

覃丹宇. 2010. 用滤波方法进行 M $\alpha$ CS 云团形态差异的个例分析 [J]. 大气科学, 34 (1): 154–162. Qin Danyu. 2010. A case study of meso- $\alpha$ -scale convective system shape differences using filtering analysis [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (1): 154–162.

# 用滤波方法进行 M $\alpha$ CS 云团形态差异的个例分析

覃丹宇

中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081

中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室, 北京 100081

**摘 要** 利用 GMS-5 卫星资料, 研究了 2002 年 6 月 27~28 日一次强降雨过程中尺度暴雨云团的演变特征。分析表明, 整个降雨过程分两个阶段, 第一阶段, 一个近圆形中尺度对流云团从西北向东南移动, 主要造成河南省强降雨; 第二阶段, 南移的中尺度对流云团到达长江流域, 重新发展并形成东西向宽带状  $\alpha$  中尺度对流系统 (Meso- $\alpha$ -scale Convective System, 简称 M $\alpha$ CS) 云团, 造成长江中下游暴雨。为研究这次暴雨过程中尺度对流云团的组织方式演变和结构特征, 使用滤波方法对 NCAR/NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  再分析资料进行尺度分离, 获得中尺度扰动场, 结果表明: (1) 利用改进的 Shuman-Shapiro 滤波方法, 可以有效地分离出中尺度扰动。对于近圆形的 MCS, 低层高度场低中心和流场辐合中心重合, 位于云顶亮温 (Black Body Temperature, 简称 TBB)  $\leq -52^\circ\text{C}$  冷云盖的西侧边缘, 这里也是新生对流活跃的地方, 而高层高度场高中心和流场辐散中心分离, 但都位于冷云盖区域。对于宽带状 M $\alpha$ CS, 低层高度场低中心和流场辐合中心也基本重合, 位于 TBB  $\leq -52^\circ\text{C}$  冷云盖的北侧边缘, 高层高度场高中心与低层低中心相对应, 但流场在冷云盖中没有表现出单一中心, 却表现为一致辐散气流。(2) 滤波结果显示, 不论是前期的近圆形中尺度对流云团, 还是随后发展起来的宽带状 M $\alpha$ CS, 二者都具有低空辐合高空辐散扰动结构, 只是扰动的强度后者大于前者。(3) 这次过程的中尺度对流云团表现出的形态演变, 由近圆形变成宽带状, 是因为其组织差异造成的。两者的组织方式完全不同, 前者主要是低层中尺度气旋, 而后者主要是低层的中尺度切变线。

**关键词** 中尺度对流云团 滤波

**文章编号** 1006-9895 (2010) 01-0154-09

**中图分类号** P405

**文献标识码** A

## A Case Study of Meso- $\alpha$ -scale Convective System Shape Differences Using Filtering Analysis

QIN Danyu

National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, China Meteorological Administration, Beijing 100081

**Abstract** A Meiyu heavy rainfall event during 27–28 Jun 2002 is investigated by using GMS-5 satellite infrared images. It shows two stages of mesoscale convective system (MCS) activities with intensive precipitation. In the first stage, a circular-shape MCS moving from the northwest to southeast produces heavy rainfall in Henan Province of the central China; in the second stage, the southerly moving MCS develops and forms a persistent elongated convec-

**收稿日期** 2008-09-22, 2009-01-12 收修定稿

**资助项目** 科技部公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY200706045, 国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418307, 国家自然科学基金资助项目 40775063

**作者简介** 覃丹宇, 男, 1968 年出生, 博士, 目前从事卫星气象研究。E-mail: qindy@cma.gov.cn

tive system (PECS) which produces torrential rain over the Yangtze River basin. In order to understand why the cloud top shape of the MCS changes from circular to elongated, and what atmospheric processes are related, the NCEP/NCAR  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  reanalysis data are filtered for scale separation. Results show that the mesoscale disturbances output by the Shuman-Shapiro filtering can well correspond to the area where the cloud top temperature is less than or equal to  $-52^{\circ}\text{C}$ . Both the first stage circular-shape MCS and the second stage PECS have a similar structure with convergence at lower levels and divergence at upper levels in the troposphere. But their organizations are different: the former is mainly a mesoscale cyclone, while the latter is a mesoscale convergence zone, both at lower levels. This organizing differences cause the MCS cloud top evolution from circular to elongate.

**Key words** mesoscale convective system, filtering

# 1 引言

高时空分辨率的静止卫星可以用作识别大气中正在发生的动力和热力过程的有效指示(巴德等, 1998), 在人烟稀少和地面气象资料缺乏地区, 卫星资料能提供唯一的预报依据。例如, 姚秀萍和于玉斌(2005)利用卫星云图来佐证 2003 年梅雨期暴雨过程中干冷空气侵入和演变的特征以及干冷空气侵入对暴雨发生、发展和维持的作用, 说明了暴雨的成因。覃丹宇等(2006)用 GOES-9 红外云图和 NCEP 在分析资料, 分析研究了典型梅雨暴雨系统的云系成员。除此之外, 卫星在中尺度对流系统的监测和研究方面也具有得天独厚的优势, 可以监测大到行星尺度天气系统, 小到单个对流云团的发生、发展和演变。在卫星红外云图上, 有组织的中尺度对流系统表现为大的冷卷云盖, 它们经常产生暴雨、冰雹、强风、龙卷等灾害天气。依据目前静止气象卫星星载仪器观测的时空分辨率, 卫星对暴雨云团适宜的监测对象应该是  $\beta$  中尺度(或尺度更大, 如  $\alpha$  中尺度)的对流云团(方宗义等, 2006)。

对于那些尺度较小, 难以进行直接观测和分析的天气系统或暴雨云团, 利用数值模拟来研究是一个很好的办法。孙晶等(2007)模拟了 2002 年 7 月 22~23 日发生在长江中游一次梅雨暴雨过程, 研究了暴雨过程  $\alpha$  中尺度到  $\gamma$  中尺度的回波结构以及动力特征和云降水粒子的分布。王婷等(2008)利用 MM5 模式成功地模拟出与中尺度对流系统(Mesoscale Convective System, 简称 MCS)相联系的天气尺度背景场和中尺度的降雨分布, 利用高分辨的模式输出结果分析了成熟阶段 MCS 的  $\beta$  中尺度系统的结构和演变特征。而对于尺度较大的  $\alpha$  中尺度(或中间尺度)的天气系统, 则可以直接利用常规资料分析其结构。如陶祖钰等(1996)研究了

中尺度对流复合体的环流结构, 指出在对流层上部是一个中尺度反气旋式辐散环流, 在对流层下部是一个气旋式辐合环流。

由于各种尺度的云团在卫星云图上有着丰富多样的形态, 通常可根据它们的形状、大小和持续时间划分为不同的类型, 其中最典型的莫过于中尺度对流复合体(Mesoscale Convective Complex, 简称 MCC)(Maddox, 1980)。MCC 有着严格的定义, 总体而言, 指的是一种大型、近圆形、有组织的中尺度对流系统, 在连为一大云盖下, 可以包含有多个对流体生消演变, 其云顶亮温表现为一近圆形的冷云顶。在长期的卫星监测中发现, 产生强降雨的有组织中尺度对流云团并非都是近圆形的, 同时也有被拉伸成宽带状的, 因此, 近年来国外已对暴雨云团重新进行分类研究, 把暴雨云团分成 M1(MCC)、M2(Permanent Elongated Convective System)、M3(Meso- $\beta$ -scale MCC)和 M4(Meso- $\beta$ -scale Permanent Elongated Convective System)四大类(表 1)进行研究, 并注意到, PECS 的发生频率并不低(Jirak et al., 2003)。如果按传统卫星气象的观点, 更多注意力集中在 MCC, 而容易忽视了对 M2 类型的研究。

表 1 基本上将卫星观测的中尺度对流云团分为近圆形和宽带状两大类, 在此基础上作了进一步尺度划分。较复杂的云团类型划分虽具有统计意义, 但并没有说明是怎样的组织方式差异造成近圆形和宽带状云团的形态差异。要想深入了解云团的组织结构等特征, 则需要进一步研究。

我国地处东亚季风区, 夏季在同样的天气背景下, 不同地点常会生成不同尺度的暴雨云团, 这些云团的形态也会随着云团的发展演变而改变, 甚至会在统计意义上的不同类型云团之间变换。如 2002 年 6 月 27~28 日一次梅雨锋暴雨过程, 卫星

表 1 中尺度对流系统分类

Table1 The categories of mesoscale convective systems

| 类别 | TBB≤-52℃冷云顶的水平范围                                       | 持续时间 | 最大范围时偏心率    |
|----|--------------------------------------------------------|------|-------------|
| M1 | ≥50000 km <sup>2</sup>                                 | ≥6 h | ≥0.7        |
| M2 | ≥50000 km <sup>2</sup>                                 | ≥6 h | <0.7, 且≥0.2 |
| M3 | ≥30000 km <sup>2</sup> , 且最大范围必须≥50000 km <sup>2</sup> | ≥3 h | ≥0.7        |
| M4 | ≥30000 km <sup>2</sup> , 且最大范围必须≥50000 km <sup>2</sup> | ≥3 h | <0.7, 且≥0.2 |

红外云图监测到暴雨云团在向东南方向移动时,云团形状从发展阶段的近圆形逐渐演变成拉伸的带状云团。这种云团形状的明显改变,说明了其组织方式和结构的改变。因此,本文利用 GMS-5 卫星资料,结合 NCAR/NCEP 再分析资料,使用滤波方法对这次梅雨锋暴雨过程进行尺度分离,藉此来研究梅雨锋上 MαCS 的组织方式演变和结构特征,进一步加深对梅雨锋上 MαCS 的了解。

## 2 资料和方法

由于常规资料空间分辨率较低,直接用来诊断中尺度对流系统的结构及其发生和演变有很大的局限性,利用资料融合(徐祥德等,2002)和大气遥感再分析场构造技术(徐祥德等,2003),可获得具有中尺度信息的分析场,有助于研究中尺度问题。

本文采用另外的途径,即尺度分离法,来分析暴雨云团。尺度分离是一种很好的分析中尺度现象的方法,选择适当的滤波器可以把中尺度从大尺度背景中分离开来,从而有助于研究中尺度系统与强对流天气(寿绍文,2003)。关于尺度分离的对比研究及应用也已有了大量工作(夏大庆等,1983;仲荣根,1989;陈忠明,1992;何溪澄等,1995)。

本文选用 GMS-5 卫星红外等经纬投影的 TBB 资料,水平分辨率为 0.1°×0.1°。结合 NCAR/NCEP 一日四次的再分析资料,水平分辨率为 1°×1°。

为了更好地揭示 MαCS 的中尺度特征,对 NCAR/NCEP 再分析资料进行滤波分析。采用 Shuman-Shapiro 滤波方法,基本思路为:将任一气象要素  $f$  分解成大尺度分量( $\bar{f}$ )和中尺度分量( $f'$ ),即  $f=\bar{f}+f'$  或  $f'=f-\bar{f}$ 。选择适当的滤波系数  $s$ ,用滤波算子滤去  $n$  倍格距的波动,再用原始场减去滤波后的平滑场就可以分离出  $n$  倍格距波长的扰动场。

离散化的公式为(格点标号见图 1):

$$\begin{aligned} \bar{f}_0 = & \left[ (1-s_1)(1-s_2) + \frac{s_1s_2}{2} \right]^2 f_0 + \\ & \frac{1}{2} [s_1(1-s_2) + s_2(1-s_1)] \cdot \\ & \left[ (1-s_1)(1-s_2) + \frac{s_1s_2}{2} \right] \sum_{i=1}^4 f_i + \\ & \frac{1}{4} [s_1(1-s_2) + s_2(1-s_1)]^2 \sum_{i=5}^8 f_i + \\ & \frac{s_1s_2}{4} \left[ (1-s_1)(1-s_2) + \frac{s_1s_2}{2} \right]^2 \sum_{i=9}^{12} f_i + \\ & \frac{s_1s_2}{8} [s_1(1-s_2) + s_2(1-s_1)] \sum_{i=13}^{20} f_i + \\ & \left( \frac{s_1s_2}{4} \right)^2 \sum_{i=21}^{24} f_i. \end{aligned}$$

夏大庆等(1983)比较了几种滤波算子的相应曲线,当取  $s_1=1/2$ ,  $s_2=2/3$ ,  $s_3=1$ ,  $s_4=1$ .4472 时,认为用 25 点滤波算子分离得到的中尺度扰动几乎没有被歪曲,只需两次使用算式就可以逼真得到几乎全部 2~5 倍格距波,以及同属于中尺度波段的 6~8 倍格距波的大部分。

本文采用了夏大庆等(1983)的算法。

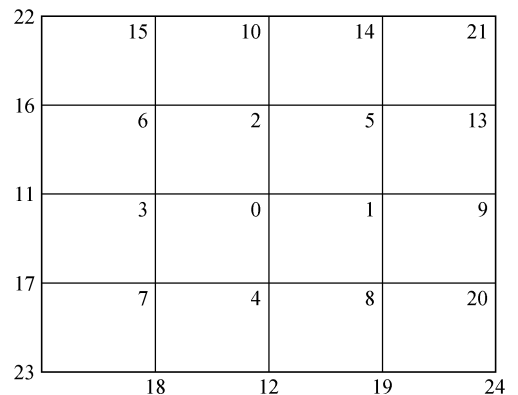


图 1 格点标号

Fig. 1 The grids of filtering algorithm

### 3 天气概况

2002 年 6 月下旬, 副高西脊线位于 22°N 附近, 西南气流沿副高边缘将水汽源源不断地从孟加拉湾和南海向北输送, 长江中下游地区进入梅雨期。在卫星云图上梅雨锋云系清晰, 水汽通道完整。

24~25 日, 受冷空气和切变线影响, 长江中下游地区出现了一次降雨天气, 随后副高稍有南落, 雨带南移减弱。26 日, 850 hPa 暖式切变线和地面倒槽发展, 降雨停止, 长江中下游地区 24 小时普遍升温 2~5℃, 大气中不稳定能量在上一次降雨得到释放后又重新聚集。27 日, 500 hPa 西北地区有小槽东移, 引导冷空气南下和西南暖湿气流汇合, 加上中低层暖式切变线、地面气旋共同影响, 长江中下游地区出现了大范围暴雨。安徽中南部、河南南部和湖北东部, 浙江北部和江西东北部, 湖南北部出现了暴雨, 部分地区出现了大暴雨(图 2)。

### 4 云团活动及 TBB 的水平结构

利用 GMS 红外通道的 1 小时间隔 TBB 资料可以跟踪梅雨锋上 MCS 的发生、发展和变化特征。一般来说, TBB≤-32℃ 的区域表示活跃对流区, TBB≤-52℃ 表示上冲云顶。为了能更好地将

MCS 从梅雨锋的层积云中分辨出来, 增强显示并绘制 TBB 等于-52℃、-62℃和-70℃等值线, 得到云图序列(图 3)。

GMS-5 红外云图 TBB 等值线分布图, 显示了梅雨锋上 MCS 云顶的特征。随着高空小槽东移, 6 月 26 日 1300UTC 在河南省郑州市附近激发出零散对流, 1 小时后, 对流云团随锋面向东南方向移动的过程当中发生合并, 逐渐发展成为  $\beta$  中尺度云团。到 1800UTC, 云团 TBB≤-52℃ 区域达到了 51667 km<sup>2</sup>。新的对流单体倾向于在云团的西北侧发生和发展, 老的单体则不断从云团中分离出来向东北方向移动, 逐渐消散。整个云砧大体上为近圆形, 移动方向与 200 hPa 高空风一致。上风方云砧边缘整齐, 等值线密集, TBB 最低值在-70℃以下, 表明最强的对流往往出现在这里; 下风方云砧边缘疏散, 等值线较疏(图 3a~c)。MCS 移到长江流域后与原先在那里发展的暖式切变相互作用, 不断激发出新的对流云团。27 日 0600UTC(图 3d), 在(30.5°N, 114°E)一带有一个  $\gamma$  中尺度云团生成, 1 小时后与主体云团合并, 同时在西面 112°E 有一个  $\beta$  中尺度云团发展, 到 0800UTC, 这三个云团都合并在一起, 强盛的对流云区变成宽带状, 移动变得缓慢(图 3e)。27 日 1000UTC~1300UTC, 云团达到最强盛, 云顶突破了对流层顶, TBB≤-80℃, 呈现出准东西向宽带状, 可以看到在云带中镶嵌着中  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  三种中尺度的云团, 基本上成东西向排列, 间距在 1°经度范围以内(图 3f)。随后云团逐渐分裂, 沿长江中下游流域形成近东西向排列的 3 个 MCS(图 3g), 并随着时间的推移, 渐渐减弱消亡(图 3h~i)。后续的对流云带继续维持了大约 14 小时, 此间主要有较小尺度的  $\beta$  中尺度云团活动, 并随云带逐渐南移, 到 28 日 1200UTC 才基本消散。

TBB 序列图说明梅雨锋上的降水包括了持续性的层积云降水和镶嵌在层积云中的中尺度对流云团造成的对流性强降水, 在图 2 中表现为大范围雨区中分布有雨核。由 MCS 的发展演变过程可以看出, 此过程的暴雨可以划分为两段, 其中安徽中南部、河南南部和湖北东部的降水是从北向南移动的 MCC 造成的, 而浙江北部、江西东北部, 湖南北部的暴雨则是切变线上若干个中尺度对流云团造成的。

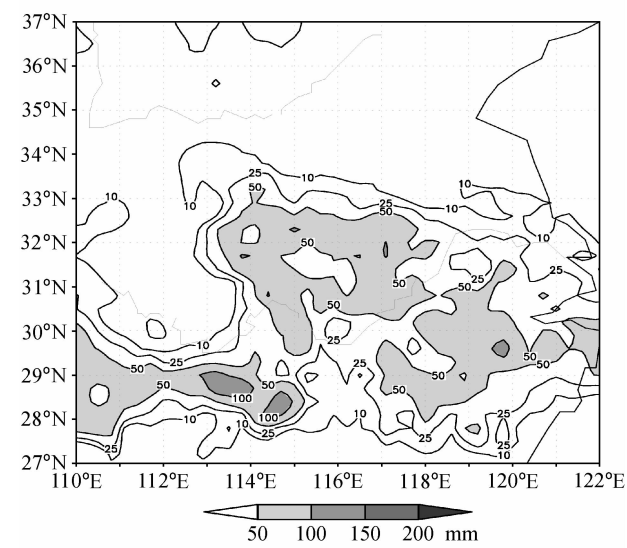


图 2 2002 年 6 月 28 日 0000UTC 的 24 小时降雨量图  
Fig. 2 24-h accumulated precipitation at 0000 UTC 28 Jun 2002

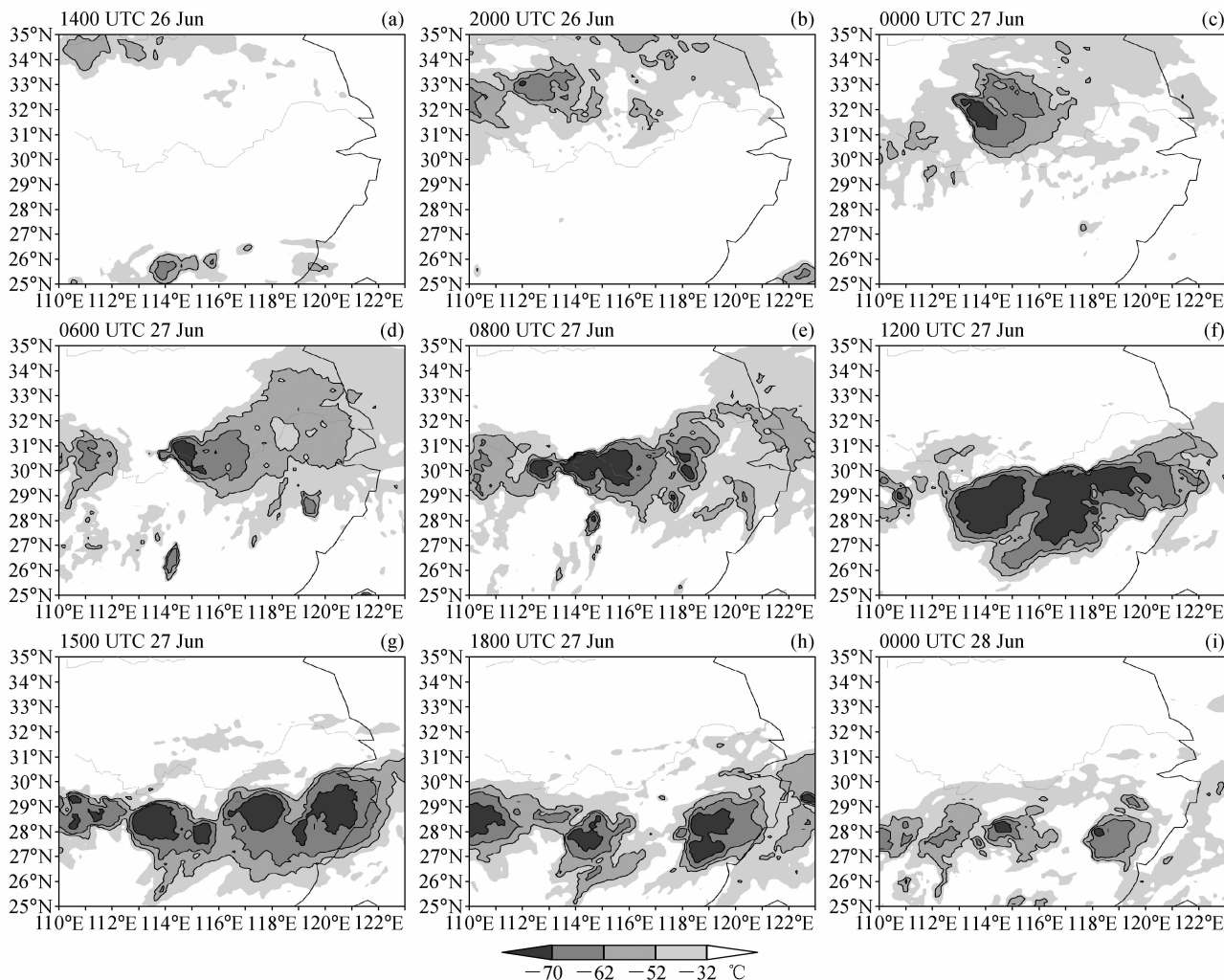


图3 2002年6月26~28日TBB(阴影和等值线,等值线为 $TBB = -52^{\circ}\text{C}$ 、 $-62^{\circ}\text{C}$ 和 $-70^{\circ}\text{C}$ )序列图

Fig. 3 Time series of black body temperature (TBB) during 26–28 Jun 2002 (shadings and contours). Contours show  $TBB = -52^{\circ}\text{C}$ ,  $-62^{\circ}\text{C}$ , and  $-70^{\circ}\text{C}$

## 5 中尺度滤波反映的 $M\alpha CS$ 结构

### 5.1 扰动高度场和流场的中尺度特征

通过滤波后得到的扰动高度场和流场清楚地显示了 MCS 发展过程中的中尺度结构(图4)。在 1000 hPa 上, MCS 的西侧有一个辐合中心,对应的高度扰动低值中心在  $-14\text{ gpm}$  以下(图4a)。850 hPa 上对应的辐合中心略偏北,高度扰动中心的强度也有所减小,为  $-10\text{ gpm}$ (图4b)。到了 500 hPa, 气流辐合很弱,扰动高度等值线零线横穿过云团,北部为负南部为正(图4c)。500 hPa 向上,扰动高度逐渐转为正值。在对流层上部 200 hPa, 云团的东半部出现了一个辐散中心,与之对应的高度

扰动中心大约为  $10\text{ gpm}$ (图4d)。

由此可见,滤波得到的低层中尺度气旋和高层中尺度反气旋与  $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$  区域有较好的对应关系。并且在高分辨率可见光云图上(图略),可以看到丝缕状的卷云向东南方向辐散,它指示了高空气流的相对流出,这也从另外的角度证明了滤波得到的扰动流场是可靠的。

扰动高度场和流场的结构表明, MCS 发展成成熟时,在对流层上部是一个中尺度反气旋式辐散环流,在对流层下部是一个气旋式辐合环流,这与陶祖钰等(1996)的研究结果是一致的。

### 5.2 温度结构

6月27日 0000UTC, MCS 在大片的梅雨锋云

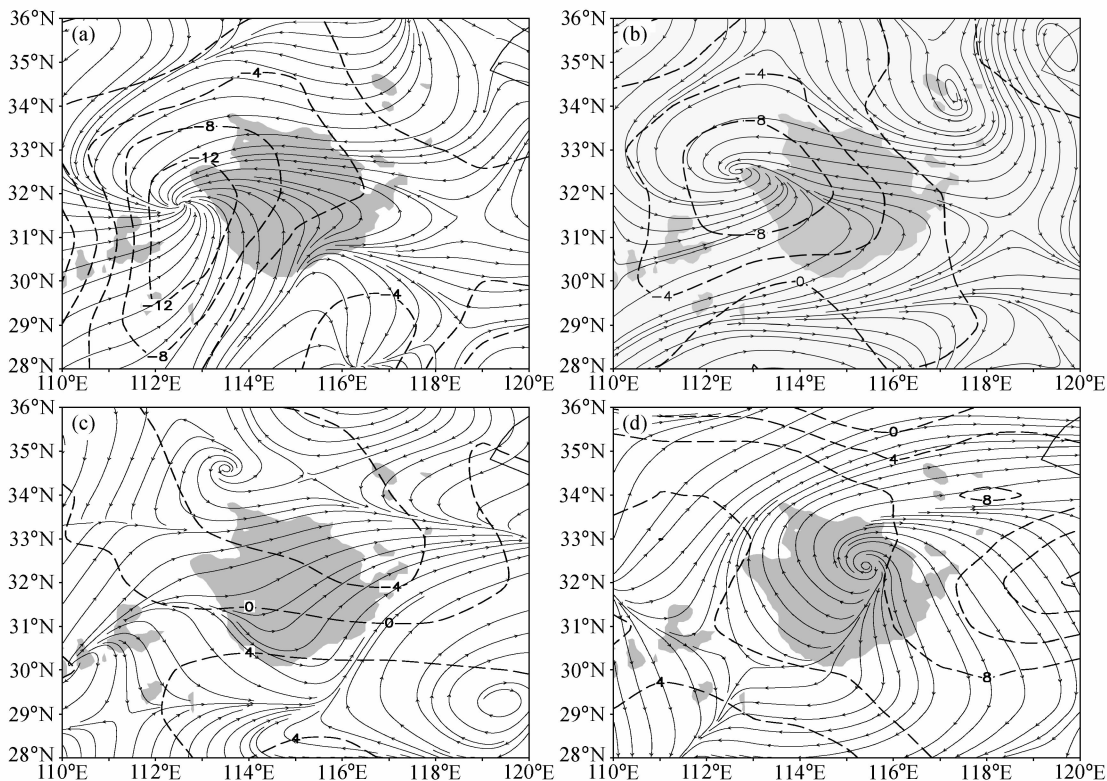


图4 6月27日0000UTC的扰动高度场(单位: gpm, 虚线)和流场: (a) 1000 hPa; (b) 850 hPa; (c) 500 hPa; (d) 200 hPa。阴影: TBB  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  (下同)

Fig. 4 The filtered height disturbance (gpm, dashed lines) and streamlines at 0000 UTC 27 Jun 2002: (a) 1000 hPa; (b) 850 hPa; (c) 500 hPa; (d) 200 hPa. The shaded region indicates the MCS (mesoscale convective system) location where TBB  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  (the same below)

雨带中发展成熟(图3c),对其温度场进行滤波,得到MCS成熟期的温度扰动分布(图5)。在1000 hPa上,MCS的西部有一个降温中心,中心值 $-0.9^{\circ}\text{C}$ 以下(图5a)。850 hPa上,云团的西北侧也是一大片负的温度扰动区,(图5b),而云团南方则是正的温度扰动区,这主要是西南暖湿气流的贡献。到了500 hPa,温度扰动已经开始转变为正值(图5c),在对流层上部100 hPa,云团顶部出现了 $0.6^{\circ}\text{C}$ 的正值扰动中心(图5d)。

由于降雨前一天气温回升,有一个增暖增湿的过程。在这样的气温背景下,气温扰动图上可以看到对流层低层有负的气温扰动,表明除了降水造成的降温以外,在云团的西北方还有弱冷空气南下。云团中上部的正温度扰动表明了对流潜热释放对大气的加热作用。

## 6 带状 $M\alpha CS$ 的特征

从TBB时序图上可以看到,生成于河南省的

MCS在向东南方向移动到长江流域后,与切变线相互作用,在江南地区发展成为一个带状的 $M\alpha CS$ ,持续数小时后最终分裂成几个东西向排列的单独中尺度云团,然后各自逐渐消散(图3)。很显然,前期圆形或椭圆形的MCS能发展、演变成带状的 $M\alpha CS$ ,其组织方式可能已发生了改变。为了进一步了解其组织方式,对6月27日1200UTC的高度场和风场进行滤波,得到图6。

图6中显示,在1000 hPa上,带状 $M\alpha CS$ 的北侧有一条近千公里的东西向中尺度辐合线,辐合中心位于安徽和浙江省交界附近,对应的高度扰动低值中心在 $-16\text{ gpm}$ 以下(图6a)。850 hPa上最显著的特征是一个气旋性环流,位于安徽省境内,对应辐合中心的高度扰动中心的强度同样为 $-16\text{ gpm}$ (图6b)。到了500 hPa,气流辐合很弱,扰动高度等值线零线横穿过云团,北部为负南部为正(图6c)。500 hPa上,云团虽然处于副高北部边缘,但是也可以看到一东一西两个风场扰动中心,分别位于安

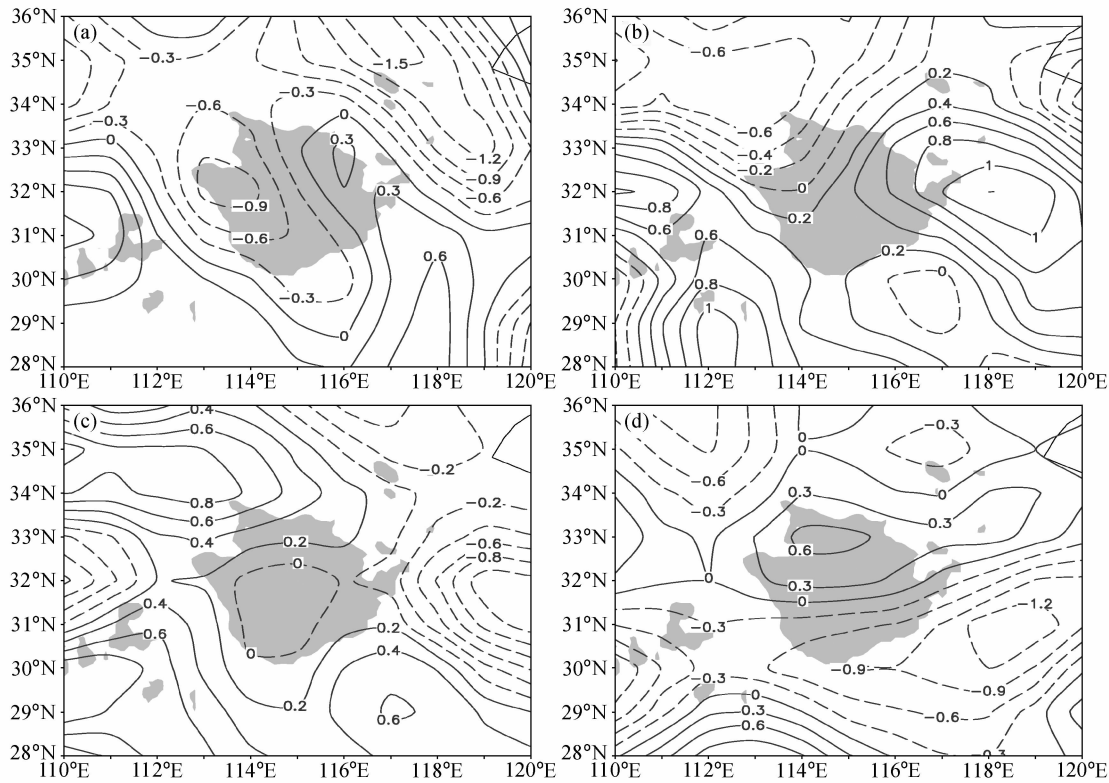


图 5 6 月 27 日 0000UTC 的气温扰动 (单位:  $^{\circ}\text{C}$ ): (a) 1000 hPa; (b) 850 hPa; (c) 500 hPa; (d) 100 hPa

Fig. 5 The filtered temperature disturbance ( $^{\circ}\text{C}$ ) at 0000 UTC 27 Jun 2002: (a) 1000 hPa; (b) 850 hPa; (c) 500 hPa; (d) 100 hPa

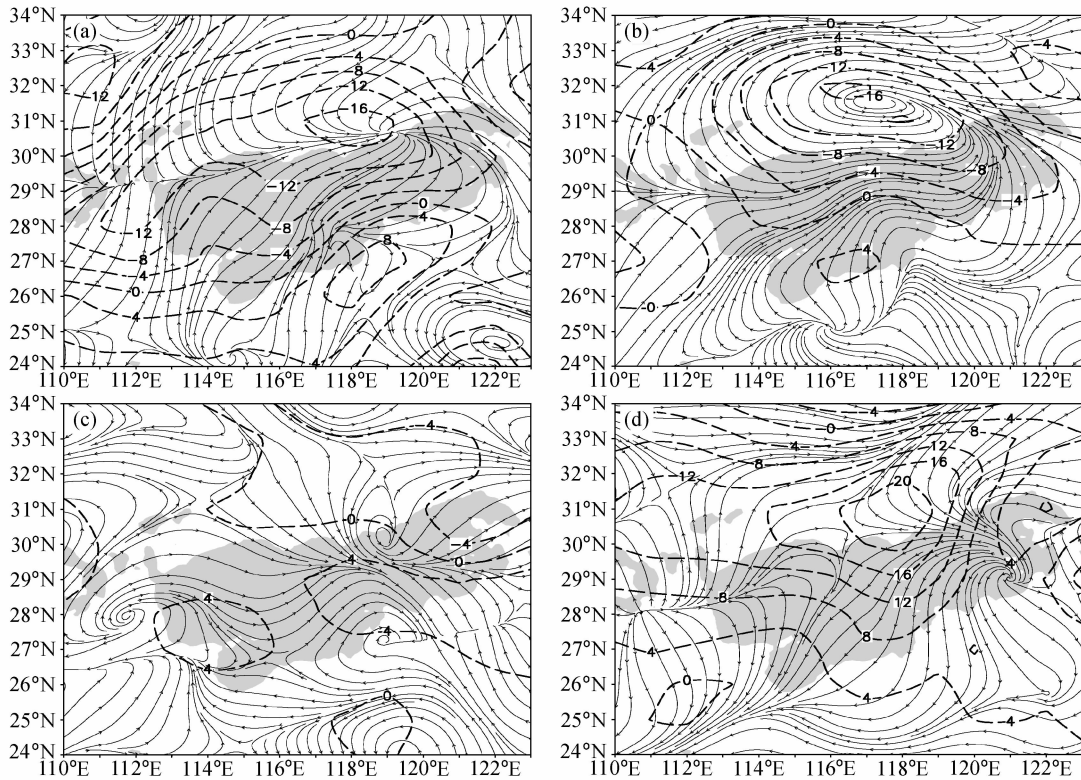


图 6 同图 4, 但为 6 月 27 日 1200UTC

Fig. 6 Same as Fig. 4, but at 1200 UTC 27 Jun 2002

徽、浙江交界和湖南境内。在对流层上部 200 hPa, 云团的上空表现为一致的辐散气流, 主要从云团上空流向西南方向, 对应的高度扰动中心为 20 gpm, 位于云团的北侧 (图 6d)。

分析结果说明, 带状  $M\alpha CS$  的组织方式主要是低层的中尺度切变线, 而之前南下的 MCS 主要是中尺度气旋, 所以两者在形态上有很大差异, 分别表现为带状和近圆形。但是二者都具有相似的扰动结构, 即低空辐合高空辐散。带状  $M\alpha CS$  不但在形体上远大于前期的 MCS, 其扰动的强度也大于前者。

## 7 结论与讨论

本文通过对 2002 年 6 月 27~28 日梅雨锋暴雨期间的环境场进行尺度分离, 得到了中尺度扰动场, 以此研究暴雨云团在发展和演变过程中其结构和形态特征, 得到以下结论:

(1) 2002 年 6 月 27~28 日梅雨锋降雨分两个阶段, 分别由一个从西北向东南移动的近圆形 MCS 和一个在长江流域生成在江南地区发展到强盛的东西向宽带状  $M\alpha CS$  云团造成的。进一步分析表明, 梅雨锋上宽带状  $M\alpha CS$  的形成是前一个 MCS 与暖式切变线相互作用的结果, MCS 与暖式切变相遇后不断在其东面或西面激发出新的对流云团, 通过合并最终形成一条宽带状  $M\alpha CS$ 。

(2) 综合分析表明, 利用夏大庆等人改进的 Shuman-Shapiro 滤波方法, 可以有效地分离出中尺度扰动。对于近圆形的 MCS, 低层高度场低中心和流场辐合中心重合, 位于  $TBB \leq -52^\circ C$  冷云盖的西侧边缘, 这里也是新生对流活跃的地方, 而高层高度场高中心和流场辐散中心分离, 但都位于冷云盖区域。对于宽带状  $M\alpha CS$ , 低层高度场低中心和流场辐合中心也基本重合, 位于  $TBB \leq -52^\circ C$  冷云盖的北侧边缘, 高层高度场高中心与低层低中心相对应, 但流场在冷云盖中没有表现出单一中心, 却表现为一致辐散气流。

(3) 滤波结果显示, 不论是前期的 MCS 还是随后发展起来的宽带状  $M\alpha CS$ , 二者都具有相似的扰动结构, 即低空辐合高空辐散, 只是扰动的强度后者大于前者。并且两者的组织方式完全不同, 前者主要是中尺度气旋, 而后者主要是低层的中尺度切变线, 所以两者在形态上差异很大, 分别表现为

带状和近圆形。

本文仅通过一个个例分析了解了不同云团形态所对应的不同组织方式。更普遍的情况, 应对不同形态云团进行分类, 然后进行合成分析。同时, 在云团生命史的每个阶段, 也应分析其组织方式和结构差异。这部分工作有待进一步研究, 可能会得到有意义的结果。

## 参考文献 (References)

- 巴德 M J, 等. 1998. 卫星与雷达图像在天气预报中的应用 [M]. 卢乃锰, 等译. 北京: 科学出版社, 382pp. Bader M J, Forbes G S, Grant J R, et al. 1998. Images in Weather Forecasting—A Practical Guide for Interpreting Satellite and Radar Imagery (in Chinese) [M]. Lu Naimeng, et al. Trans. Beijing: Science Press, 382pp.
- 陈忠明. 1992. 气象场中尺度带通滤波方法研究 [J]. 气象学报, 50 (4): 504–510. Chen Zhongming. 1992. Study of mesoscale band-pass filtering method for meteorological fields [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 50 (4): 504–510.
- 方宗义, 覃丹宇. 2006. 暴雨云团的卫星监测和研究进展 [J]. 应用气象学报, 17 (5): 583–593. Fang Zongyi, Qin Danyu. 2006. A review of satellite observed heavy rainfall cloud clusters [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 17 (5): 583–593.
- Jirak I L, Cotton W R, McAnelly R L. 2003. Satellite and radar survey of mesoscale convective system development [J]. Mon. Wea. Rev., 131 (10): 2428–2449.
- 何溪澄, 万齐林. 1995. 二维场的高斯权重带通滤波分析 [J]. 气象学报, 53 (1): 122–128. He Xicheng, Wan Qilin. 1995. Band-pass filtering analysis with Gauss weighting in two-dimensional fields [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 53 (1): 122–128.
- Maddox R A. 1980. Mesoscale convective complexes [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 61 (11): 1374–1387.
- 覃丹宇, 方宗义, 江吉喜. 2006. 典型梅雨暴雨系统的云系成员及其相互作用 [J]. 大气科学, 30 (4): 578–586. Qin Danyu, Fang Zongyi, Jiang Jixi. 2006. The cloud systems of heavy rainfall in the typical Meiyu period and their interactions [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (4): 578–586.
- 寿绍文. 2003. 中尺度气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 253–259. Shou Shaowen. 2003. Mesoscale Meteorology (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 253–259.
- 孙晶, 楼小凤, 胡志晋, 等. 2007. 梅雨期暴雨个例模拟及其中小尺度结构特征分析研究 [J]. 大气科学, 31 (1): 1–18. Sun Jing, Lou Xiaofeng, Hu Zhijin, et al. 2007. A numerical simulation on torrential rain during the Meiyu period and analysis of mesoscale and microscale structure of convective systems [J]. Chinese Jour-



- nal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (1): 1–18.
- 陶祖钰, 黄伟, 顾雷. 1996. 常规资料揭示的中尺度对流复合体的环流结构 [J]. 热带气象学报, 12 (4): 372–379. Tao Zuyu, Huang Wei, Gu Lei. 1996. Mesos- $\alpha$ -scale circulation of mesoscale convective complex revealed by conventional sounding data [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 12 (4): 372–379.
- 王婷, 吴池胜, 冯瑞权. 2008. 2005 年 6 月广东一次暴雨过程的中尺度对流系统的数值研究 [J]. 大气科学, 32 (1): 184–196. Wang T, Wu C S, Fong S K. 2008. A numerical study of a mesoscale convective system associated with the heavy rain event over Guangdong Province in June 2005 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (1): 186–198.
- 夏大庆, 郑良杰, 董双林, 等. 1983. 气象场的几种中尺度分离算子及其比较 [J]. 大气科学, 7 (3): 303–311. Xia Daqing, Zheng Liangjie, Dong Shuanglin, et al. 1983. Some operators for separating meso-scale meteorological fields and their comparisons [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 7 (3): 303–311.
- 徐祥德, 翁永辉, 孟智勇, 等. 2002. 卫星资料变分分析“98·7”武汉-黄石地区特大暴雨中尺度锋面对流特征 [J]. 大气科学, 26 (6): 845–856. Xu Xiangde, Weng Yonghui, Meng Zhiyong, et al. 2002. Characteristics of the convection in the meso-scale front of the serious storm rainfall over the Wuhan–Huangshi region during July of 1998 through variational analysis by satellite data [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 26 (6): 845–856.
- 徐祥德, 许建民, 王继志, 等. 2003. 大气遥感再分析场构造技术与原理 [M]. 北京: 气象出版社, 230pp. Xu Xiangde, Xu Jianmin, Wang Jizhi, et al. 2003. The Reforming Technique and Theory of Atmospheric Remote Sensing Reanalysis Fields (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 230pp.
- 姚秀萍, 于玉斌. 2005. 2003 年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用 [J]. 大气科学, 29 (6): 973–985. Yao Xiuping, Yu Yubin. 2005. Activity of dry cold air and its impacts on Meiyu rain during 2003 Meiyu period [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 29 (6): 973–985.
- 仲荣根. 1989. 中尺度客观分析方法的对比分析 [J]. 热带气象学报, 5 (2): 134–143. Zhong Ronggen. 1989. A comparison of objective analyses for meso-scale systems [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 5 (2): 134–143.