

# 梅雨锋上中尺度涡旋与高低层流型演变的关系

公颖<sup>1</sup> 周军<sup>2</sup> 李红莉<sup>1</sup>

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所, 430074; 2. 南京信息工程大学大气科学系)

## 提 要

利用 PSU/NCAR 中尺度非静力数值预报模式 MM5, 对 2002 年 7 月 22 日 08 时到 23 日 08 时的一次强梅雨锋暴雨过程进行了数值模拟研究, 模拟结果很好地描述了暴雨的时空分布及相伴随的中- $\beta$  尺度系统的发生发展过程。进一步分析得出中- $\beta$  尺度系统的发生发展条件及各生命史阶段高低层流型特征及其配置情况。

**关键词:** 梅雨锋暴雨 数值试验 中- $\beta$  尺度系统 发展条件 流场

## 引 言

我国地处亚欧大陆东部和太平洋西岸, 独特的地理位置决定了我国典型的季风气候, 也决定了我国暴雨的广发性和频发性, 我国华南、西南、华东、华中、华北、东北、乃至西北各区域都有暴雨发生<sup>[1~5]</sup>, 梅雨锋暴雨出现次数多, 持续时间长, 造成的损失大, 提高梅雨锋暴雨发生时间、雨量预报的准确性对于防洪减灾有着重要的现实意义。研究表明, 切变线上的中- $\beta$  尺度天气系统是梅雨锋暴雨发生发展的直接影响系统<sup>[6,7]</sup>, 而流场的形势分析在当前天气预报中占有极其重要的地位, 所以深入研究流场形势与中- $\beta$  尺度系统发生发展之间的关系, 揭示两者之间的关系, 对提高梅雨锋暴雨预报的准确性有着十分重要的意义。

### 1 梅雨锋暴雨降水实况和天气形势简述

2002 年 7 月 22 日 08 时(北京时, 下同)到 23 日 08 时, 湘—鄂交界地带和鄂—豫—皖交界地带普降暴雨, 荆州 24 小时雨量 148.7mm, 雨强为  $39.8\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。从降水分布来看, 整个雨带呈东北—西南向, 此次暴雨具有历时短、范围小、强度大的特征。

如图 1 所示, 200hPa, 500hPa 高度场上, 高纬均为稳定的两槽—脊型, 阻塞高压在贝

加尔湖西侧, 东西两槽分别位于俄罗斯滨海地区至中蒙边境东段和乌拉尔山东侧, 东槽将冷空气源源不断地从北向南输送, 影响长江中下游。中纬地区, 四川盆地有一西风槽与高纬地区的东槽构成阶梯形式, 形成有利的中高纬降水天气背景; 200hPa 图上南亚高压位于青藏高原南侧, 降水区位于青藏高原和中纬西风槽构成的辐散气流的下方, 该辐散气流对降水的发生发展起重要作用。500hPa 图上, 湖北省南侧为副高边缘的南风气流, 北侧为西风槽后的西北气流。在 850hPa 图上, 四川盆地向南有一低压地区, 区内有一近东北—西南向的冷式切变线。结合散度场, 降水区位于低层辐合、高层辐散, 冷暖气流交汇的有利环境中。

### 2 模式试验方案和所用资料说明

本文采用 PSU/NCAR 的中尺度非静力数值预报模式 MM5, 模式的垂直坐标  $\sigma = (p - p_t)/(p_s - p_t)$ ,  $p_t$  和  $p_s$  分别为模式顶层(100hPa)和地面处的气压,  $p$  在非静力模式中为参考态气压, 模式垂直方向共分 23 层。

本试验采用二重双向嵌套方案, 网格中心在(30°N、112.5°E), 粗细网格水平格距分别采用 90km 和 30km, 模拟范围分别为  $61\times$

61 格点和  $31 \times 31$  格点, 细网格区域基本覆盖了长江中下游地区。模式使用云层大气辐射冷却及简单冰相显示水汽方案等物理过程, 并采用 Grell 积云对流参数化方案、Blackadar 的边界层高分辨率参数化方案, 和

时变松弛边界条件, 模拟过程先将 T106 资料插值到试验区域 11 层标准等压面的网格点上, 再结合地面和探空资料进行客观分析, 构成分析场后插值到  $\sigma$  层上, 产生模拟所需的初始条件和边界条件。

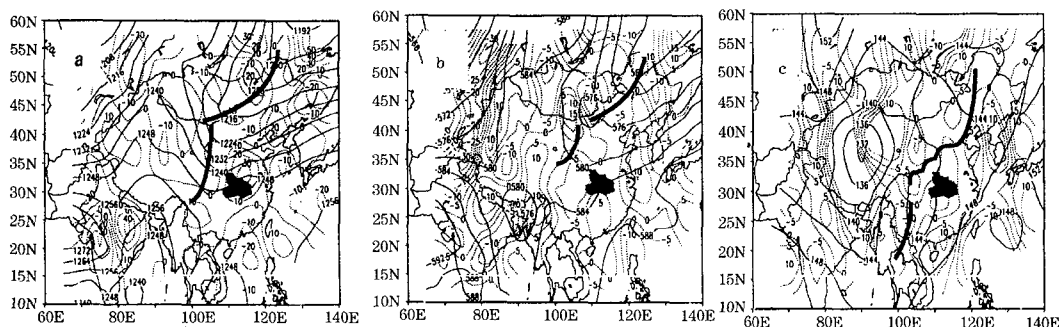


图1 2002年7月22日20时高度场(实线)和散度场(虚线;单位: $10^{-5} \text{s}^{-1}$ )

a. 200hPa; b. 500hPa; c. 850hPa(图中阴影区为湖北省位置)

本试验以7月22日08时为初始时刻, 积分72h, 至7月25日08时结束, 每小时获一次输出结果。试验和分析所用的 T106 资料、地面和探空资料以及卫星云图资料均由武汉暴雨研究所提供。

### 3 暴雨过程的流场形势分析

#### 3.1 中低层中 $\beta$ 对流系统发展与高空气流演变的相互作用分析

高空中心辐散场的发生发展、移动、合并先于并引导着低层与之对应的中 $\beta$ 尺度对流系统的发生发展、移动、合并。流场决定散度场, 决定了中 $\beta$ 尺度对流系统的发展变化与高空流场演变之间也必然存在着密切联系。分析表明, 高层流场影响中 $\beta$ 尺度对流系统发展变化的同时, 也受到了对流系统的发展变化的反影响, 也就是高空流场形势与中 $\beta$ 尺度对流系统的发展变化存在着一个相互作用的复杂关系。

图2是模式输出的250hPa流场变化, 在22日10时的流场图上(图2a)除南亚高压东北部气流呈反气旋式弯曲外, 试验区其他范围内的气流非常平直, 等风速线在多数地方也很平直, 但在 $30^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\text{E} \sim 28^{\circ}\text{N}$ 、 $109^{\circ}\text{E}$ 一线(属湖南省西北部)却存在一个天气尺度的风速扰动区, 它在等风速线形式上表现为一个高纬风速高值区向低纬地区的风速低值区(即向南)伸出的风速高值脊(见图2a), 在流线比较平直的情况下, 这个风速扰动区的

西侧对应的是风速辐散区, 此时该辐散区的强度不很强, 中心值为 $4 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , 从空间尺度和散度值(图3a)大小反映为天气尺度的辐散区, 此时低层没有相应的中 $\beta$ 尺度对流系统出现。在22日10时到14时的数小时内, 250hPa层上由等风速线向弱风区(向南)伸展的风速高值脊的波长变短, 振幅变大, 说明该风速扰动尺度变小, 强度增强(见图2b), 其后方的辐散区尺度也变小, 强度也增强(见图3b), 这期间风速高值区脊后的辐散区于22日12时演变成中 $\beta$ 尺度的辐散区(图略)。由于高空辐散现象的增强, 在22日14时低层与之相应的中 $\beta$ 尺度对流系统(以下称A中系统)已经出现(见图4)。在14时到20时的6小时内, 高空风速扰动和其后的辐散现象连同中尺度对流活动共同获得了强烈的发展(见图2c, 图3c、d, 图4), 散度中心值达到 $50 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 以上。

值得注意的是, 在22日20时250hPa风速速率分布图上, 风速扰动已由原先等风速线的波脊形式, 演变成一对中 $\beta$ 尺度的高低风速偶极子形式(见图2c、d), 这是平直的风西气流受强烈发展的中 $\beta$ 尺度对流活动的高层出流的影响而造成的。A中系统高层强大的辐散状出流, 使得在其上风方, 高层出流与环境场西风互为逆向, 而在其下风方, 高层出流与环境场西风同向, 因此其高层迎风侧环境风速必然出现小值区, 而在其背风侧环境

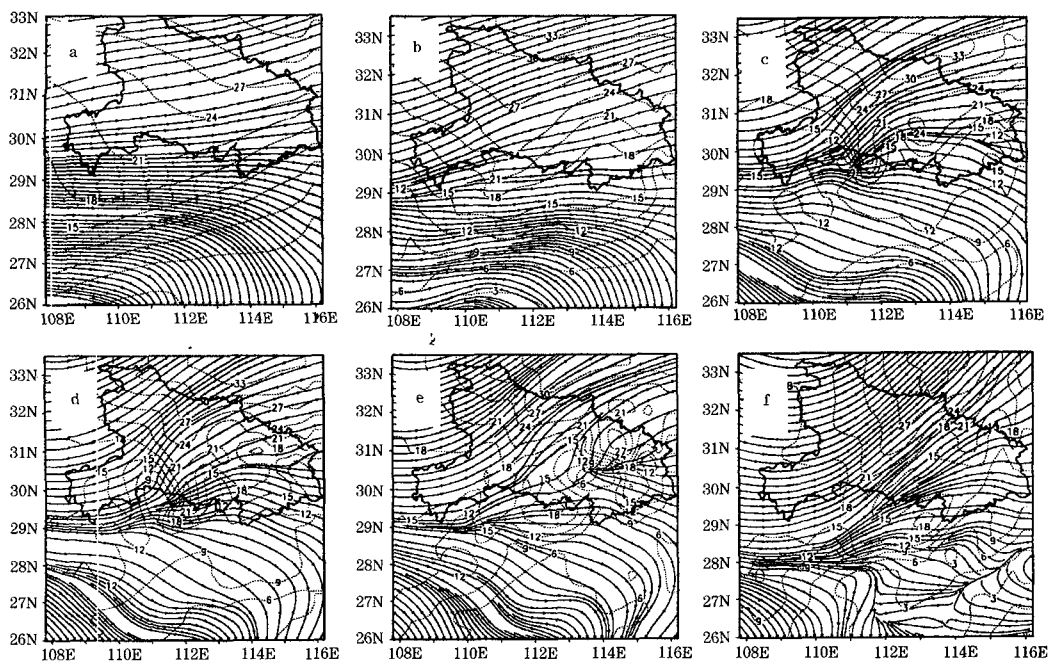


图2 模式输出的250hPa流场(图中虚线为水平风速等值线;单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )  
a. 22日10时; b. 22日14时; c. 22日20时; d. 22日22时; e. 23日00时; f. 23日08时

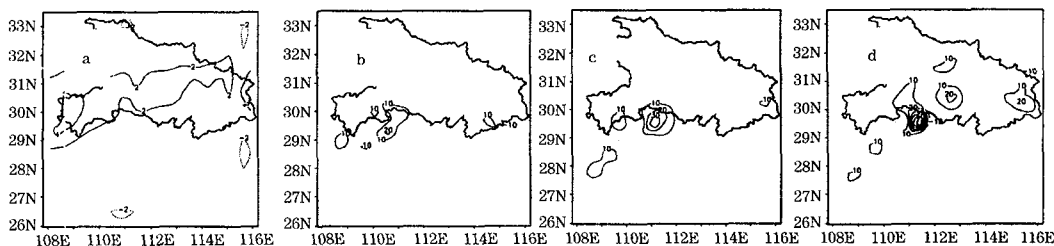


图3 模式输出的高空250hPa风速扰动发展初期其附近散度场的变化(单位: $10^{-5}\text{s}^{-1}$ )  
a. 22日10时; b. 22日14时; c. 22日18时; d. 22日20时

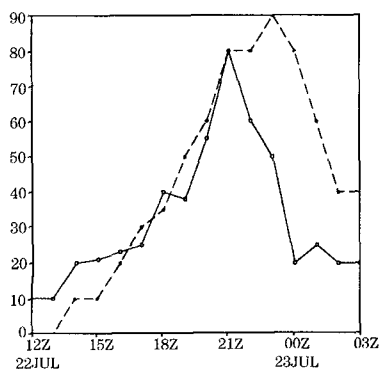


图4 2002年7月22日12时到23日03时850hPa A中系统涡度中心值(虚线;单位: $10^{-5}\text{s}^{-1}$ )和250hPa层上与之相对应的正散度中心值(实线;单位: $10^{-5}\text{s}^{-1}$ )随时间变化曲线图

风速出现大值区,由此在A中系统的东西两侧,形成了如图2c、d所示的高低风速偶极子。

另外高层风场流形也会受中 $\beta$ 尺度对流系统的影响而发生改变,在A中系统的北侧,其高层出流基本上是南风,高层西风气流受南风出散气流的影响转变成了西南风;而在其南侧,高层西风气流受偏北高层出流的影响转变成西北风,由此使A中系统附近的高层流场由原来的平直西风形改变为疏散状,这在对流活动的全盛时期是非常明显的(见图2c、d),在其他对流单体充分发展时期,如23日00时在大别山迎风坡处的中 $\beta$ 尺度系统(见图2e)高层流场也出现这种疏

散形。22日22时以后,A中系统进入减弱消亡阶段(见图4),其顶部的高层出流开始减弱,其对高空环境场的影响逐渐消失。至23日08时,A中 $\beta$ 系统对应的高层大、小风速偶极子已消失,气流的疏散状结构也已经很弱(图2f),随着中 $\beta$ 系统的消亡,其对高空环境流场的影响也趋于结束。

上述讨论可见,中低层中 $\beta$ 对流系统的发展与高空散度场和流场的变化之间存在着一个相互作用的过程。首先高层气流的扰动促使高层中尺度辐散区的形成,高层中尺度辐散激发了中 $\beta$ 尺度对流活动的发生发展,中 $\beta$ 尺度对流系统发展增强的过程中,其顶部强烈的高层中尺度出流叠加在高空环境风场上,使高层流场的风向风速发生改变,随着深对流活动的减弱和消失,其对于高层流场的影响又逐渐趋于减弱消失,同时高层辐散运动的尺度增大、强度减小,逐渐向天气尺度的运动形式转化。

### 3.2 中低层中 $\beta$ 对流系统的生消演变与低层流场变化的关系

以上讨论了诱发中 $\beta$ 尺度对流系统产生的外部因素,其生成后的发生发展及消亡受

内部因素的制约,模式输出结果分析表明,中 $\beta$ 系统的发展伴随着中低层流型的变化,流型变化又会改变温湿平流的情况进而导致中 $\beta$ 系统生消条件的变化,从而制约中 $\beta$ 系统继续发展还是趋于消亡。这里从中低层流型变化来分析中 $\beta$ 尺度对流系统生消演变的内在原因。

#### 3.2.1 中 $\beta$ 系统发展过程中低层流场的变化

图5是A中 $\beta$ 系统各发展阶段低层流场的变化,在其形成初期(图5a),低层流场上表现为一个尺度很小的辐合线形式的初始扰动,这时的气流运动以辐合无旋运动为主;强烈发展的阶段(22日18~20时),低层流型逐渐向涡旋状形势变化,有旋运动逐渐占据主导地位(见图5b,c),至A中 $\beta$ 系统发展的全盛时期,低层流型已变成了完整的涡旋状环流形式,从流线走向来看,气流已近于变成单纯的有旋无辐散运动(见图5d),在A中 $\beta$ 系统进入减弱阶段后,涡旋状的流型趋于减弱,气流又变成有旋有辐散的形式,有旋运动在减弱,有辐散运动的成份在增加(见图5e、f)。类似的变化也出现在其他中 $\beta$ 对流系统

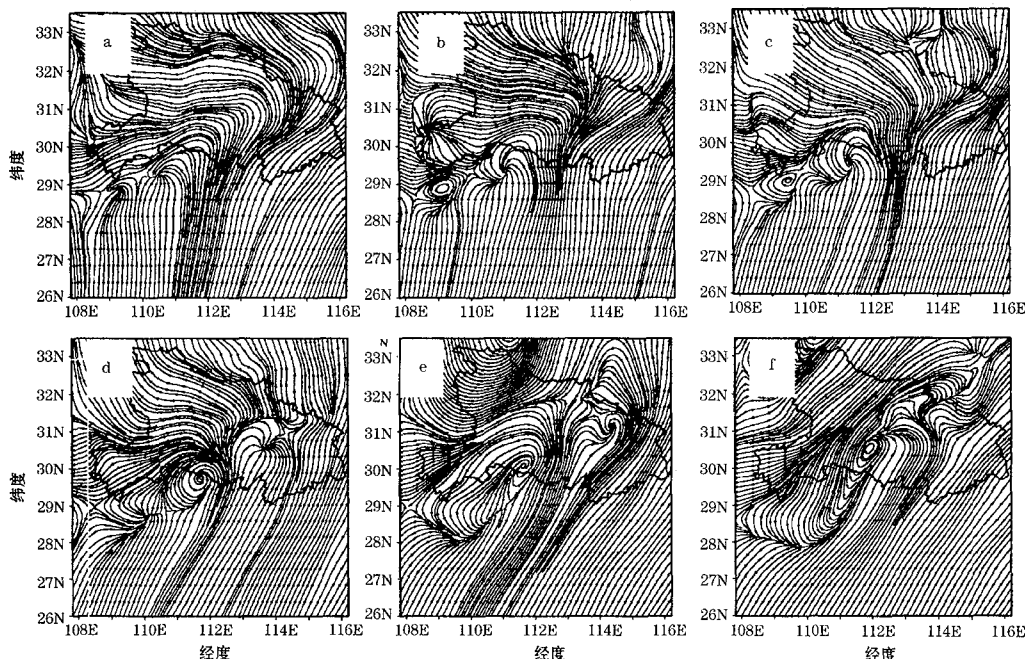


图5 模式输出的中 $\beta$ 系统A各发展阶段低层(850hPa)流场的变化  
a. 22日15时; b. 22日18时; c. 22日20时; d. 22日23时; e. 23日02时; f. 23日05时

的生命史中。总之,低层流场中涡旋状流型的发展代表了中系统的发展,完整的有旋无辐散涡旋状环流形式的出现是中 $\beta$ 系统由发展趋向减弱的转折点。

### 3.2.2 中 $\beta$ 系统内低层流型的变化与冷暖平流变化的关系

模式输出的温湿平流(图略)反映,低层涡旋状流型的出现所以为中 $\beta$ 系统发展和减弱的转折点,是由流型变化所造成的温湿平流状况的改变而决定的。在中 $\beta$ 系统发生的初期,其东西两侧各有一中尺度的暖(湿)和冷(干)平流区(图略),结合图5a可见,东侧的暖平流区是由风场初始扰动中的一支中尺度南风气流对暖湿空气的输送造成的,如此输送的结果,在温度场上便从天气尺度的暖区中吸引出一个中尺度的暖舌,并随南风气流拉伸延长伸向扰动中心的东北方;而初始扰动西侧的中尺度干冷平流区则是由辐合线扰动北侧的狭窄的东北气流对冷空气的输送造成的,该支东北气流使温度场上形成一个中尺度冷舌,该冷舌随气流向扰动中心的西南方伸展。冷暖平流的出现加强了扰动附近的温度对比,增加了扰动区附近大气的斜压性,有利于中 $\beta$ 系统的发展。18~20时中 $\beta$ 系统内的气流快速地向有旋状形式变化(图5b、c),这时中尺度暖舌伸入涡旋中心的北侧和西北侧,逐渐切断中尺度冷舌与冷空气主体的联系,使之成为独立的中尺度冷空气块,同样中尺度冷舌也伸入涡旋中心南侧和东南侧,慢慢切断暖舌与暖空气主体的联系。在系统发展的全盛时期,完整的涡旋状流型最终建立,这时与主体分离的冷暖空气块成为一双冷暖气块偶极子,它们在涡旋

体内绕涡旋中心做逆时针式转动而产生混合,性质慢慢趋于一致,系统内部冷暖空气的对比和冷暖平流强度减弱,中 $\beta$ 系统逐渐失去发展支持而趋于减弱,如此相互影响使系统趋于消亡。

## 4 结论

试验结果再分析得出:高空中尺度辐散系统的出现诱发了低层中尺度对流系统的产生,低层中尺度系统产生后对高层流场的流速、流型均有很大的影响,促使高层高低风速偶极子和疏散状流型的出现,这种影响作用随着中尺度系统强度的增强而增强、减弱而减弱。而低层流场的变化是中尺度系统增强和减弱的内在机制,低层流场完整的无辐合辐散涡旋状环流的出现是中尺度系统从发展向减弱的转折点。这对于在天气分析中从高低层流场的流速、流型变化的角度预报中尺度系统的生消、降水的发生、增强和减弱有着很重要的指导意义。

## 参考文献

- 1 陶诗言. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980: 1~7.
- 2 《华南前汛期暴雨》编写组. 华南前汛期暴雨. 广州: 广东科技出版社, 1986: 1~3.
- 3 《华北暴雨》编写组. 华北暴雨. 北京: 气象出版社, 1992: 1~6.
- 4 《西北暴雨》编写组. 西北暴雨. 北京: 气象出版社, 1992: 1~8.
- 5 《东北暴雨》编写组. 东北暴雨. 北京: 气象出版社, 1992: 1~5.
- 6 贝耐芳, 赵思雄. 1998 二度梅期间突发强暴雨系统的中尺度分析. 大气科学, 2002, 26(4): 526~540.
- 7 胡伯威, 崔春光. 1998 年 7 月 21~22 日鄂东沿江连日特大暴雨的成因探讨. 大气科学, 2001, 25(4): 526~540.

## Relationship between Mesoscale Vortex in the Mei-Yu Front and Evolution of the High and Low Level Flow Pattern

Gong Ying<sup>1</sup> Zhou Jun<sup>2</sup> Li Hongli<sup>1</sup>

(1. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074;

2. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology)

### Abstract

A Mei-Yu heavy rain event in the middle reach of the Changjiang River during July 22—23, 2002 is simulated by use of PSU/NCAR mesoscale nonstatic numerical forecast model MM5. The simulation result describes successfully the spatial and temporal rainfall distribution of the event and the developing course of the concomitant meso- $\beta$ -scale systems. The analysis shows the characters of the high and low level stream field in various stage of the life cycle of the meso- $\beta$ -scale system.

**Key Words:** Mei-Yu heavy rain numerical experiment meso- $\beta$ -scale system stream field