

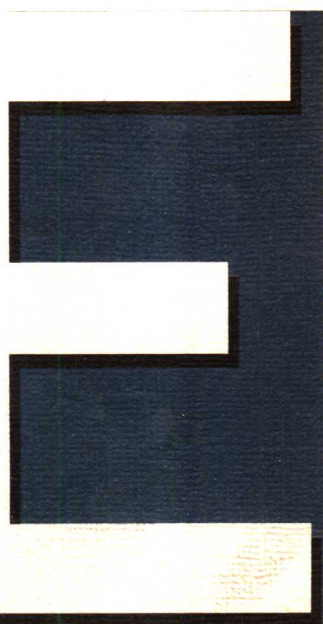


国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



副热带高压形成 和变异的动力学问题

吴国雄 丑纪范 刘屹岷 何金海 等著



Earth

科学出版社



国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



副热带高压形成 和变异的动力学问题

吴国雄 丑纪范 刘屹岷 何金海 等著

科学出版社

内 容 简 介

本书在全面回顾有关副热带高压研究的基础上,利用最新资料揭示副高活动和变异的新事实;阐述若干与副热带高压研究有关的动力理论,如全型垂直涡度方程,涡度变化的内部强迫——倾斜涡度发展,涡度变化的外部强迫——非均匀空间加热效应,热力适应理论,以及东、西风交界面的时间变化方程及该界面在保持气候系统角动量守恒中的重要性;并应用这些最新理论揭示副高的形成和变异机制,阐述夏季陆面感热加热及亚洲季风降水对副高形成的重要作用。本书是一部关于副热带高压动力学的专著,对深入开展副高的天气、气候和动力学研究及改善天气预报和气候预测有重要的应用价值。

本书深入浅出,理论联系实际,可供气象业务工作者、高等院校师生和大气科学研究者参考。

图书在版编目(CIP)数据

副热带高压形成和变异的动力学问题/吴国雄等著.-北京:科学出版社,2002

ISBN 7-03-009356-9

I. 副… II. 吴… III. 副热带-高压(气象)-大气动力学-研究
IV. P433

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 23734 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2002年4月第一次印刷 印张:21 插页:2

印数:1—1 000 字数:465 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

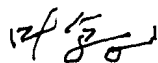
序言一

处在热带和温带之间的副热带地区存在着一条高压带,即俗称副热带高压带,或简称副高带。在它的北侧盛行着沿纬圈运动的西风气流,南侧盛行热带东风。平均而言,副热带是一条环绕全球的干旱带,沿着该带集中了世界上绝大部分沙漠区域。然而,沿着副热带的气压场或位势高度场的分布又是极不均匀的。多种因素的影响造成副热带高压带断裂为若干个区域高压中心,加上温带和热带不同天气系统的影响,于是沿着副热带干旱带又点缀着若干个全球雨量最为丰沛的季风区,使副热带成为全球天气和气候变化最为壮观、洪涝干旱最为频繁的地带。

我国夏季的天气气候特征与低层西太平洋副热带高压和高层的南亚高压关系密切。广大学者对此进行了长期不懈的探索,取得许多重要成果。本书的第一、二章就此作了全面系统的回顾,就有关副热带高压的流型和结构,季节变化及其与季风的关系,年际变化及与旱、涝的关系,与其他天气系统及与外强迫的联系等进行了系统的描述。

在此基础上,作者利用最新的观测和再分析资料揭示了副高活动和变异的许多新事实。更为可贵的是,作者根据多年的研究成果,在书中阐述了若干创新性的动力理论,如热力适应理论,大气中的过流,全型垂直涡度方程,涡度变化的内部强迫——倾斜涡度发展,涡度变化的外部强迫——非均匀空间加热效应,以及东、西风交界面的时间变化方程及该界面在保持气候系统角动量守恒中的重要性等等。并应用这些最新理论揭示了副高的形成和变异机制,阐述了夏季陆面感热加热及亚洲季风降水对副高形成的重要作用,进行了成功的数值模拟。这些关于副高形成和变异的新观点和新理论为深入开展副高的天气和动力学研究提供了理论基础,对改善天气预报和气候预测也有重要的应用价值。

迄今国内外还没有一部关于副热带高压动力学的专著。本书作者以国家自然科学基金重点项目的研究成果为基础,综述了副高的天气学和动力学问题,是关于副高动力学的首部专著。全书结构严谨,既有很强的理论性,又与资料分析和数值模拟相结合,是一部理论联系实际的具有创新意义的学术专著。其所阐述的若干基本理论不仅适合于副高的研究,而且对揭示气候系统多圈层的相互作用机制也具有广泛的应用前景。



2000年10月于北京

序言二

副热带高压是副热带天气气候系统中的重要成员。弄清副热带高压的形成及其形态变异的机理,成为进一步认识大气环流及全球气候变化的关键,具有重大的科学意义和社会需求。我国位于欧亚大陆东部的副热带地区,西部盘踞着“世界屋脊”青藏高原,东部面临世界最大的太平洋。夏季在对流层高层处于庞大的“南亚高压”东侧,在对流层中、低层处在活跃的西太平洋副热带高压的西侧。副高变化多端,气候异常频仍。因此研究副高特别是西太平洋副高的活动规律,一直是我国气象学家的重要课题。几十年来,由于广大气象工作者的共同努力,我们对副高的结构和活动规律已有了广泛的认识。尤其是关于西太平洋副高与我国夏季天气的联系的研究,取得了许多重要成果。本专著在系统、全面地回顾有关副高的研究现状的基础上,利用最新的观测资料、气候模式及位涡理论,阐明了有关副高的天气学和动力学研究中的最新观点和成果。

在关于副高的天气学研究中,本书利用 NCEP/NCAR 的多年再分析资料,结合我国的观测事实,阐述了副高的定义和分类,水平流型和垂直结构,季节变化及其与季风的关系,年际变化及其与我国旱、涝的关系,与其他各种天气系统的相互联系及与各种外强迫的可能联系等。

在关于副高的动力学研究中,本书从资料分析、数值模拟及理论研究三方面阐述了纬向平均环流及副高的动力学,提出了以热力适应理论及全型垂直涡度方程研究三维空间的副高发展理论,由此阐明夏季各个副高单体成因和变异上的显著差异;还通过大量的数值试验以检验和支持一系列新的理论成果。书中还介绍了作为大气东、西风交界面(WEB)的副高轴线($\alpha=0$)其所处纬度随时间变化的方程;证明影响其变化的内、外强迫因子;并阐述了其变化对维持气候系统角动量平衡的重要作用。

本书所阐述的内容是国内外关于副高研究的创新性成果。书中所阐明的基础理论和取得的成果深化了对副高的性质和特征的认识,对揭示副高的形成和变异的动力机制具有重要意义,为副高的气候预测和天气预报提供了重要的理论基础。预期本书的出版将进一步推动我国天气气候研究的深入发展。



2000年10月于北京

前 言

在南北半球的副热带地区,存在气压场或位势高度场的相对高值带,即所谓的“副热带高压带”,或简称“副高带”。其向极地一侧为西风带,向赤道一侧为东风带。平均而言,副热带是一条环绕全球的干旱带,沿着该带集中了世界上绝大部分沙漠区域。然而,沿着副热带的气压场或位势高度场的分布又是极不均匀的。山脉的存在,海气相互作用,海陆热力差异,陆面过程,乃至海冰、冰川和积雪等外部强迫过程改变了大气的能量收支,造成了副热带高压带断裂为若干个区域高压中心,影响着副热带天气系统的运动和水汽的传输及其邻近地区的天气和气候。于是,沿着副热带干旱带又点缀着若干个全球雨量最为丰沛的季风区,如东亚季风区、非洲季风区、北美季风区、南美季风区及澳大利亚季风区等,使副热带成为全球天气和气候变化最为壮观、洪涝干旱最为频仍的地带。

我国位于欧亚大陆东南端,国土的大部分位于副热带。西部盘踞着“世界屋脊”青藏高原,东部面临世界最大的太平洋。冬季受西伯利亚冷高压南伸的副热带分支所控制;夏季在对流层高层处于庞大的“南亚高压”东侧,在对流层中、低层处在活跃的西太平洋副热带高压的西侧。副高变化多端,气候异常频发。因此研究副高特别是西太平洋副高的活动规律,一直是我国气象学家的重要课题。

20 世纪以来,尤其是第二次世界大战以后,随着高空资料网的加密,遥感和高空探测技术的改进,以及计算机科学的迅速发展,副热带高压向极地侧的中纬度大气动力学,从 30 年代的以挪威学派为代表的锋面气旋——气团学说,和 40~50 年代的以芝加哥学派为代表的大气长波理论,发展到 80 年代初已日臻完善。1983 年, Hoskins 和 Pearce (1983)发表了“大气中大尺度动力过程”(Large-scale dynamical process in the atmosphere),对准定常波的平均状况及其维持、准定常波的传播、瞬变波及其对平均气流的反馈、低频振荡以及大气环流的持续异常等作了阶段性总结。

副热带高压向赤道侧的低纬度天气系统是 20 世纪 80 年代以后大气和海洋科学研究的另一热点。在这一时期,由于卫星和其他观测手段以及计算机模拟技术的广泛应用,科学家们围绕气候系统年际变化的最强信号——厄尔尼诺 (El Niño) 和南方涛动 (SO) (即 ENSO),对热带海气耦合系统进行了深入的分析和模拟,揭示了海气相互作用所激发的低频波动在 ENSO 循环以及季节内变化中的重要性,从而对季风的活动及其与 ENSO 的关系有了全新的认识。国际范围的“热带海洋和全球大气研究计划”(TOGA)及“世界气候研究计划”(WCRP)等大型研究计划的组织和实施,也极大地促进了低纬动力学向广度和深度的发展。

现在,大气科学界所面临的另一研究领域就是副热带天气气候系统的形成、活动以及变异。副热带高压是副热带天气系统中的重要成员。弄清副热带高压的形成及其形态变异的机理,已成为进一步认识大气环流及全球气候变化的关键,具有重大的科学意义和社

会需求。几十年来,由于广大气象工作者的共同努力,我们对副高的结构和活动规律已经有了广泛的认识。尤其是关于西太平洋副高与我国夏季天气的联系的研究,取得了许多重要成果。在本书的第一章,我们将分别对此进行系统的回顾和讨论。在此基础上,第二章进一步阐述副热带高压的天气学问题,包括副热带高压的定义和分类,其水平流型和垂直结构,其季节变化及与季风的关系,其年际变化及与我国旱、涝的关系,其与各种天气系统和外界强迫相互联系等的最新研究成果。

另一方面,由于资料及学科发展水平的限制,在早期的副高研究中,多偏于天气方面的分析。近些年来,随着观测和再分析资料的增加,随着副高天气学研究新成果的出现,揭露了若干与传统概念不同的现象,给我们提出了新的问题。为了研究副热带高压形成的动力学,国家自然科学基金委在“九五”期间确立了重点基金项目“副热带高压带变异机理”,在吴国雄、丑纪范的组织下,在1996~1999年的四年中,对副热带高压形成和变异的气候动力学问题进行了系统的研究,取得了一些有意义的新成果。本书的第三章至第十章就是参与项目研究的科学家根据其四年来的研究成果精炼出来的。

本书的第三章讨论了副热带高压的气候学特征。首先分析纬向平均环流的动力学及其与纬向副高分布的关系,包括纬向对称副高带的结构及其季节和年际变化。然后集中讨论西太平洋副热带高压的形态变化及其与热带环流、中高纬环流以及东亚季风环流和降水的关系。最后分析了南亚高压的气候特征与气候变化的联系。

在第四章中介绍了位涡理论及其在副高动力学研究中的应用。在这里集中讨论了热力适应理论,说明大气环流是如何向外加的感热加热和潜热加热适应的。第五章介绍了不仅包含动力作用,还包含了热力作用的全型垂直涡度方程;说明了大气热力结构的内强迫作用及非绝热加热的外强迫作用在引发涡度场变化中的重要作用;并阐明了沿副热带的表面感热加热和深对流凝结加热在副热带高压分布中所起的不同作用。这为后面章节的数值模拟提供理论基础。

第六章利用理论研究、资料分析和数值模拟揭示太平洋和印度洋海表温度异常(SSTA)对副热带高压变异的影响。前半部分阐明了中高纬SSTA和热带SSTA与大气环流相关的异同的物理原因;并用“两级热力适应”理论和拓广的“Lindzen-Nigam理论”去分析SSTA与环流异常的联系,强调了SSTA异常型在气候异常形成中的作用。该章的后半部分利用再分析资料研究了西太平洋副高与热带大气环流和SSTA的联系,并用1998年长江洪涝的实例揭示热带大气热状况异常和SSTA对西太平洋副高和我国灾害气候的影响。

夏季沿北半球副热带地区存在若干高压单体。在1000hPa上有太平洋副高和大西洋副高。在500hPa上存在北美副高、北非副高、伊朗副高及西太副高。在200hPa及100hPa,则以南亚高压为主要特征。尽管各副高单体在近地面层均存在水平辐散,但垂直运动分布及高层散度分布却很不相同。从北太平洋中部到北美大陆西岸,以及从北大西洋中部到中亚盛行下沉气流。相反,在大西洋西部,以及青藏高原以东的亚洲大陆和北美中部则有上升运动。由此看来,各个副高单体形成的机制必存在差异。根据第四章和第五章所建立的理论,本书在第七章和第八章利用数值模拟和敏感试验相结合的方法,对比观测事实以研究不同副高单体形成的机制。在第七章中讨论表面感热加热对副热带高压形态变异的影响,证明夏半年强大的陆面感热加热对洋面副高及陆地上空中、高对流层副高形成的重要贡献。在第八章中研究了副热带深对流凝结加热对对流层中、高层副高形成和变异的作用及其对全球大气环流异常的影响,论证了东

亚季风区夏季季风降水所释放的凝结潜热对西太副高和南亚高压形成的主要贡献。

研究副高及其变异机理的一个重要问题和最终目的在于预报,特别是对西太平洋副高由冬到夏脊线位置北跳的预报。这是因为第一次北跳,长江流域入梅;第二次北跳,长江流域出梅。如只出现一次北跳,长江流域出现空梅;没有明显跳跃现象,则梅雨不明显。如果能事先作出准确的预测,则对我国汛期的旱涝分布就可以较有把握地作出推断。遗憾的是尽管对副高已作了大量的如上所述的工作,我们尚没有找到预测副高脊线季节变化特征的方法。我国最先开展应用气候模式(海-气耦合)进行跨季度降水预报(曾庆存,1995),取得了相当的成功,但准确预测副高脊线季节变化的问题并未解决。世界上现在所有的十分精细的气候模式,虽然包含了上述所有影响副高活动的因子,然而不能有效地预报副高脊线季节变化的年际差异。这是什么缘故呢?这是因为这些模式都是直接来源于进行短、中期数值天气预报的数值模式,它主要是预测天气尺度演变的。众所周知,天气尺度的可预测性不超过2~3周。如果置此不顾,逐步积分到跨季度的时间尺度,则天气尺度的运动就必将成为干扰副高脊线季度变化的噪音。历史的经验值得注意,1992年L. Richardron作数值天气预报之所以失败,除了他自己所说的观测资料不足之外,就是他所用的原始方程没有能有效地排除声波、重力波噪音的干扰。而后来J. G. Charney的成功就在于他从原始方程出发,导得了“过滤模式”,有效地排除了噪音的干扰。当制作跨季度的预测时,我们认为副高脊线的季节变动是气候系统中的稳定分量,是可预报的;而天气尺度的运动是气候系统中的混沌分量,是不可预报的,它成了干扰可预报的稳定分量的噪音。你只要注意天气图的逐日变化就会发现:常常当中、高纬度槽来脊去有显著变化时,副高脊线却没有变动,这难道不正是表明那些显著变化是与副高脊线的变动无关的吗?!如果能建立一个这样的数值模式,即该模式能“过滤”掉一切与副高脊线位置变化无关的运动,那就可能对副高脊线的季节变动作出成功的预测。如何才能建立这样的模式呢?首先需要研究副高脊线季节变化的机理。对此我国学者已经作过一些研究,但是那些研究用的都是牛顿加热项的正压涡度方程,它们有两条共同的缺陷:一是因为用500hPa高度场,副高脊线是形态学上定下的非独立实体,不便于对其季节变化进行研究,也无法获得副高脊线变化的方程;另一是模式过于简单,不能指望凭此即能作出实际预测。针对这两个缺陷,在本书的第九章和第十章提出了一种新的诊断副高脊线变化的方法和描述副高脊面位置移动的动力学模型。

一般地,副高的南部向赤道一侧为东风带的热带大气。它不同于中高纬的大气,物理量的水平分布比较均匀;系统的变化慢得多;驱动大气运动的能源是潜热,而不是斜压不稳定能量的释放;运动不再是准地转、准无辐散的;并且盛行Hadley环流和Walker环流而不是Rossby环流。E. N. Lorenz说得好,“热带大气的动力特征明显地不同于温带大气和极地大气,热带大气几乎就好像是另一种流体一样”(洛伦兹,1997,174页)。既然副高脊线组成了一个东西风分界面(WEB),故其南北两侧大气的动力性质就存在显著的差别。在WEB的南面为大气角动量的源,而其北面则是大气角动量的汇,这样我们就获得了描述副高脊线位置的动力学特征量(WEB),于是副高脊线季节变化也就变成了这个分界面的季节变化。在本书的第九章中我们利用NCEP/NCAR 1980~1995年资料对副高脊面的季节变化及其年际变异的实况进行了诊断分析,揭示了角动量变化的摩擦力矩变化与副高脊面形态变异的关系。第十章讨论了副高脊面位置移动的动力学模型。在给出了一个简单示例以后,突出

副高脊面本身。副高脊面是东风气流和西风气流的分界面,在其上 $v_\lambda(\theta, \lambda, p, t) = 0$ 。由此得副高脊面的显式表示式 $\theta = \theta_s(\lambda, p, t)$ ^①。首先把现在在全球求解的大气环流模式,在北半球分解为等价的以副高脊面为侧边界的南北流场的求解问题。这在数学上是一个活动边界问题。其实大气模式的下边界在气压坐标中为 $p_s(\theta, \lambda, t)$ 就是一个活动边界。通过转化为 σ 坐标,我们可以由 $p_s(\theta, \lambda, t)|_{t=0} = p_s^{(0)}(\theta, t)$ 算出 $p_s(\theta, \lambda, t)$ 来。从数学上说 $\theta_s(\lambda, p, t)$ 与 $p_s(\theta, \lambda, t)$ 是两个空间变量和一个时间变量的函数,是无差别的,可用类似方法解决。我们着眼于以南北流场为背景,得到了活动边界即副高脊面的运动方程,以揭示影响副高脊面移动的动力因子。再进一步,对低纬东风盛行区采用 β 平面上的半地转准定常近似,对大气环流模式的原始方程进行简化^②;对中、高纬西风盛行区采用准地转近似并突出非绝热加热导致的摩擦力矩和山脉力矩的作用,进行简化。这样一来,对于同一个大气环流模式的原始方程,由于以副高脊面为侧边界的南北流场的简化不同而变成了完全不同的方程。这样类似于把低纬东风盛行区的大气和中、高纬西风盛行区的大气视为两种不同的介质,像海洋和大气一样,建立了耦合模式。这个耦合模式的交界面,不是别的,就是副高脊面,它类似于 $p_s(\theta, \lambda, t)$,从而给出了一个研究副高脊线移动的动力学模型。这个模型是否过滤掉了不可预报的混沌分量对副高脊线季节移动的干扰,并能成功地作出季节尺度的预测,还有赖于进一步的工作,即将其实现为数值模式并进行数值试验,这可以作为本书待完成的续编,等待着精力充沛且敢于创新的来者去完成,祝他们幸运!

为便于读者在今后的工作中与各专家联系,这里将本书各章节的作者列表于下:

- 第一章 何金海、刘屹岷;
- 第二章 何金海;
- 第三章 § 3.1~§ 3.2 刘 平;
§ 3.3~§ 3.5 张庆云;
§ 3.6~§ 3.7 张 琼;
- 第四章 吴国雄、刘屹岷;
- 第五章 吴国雄、刘还珠、刘屹岷、刘 平;
- 第六章 § 6.1 吴国雄、王敬方;
§ 6.2 吴国雄、刘 平、刘屹岷;
§ 6.3 刘 平、吴国雄;
§ 6.4~§ 6.6 孙淑清;
- 第七章 刘屹岷、吴国雄;
- 第八章 刘屹岷、吴国雄;
- 第九章 宋振鑫、张培群、丑纪范;
- 第十章 郭秉荣、张培群、丑纪范。

最后在后记中,提出了副高动力研究中有待深入研究的若干问题,并对其前景进行了展望。我们企望此书的出版能起抛砖引玉的作用,通过不断深化对副热带高压动力学的认识,进一步提高天气预报和气候预测的水平。

① 张培群,1997. 副热带高压脊线位置移动的动力学方程及其诊断研究。兰州大学大气科学系博士论文
② 张红亮,1998. 低纬大尺度大气运动数值模式的建立及模拟研究。兰州大学大气科学系博士论文。

目 录

序言一

序言二

前 言

第一章 副热带高压研究的历史、现状和展望	(1)
§ 1.1 副热带高压的研究历史	(4)
§ 1.2 关于副热带高压季节性北跳突变机制的研究	(7)
§ 1.3 关于副热带高压的断裂、形成和维持的非线性动力学研究	(11)
§ 1.3.1 副热带高压带的断裂	(11)
§ 1.3.2 副热带高压形成的孤立波理论	(12)
§ 1.3.3 副热带高压形成的非线性临界层理论	(13)
§ 1.4 关于副热带高压与季风关系的研究	(15)
§ 1.4.1 副热带高压与季风雨带的相互关系	(16)
§ 1.4.2 西太平洋副热带高压进退的天气动力学分析	(17)
§ 1.5 副热带高压的数值模拟和数值试验	(22)
§ 1.6 副热带高压的研究展望	(24)
第二章 副热带高压天气学特征	(29)
§ 2.1 副热带高压的定义和天气分类	(29)
§ 2.2 副热带高压的垂直结构和水平流型	(30)
§ 2.2.1 副热带高压的垂直结构	(30)
§ 2.2.2 副热带高压的水平流型	(36)
§ 2.3 副热带高压的季节变化及其与季风的关系	(36)
§ 2.3.1 副热带高压的季节变化特征	(36)
§ 2.3.2 副热带高压的季节变化与季风的关系	(43)
§ 2.4 西太平洋副热带高压的年际变化及其与我国旱涝的关系	(45)
§ 2.4.1 西太平洋副热带高压南北位置的年际变化	(46)
§ 2.4.2 西太平洋副热带高压东西位置及西伸脊点的年际变化	(46)
§ 2.4.3 西太平洋副热带高压强度的年际变化	(47)
§ 2.4.4 西太平洋副热带高压年际变化与我国旱涝的关系	(47)
§ 2.5 副热带高压与其他各种天气系统的相互关系	(48)
§ 2.5.1 副热带高压与西风带环流的关系	(48)
§ 2.5.2 东西风带强度对副热带高压的影响	(49)
§ 2.5.3 副热带高压与垂直环流的关系	(50)

§ 2.5.4 副热带高压和大陆高压活动的关系	(50)
§ 2.5.5 副热带高压与赤道低压的关系	(50)
§ 2.5.6 副热带高压与热带气旋的关系	(51)
§ 2.5.7 副热带高压的中期变化与季风系统的自我调节机制	(51)
§ 2.6 副热带高压与各种外界强迫的联系	(52)
§ 2.6.1 经向加热差异与纬向加热差异对副热带高压的影响	(52)
§ 2.6.2 海洋与副热带高压的关系	(53)
§ 2.6.3 副热带高压与极地海冰的关系	(54)
第三章 副热带高压的气候学特征	(55)
§ 3.1 经向偏差和气候副热带高压带的结构	(55)
§ 3.1.1 经向偏差	(55)
§ 3.1.2 气候副热带高压带的垂直结构	(56)
§ 3.2 副热带高压带的季节和年际变化	(57)
§ 3.2.1 副热带高压带的季节变化	(57)
§ 3.2.2 副热带高压带的年际变化	(60)
§ 3.3 西太平洋副热带高压的形态变化特征	(62)
§ 3.3.1 夏季西太平洋副热带高压的年际变化	(63)
§ 3.3.2 20~30 天的低频振荡	(65)
§ 3.3.3 5~10 天的短期活动	(72)
§ 3.4 夏季西太平洋副热带高压北跳与热带风场、黑体亮温场及高低纬环流的 关系	(76)
§ 3.4.1 西太平洋副热带高压北跳与热带风场及黑体亮温场的关系	(76)
§ 3.4.2 西太平洋副热带高压异常与高低纬环流	(79)
§ 3.5 夏季西太平洋副热带高压异常与东亚季风环流及降水的关系	(85)
§ 3.5.1 西太平洋副热带高压异常与东亚热带季风、副热带季风环流	(85)
§ 3.5.2 西太平洋副热带高压及中高纬环流的异常与东亚夏季降水	(87)
§ 3.6 南亚高压的气候特征	(90)
§ 3.6.1 南亚高压的季节变化	(91)
§ 3.6.2 南亚高压的年际和年代际变化	(92)
§ 3.7 南亚高压与气候变化的关系	(97)
§ 3.7.1 南亚高压与中低层副热带高压的关系	(97)
§ 3.7.2 南亚高压与海表温度的关系	(101)
§ 3.7.3 南亚高压与旱涝的关系	(104)
第四章 影响大气涡度发展的若干热力过程——I. 热力适应过程	(108)
§ 4.1 副热带大气运动的特征	(108)
§ 4.1.1 热带地区的斜压结构	(109)
§ 4.1.2 中高纬度的相当正压结构	(110)
§ 4.1.3 副热带运动的特征	(110)

§ 4.2	位涡方程	(110)
§ 4.3	热力适应和过流	(113)
§ 4.3.1	位涡、涡度和环流	(113)
§ 4.3.2	大气中的热力适应	(114)
§ 4.3.3	热力适应中的“过流”问题	(119)
§ 4.4	热力适应的数值模拟	(120)
§ 4.4.1	大气流场对深对流凝结加热的适应	(120)
§ 4.4.2	大气流场对表面感热加热的适应	(121)
第五章	影响大气涡度发展的若干热力过程——I. 全型涡度方程	(125)
§ 5.1	涡度变化的内部热力强迫——倾斜涡度发展(SVD)	(125)
§ 5.1.1	全型垂直涡度方程	(125)
§ 5.1.2	位涡守恒的盒子定律和外切平面定律	(126)
§ 5.1.3	倾斜涡度发展(SVD)	(128)
§ 5.1.4	倾斜涡度发展的数值模拟	(130)
§ 5.2	全型涡度方程和传统涡度方程的比较	(135)
§ 5.2.1	两方程的一致性	(136)
§ 5.2.2	两方程的差异	(136)
§ 5.2.3	全型涡度方程新的物理内涵	(137)
§ 5.3	涡度变化的外部热力强迫——副热带高压的形态变异	(140)
§ 5.3.1	感热加热(SH)对副热带反气旋形态的影响	(140)
§ 5.3.2	深对流降水对副热带反气旋形态的影响	(141)
§ 5.3.3	水平非均匀加热对副热带反气旋形态的影响	(142)
第六章	海表温度异常对西太平洋副热带高压变异的影响	(143)
§ 6.1	热带和热带外海表温度异常与低空环流相关特征比较	(143)
§ 6.1.1	资料及分析方法	(144)
§ 6.1.2	500hPa 月平均场与海表温度异常	(147)
§ 6.1.3	地转性和斜压性	(149)
§ 6.1.4	水汽输送和海表温度异常	(153)
§ 6.2	印度洋海温异常对西太平洋副热带高压的影响——大气中的两级热力适应	(156)
§ 6.2.1	热力适应和过流	(157)
§ 6.2.2	孟加拉湾海表温度异常对环流的影响——“干大气”试验	(158)
§ 6.2.3	孟加拉湾海表温度异常对环流的影响——“湿大气”试验	(159)
§ 6.3	热带和热带外海表温度异常型与西太平洋副热带高压异常	(162)
§ 6.3.1	Lindzen 和 Nigam 理论的拓展	(163)
§ 6.3.2	对热带三区域(CEI、WEP 和 EEP)海表温度异常的定常响应	(165)
§ 6.3.3	副热带与热带三区域(CEI、WNP 和 EEP)海表温度异常的定常响应	(171)
§ 6.4	西太平洋副热带高压与热带大气环流	(175)

§ 6.4.1	外逸长波辐射所表征的热带对流活动特征	(176)
§ 6.4.2	热带流场与季风系统的变化	(178)
§ 6.4.3	西太平洋副热带高压异常时垂直环流的特征	(181)
§ 6.5	西太平洋副热带高压对热带海表温度异常的响应	(188)
§ 6.5.1	海温异常与副热带高压的强度变化	(188)
§ 6.5.2	西太平洋副热带高压对海温的滞后响应	(190)
§ 6.5.3	西太平洋副热带高压与海温的耦合模态	(192)
§ 6.6	1998 年长江流域洪涝期西太平洋副热带高压的异常特征	(195)
§ 6.6.1	1998 年西太平洋副热带高压的异常表现及与 El Niño 事件的关系	(196)
§ 6.6.2	副热带高压的异常活动与大气热状态	(197)
第七章	陆面感热加热对副热带高压形态变异的影响	(200)
§ 7.1	资料和 LASG/IAP GOALS 气候模式简介	(201)
§ 7.2	资料分析	(201)
§ 7.3	副热带感热加热和副热带高压	(206)
§ 7.3.1	副热带单区域感热源 (IDEAL-SH1)	(206)
§ 7.3.2	副热带双区域热源 (IDEAL-SH2)	(210)
§ 7.4	北美陆面加热和东北太平洋-北美副热带高压	(211)
§ 7.4.1	模式模拟	(211)
§ 7.4.2	敏感性试验	(214)
§ 7.5	北非陆面加热和东北大西洋-北非副热带高压	(216)
§ 7.6	全球陆面感热加热对副热带高压的影响	(221)
§ 7.6.1	无全球潜热试验	(221)
§ 7.6.2	无全球陆面感热试验 I	(222)
§ 7.6.3	无全球陆面感热试验 II	(224)
§ 7.7	感热加热和副热带高压的年际变化	(224)
第八章	对流凝结加热对副热带高压形态变异的影响	(228)
§ 8.1	大气对副热带深对流凝结潜热加热的响应——基本热力适应过程 ..	(229)
§ 8.1.1	短期响应	(229)
§ 8.1.2	定常响应	(230)
§ 8.2	中高纬环流对副热带深对流加热的响应——次级热力适应	(231)
§ 8.2.1	热力适应产生的次级负涡度源	(231)
§ 8.2.2	次级负涡源和中高纬环流异常	(234)
§ 8.3	对流凝结加热和定常 Rossby 波的传播	(236)
§ 8.4	季风区凝结潜热加热对南亚高压和西太平洋副热带高压形成的影响	(238)
§ 8.4.1	无地形 (纬向对称洋面) 背景下大气对模式潜热加热的响应 (CH1)	(238)
§ 8.4.2	有地形背景下大气对模式潜热加热的响应 (CH2)	(240)
§ 8.5	感热和潜热对副热带高压形成的综合作用	(241)

§ 8.6 潜热加热和副热带高压的年际变化	(244)
第九章 副热带高压脊面及其变化——一种新的动力分析方法	(246)
§ 9.1 描述副热带高压脊线位置的动力学特征量——东西风交界面(副热带高压脊面)	(246)
§ 9.2 副热带高压脊面季节变化的气候特征	(247)
§ 9.3 副热带高压脊面位置演变的特征型	(250)
§ 9.4 副热带高压脊面季节变化的年际变异	(255)
§ 9.5 角动量与副热带高压脊面的形态变异	(258)
§ 9.5.1 资料和方法	(259)
§ 9.5.2 JJA 东风角动量异常和同期北半球副热带高压脊面的形态变异	(259)
§ 9.5.3 JJA 东风角动量异常和同期南半球副热带高压脊面的形态变异	(262)
§ 9.5.4 DJF 东风角动量异常和同期北半球副热带高压脊面的形态变异	(264)
§ 9.5.5 DJF 东风角动量异常和同期南半球副热带高压脊面的形态变异	(267)
§ 9.6 摩擦力矩变化与副热带高压脊面的形态变异	(268)
第十章 副热带高压脊面位置移动的动力学模型	(270)
§ 10.1 问题的提出——一个简单的示例	(270)
§ 10.2 副热带高压脊面运动方程的建立	(274)
§ 10.3 影响副热带高压脊面移动的动力因子	(278)
§ 10.4 以副热带高压脊面为侧边界的南、北流场的求解问题——活动边界问题	(279)
§ 10.5 求大气动力学方程组的形式解析解——共轭函数近似方法	(284)
§ 10.6 预报副热带高压脊面变化的“过滤模型”	(291)
§ 10.7 “过滤模型”的可行性	(293)
参考文献	(295)
后 记	(306)
彩图及说明	(313)

Dynamics of the Formation and Variation of Subtropical Anticyclones

Wu Guoxiong, Chou Jifan,
Liu Yimin, He Jinhai et al.

CONTENTS

Foreword 1	Ye Duzheng (i)
Foreword 2	Tao Shiyao (iii)
Introduction	(V)
Chapter 1 Studies on Subtropical Anticyclone: Past, Present and Future	
.....	He Jinhai, Liu Yimin(1)
§ 1.1 Review of the Study on Subtropical Anticyclone	(4)
§ 1.2 Abrupt Seasonal Change of Subtropical Anticyclone	(7)
§ 1.3 Nonlinear Dynamics on the Break, Formation and Maintenance of Subtropical Anticyclone	(11)
§ 1.3.1 The Break of Subtropical Anticyclone	(11)
§ 1.3.2 Soliton Theory on the Formation of Subtropical Anticyclone	(12)
§ 1.3.3 Nonlinear Critical Layer Theory on the Formation of Subtropical Anticyclone	(13)
§ 1.4 Relation between Subtropical Anticyclone and Monsoon	(15)
§ 1.4.1 Subtropical Anticyclone and Monsoon Rain-belt	(16)
§ 1.4.2 East-West Shifting of the Subtropical Anticyclone over Western Pacific (SAWP)	(17)
§ 1.5 Numerical Modeling and Experiment on Subtropical Anticyclone	(22)
§ 1.6 Future Study on Subtropical Anticyclone	(24)
Chapter 2 Subtropical Anticyclone Synoptic Meteorology	He Jinhai(29)
§ 2.1 Definition and Classification of Subtropical Anticyclone	(29)
§ 2.2 Vertical Structure and Horizontal Pattern of Subtropical Anticyclone	(30)

§ 2.2.1	Vertical Structure of Subtropical Anticyclone	(30)
§ 2.2.2	Horizontal Pattern of Subtropical Anticyclone	(36)
§ 2.3	Seasonal Variation of Subtropical Anticyclone and Its Relation with Monsoon	(36)
§ 2.3.1	Seasonal Variation of Subtropical Anticyclone	(36)
§ 2.3.2	Seasonal Variation of Subtropical Anticyclone and Its Relation with Monsoon	(43)
§ 2.4	Interannual Variation of SAWP and Drought and Flood in China ...	(45)
§ 2.4.1	Interannual Variation of the Latitude Location of SAWP	(46)
§ 2.4.2	Interannual Variation of the Longitude Location of SAWP	(46)
§ 2.4.3	Interannual Variation of the Intensity of SAWP	(47)
§ 2.4.4	Interannual Variation of SAWP and Drought and Flood in China	(47)
§ 2.5	Relation between Subtropical Anticyclone and Other Weather Systems	(48)
§ 2.5.1	Subtropical Anticyclone and Westerly Circulation	(48)
§ 2.5.2	Impacts of the Westerly and Easterly Intensities on Subtropical Anticyclone	(49)
§ 2.5.3	Subtropical Anticyclone and Vertical Circulation	(50)
§ 2.5.4	Subtropical Anticyclone and Continental High Pressure Systems	(50)
§ 2.5.5	Subtropical Anticyclone and Equatorial Low Pressure	(50)
§ 2.5.6	Subtropical Anticyclone and Tropical Cyclone	(51)
§ 2.5.7	Middle-term Variation of Subtropical Anticyclone and Self-regulation of Monsoon System	(51)
§ 2.6	Subtropical Anticyclone and External Forcing	(52)
§ 2.6.1	Meridional and Longitudinal Differential Heating and Subtropical Anticyclone	(52)
§ 2.6.2	Sea Surface Temperature and Subtropical Anticyclone	(53)
§ 2.6.3	Polar Sea- Ice and Subtropical Anticyclone	(54)
Chapter 3	Subtropical Anticyclone Climatology	
	 Liu Ping, Zhang Qingyun, Zhang Qiong	(55)
§ 3.1	Meridional Deviation of Geopotential Height and Subtropical Anticyclone Structure	(55)
§ 3.1.1	Meridional Deviation of Geopotential Height	(55)
§ 3.1.2	Vertical Structure of Subtropical Anticyclone	(56)
§ 3.2	Seasonal and Interannual Variations of Subtropical Anticyclone	(57)
§ 3.2.1	Seasonal Variation of Subtropical Anticyclone	(57)
§ 3.2.2	Interannual Variation of Subtropical Anticyclone	(60)
§ 3.3	Variation of SAWP	(62)
§ 3.3.1	Interannual Variation of SAWP	(63)

§ 3.3.2	20~30 day Low-Frequency Oscillation	(65)
§ 3.3.3	5~10 day Low-Frequency Oscillation	(72)
§ 3.4	Northward Movement of the Summer SAWP and Its Relation to the Wind and Tbb in the Tropics and Circulations in Middle and Low Latitudes	(76)
§ 3.4.1	Northward Movement of SAWP and the Wind and Tbb Fields in the Tropics	(76)
§ 3.4.2	Subtropical Anticyclone Anomaly and Circulations in Middle and Low Latitudes	(79)
§ 3.5	Summertime SAWP Anomaly and Monsoon Circulation and Precipitation over East Asia	(85)
§ 3.5.1	SAWP and the Tropical and Subtropical Monsoon Circulation over East Asia	(85)
§ 3.5.2	Anomalies in SAWP and Extratropical Circulation and Summer Rainfall over East Asia	(87)
§ 3.6	South Asia Subtropical Anticyclone Climatology	(90)
§ 3.6.1	Seasonal Variation of the South Asia Subtropical Anticyclone	(91)
§ 3.6.2	Interannual Variation of the South Asia Subtropical Anticyclone	(92)
§ 3.7	South Asia Subtropical Anticyclone and Climate Variation	(97)
§ 3.7.1	South Asia Subtropical Anticyclone and the Subtropical Anticyclone in the Middle and Lower Troposphere	(97)
§ 3.7.2	South Asia Subtropical Anticyclone and Sea Surface Temperature	(101)
§ 3.7.3	South Asia Subtropical Anticyclone and Flood and Drought	(104)
Chapter 4 Several Thermal Processes Affecting Atmospheric Vorticity Development		
1. Thermal Adaptation Wu Guoxiong, Liu Yimin(108)		
§ 4.1	Characteristics of Atmospheric Motion in Subtropics	(108)
§ 4.1.1	Baroclinic Structure in Tropics	(109)
§ 4.1.2	Equivalent Barotropic Structure in Middle and High Latitudes	(110)
§ 4.1.3	Characteristics of Atmospheric Motion in Subtropics	(110)
§ 4.2	Potential Vorticity Equation	(110)
§ 4.3	Thermal Adaptation and Overshooting	(113)
§ 4.3.1	Potential Vorticity, Vorticity and Circulation	(113)
§ 4.3.2	Atmospheric Thermal Adaptation	(114)
§ 4.3.3	Overshooting in Thermal Adaptation	(119)
§ 4.4	Numerical Simulation of Thermal Adaptation	(120)
§ 4.4.1	Adaptation of Atmospheric Circulation to Deep Convective Latent Heating	(120)
§ 4.4.2	Adaptation of Atmospheric Circulation to Surface Sensible Heating	(121)
Chapter 5 Several Thermal Processes Affecting Atmospheric Vorticity Development		