

## 梅雨期间强对流暴雨与锋面暴雨的对比分析

蔡则怡 李吉顺

(中国科学院大气物理研究所)

### 提 要

本文用比较分析方法研究了长江流域梅雨期间一种难以预报的强对流暴雨的物理特征。这类发生在远离锋区的暖区内的强对流暴雨,高层辐散区与低层辐合区经常不同步移动。当高层辐散区沿副高边缘东移叠加在低层准静止辐合区上空时,暴雨发生;当它移离辐合区时暴雨结束。因此,对这类暴雨要着重对200hpa以上辐散场的分析,配以低层辐合条件,才可获得较好的预报效果。

梅雨期暴雨是我国长江流域一种重要的灾害性天气,40年来对其进行了大量的研究工作。50、60年代从气团和锋面的概念出发,对造成大面积洪涝灾害的持续性暴雨及其与东亚大气环流演变的关系进行了研究,取得了重大的成果<sup>[1-3]</sup>。随着水利工程的发展,对于1954年那样历时长的持续性暴雨有了相当的抗洪排涝能力。有时这样的暴雨能提高水库水位,增加发电和灌溉而变害为利。然而象1975年8月河南那场特大暴雨,使两个大型水库和十几个小水库几乎同时垮坝,一时高达十余米的洪水泛滥,造成十几万人死伤和巨大的经济损失。这就重新引起人们对暴雨灾害性天气的重视,将暴雨研究和分析推向一个新阶段,对暴雨发生的环流背景、物理条件、中尺度系统等进行了广泛的分析研究<sup>[4-6]</sup>。在这基础上,暴雨预报水平有了明显提高。大气物理所发展了原始方程有限区域细网格数值模式<sup>[7]</sup>,1983—1985年与武汉暴雨所合作对长江中上游暴雨进行了历史个例及实时的数值预报试验,取得了令人满意的效果<sup>[8-10]</sup>。但还有10—15%的暴雨实例数值预报结果仍不理想,常规天气预报方法对它们也不能作较好的预报。本文就是对这类暴雨发生发展机制进行分析,以便找出预报不好的原因。

从统计可知,梅雨期间的暴雨绝大多数发生在梅雨锋上<sup>[11-13]</sup>,属于“梅雨锋暴雨”或“切变线暴雨”;一小部分暴雨则发生在锋区以南的暖区内,属于“暖区暴雨”或“强对流暴雨”。前者一般雨区呈带状,历时较长,短时雨强度不大,是以层状云降水为主的持续性暴雨。后者历时虽短,但短时雨强度强,是以对流云降水为主的突发性暴雨。前者有明显的锋生过程以及较长的酝酿时间和冷暖平流、水汽输送等先兆特征,预报难度较小。后者酝酿时间短,酝酿过程和先兆特征都不太清楚,预报失败的实例几乎全是这类强对流暴雨。对它研究如果不充分,对它发生发展的特性不了解或了解不够,都会使各种预报方法陷入困境。

本文用比较分析的方法把强对流暴雨与梅雨锋暴雨的多个个例放在一起研究，试图为强对流暴雨的业务预报提供有益的思路和预报着眼点，也为理论研究和模式改进提供实际依据。

### 一、暴雨与梅雨锋

1. 梅雨锋暴雨，取1980年8月1日、1983年6月25日和1986年6月21日三个例子为代表，其共同点是暴雨都出现在剖面图上坡度较陡的梅雨锋(切变线)前的饱和区( $T - T_d < 1^\circ\text{C}$ )或准饱和区( $T - T_d < 5^\circ\text{C}$ )内(图1 a)。暴雨区内的层结曲线表明200hPa以下整个对流层都为饱和状态(图2 a—c)。24小时雨量图上暴雨区常呈带状(图3a中虚线所示)，雨带与卫星云图上层状云为主的云带相对应。这层状云带内有几个边缘发毛的较亮的中尺度弱对流云团与暴雨中心相对应(图略)。

2. 强对流暴雨，取1987年6月12日、1986年6月27日和1985年7月20日三个例子为代表，其共同点是剖面图上暴雨出现在离梅雨锋区和锋前准饱和区较远的暖区内(图1b)，低层是较潮湿的准饱和区，但中高层为一明显的干层( $T - T_d > 5^\circ\text{C}$ 有时 $T - T_d > 15^\circ\text{C}$ )(图2d—f)。这与其它地区强对流天气发生的环流场很相似<sup>[14, 15]</sup>，只是一般不出现在逆温层。暴雨区常呈孤立的椭圆形(图3a中实线所示)，其中强降水集中在12小时内。暴雨区与卫星云图上一个孤立的边缘光滑而白亮的中尺度对流云团相对应，与锋面云系间有一约300km宽的晴空区(图3b)。

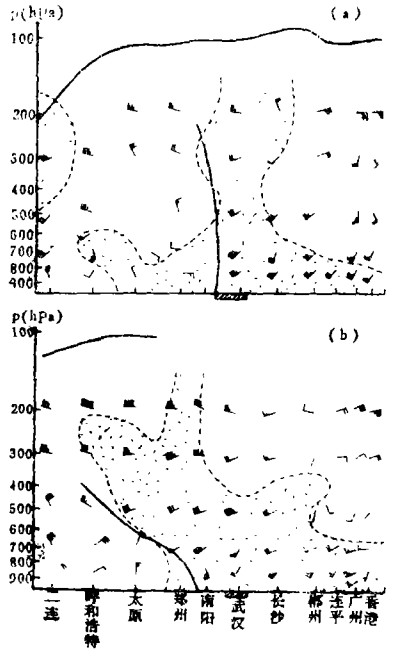


图1 经过暴雨区的南北向剖面图

a. 1980年8月1日08时 b. 1987年6月12日08时  
 实线为梅雨锋切变线和对流层顶，阴影区为饱和区( $T - T_d < 1^\circ\text{C}$ )，虚线上的斜线为暴雨区

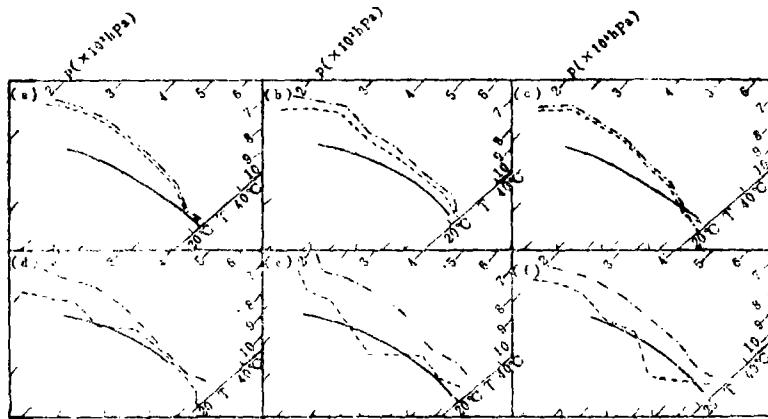


图2 各暴雨个例的温熵热力图

图中点划线为温度层结曲线，虚线为露点曲线，点线为湿绝热线，气压单位为 $10^2\text{hPa}$

- a. 1980年8月1日08时；
- b. 1983年6月25日08时；
- c. 1986年6月21日08时；
- d. 1987年6月12日08时；
- e. 1986年6月27日08时；
- f. 1985年7月20日08时

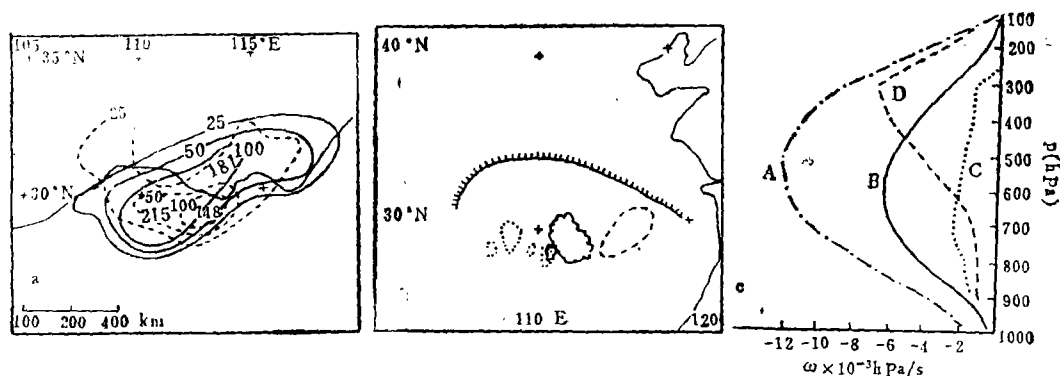


图3 a. 1980年8月1日08时—2日08时24小时雨量图(虚线), 1987年6月12日08时—13日08时24小时雨量图(实线) b. 1987年6月12日08时—13日08时的对流云团演变图, 点线为12日08时, 波线为12日20时, 虚线为13日08时, 锯齿线为12日08时锋面云系南缘 c. 垂直速度 $\omega$ 的垂直廓线图 1980年8月1日20时暴雨区内(A), 1987年6月12日20时暴雨区内(B), 1987年6月12日08时低层辐合区内(C)和高层辐散中心(D)

## 二、暴雨与中尺度上升运动区

取地面、850、700、500、300、200、100hPa七层资料, 内插成垂直间隔为100hPa的十层, 用150km格距, 计算了 $20 \times 17$ 个网格点的各种物理量, 进行诊断分析, 从平面图看各层上升运动中心区的位置和尺度与暴雨区都相近。选择离暴雨中心最近网格点的垂直廓线可见, 这两类暴雨发生时整个对流层内部为上升运动,  $\omega$ 的最大值都出现在对流层中层。1980年8月1日20时梅雨锋暴雨区的上升速度最大值为 $-12.1 \times 10^{-3}$ hPa/s, 位于500hPa。1987年6月12日20时强对流暴雨区的上升速度最大值为 $-6.4 \times 10^{-3}$ hPa/s, 位于600hPa。前者的上升速度比后者大一倍(图3c中A、B曲线)。这可能与以下两个原因有关: ①前者暴雨区大, 在暴雨最大中心附近有测站实测资料, 计算值代表性较好, 而后者较小, 处在几个测站之间, 实测资料远离暴雨区, 用这些测站资料的内插值计算暴雨区的物理量, 代表性差, 误差大。正因为这个原因, 甚至暴雨发生时刻, 这些测站对流层中高层有较厚的未饱和层(图略); ②同样为150km网格, 对直径100km的强对流暴雨区计算时, 上升运动极值包含更大的平滑作用。

## 三、中尺度对流上升运动发生发展的机制

1. 梅雨锋暴雨一般出现在锋面附近, 长江流域对流层内具有明显的斜压性, 暴雨发生在切变线和低涡等暴雨系统内, 这些高层辐散与低层辐合, 以及相应的上升运动区沿锋系同步地自西向东移动, 在移动过程中有所发展, 因此这类暴雨与暴雨系统的移动和发展有关, 有明显的酝酿过程和先兆特征(图略)。

2. 强对流暴雨出现在远离梅雨锋的暖区内, 整个对流层特别是中高层没有明显的斜压性, 低层(850hPa)切变线偏北, 位于黄淮流域, 长江中下游受潮湿的西南气流影响, 在这支气流内很难分析出明显的气压系统, 只是在散度场上出现一两个准静止的(图4a, 略)或移动性的辐合中心。高层(200hPa)副热带高压脊线位于江南(图4b, 略), 长江流域受副高北缘的偏西气流影响, 同样没有明显的槽脊系统。其中只有中尺度辐散区沿副

高北缘东移,移速约为1 000 km/24小时,在1987年6月12日20时当它与低层辐合中心相叠加时(图5),整个对流层内出现强的上升运动区,暴雨就发生在这个中尺度区域内。

在副热带高压边缘控制下,有三种散度场与垂直速度场是引人注意的:①只有低层辐合中心\*,对流层内出现弱的上升运动(图3c, C线),卫星云图上只有低云发展(图3b);②只有高层辐散中心,对流层中有辐合补偿,在对流层中高层产生强的上升运动,但在低层辐合量和上升速度都很小(图3c中D线),不利于水汽辐合和垂直输送,没有形成降水;③当高层辐散区东移与准静止的低层辐合区相叠加时,中尺度强的对流上升运动爆发,导致强对流暴雨的发生。

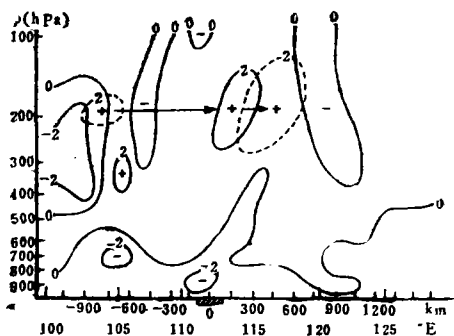


图5 1987年6月12日20时通过暴雨区沿20°N各网格点散度剖面。虚线圈为12小时前后的辐散中心位置,箭头表示辐散中心的移动,阴影区为暴雨区。

#### 四、结 论

通过以上分析可知,难预报的一类强对流暴雨常常发生在对流层中上层未饱和的干性大气层的环境场内,整个气柱水汽含量不充分的条件下(图2e),在暴雨发生前和降雨过程中,暴雨区附近整个对流层内不一定出现对流不稳定层结。从地面到100hPa $\theta_{se}$ 常常随高度增高而增大,暴雨结束时(如1987年6月13日08时)层结变得更稳定,由此可见这类暴雨,主要是由200hPa副热带高压北缘辐散区东移叠加到低层西南气流中准静止的风速辐合区之上,造成了动力强迫上升运动引起的,而对流层中层(500hPa)常为一致的西南气流,很难分析出任何“低值系统”。梅雨锋暴雨是在整层暖湿条件下,对流层上、下层与暴雨相联系的系统的同步移动(或稳定)所造成的。而难预报的强对流暴雨则常常是在暖湿条件不太有利的情况下,对流层上、下层系统异步移动,与暴雨联系的系统上、下叠加时暴雨开始,叠加过程中暴雨维持,上、下层有利于暴雨的系统相互分离,暴雨结束。因此对这一类强对流暴雨的预报,在分析低层流场的同时要着眼于200hPa或更高层流场的分析,并注意它们在移动中的叠加过程,这往往是常规业务分析预报中的薄弱环节。这也可能是目前暴雨数值模式垂直分层较粗,没有或缺少高层的初始信息,因而报不准的原因之一。看来增加高层的分辨率及使用更多的高层资料是预报好这一类暴雨的关键因素。

本工作属“七·五”国家重点科技攻关课题“长江中上游灾害性天气监测预报研究”的成果之一,得到科研经费的支持,谨此致谢。

#### 参 考 文 献

- [1] 陶诗言,徐淑英,夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征,气象学报,32(1), 1--10, 1982.

\*散度中心为散度值 $< -2 \times 10^{-5} s^{-1}$ 的区域

- [2] 陶诗言, 中国夏季副热带天气系统若干问题的研究, 科学出版社, 1965.
- [3] 陈汉耀, 1954年长江淮河流域洪水时期的环流特征, 气象学报, 28(1), 1—12, 1957.
- [4] 丁一汇、蔡则怡、李吉顺, 1975年8月上旬河南特大暴雨研究, 大气科学, 2(4), 267—289, 1978.
- [5] 陶诗言、丁一汇、周晓平, 暴雨和强对流天气的研究, 大气科学, 3(3), 227—238, 1979.
- [6] 陶诗言, 中国之暴雨, 科学出版社, 1980.
- [7] Zhou Xiaoping, Zhao Sixiong Zhangkesu Lui Suhong, Some Results of the Fine Mesh Model for Numerical forecasting of Heavy Rainstorm and Severe Convective storm, The Annual Report Institute of Atmospheric Physics Academia Sinica (1), 251—260, 1982.
- [8] 周晓平等, 长江中游暴雨数值预报试验研究, 第四次全国数值预报会议材料, 1986.
- [9] 胡伯威、匡本贺, 1986年汛期暴雨数值试验, 气象, 12(1), 14—15, 1986.
- [10] 匡本贺, 华中暴雨数值预报业务化系统及预报效果的检验, 气象, 13(9), 32—34, 1983.
- [11] 王作述, 一次江淮流域切变线过境的研究, 气象学报, 33(2), 189—205, 1965.
- [12] 章名立、李维亮、张家澄、李麦村, 梅雨中暴雨的个例分析, 大气物理进展集刊(7), 1—22, 1978.
- [13] 黄德江, 梅雨期降水与能量锋的关系, 北方天气文集(3), 124—128, 1982.
- [14] 蔡则怡、章名立、温市耕、王秋焜, 沙漠地区的一次强对流暴雨, 气象学报, 39(1), 110—117, 1982.
- [15] 蔡则怡, 我国强对流发生前的能量贮存机制, 大气科学, 9(4), 377—386, 1985.

## A COMPARATIVE ANALYSIS OF SEVERE CONVECTIVE HEAVY RAIN AND FRONTAL HEAVY RAIN DURING THE MEIYU PERIOD

Cai Zeyi\*    Li Jishun\*

### ABSTRACT

In this paper, the physical features of a severe convective heavy rain, which occurs during the Meiyu period in the reaches of the Changjiang River and is difficult to forecast, are studied by the control analysis method. In such a severe convective heavy rain occurring in the warm section far from the front, the upper divergence and lower convergence seldom move synchronously. When the upper divergence moving eastward along the edge of the subtropical high overlaps the lower quasi-static convergence, there occurs a heavy rainfall, and when the upper divergence moves away from the convergence, the heavy rain stops. Thus, attention should be paid to the divergence field above 200 hPa as well as the conditions of the lower convergence so that good results can be achieved for forecasting such heavy rain.

\*Affiliated with the Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica