

李向红,伍静,曾毓琳,等. 2021年6月27日—7月4日桂东北连续暴雨成因分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(3):45–49.

Li Xianghong, Wu Jing, Zeng Yulin, et al. Analysis on cause of continuous heavy rain in Northeast Guangxi from June 27 to July 4, 2021[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(3): 45–49.

## 2021年6月27日—7月4日桂东北连续暴雨成因分析

李向红, 伍 静, 曾毓琳, 张雅昕, 黎微微, 王艳兰\*

(桂林市气象局, 广西 桂林 541001)

**摘要:** 利用常规观测资料、MICAPS及多源融合细网格实况和再分析资料,对2021年6月27日—7月4日桂东北连续强降水过程进行了综合分析。结果表明,桂林市西北部出现连续8d、最大累计雨量达1005mm、资源站24h累计降水突破历史极值的强降水,不仅与稳定的环流形势有关,也与地形的抬升作用密切相关;稳定且强大的副热带高压为连续性强降水提供了背景条件,副热带高压稳定维持在桂林市东南部以及低涡切变的交替影响是暴雨持续的关键;850hPa低空急流脉动以及地形的抬升作用使短时暴雨增幅;强降雨带位于850hPa辐合带和500hPa强上升区附近;强降水由强对流云团持续影响及强降水回波形成的列车效应造成。

**关键词:** 连续暴雨;副高;低空急流;脉动;形成机制

**中图分类号:** P458.121.1

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.08

### 引言

我国气象工作者多年来积累了很多暴雨形成机理与触发机制的研究成果。例如冉令坤等<sup>[1]</sup>应用广义湿位涡刻画河南“7·20”极端暴雨中尺度系统的垂直风切变、涡度等动力和热力因素垂直结构特点,认为边界层急流带来的充沛水汽在太行山和嵩山迎风坡辐合抬升,致使河南暴雨长时间维持,产生极端降水量。陈红专等<sup>[2]</sup>和付炜等<sup>[3]</sup>分析了湖南持续性暴雨的环流背景和大尺度水汽输送特征,认为天气系统的有效配置和稳定维持是强降雨持续的主要原因,低空急流的演变和进退与暴雨落区和强度的演变关系密切,超低空急流断裂处的辐合区叠加在湘桂边界南岭山脉特殊地形上,动力抬升触发及维持作用更加明显。张芳丽等<sup>[4]</sup>认为低空急流最大风速出口辐合上升区与地形的辐合抬升叠加形成强烈的垂直上升运动,成为暴雨的动力触发条件。梁红丽等<sup>[5]</sup>研究了低纬高原副高外围暖区暴雨边界层触发条件,研究表明降水峰值的形成与偏南气流脉动形成的列

车效应有关。齐道日娜等<sup>[6]</sup>对河南极端暴雨的研究表明,偏东气流持续的暖平流输送、低层变形场锋生作用,以及边界层急流异常强盛的水汽输送是极端暴雨成因。陈芳丽等<sup>[7]</sup>发现边界层急流辐合形成中尺度能量锋有利于强降水的触发。辜旭赞等<sup>[8]</sup>分析表明,华南、江南持续性暴雨是因东亚副高偏强偏西,以及季风槽异常活动造成孟加拉湾和南海上空的大尺度水汽进入大陆造成的。李华实等<sup>[9]</sup>认为,广西天等县极端强降水是高空槽加深东移引导低层低涡和辐合切变线缓慢南压造成的。蔡悦幸等<sup>[10]</sup>发现在广西持续性暴雨期间,西太平洋副热带高压异常偏强、偏西,青藏高原上不断有高空短波槽东移,大量水汽沿短波槽前和南海季风槽前的西南气流向广西输送。周云霞等<sup>[11]</sup>发现低质心暖云降水回波形成的列车效应是极端强降水产生的直接原因。欧徽宁等<sup>[12]</sup>和屈梅芳等<sup>[13]</sup>分析表明,广西连续性暴雨的大气环流背景为500hPa中高纬地区深槽的稳定维持,引导北方冷空气不断补充南下影响广西。

广西东北部越城岭山脉的猫儿山主峰海拔

收稿日期: 2022-05-16

基金项目: 广西气象科技重点项目(桂气科2022Z01)

作者简介: 李向红(1966—),正研级高级工程师,主要从事暴雨形成机理研究与预报。E-mail: gllxh99@163.com

\* 通讯作者: 王艳兰,主要从事暴雨及强对流天气预报。E-mail: glqxt@163.com

2141m, 是华南第一高峰, 越城岭东南面是海洋山脉, 在南岭的越城岭与海洋山之间形成狭长平原即为湘桂走廊。据统计, 每年汛期, 这里都会发生连续性大暴雨, 而猫儿山与湘桂走廊等特殊地形, 多年来一直被认为是桂东北极端暴雨增幅的因素, 本文将对 2021 年 6 月 27 日至 7 月 4 日桂东北过程成因进行分析, 为桂东北连续性暴雨预报提供参考依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 雨量实况

2021 年 6 月 26 日至 7 月 4 日桂林西北部连续 8d 出现暴雨, 最强降水出现在灵川兰田气象观测站, 累计雨量达到 1005.7mm, 其次为兴安猫儿山东南侧海拔 1600m 气象观测站, 累计雨量 935.3mm, 小时最大雨强为临桂宛田十二滩漂流风景区国家气象观测站(82.5mm)。

本次过程持续时间长, 累积雨量大, 强降水分布不均匀, 在桂林市西北部高度重叠, 短时强降水较大, 主要出现在夜间。与历史同期相比, 资源偏多 376%, 桂林、龙胜和灵川偏多 150%~180%。据统计, 有 16 个自动站雨量偏多 300mm 以上, 其中灵川兰田站偏多 720.8mm, 兴安猫儿山东南侧海拔 1600m 观测站偏多 704.3mm, 临桂宛田十二滩漂流风景区观测站偏多 644.6mm。

### 1.2 资料来源与研究方法

采用的数据为常规高空、地面气象观测资料、雷达、卫星资料、广西区域地面气象站(包含基本站和自动站)的逐小时雨量数据, 和中国区域多源融合实况分析产品(其空间分辨率为  $1\text{km}\times 1\text{km}$ 、时间分辨率为逐小时), 包括降水、气温、风速、相对湿度等 6 个要素。研究方法采用动力诊断的方法, 通过对垂直速度、散度等物理量, 以及径向风分量的分析, 研究暴雨的触发机制和维持环流背景。

## 2 触发机制及维持机制分析

### 2.1 环流背景

2021 年 6 月 27 日至 7 月 4 日桂东北连续性暴雨发生期间, 西太平洋副热带高压经历减弱东退西进加强的过程。6 月 27—28 日, 500hPa 副热带高压边缘从中南半岛东退到  $120^{\circ}\text{E}$ , 29—30 日暴雨加强阶段, 副热带高压边缘西伸稳定在  $110^{\circ}\text{E}$ , 500hPa 副热带高压脊线从  $18^{\circ}\text{N}$  北抬到  $21^{\circ}\text{N}$ , 同时各层在四川形成低涡系统; 连续暴雨中期即 7 月 1 日至 2 日,

500hPa 副热带高压边缘维持在华南沿海, 西脊点维持在  $110^{\circ}\text{E}$ , 但副热带高压脊线北抬明显, 由  $21^{\circ}\text{N}$  逐渐北抬到  $25^{\circ}\text{N}$ ; 连续暴雨后期即 7 月 3—4 日副热带高压加强西伸北抬, 副高边缘到达  $100^{\circ}\text{E}$ , 脊线北抬到  $26^{\circ}\text{N}$ 。根据文献[14], 大范围的广西暴雨副热带高压脊线位于  $17^{\circ}\text{N}$ , 而此次连续性暴雨 500hPa 副热带高压明显偏强偏北, 整个暴雨过程副热带高压脊线在  $20^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$  之间, 以日雨量最大的 6 月 30 日和 7 月 2 日为例, 30 日 500hPa 副热带高压脊线位于  $21^{\circ}\text{N}$ , 2 日副热带高压脊线位于  $25^{\circ}\text{N}$ , 副热带高压边缘西南气流持续影响桂林西北部的越城岭山脉猫儿山, 这是导致局部暴雨的可能原因。

持续暴雨期间, 华北不断有小槽东南移动, 同时河套地区也不断有分裂小槽东移, 引导地面弱冷空气南下。27—28 日 850hPa 在四川—贵州一带形成切变线, 影响桂林的西南气流增大到  $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 29 日在四川形成深厚低涡系统, 29 日晚到 30 日深厚低涡系统沿切变线东移, 低压中心从四川与贵州交界东移至湖南—江西交界, 同时低空急流形成, 影响桂林西南风加大到  $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 受低涡和西南气流影响, 桂林西北部的龙胜、灵川青狮潭水库附近出现暴雨到大暴雨, 局地特大暴雨。7 月 1—2 日 850hPa 切变线维持在贵州—湖南交界, 高原东部有阶梯槽东移引导地面冷空气南下, 同时副热带高压加强西伸, 影响桂林的西南风加强到  $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 桂林北部处于低涡切变东南侧强风向风速辐合区, 同时地面静止锋也在桂林北部摆动, 大暴雨中心北抬到资源和兴安北部的猫儿山附近。7 月 3—4 日副热带高压加强, 暴雨范围明显缩小。

### 2.2 触发机制

#### 2.2.1 低空急流与地形辐合抬升

2021 年 6 月 30 日 01 时至 05 时逐小时的雨量都超过 20mm, 其中 02 时宛田 1h 雨量达到 82.5mm; 2021 年 6 月 30 日 03 时至 05 时龙脊逐小时雨量也超过 20mm。多源细网格 10m 风实况资料(图 1)表明, 两个站都在低层大风带中, 大风中心位置对应天平山与猫儿山, 其高度可代表 925~850hPa, 01 时到 02 时低层偏南风速继续增大, 尤其是中心。达到急流强度, 即出现低空急流脉动, 配合 850hPa 低涡系统, 有利于降水增幅。短时强降雨点出现在在极大风速核的后侧, 即猫儿山西南风迎风坡一侧, 说明地形对暴雨形成也起到增幅作用。

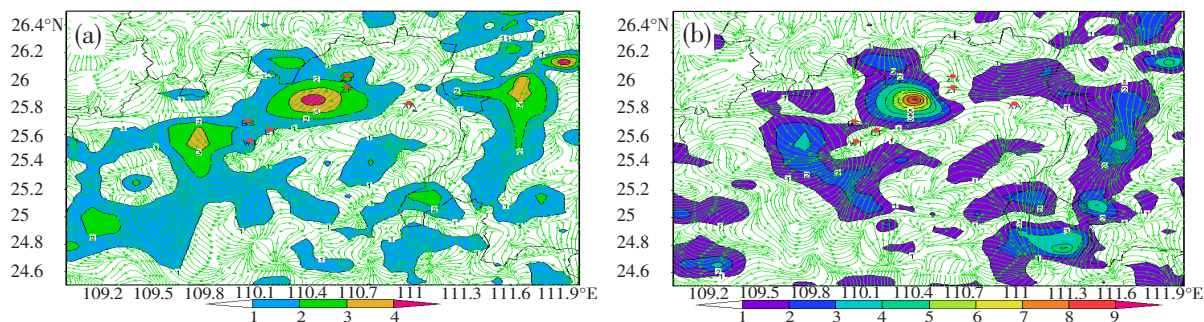


图 1 2021 年 6 月 30 日 01 时(a)、02 时(b)多源细网格再分析资料 10m 风分析(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

(BS、LT、ZY、ZF、XA 分别代表白水、蓝田、资源、中峰和兴安站)

### 2.2.2 物理量结构分析

分析多源再分析资料 850hPa 散度和 500hPa 垂直速度可知,6 月 30 日 02 时 850hPa 在西北部存在明显辐合区,辐合中心在龙胜及灵川北部一带,散度值达到 $-5\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ ,分别对应龙胜宛田、灵川蓝田 82mm、55mm 的 1h 雨量,同时 02—05 时龙胜白水 3h 雨量达到 103.9mm,达到暴雨红色预警信号标准;同时 500hPa 在西北部存在较大的上升速度中心,辐合值达到 $-5\times 10^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,位于龙胜一带,有利于龙胜短时强降水的发生。7 月 2 日 02 时 850hPa 资源及北部存在明显辐合区中,辐合值达 $-5\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ ,资源位于 $-2\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ 的辐合区中,500hPa 在北部存在明显的上升速度区,上升速度中心达 $-7\times 10^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,对应高空槽系统,500hPa 强的上升速度区配合 850hPa 辐合区,造成了北部资源出现 164.3mm 的 3h 强降水。

分析 27 日 08 时至 30 日 08 时 MICAPS 资料动力物理量资料可知,各层垂直速度中 850hPa 最明显,27—30 日桂林一带有强的上升速度中心,与相应时段的暴雨到大暴雨区对应,30 日上升速度区影

响,有利于中南部强降水发生。同时 925hPa 水汽通量辐合区影响广西北部,桂林市西北部位于辐合中心附近,与强降水中心对应。

分析 7 月 1—2 日 850hPa 物理量资料可知,1 日 14 时、20 时及 2 日 02 时、08 时桂林中低层一带对应有较强的上升速度,与强降水区对应;同时 925hPa 也对应有较大的水汽通量辐合区,桂林市西北部位于强辐合中心附近,与强降水中心对应。

### 2.3 副高对连续暴雨的影响

6 月 27 日 500hPa 的 588 线已经控制在中南半岛,28 日 588 线东撤  $17^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{E}$ ,29 日副高脊点西伸到  $17^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{E}$ ,30 日副高西脊点北抬至  $20^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{E}$ 。此后 7 月 1 日到 7 月 2 日副高西脊点稳定维持在  $20^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{E}$ 。7 月 3—4 日,副高继续加强西伸,脊线逐渐从  $20^{\circ}\text{N}$  北抬到  $22^{\circ}\text{N}$ ,588 线西脊点西伸到  $105^{\circ}\text{E}$ 。从 6 月 27 日 20 时到 7 月 4 日 20 时,副热带高压脊维持在  $17^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$  摆动,其西脊点与历史同期相比,副热带高压脊线相比往年偏北 5 个纬距。

分析暴雨前后多源再分析资料 500hPa 高度场随时间演变(图 2),发现暴雨发生前,副高偏西偏

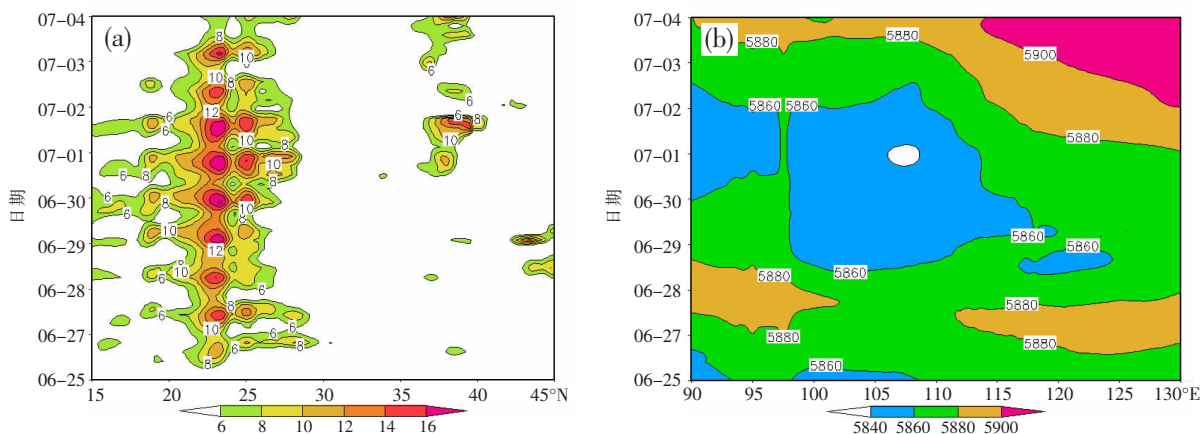


图 2 2021 年 6 月 25 日至 7 月 4 日 500hPa 高度(单位:位势米)沿  $25^{\circ}\text{N}$  随时间演变(a)及 850hPaV 分量(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )沿  $110^{\circ}\text{E}$  随时间演变(b)



北,暴雨持续期间,副高东退减弱,暴雨结束后,副高加强西伸,可见副热带高压的稳定维持在桂林市东南部是暴雨持续的关键。分析暴雨期间 850hPa V 分量演变可以看到,暴雨期间 850hPa 维持较强的偏南气流,其中 6 月 30 日西南风达  $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,对应龙胜出现大暴雨;7 月 2 日西南风达  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,对应资源出现大暴雨。

## 2.4 卫星云图特征分析

FY4A 红外云图显示(图 3),6 月 27 日 21 时开始在桂林西北部发展对流云带,23 时明显增强,28 日 01 时达到最强,其 TBB 较低,达到 210K,强对流云持续了 3~4h,造成局部大暴雨。29 日 22 时至 30 日 01 时云带发展缓慢东南移影响桂林。30 日 00 时起桂林有孤立对流云团发展,02—03 时对流云团稍有加强,但面积仍较小,TBB 较低,达到 210K 以下,由于移动缓慢降水效率高,00—05 时累积雨量达 220mm。7 月 1 日 10—12 时对流云团稳定影响临桂附近,造成临桂茶洞 11 时出现 37.5mm 的小时雨量。21 时强中心继续东移至桂林北部,开始影响资源,TBB 降低,达到 210K 以下,22—23 时,东部对流云团东移,西南部对流云团增强,2 日 00 时两云团合并加强,TBB 210K 以下面积增大,资源小时降水达 21.4mm,01 时对流云团达到最强,TBB 210K 以下面

积增至最大,资源小时降水达 60.2mm。02—03 时对流云团维持,小时降水持续达 30mm 以上。由于强对流云团少动,造成资源 1 日晚降雨量达 251.9mm。

## 2.5 强降水雷达回波演变特征分析

6 月 29 日 00—03 时带状回波影响兴安一带,04—05 时明显减弱,造成兴安猫儿山 79.3mm 降水。15—16 时回波中心达 45dBZ 以上,自北向南影响桂林中南部,直至 20 时,造成桂林南部的恭城、荔浦出现暴雨。22 时开始在湘桂走廊形成对流回波带,临桂一带回波加强,回波中心达 45dBZ 以上,其西南部不断有回波东北移影响,对临桂宛田一带形成列车效应,30 日 01—02 时最强,回波中心达 50dBZ,造成临桂宛田站小时雨量达 82.5mm。03—04 时仍达 45dBZ,造成临桂宛田站 29 日夜间出现 212.6mm 的强降水。

7 月 1 日 09 时永福对流回波发展,10 时强对流回波带影响中部,11 时强回波中心达 45dBZ,造成临桂茶洞小时雨量 37.5mm,之后东北移减弱。20—22 时回波加强,强回波中心达 45dBZ,造成灵川兰田站 21 时小时雨量达 39.4mm,兴安华江站 22 时小时雨量达 38.1mm,7 月 2 日 00—01 时回波加强,强中心影响资源站,且西南部不断有 45dBZ 以上强回波带移经资源,形成列车效应,造成资源 00—01 时雨量达 75mm。

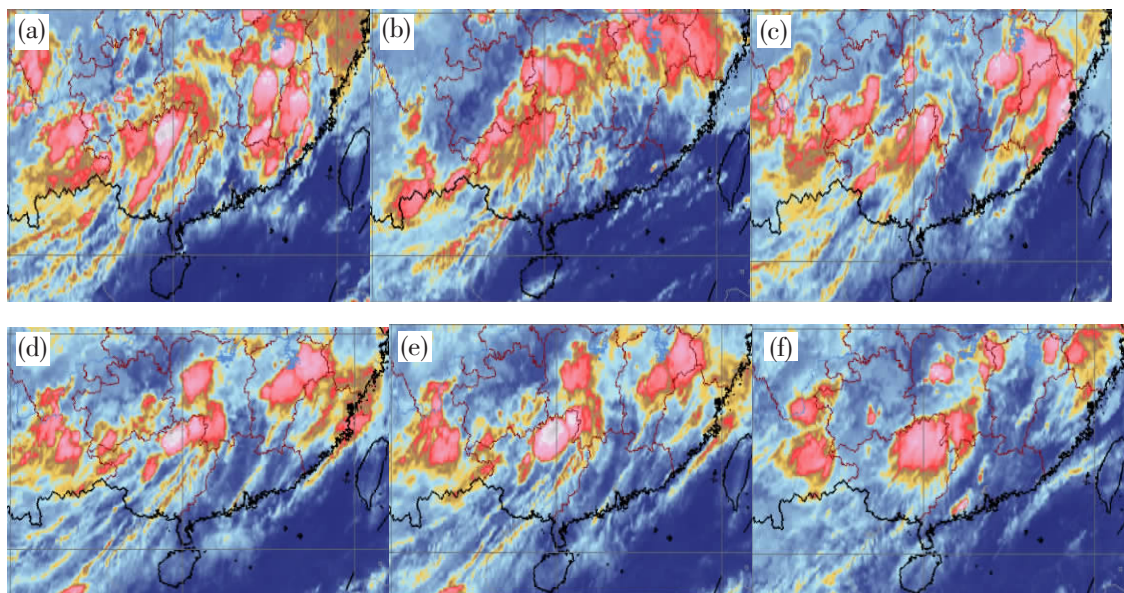


图 3 2021 年 7 月 1 日 11 时(a)、17 时(b)、21 时(c)、2 日 00 时(d)、01 时(e)、05 时(f)红外云图

## 3 结论

500hPa 副热带高压稳定并且明显偏强偏北、低

涡切变不断沿贵州、湖南东移是桂林西北部暴雨持续的关键。副热带高压加强西伸,在桂林西北部形成强西南急流,加上高原东部阶梯槽东移,使得桂林北

部处于低涡切变东南侧强风向风速辐合区和抬升区, 触发了桂林西北部强降水。850hPa 辐合带和 500hPa 强上升区与暴雨区对应较好。低空急流脉动及地形对强降水有增幅作用, 但地形对强降水分布的影响机制有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 冉令坤, 李舒文, 周玉淑, 等. 2021 年河南“7.20”极端暴雨动、热力和水汽特征观测分析[J]. 大气科学, 2021, 45(6): 1366–1383.
- [2] 陈红专, 叶成志, 陈静静, 等. 2017 年盛夏湖南持续性暴雨过程的水汽输送和收支特征分析[J]. 气象, 2019, 45(9): 1213–1226.
- [3] 付炜, 唐明晖, 叶成志. 强西南急流背景下湘桂边界两次预报失败的暖区暴雨个例分析[J]. 气象, 2020, 46(8): 1001–1014.
- [4] 张芳丽, 李国平, 罗潇. 四川盆地东北部一次突发性暴雨事件的影响系统分析[J]. 高原气象, 2022, 39(2): 321–332.
- [5] 梁红丽, 许美玲, 何钰, 等. 一次低纬高原暖区暴雨对流系统演变及边界层触发[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 104–112.
- [6] 齐道日娜, 何立富, 王秀明, 等. “7·20”河南极端暴雨精细观测及热动力成因[J]. 应用气象学报, 2022, 33(1): 1–15.
- [7] 陈芳丽, 姜帅, 李明华, 等. 边界层急流在粤东暴雨中心两次极端强降水过程中的作用[J]. 气象, 2021, 47(3): 290–302.
- [8] 辜旭赞, 于晓晶, 唐永兰, 等. 一次华南——江南持续暴雨的大尺度水汽场和中尺度特大暴雨模拟诊断分析[J]. 气象, 2014, 40(1): 18–27.
- [9] 李华实, 马智, 黄秋丰, 等. 广西天等县“5·28”极端特大暴雨中尺度成因初探[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(1): 101–106.
- [10] 蔡悦幸, 何慧, 陆虹, 等. 2020 年 6 月广西持续性暴雨的天气气候特征[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(1): 113–117.
- [11] 周云霞, 翟丽萍, 何珊珊. 2019 年“5·27”广西靖西市极端暴雨成因及可预报性分析 [J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2): 68–74.
- [12] 欧徽宁, 黄远盼, 周渭. 2017 年 6 月一次连续暴雨不同阶段对比分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(3): 49–52, 60.
- [13] 屈梅芳, 古文保. 广西一次连续性暴雨过程分析[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(4): 41–45, 130.
- [14] 李向红, 黄嘉宏. 广西大范围暴雨期间孟加拉湾强对流演变及东移特征[J]. 气象科技, 2006, 34(2): 151–156.

## Analysis on cause of continuous heavy rain in Northeast Guangxi from June 27 to July 4, 2021

Li Xianghong, Wu Jing, Zeng Yulin, Zhang Yaxin, Li Weiwei, Wang Yanlan\*  
(Guilin Meteorological Bureau, Guilin Guangxi 541001, China)

**Abstract:** Based on conventional observation data, MICAPS and multi-source fusion fine-grid factual and reanalysis data, the continuous heavy precipitation process from June 27 to July 4, 2021 is comprehensively analyzed. The results show that the northwest of Guilin city experienced heavy rainfall for 8 consecutive days, with the maximum accumulated rainfall reaching 1005mm, and the 24-hour accumulated precipitation of Ziyuan station broke through the duration extreme value. It was not only related to the stable circulation situation, but also closely related to the uplift of the terrain. The stable and strong subtropical high provided favorable background conditions for continuous heavy rainfall. The steady maintenance of subtropical high in the southeast of Guilin and the alternating influence of low vortex shear were the key to the continuous heavy rainfall. Besides, the 850hPa low-level jet pulsation and the lifting effect of topography increased the short-time rainstorm. The strong rain belt is therefore located near the 850hPa convergence zone and the 500hPa strong rising zone. The heavy precipitation is also caused by the continuous influence of the strong convective cloud and the train effect formed by the heavy precipitation echoes.

**Key words:** continuous rainstorm; subtropical high; low level jet; pulse; formation mechanism