 ISO 可能是一个耦合的海洋-大气模态。Flatau(1997)和 Waliser 等(1999)在数值模式中引入相互作用的 SST,结果产生了更慢的位相速度和更强振幅的热带大气 ISO;用相互作用的海面温度使得所模拟大气 ISO 的变化和其季节性特征也得到了改善。

这些结果似乎可以认为热带大气 ISO 有可能是一个耦合的大气海洋模态。但是若在 Waliser 等(1999)的研究中,用指定的 SST 作边界条件的 GCM,也可模拟出同观测相一致的热带大气 ISO,那么热带大气 ISO 就可能是大气本身的内部模态,同时可能受到同海样相互作用的调制。

5. 对流参数化方案的影响

积云参数化方案目前被普遍认为是影响大气环流模式模拟热带大气 ISO 的重要因子。Park 等(1990)分析了三个 GCM(GLA, GLAS, UCLA)所模拟的热带大气 ISO,发现使用荒川-舒伯特参数化方案(Arakawa 和 Schubert, 1974)的美国加州大学洛杉矶分校(University of California, Los Angeles, 简称 UCLA)模式没有模拟出明显的热带大气 ISO 信号。但是戈达德大气科学实验室(Goddard Laboratory for Atmospheric Science, GLAS)模式使用了相同的方案,只是把穿透性对流限制在了 340 hPa 以下,却模拟出了 20~60 d 周期的振荡信号,尽管强度比观测的要弱。但由于 UCLA 和 GLAS 有很多的差异,还难于清楚表明对流参数化方案的处理是否是影响热带大气 ISO 模拟效果的唯一原因。

Tokika 等(1988)用 MRI 水球 GCM 模拟研究了对流方案对模拟热带大气 ISO 的影响。使用 UCLA 的对流方案模拟出了准 10 d 的东传扰动;而通过引入环境空气的积云卷积率非零最小值(原始方案中设为零),得到了 30~45 d 的东传扰动。Itho(1989)用赤道 β 平面上的理想化非线性原始方程模式,研究了对流处理对模拟热带大气 ISO 的影响,使用了两个版本,一个是 Kuo 方案(1974),其对流触发使用了 90% 云层平均相对湿度判据(RHc),成功模拟出了 30~50 d 的振荡;另外一个版本,对流潜热加热通过指定垂直加热廓线被显式处理,并且假设加热振幅正比于 900 hPa 垂直速度,同时指定潜热加热的发生用低层辐合作判据,结果显示低层辐合判据的增加有利于全球尺度的振荡。Li 等(1995)用澳大利亚的 CSIRO-GCM(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization-GCM)所作的数值模拟,模拟出了大气 ISO 的一些主要特征,而且模拟研究表明 El Niño 对大气 ISO 有削弱作用;而模拟试验发现热带太平洋的不同对流加热分布(与对流参数化有关)对热带大气 ISO 的纬向传播有重要影响。

Slingo 等(1996)对比了使用各种对流参数化方案的不同 GCM 对热带大气 ISO 的模拟,认为使用基于浮力闭合对流方案的 AGCM 比使用基于水汽辐合对流方案的 AGCM 更好地模拟出了热带大气 ISO 的特征。而一些在同一个模式中使用不同对流参数化方案的模拟研究表明,AGCM 中植入的对流参数化方案对模拟热带大气 ISO 起了关键的作用。Chao 等(1998)研究认为当对流参数

化方案改变时,模式模拟的热带大气 ISO 明显地受到影响,同一个模式使用的三种对流方案(湿对流调整——MCA,张弛荒川-舒伯特方案——RAS 和一个简单对流方案)中,MCA 方案对模拟热带大气 ISO 的东传是最成功的,而 RAS 方案是最差的。Wang 等(1999)用 UIUC (University of Illinois, Urbana-Champaign)的 AGCM 研究了模拟热带大气 ISO 对积云参数化方案的依赖性,表明 MCA 方案产生的热带大气 ISO 信号最强,修改的 AS 方案最弱,Kuo 方案处在两者之间。同时,研究认为模式模拟的热带大气 ISO 高度地依赖于方案中使用的判断对流触发的相对湿度判据(RHc),在三种对流参数化方案中加大对流相对湿度判据的值,模拟的热带大气 ISO 也会增强。另外,研究也验证了(摩擦)波动-CISK 机制对于激发热带大气 ISO 是非常重要的。但 Maloney 等(2001)分析了 CCM3 中几个对流方案——Zhang 和 McFarlane(1995),Hack (1994),Sud 和 Walker(1999)使用张弛的荒川-舒伯特方案的云微物理对流方案(Microphysics of cloud with relaxed Arakawa-Schubert, McRAS)所模拟的热带大气 ISO,发现 McRAS 方案产生了比其他两种方案明显好的季节内变化,但是增加边界层触发对流的相对湿度判据并没有使得模式模拟的热带大气 ISO 得到明显提高,却发现使用 McRAS 方案模拟的热带大气 ISO 高度敏感于不饱和环境空气中对流性降水的蒸发和饱和下曳。进一步的分析(Maloney 2002)还表明,McRAS 方案所模拟的热带大气 ISO 强烈地依赖于下垫面辐合造成的对流层低层水汽量。

Rajendran 等(2002)分析了 CCM2 用 MCA 和 Hack 方案模拟的热带大气 ISO,其结果是 MCA 方案的表现要好于 Hack 方案。Lee 等(2003)也研究了对三种积云参数化方案(简化的荒川-舒伯特方案——SAS, Kuo 方案和 MCA 方案)所模拟的热带大气 ISO,表明该 GCM 模拟的热带大气 ISO 的强度和传播显著地依赖于积云参数化方案的选择,MCA 方案产生的热带大气 ISO 最强,SAS 方案为最弱;并且认为,越严格限制的对流方案所产生的季节内振荡的信号越强。Sperber(2004)分析了标准版本的 CAM2(Community Atmospheric Model Version 2)对热带大气 ISO 的模拟,表明模式产生的热带大气 ISO 偏弱,并且传播特征也不理想。屈述军等(2004)用中科院大气物理所的 IAP9L-AGCM 模拟分析了热带大气 ISO 的时间和空间特征,表明改进模式能够反映热带低纬地区大气 ISO 的基本特征,但时空特征与观测仍有一些差异。Zhang 等(2005)对 Zhang 等(1995)方案进行了修改,在 NCAR-CCM3 中的应用表明对热带大气 ISO 的模拟得到了较明显的提高。Liu 等(2005)分析了两个版本的 Tiedtke 积云参数化方案对热带大气 ISO 的模拟,其结果表明深对流基于水汽辐合闭合要好于基于对流有效位能闭合的方案。贾小龙等(2007a)利用中国科学院大气物

理研究所 LASG 的大气环流模式 SAMIL 研究了热带大气 ISO 的模拟对积云对流参数化方案的敏感性,结果表明两种对流参数化方案——湿对流调整方案(MCA)和 Zhang 等(1995)方案对热带大气 ISO 的模拟能力有明显的差异。MCA 方案较好地模拟出了热带大气 ISO 的基本特征,包括季节内的时间尺度和向东的传播。Zhang 等(1995)对流方案模拟的热带大气 ISO 的振幅非常弱,而且缺乏连续的传播特征,在热带大气 ISO 的演变过程中弱的低层水汽辐合使 ISO 难以维持和传播。

1.2 热带大气季节内振荡对亚洲夏季风活动的影响

中国学者对亚洲夏季风的季节内振荡特征已有不少研究(李崇银 2000—2001,陈隆勋等 1991,何金海等 1996),这里将就大气季节内振荡对亚洲夏季风活动的影响做些讨论。

1.2.1 亚洲夏季风的建立和热带大气季节内振荡

中国学者早就指出亚洲夏季风最先在南海地区爆发,然后分别向北和向西北推进而建立起东亚夏季风和南亚夏季风(Tao 等 1987)。对于 1998 年南海夏季风来讲,风场资料和 TBB 资料的分析都表明,其爆发时间为 5 月 21 日(Li 等 2000)。分析研究还表明,夏季风的爆发还与大气季节内振荡的活动有密切关系,从南海地区(5° — 20° N, 105° — 120° E)850 hPa 纬向风,30~60 d 低频纬向风以及低频动能随时间的演变可以看到(图 1.1),不仅南海季风区存在明显的大

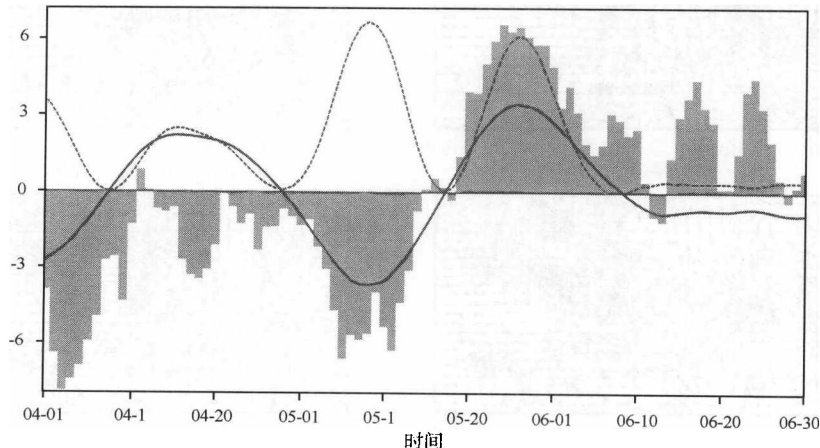


图 1.1 南海地区(5° — 20° N, 105° — 120° E)850 hPa 纬向风(阴影,单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)及 30~60 d 低频纬向风(实线,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和 30~60 d 低频动能(虚线,单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)随时间的演变(引自李崇银,2000)

气 30~60 d 低频振荡活动,而且南海夏季风爆发与该地区的大气季节内振荡的活动有密切关系,并且低频纬向西风出现的时间比季风爆发时间(5月21日)约早 2 d。从 1998 年南海夏季风爆发前后 850 hPa 上大气 ISO 的水平风场的演变可以明显看到(图 1.2),5月18日或更前,菲律宾以东洋面上一直存在一个低频气旋,其中心位于 20°N , 130°E ,该气旋随着时间在不断地发展。这个低频气旋的存在、发展和向南海的扩展对南海夏季风爆发具有十分重要的作用。因为在这个低频气旋的影响下,其南侧低频纬向西风也在不断地发展,并不断向西扩展,加强南海低频纬向西风,从而最终激发南海夏季风的爆发(穆明权等 2000)。

分析其他年份南海夏季风爆发前后大气 ISO 的活动情况,其结果与 1998 年有类似的特征。图 1.3 给出的是 1980 年南海夏季风建立前后南海及附近地

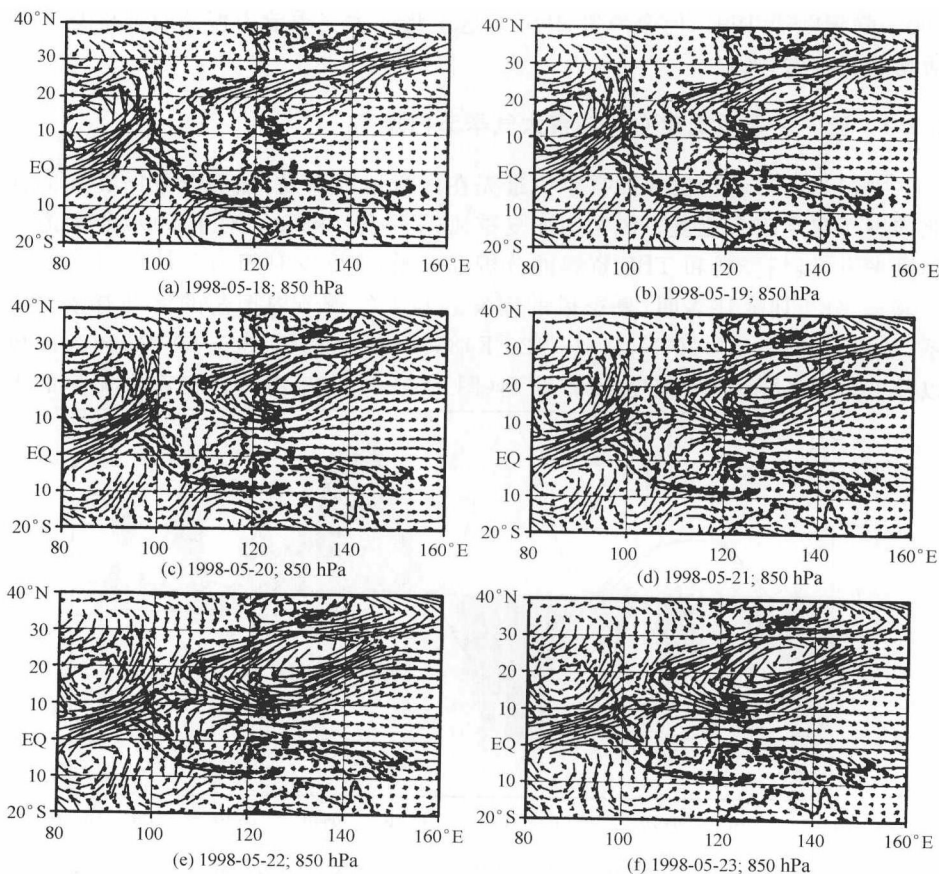


图 1.2 1998 年南海夏季风爆发前后 30~60 d 850 hPa 低频风场的水平分布(EQ 代表赤道)(引自穆明权等,2000)