

中尺度气象学研究与中国气象科学研究院*

周秀骥

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要

近 50 年来, 中尺度气象学研究一直是中国气象科学研究所的首要课题。早在 1963 年, 中国气象科学研究所就开始参与主持国内首次长江三角洲地区中尺度气象学试验。此后, 又先后主持了“京津冀灾害性天气监测和超短期预报基地”(1986—1990 年)、“海峡两岸及邻近地区暴雨试验研究”(1997—2003 年)、“我国重大天气灾害形成机理与预测研究”(1998—2003 年)以及“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和研究方法研究”(2004—2009 年)等国家重大科技项目。在这些项目中, 中国气象科学研究所与有关单位密切合作, 独立自主地完成了数字天气雷达系统、多普勒天气雷达系统、车载多普勒天气雷达系统、风廓线雷达系统、全自动扫描双通道微波辐射计、自动气象站网、中尺度气象资料自动收集、处理、分析及显示集成系统等研制工作, 并且研制发展了中尺度非静力大气数值预报模式。利用现代中尺度大气探测网, 组织实施了多次中尺度暴雨等大气综合观测试验, 取得了丰富的中尺度观测资料, 为我国中尺度气象发展奠定重要的科学与技术基础, 做出了重大贡献, 先后获得了 16 项国家科技奖励。

关键词: 中尺度气象学; 中国气象科学研究所; 中尺度观测试验

1 早期的中尺度气象研究

不断提高灾害性天气监测与预报水平是中国气象事业发展长期的重大任务和主题。从中央气象科学研究所(中国气象科学研究所前身)成立之日起, 台风、暴雨、冰雹与雷暴等灾害性天气研究就是研究所的首要课题^[1-2]。20 世纪 60 年代前, 研究所主要侧重于暴雨、台风等灾害性天气的大尺度天气动力与统计分析研究, 先后提出了“台风警戒线”与“引导气流”的概念, 建立了台风路径客观预报方法, 为台风预报业务提供了有益的参考, 暴雨研究开始也侧重于大气环流特征分析及暴雨分型研究。但从研究中就意识到, 用大尺度天气学方法难以解决暴雨等中尺度天气预报问题。20 世纪 60 年代初, 中央气象科学研究所的暴雨研究开始转向发展中尺度气象学。1963 年与 1964 年的夏天, 中央气象科学研究所与中国科学院地球物理研究所联合, 在长江三角洲地区开展了中国第一次灾害性天气中尺度观测试验, 对中尺度天气分析方法、强对流云物理观测以及中尺度天气预报的基本要求与可能性等问题进行了探索性研究, 为中国中尺度气象学试验研究培养了

一支科技骨干力量。20 世纪 70 年代中期, 中央气象科学研究所与湖南省气象局联合主持了湘中地区暴雨临近预报和联防试验, 在探索利用强对流天气概念模型和制作短时预报进行了有益的尝试。1976 年, 中央气象科学研究所又参加了“75. 8”河南特大暴雨的会战研究。

在上述试验研究的基础上, 中国气象科学研究所在中尺度气象学理论和方法上取得了重要进展。1965 年, 出版了由章淹撰写的《中尺度天气分析》一书, 这是中国第一部中尺度天气分析方面的专著。雷雨顺等开创了我国灾害性天气的能量学分析研究, 为暴雨和强对流天气短时预报提供了一种有效方法, 并被许多气象台站预报所采用, 先后出版了《能量气象学》^[3]与《冰雹概论》^[4]等专著。

以上工作显示了中国气象科学研究所早期在中尺度气象学研究中取得的重要成果, 其中“台风路径客观预报方法”、“总能量分析在暴雨、冰雹天气预报中的应用”、“‘75. 8’河南特大暴雨成因分析和华北内陆台风预报”、“综合要素时间剖面图”以及“全国可能最大暴雨等值线图”等 5 项工作获得了 1978 年全国科学大会科技成果奖。通过这个时期的试验研究, 研究人员充分认识到现有常规气象观测站网提

* 2006-11-10 收到。

供的资料无法满足中尺度气象学研究和提高中尺度灾害性天气预报水平的需求,中尺度气象学要能取得突破性进展,必须发展新的大气探测系统,建立中尺度大气探测网。

2 天气雷达系统的创建

从20世纪50年代开始,天气雷达逐步成为中尺度灾害性天气监测和预报的重要技术手段,而中国的雷达气象还处于空白状态。1967年,中国气象科学研究院派科技人员参与了国家X波段711型天气雷达研制工作。由此积累了经验,培养了人才,并进一步与产业部门相结合,先后于1975年和1985年研制成C波段713型天气雷达与S波段714型天气雷达。雷达观测资料十分丰富,将雷达探测物理量反演为气象要素,就必须对雷达资料进行快速的定量化处理与分析,在天气雷达研制成功的同时,中国气象科学研究院集中力量,独立自主地先后研制成了713天气雷达回波数据处理机与714型天气雷达数字化视频积分处理机,并与邮电部数据通信技术研究所协作,共同研制适用于我国天气雷达系统的图像数字传输和彩色显示系统,该系统能够完成雷达回波的坐标转换,显示降水回波的PPI与RHI彩色图像,进行数字式的远距离图像传输。这些成果奠定了我国数字化天气雷达科学技术基础,对建立由711型、713型和714型组成的中国天气雷达站网,做出了重大的贡献。“713型天气雷达的研制”与“测雨雷达在气象上的应用研究”都获得了1978年全国科技大会科技成果奖,而“714型台风警戒雷达系统”,则获得了1988年国家科技进步二等奖。更重要的是,通过研究开发工作,中国气象科学研究院建立了一支能独立自主研制天气雷达系统及开展雷达气象研究的科学技术队伍,为全面发展中尺度大气探测技术奠定了坚实的基础。

3 京津冀灾害性天气监测和超短期预报试验基地

中国气象科学研究院在“七五”期间(1986—1990年),主持承担了国家重点科技攻关项目“中期数值预报及灾害性天气研究”第二部分“灾害性天气预报研究”,同时,还承担了国家气象局部门重点项目“组建京津冀地区灾害性天气监测和超短时预报

试验基地”的任务。从1986年开始,中国气象科学研究院集中主要科技力量,建立了中尺度气象研究所,联合来自中国科学院、大专院校、机械电子工业部、航空航天工业部、邮电部以及京津冀地区省市气象局、国家气象中心和国家卫星气象中心等单位的近300名专家,组织了科技攻关。到1989年,就建成了“京津冀地区灾害性天气监测和超短时预报试验基地”(简称为京津冀基地),并初步投入预报的业务试验,取得明显的社会与经济效益。

京津冀基地由中尺度大气探测网、资料收集处理及传输、图形与图像工作站、短时预报及产品分发等5个子系统组成,通过信息自动传输,形成了一个中尺度天气监测和预报自动化的集成系统。其中,大气探测网包括天气雷达站网、大气廓线仪、雷电定位网、自动气象站网及卫星资料处理等(图1)。天气雷达站网中共有2部多普勒天气雷达和2部数字化天气雷达,覆盖了整个京津冀地区。集成系统能在1h内完成大气探测、资料收集处理与分析,最后发布0~3h临近预报。并利用美国NCAR的MM4中尺度数值模式,在微机上运行2.5h,发布12~24h降水数值预报结果。经过技术指标对比,该系统的总体功能达到了当时美国PROFS、英国FRONTIES及瑞典PROMIS-600等同类系统的国际先进水平。

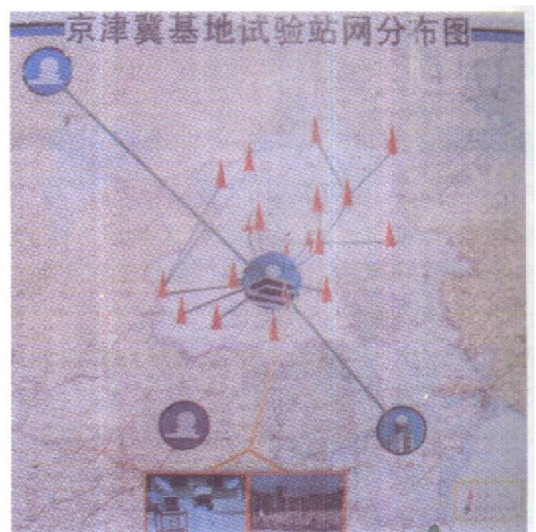


图1 京津冀基地试验站网

在京津冀基地建设,中国气象科学研究院的中尺度气象学研究取得了以下一些突破性进展,对我国中尺度气象学发展产生了重要影响:①独立自主研制成了我国首部多普勒天气雷达系统C波段,

为我国新一代多普勒天气雷达站网建设奠定了技术基础,培养了人才;②独立自主地研制成了我国首部对流层风廓线雷达系统(简称风廓线仪)(图2),为我国风廓线业务站网建设奠定了技术基础^[5],培养了人才;③研制成新的全自动双通道全天空扫描微波辐射计,与风廓线仪结合,取得了不同高度水汽输送通量的观测资料(图3);④独立自主研制成六要素自动气象观测站,首次建立了中尺度地面自动气象站网;⑤研制成我国多功能双屏八画面气象图形图像工作站,该工作站以微机为主机,采用对多种资料归一化和完整的坐标转换软件,实现了卫星、雷

达和常规资料的综合分析和叠加显示功能(图4);⑥研制成以雷达、卫星与常规气象资料综合分析与诊断为基础的临近预报系统。

基于这些科技成果,中国气象科学研究院“UHF多普勒测风雷达系统”及“灾害性天气监测和短时预报系统”先后在1991年和1992年获得了国家科技进步一等奖。20世纪90年代,福建、广东、上海、湖北、安徽等省市在建立区域中尺度天气监测和短时预报基地时都推广应用了这些科技成果。为推动中国中尺度气象学发展产生巨大影响。

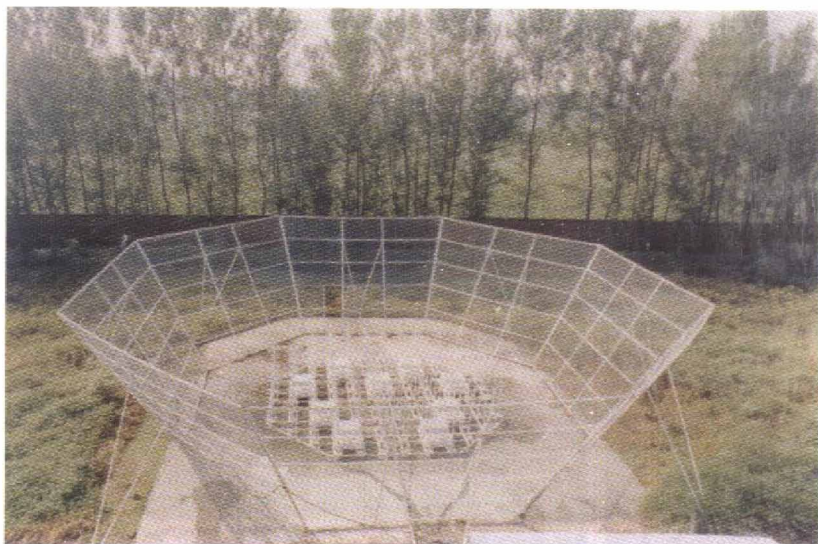


图2 对流层 UHF 风廓线雷达

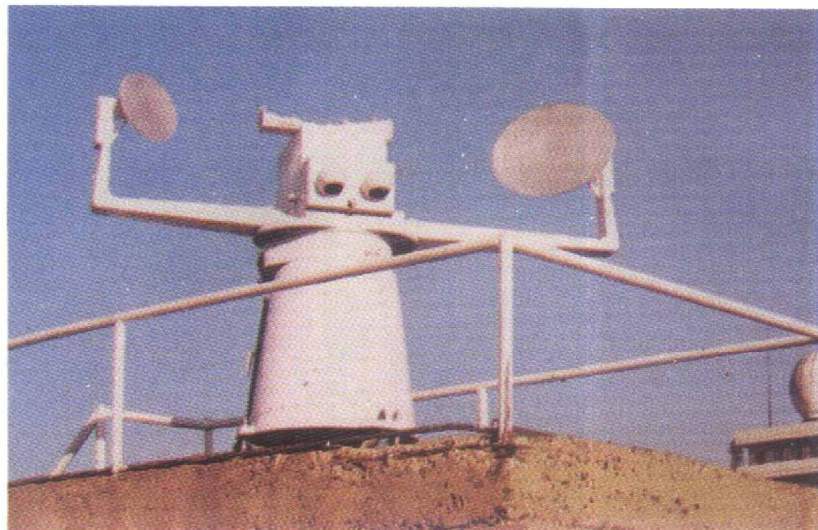


图3 双通道全天空自动扫描微波辐射仪



图4 MIGS- II气象图形图像工作站

4 华南暴雨试验研究

1997年,在完成京津冀基地建设8年之后,中国气象科学研究院才获得机会再次主持承担了国家“九五”科技攀登专项“海峡两岸及邻近地区暴雨试验研究”(简称“华南暴雨试验研究”),与广东省气象局、福建省气象局、中国科学院大气物理研究所、北京大学地球物理系、国家卫星气象中心、香港天文台以及澳门地球物理观象台等单位密切合作,1998年5—6月在广东省和福建省区域中尺度天气监测与预报基地进行了华南暴雨的综合观测试验和分析研究。

共有103个地面自动气象站、6个常规探空站、3部数字化天气雷达和4部多普勒天气雷达、7个闪电定位站、2台风廓线仪、3个地基全球定位站

(GPS-MET)以及卫星云迹风测风探测等参与了华南暴雨试验的综合观测^[6]。1998年5—6月期间,共获得了7次暴雨过程的综合观测资料。为了使这些资料能充分应用于中尺度气象学研究和中尺度数值模拟试验,对所有观测资料的质量控制,资料预处理以及格点化处理,进行了大量细致的工作,最后建成了具有较高可信度规范化的7次暴雨过程数据库。并按不同时空尺度分辨率综合集成了常规气象观测、多普勒雷达探测、卫星探测、风廓线仪探测、地基全球定位探测以及中尺度数值模拟输出等资料,对暴雨系统多种物理量空间结构变化进行自动诊断分析,实现了微机平台上三维可视化显示(图5)为华南暴雨中尺度气象学的深入研究奠定了重要基础。华南暴雨试验研究项目完成后,该数据在很长时期内仍是国内中尺度气象研究一个共享的资料库。

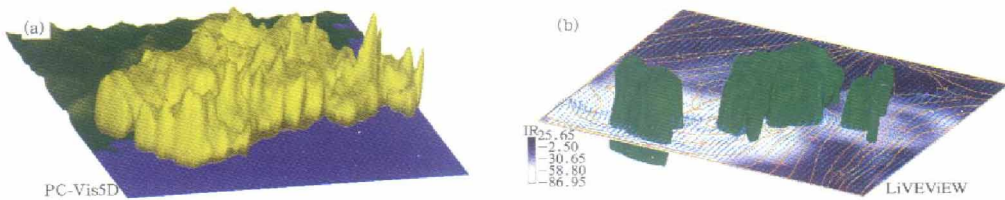


图5 微机平台上三维可视化显示

(a) 汕头雷达回波强度为20 dBz等值面, (b) 数值模拟输出的云中雨水含量等值面

华南暴雨试验研究另一个重要进展是建立了高分辨率的华南区域中尺度暴雨数值预报模式,在国内首次研究开发了中尺度格点模式的三维变分同化系统,初步应用于广州区域气象中心的业务数值预

报。在试验观测资料分析和中尺度数值模拟的基础上,分析了华南暴雨中尺度热力与动力结构,揭示了华南暴雨系统中尺度结构及其变化机制,初步建立了一个华南暴雨物理模型^[7]。

5 暴雨形成机理与预测理论和方法研究

自 1998 年以来, 中国气象科学研究院又先后主持承担了国家重点基础研究发展规划项目(简称 973 项目)“我国重大天气灾害形成机理与预测研究”(1998—2003 年)以及“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究”(2004—2009 年)。这两个相连的项目集中了来自中国气象局、中国科学院以及大专院校有关单位优秀的中尺度气象学研究力量, 全面、长期、稳定地开展了我国中尺度暴雨形成

机理以及暴雨监测与预报理论和方法研究^[7]。

中国气象科学研究院在全面主持项目工作的同时, 在中尺度暴雨研究方面又取得以下进展: ①组织实施了长江三角洲以及长江中下游地区中尺度暴雨综合观测试验, 建立了规范化的全国共享的中尺度南方暴雨资料库^[8]; ②建立了暴雨系统 β 中尺度空间物理结构及其变化过程的再分析场分析与显示系统, 为中尺度暴雨理论研究奠定技术基础; ③发展了移动式中尺度暴雨系统探测技术, 特别是车载多普勒天气雷达系统以及多部多普勒天气雷达探测资料风场反演分析的理论与方法^[9](图 6、图 7); ④独



图 6 C 波段可移式多普勒天气雷达

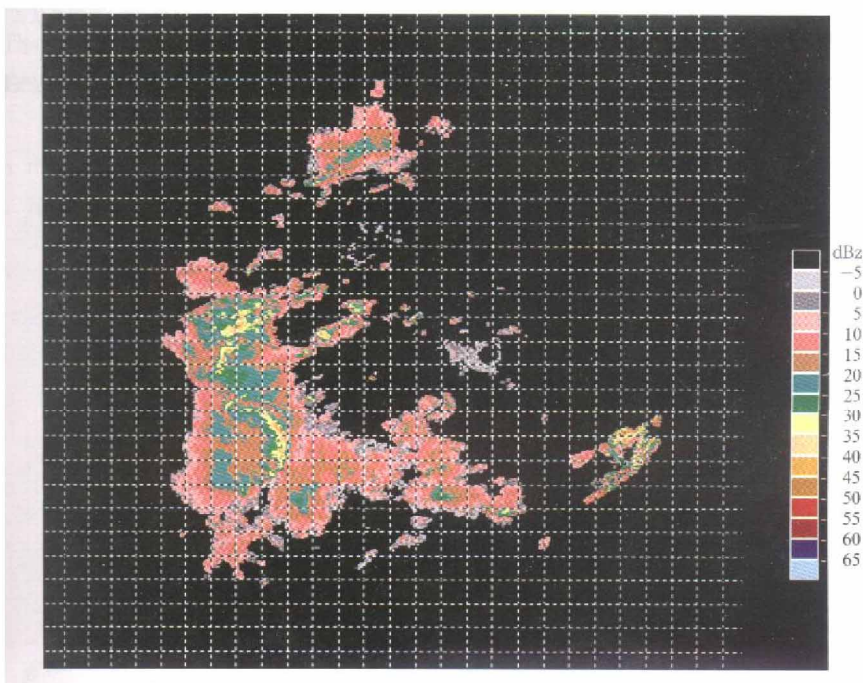


图 7 江苏 4 部雷达四维变分方法反演的水平风场拼图

立自主地建立了多尺度非静力天气数值预报动力学模式、云降水物理模式、云辐射模式、高阶矩边界层模式以及雷电模式。推动了 GRAPES 数值模式的研制与发展^[10]；⑤独立自主建立了常规气象资料与非常规气象资料(雷达与卫星等)的三维与四维变分同化系统；⑥建立了暴雨系统精细时空物理结构及其变化的临近预报与短时预报系统。该系统以配有快速循环同化资料的高分辨率非静力 β -中尺度数值预报模式为基础,结合天气动力学分析与诊断方法,给出定量、定时、定点的预报结果。

6 结 语

回顾国内外中尺度气象学近半个世纪的发展,中国气象科学研究所的中尺度气象学研究与国际发达国家几乎是同时起步的,在长期发展中,中国气象科学研究所坚持独立自主地研制发展中尺度大气探测技术,建立中尺度大气探测网,开展中尺度气象综合观测试验,以及研制发展适合中国自然环境的多尺度非静力大气数值模式,这既符合世界中尺度气象学发展的潮流,又奠定了中国中尺度气象学的坚实基础,推动了全国中尺度气象学的发展。在中尺度气象学领域中,以中国气象科学研究所为主,取得的研究成果先后获得 1978 年全国科技大会科技成果奖 7 项,国家科技进步一等奖 2 项,二等奖 4 项,三等奖 3 项,其主要成果都已经或正在逐步推广应用于国家及地方气象业务工作。

台风、暴雨、冰雹、雷暴等一切灾害性天气变化都与云系的发生发展紧密相联。当前,对水汽与降

水场的探测比较成熟,对云系物理动力结构及其变化的探测还缺乏有效的手段。而大气中云系发生发展是由水汽转化到降水的重要环节,由于缺乏完整系统的观测资料,对云系发生发展过程中物理动力结构变化的了解还很不深入。建立云系客微观物理动力空间结构及其变化过程的探测系统,深入研究云系物理动力学及其与中尺度天气系统的相互作用,已成为中尺度气象学研究以及灾害性天气预报水平能否进一步提高的关键。这也正是当前世界中尺度气象学发展的新趋势。中国气象科学研究所应在现有基础上迎头赶上,以推动我国中尺度气象学取得新的突破。

参 考 文 献

- [1] 中国气象科学研究所. 中国气象科学研究所三十年. 1998.
- [2] 张人禾. 奋斗与辉煌的五十年——中国气象科学研究所 1956—2006 纪念. 北京: 中国气象科学研究所, 2006.
- [3] 雷雨顺. 能量天气学. 北京: 气象出版社, 1986.
- [4] 雷雨顺. 冰雹概论. 北京: 科学出版社, 1978.
- [5] Zhou Xiuji, Zhao Conglong, Ma Da'an, et al. Atmospheric profiler and preliminary investigation on the monitoring of disastrous weather. *Acta Meteorologica Sinica*, 1991, 5(3): 265-273.
- [6] 周秀骥. 海峡两岸及邻近地区暴雨试验研究. 北京: 气象出版社, 2000.
- [7] 周秀骥, 薛纪善, 陶祖钰, 等. '98 华南暴雨科学试验研究. 北京: 气象出版社, 2003.
- [8] 倪允琪, 刘黎平, 高梅, 等. 长江中下游梅雨锋暴雨野外科学试验. 北京: 气象出版社, 2004.
- [9] 程明虎, 刘黎平, 张沛源, 等. 暴雨系统的多普勒雷达反演理论和方法. 北京: 气象出版社, 2004.
- [10] 陈德辉, 胡志晋, 赵春生, 等. CAMS 大气数值预报模式系统研究. 北京: 气象出版社, 2004.

Researches on Meso-scale Meteorology in Chinese Academy of Meteorological Sciences

Zhou Xiuji

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

Meso-scale meteorology has been the primary research area of Chinese Academy of Meteorological Sciences for the recent 50 years. As early as in 1963, Chinese Academy of Meteorological Sciences is already a dominant participator of the first Yangtze Area Delta Meso-scale Meteorology Field Experiment. Since then, a series of grand science research programs are directed, among which are Monitoring and Ultra-short Term Predicting of Disaster Weather in Beijing, Tianjin and Hebei District during 1986—1990, Torrential Rainfall Experiment over Both Side of the Taiwan Strait and Adjacent Area(HUAMEX) during 1997—2003, Research on Formation Mechanism and Prediction Theory of Severe Weather Disasters in China during 1998—2003, Research on Theories and Methods of Monitoring and Predicting of Heavy Rainfall in South China during 2004—2009. In these programs, Chinese Academy of Meteorological Sciences successfully develops lots of innovative instruments, e. g. , digital weather radar systems, Doppler weather radar systems, mounted Doppler weather radar systems, wind profiles radar systems, double channel auto-scanning microwave radiometers, automatic weather station network and an effective integrated system of meso-scale meteorological data collecting, processing, analyzing and displaying. A nonhydrostatic multi-scale atmospheric numerical forecasting model has also been developed. With the implementation of modern meso-scale observation network, Chinese Academy of Meteorological Sciences starts several meso-scale storms observation experiments, and obtains plentiful data. Very important scientific and technological support to research of meso-scale meteorology in China have been provided by these approaches. Thanks to these contributions, Chinese Academy of Meteorological Sciences has received 16 National Awards of Scientific and Technological Progress.

Key words: meso-scale meteorology; Chinese Academy of Meteorological Sciences; meso-scale meteorological field experiments