

国家重点基础研究发展规划项目

研究专著系列丛书之一

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

长江流域梅雨锋暴雨 机理的分析研究

赵思雄 陶祖钰
孙建华 贝耐芳 等著

气象出版社

56.425521
380

国家重点基础研究发展规划项目 研究专著系列丛书之一
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

长江流域梅雨锋暴雨 机理的分析研究

赵思雄 陶祖钰
孙建华 等

江苏工业学院图书馆
藏书章

气象出版社

内 容 简 介

本书对长江流域梅雨锋暴雨作了比较系统的研究,涉及多梅年和少梅年的环流特征,梅雨锋结构及两类低压(扰动)的发展,梅雨期间突发型暴雨、频发型暴雨、副热带高压边缘暴雨及非梅雨暴雨的发生及其演变;利用外场试验的多种加密资料,集中研究了暴雨中尺度系统的基本特征;采用非静力数值模式进行模拟,复制出梅雨锋的结构,中尺度涡旋及中尺度雨团,又对影响暴雨过程的物理因子作了讨论;提出了长江流域梅雨锋暴雨的中尺度物理模型。其结果对了解梅雨锋暴雨的形成机理,改进灾害天气预报均有重要应用价值。

本书主要供气象、水文部门的研究人员和业务工作者,高等院校有关专业的大学生和研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江流域梅雨锋暴雨机理的分析研究/赵思雄,陶祖
钰等著. —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 7-5029-3866-4

I. 长... II. ①赵...②陶... III. 长江流域-梅雨-研究
IV. P426.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 113943 号

出版者:气象出版社 地 址:北京海淀区中关村南大街 46 号

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn> 邮 编:100081

E-mail:qxcsb@263.net 电 话:总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

责任编辑:吴庭芳 终 审:周诗健

封面设计:北京蓝色航线企业形象策划有限公司 版式设计:吴庭芳

责任校对:石仁

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

开 本:787×1092 1/16 印 张:18.75 字 数:445 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 7-5029-3866-4/P·1365

印 数:1~1000

定 价:56.00 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

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

赵思雄 陶祖钰 孙建华 贝耐芳

葛国庆 郑永光 黄艳芳 张凤 董佩明 齐琳琳

高坤 王建捷 张庆红 王鹏云 程麟生

丛书主编助理:孙建华 贝耐芳

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观点和中国气象观测、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。

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

暴雨是一种重要的灾害天气系统,对工农业生产和人民的生命财产构成严重的威胁,长江流域尤甚。特别是随着经济建设的开展,长江流域经济带的开发,暴雨和洪涝灾害的影响受到人们更多的关注。1998年6~8月珠江、闽江、长江以及嫩江、松花江同时出现了严重的洪涝灾害,长江流域发生了自1954年以来的一次全流域性大洪水,松花江流域也遭受了一百多年来未见过的特大洪水。准确的暴雨预报已成为国家和公众的迫切要求。而暴雨的预报和研究,涉及到多尺度系统以及它们之间的相互作用,对于这些科学上的关键问题,尤其是暴雨等系统发生发展的机理很有必要进一步弄清。

国家科技部为解决国民经济和人民生活中亟待解决的问题,设立了国家重点基础研究“我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究”项目。科技部要求本项目第二部分集中对我国重大灾害天气的机理和预测理论进行研究。本书“长江流域梅雨锋暴雨的机理分析研究”正是在我们研究工作的基础上完成的。

全书共分为五章:

第一章对梅雨锋暴雨的环流特征进行了研究,包括丰梅年与少梅年的环流特征,“长梅”年与“二度梅”年环流的对比,以及季风的短期变化对长江流域梅雨降水的影响等。第二章对梅雨锋暴雨的天气尺度系统进行了研究,首先对梅雨锋的定义进行了综述,分析了梅雨锋的典型结构,探讨了梅雨锋的复杂性,还对梅雨锋上发生发展的低压的动力学特征作了探讨。第三章着重对梅雨锋暴雨的中尺度系统进行了研究,讨论了这些中尺度系统的基本特征,并对“98.7”突发大暴雨,“99.6”频发大暴雨,本项目外场观测试验期间的暴雨以及非梅雨锋暴雨等的中尺度系统进行了诊断分析研究。第四章对梅雨锋暴雨进行了数值模拟研究,包括:梅雨锋的结构,梅雨锋上涡旋系统的形成与发展,中尺度雨团特征;同时还讨论了凝结潜热、行星边界层物理过程、云微物理过程、地形等对暴雨的影响。第五章是全书的总结。在全书工作的基础上,提出了梅雨锋暴雨的大尺度和中尺度的模型,并通过外场试验的加密观测资料进一步完善和发展了物理模型。此外,还从大尺度环境场出发,比较了同处于亚澳季风区的东亚和南亚大暴雨的基本特征,相似点和不同点,还揭示了梅雨锋暴雨期间 β 中尺度对流系统和中尺度辐合线的活动等。

本书的撰写由赵思雄负责。

各章撰写人如下:

前 言 赵思雄

第一章 负责人:赵思雄 参加人:孙建华

第二章 负责人:陶祖钰 参加人:葛国庆、郑永光、黄艳芳、张凤、赵思雄

第三章 负责人:孙建华 参加人:董佩明、齐琳琳、贝耐芳

第四章 负责人:贝耐芳 参加人:高坤、王建捷、张庆红、王鹏云、董佩明、程麟生、赵思雄

第五章 负责人:赵思雄 参加人:孙建华、贝耐芳、Ghulam Rasul

全书由赵思雄、陶祖钰统一文笔,进行修改润色,最后由赵思雄定稿。由于时间匆忙,难免有不足之处,敬请读者帮助指正。

摘 要

本书是科技部“973”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”第二课题——“中尺度强暴雨系统发生发展机理和物理过程的研究”的研究成果之一。集中对 20 世纪 90 年代以来的多次梅雨锋暴雨过程的天气尺度特征,尤其是中尺度特征进行了研究。首先采用多种非常规资料,包括高空、地面加密资料,静止卫星资料,多普勒雷达资料,风廓线仪资料,热带测雨卫星资料(TRMM)及改进的大气垂直探测器(ATOVS)资料对中尺度系统做了深入的动力学诊断研究,在此基础上采用高分辨的有较完全物理过程的中尺度非静力模式,对暴雨中尺度系统的发展过程及其影响物理因子进行了数值模拟试验研究,进一步确认了由诊断研究所揭示出的一些新的事实。在本项研究的基础上,又参考了前人的结果,进一步发展了东亚梅雨锋暴雨的中尺度模型,并与南亚季风区的暴雨物理模型做了对比,揭示出了它们之间的异同。由于暴雨系统的研究与预报涉及到多尺度系统和它们之间的相互作用,为此,本书在集中讨论中尺度系统的同时,必然要涉及到相关的大尺度环流,以及梅雨锋的结构特征等。对于这些方面的内容本书亦专列章节做了必要的讨论。为论述问题的方便,本书除前言外,共分五章,其主要内容如后:

在前言中阐述了本书所涉及研究内容的必要性与紧迫性。再次指出,暴雨是一种重要的灾害天气系统,对工农业生产和人民生命财产安全构成严重威胁,特别是 1998 年 6~8 月珠江、闽江、长江以及嫩江、松花江同时出现了严重的洪涝灾害,长江流域发生了自 1954 年以来的一次全流域性的大洪水,松花江流域也遭受了一百多年来未遇的特大洪水。国家科技部为解决与国民经济和人民生活中密切关联的问题,设立国家重点基础研究项目,对此开展了专门的研究。

第一章主要对梅雨锋的环流特征进行了研究。尤其集中对 1998 年(丰梅年)与 2001 年(少梅年)的环流特征作了对比。1998 年的梅雨期分为两段,其中对流活跃,降水强度大,造成长江中下游地区严重洪涝灾害的“二度梅”与中高纬双阻塞高压形势的形成及维持,有利冷空气南下等关系最为密切。此外,季风气流(或低空西南气流)的短期变化与雨带的进退和维持亦有密切关系,尤其是在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 的纬度带内出现的低空风场辐合带对梅雨锋降水有重要作用。然而 2001 年中高纬系统的形势与上述情况相反,致使降水偏少。

第二章对梅雨锋暴雨的天气尺度系统进行了研究。首先对梅雨锋的定义进行了综述,分析了梅雨锋的典型结构特征,指出了梅雨锋结构的复杂性和多样性。梅雨锋雨带上的降水量并非均匀分布,强暴雨集中在几个主要的中心。而这些降水中心与梅雨锋上低压的形成以及风场扰动的产生有密切关系。大体来说,梅雨锋上至少存在两类低压。这两类低压的发生发展是有一些区别的,它们与暴雨预报的改进有密切关系。

第三章集中对梅雨锋暴雨的中尺度特征进行了研究。讨论了自 20 世纪 90 年代以来,强梅雨锋暴雨中尺度系统的基本特征。强调指出:中尺度系统是暴雨的直接制造者。通过可能获取的多种常规与非常规资料对长江流域梅雨期间突发型暴雨与频发型暴雨的中尺度系统进行了对比。前者具有明显的 β 中尺度特点,强度更大,如“98.7”武汉、黄石大暴雨,后者除 β 中尺度系统影响外,有时可发展而成较大尺度的系统,具有一定的斜压性。暴雨发生前低层

有明显的不稳定,风场(尤其是低层风场)有小的扰动移向暴雨区。在中尺度低压和暴雨的发生阶段,风场的动力作用是显著的,而在中尺度低压和暴雨的发展阶段,热力作用的影响不可忽视。本章还对外场试验期间获得的特殊资料进行了深入分析,揭示了中尺度对流系统的活动特点。对非梅雨锋暴雨的中尺度系统的特征也作了探讨,揭示出这些中尺度系统发生、发展、加强的原因及城市化的进程对它们的可能影响。

第四章对梅雨锋的中尺度系统进行了模拟研究。在采用实际观测资料揭示新的事实的基础上,使用非静力数值模式进行了大量的模拟试验,较成功地复制出了梅雨锋的结构,梅雨锋上中尺度涡旋系统的发展以及中尺度对流系统的特征等,再现了上述系统的主要特点。由于模式能连续积分,因而在一定程度上可以反映这些系统时间和空间连续变化的状况。对影响暴雨过程的物理因子的试验还表明,潜热对强对流系统的启动和发展十分重要;边界层过程通过对大气低层运动场,水汽场及不稳定度的调整,从而影响到暴雨预报的结果。此外,还对云物理过程,中尺度地形等对暴雨预报结果的影响作了探讨。

第五章是全书的总结。在大量研究工作的基础上,提出了梅雨锋暴雨的天气尺度与中尺度的物理模型。在 α 中尺度对流系统中有时会有一些对流线发展,一般由一些 γ 中尺度对流单体呈线状排列构成。暴雨产生的边界层出流,常形成边界层辐合线,可能触发新的对流并组织形成新的对流线。当然这些对流系统的发生发展,离不开梅雨锋等大尺度有利环境。另外,东亚暴雨与南亚暴雨物理模型的比较表明:东亚的暴雨与梅雨锋及其上的中尺度低压(扰动)有关,而南亚主要是季风槽,其北边的偏东气流沿喜马拉雅山南麓向西推进,在这支气流上一次次季风扰动可引发该地区的强降水。

Study on Mechanism of Formation and Development of Heavy Rainfalls on Meiyu Front in Yangtze River

ZHAO Sixiong TAO Zuyu SUN Jianhua BEI Naifang et al.

Abstract

In this book, the main results of the State Key Basic Research Project “study of formation mechanism and physical processes of mesoscale systems during strong Meiyu heavy rainfalls” are included. The above mentioned research was one part of the main program— “study of formation mechanism and prediction theory of main disastrous weather in China”. Our work is associated with the synoptic scale characteristics, especially focusing on mesoscale characteristics of some Meiyu (Baiu) front heavy rainfalls during the recent years. Firstly, the dynamic analysis of mesoscale system was done by using the various kinds of non-conventional data, including 3 or 6 hourly upper air sounding, denser surface data, geostationary satellite images, Doppler radar data, wind profiler data, TRMM data, ATOVS data and so on. Based on the mentioned above, the formation and development of the heavy rainfalls have been reproduced successfully and the impacts of the related physical processes have been simulated reasonably by using the non-hydrostatic numerical model with high resolutions and complete physical processes. Some new facts have been revealed and, therefore, the mesoscale physical model of Meiyu front heavy rainfalls in East Asia has already been proposed.

It should be emphasized that the study of heavy rainfall is associated with multi-scale system and the interaction between the different scale systems. It is very important and very difficult. Therefore, not only mesoscale system, the direct influencing system on heavy rainfalls, should be paid more attention to, but also synoptic scale systems, even the general circulation, should be clarified. For this reason, the circulation characteristics and the structure of larger-scale Meiyu front have also been discussed in this book. In order to describe conveniently, five chapters and an introduction are included. Their main points are as follows:

In the introduction, the importance of the studying of heavy rainfalls and mesoscale systems are emphasized. Heavy rainfall is one kind of the main disastrous weathers, which brings very serious damages to the Yangtze River Valley. Some scientific problems remain to be clarified and prediction theories and techniques still need to be improved even though some progresses have been made during the last thirty years since the severe flood in Henan Province in August 1975. Particularly during June-August 1998, the severe heavy

rainfalls and flood occurred successively in the Pearl River, Yangtze River and Songhua River. And especially the Yangtze River has suffered flood which was the severest one since 1954. For solving the scientific problems and getting better understanding of the strong heavy rainfall mechanism, the Ministry of Science and Technology of China set up the State Key Basic Research Project mentioned above to study the heavy rainfalls and mesoscale system in the Yangtze River Valley during Meiyu period.

In Chapter I, the circulation characteristics during Meiyu front heavy rainfall were discussed, including those in rich and poor Meiyu years, respectively. The circulations of longer Meiyu period year and the “two stages” Meiyu year were discussed, and the effect of short range monsoon variation on Meiyu precipitation in Yangtze River was investigated. The circulations were compared between rich year (1998) and poor year (2001). In 1998, there were two stages during Meiyu season. At the second stage of Meiyu rainfalls, strong convections were very active and strong heavy rainfalls occurred, causing severe flood in the middle-lower reaches of the Yangtze River. It was closely related with the maintenance of the two blocking highs (Ural Mountain and Okhotsk Sea) in the mid-latitudes. This situation was very favorable for southward moving of the cold air from North China and provided a very good environment for the occurrence of heavy rainfalls. In addition, there existed a close relationship between the short range variation of monsoon current and the position of rainbands, especially the convergence zone in lower troposphere ($20^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$) which contributed to Meiyu front heavy rainfalls greatly. However, basically, the circulation in middle-higher latitudes in 2001 was quite different from that in 1998. They were out of phase.

In Chapter II, the synoptic scale systems related with Meiyu front heavy rainfalls were studied. Firstly, the definition and previous research were reviewed, the typical structure of Meiyu front was analyzed, and the complicated situation of Meiyu front was revealed. Then the dynamics of formation and development of Meiyu front lows were investigated. There existed two kinds of lows (disturbances) at least on the Meiyu front, and there were some differences in the mechanism of formation and development of the two kinds of lows (disturbances).

In Chapter III, the research was focused on the characteristics of mesoscale systems because the Meiyu front heavy rainfalls were caused by the mesoscale systems directly. The basic characteristics of the mesoscale systems were discussed and in addition, the sudden heavy rainfall in July 1998 and frequent heavy rainfall in June 1999 were diagnosed, respectively. The former possessed obvious characteristics of meso- β scale systems, the latter could develop to a larger scale system besides the effect of meso- β scale systems, furthermore, with baroclinicity in a certain degree. At the formation stage of the mesoscale low and heavy rainfall, the dynamical process was predominant. And at the developing stage of the mesoscale low and heavy rainfall, the thermodynamic effect can not

be neglected. In addition, in comparison with Meiyu heavy rainfalls, the mesoscale systems during non-Meiyu rainfall were studied.

In Chapter IV, the numerical simulations of Meiyu front heavy rainfalls have been conducted by using non-hydrostatic mesoscale numerical models. The structure of Meiyu front, the formation and development of mesoscale vortex, and the characteristics of mesoscale rain clusters have all been successfully reproduced. Meanwhile, the physical and dynamic factors influencing heavy rainfall formation have been extensively investigated by using numerical simulation results. It was noticed that the effects of latent heating release, the physical processes in planetary boundary layer, the cloud microphysical processes, and the terrain on Meiyu heavy rainfall should be considered in detail, respectively.

In Chapter V, there are summary and conclusions. Based on the above mentioned research work, the large scale and mesoscale physical models of Meiyu heavy rainfall were proposed. In addition, the basic characteristics of heavy rainfalls in East Asia monsoon area and South Asia monsoon area were compared and the differences and similarities between them were revealed. The heavy rainfalls in East Asia are associated with Meiyu front whereas the heavy rainfalls in South Asia are related to monsoon trough. When the monsoon prevails, the perturbation of the summer monsoon current causes the heavy rainfall in South Asia and the vortex (or disturbance) on Meiyu front produces heavy rainfalls in East Asia.

目 录

序

全卷前言

本书前言

摘要

Abstract

第一章 梅雨锋暴雨的环流特征	(1)
1.1 梅雨期的降水特点	(3)
1.2 丰梅年与少梅年的平均环流特征	(5)
1.3 1998 年“二度梅”及 2001、2002 年梅雨期的环流演变特征	(8)
1.4 季风的短期变化对长江流域梅雨降水的影响.....	(13)
1.5 1998 年个例与历史上“长梅”和“二度梅”年环流的对比	(15)
1.6 本章小结.....	(18)
参考文献	(19)
第二章 梅雨锋暴雨的天气尺度系统研究	(21)
2.1 梅雨锋的综述和定义.....	(23)
2.2 典型梅雨期的梅雨锋结构.....	(31)
2.3 梅雨锋结构的多样性.....	(43)
2.4 梅雨锋上引发暴雨的低压动力学研究.....	(52)
2.5 本章小结.....	(63)
参考文献	(64)
第三章 长江流域梅雨锋暴雨的中尺度系统的诊断研究	(67)
3.1 梅雨锋暴雨中尺度系统的基本特征.....	(69)
3.2 1998 年长江流域突发型大暴雨的中尺度系统分析	(71)
3.3 1999 年 6 月长江流域的频发型大暴雨的中尺度系统的诊断研究	(89)
3.4 2002 年 6 月外场试验特殊加密观测期间中尺度对流系统的分析研究	(103)
3.5 非梅雨锋暴雨的中尺度系统分析	(126)
3.6 本章小结	(143)
参考文献.....	(144)
第四章 梅雨锋暴雨的数值模拟研究	(147)
4.1 梅雨锋结构的数值模拟	(149)
4.2 梅雨锋上涡旋系统的数值模拟	(168)
4.3 中尺度雨团的数值模拟	(203)
4.4 凝结潜热对梅雨锋上暴雨过程影响的数值模拟	(211)

4.5 行星边界层作用的数值模拟	(220)
4.6 云物理过程的数值模拟	(228)
4.7 地形对梅雨锋暴雨影响的数值模拟	(239)
4.8 高分辨率数值模拟研究	(247)
4.9 本章小结	(266)
参考文献.....	(269)
第五章 梅雨锋暴雨的多尺度模型.....	(273)
5.1 大尺度和中尺度系统的概念模型	(275)
5.2 外场试验期间暴雨系统的模型	(277)
5.3 本章小结	(280)
参考文献.....	(280)

Contents

Chapter1	Circulation Characteristics of Meiyu (Baiu) Front Heavy Rainfalls	.....	(1)
1.1	Precipitation Characteristics during Meiyu Period	.....	(3)
1.2	Average Circulation Characteristics in Rich and Poor Meiyu Years	.....	(5)
1.3	Evolution of Circulation Characteristics during the Second Stage of Meiyu of 1998, Meiyu Period of 2001 and 2002	.....	(8)
1.4	Influence of Short Range Variation of Summer Monsoon on Meiyu Rainfall in Yangtze River Valley	.....	(13)
1.5	Comparison between Circulation of Case in 1998 and that of Long Meiyu Period Years	.....	(15)
1.6	Summary	.....	(18)
	References	.....	(19)
Chapter2	Study of Weather Systems during Heavy Rainfalls on Meiyu Front	.....	(21)
2.1	Review and Definition of Meiyu Front	.....	(23)
2.2	Structure of Typical Meiyu Front	.....	(31)
2.3	Complicated Situation of Meiyu Front	.....	(43)
2.4	Dynamics of Meiyu Front Low Causing Heavy Rainfall	.....	(52)
2.5	Summary	.....	(63)
	References	.....	(64)
Chapter3	Diagnosis of Mesoscale Systems in Meiyu Front Causing Heavy Rainfall	.....	(67)
3.1	Basic Characteristics of Mesoscale Systems of Meiyu Front Heavy Rainfall	.....	(69)
3.2	Heavy Rainfalls Occurring Suddenly in Middle-Lower Reaches of Yangtze River 1998	.....	(71)
3.3	Heavy Rainfalls Occurring Frequently in Middle-Lower Reaches of Yangtze River in June 1999	.....	(89)
3.4	Mesoscale Systems of Heavy Rainfalls during the Field Experiment in June 2002	.....	(103)
3.5	Mesoscale Systems of Heavy Rainfalls during Non-Meiyu Front	.....	(126)
3.6	Summary	.....	(143)
	References	.....	(144)
Chapter4	Numerical Simulations of Heavy Rainfall on Meiyu Front	.....	(147)
4.1	Numerical Simulation of Meiyu Front Structure	.....	(149)
4.2	Numerical Simulation of Low Systems on Meiyu Front	.....	(168)
4.3	Numerical Simulation of Mesoscale Rainy Clusters	.....	(203)

4.4	Numerical Simulation of the Influence of Latent Heating on Heavy Rainfall in Meiyu Front	(211)
4.5	Numerical Simulation of Influence of Planetary Boundary Layer on Heavy Rainfall on Meiyu Front	(220)
4.6	Numerical Simulation of Influence of Cloud Physical Process on Heavy Rainfall in Meiyu Front	(228)
4.7	Numerical Simulation of Influence of Terrain on Heavy Rainfall in Meiyu Front	(239)
4.8	Numerical Simulation with Higher Resolution Model	(247)
4.9	Summary	(266)
	References	(269)
Chapter5	Multi-Scale Physical Model of Heavy Rainfall of Meiyu Front	(273)
5.1	Large-scale and Mesoscale Physical Model in Heavy Rainfall	(275)
5.2	Multi-scale Physical Model of Meiyu Heavy Rainfall during Field Experiment	(277)
5.3	Summary	(280)
	References	(280)

第一章

梅雨锋暴雨的环流特征

赵思雄 孙建华

