



国家重点基础研究发展规划项目
我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究

研究专著系列丛书之三

丛书主编：倪允琪 周秀骥
顾 问：陶诗言

锋面过程与中尺度扰动

伍荣生
高守亭 等著
谈哲敏

气象出版社

国家重点基础研究发展规划项目 研究专著系列丛书之三
我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究

丛书主编：倪允琪 周秀骥

顾问：陶诗言

锋面过程与中尺度扰动

伍荣生 高守亭 谈哲敏 等著

气象出版社

内 容 简 介

本书对锋面动力学及中尺度扰动发展等问题进行了系统深入的研究,主要内容分两部分:一部分是关于包括梅雨锋在内的锋面动力学问题,主要包括锋面的基本知识、适应锋生理论、地形和摩擦对锋面结构和强度的影响以及锋面与非绝热过程之间的相互作用;一部分是关于中尺度扰动的稳定性和湿位涡动力学问题,介绍了大气中的斜交型不稳定扰动的结构特征和对称不稳定问题的非线性判据以及从位涡动力学的角度来分析暴雨等中尺度过程的特点以及其中的质量强迫问题。

本书适合于从事中尺度天气系统研究和预报的人员阅读、参考,也可作为气象院校教师、学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

锋面过程与中尺度扰动/伍荣生等著. —北京:
气象出版社, 2004. 11
(我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究/倪允琪, 周秀骥主编)
ISBN 7-5029-3867-2
I. 锋… II. 伍… III. 大气动力学-研究 IV. P44
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 113941 号

出版者: 气象出版社

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

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

责任编辑: 俞卫平

封面设计: 北京蓝色航线企业形象策划有限公司

责任校对: 吴庭芳

印刷者: 石油工业出版社印刷厂

装订者: 北京彩虹装订厂

发行者: 气象出版社

终 审: 周诗健

版式设计: 吴庭芳

开 本: 787×1092 1/16 印 张: 11.5 字 数: 290 千字 彩插: 4

版 次: 2004 年 11 月第一版 2004 年 11 月第一次印刷

书 号: ISBN 7-5029-3867-2/P·1366

印 数: 1~1000

定 价: 35.00 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

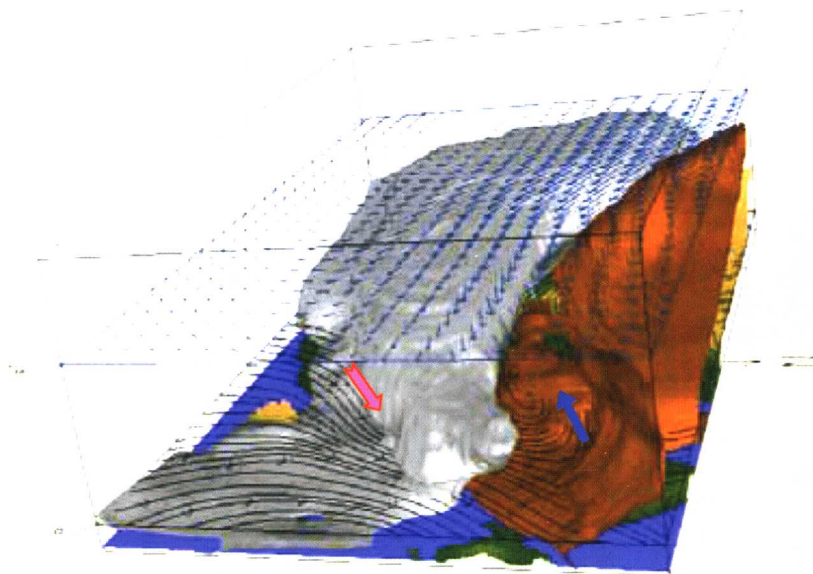


图1.5 梅雨锋湿舌、冷舌以及高低空流场的合成分析俯视图(视角为东北方向)
其中,灰白色区域为湿舌(用扰动水汽混合比的 1.0 g/kg 等值面表示),棕色区域为冷舌(用扰动为位温的 -3.0 K 等值面表示),流线表示 1.5 km 高度的流场,箭头矢量为 10.5 km 高度上的风场,分红色粗箭头表示湿舌附近的代表性风(西南风急流),而蓝色粗箭头表示冷舌附近的代表性风(东北风)(王春明,王元,伍荣生,2003)

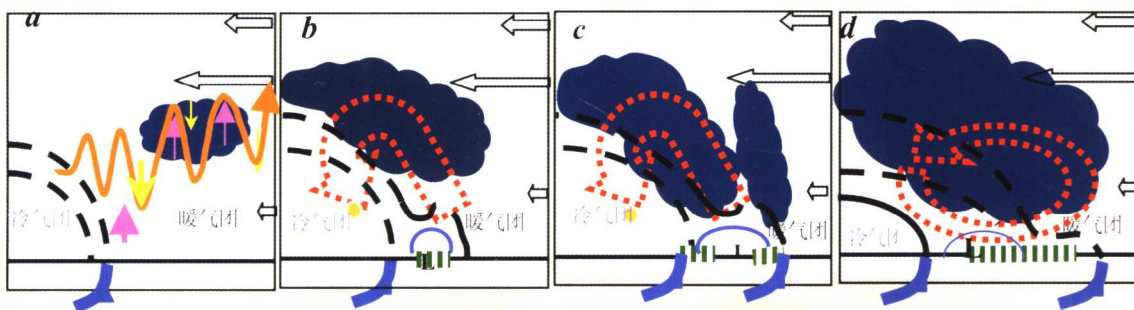


图 1.8 湿物理过程与非绝热锋生反馈概念模型

- (a)地转适应过程形成重力波的上升气流在暖区激发出对流云团;
- (b)锋面云(雨)带发展,降水产生冷堆,低层锋面前移并隆起,引起低层局地非绝热锋生;
- (c)低层的局地非绝热锋生,加强了锋前的上升运动,产生锋前雨带,形成副冷锋多雨带结构;
- (d)雨带合并以后,前部冷锋逐渐锋消,主冷锋维持(王春明,伍荣生,王元,2002)

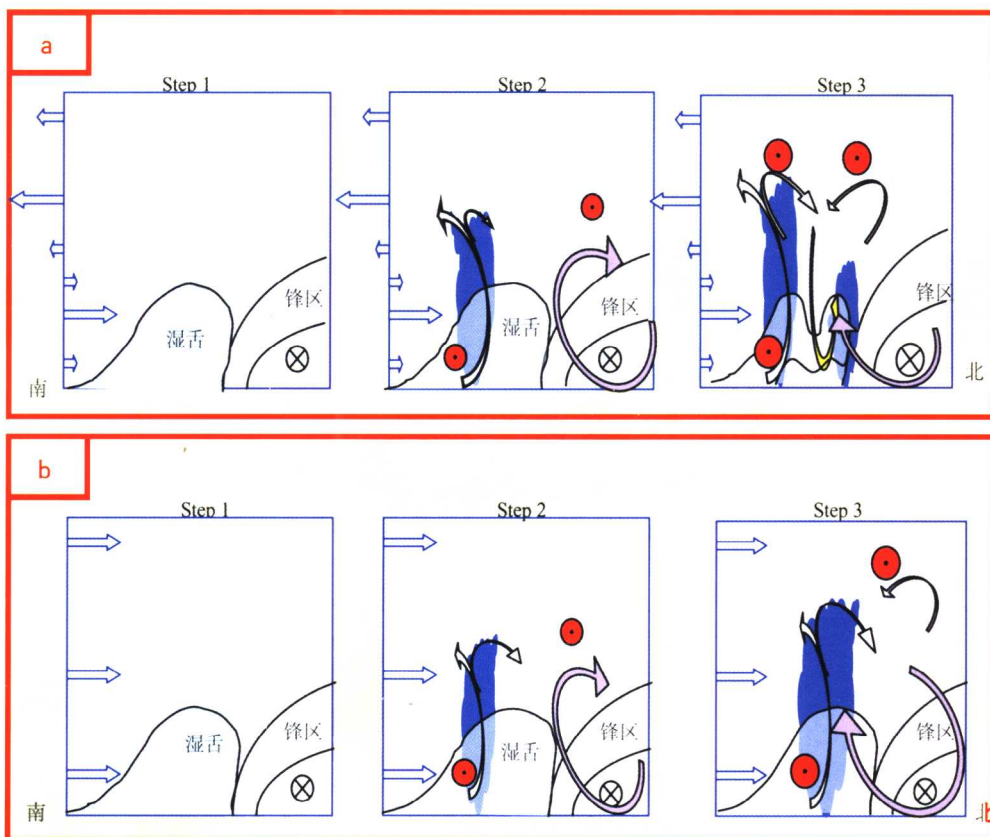


图 3.29 中尺度雨带概念模型

(a) 双面带; (b) 单雨带

$\rightarrow$ 表示环境南风 $\leftarrow$ 表示环境北风 $\bullet$ 表示西风 $\otimes$ 表示东风 $\sim$ 表示湿舌
 $\curvearrowright$ 表示锋区 $\curvearrowleft$ 表示穿锋次级环流 $\blacksquare$ 表示云带 $\hookrightarrow$ 表示云内主要气流带
 $\hookleftarrow$ 表示干冷下沉气流

(王春明, 王 元, 伍荣生, 2003)

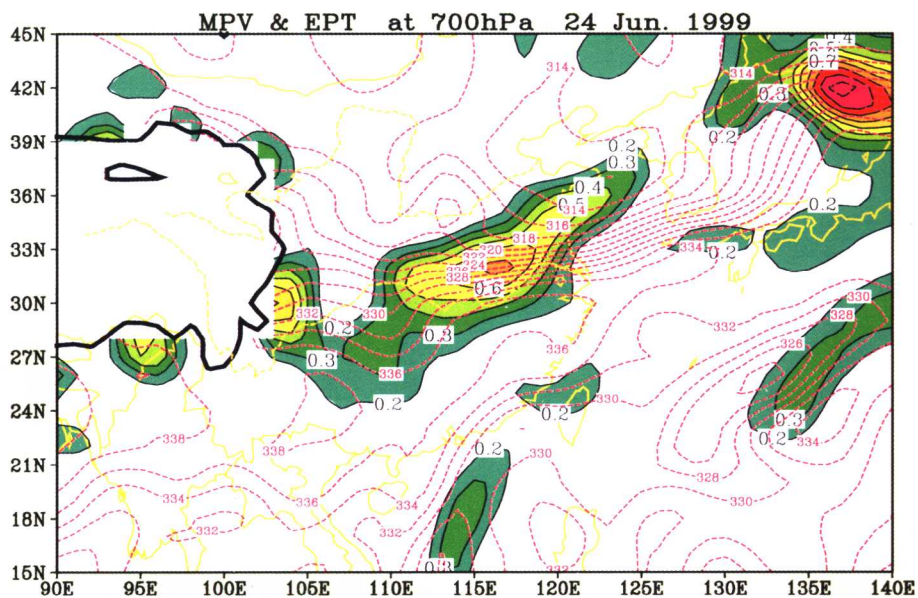


图 6.2 1999 年 6 月 23 日 00 UTC 700 hPa 上湿位涡分布 (单位: PVU)
(阴影区为 $MPV \geq 0.2$, 虚线是等 θ_e 线)

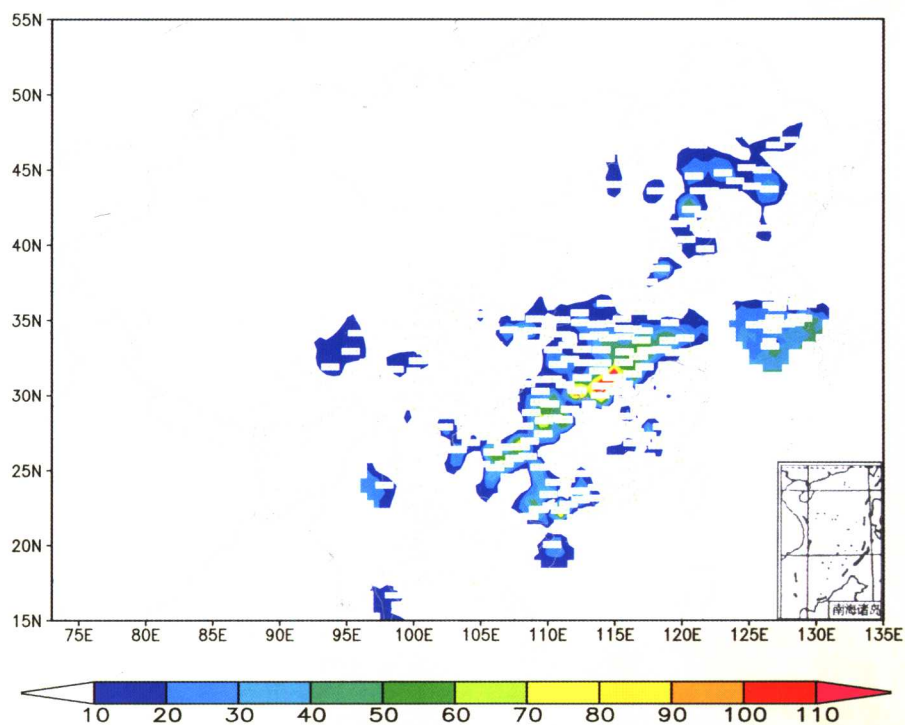


图 6.3 1999 年 6 月 23 日 00 时观测的 24 小时降水实况 (单位: mm)

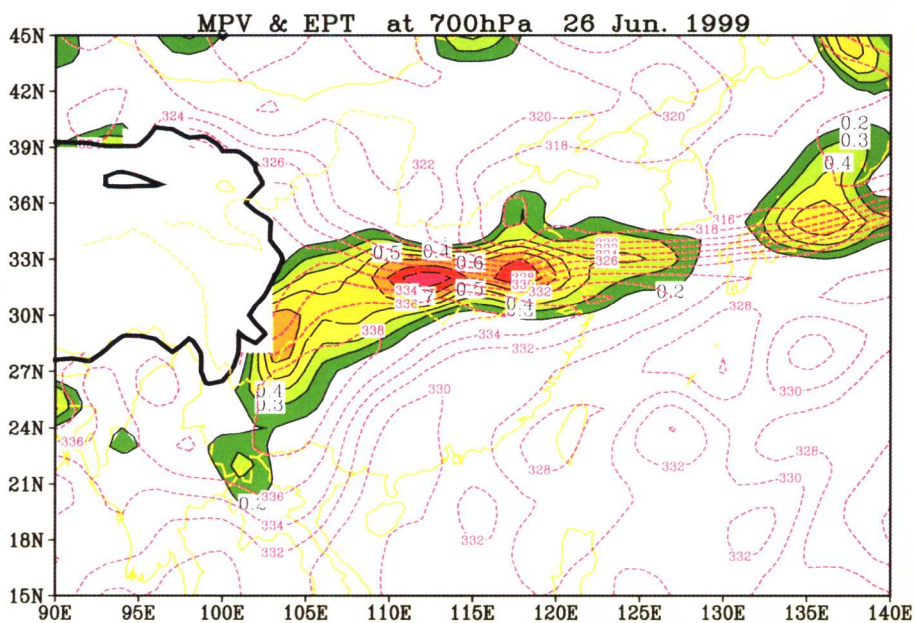


图 6.4 1999 年 6 月 26 日 00 UTC 700 hPa 上湿位涡分布 (单位: PVU)
(阴影区为 MPV ≥ 0.2 , 虚线是等 θ_e 线)

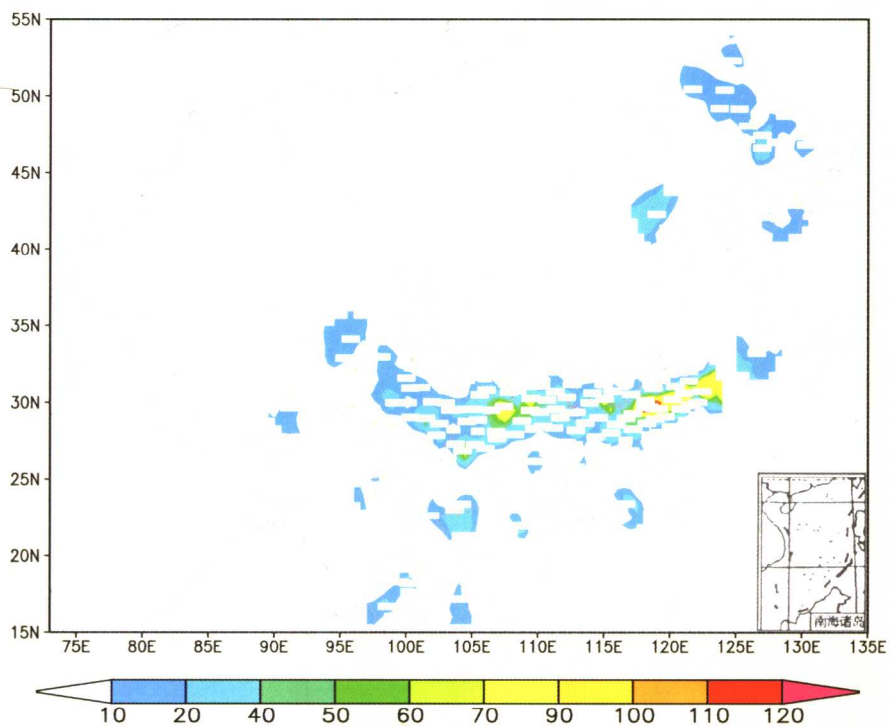


图 6.5 1999 年 6 月 26 日 00 时观测的 24 小时降水实况 (单位: mm)

研究专著系列丛书编写委员会

丛书主编：倪允琪 周秀骥

顾问：陶诗言

编委：伍荣生 陈联寿 许健民 赵思雄 陈受钧
张文建 薛纪善 刘黎平 程明虎 宇如聪

编写委员会助理：王德英 刘品 王迎 贾朋群

本书作者(按姓氏拼音顺序排列)

方娟 高守亭 陆维松 潘益农
谭本旭 谈哲敏 王春明 王元
伍荣生 张立凤

丛书主编助理：方娟

序

中国气象局承担的第一项“国家重点基础研究发展规划”项目(973 项目)“我国重大天气灾害形成机理和预测理论研究”,在 1998 年立项后项目成员经过 5 年的努力,取得了丰硕的成果。为了将这些成果集中展现和为以后的研究及业务现代化提供重要素材,项目将主要成果集结成册,作为研究专著的系列出版物发表。应该说这是我国气象现代化建设中的一件重要的和具有历史意义的工作。在这套系列出版物中,结合项目的要求给出的许多成果,是由来自中国气象局各研究和业务机构,包括省级业务和研究机构的专家,与来自中国科学院、教育部所属单位的同行联合攻关获得的针对中国主要暴雨灾害区域长江流域梅雨锋暴雨的突破性研究和应用成果。这些成果与当前中国大气科学最新理论视点和中国气象观测、预报业务体系紧密结合,有相当一部分具有在未来气象现代化建设中“拿来就能用”的鲜明特征。这样的一批完整的基础研究类成果在以往是不多见的。这一使中国气象现代化获得巨大效益的项目,充分体现了国家科技部对此类研究项目的正确引导,体现了项目首席科学家和专家组对中国大气科学基础和应用研究方向的敏锐洞察力。我在这里对科学家们表示由衷的钦佩,对他们获得的成果表示衷心的祝贺。

在人类有意识地运用科学技术手段认识自然的不长的科学文明史中,基础科学研究有长远的根本性意义,它是一切科学技术创新的源泉。怎样将基础研究中的创新成果尽快转化为具有应用意义的技术创新,例如从大气科学乃至各种交叉学科的基础研究创新研究成果,到对各种尺度大气行为,乃至地球各圈层的作用及影响做出准确的预测,又是有强烈责任意识的中国科学家必须时时面对和思考的问题。大气科学以及再更为广泛意义上的地球环境科学,是在科学实践中推动基础研究的重要领地,我很高兴,通过这套专著,通过这个项目看到了一批大气科学领域里的科学家,在他们的前辈们努力的基础之上,正在扎扎实实地向着具有重要战略意义的领域奋勇前进。

本世纪头 20 年是我国社会、经济持续快速发展的重要历史时期,也是中国气象事业发展的重要战略机遇期,同时也面临着各种挑战。中国气象局提出的建设“四个一流”、完善“四个体系”、“实现从气象大国向气象强国的跨越,总体水平达到国际先进水平”的战略目标是鼓舞人心的,又是实事求是的。这一宏大目标催人奋进,需要调动各方面的积极性,通过艰苦努力才能得以实现。实现这些目标的重要途径之一,就是突出重大项目的带动作用。本项 973 项目的研究,其带动作用巨大,很有借鉴作用。因为项目充分体现了面向国家发展需求,进一步贴近社会经济发展和人民生活,进一步服务于解决国家可持续发展有关的大问题的时代特征,对我们事业的发展有不可替代的推进作用。

新的历史阶段我们肩负着中国气象事业发展的历史重任,面临着难得的发展机遇和不容回避的严峻挑战。我相信参与项目的同志们会心怀更远大的目标,在已有工作的基础上,更加勤奋工作,不辱我们的使命。

最后我希望这套研究专著系列丛书能对所有关注本专题的读者有重要的参考价值,对我国暴雨领域的研究水平的进一步提高、对我国暴雨的监测、预测水平的提高能起积极的推动作用。我衷心祝贺这套系列丛书的正式出版。

秦大河

中国气象局局长
中国科学院院士

国家 973“我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究” 项目研究专著系列丛书

全卷前言

梅雨锋暴雨是我国长江中下游地区夏季汛期的主要气象灾害,由于它的持续性和突发性,往往会造成国民经济和人民生命财产的巨大损失。1998 年夏季长江流域持续强暴雨引发长江流域八次洪峰,造成了国家 3000 多亿元人民币的经济损失和 1000 多的人员死亡。2003 年汛期淮河流域再次遭受 1991 年以来最大的洪水,其原因仍然是多次梅雨锋暴雨过程引发的淮河洪水泛滥。造成这两次长江流域和淮河流域持续洪峰的主要原因是由于多发性、突发性的梅雨锋中尺度暴雨系统在 1998 年和 2003 年分别持续活跃在长江流域和淮河流域,因此,梅雨锋中尺度暴雨是我国汛期重要的天气灾害。但是,暴雨预报是十分困难的,它的难点是特大暴雨的“突发”、“多发”及其“转折”的关键时机难于捕捉,特大暴雨的落区、突发时间、强度突变及其成灾分布的估测都有很大的难度,其根本原因是:对大气环流的短时突变和强对流天气系统发生、发展的机理还不甚了解,其中包括大气内部的动力机制及其与外部环流相互作用的物理过程和热带、中纬度各种天气系统异常变化的机理,尤其是多尺度相互作用的研究还相当薄弱。以上分析清楚地表明提高对梅雨锋暴雨的监测与预测能力是目前国家迫切需要解决的重大科学技术问题,它直接影响到我国减灾防灾和国民经济与社会持续发展的综合能力的提高。为此,1999 年在国家科技部支持下,由中国气象局主持,中国气象科学研究院牵头,与中国科学院、高等学校所属十多个单位联合,组织了国内近 80 名暴雨研究领域中的精英,实施了我国有史以来最大的暴雨研究计划——国家重点基础研究发展规划项目“我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究”。该项目总体来讲要实现三个科学目标:第一,初步了解梅雨锋中尺度暴雨系统及其大尺度环流异常背景的物理模型;第二,提出一套能探测中尺度系统的大气遥感理论和方法以及形成有应用前景的科研成果和遥感产品,从而提高中尺度暴雨的监测能力;第三,完成配有变分同化系统、有自主知识产权的中尺度暴雨数值预报模式系统,提高梅雨锋中尺度暴雨的预测能力。

在国家科技部的领导下,在中国气象局的大力支持下,项目全体研究人员紧紧围绕上述科学问题开展了近 5 年的研究工作,取得了一系列具有创新水平和应用前景的研究成果,其中包括本项目提出的梅雨锋暴雨的多尺度物理模型和取得重要进展的梅雨锋动力学研究,这些都进一步加深了对梅雨锋暴雨的多尺度结构和形成机理的认识。利用卫星遥感和多普勒雷达探测中尺度暴雨系统的理论和方法,其研究成果水平有的达到了国际先进水平,有的成果填补了国内的空白,从而为提高我国中尺度暴雨系统的探测能力提供了理论和方法基础。在提高梅雨锋暴雨预测能力上,本项目做了很大的努力,在三个方面取得了实质性的进展:第一,我们发展了具有自主知识产权的中尺度暴雨数值预报模式,并由项目支持发展的三维变分同化系统集成成为中尺度暴雨预报模式系统,并已于 2002 年和 2003 年汛期投入试验性应用,在 2003 年淮河防汛中发挥了作用;第二,我们自己发展了两种目前国际上最为

先进的非静力、高分辨的新一代暴雨数值预报模式,其中一种完全建立在统一模式基础上,另一种建立在由项目科学家发展的守恒、保真计算格式所设计的动力学框架基础上,这两种新一代数值模式完全代表了中国新一代数值模式的水平;第三,我们发展了具有自己特点的云物理模式,用湍流穿越理论发展的边界层模式和二阶边界层模式以及陆面过程模式,这些物理过程数值模式都具有很强的描写云内或中尺度系统发展的物理过程的能力。同时,为了获取中尺度暴雨系统的观测资料,项目还成功地组织了 2001/2002 年的七省一市以及 2003 年的三省的暴雨野外试验,取得了宝贵的中尺度暴雨资料,规范化地建立了暴雨野外试验数据库。本项目上述近 5 年的重大研究成果都将全面地、完整地反映在本研究专著系列丛书之中。我们希望通过由本项目主要研究骨干编写的,由气象出版社出版的这套国家 973 项目研究专著系列丛书能正确、全面地反映出本项目研究成果的科学性、先进性和它的应用前景,能真正成为本项目重大成果反映的一个真实、科学而又重要的侧面。

反映本项目研究成果的研究专著系列丛书全套分为八个分卷和一个综合卷,八个分卷分别反映本项目在梅雨锋中尺度暴雨的结构和机理、致洪暴雨及成灾研究、梅雨锋动力学研究、卫星遥感反演中尺度暴雨的理论和方法、多普勒雷达反演中尺度暴雨的理论和方法、配有变分同化系统的中尺度暴雨数值模式系统的详细介绍、新一代中尺度暴雨数值模式和物理过程数值模式的研究、2001/2002 年长江中下游梅雨锋暴雨的野外试验等八个方面的内容,最后是综合卷,综述本项目的研究成果,它的创新性和应用前景。虽然全卷研究专著系列丛书反映了国家 973 有关暴雨研究项目的全部研究成果,内容丰富,基本上代表中国科学家在这个领域目前的总体研究水平和研究成果,但它并不是我国在这一领域的研究综述和评述,还有不少在这一领域中的研究成果并没有在本专著系列丛书中反映,因此,本书在全面反映我国在这个领域的研究和成果方面还存在一定的局限性。尽管如此,由于本项目集中了我国在暴雨研究领域中的主要精英,通过国家 973 项目展开了近 5 年的研究,其研究成果通过本研究专著系列丛书凝炼,因此,它仍不失为我国反映近年来暴雨研究成果的重要著作,它的出版既反映了中国气象学家近年来暴雨研究的重要成果,也为中国和其他国家研究暴雨的同行提供一套暴雨成因、监测和预测方面极有价值的参考专著。

虽然我们这套研究专著系列丛书仅用了 1 年多时间完成的,但它的确凝炼了本项目近 80 位研究人员近 5 年的辛勤劳动,我们作为该国家 973 项目的主要负责人、本系列丛书的总主编,向为本研究专著系列丛书的完成做出贡献的全体科学家和编辑人员致以万分的谢意,也向为本系列丛书做出重要贡献的陶诗言院士表示我们的敬意。最后,我们借此机会向始终全力支持我们研究工作的国家科技部和中国气象局的各级领导表示衷心感谢!

国家重点基础研究发展规划项目
《我国重大天气灾害形成机理和预测理论研究》

首席科学家 倪允琪 教授
专家组负责人 周秀骥 院士

本书前言

每年的 5~8 月期间,我国江淮流域往往出现持续性降水,局部地区还经常出现大到暴雨,造成严重的洪涝灾害,而形成该地区洪涝灾害的主要天气系统是梅雨锋和锋面上的中尺度扰动,因此,研究锋面和锋面附近中尺度扰动的发生与发展是一具有重要意义的课题。

在“我国重大天气灾害的形成机理和预测理论研究”项目(973)的资助下,我们对锋面动力学以及中尺度扰动发展等方面的问题进行了系统深入的研究,这本册子就是我们在这些方面研究成果的一个总结。全书由两部分组成:第一部分是关于包括梅雨锋在内的锋面动力学问题,主要包括锋面的基本知识、适应锋生理论、地形和摩擦对锋面结构和强度的影响以及锋面与非绝热过程之间的相互作用。第二部分主要是关于中尺度扰动的稳定性、湿位涡动力学以及与暴雨形成环境中多尺度相互作用有关的一些动力学问题。介绍了大气中的斜交型不稳定扰动的结构特征和对称不稳定问题的非线性判据,从位涡动力学的角度分析了暴雨等中尺度过程的特点以及从暴雨形成环境中多尺度相互作用的观点研究了与边界层和阻高有关的动力学问题。作为 973 项目的一个阶段性总结,本书无论是在体系的完整性还是在内容的衔接上都有一定的欠缺,这将是我們以后继续努力的方向。

本书编写分工如下:第一章,伍荣生、王元;第二章,伍荣生、潘益农、方娟;第三章,谈哲敏、王元、王春明;第四章,张立凤;第五章,陆维松;第六章,高守亭;第七章,谭本植。最后由伍荣生、高守亭分别对一、二、三章和对四、五、六、七章进行整理和协调。

摘 要

锋面和锋面附近的中尺度扰动是造成暴雨灾害的一个重要因子,因此,研究锋面和锋面附近中尺度扰动的发生与发展具有重要意义。在“我国重大天气灾害的形成机理和预测理论研究”项目(973)的资助下,我们对锋面动力学以及中尺度扰动发展等方面的问题进行了系统深入的研究,本书是该方面研究成果的一个总结。全书由两部分组成:

第一部分主要是关于包括梅雨锋在内的锋面动力学问题。在这一部分中,我们首先对锋面的一些基本动力学特点进行了介绍,然后,在此基础上我们从数值模拟和理论分析两方面讨论了地转适应锋生过程,指出:1)在没有大尺度强迫场的作用下,满足一定条件的初始不平衡流通过地转适应过程也可以形成锋面,此类锋面特征与观测到的一些强冷锋的特点非常类似;2)在地转适应过程中,锋生和锋消现象交替发生,垂直运动速度和位温梯度存在明显的振荡现象。实际大气中锋面的形成、结构与环流同大尺度气压场、地形、边界层及非绝热加热等过程密切相关,因此,在第一部分的最后,我们详细讨论了非守恒过程(地形、摩擦、非绝热过程)对锋面系统的影响,主要结果有:1)地形、边界层摩擦对冷锋的倾斜、跨锋的环流分布有重要的影响作用。冷锋位于山地迎风坡时,其坡度减小,而位于背风坡时则坡度增大,另外,地形可以明显地改变冷锋锋面环流的强度和分布;暖锋的倾斜主要与其暖域中地转流、锋面移速有关,地形的影响相对较小,由于边界层摩擦的影响,地面暖锋附近会出现一窄而强的上升运动带,可触发出暖锋锋后的对流系统;2)锋面环流与非绝热加热场之间存在非线性正反馈过程,此反馈过程可加速锋面不连续的出现;3)梅雨锋适应锋生过程中激发的惯性重力波及其与对流之间的正反馈作用可以导致中尺度双雨带的形成和维持。

本书的第二部分主要是关于中尺度扰动的稳定性、湿位涡动力学以及与暴雨形成环境中多尺度相互作用有关的一些动力学问题。介绍了大气中的斜交型不稳定扰动的结构特征和对称不稳定问题的非线性判据,从位涡动力学的角度来分析暴雨等中尺度过程的特点,以及从暴雨形成环境中多尺度相互作用的观点研究了与边界层和阻高有关的动力学。主要结果有:1)在 Ri 较小时,中尺度波段内任何尺度的扰动都能出现不稳定,但不同的不稳定类型对波长是有选择性的,对称型扰动、横波型扰动和斜交型扰动的不稳定增长率最大值分别出现在 β 中尺度波段、次天气尺度波段和几百至上千千米的 α 中尺度波段上;2)利用新的广义非线性亚临界对称稳定性判据解释了强暴雨成因,即强暴雨形成前期,高空纬向风场迅速增强,达到某一临界值时,尽管此时超临界对称不稳定条件并不满足,但仍然可能产生亚临界对称不稳定,激发强暴雨的形成,从而又使得高空纬向风场继续增强,风速垂直切变继续增大,最后满足超临界对称不稳定条件,使得暴雨系统更强;3)从原始方程出发推得包含热量和质量强迫影响下的湿位涡方程,指出湿位涡物质具有不可穿透性,是一个很好的强降水系统的示踪物,在湿位涡方程的基础上得到了全型涡度方程,并指出上滑倾斜涡度发展理论对解释和了解中尺度暴雨系统的发展和移动是非常重要的;4)推得了复杂下垫面情况下的 Ekman 抽吸公式,并指出边界层可以导致 β 平面上西行偶极子的不稳定。

Dynamics of Front and Mesoscale Disturbances

WU Rongsheng GAO Shouting TAN Zhemin et al.

Abstract

Fronts and mesoscale disturbances associated are main weather systems that frequently trigger rainstorms and sometimes cause ruinous disasters in China. The research focusing on the development and evolution for those catastrophic weather systems becomes an overarching objective. Under the persistent funding supported from the State Key Program CHERE, the implementation of the research activities involving in frontal dynamics and the development of the mesoscale disturbances has been indeed carried out for years (1999—2003) and their main theoretical frameworks, and most importantly, the emerging prospect in present achievement are summarily demonstrated in this book in which the main context could be logically divided into two parts:

In Part I, the basic characteristics of the frontal dynamics, especially for Meiyu front, are introduced. Furthermore, the geostrophic adjustment in frontogenesis is discussed in two main streams, stemming from the theoretical analysis and argument to numerical replication and modelling. It is found that, without the large-scale forcing, the front and that strong cold front observed may also be replicated through geostrophic adjustment process under some approximate conditions. Nevertheless, during the geostrophic adjustment process, frontogenesis and frontolysis occur alternatively. Hence, the oscillations of vertical velocity and the gradient of the potential temperature are in evidence. On the other hand, in the real atmosphere circumstance, the frontal strength, its structure and the corresponding circulation are closely influenced by so-called non-conservative processes such as topographic effect, diabatic process, friction and so on. Those effects on the frontal evolution are thus discussed in details of Part I. The main results are as follows. 1) The slope of cold front and circulation across the front are affected through the topography and the boundary-layer friction, significantly. The slope of the cold front is decreased in the upstream side and increased in the lee side of a mountain. On the contrary, the effect of the topography on the slope of the warm front is relatively weak. The slope of the warm front is mainly determined by the geostrophic flow in the warm side and the movement speed of the front. In addition, a narrow but strong upward motion will occur near the surface warm front when the boundary-layer frictional effect in consideration, which may trigger the convective system behind the warm front. 2) There exists a nonlinear positive feedback between the frontal circulation and the diabatic heating fields, which will accelerate the formation of the front discontinuity.

3) The positive feedback between the convection and the inertio-gravity wave induced by the geostrophic adjustment in Meiyu front system plays an important role in the formation and maintenance of the mesoscale double rain-band.

The content and statement that surrounds Part II are intent to deal with the dynamic problems ranged from stability of the mesoscale disturbance, the mechanism of moist potential vorticity dynamics and the multi-scale interaction in the rainstorm systems. Firstly, the selectivity of unstable growth rate to wavelength and the characteristics of mesoscale instability are discussed. It is found that, when Richardson number is small, the instability can appear in the whole mesoscale wave band, but there exists the selectivity of different instabilities to different wavelength. The maximum unstable growing ratios of symmetric, transverse wave and heterotrophic disturbance appear in meso- β scale, sub-synoptic scale and meso- α scale wave band, respectively.

Secondly, a new criterion of generalized nonlinear symmetric stability is proposed. With this criterion, the formation of the strong mesoscale rainstorm is well explained. In fact, before the formation of the strong rainstorm, the upper-level latitudinal wind referred increases rapidly and reaches a critical value, at which the sub-critical symmetrical instability is likely to occur, even if the criterion of supercritical symmetrical instability is not satisfied. Thus, the strong rainstorm is to be formed and the upper-level velocity continues to be increased, vertical velocity shear to be increased, and finally the criterion of the supercritical symmetrical instability is satisfied and consequently the rainstorm will become much stronger.

Thirdly, the moist potential vorticity (MPV) equation is derived from atmospheric primitive equations with both heat and mass forcing, with which the impermeability theorem of the "MPV substance" is proved. It is clarified that both heat and mass forcing induced by the intensive precipitation in torrential rain systems can lead to the MPV anomaly. The "MPV substance" anomaly is a dynamical tracer for tracking a torrential rain system. Based on the MPV equation and the theory of slantwise vorticity development, the theory of up-sliding slantwise vorticity development (USVD) is proposed. The numerical result of a torrential rain in Changjiang-Huaihe region shows that the conditions of the theory of USVD are easy to be satisfied just in front of the mesoscale rainstorms in the downwind direction, that is to say, the theory of USVD is important to the development and movement of this kind of system.

Finally, some dynamical problems related to the interactions between mesoscale and large-scale weather systems and the dynamics of Ekman boundary layer with complex boundary and formula of the Ekman pumping are investigated. It is found that, due to the influence of the boundary layer, the westward-moving dipoles on beta plane are unstable.

目 录

序

全卷前言

本书前言

摘要

Abstract

第一章 锋面动力学基础	(1)
1.1 锋面结构的一般特征	(3)
1.2 锋生与锋生函数	(6)
1.3 梅雨锋及其锋面降水的基本特点	(8)
1.4 梅雨锋生与温带锋生的异同	(11)
参考文献	(22)
第二章 适应过程与锋生	(27)
2.1 地转适应和大气锋生	(29)
2.2 地转平衡态的锋面不连续	(32)
2.3 地转适应锋生过程的数值模拟	(36)
2.4 不平衡流的演变及适应锋生过程	(42)
参考文献	(55)
第三章 非守恒过程对锋面的影响	(57)
3.1 地形、边界层摩擦与低层冷锋面结构	(59)
3.2 地形、边界层摩擦与低层暖锋面结构	(71)
3.3 非绝热过程与锋生	(81)
3.4 非绝热过程与中尺度双雨带的形成	(90)
参考文献	(98)
附录	(100)
第四章 中尺度不稳定扰动的性质和结构	(101)
4.1 不稳定增长率的选择性	(104)
4.2 α 中尺度不稳定扰动的结构和性质	(110)
4.3 β 中尺度不稳定的结构	(113)
4.4 凝结加热对中尺度不稳定的影响	(117)
4.5 中尺度扰动不稳定的半圆定理	(121)
参考文献	(122)
第五章 非线性亚临界对称不稳定	(125)
5.1 基本方程和广义能量方程	(127)
5.2 非线性亚临界对称不稳定判据	(130)