

黄卓帆,梁岱云,李紫甜,等. 2020年南宁“5.11”暴雨成因初探及可预报性分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(3):56–61.

Huang Zhuofan,Liang Daiyun,Li Zitian,et al. Study on the mechanisms and predictability of the rainstorm in Nanning on May 11,2020[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2022,43(3):56–61.

2020年南宁“5·11”暴雨成因初探及可预报性分析

黄卓帆, 梁岱云*, 李紫甜, 周 琰, 冯艺昕

(南宁市气象局, 南宁 530029)

摘要:通过对2020年5月11日南宁市南部暴雨成因进行探究,结果表明,此次暴雨发生在副高边缘短波槽东移和低层切变线缓慢南移背景下,近海的水汽输送及本地充沛的水汽含量保证暴雨所需的水汽供应,南宁东南部午后位于锋前暖区中,对流容易在高能区被激发,形成准静止的中 β 尺度多单体线状强风暴;西部夜间受冷锋加强南移影响,暴雨云团与能量锋区的位置更接近。各家数值模式中ECMWF最优,预报降雨强度准确但落区偏北,是由于其对低层和地面辐合系统预报偏差以及不稳定能量的低估所致,类似条件下预报员应加强多源天气实时资料分析,将落区适当向南订正。

关键词:暴雨;复盘;可预报性

中图分类号: P458.121.1

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.10

引言

暴雨作为天气预报的研究重点,国内已经有许多学者从影响区域^[1-2]、特征类型^[3-9]、大尺度环流背景^[10]和中小尺度触发机制^[11-12]等各个角度探究暴雨过程的特征及其可预报性。孔期等^[13]对不同性质的华南暴雨成因进行研究;王强等^[14]对地面暖倒槽锋生型暴雨预报失误进行分析,指出数值预报对中低层系统预报偏差导致暴雨落区预报偏差。影响广西的暴雨天气也有学者进行细致的分析和研究^[15-16],赖锡柳等^[17]对柳州盛夏一次大暴雨过程进行分析,指出由高低层系统相配合以及地面冷锋触发导致大暴雨的产生。南宁市位于广西中南部,暴雨容易引发南宁城市内涝及山洪、山体滑坡等灾害,对暴雨个例进行复盘分析,有助于提升南宁气象预报服务精准度,满足城市智能化建设的需求。

2020年5月11日下午至夜间,南宁市南部出现暴雨到大暴雨天气。大暴雨出现在青秀区、江南区、邕宁区和横州市,最大降雨为青秀区仙葫长福路

口140.1mm,最大小时雨量达86.5mm(邕宁区新江镇)。主要降雨时段在4h内,雨带前期在南宁东南部停滞,后期自北向南发展,具有移动性。强降雨造成南宁城区内涝较为严重,城区内共出现37个内涝点,最大积水深度50cm,最大积水面积约0.3hm²。较严重的内涝点位于青环路恒大苹果园、明秀西路铁路桥下等地。各家指导产品对此次暴雨落区和强度的预报均存在明显偏差。本文对此次暴雨过程进行复盘总结,初步探究其成因及分析其可预报性,以期今后暴雨预报预警工作提供参考。

1 资料与方法

所用资料为常规和区域自动站气象观测资料、美国环境预报中心(NCEP)1°×1°再分析资料、风云4A卫星10.8 μ m通道云顶亮温(TBB)产品资料、南宁天气雷达探测资料、南宁风廓线雷达风场资料,以及欧洲中期天气预报中心(ECMWF)、中国气象局全球同化预报系统(CMA-GFS)、中国气象局中尺度数值天气预报模式(CMA-MESO)、中国气象局上海数

收稿日期:2022-06-27

基金项目:广西气象科研计划项目(桂气科2022M13)

作者简介:黄卓帆(1989—),女,理学学士,工程师,主要从事中短期天气预报及研究。E-mail:zhuofanbanban@163.com

*通讯作者:梁岱云(1972—),女,高级工程师,主要从事灾害性天气预报及研究。E-mail:1037314711@qq.com

值预报模式系统(CMA-SH9)、中国气象局广东快速更新同化数值预报系统(CMA-GD)预报资料。

2 结果与分析

2.1 环流形势背景

高层南亚高压环流中心西移到中南半岛 15°N 附近, 较常年有所偏南。其北侧副热带西风急流强盛, 整个广西恰好处于南亚高压东部脊的分流区和高空急流入口区右侧的双重高层辐散区中, 高层质量的流出有利于低层减压, 使系统辐合加强。500hPa 东亚中高纬呈“一槽一脊”形势, 环流径向度大, 低槽在华北加深并向南伸展至 25°N , 槽后强劲的西北风引导北方冷空气南下影响广西。副高呈东西带状自南海北部伸展至孟加拉湾, 南宁位于其北部边缘 588 位势什米特征线上。南支系统活跃, 不断有短波槽沿着副高北侧东移, 低纬海上的暖湿空气随着槽前和副高西北侧的西南气流被输送到广西上空, 在此与北方的干冷空气交绥。随着高空槽的东移, 低层偏北风加大推动贵州南部的冷式切变线逐步南压, 11 日午后自北向南影响南宁。由于副高的阻挡作用及低层显著西南气流维持, 切变线影响南宁南部时速度减慢, 西段转为东北风与西南风的对峙, 维持摆动 6h 左右后才继续南下, 影响时间较长。南宁上空中低层系统具有前倾结构, 有利于加强降雨的强度。

2.2 地面触发分析

11 日蒙古冷高压分裂南下, 冷空气沿高原东侧快速补充南下到达贵州。由于前一股南下的冷空气变性减弱之后, 仍在广西东北部至广东北部留有残

余势力, 致使后一股补充南下的冷空气从东北部进入广西后移动速度很快, 上午已到达柳州南部。而广西西部和南部则受到中心位于越南北部的暖低压影响, 在中下午气温快速升高至 32°C 以上, 暖空气势力大大增强, 对南下冷锋有一定阻挡作用, 同时也有利于不稳定能量的积聚。14 时锋区南压到广西东南部, 锋前暖区的不稳定能量被触发释放而加速暖湿气团向上抬升, 形成对流风暴并沿着地面辐合线发展。随着冷空气的不断补充, 暖低压被迫向西南方向退去, 虽然中心强度维持甚至有所增强, 但势力范围明显减小, 广西西北部的锋区强度由于得到冷平流的补充而增强, 冷暖空气在此强烈交汇, 触发对流从广西西部一路南下, 自西北向东南影响南宁城区。

2.3 不稳定及水汽条件

2.3.1 不稳定条件

对流有效位能作为降雨强度的关键影响因子, 对暴雨的产生有重要作用。11 日 08 时上游南海及北部湾的气团较为不稳定, 至 14 时有一条东北-西南向的高能舌从越南伸向广西(图 1a), 海上的不稳定能量的大值带向北移动, 位于广西东南部。2400J·kg⁻¹ 以上的区域在南宁出现断裂, 分成广西东南部、越南至广西西南部两个强中心。随着辐合线触发对流发展, 锋前暖区的对流有效位能得以释放, 东部的不稳定能量高值中心消失, 夜间西部中心随暖低压南退收缩(图 1b), 强度依旧很强, 此时南宁位于高能舌顶端, 处于不稳定能量锋区中, 有利于激发中小尺度对流系统组织发展。

2.3.2 水汽的输送与辐合

虽然此次暴雨发生时南海季风尚未爆发, 但低

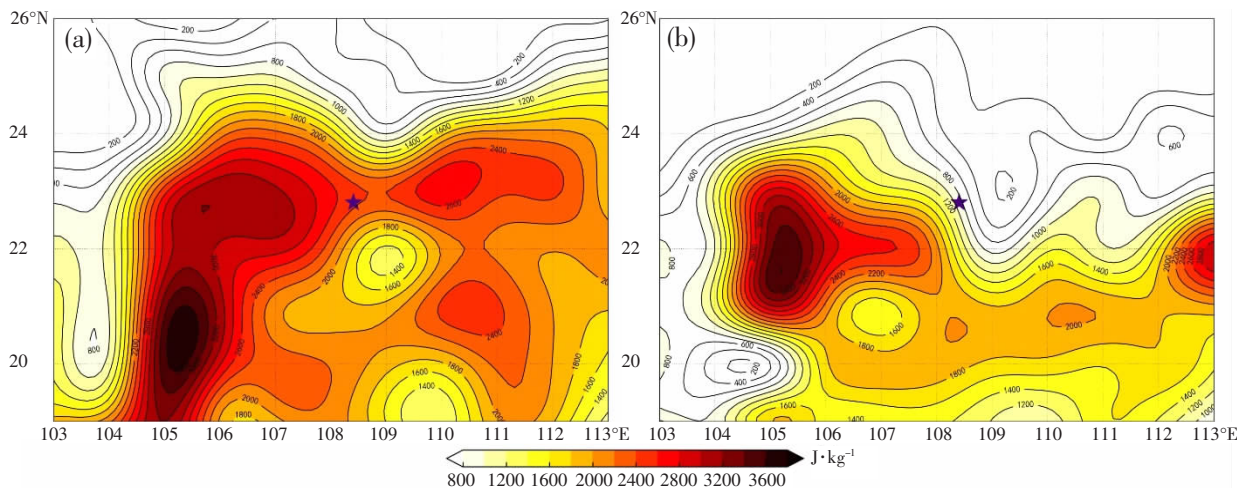


图 1 2020 年 5 月 11 日对流有效位能场(星星标记为南宁城区)

(a)11 日 14 时;(b)11 日 20 时

层仍有明显的水汽输送和辐合,保证产生暴雨所需要的水汽供应。来自北部湾和南海北部的水汽向内陆输送,但输送带的北界仅到达广西南部。降雨开始前南宁的整层可降水量快速增长达到 $64\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。边界层水汽辐合区与强降雨位置关系密切,11日14时广西有两个强度相当的水汽通量辐合中心,一个位于锋前暖区的玉林至南宁东南部,另一个为锋面附近的百色至云南东部,可能和冷空气从不同路径进入广西有关。至夜间变为一条西北-东南向的水汽通量辐合带位于广西西南部,强度增强,与地面锋面和低层切变线位置有较好的对应关系。

2.4 卫星云图及雷达回波演变

此次过程主要为准静止的中 β 尺度暴雨云团与东移南下天气尺度中尺度对流系统(MCS)先后影响。

11日下午广西东南部锋前暖区中有中 α 尺度对流系统A发展,其后部边界逐渐向西北突起并伴有很大的TBB梯度,在这个方向上,南宁东南部地面辐合线处有多个小对流单体新生,发展迅速,对应云团TBB在10min内能下降 20°C 以上,17时前后快速组织成为中 β 尺度的暴雨云团B(图2a),其呈椭圆状,TBB低至 -92°C 以上,发展高度高,垂直运动旺盛,形成强风暴。这些强盛的对流风暴沿着山前地形合并加强为一条镶嵌有超级单体的多单体风暴带,位于暴雨云团B的南部。强风暴带尾端的超级单体,恰位于南宁东部城区,其在缓慢东移过程中开始分裂,到邕宁附近时分裂为左右两个超级单体,随后左移单体在影响横州北部过程中逐渐减弱,而右

移的超级单体有所增强,质心高度在 0°C 层附近,强盛状态维持1h。在TBB中表现为 -92°C 的低值中心先成环状分布在暴雨云团B的中心四周,后随着云团范围的扩大,其范围缩小并在云团B的南、北两侧不断交替(图2b—c)。由于强风暴单体呈东西线状排列,新生单体总位于风暴带尾端,而单体移速较慢,仅为 $2\sim 5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,导致整条线状对流风暴在南宁东南部呈准静止状态达2h,带来单点100mm的强降雨,5min雨强可达18.4mm。暴雨云团B发生的位置与14时对流有效位能(CAPE)在广西东南部的大值中心有较好的对应关系,可见锋前暖区中对流的触发位置与气团的不稳定能量关系密切。

MCS-A发展强盛的同时,在切变线及锋面作用下,南宁西北方向上有东北-西南向带状的中 α 尺度对流系统C形成。因其北部有暴雨云团发展,造成整个对流系统强中心较为分散,南压缓慢。当MCS-C移动靠近南宁时(图2d),TBB低值区位于MCS-C西南部,在暴雨云团B和MCS-C之间,对流风暴单体率先在南宁西部、北部城区被激发,形成小尺度云团,增长后并入南下的MCS-C中,使得MCS-C的云型发生变化,呈近椭圆形,东南边界向前突起,强度最强处位于突起尖点,TBB达到 -92°C 以上,对流旺盛,在锋面雨带强中心的前侧形成一条平行锋面方向的强回波带,强度在50dBZ以上,与能量锋区的位置较为接近。随后TBB的低值中心在系统东移前进方向上往复出现,类似于“前向传播”(图2e—f),有利于形成的混合型降雨回波维持其前

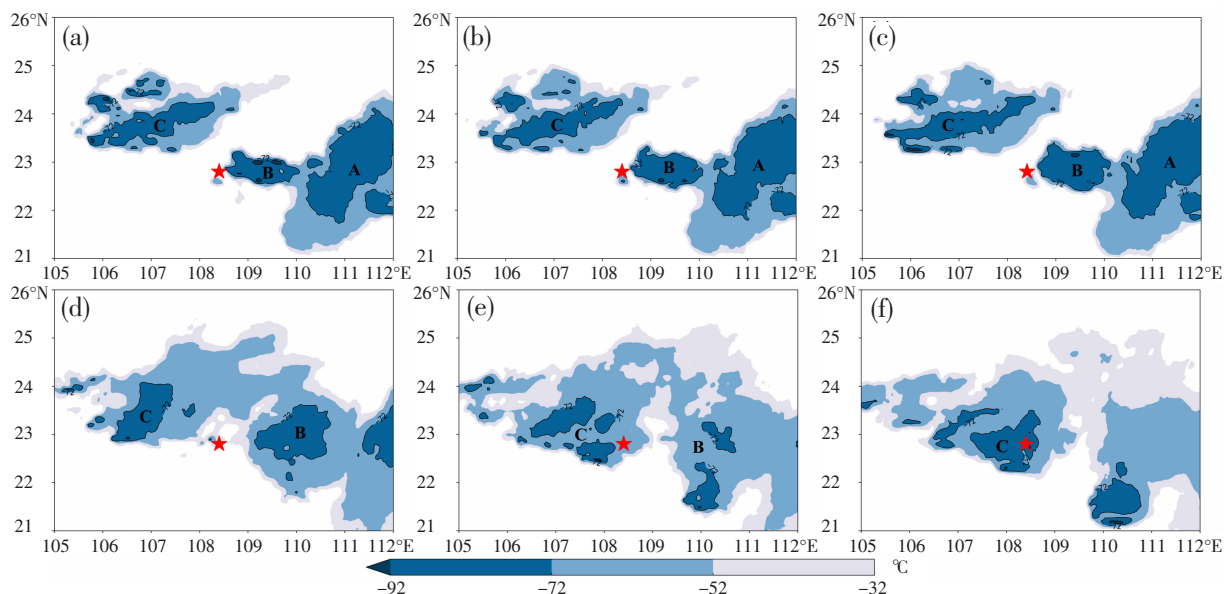


图2 2020年5月11日风云4A卫星 $10.8\mu\text{m}$ 通道TBB(星星标记为南宁城区)

(a)17:30;(b)17:38;(c)17:49;(d)19:38;(e)20:30;(f)21:15

后两条近乎平行的带状强中心。MCS-C 达到强盛后逐渐减弱, -72°C 的冷云区从云团边缘 TBB 大值区处向中心转移, 范围快速缩小。由雨强最大的新江镇上空回波的剖面显示, 回波质心高度位于 2km 以下, 表明 MCS-C 对应的对流风暴具有暖云特征, 降水效率高, 给南宁城区带来此次过程最强降雨。

2.5 可预报性分析

2.5.1 数值模式可预报性分析

根据各家数值模式提前 12~48h 的 12h 雨量预报产品进行多时效比较, ECMWF 和 CMA_GFS 预报降雨量级在大雨及其以上, 对暴雨过程有较好的预报能力。虽然 CMA-GFS 对强降雨带位置和范围的预报稍好, 但暴雨以上量级降雨漏报, 降雨强度明显偏小。而中尺度模式预报偏差大, 其中表现最好的 CMA-SH9 量级偏小, 落区分散, 可参考性较低。此次暴雨天气 ECMWF 表现最优, 其预报暴雨的强度和范围与实况较为接近, 但是暴雨落区偏北。尤其是在临近时效, 其预报出大暴雨量级降雨, 与预报员以往认知的 EC 模式雨量预报量级偏弱、落区可信度较大有明显不同, 这也许与近两年 EC 模式方案调整有关, 需对更多个例进行总结分析。而对逐 3h 雨量预报对比发现 CMA-GD 表现较好, 其雨带的大体趋势和节奏与实况较为接近, 但落区过于偏南且范围偏小。

分析 ECMWF 落区预报偏差的可能原因, 其预报副高位置偏西偏北, 使南支短波槽东移过程中北收, 低槽强度预报偏弱, 影响偏北。从而导致低层切变南下时位置偏北, 其北侧以偏东风为主, 北风分量偏小, 而南侧中南半岛西南风也预报偏弱 $2\sim 6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 导致低层辐合强度预报偏弱。地面暖低压强度预报偏弱, 冷空气从广西西北部快速南下, 导致地面能量积聚不足。因此模式对 CAPE 预报也与实况有明显偏差, 一是对广西东南部高能区的漏报, 二是越南到广西西南部的高能舌位置预报偏西, 不稳定能量锋区偏南, ECMWF 对不稳定能量的低估是导致其对锋前暖区对流预报能力不足的重要原因。以上因素共同作用导致 ECMWF 预报暴雨区在切变线附近, 主要位于南宁北部。

2.5.2 实时资料可预报性分析

当日 08 时南宁探空显示水汽和能量条件一般, 但从风廓线雷达资料分析, 13 时后南宁上空低层南风气流加强为 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, 显著偏南气流高度降低至 1.2km, 水汽开始转好。11 日 14 时冷空气前沿

位于广西北部的桂林-来宾-河池西部, 自动站观测显示强降雨主要位于其东段锋面上。在锋前约 100km 处, 钦州-玉林已由北风转为一致的南风, 表明广西南部近地面水汽条件改善。1h 后广西东部的 1h 正变压区向东南移动 30km, 伴有 2°C 内降温, 而广西西部的正变压区停留在河池, 表明冷空气南下减弱, 西段冷空气受阻挡停滞, 而东段冷空气向南快速渗透。15 时东段冷锋尚未越过大明山, 南宁南部气温升至 33°C 且地面露点温度为 25°C , 空气高温高湿不稳定。在南宁东侧, 东北风与西南风形成的辐合区位于锋前暖区, 随着地面的西南风风速加强达到 $8\sim 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 显著南风气流中产生强降雨伴有弱的正变压和强度达 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ 的负变温, 与南宁东南边界形成强的中尺度锋区, 此时南宁仍有 -1.5hPa 的 1h 负变压中心, 为预报员向南调整强降雨落区提供可靠依据。17 时南宁风廓线雷达探测高度迅速升高, 表明水汽条件增强, 3km 高度处转为 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西北风, 中层有干冷空气侵入, 而近地面为东南风, 南宁上空的大气不稳定性加剧, 为预报员提前发布暴雨的短时预报预警提供支撑。

3 结论与讨论

(1) 此次暴雨天气具有有利的环流形势, 高空槽后西北气流引导冷空气南下影响华南, 南支短波槽不断沿着副高北侧东移, 引导低纬暖湿空气北上, 与北方干冷空气交汇于南宁上空。低层切变线影响南宁时移动缓慢, 两侧的气流转为东北风与西南风的对峙, 影响时间较长。强降雨的移动分布与不同的触发机制有关, 南下冷锋上午开始进入广西东北部后移动迅速, 午后在锋前暖区触发对流, 影响南宁东南部地区; 广西西北部的冷锋强度随着冷平流补充在夜间加强, 并有南下的切变线配合, 触发对流从西北向东南影响南宁城区。

(2) 近海的水汽输送及本地充沛的水汽含量保证暴雨所需的水汽供应。南宁东南部午后为高温高湿的不稳定气团, 对流容易在对流有效位能的高能区被激发; 而随着切变南压及广西西部锋区加强, 南宁西部处于能量锋区中, 热力不稳定性进一步加大, 低层水汽辐合区往往与能量锋区的位置更为接近。

(3) 此次过程为准静止的中 β 尺度暴雨云团与东移南下次天气尺度 MCS 先后影响。南宁先受镶嵌有超级单体的线状多单体风暴带影响, 其位于暴雨云团的南部, 呈准静止状态维持时间较长; 后期

MCS 对应的混合型降雨回波带范围较宽,具有前后两条近乎平行的带状强中心,对流风暴回波强度高,质心低,具有暖云特征,降水效率高。

(4)各家数值模式中 ECMWF 表现最优,降雨强度预报较好但暴雨落区预报偏北,主要是由于其对低层和地面辐合系统位置预报偏差导致,同时对不稳定能量的低估导致其对锋前暖区对流降雨预报能力不足,类似条件下需要将强降雨落区向南订正。由于数值模式对暴雨预报还存在不足,应加强多源天气实时资料分析应用,根据预报经验适当调整降雨落区和强度,加强服务频次,以弥补短期预报的不足。

参考文献:

- [1] 陈鹏,刘德,李强,等.2009 年夏季四川盆地两次暴雨过程对比分析[J].暴雨灾害,2014,33(2):112-120.
- [2] 李帮英,廖领,廖育玲.黔东南两次冷锋低槽型降水对比分析[J].中低纬山地气象,2018,42(5):25-31.
- [3] 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.
- [4] 闵涛,吴筱.四川盆地西部一次暖区暴雨成因分析[J].高原山地气象研究,2022,42(S1):49-53.
- [5] 肖红茹,王佳津,肖递祥,等.四川盆地暖区暴雨特征分析[J].气象,2021,47(3):303-316.
- [6] 杨志军,向钢,唐佐阳,等.湖南一次持续性极端暴雨过程成因分析[J].气象研究与应用,2018,39(3):17-20,47,130.
- [7] 李晓容,高青云,付世军.四川盆地东北部三次持续性暴雨过程水汽输送特征分析[J].暴雨灾害,2020,39(3):234-240.
- [8] 肖递祥,杨康权,俞小鼎,等.四川盆地极端暴雨过程基本特征分析[J].气象,2017,43(10):1165-1175.
- [9] 王佳津,肖递祥,王春学.四川盆地极端暴雨水汽输送特征分析[J].自然资源学报,2017,32(10):1768-1783.
- [10] 刘蕾,孙颖,张蓬勃.大尺度环流的年代际变化对初夏华南持续性暴雨的影响[J].气象学报,2014,72(4):690-702.
- [11] 田付友,郑永光,张小玲,等.2017 年 5 月 7 日广州极端强降水对流系统结构、触发和维持机制[J].气象,2018,44(4):469-484.
- [12] 傅佩玲,胡东明,张羽,等.2017 年 5 月 7 日广州特大暴雨微物理特征及其触发维持机制分析[J].气象,2018,44(4):500-510.
- [13] 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.
- [14] 王强,崔健榕,王起唤,等.怀化一次非典型性地面暖倒槽锋生型暴雨预报失误分析[J].陕西气象,2022(2):24-32.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 赖锡柳,刘蕾,李亚琴,等.2019 年柳州盛夏一次大暴雨灾害过程成因分析[J].农业灾害研究,2020,10(4):114-117.

Study on the mechanisms and predictability of the rainstorm in Nanning on May 11, 2020

Huang Zhuofan, Liang Daiyun*, Li Zitian, Zhou Yan, Feng Yixin
(Nanning Meteorological Bureau, Nanning 530029, China)

Abstract: This paper explores the reasons for the formation of the rainstorm in southern Nanning on May 11, 2020. The results indicate that this rainstorm occurred in the background of the eastward movement of the short-wave trough at the edge of the subtropical high and the slowly southward moving low-level shear line. The transport of water vapor from the offshore and the abundant local water vapor content ensured the water vapor supply required by the rainstorm. The southeastern Nanning was located in the warm zone before the front in the afternoon, and the convection was easily excited at the high-energy area, forming a quasi-stationary meso- β multi-cell linear strong storm. Affecting by the enhanced cold front, the storms were closer to the energy front in the western Nanning during the night. Among the numerical models, ECMWF performed best, which forecasted rainfall intensity accurately but had northward errors in the forecast location of rainstorm, mainly due to the forecast deviation of the low-level, ground convergence system and the CAPE. Therefore, under similar conditions, forecasters should enhance the analysis of weather data from multiple sources, and correct the rainstorm area to the south appropriately.

Key words: rainstorm; review; predictability