

张凌云,刘蕾. 柳州 2020 年一次“龙舟水”成因及预报偏差分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(3):67–71.

Zhang Lingyun,Liu Lei. Causality analysis of the infrequent and forecasting deviation Dragon-Boat precipitation in Liuzhou city in 2020[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2022,43(3):67–71.

# 柳州 2020 年一次“龙舟水”成因及预报偏差分析

张凌云, 刘 蕾

(柳州市气象局, 广西 柳州 545001)

**摘要:** 利用 FNL 再分析资料、高空和地面观测资料及数值模式资料,对柳州市 2020 年 6 月 24—26 日的“龙舟水”成因和预报偏差进行了诊断分析。结果表明:(1)此次“龙舟水”过程可划分成前期北部的暖区暴雨和后期南部的持续暴雨阶段;(2)在暖区暴雨阶段,地面中尺度辐合线是暴雨触发的重要机制,迎风坡地形抬升和喇叭口地形收缩对暖区暴雨有增幅作用;(3)在持续暴雨阶段,地面静止锋、中尺度辐合线是暴雨触发和维持的重要天气系统,低层强盛的西南气流和急流脉动为持续暴雨提供源源不断的水汽、能量供应和水汽辐合条件;(4)数值模式对低层切变线、地面冷空气和中尺度辐合线的预报偏差是导致暴雨落区预报偏差重要原因。

**关键词:** 龙舟水;中尺度辐合线;急流脉动

**中图分类号:** P426.6

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.12

## 引言

“龙舟水”一般指华南地区端午前后发生的强降水天气。气候学把 5 月下旬—6 月下旬期间确定为“龙舟水”时段<sup>[1]</sup>。“龙舟水”期间,恰逢华南前汛期盛期,南海季风活跃,此时发生的强降水过程往往具有范围广、强度强、持续时间长、致灾程度重的特点,较多的学者给予了关注。胡娅敏等<sup>[2]</sup>对华南“龙舟水”进行了分型,认为“龙舟水”与西太平洋副热带高压、季风槽、阻塞高压密切相关。林良勋等<sup>[3]</sup>对广东 2008 年罕见“龙舟水”成因研究分析认为,南支槽活跃、高低空急流耦合及低空急流脉动是“龙舟水”的主要成因。“龙舟水”期间华南地区常发生持续性暴雨天气,导致严重的江河洪涝,因此持续性暴雨成因也是“龙舟水”研究的重点<sup>[4-10]</sup>,一些学者<sup>[11-17]</sup>专门开展了针对广西区域的持续性暴雨研究,取得了一些有意义的成果。

2020 年 6 月 24—26 日端午节期间,柳州市发生了一次较严重的“龙舟水”持续性暴雨过程<sup>[18]</sup>,引发了严重的城市内涝和江河洪涝。本文对柳州此次

“龙舟水”的成因和预报偏差进行诊断分析,总结预报经验得失。

## 1 资料和方法

所用资料为:(1)FNL 再分析资料,水平分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ ,垂直分辨率为 41 层;(2)高空、地面常规气象观测资料;(3)柳州市逐小时自动站降水量资料;(4)欧洲中期天气预报中心(ECMWF)模式产品,时间间隔为 3h,水平分辨率为  $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ ;(5)柳州新一代天气雷达和华南雷达拼图资料;(6)卫星云图资料。分析方法主要为天气学诊断分析方法。

## 2 过程概况

受高空槽、低涡、切变线和地面弱冷空气共同影响,2020 年 6 月 24—26 日全市普降暴雨到大暴雨,局部特大暴雨。据统计,6 月 23 日 20 时—26 日 20 时,全市共有 36 站累计雨量达 200mm 以上,过程最大雨量为 414.9mm。最强降雨时段为 24 日白天到夜间,最大 24h 雨量为 282.8mm,最大小时雨量为 104.4mm,均出现在鹿寨县境内。

收稿日期: 2022-06-19

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科 AB19110028)、2021 年柳州市气象科研计划项目(柳气科 202103)

作者简介: 张凌云(1975—),女,正研级高级工程师,主要从事中短期天气及气候研究。E-mail:364548737@qq.com

柳州此次“龙舟水”过程降雨具有如下特点:(1)北部暴雨时间短,仅持续 12h,具有暖区暴雨的特点;(2)南部暴雨具有持续性,鹿寨县出现 2d 连续 4 个时次暴雨;(3)降水呈现出极端性,局部雨强大,南部地区出现了较严重的洪涝和内涝灾害。

### 3 6 月 24 日柳州北部暴雨成因分析

#### 3.1 天气系统空间配置分析

由于柳州北部的暴雨主要出现在 23 日 20 时—24 日 08 时,因此,通过分析 24 日 02 时天气系统的空间配置情况来了解北部暴雨的成因。24 日 02 时,500hPa 桂北上空有短波槽东移,700~850hPa 为西南气流,850hPa 西南急流强盛,柳州位于急流左侧风速辐合区,925hPa 切变线在桂北地区,地面图上柳州北部至河池一带有中尺度辐合线,而华南雷达拼图组合反射率(CR)有带状回波与地面中尺度辐合线相吻合。从天气系统空间配置来看,柳州北部 23 日夜间的暴雨主要是由地面中尺度辐合线和边界层

辐合线触发,500hPa 短波槽起到高层动力强迫抬升的作用,有暖区暴雨的特征。

#### 3.2 垂直速度分析

为进一步了解 23 日夜間柳州北部暴雨成因,对北部地区的垂直运动作详细分析。选择 23 日 20 时北部暴雨开始时刻,沿 109°E 对风场和垂直速度场作高度-纬度剖面(图 1a),可以看出,23 日 20 时垂直上升速度大值区位于 24.5°~25.5°N 之间,最大上升速度中心值达  $1.2\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,位于 925~850hPa 之间,与北部 23 日夜间的强降雨区有较好的对应关系。为了解北部地区上升运动的时间变化,沿 109°E, 25°N 作风场和垂直速度的高度-时间剖面(图 1b),由图可见,北部最强上升运动主要出现在 23 日 20 时—24 日 08 时之间,与 23 日夜間北部暴雨有较好的对应关系。“龙舟水”过程后期,北部地区上升运动呈减弱趋势,25 日 08 时以后,中高层转北风,转为下沉运动,对应后期降水减弱。

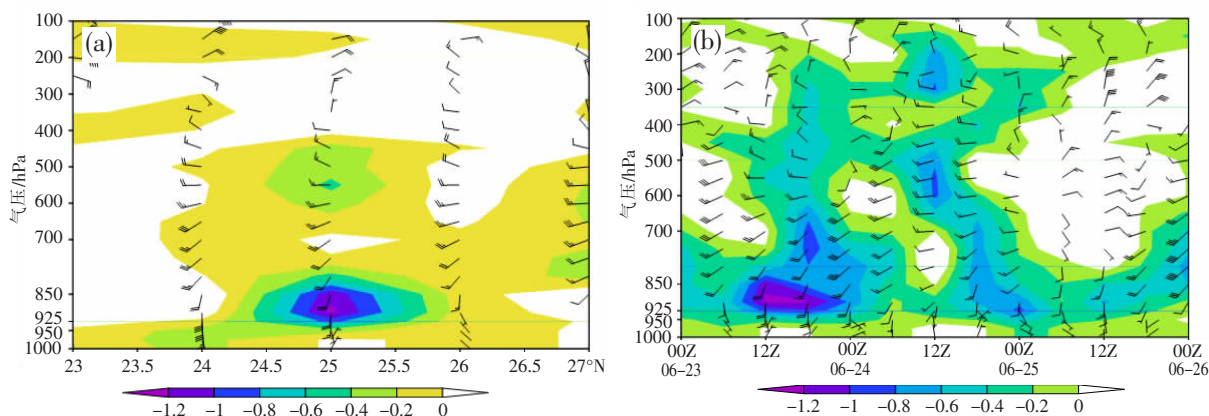


图 1 2020 年 6 月 23 日 20 时风场和垂直速度沿 109°E 的高度-纬度剖面(a)及 23 日 08 时—26 日 08 时沿 109°E、25°N 的高度-时间剖面(b)(单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ )

#### 3.3 不稳定能量和水汽通量散度分析

分析 23 日 20 时—24 日 08 时对流有效位能(CAPE)值和低层水汽通量变化可知,23 日夜間整个华南地区维持较高的不稳定能量,符合锋前高温高湿的大气特征。850hPa 柳州上空水汽通量辐合不明显,但 925hPa 桂北地区有较明显的水汽通量辐合,与 925hPa 桂北地区的中尺度辐合线相对应,说明 23 日夜間柳州北部的暴雨水汽辐合条件主要来自边界层。

#### 3.4 地面中尺度系统分析

23 日 20 时—24 日 08 时地面风场分析表明,23

日 20 时,冷锋位于湘黔南部,呈东北西南走向,南北温差  $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ ,南压速度缓慢。23 日 20 时—24 日 02 时,柳州北部受地面中尺度辐合线影响,其形成原因是白天增温导致局地热对流,造成局地雷暴,雷暴冷流出流又与偏南气流辐合,增强和维持地面辐合线。24 日 02 时以后,弱冷空气逐渐从黔西南入侵桂西北,24 日 05 时左右冷锋合并中尺度辐合线,北部地区降水增强。此外,元宝山南麓迎风坡和东麓喇叭口收缩地形对北部暖区暴雨的形成也起到一定增幅作用,最强降雨区位于山脉迎风坡和喇叭口地形区域。

## 4 6 月 24—26 日柳州南部暴雨持续成因分析

### 4.1 天气系统空间配置情况分析

24 日 20 时, 柳州位于 500hPa 低涡东南侧, 700hPa 切变线南侧, 850~925hPa 切变线已压到柳州南部, 地面冷锋也位于柳州南部, 为南部地区暴雨发生提供了有利的空间形势配置。25 日 08 时, 500hPa 副高断裂成东西两环, 南支槽压到柳州南部, 700hPa 切变线也压到柳州南部, 850hPa 切变线北抬到黔桂交界地区, 柳州南部重新被西南急流控制, 地面静止锋在桂中维持, 相似的天气系统空间配置形势一直持续到 26 日 08 时。这样的天气系统空间配置, 地面静止锋提供抬升触发条件, 西南低空急流源源不断地提供水汽, 500hPa 南支槽提供高层动力强迫作用, 共同为 24—26 日柳州南部持续暴雨构建了有利的环境场。

### 4.2 地面中尺度系统分析

从地面风场分析可知(图略), 24 日白天地面静止锋南压到柳州南部, 24 日 20 时以后, 地面静止锋在桂中地区维持, 24 日 20 时—26 日 08 时, 在柳州南部一带, 地面有中尺度辐合线或中尺度低涡在静止锋上活动频繁, 进一步激发柳州南部尤其是东南

部的持续强降水, 雷达回波与中尺度系统有较好的对应关系。由此可见, “龙舟水”过程后期, 地面中尺度系统也是柳州南部持续暴雨的重要触发和维持机制。

### 4.3 垂直速度分析

为进一步了解“龙舟水”过程后期柳州南部持续暴雨成因, 对南部地区的垂直运行作详细分析。选择南部降雨强度最大的时间段 24 日 20 时, 沿 109°E 对风场和垂直速度场作高度-纬度剖面(图 2a), 可以看出, 24 日 20 时垂直上升速度大值区位于 23.5°~24.5°N 之间, 且整层上升运动都很强, 最大上升速度中心值达  $1\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$  以上, 位于 850~500hPa 之间, 跟南部 20 时前后的强降雨区有较好的对应关系。同时也可以看出, 北部地区上升运动较弱, 中层已转为下沉运动, 跟 24 日白天开始暴雨区南压、北部已转为阵雨天气有较好的对应关系。沿 109°E, 24°N 作风场和垂直速度的高度-时间剖面(图 2b), 由图可见, 从 24 日 08 时以后, 柳州南部的垂直上升运动明显增强, 与 24 日 08 时—26 日 08 时暴雨在柳州南部维持有较好的对应关系。同时可以看出, 24 日 20 时以后, 边界层、高层上升运动较明显, 柳州南部后期的持续暴雨, 主要是由边界层触发, 高层动力强迫加强对流性降水。

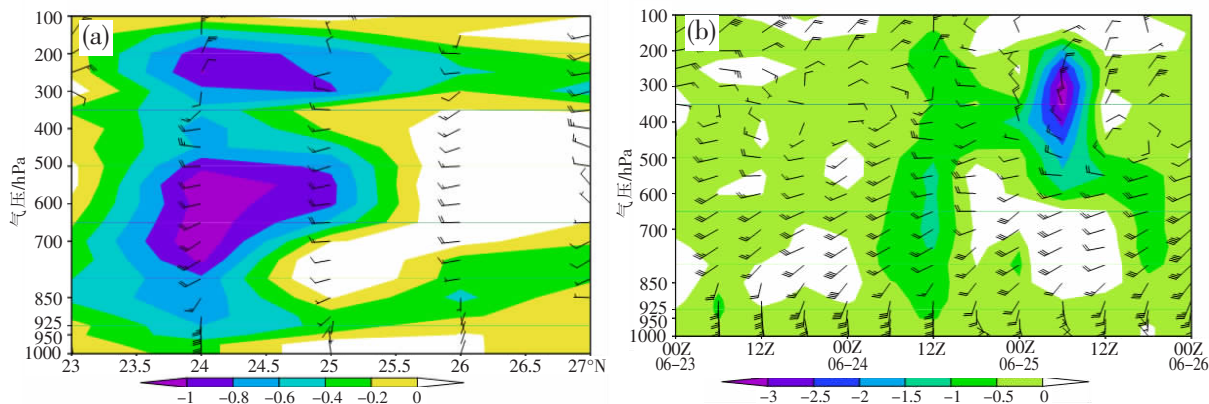


图 2 2020 年 6 月 24 日 20 时风场和垂直速度沿 109°E 的高度-纬度剖面(a)及 23 日 08 时—26 日 08 时沿 109°E, 24°N 的高度-时间剖面(b)(单位:  $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ )

### 4.4 不稳定能量条件分析

通过分析 24 日 20 时—26 日 20 时 CAPE 值的时间变化可知, 随着 24 日白天地面冷空气的南压, 不稳定能量高值区也随之南移, 24 日 20 时以后, 柳州北部 CAPE 值基本维持在  $300\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$  以下, “龙舟水”后期桂南一直维持较高的不稳定能量, CAPE 值在  $300\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$  以上, 与柳州南部持续暴雨落区有较好

的对应关系, 高温高湿的环境为暴雨的发生提供了有利的热力和能量条件。

## 5 预报偏差原因分析

### 5.1 ECMWF 数值模式形势场预报偏差

由于 24 日 20 时是柳州北部和南部暴雨落区转换的重要时间点, 因此选取 24 日 20 时的实况场和

ECMWF 模式预报场进行对比分析。500hPa 形势实况和预报场分析结果表明,副高脊线和形状位置预报与实况基本一致,但黔桂交界地区的低涡预报较实况偏弱。分析 850hPa 风场实况和预报场可知,低空急流预报比实况偏强,对于切变辐合区的预报较实况偏北,且切变线南压进桂西北模式未报出。对于地面冷空气影响时间的预报,24h、48h、72h 三个时效均未准确报出。受数值模式对 850hPa 切变线和地面冷空气预报的偏差影响,柳州此次“龙舟水”过程暴雨预报与实况也出现了较大偏差,主要表现在:北部暴雨仅出现在 23 日夜间,24—26 日暴雨落区维持在南部;而实际预报情况是,24—26 日南部暴雨多个时次漏报,25—26 日北部暴雨多个时次空报。

## 5.2 数值预报偏差可订正性探讨

为探讨数值模式预报偏差的可订正性,选取 24 日 14 时地面冷空气到达柳州南部这个关键时间点的地面实况风场、卫星云图、预报场、雷达回波进行对比分析。结果表明,24 日 14 时地面冷锋已到达柳州南部,从卫星云图上可以看到有一条明显的冷锋云带与地面冷锋配合,从华南雷达拼图上也可以看到,有一条东北—西南向的狭长强回波带与地面冷锋对应。而从 ECMWF 数据模式地面风场预报效果看,23 日 20 时的起报场预报,地面冷锋的东段位于贵州南部,24 日 08 时的起报场预报,地面冷锋东段位于黔桂交界一带,与实况偏差较大。因此,在 24 日下午制作天气预报时,可以用地面天气图、卫星云图、雷达回波对数值预报偏差加以订正,对数值模式预报形势场作主观订正,这样较大概率不会漏报 25 日柳州南部暴雨和空报 25 日柳州北部暴雨。

## 6 结论

(1)柳州此次“龙舟水”过程可划分成前期(23 日 20 时—24 日 08 时)北部的暖区暴雨阶段和后期(24 日—26 日 08 时)南部的持续暴雨阶段。在暖区暴雨阶段,地面中尺度辐合线是暴雨触发的重要机制,迎风坡地形抬升和喇叭口地形收缩对暖区暴雨有增幅作用。

(2)在后期柳州南部的持续暴雨阶段,地面静止锋、中尺度辐合线是暴雨触发和维持的重要天气系统,低层强盛的西南气流和急流脉动为持续暴雨提供源源不断的水汽和辐合条件,副高断裂后东环副高的强大和稳定,对南支槽东移形成阻挡作用,活跃的短波槽为持续暴雨提供了较好的高空动力强迫抬

升条件。

(3)数值模式对低层切变线和地面冷空气的预报偏差是导致暴雨落区预报偏差的重要原因,且模式对中尺度辐合线的预报能力较弱。此外,切变线南压过程中降水明显,而北抬过程中降水偏弱一些。

数值模式预报偏差可参考最新时次的实况图加以订正,14 时的地面图非常重要,云图、雷达图也可参考。

## 参考文献:

- [1] 钱维宏,艾阳,陈绿文,等.一次广东典型龙舟水暴雨过程的扰动形势分析[J].热带气象学报,2020,36(4):434-443.
- [2] 胡娅敏,杜尧东,罗晓玲.近 49 年华南“龙舟水”的降水分型[J].气象,2013,39(8):1032-1041.
- [3] 林良勋,吴乃庚,黄忠,等.广东 2008 年罕见“龙舟水”特点及成因诊断分析[J].气象,2009,35(4):43-49.
- [4] 史学丽,丁一汇.1994 年中国华南大范围暴雨过程的形成与夏季风活动的研究[J].气象学报,2000,55(6):666-678.
- [5] 张耀华,周兵,张耀存.2010 年南方持续暴雨期大气环流异常及其低频特征研究[J].气象,2012,38(11):1367-1377.
- [6] 胡亮,何金海,高守亭.华南持续性暴雨的大尺度降水条件分析[J].南京气象学院学报,2007,30(3):345-351.
- [7] 陈见,梁维亮,高安宁,等.华南季风槽暴雨特征分析[J].热带气象学报,2015,31(4):536-548.
- [8] 张端禹,徐明,汪小康,等.华南前汛期持续暴雨环流特征分析[J].暴雨灾害,2012,31(3):264-271.
- [9] 赵玉春,李泽春,肖子牛.南半球冷空气爆发对华南连续性暴雨影响的个例分析[J].气象,2007,33(3):40-47.
- [10] 慕建利,王建捷,李泽椿.2005 年 6 月华南特大连续性暴雨的环境条件和中尺度扰动分析[J].气象学报,2008,66(3):437-451.
- [11] 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.
- [12] 覃卫坚,何莉阳,蔡悦幸.广西持续性区域暴雨对热带季节内振荡的响应特征[J].气象研究与应用,2021,42(4):32-37.
- [13] 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.
- [14] 覃卫坚,李耀先,廖雪萍,等.大气低频振荡对广西持续性区域性暴雨的可能影响[J].气象研究与应用,2015,36(3):1-7.

- [15] 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.
- [16] 张凌云, 刘蕾, 苏小玲. 桂北后汛期一次持续性暴雨天气过程分析[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(6): 25–31.
- [17] 张凌云, 刘蕾, 苏小玲. 2019 年 6 月桂北一次持续暴雨过程特点及诊断分析[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(7): 49–54, 54.
- [18] 刘国忠, 周云霞, 覃月凤, 等. 2020 年广西暴雨灾害天气综述与分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(1): 101–106.

## Causality analysis of the infrequent and forecasting deviation Dragon–Boat precipitation in Liuzhou city in 2020

Zhang Lingyun, Liu Lei

(Liuzhou Meteorological Bureau, Liuzhou Guangxi 545001, China)

**Abstract:** Based on FNL reanalysis data, high–altitude and ground observation and numerical model data, the causes and forecast deviation of Dragon–Boat Precipitation in Liuzhou city from June 24 to 26, 2020 were analyzed. The results show that: (1) the Dragon–Boat Precipitation process can be divided into two stages: the warm–area rainstorm in the north in the early stage and the continuous rain in the South. In the later stage; (2) In the warm–region rainstorm stage, the surface mesoscale convergence line is an important mechanism for triggering the rainstorm, and the topographic uplift of the windward slope and the topographic contraction of the bell mouth is conducive to the increase of the warm–region rainstorm; (3) In the stage of continuous rainstorm, the surface stationary front and mesoscale convergence line are important weather systems, triggering and maintaining the rainstorm. The strong southwest air flow and jet pulsation at the lower level provide continuous water vapor, energy supply and water vapor convergence conditions for the continuous rainstorm; (4) The prediction deviations of the numerical model for the low–level shear line, the surface cold air and the mesoscale convergence line are the important reasons for the prediction deviation of the rainstorm area.

**Key words:** Dragon–Boat Precipitation; Mesoscale Convergence Line; Jet Pulsation