

邵阳一次极端暴雨过程成因分析

肖思晗, 王晶晶, 张俊利, 杨 宇, 谢忆南, 黄俊翔

邵阳市气象局, 湖南 邵阳

收稿日期: 2026年8月10日; 录用日期: 2026年9月4日; 发布日期: 2026年9月15日

摘 要

利用常规观测资料及ERA5再分析资料, 对2025年6月7~8日邵阳极端暴雨过程的环流背景与物理量特征进行诊断分析。结果表明: 过程具有强对流性和局地极端性, 环流分析显示, 200 hPa高空急流出口区右侧分流辐散提供强烈抽吸作用, 地面暖低压倒槽稳定维持, 低层冷空气是极端暴雨的触发机制。热力场上, 对流发生前大气呈高能高湿状态, 暖云层深厚; 动力场上, 中层为较强上升运动和辐合中心; 南海、孟加拉湾-北部湾暖湿气流是暴雨的水汽源, 湘西南一带配合有较强水汽辐合中心。低层风场脉动及低层冷空气渗透是本次极端暴雨预报预警中有不容忽视的重要因素。对流云团位置与强降水落区有较好对应关系, 强降雨中心出现在TBB低值中心附近或低值到高值梯度较大处。

关键词

极端暴雨, 物理量场, 不稳定层结

Analysis of the Causes of an Extreme Rainstorm Event in Shaoyang

Sihan Xiao, Jingjing Wang, Junli Zhang, Yu Yang, Yinan Xie, Junxiang Huang

Shaoyang Meteorological Bureau, Shaoyang Hunan

Received: August 10, 2026; accepted: September 4, 2026; published: September 15, 2026

Abstract

Conventional observation data and ERA5 reanalysis data are used to conduct a diagnostic analysis of the circulation background and physical quantity characteristics of an extreme rainstorm event in Shaoyang from June 7 to 8, 2025. The results indicate that the process exhibited strong convection and local extremity. Circulation analysis revealed that the right-side divergence of the 200 hPa upper-level jet stream outlet provided a strong suction effect, a stable maintenance of the surface warm low-pressure inverted trough, the low-level cold air served as the triggering mechanism for the extreme rainstorm. In the thermal field, the atmosphere was in a high-energy and high-

humidity state before convection occurred, with deep warm clouds; Dynamically, the mid-level features strong upward motion and a convergence center. The warm and moist airflows from the South China Sea and the Bay of Bengal-Beibu Gulf were the water vapor sources for the rainstorm, accompanied by a strong water vapor convergence center in southwestern Hunan. Low-level wind field fluctuations and the infiltration of low-level cold air were important factors that could not be ignored in the forecast and early warning of this extreme rainstorm. The convective cloud clusters corresponded well with the heavy precipitation area, and the heavy rainfall center appears near the low TBB center or in areas with a large gradient from low to high TBB values.

Keywords

Extreme Rainstorm, Physical Quantity Fields, Unstable Stratification Structure

Copyright © 2026 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

暴雨是湘西南地区夏季常见的灾害性天气之一，在全球气候变暖的背景下，近些年极端暴雨频发，给人民生命财产、社会经济造成重大损失。陈静静等[1]通过研究指出，影响湖南暴雨的6种典型天气形势，即低涡冷槽型、地面暖倒槽锋生型、副高边缘型、台风型、梅雨锋切变型和华南准静止锋型。其中低涡冷槽和地面暖倒槽锋生出现频次最多，这类典型的形势均是在有利的大尺度环流背景下，冷暖空气在湖南交汇，使引发暴雨的天气尺度系统或中尺度系统发展。目前已有很多学者对典型暴雨的降水特征、形成原因及维持机制等开展研究，并取得一系列研究成果。刘红武等对[2]湖南一次大范围致灾暴雨天气过程中分析表明高低空急流与低空涡旋的有利配置是过程的主要影响系统；毛紫怡[3]指出持续性暴雨过程中，不同阶段水汽输送路径不同，各路径水汽输送比例和高度也不同。胡燕[4]对一次低涡暴雨研究指出，地面浅薄冷空气、不对称的位涡分布及中低层强上升运动是极端暴雨的主要原因。

2025年邵阳出现了一次局地极端暴雨，部分乡镇小时雨量突破当地极值。此次过程发生在副高边缘，但没有天气尺度系统的发展和经典的流场配置，也没有偏南急流的发展，是一种非典型弱天气背景的天气形势。这类形势下暴雨的量级和落区的预报难度较大，数值模式预报往往也会有不同程度的偏差。本文利用ERA5再分析资料和常规气象观测资料，对过程的环流形势和主要影响因子等进行分析，探究暴雨形成成因，以期为本地区非典型极端暴雨天气的形成和预报提供一些参考依据。

2. 资料来源

本文所用资料主要有2025年6月7日至8日国家级地面气象站、区域自动站逐小时雨量资料，与ERA5再分析资料，水平分辨率 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 、时间分辨率为1h，包括经向风(v)、纬向风(u)、气温(t)、比湿(q)等气象要素。

3. 暴雨过程概述

3.1. 降水概况

2025年6月7日至8日，邵阳出现了暴雨、大暴雨天气过程，此次过程自6月7日20时从隆回开始发展，23时至8日02时降水显著加强并东扩，随后雨带范围进一步扩大且南压，持续至8日12时，

全市都出现了不同程度的降水。降水量分布极为不均(图 1), 强降水中心主要集中在新邵、隆回、绥宁、洞口, 其中, 50~99.9 mm 116 站(75 乡镇), 100~249.9 mm 41 站(30 乡镇), 最大降雨为绥宁县金屋塘镇金屋塘, 达 188.6 mm, 小时雨强也达到 110.8 mm, 突破当地历史极值; 新邵坪上镇颜岭水库小时雨强达到 106.3 mm, 为历史极值, 可见本次降水过程具有很强的对流性特征。

3.2. 环流形势

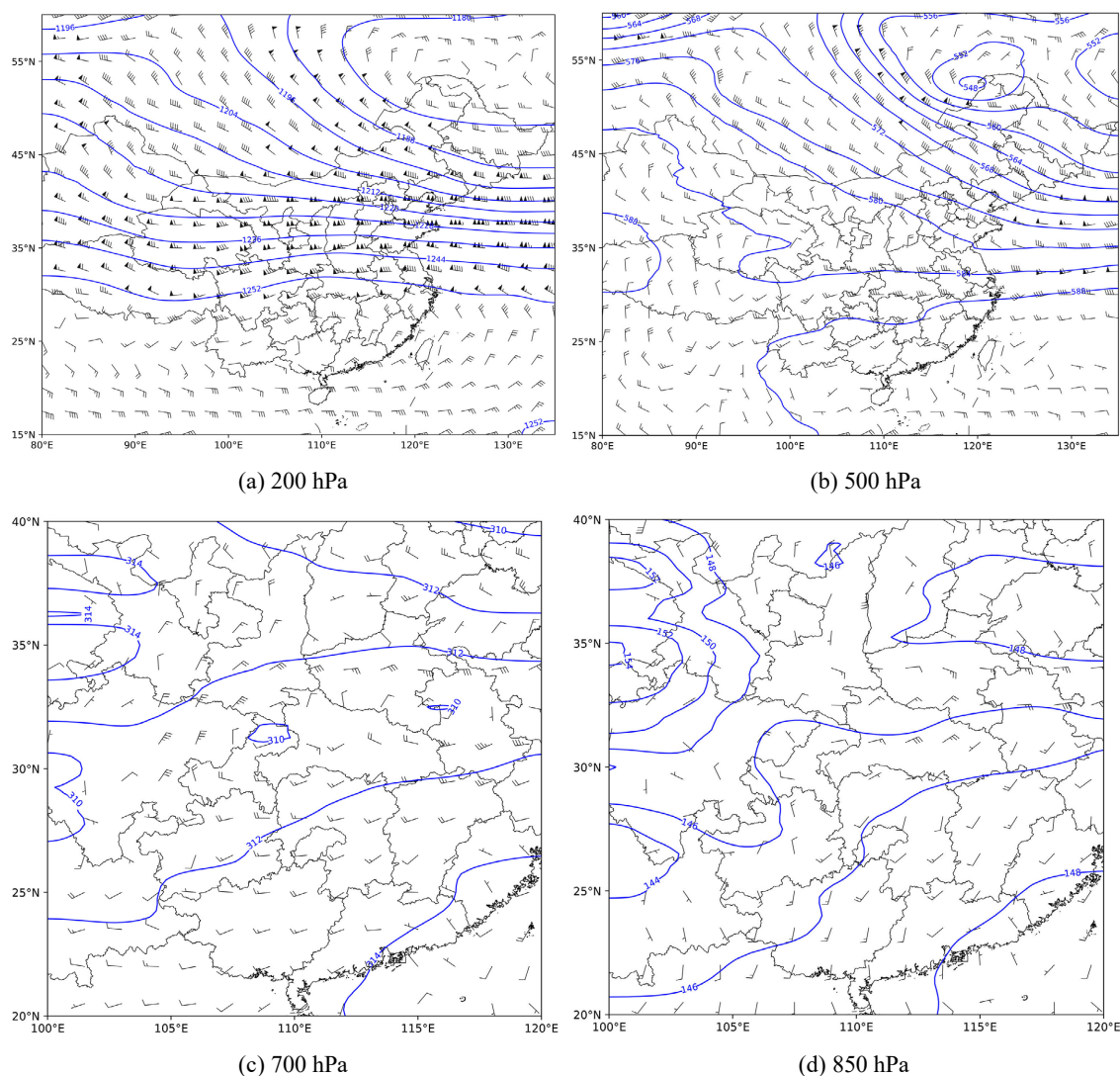


Figure 1. Distribution of wind field with wind speed (m/s) and geopotential height (dagpm) at 20:00 on June 7, 2025
图 1. 2025 年 6 月 7 日 20 时风场(m/s)和位势高度(dagpm)分布

暴雨发生前, 6 月 7 日 20 时 200 hPa, 湖南处在高空急流出口区的右侧分流区中, 高层辐散流场的抽吸作用加强了低层辐合上升运动发展; 500 hPa 巴湖以西横槽东移转竖, 东北冷涡逐渐向偏东南方向移动, 其后偏北气流引导冷空气抵达鄂北 - 苏皖一带; 中低纬西太平洋副高强盛, 西脊点伸至 95°E 左右, 588 线在湘中附近摆动。700 hPa 上鄂皖中部有气旋性环流发展, 形成明显切变辐合, 湖南基本处在切变南侧的偏南气流中。分析 850 和 925 hPa 环流场可见, 切变线位置基本重合, 但较 700 hPa 上略偏南, 主要位于湘北。结合地面, 湘中及以南南部有暖低压倒槽发展, 整个邵阳地区白天地面温度较高, 最高气温

超 35℃，储存了大量不稳定能量；且在邵阳中北部有明显辐合线，冷空气从低层楔入暖湿气流，强位势不稳定能量释放，对流天气触发。

4. 物理量特征

4.1. 不稳定条件

分析怀化站 7 日 20 时探空图(见图 2)，600 hPa 以下环境风较小，风速基本在 2~6 m/s，垂直风切变弱；抬升凝结高度约 1.5 km，0℃层高度约 5 km，暖云层厚度很大，有利于高效率降水；CAPE 值为 1940.9 J/kg 能量充足，且形态呈狭长型有利于较大对流雨强的发生；K 指数达 43.9℃，对暖季强降水也有很好的指示性。Td850 为 14℃，T850-T500 为 25.3℃，地面露点为 27.5℃，达到了极端暴雨标准。

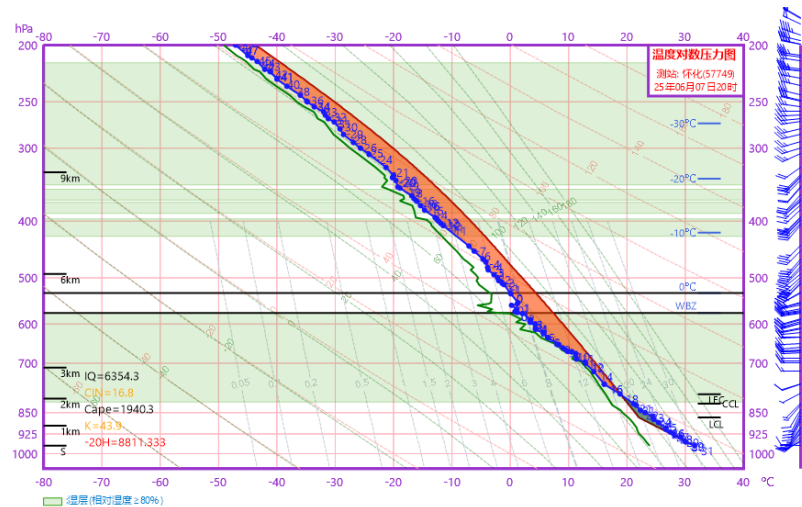


Figure 2. Radiosonde sounding chart for 20:00 on June 7, 2025
图 2. 2025 年 6 月 7 日 20 时探空图

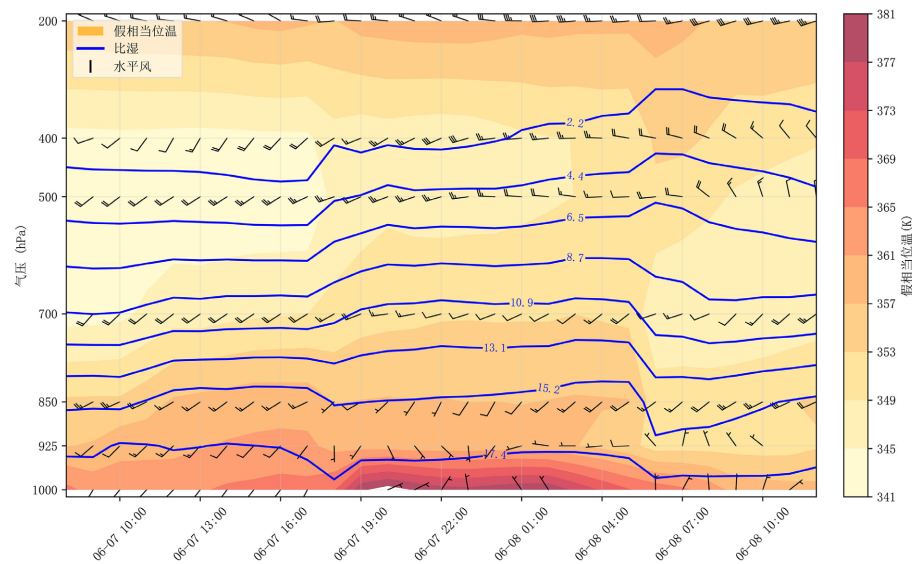


Figure 3. Time-height cross-section distribution of pseudo-equivalent potential temperature, horizontal wind velocity, and specific humidity in the vicinity of Jinwutang, Suining
图 3. 绥宁金屋塘附近假相当位温、水平风和比湿的时间 - 高度剖面分布

此次强降水过程中,湘中一带中低层偏南气流较弱,西南急流并未建立,但过程开始前后均存在风速的脉动。从绥宁各要素剖面图(图 3)看,期间中低层假相当位温大致稳定在 349 K 以上,为中尺度对流的发生发展提供了强的不稳定能量。可以看出,在暖湿气流的作用下,7 日 10 时开始 850 hPa 出现大于 350 K 的高假相当位温中心,比湿由 14 g/kg 上升到 15.5 g/kg,其上至 500 hPa 表现为对流不稳定层结。7 日 18 时近地层有弱冷空气的渗透,925 hPa 以下假相当位温显著增大至 369 K 以上,形成一个高能舌,假相当位温垂直梯度也加大,比湿稳定维持高值,为暴雨提供了潜在的不稳定能量库。由于降水对能量的消耗,8 日 5 时前后不稳定层结减弱,比湿也明显减小。

4.2. 动力条件

从绥宁的散度和垂直速度时间演变上看(图 4),极端降水出现前 925 hPa 至 500 hPa 附近表现为弱的辐合,降水期间 850 hPa 辐合强度有所加强,散度中心值 $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,850~400 hPa 基本为负散度区,再往上为正散度区,最大值为 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。强降水区 8 日 02 时开始 925 hPa 以上基本为上升运动,8 日 04 时至 06 时开始增强,最大垂直速度 -1.0 Pa/s ,中心位于 500~400 hPa 附近,与中层和高层负散度大值区基本一致,为强降水提供了较有利的动力条件。

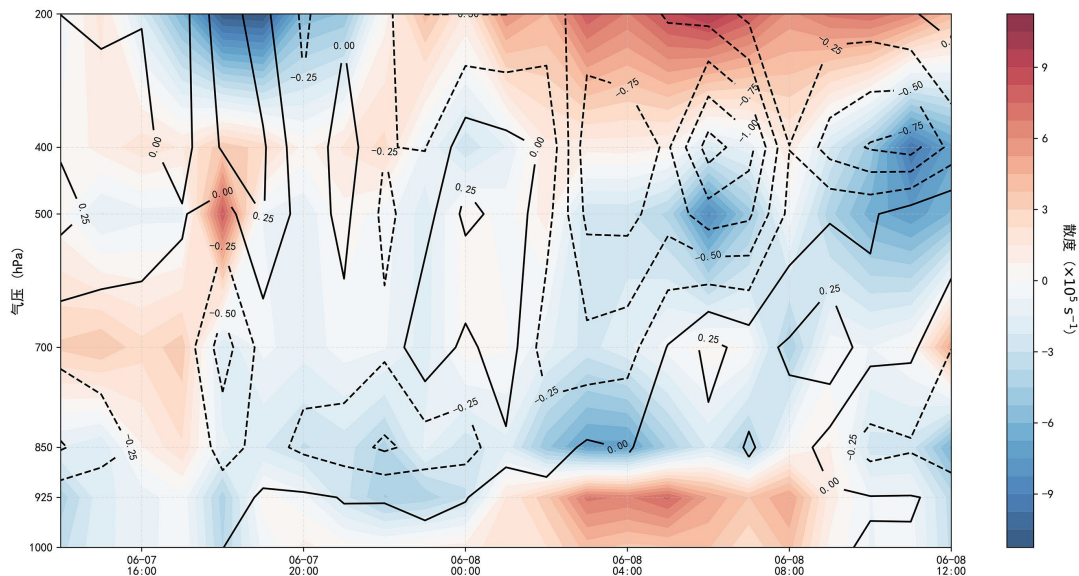


Figure 4. Time-height cross-section of divergence (shaded region) and vertical velocity (contour lines) along Jinwutang, Suining

图 4. 散度(阴影区)和垂直速度(等值线)沿绥宁金屋塘的时间 - 高度剖面

4.3. 水汽条件

从 850 hPa 的水汽通量和水汽通量散度分布情况看,邵阳地区有东、西两条水汽通道(图 5)偏东气流从南海输送水汽,偏西气流自中南半岛至北部湾一带输送水汽,两支气流在两广交汇转为西南向输送水汽到湘中。7 日 20 时邵阳西部上空水汽通量最大值达 $12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;湘西南到湘中以北地区有明显西南 - 东北向水汽辐合带,配合大范围水汽通量散度负值区,低值中心在 $-3 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 附近。

图 6 给出了绥宁金屋塘的水汽通量散度时间 - 垂直剖面。强降水开始前大气中低层水汽通量在 $10 \sim 14 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,8 日 1 时左右 850~925 hPa 附近水汽通量开始增强,大值在 $16 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,并配合有较强的水汽辐合,绥宁局地也开始出现强降水。此外,整个强降水期间中低层一直维持强的水汽

辐合，水汽通量散度大值中心在 $-4\sim-9\times10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ，且23时前后开始辐合范围由925 hpa扩展至500 hpa，使得湘西南地区汇聚大量水汽，为极端暴雨的形成提供了必要的水汽条件。

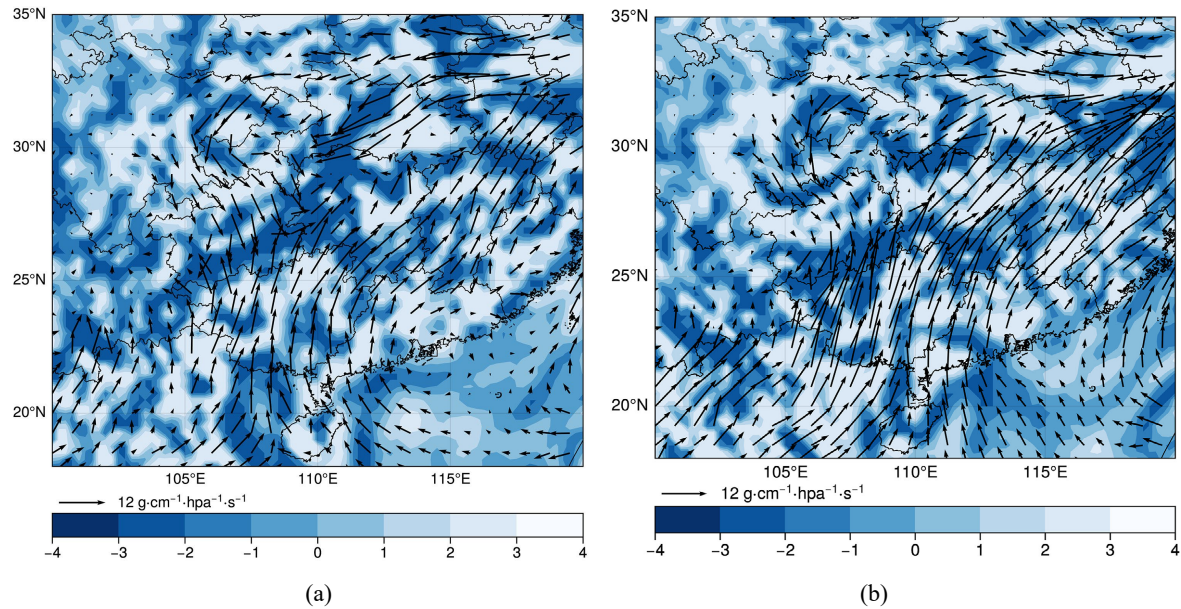


Figure 5. Water vapor flux and water vapor flux divergence at 850 hPa at 20:00 on the 7th (a) and 02:00 on the 8th (b)
图 5. 7 日 20 时(a)和 8 日 02 时(b) 850 hPa 的水汽通量和水汽通量散度

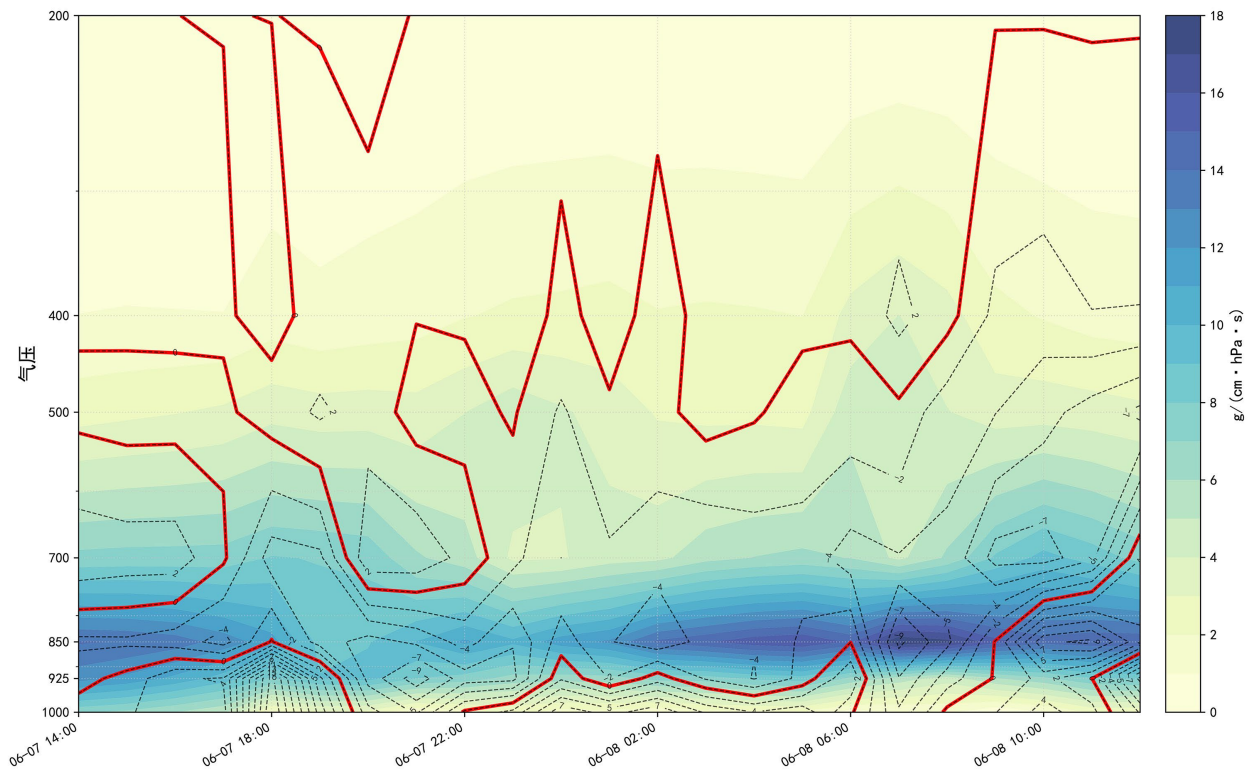


Figure 6. Time-height cross-section of water vapor flux (shaded regions) and water vapor flux divergence (contour lines) along Jinwutang, Suining
图 6. 水汽通量(阴影区)和水汽通量散度(等值线)沿绥宁金屋塘的时间 - 高度剖面

5. 云顶亮温分析

此次暴雨过程具有明显的对流活动，基于逐4小时 tbb 分析的7日18时至8日06时云系演变(图7)可看出，相继生消的中尺度对流系统(MCS)是引发西北部强降水的直接系统。7日18时(图7(a))上游地区贵州、怀化已有中尺度云团生成，邵阳大部处于TBB正值区内，20时TBB低值区逐渐东移且 $<-70^{\circ}\text{C}$ 以下冷云范围增大，邵阳西北部处在TBB低值中心边缘的大梯度区内，降水开始发展。22至8日0时贵州、怀化一带中尺度对流系统快速发展，形成东北西南向的带状，TBB $<-60^{\circ}\text{C}$ 冷云区范围更广，开始覆盖邵阳西部和北部地区。随后带状断裂，2时至06时是东北段中尺度对流系统的旺盛期，其TBB $<-70^{\circ}\text{C}$ 冷云面积最大且维持，极端强降雨也主要集中在该时段。02时邵阳北部在明显的TBB低值内，新邵、隆回县出现该阶段最大小时雨强为106 mm/h；04时对流云团南压影响洞口和绥宁，04~05时27个自动站小时雨强超30 mm。8日06时后，系统开始呈现减弱趋势，TBB $<-70^{\circ}\text{C}$ 面积迅速减小，全市大部分地区降水仍持续但强度明显减弱，TBB低值区与短时强降水区域吻合良好。

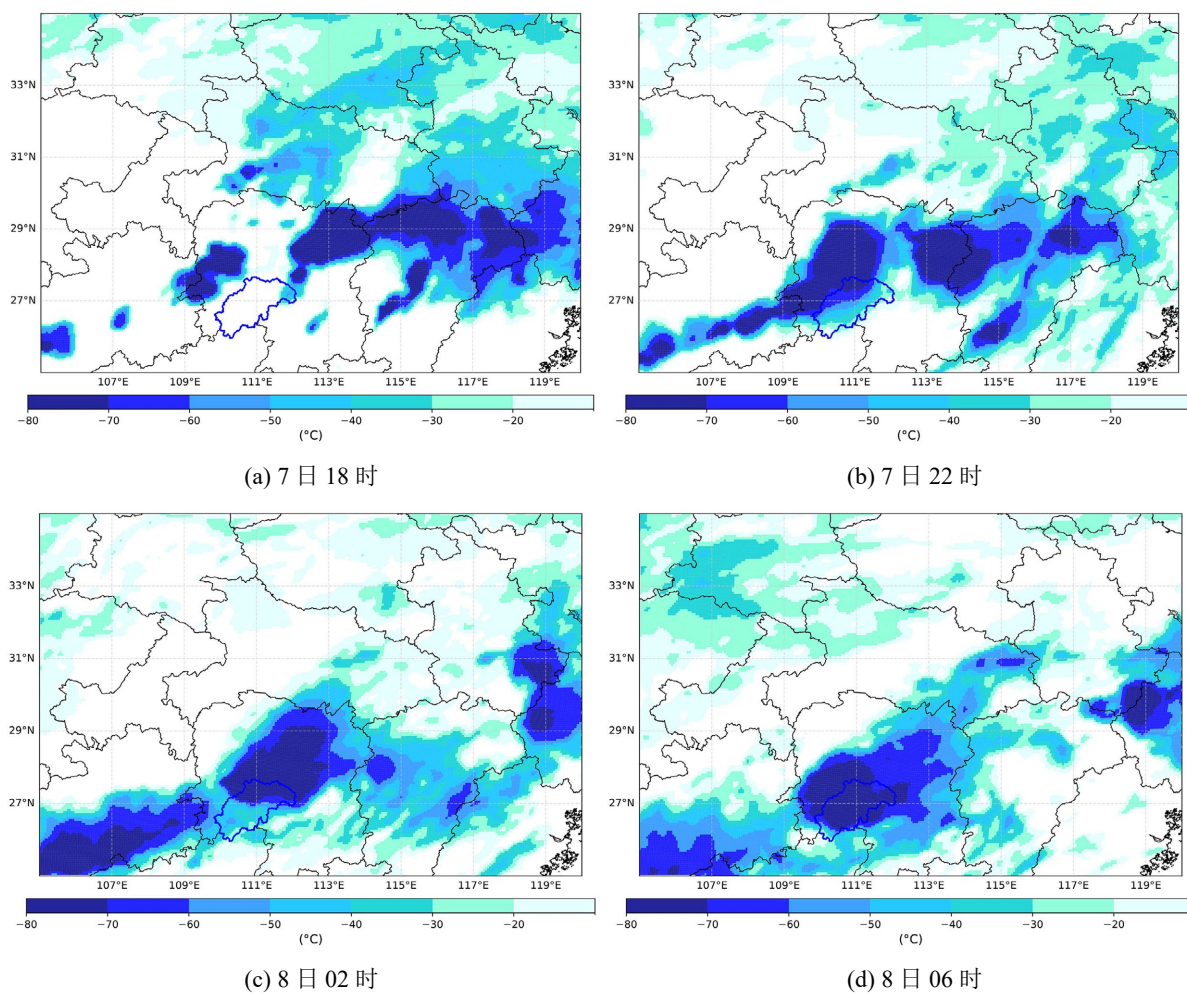


Figure 7. Temporal evolution of TBB at 4-hour intervals from 18:00 on the 7th to 06:00 on the 8th

图7. 7日18时至8日06时逐4h的TBB演变

6. 小结

本次强降水天气过程，绥宁县、新邵县个别乡镇小时雨强突破当地历史极值；副高边缘背景下，高

层急流分流辐散，地面暖低压发展，冷空气楔入触发强对流。

从物理机制上看，CAPE 达 $1940.9 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，K 指数 43.9°C ，暖云层厚度大，利于高效降水。中层较强上升运动和辐合构成动力抬升；双通道水汽汇合、中低层维持强水汽辐合，为极端暴雨的形成提供了必要的水汽条件。

对流云团的位置与强降水落区有较好的对应关系，强降雨中心出现在 TBB 低值中心附近或低值到高值梯度较大处，且主要发生在对流系统旺盛期。

本次过程中西南急流并未建立，但中低层存在风速脉动，配合暖湿气流输送，促使边界层能量持续积聚，为对流发展提供了充沛的不稳定能量；此类配置下的极端降水预报，需重点关注中低层风场脉动所表征的能量累积过程及其与触发机制的有利配合。

参考文献

- [1] 陈静静, 叶成志, 吴贤云. 湖南汛期暴雨天气过程环流客观分型技术研究[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(2): 119-125.
- [2] 刘红武, 胡燕, 张海, 等. 2020 年“6.9”湖南致灾暴雨预报偏差及成因分析[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 117-124+155.
- [3] 毛紫怡, 李国平, 许霖. 湖南一次持续性暴雨过程的水汽输送与收支特征[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(5): 513-522.
- [4] 胡燕, 刘红武, 蔡荣辉, 等. 低涡影响下湖南一次致洪极端暴雨过程成因分析[J]. 高原山地气象研究, 2022, 42(4): 67-74.