

梅雨期暴雨云团的新生和 低压系统发展的一种机制

董晓敏 温杏琴*

(江苏省气象局)

提 要

本文通过1979年梅雨后期的两次暴雨过程分析得出:在高空槽前“S-N”向云线和低空副高边缘“E-W”向云线相交汇处,其动力和温湿条件均有利于次天气尺度和中尺度暴雨云团的发展;当对流层上、下的动力和温湿条件配置得有利时,会促使梅雨切变线或静止锋上的低压系统发生。

并提出在实际预报工作中,可在300和850mb图上分别增加偏西风和偏南风速等值线分析,结合卫星云图和小范围物理量场分析,能大致确定暴雨云团发展区的位置及其动力和温湿条件,对暴雨的短期预报是有意义的。

一、暴雨系统及其大尺度环流条件

1979年7月13日和15日,在江苏省中部地区先后出现两次时间短、强度大的暴雨过程。

从500mb大尺度环流形势上看,这两次过程均具有江淮梅雨期的典型特征。

就产生暴雨的系统来说,第一次过程是一个直径约3—4个纬距的中尺度暴雨云团C(见图1),它以45公里的时速东移,于13日夜影响江苏省中部,12小时降水量为70—80毫米,14日晨云团入海衰减;第二次过程是几个呈纬向排列的中尺度暴雨云团所组成的次天气尺度云团(见图2),其中的A'和B'相继东移,在15日午前到16日晨降了两场为时5—6个小时、间隙不到6小时的暴雨,过程雨量在江苏省中部地区有100—150毫米,雨量中心的宿迁县达191.7毫米,后因云团B'所对应的低压发展,导致其后部的云团在东移过程中南压减弱,过程结束。

为揭示梅雨期暴雨系统的发生、发展机制,以下重点讨论两个问题:暴雨云团的新生和低压的发展。

二、暴雨云团的新生

图1和2是两次暴雨过程的卫星云图,并配置300和850mb急流轴及其上的风速大

1980年12月23日收到,1982年2月5日收到第三次修改稿。

* 参加本文工作的还有傅顺庚,金秀兰,杨纪文同志。

值核心。注意图中的暴雨云团 C 和 A' 、 B' ，可知：

- ①均处在高、低空急流轴之间的区域；
- ②其西北侧 5 个纬距附近，高空均有西到西北风速大值核心 J_{NW} ；
- ③其南侧 5 个纬距附近，低空均有西南风速大值核心 J_{SW} 。

说明暴雨云团是同时和高、低空急流紧密相联系的。

为进一步剖析暴雨云团和高、低空急流的关系，我们作表 1 和 2，并通过图 1 中云团 C 的中心作南-北向垂直剖面图 3 和 4，从图和表中进一步可看出：

1. 在副高边缘低空急流轴的北侧，沿着长江流域有一条以低云为主的“E-W”向云线



图 1 1979 年 7 月 13 日 08 时可见光云图

实线：等风速线 (m/s)

虚线：300mb 上西风槽线

虚矢量线：300 和 850mb 急流轴线

J_{NW} : 300mb 急流轴上风速大值核心

J_{SW} : 850mb 急流轴上风速大值核心



图 2 1979 年 7 月 15 日 08 时红外云图

说明同图 1

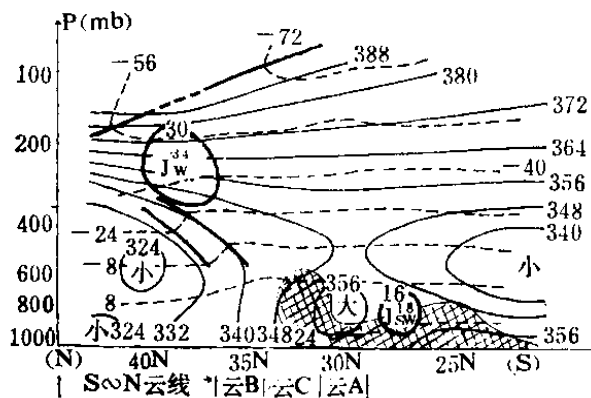


图 3 过图 1 中云团 C 中心的垂直剖面 ($109^\circ E$)

粗实线：锋区、对流层顶、风速大值核心的风速值 (m/s),

细实线：等 θ_{se} 线 ($^\circ K$),

虚细线：等温度线 ($^\circ C$),

阴影区：温度露点差小于 $4^\circ C$ 的准饱和区

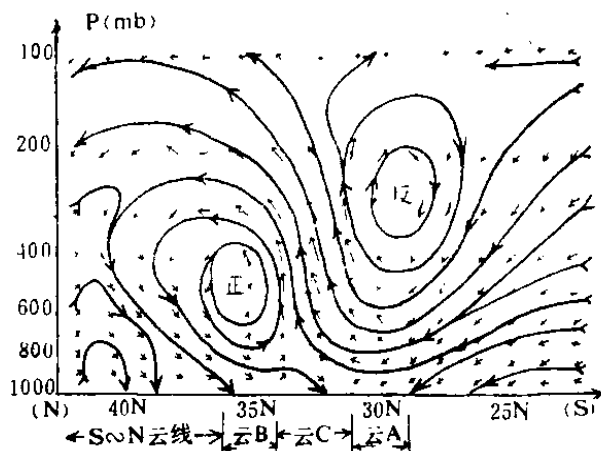


图 4 过图 1 中云团 C 中心的垂直环流剖面 ($109^\circ E$)

(可见光云图清晰),在这条云线的尾端,低空风速大值核心 J_{sw} 的正北侧,有一个以中低云为主的 A 云团正在生成。

剖面图上能看到, A 云团区在低空急流轴上风速大值核心 J_{sw} 的北侧,是 $\theta_{se} > 356^\circ\text{K}$ 中心。配合表中数值说明: A 云团区的对流层中下部,其东西方向和南北方向有较大的水汽通量;700到500mb 气层内有散度为 $-(7.2\sim 7.4) \times 10^{-4}/s$ 的辐合条件和 $-(2.6\sim 4.8) \times 10^{-4}/s$ 的弱上升气流,使上述流经的暖湿空气能在对流层的中下层聚集成云。

以上说明: A 云团区,不仅处在“E—W”向云线上,并且是和低空风速大值核心 J_{sw} 相联系的高温、高湿、具有一定动力条件的区域。因此, A 云团区要比“E—W”向云线的其它地区成云的条件更好些。

表1 13日08时 A 、 B 、 C 云团区内的平均涡度 $\bar{\xi}$ 、散度 $\bar{D}$ 、垂直速度 $\bar{\omega}$ 分布

层 次	数 值	云 区	A 云团($i=6, 7, 8$ $j=12, 13, 14$)			B 云团($i=4, 5, 6$ $j=8, 9, 10$)			C 云团($i=6, 7, 8$ $j=10, 11, 12$)		
			$\bar{\xi}$	$\bar{D}$	$\bar{\omega}$	$\bar{\xi}$	$\bar{D}$	$\bar{\omega}$	$\bar{\xi}$	$\bar{D}$	$\bar{\omega}$
100mb			-26.7	-0.2	0.0	-18.8	+7.0	0.0	-8.9	+1.4	0.0
200mb			-11.6	-1.0	+0.4	-23.6	+8.5	-7.4	-21.3	+25.8	-13.8
300mb			-6.2	0.0	+0.8	-15.6	+5.2	-14.0	-14.2	+20.3	-37.0
400mb			-6.5	+4.0	-1.4	-0.9	-1.5	-15.6	+3.6	-0.2	-47.3
500mb			-3.1	+2.6	-4.8	+5.3	-3.1	-13.0	+9.6	-7.6	-43.6
600mb			+4.1	-7.4	-2.6	+8.0	+1.9	-12.2	+4.9	-1.8	-39.1
700mb			+8.1	-7.2	+4.5	+6.0	+0.6	-13.2	+5.5	-4.9	-35.9
800mb			+11.6	+3.0	+6.4	-0.7	-7.9	-9.3	+11.6	-19.2	-24.1
900mb			+8.1	+3.5	+2.9	-2.5	-7.1	-1.6	+11.2	-15.2	-7.1
1000mb			-0.1	-3.0	+2.6	-0.7	+0.2	+2.1	+6.3	+1.6	-0.6

注: ①表中各量的单位是: $\bar{\xi}$ 和 $\bar{D}$ 取 $10^{-4}/s$; $\bar{\omega}$ 取 $10^{-4}\text{mb}/s$ ② i 、 j 分别是网格点的纬向和经向标号; 网格的基准点是 $i=11$, $j=1$, 其地理坐标是 45°N , 115°E ; 网格格矩取为 150KM 。

2. 在 105°E 高空槽前, 沿着 110°E 有一条以中高云为主的“S—N”向云线(红外云图清晰), 在这条云线的尾端, 高空风速大值核心 J_{NW} 的东南侧, 有一个以中低云为主的 B 云团正在生成。

剖面图上能看到, B 云团区在高空急流轴上风速大值核心 J_{NW} 的南侧, J_{NW} 的下方是高空锋区, 锋后是 $\theta_{se} < 332^\circ\text{K}$ 的干冷空气堆从西北插向东南, 迫使锋前 $\theta_{se} > 340^\circ\text{K}$ 的较为暖湿的空气沿着干冷空气堆抬升, 抬升速度在500mb附近是 $-(13\sim 15) \times 10^{-4}\text{mb}/s$, 形成中低云。

以上说明: B 云团区, 不仅处在“S—N”向云线上, 并且是和高空风速大值核心 J_{NW} 相联系的暖湿空气沿干冷空气堆抬升区域。因此, B 云团区要比“S—N”向云线的其它地方成云条件更好些。

3. 在高空槽前“S—N”向的中高云云线和低空副高边缘“E—W”向低云云线相汇合的区域, 即 C 云团所在的区域, 其成云的条件和 A 、 B 云团区相比又如何呢?

先看 C 云团区的动力条件: 其南侧是 A 云团区, 600、700mb 以下气层和 A 云团的条

表 2 13 日 08 时从东、西和南、北侧面进入 A、B、C 云团区的
水平方向水汽辐合收支量(单位: 10^9 克/秒)

云区	层 辐合量	300~	400~	500~	600~	700~	800~	900~	云体整层 气柱
		400mb	500mb	600mb	700mb	800mb	900mb	1000mb	
A 云 团 区	东	+4.2	+10.7	+20.6	+31.1	+44.4	+40.4	+14.2	+165.6
	西	-6.7	-14.1	-23.4	-30.0	-31.4	-23.0	-6.6	-135.1
	南	-2.5	-6.8	-10.1	-19.1	-47.3	-47.3	-9.9	-143.1
	北	+3.5	+8.2	+6.5	+11.3	+39.9	+36.7	-2.6	+103.5
	净收支	-1.5	-2.0	-6.4	-6.7	+5.6	+6.8	-4.9	-9.1
B 云 团 区	东	+8.0	+15.2	+20.6	+17.1	+3.5	-2.1	+1.5	+63.8
	西	-4.7	-10.3	-14.2	-12.5	-5.7	-0.9	-0.4	-48.7
	南	+1.3	+4.7	+4.7	+2.3	-2.1	-2.3	+1.7	+10.3
	北	-0.5	-2.9	-4.6	-4.6	-4.6	-3.6	-2.1	-22.9
	净收支	+4.1	+6.7	+6.5	+2.3	-8.9	-8.9	+0.7	+2.5
C 云 团 区	东	+6.7	+11.8	+20.4	+22.1	+11.3	+3.5	0.0	+75.8
	西	-7.9	-14.9	-21.8	-21.5	-9.6	-2.2	-1.2	-79.1
	南	-3.5	-8.2	-6.5	-11.3	-39.9	-36.7	+2.6	-103.5
	北	+1.9	+1.1	+1.7	+2.8	+4.4	+4.7	+3.1	+19.7
	净收支	-2.8	-10.2	-6.2	-7.9	-33.8	-30.7	+4.5	-87.1

注: 负值为流进云区和辐合; 正值为流出云区和辐散

件接近, 有 $+10.0 \times 10^{-6}/s$ 的气旋涡度和 $-15.0 \times 10^{-6}/s$ 的辐合量; 其北侧是 B 云团区, 300mb 以上气层和 B 云团的条件接近, 有 $-20.0 \times 10^{-6}/s$ 的反气旋涡度和 $+20.0 \times 10^{-6}/s$ 的辐散量。C 云团的中空, 600 到 400mb 是比 A、B 云团均要强的上升气流, 其数值超过 $-40.0 \times 10^{-4}mb/s$, 这股上升气流和南方副热带高压内的下沉气流构成了垂直反环流, 而和北方槽后的下沉气流构成了垂直正环流(见图 4)。

再看 C 云团区的水汽辐合条件: 其南侧的水汽输送量虽然不如 A 云团区充沛, 但在以上有利的动力条件下, 成云所需要的大量水汽几乎全部是从南方低空 900 到 700mb 气层辐合进入 C 云团区的; 然后通过上升气流携带到中空, 形成图 3 中阴影部分所表示的准饱和气柱; 再对照图 1 能清晰地看到, 在 A 和 B 云团之间有一个对流旺盛、结构紧密、以 C₀ 云为主的暴雨云团 C 新生发展(红外和可见光云图上均明显)。

综上所述, A 云团区比“E-W”向云线上的其它地方成云条件要好, 是因其南侧紧密地和低空急流上的风速大值核心 J_{sw} 相联系; B 云团区比“S-N”向云线上其它地方成云条件要好, 是因其北侧紧密地和高空急流上风速大值核心 J_{NW} 相联系; “E-W”向云线和“S-N”向云线汇合处的 C 云团区比 A、B 云团区都更有利于对流传云的发展, 是因其南、北

各 5 个纬距处分别有低空急流轴上的风速大值核心 J_{sw} 和高空急流轴上的风速大值核心 J_{NW} , 因而兼有 A 、 B 云团的有利于成云的条件。

需要说明的是, 第二次过程中的大尺度西风环流是以补充形式向南输送干冷空气, 因此在天气图和卫星云图分析中, 只能看到和 J_{NW} 相配合的低云云团区, 而和高空槽相配合的“S-N”向云线不明显。

三、低压系统的发展

第二次过程中, 和暴雨云团 B' 所对应的低压获得发展。为讨论梅雨切变线或静止锋上低压发展条件, 有必要分析第一次过程的暴雨云团 C 区和第二次过程的暴雨云团 B' 区之间的差异。

以图 1 中的云团 C 和图 2 中的云团 B' 位置均东移到达 115°E 、 33°N 时为准(云团到达该位置四小时后, 江苏暴雨开始), 按此标准选出第一次过程的 13 日 20 时和第二次过程的 15 日 08 时, 对比这两个时次的 C 、 B' 云区内动力和温湿条件, 来讨论低压系统的发展机制。

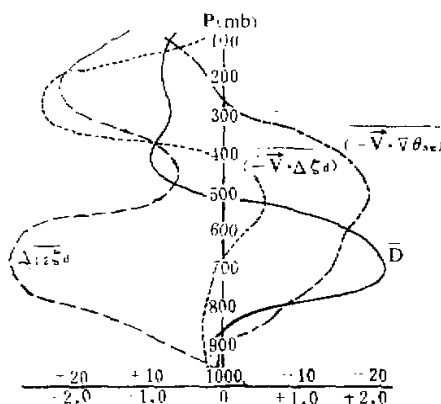


图 5 1979 年 7 月 15 日 08 时云团 B' 区 ($i = 9, 10, 11, 12$)
($j = 9, 10, 11$)
内的平均散度 $\bar{D}$ 、涡度平流量 $(-\mathbf{V} \cdot \nabla \xi_d)$ 、温湿平流量 $(\mathbf{V} \cdot \nabla \theta_w)$
和 15 日 08 时到 20 时的平均涡度变化量 $\Delta_{12} \xi_d$ 随高度的变化曲线

图 5 是 15 日 08 时暴雨云团 B' 区内的平均涡度、散度、温湿平流和未来 12 小时的平均涡度变化量垂直分布。从图中可见:

1. 在 500mb 以上气层, 有 (1) 正涡度平流明显, 且辐散引起的正涡度减小不能抵消正涡度平流的效应。图中 300mb 附近 $+\Delta_{12} \xi_d$ 最大值和涡度平流最大值一致, 证实了这一点; (2) 温湿平流函数 $\frac{\partial}{\partial p} (\mathbf{V} \cdot \nabla \theta_w) \ll 0$, 即暖湿平流随高度明显减小, 根据位势倾向方程将导致 300mb 附近位势明显升高。图 6 中云区上空 300mb 是正变高大值区, 证实

了这一点。

2. 在 500mb 以下气层, 有 (1) 涡度平流很小, 由涡度平流引起的涡度变化或位势变化可以不予考虑; (2) 地转偏差明显, 强辐合在 700mb 附近达到极大值, 根据涡度方程将导致正涡度加大。图 5 中 $\Delta_{12}\zeta_d$ 最大正值和 $\bar{D}$ 最大负值一致, 出现在 700mb, 证实了这一

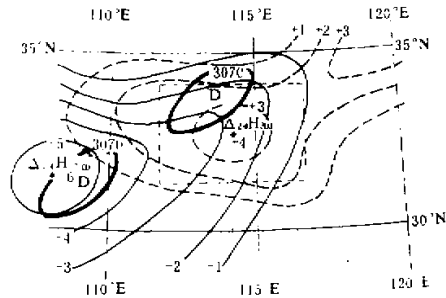


图 6 1979 年 7 月 15 日 08 时暴雨云团 B' 区附近的 300 和 700mb 位势变化量和 15 日 20 时 700mb 低压位置

实线: 700mb $\Delta_{z,H}$ 等值线

虚线: 300mb $\Delta_{z,H}$ 等值线(位势什米)

粗实线: 15 日 20 时 700mb $H \leq 3070$ 位势米区,

细虚框区: 15 日 08 时暴雨云团 B' 区

点; (3) 温湿平流涵差 $\frac{\partial}{\partial p}(\mathbf{V} \cdot \nabla \theta_{se}) \gg 0$, 即暖湿平流随高度明显加大, 根据位势倾向方程导致 700mb 附近位势显著下降。图 6 中云区的 700mb 是负变高大值区, 证实了这一点。

以上分析结合天气系统可知: 15 日 08 时暴雨云团 B' 的对流层中层是高空槽前强正涡度平流、辐散、暖湿平流随高度减少; 而对流层中下层是低压强辐合、暖湿平流随高度增加。这种上、下层配置, 说明暴雨云团 B' 所对应的低压系统, 其中心轴线随高度 ($-P$) 向西倾斜, 是属于有发展前途的斜压系统; 并预示 15 日 08 时到 20 时在高空将有正涡度加大和位势上升, 而在低空将有正涡度加大和位势下降。因而 15 日 20 时在暴雨云团 B' 的区域里, 700mb 出现 3070 位势米的闭合低压(见图 6), 相应的地面梅雨静止锋上有气旋发展。

和 15 日 08 时相比较, 在 13 日 20 时暴雨云团 C 区内, 涡度平流、地转偏差、温湿平流涵差诸量均小。因而从 13 日 20 时到 14 日 08 时仅在 800mb 附近出现 $+\Delta_{12}\zeta_d$, 且数值远不如 15 日 08 时到 20 时大, 至于 600mb 以上则是 $-\Delta_{12}\zeta_d$; 再 700mb 以下各等压面的位势高度下降甚微, 而对流层上层各等压面的位势高度却有下降。这说明和暴雨云团 C 相对应的低压系统不仅层次浅薄, 而且斜压性不强, 没有发展前途。事实上, 14 日 08 时只能在江淮下游 850mb 风场上分析出一个弱气旋性环流。

四、结 束 语

通过以上分析,我们认识到:梅雨切变线、静止锋上的暴雨云团新生和低压(气旋)发展,都是和高、低空急流轴上风速大值核心密切相联系。因此,在实际工作中可在 300 和 850mb 图上分别增加西到西北和南到西南风速等值线分析;在高空急流轴以南到低空急流轴以北的区域内,增加物理量场的计算和分析;再配合卫星云图,能大致确定暴雨云团发生发展的区域和东移动向,以及其动力和温湿条件的变化。这些都可为梅雨期暴雨及其低压系统的短期预报提供一定的依据。

THE MECHANISM OF GENERATION OF HEAVY RAIN CLOUD CLUSTER AND THE DEVELOPMENT OF THE LOW PRESSURE SYSTEM IN MEI-YU PERIOD

Dong Xiaomin Wen Xingqin
(Jiangsu Meteorological Bureau)

Abstract

Two cases of heavy rains in mei-yu period have been studied. It is found that: (1) the confluent region of the cloud line in a north-to-south direction ahead of the upper westerly trough and the cloud line in a west-to-east direction beside the subtropical high is closely related to the maximum wind speed core on upper and lower jet stream axes, and this confluent region contributes to the generation of the heavy rain cloud cluster; and (2) in the mei-yu frontal zone, the positive vorticity advection, divergence and warm moist air advection decrease with height ahead of the trough in the upper troposphere, while the strong convergence of low pressure and warm moist air advection increase with height in the lower troposphere; we found that this configuration contributes to the formation and development of the frontal cyclone.