

贵州铜仁一次区域性暴雨天气过程分析

张李娟^{1*}, 杨 群¹, 兰世敏², 徐大红^{1#}, 舒奕菲¹

¹贵州省铜仁市气象局, 贵州 铜仁

²贵州省石阡县气象局, 贵州 铜仁

收稿日期: 2023年8月9日; 录用日期: 2023年9月8日; 发布日期: 2023年9月18日

摘 要

利用铜仁市区域自动站资料、Micaps常规观测资料、NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、FY2E卫星云图资料、雷达回波资料等对2019年8月28日~29日铜仁市一次中级区域性暴雨过程的环流形势、水汽、动力及能量条件进行分析, 并对数值预报的降水预报进行检验。结果表明: 此次暴雨过程是由中低层低涡切变、冷空气、台风外围偏东急流及地面辐合线相互耦合而形成; 暴雨区水汽辐合明显, 铜仁市上空为正涡度区和强烈的垂直上升运动, 为暴雨的形成提供了有利的条件; 地形造成的近地面气旋性辐合及垂直上升运动, 对本次暴雨过程的形成起到重要作用; “上干冷、下暖湿”的不稳定层结、强热力不稳定、一定强度的垂直风切变等条件, 为此次强对流天气的出现提供了有利能量条件。EC及中央台的降水预报对于此次强降水过程具有一定的指示意义, 但降水量级预报略偏小, 降水落区比实况稍偏北。

关键词

暴雨, 环流形势, 物理量, 数值预报检验

Analysis of a Regional Rainstorm Weather Process in Tongren, Guizhou

Lijuan Zhang^{1*}, Qun Yang¹, Shimin Lan², Dahong Xu^{1#}, Yifei Shu¹

¹Meteorological Bureau of Tongren, Tongren Guizhou

²Meteorological Bureau of Shiqian, Tongren Guizhou

Received: Aug. 9th, 2023; accepted: Sep. 8th, 2023; published: Sep. 18th, 2023

Abstract

The circulation situation, water vapor, power and energy conditions of a medium-level regional

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张李娟, 杨群, 兰世敏, 徐大红, 舒奕菲. 贵州铜仁一次区域性暴雨天气过程分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(5): 885-895. DOI: 10.12677/ccrl.2023.125091

rainstorm process in Tongren City on August 28~29, 2019 were analyzed by using the data of the regional automatic station in Tongren City, the conventional observation data of Micaps, the $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data of NCEP/NCAR, the data of FY2E satellite cloud image, and the radar echo data, and the precipitation forecast predicted by numerical prediction was tested. The results show that the rainstorm process is formed by the coupling of low- and medium-level low vortex shear, cold air, easterly jet stream and ground convergence line in the periphery of typhoon. The water vapor convergence in the rainstorm area is obvious, and the sky above Tongren City is a positive vorticity area and a strong vertical upward movement, which provides favorable conditions for the formation of heavy rainfall. The near-ground cyclonic convergence and vertical upward movement caused by the terrain played an important role in the formation of this rainstorm process. The unstable layering, strong thermal instability, and vertical wind shear of a certain intensity of "dry and cold at the top, warm and wet at the bottom" provide favorable energy conditions for the emergence of strong convective weather. The precipitation forecasts of EC and Central Observatory have certain indicative significance for the heavy precipitation process, but the precipitation level forecast is slightly smaller, and the precipitation falling area is slightly northerly than the actual situation.

Keywords

Rainstorm, Circulation Situation, Physical Quantity, Numerical Prediction Test

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

铜仁市地处贵州省东北部, 位于东经 $107^\circ 45' \sim 109^\circ 30'$ 、北纬 $27^\circ 07' \sim 29^\circ 05'$ 之间。近年来铜仁市频发暴雨灾害。铜仁市气候概况中指出铜仁市 1995 年 6 月 29 日 20 时到 7 月 1 日 20 时, 铜仁市东部的铜仁市区(碧江)、江口县、松桃县、万山、玉屏县降特大暴雨, 江口县连续 2 日的累计雨量达 436.6 mm, 是该县历史极大值, 成为全省最大值, 暴雨造成河水陡涨, 县城被淹。2011 年 9 月 17 日 19 时到 18 日 08 时, 受北方强冷空气南下影响, 铜仁市出现了大范围的降温降水天气, 其中梵净山周边的江口县北部、松桃西部、印江西部分出现了局地对流性大暴雨以上的强降水天气。导致印江朗溪河、江口太平河和松桃小江河上游水位猛涨, 造成沿岸居民房屋进水, 部分房屋被冲毁, 部分田土被淹, 损失较为严重。由于铜仁市, 处于云贵高原向湘西丘陵过度的斜坡地带, 容易触发局地强对流性天气发生, 暴雨落区预报难度较大, 因此暴雨一直是预报的难点和公众关注的热点。前人对暴雨、强降水成因及特征已有大量研究[1]-[10], 根据本地暴雨特征及台风暴雨天气过程特有形势, 杨群[1]对 2005~2014 年中多次暴雨天气过程的环流型特点及物理量特征, 对流云团的生消演变进行分析, 得出分季节暴雨典型环流模型及预报着眼点, 建立铜仁市分季节暴雨发物理诊断预报模型及落区判断概率模型。龙园[2]等对贵州中西部地区一次台风暴雨天气过程进行诊断分析, 可知台风云系对降水有所影响, 台风云系带来的深厚湿层与暖湿气流沿地形抬升的动力作用使得累积的不稳定能量得到释放, 对暴雨天气过程带来一定的有利条件。本文利用铜仁市区域自动站资料、Micaps 常规观测资料、NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、FY2E 卫星云图资料、雷达回波资料等对 2019 年 8 月 28 日~29 日铜仁市一次中级区域性暴雨过程的环流形势、水汽条件、动力条件及能量条件进行分析, 并对数值预报的降水预报进行检验。从而为日常暴雨的预报提供参考, 以减少暴雨灾害带来的损失。

2. 降水概况

2019年8月28日铜仁市出现区域性暴雨天气。强降雨主要集中在8月28日20时~22时,统计8月28日08时~29日08时降雨量(单位: mm),全市共出现23站大暴雨(主要集中在江口县,铜仁市西北部的沿河县、德江县有个别站);91站暴雨(主要分布在铜仁市西北部、梵净山东、南部);106站大雨;102站中雨;37站小雨。最大降雨量为江口孟家屯179.5 mm,最大小雨强为江口快场77.8 mm。具体累计雨量分布(图1(a)),由孟家屯小时雨强演变(图1(b))可见,强降水主要集中在在28日20时至23时,3小时累积雨量达152.6 mm,其每小时降雨量均在35 mm以上,1小时最大降雨量达72.6 mm,29日00时以后降水减弱,到29日08时降水过程基本结束。沿河西部至德江西部的暴雨主要集中在28日20时至29日04时。

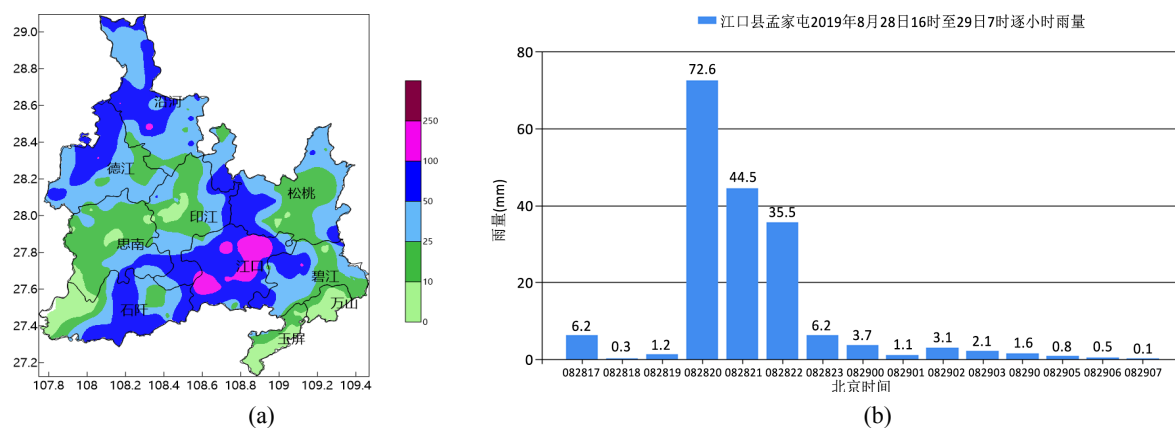


Figure 1. Rainfall distribution in Tongren area from 08:00 on August 28 to 08:00 on August 29, 2019 (a) and hourly rainfall at Mengjiatun Station from 16:00 on the 28th to 07:00 on the 29th (b) (Unit: mm)

图 1. 2019 年 8 月 28 日 08 时至 29 日 08 时铜仁地区降雨量分布图(a)及 28 日 16 时至 29 日 07 时孟家屯站的逐小时雨量(b) (单位: mm)

3. 暴雨成因分析

天气尺度系统背景分析

8月28日08时(图略): 500 hPa 高空槽中高纬维持两槽一脊形势, 经向环流明显, 高空低涡位于内蒙古东北部, 铜仁市受副热带高压北侧的西南气流影响; 700 hPa 在四川东北部有一个低涡, 位于四川东北-重庆北部一带有低涡切变, 铜仁市受西南气流影响, 我市西部、北部处于湿区; 850 hPa 重庆中部-贵州中北-贵州东北一带有低涡切变, 低涡中心位于重庆中部, 铜仁市处于湿区; 地面图上, 贵州受热低压控制, 有能量的积聚。总的来看, 从上到下, 铜仁市均处于高温高湿的区域, 利于能量的积聚, 有利于强对流天气发生。

8月28日20时(图2(a)): 高空低涡维持在内蒙古东北部, 500 hPa 副高稍有西伸, 铜仁受高空槽后西北气流影响, 台风倒槽位于广东西部-广西东部一带; 700 hPa 在重庆中北部有一个低涡, 低涡切变南压至重庆中北部-贵州东北边缘-湖南中西部一带, 铜仁市受西北气流影响, 台风外围的东南急流在广东南部-海南一带, 铜仁处在湿区中; 850 hPa 切变在维持重庆中部-铜仁中西部-遵义西南-贵阳一带, 铜仁处于湿区中; 地面图上, 冷空气逐步南下开始进入我省境内, 省东部、西部受冷空气影响。地面辐合线移至铜仁中南部-遵义-贵阳一带, 铜仁市中南部有明显的中尺度辐合线影响, 有利于强对流天气在地面辐合线附近发生。

8月29日08时(图2(b)): 500 hPa 副高减弱, 但仍受高压控制, 高空槽东移减弱, 台风倒槽西移至广西中部; 700 hPa 切变线北抬, 移出铜仁, 我市受偏北气流影响; 850 hPa 切变线东移至铜仁东部, 铜仁市西部、北部受切变北部偏北气流影响, 东南部受东南气流影响; 地面上, 地面辐合线移出贵州。

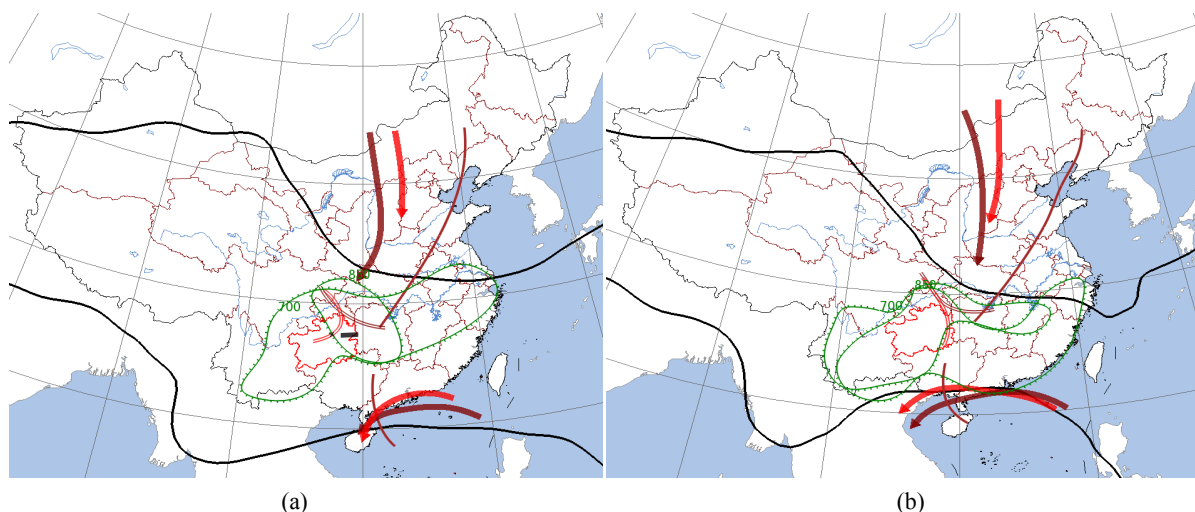


Figure 2. The analysis of meso-scale environmental field at 20:00 on August 28, 2019 (a), 08:00 August 29, 2019 (b)
图 2. 2019 年 8 月 28 日 20 时(a)、8 月 29 日 08 时(b)中尺度环境场分析

4. 物理量诊断分析

4.1. 水汽条件

暴雨的产生需要本地上空有大量的水汽和源源不断的水汽输送。从水汽通量散度场(图 3)可以看出, 28 日 14 时 850 hPa (图 3(a))铜仁市西北部有一个水汽辐合中心, 强度为 $-120 \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 铜仁中西部均为水汽辐合区域; 28 日 20 时 850 hPa (图 3(b))铜仁市西部有一个水汽辐合中心, 强度均达 $-120 \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$, 铜仁市范围内均为水汽辐合区, 且水汽辐合程度增强。说明水汽在我市上空大量堆积, 为这次降水过程提供了较好的水汽条件。

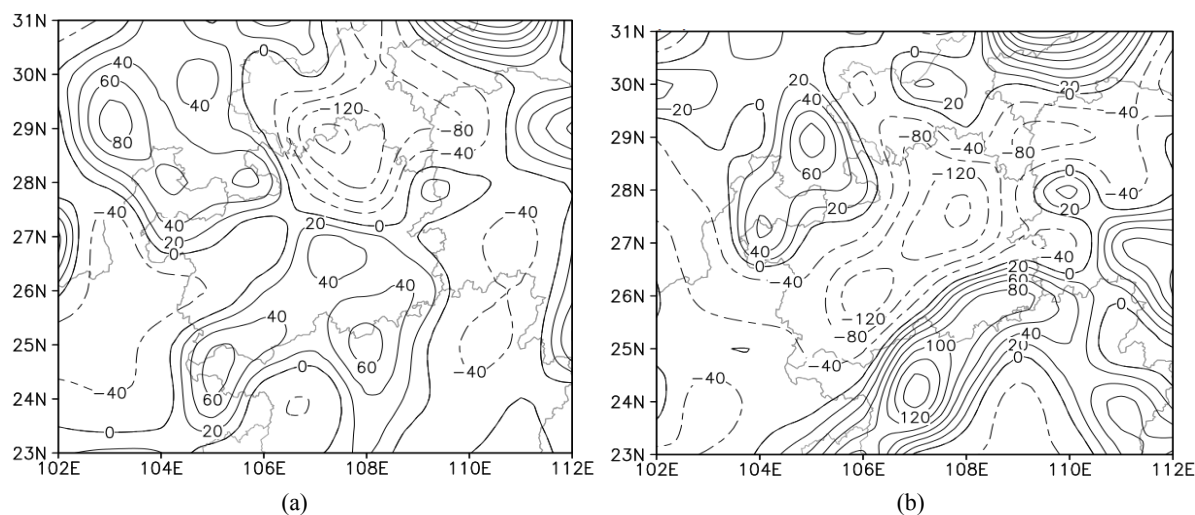


Figure 3. The water vapor flux divergence (Unit: $10^{-2} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) on 850 hPa at 14:00 (a), 20:00 (b) on August 28, 2019
图 3. 2019 年 8 月 28 日 14 时(a)、20 时(b) 850 hPa 水汽通量散度(单位: $10^{-2} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)

4.2. 能量条件

假相当位温 θ_{se} 分布反映了大气能量的分布, θ_{se} 值越大则说明高温高湿, 等值线的密集区为能量锋区。从 28 日 14 时剖面图上(图 4)可以看到, 28°N 附近高层为东北风与西南风的切变, 700~500 hPa 之间受偏西风控制, 铜仁自北向南存在高能舌区, 中心值达 360 K, 属于一个高能中心; 28 日 20 时剖面图, 铜仁市上空中层 500 hPa 为偏西风控制, 800~600 hPa 之间转成西北或偏北风, 低层受东北风控制, 风速增大, 有较强的垂直风切变, 铜仁仍然受高能区控制, 低层高能区整体稍有南移, 高能区强度最强达 358 K, 强降雨区上空存在能量锋区, 且在 900~600 hPa 之间 θ_{se} 随高度减小, 对流不稳定条件明显, 说明在中低层高温高湿的有利条件下, 暖湿气流强烈的辐合上升运动促进了不稳定能量的发展, 有利于形成降雨。

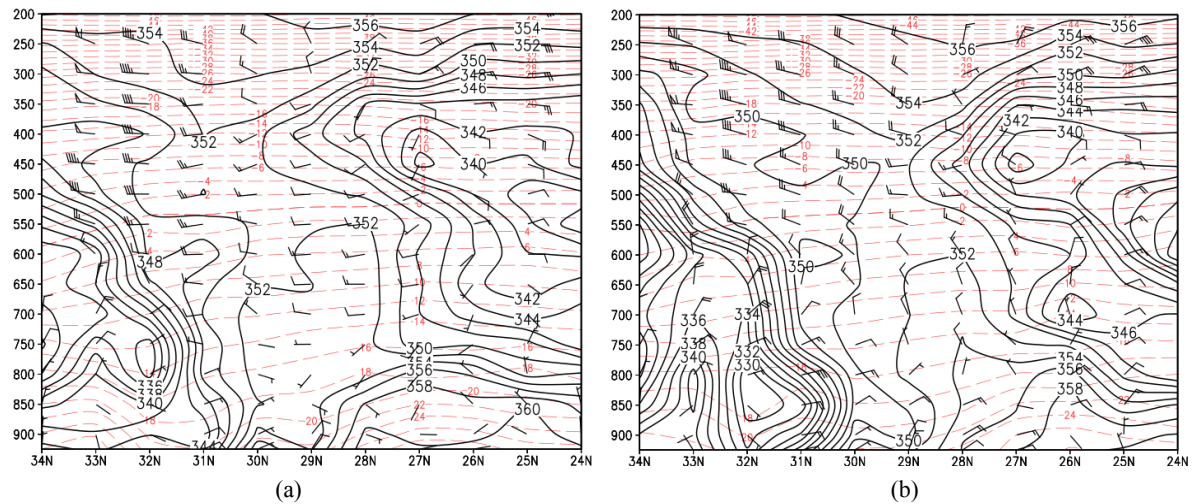


Figure 4. The cross-sections of θ_{se} (black contour, Unit: K), wind (stem, Unit: m/s) and temperature (red dotted line, Unit: °C) at 14:00 (a), 20:00 (b) on August 28, 2019

图 4. 2019 年 8 月 28 日 14 时(a)、20 时(b) θ_{se} (黑色等值线, 单位: K)、风场(风向杆, 单位: m/s)及温度(红色虚线, 单位: °C)剖面图

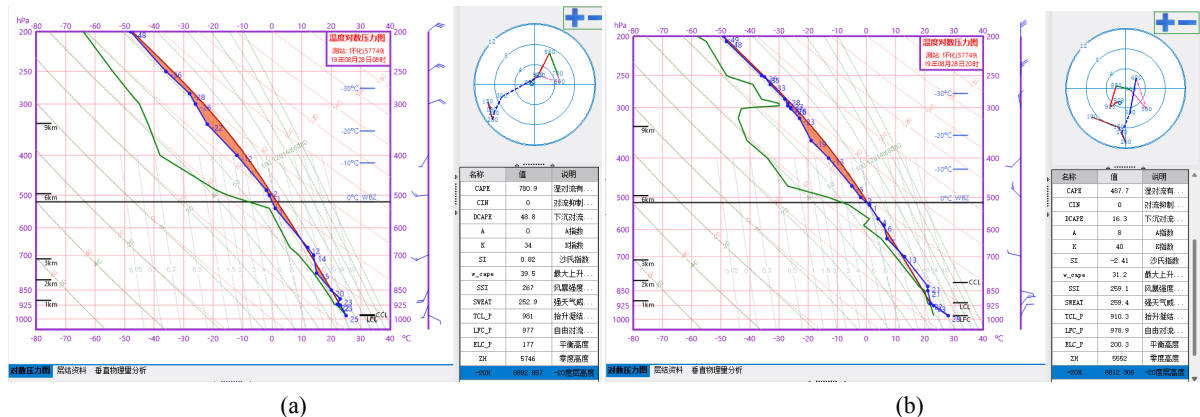


Figure 5. The radiosonde of Huaihua at 08:00 (a) and 20:00 (b) on August 28, 2019

图 5. 2019 年 8 月 28 日 08 时(a)、20 时(b)怀化探空图

4.3. 稳定度条件分析

铜仁离怀化探空站相对较近, 因此选取怀化探空资料进行诊断分析。2019 年 8 月 28 日 08 时怀化探空(图 5)所反映的环境场特征有以下特点: 1) 近地面层到 700 hPa, 条件不稳定特征明显; K 指数为

35.2℃, 沙氏指数为 0.16℃, 状态曲线和层结曲线之间的红色区域面积较大, 对流有效位能较强, 计算的 CAPE 值为 792.7 J/kg; 2) 700 hPa 以下相对湿度较大, 水汽接近饱和, 对流层高层到 500 hPa 附近有干空气卷入, 温湿层结曲线形成向上开口的喇叭形状, “上干冷、下暖湿”特征明显; 3) 中低层风速都较小, 风速随高度的变化也较小, 但 850 hPa 以下风向随高度升高顺转明显, 低层暖平流, 500 hPa 以上逆转, 高层冷平流, 湿层较深厚, 伸展到 700 hPa 附近。因此, 28 日 08 时怀化站的探空图所反映的中低层较厚的水汽饱和层、高层干空气的卷入、强热力不稳定、深厚的湿层等条件, 为暴雨的形成提供了水汽条件和热力、动力不稳定条件。到 28 日 20 时怀化探空 K 指数达到 39.6℃, 沙氏指数为 -2.38℃, 仍是“上干下湿”状态, 大气不稳定状态维持, CAPE 减小为 349.6 J/kg, 对流不稳定能量得到了释放, 对流降雨发生。

4.4. 动力条件

垂直运动即动力抬升条件, 在天气变化中有很重要的作用, 与大气中的凝结和降水过程有密切联系, 是造成暴雨的重要条件之一。在上升过程中, 大气中的不稳定能量, 特别是凝结潜热得以释放出来, 从而形成对流性天气; 垂直运动造成的水汽、热量、动量等物理量的垂直输送, 对天气系统的发展有很明显的反馈作用。分析 28 日 14 时~29 日 08 时垂直速度场剖面图(图 6)可知, 28 日 14 时, 在 28°N~29°N 附近上空存在一个 $-10 \times 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 上升运动中心, 主要上升运动区从近地面延伸高层, 整层上升运动较强, 29°N 两侧为下沉运动区, 说明铜仁市中北部具有强烈的垂直上升运动, 为暴雨的发生提供了有利的动力条件; 28 日 20 时, 27°N~29°N 附近上空大范围处于垂直运动上升区, 且在 29°N 附近上空存在一个 $-6 \times 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 上升运动中心, 主要上升运动区从近地面延伸至 500 hPa, 中低层上升运动强, 27°N 以南为下沉运动区, 对应切变南侧暖空气, 以北有冷空气南下, 冷暖空气在铜仁市交汇, 有利于降水发生。由此可见, 铜仁市上空均处于垂直运动上升区, 为暴雨的形成提供了有利的动力条件, 铜仁地区有降水发生, 雨强较大, 江口等地局地大暴雨。

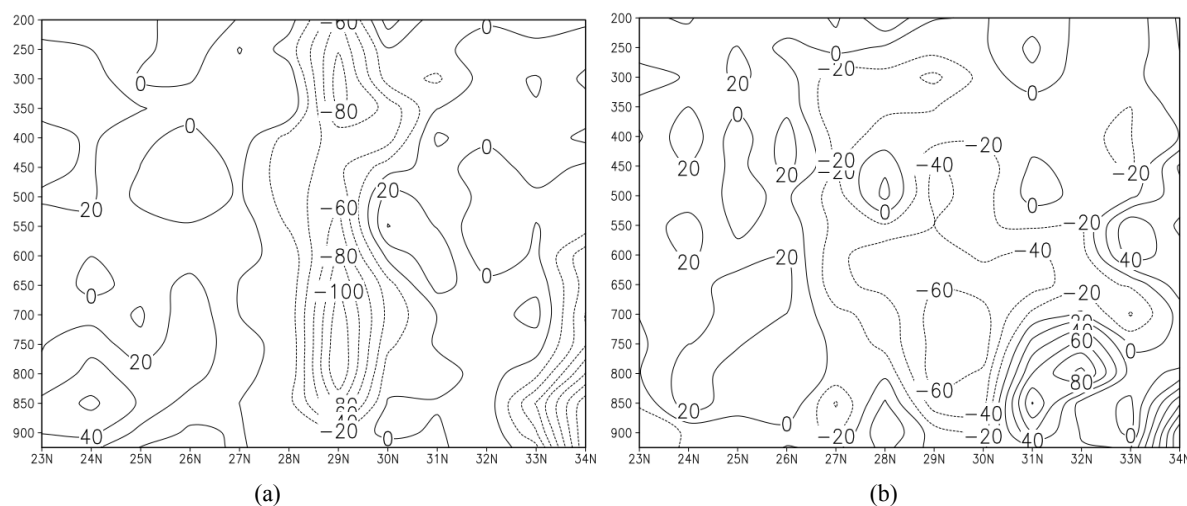


Figure 6. Vertical velocity profile at 14:00 (a) and 20:00 (b) on August 28, 2019

图 6. 2019 年 8 月 28 日 14 时(a)、20 时(b)垂直速度剖面图

由 850 hPa 涡度分布图(图 7)可知, 28 日 14 时, 遵义有一个强度为 6 的正涡度中心, 铜仁市西部处于正涡度区, 表现为辐合上升; 28 日 20 时, 铜仁地区的涡度有增大的趋势, 铜仁东部有一个强度为 6 的正涡度中心, 铜仁市均为正涡度, 辐合上升运动增强, 与强降水发生时段对应。

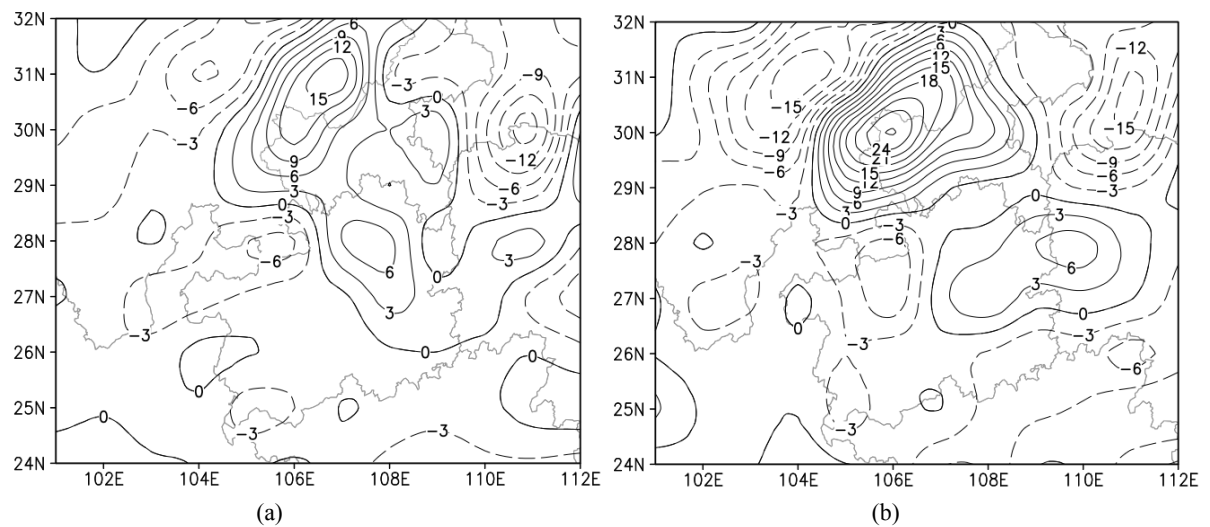


Figure 7. Distribution map of vorticity at 850 hPa at 14:00 (a) and 20:00 (b) on August 28, 2019

图 7. 2019 年 8 月 28 日 14 时(a)、20 时(b) 850 hPa 涡度分布图

4.5. 梵净山地形特征对暴雨的影响

梵净山位于贵州铜仁市的印江县、江口县、松桃县三县的交界处,为武陵山主峰,最高海拔 2572 米,具有明显的中亚热带山地季风气候特征。暴雨区与梵净山地形造成的辐合和抬升作用有很好的对应关系。由 28 日 20 时各区域站风场分布可见(图 8),此次天气过程,28 日 20 时在梵净山东南侧有明显的地形性气旋辐合,在辐合线右边风速为 2 m/s,而在辐合线左侧风速 7 m/s,风速明显增大,辐合线左侧出现局地强降水,20 时后强降水区域向辐合线区域移动,辐合中心降水最强,21 时江口东部孟家屯小时雨量达 72.6 mm。由此可见,当气流由东北和偏东流向梵净山,受梵净山的阻挡作用,在梵净山东侧迎风坡形成强迫抬升,引起强烈的辐合上升运动,导致梵净山东侧的降水明显增大,产生大暴雨。而在梵净山西侧背风坡,由于气流越过梵净山后在其西部为下沉气流,降水弱。

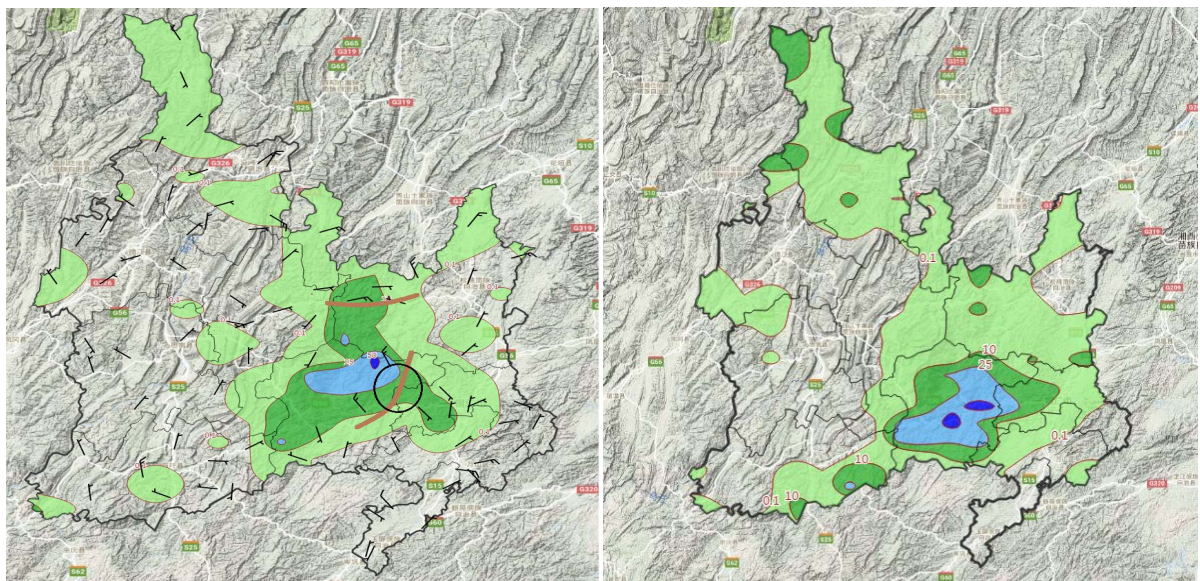


Figure 8. Map of wind field and hourly rainfall at 20:00 in Tongren, August 28, and hourly rainfall at 21:00

图 8. 铜仁 8 月 28 日 20 时风场及小时雨量、21 时小时雨量图

4.6. 卫星云图特征

从红外云图上可以看出(图 9), 28 日 18 时在重庆东部、湖北西部生成的对流云团逐步南压进入铜仁市北部沿河境内, 松桃境内有小范围对流云团; 19 时对流云团持续东移南压, 强度增强; 20 时再次南压增强, 在沿河北部云顶亮温达到 -66°C 左右, 松桃、印江、江口交界处云顶亮温达到 -63°C 左右, 导致孟家屯等地 1 小时雨量到 50 毫米以上; 21 时对流云团整体继续东移南压, 范围扩大, 沿河地区强度维持, 铜仁中东部地区强度继续增强, 云顶亮温达到 -66°C 左右; 22 时对流云团继续东移南压, 在铜仁范围内强度维持; 23 时云团略有减弱, 仍在铜仁地区维持; 29 日 0 时云团亮温强度继续减弱, 范围减小; 01 时对流云团逐渐消散, 转为小雨天气, 直至 08 时雨止转晴。

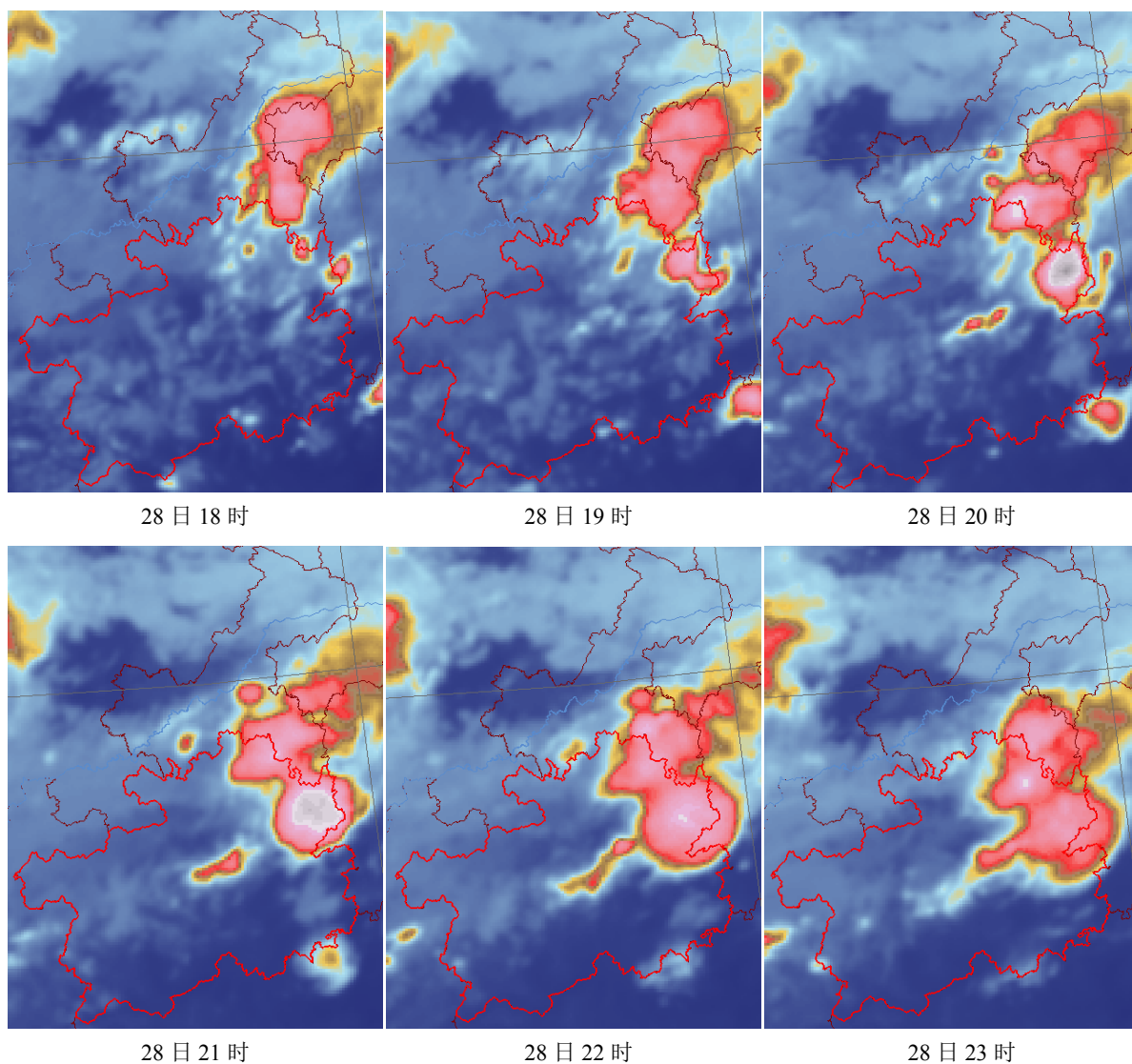


Figure 9. Satellite cloud image from 18:00 to 23:00 on August 28, 2019

图 9. 2019 年 8 月 28 日 18 时~23 时卫星云图

4.7. 雷达回波特征

多普勒雷达在短临监测和预报中起着至关重要的作用。从对应的雷达组合反射率因子回波(图 10)可

以看出, 28 日 17:31 (图略) 开始有对流回波进入铜仁市沿河县东南部、印江县东北部交界处, 最强回波强度达 45~50 dBZ, 松桃、印江、江口交界处有一块对流回波, 最强为 40~45 dBZ, 江口东部与碧江交界处有一块对流回波, 最强为 45~50 dBZ; 18:29 对流回波逐步东移南压增强, 松桃、印江、江口强回波中心分散, 强度维持在 40~45 dBZ, 位于碧江的对流回波范围扩大, 中心强度维持在 45~50 dBZ; 19:04 回波在梵净山东侧发展, 回波逐步呈条状, 中心强度为 45~50 dBZ, 开始出现降水; 19:27 回波在梵净山东侧增强, 条状回波东移南压, 沿着地面辐合线附近出现一条雨带, 最强小时雨强达 72.6 mm; 19:56 继续南压, 回波在江口碧江一带维持; 20:14 回波逐步东移分裂; 21:14 在江口境内分裂成两个强回波中心, 分别位于江口南北部; 到 21:58 (图略) 回波逐渐东移减弱; 23:08 (图略) 再次减弱。

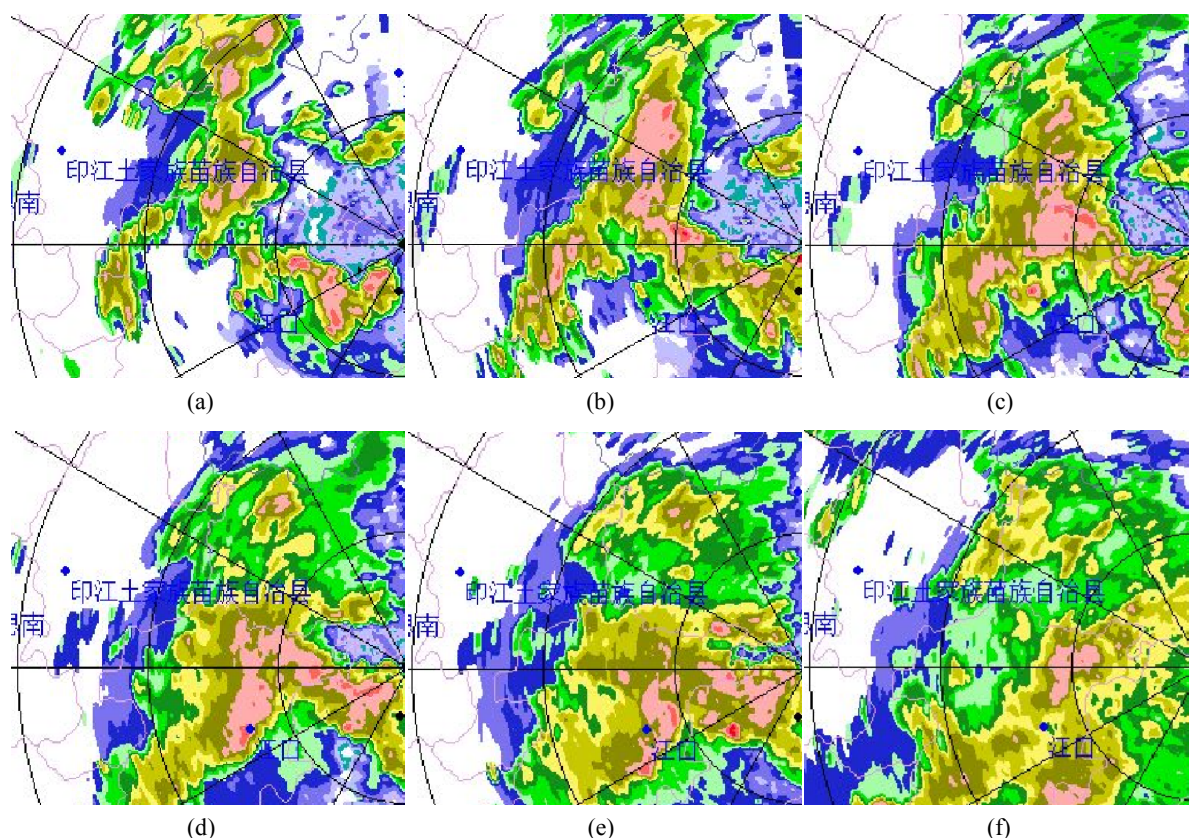


Figure 10. Radar combined reflectivity factor evolution diagram at 18:29 (a), 19:04 (b), 19:27 (c), 19:56 (d), 20:14(e), 21:12 (f) on August 28, 2019 (unit: dBZ)

图 10. 2019 年 8 月 28 日 18:29 (a)、19:04 (b)、19:27 (c)、19:56 (d)、20:14 (e)、21:12 (f) 雷达组合反射率因子演变图(单位: dBZ)

5. 数值预报分析检验

5.1. 降水落区预报检验

对比 27 日 20 时各家数值预报的降水预报, 与降水实况对比发现, 对这次过程降水预报效果差异较大, 中央台预报强度偏弱, 落区大致相同, 范围稍大; EC 预报出了 2 个暴雨区, 但强度预报东部雨强偏弱, 落区偏北; 华南模式东部雨强预报较好, 暴雨落区明显偏南偏东, 西部雨区漏报; FJmos 降水强度预报偏弱, 落区偏北, 华东模式强度偏强, 范围偏大。总体看, 以中央台预报效果最好, 其次是 EC, 对此次暴雨过程具有较好的指导意义。

5.2. EC 强降水时段预报检验

对比 27 日 20 时欧洲中心数值预报(EC)的碧江、沿河 2 个站逐小时降水预报(图 11(a), 图 11(b)), 经与降水实况(图 11(c), 图 11(d))对比发现, 对这次过程降水的起始时间预报效果较好, 强降水集中时段预报效果较好, 对应垂直上升速度最强时段; 但降水的结束时间预报偏晚, 总体看, EC 这次降水时段预报效果较好, 对此次暴雨过程具有较好的指导意义。

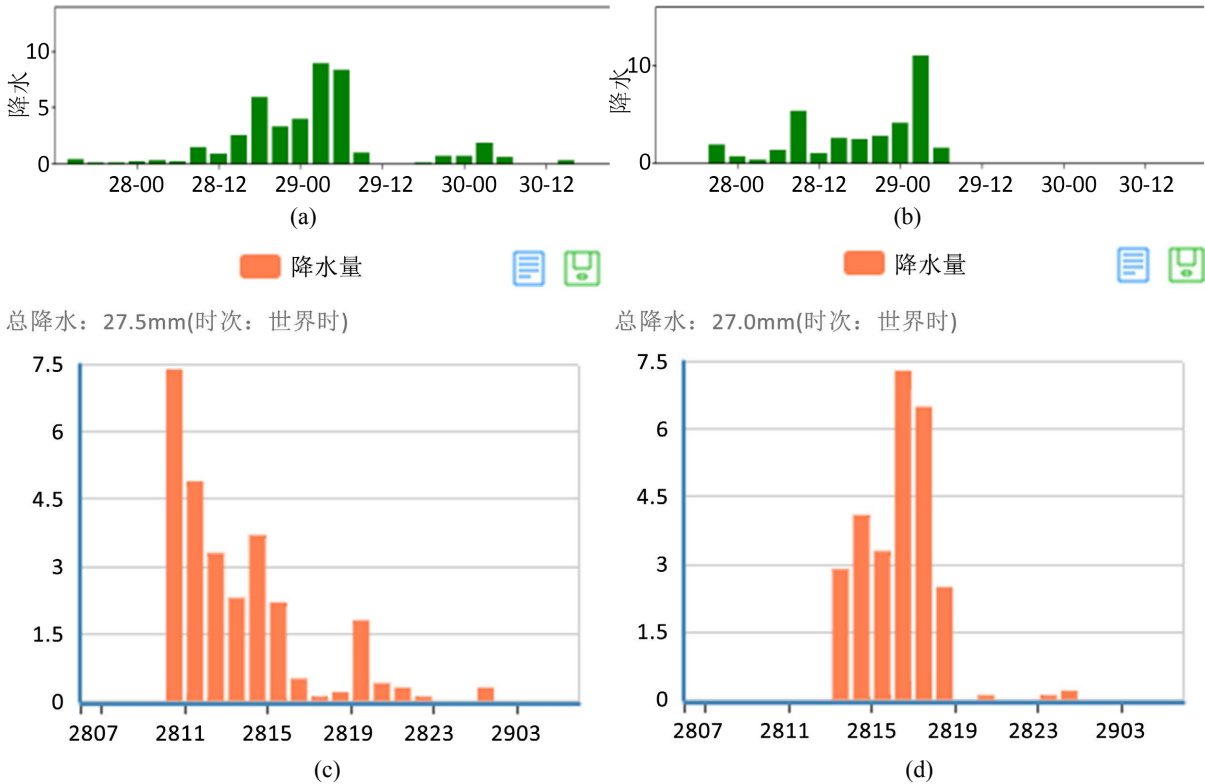


Figure 11. From 20:00 on August 27th, EC will report the time series chart of Bijiang and Yanhe stations and the hourly rainfall chart on the 28th

图 11. 8 月 27 日 20 时 EC 起报碧江、沿河 2 个站点的时序图及 28 日逐小时雨量图

6. 小结

- 1) 受低涡切变及冷空气影响, 铜仁市出现区域性暴雨天气, 大暴雨集中在铜仁市中部一线。500 hPa 高空槽东移南下, 引导冷空气南下影响我市, 与副高北侧西南气流交汇; 中低层低空切变及台风外围偏南急流维持; 地面辐合线; 高低层系统耦合较好, 从而形成了本次铜仁的局地暴雨天气。
- 2) 28 日 20 时水汽最为深厚, 28 日 14 时 850 hPa 铜仁有一个中西部水汽辐合中心; 20 时 850 hPa 铜仁水汽辐合程度增强。说明水汽在铜仁上空大量堆积, 为这次降水过程提供了较好的水汽条件。
- 3) 铜仁市上空均为垂直运动上升区, 为暴雨的形成提供了有利的动力条件, 地形造成的近地面气旋性辐合及垂直上升运动, 对本次暴雨过程的形成起到重要作用。
- 4) 铜仁受高能区控制, 处于高能区与低能区的等值线密集带, 中东部有冷暖空气交汇, 触发不稳定能量释放, 利于强对流的发生。“上干冷、下暖湿”层结、强热力不稳定、一定强度的垂直风切变等条件, 也为此次强对流天气的出现提供了有利条件。
- 5) 数值预报模式的降水预报对于此次强降水过程具有一定的指示意义, 降水落区预报以中央台预报

效果最好, 其次是 EC。EC 这次过程的强降水时段预报与实况相比吻合较好, 对此次暴雨过程具有较好的指导意义。但降水量级预报偏小, 落区比实况偏北, 这需要综合地形条件及偏东风分量做订正预报。

基金项目

贵州省科技厅项目黔科合基础[2018] 1158、贵州省气象局研究型业务关键技术攻关团队(QHLSSLJ [2022]-05)、贵州省铜仁市气象局暴雨预报研究团队。

参考文献

- [1] 杨群. 贵州铜仁暴雨特征分析及物理机制研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都信息工程大学, 2016.
- [2] 龙园, 万雪丽, 吴华洪, 孔德璇, 肖艳林. 贵州中西部地区一次台风暴雨天气过程的诊断分析及数值模拟[J]. 贵州气象, 2017, 41(6): 22-30.
- [3] 刘红武, 尹忠海, 杨令, 徐靖宇, 王青霞. 湖南一次暖区极端特大暴雨多尺度特征分析[J]. 中低纬山地气象, 2019, 43(5): 7-15.
- [4] 刘晶, 周玉淑, 杨莲梅, 张迎新. 伊犁河谷一次极端强降水事件水汽特征分析[J]. 大气科学, 2019, 43(5): 959-974.
- [5] 周玉淑, 颜玲, 吴天贻, 谢泽明. 高原涡和西南涡影响的两次四川暴雨过程的对比分析[J]. 大气科学, 2019, 43(4): 813-830.
- [6] 滕林, 贺德军, 李小兰, 陈军. 贵州一次台风暴雨的诊断分析[J]. 贵州气象, 2017, 41(1): 53-58.
- [7] 杨群, 罗京义, 高红梅, 周长志. 铜仁初夏一次暴雨过程的综合诊断分析[J]. 贵州气象, 2010, 34(S2): 40-44.
- [8] 滕林, 安海全, 贺德军, 陈军, 夏昌基. 一次地形加强贵州暖区暴雨成因分析[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(1): 11-18.
- [9] 肖艳林, 池再香, 严锐, 瞿中友, 刘丽娟. 准静止锋背景下的贵州两次暴雨天气过程对比分析[J]. 中低纬山地气象, 2019, 43(1): 1-8.
- [10] 王芬, 张娇艳, 谷晓平, 杜小玲, 吴古会. 西太平洋副热带高压不同特征指数与贵州夏季降水的关系[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(4): 348-356.