

大气季节内振荡 及其年际变化

陈兴跃
王会军 著
曾庆存



气象出版社

大英图书馆藏 清宫档案选编

中国第一历史档案馆
编



1995年

大气季节内振荡 及其年际变化

陈兴跃
王会军 著
曾庆存

气象出版社

内 容 简 介

本书从观测分析和数值模拟两个方面入手,系统地研究了全球范围内的大气季节内振荡(英文缩写为ISO)。研究重点为,热带内外区域大气中季节内振荡的基本特征及其年际变化规律,特别是其年际变化的全球特征、周期特征与 ENSO 及热带对流活动的关系等等。在研究过程中,运用了先进的综合诊断方法并采取了实测资料分析与数值模拟相结合的方法,从而使研究成果建立在坚实的基础之上。本书从研究内容上可大体划分为四个方面:① 对实测大气赤道内外区域 ISO 活动特征的研究;② 对赤道内外区域 ISO 活动年际变化特征的研究;③ 对 ISO 活动与 ENSO 循环相互关系的研究;④ 对 ISO 的模拟研究。本研究所涉及的资料(实测资料和模拟资料)数量巨大,并综合使用了多种先进的分析工具,揭示出了不少新的事实,得到在理论和实际运用上都具有重要意义。的结果。

本书可供气候及气象科研、教学和专业工作者阅读和工作参考,也可作为研究机构和高等院校气候动力学专业研究生的学习参考书。

本研究得到国家重点基础研究发展规划 G1998040900 项目第一部分和国家自然科学基金重点项目(49735160)的共同资助。

图书在版编目(CIP)数据

大气季节内振荡及其年际变化/陈兴跃,王会军,曾庆存著. —北京:气象出版社,2000. 5
ISBN 7-5029-2926-6

I. 大… II. ①陈… ②王… ③曾… III. 大气振荡—研究 IV. P433
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 25784 号

大气季节内振荡及其年际变化

陈兴跃 王会军 曾庆存 著

责任编辑:李如彬 李太宇 终审:周诗键

封面设计:沈辉 责任技编:吴庭芳 责任校对:刘力

* * *

气象出版社出版

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

(北京市海淀区白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京市金瀑印刷厂印刷

* * *

开本:787×1092 1/16 印张:11.375 字数:292 千字

2000 年 6 月第一版 2000 年 6 月第一次印刷

印数:1~800

ISBN 7-5029-2926-6/P·1019

定价:20.00 元

目 录

第一章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.2 研究综述	2
1.3 研究的科学意义	9
1.4 本书研究重点	11
第二章 大气季节内振荡年际变化的研究	13
2.1 资料及分析方法	13
2.2 热带内外地区大气季节内振荡及其年际变化的基本特性	15
2.3 利用 ECMWF 再分析资料进行的对比分析	33
2.4 小结	45
第三章 大气季节内振荡及其年际变化的模拟研究	47
3.1 模式简介	47
3.2 资料及分析方法	48
3.3 对大气运动气候态的模拟	49
3.4 对大气季节内振荡及其年际变化的模拟	58
3.5 小结	91
第四章 大气季节内振荡与 ENSO 循环的关系	92
4.1 资料及分析方法	92
4.2 大气季节内振荡年际和年代际变化的周期特性	93
4.3 大气季节内振荡活动指数与 SST 及 OLR 的相关型	100
4.4 大气季节内振荡活动指数与 ENSO 循环的关系	130

4.5 小结	137
第五章 结语	138
5.1 主要结果	138
5.2 展望	140
附录 A Lanczos 时间滤波器	142
A.1 方法简介	142
A.2 与 Butterworth 滤波器的对比	143
附录 B 时空功率谱分析方法简介	145
B.1 相关背景	145
B.2 估计时空功率谱的 Hayashi 方法	145
B.3 用滞后相关方法计算时空功率谱	147
B.4 用最大熵谱方法计算时空功率谱	149
附录 C 子波分析简介	153
C.1 相关背景	153
C.2 子波分析	154
C.3 信度检验	158
C.4 Monte Carlo 方法	160
参考文献	165
缩略词	175

Atmospheric Intraseasonal Oscillation and Its Interannual Variation

Contents

Chapter I Introduction	1
1.1 Basic Conception	1
1.2 Background	2
1.3 The Significance to Study on Intraseasonal Oscillation	9
1.4 Outline	11
Chapter II Interannual Variation of Intraseasonal Oscillation	13
2.1 Data and Methodology	13
2.2 Characteristics of Intraseasonal Oscillation in the Intertropics and the Extratropics and Its Interannual Variation	15
2.3 Intraseasonal Oscillation Based on ECMWF Reanalysis	33
2.4 Summary	45
Chapter III Modeling Intraseasonal Oscillation	47
3.1 Model Introduction	47
3.2 Data and Methodology	48
3.3 Climate State in IAP 9L AGCM	49
3.4 Intraseasonal Oscillation and Its Interannual Variation in IAP 9L AGCM	58
3.5 Summary	91
Chapter IV Relationships between Intraseasonal Oscillation and ENSO Cycle	92
4.1 Data and Methodology	92

4.2	Cycle Characteristics of Interannual and Interdecadal Variation of Intraseasonal Oscillation	93
4.3	Correlation Patterns between Index of Intraseasonal Oscillation and SST or OLR	100
4.4	Relationship between Index of Intraseasonal Oscillation and ENSO Cycle	130
4.5	Summary	137
Chapter V Concluding Remarks		138
5.1	Main Results	138
5.2	Prospects	140
Appendix A Lanczos Temporal Filter		142
A.1	Introduction	142
A.2	Comparison to Butterworth Filter	143
Appendix B Introduction to the Analysis Method of Space-Time Power Spectrum		145
B.1	Background	145
B.2	Hayashi Method for Estimating Space-Time Power Spectrum	145
B.3	Calculating Space-Time Power Spectrum by Lag Correlation Method	147
B.4	Calculating Space-Time Power Spectrum by Maximum Entropy Method	149
Appendix C Introduction to Wavelet Analysis		153
C.1	Background	153
C.2	Wavelet Analysis	154
C.3	Significance Test	158
C.4	Monte Carlo Method	160
References		165
Acronyms		175

第一章 绪论

1.1 基本概念

20世纪70年代初, Madden和Julian (1971, 1972)发现了热带大气的风场和气压场的变化存在40~50天的周期性大尺度(行星和准行星尺度)振荡。此后通常将这种现象称为大气低频振荡(Low Frequency Oscillation, 即LFO)或MJ振荡(Madden and Julian Oscillation, 即MJO)。研究发现, 大气季节内振荡的频带较宽, 其周期显著区间为30~60天周期, 这是人们通常所认同的频带范围。然而对大气季节内振荡的频带范围并没有一个公认的精确定义, 例如, Slingo等人(1996)认为在热带地区大多数大气的周期性运动都是由对流活动所驱动的, 将天气尺度和季节内尺度割裂开不妥, 因此在他们的研究中涉及的大气季节内振荡的频带范围是20~100天。作者认为尽管天气尺度的运动与30天周期以上的运动有很大联系, 但他们毕竟分属不同时间尺度的运动系统, 另外本工作的重点是研究赤道外地区的季节内振荡, 因此, 除非另有说明, 本文中所指的季节内振荡的周期范围均是30~60天。由于30~60天周期要大于长期的天气尺度而又小于季节变化的尺度, 近来学者们又将大气的这种振荡称之为大气季节内振荡(Intraseasonal Oscillation, 即ISO)。

继Madden和Julian之后, 又有众多学者在该领域做了大量的研究工作, 目前已形成了一个基本认同的观点: 大气季节内振荡或大气低频振荡是全球大气运动广泛存在的一种重要时间变化现象, 一些学者甚至把它视为地球大气运动的一种固有特性。根据已有的研究成果可大体归纳出大气季节内振荡以下几方面的基本特征: 大气季节内振荡在热带地区最为显著, 中高纬部分地区在特定时段也很显著; 赤道地区大气季节内振荡以1波东传为主, 中高纬较复杂; 在热带季节内振荡的垂直结构通常表现为斜压性, 而在中高纬则更倾向于正压性; 外源强迫, 积云对流加热反馈, 大气中的非线性相互作用和地球旋转的影响是ISO的动力学形成机制中的四个基本因素; ISO本身存在显著的季节变化和年际变动, 热带地区大气季节内振荡一般在冬春季达到最强。

李崇银在其《大气低频振荡》一书中对国内外关于LFO的研究作了系统的总结(李崇银, 1993)。

1.2 研究综述

1.2.1 大气季节内振荡的发现和初期研究

Madden和Julian (1971) 通过对坎顿 (Canton) 岛近10年无线电探空资料的分析, 发现地表气压、各层纬向风和温度场之间在一个较广的周期范围内存在很大的相关性, 而这种相关在41~53天周期上最为显著。对这些要素的谱分析也发现它们在这一周期区间上存在最大值或极值。Madden和Julian (1972) 的工作进一步发现, 相距很远的站点之间在40~50天周期范围内也存在最显著相关。他们发现, 从非洲东岸到南美洲的西半部各站点地表气压的交叉谱均存在峰值和相关, 纬相角分析还表明了扰动从印度洋冈 (Gan) 岛到太平洋坎顿 (Canton) 岛以约 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的向东传播, 这种传播在单个测站反映为特定时段内约45天周期的局地振荡。但对于经向风而言振荡信号并不显著。40~50天地表气压谱极值大致局限于赤道南北纬10度之间, 不过同坎顿 (Canton) 岛的相关的相对极大值向北可达中途 (Midway) 岛 (28.2°N , 177.4°W)、向南可达拉乌尔 (Raoul) 岛 (29.2°S , 77.9°W)。他们指出这种振荡是由在赤道面上大尺度环流体向东传播而产生, 此外因为在大西洋和西部非洲之上的对流低层并没有这种振荡的显著信号, 他们猜想振荡产生于印度洋。另外, 他们也注意到这种振荡在垂直方向上有西倾特征。

Parker的工作 (1973) 指出尽管季节内振荡的发展缺乏规律性, 但它从 140°W 向格林威治子午线传播的速度较快, 在日期变更线附近移动速度则较慢, 其平均传播速度约为 $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

Sakshinamurti和Keshavamurty (1974) 对印度上空850hPa的风场进行了谱分析, 发现存在30天的峰值。他们进一步假设这种变动同印度季风槽的南北振荡有关。

首次正式发表的基于实际云资料并与Madden和Julian (1972) 结论相近的工作是由Gruber (1974) 完成的。他计算了1967年5月到10月云亮度卫星资料的时空功率谱, 发现对于赤道、 5°N 和 10°N 上的纬向1波存在50天周期东传相对极大值, 而对于 15°N 则不显著。

Zangvil (1975) 对波长的分析发现, 云活动同纬向2波的关系比同纬向1波更近一些。他的工作指出40天周期东传的纬向1波和2波都比较显著, 北半球夏季振荡活动的极大值区在赤道以北, 北半球冬季则在赤道南侧, 这与热带辐合带附近具有40~50天显著周期的云活动随季节的变化相一致。

1.2.2 大气季节内振荡与云活动

到20世纪80年代, 对季节内振荡的研究进入了高潮期, 而季节内振荡与云活动的相互关系, 或称之为云活动中的季节内振荡, 是其中的一个重点。Lau和Chan (1983) 分析了1974

年7月~1981年5月的外逸长波辐射 (Outgoing Longwave Radiation, 即OLR) 资料, 发现积云活动在印度尼西亚及马来西亚地区与赤道中太平洋地区存在与赤道Walker环流结构密切相关的2~3月尺度准定常的偶极振荡, 同时还存在着另一种与南方涛动 (Southern Oscillation, 即SO) 正负位相变动紧密相关的更大地域内相对于积云活动平均态的剧烈正负波动, 这两种振荡都表现出很强的地域分布特性。他们随后的工作 (Lau and Chan, 1986a) 指出, 在赤道以北印度洋大部分区域和西太平洋 $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 的地区上空OLR变动的12%是由40~50天频段的振荡贡献。Weickmann等人的工作 (1985) 也说明在中太平洋、赤道南美洲东部、非洲以及印度洋和西太平洋等地区OLR的28~72天振荡相对于红噪声谱可达到95%的信度显著水平。Weickmann等人 (1985) 的交叉谱分析和Lau和Chan (1986a) 的滞后相关分析都揭示出该频段内的OLR振荡有从 60°E 向 160°E 东传的特性。

Nakazawa (1988) 研究了向东移动云系的结构。他发现东传云系是由几个东移的超级云团 (Super Cloud Clusters, 即SCC) 组成, 而每个超级云团又由几个较小的向西移动的云团 (Cloud Clusters, 即CC) 构成。每个超级云团的空间尺度量级为 10^3km , 它其中所包含云团的尺度量级为 10^2km 。云团的生命周期只有1~2天, 新云团一般倾向于在充分发展的云团的东侧产生。这种现象局限于赤道南北纬 15° 的范围内, 而在南北纬 15° 上各个尺度的云都是向西运动的。不过, Lau等人 (1991)、Sui和Lau的工作 (1992) 指出, 在近赤道地区除了超级云团和云团之外, 云谱系还有更精细的划分、更复杂的变化。Weickmann和Khalsa (1990) 指出在靠近 100°E 和 150°E 的两个区域中超级云团的东移是同局地对流活动爆发相伴随的。Khalsa和Steiner (1988) 研究了1000~700hPa中的可降水量, 指出在上述两区域内可降水量异常超过38mm时, 通常伴随着东移的上层辐散。应当指出, 在印度和东南亚云系还有一只向北传播的分支, 另外在赤道印度洋和太平洋并非所有的大尺度云系都同东传振荡相关, 也存在西传的情形 (Wang and Rui, 1990)。Cadet (1983) 和Murakami (1984) 也发现西传云系主要在 140°E 以西。Wang和Rui (1990) 将东传热带季节内对流活动异常 (Tropical Intraseasonal Convection Anomalies, 即TICA) ——相当于Nakazawa所指的与季节内振荡相关的东传超级云团, 划分为三类: a. 局限于赤道附近, 在全部生命史中其活动中心不超过 $\pm 10^{\circ}$, 这种称为EE模式; b. 沿着赤道东传, 但在 100°E 附近转为东北向或西南向, 或者分割成东北向和西南向移动的两块, 这种称之为NE或SE模式; c. 东传与在印度洋或西太平洋上空的北向传播组合, 这称之为EN模式。他们还发现这三种模式的发生有一定的时间选择性, 可与Lau和Chan (1986a) 及Yasunari (1979) 的工作相对照。他们的工作还揭示出赤道印度洋的中西部地区是东传热带季节内对流活动异常形成的主要源区, 其次是赤道西部非洲; 热带季节内对流活动异常最强的加强区为赤道中印度洋, 其次是赤道以北靠近 160°E 的地区和从澳洲向南延伸到日期变更线的区域, 而热带季节内对流活动异常的加强与赤道辐合带的活动特征有明显的关系。

1.2.3 大气季节内振荡与季风

Raghavan等人 (1975) 研究了印度西岸测站 (从 16°N 的Vengurla到 20°N 的Dahanu) 的降

雨,发现其中存在着显著的振荡。Findlater (1969)指出,由于急流的变动也可导致降雨发生同样振荡。印度夏季降雨的这种波动常称之为季风的“间歇”(break)阶段和“活动”(active)阶段(Cadet, 1986)。Cadet和Greco (1987)的工作指出,季风的间歇阶段及活动阶段与经过阿拉伯海的水汽通量的减少及增加相伴随。Wylie和Hinton (1982)计算了MONEX (Monsoon Experiment of FGGE)期间印度洋表面风应力的10天平均值。他们发现在6月中旬印度西部大雨发生之前,风应力极大值($0.35\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$)区域为西阿拉伯海对应的索马里急流区,而到6月中旬伴随着大雨的到来极值可达 $0.60\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ 。随后,经过7月上中旬,到季风间歇阶段,风应力极值降至 $0.40\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$,然后到7月下旬随着季风第二个活动阶段的到来极值又上升到 $0.55\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ 。这同Findlater (1969)和Raghavan (1975)提出的大尺度表面风场的变化与印度季风存在着相互关系的假设相一致。Krishnamurti和Ardanuy (1980)还发现大尺度的气压变动同季风活动也有相关。具体来讲,时空谱分析显示出地表气压具有30~40天周期的东传纬向1波和2波振荡,季风间歇阶段过后5天左右在北纬 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间30~40天带通滤波后的气压脊通过印度地区。

正如Wang和Rui (1990)所言,季风活动阶段经常伴随着云带的北移。Murakami (1976)通过对从6月到9月8个年份云资料的滞后相关分析,发现在季风活动阶段积云经过印度洋和印度次大陆以每天约1个纬度的速度向北传播,其路径为西北东南向。首次将近赤道地区云的东传与云带的向北传播直接联系起来考虑的是Yasunari于1979年的工作。云带的北传现象经过Sikka和Gadgil (1980)、Yasunari (1980, 1981)、Krishnamurti和Subrahmanyam (1982)以及Lau和Chan (1986a)的工作得到了确认。Murakami (1976)发现对流活动滞后16~20天的空间相关达到负的极大值,这暗示存在32~40天周期。实际上,之后的工作发现云带的向北传播通常表现出30~40天的间隙。需要指出,云带的这种传播特性也存在波动,例如Mehta和Krishnamurti (1988)发现,在1979、1982和1983年北半球夏季云带表现出通常的向北传播,而1980、1981和1984年情况则不然。

Julian和Madden (1981)发现,当150hPa纬向风达到极大值(极小值)时,印度地区的降水和云量伴随着赤道平面上环流的加强(减弱)而接近极大值(极小值)。这一结果更证实了Yasunari于1979年提出的云系北移和季风的间歇与活动阶段也许同赤道40~50天振荡相关的假设的基础。根据上述工作,我们可大致归纳出如下图像:印度夏季风爆发时,云系从非洲或赤道印度洋飘过来,在40~50天周期的时间尺度上以每天1个纬度或5个经度的速度向北或向东运动。Hartmann和Michelsen (1989)发现对于较小尺度情况有所不同,如在季风间歇阶段,赤道低压以北的东风在爬升Ghat山脉时释放出水汽从而在印度东南部形成降雨极大值区。绝大多数情况下,云系都是在靠近赤道的南侧形成的,而是否存在来自南半球中纬度地区的重要影响仍是一个大家在积极探讨的问题。Yasunari (1981)猜想云系的发源也许同南半球中纬度地区冷空气爆发有关。Murakami (1987)指出当振荡沿着赤道很清晰地向东传播时,也有来自南半球中纬度印度洋的850hPa强冷空气爆发。不过,到目前看来这些观点的论据仍显薄弱。

在季节内振荡与澳大利亚夏季风的关系方面也有大量研究成果。Holland (1986)指出澳洲季风活动爆发有平均40天的间歇。毫无疑问,这些振荡中的一部分是同Wang和Rui (1990)归纳的SE模式相联系的。Hendon和Liebmann (1990a, 1990b)的工作表明,澳洲季风活动期间西风存在30~50天的调制现象,1957~1987年30次季风中的27次是伴随着与东传40~50

天振荡相关的云系的到来而同时发生的。但在澳洲季风系统中并没有发现大多数印度季风活动阶段伴随的云带的极向运动现象。Hendon和Liebmann还指出,在澳洲季风的的活动阶段云系表现出极向扩张,而不是向南发展。McBride (1983)通过个例研究也有类似的结论。

1.2.4 赤道外地区的大气季节内振荡

一些学者认为可能存在独立的中纬度40天振荡(例如, Dickey et al., 1991; Ghil and Mo, 1991a, 1991b)。Simmons等人(1983)的模式研究指出存在40天周期不稳定的全球正压模。另外, Legras和Ghil (1985)也推测在中纬度地区可能存在由于急流与山脉相互作用而产生的主要周期在40天左右的不稳定。而UCLA (University of California at Los Angeles)的大气环流模式在没有热带40~50天振荡的情况下模拟出了大气相对角动量的50天变动(Marcus et al., 1990),这也支持了存在与热带季节内振荡无关的中纬度40天振荡的观点。Magaña (1993)发现,赤道外区域大气角动量存在40天(在北半球)和50天(在南半球)的弱振荡,而这种振荡显然同热带大气活动无关。

Anderson和Rosen (1983)指出热带地区大气相对角动量的部分40~50天振荡向上和向下传播到中纬度地区。Weickmann等人(1985)以及Kiladis和Weickmann (1992)的工作都指出当云系在印度尼西亚地区时,对流层上层流场倾向于具有在靠近对流活动的经度范围内跨赤道的双反气旋结构的特征,而向东则是双气旋结构,这些气旋和反气旋大致扩展到南北纬40°的范围。当云系在100°E与140°E之间时,这种形式图最容易满足,而当云系涌动到日期变更线时,上层的环流形式发生逆转,这时异常的晴空区从60°E传播到140°E。在赤道积云区及近赤道反气旋区绕极涡旋或称“极涡”(Circumpolar Vortex)呈扩展态势,而在积云活动被抑制的地区以及近赤道气旋区绕极涡旋较弱。Krishnamurti和Gadgil (1985)以及Weickmann等人(1985)的工作表明,赤道地区环流异常(振荡)在垂直方向不同相,而在南北纬20°地区同相或为正压结构。Knutson和Weickmann (1987)的工作指出,在5月到7月间,当对流活动的最强区出现在热带西太平洋之后的5到10天内,西风异常倾向于出现在南澳大利亚上空850hPa和250hPa的高度上。Graves和Stanford (1987)也报告了Easter岛(27.1°S, 109.3°W)的对流层上层纬向风中存在45~53天周期的振荡,这种振荡在6月和8月间最强,其生成可能同澳洲上空250hPa西风的变动有关。Chan和Murakami (1988)发现1979年北半球夏季在20°N以北沿140°E云活动有从北向南的40天振荡。这毫无疑问同东亚季风或梅雨的波动是相关的(Lau and Chan, 1986a和Lau et al., 1988)。Matsuo (1984)和Kai (1985)都指出日本南部风场存在40~50天的谱峰值。Kai发现Nansei群岛(25°~30°N)表面风场的谱峰值以北半球夏季最为显著,这可能是台风活动的反映。Nakazawa (1986)也给出了热带气旋生成可能与季节内振荡相关的一些证据。一种可能的机制是边界层Ekman抽吸同季节内振荡共同作用产生向极和向东的涌动,从而形成有利于台风和热带气旋形成的大尺度辐合。Kousky (1985)的个例研究发现,1984/1985年北半球冬季当具有40~50天周期的对流活动从印度洋转移到印度尼西亚时,美国东部对流层厚度出现正异常(脊区),而当对流活动传到中太平洋时情况则相反。这似乎同Weickmann等人(1985)提出的在美国上空绕极涡旋的收缩与扩张是一致的。

Anderson和Rosen (1983)首次直接将大气相对角动量(Atmospheric Relative Angular

Momentum, 即AAM) 准50天周期振荡同热带季节内振荡联系起来, 他们发现45天周期尺度上约在 $40^{\circ}\text{S}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 范围内纬向风与大气相对角动量是相关的。纬向风的波动似乎是产生于赤道地区对流层上层并向两极和向下传播。当对流层上层纬向风最大值极向移动到 20°S 和 20°N 时, 大气相对角动量达到极大值。Magaña和Yanai (1991) 清楚地描述了MONEX (Monsoon Experiment, 1978~1979年) 期间纬向风极值的这种极向传播。尽管平均纬向风与大气相对角动量在 $40^{\circ}\text{S}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 间存在着相互关联, 但是Benedict和Haney (1988) 以及Gutzler和Madden (1993) 的工作指出, 从振荡的平均量级上看几乎都源于由 $20^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 内纬向风的变动而产生的准50天周期大气相对角动量的振荡。

综上所述, 关于是否存在独立的赤道外地区季节内振荡有两种对立的观点。Madden和Julian (1994) 认为, 与季节内振荡相关的赤道地区活动在中纬度产生强有力响应的实例还鲜有发现。似乎是由于赤道外地区多变的复杂背景场使得“平均”响应难以有规律的出现。然而, 由单个实例得出的结论需要进一步的确认。

1.2.5 大气季节内振荡的季节变动

季节内振荡在印度和澳洲季风中的地位有某种季节变化的特性。在夏半球以及赤道辐合带区域有利于激发云活动的季节内振荡 (Zangvil, 1975; Wang and Rui, 1990; Weickmann et al., 1985; Knutson et al., 1986等), 而这同季风在一定程度上也有联系。Anderson (1983) 和Madden (1986) 通过对热带地区测站纬向风资料的研究发现, 季节内振荡的平均周期随季节并无明显改变, 但其强度却有波动, 即季节内振荡在12月到次年的2月最强, 在6、7、8月最弱。Gutzler和Madden (1989) 的工作也有类似的结果。

在赤道太平洋和印度洋, 纬向风垂直廓线与季节内振荡有特别的相关形势, 即对流层低层和高层纬向风有同相和不同相的趋势。Madden (1986) 发现科罗尔 (Koror) 岛 (7.3°N , 134.5°E) 及达尔文 (Darwin) 站 (12.0°S , 130.9°E) 850hPa与150hPa纬向风的准47天周期振荡, 前者全年呈反位相关系而后者只在相关数值最大时才呈反位相关系。两者的相关数值都随季节有显著波动, 在北半球夏季前者达到最小而后者达到最大。发生在印度洋和西太平洋测站上的这种季节变动源于与赤道辐合带相关的对流活动的季节迁移。在北半球冬季, 赤道辐合带位置最靠南, 达尔文 (Darwin) 及其他南半球测站的纬向风上下层相关数值达到极大值, 而在北半球夏季情况则相反。

Madden (1986) 还指出, 至少在冈 (Gan) 岛向东到巴尔博亚 (Balboa) 岛的范围内, 对流层上层纬向风同经向风存在40~50天周期的显著相关。这种相关性有很强的季节选择性, 在北半球夏季倾向于同位相而在北半球冬季倾向于反位相。U风场和V风场位相关系的这种季节变化是同气候风场的季节变化相联系的。北半球冬季, 赤道印度洋和西太平洋的上层风场主要是东南风, 而在北半球夏季主要是东北风。当同季节内振荡相关的东传云系经过时会引起平均流场的加强或减弱, 从而引起北半球夏季对流层上层角动量跨赤道向北输送 (U与V同相) 和北半球冬季角动量跨赤道向南输送 (U与V不同相) 的振荡。

1.2.6 大气季节内振荡与 ENSO

Lau和Chan (1985, 1986b) 提出了如下猜测: 海气相互作用是把季节内振荡与El Niño 发生联系起来的可能纽带。Madden (1987)、Gray (1988) 和Kuhnel (1989) 的工作指出, 季节内振荡在暖ENSO年内倾向于具有更高的频率, 即频谱峰值区向高频段偏移。

Rui和Wang (1990) 研究了1975~1977年及1979~1985年两个时段内大气季节内振荡的传播特征, 发现在冷暖事件之间存在着显著差异。在正常年份, 在东太平洋秋季和冬季对流活动较弱, 大气季节内振荡通常仅能东传到日期变更线附近。在暖事件期间, 不仅振荡强度更强, 而且能够进一步东传到 $160^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{W}$ 区域, 从而加强了东太平洋的对流活动。然而在冷事件期间, 振荡扰动最远可传到 160°E 附近, 并且在冷水区域几乎没有明显的对流活动。

李崇银和周亚萍 (1994) 通过对1981~1988年欧洲中期预报中心 (European Centre for Medium-range Weather Forecasts, 即ECMWF) 大气环流再分析资料的分析指出, 大气季节内振荡的显著年际变化与ENSO有密切的关系: 一方面, 在El Niño事件发生之前, 冬半年东亚中高纬地区30~60天大气振荡的异常加强, 频繁的强东亚大槽 (冬季风) 活动通过Rossby波列可将中高纬地区的扰动能量传送到赤道中西太平洋地区, 并引起该地区大范围对流活动的加强和信风的减弱, 前者将导致该地区30~60天大气振荡的加强, 后者将激发出异常的海洋Kelvin波, 它们共同作用将可能最终引发El Niño事件, 成为激发El Niño事件的重要机制之一。热带大气季节内振荡 (尤其是在赤道中西太平洋地区) 异常偏强, 通过海—气相互作用它可能是El Niño的一种重要激发机制。同时, 赤道中西太平洋地区大气季节内振荡的异常加强同东亚中高纬地区30~60天振荡的加强和强东亚冬季风有关; 另一方面, ENSO对热带大气季节内振荡也有重要影响, 在El Niño期间, 热带大气季节内振荡明显减弱, 其结构趋于正压性。

不过, 其他一些学者认为, 就季节内振荡活动强度而言, 季节内振荡与El Niño事件的关系是很微小的。例如, Salby和Hendon (1994) 通过对近赤道地区对流活动 (OLR) 的时空谱分析研究发现, 在1982/1983年强El Niño事件期间, 低频振荡信号很弱, 而在1986~1987年El Niño事件期间, 尽管强度不是最大但低频振荡信号也很明显。Hendon和Liebmann (1994) 的研究也有很类似的结果。Slingo等人 (1995, 1996) 的工作也表明, 尽管实测资料的个别研究表明El Niño期间大气季节内振荡似乎有被抑制的倾向, 但大气季节内振荡强度同ENSO的关系似乎很脆弱。

由此看来, 对于大气季节内振荡与ENSO循环的关系, 存在两种大体对立的观点, 但由于资料长度较短、模式性能不足和理论研究的欠缺等方面的限制, 双方都难以给出有规律并具说服力的结论。而大气季节内振荡与ENSO循环的关系有多层面的表现, 这同两者本身的复杂性和多面性是相联系的。而大气季节内振荡强度变动同ENSO循环的相互关系也是我们研究的主要对象之一。

1.2.7 大气低频振荡的模拟研究

利用大气环流模式（AGCM）对大气季节内振荡进行研究，国内外在此领域都有大量研究成果（例如，Lau and Lau, 1986; Park et al., 1993; Slingo and Madden, 1991; 薛峰等, 1996等等）。鉴于本研究工作的主要内容及方法，在这里我们着重引用大气环流模式比较计划（Atmospheric Model Intercomparison Project, 即AMIP计划）中与大气季节内振荡研究相关的工作。

首先需提到的是Slingo等人在1995和1996年的工作。他们的工作是大气环流模式比较计划（AMIP）中的一个组成部分，涵盖了世界上15个大气环流模式，主要通过对大气环流模式对热带地区大气季节内振荡的模拟能力的比较分析，从而对各模式的效能进行客观地评估，以发现各模式的欠缺并寻找改进途径。其主要结论有：a. 尽管大多数模式在不同程度上模拟出观测的大气季节内振荡现象，但目前还没有一个大气环流模式能够较好地、全面地刻划热带大气季节内振荡的基本特性。例如，热带大气季节内振荡总体的东传、西半球传播速度快于东半球的特性，能量谱分布特征，冬春季强于夏秋季，一般在春分左右达到最强的显著季节变化特性等等。b. 通过模式比较清楚地发现，那些模拟出的振荡比实际强度弱的模式，其反映出的季节循环也比实际弱；反之，能模拟出较强的大气季节内振荡的模式，也能够模拟出较强的与实际更相符合的季节循环。c. 进一步认识到，对基本气候态的准确描述是模式能够刻划出实际的大气季节内振荡的先决条件。d. 比较研究指出，不同模式之间水平空间分辨率对大气季节内振荡模拟能力的影响并不显著。但个例研究表明，就同一个模式而言，水平分辨率的变动对其就大气季节内振荡的模拟能力似乎有很显著地影响，即随着水平分辨率的提高其模拟出的振荡强度迅速削弱。模式是格点模式或是谱模式对模拟能力没有决定影响。模式对不同的对流方案似乎很敏感。那些采用水汽辐合闭合对流活动方案的模式比没采用该方案的模式所模拟出的大气季节内振荡强度普遍要弱很多，同实际相比差异也更大。而那些能模拟出接近实际情况的模式都采用了浮力平衡闭合对流活动方案，这些模式也能够反映出与实际更接近、强的降水与海洋表面温度（SST）相关特性。此外，模式模拟出的大气季节内振荡强度的年际变化与ENSO之间似乎存在着一定关系，即1982/1983年强El Niño事件期间，各模式模拟出的大气季节内振荡活动普遍较弱。但由于涉及的时段较短（仅10年），不能得出规律性的结论。

Sperber等人（1997）的研究是Slingo等人工作（1995, 1996）的继续和深入。他们选择Goddard大气实验室（Goddard Laboratory for Atmospheres, 即GLA）和英国气象局（United Kingdom Meteorological Office, 即UKMO）的大气环流模式的模拟结果及观测资料作为研究对象。根据Slingo等人的工作（1995, 1996），在他们分析的15个大气环流模式中这两个模式具有最接近实际的模拟能力。其主要结论有：a. 对潜热输送的研究发现，蒸发风反馈并不是推动大气季节内振荡向东传播的主要机制，因为对流区西面的蒸发很显著并起到决定作用，而对流区东面潜热输送要弱的多甚至低于气候平均态；b. 摩擦波动CISK（Conditional Instability of the Second Kind）也不是大气季节内振荡东传的主要机制，因为低层与850hPa流场的配置并没有发生经向偏移，不过这种配置满足波动CISK的要求；c. 模式的重大缺陷表现

在对印度洋上空大气季节内振荡的模拟能力的低下,模式在模拟对流活动从印度洋东传到西太平洋的过程方面存在着系统性的偏差;d.大气季节内振荡的生成、发展、维持和消退应当是海洋与大气相互耦合的过程。对流活动的东传似乎同海洋表面温度(SST)梯度有密切关系,当在东面存在高于正常态的SST时,对流就能维持其向东发展,而靠近对流区西部的SST下降时,就伴随着该地区对流活动的停止。

1.3 研究的科学意义

1.3.1 大气季节内振荡与海气相互作用

大气季节内振荡与ENSO的关系是大气季节内振荡与海气相互作用研究的重要内容,对此1.1.7小节中已有相关内容,这里不再赘述。鉴于AMIP计划中各个模式都没能刻画出大气季节内振荡在东西半球传播速度的系统差异(Slingo et al., 1995, 1996), Sperber等人(1997)猜测导致这一缺陷的原因是用月平均SST作为下边界条件来驱动大气环流模式的方式没能充分考虑海气之间相互的瞬时反馈作用。他们进一步指出,大气季节内振荡的生成、发展、维持和消退应当是海洋与大气相互耦合的过程。

1.3.2 大气季节内振荡与我国气候要素的关系

李崇银(1993)、陈隆勋等人(1991)的工作指出大气季节内振荡对东亚季风和我国气候有重要影响。刘家铭等人(1986a)的工作指出东亚梅雨锋与具有准45天周期强对流活动带的北移有关,梅雨锋的建立都在大气长波辐射(OLR)准45天振荡的弱位相阶段。李崇银的研究还表明,华北地区的汛期降水与大气季节内振荡活动有明显关系,在华北降水偏多的年份,振荡活动较为显著,反之则较弱(李崇银, 1992)。黄荣辉等人(1988, 1994)以及Ferrenti等人(1990)的工作指出,大气季节内振荡对西太平洋地区的非绝热加热有重要影响,而这种热源异常可通过大气遥相关作用影响东亚和我国的气候。大气季节内振荡有显著的年际变化,这与ENSO可能有一定关系。一方面,季节内振荡的活动可能是ENSO触发机制中的因素之一,另一方面,通过个例分析表明强的ENSO现象会对季节内振荡活动起抑制作用(李崇银, 1988; Lau and Chan, 1988)。而众多研究表明ENSO循环对我国的短期气候变化起着相当重要的作用。不过迄今为止,有关大气季节内振荡与ENSO循环两者之间的相互关系尚无定论(Hendon and Sally, 1994; Slingo et al., 1995, 1996)。可见,大气季节内振荡的研究不仅对东亚季风研究十分重要,而且对我国的短期气候预测特别是夏季降水的预测也有重要意义。