

杜小玲. 2012 年贵州暴雨的中尺度环境场分析及短期预报着眼点. 气象, 39(7): 861-873.

# 2012 年贵州暴雨的中尺度环境场分析及短期预报着眼点<sup>\* 1</sup>

杜小玲<sup>1,2</sup>

1 贵州省气象台, 贵阳 550002

2 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵阳 550002

**提 要:** 利用 NCEP 每日 4 次  $1^\circ \times 1^\circ$  格点分析资料、FY-2E 逐时 TBB 资料、MICAPS 格式高空、地面观测及贵州省区域自动站降水资料对 2012 年发生在贵州的 15 个暴雨日进行分类。分类的原则是从地面冷空气影响的角度来把握, 文章归纳出 2012 年出现的三类主要的暴雨过程: 辐合线锋生型暴雨、辐合线锋生+冷锋型暴雨、梅雨锋西段暴雨。利用 MICAPS 3 强天气分析工具对三类暴雨的典型个例开展了中尺度环境场分析, 并基于“配料”的思路分析了三类暴雨的水汽条件、稳定度条件及触发抬升条件。最后根据不同环境场提出了各类暴雨过程的预报着眼点, 为今后的暴雨预报提供借鉴和参考。

**关键词:** 暴雨, 中尺度环境场分析, 配料, 预报着眼点

**中图分类号:** P458

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.07.007

## Mesoscale Ambient Field Analysis of Torrential Rains and the Forecast Key Points in Guizhou in 2012

DU Xiaoling<sup>1,2</sup>

1 Guizhou Meteorological Observatory, Guiyang 550002

2 Guizhou Key Lab of Mountainous Climate and Resources, Guiyang 550002

**Abstract:** Based on NCEP reanalysis data, FY-2E black body temperature TBB data, MICAPS types data, and the automatic station data in Guizhou, 15 torrential rains are classified into three types mainly. They are the convergence line frontogenesis type, the convergence line frontogenesis and cold air type, and the western Meiyu front type. Mesoscale ambient field analysis is used in each type of torrential rains to hold main influence systems. At the same time, the ingredients-based forecasting methodology is used to analyze the water vapor and stability conditions as well as the uplift conditions in the extremely heavy rains. By means of analysis, we find the key points in different types of heavy rains. Those points are useful reference for the forecasting of heavy rains in Guizhou in future.

**Key words:** torrential rain, mesoscale ambient field analysis, ingredients based forecasting methodology, forecast key point

## 引 言

自 20 世纪 50 年代 Fujita(1955;1956)提出了

中尺度分析的概念后, Miller(1972) 和 Crisp(1979) 在总结大量个例的基础上建立了中尺度强天气的天气型识别方法, 即利用高空和地面观测资料分析中尺度对流系统发生发展的环境场条件。通过对大量

\* 国家自然科学基金项目(40965004 和 40930951)、中国气象局南方暴雨团队项目和贵州“两高”沿线特色农业气候精细化区划与气象灾害防控(黔科合重大专项字[2011]6003 号)共同资助

2013 年 1 月 17 日收稿; 2013 年 5 月 24 日收修定稿

作者: 杜小玲, 主要从事短期天气预报及冻雨、暴雨的研究. Email: dxl\_jingjing@163.com

个例开展中尺度分析,可以归纳出不同天气如暴雨、雷暴冰雹、暴雪等强天气的典型流型配置(或称为分型)。如 Maddox 等(1979)利用总结的 150 个致洪强降水个例归纳了三类典型强对流降水的流型配置。我国的中尺度天气分析和发展则始于 20 世纪 60 年代,国家气象中心已于 2009 年开展了强对流天气的主观分析业务试验和中尺度对流天气的天气图分析技术(张小玲等,2010;2012),国家气象中心正在试行的中尺度天气的天气图分析方法已经成为强对流天气潜势预报的重要依据(张小玲等,2010;2012)。近年来,在暴雨、强对流等预报中越来越重视对中尺度天气的分析(漆梁波等,2009;毛冬艳等,2005;许爱华等,2011)。除此之外,俞小鼎(2011)介绍了 1996 年由 Dosswell 等人提出的“基于结成要素的预报方法—配料法”,该方法自提出后就受到了天气预报界的认同和广泛的应用,这种方法是一种基于物理常识的方法,可以给预报员提供一个清晰的预报思路。表明天气型识别和中尺度过程在暴雨、冰雹、雷暴大风等各类强天气中伴有越来越重要的角色,同时抓住预报时效内的“配料”实现预报有效时段内强天气的定性和定量分析,使中尺度分析成为强天气分析的重要方法。

基于上述思路,本文借助 2012 年发生在贵州的

15 个暴雨日资料,从地面冷空气影响的角度进行分类,通过中尺度环境场分析寻找不同类型暴雨的主要影响系统和触发条件,并基于“配料”的思路分析了暴雨的水汽条件、稳定度条件及触发抬升条件,希望针对各类暴雨过程提供预报着眼点和思路。

## 1 资料及过程选取

本文所用资料有 2012 年 5—9 月贵州省逐日降水资料、NCEP 每日 4 次  $1^\circ \times 1^\circ$  格点分析资料、FY-2E 逐时 TBB 资料以及 MICAPS 格式高空、地面观测和贵州省区域自动站降水资料。

暴雨过程选取标准为:在 2012 年 5—9 月贵州省 85 个气象站 24 h 降水资料,规定每日有 5 个测站以上(含 5 站)出现暴雨(含大暴雨以上降水)作为一个暴雨日。降水时界:08 时至次日 08 时(北京时间,下同)。按照这个标准,2012 年出现了 15 个暴雨日,如表 1。

## 2 几种暴雨类型的定义

分析 2012 年的 15 个暴雨日,可以看出暴雨过程的主要影响系统尽管存在差异,但与 500 hPa 是

表 1 2012 年贵州省主要的暴雨过程  
Table 1 Main torrential rains in Guizhou in 2012

时间	暴雨站次	大暴雨站次	5—9 月主要暴雨过程( $\geq 5$ 站次)	
			主要影响系统	地面类型
5 月 9 日	5	0	南支槽前副高外围强盛的暖湿气流、高原槽、低空急流、地面辐合线	辐合线锋生型暴雨
5 月 10 日	7	0	南支槽前副高外围强盛的暖湿气流、高原槽、低空急流、地面辐合线	辐合线锋生型暴雨
5 月 12 日	4	2	高原槽、低层切变线、地面热低压、地面辐合线、地面冷锋	辐合线锋生+冷锋型暴雨
5 月 19 日	6	0	南支槽前暖湿气流、高原槽、中低层偏南气流、地面辐合线	辐合线锋生型暴雨
5 月 21 日	5	0	中低层偏南暖湿气流、地面偏南气流	无辐合线暖区暴雨
5 月 22 日	14	1	短波槽、中低层切变、低层北风急流、地面辐合线、冷锋	辐合线锋生+冷锋型暴雨
6 月 26 日	7	2	高原槽、低涡切变、低空急流、准静止锋(梅雨锋)	梅雨锋西段暴雨
6 月 27 日	4	2	高原槽、低涡切变、低空急流、准静止锋(梅雨锋)	梅雨锋西段暴雨
7 月 12 日	11	0	高原槽、低涡切变、低空急流、地面辐合线	辐合线锋生型暴雨
7 月 13 日	12	3	高原槽、低涡切变、低空急流、地面辐合线	辐合线锋生型暴雨
7 月 16 日	9	2	高原槽、低涡切变、低空急流、准静止锋(梅雨锋)	梅雨锋西段暴雨
7 月 17 日	14	3	高原槽、低涡切变、低空急流、准静止锋(梅雨锋)	梅雨锋西段暴雨
7 月 24 日	4	1	台风倒槽北侧偏东气流、冷锋	冷锋+台风槽暴雨
8 月 21 日	7	1	高空槽、低涡切变、地面辐合线、冷锋	辐合线锋生+冷锋型暴雨
9 月 12 日	9	1	高空槽、低涡切变、地面辐合线、冷锋	辐合线锋生+冷锋型暴雨

备注:5 月 9 日降水量是指:5 月 8 日 08 时至 9 日 08 时降水量。

否有高原槽(或南支槽或西风带低槽)、700和850 hPa是否存在低涡切变、低空急流、地面是否有冷空气影响有关。

由于每一场暴雨的高低空系统配置不同,文中侧重于从边界层的辐合触发角度来研究暴雨的发生,因而地面有无冷空气成为本文判断暴雨类型的关键。在这个思路下,将表中的暴雨过程分为:辐合线锋生型暴雨、辐合线锋生+冷锋型暴雨、梅雨锋西段暴雨、无辐合线暖区暴雨及冷锋+台风倒槽暴雨。文中对这五类暴雨过程定义如下:

(1) 辐合线锋生型暴雨:贵州未受南下冷锋影响,在暴雨发生前的白天贵州受热低压、偏南气流或均压场控制,地面上省内有辐合线出现或者辐合线位于川南—重庆南部—贵州北部边缘之间,这种由地面辐合线锋生激发的暴雨,称为辐合线锋生型暴雨。

(2) 辐合线锋生+冷锋型暴雨:指秦岭以南地区或从两湖有冷锋南下影响贵州,同时贵州省内白天有地面辐合线存在或者辐合线位于川南—重庆南部—贵州北部边缘之间。这种先由地面辐合线锋生、后有冷锋并入产生的暴雨,称为辐合线锋生+冷锋暴雨。

(3) 梅雨锋西段暴雨:是静止锋暴雨的特殊形式。指在梅雨期梅雨锋西段影响贵州,由于低涡或切变的影响而在梅雨锋西段触发的暴雨。

(4) 无辐合线暖区暴雨:地面及中低层无冷空气影响,暴雨出现在高温高湿不稳定区。

(5) 冷锋+台风倒槽暴雨:台风在华南沿海或东南沿海登陆后,在西行过程中由台风倒槽和地面

冷空气共同作用造成的暴雨。

### 3 三类主要暴雨天气的中尺度环境场分析及预报着眼点

按照上述划分原则,这15个暴雨日以辐合线锋生型暴雨居多,有5 d;辐合线锋生+冷锋型暴雨和梅雨锋西段暴雨次之,各有4 d;无辐合线暖区暴雨和冷锋+台风倒槽暴雨各1 d。由于暖区暴雨和冷锋+台风倒槽暴雨各自仅有1次个例,不具代表性,因而文中主要对辐合线锋生型暴雨、辐合线锋生+冷锋型暴雨以及梅雨锋西段暴雨的典型个例开展中尺度分析,并提出预报着眼点。

#### 3.1 辐合线锋生型暴雨的中尺度分析及预报着眼点——以2012年7月12—13日暴雨过程为例

##### 3.1.1 实况

2012年7月12日08时至13日08时贵州西部至东北部出现暴雨过程,有3个乡镇出现200 mm以上强降水、3个县市50个乡镇出现100~199.9 mm以上降水、12个县市293个乡镇出现50~99.9 mm(见图1a)。最大降水是安顺市关岭县谷目乡313.5 mm,逐时雨量如图1b。强降水由多个云团产生,在12日19—20时、23时至13日01时两个时段之间出现 $60\sim 80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的雨强,降水具有短时强降水的特征。

##### 3.1.2 形势及影响系统分析

这类暴雨过程2012年出现在5—7月,其主要

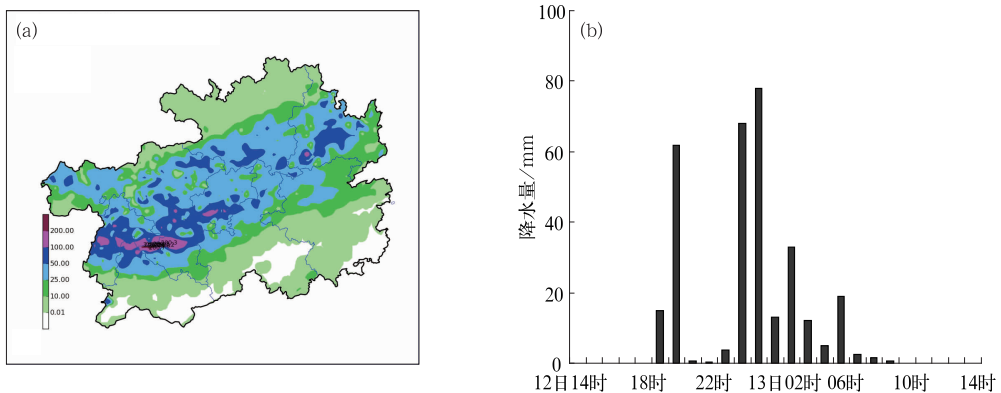


图1 2012年7月12日08时至13日08时降水分布(a)和安顺市关岭县谷目乡逐时雨量演变(b)

Fig. 1 Distribution of precipitation from 08:00 BT 12 to 08:00 BT 13 July 2012 (a), hourly changes of precipitation in Gumu Town, Guanling County, Anshun City (b)

特点是亚洲中高纬度呈纬向环流,西风带多移动性低槽东移,西风带锋区位于  $40^{\circ}\text{N}$  以北,冷空气南下势力偏弱。中低纬度气流较平直,高原上有短波槽东移或高原南侧有南支槽活动。中低层以偏南气流影响为主,暖平流显著。地面上西南地区多受热低压控制,基本无冷空气影响。暴雨发生前的当天贵州往往有中尺度辐合线存在。

此次过程是在盛夏季节地面无冷锋影响贵州的背景下,由川南低涡东南移与地面辐合线相互作用共同引发的强降水过程。利用 7 月 12 日 20 时的实况观测资料开展中尺度环境场分析显示(图 2),7 月 12 日 20 时,在对流层上空 200 hPa 高度贵州处于西风带急流轴右后侧的分流区;500 hPa 上副高 588 dagpm 线位于华南沿海,副高脊线位于  $22^{\circ}\sim 23^{\circ}\text{N}$ 、西伸点达到  $110^{\circ}\text{E}$ ,588 dagpm 线与  $120^{\circ}\text{E}$  的交点在  $25^{\circ}\text{N}$  附近。高原上有短波槽东移至  $105^{\circ}\text{E}$  附近,贵州上空是一支  $10\sim 16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的偏西气流;700 hPa 贵州受  $8\sim 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的西南气流控制,川东—重庆西南部有一西南低涡,云贵川三省之间(西昌—威宁—昆明—丽江)有 308 dagpm 的西南低涡,两涡之间为切变;850 hPa 贵州受  $6\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的西南风控制,长江以南地区西南风较 11 日增强,从南

宁—怀化—武汉一线存在一支低空急流,最大风速在怀化,怀化的风速已从 08 时  $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  减弱为 20 时的  $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。贵州正好处于急流核西侧  $35\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$  正涡度处。地面上,贵州受中心值为 1000 hPa 的热低压控制,无冷锋影响。14 时开始贵州中部以北地区出现了中尺度辐合线,且有对流云团沿辐合线上生成。20 时辐合线位于贵州中部一线,且沿辐合线上在贵州西部及东北部有中小尺度的涡旋发展;至 13 日 08 时辐合线移至贵州南部减弱,强降水过程结束。图 2 中各层流场的风向风速还显示,500 hPa 以下贵州处于暖平流区,且垂直风切变小,表明暴雨发生初期贵州上空的斜压性弱。

此过程中 700 hPa 在云贵川三省(西昌—威宁—昆明—丽江)之间的西南低涡沿切变线东移对贵州西部地区产生强降水有重要影响。过程发生前贵州的低空已经处于假相当位温大于  $80^{\circ}\text{C}$  以上的高能高湿不稳定层结中(图略)。当 700 hPa 四川盆地有  $6\sim 8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上的偏北风时,表明低涡的北侧有冷平流侵入。在冷平流的作用下,低涡一旦进入急流左侧贵州低层的正涡度区,垂直涡度的耦合将激发地面辐合的增长,促使地面辐合线锋生。其相互作用将强迫中低层气流辐合的增长持续,从而

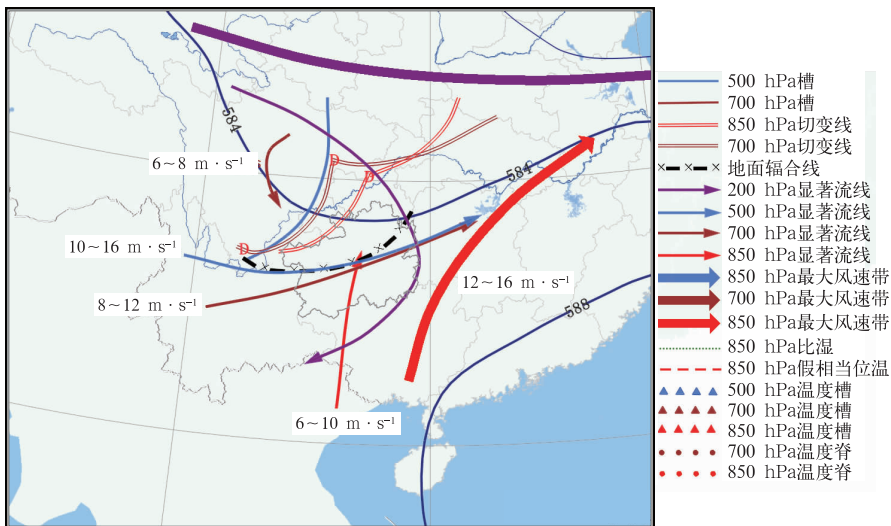


图 2 2012 年 7 月 12 日 20 时中尺度环境场分析

Fig. 2 Mesoscale environment field analysis at 20:00 BT 12 July 2012

激发暴雨天气。

### 3.1.3 M $\beta$ CS 对贵州西部强降水的影响

这种由低涡切变东移南压触发地面辐合线锋生的暴雨过程,往往与准中尺度对流复合体(mesoscale convective complex, MCC)或  $\beta$  中尺度对流系统

(meso- $\beta$  scale convective system, M $\beta$ CS)的发生发展密切相关。图 3 利用红外云顶亮温 TBB 逐时资料分析显示,M $\beta$ CS 对此次暴雨天气有直接的影响。7 月 12 日 14—15 时贵州西部毕节市东部—六盘水市之间有对流云团生成并逐步增强南压,20 时开始

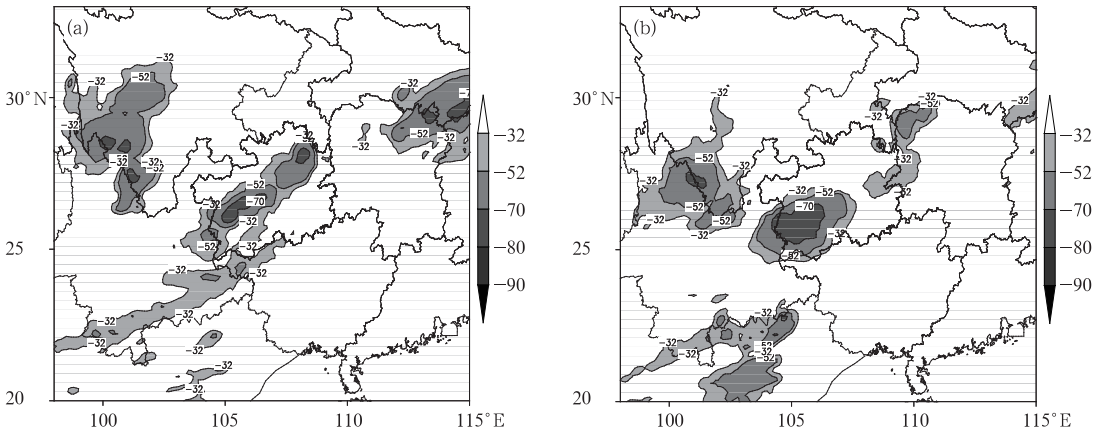


图 3 2012 年 7 月 12 日 20 时(a)、13 日 01 时(b)TBB 变化

Fig. 3 Variation of TBB at 20:00 BT 12 July (a) and 01:00 BT 13 July (b) 2012

TBB 中心降低至  $-70^{\circ}\text{C}$  以下(图 3a),之后贵州西部对流云团不断扩大,形成近东西向的椭圆形的  $\beta$  中尺度的 MCS。之后  $-70^{\circ}\text{C}$  以下的 TBB 不断扩大,强降水雨强特征显著。尤其是 12 日 23 时至 13 日 02 时之间(图 3b),贵州西部形成较典型的  $\beta$  中尺度的对流云团,在对应区域雨强达到  $60\sim 80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。这种强降水特征直至 13 日 03 时才减弱。分析表明  $M\beta\text{CS}$  是 7 月 12—13 日贵州西部大暴雨的直接影响系统。

### 3.1.4 强降水的“配料”分析

考虑到贵州的暴雨具有短时强降水的特点,大多属于对流性降水。按照强降水“配料”的思路,要求在暴雨发生前,降水区上空需要有充沛的水汽、处于不稳定层结中以及需要触发抬升条件。

过程发生前,贵州处于偏南气流控制下,850 hPa 假相当位温  $80^{\circ}\text{C}$  线控制了贵州(图略), $84^{\circ}\text{C}$  线从西向东形成一个东北—西南向的高能舌区。地面辐合线正好处于高能舌上;对流有效位能(CAPE)在暴雨发生前达到最大值(图 4a),贵州西部和东北部均处于  $1800\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  的高能区中。在水汽方面,暴雨发生的当日贵州上空 850 hPa 的比湿超过了  $14\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,700 hPa 的比湿达到  $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  以上。在暴雨发生前贵州西部地区水汽辐合迅速增长,并在暴雨发生期间维持强的水汽辐合中心(图 4b)。

降水区在暴雨发生前已经具备了充沛的水汽,并处于不稳定层结中,是否能够激发强降水的发生,触发抬升机制是非常重要的条件。此次过程由于地面缺少冷锋的配合,因而地面中尺度辐合线是否锋生是此次过程的关键。分析显示(图 4c),12 日下午沿着地面中尺度辐合线上自西向东分别出现了  $8\times$

$10^{-10}$ 、 $4\times 10^{-10}$  和  $6\times 10^{-10}\text{ K}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的三个正的锋生中心。在同时刻的 TBB 图上(图略),西侧的两个正的锋生中心附近出现了 TBB 为  $-52\sim -32^{\circ}\text{C}$  的对流云团。在接下来的 3 h 内,这些对流云团在辐合线附近迅速发展, $-52^{\circ}\text{C}$  与  $-32^{\circ}\text{C}$  的范围扩大,云团之间合并增长,强度增强,到 18 时 TBB 中心达到  $-70^{\circ}\text{C}$  以下。在大范围暴雨发生初期(12 日 20 时)和强盛期(13 日 02 时),地面辐合线附近继续维持  $2\times 10^{-10}\sim 4\times 10^{-10}\text{ K}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的正的锋生中心。表明强降水发生前,地面中尺度辐合线开始锋生、对流云团生成。在暴雨维持期间,辐合线附近始终维持正的锋生中心。锋生最强时刻发生在暴雨发生前的 12 日下午,锋生时间与 TBB 达到  $-52\sim -32^{\circ}\text{C}$  的对流云团的时间吻合。地面辐合线锋生强迫暖湿气团抬升,在辐合线附近形成上升运动区(图 4d)。在暴雨发生初期和强盛期,辐合上升区不断增强发展。

“配料”分析表明,这类无冷锋配合的强降水过程,在具备了水汽、不稳定配料后,地面中尺度辐合线锋生是重要的触发抬升机制。中尺度辐合线造成了初始的上升运动, $\beta$  中尺度对流系统在地面辐合线附近的暖湿不稳定区中生长,低空急流对水汽和热量的输送是对流能够持续生长的最重要因素。

### 3.1.5 预报着眼点

这类由低涡东移触发地面辐合线锋生的暴雨过程,其预报着眼点在于:(a) 根据实况资料的中尺度环境场分析,确定当日主要的影响系统是中层低涡切变和地面中尺度辐合线;(b) 基于“配料”的思路,从水汽、稳定度、触发条件三个方面寻找有利于强降水的配料要素。此次过程水汽配料:850 hPa 比湿

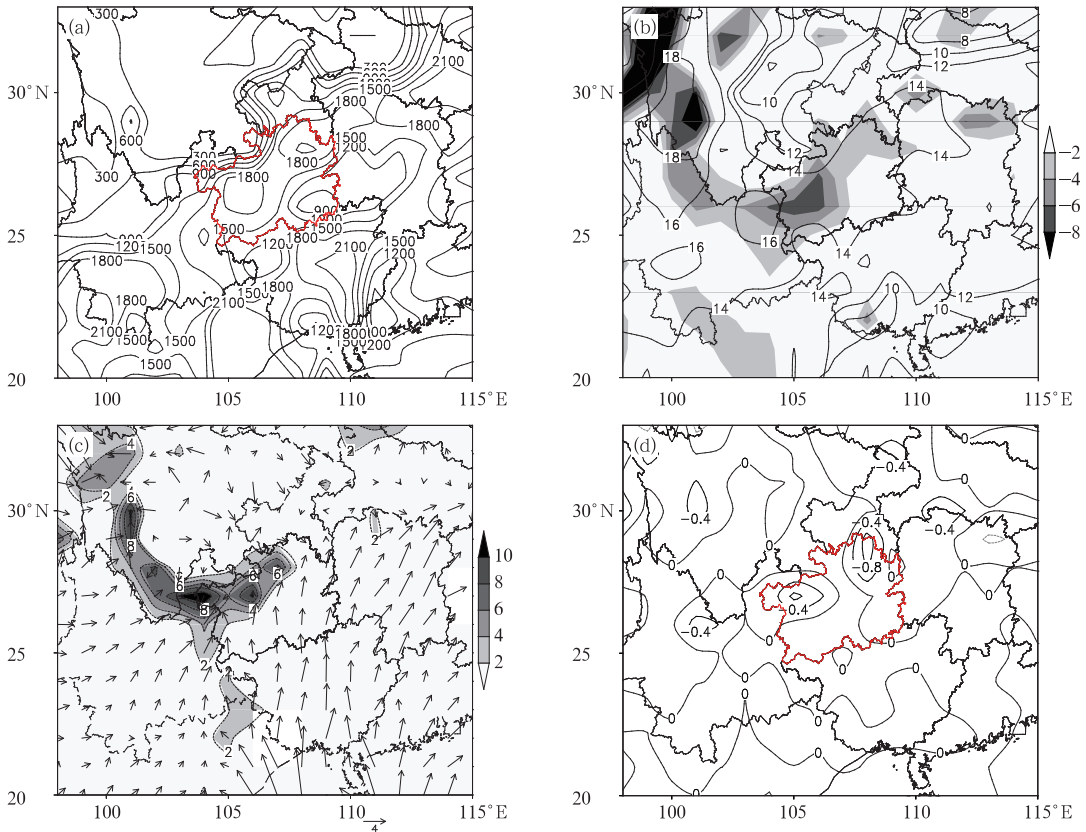


图 4 2012 年 7 月 12 日 (a) 14 时对流有效能  $CAPE$  (单位:  $J \cdot kg^{-1}$ )、(b) 20 时 850 hPa 比湿 (单位:  $g \cdot kg^{-1}$ ) 和水汽通量散度 (阴影区, 单位:  $10^{-10} g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$ )、(c) 14 时 10 m 风矢量及边界层锋生函数 (阴影区, 单位:  $10^{-10} K \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ )、(d) 20 时 500 hPa 垂直速度 (单位:  $Pa \cdot s^{-1}$ )

Fig. 4 (a)  $CAPE$  at 14:00 BT 12 July (unit:  $J \cdot kg^{-1}$ ), (b) 850 hPa specific humidity (unit:  $g \cdot kg^{-1}$ ) and moist flux divergence (shaded, unit:  $10^{-10} g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$ ) at 20:00 BT 12 July, (c) 10 m wind vector and frontogenesis function (shaded, unit:  $10^{-10} K \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ) at 14:00 BT 12 July, (d) 500 hPa vertical speed (unit:  $Pa \cdot s^{-1}$ ) at 20:00 BT 12 July 2012

$\geq 14 g \cdot kg^{-1}$ 、700 hPa 比湿  $\geq 10 g \cdot kg^{-1}$ 、850 hPa 水汽通量散度  $\leq -4 \times 10^{-10} g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$ ；稳定度配料：850 hPa 假相当位温  $\geq 80^{\circ}C$ 、 $CAPE$  值  $\geq 1200 J \cdot kg^{-1}$ ；触发抬升配料：地面中尺度辐合线锋生，锋生中心  $\geq 2 \times 10^{-10} K \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ 、500 hPa 垂直速度  $\leq -0.4 Pa \cdot s^{-1}$ ；(c) 此类过程地面缺少冷锋影响，因而重点关注地面中尺度辐合线的变化。中尺度辐合线造成了初始的上升运动，M $\beta$ CS 在地面辐合线附近的暖湿不稳定区中生长，低空急流对水汽和热量的输送是对流能够持续的最重要因素。

### 3.2 辐合线锋生+冷锋型暴雨的中尺度分析及预报着眼点——以 2012 年 5 月 21—22 日暴雨过程为例

#### 3.2.1 实况

2012 年 5 月 21 日 08 时至 22 日 08 时贵州中西

部出现暴雨过程，有 2 个乡镇降水量大于 200 mm，2 个县市与 69 个乡镇降水量大于 100 mm，15 个县市与 304 个乡镇降水量大于 50 mm (见图 5a)。最大降水出现在织金县桂果乡，24 h 降水达 212.3 mm，从桂果乡逐小时降水显示 (图 5b)，强降水主要集中在 22 日 00—03 时之间，最大雨强在 22 日 01—02 时达到  $78 mm \cdot h^{-1}$ 。

#### 3.2.2 影响系统及中尺度分析

这类暴雨过程 2012 年出现在 5—9 月，其主要特点是亚洲中高纬度西风带多移动性低槽东移，西风带锋区较前一类偏南，可达  $40^{\circ}N$  以南。中低纬度气流较平直，高原上有短波槽东移或高原南侧有南支槽活动。中低层多低涡切变系统影响贵州。地面上贵州多受热低压或偏南气流控制，暴雨发生前的当天贵州往往有中尺度辐合线存在，后有冷空气南下影响。

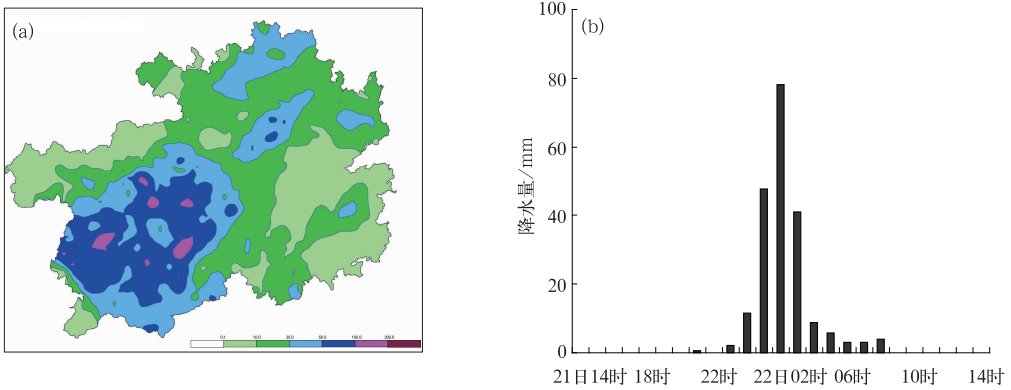


图 5 2012 年 5 月 21 日 08 时至 22 日 08 时降水分布(a),织金县桂果乡逐时雨量演变(b)  
 Fig. 5 Distribution of precipitation from 08:00 BT 21 to 08:00 BT 22 May 2012 (a), hourly precipitation in Guiguoguo Town, Zhijin County (b)

此次暴雨过程是在亚洲中高纬度呈两脊一槽型下产生的。低槽位于 40°N 以北蒙古国中部,孟湾及南海一带受副高控制,高原到贵州多西风气流并不断分裂短波槽东移,引导小股冷空气以西北气流形式入侵影响贵州。中低层位于云贵川三省之间的气旋性切变东移,激发地面辐合线锋生,之后有冷空气补充,并与低层较强的东南暖湿气流共同作用,触发 MCC 的发生发展,造成贵州中西部暴雨以上强降水天气。

5 月 21 日 20 时的中尺度环境场分析显示(图 6),21 日 20 时 500 hPa 贵州以 6~14 m·s<sup>-1</sup> 的偏西气流为主且有小波动;700 hPa 贵州上空是一支 6~8 m·s<sup>-1</sup> 的西南风,云贵川三省之间(西昌—威宁—昆明)存在暖性气旋性切变;850 hPa 从南海

北部经广西到贵州盛行一支 6~10 m·s<sup>-1</sup> 的东南暖湿气流,使得贵州低层的比湿达到 15 g·kg<sup>-1</sup>,贵州受温度脊控制。850 hPa 的假相当位温分布显示贵州大部分地区的  $\theta_{se}$  大于 72℃,尤其是中部以南地区高达 76~84℃的高能高湿区;表明在暴雨发生前贵州中西部地区处于高能高湿不稳定区中,一旦有边界层的辐合,易产生对流性天气发生。另外,低层川东的低涡稳定少动,低涡西侧温江的东北风加强到 22 m·s<sup>-1</sup>。四川盆地上空的这支低空北风急流在继续向南压的过程中受到云贵高原北侧地形的阻挡,产生辐合抬升。这种辐合作用既促进地面中尺度辐合线的发展,又利于云贵川三省间的气旋性切变的发展。地面上 08 时贵州处于高压后部偏南气流控制下,川黔之间存在一条中尺度辐合线,

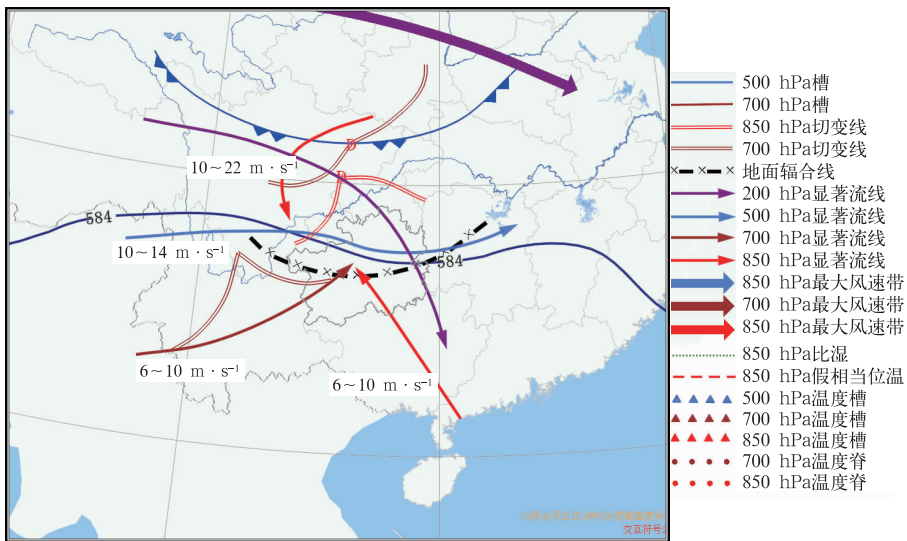


图 6 2012 年 5 月 21 日 20 时中尺度环境场分析  
 Fig. 6 Mesoscale ambient field analysis at 20:00 BT 12 May 2012

而在西北地区东部有一条东移南下的冷锋。受冷锋继续东移南下影响,地面辐合线逐步进入贵州。20 时冷锋越过秦岭,进入盆地。地面辐合线向南移至贵州省的中部一线,呈东西走向,此时贵州中西部地区已经出现雷雨天气。研究表明,地面低压和中尺度辐合线先于暴雨形成,是局地暴雨发生的可能机制。

### 3.2.3 MCC 对贵州西部强降水的影响

MCC 是此次暴雨过程的直接影响系统(图 7)。21 日下午 14 时开始贵州西北部出现 TBB 为  $-32^{\circ}\text{C}$  的对流云团,随后迅速发展加强为  $M\beta CS$ 。17 时 TBB 中心降至  $-70^{\circ}\text{C}$ ,且结构紧密、边缘整齐,贵州西北部开始出现降水,之后云团继续向西南压,贵州中西部降水开始。19 时开始云团发展近似

圆形,21 时 TBB 中心继续降至  $-80^{\circ}\text{C}$  以下,22 时形成 MCC。之后 MCC 不断扩大,到 22 日凌晨 05 时 TBB 为  $-32^{\circ}\text{C}$  的区域覆盖了贵州大部分地区,且  $-80^{\circ}\text{C}$  的冷中心一直维持在贵州西南部地区。06 时开始,云团的边界开始变得松散, $-32^{\circ}\text{C}$  区发生变形,同时  $-80^{\circ}\text{C}$  的冷中心范围开始缩小。08 时  $-80^{\circ}\text{C}$  冷中心消失, $-70^{\circ}\text{C}$  冷中心明显减小,对流云团的 TBB 强度减弱。到 22 日上午 10 时, $-52^{\circ}\text{C}$  的区域基本移出贵州,覆盖贵州上空的云团迅速减弱,结构变得松散。至此,影响贵州的强降水明显减弱。

由此可见,导致贵州中西部地区的对流云团在 21 日下午 14 时前后就发展为  $M\beta CS$ ,在持续发展 5 h 后约于 22 时发展为 MCC。MCC 持续 7 h,并稳定在贵州中西部地区,造成贵州中西部地区的强降水。

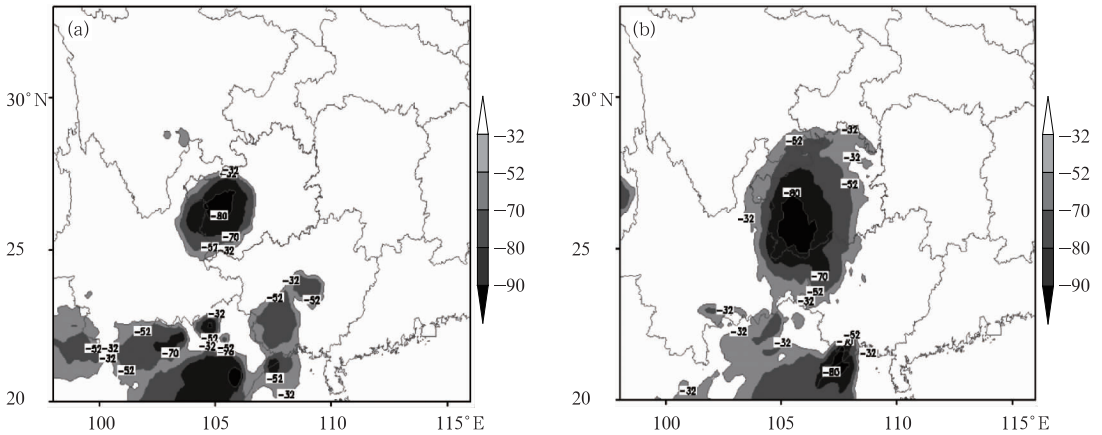


图 7 2012 年 5 月 21 日 23 时(a)、22 日 05 时(b)TBB 变化(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 7 Variation of TBB (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) at 23:00 BT 21 May (a) and 05:00 BT 22 May (b) 2012

### 3.2.4 强降水的“配料”分析

基于“配料”的思路,此次过程仍从水汽配料、稳定度配料和触发抬升机制三个方面进行分析。

水汽条件上,暴雨天气发生前,贵州低层受东南气流影响,低层水汽集中在贵州中西部,使得该地区的比湿达到  $12\sim 16\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间(图 8a)。同时受西南气流的影响,两股气流在贵州中西部地区形成水汽的辐合(图 8a 阴影区)。在暴雨初期和强盛期贵州中西部的的水汽辐合维持在  $-10\times 10^{-10}\sim 8\times 10^{-10}\text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

稳定度配料上,除了  $850\text{ hPa}$  的假相当位温在贵州西南部地区处于  $76\sim 84^{\circ}\text{C}$  的高能高湿区外(图略),暴雨发生前至暴雨初期,贵州西部地区存在  $CAPE$  为  $900\sim 2000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  的高值区(图 8b)。暴雨减弱时,假相当位温和  $CAPE$  均迅速降低。表明

不稳定能量的积累先于暴雨。

抬升机制配料方面,此次过程地面辐合线锋生触发了对流云团生成,锋生过程先于地面冷锋进入贵州。当冷锋进入贵州,不但使锋生过程加强,还迫使中西部的辐合上升运动加强。考虑到强降水主要集中在  $25^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 107^{\circ}\text{E}$  范围内,这里计算了暴雨区假相当位温及锋生函数的高度-时间剖面(见图 8c)。分析显示,冷锋进入贵州前后,锋生强度存在差异。冷锋进入贵州前,锋前暖区边界层锋生,正的锋生中心处于边界层的暖湿不稳定,使得由  $M\beta CS$  所产生的降水具有暖区对流性降水的特征。在 20 时后至凌晨 02 时之间,当冷空气开始影响贵州,正的锋生迅速加强并扩展到  $700\text{ hPa}$  高度附近(图 8c),并在 02 时前后开始形成  $8\times 10^{-10}\text{ K}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的正的锋生中心。表明在冷空气补充后,大气



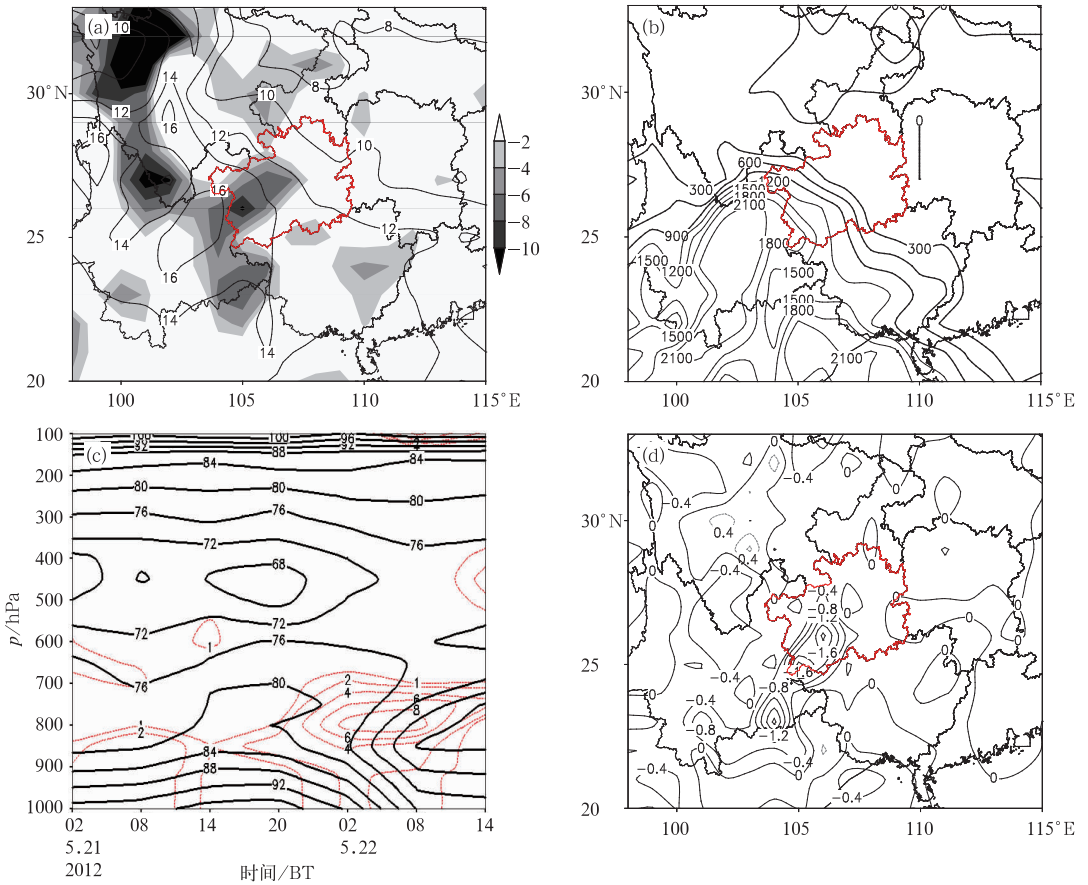


图 8 2012 年 5 月 21 日 20 时(a) 850 hPa 比湿(等值线,单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )与水汽通量散度(阴影区,单位: $10^{-10} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), (b)CAPE(单位: $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), (c)经过暴雨区的假相当位温(实线,单位: $^{\circ}\text{C}$ )和锋生函数(虚线,单位: $10^{-10} \text{K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )的高度-时间剖面, (d)22 日 02 时 500 hPa 垂直速度(单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 8 (a) 850 hPa specific humidity (unit:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) and moist flux divergence (shaded, unit:  $10^{-10} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) at 20:00 BT 12 May, (b) CAPE at 14:00 BT 12 May (unit:  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), (c) height-time section of pseudo-equivalent potential temperature (solid line, unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) and frontogenesis function (dashed line, unit:  $10^{-10} \text{K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) in heavy rain field, (d) 500 hPa vertical speed (unit:  $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) at 02:00 BT 22 May 2012

的斜压性增强,冷空气的并入促使暖湿气团强迫抬升加强,造成强的辐合上升运动(图 8d)。

分析显示,本次过程暴雨发生前至发生初期,水汽条件和不稳定能量已经满足暴雨的启动条件。由于冷空气的补充,地面辐合线锋生加强。而地面辐合线锋生先于暴雨的发生,与中尺度对流云团的生成时间吻合,使得暴雨初期降水具有暖区降水的特征。当地面冷空气补充到贵州后,地面辐合线锋生明显加强,促使中尺度对流云团发展为 MCC。

### 3.2.5 预报着眼点

此次过程的预报着眼点在于:(1) 利用中尺度环境场分析显示这类过程的主要影响系统是中低层的低涡切变、地面中尺度辐合线和南下的冷锋;(2)

利用“配料”的思路显示 21 日上午 08 时,贵州中西部处于高能高湿不稳定区;(3) 地面中尺度辐合线和北方南下冷锋是重点关注的触发系统。(4) 当 700 hPa 西昌—昆明—威宁之间有气旋性辐合,同时甘肃东南部—盆地有较明显的冷平流时,气旋性辐合可加强为低涡东移,该低涡东移对贵州西部地区的强降水产生显著影响。

## 3.3 梅雨锋西段暴雨——以 2012 年 6 月 25—26 日暴雨过程为例

### 3.3.1 实况

2012 年 6 月 25—26 日贵州中东部地区普遍出现中到大雨,局部暴雨—大暴雨。25 日 20 时至 26

日 20 时,有 6 个乡镇降水量大于 200 mm,2 县市 43 个乡镇降水量为 100~199.9 mm、9 县市 167 个乡镇降水量为 50~99.9 mm(图 9a)。最大降水出现在贵州东北部松桃县牛郎镇 260 mm。牛郎镇逐时雨量显示,降水不仅具有短时强降水特点,还具有持续性降水特征(图 9b)。

### 3.3.2 影响系统与中尺度分析

此次暴雨过程是在亚洲中高纬度呈双阻型环流,地面有准静止锋的背景下产生的。每年 6 月中旬至 7 月中旬之间,随着大气环流的调整,我国长江中下游维持一条稳定持久的雨带,这个时期称为梅雨季节(陶诗言等,1980)。长江中下游大多数年份在这个期间进入梅雨,贵州因处于梅雨锋西段而产生的暴雨称为梅雨锋西段暴雨。梅雨锋是一条天气

尺度的准静止锋,因而梅雨锋西段暴雨是静止锋暴雨在特定时期的一类特殊形势。研究指出(张小玲等,2004;李鲲鹏等,2005),此类暴雨主要发生在梅雨锋西端的长江上游地区,其特点是对流层低层有中尺度低涡(或西南涡),中高层有北支槽入侵并与之耦合,“北槽南涡”构成了这类暴雨的典型环流形势。25 日亚洲中高纬度为双阻型环流,两高分别位于西伯利亚和雅库茨克附近,贝加尔湖及蒙古国是一个中心值为 556 dagpm 以下的低压。在低压槽后冷平流的带动下,从新疆至高原有不断东移的小槽,引导地面弱冷空气东移。副高偏弱偏南,588 dagpm 线位于海上。但中低层从贵州北部至长江中下游存在东西向的切变线,与之对应的地面上是一条天气尺度的准静止锋,贵州处于静止锋的西段(图 10)。

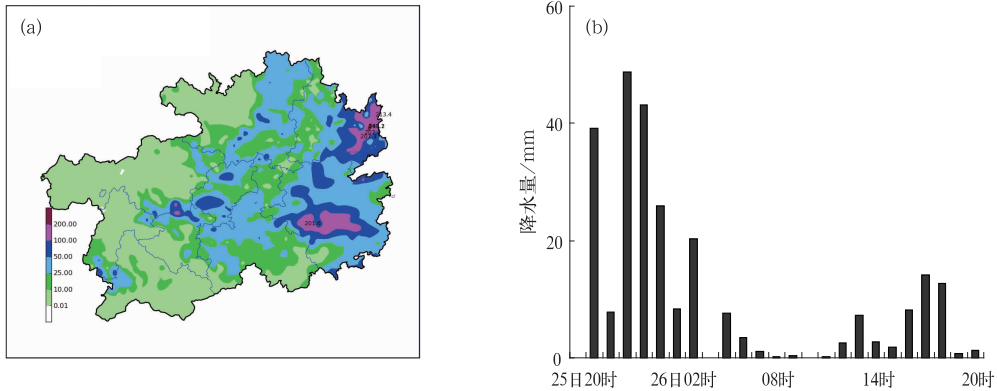


图 9 2012 年 6 月 25 日 20 时至 26 日 20 时降水分布(a)、松桃县牛郎镇 25 日 20 时至 26 日 20 时逐时降水(b)

Fig. 9 Distribution of precipitation from 20:00 BT 25 to 20:00 BT 26 June 2012 (a), hourly precipitation in Niulang Town, Songtao County (b)

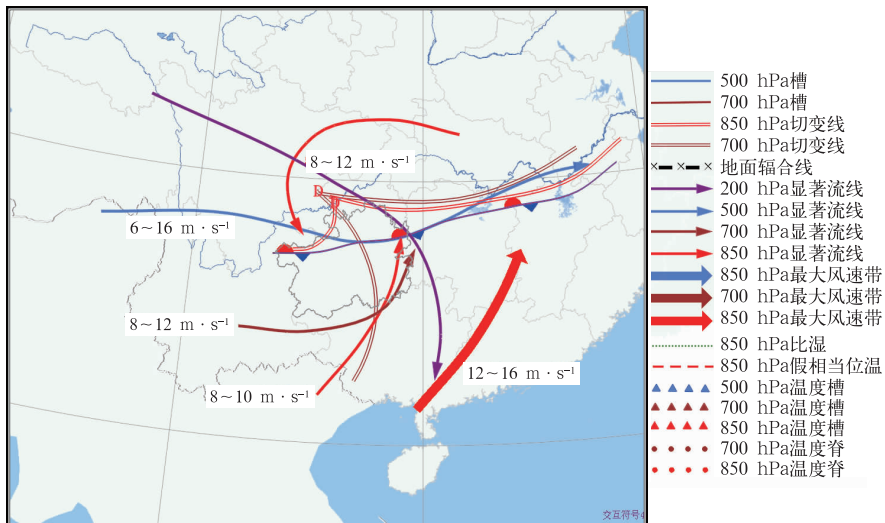


图 10 2012 年 6 月 25 日 20 时中尺度环境场分析

Fig. 10 Mesoscale ambient field analysis at 20:00 BT 25 June 2012

在低层,川东—重庆—贵州处于 138~140 dagpm 之间的低涡中,低涡中心位于重庆南部和贵州北部之间,低涡的上空 200 hPa 附近是高空急流出口区。分析表明该低涡沿切变线东移是贵州东北部产生暴雨以上强降水的重要原因。

### 3.3.3 川黔渝间的低涡沿切变线东移是贵州东北部产生暴雨的主要影响系统

梅雨带是出现在梅雨锋上的,雨带内的降水并不均匀,在雨带内常有一个个暴雨雨团。当西南低涡沿着切变线东移时,大多会产生梅雨锋上的暴雨过程。25 日上午川黔渝之间有西南低涡。这类低涡通常的移动路径是经贵州北部进入长江中下游地区,呈偏东路径。此低涡在云图上表现为中尺度暴

雨云团。云团主体在 25 日中午进入重庆南部。傍晚 18 时 30 分云团主体前部、贵州东北部地区有新生单体生成,该单体迅速扩大,20 时与云团主体合并,在湘黔渝之间发展壮大,使暴雨云团表现出向前传播的特征。从此时开始,贵州东北部地区出现强降水。从松桃牛郎镇 20—21 时逐时雨量达到 39.1 mm 反映出短时强降水的特征。在 TBB 上,该云团的 TBB 值达到  $-52^{\circ}\text{C}$ 。从 25 日 20 时至 26 日 03 时之间  $-52^{\circ}\text{C}$  云区覆盖在贵州东北部,使得贵州东北部在此期间维持持续的强降水。通过云团的演变可见,低涡暴雨云团自 25 日 20 时合并加强后,云团呈现向东南方向移动的路径,主体向湖南中北部地区移动(图 11a 和 11b)。03 时  $-52^{\circ}\text{C}$  云区移出

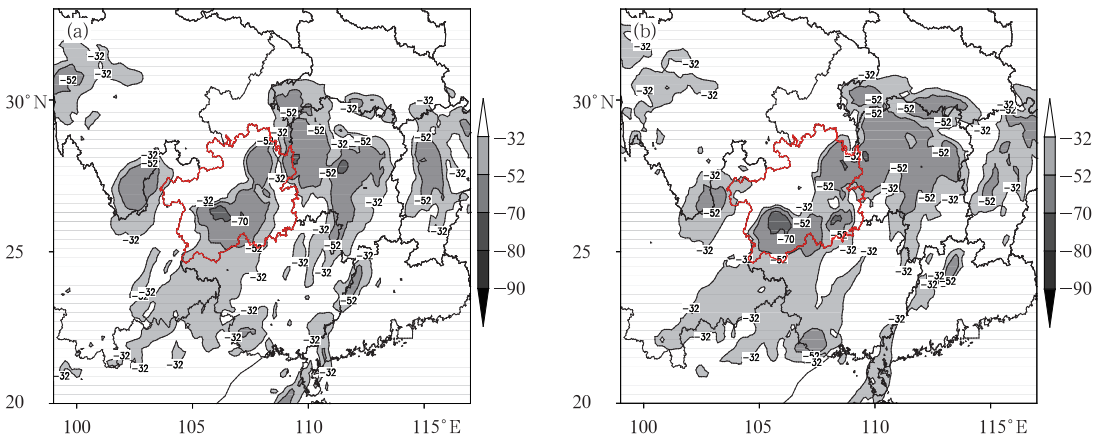


图 11 2012 年 6 月 26 日(a)00 和(b)05 时 TBB 演变

Fig. 11 Variation of TBB at 00:00 BT (a) and 05:00 BT(b) 26 June 2012

贵州松桃等地,贵州东北部强降水减弱。

### 3.3.4 梅雨锋西段暴雨的配料分析

张小玲等(2004)和李鲲鹏等(2005)研究水汽条件认为,此类暴雨的水汽条件是非常充沛的。通过计算贵州东北部暴雨区上空的比湿和相对湿度的变化可以看出(图 12a),25 日暴雨区上空的比湿已经满足暴雨的条件,即 850 hPa 比湿  $\geq 14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、700 hPa 比湿  $\geq 12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。同时暴雨区上空的湿空气越来越厚,从地面到 400 hPa 高度空气的相对湿度都在 80% 以上。低空水汽辐合不断增加,从暴雨发生前到暴雨强盛期,低空维持  $-10 \times 10^{-10} \sim -8 \times 10^{-10} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  的水汽辐合中心(图略)。

稳定度条件:华南低空急流的建立和加强,为暴雨区上空提供了这种深厚的暖湿空气柱。由于地面梅雨锋维持,锋区两侧的温度差很小,但假相当位温的梯度却很清楚(陶诗言等,1980)。图 12b 为 25 日

20 时沿暴雨区上空南北向的假相当位温的高度剖面,暴雨区处于能量锋区上,暴雨区南侧 700 hPa 以下有不稳定层结,暴雨区上空 400 hPa 有相当厚的中性稳定区。显然,暴雨区下层为不稳定层,中层为深厚的中性稳定层(陶诗言等,1980)。

抬升触发条件:低空急流左侧正涡度区有利于暴雨的形成。梅雨锋上的暴雨出现常伴有低空急流的增强,从 24 日 20 时至 25 日 20 时之间,这支低空急流从华南沿海向西向北推进,使得 25 日 20 时贵州东南部的西南风增加至  $10 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同时急流轴北侧强烈的气旋式切变和正涡度加强使暴雨区和其下方之间出现强的水平辐合,使水汽、能量、动量向暴雨区集中。而低空急流左侧的正涡度中心随着急流的加强而西推北抬,在暴雨区上方形成一条东北—西南向的狭长的正涡度带(图 12c)。贵州东北部的暴雨区上空从 25 日 08 时起就形成了深厚

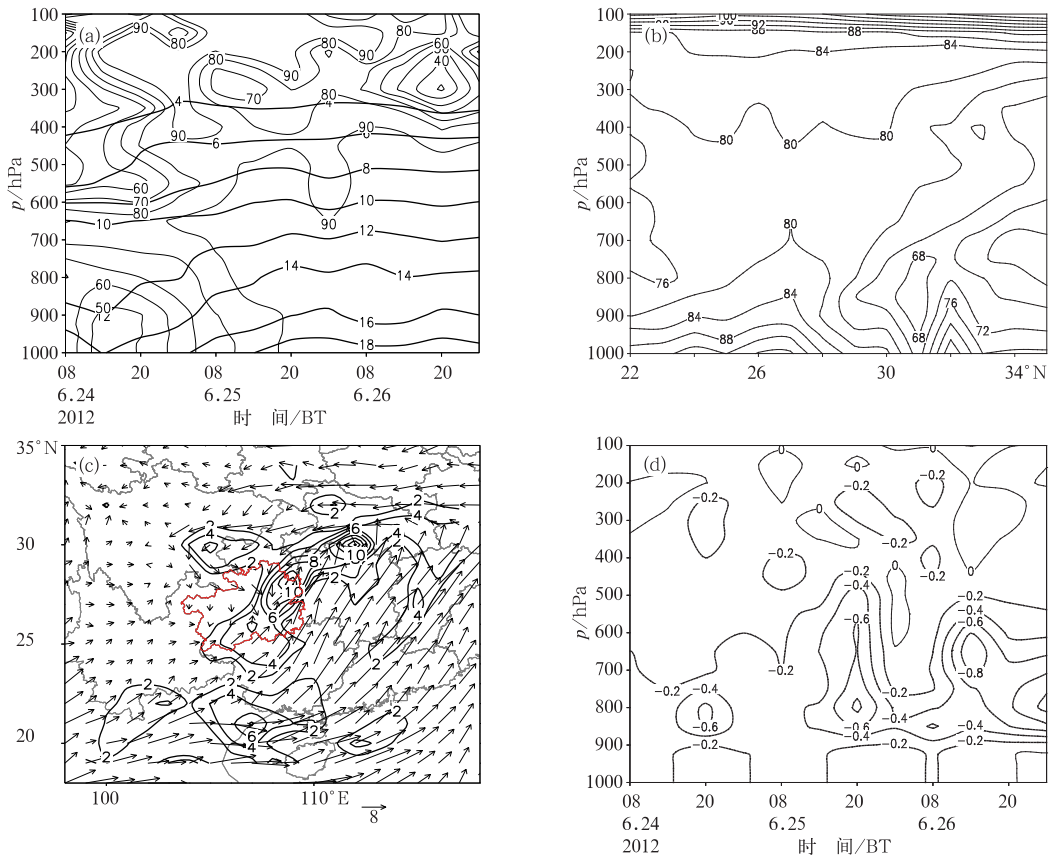


图 12 2012 年 6 月 (a) 25—26 日比湿(单位:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和相对湿度的高度-时间剖面, (b) 25 日 20 时沿暴雨区上空的假相当位温剖面(单位:  $^{\circ}\text{C}$ ), (c) 850 hPa 风矢量及涡度(单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), (d) 25—26 日暴雨区的垂直速度高度-时间剖面(单位:  $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 12 (a) Height-time section of specific humidity (unit:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) and relative humidity from 25 to 26 June, (b) potential pseudo-equivalent temperature profile (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) at 20:00 BT 25 June, (c) 850 hPa wind vector and vorticity (unit:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) at 08:00 BT 26 June, (d) height-time section of vertical speed across torrential rain field from 25 to 26 June 2012

的涡柱(图略), 这支由水平辐合抬升产生的上升运动在 25 日 20 时达到最强(图 12d), 上升运动伸展到对流层顶, 最大上升运动区位于 800~600 hPa, 上升速度速度达到  $-0.6 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

可见梅雨锋西段暴雨在暴雨发生前至暴雨期间具有深厚的暖湿层, 暴雨区位于梅雨锋附近, 暴雨区下层为不稳定层, 中层为深厚的中性稳定层。低空急流左侧、地面梅雨锋附近存在正的涡度带, 正的涡度中心对应着强降水区。

### 3.3.5 预报着眼点

(1) 利用中尺度环境场分析了解梅雨锋西段暴雨发生的背景和主要影响系统, 重点是把握西南低涡东移及地面梅雨锋的位置变化。

(2) 低涡和切变分别影响贵州不同区域。位于

川东—重庆西南部的西南低涡东移对贵州东北部地区产生影响, 造成持续稳定的强降水; 沿低涡西侧静止锋锋生的 MCS 可造成对流性降水。

(3) 利用 850 hPa 贵阳和重庆的风向可以判断西南低涡的位置和强降水的落区。若重庆是偏南风, 低涡位于川东—重庆西南部时, 低涡东移对贵州北部的遵义和铜仁产生影响。若重庆具有偏北风分量, 贵阳是偏南风时, 低涡位于贵州北部时, 低涡东移对遵义影响不大, 强降水落区较前者有所偏南。

(4) 在暴雨发生前至暴雨期间具有深厚的暖湿层, 暴雨区位于梅雨锋附近, 暴雨区下层为不稳定层, 中层为深厚的中性稳定层。低空急流左侧、地面梅雨锋附近存在正的涡度带, 正的涡度中心对应着强降水区。

## 4 小结与讨论

本文利用2012年发生在贵州的15个暴雨资料从地面冷空气影响的角度进行分类,归纳出2012年有五类暴雨过程。考虑到五类暴雨出现的次数差异较大,故本文重点对其中三类暴雨过程开展分析。侧重于利用MICAPS 3强天气分析工具对三类主要的暴雨过程开展中尺度环境场分析,同时基于“配料”的思路从水汽条件、稳定度条件和触发抬升机制三个方面分别对三类暴雨展开了诊断分析,并归纳出三类暴雨的预报着眼点。

(1) 辐合线锋生型暴雨的主要影响系统是中低层低涡切变和地面中尺度辐合线;此过程地面缺少冷空气影响,因而重点关注地面中尺度辐合线的变化。辐合线一旦锋生,往往沿着辐合线附近有对流云团生成和发展,强天气发生在辐合线附近。

(2) 辐合线锋生+冷锋型暴雨的主要影响系统是中低层低涡切变、地面中尺度辐合线和南下的冷锋;暴雨发生前水汽条件和不稳定能量已经满足暴雨的启动条件,冷空气补充,地面辐合线锋生加强。而地面辐合线锋生先于暴雨的发生,与中尺度对流云团的生成时间吻合,使得暴雨初期降水具有暖区降水的特征。当地面冷空气补充到贵州后,地面辐合线锋生明显加强,促使中尺度对流云团发展为MCC。

(3) 梅雨锋西段暴雨的主要影响系统是中低层低涡切变、低空急流和地面梅雨锋。西南低涡的位置对贵州强降水的落区影响较大,当低涡位于川东—重庆西南部时,低涡东移对贵州东北部地区产生影响,造成持续稳定的强降水。在暴雨发生前至暴雨期间具有深厚的暖湿层,暴雨区位于梅雨锋附近,暴雨区下层为不稳定层,中层为深厚的中性稳定层。低空急流左侧、地面梅雨锋附近存在正的涡度带,正的涡度中心对应着强降水区。

(4) 基于“配料”可归纳出三类暴雨的构成要素值。水汽配料:850 hPa 比湿 $\geq 14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、700 hPa

比湿 $\geq 12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、850 hPa 水汽通量散度为 $-10 \times 10^{-10} \sim -4 \times 10^{-10} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;稳定度配料:850 hPa 假相当位温为 $76 \sim 84^\circ\text{C}$ 、CAPE 值为 $900 \sim 2000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;触发抬升配料:从边界层影响系统看,不同类型有差异。对前两类,重点是地面辐合线锋生的区间,锋生函数为 $4 \times 10^{-10} \sim 10 \times 10^{-10} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ;梅雨锋暴雨则重点是梅雨锋和低涡的位置。暴雨期间具有较强的上升运动,500 hPa 垂直速度 $\leq -0.4 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

## 参考文献

- 李鲲,徐幼平,宇如聪,等. 2005. 梅雨锋上三类暴雨特征的数值模拟比较研究. 大气科学, 29(3): 236-248.
- 毛冬艳,乔林,陈涛,等. 2005. 2004年7月10日北京暴雨的中尺度分析. 气象, 31(5): 42-46.
- 漆梁波,陈雷. 2009. 上海局地强对流天气及临近预报要点. 气象, 35(9): 11-18.
- 陶诗言,等. 1980. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 98, 107-111.
- 许爱华,马中元,叶小峰. 2011. 江西8种强对流天气形势与云型特征分析. 气象, 37(10): 1185-1195.
- 俞小鼎. 2011. 基于构成要素的预报方法-配料法. 气象, 37(8): 913-918.
- 张小玲,谌芸,张涛. 2012. 对流天气预报中的环境场条件分析. 气象学报, 70(4): 642-654.
- 张小玲,陶诗言,张顺利. 2004. 梅雨锋上的三类暴雨. 大气科学, 28(3): 187-204.
- 张小玲,张涛,刘鑫华,等. 2010. 中尺度天气的高空地面综合分析. 气象, 36(7): 143-150.
- Crisp M C A. 1979. Training guide for severe weather forecasters. AFGWCTN-79/002. United States Air Force, Air Weather Service (MAC). Air Force Global Weather Central.
- Fujita T. 1955. Results of detailed synoptic studies of squallines. Tellus, 7(4): 405-436.
- Fujita T. 1956. Mesoanalysis: An important scale in the analysis of weather data. Wea Bur Res Paper, 39: 1-84.
- Maddox R A, Chappell C F, Hoxit L R. 1979. Synoptic and meso- $\alpha$  aspects of flash flooding events. Bull Amer Met Soc, 60: 115-123.
- Miller R C. 1972. Notes on analysis and severe-storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central, Technical Report 200 (Rev). Air Weather Service (MAC) United States Air Force.