

一次川东大暴雨过程的中尺度分析

矫梅燕¹⁾ 李川²⁾ 李延香¹⁾

¹⁾(国家气象中心,北京 100081) ²⁾(成都高原气象研究所,成都 610071)

摘 要

利用观测资料和 MM5 中尺度非静力模式产生的客观分析资料,分析了 2004 年 9 月 3~5 日出现在川东地区大暴雨过程的大尺度环流特征和主要的中尺度天气系统及其结构。分析表明:中纬度低压槽的东移与西伸加强的副热带高压在青藏高原北部地区形成了有利于高原切变线和西南低涡生成发展的环流条件;西南低涡东侧的暖式切变线是对流活动最活跃的区域,强降水主要出现在暖式切变线上;西南低涡是一个主要出现在对流层中低层的涡旋系统,与大暴雨区相对应的整层强上升运动是低涡切变线南北两侧的正反向垂直环流共同作用的结果。

关键词:大暴雨 中尺度分析 西南低涡 切变线

引 言

西南低涡(以下简称西南涡)是青藏高原特殊地形及有利环流形势共同影响下产生的中尺度天气系统,当它发展东移时,常会带来剧烈的天气^[1~5]。在影响我国的许多重大气象灾害中,西南涡都扮演了重要角色^[6~7]。2004 年 9 月 2~6 日,四川省东北部发生了特大暴雨,四川盆地的宣汉、达州、渠县、开江累积降水量分别达到 419 mm、350 mm、324 mm、315 mm,日降雨量突破有气象记录以来的历史极值。对这次强降水过程,已有一些初步的研究^[8]。本文将在对这次暴雨过程的降水特征和大尺度环流背景分析的基础上,重点分析西南涡中尺度系统对这次大暴雨过程的影响。

本文采用 MM5 中尺度非静力模式所提供的中尺度客观分析方法,选取国家气象中心 T213 数值预报分析资料作为背景场,利用东亚地区常规地面和探空资料,对背景场资料进行再分析,获得 2004 年 9 月 1~6 日的每天 00:00(世界时,下同)和 12:00 两个时次的格点分析资料(格距是 15 km×15 km)。

1 降水和大尺度环流特征

分析逐日 24 h 降雨量发现,强降水主要出现在 2004 年 9 月 3~5 日。9 月 3~5 日 00:00 四川省 72 h 累积降雨量图显示(图略),在川东北部的降水区中有 3 个强降水中心,最大降水中心位于开县附近,中心雨量超过 400 mm,为历史罕见。降水空间分布表

明这次降水过程具有很强的中尺度特征。此次大暴雨过程由3次强降雨时段组成。第1个降水时段为3日09:00至4日02:00,累计降水量达101 mm;第2个强降雨时段发生在4日08:00~14:00,累计降水量104 mm;第3个强降雨时段发生在4日23:00至5日06:00,累计降水量达122 mm。且每次强降雨都维持2~5 h,降水的时间尺度也具有明显的中尺度特征。

此次暴雨过程发生前的2004年9月2日12:00,500 hPa环流形势(图1)的基本特征是,在亚洲中高纬地区为两槽一脊的环流形势,在西西伯利亚地区和东亚沿海地区为低压槽区,贝加尔湖地区为高压脊,青藏高原地区为偏西南气流;此时,西北太平洋副热带高压势力较强且位置偏西,脊线呈东西向,西脊点在 94°E 附近。9月2~5日,从西西伯利亚地区连续分裂出两个短波槽快速东移,槽后的冷空气与副热带高压西北侧的西南暖湿气流交汇于高原北部地区,有利于在高原地区形成切变线。

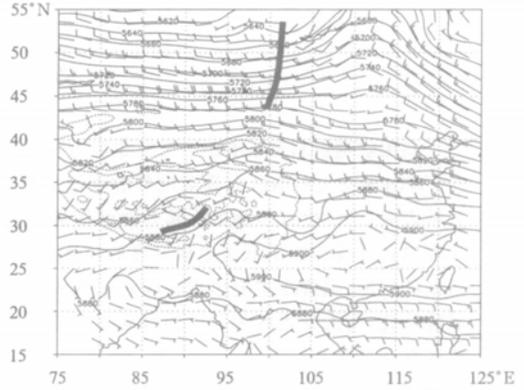


图1 2004年9月2日12:00 500 hPa高度场(单位:gpm)和风场(图中粗实线为高空槽线)

对2004年9月1~5日700 hPa水汽通量和水汽通量散度的候平均场的分析显示(图略),此次暴雨过程中有两支水汽输送带,一支水汽输送带是孟加拉湾地区的西南气流,当它到达青藏高原东南侧时,绕高原东南方进入四川盆地;另一支来自中国南海地区的东南气流在副高西侧经高原东部转向偏南流向四川盆地。由于青藏高原东侧四川盆地的地形作用,上述两支水汽输送带在青藏高原东南侧汇合时,在盆地东北部形成明显的水汽辐合区。

2 中尺度特征分析

2.1 高原切变线

与这次大暴雨密切相关的中尺度系统有两个,一个是高原切变线,另一个是西南涡。2004年9月2日12:00,伴随着500 hPa短波槽的东移,在青藏高原上的 $30^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E}$ 附近形成了一条切变线(见图1),至3日00:00,这条高原切变线携带着弱冷空气东移到四川盆地,同时,在该切变线上游 95°E 附近又新生一个高原切变线,并快速东移(图略)。

对青藏高原夏季低涡切变线系统的分析研究表明^[9],夏季青藏高原的热源作用,有利于触发对流不稳定,并生成高原切变线。2004年9月2日12:00 500 hPa假相当位温 θ_{sc} 大值区位于高原主体东部,最大中心值超过 85°C (图略)。图2是500 hPa与400 hPa假相当位温 θ_{sc} 之差,从图可清楚地看到高原东部中低层大气是对流不稳定($\partial\theta_{sc}/\partial p > 0$)的,表明青藏高原 θ_{sc} 最大值和对流不稳定的分布区域,较好地对应了高原切变线的生成区域。可见,高原切变线是在有利的大尺度环流条件下,受高原的热源作用形成的。

2.2 西南涡

西南涡是此次大暴雨过程中最重要的影响系统。对过程期间 700 hPa 高度场和风场分析显示,9 月 2 日 12:00 从高原东部到四川盆地出现了一个暖式切变线,2 日 18:00 的红外云图上,在切变线东段的川东北地区出现了对流云系(图略);至 3 日 00:00,随着 500 hPa 高原切变线的东移,切变线北侧冷空气的激发作用,积云对流活动加强,700hPa 出现了闭合的低压环流(见图 3),环流中心出现在四川盆地至青藏高原陡峭上升地形处,低涡中心位于 $30^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$, $102^{\circ} \sim 104^{\circ} \text{E}$,该区域地形高度为 500 ~ 3000 m,表明西南涡形成于川西高原复杂地形中。9 月 4 ~ 5 日,第二个短波槽东移促使西南涡进一步发展成熟,水平尺度加大,低涡中心从川西高原东移到四川盆地腹地($30^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$, $104^{\circ} \sim 106^{\circ} \text{E}$),5 日 12:00 四川盆地上空的 500 hPa 也出现了明显的涡旋环流,表明西南涡向对流层中层发展(图略)。

2.2.1 西南涡的对流活动特征

分析 9 月 2 ~ 5 日逐时红外卫星云图可以清楚地发现,四川盆地的对流云活动存在明显的日变化特征,对流活动在夜间到早晨发展强盛,白天逐渐消散;图 4 是 9 月 3 ~ 4 日第一个强降水时段红外卫星云图上的对流云团演变过程。由图 4a 可见,3 日 15:00 在四川省的东北部和西南部出现了两个较强的对流云团,面积约 $300 \text{ km} \times 400 \text{ km}$,是一个很清晰的中尺度系统。对照图 3 可知,这两个对流云团分别出现在西南涡东侧的暖式切变线和其西南侧的冷式切变线上;在这两个对流云团中间,还有一个较小的对流云团位于西南涡的暖区内,并随着西南涡的东移,逐渐发展并入到低涡东侧暖式切变线上的对流云团之中;至 3 日 21:00(图 4c),四川东北部的对流云团明显加强, -70°C 的云顶亮温区明显扩大,云团的面积约达 $550 \text{ km} \times 500 \text{ km}$ 。同时,位于低涡西南侧冷式切变线上的对流云团随着西南涡的东移,迅速减弱;至 4 日早晨(图 4d),四川西南部的对流云团已减弱消散,东北部的对流云团也迅速减弱。4 日夜间开始,在低涡的暖区内又有对流云团发展东移,但由于西南涡的东移,其东侧的暖切变线逐渐东移出川东地区,新生的对流云团主要发展于低涡南侧的暖区内,其强度和范围远远弱于 3 日晚至 4 日晨的对流云团(图略)。上述的分析表明,西南涡东侧的切变线和低涡的暖区内是中尺度对流活动容

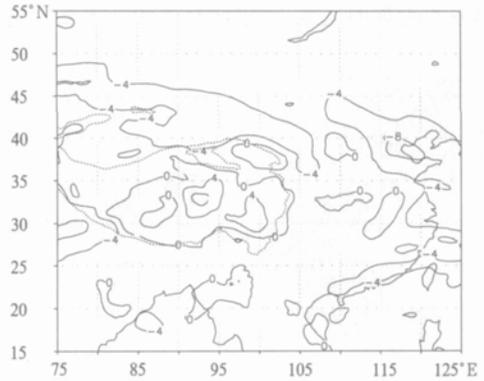


图 2 2004 年 9 月 2 日 12:00 500 hPa 与 400 hPa 假相当位温之差 (单位: $^{\circ} \text{C}$, 虚线为 3000 m 地形等高线)

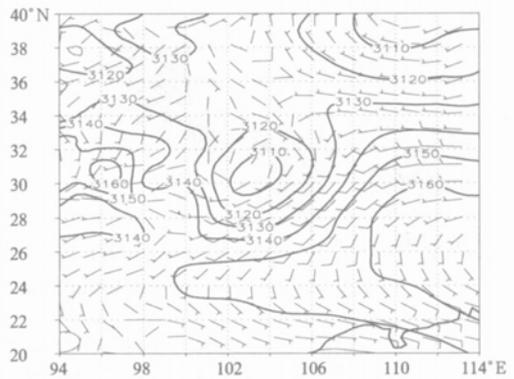


图 3 2004 年 9 月 3 日 00:00 700 hPa 高度场 (单位: gpm) 和风场

易发生发展的区域,而强的对流活动主要出现在低涡东侧的暖式切变线上。

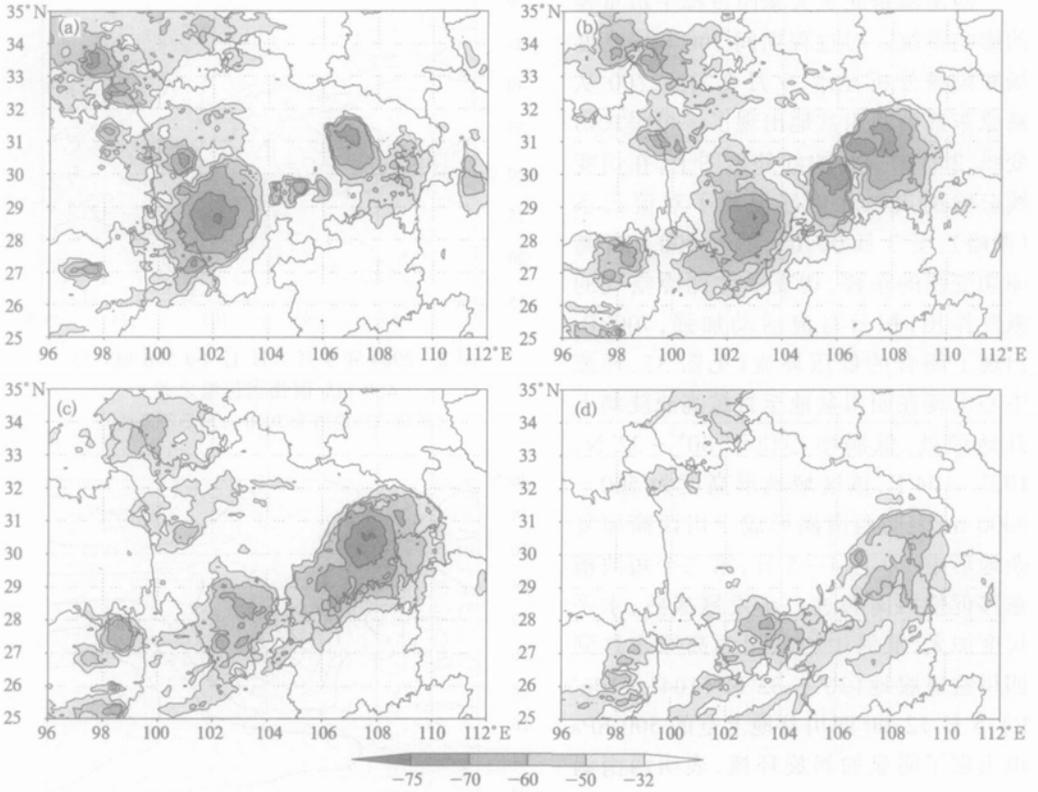


图4 2004年9月3~4日红外卫星云图顶亮温(单位:℃)
(a) 9月3日15:00,(b) 9月3日18:00,(c) 9月3日21:00,(d) 9月4日01:00

图5是9月4日00:00的850 hPa流场和散度场分布图,由图可见,850 hPa上西南涡中心的区域是一个弱的辐散区,中心散度值为 $0.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,而其外围气流则是辐合的,尤其是低涡东侧的辐合较强,辐合中心达到 $-4.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,出现在西南涡东北部,即前面所述的低涡暖式切变线北侧。西南涡底层散度场的这种分布特征说明,低涡的暖区内是有利于形成辐合上升运动的区域,暖式切变线北侧的辐合上升运动最强。

2.2.2 西南涡的结构特征

分析发现,有利于对流活动发展和暴雨发生的区域并不在低涡的中心,而

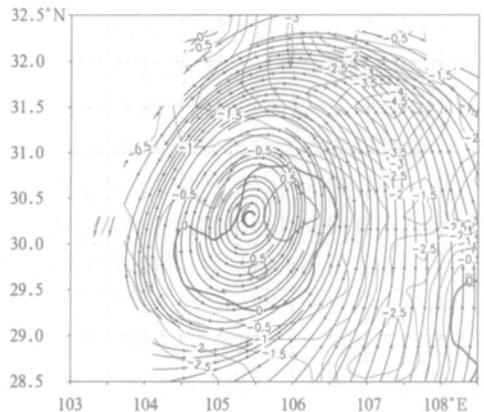


图5 2004年9月4日00:00 850 hPa流场(矢量线)与散度场(断线,单位: 10^{-5} s^{-1} , C为西南涡中心)

是在低涡东侧的暖式切变线上。图 6 为西南涡最强盛时(9 月 4 日 00:00)经过西南涡东侧暴雨区中心 107°E 的涡度场和垂直速度场的经向垂直剖面图。图 6a 显示,在 31°N 的低涡暖式切变线上有一个明显的正涡度柱,正涡度中心约在 700 hPa 附近,说明这里的气旋性涡旋环流最强,风切变最明显;随着高度的增加,正涡度区域迅速减小,强度减弱。散度场的经向垂直剖面分布表明,暴雨区底层的辐合主要出现在四川盆上空 850 hPa 的浅层之内,辐合中心位于 31.5°N (图略)。

由图 6b 的垂直速度场的经向垂直剖面图可见,与上述分析的 700 hPa 上最大的正涡度中心和 850 hPa 上的低层辐合中心相对应,在 700 hPa 附近出现了 $0.06\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 上升运动中心,显示出西南涡东侧暖式切变线上低层辐合上升的动力场结构。

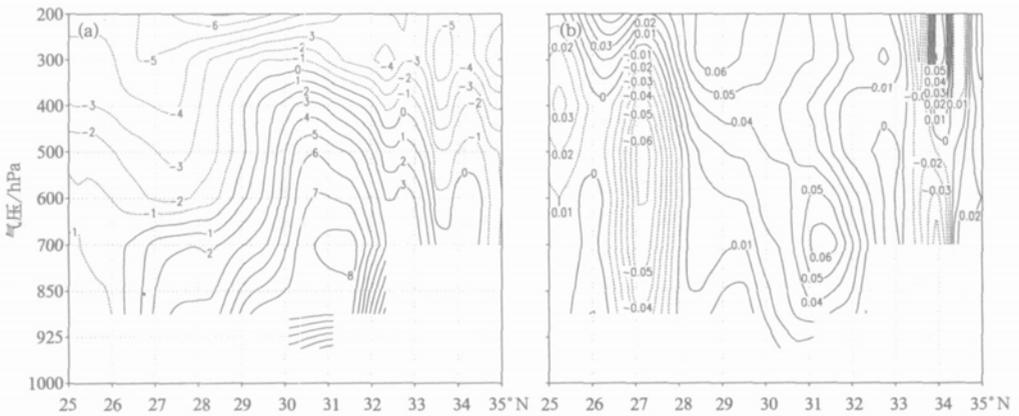


图 6 2004 年 9 月 4 日 00:00 沿 107°E 的经向剖面图

(a) 涡度(单位: 10^{-5} s^{-1}), (b) 垂直速度(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

从图 6b 上还可以看到,暴雨区上空整层都是较强的垂直上升运动,并且在对流层中高层的 300 hPa 附近还有一个上升运动中心。同时还值得注意的是,图 6b 上位于低涡东侧暖式切变线的南侧和北侧有两支垂直下沉气流,其中位于 27°N 的下沉气流较强,是一支分布于整个对流层的垂直下沉运动,中心位于对流层中层的 500 hPa,由同时刻的 500 hPa 环流形势场分析可知(图略),这支下沉气流位于低涡南部副热带高压区内,下沉运动是由副热带高压这个深厚的系统所产生的;而 34°N 的弱下沉气流则位于中纬度 500 hPa 弱高压脊上的反气旋环流区域(图略)。这两支下沉气流与位于低涡东侧暖式切变线上的上升气流分别构成了切变线北侧的正向垂直环流和其南侧的反向垂直环流,使得低涡东侧暖式切变线上的垂直上升运动得以发展维持,形成整层的深厚上升运动区,为大暴雨的产生提供了有利的动力条件。

3 结 论

(1) 此次大暴雨过程是由 3 次主要的降水时段组成,时间演变和空间分布上都具有明显的中尺度特征。

(2) 此次大暴雨过程中,中纬度短波低压槽东移与西伸加强的副热带高压在高原北

部地区形成了有利于高原切变线系统生成发展的环流条件;来自南海和孟加拉湾的两支水汽在青藏高原东南侧汇合,在盆地东北部形成明显的水汽辐合。

(3) 与大暴雨密切相关的主要中尺度系统有两个,一个是青藏高原东部切变线,另一个是西南涡。高原东部低层至 400 hPa,大气是对流不稳定,有利于高原切变线发生发展。

(4) 西南涡对大暴雨过程的形成起着重要作用,低涡东侧的暖式切变线是对流活动最活跃的区域,强降水主要出现在暖式切变线上,低涡的暖区也是有利于对流云团发展的区域。

(5) 西南涡的强气旋性环流主要位于对流层中低层,最大的气旋性涡旋出现在 700 hPa 附近,低涡东侧的暖式切变线上低层的辐合上升运动强。低涡暖式切变线南北两侧的正反向垂直环流使得切变线上深厚的上升运动发展维持,为大暴雨的产生提供了有利的动力条件。

参考文献

- 1 叶笃正,高由禧.青藏高原气象学.北京:科学出版社,1979.1~278.
- 2 罗四维.青藏高原及其邻近地区几类天气系统的研究.北京:气象出版社,1992.1~255.
- 3 陈静,矫梅燕,李川.青藏高原东侧一次 β 中尺度对流系统的数值模拟.高原气象,2003,22(增刊):90~101.
- 4 陈忠明,徐茂良,闵文彬,等.1998年夏季西南低涡活动与长江上游暴雨.高原气象,2003,22(2):162~167.
- 5 郁淑华,何光碧,腾家谟.青藏高原切变线对四川盆地西部突发性暴雨影响的数值试验.高原气象,1997,16(3):306~311.
- 6 陶诗言.中国之暴雨.北京:科学出版社,1980.1~225.
- 7 Kuo Y H, Chen L S, Anthes R A. Mesoscale analysis of the Sichuan flood catastrophe, 11—15 July 1981. *Mon Wea Rev*, 1986, 114:1984~2003.
- 8 中国气象局预测减灾司.2005年全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会论文摘要汇编.北京,2005.1~88.
- 9 青藏高原拉萨气象研究拉萨会战组.夏季青藏高原500 hPa低涡切变线的研究.北京:科学出版社,1981.

MESOSCALE ANALYSES OF A SICHUAN HEAVY RAINFALL

Jiao Meiyan¹⁾ Li Chuan²⁾ Li Yanxiang¹⁾

¹⁾ (National Meteorological Center, Beijing 100081)

²⁾ (Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610071)

Abstract

A diagnostic study on a severe rainfall occurred over the northeast of Sichuan province in 3—5 September 2004 is undertaken with the rainfall characteristics, large scale circulations and the meso-scale synoptic systems presented. Results show that wind shear at the east part of Tibetan Plateau and southwest vortex at the lower level in the basin of Sichuan play the key role in the occurrence of the heavy rainfall. The convective activities and the heavy rain mainly occurs on the sharp wind shear which locates over the east of the vortex center. The very strong vertical velocity is detected which is sustainable by two second vertical circulations located respectively at the north and south of the southeast vortex.

Key words: Heavy rainfall Mesoscale analyses Southwest vortex Wind shear