

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

国家重大基础研究发展计划项目

《我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究》系列专著之七

系列专著主编：张人禾 周秀骥 倪允琪

顾问：陶诗言

中国南方暴雨野外 科学试验 (SCHeREX)

倪允琪 张人禾 刘黎平等著



气象出版社

China Meteorological Press



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

中国南方暴雨野外 科学试验(SCHeREX)

倪允琪	张人禾	刘黎平	崔春光	著
万齐林	王晓峰	陈葆德	孙建华	
赵思雄	孟智勇	谌芸	赵坤	
高梅	吴多常	卫捷	张小玲	
陈子通	接连淑	张文华	李红莉	
彭菊香	邱学兴	许晓林	王宇红	
徐文慧	汪小康	李丰	李斌	
崔哲虎	赵盛华	张艳霞		

内容简介

在科技部“973”国家重点基础研究发展计划项目“我国南方致洪暴雨形成机理与预测的理论和方法研究”支持下,2008—2009年汛期,在中国南方十二省、两市开展了暴雨野外科学试验,获取了大量的观测资料,建立了数据库。本书利用这些资料开展了对暴雨的大尺度背景、 β 中尺度对流系统的结构和机理的研究,并应用这些资料开展了数值预报的应用研究,尤其是在野外试验中我国首次实施了机载下投式探空观测与应用试验,得到了一系列国内首次得到的观测、研究和分析结果。同时,本书还对该野外试验要解决的科学问题和野外试验的设计思想做了详细的介绍。这些成果对暴雨野外科学试验的设计、资料库建设、资料的应用研究具有重要的参考价值。

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应用,对从事业务的工作人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

中国南方暴雨野外科学试验:SCHeREX/倪允琪等著.

北京:气象出版社,2012.10

(我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究系列专著;7)

ISBN 978-7-5029-5578-6

I. ①中… II. ①倪… III. ①暴雨-野外试验-研究-中国

IV. ①P426.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 230516 号

Zhongguo Nanfang Baoyu Yewai Kexue Shiyan(SCHeREX)

中国南方暴雨野外科学试验(SCHeREX)

倪允琪 等著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:李太宇 王祥国

封面设计:蓝色航线

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:467 千字

版 次:2013 年 10 月第 1 版

定 价:65.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:18.25

彩 插:8

印 次:2013 年 10 月第 1 次印刷

序

中国气象科学研究院主持的“国家重点基础研究发展计划”项目（即“973”项目）“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究”（2005—2009年）课题组在暴雨的遥感监测技术、南方暴雨的结构与机理研究、暴雨预报理论和方法以及我国南方暴雨野外科学试验等方面取得了一系列重要研究成果，其中包括遥感监测和数值预报模式系统的应用软件系统，在国内外重要学术刊物上发表的702篇学术论文（其中SCI文章212篇）。在此基础上，课题组专家又进一步总结、完成了研究成果系列专著。这套系列专著反映了我国近年来在暴雨机理、监测与预测方面的最新研究成果，并将研究成果与提高气象观测预报业务能力相结合，注重研究成果的业务应用，体现了国家“973”项目面向国家需求的正确方向，也体现了项目组研究人员对基础研究成果在气象业务中应用的重视。为此，我对该课题组取得的丰硕研究成果和系列专著的出版表示由衷的祝贺，也对课题组为研究成果的应用所付出的努力表示衷心的感谢。这套系列专著既对深入研究我国暴雨问题起着进一步推动作用，又对于大气科学及相关领域的科研、业务、管理人员以及广大读者来说，具有很好的参考价值。

在近代科学发展中，基础科学具有根本性的意义，是一切科学技术创新的源泉。开展基础科学研究对于整个学科的发展具有很重要的意义。如何将大气科学基础研究的成果转化为气象业务应用技术，这是大气科学领域科学家们面临的现实问题。如何把大气科学及相关交叉学科的基础研究成果应用到各种尺度的大气现象及其运动的监测，并做出正确的预测，这更是中国大气科学领域科学家们必须面对并努力解决的问题。科学家的责任在于从科学实践中不断推进科学基础研究的进步，并造福于人类。因此，我很高兴地通过这套系列专著看到，我国有一批大气科学研究的科学家从提升气象业务能力出发研究大气科学的基础问题，推动基础研究成果应用于实际气象业务中。这确实是大气科学研究本身进步的表现。

当前，我国气象工作者正在按照国务院提出的“到2020年，要努力建成结构完善、功能先进的气象现代化体系”的战略目标努力工作。要实现这一宏伟

目标，必须依靠科技进步的推动，其中要努力解决气象业务服务中的一系列基础科学问题。因此，重视国家重大项目的研究，包括国家“973”项目的研究，对于提升我国气象业务服务能力和水平，加快实现气象现代化具有十分重要的意义。中国气象局将继续支持广大科技工作者围绕气象业务服务需求，开展大气科学基础理论研究、应用研究和研究成果的推广应用。

郑国光

（中国气象局局长）

2012年4月于北京

目 录

序

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 实施暴雨野外试验的目的和意义	(1)
1.2 中外研究现状和发展趋势	(3)
1.3 全书结构与各章作者	(8)
第 2 章 2008—2009 年中国南方暴雨野外科学试验(SCHeREX)的 科学目标和科学问题	(9)
2.1 科学目标	(9)
2.2 科学问题	(10)
2.3 结论和讨论	(13)
第 3 章 2008—2009 年中国南方暴雨野外科学试验(SCHeREX)的设计和 实施	(14)
3.1 华南试验区的平台建设	(14)
3.2 华中试验区、江淮流域试验区以及长三角试验区的设计与建设	(26)
3.3 试验区域与时段	(28)
3.4 结论和讨论	(30)
第 4 章 南方暴雨野外科学试验的资料处理和资料库建设	(31)
4.1 外场试验资料源和资料的收集	(31)
4.2 野外科学试验数据库系统建设	(34)
4.3 野外科学试验数据的管理和使用策略	(42)
4.4 总结	(43)
第 5 章 发展中尺度再分析系统和生成高时空分辨的中尺度再分析气象场	(44)
5.1 发展中尺度分析系统和生成高时空分辨中尺度再分析资料的重要性	(44)
5.2 LAPS 系统简介及运行流程	(45)
5.3 应用野外试验多种观测资料的融合同化生成的 SCHeREX 中尺度分析场	(48)
5.4 SCHeREX 中尺度分析场对中尺度诊断分析的适用性评估	(50)
5.5 结论及讨论	(61)
第 6 章 中尺度暴雨的监测、分析与预报、预警平台(M-WAFS)及其 在业务中的应用	(62)
6.1 M-WAFS 系统的主要特点	(62)

6.2	M-WAFS 系统组成	(63)
6.3	M-WAFS 综合分析显示系统	(64)
6.4	M-WAFS 系统综合分析显示系统的功能特点	(68)
6.5	关键技术	(72)
6.6	实际应用情况	(73)
6.7	结论和讨论	(75)
第 7 章	机载下投式探空观测试验	(77)
7.1	机载下投式探空现状和发展	(77)
7.2	RD93 探空系统、通讯系统及飞机平台	(77)
7.3	机载下投式探空的观测试验	(79)
7.4	下投探空资料的应用试验	(81)
7.5	结论和讨论	(89)
第 8 章	2008/2009 年野外试验期间主要暴雨过程综述	(90)
8.1	2008 年南方暴雨基本概况与特点	(90)
8.2	2009 年基本概况与特点	(100)
第 9 章	2008/2009 年野外试验期间典型暴雨过程的综合分析	(112)
9.1	2008 年华南前汛期夏季风的环流特征和降水过程的划分	(112)
9.2	2008 年华南前汛期 6 月 5—8 日个例分析	(115)
9.3	6 月 12—14 日一次西南涡影响华南的暴雨过程分析	(122)
9.4	2008 年 6 月 15—18 日不同阶段的暴雨系统分析	(133)
9.5	长江中游一次梅雨锋暴雨过程——“7.22”湖北襄樊特大暴雨的 天气诊断分析	(143)
9.6	一次西南低涡造成华南暴雨过程的 FY-2 卫星观测分析	(153)
9.7	结论和讨论	(162)
第 10 章	利用 SCHeREX 中尺度再分析资料对大别山地区的 β 中尺度 对流涡旋系统的分析和研究	(163)
10.1	SCHeREX 中尺度再分析资料与观测资料的个例对比分析	(164)
10.2	结构特征分析	(167)
10.3	β 中尺度对流涡旋的演变机理分析	(177)
10.4	β 中尺度暴雨的水分循环和微物理过程分析研究	(191)
10.5	β 中尺度暴雨的非绝热加热过程及其对中尺度涡旋系统反馈影响 的分析研究	(200)
10.6	强降水过程的重要特征	(209)
10.7	结论和讨论	(213)
第 11 章	利用双雷达观测资料和数值模拟对华南 β 中尺度强对流系统 的分析与研究	(215)
11.1	多普勒雷达研究华南线状对流系统中尺度结构的方法	(215)

11.2	2007 年 4 月 24 日华南一次强飑线中尺度特征分析	(217)
11.3	2008 年 6 月 6 日华南一次准线状对流中尺度结构分析	(229)
11.4	2007 年 4 月 23—24 日广东飑线的观测分析和数值模拟	(231)
11.5	结构和讨论	(240)
第 12 章	多种暴雨野外试验观测资料在区域数值预报中的应用试验	(242)
12.1	SCHeREX 观测资料在华南数值预报中的应用试验	(242)
12.2	SCHeREX 观测资料在华中数值预报中的应用试验	(252)
12.3	SCHeREX 观测资料在长三角地区数值预报中的应用试验	(264)
12.4	讨论和结论	(271)
第 13 章	综述	(272)
参考文献		(278)

第1章 绪论

1.1 实施暴雨野外试验的目的和意义

暴雨引发的洪涝灾害是中国主要的气象灾害之一,它对中国社会发展和经济、国防建设的影响日益加剧。最近十年因暴雨引发的洪涝灾害造成粮食损失平均每年为 200 亿 kg,经济损失达 2000 亿元人民币,相当于国内生产总值(GDP)的 1%~3%。例如,1998 年长江流域因持续性暴雨引发的全流域洪涝造成直接经济损失达 2500 亿元人民币,死亡人数超过 3000 人,给国家经济与人民生命财产造成巨大损失。为此,中国各级政府非常关注这类气象灾害的发生和持续的时间以及造成的灾害及其对社会、经济的影响。因此,深入了解暴雨的形成机理和开展对暴雨监测、预测理论和方法研究一直是中国科学家极为关注的重要气象研究方向,也是提高中国减灾防灾总体能力的国家重大需求。

然而,造成这类暴雨的天气系统往往都是空间尺度几十千米到几百千米,时间尺度几小时到 10 多小时的中尺度强对流系统,尤其是 β 中尺度强对流系统。例如,2004 年 7 月 12 日,一个空间尺度只有几十千米的强对流云团侵袭上海(图 1.1),引发上海地区狂风暴雨,造成 7 人死亡、20 多人受伤,城市积水,局部地区交通堵塞;2005 年 3 月 22 日一次飑线过程由广西东移横扫广东省(图 1.2),造成广州市暴雨、强风,甚至落下直径达 10 mm 的冰雹;更有甚者,2006 年 8 月 14—15 日登陆的“碧利斯”热带气旋(图 1.3),在湖南、广西、广东、福建等省(区)造成暴雨,引发洪涝和泥石流灾害,死亡人数超过 800 人,而造成这次持续暴雨的也正是登陆的“碧利斯”热带气旋内形成的一系列中尺度强对流系统。近几年由于这些中尺度强对流系统的活跃,致使中国许多地方屡屡发生这类局部性的激烈的天气灾害。目前,传统气象观测网和预报系统很难实施有效的监测和准确的预报,这是中国当前天气监测与预报业务所面临的最大挑战,即使是当前国际最为先进的数值预报模式也由于模式初始场中不包含有丰富的中尺度信息、模式系统中描写这类中尺度过程的物理过程还不甚完善。因此,同样很难做出较为准确和精细的中尺度灾害天气发生、发展和影响区域与影响范围的定点、定量与定时预报。

(a)



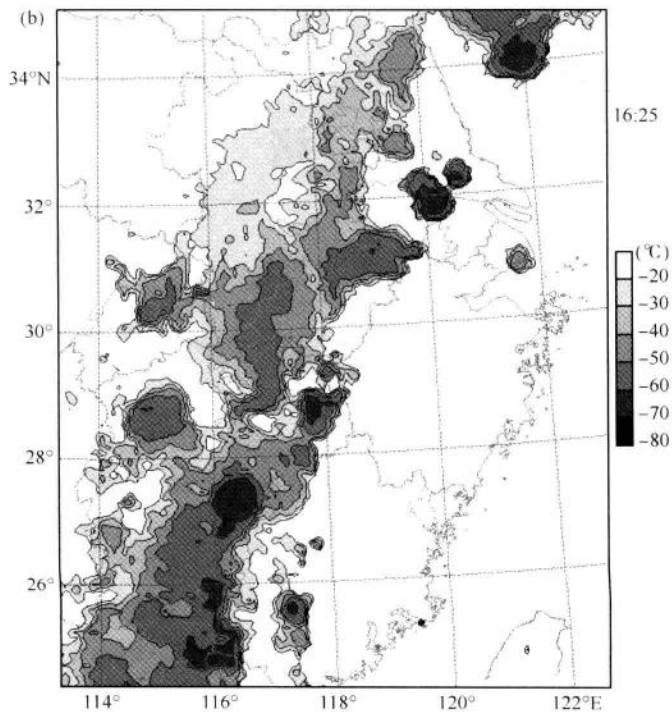


图 1.1 (a)2004 年 7 月 12 日暴雨过程中上海市内涝灾害,(b)2004 年 7 月 12 日 16 时 25 分* TBB 资料



① 书中时间除注明外,均为北京时。

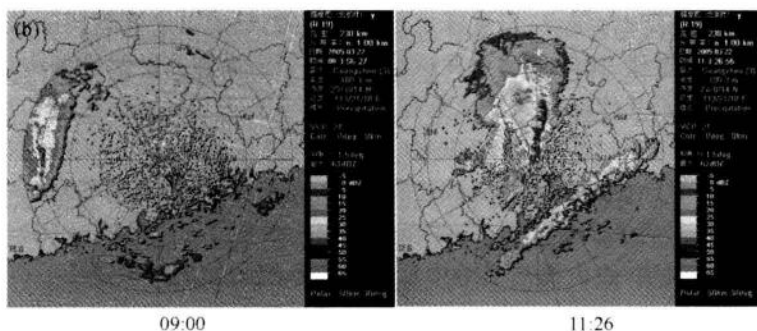


图 1.2 (a)2005 年 3 月 22 日飊线过程造成的广州城市灾害,
(b)广州雷达 09 时和 11 时 26 分观测的飊线过程

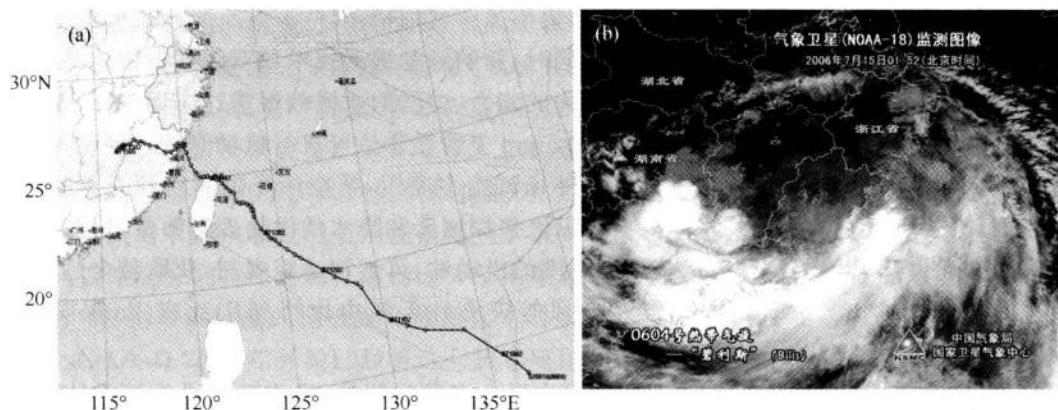


图 1.3 (a)“碧利斯”热带气旋路径;(b)2006 年 7 月 15 日 01 时 52 分热带气旋“碧利斯”登陆后的云团

上述情况充分说明目前我们传统的气象观测网很难捕获到这类中尺度系统的三维结构资料,而中国气象业务使用的数值模式系统由于初始场的不精确性以及模式的不完善,也很难做出准确的预报。由此可见,如何实施有效的中尺度观测,获取丰富的中尺度三维气象资料是中尺度灾害天气监测与预报所面临的首要科学问题。正因为如此,组织与实施针对中尺度灾害天气、尤其是空间尺度几十千米至一二千米的 β 中尺度观测和野外试验是完全必要的,这不仅为中尺度灾害天气的研究提供丰富的中尺度观测资料,同时也是对如何实施中尺度观测、提高中尺度灾害天气监测与预测能力的一种探索性试验。

另外,国家“973”项目“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究”的主要研究目标就是研究 β 中尺度强暴雨系统的结构与机理,因此获取具有 β 中尺度分辨率的三维气象资料对完成国家“973”项目是至关重要的基本条件与基础。通过中国南方暴雨野外科学试验,获取中尺度观测资料将为完成国家“973”研究任务和实现研究目标奠定坚实的资料基础,不仅是必要的,而且是十分重要的。

1.2 中外研究现状和发展趋势

1.2.1 国际研究情况与发展趋势

对暴雨形成机理以及影响其发生、发展的中尺度动力、物理过程的理解和认识,是推进中

尺度气象学进步和提高定时、定点、定量降水预报的关键,长期以来受到国际关注和重视。

在 20 世纪 80、90 年代,国际上一些发达国家组织了一系列有针对性的中尺度天气研究计划,其中比较有影响的研究计划和外场试验有:美国的 PROFS(区域性观测和预报服务计划)、SESAME(强风暴和中尺度试验)和 STORM(中尺度外场观测试验)、日本的 NWW/AMeDAS(国家天气监测系统)等。通过上述外场试验和研究,对于暴雨、强风暴等剧烈中尺度天气系统的结构和发生发展机理的认识有了提高,并在此基础上发展了如 MM5、ARPS、RAMS、ETA、MRI-NHM 等中尺度模式,大大提高了对中尺度天气系统的数值预报能力。

随着航天和遥感技术的不断发展,尤其是遥感仪器辐射测量精度的提高和资料同化技术的发展,卫星遥感资料在中尺度数值模式的初值形成中起着越来越重要的作用。从国际上看,目前气象和环境卫星正处在更新换代的高速发展时期,EOS/MODIS 以及 AMSU 等新型遥感资料的取得,为大气、陆地和海洋参数的反演提供了丰富的信息。

同时,发达国家在大力发展地基雷达的同时,新的地基探测技术如双线偏振雷达等正得到迅速发展,以提高探测降水强度和微物理结构的能力,美国的双线偏振雷达应用于冰雹等强对流天气的微物理探测中。机动雷达如美国的 5 cm 多普勒雷达可进行机动观测。同时,探测降水形成前的云物理过程如毫米波雷达也在外场试验中应用,晴空风场探测得到充分的重视。另一方面,由于机载直接探测技术的发展可以直接探测云和降水的微物理等参量,机载雷达如双波束多普勒雷达、机载毫米波雷达,具有高度的机动性,可连续追踪观测,获取整个过程的资料。因此,机载雷达在探测暴雨、龙卷和台风等灾害性天气中也得到广泛应用(程明虎等,2004)。

20 世纪 90 年代以来,国际上已相继开发出融合多种观测技术、多种概念模型方法的短时预报系统(THORPEX, 2005; Numerical Weather Prediction Progress Report, 2002; Fritsch and Carbone, 2002)。目前,世界上比较先进的临近预报或短时预报系统如:美国 NCAR 发展的 Auto-Nowcaster 系统(ANC)、美国强风暴实验室研制的警报决策保障系统(WDSS)、英国的对流天气短时预报系统(Nowcasting and Initialization for Modeling Using Regional Observation Data, NIMROD)以及澳大利亚的对流天气临近预报系统 S-PROG 等。这些系统一方面吸收了雷达回波演变特征的识别新算法及预报新理论;另一方面,这些系统还利用了常规高空观测、地面中尺度加密观测、卫星观测资料以及数值模式的预报产品,通过经验权重系数将以上的预报结果进行集成做出临近预报。此外,这些短时预报系统还有一个比较明显的特点就是引入了描述暴雨的触发、发展、维持及消亡的物理概念模型。

近年来,随着如前所述气象卫星、雷达以及 GPS、自动气象站等非常规探测技术和计算机技术的快速进步,中尺度气象研究开始进入一个观测和模式研究优化融合、建立互动系统研究的崭新阶段(THORPEX, 2005)。这一特点从国际上正在实施的一系列相关研究计划(如:THORPEX 计划、美国的“改进暖季定量降水预报的研究”计划和“加州登陆急流计划”、日本科技研究核心项目“中尺度对流系统的结构和发生发展机制研究”等)中凸显出来。这些研究计划特别重视利用多种先进手段进行综合外场观测、外场科学试验,并与数值试验及模式改进紧密结合,来揭示新的中尺度观测事实和从深层次认识高影响天气的可预报性及不同尺度的相互作用机理等。其中“观测系统研究与可预报性实验”计划(THORPEX, 2005)——即 THORPEX(The Observing system Research and Predictability EXperiment)就是一个非常有特色、为期 10 a 的国际研究计划。美国、加拿大以及欧洲的一些国家的研究表明,对于某一

地理区域的中短期天气预报来说,在其上游地区存在着对应的敏感区,如果能及时地获取该敏感区的加密观测资料,并将这些资料同化应用到数值模式中,将会大大提高数值天气预报的水平。THORPEX 计划的核心内容就是确定敏感区,实施目标观测及其相关技术的研究,它以一种全新的思路,将传统的“被动观测”变为“主动观测”,使预报与观测发生“互动”,来探索加速提高对高影响天气 1—14 d 的预报准确率和改进观测系统的途径。

中尺度相关研究新进展的另一个突出表现,就是发达国家加强了资料同化和精细模式技术以及集合预报技术的研究,着重于暴雨等强降水天气过程的短期和临近数值预报(THORPEX, 2005; Numerical Weather Prediction Progress Report, 2002; Fritsch 和 Carbone, 2002)。一方面,发展高分辨率、反映更广域的大气运动谱(非静力完全方程组)的模式动力框架和更精确的模式物理过程表达(重点是陆面过程的精细化、边界层及边界层和云的耦合、湍流、对流云和云物理过程等描述的精确化和物理化),如:美国多个研究和业务部门已联合成功研制了新一代天气研究与预报模式——WRF,日本、加拿大、英国、德国等也都在发展或者已研制成功新一代非静力天气模式;另一方面,发展与此相应的资料同化技术、中尺度现象的诊断分析技术及配套系统。美国的研究显示,对 GOES 卫星云顶气压信息的同化大大改善了模式初始场中云和降水的信息、提高了模式的短期预报能力;利用雷达回波和闪电资料同化水成物的新技术也使得模式对于降水和云的短期预报得到了很大的改善。日本气象厅的中尺度数值预报模式在引入四维变分同化以后对梅雨锋大—暴雨的预报能力大大提高,TS 评分从 0.21 提高到了 0.28。同时,中尺度模式超级集合预报技术对于提高降水预报技巧具有一定的作用,美国 NCEP/NOAA 自 2002 年开始已经将这一技术应用于业务。

在上述研究工作基础上,美国的定量降水业务预报能力也正在逐步提升中,美国 NOAA 的水文气象预报中心对近 30 a 5—8 月的业务降水预报能力做了一个统计(THORPEX, 2005),统计表明,24 h 降水量大于 1 inch^①(相当于 25.4 mm/(24 h),即中国的大雨标准)的预报技巧不超过 30%(即图 1.4 左坐标所指的 0.30),最近 30 年,平均每年降水预报技巧提升 1%(图 1.4)。

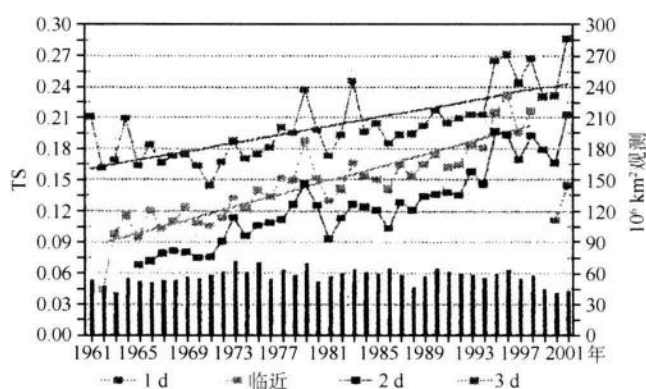


图 1.4 美国 NOAA 水文气象预报中心所做降水量 >1 inch/(24 h)的 24 h 预报正确率的估算

① 1 inch=2.54 cm

1.2.2 中国研究进展与发展趋势

中国气象工作者对暴雨问题的研究也一直极为重视。从20世纪50年代开始,谢义炳、陶诗言等气象学家对中国暴雨、特别是产生暴雨的大尺度环流和天气尺度系统作了许多深入的研究(谢义炳,1956;陶诗言,1980)。“75·8”大暴雨后,中国也组织了一系列的外场观测试验(华南前汛期暴雨试验、华东中尺度天气试验、梅雨试验、台风现场科学与业务试验等),获得了一些翔实的暴雨过程资料,使得对中国暴雨的环境场特征和暴雨中尺度分布特征有了一定的认识。20世纪中后期,结合“七五”攻关项目,在京津冀地区、长江三角洲、珠江三角洲以及三峡地区建立起了中尺度灾害性天气监测基地,且以中国气象科学研究院为主研究开发出0~12 h短时天气预报系统,并在京津冀地区进行了试验运行,取得了良好的经济社会效益。特别是1998年由中国气象局组织实施的空前规模的四大气象科学试验,其中“海峡两岸及邻近地区暴雨试验研究”所获得的中尺度资料和研究成果是20世纪后期暴雨研究中最瞩目的成果之一,对华南暴雨系统的结构、机理、暴雨的数值模拟与数值预报等方面的研究都取得了重要进展(周秀骥等,2003)。

继华南暴雨试验与研究之后,1999年中国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”正式启动,通过80多位科学家5 a的努力,该项目于2003年12月顺利通过科技部组织的项目结题验收,验收专家一致认为该项目在暴雨的机理研究、监测与预测理论和方法研究上均取得重大进展,使中国在暴雨研究的总体水平上上了一个新的台阶。该项目取得的重要进展主要体现在以下五个方面(倪允琪,2003;科技部基础司,2003):

第一,集中研究了梅雨锋以及锋上 α 中尺度强对流系统(即较大尺度的对流云团)的结构与机理,提出了完全基于多种实时观测资料的梅雨锋中尺度暴雨的多尺度物理模型。这对暴雨研究具有重要的理论意义和学术价值。

第二,初步掌握了利用多普勒雷达资料与卫星遥感资料反演中尺度暴雨系统的三维结构的理论和方法,并把这些理论和方法形成的遥感产品应用于2001和2002年野外科学试验。

第三,解决了变分同化在中尺度格点模式上应用的困难,自主研究开发了三维变分同化系统和开发了配有三维变分同化系统的中尺度暴雨数值预报模式系统。该系统在2002和2003年汛期长江中下游地区进行业务应用试验,并在淮河抗洪救灾中发挥了积极作用。两年应用试验结果表明,该模式系统对降水区的短期变动以及大到暴雨的预报能力均有明显的提高。

第四,研制成功新一代非静力中尺度数值预报模式,研制并发展了微物理过程比较完善的双参数准隐式云模式与相应的云辐射方案,反映地表及多种尺度湍流相互作用的边界层模式以及二阶矩湍流闭合边界层模式。项目还发展了完全采用自主研究的高保真守恒格式设计的中尺度数值模式,在地形和高保真计算上取得很好的结果。

第五,成功组织了2001和2002年长江中下游梅雨锋暴雨的野外科学试验,试验范围达七省一市,中游地区前后持续二年时间(每年6月10日—7月20日),下游地区持续到2003年汛期,捕获了20个暴雨过程资料,建立了较为完备的暴雨数据库,在项目内部和七省一市业务部门已经实现资料共享。

上述研究成果反映了近几年中国暴雨研究的特点是实施了以实时观测资料分析为基础的梅雨锋暴雨的多尺度综合研究;加强了针对中尺度暴雨的定量遥感理论和方法研究;开展了多种观测资料的同化与预报系统的结合研究,建立了配有三维变分同化系统的中尺度暴雨模式

系统等。很多方面的研究成果都填补了中国的空白,这为进一步研究中尺度暴雨,提高中尺度暴雨的监测与预测能力奠定了良好的科学基础。

然而,暴雨天气多尺度活动的复杂性和中尺度强对流系统的地域性特征,尤其是中尺度强暴雨系统的空间尺度小,时间演变快,使得暴雨研究十分困难。通过前一国家“973”项目(1999—2003)的实施,我们也深刻理解暴雨研究的难点与关键,为此,我们在前一国家“973”项目(1999—2003)研究成果基础上,借鉴中外已有研究成果与经验,在新的国家“973”项目“我国南方致洪暴雨监测与预测理论和方法研究”项目支持下(2005—2009)成功实施中国南方暴雨野外科学试验(2008—2009),竭尽全力解决好关键的科学与技术问题,使中国的中尺度暴雨研究取得重要的突破性进展:

(1)成功实施了2008—2009年中国南方暴雨野外科学试验(SCHeREX),获取了大量的观测数据,建立了野外试验数据库,实现了资料共享。

国家“973”项目和灾害天气国家重点实验室合作在四个观测区所在三省一市(广东、湖北、安徽三省以及上海市气象局)的支持和积极参与下成功实施了覆盖12省2市的2008和2009年中国南方暴雨野外科学试验。

(2)建立了以天基、空基和地基为基础的移动观测系统,实现了三维观测。

1)多部多普勒雷达的组网观测,生成了一系列新的组网观测产品,提供业务使用。

2)发展了双偏振雷达和毫米波雷达,对云内参数的观测与算法做了探索性研究。

3)成功实施了机载下投式探空的观测试验。在运八飞机上成功地组装了机载下投式探空观测系统,并在2009年8—9月成功地实施了三次机载下投式探空的观测试验,共投放了46个下投式探空仪,其中39个获取了探空廓线。

(3)应用LAPS中尺度分析系统,生成高时空分辨率的中尺度气象分析场。

应用LAPS中尺度分析系统,融合各种观测资料,包括雷达资料、探空(加密探空)资料、地面自动站资料,现在还引入风云气象卫星资料,在华南、华中、江淮和长三角四个观测区生成5 km、3 h分辨的中尺度实时分析场和再分析场,利用大别山地区特设的5个探空站资料生成3 km、1 h分辨的中尺度再分析场,提供业务和预报使用。

(4)自主研制了基于GIS和WEB-GIS技术的中尺度暴雨监测、分析与预报平台(M-WAFS),并在四个观测与应用试验基地应用试验。

针对空间尺度小、时间变化快的中尺度灾害天气系统的监测与预报应用开发。其目的是利用先进的高科技技术,集成国家重大科研项目的最新研究成果以及气象行业关键的业务产品,建立一个快速、有效地监测、分析与预测中尺度灾害天气的系统平台,为及时跟踪和获取中尺度暴雨信息,有效地指导外场提供帮助。

(5)在野外试验中获取了云内参数的观测资料,发展了云分类和水凝物含量的反演算法,为研究暴雨云内的微物理过程奠定了科学基础。

(6)首次实施机载下投式探空观测,成功地获取了近40个探空廓线,机载下投式探空资料在中国暴雨和台风研究和业务应用中取得了实质性的进步。

(7)应用野外试验资料,提高中尺度暴雨业务数值预报准确率。

(8)对2008年8次典型暴雨过程开展分析研究,利用高时空分辨观测资料和再分析资料分析得到 β 中尺度强对流系统三维结构,并研究了它的形成机理,使 β 中尺度强系统研究取得重要进展。

以上分析清楚地表明,国家“973”项目组织的暴雨野外试验为国家做出了三方面的贡献:第一,获取了高时空分辨资料,利用这些资料分析研究了中尺度暴雨系统结构与机理为推动中国灾害天气学科的发展和业务应用打下了坚实的科学基础,同时为国家“973”项目研究任务与研究目标的完成提供了必要的高时空分辨的观测资料;第二,应用野外试验资料提高对暴雨的监测与观测能力,为业务能力的提高探索新的途径与发展新的技术;第三,研发新的观测装备在野外试验中进行应用试验既推动了在观测领域中的新技术与新装备的应用,也使野外试验提高了获取更多观测资料的能力。

1.3 全书结构与各章作者

本书的主要作者:倪允琪、张人禾、刘黎平、高梅、崔春光等

本书分章作者:

第1章 前言

作者:倪允琪、张人禾

第2章 2008—2009年中国南方暴雨野外科学试验(SCHeREX)的科学目标和科学问题

作者:倪允琪、张人禾

第3章 2008—2009年中国南方暴雨野外科学试验(SCHeREX)的设计和实施

作者:倪允琪、张人禾

第4章 南方暴雨野外科学试验的资料处理和资料库建设

作者:接连淑、高梅、张文华、李丰、李斌、赵盛华

第5章 发展中尺度再分析系统生成高时空分辨率的中尺度再分析气象场

作者:崔春光、倪允琪、李红莉、彭菊香、张艳霞、邱学兴、许晓林

第6章 中尺度暴雨的监测、分析与预报预警平台及其在野外试验中的应用

作者:高梅、张文华、接连淑、李丰、李斌、赵盛华、倪允琪

第7章 机载下投式探空观测试验

作者:刘黎平、崔哲虎、倪允琪

第8章 2008/2009年野外试验期间主要暴雨过程综述

作者:湛芸、卫捷、张小玲、孙建华

第9章 2008/2009年野外试验期间典型暴雨过程的综合分析

作者:孙建华、赵思雄

第10章 利用SCHeREX中尺度再分析资料对大别山地区的 β 中尺度对流涡旋系统的分析和研究

作者:徐文慧、汪小康、倪允琪

第11章 利用双雷达观测资料和数值模拟对华南 β 中尺度强对流系统的分析与研究

作者:赵坤、孟智勇、吴多常

第12章 多种暴雨野外试验观测资料在区域数值预报中的应用试验

作者:万齐林、陈子通、王晓峰、陈葆德、崔春光、王宇红

第13章 综述

作者:倪允琪、张人禾

第2章 2008—2009年中国南方暴雨野外科学试验(SCHeREX)的科学目标和科学问题

2.1 科学目标

引发中国南方暴雨的主要系统是活跃在中国南方汛期的 β 中尺度强对流系统,但是由于这类系统空间尺度小、生命史短,具有突发性、持续性等特点,使用常规观测资料很难对它的结构与机理进行深入研究和了解,也很难使用常规资料对这类系统的发生、发展做出正确的预报与预警,同时,深入了解引发中国南方暴雨的 β 中尺度强对流系统的结构与机理,尤其是影响暴雨落区、强度和发生时间的强对流云内的微物理过程不仅具有重要的科学意义,而且为进一步改进预报模式奠定重要的科学基础。因此,除通过使用常规观测网获取资料外,采用遥感技术(包括卫星、雷达等)、飞机探测、移动装备等非常规观测手段以及常规探空的加密观测(即通过野外科学试验)获取时、空尺度更为精细的观测资料,为研究 β 中尺度强暴雨系统的结构与机理提供必要数据资料,同时也为数值模式提供更为精细和更为精确的初始资料,从而提高模式对暴雨的预报精度。因此,这必然涉及获取什么样的资料,如何获取这些资料,提供什么区域、什么时刻的资料对提高暴雨预报的精度贡献最大、效益最高等诸多问题。因此,如何建设中尺度暴雨的观测网以及预报、预警平台,才能真正提高对中尺度暴雨的监测与预报、预警能力是我们所关注的重要科学问题和要实现的科学目标。

上述分析清楚表明中国南方暴雨野外科学试验(South China Heavy Rainfall Experiment,简称SCHeREX计划)要实现的科学目标是:

(1)获取丰富的具有 β 中尺度分辨率的观测资料,深入了解中国南方 β 中尺度暴雨系统的结构与机理;

(2)探索如何建设中尺度暴雨的监测与预报业务平台,提高对中尺度暴雨的监测与预报、预警能力。

要实现上述两大科学目标,我们必须通过野外试验获取两组气象资料,即具有 β 中尺度分辨率的三维高时空分辨的气象资料,包括温、压、湿、风等;能描写对流云结构特征的云内参数。

但是,要想获取上述两组在常规观测中无法获取的高时空分辨率的气象资料,我们必须在野外科学试验中实现三方面的功能,即:

(1)建立高时空分辨,具有适应性功能的中尺度观测网,其中包括移动观测系统,具有中尺度三维观测功能。所谓适应性功能是指建立敏感区和实施目标观测,具有跟踪对流系统移动的三维观测系统以及建立观测与预报的互动。

(2)发展中尺度再分析系统,该系统具有同化多种观测资料,包括卫星、雷达以及其他非常