

黄滢,黄春华,刘金裕. 广西一次持续性暖区暴雨特征及成因分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(3):50–55.

Huang Ying, Huang Chunhua, Liu Jinyu. Characteristics and causes of a persistent warm area rainstorm in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(3): 50–55.

广西一次持续性暖区暴雨特征及成因分析

黄 滢, 黄春华, 刘金裕

(防城港市气象局, 广西 防城港 538001)

摘要: 利用常规观测资料、加密观测资料、卫星雷达和美国环境预报中心(NCEP)再分析资料,基于天气动力学诊断和中尺度分析方法,对广西 2019 年 5 月 25—28 日暖区暴雨过程进行分析。结果表明:(1)低空急流和超低空急流输送暖湿气流;低空急流脉动是重要的触发机制;弱的高压回流和边界层入侵冷空气提供辐合抬升条件;地形中尺度辐合和抬升激发中尺度对流。(2)季风带来持续的水汽输送、不稳定能量,形成有利的环境场,高湿环境和深厚的对流不稳定层结降低了暖区暴雨对抬升条件的要求。(3)MCS 为暖云结构,降水效率高;雷达回波具有低质心、后向发展、稳定少动的特征并形成列车效应。

关键词: 暖区暴雨; MCS; 季风; 列车效应; 地形

中图分类号: P458.121.1

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.09

引言

黄士松等^[1]认为暖区暴雨一般指发生在地面锋面南侧暖区,或南岭附近至南海北部在没有锋面存在、华南未受冷空气或变性冷高脊控制时产生的暴雨。此类暴雨多发生在地面锋面系统前端 200~300km 位置(有时与锋面系统的距离更大),有时发生在西南风和东南风汇合气流中,甚至无切变的西南气流里。

对暖区暴雨的天气分型研究较充分。黄士松^[1]将暖区暴雨划分为暖切变暴雨、沿海急流暴雨、锋前急流暴雨三类;林良勋等^[2]将其划分为回流暴雨型、高空槽型和强西南季风型;何立富等^[3]将其划分为边界层辐合线型、偏南风风速辐合型、强西南急流型;苗春生等^[4]将其划分为偏南向辐合型、西南向辐合型;蒙远文等^[5]将广西暖区暴雨分为三类:锋前暖区型、变性高压脊后部辐合型和副热带高压边缘暖区型;刘蕾等^[6]将柳州市暖区暴雨分为南风型、切变型、低涡型。但目前对于暖区暴雨的定义和典型个例的选择尚无统一标准。

在环境条件分析上,暖区暴雨常出现在对流有效位能大、对流抑制能量小、地面抬升指数低以及气柱含水量高等有利的环境条件中^[7-8]。南海季风与华南暖区暴雨关系密切^[9]。整层高湿环境和深厚的对流不稳定层结能降低暖区暴雨对抬升条件的要求^[10]。暖区不断有中小尺度对流系统触发,是造成暖区降水强于锋面暴雨的原因之一^[7]。据统计,多数暖区暴雨事件中的中层垂直切变较弱,925hPa 以下往往有低空急流,低空风速脉动形成中尺度辐合、强上升运动,有利于形成强的短时强降雨^[7,11]。

在中小尺度和触发条件分析上,研究表明有组织发展的各类中尺度对流系统(MCS)是造成暖区暴雨的直接原因。Luo 等^[12]、Wang 等^[8]分析地面冷池、中尺度地形、海岸边界在对流触发及组织过程中的影响,并提出了 Rainband-training 等新型 MCS 结构模型。暖区降水对流系统具有低质心回波特征,降水强度高,在 2017 年广州“5·7”暴雨中形成极端短时强降雨^[13-14]。低层风速风向辐合触发局地对流单体不断发生^[15]。不同的类型的暖区暴雨在中尺度环境、触发机制上存在不同^[16]。

收稿日期: 2022-07-25

基金项目: 中国气象局预报员专项“2019 年 5 月 25—28 日广西暖区暴雨分析”(CMAYBY2020-099)

作者简介: 黄滢(1981—),女,高级工程师,理学硕士,从事暴雨方面的研究。E-mail: huangying100@sina.com

上述研究成果提高了预报员对暖区暴雨的认识,但实际业务中,华南暖区暴雨一直是难点^[3]。华南暖区暴雨具有显著对流不稳定,但天气尺度斜压强迫较弱,MCS 触发和发展机制复杂,降水过程受地形、海陆等影响,主客观预报缺乏技巧^[3,17],且目前研究重点区域集中于珠江三角洲地区,而地属华南西部的广西地区的降水环流形势与华南东部有所不同,仍有若干问题待研究。本文对 2019 年 5 月 25—28 日典型暖区暴雨过程的降水特点、形成和维持原因、极端性成因进行分析,以期为提高暖区暴雨预报能力提供参考。

1 资料和方法

资料选取 2019 年 5 月 25—28 日的常规气象资料、地面加密观测资料、NCEP 再分析资料、FY-4 卫星云图资料、多普勒雷达资料,通过天气动力学诊断和中尺度分析方法进行研究。

2 结果与分析

2.1 降雨过程概况

2019 年 5 月 25—28 日广西暖区暴雨过程具有持续时间长、范围广、落区分散、降水极端性等特征。据统计,5 月 24 日 20 时至 28 日 20 时,有 13 个站雨量超过 400mm,最大为东兴 547.1mm;300~400mm 有 21 个站,200~300mm 有 118 个站。降水落区分散,局地雨强大,其中桂林猫儿山最大 1h 雨强 115mm,防城港东兴镇最大 1h 雨强 112mm。降水突发性强,夜雨现象明显,25—27 日降雨集中发生在晚上 21 时到次日 09 时。27 日 02 时强降雨范围最大, $\geq 50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 有 56 站。

从空间分布看,5 月 25、26 日暖区暴雨范围小,局地性强,桂北、桂南和桂中均有小范围暴雨区,暴雨区面积直径只有 30km 左右,落区预报难度大;5 月 27 日暖区暴雨主要分布在桂西和桂北,面积扩大;5 月 28 日桂西转为锋面暴雨,桂南沿海为暖区暴雨,呈现双雨带特征。

2.2 暖区暴雨成因

2.2.1 低空急流脉动

夏季风爆发后,季风携带充沛的水汽从印度洋和南海输送到东亚大陆,从风速时间高度剖面图(略)看,5 月 24、25、26 日低层 20 时到 08 时均有一个风速大值中心,中心值为 $10\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,南风于晚间加强。低空急流和超低空急流对暴雨发生发展有重

要作用,除输送水汽和热量,低空急流脉动还是暖区暴雨的重要触发机制。徐燧等^[18]提出低层重力波沿低层稳定层向具有很强不稳定能量的暖区传播,激发暖区低层上升运动,触发不稳定能量释放,导致对流发展,并在对流反馈机制下上升运动迅速增强,最终导致暴雨发生。Zhang 等^[19]发现低空急流如发生到较高层次,在沿海和内陆有地形影响的区域均容易触发对流,引发暖区暴雨。此次暴雨落区分布与文献^[19]观点相吻合,此过程南风急流发生层次较高, $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风区延伸至 700hPa,风速中心出现在 925hPa 以上,暖区暴雨不仅出现在沿海地区,也出现在猫儿山、凤凰山等内陆地区的迎风坡处。

2.2.2 边界层侵入浅薄冷空气

5 月 25—26 日地面冷高压中心移到我国东部海面上,高压中心远离广西,广西处于弱高压回流区,南北向密集的等压线有利于触发不稳定。近地面偏东南气流和广西西南东北走向山脉形成大的夹角,在迎风坡激发中尺度对流系统。27 日锋面到达江西一带,弱冷空气从边界层侵入桂北,边界层辐合抬升暖湿空气,触发不稳定能量释放,导致桂北暴雨产生。

5 月 25—27 日,从沿 108°E 假相当位温垂直剖面图(图 1b—d)看, 30°N 以北 θ_{se} 线异常陡峭,存在锋面影响,广西处于锋前,近地面 θ_{se} 超过 360K,340K 高能区从地面延伸到超过 600hPa,处于深厚高温高湿度环境;且随着高度的增加 θ_{se} 显著减弱,上冷下暖的层结为对流提供热力不稳定条件,有利于触发形成暴雨。

2.2.3 地形引发的中尺度系统

5 月 25—26 日暴雨出现在十万大山、大瑶山、大容山、凤凰山、猫儿山迎风坡。地形有利于水汽辐合聚集,对暖湿气流的动力抬升作用会激发对流单体生成或降水增幅,在迎风坡形成强降水中心。从地面自动气象站中尺度系统看,5 月 25 日 20 时—26 日 05 时,27 日 02 时—08 时,广西沿海均出现偏南风 and 偏北风的中尺度辐合线,对应雷达图上有与地形走向一致的回波带,在午夜生成,早晨加强,午后消散。沿海地形和海陆分布引起气流的日变化,海陆分布产生的边界层加热不均匀触发中尺度切变线产生,导致下半夜至清晨最强降水的出现。

2.2.4 高空强辐散

200hPa 高度场上,南亚高压北跳控制广西,5 月 24—26 日中心高度为 1248dagpm,在 27 日增强为

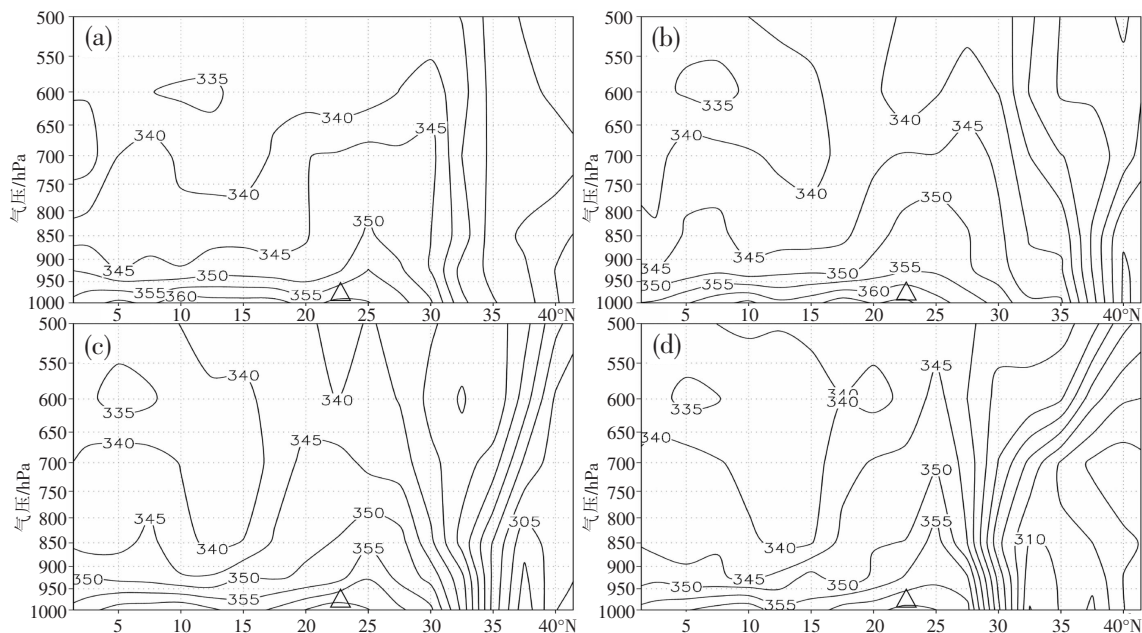


图 1 沿 108°E 假相当位温垂直剖面图

(a)5月24日8:00;(b)5月25日8:00;(c)5月26日8:00;(d)5月27日8:00(单位:K,△为广西中部)

1252dagpm,中心区域位于广西上空。从散度场垂直剖面图(略)看,24日200hPa高空广西有 $(4\sim6)\times10^{-7}s^{-1}$ 的辐散中心,25日桂南辐散中心减弱,桂北仍维持 $6\times10^{-7}s^{-1}$ 的辐散中心,26—27日高空辐散重新增强为 $(5\sim15)\times10^{-7}s^{-1}$ 。桂北辐散强于桂南,高空的辐散中心强度强于辐合中心,南亚高压的“抽吸”作用使暴雨区上空维持上升运动。赵玉春^[7]认为暖区暴雨一个重要的动力属性是高层辐散作用比中低层辐合更为重要,这与锋面暴雨不同,同时期暖区暴雨高层辐散明显强于锋面暴雨。

2.3 暖区暴雨维持原因

2.3.1 整层高湿

从水汽通量垂直剖面图(略)看,5月25—27日广西上空有辐合中心从地面一直延伸到500hPa,暴雨区湿层深厚,整层高湿环境有利于降水效率提高和中尺度对流系统产生。从水汽通量散度垂直剖面图(略)看,降雨区低层辐合强,25—28日均有 $(1.5\sim2)\times10^{-7}g\cdot s^{-1}\cdot cm^{-2}\cdot hPa^{-1}$ 的辐合中心,近地面辐合最强烈,并延伸到850hPa。整个降雨过程,水汽条件充沛和水汽辐合为凝结潜热释放提供良好环境,凝结潜热释放的正反馈作用使暴雨维持。

2.3.2 深厚对流不稳定

5月25—28日早晨暖区暴雨期间,受季风涌影响,中尺度环境有利,广西区域 θ_{se} 高于340K;从温度对数压力图(略)看,北海和桂林的温度对数压力

图(T-logP)为细长型,北海不稳定能量高,对流有效位能(CAPE)大于 $1500J\cdot kg^{-1}$,为较强对流有效位能,在整个降雨过程维持高能量,桂林除25日08时因强降水CAPE值短暂下降外,24日20时—26日均维持 $1000J\cdot kg^{-1}$ 以上,27日弱冷空气渗透,CAPE下降到 $400\sim600J\cdot kg^{-1}$ 。整层水汽和能量充沛、对流不稳定层次深厚的环境降低暖区暴雨对抬升条件的要求,有利于维持水汽垂直输送和在中层通过凝结潜热的释放,使得不断有中小尺度对流系统触发形成暴雨。此外,暖区暴雨和深厚的暖云层相关。在整个过程中,桂北和桂南的抬升凝结高度均 $<1km$, $0^{\circ}C$ 层高度 $\geq 4.9km$,暖云层厚度厚,平均为4.2km,降水效率高。

2.4 暖区暴雨极端性的成因

2.4.1 MCS的组织结构和移动传播特征

暖季局地暴雨形成多与MCS相关。从亮温特征看,26日凌晨到上午,桂南与对流活动相联系的MCS仅由一个独立的雨团发展形成,其不断发展,面积持续扩大;TBB亮温中心小于 $-70^{\circ}C$,且与暖区暴雨中心匹配,为暖云结构,降水效率高。受西南引导气流影响,MCS生成后向东北方向传播,但地面偏东南气流碰到西南东北走向的十万大山,在山前激发中尺度对流系统,导致MCS减弱缓慢,强度维持,同时MCS范围扩大,MCS中心则稳定少动,降水在防城港上空长时间维持,导致东兴26日06时

1h 雨量达 111.9mm, 5—7 时 3h 雨量达 309.4mm, 突破历史极值; 而 26 日下午桂西北暴雨由多个对流云团碰撞合并发展, 云团前部地面辐合不断触发前方新对流, 向南传播。

综上所述, 桂南暴雨由单个云团发展而成, MCS 具有后向发展特征, 准静止的 MCS 带来显著的强降水; 桂西北暴雨由多个云团碰并发展而成, 积雨云前部地面辐合不断触发前方新对流, 雨团向前传播, 向南移动影响桂西大范围地区。

2.4.2 雷达回波特征

从 26 日 05—07 时的回波垂直剖面图(图 2a—b)看, 不同于高质心的大陆型降水回波, 造成此次暖区暴雨的是低质心热带型降水回波, $\geq 45\text{dBZ}$ 的强降水回波在 6km 以下, 对于同样的反射率因子, 热

带型降水效率高, 导致此次暖区暴雨形成极端短时强降雨。回波带伴随中尺度海陆风辐合线而生, 午夜生成, 早晨加强, 午后消散, 生成后在西南气流引导下向东北方向移动, 近地面东南气流遇到西南东北走向的十万大山, 不断有回波在后部生成, 导致回波具有后向发展特征, 回波移动缓慢; 回波平行于山脉移动, 形成与地形走向一致的回波带, 形成列车效应, 降水回波在同一地点长时间维持。图 2a 可见径向速度图有中尺度辐合(逆风区)特征, 不断激发强对流单体, 导致强回波长时间维持。

综上所述, 低质心高效率的暖云降水有利于提高降水效率; 中尺度地形导致回波具有后向发展的特征, 并形成列车效应; 中尺度辐合激发对流单体不断生成。

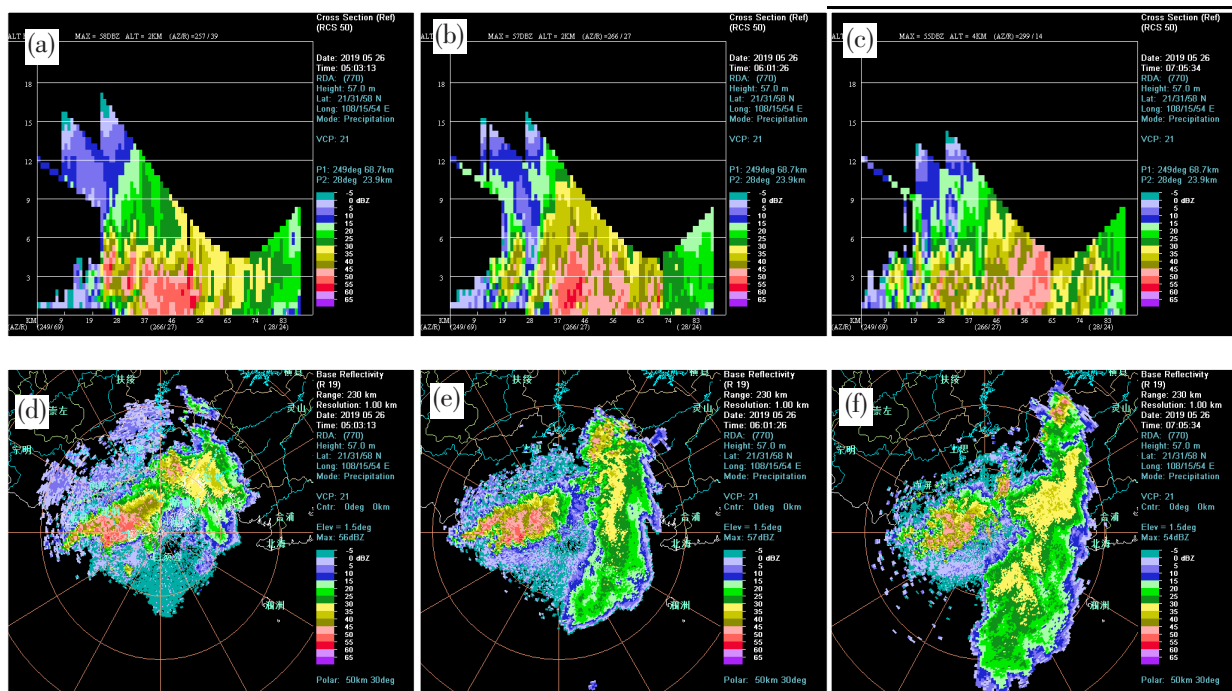


图 2 5 月 26 日防城港雷达反射率因子剖面图

(a)05:03; (b)06:01; (c)07:05; 1.5°仰角 PPI; (d)05:03; (e)06:01; (f)07:05

3 结论

2019 年 5 月 25—28 日广西暖区暴雨持续 4d, 局地降雨突破历史极值, 是典型的华南暖区暴雨。分析此次暴雨的降水特点以及触发和维持条件、暴雨的极端性成因, 得到如下结论:

(1)此次过程强降雨范围广、累计雨量大; 局地雨强大, 对流性特征明显, 多地突破降水极值; 降水

量相对集中, 突发性强, 夜雨现象明显。

(2)低空急流和超低空急流输送暖湿气流, 南亚高压的“抽吸”作用使暴雨区上空维持上升运动。低空急流和超低空急流脉动是暖区暴雨的重要触发机制, 广西弱的高压回流和边界层入侵的冷空气为暴雨提供低层辐合抬升条件, 地形中尺度辐合线和抬升作用激发中尺度对流系统不断发生。

(3)受季风影响有持续的水汽输送、不稳定能量

的补充,整层高湿环境和深厚的对流不稳定层结降低暖区暴雨对抬升条件的要求,降水效率的提高和中尺度对流系统的不断产生,导致此次暖区暴雨发生。

(4) MCS 为暖云结构,降水效率高;中尺度地形导致回波稳定少动,降水时间长;桂南暴雨由单个云团发展而成, MCS 具有后向发展特征;桂西北暴雨由多个云团碰并发展而成,云团前部地面辐合不断触发前方新对流,雨团南移发展。雷达回波具有低质心、后向发展特征,移动缓慢,形成列车效应;中尺度辐合系统导致回波稳定维持,多种作用使得此次暴雨产生短时强降水极端值。

参考文献:

- [1] 黄士松.华南前汛期暴雨[M].广州:广东科技出版社,1986:212-244.
- [2] 林良勋.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006:135-138.
- [3] 何立富,陈涛,孔期.华南暖区暴雨研究进展[J].应用气象学报,2016,27(5):559-569.
- [4] 苗春生,杨艺亚,王坚红,等.两类华南沿海暖区暴雨特征及热力发展机制对比研究[J].热带气象学报,2017,33(1):53-63.
- [5] 蒙远文,蒋伯仁,韦相轩,等.广西天气及其预报[M].北京:气象出版社,1989.
- [6] 刘蕾,陈茂钦,张凌云.柳州锋前暖区暴雨的分型及统计特征分析[J].气象研究与应用,2016,37(4):12-17,133.
- [7] 赵玉春,李泽椿,肖子牛.华南锋面与暖区暴雨个例对比分析[J].气象科技,2008,36(1):47-54.
- [8] Wang H, Luo Y L, Jou B J D. Initiation, Maintenance, and Properties of Convection in an Extreme Rainfall Event during SCMREX[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2014, 119(13): 13206-13232.
- [9] 覃艳秋,刘蕾.华南锋前暖区暴雨研究概述[J].气象研究与应用,2017,38(1):26-29.
- [10] 叶朗明,苗峻峰.华南一次典型回流暖区暴雨过程的中尺度分析[J].暴雨灾害,2014,33(4):342-350.
- [11] 叶朗明,郑伟杰,徐碧裕.2014年“5.8”广东大暴雨中尺度特征分析[J].广东气象,2014,36(6):11-15.
- [12] Luo Y L, Gong Y, Zhang D L. Initiation and Organizational Modes of an Extreme-Rain-Producing Mesoscale Convective System along a Mei-Yu Front in East China [J]. Monthly Weather Review, 2014, 142: 203-221.
- [13] 徐珺,毕宝贵,湛芸,等.“5.7”广州局地突发特大暴雨中尺度特征及成因分析[J].气象学报,2018,76(4):511-524.
- [14] 陈涛,孙军,湛芸,等.广州“5·7”局地突发特大暴雨过程的数值可预报性分析[J].气象,2019,45(9):1199-1212.
- [15] 陈军,李小兰,喻义军,等.贵州一次暖区持续性区域大暴雨成因分析[J].气象研究与应用,2015,36(4):21-27,129.
- [16] 叶朗明,徐碧裕.两次不同类型暖区暴雨的对比分析[J].气象研究与应用,2014,35(4):5-10,52,129-132.
- [17] 林开平,陈伟斌,刘国忠,等.广西暴雨业务预报技术回顾与展望[J].气象研究与应用,2020,41(4):13-19.
- [18] 徐焱,闫敬华,王谦谦,等.华南暖区暴雨的一种低层重力波触发机制[J].高原气象,2013(4):1050-1061.
- [19] Zhang M R, Meng Z Y. Warm-Sector Heavy Rainfall in Southern China and Its WRF Simulation Evaluation A Low-Level-Jet Perspective[J]. Monthly Weather Review, 2019, 147(12): 4461-4480.

Characteristics and causes of a persistent warm area rainstorm in Guangxi

Huang ying, Huang chunhua, Liu jinyu

(Fangchenggang Meteorological Bureau, Fangchenggang Guangxi 538001, China)

Abstract: Based on the methods of synoptic dynamics diagnosis and mesoscale analysis, using conventional observation data, encrypted observation data, satellite, radar and NCEP reanalysis data, a warm-area rainstorm event in Guangxi from May 25 to 28, 2019 was analyzed. The results show that: (1) the low-level jet and ultra-low-level jet transport warm moist air, and the low-level jet pulsation is an important factor triggering warm-area rainstorm. The weak high-pressure recirculation and boundary layer intrusion provide favorable convergence and uplift conditions, and the mesoscale convections are stimulated by topographic mesoscale convergence and uplift. (2) The monsoon brings continuous water vapor transport and unstable energy, forming a favorable environment field. Due to the high-humidity environment and the deep convection instability stratification, warm-area rainstorm reduces the requirement for the uplift condition. (3) MCS is a warm cloud structure with high precipitation efficiency, and its radar echo has the characteristics of low centroid, backward development, stability and less movement, and forms a train effect.

Key words: warm region rainstorm; MCS; monsoon; train effect; topography