

华东中尺度天气试验成果



张丙辰 主编



长江中下游

梅雨锋暴雨的研究

气象出版社

长江中下游梅雨锋暴雨的研究

主 编 张丙辰

副主编 章震越

气象出版社

内 容 简 介

本书共分十一章,简要地总结了国内的梅雨研究的历史,系统地论述了大尺度梅雨锋的结构和其与尺度环流间的关系,中- α ,中- β 尺度天气和系统的三维结构和生消机制,边界原特征和锋生,发现了一些新事实,取得了一些新认识,提出了一些新观点,并在此基础上进行了数值模拟和动力学理论解释。这些研究成果对大气科研工作者、业务工作者、大专院校师生以及与大气科学有关的海洋、水文、地理科学工作者,均有参考价值。

长江中下游梅雨锋暴雨的研究

主 编 张丙辰

副 主 编 章震越

责任编辑 张京裔

•

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京市昌平环球科技印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 17.5 字数: 424千字

1990年3月第一版 1990年3月第一次印刷

印数: 1—4000 定价: 12.00元

ISBN 7-5029-0339-9/P·0187

序

华东中尺度天气试验是中国人民解放军总参谋部气象局组织和领导的一次规模较大的对流性天气试验。

对流性天气包括雷暴、暴雨、冰雹、下击暴流等天气现象，它们不仅严重威胁军事活动，而且给国民经济建设和人民生命财产带来重大损失。1975年8月河南一次特大暴雨，暴雨中心过程总降水量达1631.1毫米，造成水库垮坝，江河横流，人民生命财产损失极大，为仅次于唐山地震的严重自然灾害；1972年5月2日，贵阳机场一次持续8分钟的冰雹，飞机受到重大破坏；1961—1980年这20年，据不完全统计，上海市地区强对流天气损坏船舶舰艇1400余艘，飞机6架。这次试验的目的，在于研究华东地区对流性天气的特征以及与之相伴的中尺度天气系统的结构、性质和发生发展演变规律，并建立预报模式和方法，提高对流性天气预报能力。

这次试验由总参气象局和各参试单位指定专人组成领导组。下设的办公室由总参气象局南京军区司令部和空军气象学院派人组成；技术组由空军气象学院、总参气象研究所、空军第七研究所和南京军区空军司令部气象处派人组成。分别负责试验的日常工作和技术工作。试验区设在长江、淮河中下游地区，以南京为中心，西起安徽的霍山，东迄江苏的东台，北自江苏的泗阳，南至安徽的铜陵，面积约为141000平方公里。试验区布置了27个无线电探空站，13个天气雷达站。无线电探空资料的平均站距达到90公里，时间间隔为3—6小时；天气雷达资料时间间隔为30分钟。试验期间还收集了该地区260个地面气象站和1315个水文站的资料，以及日本GMS-1和2的云图资料。地面观测资料平均站距为55公里，时间间隔为1小时，卫星云图资料时间间隔为3—6小时。试验分为两个阶段进行：现场试验阶段和资料分析研究阶段。

1980—1983年为现场试验阶段，在指挥组（由办公室和技术组联合组成）的统一组织下，于每年4月下旬至6月中、下旬观测。参加单位和人员有北京、沈阳、济南、南京、福州、武汉军区以及海军、空军、二炮和国防科工委所属的30多个部队共40个气象分队近千人。这次试验共抓住32个对流性天气过程，其中探空、测风资料4480时次，雷达回波照片46992张，收集相应的高空、地面资料156000多份，雨量资料11412516份。在试验期间，参加资料收集、审核勘误和加工整理的同志都付出了辛勤的劳动。观测人员往往顶风冒雨，连续奋战几昼夜；为了保证记录的准确，资料分析人员对全部资料反复核对、精细加工、认真整理。显然，没有这些同志的辛勤劳动，不可能取得这样一批时空密度大、过程多、质量可靠的资料。

1983—1987年为资料分析研究阶段，由空军气象学院、总参气象研究所、空军第七研究所、南京军区司令部气象处、南京军区空军司令部气象处、海军东海舰队航空兵司令部气象

处、二炮80302部队气象室和国防科工委89960部队的气象室等单位参加协作。中国科学院学部委员、研究员陶诗言同志为科学顾问。分析研究的范围甚广，内容包括对观测区域内雷暴群、飕线、江淮气旋、梅雨、低空急流和中尺度对流复合体等天气系统的研究，发现了一些事实，提出了一些新观点并对之进行了理论解释。研究方法有：传统天气分析、近代天气学诊断、数值试验、雷达气象学和卫星气象学。这次试验的大部份研究论文已被汇集成《华东中尺度天气试验论文集》。为了全面系统地总结华东中尺度天气试验成果，我们在该论文集的基础上编著了《华东对流性天气的分析预报》、《长江中下游梅雨暴雨的研究》和《中尺度天气系统的诊断分析和数值模拟》三册书，并由气象出版社正式出版。相信这一成果将对改进华东地区春末夏初强对流性天气的预报保障工作必将起到积极的作用。

这次试验得到了许多单位的支持。地方气象部门、水文部门和电讯部门为这次试验的观测场地、气象资料以及资料传输都作出了很大的贡献，我们对他们表示衷心的感谢。

张丙辰

1987年7月15日于南京

前 言

《长江中下游梅雨锋暴雨研究》一书是华东中尺度天气试验专著之二。在这个天气试验期间，获得了一些梅雨的资料，这些资料可以用于几千公里行星尺度天气系统的研究，更可贵的是也可以用于千公里左右的中- α 尺度和二、三百公里的中- β 尺度系统的探讨。众所周知，梅雨是长江中下游地区的重要降水天气系统，隐藏在云层中的对流云可以发生雷暴和暴雨，它们是航空的大敌。本书的研究包括大尺度、中- α 尺度、中- β 尺度、边界层的动力学和热力学、数值模拟和预报，在这些方面都取得了进展。

必须指出，这里所说的梅雨是指春末夏初发生在长江中下游一带的连阴雨天气，有时伴有雷暴和暴雨。它不涉及这个特定地区和特定时段以外的类似天气。这次天气试验没有诊断梅雨锋上的中- α 尺度低涡，两个夏季风系统对梅雨的分别贡献和梅雨的常年振荡以及梅雨降水的触发机制，降水的数值预报、混合系统在积云参数化的作用，对流云的垂直输送作用、边界层的地气关系、不同尺度间的相互作用等，所有这些问题，都有待进一步深入研究。

这本专著是在参与研究人员的论文基础上，按照完整统一的格式，由不同的执笔人撰写而成的，内容都是研究者的研究成果，虽有所取舍，但力求科学性和系统性。参与研究的人很多，各章执笔人是：第一、二章张丙辰，第三章乔全明、易兵、章东华，第四章何齐强，第五、七章陆汉城，第六章陈永胜，第八章章震越、魏绍远，第九章魏绍远，第十章舒慈勋、章震越，第十一章章震越、张丙辰。全书由主编、副主编整理、协调、统编，陶诗言、丁一汇审阅定稿。

由于种种原因，书中不妥和错误在所难免，还望读者指正。

著 者

1988年1月于南京

目 录

第一章 绪论 —— 简要的历史	(1)
第二章 梅雨雷暴暴雨的大尺度环流	(7)
第一节 云和降水	(7)
第二节 流场	(14)
第三节 热力场	(21)
第四节 动力场	(24)
第五节 梅雨云雨带南侧气流的性质	(28)
第六节 梅雨雷暴暴雨与西太平洋副高脊的关系	(30)
第七节 水汽输送与收支	(32)
第三章 梅雨暴雨系统的形成和维持	(37)
第一节 梅雨暴雨大尺度环流的建立过程	(37)
第二节 梅雨前期及暴雨期非绝热加热及其变化	(45)
第三节 梅雨锋的形成与维持	(55)
第四节 梅雨前期及其暴雨期平均动能平衡及其变化	(63)
第五节 梅雨系统的涡度平衡	(69)
第六节 梅雨期 ω 方程的诊断分析	(70)
第七节 梅雨的水汽输送	(79)
第四章 中- α 尺度扰动	(83)
第一节 中- α 尺度雨带的观测事实	(83)
第二节 雨带的演变	(87)
第三节 中- α 尺度雨带的结构特征	(92)
第四节 6月27日两条雨带的诊断分析	(99)
第五节 大气辐射和中- α 尺度雨带的关系	(106)
第五章 梅雨锋内中- β 尺度扰动	(109)
第一节 概述	(109)
第二节 梅雨锋内中- β 尺度雨团的雷达回波及降水中分析	(109)
第三节 梅雨锋暴雨雨团的中- β 尺度系统	(118)
第六章 梅雨暴雨期的边界层分析	(140)
第一节 梅雨暴雨期降水分布	(140)
第二节 边界层热力学、动力学分析	(141)
第三节 边界层的锋及锋生分析	(150)
第七章 梅雨锋暴雨中尺度动力学	(160)

第一节	梅雨云带中尺度扰动的稳定性·····	(160)
第二节	梅雨云带内的条件性对称不稳定·····	(167)
第八章	梅雨锋降水及降水系统的数值模拟·····	(174)
第一节	数值模式·····	(174)
第二节	梅雨锋降水区及其降水系统的数值模拟·····	(177)
第三节	梅雨锋中- α 尺度降水带及降水系统数值模拟 ($\Delta S = 30\text{km}$) ·····	(194)
第九章	梅雨云雨带中天气系统的数值模拟·····	(207)
第一节	梅雨云带区温湿结构的数值模拟·····	(207)
第二节	梅雨锋西南低空急流的数值模拟·····	(219)
第三节	梅雨锋辐射特征的数值模拟·····	(226)
第四节	梅雨锋上气旋扰动发展的数值模拟·····	(234)
第十章	梅雨期雷暴暴雨预报·····	(243)
第一节	雷暴暴雨的天气尺度形势特征·····	(243)
第二节	暴雨落区的经验判据·····	(246)
第三节	雷暴暴雨预报·····	(252)
第四节	梅雨锋降水的数值预报·····	(261)
第十一章	结束语——天气学物理图象·····	(265)

第一章 绪论——简要的历史

梅雨一词，我国古籍中早已有之，唐柳宗元的《梅雨》诗中云：“梅实迎时雨，苍茫值晚春”；宋苏东坡的《舶艖风》诗中云：“三时已过黄梅雨，万里初来舶艖风”，在该诗引中说：“吴中梅雨即过，飒然清风弥旬。岁岁如此，湖人谓之舶艖风。”苏东坡将梅雨与夏季风联系了起来。在我国，将梅雨作为一个科学问题来考察，是本世纪三十年代开始的，竺可桢和欧阳楚豪是先行者。竺可桢把梅雨当作季风问题来研究，1934年他发表的《东南季风与中国之雨量》一文论述了梅雨与东南季风的关系，而且明确指出：历年长江流域，舶艖风强弱不一，而雨量之多寡，则大不相同。凡风力愈大，则雨量愈小；风力愈小，则雨量愈多。次年，他又提出季风系统的概念，指出：东亚及太平洋西部气压系统随时季而变迁，造成中国之季风系统，而中国之季风系统，复控制中国降水之时季。30—40年代的研究大多从挪威学派的极锋学说出发。1937—38年，涂长望在前后两篇文章中指出：梅雨是变性的极地大陆气团与变性的赤道气团，或变性的太平洋气团交绥形成的。1939年，么振声在《中国中部静止锋及其在两湖盆地发展的波动》一文中详细论述了梅雨问题，指出：在梅雨季节，当冷锋到达华中时，热带海洋气团（TP）常常向东退却，而赤道海洋气团（E₀）对于静止锋的形成则起了重要作用。1949年，张丙辰从气团分析的角度又认为：我国梅雨天气实由海洋性变性的极地大陆气团与变性热带太平洋气团的交绥作用所致，并把梅雨天气分为暖锋天气型与气旋天气型两类。

五十年代是我国研究梅雨的一个突破时期，从此开始，把梅雨与东亚大气环流的变化联系了起来。陈汉耀、高由禧、程纯枢、陈学溶都对梅雨天气形势和降水性质作过探讨，指出梅雨降水不完全是层状云降水，其中也有雷暴和暴雨。刘匡南、陈隆勋在探讨我国自然天气季节时提出江南梅雨划作前夏季的概念，并明确指出：雨区是在我国上空30—35°N间的平均强西风之南，这一强风带的强弱和降水的强度关系较大。这就把梅雨与西风急流联系了起来。他们还指出：我国进入前夏季之后，和春季比在某些方面，如在印度洋和南海上空，印度西南季风的侵入在亚洲较高纬度。谢义炳在研究我国夏季几种降水天气系统时，作出了梅雨锋的垂直剖面，显示了这种锋的热力学性质。陈汉耀对1954年长江流域的梅雨暴雨作了研究，他把梅雨与东亚环流联系在一起，指出梅雨期中的冷空气不是来自鄂霍次克高压，而是来自大陆内部高纬地区的西风带，并认为梅雨时节，副高呈东西长，脊线偏南，因而能和偏南以后的西风带锋区造成较大的梯度，使长江淮河一带出现一支较强的西南气流，使它和江淮地区雨量分布东西向成带状相适应，这支强西南气流的存在，对于决定降雨量的强度是有重要意义，每当一次强大暴雨出现时，700hPa和500hPa图上，在长江以南地区上空西南风最强，经常在每秒20米左右，特别是在700hPa图上就在这种形势下，湿度增加最快，湿舌和和强西风区相一致，另一方面西南风风速的增加不是连续的，在西南风区中常有风速辐合产生，有较强的垂直运动（这后来被称之为西南低空急流），同时指出梅雨锋是变性西伯利亚气团、海洋性变性西伯利亚气团和热带太平洋气团或热带赤道气团相交锋的产物。陶诗言、

赵煜佳、陈晓敏通过对四年梅雨的详细分析，富有综合代表性地指出：在我国的长江中下游，自汉口以下一直到上海，平均每年在6月10日前入梅，而在7月10日前出梅。在这个时期中，日照时数比较少，高温多云，地面的风力较小。这也是该地区降雨量最集中的时候，这便是梅雨。接着他们用大量的篇幅，详细地分析了在梅雨时期亚洲上空大气环流的变化特点，包括低纬地区夏季风的爆发和中高纬度地区长波型的变化，他们指出：梅雨出现在春季到夏季的过渡时期中，梅雨开始一般是在六月初，在这个时期，亚洲上空的大气环流有着一次极明显的变化，这时青藏高原南侧的西风急流消失，印度的西南季风开始爆发，高原上空建立起一个副热带高压脊线，并在亚洲南部上空建立一支高空东风急流。他们还指出：这时北半球长波的数目由原来的三个增加到四个，在 100°E 和 180°E 附近为常定槽的位置。而在 150°E （亦即在鄂霍次克海上空）为高脊。这样我国梅雨期的开始并不是一个局地的现象，而是跟大气大范围的环流变化相联系的。他们还分析了梅雨时期水汽的输送问题，认为在梅雨期间，大陆上长江以南地区，水汽来自我国的南海海面。

六十年代和七十年代前半期，由于十年浩劫，梅雨的研究曾一度中断。到七十年代后半期，75.8河南特大暴雨带来的仅次于唐山地震的特大自然灾害，引起了全国研究暴雨的热潮。这时对于梅雨又进行了广泛的探索，举凡梅雨的涵义与梅雨期，梅雨大尺度环流条件，梅雨与季风，梅雨锋的结构与性质，梅雨暴雨产生的条件与系统，梅雨锋上中尺度低压的数值模拟，梅雨期的低空急流，梅雨期的水汽收支，梅雨期的能量输送，梅雨云系的卫星云图和雷达回波特征，梅雨的常年振荡以及梅雨的预报问题都作了大量的工作。下面我们把有关梅雨锋及其雷暴与暴雨的一些问题，作概括性的介绍。

1. 梅雨的涵义和梅雨期 梅雨是由两种不同性质的气流相交汇，有时并伴以浅薄低气压系统的降水。从这一观点上讲，它具有天气学的性质和意义，可是这种不同性质气流交汇的降水，又经常相当持久的出现在某一特定地区和特定时间，即出现在长江中中游一带的春末夏初的一段时间，具有高湿高温，阴雨连绵的特征，因而又是一个气候学问题。梅雨期是东亚大气环流的由春至夏的转变时期，出现在长江中下游一带的连续性降水天气，各年梅雨期的天气有很大变异，有的年份出现持久而强的梅雨降水，有的年份出现“空梅”。

2. 梅雨大尺度环流条件 梅雨期北半球大气环流出现调整，经向度增大，高纬度多呈阻塞形式，鄂霍次克海上空多有阻塞高压，西欧乌拉尔一带阻塞高压东移到 90°E 处，甚至贝加尔湖西北有时也会出现阻高。而在中纬地区上空则是比较平直西风，其中出现高空西风急流。这时西太平洋副高脊线位于 $18^{\circ}-20^{\circ}\text{N}$ ，在梅雨区高空则是反气旋性辐散区，它是南亚高压的一部分，其南侧有东风急流，其中下层则是辐合上升区。这个高空的反气旋辐散区的存在、维持和消亡与入梅、出梅有一定的关系。梅雨区的南边有西南低空急流，低空急流位于高空急流的右侧。

3. 梅雨与季风 我国梅雨与冬夏季风的交替有密切联系，影响我国东南半壁的夏季风可以是热带季风，也可以是副热带季风，它的来临一般可分几个时段，从常年平均情况看，大体上是四月初夏季风开始影响我国大陆，但不稳定；待到六月上旬末，它不但可北进到长江中下游一带，而且开始逐渐稳定下来，这时长江以南气流多为西南向， 850hPa 上 θ_{se} 猛增到 332°K 或以上，就是入梅的象征；大约到八月初，夏季风开始衰退。

4. 梅雨锋的结构与性质 近年来的研究表明，在梅雨期，大气中低层的锋结构是逐渐消失的，特别是到了梅雨暴雨期间，除非有中- α 尺度低涡生成发展，雨区上空主要表现为一强

烈的大气辐合上升气流带或气流切变线。这个切变线低层为冷性，高层为暖性，它位于高空急流与低空急流之间，形成整层的大气上升区，大气层结属弱的对流不稳定，雷暴暴雨就发生在其附近。由于降水和云的作用，低层大气发生冷却，高层大气产生增暖，由于低层的水平温差是由云区和局地降水产生的，它与原来气团性质本身的差异关系不大，因之地面分析的冷锋是不恰当的。有人提出，梅雨锋是发生在副热带锋区下方的浅层锋，一般只存在于800hPa以下的大气中。

5. 梅雨期中的低空急流 梅雨期，在长江以南存在着一支西南低空急流，这支低空急流与暴雨有很好的联系，暴雨出现于低空急流的左侧，一般说，低空急流强时暴雨亦强，有人统计，在梅雨期中，暴雨与低空急流相伴出现的次数占低空急流总数的79%。这支低空急流的左侧是一个里查逊数的负值区，也是低空不稳定的地区，有利于中间尺度波动的发展，它具有强的超地转性质，这种超地转风的强弱与暴雨的强弱有密切关联。研究还指出：西南低空急流具有不同的尺度，从行星尺度、天气尺度到中间尺度。后者总是镶嵌于前者之中，急流中有强风中心。

6. 梅雨期的水汽输送 有关梅雨期中水汽的输送与来源问题，近年来的研究指出：水汽输送主要集中在700hPa以下，最大水汽量与低空急流中心线基本吻合。由于低空急流在我国境内呈西南而东北走向，所以水汽通道的走向亦是如此。但在通道上水汽输送的速度是不均匀的，并有水汽辐合中心从上游移来。对 $\frac{1}{g} \mathbf{q} \cdot \nabla \vec{v}$ 和 $\frac{1}{g} \vec{v} \cdot \nabla \mathbf{q}$ 分别计算，水汽平流对于水汽

辐合作用不大，而风场辐合导致的水汽辐合是梅雨锋上丰富降水的主要因子；对 $-\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{g} u q \right)$

和 $\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{g} v q \right)$ 的计算，可知前者大于零而后者小于零。这说明经向水汽辐合是主要的。近年

来有关大范围 $\vec{v} \cdot \nabla \mathbf{q}$ 的分析研究发现，这支水汽通道从我国华南一带一直可以向西南经过中南半岛与印度洋上索马里低空急流相连接。

7. 梅雨暴雨的产生和系统 近年来的研究表明，梅雨暴雨多发生在中高纬度西风带为两脊一槽时，即乌拉尔和鄂霍次克海上空分别为两个高压脊或阻塞高压，中间为平直西风带伴有一支西风急流，副热带高压北进，具体说是在500hPa上急流位于 $35^{\circ}-37^{\circ}N$ ，副高脊线位于 $23^{\circ}-25^{\circ}N$ 的地区，江南一带低空急流持续增强的时段，这支西南低空急流不但是梅雨暴雨水汽和能量的输送带，而且也是暴雨发生的触发机制之一，这时形成低空大气辐合，高空大气辐散，出现深厚的对流区，在这里大气呈弱的不稳定性质。暴雨发生在地面静止锋上中尺度系统活动频繁强度较强，或气旋波内中尺度系统活动频繁，但强度较弱的部位，可知这种暴雨均带有中尺度系统性质。

8. 梅雨锋上中尺度低压的结构和数值试验 梅雨是一种具有温带扰动和热带扰动的混合体。在采用尺度分离之后就更为明显，在流场上当水平尺度为500—600公里的气旋性旋涡，在温度场上是下层较四周为冷，中高层较四周为暖的结构。在动力场上，下层为正涡度，上层为负涡度，因此下层气流辐合，上层辐散，经向剖面上，在低涡的南北各有一个正逆环流圈。用细网格降水模式对梅雨锋上中尺度低压进行数值模拟后发现：中尺度系统的生成过程可分为发生阶段与发展阶段，前者动力因子起主要作用，它决定着梅雨锋上中尺度系统发生的地区和时间，并组织了对流层云使其降水具有中尺度性质；后者水汽凝结潜热的作用

用是主要的，它维持和加深了中尺度系统的发展。试验并表明：中尺度系统的发展对凝结加热非常敏感。

9. 梅雨期的能量收支 根据对1972年梅雨期长江中下游一带能量输送的计算所得结果，在梅雨之前，大尺度热源主要由感热输送所提供，梅雨期间，天气尺度系统主要在低空800hPa层输送感热和潜热，而中间尺度系统在700—800hPa层输送潜热，而在高空300hPa以上输送潜热。对流层中下层热源的形成主要是取决于中间尺度系统的潜热输送。由此形成大气的上干下湿的对流性不稳定层结，提供系统发展的能量。而湿对流不稳定层结又通过中小尺度系统和积云对流所引起的感热和潜热向上输送进行调节。关于波扰动能量输送的计算表明，涡动有效位能的产生主要来自大尺度上升运动相联系的加热和中小尺度系统积云对流加热。在波扰动能量平衡中，最主要的是涡旋有效位能向涡旋动能的转换，这种转换主要发生在700hPa以下。

10. 梅雨云系的卫星云图和雷达回波特征 不论在卫星云图上或雷达回波上，梅雨云系是一种层状云和对流云共生的混合云系。在卫星云图上，强暴雨降水连续发生时期，江淮流域的云系有时一直可以经过中南半岛与印度洋、孟加拉湾的热带云系相连，在分层显示的云图上，有时可以看到一条或两条对流性云带。这些对流性云带由强对流的雷雨云组成，在雷达回波上可以看到它们的中小尺度结构，随着高空气流在切变线附近由西而东运动。有时虽无明显的对流性云团，但在梅雨云系中仍可看到有不均匀的亮带出现，它的生成原因，可能是由于融化粒子粘并数和融化粒子碰并云滴增长的影响所致。

11. 梅雨的常年振荡 梅雨年变化甚大，有的年分梅期长，降水多；有的年份梅期短，降水少，甚至空梅。这种丰梅、枯梅与空梅的常年变化，与夏季风本身的变化，厄尔诺、北太平洋前冬的海温、黑潮、以及青藏高原的热力、动力作用等有关。研究表明：当春末东半球低温地区越赤道气流强而且呈多通道时，常为丰梅年，反之出现枯梅或空梅年。厄尔尼诺旺盛的来年初夏，江淮流域入梅偏迟，枯梅。北太平洋前冬海温偏低或黑潮偏暖，多为丰梅，反之列为枯梅或空梅。青藏高原的热源效应是江淮梅雨形成不可缺少的条件，其上的冬季雪盖变化对梅雨年变化有影响。当春季高原上的气温高于同纬度地区的气温时，列为丰梅年，反之为枯梅或空梅年。

12. 梅雨预报问题 梅雨预报可分为入梅预报和梅雨暴雨预报。前者多从东亚大气环流着手，一般着眼点是青藏高原南侧西风急流消失和西太平洋副高的北跳，而梅雨暴雨的预报主要着眼于暴雨形成的三个物理条件，即水汽、大气不稳定层结和强烈的垂直运动。

在国外，对于梅雨的研究可以追溯到上个世纪七十年代俄国学者沃耶伊柯夫，当时他注意到印度的夏季风给印度带来了季风雨，认为东亚的梅雨也属同一性质。以后，日本学者在上个世纪末开始了梅雨的考察，到本世纪初，冈田武松提出海温影响梅雨形成的观点，他特别强调鄂霍次克高压的作用，认为这一带如果冬季寒冷多水，春夏之交便由于海水温度偏冷易成高压，阻滞由我国大陆东移的低气压的前进，因而形成连续阴雨的梅雨天气。到本世纪的二十年代，渡边正之引用挪威学派的观点，认为梅雨是一个锋系，这个锋系随着季节由南而北移动，到日本即成梅雨。到四十年代，高桥浩一郎总结前人的观点，认为温暖的海洋性小笠原气团与鄂霍次克海的冷性气团间形成锋面，锋上有时伴有气旋，引起降水，这便是日本的梅雨。50年代也和我国相仿，普遍地把梅雨与东亚大气环流联系了起来，并提出梅雨的出现是由于喜马拉雅山系的存在导致西风急流分支引起的观点。

日本在1968—1972年进行梅雨暴雨试验,通过试验对梅雨进行了较广泛的特别是关于梅雨锋上中间尺度系统的研究。二宫洸三,秋山孝子都作过总结性的论述,关于梅雨大尺度的特征,他们指出:远东的梅雨锋是一条带状的最大云量带,沿着季风或热带气团的北界自西向东伸展。云带同最大降水量带重合,暴雨区表示为对流活跃的地区,对流作用向上输送水汽、感热和潜热,在梅雨锋区内对流层中层形成暖带和深厚的湿层。在暴雨时期,梅雨锋的最大特征是对流层下部出现超地转的强风中心,这是由于活跃的对流使水平动量垂直混合,加强了低空急流。在梅雨锋内具有对中间尺度扰动发展的有利条件。梅雨锋附近水汽收支的研究表明:梅雨锋区内的大量水汽辐合主要来自北太平洋副热带高压西北侧的西南气流,同时也证明了西太平洋上的蒸发对维持梅雨锋内的暴雨是个重要的水汽来源。中间尺度系统是日本学者对梅雨研究的重要贡献,这是指在梅雨云雨带中产生的水平尺度1000km左右上暖下冷不发展的低压,它的定义如果用二宫洸三的说法,那便是不发展的低气压扰动。这种不发展扰动的波长为数百公里到一千公里,我们把这类低气压扰动称做“中间尺度扰动”。这种中间尺度气旋的降水有一个大约20小时的规则的间歇期,在气旋区内大气具有在对流层低层为冷区,上层为暖区的特点,而在其周围气压较高的区域情况正相反。因此,我们有充分理由推断在对流层低层存在一个反环流。同时,这种不发展的低气压是大气最低层的现象,虽然始终很弱,但在逐渐发展,在气旋区对流层低层为低温而成行上升运动,从垂直环流的意义上讲,在热力学上是反环流且扰动的动能转换为位能。

近十多年来的研究指出:梅雨是东亚夏季风系统中的一个组成部分。季风系统是指构成季风常定的和准常的高、低气压以及与之相联系的具有特征性气流的有机组合。虽然各个组成部分并不丧失其原有的特性,但一旦它们有机的组织起来,发生了联系,成为一个整体,这个整体就会产生独具的特点。

在东半球有三个彼此独立而又相互影响和联系的季风系统。这便是盛行于冬半年而实际上在夏季也有影响的大陆季风系统,特别是在梅雨期它的影响不可忽视,以及盛行于夏季的南亚季风系统和东亚季风系统,我国的梅雨就是这三个季风系统相互作用的产物。

参 考 文 献

竺可桢,东南季风与中国之雨量,地理学报,1934年。

竺可桢,中国气候概论,气象研究所集刊,第七号,1935年。

涂长望, A Preliminary study on the Mean Air Currents And Fronts of China 气象研究所集刊,第11卷,1937年。

涂长望,中国之气团,气象研究所集刊,第12卷,1938年。

么振声,中国中部静止锋及其在两湖盆地发展的波动,气象研究所集刊,第13卷,1939年。

张丙辰,中国气团之交错与中国天气,气象学报,1949年。

高由禧,1946年长江流域的梅雨,气象学报,1952年。

程纯枢,1951年的梅雨,中央气象局技术总结,1952年。

谢义丙,中国夏半年几种降水天气系统的分析研究,中央气象局论文集,1956年。

刘国南等,近百年东亚夏季自然天气季节的划分及夏季特征的初步探讨,气象学报,1956年。

陈汉耀,1954年长江淮河流域洪水时期的环流结构,气象学报,1957年。

陶诗言等,中国的梅雨,中央气象局论文集,1957年。

陶诗言等,夏季亚洲大陆上空大气环流的结构,气象学报,1957年。

陶诗言等,东亚的梅雨与亚洲上空环流变化的关系,气象学报,1958年。

林春育,关于梅雨讨论中的几个问题,气象,第7期,1981年。

林春育,长江中下游梅雨与预报,气象,第5期,1979年。

毕慕莹,梅雨期暴雨大尺度环流形势,气象科技,1980年。

邱炳焕等,1973年我国梅雨时期的环流结构,大气所集刊,7号,1979年。

- 斯公望等, 一次梅雨锋低空急流形成的分析, 大气科学, 1982年。
- 陆菊中、林春育, 中国东部夏季风活动与梅雨的联系, 南京大学学报, 1982年。
- 陆菊中、林春育, 东亚各夏季风强弱变异与梅雨期旱涝的关系。
- 林春育, Stabilization of Summer monsoon in middle and lower reaches of the Changjiang river and Seasonal transition of East Asia Circulation pattern in early Summer, 大气科学进展 2卷. 3期, 1985年。
- 陆菊中、林春育, A discussion of long-range forecasting of drought/flood in meiyu from circulation variation, WMO/TD, No.87, 1985年。
- 杨金锡, 江淮特大暴雨天气系统的低层结构 安徽省气象学会文集, 1983年。
- 陈学溶等, 长江中下游梅雨期850mb低空急流及其与暴雨关系的初步普查, 长江流域汛期预报和技术交流会, 1978年。
- 孙淑清等, 低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用, 大气科学, 1980年。
- 徐景芳, 梅雨期暴雨的水汽分析, 长江流域暴雨会议文件, 1979年。
- 何金海等, 1979年6月东亚和南亚上空的水汽通量, 南京气象学院院报, 1982年。
- 唐东升, 低纬垂直积分的V气流和行星尺度气流结构分析: 热带环流会议 1984年。
- 杨景勋, 中纬度长波扰动和梅雨期集中暴雨, 谐波分析在中期预报应用会议文件 1981年。
- 郑启松, 梅雨期连续暴雨的若干特征, 长江流域暴雨会议, 1982年。
- 孙淑清, 低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用, 大气科学, 1980年。
- 王德瀚等, 一次低空急流暴雨的分析, 长江流域暴雨会议, 1982年。
- 赵文兰, 两种不同性质的暴雨, 湖北暴雨试验总结会, 1982年。
- 杨金锡, 梅雨涡旋的结构特征, 高原气象, 1982年。
- 周晓平等, 梅雨锋上中尺度低压发生的数值模拟实验, 高原气象, 1982年。
- 李维亮等, 1972年梅雨期长江中下游地区上空的能量输送, 大气所集刊, 1979年。
- 朱乾根, 夏季亚洲季风槽断裂过程及其结构特征, 热带气象一期, 1987年。
- 黄美元等: 梅雨锋云系和降水的若干研究, 大气科学, 1987年。
- 黄美元等, 在梅雨锋云系内层状云回波结构及其不均匀性, 气象学报, 1978年。
- 洪延超等, 梅雨云系中亮带不均匀性的理论探讨, 大气科学, 1984年。
- 黄润龙, 长江中下游地区梅雨研究的进展, 南京气象学院学报, 10卷, 1期, 1987年。
- 章名立等, 梅雨锋上暴雨的形成条件, 大气所集刊, 1979年。
- 高桥浩一郎等, 梅雨发生的原因(中译文)气象学译报, 3卷, 4期, 1956年。
- 朱炳海, 中国气候, 科学出版社。

第二章 梅雨雷暴暴雨的大尺度环流^{*}

梅雨是季风系统中的降水天气系统之一。东亚是世界上著名的季风区,在这个地区有三个彼此独立而又相互作用和影响的季风系统,这便是冬半年的大陆季风系统、夏半年的南亚季风系统和东亚季风系统。从冬至夏,大陆季风逐渐衰退,而夏季风——东亚季风和南亚季风则开始加强,先后到达我国南海、华南和长江流域,这样它们与衰退的大陆季风相交错,有的年分可持续几周之久,这时天气阴晦,降水连绵,有时伴以雷暴和暴雨。这时正值梅子黄熟,这便是我国习惯上称之为的梅雨。

有关梅雨大尺度环流的研究,是从五十年代开始的,在此之前,国内外气象学家有关东亚地区的大气环流的研究都没有与梅雨联系起来。五十年代,陶诗言等开始对我国梅雨的大尺度环流作了分析,指出我国梅雨是东亚大气环流季节转变中的产物。与此同时,刘匡南、陈隆勋与日本的村上多喜站开始把梅雨与东亚的高空急流联系了起来。到六、七十年代,日本的梅雨暴雨和我国长江流域暴雨研究以及邱炳煊、丁一汇等都对梅雨的大尺度环流作过分析,但仅限于若干个例。

本章旨在通过合成分析对我国梅雨期内出现雷暴和暴雨时段的大尺度环流以及梅雨锋的性质、结构进行探讨。

第一节 云 和 降 水

云和降水是天气系统可见的形态学表现之一。梅雨天气云和降水的研究,近十多年来文献很多,这一节里,我们首先对梅雨天气系统发展到典型阶段时的云和降水进行多例合成分析,以揭示其特征,并为下面章节提供研究的前提。

一、梅雨雷暴暴雨期间云和降水合成特点

在梅雨天气的典型阶段,云系和降水的地理分布,可从总云量、中低云量、对流云量、降水、雷暴暴雨等方面看出。

(一) 总云量合成特征

根据五个梅雨天气过程的共21天49个时次的GMS-1和2的卫星云图,对上述选出的梅雨天气过程中的总云量进行合成如图2.1,分布的突出特征是在这个研究范围内有两个多云带和两个少云区。一个多云带位于江淮流域,西起青藏高原,向东一直伸展到日本,这就是梅雨云系,其中在江淮流域合成总云量大于7的云带位于700hPa上切变线之南,相当于 33° — 29° N, 180° — 125° E的区域内,东西长约17个经度,南北宽约3.5个纬度,其中有两个多云中

^{*} 这一章取材于张立、乔全明、张翔、邓冰、陶月娥、麻莲、但勇、张智明的工作和论文,在写作过程中,更换了少量原论文中的图,这些图的数据计算主要是张翔提供的。

心，一个在苏北里下河流域，一个约在洞庭湖盆地。另一个多云带出现于孟加拉湾到我国南海低纬地带的海洋上，这是印度季风槽和南海季风槽的反映。两个少云带中的一个，沿15—25°N范围分布，中心轴线位于28°N附近，实际上是梅雨期间南海高脊的平均位置，云量平均最小的地区不到一成。但在孟加拉湾北部海域上，也即19—25°N，95°E以西的少云区。云量平均在3成左右，40°N以北为另一个少云区，这里是西伯利亚季风系统的下沉区，在这个区域中，云量分布呈波状，这是西风带中平均槽脊的反映。

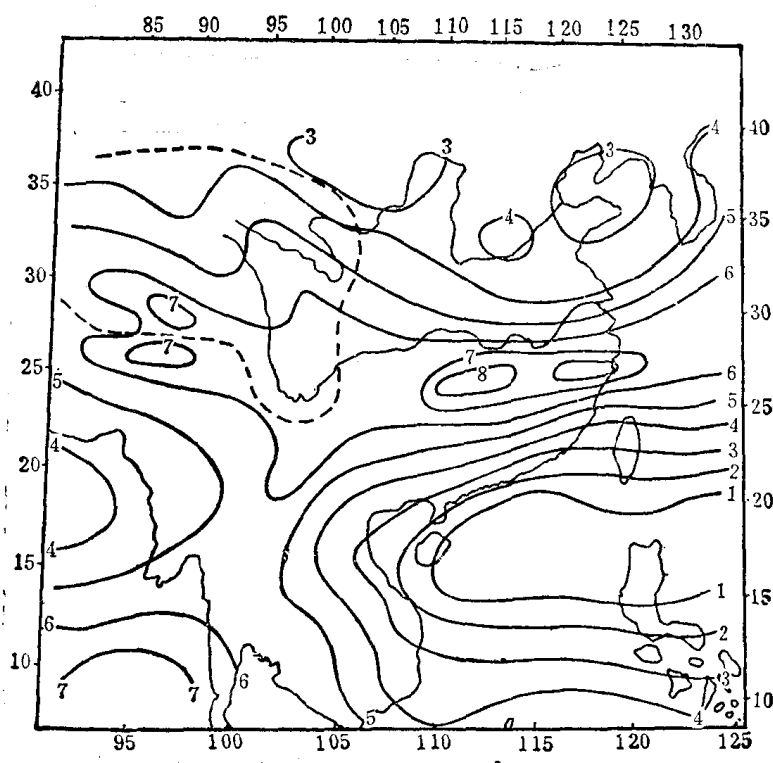


图2.1 梅雨期卫星云图上总云量合成分布 (49个时次)
单位: 1/10, 三角为参考点位置, 点划线为地形廓线

在梅雨暴雨区的多云带与热带多云带之间有一明显的多云通道，这条通道自孟加拉湾东部低纬海洋至东北延伸经过中南半岛的北部与梅雨云带相连，后面将要谈到，它与700hPa上急流轴有不可分的关系。

(二) 中低云合成特征

暴雨和雷暴与中低云关系更为密切，图 2.2 由国家气象历史天气图中的每日两次地面观测记录统计得出，由于缺孟加拉湾资料，南海资料也较少，这些地区空白或可靠性较差，但总的趋势还是可信的，与点云量相比较可以发现，即合成的中低云量比总云量还多。这是由于所用资料不同所致，地面观测资料是观测点从地面由气象员以目力观测得到的，观测点离云的距离远比气象卫星近的多。

图2.2表明，在15—43°N，85—130°E范围内，中低云合成的分布与卫星云图上得出的全成总云量分布非常吻合，一个云量大于8的大值带位于长江流域，说明梅雨云带中中低云是主要的。孟加拉湾的大值带中也有一多云通过 与江淮地区梅雨云带相连接。青藏高原主体

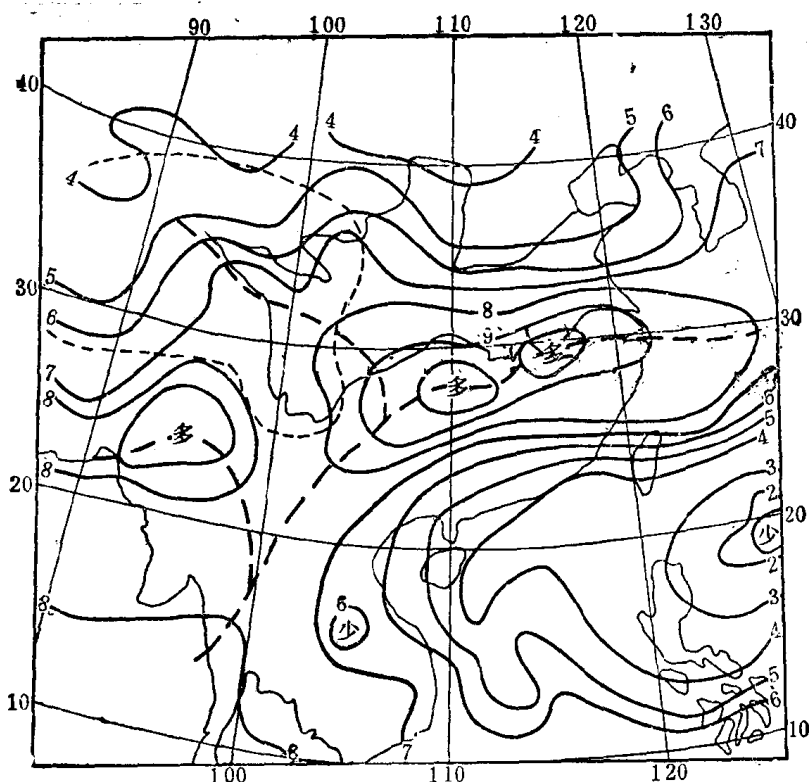


图2.2 梅雨期中低云量的合成分布 (42个时次)

南部有一个大于9的高值云带,这是高原南部南亚季风系统中,爬坡气流的反映。两个少云量地区,一个位于我国南海沿岸,以合成云量少于4作为少云区的话,这个地区大体上出现在 16° — 26° N间,从西太平洋上伸到 107° E附近,云量小值中心轴线在 22° N,比较卫星云图上梅雨云带南侧的云量等值线密集带和中低云量图上等值线密集带的位置,大体说来,总云量等值线密集带略南于中低云量等值线密集带两个纬度。这说明,在梅雨云带的南侧边缘有卷云存在,这象征高空有向南吹的风。下章我们将要讲到,这是梅雨期间热带季风系统环流的高空气流的反映。

(三) 对流云合成特征

近年来,气象雷达探测表明,梅雨云系是混合云系。图2.3是用与上述相同的资料得到的梅雨雷暴、暴雨期对流云的合成结果。

对流云的分布与总云量和中低云量基本相同,一个大值带出现于 20° — 34° N之间,两个云量大值中心,一个在青藏高原,一个在江淮流域,其中又可分为两个中心,分别位于洞庭湖附近和里下河流域,另一个大值带出现在低纬,最大值中心在 18° N以南的中南半岛南端,这是热带季风槽中对流云的表现,介于多云带间的是出现在 22.5° N附近的少对流云带,上已指出,这是高压脊的所在地。

(四) 降水量合成特征

图2.4是我国 40° N以南地面观测站得到的日降水量合成结果,其显著特点是:雨带大值带沿长江流域东西分布呈带状,中心最大降水出现于江淮中下游地区,一个大于30毫米在洞庭湖东部,一个大于20毫米在南京附近,它们与总云量、中低云量、对流云量的分布相当吻合,还可以看出:在 115° E以西,多雨轴线分为两条,一条由雷州半岛向北与江淮地区多雨