

宗志平,陈涛,徐珺,等. 2013. 2012 年初秋四川盆地两次西南涡暴雨过程的对比分析与预报检验. 气象, 39(5):567-576.

# 2012 年初秋四川盆地两次西南涡暴雨过程的 对比分析与预报检验<sup>\* 1</sup>

宗志平 陈涛 徐珺 关月

国家气象中心, 北京 100081

**提 要:** 利用常规观测和雷达、卫星等观测资料,从天气形势配置、对流活动特征以及预报检验等方面对 2012 年初秋发生在四川盆地的两次西南涡暴雨过程进行了对比分析研究,重点对直接造成暖区对流性暴雨的 MCS 活动特征和环境条件进行了分析。两次暴雨过程在天气系统配置上,都具有西太平洋副热带高压强盛稳定、高原槽活跃,以及低层有西南涡生成等共同特点;但由于副高脊线的位置差异、西风带短波扰动强度差异等原因,造成系统移动速度以及降水落区的显著区别。在这两次暴雨过程中 MCS 都较为活跃,第一次降水过程中的 MCS 较为稳定,系统移动相对缓慢;第二次过程中出现了 MCC,局部单点雨强突出,移动速度也相对较快。分析表明第一次过程湿层相对深厚,对形成强降水非常有利,而第二次过程中垂直切变相对较强,高层存在明显干层,从而形成了更强的层结不稳定性,有利于强对流风暴的形成。两次暴雨过程具有明显的暖区对流性质,不稳定性、LLJ 急流轴位置在判断初始对流启动位置上占有更加重要的地位。针对这两次过程的预报检验表明,数值模式在反映暖区对流上存在明显缺陷,而预报员在建立精细化的中尺度天气概念模型指导下,主观预报能够在一定程度对数值预报做出订正,提高对暖区对流性降雨的预报能力。

**关键词:** 暴雨, 西南涡, 中尺度对流系统, 预报检验

**中图分类号:** P458

**文献标识码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.05.004

## Analysis and Forecast Verification of Two Southwest Vortex Torrential Rain Events in Sichuan Basin in Early Autumn of 2012

ZONG Zhiping CHEN Tao XU Jun GUAN Yue

Natrnal Meteorological Centre, Beijing 100081

**Abstract:** Using conventional observations and data from satellite and Doppler weather radar, etc., two extremely heavy rain events that happened in Sichuan Basin in the early autumn of 2012 are compared and analyzed regarding synoptical conditions, convective activities and forecast verification. The emphasis is put on the MCS activities and ambient conditions which induced the convective torrential rains in warm sector directly. The two rain events shared some features in common such as the strong and stable West Pacific subtropical high, the active plateau trough, and the genesis of southwest vortex in the low level in Sichuan Basin, but due to the different positions of the subtropical high ridge line and the different short-wave disturbing intensity of westerlies, remarkable differences of the moving speed of southwest vortex and rainfall locations were induced. The MCS in the first rain event was stable and moved relatively slowly, but during the second rain event a MCC emerged with highly intensive precipitation, moving fast. The analysis result shows that there was a deep moist layer in the first rain process which was very favorable for the heavy precipitation, but a notable dry layer in the mid-high level during the second rain event which

\* 中国气象局预报员专项(CMAYBY2013-083)和中国气象科学院灾害天气国家重点实验室开放课题“华南前汛期 MCS 组织结构与发展机制的数值模拟和诊断分析”共同资助

2013 年 1 月 6 日收稿; 2013 年 2 月 24 日收修定稿

第一作者:宗志平,主要从事短期天气预报、暴雨和降水相态研究工作. Email: zongzp@cma.gov.cn

created much stronger instability, good for the forming of severe convective storms. In a word, the two rainstorm processes have clear convections in warm sector and instability, and the position of Low Level Jet is more important for deciding the initiation of the convection. Finally, the forecast verification indicates that, the numerical model has obvious bias in presenting of convection in warm sector, but by the guidance of detailed mesoscale synoptical conceptual model, some correction can be made by subjective forecasting, improving the predictability of convection in the warm sector.

**Key words:** torrential rain, Southwest Vortex, MCS, forecast verification

## 引 言

西南地区暴雨往往与西南涡紧密联系。西南涡是在青藏高原及西南地区特殊地形和一定大气环流共同作用下,产生在对流层低层 700 或 850 hPa 的闭合气旋式环流系统(陶诗言等,1980;何光碧,2012)。西南涡是产生中国暴雨的主要影响天气系统之一,2004 年 9 月西南涡在四川盆地长期滞留,形成了盆地内持续性的暴雨天气(赵思雄等,2007;何光碧,2012);若西南涡向东移出后,能够在西南地区到长中下游地区造成范围较大的强降水,如 1998 年长江中下游大洪水(陈忠明等,2003)。西南地区地形复杂,从川西高原过渡到平原地带地形落差大,同时盆地北侧与陕西交界处横巨大巴山脉,而在华蓥山以东的川东岭谷由东北—西南走向的众多条状山体构成,由于地形复杂以及影响天气系统的复杂性,在这一地区主、客观预报一直都没有较好的预报技巧。

长期以来,对于西南涡的动力、热力结构以及与强降水关系的研究一直都是热点问题(顾清源等,2008;王中等,2008)。程麟生等(1988)认为高低空气旋性涡度中心在四川盆地上空的叠加或耦合式西南涡是在成熟阶段强烈发展的一种主要物理机制;陈忠明等(2004)研究了西南低涡非平衡流增长与暴雨之间的关系;康岚等(2008;2011)总结了若干次西南涡暴雨过程中的西南涡结构演变和水汽输送特征,并初步分析了过程中对流系统的发生发展特点。虽然已经有了以上诸多西南暴雨个例分析以及西南涡理论研究,但在实际预报工作中,对西南涡结构与中尺度对流系统(MCS)发生发展之间的关系还是缺乏认识,对数值预报的订正也缺乏依据,针对西南地区的暴雨预报经常出现偏差。

2012 年 9 月上旬,四川盆地接连出现两次较大

范围的西南涡强降雨过程。尽管连续两次暴雨的持续时间不长,造成的灾害也不是特别严重,但在业务预报中却都出现了一定的偏差。本文利用各类常规的地面和高空观测资料,并结合雷达、卫星资料,总结了两次暴雨过程的环流形势特点;重点分析了直接造成暴雨的 MCS 的活动特征及其对环流环境条件特征;有助于形成对于四川盆地西南涡暴雨具有预报指导意义的中尺度天气系统概念模型,提升在复杂地形中的四川盆地暴雨的预报技巧。

## 1 两次暴雨过程概况

第一次降水出现在从 2012 年 8 月 30 日到 9 月 1 日(图 1a~1c),四川盆地东部连续 3 天出现暴雨到大暴雨,局部地区日降水量超过 200 mm,小时雨强一般可到 20~30 mm,局部站点的小时雨强可达 50 mm 以上。从逐日降水量分布图 1a~1c 看,降水集中分布在陕西南部到四川盆地东部一带,整体呈现经向型带状分布。强降水过程在 30 日下午开始发展,30 日夜间雨势迅速增强,强降水在四川盆地东部大约持续了 48 h 的时间,9 月 2 日降水带迅速东移减弱。

第二次降水过程出现在 9 月 9—12 日(图 1d~1f),从 9 日开始降水从盆地西部开始发展,10 日凌晨起在四川盆地中东部降水迅速增强,图 1e 表明盆地中部射洪—遂宁一带 24 h 累积降雨量超过 200 mm,10 日早上个别站点最强小时雨量超过 100 mm,造成灾害影响较大。11—12 日降水带整体逐步东移南压,12 日后四川盆地降水基本结束。

从这两次降水过程的对比情况看,强降水基本都发生在四川盆地,降水量都达到暴雨、大暴雨量级;第一次过程降水范围集中,雨带稳定少动,过程降水量相对较大;第二次降水过程小时降水强度大,雨带移动性较强一些。

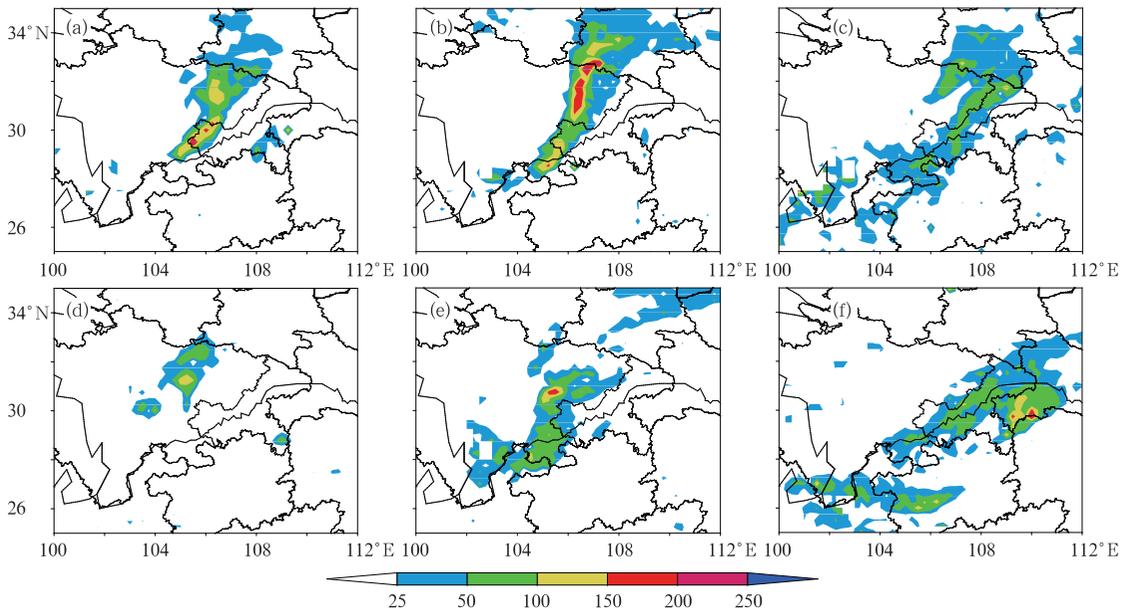


图 1 24 h 累积降水

(a) 8 月 30 日, (b) 8 月 31 日, (c) 9 月 1 日, (d) 9 月 9 日, (e) 9 月 10 日, (f) 9 月 11 日

Fig. 1 24 h accumulated precipitation

(a) 30 August, (b) 31 August, (c) 1 September, (d) 9 September, (e) 10 September, (f) 11 September

## 2 天气形势分析

常规探测资料难以分析与 MCS 发展密切相关低涡中心、低层中尺度切变线的准确位置, 鉴于缺乏适合的中尺度数值分析资料, 在此选择 NCEP FNL  $1^\circ \times 1^\circ$  数据为背景场分析资料。通过对 FNL 分析与实况探空相互比较检验, FNL 形势场尤其是风场、高度场分析相当准确, 能够在很大程度上提供分析所需要的细节。

从两次暴雨过程的天气尺度分析模型看(图 2), 两次过程具备一些相同的特点, 如西南涡都在四川盆地西部生成发展, 低涡的形成、维持都与活跃的高原短波槽相联系(赵玉春等, 2010), 副热带高压(以下简称副高)西脊点均越过  $110^\circ\text{E}$ , 势力强大并保持相对稳定, 而在副高边缘低层西南急流较强等, 从天气系统的配置上分析均有利于四川盆地一带的暴雨形成; 但进一步比较表明, 天气系统在配置关系、发展演变上也存在相当明显的差异, 具体表现在第一次降水过程中高空槽、西南涡移动都较为缓慢, 低涡前部  $\beta$  中尺度对流系统反复发展; 而第二次过程中高原槽以及低涡东移都相对较快, 在低涡前部形成了接近  $\alpha$  中尺

度、组织结构更高的中尺度对流复合体(MCC)。

从第一次暴雨过程中低层风场特征看(图 2a), 来自于中南半岛的西南气流、来自南海的东南气流在四川盆地东部一带汇聚; 另外从江汉平原有偏东气流进入四川盆地东部, 川西高原有弱冷空气进入四川盆地西部, 会同偏南暖湿气流交汇在四川盆地一地, 形成清楚的低涡切变。从 8 月 30 日夜间到 31 日, 低层低涡向东北方向缓慢移动, 总体位置相对稳定, 在低涡切变暖区一侧, 靠近 LLJ(低空急流)轴线的有限区域内, MCS 不断生成发展, 对流单体沿着几乎相同西南—东北路径鱼贯列过, 构成“列车效应”(俞小鼎等, 2006)从而形成了稳定的经向型强降水带。

同第一次过程类似, 图 2b 表明第二次过程期间副高稳定少动, 但副高脊线相对偏南; 短波槽移动相对较快, 随着短波槽东移靠近副高,  $700 \sim 850$  hPa 之间西南低空急流的加强较为显著, 除去为强降雨提供了充足水汽外, 急流造成的辐合、切变涡度等动力效应也有利于 MCS 发展。西南低涡最初在 9 月 9 日后半夜在四川盆地西部雅安—峨眉一带生成, 低涡前部有明显的偏南低空急流配合, 受高原槽前西南气流的引导, 低涡中心向东北方向移动, 10 日

08 时低涡中心在遂宁—射洪附近,低涡前部出现一个较强的 MCC,受 10 日后半夜从河西走廊进入四川盆地较强冷空气影响,低涡改向偏东南方向移动,12 日 08 时低涡中心位于湘西附近,四川盆地内的降水过程基本结束。形成西南低涡移动路径差异一个关键因素在于副高的位置。第一次过程中副高脊

线偏北,受副高阻挡,西南涡主要以缓慢向东北方向移动为主,而第二次过程中副高位置相对偏南,高空槽、西南涡在东移过程中的受到阻碍较少;再者第二次过程中高空槽经向度更大,对应低层冷空气也较为明显,低涡路径由在东北方向移动的过程中受到冷空气影响,又折向东南方向。

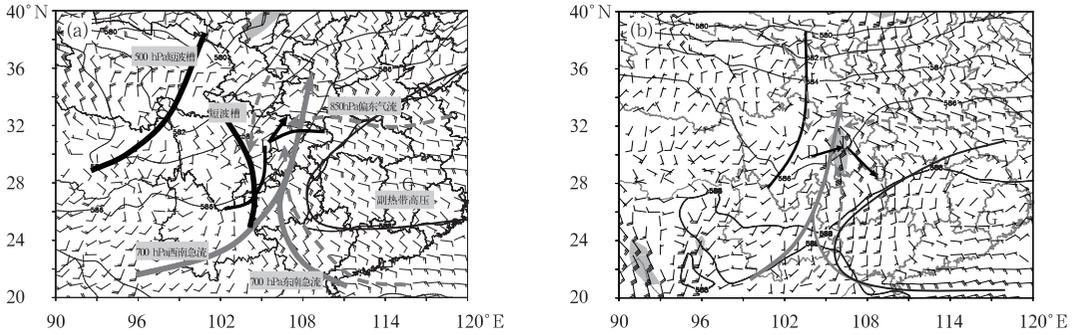


图 2 两次降水过程天气系统配置分析

(a) 8月31日至9月1日, (b) 9月10—12日

Fig. 2 The synoptical analysis on the two heavy rainfall events

(a) 31 August—1 September, (b) 10—12 September

### 3 MCS 活动特征

这两次西南涡暴雨过程中的 MCS 都较为活跃,组织化程度都较高,MCS 持续的时间都较长,因而都造成了较强的降水,但对比来看两次过程中的 MCS 发生发展方式、组织结构存在显著的区别。根据雷达回波特征对对流系统的分类研究已有诸多成熟结果,Bluestein 等(1985)将 MCS 线状对流的发展过程总结为 Broken Line (BL), Backing Buiding (BB), Broken Areal (BA) 及 Embedded Areal (EA) 4 种类型,而 Parker 等(2000)则主要根据线状对流的组织方式总结出 Trailing Stratiform (层云拖曳, TS)、Leading Stratiform (层云先导, LS,)、Parallel Stratiform (层云平行, PS) 3 种,并对各种对流组织出现的环境条件作出了细致的分析。按照以上的对流分类标准,对两次暴雨过程中的对流系统进行了分析。

表 1 总结了第一次降水过程 8 月 30 日至 9 月 1 日期间 3 次主要的 MCS 活动特征。30 日 23 时(图 3a)在四川盆地东部有若干孤立的 MCS 开始迅速发展增强,到 31 日 08 时(图 3b)孤立的 MCS

组织为一条完整的对流云带,无论从雷达回波上还是云图上 MCS 在发展方式上都表现为 BL 形式;从成熟期雷达回波图上看(图 4a),强回波单体镶嵌在狭长的回波带中,没有明显的层云伸展,从组织形态结构上大致属于 PS 结构。这条对流云带东移减弱,但紧接着从 31 日 20 时到 9 月 1 日 02 时,在盆地东南部靠近重庆市附近,又有一次较强的 MCS 活动过程,从雷达回波图上表现为一条 PS 型强回波带(图 4b);1 日 14—20 时,在几乎同一地方又出现了第三次 MCS 活动,2 日 02 时以后系统东移南压减弱,四川盆地降水过程基本结束。

表 2 总结了第二次降水过程期间四川盆地内的主要 MCS 活动情况。从川西高原东移的 MCS 在 10 日凌晨进入四川盆地,对流系统在东移过程中开始迅速增强,图 5a 表明到 10 日 08 时盆地东北部出现了一个准静止的 MCC (Maddox, 1980),该 MCC 稳定持续的时间较长,在盆地中部造成了强降水,小时降水强度达到 50~100 mm;图 5b 为对应成熟阶段 MCC 的雷达回波,主要层云回波拖曳在较强的线状对流带之后,但在结构上不太对称,拖曳层云回波偏向于对流系统的头部,在组织结构上可归属于非对称结构的 TS 型 MCS。10 日夜间 MCC 消散后,在其原

MCC 西南侧、四川盆地南部相继又有两个较强的 MCS 活动(图略),但未达到 MCC 的定义标准,这些

连续发展的 MCS 造成了 10 日夜间到 11 日的在四川盆地东部、南部一直到云南东北部一带的强降水。

表 1 2012 年 8 月 30 日至 9 月 2 日四川盆地 MCS 活动总结

Table 1 The synthetic depiction of MCS activities in Sichuan Basin during 30 August—2 September 2012

| MCS 活动时间             | 持续时间/h | 发展方式 | 成熟期组织结构 | MCS 活动地点   |
|----------------------|--------|------|---------|------------|
| 30 日 21 时至 31 日 11 时 | 17     | BL   | 带状对流,PS | 盆地东部       |
| 31 日 20 时至 1 日 08 时  | 11     | BL   | 带状对流,PS | 盆地东南部—重庆南部 |
| 1 日 15 时至 2 日 04 时   | 13     | BL   | 带状对流,PS | 盆地东南部—重庆南部 |

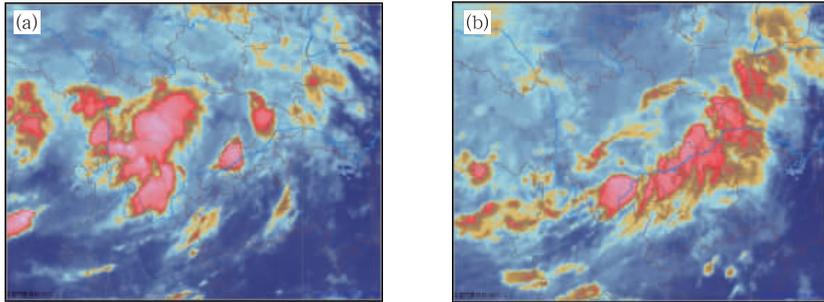


图 3 FY-2E 红外通道云图  
(a) 8 月 30 日 23 时, (b) 8 月 31 日 08 时

Fig. 3 The IR images from FY-2E

(a) 23:00 BT 30 August, (b) 08:00 BT 31 August

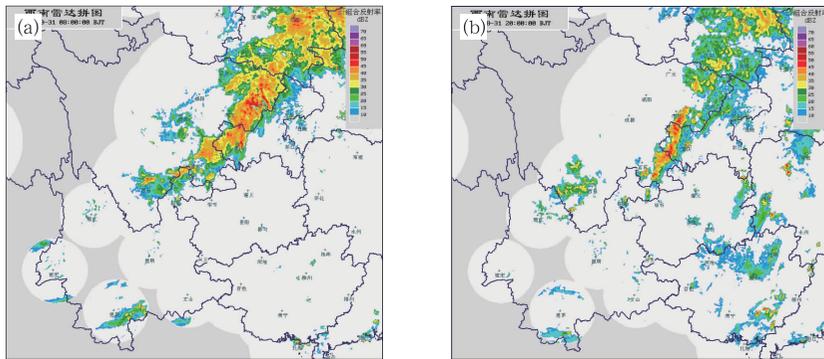


图 4 西南地区雷达反射率因子产品拼图  
(a) 8 月 31 日 08 时, (b) 8 月 31 日 20 时

Fig. 4 The mosaics of radar reflectivity factor

(a) 08:00 BT 31 August, (b) 20:00 BT 31 August

表 2 2012 年 9 月 10—11 日四川盆地 MCS 活动总结

Table 2 The synthetic depiction of MCS activities in Sichuan Basin during 10—11 September 2012

| MCS 活动时间             | 持续时间/h | 发展方式 | 成熟期组织结构 | 活动地点    |
|----------------------|--------|------|---------|---------|
| 10 日 02—18 时         | 16     | BB   | MCC, TS | 四川盆地中东部 |
| 10 日 17 时至 11 日 08 时 | 13     | BB   | TS,非对称  | 四川盆地东南部 |

#### 4 MCS 环境条件以及初始对流触发条件、发展机制

MCS 的组织结构和发展过程由环境场动力、热

力和水汽条件所决定。第一次过程发生前 8 月 30 日 20 时,达州站探空(图 6a)表明局地层结并不具有较强的 CAPE,同时整层都接近饱和;从探空风廓线分析,地面至 500 hPa 风向在暖平流控制下表现为明显的顺时针旋转,垂直切变在  $14.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,属

于中等强度的垂直切变。第二次降水过程发生前 9 月 9 日 20 时,达州探空(图 6b)700 hPa 及以下层次为显著湿层,但 500~300 hPa 有明显干层,上干下湿的条件造成了强烈的位势不稳定条件,CAPE 达到  $2700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  以上;垂直切变达到  $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,实际上随着高空槽的迅速逼近,与 10 日凌晨开始发展的 MCC 相关的环境垂直切变要较第一次过程强很多,10 日 08 时早上达州站地面至 500 hPa 的垂直切变接近  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,有利于组织程度较高的 MCC 出现(Rasmussen et al, 1988);另外一些比较重要的对流参数如抬升指数(LI)、能量螺旋度指数(EHI)等,第二次过程都明显高于第一次过程(见表

3),有利于组织程度更高、强度更大的 MCS 出现。

由图 7a 8 月 30 日 20 时 850 hPa 风场分析看,从河西走廊没有明显的冷空气南下,但从东路江汉平原以及川西高原高原上东西方向都有弱空气活动。随着 LLJ 的加强,850 hPa 上的相当位温  $\theta_e$  在盆地东部形成明显的高值舌,与对流有效能量 CAPE 高值区基本一致,CAPE 最大值在  $1400 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  左右。MCS 最早在切变线东南侧的暖区内激发,较为接近  $\theta_e$  以及 CAPE 高值区的顶端,在动力结构上更加接近 700~850 hPa 的 LLJ 急流轴。第二次暴雨过程中  $\theta_e$  和 CAPE 的分布特征与第一次过程十分类似(图略), $\theta_e$  与 CAPE 的高

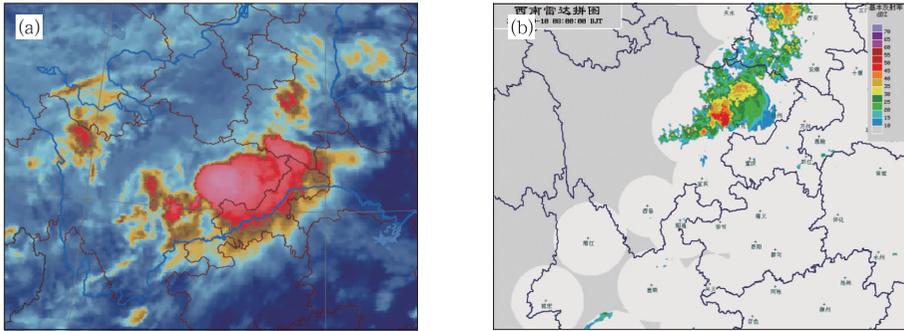


图 5 (a) 10 日 08 时 FY-2E 红外通道云图, (b) 西南地区雷达拼图

Fig. 5 (a) The IR images from FY-2E at 08:00 BT 10 September, (b) mosaics of radar reflectivity factor in southwest at the same time of (a)

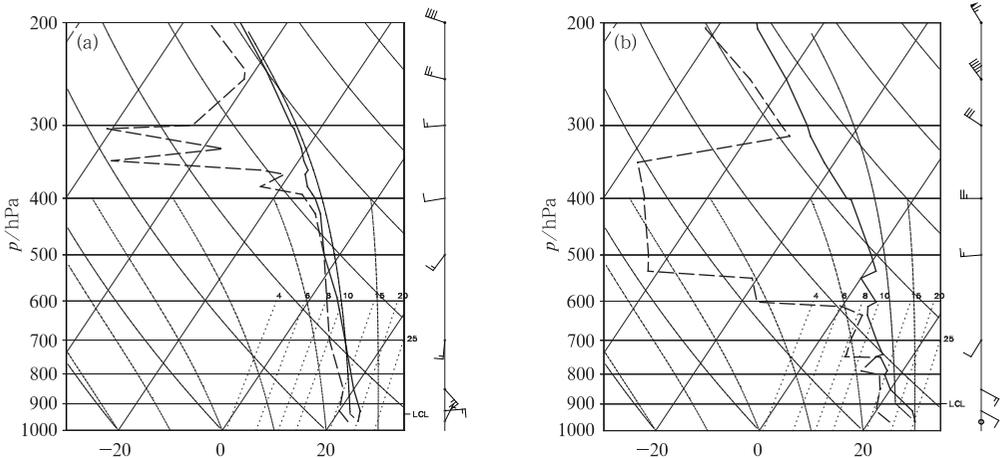


图 6 达州站探空

(a) 8 月 30 日 20 时, (b) 9 月 9 日 20 时

Fig. 6 The sounding plot of Dazhou

(a) 20:00 BT 30 August, (b) 20:00 BT 9 September

表 3 两次过程中达州站探空对流参数

Table 3 The sounding convective parameters from Dazhou site during the two rainfall events

| 时间            | CAPE/ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ | 地面至 500 hPa 垂直切变/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ | LI/ $^{\circ}\text{C}$ | LCL/hPa | K/ $^{\circ}\text{C}$ | CIN/ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ | EHI  |
|---------------|---------------------------------------|--|------------------------|---------|-----------------------|--------------------------------------|------|
| 8 月 31 日 20 时 | 268                                   | 14.8   | -1.76                  | 937     | 38                    | 75                                   | 0.16 |
| 9 月 9 日 20 时  | 2746                                  | 16   | -2.32                  | 898     | 34                    | 35                                   | 1.03 |

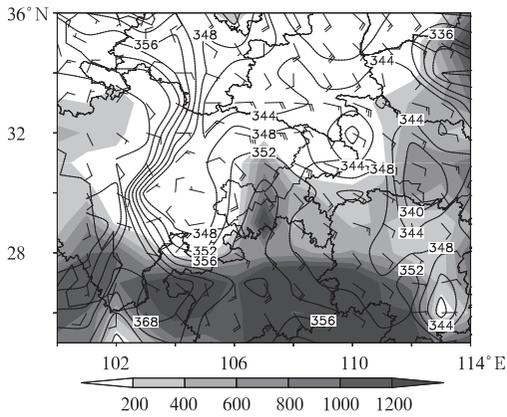


图 7 2012 年 8 月 30 日 20 时 850 hPa 风场和  $\theta_e$ (阴影区为 CAPE)

Fig. 7 Wind field and  $\theta_e$  at 850 hPa at 20:00 BT 30 August 2012 (shaded, CAPE)

值舌也位于盆地偏东的位置,总体来说 MCC 形成的位置也是更加靠近 CAPE 或者  $\theta_e$  高值的梯度区。

从图 8 中 8 月 30 日 20 时沿 31°N 的垂直剖面上,图中低涡中心靠近盆地西部地形陡峭处,从低涡中心东侧到川东岭谷地区,存在广阔的上升运动区以及位势不稳定区域,但上升运动中心显然更为靠近川东锋区以及 LLJ 急流轴,虽然最强垂直运动仅有 4~5 cm · s<sup>-1</sup>,但能够通过抬升进一步增加局地气层的不稳定性,有利于暖区对流的触发和快速发展。因此对于暖区对流而言,不稳定性、LLJ 急流轴位置在判断初始对流启动位置上应该有更加重要的地位。

暖区当中的对流触发条件往往难以寻找,从 8 月 30 日 20 时的地面自动站风场上看(图 9a),气旋式的环流中心位于盆地中西部,盆地东部有一些弱

中尺度辐合线,但地面上并没有明显的温度或湿度锋区相配合;值得注意的是 925 hPa 散度分析场上的辐合中心位于盆地东部川东岭谷一带,边界层的辐合可能与中尺度地形特征有密切关系。从地面到 925 hPa 的风场分布看,低压环流南侧的西南气流还是与川东岭谷地区的条状山脉有一定交角,中尺度地形抬升作用可能为对流触发起到了重要作用。相比于第一次过程,第二次过程中 10 日 08 时的进入到盆地的冷空气强了很多(图 9b),地面风场上中尺度切变线及其附近的干湿边界都相当清楚,结合川东地区中尺度地形的抬升,对于初始对流的触发起到关键作用。

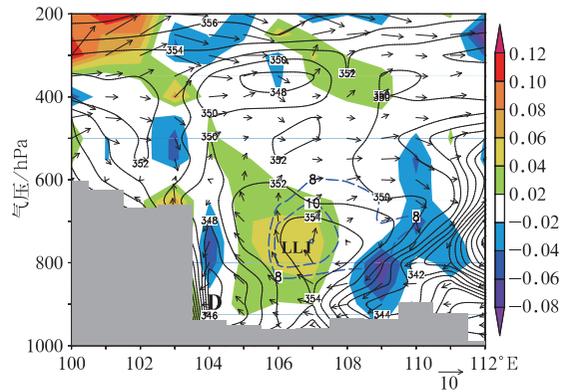


图 8 2012 年 8 月 30 日 20 时沿 31°N 垂直剖面(阴影区为垂直速度,单位: m · s<sup>-1</sup>;实线为  $\theta_e$ ;虚线为经向速度,单位: m · s<sup>-1</sup>)

Fig. 8 The vertical section cross 31°N at 20:00 BT 30 August 2012, vertical movement (shaded, unit: m · s<sup>-1</sup>),  $\theta_e$  (solid line), meridional velocity component (unit: m · s<sup>-1</sup>)

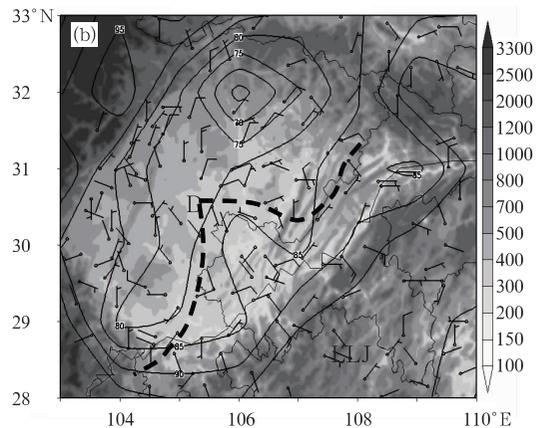
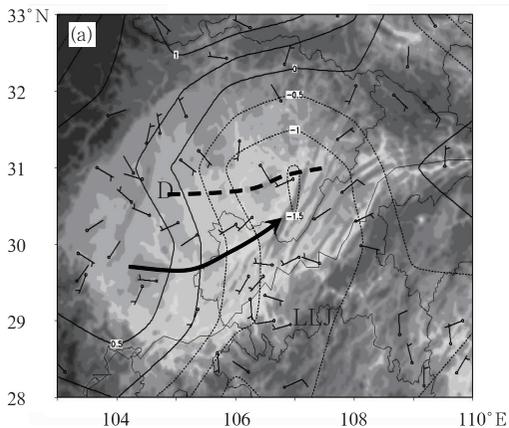


图 9 (a) 2012 年 8 月 30 日 20 时地面自动站风场和 925 hPa 散度分析场  
(b) 9 月 10 日 08 时地面自动站风场和相对湿度分析场  
(阴影区为地形高度)

Fig. 9 (a) The wind from auto-weather station at 20:00 BT 30 August, divergence analysis at 925 hPa, topographic height (shaded) (b) the wind from auto-weather station at 08:00 BT 10 September, and relative humidity analysis

## 5 数值预报与主观指导预报误差分析

从图 10 中 8 月 29 日 20 时起报的 ECMWF 欧洲中期天气预报中心的业务数值模式 T1279(以下简称 EC 模式)看,与实况探空相对比模式对于低涡环流、急流等天气系统的预报还是相对正确的,但实际上 30—31 日的强降水明显分布在暖区当中。EC 模式预报的暴雨落区与 850 hPa 风场切变线更为接近,但实际强降水更为靠近 850~700 hPa 的急流轴,四川盆地南部的强降水在模式预报中没有体现。31 日降水预报误差更为严重,模式预报强降水仍然位于 850 hPa 切变线附近,但实况强降水超前于切

变线很多。第二次过程情况类似,图 11 表明,10—11 日模式强降水取决于 EC 数值预报 850 hPa 切变线的位置,降水预报实况暴雨落区明显偏西偏北,而实况暴雨落区都分布在暖区当中。

与前文利用 FNL 资料以及对 MCS 所做的分析相对比可得出结论:模式预报强降水基本取决于低层 850 hPa 切变线,但实际上 MCS 发生发展的位置与位于切变线暖区的一侧的 LLJ 急流轴、最不稳定区联系更为紧密,因此 MCS 活动造成的实况降水要“超前”于模式降水;降水预报偏差明显与暖区对流的预报能力不足相关。

从对这两次过程的降水指导预报看(图 12~图 13),总体上主观降水预报都较实况降水偏西偏北,

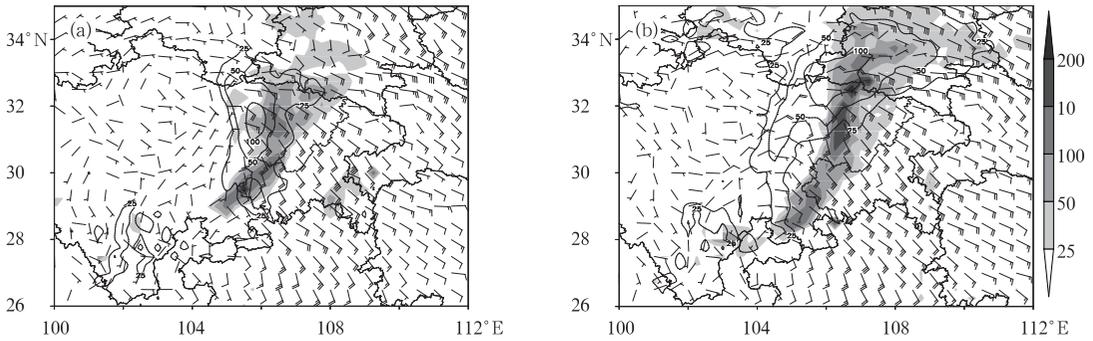


图 10 (a) 2012 年 8 月 30 日降水实况(阴影)、以及对应的 29 日 20 时起报的 ECMWF 业务模式降水预报(等值线)和 30 日 20 时 850 hPa 预报风场, (b) 31 日降水实况(阴影)、模式预报(等值线)和 31 日 20 时 850 hPa 风场

Fig. 10 (a) The observed rainfall on 30 August (shadow), and corresponding rainfall forecast (contour) from EMCWF operational model initialed at 20:00 BT 29 August and wind forecast on 850 hPa valid at 20:00 BT 30 August; (b) same as (a) but for the time of 31 August

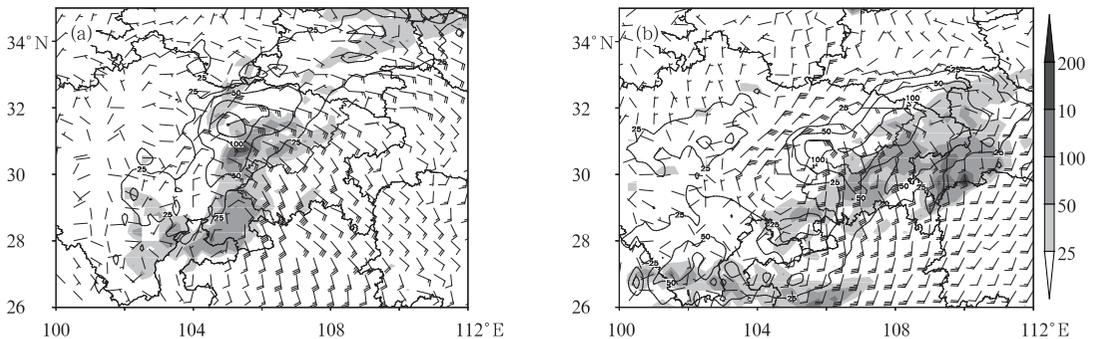


图 11 (a) 2012 年 9 月 10 日降水实况(阴影)以及对应的 9 日 20 时起报的 ECMWF 业务模式降水预报(等值线)和 10 日 20 时 850 hPa 风场, (b) 11 日降水实况(阴影)、模式预报(等值线)和 11 日 08 时 850 hPa 风场

Fig. 11 (a) The observed rainfall on 10 September (shadow), and corresponding rainfall forecast (contour) from EMCWF operational model initialed at 20:00 BT 9 September and wind forecast on 850 hPa valid at 20:00 BT 10 September; (b) same as (a) but for the time of 11 September

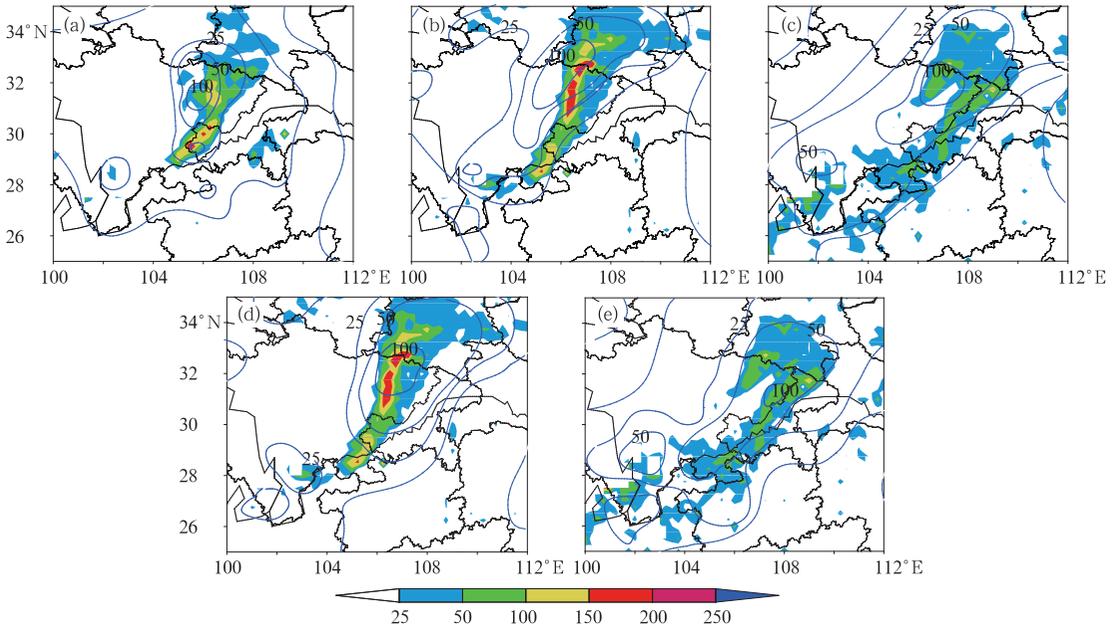


图 12 2012 年 8 月 30 日 08 时起报 24 h (a)、48 h (b) 和 72 h (c) 国家气象中心定量降水指导预报 (等值线) 与实况降水 (阴影), 8 月 31 日 08 时起报 24 h (d) 和 48 h (e) 预报及实况降水 (阴影)

Fig. 12 The 24 h (a), 48 h (b), 72 h (c) guidance forecast (contour) issued by National Meteorological Centre (NMC) initialized at 08:00 BT 30 August and the corresponding observed rainfall (shadow), and the 24 h (d), 48 h (e) guidance forecast (contour) issued by NMC initialized at 08:00 BT 31 August and the corresponding observed rainfall (shadow)

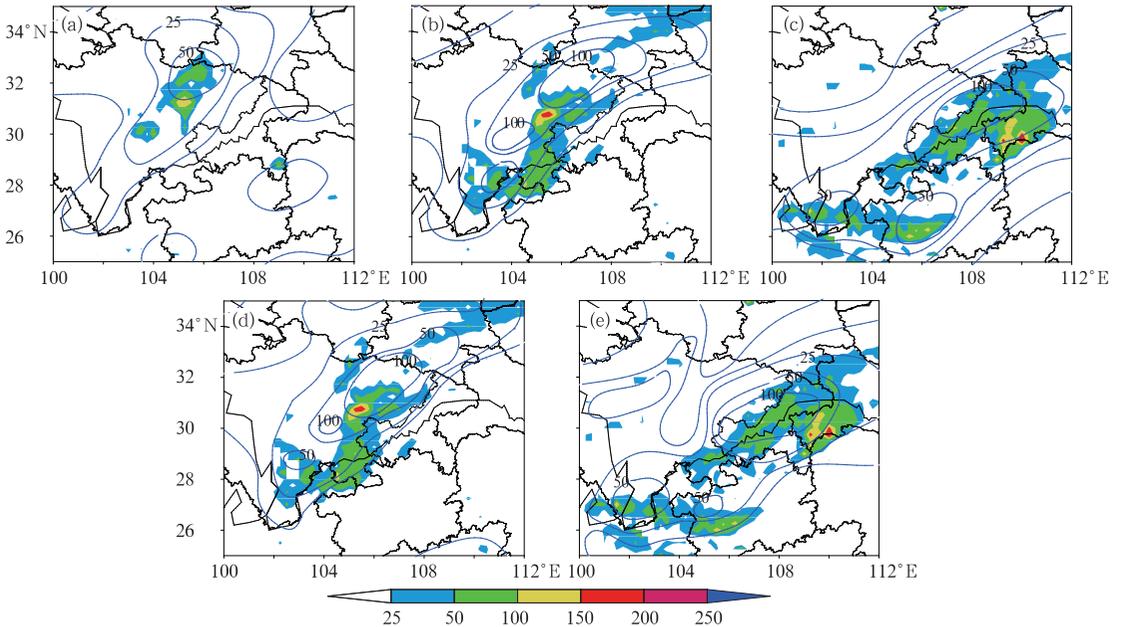


图 13 2012 年 9 月 9 日 08 时起报 24 h (a)、48 h (b) 和 72 h (c) 国家气象中心定量降水指导预报 (等值线) 与实况降水 (阴影), 10 日 08 时起报 24 h (d) 和 48 h (e) 预报及其降水实况

Fig. 13 The 24 h (a), 48 h (b), 72 h (c) guidance forecast (contour) issued by NMC initialized at 08:00 BT 9 September and the corresponding observed rainfall (shadow), and the 24 h (d), 48 h (e) guidance forecast (contour) issued by NMC initialized at 08:00 BT 10 September and the corresponding observed rainfall (shadow)

尤其是8月31日和9月10日的预报偏差尤为突出。值得注意的是,当意识到数值模式预报偏差后,预报员及时作出了调整,如对8月31日降水的24 h预报(图12d)要明显较48 h预报(图12b)准确率提高很多。整体来说,对于第一次降水过程的预报质量相对较高,对主要雨带的把握还是比较好的;第二次过程中由于在暖区中MCC发生发展,模式很难反映这种高度组织性的中尺度对流系统,预报难度显然更大。

综合各种模式预报表明,模式预报强降水位置主要取决于低层切变线,但实际上初始对流在切变线东南侧的暖区内启动,从动力上更加接近LLJ急流轴位置,从热力上更接近 $\theta_e$ 或者CAPE高值舌位置,这样造成实际强降水大部分都位于暖区当中,强降水落区位置也较模式偏东一些。由于模式未能正确描述暖区对流系统的发生发展,造成了降水预报的失败,这一特点在第二次降水过程中表现的尤为突出,实际上预报员在第二次降水过程的预报中已经注意到上述误差,在后期预报中尽量将预报有所向东调整。

从前文总结的概念模型可以得出,通过仔细分析天气形势和动力、热力条件,提高对于模式预报偏差的认识,还是能够在某种程度提高对西南地区降水的预报能力。

## 6 小 结

(1) 对比分析了四川盆地初秋两次西南涡强降水过程特点,第一次过程降水范围集中,雨带稳定少动,过程降水量相对较大;第二次降水过程雨带移动性较强一些,单点降水强度大。

(2) 两次暴雨过程中西南涡的形成和维持都与500 hPa活跃的高原短波槽密切联系,低涡前部LLJ较强;但由于副高位置、高空槽强度等天气系统差异,在第一次降水过程中高空槽、西南涡移动都较为缓慢,而第二次过程中低涡东移相对明显。

(3) 在两次暴雨过程中的MCS都较为活跃,系统持续的时间都较长。第一次降水过程中沿着相同路径移动的对流单体形成相对稳定、持续时间较长的强降水,第二次过程中出现了近 $\alpha$ 中尺度、组织结构更高的MCC,单点雨强更为突出,移动速度也相对较快。通过对对流环境场的分析表明,第一次过程湿层相对深厚,更有利于强降水,而第二次过程前

环境场具有明显的上干下湿特征,形成了较强的位势不稳定,并且具有更高垂直切变,有利于组织程度较高的对流系统发展。

(4) 两次暴雨过程均具有明显的暖区对流性质,分析表明暖区内的初始对流启动位置从动力上更加接近低空急流轴,从热力上更接近 $\theta_e$ 或者CAPE高值舌;对流的触发与边界层风场切变线、中尺度地形影响密切相关。通过主客观预报检验分析表明,对于暖区暴雨的预报能力十分有限。无论从诊断还是预报来讲,对于暖区暴雨而言,在判断暖区初始对流启动位置、暖区暴雨落区上等预报问题上,针对对流不稳定性、LLJ急流动力结构的细致分析在应该有更加重要的地位。

## 参 考 文 献

- 陈忠明, 闵文彬, 缪强, 等. 2004. 高原涡与西南涡耦合作用的个例诊断. 高原气象, 23(1): 76-80.
- 陈忠明, 徐茂良, 闵文彬, 等. 2003. 1998年夏季西南低涡活动与长江上游暴雨. 高原气象, 22(2): 162-167.
- 程麟生, 郭英华. 1988. "81·7"四川暴雨期西南涡生成和发展的涡源诊断. 大气科学, 12(1): 18-25.
- 顾清源, 周春花, 青泉, 等. 2008. 一次西南低涡特大暴雨过程的中尺度特征分析. 气象, 34(4): 39-47.
- 何光碧. 2012. 西南低涡研究综述. 气象, 38(2): 155-163.
- 康岚, 冯汉中, 屠妮妮, 等. 2008. 一次川渝大暴雨的中尺度分析. 气象, 34(10): 40-49.
- 康岚, 郝丽萍, 牛俊丽. 2011. 引发暴雨的西南低涡特征分析. 高原气象, 30(6): 1435-1443.
- 陶诗言, 等. 1980. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 139-140.
- 王中, 白莹莹, 杜钦, 等. 2008. 一次无地面冷空气触发的西南涡特大暴雨分析. 气象, 34(12): 63-71.
- 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 2006. 多普勒天气雷达原理与业务应用. 北京: 气象出版社, 173.
- 赵思雄, 傅慎明. 2007. 2004年9月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析. 大气科学, 31(6): 1059-1075.
- 赵玉春, 王叶红. 2010. 高原涡诱生西南涡特大暴雨成因的个例研究. 高原气象, 29(4): 819-831.
- Bluestein H B, Jain M H. 1985. Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during spring. J Atmos Sci, 42(16): 1711-1732.
- Maddox R A. 1980. Mesoscale convective complexes. Bull Amer Meteor Soc, 61: 1374-1387.
- Parker M D, Richard H J. 2000. Organizational modes of midlatitude mesoscale convective systems. Mon Wea Rev, 128(10): 3413-3436.
- Rasmussen E N, Blanchard D O. 1998. A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. Wea Forecasting, 13(4): 1148-1164.