

梅雨锋暴雨雨团运动场结构演变模拟分析

贺 哲 李 平 康雯瑛

(河南省气象台, 郑州 450003)

提 要

利用中尺度数值模式 MM5 对 1998 年 7 月 29~30 日发生于长江中下游的暴雨过程进行了模拟。对两个相邻雨团的运动场结构进行分析, 揭示了梅雨锋暴雨雨团的相互作用对其运动场结构的影响。分析表明, 由于新雨团的生成, 原有邻近雨团上升气流结构由一种形式的不对称转为另一种形式的不对称。中尺度涡管不仅在垂直方向呈波状, 在水平方向也随着雨团位置和降雨的强弱而波动。

关键词: 雨团 相互作用 运动场结构 不对称 中尺度涡管

引 言

暴雨是中国夏季常见的灾害性天气, 暴雨的产生往往与中小尺度的天气系统密切相关。夏季特别是梅雨季节, 在梅雨锋上常常会不断地有中尺度系统生成和发展, 这些中尺度系统通常是梅雨期间造成暴雨及强对流天气的主要原因^[1]。不少学者曾经对梅雨锋的动力热力结构进行研究, 探讨梅雨锋暴雨产生的内在机制。寿绍文等^[2]对 1991 年 7 月 8~9 日长江中下游地区梅雨锋暴雨过程进行了分析, 指出了梅雨锋中尺度涡管与降雨强度的关系。赵思雄^[3]的研究表明, 与梅雨锋有关的中尺度低压区的涡度、散度和垂直运动的垂直廓线与其周围环境有明显的差异。此外, 还有不少学者对于梅雨锋中尺度系统都曾做过研究^[4~7]。在梅雨季节, 梅雨锋上常常还可以观测到相邻的雨团并列或次第发展。因此, 本文拟采用非静力中尺度数值模式(MM5)对次第发展进而合并的相邻雨团的运动场结构演变特征进行分析。

1 模式、资料与个例

采用美国 PSU/NCAR 开发的非静力中尺度数值模式(MM5), 对 1998 年 7 月 29 日 00 时至 30 日 00 时(世界时, 下同)发生于长

江中下游的一次暴雨过程进行模拟研究, 模拟设计采用全物理过程模拟方案。采用单层网格系统, 网格点数为 52×52 , 区域中心位于 30°N 、 115°E , 格距为 45km。模式顶 $P_t = 10\text{hPa}$, 垂直分层为 26 层。使用国家气象中心业务运行的 T106 谱模式所产生的 $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ 的客观分析场生成中尺度网格区域的初始场和侧边界条件, 积云对流参数化方案采用 GRELL 对流参数化。模拟时间为 1998 年 7 月 29 日 00 时至 30 日 00 时。本文将采用模式输出结果对此次暴雨过程进行分析。

2 降雨量实况与模拟结果分析

从 24 小时降雨实况(图 1a)可以看出, 此次降雨分布基本为沿长江中下游的一条雨带, 其中有 3 个暴雨中心, 最大雨量中心位于湖北黄石, 24 小时降雨量为 157mm, 另外两个中心雨量分别为 84mm 和 92mm。由 24 小时降雨量模拟结果(图 1b)可知, MM5 对此次暴雨过程的模拟是颇为成功的。模拟强降雨中心位置与实况接近, 只略偏东大约一个纬距左右, 模拟降雨量虽比实况略大, 为 184.2mm, 但相对而言也较为接近。另外两个暴雨中心位置与实况也基本吻合。

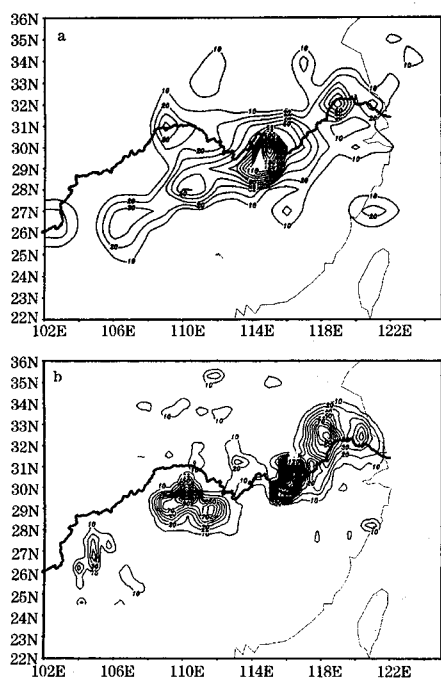


图1 1998年7月29日00时~30日00时实况降雨量(a)与模拟(b)(单位:mm)

对模拟结果进行逐时雨量分析(图2)可以发现,在最强降雨区域 $29^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$ 、 $114^{\circ}\sim 117^{\circ}\text{E}$,从模拟初始时刻起, 31°N 、 115.7°E 附近即有一发展较为旺盛的降雨中心(以下称A雨团,见图2a),而从第4个小时(图2a)开始,在此雨团的西南方(29.5°N 、 115°E 附近)又发展出一新的雨团(以下称B雨团),此后B雨团迅速发展,并逐渐向东北方向移动,而A雨团则较稳定少动,并略有减弱,随着B雨团的发展加强北抬,两雨团于第8小时(图2c)连为一体(以下称C雨团),之后C雨团以较大的降雨强度维持5个小时之后,于第14小时消失。此期间A、B、C三个雨团中心的逐时模拟雨量如表1所示。

图3(见封三)给出了1998年7月29日11时及17时(均为北京时)的水汽云图。从图3a中可以很明显地看到位于长江中下游地区的两个云团A和B分别与模拟结果(图2a)中的A、B两雨团相对应。至17时两云团已连为一体(图3b)。

表1 模拟01~14时3个雨团中心逐时雨量($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)

时	A	B	C	时	A	B	C
1	2.3			8			37.5
2	8.7			9			35.5
3	18.5			10			30.4
4	20.5	4.8		11			28.9
5	26.1	10.6		12			28.2
6	22.6	19.7		13			13.0
7	23.1	33.8		14			1.0

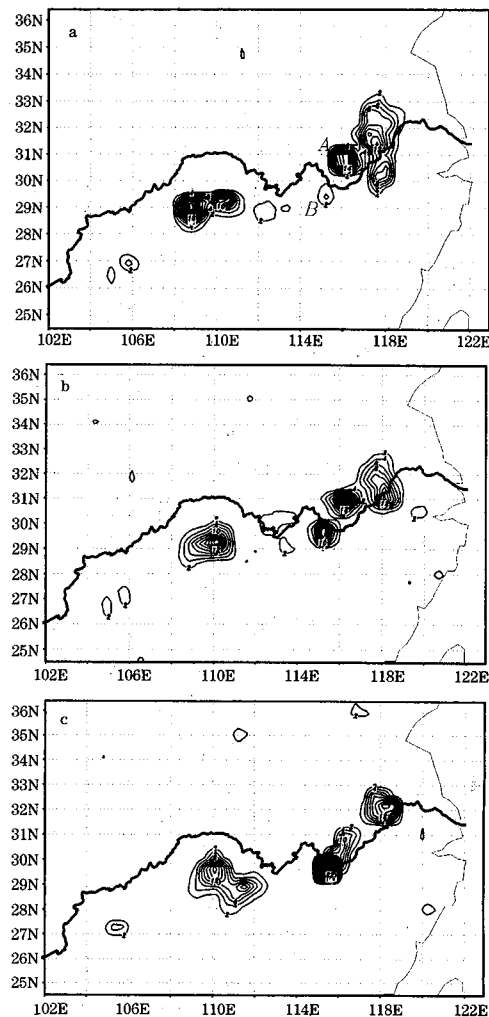


图2 04、06、08和14时一小时雨量模拟(单位:mm)

(a) 04时 (b) 06时 (c) 08时

3 高空及地面环流背景场特征

3.1 气流方向随高度顺转

从整层环流背景形势(图略)可以看出,

在中低层,长江以南基本上为深厚的偏南到西南气流所控制,长江以北为偏东气流。而在高层,中高纬为偏西气流控制,低纬度为偏东气流。在以长江中下游为中心的中纬度带内,从地面到高空,风向随高度呈顺时针方向旋转,地面为偏南气流,到400~500hPa,转为西西南到偏西气流,再向上到200~300hPa转为西北气流,而到100hPa则为东北气流。

此环流形势说明,在对流层低层是偏东风与西南风形成的辐合上升区,中层则近于无辐散,对流层高层则是反气旋辐散层,在长江中下游地区,风向垂直切变明显。此环流形势极有利于对流的产生及强降水的形成。

3.2 地面流场的中尺度辐合

从地面流场分析(图略)可以看出,在02时,从30.8°N、115°E到32°N、117.5°E附近已形成一条明显的东北—西南向的中尺度辐合线,此中尺度辐合线正好穿过A雨团中心位置附近。到03时,此中尺度辐合线发生断裂,东段在A雨团处形成一辐合中心,而西段南移,基本位于B雨团所生成位置。

随着B雨团处的地面辐合加强,A雨团处的辐合逐渐减弱,而与B雨团相对应的辐合中心逐渐向A雨团处移动,进而在08时A处辐合完全消失,在A、B之间产生一新的辐合中心,之后新的辐合中心继续向东北方向移动并逐渐减弱消失。

地面流场中尺度辐合系统的演变说明,地面中尺度辐合带中辐合中心的形成,有可能导致新的雨团的出现。而雨团的发展、演变或合并则往往与地面辐合中心的变化存在着联系。

4 垂直速度场和垂直流场分析

4.1 垂直速度场

4.1.1 A、B雨团所对应的上升速度分布

由于第1小时为模拟初始时刻,精度较低,因此对02~08时的垂直速度场进行分析,得到如表2所示的与A、B雨团分别对应的上升气流速度分布特征。

需要说明的是,08时A、B两雨团相连接后,仍然存在有两个上升气流极大值中心,即有两个上升气流核,位于不同的高度上。

从02~07时,A雨团上升气流 $w \geq 0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的范围由两端(高层和低层)向中间缩小,而B雨团 $w \geq 0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的范围却是由中间向两端扩展。B雨团从形成到08时,上升气流中心高度在不断上升,强度增强。而A雨团情况略为复杂,在B雨团形成之前,中心高度呈下降趋势,04时B雨团形成之后,中心高度转为上升,到08时与B雨团相连之后,中心高度再次下降。而中心强度的变化趋势则基本上与中心高度的变化趋势相反,在05时之前,中心强度逐步增强,而05时之后,强度减弱,到08时与B雨团合并之后,强度再次增强。总之,两雨团相连后,上升中心高度一个上升,一个下降,而中心强度则同时得到了增强。

表2 A、B雨团所对应的 $w \geq 0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的上升气流垂直范围、上升气流中心高度和强度

时间/时	垂直范围/hPa		强度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		高度/hPa	
	A	B	A	B	A	B
02	900~100		0.5		300	
03	900~150		0.6		500	
04	900~150	950~650	0.7	0.21	500	800
05	900~150	950~350	0.9	0.3	450	750
06	900~150	975~100	0.7	0.7	450~400	650
07	850~150	975~100	0.6	1.4	350	500
08			1.2	1.6	400~450	350

4.1.2 上升气流强度与降雨中心的对应关系

从表2与表1可明显看出上升气流中心强度与降雨强度之间的关系。在08时两雨团相连之前,A、B两雨团均是在上升气流中心强度达到极大值时,降雨强度最大。

另外,从表中还可以看出,在06时之前,A雨团上升气流强度大于B雨团,06时强度相等,07时开始B雨团强度超过A雨团,而降雨强度也表现出了同样的变化趋势,即从07时开始B雨团的降雨强度超过了A雨团。

实际上,当08时两雨团相连之时,上升气流内部两上升气流核强度均增强,因此,08

时雨团降雨量比 07 时 A、B 两雨团降雨量都要大。

4.1.3 上升气流的不对称结构

通过对两雨团所对应的上升气流逐时演变分析可知, B 雨团形成之前, A 雨团所对应的上升气流具有弱不对称结构, 而当 B 雨团形成之后, A 雨团上升气流的不对称形式发生改变, 成为另一种形式的不对称, 而 B 上升气流则具有与 A 相反的不对称形式。

在 03 时沿 116°E 、即 A 处上升气流中心附近的垂直速度场剖面图(图略)中可以看到, 上升速度核心在南北方向上基本位于上升气流的中部, 但等值线上下两端部分在南北方向上并不对称, 较外围等值线均呈现出不规则的平行四边形状, 即上下两端等值线自南向北均向上倾斜, 这说明, 在核心区域以下, 较强上升速度偏于上升气流的南侧, 而在核心区域以上, 较强上升速度偏向上气流的北侧。

在 04 时沿 116°E , A 上升气流中心附近所做的垂直速度场的剖面图(图略)中可以看出由于 B 雨团的形成, A 雨团上升气流从下至上, 较强上升速度均偏向北侧。等值线竖直部分北部水平梯度要大于南部, 上升速度核也同样偏向上气流的北侧。

在 07 时沿 116°E 所做的垂直速度剖面图(图略)中可以看出, 由于 B 雨团的逐渐东移, 两上升气流下端的外围部分在 116°E 附近已经融合。图中一个很明显的特征是两上升气流的核心偏向相反的两侧, 即 A 雨团上升气流核偏向上气流的北侧, 而 B 雨团上升气流核偏向上气流的南侧。

4.2 垂直流场及中尺度涡管

寿绍文等^[2]曾提出, 梅雨锋中尺度切变线雨带中, 在对流层中低层沿切变线走向有一条中尺度涡管, 高度呈波状起伏。在对此暴雨过程的垂直流场分析中可以发现, 此类中尺度涡管除了在高度上呈波状起伏之外, 在水平方向也同样存在着弯曲, 而且水平方向的弯曲与降雨也有一定的对应关系。

对 02~07 时流场沿 114.5°E 、 114.8°E 、 115.3°E 、 115.8°E 、 116.3°E 、 116.8°E 分别作垂直剖面(图略), 分析可以发现, 在雨团的西侧降雨较弱的地区, 由地面辐合线有一支向北倾斜上升的气流, 中尺度涡管略偏于雨团的北侧, 而向东到雨团中心强降水区域附近, 此中尺度涡管除向上倾斜之外, 同时还略向南偏斜, 即向强降水区域倾斜, 再向东到弱降雨区, 则中尺度涡管再次向北倾斜。

另外, 对于相邻的中尺度雨团, 涡管又随着雨团所在的位置而变动, 在 B 雨团处, 涡管所在的纬度偏南, 向东到 A 雨团处, 涡管则向北延伸。

5 散度场强度特点及与垂直速度场的关系

将通过 A、B 两雨团中心处的散度垂直剖面图(图略)和垂直速度分布进行对比分析可以发现, 当 B 雨团处于发展阶段(04 时~06 时)时, 垂直上升速度强中心所在高度与强降雨团中心上空散度 0 线所在高度基本一致。而当 B 雨团处于发展旺盛阶段时, 上升速度最强中心位于散度 0 线之上, 这说明, 当雨团处于发展阶段时, 上升速度强中心与水平无辐散区相对应, 而到旺盛阶段之后, 最大上升气流速度上升至辐散区内。

B 雨团在发展阶段, 低层最强辐合中心和高层最强辐散中心的强度随时间均逐渐加强, 其所在高度也随时间不断上升, 而且散度 0 线所在高度也不断上升。这说明, 雨团在发展阶段时, 低层辐合在不断加强, 辐合层厚度增加使得无辐散区所在高度上抬升。

在 B 雨团形成之前, A 雨团所对应的低层辐合中心强度在逐渐增强, 而 B 雨团形成之后, A 雨团低层辐合中心强度减弱, 但散度 0 线所在高度上升。由此可知, B 雨团的形成对 A 雨团的低层辐合强度有一定的抑制作用, 但辐合层厚度却有所增加。

6 涡度场分析

涡度场演变总的特征是, 在初始时刻, 从地面到 300hPa 有一随高度向北倾斜的正涡度区, 低层位于 B 雨团所形成位置之南。而

在其北侧,B雨团所形成位置则为负涡度所控制,但其高度仅限于900hPa以下。随着高度的上升,正涡度区逐渐向北倾斜。

近地面正涡度区随时间不断向北推进,而上层的正涡度区则基本稳定,而且上层正涡度中心高度不断上升,下层有新的正涡度中心生成并发展。并于04时下层正涡度主体与上层正涡度主体断裂。并进而转为竖直结构。

7 结 论

本文利用MM5对1998年7月29~30日发生于长江中下游地区的暴雨过程进行了数值模拟,并对相邻中尺度雨团的运动场结构进行了分析。结果表明:

(1) 地面中尺度辐合带中辐合中心的形成,有可能会产生新的雨团的形成。

(2) 在已经发展旺盛的雨团附近若有新的雨团生成,会对原有雨团的运动场结构产生影响,并且两个雨团之间存在着相互作用。

(3) 由于新雨团的生成,邻近雨团中低层辐合减弱,上升气流极大值中心高度由下降转为上升,而且上升气流结构由一种形式

的不对称转为另一种形式的不对称,同时新生雨团上升气流由于也受到原有雨团的影响而具有相反的不对称结构。

(4) 在垂直流场中,中尺度涡管不仅在高度上有波状起伏,而且在水平方向也存在弯曲,在水平方向的波动与雨团位置及强弱雨区也存在着一定的对应关系。

参考文献

- 1 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980: 70~72.
- 2 寿绍文, 励申申, 张诚忠等. 梅雨锋中尺度切变线雨带的动力结构分析. 气象学报, 2001, 59(4): 405~413.
- 3 赵思雄. 中尺度动力学与暴雨等灾害性天气预测理论的研究. 大气科学, 1998, 22(4): 503~510.
- 4 施曙, 赵思雄. 梅雨锋上与强暴雨有关的中低压及其三维环境流场的诊断研究. 大气科学, 1994, 18(4): 476~484.
- 5 高坤, 徐亚梅. 1999年6月下旬长江中下游梅雨锋低涡扰动的结构研究. 大气科学, 2001, 25(6): 740~756.
- 6 王建捷, 陶诗言. 1998梅雨锋的结构特征及形成与维持. 应用气象学报, 2002, 13(5): 526~534.
- 7 张小玲, 陶诗言, 张庆云. 1998年梅雨锋的动力热力结构分析. 应用气象学报, 2002, 13(3): 257~268.

Analysis of Evolution of Motion Field Structure of Rain Masses in Mei-yu

He Zhe Li Ping Kang Wenying

(Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003)

Abstract

On the basis of the simulating results of the heavy rain occurred from July 29th to 30th, 1998 in the middle and lower reaches of the Yangtze River by means of MM5, the motion field structures of adjacent rainmasses are analyzed. The effect of the interaction of rainmasses of Mei-yu front on their motion field structures is revealed. Due to the generation of new rainmass, and the anafow structure of the adjacent one's changes from one kind of asymmetry to another type. The mesoscale vortex tube is wave-shaped not only in height, but also in the horizontal plane. Its wave shape in horizontal plane is associated with the location of rainmasses and the areas of strong and weak rainfall.

Key Words: rainmass interaction motion field structure asymmetry mesoscale vortex tube

《梅雨锋暴雨雨团运动场结构演变模拟分析》附图

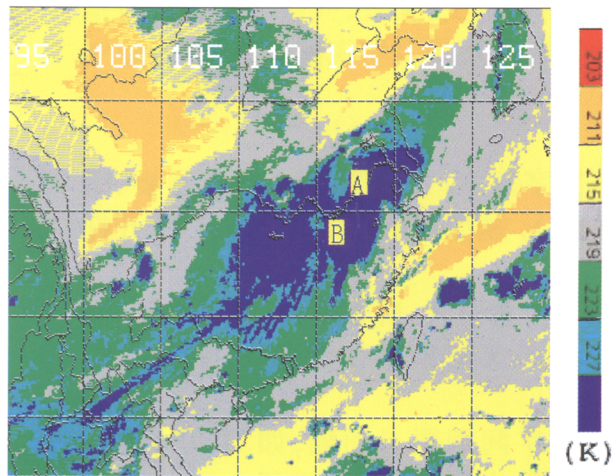


图 3a 1998 年 7 月 29 日 11 时(北京时)GMS 水汽云图

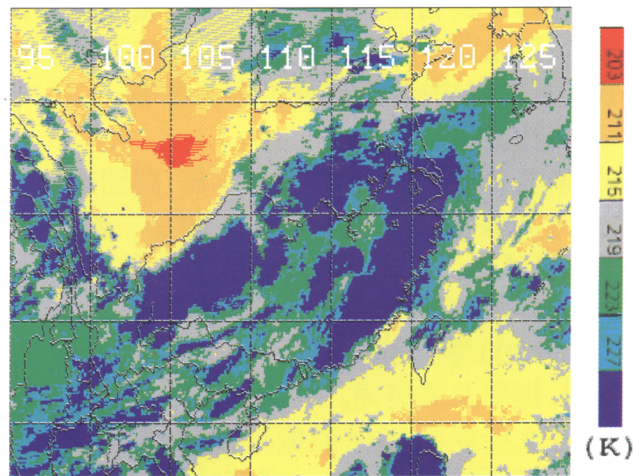


图 3b 1998 年 7 月 29 日 17 时(北京时)GMS 水汽云图