

陆小晓,农孟松,唐昌秀,等.弱引导气流背景下广西西部特大暴雨天气过程分析[J].气象研究与应用,2021,42(2):90-94.

Lu Xiaoxiao, Nong Mengsong, Tang Changxiu, et al. Analysis on the process of heavy rainstorm in western Guangxi under the background of weak guiding airflow[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(2): 90-94.

弱引导气流背景下广西西部特大暴雨天气过程分析

陆小晓¹, 农孟松^{2*}, 唐昌秀¹, 屈梅芳², 蒋亚平¹, 李华实¹

(1.崇左市气象局, 广西 崇左 532200; 2.广西壮族自治区气象台, 南宁 532200)

摘要: 利用区域自动站资料、常规高空资料、地面观测资料、雷达和云图,对2019年5月27—28日发生在广西西部的一次特大暴雨过程进行诊断分析。结果表明,在暴雨期间有切变和地面弱冷空气影响广西;边界层到对流层中层风速小,导致中尺度对流系统发展之后移动缓慢;温度平流是上升运动的主要贡献者;暴雨发生前广西的西部到南部湿层深厚,垂直风切变小,暖云厚度厚,有利于大暴雨和特大暴雨的产生;云团长时间的维持造成了大范围的强降水;列车效应是造成强降水的直接原因。

关键词: 特大暴雨;弱引导气流;列车效应;广西西部

中图分类号: P458.1+21.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.2.17

OSID:



引言

4—6月为华南前汛期,源于孟加拉湾和南海暖湿气流开始活跃,向华南上空输送大量的水汽和不稳定能量,同时北方冷空气也很活跃,冷暖气流在华南一带交汇,形成强烈天气,产生大量降水^[1]。不少专家和学者已有对华南地区前汛期暴雨的研究成果^[2-8]。吴玉霜^[9]等对广西前汛期大范围持续性暴雨的月际特征及环流差异性进行了分析,结果表明广西大范围持续性暴雨期间,上升运动明显加强,低层的温度梯度大,对应的不稳定能量不断增加累积,为广西暴雨的产生提供了有利抬升条件。

2019年5月27—28日,广西西部出现特大暴雨天气过程。利用区域自动站资料、常规高空资料、地面观测资料、雷达和云图,对该过程的物理量条件、中尺度系统及环流形势进行分析,探讨此次特大暴雨天气过程成因。

1 过程概况

2019年5月27日20时至28日20时,受弱冷空气和低涡切变的共同影响,广西西部地区出现特大暴雨天气过程,造成当地严重的内涝,直接经济损失超过1亿元。27日20时至28日08时(图1a),12h暴雨到大暴雨落区主要集中在广西西部偏北地区,特大暴雨落区在崇左市北部;28日08时至28日20时(图1b),雨势减弱,暴雨区向南部移动,落区零散。据27日20时至28日20时崇左自动气象观测站雨量统计,天等县有12个区域自动气象站雨量 $\geq 250\text{mm}$;主要降水时段为27日22时至28日08时,小时雨量超过20mm,持续了5~7h,最大雨强在50~80mm之间。此次过程具有雨强强,持续时间长的特点。强降雨中心位于天等县龙茗镇龙英村,24h累积雨量为364.1mm;最大小时雨强为84.8mm,出现在27日22时的天等县进远乡。此次过程的24h降雨量打破了天等县有气象记录以来的日雨量

收稿日期:2020-09-25

基金项目:广西气象科研计划项目:“广西极端小时降水的基本特征分析”(桂气科2020QN04)、“基于多源资料的广西暖区强对流天气机理研究及可预报性分析”(桂气科2021Z03)

作者简介:陆小晓(1994—),女,助理工程师,主要从事气象科技服务工作。E-mail:407979276@qq.com

*通讯作者:农孟松(1965—),女,正研级高级工程师,主要从事中短期和短时临近天气预报工作。E-mail:215455913@qq.com

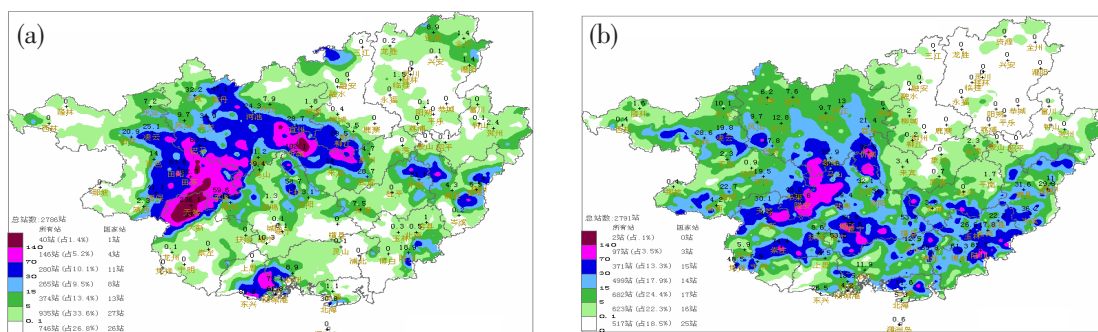


图 1 2019 年 5 月 28 日 08 时(a)、20 时(b)前 12h 广西累积雨量(单位:mm)变化图

记录。

2 环流形势及影响天气系统

27 日 08 时, 500hPa 高度场(图略), 中高纬度为两槽一脊形势, 副高位于华南沿海, 四川到贵州一带受槽后弱的偏北气流控制, 广西北部处于两高之间的辐合区中, 辐合线南北之间的风速 $4\sim 6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; 从暴雨开始到结束广西 6 个探空站及周边探空站的风速 $2\sim 4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 有别于广西大部分 5 月份暴雨个例, 这次过程 500hPa 一直维持较小风速, 中层引导气流弱。

27 日 20 时, 850hPa(图略)切变线在广西北部, 广西东北部为东北气流控制, 西南部受风速 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏东南气流影响; 暴雨发生期间边界层有弱的冷空气南压到广西中部偏北地区; 蒙自—百色—贵阳—宜宾维持着较大的温度梯度, $\Delta T(\text{蒙自—宜宾})=16^\circ\text{C}$, 冷暖平流的共同作用, 有利于暴雨上空热力不稳定条件维持。

27 日 20 时, 海平面气压场分析(图略)可以看出, 1020hPa 冷高压中心位于陕西南部, 暖低压在云南南部, 广西处于向西开口的倒槽中, 地面冷锋位于桂林南部到河池一线, 28 日 08 时, 冷锋逐渐南压到广西的中部偏南地区。

综合以上分析, 在暴雨期间有切变和地面弱冷空气影响广西, 边界层有暖平流输送到广西上空, 大大增强了大气不稳定和中低层水汽输送; 对流层中层风速小, 引导气流弱, 导致对流发展之后中尺度系统移动缓慢, 有利于大暴雨到特大暴雨的产生。

3 物理量条件

3.1 不稳定条件分析

27 日 20 时, 925hPa 的假相当位温等值线呈东西向分布, 在中南半岛向广西西部有暖湿舌, $\theta_{se}\geq$

85°C , 超过历年同期 5 月下旬暴雨过程平均 θ_{se} 值 $3^\circ\text{C}\sim 4^\circ\text{C}$; 暴雨前广西上空具备强不稳定条件, 大暴雨区落在暖湿舌的顶端; 850hPa 水汽通量散度负值大值区位于贵州西南部到广西西北部, 广西西部水汽通量散度约为 $-12\times 10^{-6}\sim -22\times 10^{-6}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间。以上分析表明, 特大暴雨期间, 广西西部对流层低层有明显水汽辐合维持。

3.2 T-logp 分析

南宁 27 日 20 时的探空图(略)可以看出, 湿层伸展高度在 300hPa, 湿层深厚; $0\sim 6\text{km}$ 的垂直风切变 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 小的垂直风切变有利于暴雨上空水汽凝结潜热的聚集, 从而有利于不稳定条件长时间地维持; 抬升凝结高度低, 0°C 高度大约在 4500m 的高度, 说明暖云层深厚, 降水效率高; CAPE 值大约在 770J 左右, K 指数为 36°C 。可见过程前期有一定的能量且不稳定, 容易发生对流。

3.3 天气尺度抬升条件分析

梁维亮等^[10]在广西一次区域性强对流天气的诊断分析中表明, 通过对比涡度平流项和温度平流项的大小, 来分析两者对上升运动的贡献。

27 日 20 时, ω 方程强迫项分析, 850hPa 和 925hPa 的涡度平流差别不大, 涡度平流的垂直差动较小, 涡度平流对该层抬升运动的贡献较小。两个强迫项的总和与温度平流分布形态相似, 可见抬升运动主要是温度平流的作用。南宁探空显示, 自由对流高度(LFC)约 3000m, 虽然对流凝结高度较低, 但是夜里不具备加热到对流温度的条件, 所以天气系统的抬升尤为重要。

以上分析可以看出, 在暴雨发生期间, 广西低层有明显不稳定能量积聚和水汽辐合条件, 暴雨发生前广西的西部到南部湿层深厚, 垂直风切变小, 暖云厚度厚, 有利于大暴雨和特大暴雨的产生。

4 中尺度系统分析

4.1 云图分析

27 日 22 时之前,崇左北部到百色东南部开始有弱降雨出现;在中越交界的东兴附近,有对流云团强力发展,云顶亮温 $<-52^{\circ}\text{C}$,小时雨强达 52mm。23 时(图 2a),在崇左北部到百色东南部有两个对流云团开始发展,呈南北向排列,云顶亮温超过 -52°C ,崇左天等进远乡小时雨强达到了 84.8mm,其北部和南部也有小时雨强超过 30mm。28 日 00 时,对流继续向偏北方向移动,此时强降雨落区连接起来呈现带状。01 时,对流继续向北蔓延, -52°C 的范围继续扩大,同时在河池的东南部和来宾的北部也有分散的对流在发展;02 时(图 2b)西部的对流继续发展,同时来宾北部 $<-52^{\circ}\text{C}$ 云顶亮温范围还在扩大,此时分别有东西两个强降雨中心,小时雨强均在 50mm 以上,西部的强降雨仍然呈南北向的带状。03 时(图 2c),东西强降雨中心继续发展,位置少动,呈双眼结构。04 时(图 2d),西部对流云带持续发展,云系组织密实,而东部的对流云团开始减弱,云系结构松散。

西部强降雨雨带小时雨强仍然在 50mm 以上,东部强降雨最大的小时雨强开始减弱到 40mm 以下。05—06 时(图 2e),东部的强降雨继续减弱,而西部的对流云系仍然少动,此时南部对流云系影响下的天等附近仍然有小时雨强超过 70mm 以上的降水。07—08 时(图 2f),东部的降雨减弱消散,西部的对流云系开始转向,由原来的南北向转为东北—西南走向,对流云团东侧边界光滑,结构密实,北段的强降雨东移到南宁的北部,小时雨强超过 60mm,而南段的强降雨仍然维持在天等附近,小时雨强仍有 50mm。从 09 时开始,对流云系开始缓慢东移,其东南部的云顶亮温仍然较低,边界光滑,小时雨强仍有 80mm,而原滞留在天等附近的对流也开始转向偏东南方向移动到大新,小时雨强也达到 46.5mm。10—11 时,对流云系在东移的过程中,仍然维持比较强盛,但强降雨的中心继续东移到南宁的西部,呈现东北—西南走向的带状分布,小时雨强超过 70mm。12—13 时,对流云系开始减弱,并快速东移,云顶亮温升高,云系开始变得松散。

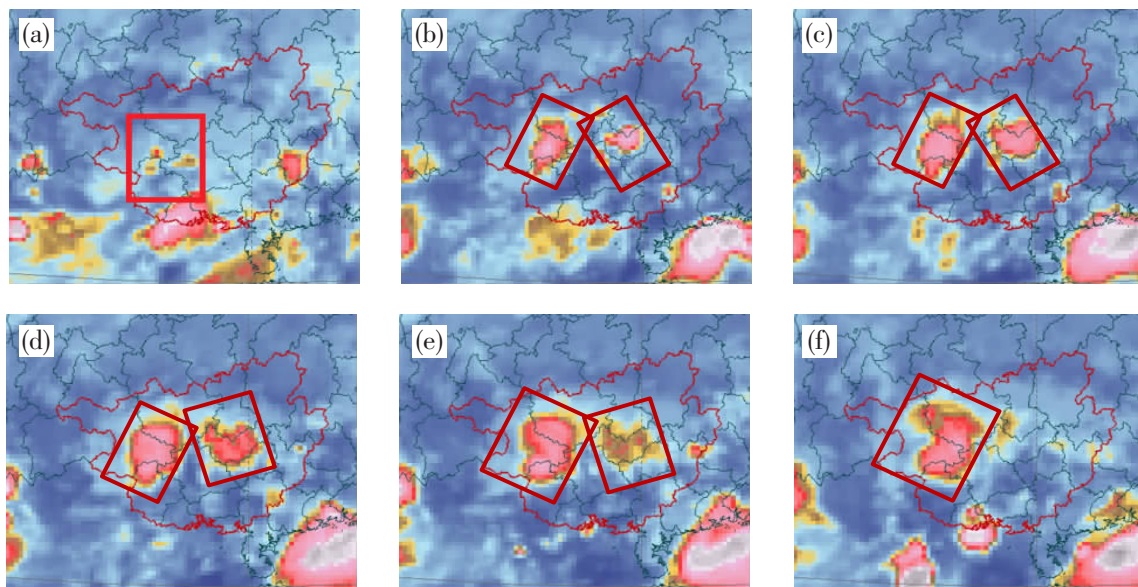


图 2 FY2 卫星云图

(a)27 日 23 时;(b)28 日 02 时;(c)28 日 03 时
(d)28 日 04 时;(e)28 日 05 时;(f)28 日 07 时

4.2 雷达资料

$$T_t \approx T_g = T + 2.5q + 10Z \quad (1)$$

通常我们可以用地面总温度(公式(1))来表示近地面层的能量的分布。27 日 22 时,在广西中部从

北部湾有自南向北伸展的高能舌,在广西的东北部和西北部,分别有向南的低能舌的存在,其中云南部到广西西北部的低能舌是由于 27 日凌晨百色南部靖西市特大暴雨后能量耗散的结果,在崇左的北

部到百色的南部有东北-西南向的辐合线,对流最开始触发就在辐合线附近;由于北方冷空气入侵导致,在来宾北部到柳州也有风速的辐合线存在。到了 28 日 02 时西北部的辐合线少动,辐合线附近的对流向北扩展,形成混合性的对流云,层状云中夹杂有对流云单体不断向东北方向移动,形成列车效应,此时在崇左市天等县进远乡,小时雨强可达到 60mm;东北部的冷舌继续向南扩展,辐合线附近 B 有西北-东南向的对流开始生成发展。28 日 05 时,西北部的辐合线仍然少动,与辐合线对应的东北-西南向的对流单体活跃,列车效应持续,小时雨强仍有 58mm,大于 30dBZ 的层状云继续扩展到百色南部至河池东部;由于冷空气的入侵,广西东北部转为东北气流控制,锋面西段与原辐合线合并,对流继续发展扩大,沿着锋面东段也有零散的对流在发展,但强度不强。28 日 10 时,东段辐合线减弱消失,西北部的辐合线与锋面合并,离开天等,向南压到大新到南宁北部,与锋面西段对应的对流也离开天等,形成东北-西南走向弱弓形回波,向偏东方向移动,此时天等的强降水也趋于结束。

从以上分析,可以看出,从 27 日 22 时到 28 日 08 时,西北段的辐合线长时间滞留,与之对应的对流也在辐合线附近不断生成,并向东北方向移动,形成列车效应,导致大范围大暴雨到特大暴雨。东北段的辐合线也有对流生成,但是由于冷空气移动速度比较快,对流维持的时间较短,导致大暴雨的范围和强度没有西北部的强。

以下对经过天等进远乡(红点)对流单体进行分析,组合反射率因子在 30~45dBZ,剖面图上质心大约在 3km 附近,属于低质心的回波,但降水效率高;上个单体向北移动之后,在其西南侧又有新单体生成,并向北移动,经过进远乡形成列车效应,小时雨强达到 85mm,强度与上一个单体类似,在速度图上,约 1.5km 的高度,吹偏南风,与对流单体对应的有小尺度的辐合存在,并且风速有脉动。从以上分析可以知道,此次特大暴雨过程的回波主要是以混合性的对流为主,质心虽然低但降水效率高。

5 结论

(1)此次过程受弱冷空气和低涡切变的共同影响,具有雨强强,持续时间长的特点。在暴雨期间有切变和地面弱冷空气影响广西,中层有暖平流输送到广西上空,是暴雨产生的主要动力辐合抬升条件;

边界层到对流层中层风速较小,引导气流较弱,导致对流发展之后中小尺度系统移动缓慢,有利于大暴雨到特大暴雨的产生。广西低层有明显不稳定能量积聚和水汽辐合条件,从探空分析环境条件,暴雨发生前广西的西部到南部湿层深厚,垂直风切变小,暖云厚度厚,有利于大暴雨和特大暴雨的产生。弱冷空气南压,冷暖气流交汇,暖湿气流沿着锋面抬升,抬升运动主要是温度平流的作用。

(2)降雨范围与对流云团走势、形态相对应。特大暴雨过程发生期间,由于西北段的辐合线长时间滞留,与之对应的对流也在辐合线附近不断生成,并向东北方向移动,形成列车效应,导致大范围大暴雨到特大暴雨的发生。东北段的辐合线也有对流生成,但是由于冷空气移动速度比较快,对流维持的时间较短,导致大暴雨的范围和强度没有西北部的强,而且,此次特大暴雨过程的回波主要是以混合性的对流为主,质心虽然低但降水效率高。

参考文献:

- [1] 唐文,苏洵,刘晓梅,等.广西一次典型前汛期暴雨过程分析[J].农业灾害研究,2019,9(1):62-63,85.
- [2] 黄远盼,宁玉梅,莫家尧.广西前汛期两次暴雨天气过程对比分析[J].气象研究与应用,2014,35(1):12-16,35.
- [3] 李跃花.华南前汛期降水异常及其特征成因[C].第 35 届中国气象学会年会 S12 大气成分与天气、气候变化与环境影响暨环境气象预报及影响评估.中国气象学会,2018:312-322.
- [4] 黄远盼,廖铭燕,陈华忠.2017 年广西一次特大暴雨天气过程环境条件演变特征分析 [J]. 气象研究与应用,2018,39(2):14-19.
- [5] 李佳颖,翟丽萍,覃月凤,等.广西一次大范围西南涡暴雨过程多尺度特征分析[J].气象研究与应用,2018,39(3):7-10,129.
- [6] 黄巾旗,黄子航,黄干淇.2017 年 7 月广西大范围暴雨过程分析[J].气象研究与应用,2018,39(4):18-21,33,105.
- [7] 王盛繁.2017 年 7 月初广西极端暴雨过程诊断分析[J].气象研究与应用,2019,40(3):18-21.
- [8] 何珊珊,农孟松,古文保.一次暴雨过程中不同暴雨带的降雨特征及其成因分析[J].气象研究与应用,2017,38(3):31-35,40,142.
- [9] 吴玉霜,黄小燕,林开平,等.广西前汛期大范围持续性暴雨的月际特征及环流差异性分析[J].气象研究与应用,2018,39(4):9-13,106.
- [10] 梁维亮,农孟松,屈梅芳.广西一次区域性强对流天气的诊断分析[J].自然灾害学报,2015,24(3):208-215.

Analysis on the process of heavy rainstorm in western Guangxi under the background of weak guiding airflow

Lu Xiaoxiao¹, Nong Mengsong², Tang Changxiu¹, Qu Meifang², Jiang Yaping¹, Li Huashi¹

(1. Chongzuo Meteorological Bureau, Chongzuo Guangxi 532200;

2. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022)

Abstract: Based on the data of regional automatic station, conventional high altitude data, ground observation data, radar data and satellite cloud image, an extraordinary rainstorm that occurred in western Guangxi from May 27–28, 2019 was analyzed. The results showed that there were shear and weak cold air on the ground during the rainstorm. The low wind speed from the boundary layer to the middle troposphere led to the slow movement of the mesoscale convective system. The analysis of uplift conditions showed that the temperature advection was the main contributor to the uplift. During the process, there were obvious unstable energy accumulation and water vapor convergence conditions in the lower layer of Guangxi. From the radiosonde analysis of environmental conditions, the wet layer was deep from the west to the south of Guangxi before the rainstorm, the vertical wind shear was small, and the warm cloud thickness was thick, which was conducive to the occurrence of heavy rainstorm and extraordinary rainstorm. The maintenance of cloud duration resulted in the large-scale heavy precipitation. The train effect is the direct cause of heavy rainfall.

Key words: extraordinary rainstorm; weak guiding airflow; train effect; western Guangxi