

刘日胜,赵金彪,刘国忠,等.“22·06”广西暖区极端致洪暴雨成因与预报偏差分析[J].气象研究与应用,2024,45(2):114-119.
LIU Risheng, ZHAO Jinbiao, LIU Guozhong, et al. Analysis on the cause and forecast deviation of extreme warm-region flood-causing
rainstorm during “22·06”[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(2): 114-119.

“22·06”广西暖区极端致洪暴雨成因与预报偏差分析

刘日胜¹, 赵金彪², 刘国忠^{1*}, 王盛繁³

(1.广西壮族自治区气象台, 南宁 530022; 2.广西壮族自治区气象防灾减灾技术中心, 南宁 530022;

3.贵港市气象局, 广西 贵港 537110)

摘要:利用常规气象观测、多普勒天气雷达探测、卫星遥感及再分析等多源气象资料,通过统计及天气学诊断方法,对2022年6月17—21日广西暖区极端致洪暴雨过程成因与预报偏差进行分析。结果表明:(1)此次过程在高空槽、低涡切变、低空西南急流的共同影响下造成,以暖区对流性强降水为主。(2)强降水回波具有明显的后向传播特点,强回波带附近有偏北风和偏南风的辐合线,有利于对流系统的维持与发展,形成“列车效应”,造成局地极端强降水,桂北地形对强降水有增幅作用。(3)多个物理量的异常度分布对应着极端降水区域,其中K指数和整层可降水量与极端降水区域有较好的对应关系。(4)模式预报500 hPa高空槽强度偏弱、850 hPa急流位置偏差造成强降水落区位置偏西偏北、强度偏弱。

关键词:暖区暴雨;极端降水;中小尺度;物理量异常度

中图分类号: P456

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.2.19

在全球气候变暖的背景下,极端气候事件频发,而极端降水事件的破坏性是非常大的,它能导致房屋倒塌、农作物受损、水库漫溢、引起山洪暴发、河流泛滥、山体滑坡、泥石流、城市内涝等一系列的严重次生灾害。

对于极端降水事件的特征、成因、预报等方面,专家与学者们进行许多分析与研究。李曾中等^[1]分析造成我国特大暴雨及洪涝灾害的主要原因。苏爱芳等^[2]指出,极端暴雨过程具有强降水持续时间长、降水强度极端及地形影响明显特征。周金莲等^[3]研究发现,极端暴雨的产生与边界层中尺度天气系统的强烈发展有密切关系,而长江中游特殊地形在边界层中尺度系统发生发展中起到重要作用。钟敏、张萍萍等^[4-5]对极端降水天气过程中的物理量异常度特征进行对比分析。孙军等^[6]在分析北京

“7·21”特大暴雨极端事件时,从降水效率、水汽、上升运动、持续时间等方面探讨极端性降水的成因,异常大的水汽含量及与其相关的物理量异常可作为判断极端降水的重要因子。

广西地处华南西部,受亚热带季风气候影响,年降水量充沛,极端降水天气频发,容易引起洪涝灾害。廖胜石等^[7]研究发现广西极端降水呈增加趋势,每年5、6月极端短时强降水频次最高。赵金彪、刘国忠等^[8-9]在广西极端暴雨天气的变化特征和环流特征方面开展研究。从以上的介绍可知,对广西极端降水天气的系统性分析和研究还是比较少。2022年6月17—21日广西出现了暖区极端致洪暴雨过程^[10-12](以下简称“22·06”)。为深入了解“22·06”广西暖区极端致洪暴雨发生机制,提高对广西极端降水天气的认识和预报准确率,本文利用

收稿日期: 2024-04-10

基金项目: 广西自然科学基金项目(2024GXNSFAA010352)、中国气象局气象能力提升联合研究专项(22NLTSY011)、中国气象局复盘总结专项项目(FPZJ2023-095)

第一作者: 刘日胜(1986—), 硕士, 工程师, 主要从事灾害性天气短时临近预报预警业务及研究工作。E-mail: 376760020@qq.com

*通讯作者: 刘国忠(1968—), 正高级工程师, 主要从事天气预报业务及研究工作。E-mail: baiselgz@sina.com

多源气象资料,通过统计及天气学诊断方法,对该过程的降水特征、多尺度天气系统、物理量异常度及预报偏差等分析,为广西极端降水预报提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本文所使用的资料包括:(1)常规气象资料、广西地面自动站日降水量和小时降水量、广西雷达组合反射率、风云卫星等观测资料;(2)ERA5提供的再分析资料(水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间分辨率为6 h,垂直方向为37层),资料时段为北京时间2022年16日08时至22日20时。

1.2 方法说明

本文采用GRUM and HART^[13]提出的标准化距平法计算在分析资料中位势高度、风、温度、比湿、大气整层可降水量、涡度、散度、垂直速度、水汽通量、水汽通量散度、K指数、假相当位温等物理量的异常度。具体计算公式如下:

$$N = (X - \mu) / \sigma \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

其中, X 为要素值, μ 为要素平均值, σ 为标准差, n 为样本数。在本文的计算中, μ 取1980—2020年21 d的滑动平均值, σ 取21 d滑动标准差。 N 为某个时刻的某要素值与历史同期平均值的偏离程度。Grumm and Hart^[13]的研究表明, N 的绝对值大小可表征降水事件的严重程度, N 的绝对值越大,表明要素与历史同期平均值的偏离程度越高,异常度越大。

2 结果与分析

2.1 实况特征

受低涡切变和西南季风共同影响,2022年06月17—21日广西出现持续性大范围暴雨天气,强降雨落区主要在桂北,大部有暴雨到大暴雨、局部特大暴雨。本次暴雨过程具有以下四个显著特点:

一是暴雨范围广、强降雨区高度集中。6月16日20时至22日06时累积雨量超过100 mm的有425个乡镇。大暴雨以上集中在柳州、桂林、河池、贺州等地,其中过程累积雨量超过100 mm的桂林市有136个乡镇,柳州市有95个乡镇,贺州市有57个

乡镇,河池市有79个乡镇。

二是雨势猛,累积雨量大。降雨量1 h大于50 mm有131个乡镇,3 h大于100 mm的有98个乡镇,6 h大于150 mm的有55个乡镇,最大均为融水县香粉乡(149.4 mm、271.6 mm、427.6 mm),其中6 h雨量打破广西历史纪录;24小时降雨量大于250 mm的有28个乡镇,最大为融水县香粉乡498.2 mm。过程累计雨量有8个乡镇超过600 mm,最大达到913.4 mm(临桂区宛田乡)。

三是持续时间长。暴雨过程从17日开始至21日,持续5 d;全区有36个县(区)出现两天以上暴雨,其中桂林灵川连续四天、桂林兴安、全州、柳州融水、融安、三江等地连续三天出现暴雨。

四是灾害影响重。由于强降雨区内多山塘水库和水利枢纽工程,中小河流密集,此次过程与前5轮高度重叠,导致全区9个市57个县(市、区)出现严重的洪涝、山洪及地质灾害,西江、桂江、湘江等多条河流出现超警洪水。

全区共有西江中下游、柳江、桂江、洛清江、贺江等75条河流128个站出现超警0.02~5.88 m的洪水。贺江县富阳镇河段出现10 a一遇洪水;桂江、湘江部分河段出现10~30 a一遇洪水;灵渠兴安县溶江镇河段出现50 a一遇洪水,为1956年建站以来实测最大洪水;红水河支流刁江河段出现超50 a一遇洪水,为1976年建站以来实测第二大洪水。

2.2 环流形势与主要天气系统发展演变

16日20时,500 hPa上588 dagpm线位于雷州半岛附近,584 dagpm线位于桂北,高原上有低涡活动,广西上空有波动东移,850 hPa切变线位于桂中,其南侧西南风达到 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。地面上无明显冷空气影响。18—19日,588 dagpm线南落至南海,高原上的低涡中心东移北抬,高空槽东移停留在桂东北,槽的振幅明显加大,在低涡的引导下,低层切变线跟着北抬至贵州和湖南北部,切变线南侧西南风加强为急流,急流轴位于桂东至江西南部。广西东部维持准南北向的等压线,东西向的气压梯度增大,有利于偏南暖湿气流向北输送。强降雨区位于急流轴左侧,范围小,局地性和极端性强,具有明显的暖区对流降水特点。20—21日,中高纬度呈两槽一脊的形势,500 hPa副高明显东退,高原上有高空槽加深东移至桂东北,温度场上有冷中心配合,850 hPa低涡切变维持在湖南江西北部,切变线南侧急

流维持。在高空槽发展东移、低涡切变和西南季风的共同作用下,桂北的雨势重新开始加强,极端暴雨区位于低层切变线南侧、低空急流轴的左侧。

从 500 hPa 涡度时间剖面图(图 1)中可以看出,6 月 17—19 日有弱的正相对涡度从云贵高原向东输送到桂北地区;20—21 日桂东北地区处于正相对涡度大值中心,有明显的正相对涡度从 110°E 左右向东输送继续影响到桂东北地区,与平均环流图(略)中高空槽东移相对应。可见高空扰动是激发本次暖区对流系统发生发展的重要条件。

2.3 物理量异常度分析

计算分析各物理量的异常度,和极端降水的配置对应关系。2022 年 6 月 17 日 20 时至 6 月 18 日 20 时,出现极端降水的自动站站数为 5 站,主要分布在桂东北。其物理量异常度特征图(略)所示,极端降水区域与 200 hPa 散度、700 hPa 涡度、850 hPa 垂直速度、925 hPa 水汽通量散度、 K 指数、整层可降水量等物理量的异常度均有较好的对应关系。其中,整层可降水量异常度中心位于桂东北,达到 0.8,与极端降水区域的对应关系最好。

2022 年 6 月 19 日 20 时至 6 月 20 日 20 时,出现极端降水的自动站站数为 13 站,主要分布在桂北。其物理量异常度特征图(略)所示,极端降水区域与 200 hPa 散度、700 hPa 涡度、850 hPa 假相当位温、850 hPa 水汽通量散度、 K 指数、整层可降水量等物理量的异常度均有较好的对应关系。其中, K 指数和整层可降水量异常度中心位于桂北,达到 0.8,与

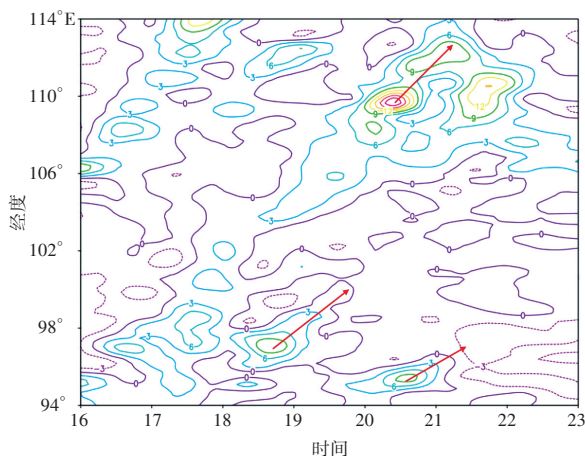


图 1 6 月 17—21 日 500 hPa 相对涡度沿 24.75°N 时间剖面(单位: 10^{-5} s^{-1})

极端降水区域的对应关系最好。

桂东北地区的各种物理量表现异常表明,17—21 日,无明显冷空气南下,在低空急流持续影响下,桂东上空的气温和湿度异常上升,处于层结不稳定状态,高空槽东移提供动力抬升条件,使得低层辐合高层辐散,产生异常强的垂直上升运动,有利于对流系统的维持与发展,产生强降水。

2.4 卫星云图分析

从 FY-2G 红外云图(图 2)可以看到,19 日 13:00 柳江附近有对流云团生成,云团在生成后云盖不断向东北方向扩展,14:00 与桂东北的云团合并后云系逐渐发展成为密实的团状结构。15:00 云团发展成 MCC,云团中有多冲顶对流泡,冲顶最低云顶亮

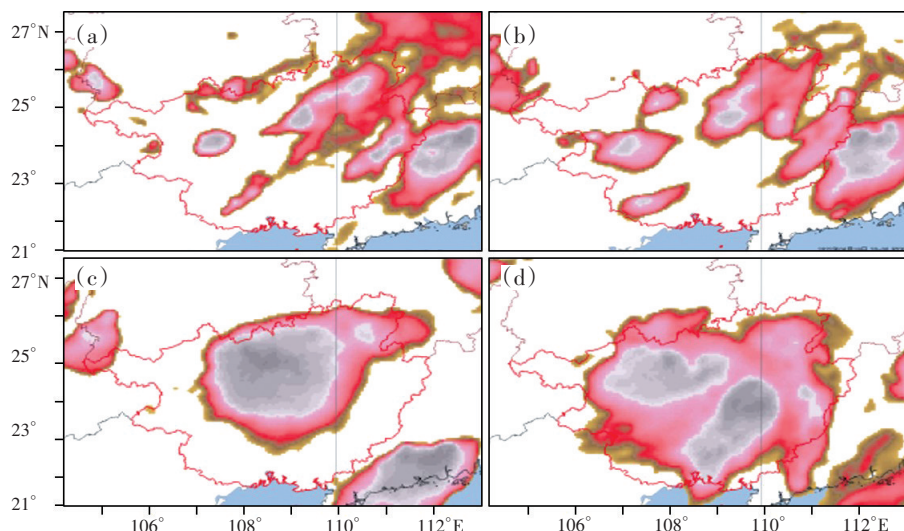


图 2 6 月 19—20 日 FY-2G 卫星红外云图(红色填色部分 $TBB \leq 32^\circ\text{C}$)

(a) 19 日 18 时; (b) 19 日 20 时; (c) 20 日 03 时; (d) 20 日 08 时

温为 196 ~ 200 K, 桂北开始出现 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水。随后云团强度略有减弱, 直至 18:00 云团西南部再度发展增强, 多冲顶最低云顶亮温再次降至 196 ~ 200 K, 强降水落区位于 *TBB* 低值中心北侧, 桂东北最大小时雨量骤升至 $50 \sim 70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 对应地面图上可见桂林中部—河池东南部一带有东南风和东北风的辐合。19 日 20:00 至 20 日 03:00 云团移动缓慢且有明显的后向发展特征, 03:00 云团强度达到最强, *TBB* 最低值降至 187K, 强降水落区主要位于 *TBB* 低值中心附近且移动缓慢, 00 时至 03 时罗城 3 h 雨量达 224.7 mm, 为 19 日夜间最大 3 h 雨量。04:00 至 06:00 *TBB* $\leq 200 \text{ K}$ 的区域覆盖面积仍然维持, 但中心强度略有减弱, 07:00 后, *TBB* $\leq 200 \text{ K}$ 的区域覆盖面积迅速减小, 即 MCC 强度开始减小, 进入衰退期, 桂北最大小时雨量有所减弱。

2.5 雷达回波分析

从雷达组合反射率图(略)上可以看到, 19 日 16:12 来宾、柳州、河池三市交界处有弱对流单体生成, 生成后在原地不断发展, 17:30 零散的对流单体合并为一个强的对流单体, 中心强度增强至 55dBZ, 柳城最大小时雨量骤升至 $64.7 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。在中层西南气流引导下, 回波缓慢北抬, 强度维持, 持续给桂东北带来 $50 \sim 70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水。20:24 原本位于罗城的回波东移与北抬至融安—融水的回波合并, 合并后回波强度再次加强至 55 dBZ。随着夜间天气系统缓慢南压, 合并后的回波也缓慢向西偏南方向移, 且在强回波西侧不断有反射率因子 $\leq 45 \text{ dBZ}$ 的对流单体生成后合并汇入, 后向传播特征明显, 回波形态逐渐由零散的对流单体向带状回波转变, 回波前沿为积状云降水回波, 对流较旺盛, 组织性较好, 直线型回波带中镶嵌强回波区, 最强反射率可达 65 dBZ, 降雨为直线型雨带中镶嵌强降雨区, 桂北最大小时雨量增大至 $70 \sim 90 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 局地超过 $100 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。由于回波移向与强回波带走向夹角较小, 形成“列车效应”, 使强回波多次经过同一地点, 累计雨量大。从对应时刻的地面图上也能看到, 回波带中强回波区附近有偏北风与偏南风的辐合, 这也有利于对流系统的维持与发展。另外, 东北地区多山坳和喇叭口的地形特点, 也对极端降水起到增幅作用, 极端降水主要产生于具有迎风坡地势的县区。

2.6 数值模式预报偏差分析

对 16 日 20 时—17 日 20 时的数值模式降水预报

和实况作对比分析, 中国气象局全球同化预报系统(CMA-GFS)预报暴雨落区范围及强度与实况相差比较大, 效果较差, 欧洲中期天气预报中心(EC)预报对桂东北的暴雨预报有一定的指示意义, 相对中国气象局中尺度天气数值预报系统(CMA-MESO)、中国气象局上海数值预报模式(CMA-SH9)等中尺度模式, 能够对桂东北的暴雨和大暴雨落区有很好的指示意义, 预报效果较好, 但均漏报河池境内和桂东南的强降水区。

对 19 日 20 时—20 日 20 时的数值模式降水预报和实况作对比分析, CMA-GFS 预报强降水落区效果较差, EC 模式预报能预报出桂北部分地区的暴雨, 但位置明显偏西偏北, 量级明显偏弱, 中尺度模式中, CMA-SH9 模式能够预报出桂东北部分地区的强降水, 但位置偏北, 范围偏小, 强度偏弱。总体来说, 各家模式对 20 日的强降水预报效果均不理想。

对 17 日和 20 日的强降水作预报偏差分析, 17 日, EC 模式和 CMA-SH9 模式预报低层切变线较实况位置偏北, 但预报急流的位置和强度总体上与实况比较接近, 预报效果较好。20 日, EC 模式和 CMA-SH9 模式预报低层低涡切变的位置与实况基本一致, 850 hPa 急流的强度也与实况基本一致, 但其急流轴位置偏西偏北, 此外, 预报 500 hPa 高空槽的强度偏弱, 是造成此次强降水落区预报位置偏西偏北、强度偏弱的主要原因。所以综合两次预报效果来看, 能否很好的把握低层急流的强度与位置, 是预报暖区暴雨的关键。

2.7 主观预报检验评估

对这次过程的累计雨量主观预报进行检验评估, 前期的过程累积雨量预报强降雨(250 mm 以上)范围明显偏大, 强降雨中心偏南, 后期及时调整后, 强降雨范围往北收缩, 强降雨中心往北调整, 与实况趋于接近。

对 24 h 雨量的主观预报进行检验评估, 18 日暴雨落区预报范围明显偏大, 桂林北部和柳州北部的大暴雨落区主观预报大略能够把握住, 但在量级上还是偏弱; 20 日暴雨以上的落区预报范围偏小、位置偏北, 量级上也是偏弱的。

3 结论与讨论

本文通过对 2022 年 6 月 17—21 日暖区极端致洪暴雨过程的成因与预报偏差进行分析, 主要得出如下结论:

(1)此次广西大范围极端暴雨天气过程,具有暴雨范围广、强降雨区高度集中、雨势猛、累积雨量大、持续时间长、灾害影响重等特点。

(2)此次过程是在高空槽、低涡切变、低空西南急流的共同影响下造成的,以暖区对流性强降水为主,极端暴雨区位于低层切变线南侧、低空急流轴的左侧。

(3)物理量异常度分析表明,多个物理量的异常度分布对应着极端降水区域,其中, K 指数和整层可降水量与极端降水区域的对应关系较好。

(4)中小尺度系统发展演变分析表明,强降水回波具有明显的后向传播的特点,强回波带附近有偏北风和偏南风的辐合线,有利于对流系统的维持与发展,形成“列车效应”,造成局地的极端强降水。桂北地形对强降水有增幅作用。

(5)模式预报 500 hPa 高空槽强度偏弱、850 hPa 急流位置偏差造成强降水落区位置偏西偏北、强度偏弱。

充分理解与把握天气形势的演变和数值模式预报的变化调整,把握主要影响系统的强度与位置,特别是低空急流的强度与位置,还要考虑地形对降水的增幅作用,是本次过程预报的着眼点。另外,根据实况数据及时对数值模式预报进行检验校正,可有效提高预报员对数值模式的驾驭能力。

参考文献:

- [1] 李曾中,程明虎,曾小苹.中国持续暴雨及洪涝灾害的成因与预测[J].北京大学学报(自然科学版),2003(增刊1):134-142.
- [2] 苏爱芳,席乐,吕晓娜,等.豫北“21·7”极端暴雨过程特征及成因分析[J].气象,2022,48(5):556-570.
- [3] 周金莲,张家国,吴涛,等.长江中游梅雨锋极端暴雨过程中的边界层中尺度系统主要特征[J].气象,2022,48(8):1007-1019.
- [4] 钟敏,车钦,张蒙蒙,等.华中区域极端降水天气形势及物理量异常度特征[J].气象,2020,46(4):503-516.
- [5] 张萍萍,钟敏,董良鹏.湖北省两类型极端降水过程气象因子异常特征对比[J].海洋气象学报,2022,42(1):23-31.
- [6] 孙军,湛芸,杨舒楠,等.北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(二)极端性降水成因初探及思考[J].气象,2012,38(10):1267-1277.
- [7] 廖胜石,卓健,罗建英,等.广西汛期极端短时强降水特征分析[J].暴雨灾害,2022,41(3):308-314.
- [8] 赵金彪,罗建英,高安宁,等.2008 年 6 月广西锋前暖区暴雨过程分析[J].热带地理,2010,30(2):145-150.
- [9] 刘国忠,周云霞,覃月凤,等.“20·6”华南西部前汛期极端持续性暴雨特征与成因分析[J].热带气象学报,2003,39(6):807-824.
- [10] 刘国忠,覃月凤,覃卫坚,等.2022 年广西极端“龙舟水”暴雨过程环境场特征分析[J].气象研究与应用,2023,44(1):7-13.
- [11] 黄芳,刘国忠,黄增俊,等.“22·06”广西极端暴雨过程低空急流作用[J].气象研究与应用,2023,44(3):1-8.
- [12] 黄雪松,李妍君,何洁琳,等.广西 2022 年“龙舟水”期间极端暴雨特征及强度分析[J].气象研究与应用,2023,44(1):76-80.
- [13] GRUMM R H, HART R. Standardized Anomalies Applied to Significant Cold Season Weather Events: Preliminary Findings[J].WeaForecasting,2001,16(6):736-754.

Analysis on the cause and forecast deviation of extreme warm-region flood-causing rainstorm during “22·06”

LIU Risheng¹, ZHAO Jinbiao², LIU Guozhong¹, WANG Shengfan³

(1. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China;

2. Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning 530022, China;

3. Guigang Meteorological Bureau, Guangxi Guigang 537110, China)

Abstract: Using conventional meteorological observation, Doppler weather radar detection, satellite remote sensing and reanalysis data and other multi-source meteorological data, the cause and forecast deviation of the extreme flood-causing rainstorm process in the warm region of Guangxi from June 17 to 21, 2022 are analyzed by applying statistical and meteorological diagnosis methods. The results show that: (1) this process is caused by the combined influence of the upper-level trough, low vortex shear and low-level southwesterly jets, resulting in mainly warm-sector convective heavy precipitation. (2) The strong precipitation echoes have obvious characteristics of backward propagation, and there is a convergence line of northerly wind and southerly winds in the vicinity of the strong echo belt, which is conducive to the maintenance and development of convective system, forming a “train effect”, resulting in local extreme heavy precipitation. (3) The anomaly distribution of multiple physical quantities corresponds to the extreme precipitation region, among which the K index and the whole-layer precipitable amount have a good correspondence with the extreme precipitation region. (4) The weak intensity of the 500 hPa upper-air trough and the deviation of the location of the 850 hPa jet stream in the model prediction lead to the westward and northward location of the area of heavy precipitation with weak intensity.

Key words: warm-region rainstorm; extreme precipitation; small-to medium-scale; anomaly degree of physical quantity