

我国长江中下游梅雨锋暴雨研究的进展

倪允琪 周秀骥

(中国气象科学研究院,中国气象局灾害天气重点开放实验室,北京 100081)

提 要

我国长江中下游梅雨锋暴雨研究在最近五年中取得了明显的进展,其中有:第一,提出了基于多种实时观测资料的梅雨锋暴雨的多尺度物理模型;第二,建立了梅雨锋暴雨的天气学模型;第三,提出了梅雨锋的详实结构及其维持机理;第四,提出了多种中尺度暴雨的定量卫星遥感反演理论和方法,并形成一系列新的反演产品;第五,成功地研究了双多普勒雷达同步探测和反演中尺度暴雨三维结构的理论和方法;第六,发展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,在2003年淮河抗洪救灾中发挥了积极作用。

关键词: 梅雨 暴雨 中尺度 天气预报模式

引 言

我国长江中下游梅雨锋暴雨引发的江淮流域洪涝灾害是我国重要的气象灾害之一,提高暴雨的监测、预测能力是国家减灾防灾的重大需求。针对长江中下游梅雨锋暴雨研究的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”于1999年正式立项启动。该项目由中国气象科学研究院牵头,组织了国内暴雨研究领域的优秀专家组成的研究队伍,通过组织2001/2002年长江中下游暴雨野外科学试验,对长江中下游梅雨锋暴雨的形成机理和监测、预测理论展开全面研究,已经取得了一批具有创新意义和应用前景的成果,其中有的已经在业务上得到了应用并发挥了很好的效益,有的在经过与业务结合并进一步改进提高之后,有望在气象业务现代化中得到应用。

1 长江中下游梅雨锋暴雨的多尺度物理模型

1.1 在详实分析野外科学试验资料的基础上,发展了梅雨锋暴雨的多尺度结构模型^[1]

1.1.1 天气尺度概念模型

与梅雨锋相关的天气尺度系统主要包括:对流层低层的西南季风、东南季风,梅雨

锋,切变线;西太平洋副热带高压;中低层的梅雨锋气旋或低涡;中层的东移低槽;高层的南亚高压以及高空副热带西风急流、副热带东风急流等系统。

梅雨锋暴雨发生时,一般有沿副热带高压边缘的东南季风和来自孟加拉湾的西南季风向长江中下游地区输送水汽。中低层的中纬度小槽活动有利于弱冷空气的南下,弱冷空气与西南暖湿气流在长江流域的交汇形成了梅雨锋和切变线,这是有利于对流发生发展的环境条件。高层西风急流(位于南亚高压的北侧)的南侧和热带东风急流形成高空辐散。以上高低空、中低纬系统的配合是最有利于梅雨锋暴雨产生的天气尺度条件。

1.1.2 中- α 尺度天气系统模型

在梅雨锋上存在着两类中尺度低压的发生发展过程,一类是时间和空间尺度比较小的中尺度低压,其水平尺度大约为500~1000km,生命史大约一天,它们与梅雨锋上的暴雨中心有密切关系。另一类(这里称它为第二类)气旋在梅雨锋上开始发生时为一小的扰动,而在有利环境下,扰动增幅发展为一低压(气旋),水平尺度达1000km以上,生命史可达数日,常在较大范围内引发暴雨。

梅雨锋上的气旋(低压)与经典的温带气

旋的模式不同,是一种接近低纬度和副热带地区的低压系统。

梅雨期发生发展的与梅雨锋气旋或低涡无关的中- α 尺度 MCS, 尺度一般为 200~500km, 通过卫星和雷达回波的分析可发现, 在这些中- α 尺度 MCS 中有一些 20~200km 的中- β 尺度对流体和对流线。

1.1.3 中- β 尺度强对流系统

研究表明, 中- β 尺度强对流系统的三维结构可综述如下: (1) 地面有一条接近东西向的梅雨锋(或切变线); (2) 边界层内有大量暖湿空气输送至未来中- β 尺度低压形成的地区, 同时那里也存在里查逊数的小值区(即不稳定区); (3) 700hPa 上, 中- β 尺度低压发生于西南低涡东侧, 中- β 尺度低压的西南和东南侧是强劲的西南低空急流, 其中靠近中- β 尺度低压的中尺度低空急流有可能与中- β 尺度低压的形成有关; (4) 从高原向东移动的 500hPa 上的短波槽, 尤其是槽前的辐合区, 有利于中- β 尺度与强对流系统的发生发展; (5) 中- β 尺度低压所在的区域有很强的上升运动, 上升运动的极值中心在 400~300hPa 之间, 上升气流到 250hPa 以上后开始向周围辐散, 并形成相应的中尺度高压, 辐散气流主要向东南偏东和东北偏东方向流出。这种高空强烈辐散区的耦合, 使得对流层中的垂直运动进一步加强。上述诸种因素相互有利结合, 是形成暴雨特别强烈的重要原因。

1.1.4 中- γ 尺度对流体模型

中- β 尺度对流系统或对流线是由一些中- γ 尺度对流单体组成。其入流主要来自西南或东南暖湿气流, 高层是出流, 整个对流单体的强回波在对流层中下层。根据模拟结果云中各种粒子的分布如下: 雨水主要位于中下层, 雪和霰在对流层中层, 而在对流层上层主要是冰晶。

1.2 江淮流域梅雨锋致洪暴雨的天气学模型

长江流域致洪暴雨的天气学模型反映出南海季风涌、西太平洋副热带高压、中高纬冷空气的活动以及高原东坡的中- α 尺度扰动对长江中下游的梅雨锋降水有重要影响。当

这 4 个不同尺度系统协同作用(锁相, Phase Lock)时, 梅雨锋上便出现强暴雨^[2]。异常年份梅雨期的严重暴雨洪涝灾害(如 1954、1998、1991、1996、1999)都是出现在上述这几个因子出现异常的时期。

1.3 梅雨锋结构及其形成与维持

1.3.1 梅雨锋结构

梅雨锋是由 θ_e 密集带构成的锋区以及其前缘由许多深对流云塔构成的对流云带、锋前中低层的季风涌和锋后中高层不断输送干冷空气的天气尺度系统所组成的梅雨锋系^[3]。而且, 出现强降水时的梅雨锋结构已经变性或者说它是介于温带锋面结构和 ITCZ 结构之间的副热带锋系结构; 且在长江中下游表现为双锋梅雨锋系^[4]。

1.3.2 梅雨锋的维持

通过对 1998 年汛期实际个例分析, 可以清楚地看到梅雨锋维持有两种不同的机制^[4], 第一种机制是湿物理过程产生的梅雨锋的锋生作用与锋前中尺度对流系统的发展形成的一种正反馈过程。同时, 梅雨锋北面的支持系统的作用不仅是不断给梅雨锋北侧补充冷空气, 而且通过正涡度平流直接向梅雨锋前中尺度对流系统的中低层正涡度柱输送正涡度。由此可见, 天气尺度低涡系统—梅雨锋—梅雨锋上的中尺度对流系统的相互作用对梅雨锋的发展和维持起了至关重要的作用。必须强调的是在梅雨锋发展前期第一种机制起主要作用, 在梅雨锋发展盛期上述两种机制都是重要的。

1.4 中尺度暴雨系统发生发展机理和动力学研究

锋生、锋面动力学研究取得重要进展, 其中包括地转适应锋生理论、边界层锋面结构动力学、地形对锋生和锋面影响以及非绝热过程对锋生、锋面环流的影响研究^[5]。研究表明在没有大尺度强迫场的作用下, 初始不平衡流通过地转适应过程也可以形成锋面; 用数值方法证明在地转适应锋生过程中, 锋生和锋消现象交替发生, 垂直速度和位温梯度存在明显的振荡现象; 提出了地形有利于和不利于锋面形成的条件以及地形使得平

衡状态时的锋面不具有上下对称的特点;强调了边界层摩擦是地面锋中最关键物理因子之一,它对定常地面锋低层结构起决定性作用;提出了湿物理过程与非绝热锋生的反馈机制和梅雨锋中尺度双雨带的形成机制。这些结果不仅对国际传统观念做了重要的修正和发展,而且为我国梅雨锋动力学研究奠定了很好的科学基础,具有创新意义和应用前景。同时,水平切变线上涡层不稳定理论、流线涡方程的研究、湿位涡异常及不可渗透性的理论及应用研究、非线性亚临界的线性不稳定的理论研究等涉及强暴雨系统的多尺度非线性相互作用的动力学研究均取得了一系列具有创新意义的研究成果^[5],为进一步研究中尺度暴雨系统的发生发展机理奠定了理论基础,对改进和提高我国长江流域暴雨预报有重要指导意义。

2 中尺度暴雨的定量遥感反演理论和方法研究取得重要进展

2.1 中尺度暴雨系统的大气与地表特征参数的卫星遥感反演方法研究^[6]

(1)卫星反演中尺度强暴雨系统环境风场参数

提出了示踪云追踪的简算算法,改进指定云迹风高度的算法,实施了云迹风推导的全过程质量控制,研究了云迹风产品在天气分析和预报中的应用。其中前三项研究成果,受到了国际云导风界的高度评价^[7]。

(2)利用卫星遥感定量反演中尺度强暴雨系统的环境温湿场

针对中尺度暴雨系统,建立了新的大气温、湿度廓线反演模式——非线性物理反演模式,其生成的反演产品,可反映中尺度暴雨特征。

(3)卫星反演云顶微物理结构参数定性给出云分类和识别云相态

利用我国自行研制的FY-1C/D卫星资料,将云相态识别方法用于中尺度强暴雨云系特征分析,并研制了识别上层为薄卷云,下层为低层水云情况下的多层云识别方法。

(4)微波和光学遥感反演降水场参数研究

集成了具有业务化水平的降水估计系统

和微波降水反演系统,填补了国内卫星降水估计业务运行的空白。

(5)卫星遥感数据反演下垫面状况参数的研究已试应用于对地表湿度和洪涝的监测。

2.2 中尺度暴雨的多普勒雷达反演的理论和方法研究^[8]

(1)提出了Doppler雷达退速度模糊有效的新方法和适用于Doppler雷达信号处理的快速中值滤波方法,使雷达资料的质量控制达到新的水平。

(2)提出应用TRMM资料估算降水和估算面积平均降水强度的三要素:即阈值的大小、降水类型和观测资料的分辨率。

(3)实现了双Doppler雷达反演三维风场,在2002年野外试验中首次取得了中尺度暴雨中- β 尺度的三维结构实时资料,同时对单多普勒雷达反演三维流场也做了有益的探索。

(4)提出了风廓线仪在降水出现时对大气三维风场结构的分析处理方法,从而可以得到降水云体中三维风随高度分布的演变。

(5)对GPS-IPW在中尺度暴雨监测中的应用作了初步尝试。

GPS-IPW资料较雷达回波强度资料对于强天气过程有着更加超前的指示性,一般会出现降水前(1~2天)的缓增和降水前(约4小时)的激增的变化特点,在降水过程中,IPW的变化和降水强度的变化,有很强的相关性。

3 发展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

“我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究”项目发展的三维变分同化系统与AREM中尺度暴雨数值预报模式集成为中尺度暴雨数值预报模式系统^[9,10]。该数值模式的特点是:具有良好的动力框架、E网格对涡、散度高精度的计算以及采用保形正定水汽平流差分方案;选择 η 坐标及在该坐标下模式计算的合理处理,使得在大气低层位势高度、温度预报较好;良好的动力框架和极少的人为耗散、平滑使其局地中尺度系统得到较好预报。该模式系统已于2002年和2003

年汛期先后在湖北省气象局、安徽省气象局、上海市气象局进行业务试运行,并在10多个省市进行了推广应用。试运行结果表明该模式对大到暴雨过程预报具有较强能力,对大到暴雨的落区、落时的预报能力也有明显的提高。

4 结语

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”通过5年的研究,在梅雨锋暴雨结构与机理、监测与预测理论和方法研究等方面都取得了重要进展,为进一步深入研究我国暴雨以及提高对暴雨的监测、预测与预警能力奠定了坚实的科学基础。但由于中尺度暴雨系统结构复杂,又具有群发性、突发性与爆发性特点,因此,离完全满足国家对及时监测与正确的预报这类灾害天气的要求还有一段距离,离国际先进水平也还有一段很长的路要走,继续深入地研究我国中尺度暴雨,进一步提高我国对中尺度暴雨系统的监测水平与定量预报水平将是我国气象学家今后较长一段时间内的艰巨任务,我们相信只要中国科学家在国家的支持下发挥创新精神,再经过十年、二十年的努力一定能实现及时监测与正确预报暴雨的发生、发展这一科学目标。

参考文献

1 赵思雄,陶祖钰,孙建华等著.长江流域梅雨锋暴雨机理

的分析研究.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一.北京:气象出版社,2004.

- 2 陶诗言,张小玲,张顺利著.长江流域梅雨锋暴雨灾害研究.《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二.北京:气象出版社,2004.
- 3 陶诗言,倪允琪,赵思雄等.1998夏季中国暴雨形成机理与预报研究.北京:气象出版社,2001:1~184.
- 4 Jiang Jianyin, Ni Yunqi. Diagnostic Study on the Structure Characteristics of a Typical Mei-Yu Front System and Its Maintenance Mechanism. *Advances in Atmos. Sci.*, 2004, 21(5).
- 5 伍荣生,高守亭,谈哲敏等著.锋面过程与中尺度扰动.《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三.北京:气象出版社,2004.
- 6 张文建,许健民,方宗义等著.暴雨系统的卫星遥感理论和方法.《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四,北京:气象出版社,2004.
- 7 Xu J, Holmlund K, Zhang Q, Schmetz J. Comparison of Two Schemes for Derivation of Atmospheric Motion Vectors. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107D(14).
- 8 程明虎,刘黎平,张沛源等著.暴雨系统的多普勒雷达反演理论和方法.《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五,北京:气象出版社,2004.
- 9 宇如聪,薛纪善,徐幼平等著. AREMS 中尺度暴雨数值预报模式系统.《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六.北京:气象出版社,2004.
- 10 倪允琪,刘黎平,高梅等著.长江中下游梅雨锋暴雨野外科学试验,《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.北京:气象出版社,2004.

Review on Study of Heavy Rainfall within the Meiyu Front in the Middle and Lower Reaches of the Changjiang River

Ni Yunqi Zhou Xiuji

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

Some progresses on study of heavy rainfall within the Meiyu front in the middle and lower reaches of the Changjiang River for the last five years are made as follow. 1. Multi-scales physical models of heavy rainfall within the Meiyu front based on the real-time observed data are proposed. 2. A synoptic model for heavy rainfall within the Meiyu front is established. 3. The structure of Meiyu front and its maintenance mechanism are discussed. 4. Several kinds of quantitative remote sensing retrieval theories and methods are proposed for meso-scale heavy rainfall; 5. Dual-Doppler detecting methods and retrieval theories for meso-scale heavy rainfall are successfully studied. 6. The meso-scale heavy rainfall numerical prediction model system with 3Dvar is developed.

Key Words: Meiyu front heavy rainfall numerical prediction model