

文章编号: 2096-1618(2022)03-0325-08

# 2020年8月中旬成都强降水过程的天气学分析

杨若欧<sup>1</sup>, 张永莉<sup>1</sup>, 杨康权<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 四川省气象台 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072)

**摘要:**为探究成都强降水发生发展的机制,提高气象防灾减灾能力,利用常规观测数据、美国国家环境预报中心和欧洲数据中心再分析数据,研究成都2020年8月10–20日强降水过程的降水实况、环流特征、物理量场及云图特征。结果表明:(1)强降水过程分两次。第一次降水过程主要诱因是副热带高压西进,高原低值系统减弱且东移,低空急流加强。第二次降水过程主要诱因是西南涡的发展,北方冷空气侵袭。通过比较,两次降水过程的形成均受西南涡的影响,但第一次降水过程西南涡中心途经成都,故影响范围更广,降水强度更大。(2)通过分析物理量水汽通量、稳定指数、垂直速度等,发现它们共同作用于降水过程且与降水活动具有良好的一致性。(3)卫星云图表明云团的发展分裂和水汽含量对降水过程起着至关重要的作用。此次天气学分析为今后同类天气系统的强降水分析提供参考。

**关键词:**强降水;西南涡;物理量;水汽输送

**中图分类号:**P458.1+21.1

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2022.03.013

## 0 引言

1900年以来,全球范围内暴雨及特大暴雨事件频发<sup>[1]</sup>,中国区域的暴雨天气变化形势符合全球暴雨变化形势,区域性和局地性是其主要的天气特征。

暴雨是中国主要天气灾害现象,其中南方和东部地区是暴雨现象的集中地区,如四川盆地、长江中下游平原等地区。四川盆地具有特殊的地形和地质条件,因此强降水易引发洪涝、泥石流和山体滑坡等次生灾害,危及人民生命财产安全。降水受多种因素影响,如地形分布、太阳辐射、大气环流、海陆热力差异等,时空特征复杂多变<sup>[2]</sup>。至今为止,众多气象专家致力于探究四川盆地的暴雨成因。

肖洪郁等<sup>[3]</sup>认为副热带高压的阻塞作用能引起四川暴雨。蒋淑艺等<sup>[4]</sup>认为对流层中高纬度两槽一脊稳定环流形势下,活跃的高原低值系统造成暴雨过程。另外,低层西南急流可能是暴雨触发的因子,也可能是暴雨维持、增强的原因<sup>[5–6]</sup>。陶诗言等<sup>[7]</sup>指出来自青藏高原的低涡系统是引起中国暴雨天气的主要系统之一。缪强<sup>[8]</sup>进一步指出高原低涡东移入川后与西南涡耦合作用可使西南涡发展,同时产生暴雨天气。刘金卿等<sup>[9]</sup>、邓承之等<sup>[10]</sup>、吴志鹏等<sup>[11]</sup>发现,约四分之一西南涡会引发强对流天气,以短时强降水为主,

这是由于西南涡东南象限和西南气流耦合相互作用带来高温高湿平流,容易引发对流不稳定并产生对流性降水。柳艳菊等<sup>[12]</sup>研究表明亚洲夏季风的异常北进作为暖湿输送带所携带的大量偏南暖湿空气为暴雨的发生提供了充沛的水汽条件,它与来自北方低槽冷涡的高空强冷平流相遇,形成了明显的不稳定层结。

成都平原位于四川盆地西部,西北侧有龙泉山,东南侧有龙门山<sup>[13]</sup>。其地处青藏高原东部,常受到东移出高原的低涡系统影响,同时在对流层中低层来自盆地东部和南部的暖湿空气在此受到地形强迫作用而抬升,使成都地区暴雨天气频发。可见,成都暴雨具有突发性、局地性、频发性、历时短、雨强大等中小尺度系统降水的特征。由于暴雨天气出现的复杂性和特殊性,对暴雨落区、量级、持续时间等方面的日常预报工作均有一定难度,因此对暴雨及强降水天气的研究还需进一步深入<sup>[14]</sup>。

选取2020年8月10–20日强降水事件,对其大尺度环流形势、温度高度场及物理量进行分析,探究此次暴雨的发生和发展机制。致力改善预报着眼点,有利于建立西南地区灾害天气数据库,为今后同类天气系统的强降水分析提供参考范例,以便提前做好防灾减灾工作。

## 1 资料与方法

利用常规观测资料分析此次暴雨降水量峰值附近

收稿日期:2021-07-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(42075019);高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室开放研究基金资助项目(SZKT2016003)

的环流形势和天气影响系统,根据 2020 年 8 月中旬(10-20 日)的 24 h 降水资料和物理量资料,获取稳定指数:K 指数、沙氏指数 SI 和对流有效位能 CAPE,对比两次强降水过程的对流不稳定指数。利用美国国家环境预报中心(NCEP)1°×1°和欧洲数据中心(ECMWF)2.5°×2.5°的再分析资料,结合 NCL 软件进行图形绘制,得到两次降水过程峰值附近的水汽通量、涡度、散度等物理量的诊断。将诊断结果与实际降水资料结合,对比分析成都两次强降水过程发生的动力机制。

2 强降水天气形势分析

2.1 过程概述

2020 年 8 月中旬,成都地区出现连续强降水过程,局部地区遭遇暴雨或大暴雨侵袭。图 1 为 2020 年 8 月 10-20 日成都 6 h 降水图,主要的强降水过程分 2 次,第一次降水过程出现在 10 日 21 时-13 日 02 时,第二次降水过程出现在 15 日 00 时-18 日 14 时。

第一次降水从 10 日 21 时开始,至 11 日 00 时达到最大峰值 160 mm,11 日 11 时突然骤降,随后 11 日 14 时降水量升至第二个峰值 152 mm,13 日 02 时降水停止。

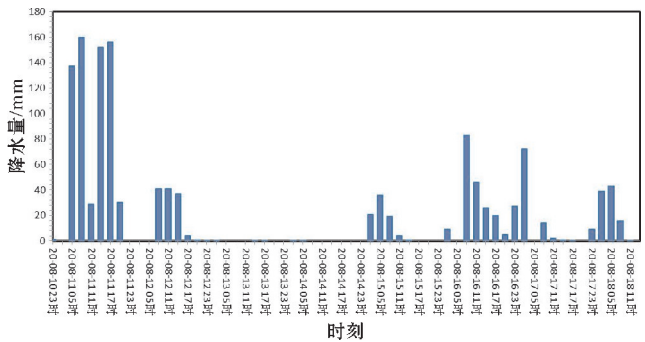


图 1 2020 年 8 月 10-20 日成都 6 h 降水图

第二次降水过程自 15 日 00 时始,15 日 05 时降水量达到第一个峰值 36 mm,16 日 08 时达到第二个峰值 83 mm,在 17 日 02 时攀升至第三个峰值 72 mm,18 日 14 时停止降水。

对两次降水过程进行对比分析,第一次短暂而激烈。第二次降水过程持续时间长,降水峰值低,降水强度变化大。2 次降水过程均出现 2 个或 2 个以上的峰值,且已超过中国气象“暴雨”的标准。

2.2 环流形势分析

2.2.1 第一次降水环流形势分析

图 2 为 2020 年 8 月 11 日 08 时-16 日 08 时 500 hPa 和 850 hPa 环流形势。

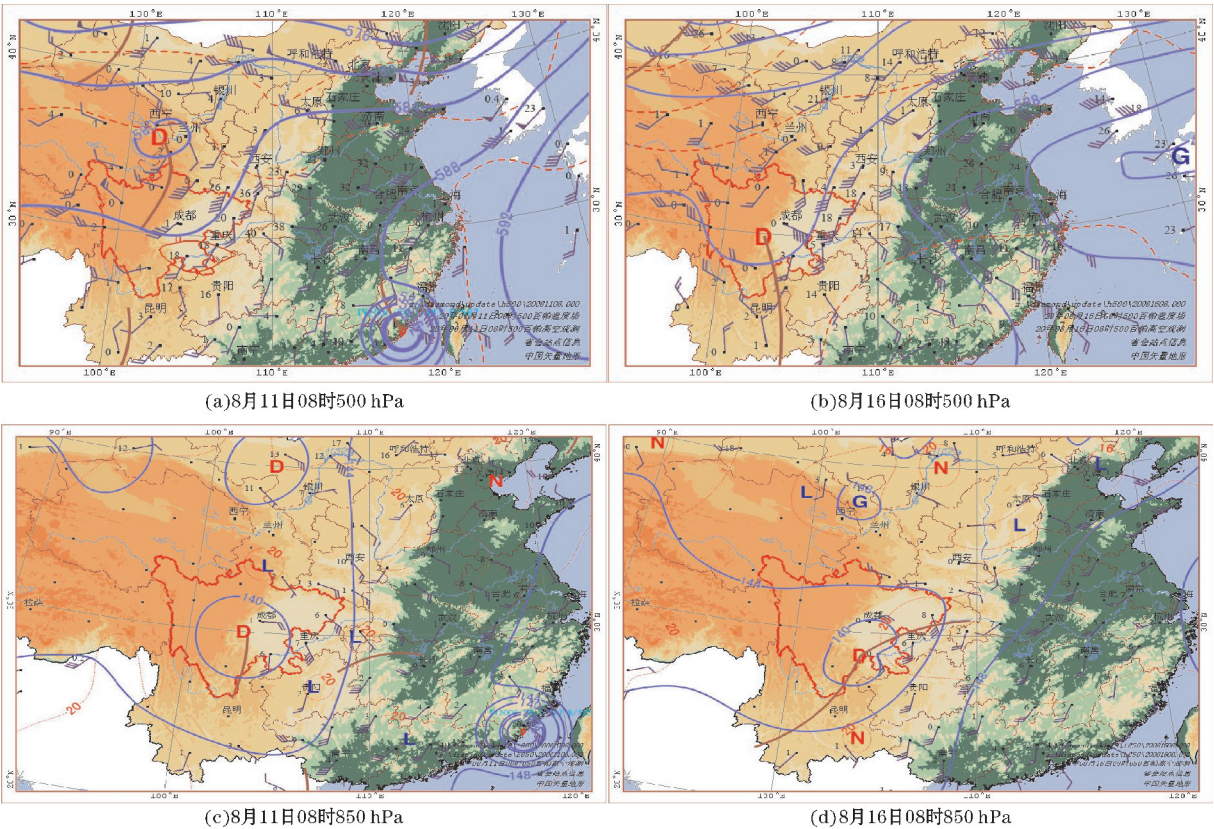


图 2 2020 年 8 月 11 日 08 时-16 日 08 时 500 hPa 和 850 hPa 环流形势



由图2可见,在8月11日08时500 hPa环流形势图(图2a)中,欧亚大陆中高纬度整体环流形势呈“两槽一脊”型;西槽槽线自贝加尔湖西部地区延伸至中国西部,东槽自亚洲东部延伸入中国东北部,贝加尔湖至蒙古高原一带有宽广的长波脊区;乌拉尔山脉北部形成阻塞高压,脊前槽后西北冷空气对中国西部地区造成降温影响。中低纬度上亚洲东部和西部的588线在海洋高压的作用下向内陆延伸。此时,成都位于槽前,受槽前西南气流影响,为此次降水提供充足的水汽条件。在700 hPa高空中成都地区受到西南低空急流的影响,大范围的南方暖湿气流经过成都地区。此时成都地区温度露点差为0,本地上空水汽处于饱和状态。850 hPa(图2c)成都风向为正东风,温度露点差有所增加达到1,说明850 hPa的水汽为接近饱和状态。

11日20时总体环流形势变化不大,巴尔克什湖北部有闭合低压中心出现,槽线东移且加强,延伸到四川盆地一带,由于副热带高压西进,东亚大槽无法东移出海,导致中国东北部有冷空气堆积。中低纬度588线愈加强势,向内陆延伸更明显,四川盆地北部的小槽发展成大槽,成都位于槽前,西南方向带来的暖湿气流提供充沛的水汽条件。700 hPa四川西南部出现明显的风场辐合,有西南涡生成,成为此次暴雨天气的重要影响系统之一,同时引起地面锋面气旋的发生发展,成都由南风转成东南风。此时温度露点差仍然为0,700 hPa层结湿润,水汽处于饱和状态。在850 hPa清晰可见成都南方有一气旋式辐合,大气做对流上升运动,为西南涡的标志,增强了成都天气的不稳定性。此时,四川盆地受东北冷空气侵袭,温度露点差与08时相比几乎无变化。

#### 2.2.2 第二次降水环流形势分析

2020年8月16日08时,在500 hPa高空上,欧亚大陆呈“两槽一脊”型;低压槽线位于新疆—柴达木盆地和黑龙江地区;脊线位于贝加尔湖北部—蒙古—中国内蒙古。四川盆地等高线分布疏散,成都地区位于槽前,西南风将带来充沛水汽。700 hPa上四川盆地南部出现气旋式环流,西南涡初现端倪,四川盆地西部有一小范围的低压中心,东北方有切变。大范围的南方暖湿气流经过成都地区,为降水提供水汽与能量。850 hPa上成都为东北风,东边有一气旋发展生成,成都地区温度露点差为1,850 hPa水汽达到饱和。

图2(b)为2020年16日08时500 hPa高空环流形势图,描绘了中高纬度为“两槽一脊”的环流形势,总体环流形势变化不大,但都有移动。相较于08时整体系统东移,新疆北部的槽线东移到内蒙古—青海—四

川—云南方向上,处于不稳定区域,分裂成2个小槽,成都位于槽前,西南方向带来充沛水汽。图2(d)为850 hPa高空形势图,图中西南涡发展壮大,已全面控制四川盆地中西部,东北方向有明显切变线。成都受到西南低空急流影响,暖湿水汽在成都汇集为降水提供有力条件。东北冷空气侵袭,成都上空冷暖气流交汇,大气对流运动强烈。

#### 2.2.3 两次降水环流形势对比分析

两次强降水过程仅间隔2天,且降水前期天气形势相似。在500 hPa大尺度环流形势分析中,副热带高压西进,造成北方冷空气滞留。

在700 hPa和850 hPa中,北方冷空气和西南低空急流共同作用,成都位于槽前冷暖气流交汇处,大气层结不稳定,易发生降水过程。四川盆地西南方有西南涡出现,呈气旋式环流,随时间推移发展且东移,成都地区雨量增加,强度增大。

### 3 物理量诊断分析

#### 3.1 水汽条件

##### 3.1.1 水汽通量

图3为两次降水过程发生时整层水汽通量和850 hPa风场的空间分布图。8月11日08时(图3a),850 hPa上副高西南侧的东南风将南海水汽输送到四川盆地,成都地区水汽通量增加,仍以东南风为主,并且在成都北方 $31^{\circ}\text{N}$ 、 $104^{\circ}\text{E}$ 处有一个高值中心,为 $18\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,对应空间分布降水达到峰值。通过低空急流水汽源源不断地输送,成都地区水汽持续积聚,为本次降水提供较好的水汽条件,随后,成都地区水汽含量有所下降,降水减弱。

在第二次降水过程中,四川盆地仍然受到东南气流影响。8月15日20时,850 hPa四川东部地区和成都水汽通量达到 $10\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右;16日02时(图3b),东南风转为偏东风,高值中心位于成都以东的四川盆地,为 $18\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,成都地区水汽聚集;16日08时,成都地区水汽通量均有所下降,但由于累积水汽含量高,此时降水强度大;16日14时,成都地区的水汽再次积聚,为第二次降水峰值的形成提供了充沛的水汽。

两次降水过程均有东南风将南海水汽输送到四川盆地,水汽通量高值几乎相等。第一次降水过程中水汽输送到成都上空,第二次降水过程中在四川盆地出现的水汽通量高值中心范围更广,但是未在成都上空。

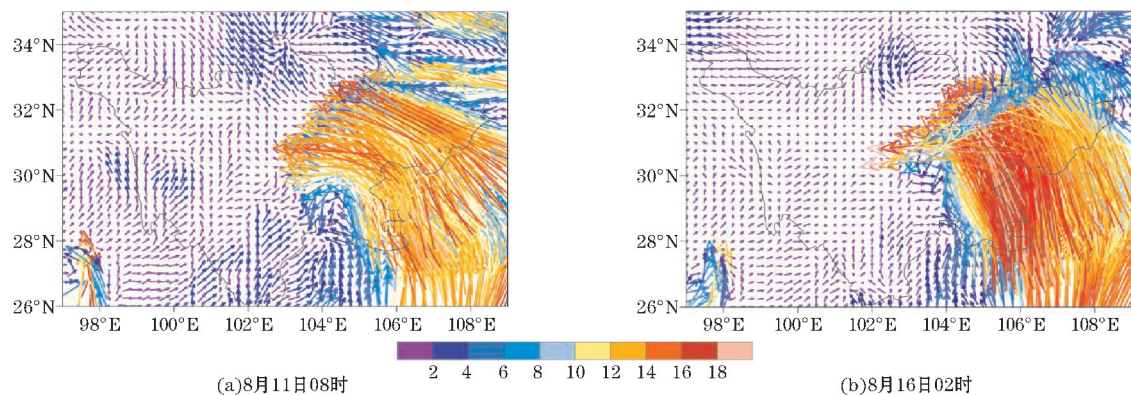


图 3 两次降水过程发生时整层水汽通量和 850 hPa 风场的空间分布图

3.1.2 水汽通量散度

图 4 为两次降水过程发生时 850 hPa 水汽通量散度图。11 日 02 时,成都地区东北部有一个大范围负值辐合区;11 日 08 时(图 4a),成都地区东部负值区范围扩大、强度增大,水汽汇集能力增强,为第一次强降水过程提供充足的水汽条件;11 日 14 时,成都地区北部负值水汽汇集区东移,同时雨区逐渐东移;11 日 20 时,负值区域南移,中心强度仍然不变,成都地区有水汽累积,四周正值区域辐散能力减弱。

第二次降水过程,15 日 20 时,850 hPa 成都地区

东北部有一个高强度负值辐合区,东部地区和西北地区为负值;16 日 02 时(图 4b),四川西部负值区增强,范围扩大、强度增强,水汽汇集能力增强;16 日 08 时,成都地区西部负值中心强度和范围不变,此时降水量达到最大值;16 日 14 时成都地区负值区域范围缩小。

两次降水过程都始于成都地区东北部水汽通量散度辐合带,第一次降水过程终止于负值复合区向东南方向的转移,第二次降水终止于负值合区范围和强度的减小。在两次强降水过程中(达到峰值前后),水汽通量和水汽通量散度与降水大值区空间分布一致。

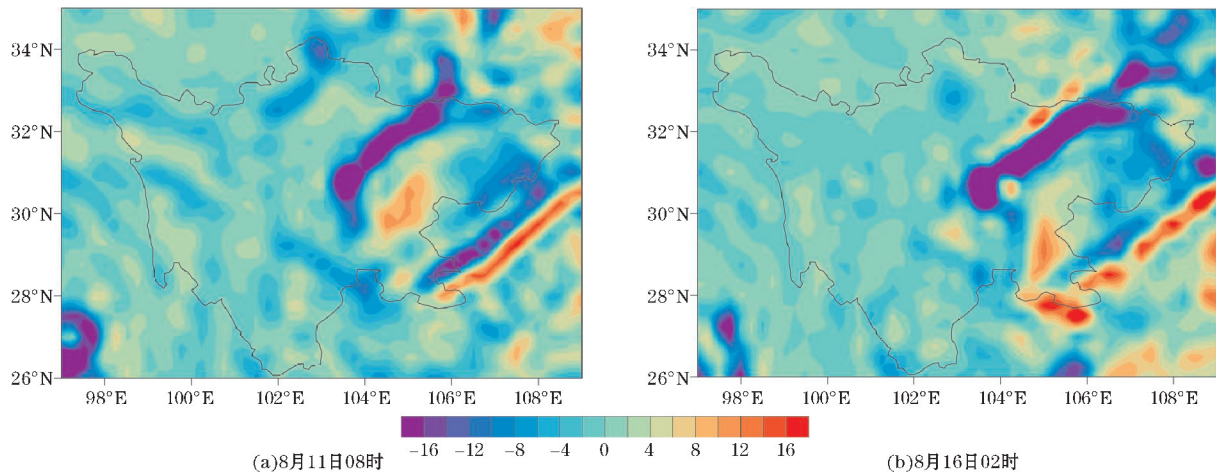


图 4 两次降水过程发生时 850 hPa 水汽通量散度图

3.2 动力条件

3.2.1 涡度

图 5 为两次降水过程沿温江站(30.75°N, 103.87°E)的涡度纬向剖面图。第一次降水过程,11 日 02 时,中低层以下为正涡度,其以上为负涡度控制,中高层受强度逐渐增强的负涡度控制,呈反气旋;08 时,成都中部中高层已有正涡度活动,强度是  $19 \times 10^{-5}/s$ ;14 时(图 5a),中部正涡度东移至成都东部,250 hPa 以下受中心强度为  $23 \times 10^{-5}/s$  的正涡度控制,正涡度区高度上升至 100 hPa,高层依然有负涡度,中心强度减弱为-

$11 \times 10^{-5}/s$ ,在正涡度中心强度逐渐增大的过程中,成都地区的雨量不断增加,此时垂直涡度分布状态为暴雨提供了良好的条件;11 日 20 时,正涡度区减弱东移,此时 400 hPa 以下有东西两个正涡度区,高层受到负涡度区控制,逐渐取代正涡度,未来降水趋势减小。

第二次降水过程,15 日 20 时,中低层受正涡度控制,高层受负涡度控制;16 日 02 时成都东部低层开始出现强烈的正涡度活动,但四周仍受较强的负涡度控制,正涡度强度和范围持续增大,成都累积降水量不断攀升;08 时(图 5b)中部正涡度东移至成都上空,150 hPa 以上受负涡度控制,150 hPa 以下成都上空受正涡度控



制,中心强度为  $23\times10^{-5}/\text{s}$ ,此时降水达到峰值;16日14时,正涡度区减弱且分散,占据成都上空、四川东部及南部地区,对应地区降水有逐渐减弱的趋势。

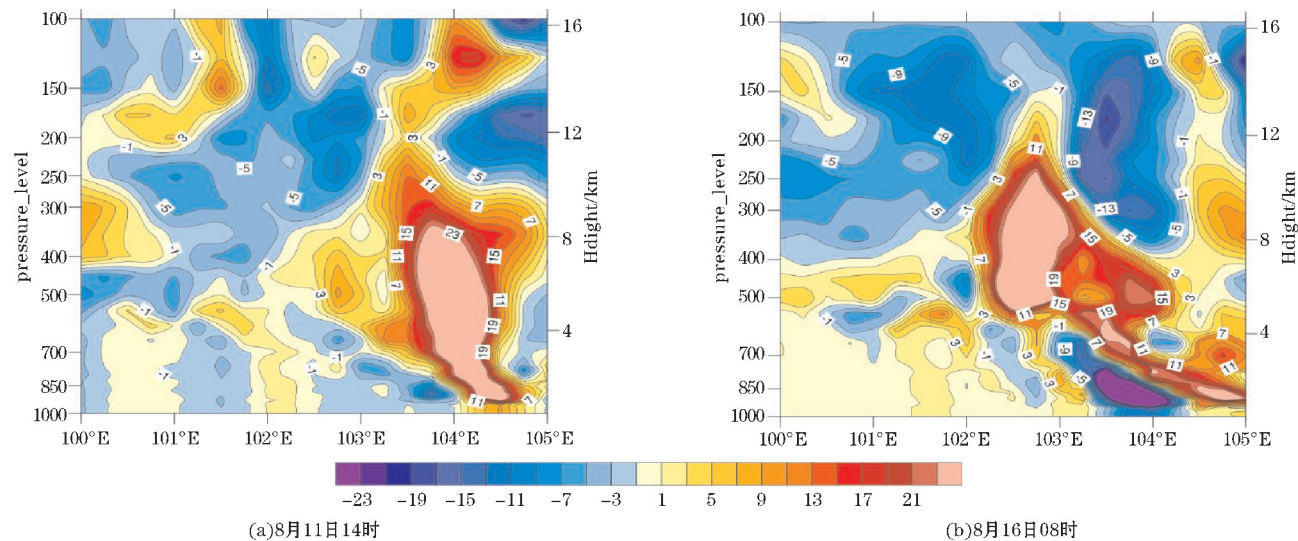


图5 两次降水过程发生时涡度沿 103.87 °E 纬向-垂直剖面图

### 3.2.2 散度

图6为两降水过程中沿温江站(30.75°N, 103.87°E)散度的纬向剖面图。第一次降水过程,11日02时低层为正散度控制,中层受负散度控制,高层受中心强度为正散度控制,成都东部中高层和低层有正散度活动,并发展东移;08时(图6a)成都中低层受中心强度为  $-23\times10^{-5}/\text{s}$  的负散度控制,中高层受强度为  $23\times10^{-5}/\text{s}$  正散度控制,高层受成都东部中心强度为  $23\times10^{-5}/\text{s}$  的正散度控制,此时降水增加;14时成都低层有负散度活动,中高层有正散度活动并发展东移,东移过程中成都持续暴雨;11日20时700 hPa以下受中心强度为  $-23\times10^{-5}/\text{s}$  的负散度控制,其上受中心强度为  $23\times10^{-5}/\text{s}$  的正散度控制,低层有正散度取代辐散度的趋势。

第一次降水过程涡度的高值中心范围更广,持续时间更长,主要在成都东南方向发展。第二次降水涡度正值区范围更广,覆盖成都上空。

在第二次降水过程中,15日20时成都同时受到高层负值和低层正值的控制;16日02时(图6b)成都中低层受中心强度为  $-23\times10^{-5}/\text{s}$  的负散度控制,中高层受强度为  $23\times10^{-5}/\text{s}$  正散度控制,高层受成都东部中心强度为  $23\times10^{-5}/\text{s}$  的正散度控制,此时降水增加;08时成都低层有负散度活动,中高层有正散度活动并发展东移,所以暴雨雨区也逐渐转移;14时700 hPa以下受中心强度为  $-23\times10^{-5}/\text{s}$  的负散度控制,其上受中心强度为  $23\times10^{-5}/\text{s}$  的正散度控制,低层有正散度取代辐散度的趋势。

涡度和散度垂直剖面图反映出,在降水过程中西南涡东移且不断发展,在其涡度正值中心和散度负值中心共同作用下,成都地区上空低层辐合、高层辐散,有利于大气的上升运动和对流发展。

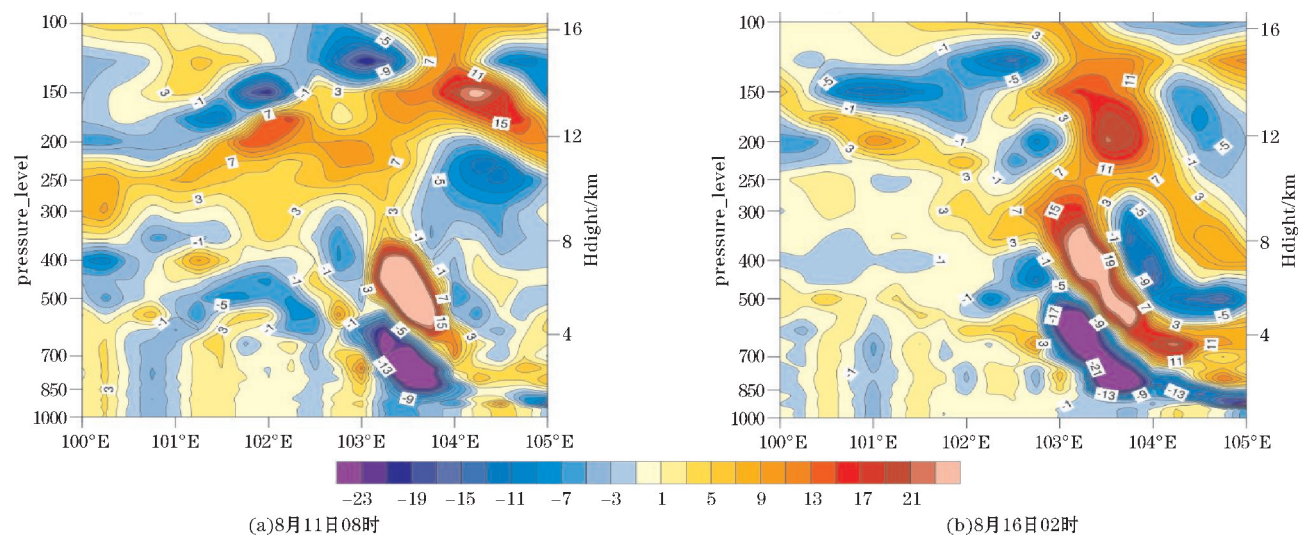
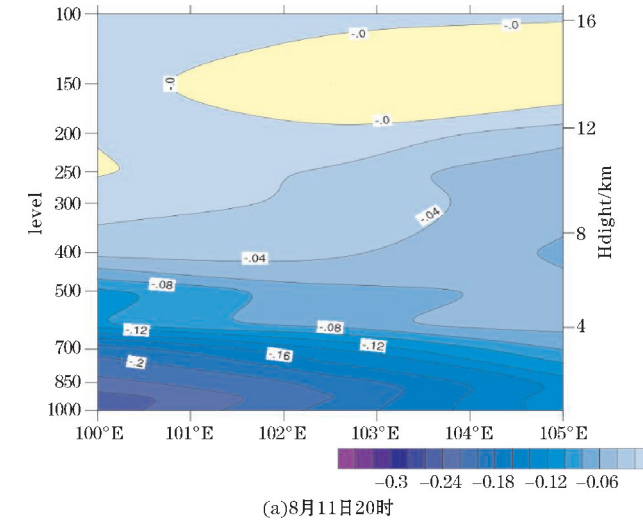


图6 两次降水过程发生时散度沿 103.87 °E 纬向-垂直剖面图

3.2.3 垂直速度

图 7 为两次降水过程沿温江站 ( 30.75 °N , 103.87 °E)垂直速度的纬向剖面。第一次降水过程, 11 日 02 时成都地区受负值区控制,成都地区上空受强烈的上升运动影响,便于高空输送水汽;11 日 08 时成都上空 250 hPa 以下受负值区控制,上升运动有所加强;在中高层有弱的下沉运动,中心强度为 0.05 Pa/s,成都地区低层到中层处于强烈上升运动,高层处于弱的下沉运动,这时降水强度有所增加,对应 11 日白天的暴雨;11 日 14 时成都上空负值区东西影响范围扩大,上升运动继续加强。11 日 20 时(图 7a),负值区东西影响范围减弱,中心强度减弱至-0.24 Pa/s。



第二次降水过程,15 日 20 时成都地区主要受负值区控制,负值中心强度为-0.20 Pa/s,成都地区上空有强烈的上升运动。东部边缘出现正值区;16 日 02 时中负值区范围和强度基本没变,正值区范围缩小,存在于成都上空低层和成都东部上空高层;16 日 08 时成都上空负值区影响范围扩大,中心强度保持不变,正值区范围再次缩小,仅余成都东部上空中层区。16 日 14 时(图 7b)负值区持续增强并扩大,占领成都上空,在低层出现值为-0.32 Pa/s 的强度中心。

对比而言,第一次降水过程中负值区范围更广,持续时间更强。

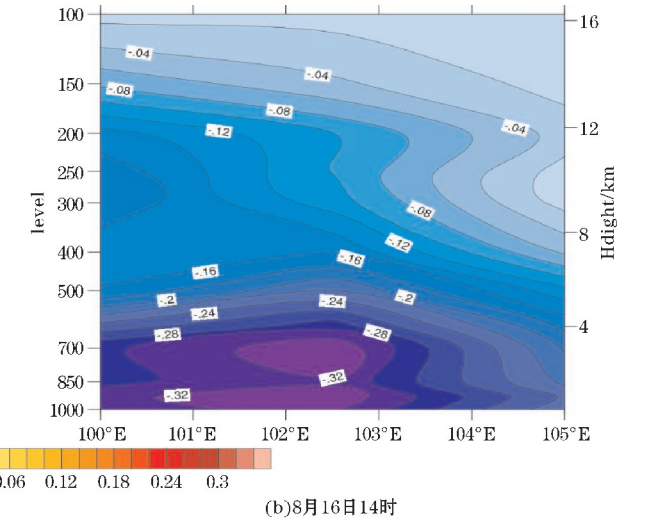


图 7 两次降水过程发生时垂直速度沿 103.87 °E 纬向-垂直剖面图

3.3 不稳定能量与稳定指数

选取温江站(56187)作为分析对象。表 1 记录第一次降水过程各稳定指数值,第一次强降水过程从 10 日 08 时始,K 值持续大于 35 °C,说明大气处于极度不稳定状态,有成片雷暴现象。同时,沙氏指数较低,CAPE 值从 10 日 08 时开始增大,10 日 20 时到达顶峰 3165.3 J/kg,说明此时间段不稳定能量迅速积累,该地区垂直运动增强。此后,CAPE 值开始减小,能量迅速释放,11 日 20 时降低至 0 J/kg,此时降水减小。

表 1 温江站(56187)第一次降水过程各稳定指数值				
指数	10 日 08 时	10 日 20 时	11 日 08 时	11 日 20 时
K 指数/℃	35	43	43	40
SI 指数/℃	-1.23	-2.99	-1.82	-0.88
CAPE/(J/kg)	869.4	3165.3	140.1	0

表 2 记录第二次降水过程各稳定指数值,K 值持续大于 35 °C,18 日 08 时降至 33 °C,说明前期大气处于极度不稳定状态,有成片雷暴现象,后期转为分散雷暴。同时,沙氏指数较低,到 18 日 08 时有小幅度增

长,CAPE 值从 15 日 08 时开始增大,15 日 20 时到达 64.2 J/kg,16 日 08 时再次减少至 0 J/kg,此时间段不稳定能量是迅速积累又释放,该地区大气极度不稳定。此后,17 日 08 时 CAPE 值开始增大,17 日 20 时到达 353.5 J/kg,能量迅速释放,18 日 08 时降低至 11.5 J/kg,雨量变小。

表 2 温江站(56187)第二次降水过程各稳定指数值				
指数	15 日 20 时	16 日 08 时	17 日 20 时	18 日 08 时
K 指数/℃	39	39	41	33
SI 指数/℃	-0.12	-0.65	-2.18	3.79
CAPE/(J/kg)	64.2	0	353.5	11.5

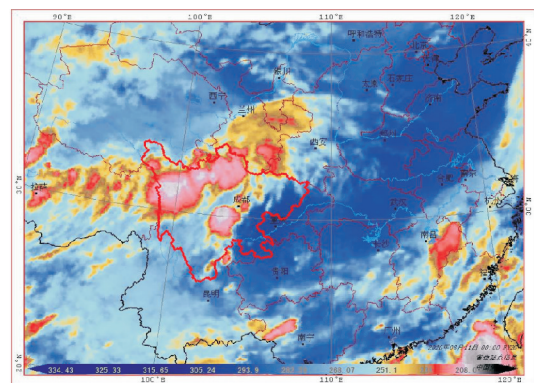
4 卫星云图分析

云图可以反应某时刻云的状态<sup>[15]</sup>。图 8 为 8 月 11 日 00 时-16 日 09 时 FY-2G 红外云图。

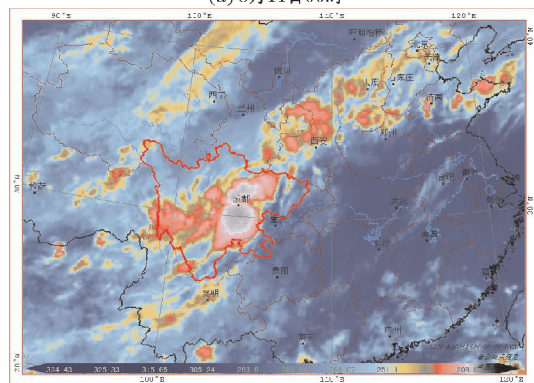
第一次降水过程,从 8 月 11 日红外云图资料随时间的演变可以看出,00 时(图 8a)青海—甘肃—四川—西藏有一断裂云系,四川盆地西部有强对流云团,成都



西南方有一雷暴云团;08时(图8b),随着高原低值系统东移,对流单体在东移的过程中明显北抬且加强,正值成都地区上空,由于锋前上升气流使成都上空的大气层结越来越不稳定,此时对流云单体发展非常强盛,对应云顶亮温 $TBB < 200\text{ K}$ ,云顶高度高,垂直运动和对流活动旺盛;14时云系变浅变薄,降水强度相对减弱,但成都地区仍然明亮;11日21时,云系南移,降水强度减弱。



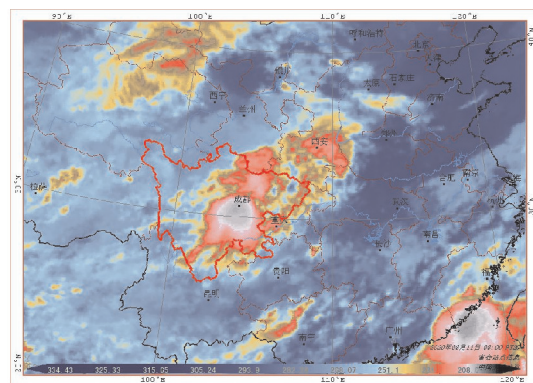
(a) 8月11日00时



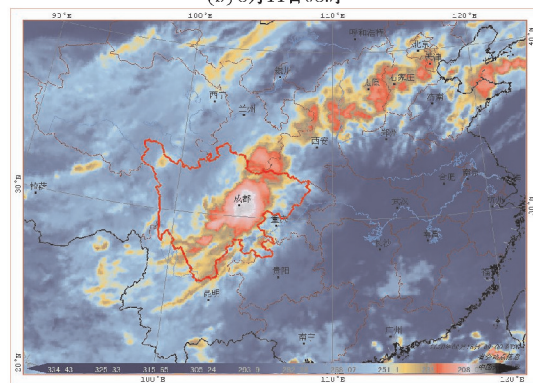
(c) 8月16日02时

其云图演变进一步揭示了中小尺度系统的发生发展。

第二次降水过程,在8月16日02–22时红外云图中,河北—山西—陕西—四川—云南呈现断裂云系。02时(图8c)和09时(图8d)图中成都处涡旋和雷暴云团都较为清晰,与发生强降水的时间吻合;16日16时云系东移过境,降水强度相对减弱;此后,22时锋面云系继续东移,降水强度持续减弱。



(b) 8月11日08时



(d) 8月16日09时

图8 8月11日00时–16日09时红外云图

在两次降水过程中山西—陕西—四川为一条宽的水汽带,四川盆地上空色调偏白,表示大气中水汽含量充沛。水汽带东南有一大片暗区或是不稳定云系。成都地区色调最明亮,有一强大的雷暴云团。

## 5 结论

对2020年8月中旬(10–20日)发生在成都地区的两次强降水过程的环流形势、物理量和卫星云图进行诊断分析,得出以下结论。

(1)此次暴雨天气出现的主要因素有4个:一是西太平洋副热带高压系统加强西进,为四川盆地输送持续的暖湿空气;二是水汽源源不断地自高原低值系统向四川盆地东移;三是低空急流在一定时间内持续加强;最后,由于四川盆地西部丘陵地带众多,气流被迫抬升,有利于降水机制。第一次降水过程停止后,8月15日夜间至8月16日清晨,受西南涡和北方冷空气共同作用,成都经历第二次强降水过程。通过比较,

两次降水过程的形成均受到西南涡的影响,但第一次降水过程西南涡中心途经成都,故受到影响范围更广,降水强度更大。同时,第一次降水所接收的水汽含量更多,水汽通量更大,加强了上升运动,有利于降水的发生和维持。

(2)低层(850 hPa)水汽通量数值较大,大量水汽在成都地区汇集。水汽通量散度辐合中心控制成都地区东部,成都地区西部出现强降水天气。通过分析温江站稳定指数,成都上空大气不稳定能量较高,为强降水积蓄了不稳定能量,同时在降水过程中成都上空550 hPa以下假相当位温分布随高度增加而减小,验证了该地区大气处于不稳定状态;中尺度系统西南涡作为此次暴雨的直接原因之一,在降水过程中东移且不断发展,在其涡度正值中心和散度负值中心共同作用下,成都地区上空低层辐合、高层辐散,有利于大气的上升运动和对流发展;成都上空垂直上升运动强烈,有利于水汽向高空输送。所以,较高的水汽通量、较强的上升运动有利于强降水的形成和发展。

(3)成都上空水汽含量充足,随着高原低值系统的逐渐东移,云系分裂形成的对流云诱发第一次降水过程,西南涡对应的涡旋云系分裂出对流单体东移,出现了第二次降水。分裂的对流云系显示,西南涡旺盛阶段对应降水强度最大时段。

## 参考文献:

- [1] 宋雯雯,唐钱奎. 2006-2015年成都市区域性暴雨统计分析及其大尺度环流背景[J]. 高原山地气象研究,2017(1):19-24.
- [2] 康延臻. 太行山及以东邻近地区典型强降水过程的成因和中尺度特征研究[D]. 兰州:兰州大学,2020.
- [3] 肖洪郁,郁淑华. 副高活动与四川暴雨[J]. 四川气象,2003,23(2):2-12.
- [4] 蒋淑艺,王伟,任晓玥,等. 2016年华南地区一次持续性异常降水过程分析[J]. 成都信息工程大学学报,2021,36(2):198-205.
- [5] 王佳津,张琪,张涛,等. 成都两次暴雨期间风廓线雷达观测的低空风场特征[J]. 干旱气象,2021,39(1):87-95.
- [6] 唐沛,袁静,王俊骅,等. 四川省两次区域性寒潮天气过程对比分析[J]. 高原山地气象研究,2020,40(4):53-59.
- [7] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [8] 缪强. 青藏高原天气系统与背风坡浅薄天气系统耦合相互作用的特征分析[J]. 四川气象,1999,19(3):18-22.
- [9] 刘金卿,刘红武,徐靖宇. 西南涡引发的强对流天气特征[J]. 高原气象,2021,40(3):525-534.
- [10] 邓承之,赵宇,孔凡铀,等. “6·30”川渝特大暴雨过程中西南低涡发展机制模拟分析[J]. 高原气象,2021,40(1):85-97.
- [11] 吴志鹏,李跃清,李晓岚,等. WRF模式边界层参数化方案对川渝盆地西南涡降水模拟的影响[J]. 大气科学,2021,45(1):58-72.
- [12] 柳艳菊,丁一汇,张颖娴,等. 季风暖湿输送带与北方冷空气对“7·21”暴雨的作用[J]. 热带气象学报,2015,31(6):721-732.
- [13] 成都年鉴社. 成都年鉴[M]. 成都:成都出版社,2020.
- [14] 姚颖,赵夏菁. 成都地区2015年8月16日暴雨过程分析[J]. 科技创新与应用,2016(17):16-18.
- [15] 李昕翼,蒋玥,李国平. 成都一次有西南涡参与的区域性暴雨天气过程分析[J]. 成都信息工程学院学报,2014(S1):129-135.

## Synoptic Analysis of the Process of Heavy Precipitation in Chengdu in Mid-August 2020

YANG Ruou<sup>1</sup>, ZHANG Yongli<sup>1</sup>, YANG kangquan<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China; 2. Sichuan Meteorological Observatory/Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** To investigate the causes of the development of heavy precipitation in Chengdu and to improve meteorological disaster prevention and mitigation, this study uses conventional observation data, US National Centers for Environmental Prediction and European Data Center reanalysis data to investigate the precipitation reality, circulation characteristics and physical quantity fields of the heavy precipitation process in Chengdu from August 10-20, 2020. The results show that: (1) the heavy precipitation process is divided into two times. The main causes of the first precipitation process are the westward movement of subtropical high pressure; the weakening and eastward movement of the plateau low value system; and the strengthening of the low-level rapid. The main causes of the second precipitation process are the development of the southwest vortex and the invasion of cold air from the north. By comparison, the formation of the two precipitation processes was affected by the Southwest Vortex, but the center of the Southwest Vortex in the first precipitation process passed through Chengdu. Thus, the affected area was wider and the precipitation intensity was greater. (2) The analysis of physical quantities such as water vapor flux, stability index and pseudo-equivalent potential temperature reveals that they act together in the precipitation process and are in good agreement with the precipitation activity. (3) Satellite cloud maps show that cloud development and water vapor content play a crucial role in the precipitation process. This weather analysis will provide a reference for future intense precipitation phenomena of similar weather systems.

**Keywords:** heavy precipitation; southwest vortex; physical quantities; water vapor transportation