

张丁丁,黄莉,周琰,等. 2020 年广西南宁一次极端暴雨特征及预报偏差分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(3):72-76.

Zhang Dingding,Huang Li,Zhou Yan. Analysis on the characteristics and forecast deviation of an extreme rainstorm in Nanning city in 2020[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2022,43(3):72-76.

# 2020 年广西南宁一次极端暴雨特征及预报偏差分析

张丁丁,黄莉\*,周琰

(南宁市气象局,南宁 530029)

**摘要:** 利用常规观测数据,对 2020 年 6 月 24—25 日广西南宁的极端暴雨过程进行分析。结果表明,极端暴雨发生于大陆副热带高压和西太平洋副热带高压对峙、西南季风活跃的有利背景下,高空槽缓慢东移引导切变线、弱冷空气南下,西太平洋副热带高压西北侧的低空急流为强降水的发生提供了异常充足的水汽、不稳定能量条件;此次过程的雨带分布和雨团活动与两个阶段的中尺度对流系统(MCS)发展演变有关,不同阶段的强回波都具有后向传播、低质心的特征,列车效应明显;极端短时强降水出现在  $TBB \leq -90^\circ\text{C}$  附近;欧洲中期天气预报中心高分辨率模式(ECMWF\_HR)预报强降水落区偏北、强度偏弱,ECMWF\_HR 模式对于天气系统预报偏北是导致暴雨预报偏差的主要原因。

**关键词:** 极端暴雨;中尺度对流系统;地面辐合线;MODE 检验

**中图分类号:** P458.121.1

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.13

## 引言

暴雨是华南地区夏季常见的灾害性天气之一,常给人民生命财产和工农业生产带来严重危害。长期以来,华南暴雨一直受到气象学者和业务人员的重点关注<sup>[1-4]</sup>,对于华南暴雨的发生发展机理、预报技术的研究取得了很多成果<sup>[5-9]</sup>。一些学者对于华南暴雨天气分型、统计特征、物理量诊断等进行了详细的分析和研究<sup>[10-16]</sup>。韦志刚等<sup>[17]</sup>对 1961—2018 年华南年、季极端降水变化特征进行比较分析。蒙伟光等<sup>[18]</sup>对华南沿海一次暴雨中尺度对流系统的形成和发展过程进行了研究。近年来,对于极端暴雨的中尺度系统结构、传播以及与冷池、地形等相互作用的研究也逐渐增多,周云霞等<sup>[19]</sup>对 2019 年 5 月 27 日广西靖西市极端暴雨成因及可预报性进行分析发现,冷池出流与山前爬升的偏南暖湿气流产生的剧烈上升运动有利于中尺度对流系统发展维持。

2020 年 6 月 24—25 日,广西南宁市出现一次

极端暴雨过程,其中武鸣区国家站 25 日的日雨量达到 257.4mm,为此次过程中广西国家站最大日雨量,突破该站建站以来的日雨量历史极值,全市共有 7 个县区的 50 个乡镇出现洪涝灾害或山体崩塌等次生灾害。为深入研究此次极端暴雨过程的特征及成因,本文从中尺度系统发生发展机制及数值模式预报偏差方面进行分析,以期为今后类似极端暴雨预报提供有益参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料来源及说明

采用的资料包括中国气象局气象信息综合分析处理系统(MICAPS)地面、高空、逐小时区域自动站观测数据,国家气象信息中心下发的中国气象局陆面数据同化系统(CLDAS-V2.0)降水产品,数值模式降水预报产品以及 FY-2G 卫星云顶亮温(TBB)资料、多普勒天气雷达数据。

短时强降水定义为 1h 雨量  $\geq 20\text{mm}$ <sup>[20]</sup>,1h 雨量

收稿日期:2022-06-30

基金项目:广西气象科研计划项目(桂气科 2022ZL005)

作者简介:张丁丁(1989—),男,理学学士,工程师,主要从事灾害性天气预报与研究。E-mail:997861851@qq.com

\* 通讯作者:黄莉(1971—),女,广西宾阳县人,正研级高级工程师,主要从事致灾性及城市高影响天气研究。E-mail:1162307446@qq.com

$\geq 50\text{mm}$  定义为极端短时强降水<sup>[21]</sup>。

## 1.2 空间检验方法

基于对象诊断的空间检验方法(MODE)是给定卷积半径  $R$  对原始降水场卷积, 设定阈值  $T$ , 并采用非 0 即 1 的方法, 解析出满足一定条件的空间降水对象, 在此基础上计算各对象的质心、面积等空间信息<sup>[22]</sup>。根据此次强降水特征, 下文在空间检验中使用圆盘形的卷积方法, 并选择 24h 降水量  $\geq 50\text{mm}$  的雨带作为研究对象。

## 2 结果与分析

### 2.1 极端暴雨特征

2020 年 6 月 24 日 08 时至 25 日 20 时(北京时间, 下同), 南宁市出现当年范围最大、强度最强的一次降雨天气过程, 其中 25 日降水中心位于武鸣中部, 武鸣国家级地面观测站的日雨量达到 257.4mm, 突破了 1957 年建站以来的日雨量历史极值, 最大小时降雨出现在上林县乔贤气象观测站(95.1mm), 降水强度大, 具有极端性。

此次极端暴雨过程主要分为两个时间段, 一是 24 日 16 时—25 日 02 时, 此阶段降雨强度最大, 极端短时强降水最多, 大于  $50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$  雨强有 17 站次, 最强达到  $95.1\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ; 另一时段是 25 日 02 时—25 日 14 时, 大于  $50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$  雨强有 4 站次, 与前段降雨落区部分重叠, 导致过程累积降雨量增大。

### 2.2 环流形势和环境条件

#### 2.2.1 环流形势

此次极端暴雨过程是在前汛期大陆副热带高压和西太平洋副热带高压对峙、西南季风活跃的有利背景下发生的。6 月 24 日 20 时—25 日 08 时, 200hPa 南宁附近为东南风与东北风结合形成的分流辐散区, 有利于低层大范围上升运动的发展。500hPa 上亚洲中高纬为两槽一脊的形势, 西太平洋副热带高压强盛, 脊线稳定在  $18^{\circ}\text{N}$  附近, 同时与青藏高原东南部的高压中心对峙, 高空槽发展加深且缓慢东移, 槽前的西南气流达到急流强度, 有利于正涡度平流的增强。850hPa 切变线南压, 夜间其南侧西南季风活跃, 低空急流强烈发展, 25 日 08 时最大风速达到  $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 有利于从孟加拉湾持续向广西输送水汽和不稳定能量, 925hPa 在 24 日夜间也有偏南急流的建立, 南宁处于两支低空急流的左侧正切变涡度区, 为强降水的发生发展提供了十分有利的低层辐合抬升条件。24 日白天南宁附近地面有低压

倒槽发展, 午后南宁市大部气温在  $34^{\circ}\text{C}$  左右, 为极端暴雨的发生储存了大量不稳定能量, 24 日 16 时弱冷空气南下进入倒槽, 对应地面辐合线附近有等温线密集区, 斜压性增加, 触发不稳定能量释放产生对流, 导致强降水发生, 在 24 日 20 时至 25 日 04 时地面辐合线进入南宁中部后受到大明山余脉阻挡而移动缓慢, 呈准静止状态, 25 日凌晨与加强的偏南低空急流相互作用, 导致对流再次强烈发展。

#### 2.2.2 环境条件

极端暴雨发生前, 南宁上空处于高温高湿高能的环境。6 月 24 日 20 时南宁温度对数压力图(TlnP)(略)上温湿廓线显示上干下湿, 对流有效位能(CAPE)达到  $2185.2\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 气团指标(K)为  $41.7^{\circ}\text{C}$ , 最有利抬升指数(BLI)为  $-5.2^{\circ}\text{C}$ , 抬升凝结高度(LCL)为 0.8km, 暖云厚达 4.2km。0~3km 及 0~6km 垂直风切变分别为  $12.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $11.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 24 日夜间低空急流加强, 导致 0~3km 及 0~6km 垂直风切变分别增大到  $13.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $13.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 在大明山西北—东南向的地形及其在武鸣南部东西向的余脉作用下, 有利于地形涡旋辐合流场形成, 对迎风坡的降水强度有明显增幅作用<sup>[23]</sup>。综合来看, 极端暴雨发生前南宁上空大气层结极不稳定且容易触发对流, 非常有利于短时强降水的产生。

### 2.3 中尺度对流系统的生成和发展

#### 2.3.1 对流云团演变与结构特征

由 24 日 16 时—25 日 12 时逐 4h 风云二号 G 星的云顶亮温(FY2G\_TBB)可见, 24 日 16 时对流云带进入广西北部, TBB 梯度区与地面等温线密集带和 1h 降雨区域对应较好, 其中镶嵌有多个 TBB 低于  $-70^{\circ}\text{C}$  的负值中心, 其附近对应有大于 20mm 的短时强降水。24 日 17—20 时, 对流云带呈准静止状态, 不断与前侧的中  $\beta$  尺度对流云团合并, 云顶亮温降低, 对流活动增强, 最终在 24 日 20 时发展为成熟的中  $\alpha$  尺度 MCS, 降雨强度达到过程最强阶段, 最强 TBB 中心位于上林附近, 达到  $-90^{\circ}\text{C}$ , 其附近出现 6 站大于  $50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$  的极端短时强降水。25 日 02 时百色附近 TBB 低于  $-70^{\circ}\text{C}$  的范围向东北扩大, 25 日 04 时东扩至南宁隆安西部后逐渐分裂, 隆安西部出现了  $20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$  左右的短时强降水。25 日 08 时影响南宁的云团对流活动有所减弱, 南宁降雨减弱, 此时防城港北部到贵港一带有多个分散的中  $\beta$  尺度对流云团快速发展, 并逐渐合并成一个新的中  $\alpha$  尺度 MCS, TBB 低于  $-70^{\circ}\text{C}$  区开始影响南宁南部, 并一

直持续到 25 日 12 时,南宁南部出现了 $10\sim 30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右的降雨,25 日 12 时开始,中  $\alpha$  尺度 MCS 主体逐渐东移,南宁市上空 TBB 逐渐增大,对流减弱,25 日 17 时 TBB 低于 $-53^{\circ}\text{C}$ 区域移出南宁,南宁降雨强度降低到 $1\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以下,过程趋于结束。

### 2.3.2 雷达回波上中尺度系统的演变与结构特征

24 日 16—20 时(图略),随着地面辐合线从南宁北部山地下坡,对应地面上有等温线密集带从都安快速南压到武鸣北部,对流单体在辐合线西侧触发,中层为西南引导气流,二者共同作用下导致强回波单体不断发展东移影响南宁北部,降雨时间长,产生极端强降水。24 日 20 时主体回波带与前侧暖区多单体风暴合并成一条东北—西南向强回波带,其中 35dBZ 以上部分长 200km、宽 35km 左右,最强组合反射率因子达到 63dBZ。对 24 日 20 时武鸣北部强回波带沿着走向做反射率因子剖面(图略)可以看出,从西到东存在 3 个强风暴单体,单体最强反射率因子为 60dBZ 以上,反射率因子大于 50dBZ 区域接地,且延伸高度均小于 6km,位于 $0^{\circ}\text{C}$ 层高度以下,属于热带对流性降水,降水效率高。24 日 20 时至 25 日 02 时,地面辐合线受到武鸣南部大明山余脉的阻挡而停滞,锋区两侧温差增大到 $6^{\circ}\text{C}$ 左右,回波带整体呈准静止状态,这阶段也是武鸣国家站降雨最强时段,连续出现 2 个时次的短时强降水,最大是 25 日 00 时的强降水(56.3mm)。25 日 03—08 时锋后降雨导致冷池内气温由 $24^{\circ}\text{C}$ 降低到 $22^{\circ}\text{C}$ ,锋区强度增强,冷池开始向南推进到南宁南部,雷达风廓线图(略)显示,25 日 02 时 31 分 300m 高度处转为偏北风,说明此时近地面一定厚度的冷空气已经到达南宁南部,对应地面辐合线也南压到南宁南部,同时 25 日 03 时左右 1.5km 高度附近西南低空急流开始建立,对应 $1.5^{\circ}$ 仰角径向速度图(略)显示急流核位于崇左中部,南宁位于急流轴左前侧,25 日 04 时左右急流轴左侧有对流云不断触发,并沿着西南低空急流方向推进,在进入地面辐合线上空后,对流层低层冷暖空气剧烈交汇,在南宁形成强烈的中尺度辐合抬升区,对流强烈发展,25 日 04—08 时形成南北两条东北—西南向的 MCS,强回波中心达到 57dBZ,具有后向传播特征,在列车效应作用下,南宁开始出现第二阶段大范围强降水,降雨范围较第一阶段大、雨强有所减弱,最大雨强达到 $50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。25 日 09—12 时,随着地面辐合线继续向东南移动,南宁西部的等温线梯度减小,同时伴随着低空急流的继续北推,南宁

西部逐渐处于低空急流入口区左侧辐散区,对流动减弱,至 25 日 12 时等温线密集带基本移出南宁市,南宁南部回波强度逐渐减弱到 35dBZ 以下,此时 $1.5^{\circ}$ 仰角径向速度图(略)显示南宁北部有较弱的低空急流向东北推进,对应南宁北部有 MCS 发展东移,给南宁北部带来短时强降水。25 日 15 时以后,南宁上空基本为层状云回波控制,降雨过程趋于结束。

## 2.4 极端暴雨预报偏差分析

### 2.4.1 主观预报检验

从 24 日 16 时起报的主观预报与实况逐 12h 雨带分布来看,各级主观预报 24 日 20 时—25 日 08 时南宁市强降水落区位于切变线附近,广西壮族自治区气象台预报南宁市强降水落区较实况偏北,暴雨以上漏报,南宁市气象台对于南宁北部暴雨预报准确,但大暴雨以上降雨漏报;各级主观预报 25 日 08 时—20 时强降水减弱北抬,广西壮族自治区气象台预报南宁北部大雨,南部小到中雨,暴雨以上漏报,南宁市气象台对于南宁北部暴雨预报准确,但对于大暴雨以上降雨依然漏报。可见各级预报员能准确把握第一阶段切变线附近的强降水,但对于南宁南部第二阶段低空急流与冷空气相互作用造成的强降水考虑不足。

### 2.4.2 数值模式预报偏差分析

从 ECMWF\_HR 在 23 日 20 时起报 25 日(24 日 20 时—25 日 20 时)暴雨及以上强降水的空间检验信息(表 1)可见,CLDAS-2.0 降水产品的雨带为准东西向,ECMWF\_HR 预报的整体相似度为 82.4%,预报强降水形态与实况较为接近;ECMWF\_HR 预报强降水中心较实况偏西约 $0.03^{\circ}\text{E}$ 、偏北约 $1.36^{\circ}\text{N}$ ;模式预报强降水中心面积和中位数强度均较实况偏小。总体而言,ECMWF\_HR 模式对于强降水落区形态和量级有着较为合理的预报,但从定量的空间特征评估来看,ECMWF\_HR 对于强降水的面积、位置和强度仍存在一定的预报偏差。

中尺度预报模式中,广州逐时循环同化模式 24 日 14 时起报未来 36h 组合反射率因子(图略)能反映强回波带逐渐南压的趋势。雨量上,中国气象局广东快速更新同化数值预报系统(CMA-GD)在 24 日 08 时预报 25 日南宁有分散性暴雨,局地大暴雨以上,虽然量级较 ECMWF\_HR 更接近实况,但仍偏弱。

从 ECMWF\_HR 模式预报与实况 500hPa 形势的对比分析可以发现,ECMWF\_HR 模式能较准确的



表 1 MODE 识别 CLDAS 和模式预报 (ECMWF\_HR) 的强降水 ( $\geq 50\text{mm}$ ) 空间信息

	质心 经度/ $^{\circ}\text{E}$	质心 纬度/ $^{\circ}\text{N}$	主轴 长度/ $\text{km}$	次轴 长度/ $\text{km}$	主轴 倾角/ $^{\circ}$	面积 $/\text{km}^2$	中位数 强度/ $\text{mm}$	相似度 $/\%$
CLDAS	108.99	22.96	602	225	12.73	$7.053 \times 10^6$	84.4	/
ECMWF_HR	108.96	24.32	558	253	8.01	$6.14 \times 10^6$	68.7	82.4

预报出环流形势,尤其是能预报出高空槽停滞、切变线先南压后北退的趋势,也能准确反映 24 日夜间西南急流的建立,但对于高空槽和切变线位置预报较实况明显偏北,也未能预报 24 日 20 时后地面锋面缓慢南压,而是预报减弱北抬。ECMWF\_HR 模式预报偏差导致强降水区预报偏北,是造成南宁极端强降水漏报的重要原因。

综合来看,对于此次极端暴雨过程的预报,大尺度模式中 ECMWF\_HR 预报性能表现较好,但依然存在系统位置和冷空气强度偏弱的偏差,尤其是 ECMWF\_HR 模式对此次过程中第二阶段冷池、地形、地面辐合线和低空急流相互作用产生的中小尺度系统不能很好描述,因此对于强降水落区和强度预报出现偏差。中尺度模式中,广州逐时循环同化模式临近时刻能预报系统南压到南宁南部的趋势,预报效果较好。

### 3 结论

(1)此次南宁极端暴雨过程是在中高纬度两槽一脊、两高对峙、西南季风活跃的有利环流背景下,由高空槽、切变线、地面辐合线、低空急流共同作用产生的;过程发生前南宁上空处于高温高湿高能区,深厚的湿度层配合具有大 CAPE 值的不稳定层结,非常有利于极端强降水的发生。

(2)此次过程的雨带分布与两个阶段的 MCS 发展演变有关,一段是 24 日夜间由高空槽、切变线、锋面南压到南宁中部停滞,形成的准静止对流系统;另一段是 25 日凌晨增强的西南急流与冷空气相互作用,导致后向型对流系统发展与维持。各阶段降雨均具有低质心、高强度的热带对流性降水回波特征,列车效应明显,极端短时强降水位于云图 TBB $\leq -90^{\circ}\text{C}$  中心附近。

(3)ECMWF\_HR 模式能较好的预报形势和系统的发展演变过程,但对于天气系统位置预报偏差,对于低空急流和冷空气相互作用预报能力不足,综合导致强降水落区偏北、强度偏弱;中尺度模式中

CMA-GD 能够很好模拟中小尺度系统的发生发展,因此对于降雨量级预报接近实况,但落区依然偏差较大;广州逐时循环同化模式临近预报能够反映出强回波南压的趋势。在实际预报中遇到类似天气形势时,要注意分析夏季冷空气位置预报偏差、夜间低空急流加强等因素可能导致极端暴雨预报偏差的产生,以及参考中尺度数值模式临近时刻预报的强降水信号。

#### 参考文献:

- [1] 陶诗言,丁一汇,周晓平.暴雨和强对流天气的研究[J].大气科学,1979,3(3):227-238.
- [2] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:1-71.
- [3] 鹿世瑾.华南气候[M].北京:气象出版社,1990:148-162.
- [4] 黄士松.华南前汛期暴雨[M].广州:广东科技出版社,1986:1-78.
- [5] 赵玉春,王叶红.近 30 年华南前汛期暴雨研究概述[J].暴雨灾害,2009,28(3):193-202,228.
- [6] 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.
- [7] 陈见,高安宁,唐文.广西超大范围锋面暴雨发生特征及预报方法研究[J].气象研究与应用,2013,34(1):7-12.
- [8] 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.
- [9] 刘国忠,黄开刚,罗建英,等.基于概念模型及配料法的持续性暴雨短期预报技术探究[J].气象,2013,39(1):20-27.
- [10] 赖雨薇,梁岱云,周琰.马山一次极端性暴雨天气过程的诊断分析[J].气象研究与应用,2019,39(S1):25-26.
- [11] 孔期,林建.2015 年 5 月 19-20 日华南地区不同性质暴雨成因和预报分析[J].气象,2017,43(7):792-803.
- [12] 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.
- [13] 李艳兰,黄卓,何洁琳,等.1961-2017 年广西区域性暴雨过程变化特征[J].气象与环境学报,2020,36(1):51-57.
- [14] 黄明策.广西暴雨时空分布特征[J].广西气象,2006(3):

- 9-13.
- [15] 林晓霞,冯业荣,张诚忠,等.华南一次暴雨过程热力和动力特征的诊断分析[J].热带气象学报,2017,33(6): 975-984.
- [16] 祁丽燕,农孟松,王冀.2009年7月2-4日广西暴雨过程的中尺度特征[J].气象,2012,38(4):438-447.
- [17] 韦志刚,李娴茹,刘雨佳,等.1961-2018年华南年和各季极端降水变化特征的比较分析[J].高原气象,2021,40(6):1513-1530.
- [18] 蒙伟光,张艳霞,戴光丰,等.华南沿海一次暴雨中尺度对流系统的形成和发展过程[J].热带气象学报,2007(6): 521-530.
- [19] 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.
- [20] 俞小鼎.短时强降水临近预报的思路与方法[J].暴雨灾害,2013,32(3):202-209.
- [21] 郑永光,陶祖钰,俞小鼎.强对流天气预报的一些基本问题[J].气象,2017,43(6):641-652.
- [22] 刘凑华,牛若芸.基于目标的降水检验方法及应用[J].气象,2013,39(6):681-690.
- [23] 孙继松.北京地区夏季边界层急流的基本特征及形成机理研究[J].大气科学,2005,29(3):445-452.

## Analysis on the characteristics and forecast deviation of an extreme rainstorm in Nanning city in 2020

Zhang Dingding, Huang Li\*, Zhou Yan

(Nanning Meteorological Bureau, Nanning 530029, China)

**Abstract:** Based on conventional observation data, the extreme rainstorm process in Nanning City, Guangxi from June 24 to 25, 2020 was analyzed. The results showed that the extreme rainstorm occurred in the favorable background of the confrontation between the subtropical high and the continental high, and the active southwest monsoon. The upper-layer trough slowly moved eastward to guide the shear line and the weak cold air to move southward. The low-level jet on the northwest side of the subtropical high provided abnormally sufficient water vapor and unstable energy conditions for the occurrence of heavy precipitation. The results of satellite cloud images and radar observation showed that the distribution of rain bands and the activity of rain clusters were related to the development and evolution of MCS in two stages. The strong echoes in different stages had the characteristics of backward propagation and low mass center, and its train effect was obvious. The extreme short-time severe precipitation occurred nearby the region of  $TBB \leq -90^{\circ}\text{C}$ . Compared with the observation, the rainfall area and the rainfall intensity predicted by the large-scale ECMWF\_HR model was more northerly and more weak respectively, which were mainly due to the relatively northerly weather systems predicted by ECMWF\_HR model.

**Key words:** extreme rainstorm; mesoscale convective system; ground convergence line; MODE