

'98 华南暴雨 科学试验研究

HUAMEX

周秀骥 薛纪善 陶祖钰 等著
赵思雄 仪清菊 苏百兴

气象出版社

国家攀登计划专项 95-专-03

'98 华南暴雨科学试验研究

'98 Huanan Baoyu Kexue Shiyan Yanjiu

周秀骥 薛纪善 陶祖钰
赵思雄 仪清菊 苏百兴 等著

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

'98 华南暴雨科学试验研究/周秀骥等著. —北京:气象出版社,2003.1

ISBN 7-5029-3516-9

I .9… II .周… III .暴雨-气象试验-研究-华南地区 IV .P437

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 105390 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编:100081)

责任编辑:郭彩丽 终审:周诗健

封面设计:王伟 责任技编:都平 责任校对:时人

*

北京京科印刷有限公司印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.25 插页:4 字数:352 千字

2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月第一次印刷

印数:1~800 定价:42.00 元

前 言

暴雨是中国地区重要的灾害性天气现象,随着中国社会现代化水平的提高,暴雨引起的洪涝灾害对中国社会发展和经济、国防建设的影响日益加剧,仅 1998 年 6~8 月期间,珠江、闽江、长江以及嫩江、松花江等地区先后出现暴雨,有些地区遭受了百年来未见的特大洪水。据统计,全国有 29 个省、自治区、直辖市地区洪涝成灾,受灾面积超过 2 500 万 hm^2 ,成灾面积超过 1 500 万 hm^2 ,受灾的人口有 2 亿多,直接经济损失高达近 2 500 亿元。中国大气科学家一直非常重视对暴雨的研究,1964 年我国首次组织了长江三角洲地区暴雨科学试验,所用方法主要是在常规地面和高空气象站上进行时间加密观测。通过试验,开始认识到暴雨是中尺度天气现象,大尺度气象观测网难以对暴雨过程进行有效的监测和预报,从而提出了发展大气遥感技术、建立中尺度大气探测网的任务。随之,又先后在广东、湖南、长江中下游、华北等地多次组织过暴雨科学试验和综合研究,这些试验深化了对暴雨发生发展的天气系统及其变化机制的认识,提高了暴雨预报水平,但由于受观测网的限制,暴雨中尺度结构和过程的研究仍然难以深入。

1986~1990 年期间,“灾害性天气监测与短时预报研究”被列为国家科技攻关项目,分别在京津冀、长江中游、长江三角洲及珠江三角洲等四个地区开展了中尺度灾害性天气监测与短时预报的研究。该项目突破了研制自动气象站、大气风廓线仪、多普勒天气雷达以及中尺度探测网资料的高速自动传输、采集、分析处理和显示设备的关键高新技术,在四个地区建成了中尺度大气探测和短时天气预报系统。90 年代期间,推广应用了该项目的研究成果,福建、上海、北京、广东等省市相继建立了省级中尺度天气监测和短时预报基地,为我国暴雨科学试验奠定了良好的技术基础。

1997 年,国家“九五”攀登科技专项“海峡两岸及邻近地区暴雨试验研究”(简称为华南暴雨科学试验——HUAMEX)就是在上述历史背景和条件下开展起来的。该项目在中国气象科学研究院主持下,集中了全国来自中国气象科学研究院、国家卫星气象中心、广东省气象局、福建省气象局、中国科学院大气物理研究所、北京大学地球物理学系以及南京大学大气科学系等单位 50 多名著名中尺度气象学专家参加了科学试验研究工作。根据近十多年来我国中尺度探测技术的进展,华南暴雨科学试验已有可能把暴雨 β 中尺度结构与变化的研究列为重点,加强了自动气象站观测,多普勒天气雷达、风廓线仪、气象卫星及其他遥感探测资料在监测分析和预报暴雨 β 中尺度结构与变化过程中的应用研究。即使这样,现有应用于业务的中尺度探测网的四维时空分辨率仍然难以给出 β 中尺度暴雨系统结构的完整资料,还必须依靠多种观测资料的集成同化,把资料和天气动力学分析诊断以及高分辨率中尺度数值模拟有机地结合起来,才能进一步深入揭示暴雨系统中尺度结构与过程的变化机制与规律。因此,华南暴雨科学试验旨在通过中尺度外场综合观测试验、天气动力学分析诊断与中尺度数值模拟相结合的技术途径,研究华南前汛期暴雨和登陆台风暴雨的中尺度结构及其变化机制和规律,深化华南暴雨的中尺度理论,为改进暴雨中尺度监测和数值预报模式,提高暴雨短时预报水平提供新的科学依据。

通过五年多的工作,“华南暴雨科学试验”完成了项目预定的任务,它成功地进行了外场综合观测试验,取得了7次前汛期暴雨过程的综合观测资料,只是由于试验期间没有台风登陆华南,未取得台风暴雨试验资料。利用这些资料,项目建立了完整的1998年华南暴雨资料库,并在地基全球定位系统探测大气柱水汽总量、多普勒天气雷达探测中尺度风场结构、卫星反演地表特征资料和云迹风资料在中尺度数值模拟中的应用、多种观测资料的集应用化及三维动态显示,暴雨中尺度结构天气动力学分析诊断、暴雨 β 中尺度数值模拟以及动力模型等方面都取得了新的重要进展。本书就是较全面地总结该项目所取得的研究成果的一本专著,各章节分别由参加项目研究的专家撰写,分工如下:

第1章:薛纪善

第2章:周秀骥、仪清菊、阮征

第3章:苏百兴、薛纪善、仪清菊

第4章:陶祖钰

第5章:赵思雄、贝耐芳、赵平

第6章:周秀骥、薛纪善

全书最后由周秀骥修改定稿。

限于经费和时间,“华南暴雨科学试验”现有的研究结果只能是初步的。对7次暴雨过程,我们只是较系统、细致地分析研究了两个过程,其他5个过程只给出了一般的分析结果。所发展的一些遥感探测方法和取得的观测资料如何在暴雨监测和预报中应用,也只是展示了其可喜的应用前景,还未能真正在监测和预报实际中应用。令人欣喜的是,从1999年开始,国家重点基础研究“我国重大天气灾害形成机理和预测理论研究”正式立项,“华南暴雨科学试验”的许多研究结果在该项目中得以继续延伸,使中尺度暴雨研究得以持续地深入前进。

气象出版社和本书的责任编辑,对本专著的编辑和出版给予了大力支持;刘品同志在专著的稿件组织、加工和编排等方面做了大量工作。作者对他们在专著出版中付出的辛勤劳动,致以衷心的感谢。

匆忙编写,专著中还会有不少的不足甚至错误之处,请读者提出批评指正。

周秀骥

2002年8月27日

目 录

前言

第 1 章 华南暴雨研究历史回顾	(1)
1.1 华南暴雨的气候特征	(1)
1.2 华南前汛期暴雨天气系统	(4)
1.3 华南暴雨试验研究活动的回顾	(6)
1.4 华南暴雨的主要研究结论与有待解决的科学问题	(9)
参考文献	(10)
第 2 章 1998 年华南暴雨科学试验	(11)
2.1 华南暴雨科学试验的综合观测	(11)
2.2 多普勒天气雷达探测	(12)
2.3 地基全球定位探测大气柱总水汽量	(17)
2.4 卫星遥感地表特征与云迹风	(22)
2.5 华南暴雨外场科学试验资料的收集、处理和建库	(30)
2.6 资料的集成显示	(39)
参考文献	(45)
第 3 章 1998 年 5~6 月华南暴雨过程分析	(47)
3.1 概述	(47)
3.2 5 月 13~15 日暴雨过程分析	(48)
3.3 5 月 16~18 日暴雨过程分析	(58)
3.4 5 月 22~25 日暴雨过程分析	(65)
3.5 5 月 29 日~6 月 1 日暴雨过程分析	(73)
3.6 6 月 2~6 日暴雨过程分析	(81)
3.7 6 月 8~11 日暴雨过程分析	(89)
3.8 6 月 18~21 日暴雨过程分析	(97)
3.9 总结	(106)
参考文献	(109)
第 4 章 1998 年 5 月 22~25 日华南暴雨过程研究	(110)
4.1 天气过程分析和诊断	(110)
4.2 数值模拟和结果检验	(120)
4.3 暴雨雨团 β 中尺度流场结构	(126)
4.4 锋面垂直环流和雨团中气块的三维运动轨迹	(131)
4.5 边界层斜压中涡旋的结构和形成过程	(142)
4.6 中涡旋的涡度收支	(147)
参考文献	(154)

第 5 章 1998 年 6 月 8~11 日华南地区降雨过程的分析	(156)
5.1 6 月 9~12 日华南暴雨的背景条件	(156)
5.2 粤桂地区的暴雨过程	(162)
5.3 闽台地区的暴雨过程	(192)
5.4 6 月中旬华南前汛期降水结束及北移雨带的分析与模拟	(211)
5.5 与历史同期 6 月华南前汛期暴雨的比较	(212)
5.6 小结	(215)
参考文献	(216)
第 6 章 华南暴雨科学试验与暴雨预报	(219)
6.1 建立南海海域海洋气象观测网	(219)
6.2 天气雷达与暴雨预报	(219)
6.3 发展中尺度低空大气探测系统和动力学研究	(220)
6.4 研制高分辨率暴雨数值预报模式	(220)

第 1 章 华南暴雨研究历史回顾

20 世纪 80 年代中期黄士松先生等国内多位著名专家联合编写的《华南前汛期暴雨》一书提出:“从天气过程和降水分布的自然区域而言,从地理与气候的特点来看,华南地区应包括广西、广东、福建和台湾四个省区。”(当时海南与广东还未分省)。一般的暴雨或天气研究也都遵循这一用语习惯。这里纬度低,紧靠海洋,受到热带与中纬度天气系统的交替作用,雨量大,暴雨频率高,雨季长,是我国降水最充沛的一个地区;华南又是我国人口密度与经济总量最大的地区之一。由于暴雨频数高,加上地形复杂,华南地区容易造成洪涝,其暴雨洪涝发生的频数居全国之冠,给国家经济建设与人民生命财产安全带来巨大损失。历史上最著名的“乙卯大水”(1915 年)两广受灾农田 6.222 万 hm^2 ,受灾人口 600 万,仅珠江三角洲死伤人口达 10 余万人。据珠江水利委员会分析,按 1981 年的物价水平,这次洪涝的经济损失达 100 亿元。近 50 年中,较大的洪涝又发生过十余次,据不完全统计,仅两广地区累计造成的经济损失超过 1 000 亿元,受灾人口达 1 亿。其中最严重的是 1994 年珠江流域特大暴雨造成的洪涝,两广经济损失超过 400 亿,受灾人口 1 000 余万。除了区域性的暴雨,华南的局地暴雨也常造成小范围的重大灾害。提高暴雨预警水平对于有效采取防灾措施、减轻暴雨灾害造成的损失是十分重要的。因此,深化对华南暴雨发生的机理与规律的理解,改进暴雨预报的技术一直受到我国气象科学研究与业务人员的特别关注。

本章将对本次华南暴雨试验前有关华南暴雨的研究作一简要回顾。目的是为本次试验研究提供一个历史背景。由于资料方面的原因,本章的叙述主要限于对华南大陆部分的暴雨研究成果。除特别指明外,本章的材料引自 20 世纪 80 年代和 90 年代出版的两本关于华南暴雨的专著——《华南前汛期暴雨》和《1994 年华南特大暴雨研究》。

1.1 华南暴雨的气候特征

1.1.1 华南的前汛期和后汛期

华南的雨季一般开始于 4 月,持续时间达半年以上。在长达半年以上的雨季中,华南多数地方的雨量高峰出现在 5~6 月,不少地方 8 月还有一个次高峰。这两个高峰对应了华南整个雨季两种不同类型的降水。气候上华南地区从 4 月到 6 月初依然处于副热带高压主体以北,降水与西风带系统有密切关系。尽管热带天气系统也会有影响,但不是主导的天气系统。不论学术界还是社会上都把这一多雨期称为前汛期。初夏副高在我国大陆第一次北跃后,我国的主要雨带依次推移到长江流域与华北地区,华南的降水主要是副高以南的热带天气系统,特别是热带气旋造成的,形成了 7~9 月华南第二个多雨期,称之为后汛期。可见华南前汛期是由西风带降水系统造成的华南第一个多雨期,而华南后汛期则是主要由热带气旋及其他热带天气系统造成的华南第二个多雨期。这里顺便提到前汛期(后汛期)的英文译名。从其确切的含义,作者建议采用 the first rainy season (the second rainy season)而不

赞成有的文献所采用 pre- (post-) 的前缀或 early (late) 这一类的定语, 它们会有歧义, 使人们误解为主要汛期前的多雨期或雨季来临的一种年际变率。

华南前汛期的降水可占年雨量的 50% 或更多。华南的洪涝多数由前汛期暴雨造成, 并且华南前汛期实际是我国雨带季节性北移的一个阶段。因此大气科学界历来对华南前汛期暴雨极为关注。与华南大陆的前汛期同时, 台湾也经历了其一年中第一个多雨期, 当地称之为梅雨。他们与其后江淮流域的梅雨、朝鲜半岛与日本的梅雨都表示东亚夏季风季节性推进的不同阶段。

而华南后汛期的暴雨主要是热带气旋造成的, 对其研究一般归入热带气旋的研究, 因此对华南暴雨的研究, 主要针对前汛期的暴雨。从气候上讲, 华南尽管 4 月开始雨量增加, 进入前汛期, 但这时的降水主要是锋面性质的, 暴雨较少。一直到 5 月南海夏季风建立之后, 暴雨过程与降水量猛增, 这时才进入前汛期的降水集中期。因此从时间上讲, 华南前汛期降水主要是在南海夏季季风爆发后的 5~6 月, 这时期不仅降水量大, 而且集中, 使得暴雨频繁。暴雨出现的次数可占全年暴雨过程数的 50% 以上。暴雨量普遍占到同期总降水量的 30% 以上。

1.1.2 华南前汛期的气候特征

图 1.1a 是华南大陆地区 4~6 月降水量的多年平均值的分布, 图 1.1b 是平均 4~6 月降水量占平均年降水量的比例。两图表明, 4~6 月华南地区的降水不仅在全国是最丰沛的, 而且占年降水量的比例也较大, 一般可达 40%~50% 甚至更多。图 1.2 是 5 月暴雨量 (指 20 时至次日 20 时降水量大于 50 mm 的日降水量累计值) 占总雨量的比例 (薛纪善等 1999)。华南这一比例普遍在 30% 以上, 最多可达 60%, 由于人为的日界划分, 所统计的暴雨量比实际出现的暴雨少。因此实际暴雨所占的比例比图 1.2 数字要大。以上结果说明华南前汛期不仅是一年中华南最主要的雨季, 而且主要是降水集中, 常常形成暴雨。华南的两广各地与年平均的全年暴雨日为 7~15 d, 大暴雨 (日降水量大于 100 mm) 日可以达 1~5 d。而前汛期暴雨日数占全年暴雨日数的一半以上。华南不仅暴雨多, 而且强度大, 如不计历史上孤立

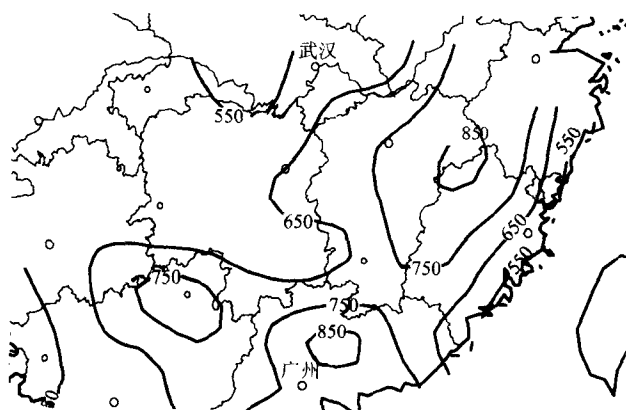


图 1.1a 1971~2000 年华南 4~6 月平均总降水量 (mm) 分布 (国家气象中心资料室提供)

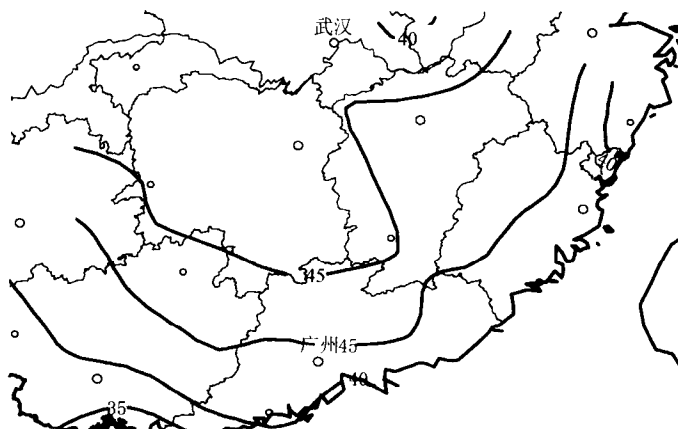


图 1.1b 华南 4~6 月总降水量占年总降水量百分比(%) (国家气象中心资料室提供)

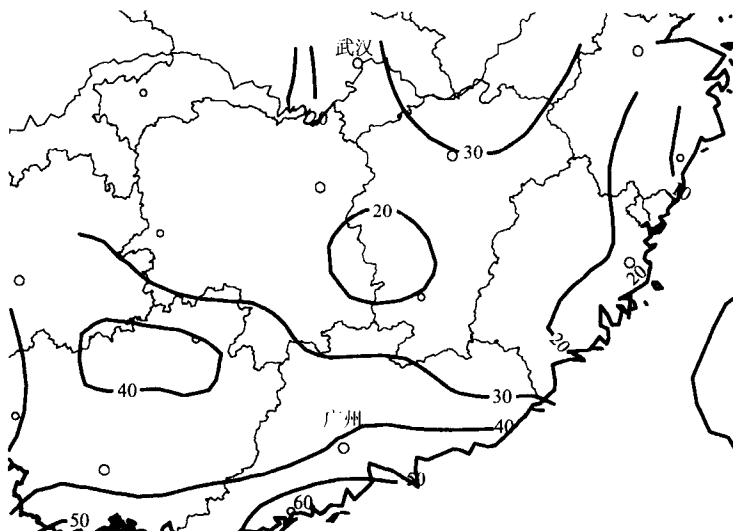


图 1.2 5 月暴雨量占 5 月总降水量的百分比(1971~2000) (国家气象中心资料室提供)

出现的暴雨极值记录,从区域范围看,华南是全国暴雨强度最大的地区。据不完全统计,广东近 40 年来,日雨量超过 700 mm 的记录有 18 次。表 1 列出其中超过 800 mm 的记录,最大值达 915 mm,这些记录几乎都出现在前汛期。中国大陆实测天气历时(10 min)最大雨量记录,福建的暴雨记录,要比广东小,84.8 mm 也出现在这一地区的广东增城金坑水库。相对地讲,广西的日雨量约在 400~600 mm 之间,但仍比我国大陆其他地方强,且同样多数出现在前汛期。

关于一次暴雨的空间尺度没有作过严格的统计,各省预报业务部门大致将暴雨分为大范围的(指暴雨覆盖全省(区)大部分面积)、区域性的(暴雨区覆盖若干个县或气象观测站)与局地性的(即孤立的暴雨)。尽管各省的分类不同,但总结果相似,即区域性的暴雨比例最

大。这可能表明华南暴雨的 β 中尺度特征。

表 1.1 广东最大日雨量记录

雨量(mm)	地 点	时 间
915.6	陆中双沛	1987-05-05
884	陆中白石门	1977-05-30
858	电白利垌	1959-05-19
851	台山镇海	1955-07-11
850	台山果子园	1973-05-27
826	清远迳口	1982-05-12

华南前汛期的暴雨还有一定的时间持续性。特别是在华南南部的广东沿海,一次暴雨过程可持续 2~3 d。持续时间更长的暴雨尽管次数少,但一旦出现,常会酿成重大灾害。华南相当多地区的暴雨存在着明显的日变化,不少地方存在夜雨现象,即夜间到清晨出现最大雨强,但午后的雨强高峰也常见。日变化的细节各地差异较大,表现出局地条件的影响。

华南暴雨的分布受到明显的地形影响,无论从降水量还是从暴雨的次数,都可以看出华南的降水空间分布有两个大降水带:一个在武夷山至南岭山脉,另一个则在广东沿海,反映出大尺度地形的影响。在这两个大降水带上,整个华南大陆部分,有 6 个暴雨中心,即武夷山区、粤中山区(清远—佛冈)、桂东北山区(桂林)、粤东沿海(海陆丰地区)、粤西沿海(阳江—恩平—江门)、北部湾沿海(东兴—钦州)。这些暴雨中心都与大尺度地形背景下的局地地形有关。常常是在暖湿气流的迎风坡,并且在局地地形条件有利于冷空气扩散南下并与暖湿空气交汇之处。沿海暴雨中心的暴雨量比内陆各暴雨中心的大,这表明沿海山脉对暴雨的形成更为有利。华南暴雨的地理分布特点对暴雨预报是十分重要的;华南的大部分暴雨过程都出现在这些暴雨中心区。

1.2 华南前汛期暴雨天气系统

1.2.1 华南的暖区暴雨

华南热带气旋活动季节开始得早,4 月即可能受到热带气旋影响,但从总体上说,在前汛期热带天气系统直接造成的暴雨是次要的。前汛期的暴雨多数是中、低纬天气系统相互作用的结果,特别是低纬的西南气流与中纬度西风槽叠加,会造成很强的暴雨。

西风带系统对华南前汛期暴雨仍起着主导作用。因此,华南前汛期的暴雨与冷空气活动有着密切关系,但暴雨区往往不在锋上或锋后,特别是强暴雨,往往位于锋前暖空气一侧。华南暖区暴雨成为华南暴雨的最显著特点。所谓暖区暴雨是指产生于华南地面锋线以南暖空气一侧的暴雨或是南岭及以南都没有锋面,也不受冷空气控制时产生的暴雨。根据 1977~1979 年统计,暖区的降水可比锋后或锋上的降水大 3~5 倍。这种暴雨是与强对流活动相联系的。暴雨强度大而集中,历时短,且伴有雷暴活动,反映出很明显的中尺度对流系统的活动特征。

前汛期暴雨尽管发生在暖区,但一般与冷空气有联系,并不是单纯的暖空气里形成对

流,因此西风带的系统依然起着关键作用,特别是低层系统。如低层的切变线,它位于地面锋面北方一定距离处,而伴随着地面锋面从北向南移动,移到南岭时,位置与地面锋面靠近,暖区暴雨带发生在切变线上低涡东南侧,而中层的南支槽或西风槽则有利于槽前的辐合上升和增强气柱的不稳定。

华南前汛期暴雨的另一个关键系统是低空的西南风急流。这类低空急流是天气或次天气尺度的,它向北输送水汽与不稳定能量,形成位势不稳定区;同时,在其左侧的气旋性切变与辐合区形成次级环流,有利于不稳定能量的释放。低空急流的形成与加强往往与低纬度的环流变化有关系,这反映出中、低纬天气系统的相互作用。华南预报员的经验表明,单纯的西风带系统活动与单纯的暖区的位势不稳定都不会造成强的区域性暴雨,中低纬度天气系统的恰当配置与相互作用是华南前汛期暴雨产生的关键,这也是华南前汛期暴雨有别于全国其他地区暴雨的最基本的特点。由于华南纬度低,主要暴雨发生在暖区,因而气压梯度小,一般难以分析出与暴雨相对应的气压系统;同时,华南暴雨发生在位势不稳定的大气中,表现出强烈的中尺度对流特征,常规的观测站网也难以捕捉到有关华南暴雨系统的完整信息。尽管下面几小节将简要叙述与华南暴雨有关的天气系统,但我们并不强调这些系统对暴雨的直接贡献,因此我们并不过多过细地叙述造成暴雨的具体天气系统类型,而希望把读者的注意力集中到有关华南暴雨的最基本的问题上去。

1.2.2 地面系统

造成华南前汛期暴雨的地面系统主要是锋面、辐合区与暖湿区。锋面包括冷锋与静止锋。据统计,绝大部分的暴雨与南下冷空气有关,因此锋面的作用不可忽视。与强的冷空气对应的急行冷锋并不造成暴雨,暴雨只发生在冷空气南下,并不断补充,使锋区在华南摆动的情下,除了有一定温度对比的斜压锋区外,湿度梯度大的所谓能量锋或落点锋也有利于暴雨的产生。它们可能反映出冷空气变性过程中低空的不均匀性,在冷空气南下过程中,如果西南地区有热低压发展,并向华南伸展,这时暖区暖空气较强,在冷高脊前面形成地面低槽辐合区,暖区内可有降水。锋面移入低槽区,使辐合区进一步增强,暴雨达到高峰。如果前期热低压不存在,则暖区暖空气较弱,南下冷锋往往在过南岭时锋消,地面的辐合区对暴雨的形成有重要的意义。需要说明的是,这里所说的辐合区是一种天气尺度的背景,不同于直接触发暴雨的中尺度辐合系统,后者常与特定的地形、海陆分布及其变化有关。

低槽辐合区的暖湿空气在给暴雨提供水汽与不稳定能量中扮演着重要角色,暖湿程度向海面增加。正是由于广大暖湿区的存在,才使得暴雨系统能集中大量的水汽,以维持大量的降水。

1.2.3 低层系统

无论是研究还是华南预报员的经验都表明,低层系统对华南前汛期暴雨最具决定性作用。

低空急流 这里所说的低空急流是指在 850~700 hPa 层上出现的强西南风,平均风速在 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,最大可达 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,它与华南前汛期雨带相配合,并与副热带高压及雨带一起季节性北移。据分析,无急流对应的暴雨过程只占 5% 左右。低空急流的生成和发展过程有两类:一类是副高加强及其两侧低值系统发展;另一类则是西南季风的加强。关于低空急流对暴雨的作用曾进行过大量的研究,发现了一些明显的天气学特性。低空急流有其

独特的三维动力学结构。沿其下风方向,低空急流左侧低层为气旋性切变与辐合区,高层为反气旋切变与辐散区,而右侧则为整层反气旋切变区和辐散区。这一配置产生了独特的次级垂直环流,使暴雨最有利于产生在大风核左前方和湿舌前端。低空急流轴在垂直方向是倾斜的,并与高层的急流可以有相互作用。其强度还有日变化,并且沿着低空急流可以有风速脉动。大风核可以沿急流轴传播,并造成相应的雨量脉动。低空急流作为一种独特的天气系统,在其他大尺度系统影响下会发生南北移动或停滞摆动。低空急流对暴雨的贡献之一是输送低层的水汽和不稳定能量,它的走向与暴雨发生时自西南向东北延伸的暖湿舌及位势不稳定区总是吻合的;贡献之二是独特的次级环流有利于不稳定能量的释放,提供了产生中尺度暴雨系统的一种触发机制,如某种形式的正反馈得以维持,则暴雨系统还可以持续较长时间,有时低空急流也可以与暴雨同时产生,说明暴雨系统与低空急流存在着相互作用。

切变线低涡 天气尺度的低层(850 hPa 或 700 hPa)切变线位于锋面的北方,一般伴随地面锋面自北向南移动。锋面移到南岭时,切变线与地面锋线位置靠近,暖区暴雨发生在切变线上低涡的东南侧。除了切变线上的低涡,华南很少有独立的低涡东移。西南涡的东移对华南暴雨的影响主要是促使低空急流发展,加强暖湿空气的输送。

边界层辐合线 通常是变性冷高脊后部的东南风与暖湿西南风的辐合,达到一定强度时,也可能引发暴雨。它的尺度较小,出现机会也较多,但不是每次都能激发暴雨。

1.2.4 中高层系统

对于华南暴雨来说,最主要的是 500 hPa 上的中纬度西风上的槽与南支西风上的槽,两者相连时,振幅大,影响就更明显。直接与高空槽过境相联系的暴雨过程比例并不很大。但这可能是由于在前汛期后期南支西风已经减弱,要追踪南支槽已很困难。目前的普遍看法是南支槽对华南前汛期暴雨的直接作用比其他地区要少,许多暴雨过程并没有中层槽出现,有时暴雨还出现在槽后西北气流中。

中层气旋 这是夏季风期间一种重要的天气系统,常出现在南海及临近地区,主要气旋性环流发生在 700~500 hPa 之间。一旦连续几个时次天气图出现了中层气旋,往往会给华南地区带来暴雨,甚至大暴雨天气。它是华南一个重要的暴雨天气系统。

副热带高压 副高脊的作用是造成有利于暴雨的大尺度背景,因而作用是相对间接的。副高的活动会影响南海季风的爆发、低空急流的形成与加强、冷空气的南下方式等。这些都与暴雨的形成有直接联系。与副高活动相联系的还有副热带急流。高空急流的南侧存在着反气旋切变,有利于维持低层辐合的补偿机制,又对对流凝结潜热起着疏散作用。因此更高层(200 hPa)的南亚高压活动也是需要注意的。

《华南前汛期暴雨》编写组(1986)和薛纪善等(1999)都归纳了华南暴雨的三维天气系统的量。有兴趣的读者可参考原著,这里不再赘述。

1.3 华南暴雨试验研究活动的回顾

1.3.1 研究华南暴雨的科学意义与科学问题

前文已提到华南前汛期暴雨是我国夏季雨带季节性北移的一个阶段。它的早晚、强度与中

国其后各个区域的降水有着必然的内在联系,对于理解东亚夏季季风的全过程是一个不可缺少的环节。不仅如此,尽管华南暴雨由于出现在低纬度有其独特的特点,但华南前汛期暴雨与其后出现的长江流域的梅雨期的暴雨都属于副高西北部西风带系统与西南或偏南气流共同作用的结果,因此在天气系统方面仍可能有共同之处。其某些特点特别是中尺度结构可能会反映出中国暴雨的共性。而华南暴雨出现次数多,进行个例的加强观测较多实现,因此华南暴雨的研究还可能对理解中国更大范围的暴雨有意义。正是以上两方面的原因,华南前汛期暴雨一直是我国大气科学家一个研究热点。围绕着加深对华南暴雨产生机理的理解,改进暴雨预报这一目标,研究所涉及的科学问题主要包括:

- (1) 华南暴雨的大尺度环流背景以及它与南海和东亚季风爆发、演变的关系;
- (2) 华南暴雨的影响系统与天气过程;
- (3) 华南暴雨的中尺度结构及其与天气尺度系统的相互作用;
- (4) 华南暴雨的短时与短期预报方法、技术;

由于华南纬度低,暴雨系统有很明显的中尺度对流特征,而常规的探测系统又不能揭示暴雨系统的许多基本特征,因此有关华南暴雨的研究历来重视加密探测资料的获取,并在此基础上进行深入的分析研究。近20年来通过几次一定规模的外场试验,随着华南暴雨的行星尺度与天气尺度的背景逐渐清晰,科学家们关注的重点逐步转移到华南暴雨的中尺度结构及其与大尺度系统的相互作用上。对预报方法的研究,也由传统的天气图方法转到发展中尺度监测预警与发展暴雨的数值预报模式上。

1.3.2 1977~1980 的华南前汛期暴雨试验

华南暴雨由于其在气象服务与科学研究上的特殊重要性,近几十年来,一直受到全国科学家的关注。20世纪70年代后期,在对河南“75·8”暴雨集中研究后,紧接着,多部门的科学家就联合实施了一个为期5年(1977~1982)的合作计划,即华南前汛期暴雨试验。在这6年间进行了4次观测试验,即一次预演试验(1974年5~6月),两次正式试验(1977年与1979年5~6月)与一次边界层试验(1980年5~6月)。除了边界层试验区在福建省龙岩地区外,其他试验都是在整个华南地区进行,以两广、福建三省和贵州、湖南、江西三省的南部为一般试验区,搜集全部国家站(约310个)全天24h逐时的地面观测监测,与常规探空资料;在一般试验区内又设定桂东北、粤中和闽西南三个重点试验区,利用气象哨(852个)和雨量点(126个)进行逐时中尺度雨量观测,小部分站点还设置了气压、温度、湿度与风的自记仪器,并在重点试验区进行了探空的时间加密,或设置临时测风站。除了地面与探空以外,这次试验进行了天气雷达的组网观测,共有24部雷达参加了试验观测。限于当时的条件,大量的观测凭借人力,填成图表,并进行复制,提供给全国各地的研究人员使用。前后参加研究合作的包括华南各省气象部门与南京大学、中国科学院大气物理研究所、空军气象学院、南京气象学院、中山大学等16个单位,共提交160多篇论文,最后编写出版了《华南前汛期暴雨》专著(1986年出版)。这次试验研究清晰地揭示了华南前汛期暴雨所具有的暖区暴雨特征和暴雨的环流背景与影响系统,特别是低空急流的作用,还对华南暴雨的中尺度特征、地形的作用都进行了深入探讨。正如《华南前汛期暴雨》一书所说:“1975年以前,我国暴雨降水成因的主要理论支柱仍是挪威学派的锋面气旋模式,降水多发生在气旋中心附近和冷暖锋系附近的冷空气一侧。因此暴雨研究和预报的主要着眼点是有无冷空气侵袭,以及是

否有位势场和温度场上的低值气压系统和冷暖锋系发生发展。而这次试验研究,使得对华南暴雨的认识突破了这一框架。”这对研究与业务预报的影响都是非常深远的。但限于当时的观测条件,主要的认识还是限于天气尺度或中间尺度,对于中尺度特征的研究以及暴雨的数值模式研究还留待以后的研究。

1.3.3 1994 华南暴雨与 20 世纪 90 年代的华南暴雨研究

1994 年 6~7 月华南出现了区域性的特大暴雨,从而引发了珠江流域近 100 年一遇的洪水灾害。460 亿的经济损失和超过 4 万的受灾人口,又一次把华南暴雨这一课题推到我国大气科学家面前。为了进一步改进对华南暴雨的预报,华南几省气象业务部门约请全国的科研院所与高校对 1994 年华南暴雨进行集中研究,华南暴雨又一次成为研究热点。与 80 年代不同的是,这次研究集中在“特大”持续性暴雨的形成条件上,因而对热带环流系统的影响有了更多关注,并作了更深入的分析,因而对热带系统对华南暴雨的贡献有了更清楚的了解。这次研究的另一个特点是观测手段与分析手段的改进,使得对华南暴雨中尺度结构与边界层的作用作了较仔细的分析,从而提出了暴雨过程中的中尺度对流概念模型(如图 1.3),并特别强调了边界层内的西南风急流的作用。这一时期华南暴雨研究的又一特点是在数值模式研究中得到了应用。关于暴雨数值预报试验表明,高分辨率的模式有可能对华南暴雨有较强的预报能力。这一段研究在对热带系统的影响、中尺度结构等方面都比 80 年代更为深入,但由于主要依赖于业务观测资料,数值模式的分辨率也不够高,因此对中尺度系统的认识深度仍很有限。

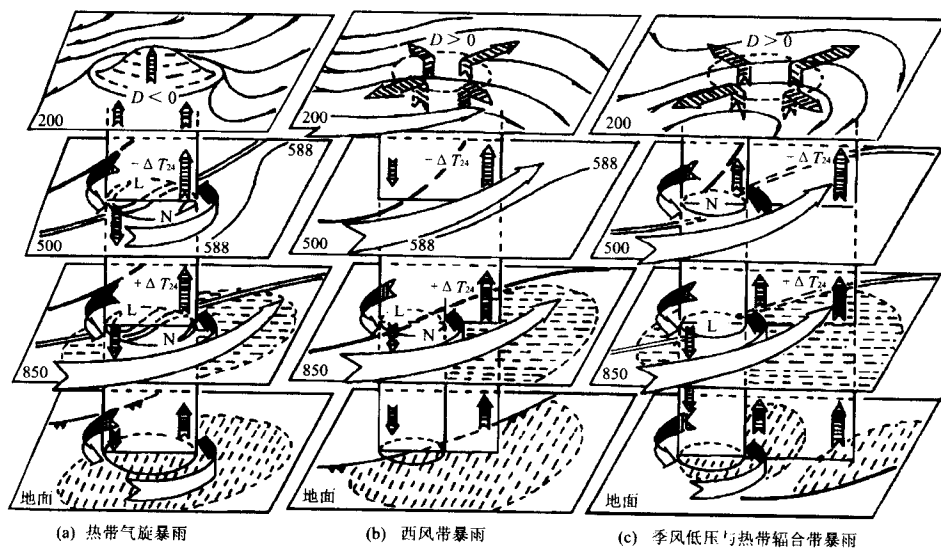


图 1.3 华南暴雨系统的概念模型(引自薛纪善等 1999)

1.3.4 台湾 20 世纪 80 年代的中尺度试验

华南大陆的前汛期与台湾梅雨期是一致的(台湾的科学家所称的梅雨期与长江流域的梅雨期是两个不同的气候与天气概念)。台湾的梅雨期也是台湾暴雨(台湾科学家习惯上称之为

豪雨)十分集中的一个季节,并常造成巨大的经济损失,而进入盛夏后,与华南大陆相似,台风降水是台湾降水的主体。台湾的梅雨期,不仅在气候上与华南大陆的前汛期处于同一时段,并且降水一般是同一锋系造成的。在很多情况下,暴雨系统也是由华南大陆沿海或南海锋面上移过去。为了加深对台湾梅雨期暴雨形成机理的理解,改进暴雨预报,台湾组织了长达11年(1983~1993)的“台湾地区中尺度试验”(TAMEX)。他们利用其先进的探测设备,积累了丰富的梅雨期暴雨资料。这次试验“开启了与台湾梅雨季豪雨有关的中尺度现象问题的研究与豪雨预报技术之研究工作”。这次试验不仅观测资料丰富,并且资料的处理与释放都有较好的安排。特别值得称颂的是利用TAMEX试验研究成果,开发预报方法,进行梅雨期预报试验。通过台湾中尺度试验,人们对于台湾梅雨期的暴雨天气尺度成因有了很深入的认识,例如梅雨锋的天气、气候特点,低空急流对暴雨形成的作用,直接造成暴雨的中尺度对流系统(MCS)的形成背景等;但由于TAMEX的加密观测区限于台湾岛,而梅雨锋、低空急流都是从华南大陆延续过来,甚至MCS也可能是从华南大陆沿海或海上发源的,因此,真正要了解台湾暴雨的发生机理,特别是MCS与大尺度背景的相互作用,加密观测区必须扩大。这也促成了在本次1998年的试验中海峡两岸科学家的合作。由于TAMEX使用了较大陆前一次华南前汛期暴雨试验更为先进的探测手段,因此对1998年的试验提供了较为直接的宝贵经验。

1.4 华南暴雨的主要研究结论与有待解决的科学问题

1.4.1 1998年华南暴雨试验前的主要研究结果

根据1998年试验前关于华南暴雨的研究活动,其成果可以归纳为以下几个主要方面:

(1) 华南是我国雨量最丰沛的、雨季最长、暴雨最频繁的地区。春季与初夏华南还处于副高主体之北部,暴雨与西风带系统有密切联系;而盛夏与秋季华南已处于副高主体之南,暴雨主要是由热带气旋造成的。前者称为前汛期暴雨,后者称为后汛期暴雨;但前、后汛期并不是截然可分的,有的年份会有交叉。对华南大部分地区,前汛期降水在全年降水中占的比例最大。

(2) 前汛期暴雨是西风带系统与低纬度气流共同作用的结果。气象研究与业务人员长期以来总结出的冷空气(高空槽、切变线与地面冷锋)的作用对华南暴雨产生是不可缺少的关键因素之一,但主要暴雨区并不产生在锋际或锋后,而是在锋前暖区,暖区暴雨是华南前汛期暴雨的一大特色。

(3) 除了冷空气的影响外,低空的西南或南风急流是华南暴雨产生的又一个决定性因素。低空急流不仅输送水汽与位势不稳定能量,还在其急流轴的下风向左侧造成有利的次级环流。低空西风急流已成为业务预报的一条重要指标。

(4) 对于区域性的暴雨,西南低空急流的出现,往往与低纬度的环流变化有关。它可以追溯到越赤道气流、近赤道地区的环流调整,甚至澳大利亚的冷空气爆发。正因为如此,活跃的南海夏季风与低纬度环流配置是对前汛期持续暴雨产生的背景条件。这对于预测异常降水事件有重要价值。

(5) 暖区暴雨一般有明显的中尺度特征,或它是由西风带系统以一定方式的作用下,在暖湿空气中形成的中尺度对流系统造成的。这些中尺度暴雨系统难以通过常规的探空来分

析,但可以利用卫星云图进行追踪。据初步分析,它们属于 β 中尺度系统,有时也可组合成一个具有 α 中尺度的集合。这类中尺度对流系统的产生、暖湿不稳定条件与合适的环流条件都是不可缺少的,同时还与地形、海陆引起的局地辐合作用有联系。在一个地方 MCS 较长时间地停滞或同类系统的重复出现会造成特大暴雨,要引起特别警惕。

(6) 高分辨率的数值模式已表现出对华南暴雨具有一定的模拟与预报能力。数值模式已可能对一次暴雨的发生、演变过程作出较可信的预报。有的情况下,所预报的降水时间、空间分布也与实况较一致。但目前对暴雨预报的不确定性还很大,个例试验研究表明暴雨预报对模式内的边界层过程、对流过程(或云与降水微物理过程)很敏感。另外中尺度初始信息的表达及对预报的影响也是很重要的因素。

1.4.2 有待解决的科学问题

在回顾本次试验前的试验研究活动时,已提到由于当时的设备条件对中尺度资料的积累很少这一事实,因此,过去的研究主要揭示的是关于华南暴雨的天气尺度特征,而华南的暴雨主要是在一定大尺度背景下,由中尺度系统所造成的。只有深入研究中尺度系统的特征及其与天气尺度系统的相互作用,才能真正理解华南暴雨形成与变化的机理,改进对暴雨的预报。与此有关的有待认识的科学问题,可以列举如下:

(1) 冷空气(或高空低槽、切变线)对华南暖区暴雨的触发机制。多数暴雨发生在暖区但又与其所在的冷空气活动有联系。这种联系的机理是什么?暖区的中尺度对流系统与冷空气侧的低槽、切变线相互作用的动力过程是什么?这是理解华南暴雨特点的最本质的问题。

(2) 造成华南暴雨的中尺度对流系统的结构与演变特点。系统内的三维气流分布、热力结构、强对流的发展与维持以及暴雨形成的机理。

(3) 低空急流与中尺度对流系统的发生、发展的相互作用过程。包括低空急流对 MCS 的激发与传播的影响;MCS 本身的风场或相关联的中尺度低空急流,MCS 风场与低空急流的相互作用。

(4) 华南边界层内辐合系统的形成及其对中尺度 MCS 的作用。这里涉及地形、海陆分布、下垫面的温湿状态以及对 MCS 的能量输送,也涉及边界层辐合系统本身的形成过程。

(5) 与华南暴雨相联系的微物理特征。它的突发性增长与高强度降水形成的机理及其雷达回波特征的识别。

(6) 华南中尺度暴雨的可预报性。数值模式的不确定性与初值的不确定性对暴雨预报的影响;华南数值预报暴雨模式的对流参数化方案或显式云的方案、边界层方案的选择与优化。

这些科学问题的解决,对于深入理解华南暴雨、改进其预报是必须的。但这些问题主要涉及中小尺度现象。如前面所说,常规的观测资料不足以支持对它们的研究。中尺度观测试验对于深入研究华南暴雨显然是必须的,这正是 1998 年华南暴雨试验的动因。

参考文献

- 陈泰然. 1999. 1999 华南与台湾地区 5~6 月梅雨季豪(大)雨研究之展望. 海峡两岸灾变天气学术研讨会论文摘要汇编
《华南前汛期暴雨》编写组. 1986. 华南前汛期暴雨. 广州: 广东科技出版社
薛纪善等. 1999. 1994 年华南特大暴雨研究. 北京: 气象出版社