

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八

丛书主编：倪允琪 周秀骥

顾问：陶诗言

长江中下游梅雨锋暴雨 野外科学试验

倪允琪 刘黎平
高梅 刘志澄
朱正义 等著

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八
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

长江中下游梅雨锋暴雨 野外科学试验

倪允琪 刘黎平 高 梅
刘志澄 朱正义 等著

气象出版社

内 容 简 介

在科技部“973”国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究”支持下,2001~2002年汛期,开展了长江中下游梅雨锋暴雨野外科学试验,取得了圆满成功。试验期间,共捕捉了近20个暴雨过程,获得了大量丰富的资料,建立了数据库,为暴雨研究提供了宝贵的实时资料、积极开展国际合作和交流等,这些成果都全面、完整地反映在该专著中,并以专著的形式出版,在国内尚属首次。

本书可供大专院校、研究部门的气象、水文师生和研究人员参考和使用,对从事业务工作人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

长江中下游梅雨锋暴雨野外科学试验/倪允琪等著.

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 7-5029-3870-2

I. 长… II. 倪… III. 长江流域-暴雨-研究

IV. P426.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 113938 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

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:吴庭芳

印刷者:石油出版社印刷厂

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:14.25 字 数:335 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 7-5029-3870-2/P·1369

印 数:1~1000

定 价:42.00 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

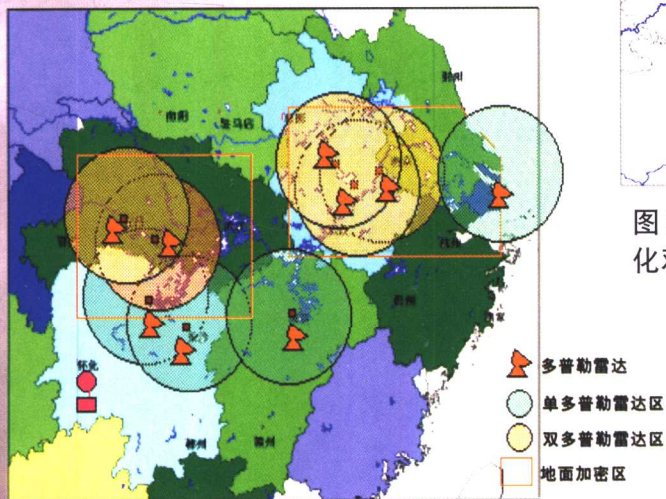


图 2.2 多普勒雷达观测系统

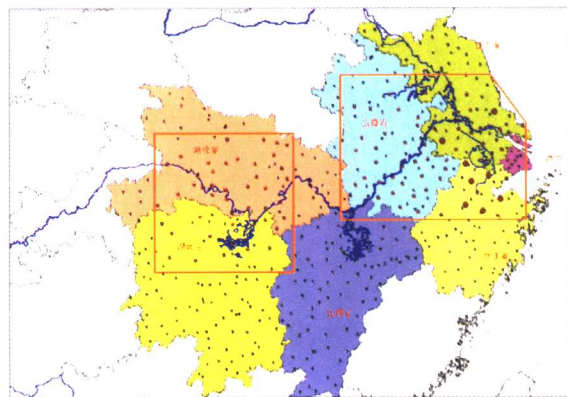


图 2.1 长江中、下游地区中尺度加密、强化观测区示意图

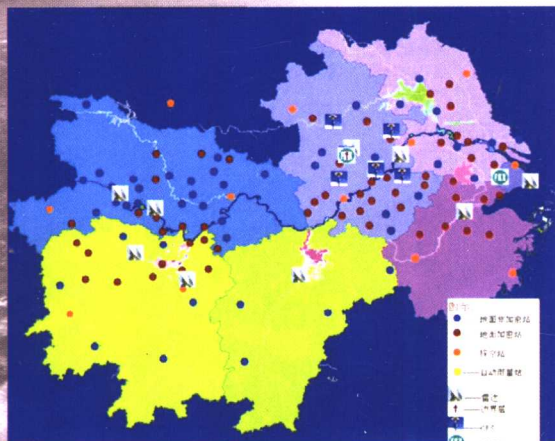


图3.1 2002年外场试验区与观测系统分布

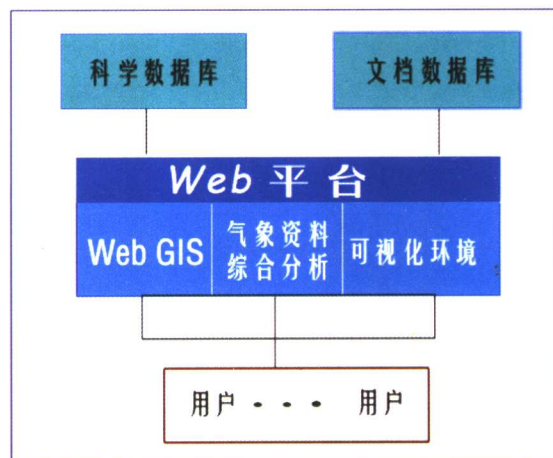


图 3.2 长江流域梅雨锋暴雨外场科学试验资料库系统体系结构

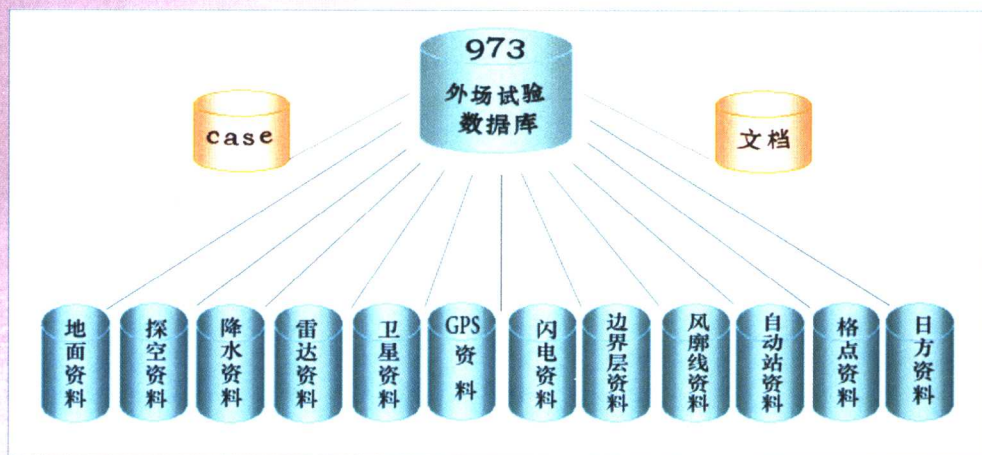


图 4.1 长江流域梅雨锋外场科学试验数据库



图 4.2 973 中国暴雨试验与研究项目网站主页

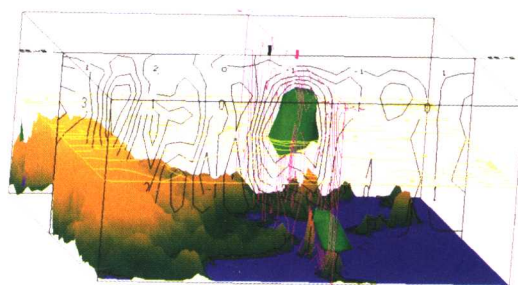


图 5.17 2001 年 6 月 23 日 20 时试验区域的 ω 空间结构图 (绿色体是 ω 为 -0.5 hPa/s 的等值面舌的北端, 对应着水汽通量大值区和水汽辐合区)

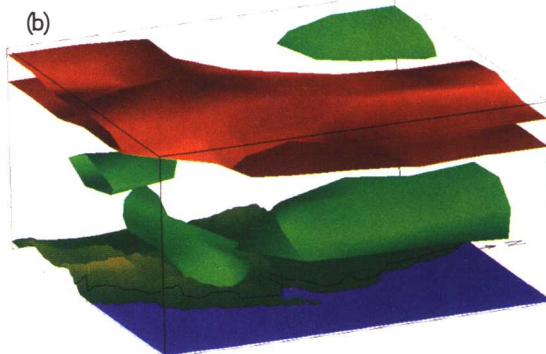
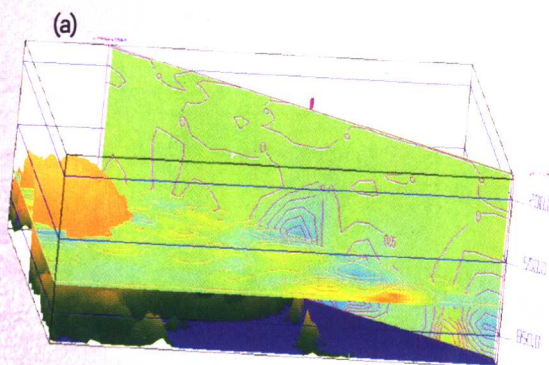


图 5.18 2001 年 6 月 23 日 20 时试验区域的 (a) 水汽通量散度空间图和 (b) 散度空间图 (黄色面值为 20, 绿色面值为 $15 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$)

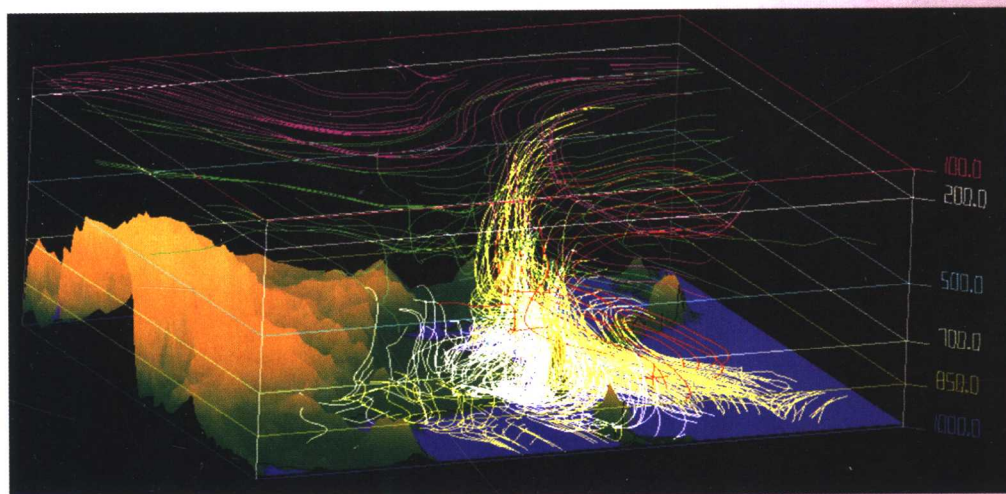


图 5.19 IOP 过程空气轨迹图

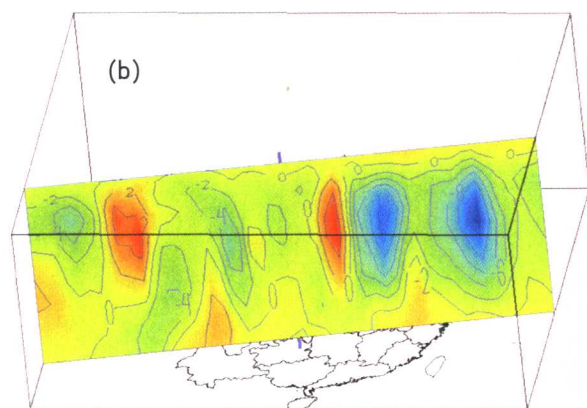


图 5.34 2001 年 6 月 18 日 08 时垂直速度图
(b) 垂直剖面 (蓝色为上升运动)

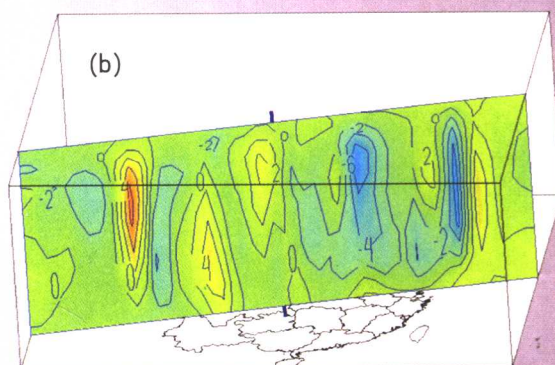


图 5.43 2002 年 6 月 23 日 20 时 IOP 区域垂直速度图 (b) 垂直剖面图 (蓝色为上升运动)

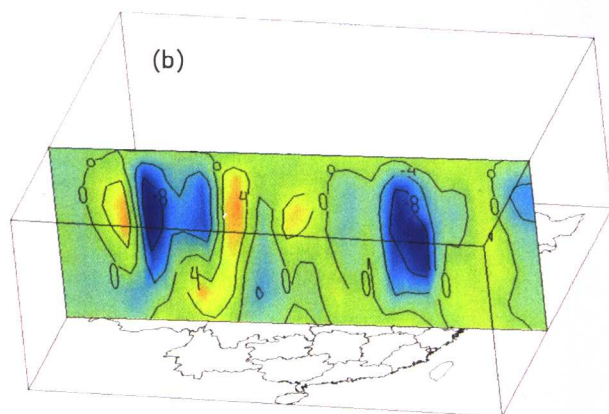


图 5.52 2002 年 6 月 27 日 20 时 IOP 区域垂直速度图 (b) 垂直剖面图

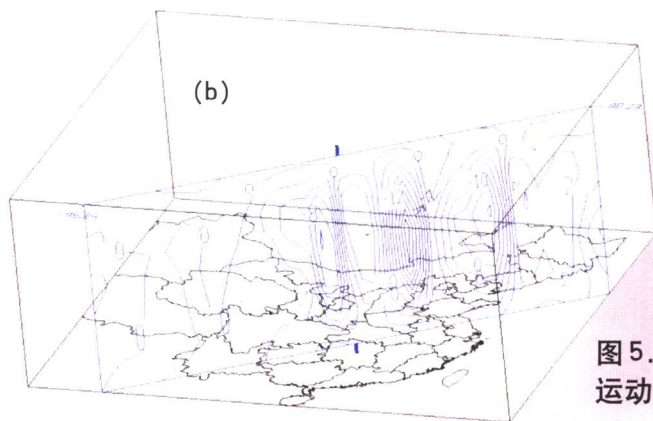


图 5.64 2002 年 7 月 23 日 08 时上升运动图 (b) 垂直剖面

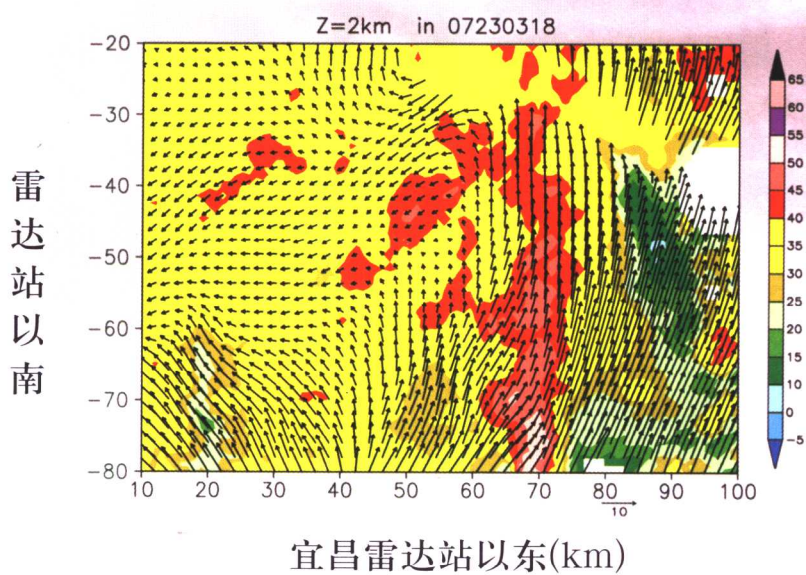
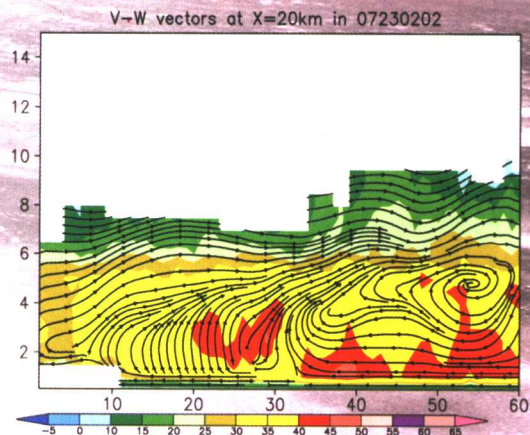
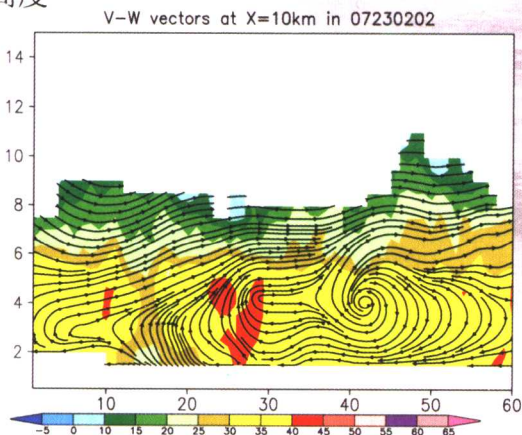


图 8.1 2 km 高度的风场与回波强度

高度



宜昌雷达站以南(km)

图 8.2 2:02 过 X 轴的流场与回波强度经向剖面 (间隔 10 km)

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

倪允琪	刘黎平	高梅	刘志澄	朱正义
陶祖钰	孙建华	史历	贾朋群	葛国庆
郑永光	江吉喜	张小玲	翟武全	

丛书主编助理：仪清菊

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重大的时代特征,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活财产的巨大损失。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 年在国家科技部的支持下,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,并和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

摘 要

本书是对科技部“973”国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究”第七课题——长江中下游梅雨锋暴雨野外科学试验专题的深入总结,尤其是项目实施期间该课题成功地组织了 2001/2002 年的野外科学试验,捕捉了诸多暴雨过程,获得了大量丰富的资料,并建立了数据库,为项目研究提供了宝贵的实时资料,积极开展了国际合作等,这些成果都全面、完整地反映在本书中,该书以专著的形式出版,在国内尚属首次。

本书的主要内容如下:

外场试验的设计非常科学,整个试验区布局成了三个层次、四维立体梅雨锋暴雨观测网:

天气尺度观测区:

着重提供形成暴雨的环境条件,以目前气象业务系统的常规高空探测和地面观测站为主,其范围是为 $23^{\circ}\sim 38^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$,主要包括湖北、湖南、江西、江苏、安徽、浙江、贵州和福建等省,以及四川省、甘肃省、陕西省、山西省和山东等省的部分地区,该大尺度观测区以武汉和上海的连线为南北范围的中轴线。

β 中尺度观测区:在大尺度观测区内的长江中下游设有两个 β 中尺度加密观测区,其中游观测区布在 $28^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 116^{\circ}\text{E}$ 范围内,主要包括宜昌、武汉、常德、长沙、南昌及荆州的多普勒雷达和数字化常规天气雷达覆盖的区域;下游观测区是在 $29^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$, $116^{\circ}\sim 122^{\circ}\text{E}$ 区域,为上海、合肥、阜阳、南京、黄山及杭州的多普勒雷达和数字化常规雷达覆盖的区域。这两个加密观测区的主要目标是获得梅雨锋上的 β 中尺度系统的三维结构探测资料;

γ 中尺度强化观测区:

在上述加密观测区内又设有三个 γ 中尺度强化观测区,分别为荆州地区、合肥和苏州地区,区内配备有边界层观测、风廓线仪以及闪电定位和自动站等。

这一观测网的突出特点是:覆盖范围大,有七省一市;设置三个观测层次,而不同层次的监测又采用不同配置的装备,其仪器装备之先进和数量之多均是国内以前的野外试验中所没有的,也是国外野外试验中不多见的。

试验期成功地捕捉到 20 多个暴雨过程资料,并对资料实施三级质量控制,确保了观测数据的完整性、准确性;编写了外场试验资料使用指南,进一步方便了科研人员的使用。

利用高效技术领先的数据库和网络技术,使系统整体设计由两部分组成:数据库系统和网络系统,并最终形成在一个架构在因特网上的、能够提供基于 Web 浏览器动态访问的、由一系列气象数据库系统组成的气象科学试验数据共享系统。

对野外试验获得的典型暴雨过程资料及时组织多学科、多种资料的综合分析,其中包括气象卫星资料、多普勒雷达和常规加密观测资料的分析以及数值模拟等,从各个方面和不同视角得到了对同一暴雨过程的分析结果,然后又集成、提炼成该暴雨过程的综合分析结果,

为完善梅雨锋暴雨多尺度物理模型进一步提供了多种资料的实时分析概貌,为多尺度暴雨物理模型的建立提供了实时分析基础。

最后,该专著对连续两年的暴雨野外试验的宝贵经验进行了全面的总结,并为今后开展暴雨野外试验提出许多合理的建议。

关键词:长江流域,暴雨,野外试验,数据库系统

Field Experiments for Heavy Rainfall within Meiyu Front in the Middle and Lower Reaches of Changjiang River

NI Yunqi LIU Liping

GAO Mei LIU Zhicheng ZHU Zhengyi et al.

Abstract

This book, one of a series of monograph, summaries the field experiment for heavy rainfall within Meiyu front in the middle and lower reaches of Changjiang (Yangtze) River, which is the topic of the seventh sub-project within the Ministry of Science and Technology sponsored Key Projects of National Fundamental Research Program, or the 973 Project in short, titled Research on the Formation Mechanism and Prediction Theory of Hazardous Weather over China. The project successfully conducted the field experiments in the raining seasons of 2001 and 2002. A lot of heavy rainfall cases have been captured with variety sorts of in-situ and remote sensing observing data, based on which a database has been established. The database is the cooperating results with our foreign partners and it is also available and accessible internationally. The observations have contributed to a lot of analysis and research results which completely indicated the advancement of the project and are included in this book. This is quite seldom in the domestic academic circle.

The main contents of this book include the following aspects:

The scientific-based design of the experiment is described, including 3-level and 4D observational net specially for Meiyu front heavy rainfall event.

Synoptic-scale observational area:

Oriented to the environmental condition favorite to flooding event, the synoptic-scale observational area, covering 23°—38°N, 100°—125°E, is also relatively dense routine surface and upper air observation region including Hubei, Hunan, Jiangxi, Jiangsu, Anhui, Zhejiang, Guizhou and Fujian, overlapping part area of Sichuan, Gansu, Shanxi, Shaanxi and Shandong as well. The two longitudinal pivots for this large-scale area are located in Wuhan and Shanghai separately.

Meso- β scale intensive observational areas:

Within the large-scale observational area, there are two meso- β scale intensive observation areas. One of them, covering 28°—32°N, 110°—116°E, is located in the middle reach of Changjiang River overlapping with the Doppler and digital radar array installed in Yichang, Wuhan, Changde, Changsha, Nanchang and Jingzhou. The other one, covering

29°—33°N, 116°—122°E, is located in the lower reach of Changjiang River overlapping with the Doppler and digital radar array installed in Shanghai, Hefei, Fuyang, Nanjing, Huangshan and Hangzhou. The two meso- β scale intensive observation areas are devoted to get 3D structural data for the Meiyu front.

There are another 3 meso- γ intensive observational areas, centered at Jingzhou, Hefei and Suzhou respectively, equipped with dual or three synchronized Doppler radar arrays as well as boundary layer sounding, profiler, lightning detection and AWS observations.

This observational net is presented with prominence figures: large overlapping area covering 7 provinces and one city; 3-level observational zones with suitable instruments; and for the first time numerous state-of-the-art apparatus getting together for one project field campaign ever conducted domestically and even seldom internationally.

There are totally more than 20 flooding processes recorded in the experiment. The quality control of 3-grade for the observational data ensures the completeness and veracity. The guide manual for the user of data makes convenience for the researchers.

High effective and leading database and network techniques were used in the design of the data processing and storing system, which is divided into two parts: database and network subsystems. The system is an internet-based, and could be access interactively through Web.

The multidiscipline integrated analyses on the various data of the representative flooding process occurring during the experiment have been taken using both diagnostic and numerical simulation methods for the satellite, Doppler radar, routine and intensive upper-air and surface observation data. The results, from which a complete multi-scale Meiyu front case has been extracted, are useful to establish the physical model of the multi-scale heavy rainfall event.

Finally, the book summarized the two-year experiment, based on which some recommendations have been presented for the following experiments.

Key words: the reaches of Changjiang River, field experiment, heavy rain, database system

目 录

序

全卷前言

摘要

Abstract

第一章 前言	(1)
第二章 2001/2002 年长江中下游梅雨锋暴雨外场试验的设计和实施方案	(5)
2.1 2001/2002 年长江中下游梅雨锋暴雨外场试验的设计原理和设计思想	(7)
2.2 2001/2002 年长江中下游梅雨锋暴雨外场试验的实施方案	(8)
2.3 长江中下游梅雨锋暴雨外场试验的组织和实施	(15)
2.4 长江下游地区暴雨业务试验的国际合作	(18)
2.5 小结	(20)
第三章 长江流域梅雨锋暴雨外场科学试验资料处理和资料库建设	(21)
3.1 2001~2002 年外场试验资料概述	(23)
3.2 外场试验资料的质量控制	(25)
3.3 外场科学试验资料库的设计思路	(26)
3.4 外场科学试验数据库的技术实现	(29)
3.5 数据库的主要功能	(29)
3.6 外场科学试验资料库中的各类数据管理	(29)
3.7 结 论	(33)
参考文献	(33)
第四章 长江流域梅雨锋暴雨外场科学试验资料使用指南	(35)
4.1 长江流域梅雨锋暴雨外场试验数据目录	(37)
4.2 各类数据说明文档及相关使用程序	(43)
4.3 IOP 相关资料	(69)
4.4 2000、2001 年外场试验背景信息	(74)
4.5 数据共享管理办法	(86)
第五章 2001/2002 年长江中下游暴雨试验期间主要暴雨过程综述	(87)
5.1 2001 年 6~7 月的主要暴雨过程	(89)
5.2 2002 年 6~7 月的主要暴雨过程	(104)
第六章 2002 年长江中下游两次梅雨锋暴雨过程的综合分析	(127)
6.1 2002 年 6 月 20~24 日梅雨锋 MCS 发生发展的分析	(129)
6.2 2002 年 7 月 22~23 日倾斜梅雨锋面带及其低涡、对流系统活动分析	(149)
6.3 2002 年 7 月 20~25 日梅雨锋暴雨及 MCC 与 β 中尺度云团形成发展条件的对比分析	(158)
参考文献	(179)