

2004年9月川渝暴雨的中尺度分析

段海霞¹ 毕宝贵² 陆维松²

(1. 南京信息工程大学大气科学系, 210044; 2. 国家气象中心)

提 要: 采用多种常规和非常规资料对2004年9月3—6日形成川渝暴雨过程的中尺度对流系统及其发生发展的背景场进行分析后认为:(1) 低涡切变线上不断发生发展的中- β 尺度对流系统是造成此次强降水的主要原因;(2) 高层强辐散与中、低层强辐合以及强上升运动可能为中尺度对流系统的发生发展提供了有利的动力背景;(3) 水汽通量的强辐合以及对流不稳定条件的存在可能为中尺度对流系统的发生发展提供了有利的热力背景。

关键词: 暴雨 低涡切变线 中尺度对流系统

Mesoscale System Analysis for “049” Heavy Rainfall on the Low Vortex with Shear Line in Sichuan and Chongqing

Duan Haixia¹ Bi Baogui² Lu Weisong²

(1. Department of Atmospheric Sciences, University of Information Science & Technology, Nanjing 210044;
2. National Meteorological Centre)

Abstract: Based on the routine and non-conventional data, mesoscale convective systems and backgrounds causing heavy rain in Sichuan and Chongqing during 3—6 September 2004 are analyzed. It is found that (1) the reason for heavy rainfall is meso- β scale convective systems, occurred and developing frequently on the low vortex and shear line, with local and explosive features occurred and developed in the Sichuan Province and Chongqing City; (2) the lower-level convergence and upper-level divergence and vertical ascent motion probably provided the suitable dynamic environment for the generation and development of the mesoscale convective system; and (3) strong convergence of water vapor flux and the condition-

al convective instability in the lower troposphere probably provided the suitable thermodynamic environment for the generation and development of the mesoscale convective system.

Key Words: heavy precipitation low vortex with shear line mesoscale convective system

引言

2004年9月3—7日,四川省东部、重庆市部分地区出现了范围广、强度大、持续时间较长的区域性暴雨、大暴雨(下称“049”川渝暴雨)天气过程,达川、开县等地降水量超过同期历史极值。强降水诱发的洪涝及地质灾害(山体滑坡、泥石流等)造成了重大人员伤亡和财产损失^[1]。

对于此次暴雨过程中西南低涡的形成、维持以及暴雨发生的主要影响系统已经有文章做过分析^[2,3],但是对此次暴雨过程的中尺度对流系统(MCS)的发生、发展以及MCS的背景场分析尚不够。为了细致了解此次暴雨过程中尺度对流系统(MCS)的发生、发展及MCS的背景场,本文主要利用等效辐射温度(即TBB)资料进行分析,同时使用美国6h一次的NCEP/NCAR再分析资料(以下简称NCEP资料)、常规探空资料以及6h加密探空资料对暴雨中尺度对流系统(MCS)发生发展及MCS的背景场进行分析。

1 雨情及大尺度环流形势简介

1.1 雨情

2004年9月3日08时—4日08时(北京时,下同)降水主要发生在四川省东部,其中渠县的24h最大降水量达到253mm;4日08时—5日08时降水主要发生在四川东部及重庆北部,其中开县24h降水量达到298mm;5日08时—6日08时降水主要发

生在四川东部、重庆中部和南部还有贵州北部。过程雨带走向前48h为东北—西南走向,后24h转为南—北走向。

1.2 大尺度环流形势

本小节采用网格距为 $1^\circ \times 1^\circ$ 、6h一次的NCEP再分析资料,对“049”川渝暴雨过程的大尺度环流形势进行分析发现,这次暴雨时段中高纬环流形势的特征(图略)是:60~80°E的乌拉尔山地区和东亚沿海地区为低压槽区,贝加尔湖地区为弱高压脊区,在亚洲大陆维持两槽一脊的经向环流形势^[3]。另外,在我国东南沿海地区由于台风“桑达”的影响形成稳定少动的低压,南支槽区基本位于40°N以南,影响长江以南地区。

2 中- β 尺度对流系统 M_β CS的发生、发展分析

近年来,我国暴雨中尺度对流系统(MCS)的观测分析和数值模拟研究已有不少工作^[4-7],对许多暴雨个例的分析研究表明,中尺度对流系统是造成强降水的主要系统。总之,欲揭示产生暴雨的直接原因,必须分析研究中- β 尺度对流系统。

从“049”暴雨前后逐时的卫星云图的演变来看(图略),产生暴雨的云团具有中- β 尺度对流系统 M_β CS的特征,它们主要形成于青藏高原东部、四川盆地附近。另外,此次川渝暴雨过程主要分为两次过程,第一次过程是3日15时—4日08时四川东部暴雨过程,第二次过程是4日08时—5日08时重庆北部特大暴雨过程。下面就第一次过

程, 亦即 3 日 15 时—4 日 08 时四川东部暴雨过程, 分析此段降水过程的中尺度系统的发生发展。

3 日 15 时在巴中一带有一个对流云团 (简称 $M_{\beta}CS-A$) 生成 (见图 1), 水平范围在 $200 \times 200 \text{ km}$ 以上, 其中心 TBB 值小于 200 K ; 另外在自贡、威远地区以及大足地区, 分别有一个弱的对流单体 $M_{\beta}CS-B$ 出现, 中心 TBB 值小于 230 K 。这两个弱的对流单体在 16 时合并为一个对流云团, 仍称为 $M_{\beta}CS-B$, 强度增强, 中心 TBB 值减小到小于 220 K 。20 时两个对流系统 $M_{\beta}CS-A$ 和 $M_{\beta}CS-B$ 开始汇合, 但各自的强冷云顶保持独立, 同时冷云砧扩大, 形成一个东北—西南走向的中尺度对流云团, 影响四川东部和重庆大部。3 日 23 时 $M_{\beta}CS-A$ 和 $M_{\beta}CS-B$ 完全合并为一个大的对流云团 (称其为 $M_{\beta}CS-A$), 发展最为成熟, 其云顶温度有

所升高, 中心 TBB 值小于 210 K 。这种状态维持到 4 日 00 时。 $M_{\beta}CS-A$ 和 $M_{\beta}CS-B$ 两个中尺度对流系统合并发展过程中, 内江、南充、广安 3 站的 6h 降雨量都分别达到 50 mm 以上。4 日 01 时云体中心开始逐渐分裂, 强度开始减弱。到 4 日 04 时 $M_{\beta}CS-A$ 分裂成 3 个弱的云团 C、D、E, 中心 TBB 值分别小于 220 K 、 220 K 、 230 K , 随后 3 个弱的云团逐渐减弱, 冷云砧也逐渐缩小, 直到 4 日 06 时减弱消失, 降水也随之减弱。

在 3 日 15 时—4 日 08 时强降水过程中, 引起强降水的主要是中- β 尺度对流系统 $M_{\beta}CS$ 中的多个对流单体。此次 $M_{\beta}CS$ 的发生发展过程中, 主云团 $M_{\beta}CS-A$ 的生命史较长 (3 日 15 时—4 日 02 时), 超过了 10 h 以上, 而其他的对流单体的生命史都较短。

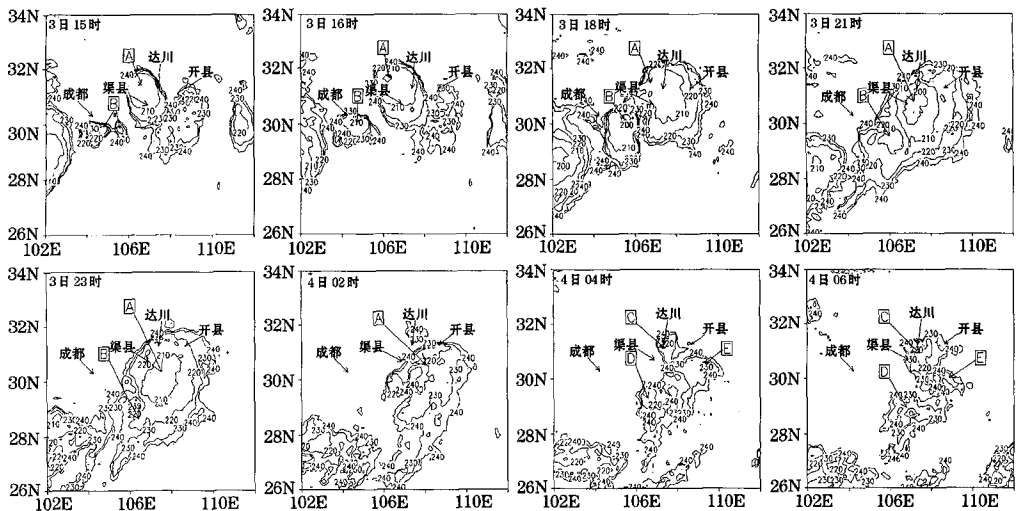


图 1 2004 年 9 月 3 日 15 时—4 日 06 时 TBB (单位: K) 演变图

此次过程主要有两个特点: 产生降水的主云团强度很强 (中心 TBB 值小于 210 K), 且移动缓慢, 其西南象限不断有弱对流单体出现并逐渐向东北方向移动发展, 补充到主

降水云团中, 使主云团能够较长时间地维持对流旺盛的状态; 其二, 云团西部的 TBB 等值线较密集, 东部较稀疏。

3 中尺度暴雨系统的背景场分析

3.1 动力背景场

从 2004 年 9 月 3 日 08 时 500hPa 高度场和涡度场 (图略) 可明显看到, 四川西南部附近有一个明显的低槽, 且在槽中有一个正涡度带, 其中心正好位于槽区。此时 M_0CS 也移至四川东部和重庆中部, 而此时地面冷中心和 700hPa 层的低涡也已经生成并在此地维持了 6h (图略)。此后的 500hPa 层四川与重庆地区不断有低槽生成东移, 且配合低槽区有正涡度中心。

图 2 给出了 2004 年 9 月 3 日 08 时—6 日 08 时沿强暴雨中心 (渠县) $106.58^\circ E$ 的

时间平均散度和涡度的垂直剖面图。从图 2a 可见, 在暴雨发生的纬度范围内 ($30 \sim 34^\circ N$), 900hPa 左右的高度上是强辐合区, 中心值小于 $-2.5 \times 10^{-5} s^{-1}$; 500hPa ~ 300hPa 层也有一个辐合中心; 而 200hPa 左右的高度处则为强的辐散中心, 中心值大于 $1.5 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。可以想见, 这种高层强辐散与中、低层强辐合的配置, 必然对应空气柱中强的上升运动。图 2b 中, 在 $28 \sim 32^\circ N$ 的纬度带上, 从地面到 400hPa 气层内基本为正涡度区 (这说明低涡发展的层次非常深厚), 正涡度中心分别位于 800hPa 左右和 500hPa 左右, 中心值分别大于 $4.0 \times 10^{-5} s^{-1}$ 和 $2.0 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。400hPa 以上的负涡度区, 中心在 $29^\circ N$, 中心值小于 $-10.0 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。

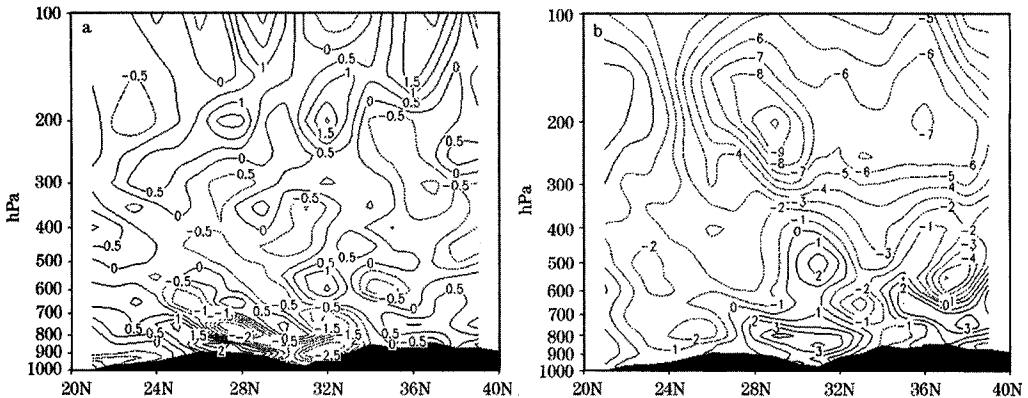


图 2 2004 年 9 月 3—6 日沿 $106.58^\circ E$ 的散度 (a, 单位: $10^{-5} s^{-1}$) 和涡度 (b, 单位: $10^{-5} s^{-1}$) 时间平均的纬度-高度剖面图

分析各时次垂直速度的高度剖面图 (图略) 看到, 暴雨过程中, $27 \sim 34^\circ N$ 的纬度上, 基本都为上升运动, 9 月 4 日 02 时上升运动达最强, 中心值小于 $-0.6 Pa \cdot s^{-1}$ 。此后上升运动区向南推进, 到 7 日 02 时, $28 \sim 34^\circ N$ 纬度带上变为下沉运动, 川渝暴雨过程基本结束。

3.2 热力背景场

分析各层时间平均比湿图 (图略) 可见, 在 $28 \sim 36^\circ N$ 纬度带有一个比湿舌区, 比湿值 $q \geq 10g \cdot kg^{-1}$, 湿舌的南北两侧, 存在有等 q 线的密集区 (湿度锋区)。此次暴雨过程中湿舌一直维持在四川盆地附近上

空,各层湿舌都非常明显,水汽非常充分。为了解水汽的辐合状况,我们计算了沿暴雨最强中心渠县所在经度 106.58°E 各层水汽通量散度的纬度-时间剖面图(图略)。结果表明,该时段 $28\sim 33^{\circ}\text{N}$ 从 850hPa 到 700hPa 基本上为水汽通量辐合。其中 850hPa , 在 $30\sim 33^{\circ}\text{N}$ 的纬度带中, 4 日 02 时、5 日 02 时、6 日 02 时分别有一次水汽通量的辐合过程, 这 3 次水汽通量辐合过程正好对应了此次川渝暴雨过程中的 3 次强降水过程, 也恰巧对应了 3 次中尺度对流系统发生发展的过程。这说明, 水汽通量辐合情况和降水以及中尺度对流系统的发生发展过程, 三者之间有很好的对应关系。

假相当位温 θ_w 是一个重要的温湿特征参数, 它既与空气质块的温度有关, 又与质块的湿度有关, 它能很好的反映一个地区的

热力学性质。从“049”暴雨期间垂直剖面图 θ_w 上的分布可以看出: 在 9 月 3 日 14 时(图略) 30°N 附近, 从近地面向上延伸出一个 θ_w 的高能丘, 高度延伸到 800hPa , 其上 θ_w 值随高度减小, 即 $\partial\theta_w/\partial p > 0$, 也就是说这一地区的对流层低层处于对流性不稳定状态。而从 200hPa 向下延伸出一个高能舌到 350hPa 。随后高能丘逐渐向上延伸, 高能舌逐渐向下延伸, 到 9 月 4 日 02 时(图 3), 高能丘向上延伸到 650hPa 处, 高能舌向下延伸到了 550hPa , 且高能区向南发展扩大到 28°N 。这种状态持续到 6 日 02 时, 其后, 高能区逐渐减弱, 并向南压。对比降水的分布可知, 降水区正好位于高温高湿区内。由此来看, 在这几天的降水过程中对流不稳定状态对降水有明显的作

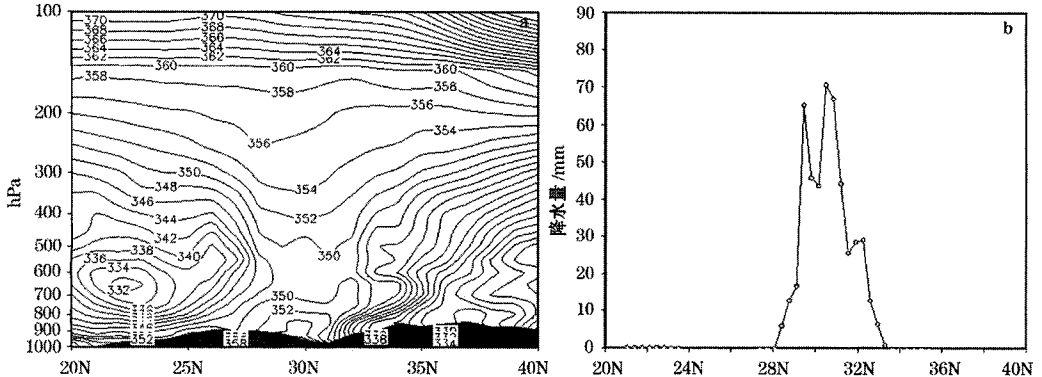


图 3 2004 年 9 月 4 日 02 时沿 106.58°E 的假相当位温 θ_w (a, 单位: K) 纬度-高度剖面图以及 6h (3 日 20 时—4 日 02 时) 降水量 (b, 单位: mm) 沿纬度分布图

上述对流不稳定状态一直维持了 3 天以上, 而低涡也在此维持了 3 天以上, 由此联想到: 可能对流不稳定也是低涡维持的机制之一。但是, 这种不稳定对此处的中尺度对流系统发生发展、低涡发生和发展以及维持有何作用有待进一步的考察研究。

4 小结和讨论

通过多种常规和非常规资料, 对 9 月 3—6 日期间大尺度环流形势、中- β 尺度对流系统发生发展、中尺度对流系统的动力、

热力背景场等的分析, 得到如下结论:

(1) 通过对 TBB 资料的分析表明, 9月3—6日, 四川、重庆地区不断有中尺度对流云团发生发展, 尤其是在3日和4日的夜间(即20时以后), 是中尺度系统发展最强盛的时间, 因而也就造成了这一时段的强降雨水。

(2) 高层强辐散与中、低层强辐合以及强上升运动为中尺度对流系统发生发展提供有利的动力背景。

(3) 水汽通量的强辐合是降水和中尺度对流系统的发生发展的重要条件之一。

(4) 四川、重庆地区对流层中低层一直处于对流不稳定区, 不稳定层一直延伸到700hPa以上, 这种不稳定层很可能也是中尺度对流系统发生发展的重要条件之一。

本文的分析只是在初步诊断分析的基础之上完成的, 而且其中没有考虑到中尺度地形的动力抬升作用, 要进一步了解中- β 尺度对流系统的发生发展演变还需要依靠数值

模拟的分析研究。

参考文献

- 1 宋艳玲. 四川重庆遭受暴雨袭击 黑龙江广西等地有早情 [J]. 气象, 2005, 30 (12): 90-91.
- 2 宗志平, 张小玲. 2004年9月2—6日川渝持续性暴雨过程初步分析 [J]. 气象, 2005, 31 (5): 37-41.
- 3 王维国, 饶晓琴, 康志明等. 2004年我国重大灾害性天气和大尺度环流特征 [J]. 气象, 2005, 31 (5): 26-32.
- 4 毕宝贵, 刘月巍, 李泽椿. 2002年6月8—9日陕南大暴雨系统的中尺度分析 [J]. 大气科学, 2004, 28 (5): 747-767.
- 5 隆霄, 程麟生. “99.6”梅雨锋暴雨低涡切变线的数值模拟和分析 [J]. 大气科学, 2004, 28 (3): 342-356.
- 6 徐亚梅, 高坤. 1998年7月22日长江中游中- β 尺度低涡的数值模拟及分析 [J]. 气象学报, 2002, 60 (1): 85-95.
- 7 贝耐芳, 赵思雄. 1998年“二度梅”期间突发强暴雨系统的中尺度分析 [J]. 大气科学, 2002, 26 (4): 526-540.