

重庆市渝东南地区一次大暴雨个例分析

江智敏¹, 龚德馨², 黄雪芮³, 王嘉佩⁴

¹重庆市黔江区气象局, 重庆

²重庆市巫溪县气象局, 重庆

³重庆市酉阳县气象局, 重庆

⁴重庆市巴南区气象局, 重庆

收稿日期: 2024年2月9日; 录用日期: 2024年3月7日; 发布日期: 2024年3月15日

摘要

文章利用常规天气观测、卫星、多普勒天气雷达及数值模式资料对2020年6月27日发生在渝东南地区的一次大暴雨天气过程进行了分析。结果表明: 1) 渝东南海拔较高的山区, 其山地地形对气流有着强迫抬升和辐合作用, 较容易触发暴雨或使之加强, 因此成为重庆暴雨的高发区。此次降水过程的有利条件是: 500 hPa副高南撤, 同时伴随高原槽东移发展, 700 hPa和850 hPa中低层维持高湿状态且配合持续时间较长的低涡切变、低空急流系统; 2) 对流性天气的形成需要三个基本条件: 大气不稳定能量、抬升力和水汽。对流有效位能(CAPE)是能用来表示整体大气垂直不稳定度大小的物理含义参数。诊断物理量: K、SI、BLI和整层可降水量对强对流天气的提前预报有较好的指示作用; 3) 雷达回波完整地反映了降水趋势, 整条回波带由中西部偏南区域延伸到渝东南偏北地区, 整体呈长条形, 且源源不断自西向东移动, 形成列车效应, 从而导致渝东南地区持续性降水, 整体累积雨量较大, 致使渝东南地区北部与回波带重合区域有暴雨到大暴雨的降水, 对降水强中心位置有较好的指示作用。

关键词

暴雨, 低涡, 切变, 低空急流, 物理量

Analysis of a Heavy Rainfall Event in the Southeast of Chongqing

Zhimin Jiang¹, Gexin Gong², Xuerui Huang³, Jiawei Wang⁴

¹Chongqing Qianjiang Meteorological Bureau, Chongqing

²Chongqing Wuxi Meteorological Bureau, Chongqing

³Chongqing Youyang Meteorological Bureau, Chongqing

⁴Chongqing Banan Meteorological Bureau, Chongqing

Received: Feb. 9th, 2024; accepted: Mar. 7th, 2024; published: Mar. 15th, 2024

文章引用: 江智敏, 龚德馨, 黄雪芮, 王嘉佩. 重庆市渝东南地区一次大暴雨个例分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(2): 230-238. DOI: 10.12677/ccrl.2024.132024

Abstract

In this paper, using conventional weather observations, satellite data, Doppler weather radar and numerical model data, a heavy rainfall event that occurred in the southeast of Chongqing on June 27, 2020 was analyzed. The results show that: 1) In the high mountain areas of southeast Chongqing, the mountain terrain has a forced lifting and radiation effect on the airflow, which makes it easier to trigger or intensify heavy rain, thus becoming a high-incidence area of heavy rain in Chongqing. The favorable conditions for this precipitation process are: the subtropical high moves southward at 500 hPa, accompanied by the eastward movement of the plateau trough at the same time; the middle and low layers at 700 hPa and 850 hPa maintain a high humidity state and cooperate with a long-lasting low-level shear and low-level jet system; 2) The formation of convective weather requires three basic conditions: unstable atmospheric energy, lifting force, and water vapor. Convective Available Potential Energy (CAPE) is a physical parameter that can be used to represent the magnitude of clear overall atmospheric vertical instability. Diagnosis physical quantities: K, SI, BLI, and total precipitable water content have good indications for early forecasting of severe convective weather; 3) Radar echoes fully reflect the precipitation trend. The whole echo band extends from the southwestern to the northeastern part of southeast Chongqing, forming a long strip shape. It continuously moves from west to east, forming a train effect, resulting in persistent precipitation in southeast Chongqing. The overall accumulated rainfall is large, causing heavy rain to heavy rain in the overlapping region between the northern part of southeast Chongqing and the echo band, which has a good indication for the location of the heavy precipitation center.

Keywords

Heavy Rain, Low Vortex, Shear, Low-Level Jet, Physical Quantities

Copyright © 2024 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

重庆渝东南辖黔江区、武隆区、石柱土家族自治县、秀山土家族苗族自治县、酉阳土家族苗族自治县、彭水苗族土家族自治县六区县，地处武陵山脉，系乌江水系。渝东南地区幅员面积为 1.98 万平方公里，占全市总面积的 20.6%，现有总人口 364 万人，是国家重点生态功能区与重要生物多样性保护区，武陵山绿色经济发展高地、重要生态屏障、生态民俗文化旅游带和扶贫开发示范区，全市少数民族集聚区。

暴雨是渝东南主要气象灾害之一[1]，渝东南海拔较高的山区，其山地地形对气流有着强迫抬升和辐合作用，较容易触发暴雨或使之加强，因此成为重庆暴雨的高发区。渝东南高发区包括酉阳和彭水，年暴雨日数 5.4~6.1 d。

渝东南地区暴雨主要集中在 5~9 月，暴雨日数年分布表现为单峰形态；暴雨量占年雨量的比重为 5%~15%；暴雨可以提供丰沛的水源，缓解旱情，清洁空气，但同时又会引起山洪暴发，诱发山体滑坡，造成巨大的经济损失和人员伤亡。

2. 研究意义

重庆市位于四川盆地东部，西北部和中部以丘陵和低山为主，东南部靠近大巴山和武陵山，多尺度

天气系统与重庆特殊的地形、复杂的下垫面条件相配合,使得暴雨往往具有强度大、极端性强、灾害性强的特点。因此,诊断分析重庆地区的暴雨个例,并从中总结其发生发展机制和特点,这对理解暴雨的形成机理、改进暴雨预报技术、预防洪涝灾害具有重要意义。本文利用常规天气观测、卫星、多普勒天气雷达及数值模式资料对2020年6月27日发生在重庆渝东南地区的一次大暴雨天气个例进行分析,以期对强对流天气预报有一定的参考意义。

3. 天气实况

2020年6月27日上午开始,重庆渝东南地区出现雷雨天气。到28日20时,累计雨量有75站达100毫米以上,164站达50毫米以上,最大为彭水龙溪站274.5毫米,最大小时雨强出现在6月28日彭水龙溪站90.5 mm/h(图1)。强降雨从渝西逐渐向渝东南方向移动,主要集中在武隆、彭水、黔江一带,越往南雨带越弱。

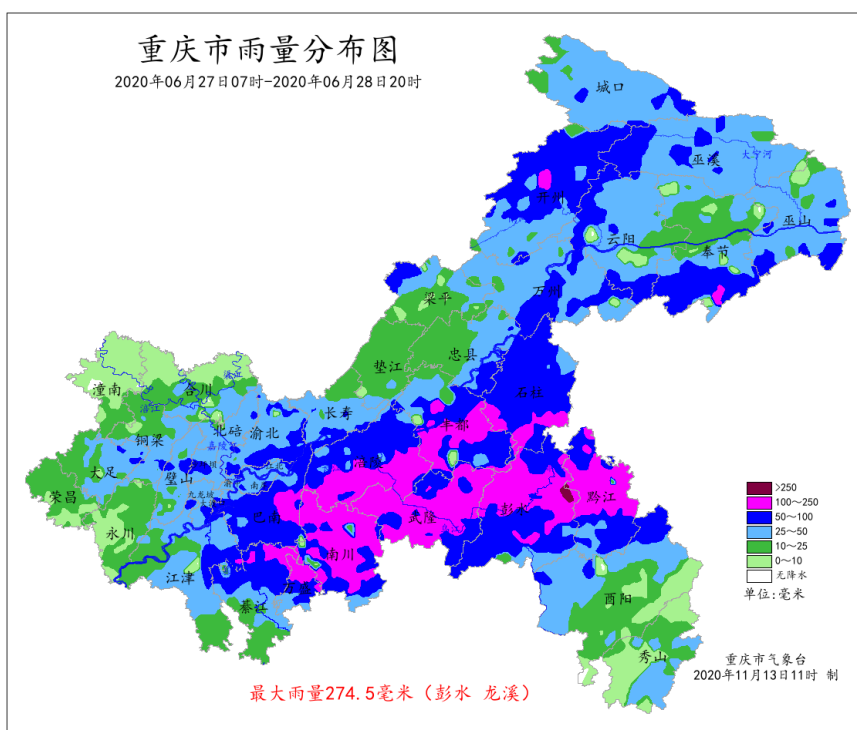


Figure 1. Weather conditions from 08:00 on June 27, 2020 to 20:00 on June 28, 2020

图1. 2020年6月27日08时~28日20时天气实况

4. 资料分析

4.1. 环流形势

大范围暴雨是出现在一定的大尺度环流形势下。在这种大背景下,由于冷暖空气在某地区交换,引起暴雨的天气尺度系统或中尺度系统发展,从而使得某地出现强而持续的垂直运动和水汽输送,给区域性暴雨提供有利条件。分析表明,重庆区域性暴雨同中高纬度和低纬度的大尺度环流形势有密切联系,是二者相互作用的产物。

由6月27日08时综合图(图2)分析,中低层整个重庆范围都相对湿度大值区,切变线位于重庆西部,且东南地区处于低空急流左前方出口处。

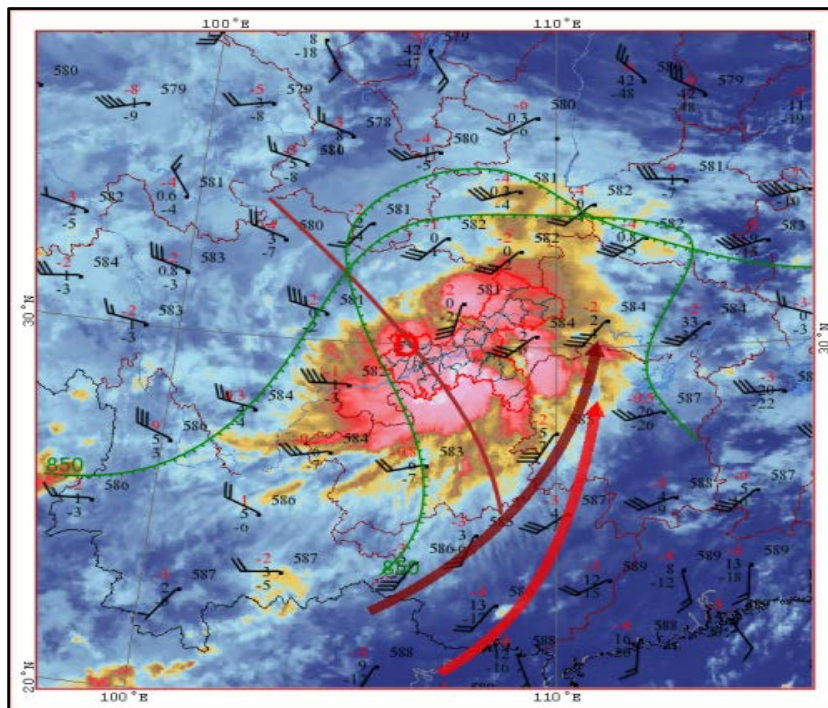


Figure 2. Comprehensive map at 08:00 on June 27, 2020
图 2. 2020 年 6 月 27 日 08 时综合图

从欧洲数值预报的高空形势场分析(图 3), 26 日 20 时到 28 日 20 时, 500 hPa 上有一次高空槽东移发展过程, 对重庆地区带来一定影响, 26 日 20 时到 27 日 20 时, 重庆市上空由脊前逐渐转为受槽前控制, 26 日夜间起, 槽自西向东影响西南地区东部, 27 日白天到夜间移经重庆。

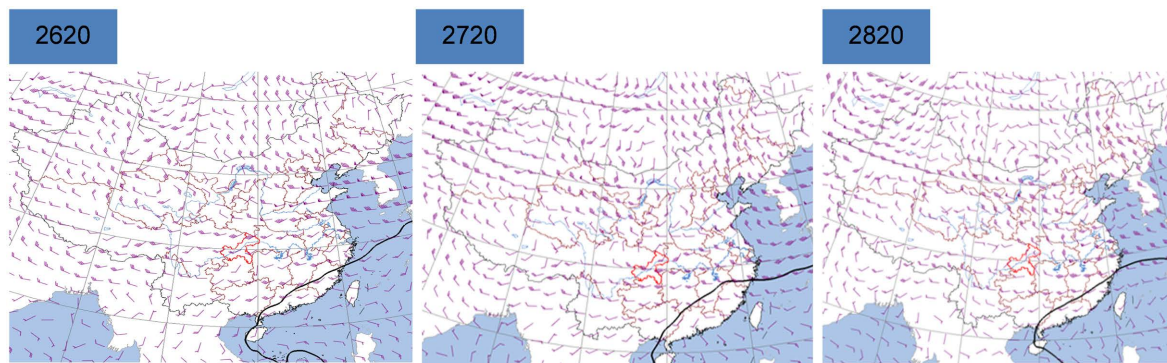


Figure 3. High altitude situation map at 20:00 500 hPa from June 26 to June 28, 2020
图 3. 2020 年 6 月 26 日~6 月 28 日 20 时 500 hPa 高空形势图

26 日~27 日, 700 hPa (图 4), 四川盆地东侧的低涡切变系统逐渐东移发展影响重庆且整个系统持续时间较长。另外, 在重庆大部地区, 受到西南气流影响, 风速大, 可达急流标准, 且带来大量水汽, 整个渝东南地区长时间维持高湿状态, 加上渝东南地区山脉较多, 地形较为复杂, 地形对气流抬升作用较为明显, 为持续性降雨提供了有利条件。850 hPa 环流形势(图 5)与 700 hPa 基本一致, 重庆西部切变系统东移, 渝东南地区长时间处于气旋性环流控制, 仍旧受到急流影响, 且整层水汽条件好, 有利于形成大范围长时间持续性降水。

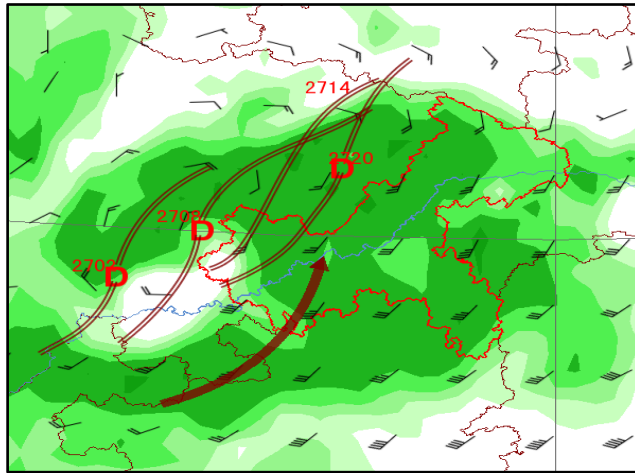


Figure 4. 700 hPa wind field and relative humidity from July 26 to 27, 2020
图 4. 2020 年 7 月 26 日~27 日 700 hPa 风场及相对湿度

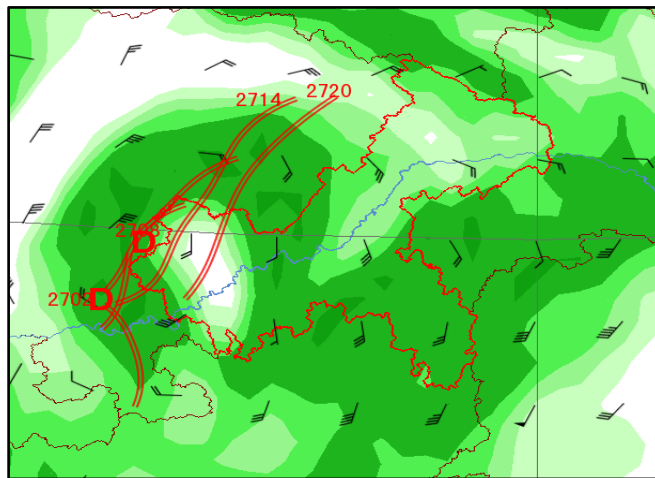


Figure 5. 850 hPa wind field and relative humidity from July 26 to 27, 2020
图 5. 2020 年 7 月 26 日~27 日 850 hPa 风场及相对湿度

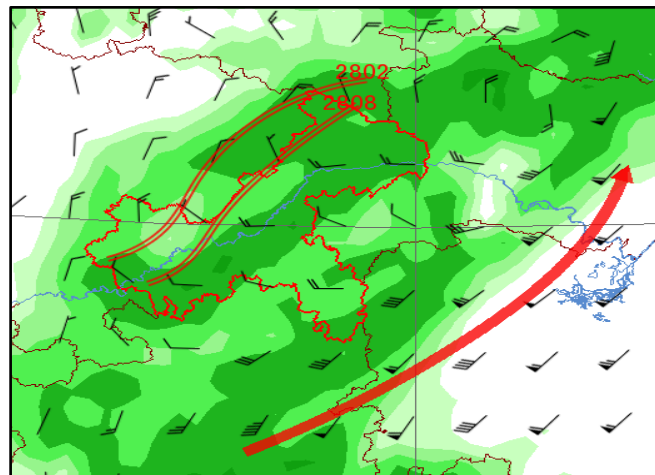


Figure 6. 700 hPa wind field and relative humidity from July 27 to 28, 2020
图 6. 2020 年 7 月 27 日~28 日 700 hPa 风场及相对湿度

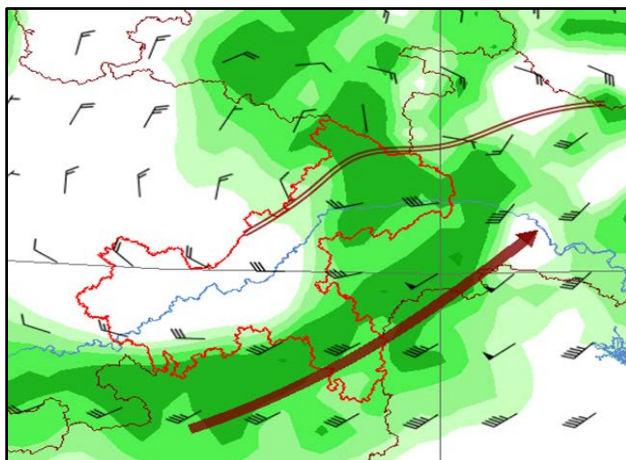


Figure 7. 850 hPa wind field and relative humidity from July 27 to 28, 2020
图 7. 2020 年 7 月 27 日~28 日 850 hPa 风场及相对湿度

27 日~28 日, 700 hPa (图 6), 整层切变辐合系统持续东移发展影响重庆, 湿度条件伴随系统东移过程自西向东逐渐转差, 但渝东南地区由于西南急流进一步加强, 持续带来水汽条件, 仍旧是维持高湿状态。850 hPa (图 7) 重庆大部地区水汽条件较好, 环流形势与 700 hPa 基本一致, 且系统位置配合好, 为渝东南地区长时间持续性降水提供了有利条件。

4.2. 探空、物理量场分析

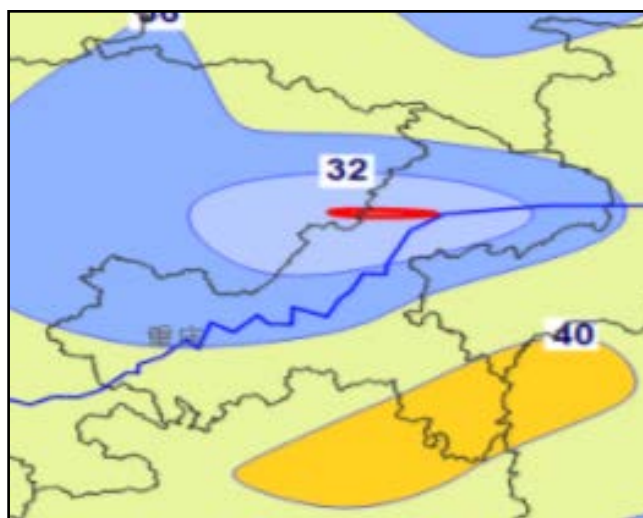


Figure 8. CAPE value at 02:00 on 28 July, 2020
图 8. 2020 年 7 月 28 日 02 时 CAPE

对流性天气的形成需要三个基本条件: 大气不稳定能量、抬升力和水汽[2]。对流有效位能(CAPE) [3] 是能用来表示清晰整体大气垂直不稳定性大小的物理含义参数。对流有效位能(CAPE)是气块在给定环境中绝热上升时的正浮力所产生的能量的垂直积分, 是对流发生潜势和潜在强度的一个重要指标。当 $CAPE \geq 1000 \text{ J/kg}$ 时, 有利于强对流的产生[4]。由图 8 可知, 整个偏南地区 28 日夜间有弱不稳定能量。有利抬升指数(BLI)指把 700 hPa 以下的大气按 50 hPa 间隔分层, 并将各层中间高度处上的各点分别按干绝热线上升到各自的凝结高度, 然后分别按湿绝热线抬升到 500 hPa, 得到各点不同的抬升指数, 其中的负值最大

者即为最有利抬升指数[5]。当 $BLI < 0$ 时，大气层结不稳定，且负值越大，不稳定程度越大。由图 9 可知，28 日夜间渝东南地区 BLI 值在 -4 左右，不稳定度较大。 K 指数[6]的表达式 $K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T - Td) / 700$ ，式中，其中 T 与 Td 分别表示温度与露点温度；第一项表示温度直减率，第二项表示低层水汽条件，第三项表示中层饱和程度。因此， K 指数可以反映大气的层结稳定情况。 K 指数越大，层结越不稳定。由图 10 可知，28 日夜间渝东南地区 K 指数为 40，层结不稳定。整层可降水量指对应于空气中的水分全部凝结成雨、雪降落(把空气挤得一点水分都没有)所能形成的降水量。由图 11 可知，渝东南地区有一定可降水量，为降水提供了有利水汽条件。沙氏指数(SI)指气块从 850 hPa 开始，沿干绝热线上升至抬升凝结高度，然后再沿湿绝热线上升至 500 hPa。在 500 hPa 上的环境温度与该气块绝热上升达到 500 hPa 时的温度之差。当 $SI > 0^{\circ}\text{C}$ 时，表示气层稳定，当 $SI < 0^{\circ}\text{C}$ 时，表示气层不稳定，负值越大，气层越不稳定。该次大暴雨过程为湿层深厚， $CAPE = 111.6 \text{ J/kg}$ ， $K = 40.8^{\circ}\text{C}$ ， $SI = -1.27^{\circ}\text{C}$ ， K 指标、 SI 指标均有利于强对流的产生。

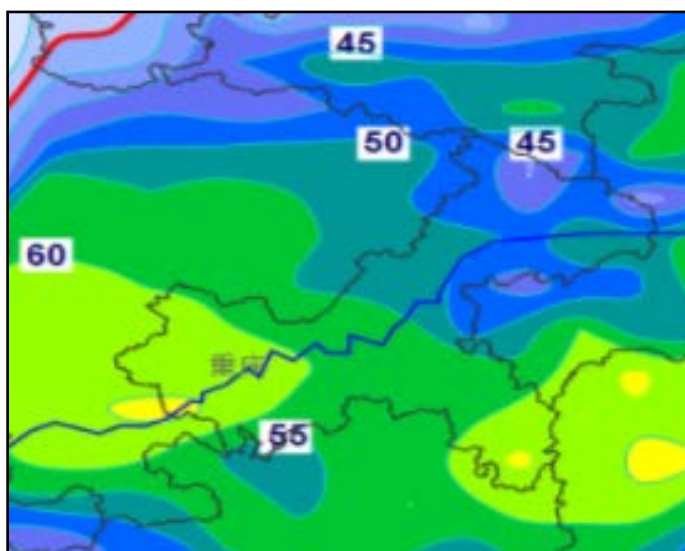


Figure 9. BLI value at 02:00 on 28 July, 2020

图 9. 2020 年 7 月 28 日 02 时 BLI

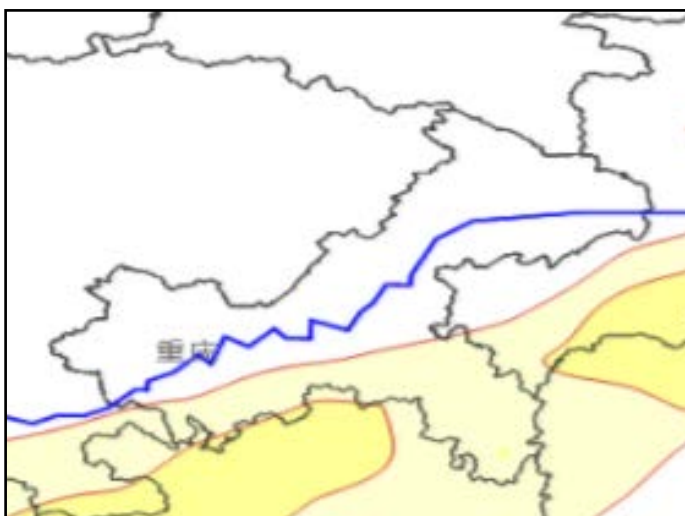


Figure 10. K value at 02:00 on 28 July, 2020

图 10. 2020 年 7 月 28 日 02 时 K

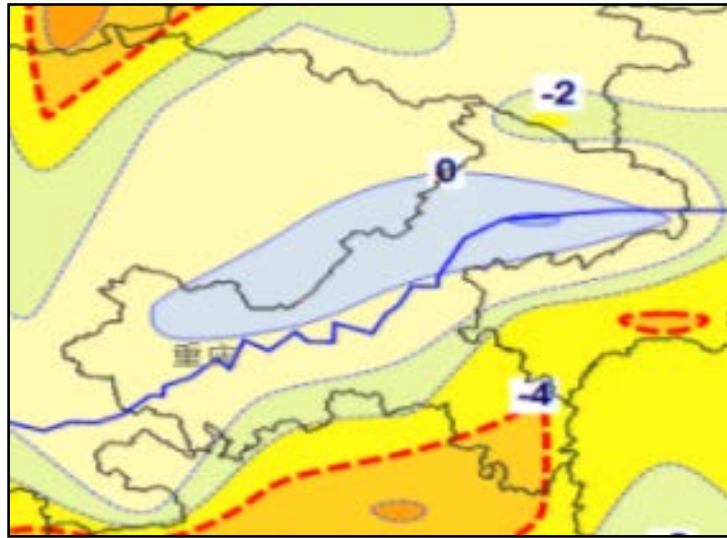


Figure 11. Whole layer precipitation at 02:00 on 28 July, 2020
图 11. 2020 年 7 月 28 日 02 时整层可降水量

4.3. 雷达回波资料

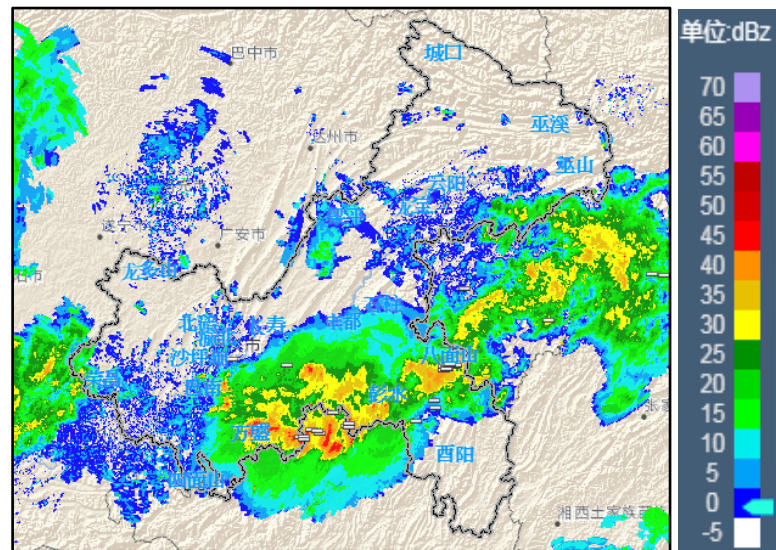


Figure 12. Radar echo map at 04:00 on June 28, 2020
图 12. 2020 年 6 月 28 日 04 时雷达回波图

由图 12 可知, 27 日下午, 重庆西部地区逐渐有强回波生成发展并东移。8 日 03 时, 回波东移发展至渝东南区域; 28 日 04 时左右, 回波主体到达彭水、武隆、黔江一带, 最大反射率因子 50 dB 左右。整条回波带由中西部偏南区域延伸到渝东南偏北地区, 整体形状呈长条形, 且源源不断自西向东移动, 形成列车效应, 从而导致渝东南地区持续性降水, 整体累积雨量较大, 致使渝东南地区北部与回波带重合区域有暴雨到大暴雨的降水, 其余地区有小到大雨。

5. 结论

通过分析高空综合图、卫星云图、环流形势、数值模式及雷达回波图可知:

1) 500 hPa 副高南撤, 同时伴随高原槽东移发展, 700 hPa 和 850 hPa 中低层维持高湿状态且配合持续时间较长的低涡切变、低空急流系统, 使得暴雨天气过程长时间持续, 此次过程中层主要影响体现为低涡切变、低空急流;

2) 物理量场 K、SI、BLI 和整层可降水量对强对流天气的提前预报有较好的指示作用;

3) 雷达回波完整地反映了降水趋势, 强回波中心与雨量大值区位置对应较好, 对降水强中心位置有较好的指示作用。

参考文献

- [1] 刘德, 张亚萍, 陈贵川, 等. 重庆市预报技术手册[M]. 第1版. 北京: 气象出版社, 2012: 92-97.
- [2] 寿绍文, 励申申, 王善华, 等. 天气学分析[M]. 第2版. 北京: 气象出版社, 2012: 148-149.
- [3] Moncrieff, W. and Miller, M.J. (1976) The Dynamics and Simulation of Tropical Cumulonimbus and Squall Lines. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **102**, 373-394. <https://doi.org/10.1002/qj.49710243208>
- [4] 俞小鼎, 王秀明, 李万莉, 等. 雷暴与强对流临近预报[M]. 第1版. 北京: 气象出版社, 2020: 52-57.
- [5] 张小玲, 等. 中尺度天气分析业务技术规范[M]. 北京: 国家气象中心, 2012: 5-16.
- [6] George, J.J. (1960) *Weather Forecasting for Aeronautics*. Academic Press, Waltham, MA, 673p.