

重庆江北机场一次强对流天气过程诊断分析

伍见军, 廖 翼, 吴胜男, 刘 洋

中国民用航空西南地区空中交通管理局重庆分局, 重庆

收稿日期: 2025年8月4日; 录用日期: 2025年9月17日; 发布日期: 2025年9月26日

摘 要

利用常规观测资料、ERA5再分析资料、探空资料, 基于强对流天气发生的三要素对2024年7月13日发生在重庆江北机场的一次强对流天气过程进行了诊断分析。结论表明, 此次天气过程在高空波动槽和低层辐合的共同作用下产生, 水汽充沛且大气层结不稳定条件较好, 最终导致此次长时间的中到强雷雨天气发生。

关键词

强对流, 暴雨, 不稳定层结, 机场

Diagnostic Analysis of a Severe Convective Weather Process at Chongqing Jiangbei Airport

Jianjun Wu, Yi Liao, Shengnan Wu, Yang Liu

Chongqing Air Traffic Management Bureau of CAAC, Chongqing

Received: August 4, 2025; accepted: September 17, 2025; published: September 26, 2025

Abstract

A diagnostic analysis was conducted on a severe convective weather process that occurred at Chongqing Jiangbei Airport on July 13, 2024, based on the three elements of severe convective weather, using conventional observation data, ERA5 data, and sounding data. The conclusion indicates that this weather process was generated under the combined action of high-altitude wave troughs and low-level convergence, with abundant water vapor and unstable atmospheric conditions, ultimately leading to the occurrence of prolonged moderate to severe thunderstorms.

Keywords

Severe Convection, Rainstorm, Unstable Stratification, Airport

Copyright © 2025 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

强对流天气具有突发性强,破坏力大的特点,其伴随的雷暴大风、强降水、低空风切变等天气现象对民航飞行威胁巨大[1],严重影响旅客的人身和财产安全以及机场的运行效率。所以强对流天气一直是航空气象预报工作中的难点和重点[2]。2024年,重庆江北机场完成飞机起降33.04万架次,旅客吞吐量4867.7万人,均位列全国第七。在航班运行过程中,强对流天气的出现所导致的绕飞、备降等为管制调度及旅客出行带来了极大的影响[3]。对于强对流天气的形成机理和发展趋势前人都已进行了系统性的研究[4]。有学者研究表明[5],强对流天气通常在同时满足三要素的情况下发生,即不稳定能量、充沛的水汽和足够的向上冲击力。本文利用常规观测资料、ERA5再分析资料、探空资料,基于三要素对2024年7月13日发生在重庆江北机场的一次强对流天气过程进行了诊断分析,以期今后强对流天气的预报工作提供参考。

2. 天气概况

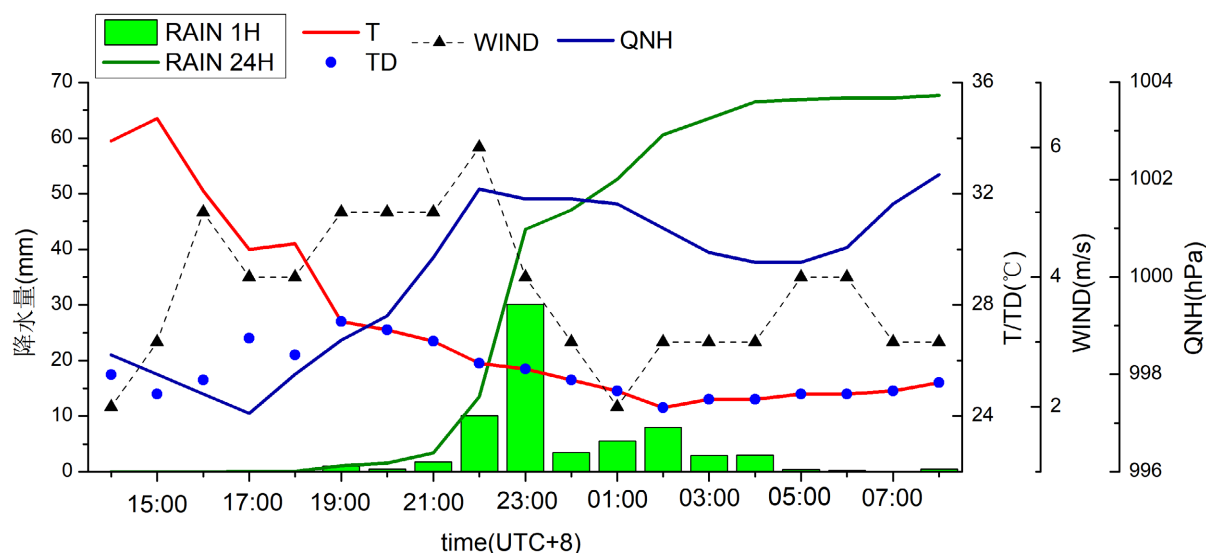


Figure 1. July 13, 14:00~July 14, 08:00 Instantaneous wind speed (unit: m/s), temperature (unit: °C), dew point (unit: °C), corrected sea level pressure (unit: hPa), 1-hour precipitation (unit: mm), and 24-hour cumulative precipitation (unit: mm) time series diagram for 02L

图 1. 7月13日14时~7月14日08时02L瞬时风(单位: m/s)、温度(单位: °C)、露点(单位: °C)、修正海压(单位: hPa)、1小时降水量(单位: mm)及24小时累积降水量(单位: mm)时间序列图

2024年7月13日下午到14日凌晨,重庆江北机场(下文简称机场)出现了一次强雷雨天气过程,累积降水量达到暴雨量级。机场基准点02L的气象要素变化如图1,13日15时开始气温明显下降,露点缓

慢上升，到 19 时降水逐渐明显，大气达到饱和。修正海压在雷暴开始前 30 分钟出现明显的升压，升压率达到 1 hPa/h。22 时~23 时，瞬时风速达到最大 6 m/s，修正海压达到最大 1001.8 hPa。1 小时降水量在 23:00 达到最大 30.1 mm。14 日 02 时后，降水缓慢减弱，温度缓慢回升。到 14 日 08 时，24 小时累积降水量达到 67.7 mm。

3. 环流背景分析

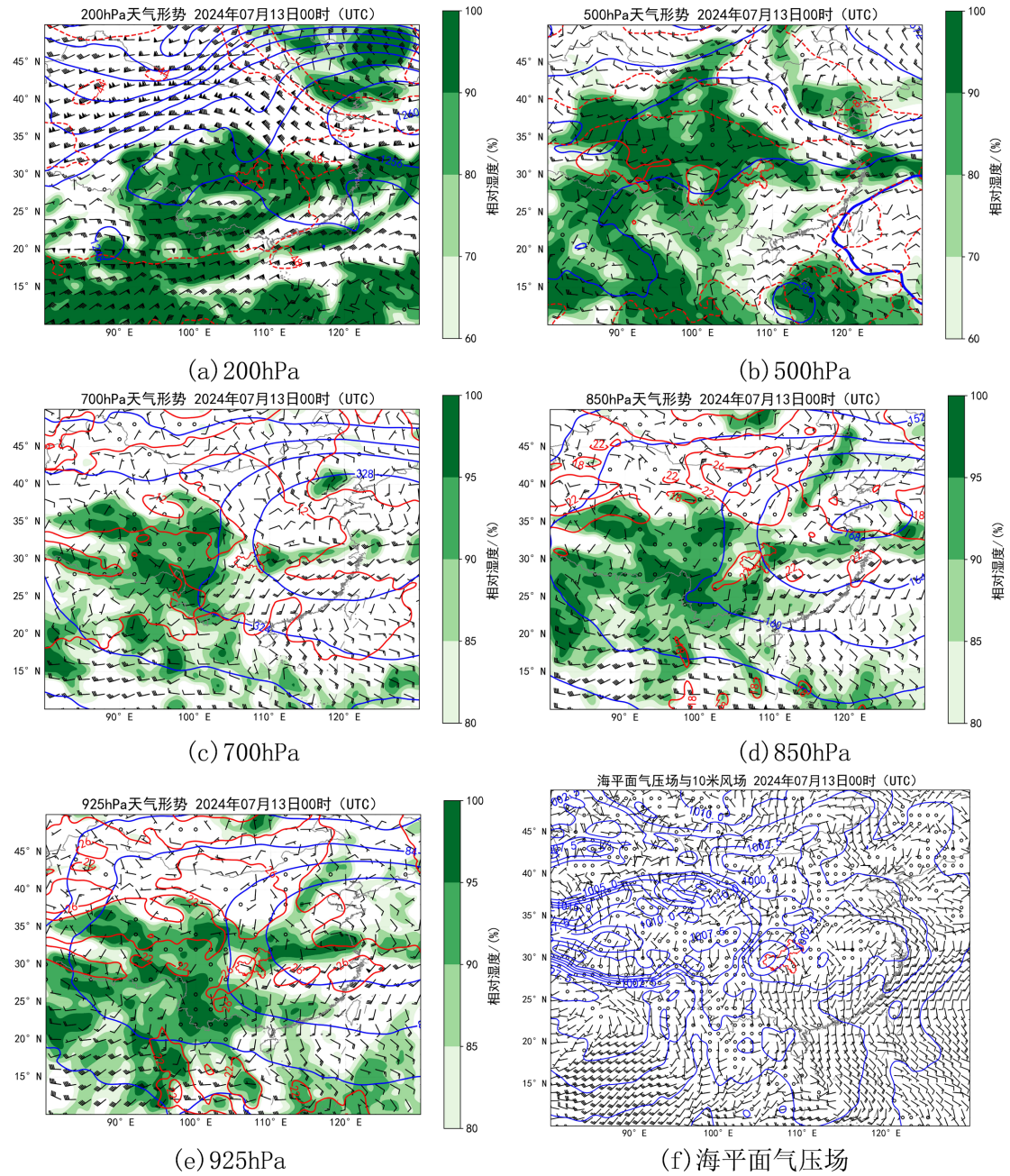


Figure 2. Circulation pattern at 08:00 on July 13, 2024 (blue solid line: height field, unit: hPa; red contour lines: temperature field, unit: °C; wind field: flow field, unit: m/s; shading: relative humidity, unit: %)

图 2. 2024 年 7 月 13 日 08 时环流形势(蓝色实线：高度场，单位：hPa；红色等值线：温度场，单位：°C；风场：流场，单位：m/s；阴影：相对湿度，单位：%)

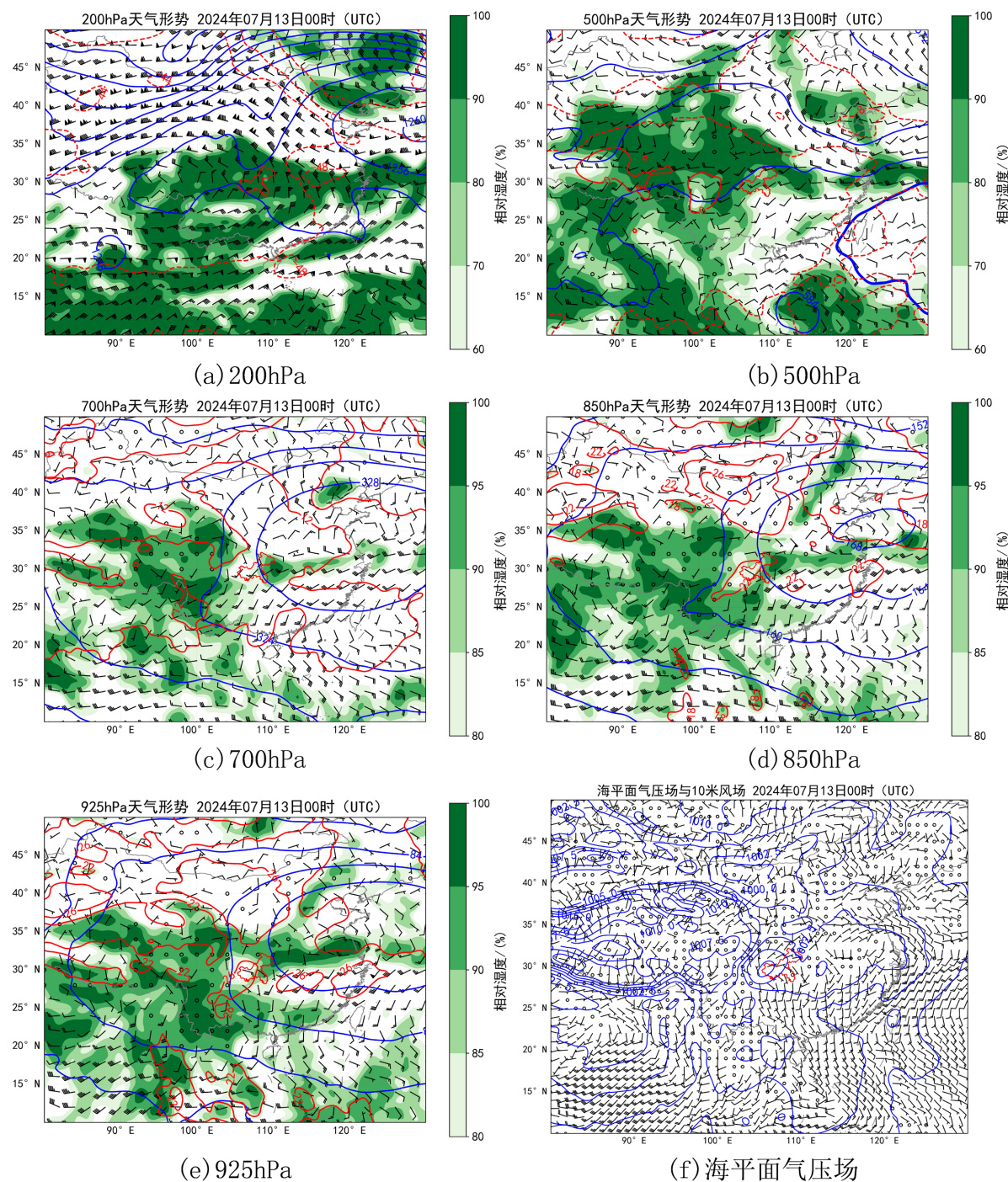


Figure 3. Circulation pattern at 20:00 on July 13, 2024 (blue solid line: height field, unit: hPa; red contour lines: temperature field, unit: °C; wind field: flow field, unit: m/s; shading: relative humidity, unit: %)

图 3. 2024 年 7 月 13 日 20 时环流形势(蓝色实线: 高度场, 单位: hPa; 红色等值线: 温度场, 单位: °C; 风场: 流场, 单位: m/s; 阴影: 相对湿度, 单位: %)

利用 ERA5 再分析资料对 7 月 13 日的环流背景进行分析。13 日 08 时, 如图 2 所示: 200 hPa 大陆高压向东延伸至接近东南部沿海, 本场位于高压环流内部, 高层有较强抽吸作用; 500 hPa 副热带高压 588 线被挤压到东南沿海, 584 线大致位于长江沿线, 外围多波动槽活动。重庆地区位于 584 线附近, 上游四

川盆地中部有一高空浅槽正在东移；700 hPa 重庆地区处在 8~10 m/s 的西南气流控制中，副高外围的西南-偏南气流把南海的水汽源源不断的往北输送。在长江中下游地区，江淮切变线位于湖北中部-安徽江苏南部一带，其西部已经延伸至重庆北部地区，致使从重庆南部上来的西南气流在重庆北部转为东南气流，水汽逐渐在重庆地区汇聚。同时，在四川盆地中部与 500 hPa 浅槽对应位置有辐合切变生成。从温度场上来看，重庆地区存在一个 14~15℃ 的暖中心；与 700 hPa 相比，850 hPa 在重庆以南的偏南气流更大，达到 10~12 m/s，接近低空急流的风速，机场附近有明显的辐合中心和暖中心，水汽输送条件更有利；925 hPa 在重庆地区的环流形势与 850 hPa 相似；地面图中，长江中下游地区有准静止锋，重庆附近风场较弱，处在弱低压控制中。总体来看，中低空重庆上游地区低值系统正在东移，副高外围暖湿气流正在往北输送，并在重庆地区汇聚，预示着未来有强对流天气发生。

13 日 20 时，如图 3 所示：200 hPa 高压环流持续，500 hPa 副高明显西伸加强，588 线向西延伸至江西北部-湖南西部，584 线仍位于重庆中西部地区，和 08 时位置变化不大。08 时位于四川盆地中部的浅槽缓慢东移至川东北-重庆西部，机场附近受到槽前西南气流的影响。由于副高的西伸，200 hPa 大陆高压西撤至青藏高原东侧，机场处在高压外围辐散区。700 hPa 的辐合切变区在重庆西部，08 时位于重庆北部的辐合区域有明显南移。850 hPa 和 925 hPa 的辐合切变区维持，较 08 时风速有所加大。此时，925 hPa、850 hPa 和 700 hPa 的切变线、500 hPa 副高外围的浅槽，都处在机场附近，200 hPa 辐散区有较强的抽吸作用，从低到高动力抬升条件较好，水汽输送和汇聚作用明显，预示着强对流天气的发生。

4. 物理量诊断分析

4.1. 动力条件

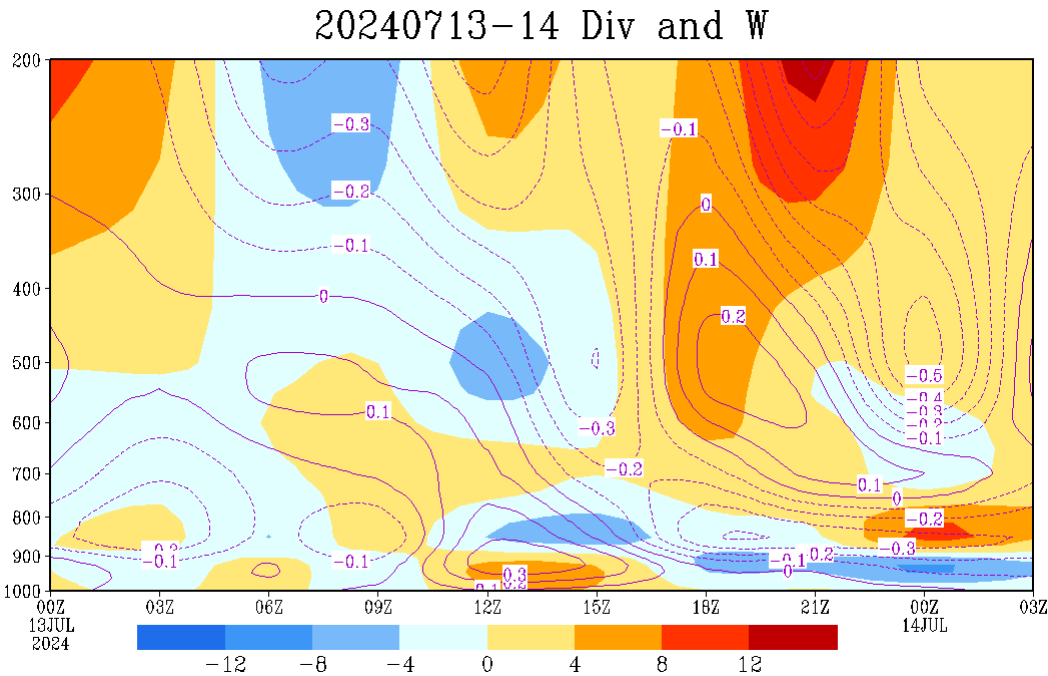


Figure 4. Divergence (unit: 10^{-6} s^{-1}) and vertical velocity (unit: Pa s^{-1}) on July 13~14, 2024
图 4. 2024 年 7 月 13~14 日散度(单位: 10^{-6} s^{-1})和垂直速度(单位: Pa s^{-1})

根据前面环流形势分析可知：在 13 日 08 时，机场处在 200 hPa 大陆高压内部，有明显下沉气流，对 中低层的上升运动有一定的抑制作用。500 hPa、700 hPa 和 850 hPa，机场处在浅槽、切变系统前部，有

一定的抬升作用，但不够强烈。到了 20 时，随着副高的西伸加强和重庆上游地区的低值系统的东移，500 hPa 的浅槽和 700 hPa 的切变在东移过程中会被副高挤压加深加强，从而形成比较强烈的上升运动。200 hPa 的辐散区又进一步发挥抽吸作用，使得上升运动持续，并上升得更高。同时，700 hPa 和 850 hPa 持续的暖湿西南 - 偏南气流，也有利于上升运动。

从散度和垂直速度分布来看，如图 4 所示，13 日 08 时开始，500 hPa 以下是辐合区，有明显上升运动，但上升速度比较小，为 -0.1 Pa s^{-1} ，500 hPa 以上为较强辐散区。到了 17 时，垂直运动向上发展并加强，上升速度加大到 -0.3 Pa s^{-1} ，且大值区达到 250 hPa 以上，高层出现弱辐合区。18 时后，降水已经开始，近地面层出现下沉运动，300 hPa 以上变成辐散区，有利于上升运动持续发展。14 日 01 时后，降水加大，400 hPa 以下出现下沉气流，高层强辐散区逐渐加强并向下发展至接近地面，下沉运动也随之加大至 0.2 Pa s^{-1} 。08 时后，整层辐散区减弱，降水过程逐渐结束。

4.2. 水汽条件

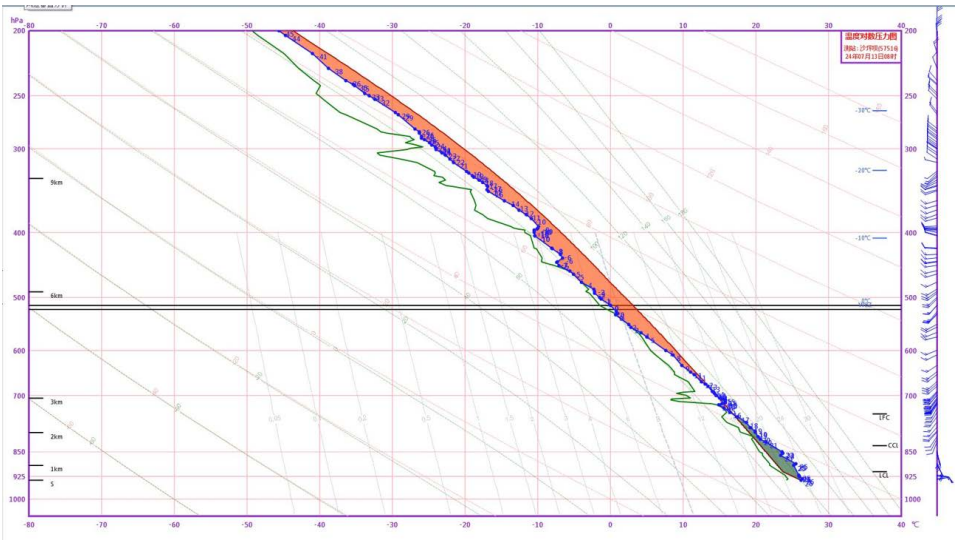
根据前面环流形势分析可知：700 hPa 和 850 hPa 持续的暖湿西南 - 偏南气流，就像一个巨大的高压水泵，把南海的水汽源源不断的向北输送，并在重庆地区汇聚，为强天气提供了充沛的水汽条件。从表 1 来看，13 日 08 时到 20 时，露点温度 TD、相对湿度 RH、绝对湿度 Q 都有明显增加，特别是 700 hPa 增加得最为明显。在 13 日 20 时，从 850 hPa 到 500 hPa 高度，RH 都大于 85%，特别是 500 hPa 高度，RH 达到了 100%，说明此次天气过程从低到高湿层深厚，既有利于持续性强降水发生。

Table 1. Changes in water vapor at various altitudes on July 13~14, 2024 (Units: TD: °C, RH: %, Q: g/kg)

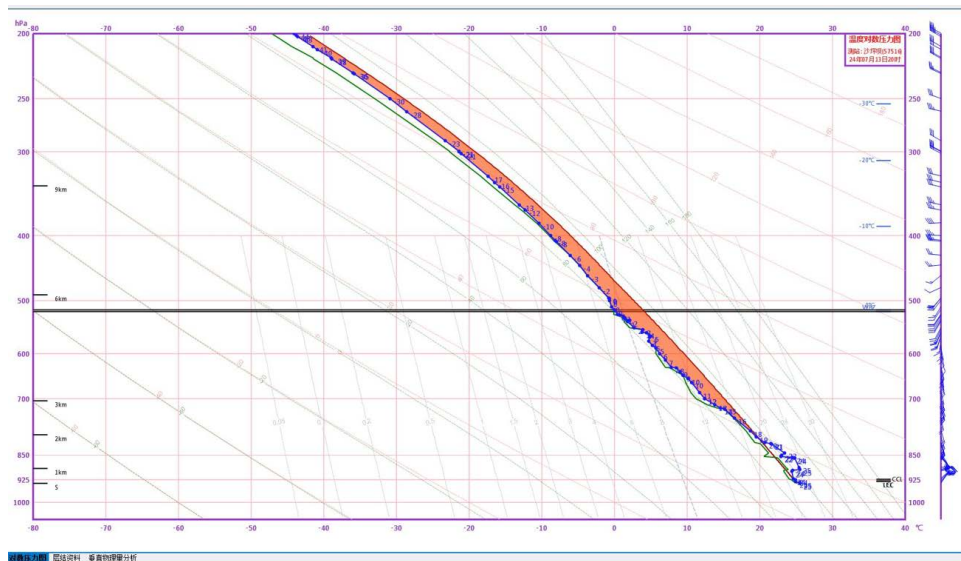
表 1. 2024 年 7 月 13~14 日各高度层水汽变化(单位: TD: °C, RH: %, Q: g/kg)

	850 hPa			700 hPa			500 hPa		
	TD	RH	Q	TD	RH	Q	TD	RH	Q
13 日 08 时	20.1	83	17.7	10.1	76	11.2	-2.6	94	6.4
13 日 20 时	20.8	87	18.5	11.2	92	12	-0.7	100	7.3
14 日 08 时	19.7	96	17.3	12.4	97	13.1	-0.5	100	7.4

4.3. 能量条件



(a) 13 日 08 时



(b) 13 日 20 时

Figure 5. sounding map of Chongqing Shapingba Station on July 13, 2024
图 5. 2024 年 7 月 13 日重庆沙坪坝站探空图

如图 5 探空图和表 2 能量指数对比所示, 13 日 08 时, 700 hPa 以上存在较大的不稳定能量, 向上延伸至 200 hPa 以上。CAPE 在 08 时已经达到 1097 J/kg, 接近同期本地参考指标(指该月本地发生雷雨时的平均值, 下同)。K 指数、T85 和 T75 都明显高于同期本地参考指标, SI 指数明显低于本地参考指标, 表明此时大气在 700 hPa 以上处在极其不稳定状态。而 700 hPa 以下目前处在层结稳定状态, 只需初始扰动触发对流并抬升至 700 hPa, 对流就会持续向上发展形成强对流天气。由于在 20 时之前, 强天气已经发生, 所有此时的 CAPE、T85 和 T75 略有下降, K 指数、SI 指数略有上升, 但仍处在不稳定层结状态, 同时不稳定能量区域下降至 2 公里附近, 说明此时仍然极有利于对流天气发生发展。直到 14 日 08 时, CAPE、K 指数、T85 和 T75 明显下降, SI 指数明显上升, 说明此时大气层结逐渐趋于稳定。

Table 2. Comparison of thunderstorm energy indices on July 12~13, 2024 (Units: CAPE: J/kg, K: °C, SI: °C, T85: °C, T75: °C)

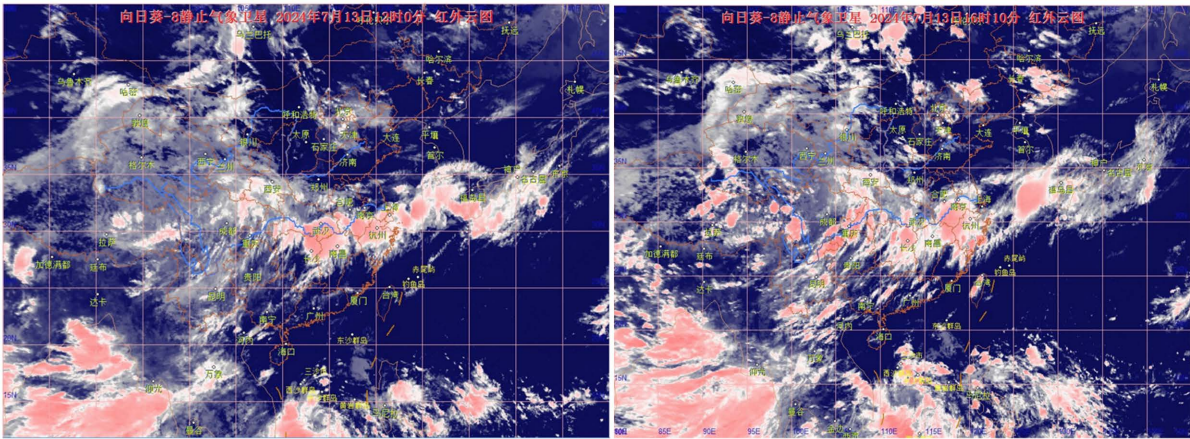
表 2. 2024 年 7 月 12~13 日雷雨能量指数对比(单位: CAPE: J/kg, K: °C, SI: °C, T85: °C, T75: °C)

	CAPE	K	SI	T85	T75
13 日 08 时	1097	41.5	-3.43	24.9	15.9
13 日 20 时	1027	43.3	-2.75	23.7	13.1
14 日 08 时	302	31	2.1	20.8	12.3
本地参考指标	1133	39	-1.7	24.3	14.7

5. 云图资料分析

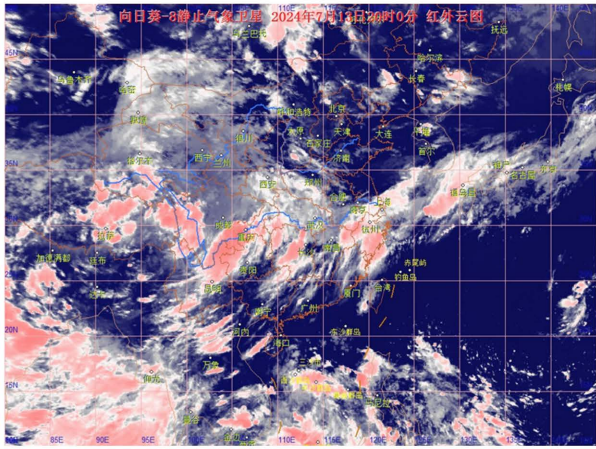
7 月 13~14 日的卫星云图资料如图 6 所示, 13 日 12 时, 在长江中下游地区形成了由于江淮切变引起的东西向带状对流云系, 最西端延伸至湖北西部接近重庆地区, 到 16 时, 随着副高西伸加强和四川盆地中部的低值系统靠近, 重庆地区副高外围的西南-东北走向的对流云系逐渐形成并迅速加强, 形成高亮的对流云系。到 20 时, 对流云系进一步加强合并并向西南方向扩大云区范围, 也预示着机场附近强对流天气最强时段即将到来。到 14 日 04 时, 机场上空云顶亮温值上升, 对流云团逐渐坍塌并变得松散, 预

示着强对流天气趋于结束，转为稳定性降水。

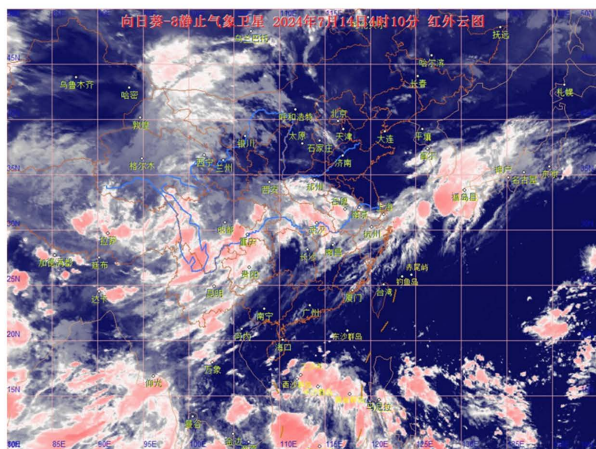


(a) 13日12时

(b)13日16时



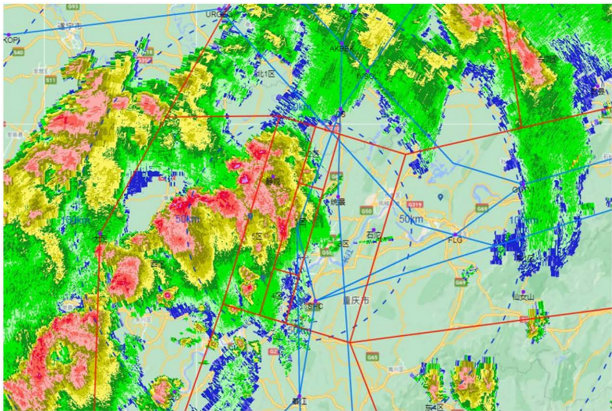
(c) 13日20时



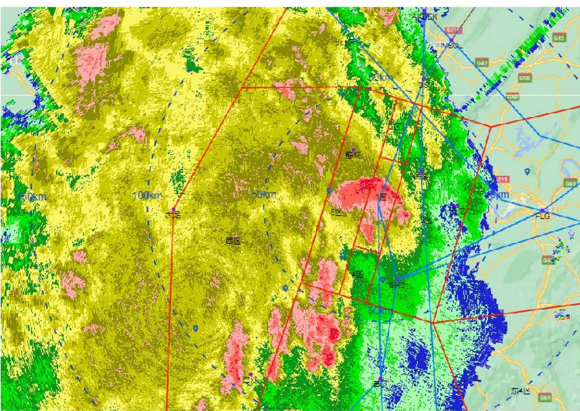
(d)13日04时

Figure 6. Live satellite data
图 6. 实况卫星资料

6. 雷达资料分析



(a) 相控阵13日18时



(b)相控阵13日22时

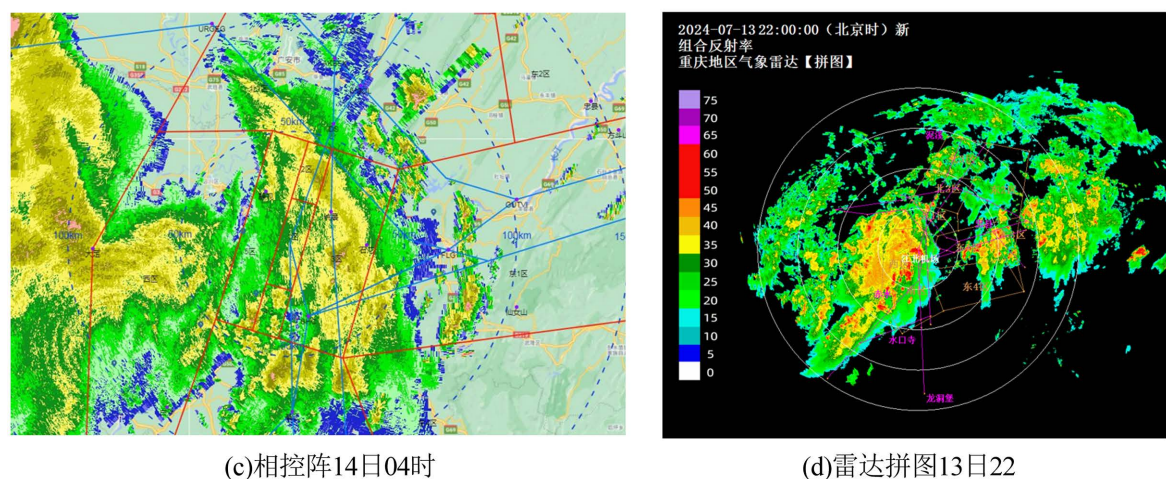


Figure 7. Radar combined reflectivity echo map (unit: dBZ)
图 7. 雷达组合反射率回波图(单位: dBZ)

如图 7 相控阵雷达回波和雷达拼图所示, 13 日 18 时, 机场天气为弱雷雨, 相控阵雷达组合反射率回波可见(机场位于最内侧红色矩形框中心, 色标同雷达拼图), 有带状对流单体群从西南方向源源不断地从机场西部到机场北部移动, 回波强度在 35~55 dBZ, 对流发展旺盛, 此时机场可听见雷声但雨量不大。到 22 时, 机场观测到强雷雨, 相控阵雷达显示回波强度在 55 dBZ 左右, 是机场上空回波最强的时候。结合 22 时雷达拼图上来看, 此时机场西南方向仍有大片 25~40 dBZ 的回波正在向本场移动, 较之前的回波相比, 回波范围扩大但结构变得松散, 强雷暴单体减少, 预示着机场强对流天气还将持续较长时间, 但强降雨过后, 将转成以中阵雨为主的天气, 雷暴概率明显减少。到 14 日 04 时, 雷达回波减弱为绿色到黄色回波, 机场天气开始缓慢减弱。

7. 结论

- (1) 这是一次由副高外围波动槽配合低层辐合切变共同引起的强对流天气过程, 从低层到高层抬升运动明显, 大气层结极其不稳定。副高加强西伸, 与上游地区东移的低值系统在重庆地区对峙, 导致机场出现长时间的中到强降雨天气。
- (2) 由于副高外围较大的西南 - 偏南气流把水汽从南海源源不断地向重庆地区输送并汇聚, 重庆地区水汽变得充沛、湿层变得深厚, 导致机场出现长时间的降水天气, 累计降水量达到暴雨量级。
- (3) 卫星云图上呈现出多个对流云团逐渐合并、云区范围快速扩大, 预示着该地强对流天气即将达到最强时段。雷达回波图上强回波逐渐变得均匀、结构松散, 预示着强雷暴天气逐渐向降水转变。

参考文献

[1] 周博坤. 北京首都机场两次连续雷暴日强对流过程分析和成因探讨[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2019.

[2] 刘金平, 杨荣珍, 李国翠. 石家庄市一次强对流暴雨天气分析[J]. 安徽农业科学, 38(35): 20213-20216.

[3] 刘旸, 程晓龙, 海滢. 基于 SWCWARR 模式的一次重庆江北机场对流天气过程分析[J]. 高原山地气象研究, 2022, 42(1): 30-36.

[4] 丁一汇. 暴雨和中尺度气象学问题[J]. 气象学报, 1994(3): 274-284.

[5] Doswell III, C.A. (1978) The Distinction between Large-Scale and Mesoscale Contribution to Severe Convection: A Case Study Example. *Weather and Forecasting*, 2, 3-16.
[https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1987\)002<0003:TDBLSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1987)002<0003:TDBLSA>2.0.CO;2)