

文章编号:1673-8411 (2015) 04-0021-07

## 贵州一次暖区持续性区域大暴雨成因分析

陈军<sup>1</sup>, 李小兰<sup>2</sup>, 喻义军<sup>3</sup>, 滕林<sup>4</sup>

(1. 贵州省铜仁市气象局, 贵州 铜仁 554300; 2. 贵州省玉屏县气象局, 贵州 玉屏 554000; 3. 贵州省印江县气象局, 贵州 印江 555200; 4. 贵州省剑河县气象局, 贵州 剑河 556400)

**摘要:**利用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  再分析资料、自动站观测及雷达卫星资料等对 2015 年 6 月 1 日至 3 日发生在贵州的一次暖区持续性区域大暴雨天气成因进行分析, 结果发现: 低层高湿高能环境和上干下湿的大气层结有利于暖区降水效率的提高和强对流天气的产生; 降水易发生在低空急流左侧和热低压东部第一象限和第四象限叠加区内, 而强雷暴易发生在地面辐合线和 850hPa 切变线之间的热低压第一象限里; 垂直速度和涡度剖面图说明了暖区上升气流的强盛发展及其倾斜性, 副高西伸北抬的同时地面辐合线却有所南压, 二者反位相进退有利于斜升气流的维持; 雷达组合反射率因子表明低层风速风向的辐合触发局地对流单体不断发生发展, 降水过程表现出明显的“列车效应”, 而回波剖面显示该暖区降水回波具有热带降水回波的特征; 卫星云图显示对流云团发展成条状, 整个过程表现出对流云团发展具有后向传播的特点。

**关键词:**暖区暴雨; 高湿高能; 地面辐合线

中图分类号: p458.1+21.1

文献标识码: A

## Analysis of the Formation of a Warm Sector Torrential Rain Sustainedly Case in Guizhou Province

Chen Jun<sup>1</sup> Li Xiaolan<sup>2</sup> Yu Yijun<sup>3</sup> Teng Lin<sup>4</sup>

(1. Meteorology Bureau of Tongren, Guizhou Province, Tongren 554300; 2. Meteorology Bureau of Yuping, Guizhou Province, Yuping 554000; 3. Meteorology Bureau of Yinjiang, Guizhou Province, Yinjiang 555200; 4. Meteorology Bureau of Jianhe, Guizhou Province, Jianhe 556400)

**Abstract:** NCEP reanalysis data (horizontal resolution of  $1^\circ \times 1^\circ$ ), surface automatic stations data, radar observation and satellite data are used to analyze the causes of heavy rain on the warm region from June 1, 2015 to June 3, 2015 in Guizhou Province. The results shows that: high humidity environment and high energy on low-level atmosphere and dry up wet down atmosphere can improve warm sector precipitation efficiency and generate strong convective weather. Precipitation generate easily on the Superposition area between the left of LLJ and the east of thermal low pressure of the first quadrant and the fourth. strong thunderstorms generate in the first quadrant of the thermal low pressure that is between the ground convergence line and 850hPa shear line. Vertical velocity and vorticity sectional illustrate the strong development and tilt of the updrafts of warm sector, the westward extension northward lift of WPSH, while the ground convergence line is somewhat southward, both forward and backward of the anti-phase ramp are in favor of airflow maintaining. Radar composite reflectivity factor indicates that convergence of the low-level wind speed and direction trigger local development of convective,

收稿日期: 2015-06-25

基金项目: 黔气科合 QN[2016]09 号(铜仁冷式和暖式与变型暴雨环境特征及落区分析)

作者简介: 陈军(1990-), 男, 本科, 助理工程师, 从事天气预报工作。

precipitation process shows significant "train effect", and radar echo Section shows precipitation has tropical precipitation echo features; satellite images show the convective clouds develop into strips, the whole process shows the characteristics which the convective clouds spread backward.

**Key words:** warm sector rain; high humidity and high energy; ground convergence line; train effect; spread backward

2015年6月1日17时至3日17时,受高空浅槽、中低层切变及地面辐合线的共同影响,贵州省自东北向西南中部一线出现持续性区域强降水天气,该过程突出了降水强度大、范围集中、持续时间长以及灾害性大四个特点。最强降水区位于东部的铜仁市,48小时全省累计雨量超过200mm的有22站,大暴雨100站,暴雨240站。最大达417mm,最大小时雨强达134.3mm,强降水主要集中在1日20时至2日02时和2日18时至3日14时两个时段。本次强降水过程给贵州省造成了区域性的山洪、泥石流、滑坡、城市内涝等地质灾害,损失巨大。

贵州省位于北纬 $24^{\circ}37' - 29^{\circ}13'$ ,东经 $103^{\circ}36' - 109^{\circ}35'$ 之间,地处云贵高原的东斜坡地貌雄峻,地势西高东低,平均海拔1100米。地貌的显著特征是山地多,山地和丘陵占全省总面积的92.5%,其中喀斯特地貌面积达61.9%。此类地形对降水有一定的增幅作用,容易触发局地强对流暴雨天气的产生。

目前对暴雨的研究成果很多,气象工作者们利用各种探测资料和数值预报技术对暴雨的发生发展,特别是中小尺度对流系统的产生机理和空间结构进行了大量研究<sup>[1-6]</sup>,陶诗言等<sup>[7]</sup>对中国暴雨的分布特征进行了详细的研究,并提出了暴雨的落区预报方法。然而暖区降水不同于大尺度抬升条件下的锋面降水,其暴雨落区的确定和量级的把握尚有不足,通过分析本次暖区降水的特征,以便在预报工作中提供一定的参考。

## 1 资料与方法

利用常规资料、NCEP  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 逐日6小时再分析资料、地面自动站降水资料、多普勒雷达和FY-2E卫星资料等对该过程进行分析,时间从2015年6月1日14时至3日14时共8个时次。

## 2 降水特点

由于该过程无明显冷空气的影响,为典型的暖区暴雨。降水过程分为两个阶段:第一阶段从6月1

日17时至2日11时;第二阶段从6月2日15时至3日17时,该阶段在3日08时后有弱冷空气从东北面南下影响。

该降水过程具有明显的中尺度特征,第一阶段为暖区对流性降水,第二阶段有弱冷空气入侵为暖区和锋后稳定性降水,两个阶段组成了本次降水强降水过程。通过对全省特大暴雨、大暴雨和暴雨站点的小时降水量统计(表1、表2),结果表明:第一阶段强降水集中在1日20时—2日02时,该时段小时雨量大于20mm的站数占该时段总站数49.2%、而大于30mm、40mm、50mm的小时雨量基本都集中在该时段,这反映了降水的中尺度特征,此阶段强降水主要集中在省东部的铜仁市;第二阶段强降水集中在2日18时—3日14时,该时段小时雨量大于20mm的站数占该时段总站数73.2%、而大于30mm、40mm、50mm、100mm的小时雨量基本都集中在该时段,这充分说明了该过程降水中尺度特征明显。而由弱冷空气影响的稳定性降水小时雨量大于20mm占40.3%、大于30mm占28.4%、大于40mm占5%,这表明锋后稳定性降水也起到了一定的作用,此阶段强降水主要集中在省东部和中部一带。两个阶段降水与后面讲的热低压有关。

## 3 中尺度对流系统环境场分析

### 3.1 环流背景

1日20时,500hPa图上高纬地区为两槽一脊形势(图2a),贝湖西侧分裂出一低涡利于冷空气不断东移南下影响我省,且此形势一直维持至3日08时(图略);中低纬及高原东侧短波槽活动频繁,引导弱冷空气不断南下;西太副高588线长时维持在两广地带,且从1日20时到3日20时逐渐西伸北抬(图2b),有利于降水形势的维持;副高584线北台至28N附近控制我省,云南至我省中部以南副热带高压边缘为低空急流,最大风速超过 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。总之,副热带高压形势的加强及维持和高空浅槽的频繁活动利于降水的持续。

表 1 2015 年 6 月 1 日 18 时至 2 日 14 时小时雨量站数分布表

| 时段     | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| >100mm |    |    |    |    |    | 1  | 1  |    | 1  |    |    |    |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| >50mm  |    |    |    | 2  | 3  | 4  | 4  | 11 | 8  | 3  | 1  | 4  | 3  | 1  | 1  |    | 3  |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| >40mm  |    |    |    | 1  | 8  | 9  | 9  | 4  | 10 | 5  | 1  | 4  | 6  | 4  | 2  |    | 4  |    | 1  |    | 1  |    |    | 2  |    |    |    |
| >30mm  |    |    | 1  | 7  | 8  | 10 | 6  | 10 | 23 | 7  | 11 | 8  | 13 | 14 | 2  | 7  | 5  | 6  | 6  | 4  | 3  | 2  | 4  | 2  | 6  |    |    |
| >20mm  | 1  | 1  | 3  | 6  | 14 | 21 | 23 | 32 | 21 | 24 | 10 | 20 | 19 | 12 | 15 | 5  | 10 | 18 | 16 | 12 | 10 | 5  | 8  | 10 | 4  | 5  | 3  |

表 2 2015 年 6 月 2 日 15 时至 3 日 17 时小时雨量站数分布表

| 时段     | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| >100mm |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| >50mm  |    |    |    |    |    | 1  |    | 4  | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| >40mm  |    |    |    |    |    | 6  | 3  | 2  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| >30mm  |    |    | 1  |    | 2  | 4  | 1  | 6  |    |    |    | 1  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |
| >20mm  | 1  | 6  | 8  | 4  | 1  | 6  | 6  | 4  | 9  | 0  | 3  | 5  | 3  | 3  | 1  | 2  | 0  | 3  | 0  | 0  | 0  |

3.2 高湿高能环境与降水效率

平时的预报业务中经常会发现暖区暴雨影响系统与锋面引起的稳定性强降水系统有所区别, 预报征兆明显较弱于锋面暴雨。在弱的强迫抬升条件下为何会产生如此强度大、持续时间长的暴雨? 通过本次暖区暴雨研究发现, 这或许与高湿高能环境和降水效率密切相关。

3.2.1 低层高湿高能环境特点

许珺等<sup>[8]</sup>研究指出暖区降水暴雨落区一般位于低层多层风速辐合的叠置区, 低层高湿有利于降水效率的提高。1 日 20 时至 3 日 08 时, 低层 850hPa 和 700hPa 西南急流建立并维持, 我省位于急流左侧; 水汽通道有两只, 南海水汽通道和孟加拉湾水汽通道, 700hPa 西南急流水汽主要来源孟加拉湾, 其

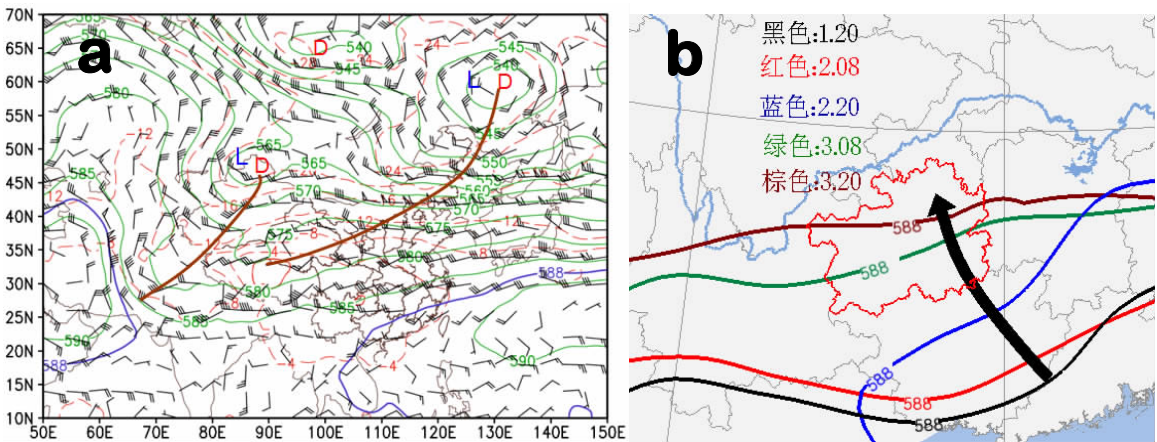


图 2 2015 年 6 月 1 日 20 时 500hPa 高度场、风场和温度场(a), 1 日 20 时至 3 日 20 时副高 588 线演变(b)



次是南海(图 3a),而 850hPa 偏南急流里水汽来源于南海(图 3b);700hPa 最大风速超过  $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,850hPa 最大风速超过  $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,700hPa 低涡切变位于贵州北部的川南-湖北-山东一带,而 850hPa 低涡切变位于贵州中部偏北-湖南-湖北一带,低涡未移出;700hPa 以风向辐合为主,而 850hPa 不仅有风速辐合还有风向的辐合;低层西南急流强暖湿水汽输送和风场辐合使得暴雨区在强降水发生前和发生中地面的露点温度西部维持在  $21^{\circ}\text{C}$  左右,东部维持  $24^{\circ}\text{C}$  左右;由整层可降水量(图略)可知,强降水过程中整层可降水量持续增加;整个降水过程中 700hPa

比湿达  $12\text{g}/\text{kg}$ ,850hPa 比湿达  $17\text{g}/\text{kg}$ ,这种高湿饱和和大气完全达到贵州省暴雨指标要求。

该次过程前和过程中 CAPE 值都较大,从图(图 4a)可知降水发生前该省中部一代是一个能量集中带,最大对流有效位能达  $2200\text{J}/\text{kg}$  以上,而降水过程中(图 b)能量有两次积累和两次释放过程,1 日和 2 日 08 时是能量积累过程,二 1 日 20 时和 2 日 20 时是能量释放过程,两次释放过程带来强对流天气,与该省降水时段对应。Cape 值的变化对强对流天气有很好的指示意义。

### 3.2.2 暖区降水效率

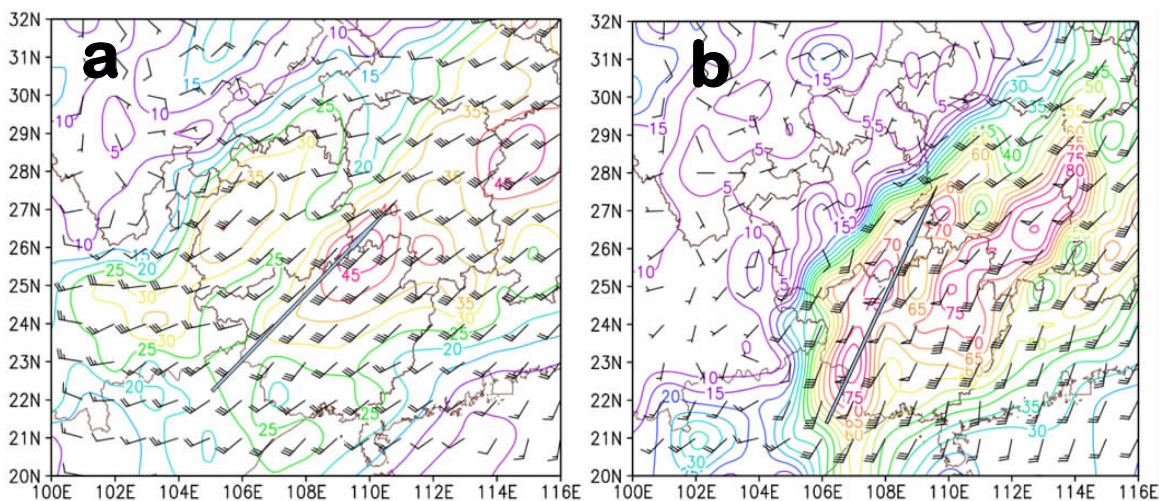


图 3 2015 年 6 月 2 日 02 时 700hPa 风场和水汽通量(a),850hPa 风场和水汽通量(b)(单位: $\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}\cdot\text{s})$ )

根据 Dosswell<sup>[9]</sup>等对强降水的研究,把雨强  $R$  分解为降水效率  $E$ 、垂直速度  $w$  和上升气流的比湿  $q$ ,强降水是  $E$ 、 $w$  和  $q$  的共同作用结果,而  $E$  在深厚湿对流造成的强降水中具主要意义,与水汽辐合、地

面蒸发率和夹卷效应等有关,一般情况下环境相对湿度越高,雨滴蒸发率越小,降水效率就越高。余小鼎等<sup>[10]</sup>研究指出暖云层,即抬升凝结高度到  $0^{\circ}\text{C}$  高度之间这一层,如果其厚度越大降水效率也越高,对

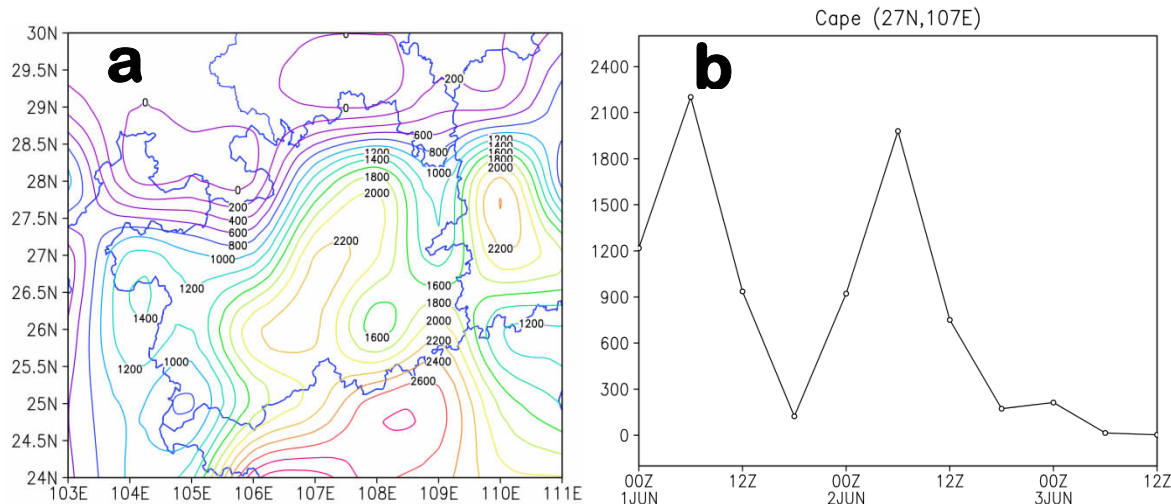


图 4 2015 年 6 月 1 日 14 时(a),单点 CAPE 值变化曲线(b)(单位: $\text{J}/\text{kg}$ )

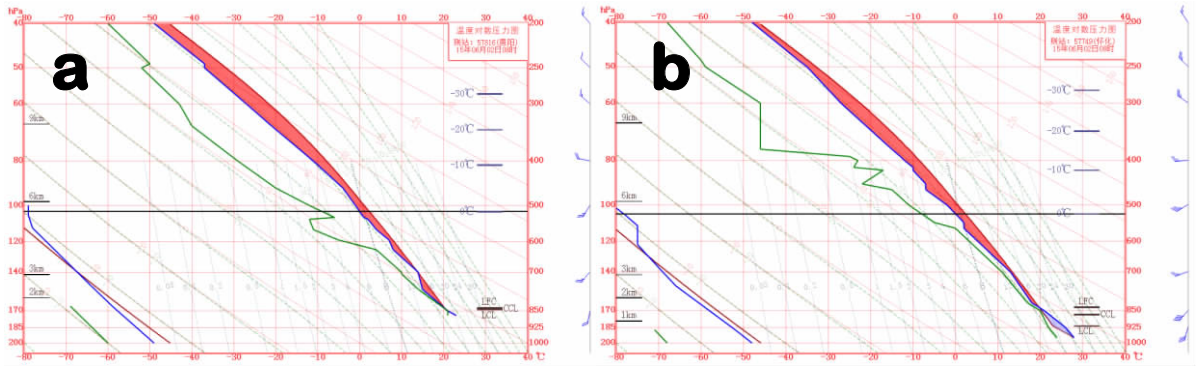


图 5 2015 年 6 月 2 日 08 贵阳探空(a), 2 日 20 时怀化探空(b)

流有效为能 CAPE 不太大的情况下, 如果云底比湿 (或者温度露点) 很高, 降水效率也会很高。

结合本次过程的高湿高能特点分析, 地面高露点温度和低温度露点差有利于降低抬升凝结高度和自由对流高度。从 6 月 2 日 08 时贵阳和怀化探空图 (图 5a-b) 可知, 暴雨发生过程中 CAPE 都很大, 贵阳和怀化的抬升凝结高度均在 850hPa 附件, 自由对流高度贵阳在 850hPa 略偏上 (贵阳海拔高度在 1000 米左右)。在低层高湿环境下, 导致了暖区暴雨抬升凝结高度和自由对流高度要求没有锋面这种强抬升条件要求高。此外, 低层整层高湿降低了降水雨滴的蒸发率, 同时又增大了暖云层厚度 (该个例暖云层东部在 5km 左右, 西部因海拔高暖云层 4km 左右), 同时上干下湿的喇叭口型大气层结更有利于对流的触发。这些都有助于降水效率的提高, 这种低层高湿高能环境对预报员工作有一定的指导作用。

4 动力抬升与暖区中尺度分析

西南热低压是影响贵州天气的重要系统。对西南热低压的研究有很多, 热低压对贵州的降水影响很大。杨静等<sup>[11-12]</sup>研究指出, 热低压系统为浅薄暖性低压, 干区深厚, 低压区为辐合区, 正涡度区, 高能区, 且是对流性不稳定。

4.1 动力抬升

本次持续性强降水过程的一个主要影响系统是热低压, 由热低压中心延伸出风场的不连续线即为地面辐合线。副高在西伸北抬的过程中, 一方面可以长时间稳定形势, 利于降水的维持, 另一方面促使其边缘低空急流加强和维持, 而急流的维持一是长时间的输送水汽, 二是暖湿气流携带能量促使大气不稳定, 热低压得以发展, 此时热低压就是一个能量区, 西南风又把它能量源源不断输送到对流区, 三

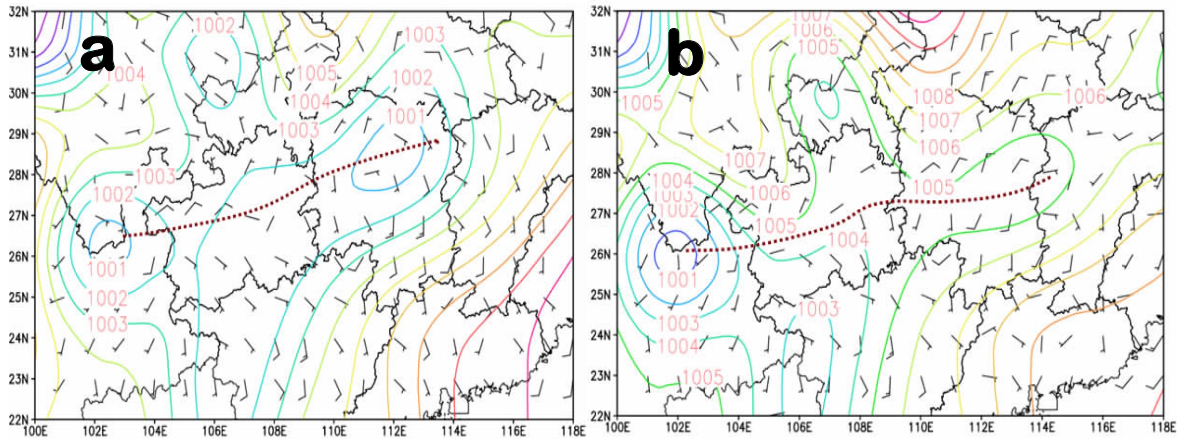


图 6 2015 年 6 月 1 日 20 时(a), 2 日 20 时(b) 10 米风场和海平面气压场 (虚线: 地面辐合线)



是西南急流的有正的曲率涡度,使得气流动力抬升。由于热低压是一个正涡度区,上升气流区,加之低空急流和高空浅槽的强迫抬升作用,因此动力充足。

从图(图 6a-b)显示热低压在 1 日 20 时发展比较旺盛,而 2 日 20 时中心西退到云南境内,低压减弱范围也相应缩小,这与前面所述的两个降水时段强降水集中的区域一致,即第一阶段热低压偏东,地面辐合线影响我省中东部,第二阶段热低压减弱偏西,地面辐合线也相应偏西,且有所南压,从而降水

范围也扩大到我省西部。此外副高在不断西伸北抬的过程中,热低压不断西退南压,地面辐合线也相应不断南压,这种副高与地面辐合线反位相进退,使得其斜升气流得以维持,有利于强降水的维持。

#### 4.2 暖区中尺度分析

暖区强降水落区的把握是目前预报员的一个难点,针对本次强降水过程对 1 日 20 时(图 7a)做中尺度分析,并把热低压沿着中心和地面辐合线垂直方向划分为四个象限(图 7b),跟踪各个时次降水,发现

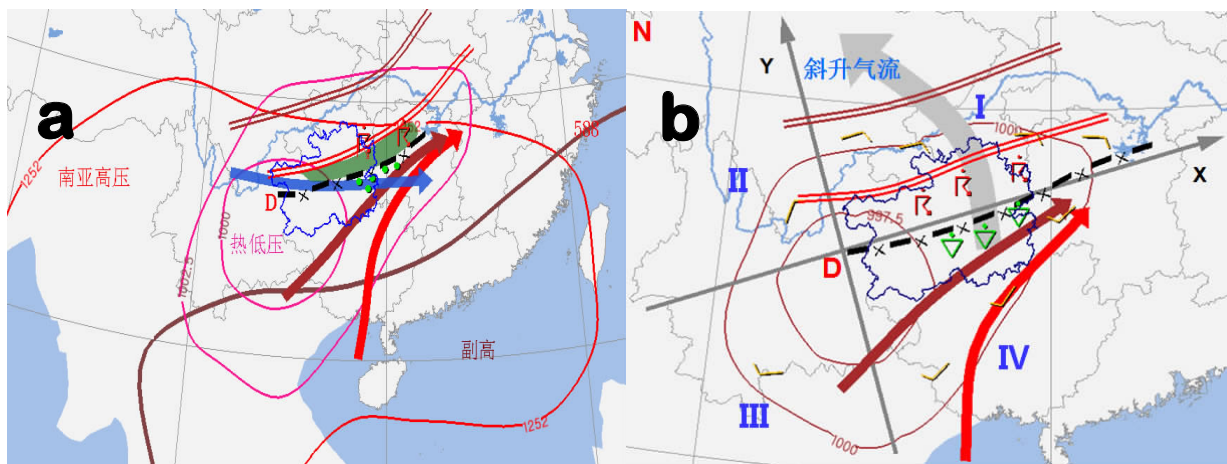


图 7 2015 年 6 月 1 日 20 时中尺度分析(a),热低压象限划分和空间斜升气流示意图(b)

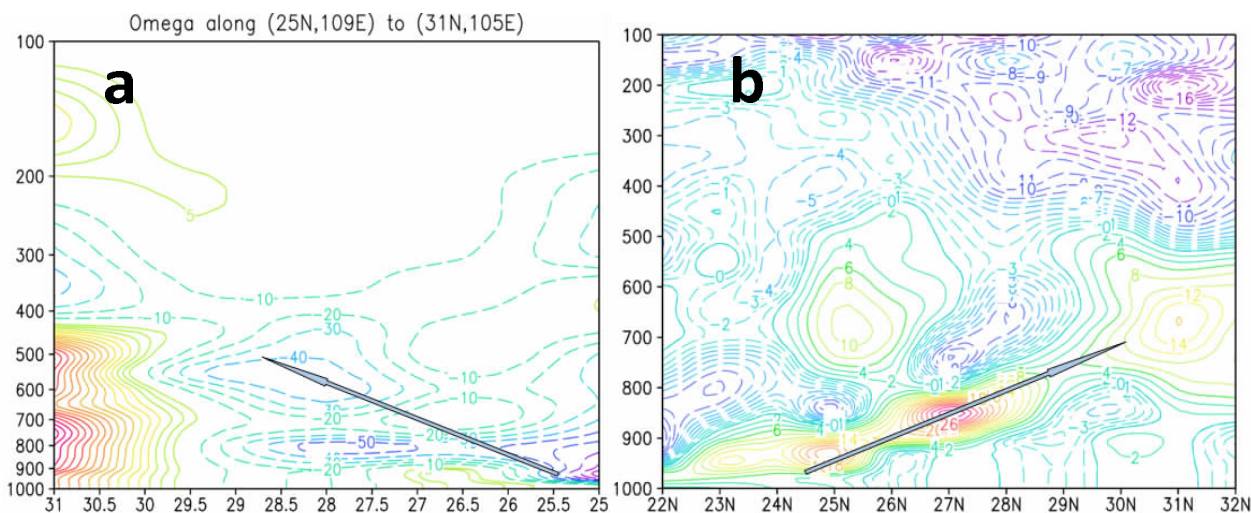


图 8 2015 年 6 月 2 日 02 时沿低层切变线的垂直方向垂直速度(a)(单位:10<sup>-2</sup>Pa/s),沿 107°E 涡度剖面(b)(单位:10<sup>-5</sup>/s)

降水易发生在低空急流左侧和热低压东部第一象限和第四象限叠加区内,而强雷暴发生在地面辐合线和 850hPa 切变线之间的热低压第一象限里,热低压第四象限降水不强,主要是由于低空急流风速的辐

合引起的降水。前面所述副高西伸北抬的同时地面辐合线却有所南压,这种反位相移动有利于对流斜升气流的维持,700hPa 切变线与 850hPa 切变线分离较远,这有利于斜升气流的维持,这种配置与高低

层系统位相一致(如前倾槽)时引起的强对流天气相比,该配置降水区和上升气流区分开,减小了因降水对上升气流的拖曳作用,从而使降水更加持久。从垂直速度和涡度剖面图(图 8a-b)也可以看出上升气流的强盛发展和气流的倾斜性,垂直速度低层负值中心和高层正值中心并不在一个垂直线上,而是沿着切变线的垂直方向向北倾斜,涡度也如此,表现出暖区气流的倾斜性。

## 5 中尺度对流系统的演变特点

### 5.1 雷达资料分析

从雷达组合反射率和径向速度图上可知,低层风速风向的辐合造成局地对流单体不段发生发展,整个降水过程表现明显的“列车效应”,从东部铜仁雷达图(图 9a-b,见彩页)上清楚的反映了这一特征。回波剖面(图 10a-b,见彩页)看出,该暖区降水回波质心在 3km 以下,具有热带降水回波的特征。

### 5.2 卫星资料分析

卫星红外云图(图 11a-f,见彩页)显示:从 1 日 17 时至 2 日 06 时,生成于北部遵义对流云团加强发展并东移,22 时中部安顺对流云团开始发展,对流云图发展东移,此时降水主要集中在东部和中部。从 2 日 16 时至 3 日 02 时,生成于贵州东部的对流云团开始发展,随后与中部一带对流云团发展形成一长条状对流云团,TBB 显示最强时亮温低于负 70℃,条状对流云系略有南压,整个过程表现出对流云团发展具有后向传播的特点,这与地面热低压西退南压对应的地面辐合线西退南压有关,两个阶段与该省强降水时段表现一致。

## 6 结论

(1) 低层高湿高能环境和上干下湿喇叭口型大气层结有利于暖区降水效率的提高和强对流天气的产生。地面高露点温度和低温度露点差有利于降低抬升凝结高度和自由对流高度;低层高湿降低了降水雨滴的蒸发率,同时又增大了暖云层厚度;上干下湿的大气层结更有利于对流的触发。这种低层高湿高能环境的出现对预报员预报工作有一定的指示意义。

(2) 降水易发生在低空急流左侧和热低压东部第一象限和第四象限叠加区内,而强雷暴易发生在地面辐合线和 850hPa 切变线之间的热低压第一象限里,热低压第四象限降水不强,主要是由于低空急

流风速的辐合引起的降水。

(3) 副高西伸北抬的同时地面辐合线却有所南压,且 700hPa 切变线与 850hPa 切变线相离较远,这有利于斜升气流的维持,该配置降水区和上升气流区分开,减小了因降水对上升气流的拖曳作用,从而使降水更加持久。垂直速度和涡度剖面图说明了上升气流的强盛发展和上升气流的倾斜性

(4) 雷达组合反射率因子和回波剖面图表明,低层风速风向的辐合不断触发局地对流单体发生发展,整个降水过程表现明显的“列车效应”,而该暖区降水回波质心低,具有热带降水回波的特征。

(5) 卫星云图显示东部、中西部一带对流云团先后发展形成一长条状,条状对流云系发展南压,整个过程表现出对流云团发展具有后向传播的特点,这与地面热低压西退南压地面辐合线西退南压有关,与该省强降水时段和落区表现一致。

### 参考文献:

- [1] 周海光, 郭富德. 梅雨锋暴雨中尺度对流系统结构模型的双多普勒雷达研究 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30 (1): 1-8.
- [2] 朱莉, 丁治英. 低纬高原地区一次大暴雨过程 MPCS 的数值模拟 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30 (6): 866-9-874.
- [3] 熊秋芬, 胡江林, 张耀存. 梅雨锋暴雨数值模拟中地形的作用 [J]. 气象科学, 2007, 27 (6): 591-596.
- [4] 张京英, 陈金敏, 刘英杰, 等. 大暴雨过程中短时强降水机制分析 [J]. 气象科学, 2010, 30 (3): 407-413.
- [5] 陈红专, 汤剑平. 一次突发性特大暴雨的中尺度分析和诊断 [J]. 气象科学, 2009, 29 (6): 797-803.
- [6] 东高红, 解以扬, 于莉莉. 一次局地大暴雨的落区分析与预报 [J]. 气象, 2010, 36 (6): 50-58.
- [7] 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 气象出版社, 1980.
- [8] 徐珺, 杨舒楠, 孙军, 等. 北方一次暖区大暴雨强降水成因探讨 [J]. 气象, 2014, 40 (12): 1455-1463
- [9] Dosswell C A, Brooks H E, Maddox R. Flash flood forecasting. An ingredients-based methodology [J]. Wea Forecasting, 1996, 11: 560-581.
- [10] 余小鼎. 短时强降水临近预报的思路与方法 [J]. 暴雨灾害, 2013, 32 (3): 202-209.
- [11] 杨静, 汪超, 雷云, 等. 春季西南热低压的发生发展与结构特征 [J]. 气象, 2013, 39 (2): 146-155.
- [12] 杨静, 雷云. 一次西南热低压形成过程的数值试验和分析 [J]. 贵州气象, 2011, 35 (3): 1-6.