

黄远盼,莫丽霞,陈 烨,等.2023年6月22—25日广西持续性暴雨成因及数值预报效果分析[J].气象研究与应用,2024,45(2):134–139.
HUANG Yuanpan, MO Lixia, CHEN Ye, et al. Analysis of the causes and numerical forecasting performance of persistent rainstorm in Guangxi during June 22–25, 2023[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(2): 134–139.

2023年6月22—25日广西持续性暴雨成因及数值预报效果分析

黄远盼,莫丽霞,陈 烨,欧阳家萌

(贺州市气象局, 广西 贺州 542899)

摘要:利用常规气象观测资料、ERA5再分析资料和ECMWF、CMA模式预报产品,分析2023年6月22—25日广西持续性暴雨过程系统演变特征和物理量特征,评估分析数值模式预报效果。结果表明,稳定的大气环流背景为持续性暴雨提供有利的形势条件,高、中、低层中尺度天气系统相互耦合影响,为暴雨天气过程提供有利的动力条件;深厚的水汽条件和充足的大气不稳定能量为暴雨天气的出现提供有利的大气环境条件,西南季风稳定维持并在夜间加强为暴雨区持续补充水汽和不稳定能量,并且西南风急流和环境动力条件配置的变化特征与降水强度特征变化相一致。预报业务中可以综合利用大尺度数值模式的强降雨落区预报和中尺度数值模式的降雨量级预报结果,对暴雨预报进行综合订正。

关键词:持续性暴雨;中尺度系统;急流;数值预报

中图分类号: P456

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.2.22

广西地处华南地区,地形复杂多样,多暴雨天气过程。每年端午节前后,南海季风活跃,广西进入前汛期降雨集中期,易发生持续性暴雨天气过程,降雨范围广,强度大,持续时间长,造成中小河流洪水、山洪、泥石流等次生灾害,受到气象专家学者的关注。刘国忠等^[1]研究表明,持续性暴雨过程是在一定的大气环流背景下,多尺度系统相互作用的结果;丁治英等^[2]通过分析1958—2000年6月持续暴雨过程的特征,认为南亚高压和高空急流的位置与南方地区持续性暴雨由密切关系;胡娅敏等^[3]认为华南地区持续性暴雨落区与大尺度系统的位置分布密切相关;李向红等^[4]研究认为,孟加拉湾强盛的对流能够为广西持续性暴雨预报提供前兆信号;林良勋等^[5]研究表明2008广东年罕见“龙舟水”过程是高低空急流相互作用的结果。许多专家^[6–20]对华南地区出现的大范围持续性暴雨过程进行研

究,取得不同的研究成果。

2023年6月22—25日,广西出现一次持续性暴雨天气过程,导致江河水位上涨明显,出现较严重的洪涝灾害和山洪、泥石流等地质灾害。本次持续性暴雨天气过程中,22日降水强度明显比23—25日的强,强降雨范围更广,呈现出两个不同阶段降雨的特点,同时业务中常用的数值模式产品在本次过程中对暴雨落区和强度的预报表现各有不同。为充分认识造成本次持续性暴雨过程特征变化的原因,分析各家数值预报模式产品对暴雨的预报能力,本文对暴雨过程大气环流系统演变特征,高、中、低层天气系统相互作用及水汽、不稳定能量条件进行综合分析,并评估不同数值模式对本次暴雨过程的预报效果,以揭示广西持续性暴雨强度和落区变化的原因,并为开展数值模式产品订正预报提供分析思路。

收稿日期: 2023-10-29

基金项目: 广西气象科研计划创新平台专项(BNCO-N202303)、2022年贺州市科技局项目(贺科技202210)

第一作者:黄远盼(1985-),高级工程师,从事灾害性天气预报预警服务工作。E-mail:287620097@qq.com

1 资料与方法

研究使用的资料为:2023 年 6 月 21—25 日常规气象观测资料和广西 3 045 个区域自动站逐日雨量观测资料、ERA5 再分析数据集和欧洲中期天气预报中心(ECMWF)和中国气象局(CMA)模式 24 h 预报时效产品。

采用天气学分析和物理量分析诊断方法,对 2023 年 6 月 22—25 日广西持续性暴雨过程高、中、低层天气系统和物理量演变特征进行分析,研究天气系统和大气环境对广西暴雨的影响,采用实况和模式预报对比分析方法,评估 ECMWF 和 CMA 数值模式预报对本次持续性暴雨过程的预报效果。

2 持续性暴雨过程概况

2023 年 6 月 22—25 日,广西出现持续性暴雨天气过程,具有持续时间长,暴雨范围广,累积雨量大、局地降雨强度强等显著特点,21 日 20 时至 25 日 20 时,全区 3 045 个区域自动站平均降雨量 115.9 mm,过程最大累计降雨量出现在贵港市桂平石咀站 380.5 mm,最大日雨量(20—20 时)出现在 6 月 22 日河池市都安拉烈镇 306.9 mm。

本次降雨过程分为两个阶段,其中第一阶段为 6 月 22 日,降雨主要集中在河池市、百色市北部和东部、柳州市中部、桂林市中部,具有降雨具有明显的对流性特征;第二阶段为 6 月 23—25 日,强降雨落区东移南下,强降雨主要位于贺州市、桂林市南部、来宾市、贵港市、梧州市、玉林市北部,以混合性降水为主,降雨强度较 22 日有所减弱。持续暴雨天气导致广西北部、中部和东部地区江河水库水位暴涨,部分地区发生严重洪涝灾害和山洪、泥石流等地质灾害,造成严重经济损失。

3 持续性暴雨过程成因

3.1 大尺度环流形式背景

稳定的大尺度环流背景是持续性暴雨天气过程发生的必要条件^[1]。分析 6 月 21—25 日 500 hPa 平均高度场发现,500 hPa 欧亚大陆中高纬度呈两槽一脊型,东部低槽发展较深,槽后西北气流引导底层冷空气南下影响广西;低纬度地区副热带高压偏东偏北,西北部侧边界靠近广东沿海,有利于水汽和不稳定能量向广西上空输送;高原东部有高空槽维持,广西处于槽前正涡度平流区,有利于强降雨

天气出现。200 hPa 广西处于南亚高压东部脊线附近的喇叭口风场辐散区,有利于形成高层抽吸作用加强垂直上升运动条件,有利于持续性降水的产生;从海平面气压场来看,地面有冷高压分裂南移,冷锋南下影响广西,为广西降水提供有利的触发条件。

3.2 中尺度系统演变特征分析

21 日 20 时,500 hPa 高原东部分裂低槽东移,槽线位于 105°E 附近,广西北部地区处于槽前正涡度平流区,有利于上升运动的发展;700~850 hPa 低层为西南气流,风速 6~8 m·s⁻¹,22 日凌晨西南气流加强至 10~14 m·s⁻¹,低空急流的建立并逐渐加强,有利于水汽和不稳定能量向降雨区输送,并且急流脉动有利于不稳定能量的爆发(图 1);22 日上午 850 切变线南移到广西北部,低层强盛的西南气流与切变线北侧的东北气流辐合,为强降雨天气提供有利的动力抬升条件;22 日凌晨地面冷空气从西北路径南下影响广西,冷空气抬升暖湿气流为暴雨天气提供触发条件,导致第一阶段的降水具有明显的对流性特征。

23 日广西上空高原槽受副高阻挡东移缓慢,23 日 08 时槽线位于 108°E 附近,700~850 hPa 维持西南气流,23 日凌晨西南气流也有明显的加强过程,08 时 850 hPa 西南风速为 8~14 m·s⁻¹,切变线南下至桂中一带,呈东北西南走向,地面弱冷空气继续缓慢南下影响,在广西中部地区形成静止锋,有利于 23~35 日广西东部地区持续性暴雨天气的产生。

24 日有新的高原槽东移影响广西,24 日上午槽线位于 105°E 附近,低槽加深,槽前正涡度平流加强,低层 850 hPa 有低涡在桂中生成,低涡切变线南侧的西南急流加强,广西上空偏南风风速达 10~12 m·s⁻¹,在桂中到桂东一带有较强的风向风速辐合(图 2),配合地面静止锋的扰动,24 日降雨强度加强,范围扩大。25 日高原槽受副高阻挡东移缓慢,25 日 08 时槽线位于 108°E 附近,槽前西南气流加强,低层 700~850 hPa 西南气流在 25 日凌晨加强,850 hPa 切变线在桂中维持,暴雨天气持续。

从 22 日和 24 日低层中尺度系统的对比分析来看,22 日广西上空急流强度比 24 日明显偏强,24 日低空急流轴位置偏东,造成 22 日的水汽和不稳定能量输送条件更好,同时 22 日 850 hPa 锋区辐合强度比 24 日更强,并且 22 日地面为冷锋影响,24 日为地面静止锋影响,导致第一阶段的降水强度比第二阶段偏强。

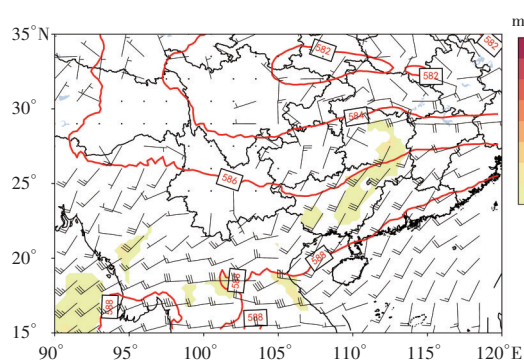


图1 2023年6月22日04时(北京时)500 hPa高度场
(红色等值线,单位:gpm)和850 hPa风场
(填色区为风速 $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 区域)

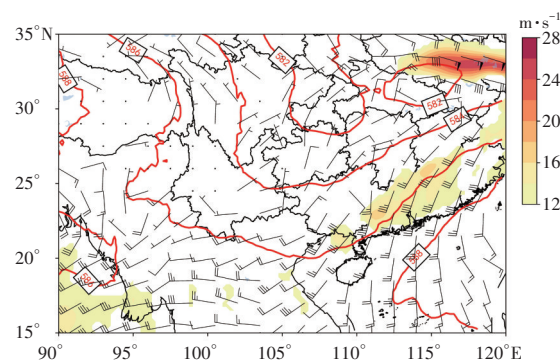


图2 2023年6月24日10时(北京时)500 hPa高度场
(红色等值线,单位:gpm)和850 hPa风场
(填色区为风速 $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 区域)

3.3 环境动力条件分析

对过程最大日雨量的河池市都安站(图3(a))和最大累计降雨量的贵港市桂平站(图3(b))作涡度和垂直速度高度-时间剖面图,分析发现,都安站上空降雨过程600 hPa以下均为正涡度区,负垂直速度中心与强降雨出现的时间相对应;最大正涡度中心出现在22日上午,中心值超过 $80\times 10^{-6}\text{s}^{-1}$,21日晚上至22日上午低层925 hPa至300 hPa维持正涡度,垂直速度场在925~200 hPa维持上升速度,24—25日虽然维持整层负垂直速度区,但是正涡度区主要出现在850—500 hPa,造成都安第二阶段降雨比第一阶段降雨弱。桂平站上空大气正涡度区和负垂直速度区主要出现在23—25日,其中24日夜间开始至25日桂平上空925~300 hPa维持深厚

的正涡度区,24日夜间至25日在500 hPa也出现大于 $80\times 10^{-6}\text{s}^{-1}$ 的正涡度中心,并且整层维持负垂直速度区,这与桂平站强降雨出现的主要时段相对应。综合以上分析可以发现,涡度场及垂直速度场的配置能够反映降水强度特征,正涡度区和负垂直速度区越深厚,正涡度中心值越大,降雨强度越强。

3.4 水汽条件分析

22—25日西南季风稳定维持,将孟加拉湾和南海的水汽、不稳定能量向广西上空输送,同时西南季风夜间加强,有利于广西暴雨区水汽获得不断补充,产生持续性暴雨天气。分析22—25日广西探空气象站观测资料发现,持续性暴雨期间桂北—桂东一带整层温度露点差小于 3°C ,850 hPa露点温度值大于 $17\sim 20^{\circ}\text{C}$,700 hPa露点温度值大于 $8\sim 11^{\circ}\text{C}$,广

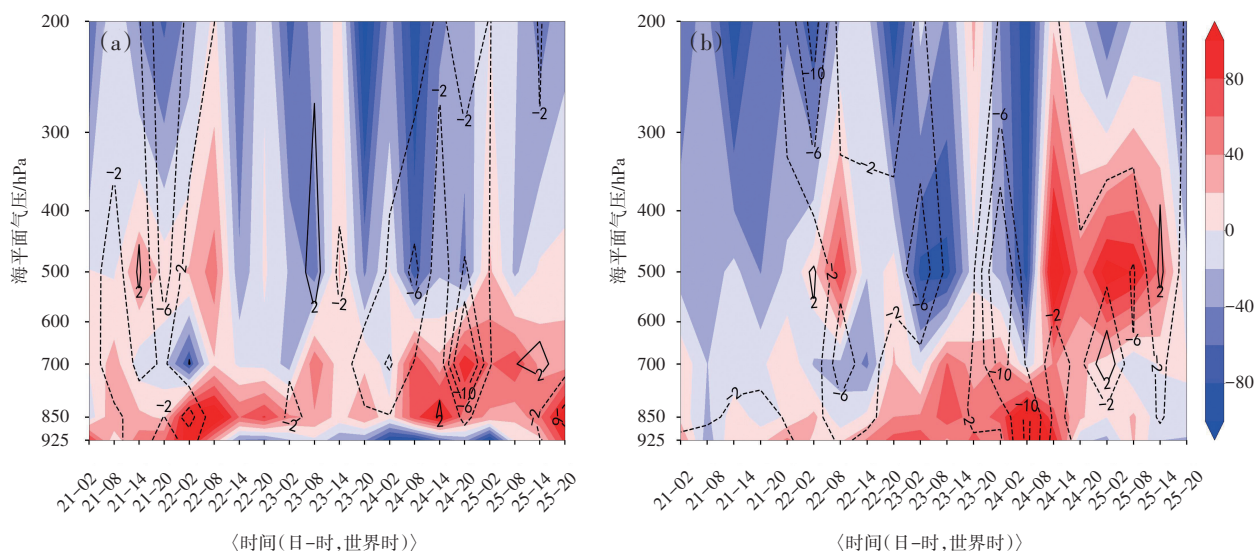


图3 2023年6月21—25日都安站(a)和桂平站(b)涡度(填色,单位: 10^{-6}s^{-1})
及垂直速度(等值线,单位: 10^{-1}s^{-1})时间剖面

西上空大气水汽区域饱和。

从水汽通量散度场上来看,21 日 20 时,925 hPa 广西上空水汽通量散度为负值,桂北有 $-3 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 的负值中心,桂北地区水汽辐合强烈,与 22 日强降雨落区有较好的对应关系。23 日开始,桂东维持水汽通量散度负值区,说明低层水汽辐合条件维持,有利于持续暴雨出现。

3.5 不稳定能量条件分析

选取河池、梧州探空站资料分析两个降雨阶段的大气不稳定能量条件变化。21 日 20 时暴雨发生

前,河池、梧州市上空 $CAPE$ 值均超过 $2200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, K 指数大于 38°C ,其中河池市上空 K 指数达到 41.8°C (表 1),说明 22 日对流性暴雨发生前桂北地区不稳定能量充足,有利于对流性暴雨天气的产生。22 日 20 时开始河池市的 $CAPE$ 值和 K 指数有明显减弱,梧州市上空 $CAPE$ 值和 K 指数有明显波动,其中 $CAPE$ 维持在 $300 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,其中 23 日 20 时 $CAPE$ 值达到 $1052.6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,与 23 日降水减弱,24—25 日暴雨强度和范围再度加强有较好的对应关系。

附表 1 6 月 21—24 日河池、梧州市 $CAPE$ (单位: $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和 K 指数 (单位: $^\circ\text{C}$) 实况

	21 日 20 时		22 日 20 时		23 日 20 时		24 日 20 时	
	$CAPE$	K	$CAPE$	K	$CAPE$	K	$CAPE$	K
河池	2216.5	41.8	267.8	38.4	135.2	37.4	426.8	37.3
梧州	2469	38	322.1	37.2	1052.6	36	410	40

4 数值模式预报效果分析

选取 EC 和 CMA 数值模式预报产品,分析数值模式对本次持续性降雨过程的预报效果。针对 22 日的强降雨,ECMWF-HR 预报在河池市中部、百色市东部,柳州市中部到南部有大雨,局部暴雨,强降雨落区预报效果较好,但是降雨量级明显偏小;CMA-GFS 预报河池市中部到北部,柳州市北部,百色市北部有暴雨到大暴雨,对比实况降雨量级正确,但是落区略有偏北,降雨范围偏小;CMA-MESO 预报桂北到桂中有大雨到暴雨,局地大暴雨,降雨量级预报准确,但是降雨范围比实况偏大;CMA-GD 预报桂东北有暴雨到大暴雨,降雨量级预报准确,但是降雨单位明显偏小。

23 日的强降雨带在数值模式中均能有所反映,其中 ECMWF-HR 对强降雨落区预报效果较好,准确预报对东东北西南走向的一条强降雨带,但是降水量级预报偏弱;CMA-GFS 预报桂东到桂南有中到大雨,与实况有较大偏差;CMA-GD 预报效果最好,对主雨带的位置和强度都能较准确的预报,但强降雨中心位置仍稍有误差,且漏报贺州东南部的大暴雨;CMA-MESO 对贺州的大暴雨区有所反映,但对于桂中的强降雨带预报偏南,对桂西南的降水预报明显偏强。

对 24 日的强降雨,各家数值预报的预报效果总体偏差,其中 ECMWF-HR 模式漏报桂中的暴雨和

大暴雨,空报桂西的暴雨到大暴雨;CMA-GFS 漏报 24 日的强降雨过程;CMA-GD 对桂东的暴雨、大暴雨落区预报效果较好,但是强降雨预报范围偏大,空报桂西到桂南地区的暴雨,CMA-MESO 对 25 日的暴雨预报范围偏小、强度偏弱。

ECMWF-HR 和 CMA-GFS 对 25 日的强降雨落区预报效果较好,但是量级明显偏小;CMA-GD 对 25 日的强降雨预报效果最好,对暴雨以上降水的落区预报较为准确,但在大暴雨落区上存在偏差,漏报贺州中北部的大暴雨而空报恭城和贵港一带的大暴雨;CMA-MESO 对强降雨落区预报效果较好,但对暴雨和大暴雨预报范围偏大。

综合本次持续性降雨过程数值模式预报效果分析发现,大尺度模式 ECMWF-HR 和 CMA-GFS 总体能够反映出强降雨落区位置,特别是 ECMWF-HR 模式对落区预报能力比 CMA-GFS 模式好,但是大尺度模式对降雨量级预报明显偏小;CMA 中尺度模式对本次持续性暴雨预报效果较好,能够较准确的预报出暴雨落区的量级,特别是 CMA-GD 模式对于桂东地区的强降水预报效果更优,在落区预报和总体降水强度预报上均优于其他模式。

5 结论与讨论

(1) 本次持续性暴雨过程是在 $200 \sim 500 \text{ hPa}$ 稳定的环流背景下,广西处于两高之间的低压区,不断的有高空槽东移影响,配合低层切变线南下提供

辐合上升运动条件,850 hPa 西南气流夜间加强产生的急流脉动为持续性暴雨提供充足的水汽和能量,地面锋面南下影响为低层不稳定能量触发提供有利条件。

(2)暴雨区上空湿层深厚,水汽趋于饱和,西南季风稳定维持并加强为持续性暴雨提供充足的水汽,水汽在暴雨区强烈辐合导致暴雨天气的出现;持续性暴雨过程中暴雨区上空不稳定能量充足,其中第一阶段降雨的不稳定能量明显优于第二阶段,导致 22 日降水对流性特征明显。环境动力条件配置能够反映降水强度变化特征,正涡度区和负垂直速度区越深厚,正涡度中心值越大,降雨强度越强。

(3)总体上数值模式对本次持续性降雨过程的预报效果较好,大尺度模式的对降雨落区预报较准确,但是降雨量级明显偏小,中尺度模式强降雨预报量级效果较好,但是暴雨落区范围预报偏大,实际业务中可以综合分析大尺度和中尺度模式预报结果,订正暴雨的强度和落区。

参考文献:

- [1] 刘国忠,赖珍权,钟祥平,等.“15·7”广西超长持续性暴雨过程多尺度特征分析[J].热带气象学报,2017,33(3):357-367.
- [2] 丁治英,常越,朱莉,等.1958-2000年6月连续性暴雨的特征分析[J].热带气象学报,2008,24(2):117-126.
- [3] 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.
- [4] 李向红,庞传伟,梁维亮,等.加拉湾旺盛对流作为广西连续暴雨的前兆信号特征分析[J].气象,2015,41(11):1383-1389.
- [5] 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.
- [6] 尹洁,何拥凤,陈云辉,等.2013年6月江西一次持续性暴雨过程分析[J].暴雨灾害,2013,32(4):314-323.
- [7] 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.
- [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):345-351.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 何慧,朱秋宇,欧艺.广西一次持续性暴雨过程的延伸期预报及模式应用检验[J].气象研究与应用,2019,40(4):1-5.
- [12] 何草青,陆炳记,郭洪权,等.广西一次全区性暴雨过程成因分析[J].气象研究与应用,2013,34(增刊1):48-49,54.
- [13] 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.
- [14] 覃卫坚,李耀先,覃志年.广西暴雨的区域性和连续性研究[J].气象研究与应用,2013,33(4):1-4.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 王娟怀,杨守懋,韦智嘉,等.全球气候变暖背景下广东“龙舟水”的变化特征[J].广东气象,2018,40(1):4-8.
- [18] 王婷,胡娅敏,潘蔚娟.2008年广东“史上最强龙舟水”的气候成因[J].广东气象,2008,30(4):5-7.
- [19] 郭永婷,王文星,郑勇,等.2012年韶关典型“龙舟水”成因[J].广东气象,2013,35(6):11-16.
- [20] 庞古乾,伍志方,湛志刚,等.两次“龙舟水”降水过程中不同类型的天气雷达特征分析[J].广东气象,2014,36(6):1-5.

Analysis of the causes and numerical forecasting performance of persistent rainstorm in Guangxi during June 22—25, 2023

HUANG Yuanpan, MO Lixia, CHEN Ye, OUYANG Jiameng
(Hezhou Meteorological Bureau, Guangxi Hezhou 542899, China)

Abstract: Based on the conventional meteorological observations, ERA5 reanalysis data, ECMWF and CMA model forecast products, the characteristics of the evolutions and physical quantities of the persistent rainstorm process in Guangxi during June 22—25, 2023 are analyzed, and the prediction performance of the numerical models is assessed and analyzed. The results show that the stable atmospheric circulation background provides favorable conditions for the persistent rainstorm and the coupling effects of the upper-middle-and lower-level mesoscale weather systems provide favorable dynamical conditions for the rainstorm process. The profound water vapor conditions and sufficient atmospheric unstable energy provide favorable atmospheric conditions for the occurrence of the rainstorm, and the southwesterly monsoon is stably maintained and strengthened at night to continuously replenish the water vapor and unstable energy for the rainstorm area. Besides, the changing characteristics of the configuration of the southwesterly jets and the environmental dynamic conditions are consistent with the variations of the precipitation intensity features. Therefore, the operational forecasting service can comprehensively utilize the prediction of heavy rainfall fallout areas from large-scale numerical models and of rainfall magnitude from mesoscale numerical models to make comprehensive revisions to the rainstorm forecasts.

Key words: persistent rainstorm; mesoscale systems; jet streams; numerical forecasting