

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.
Zhou Yunxia, Zhailiping, He Shanshan. Causes and predictability of extreme rainstorm in Jingxi City on May 27, 2019 [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(2): 68–74.

2019 年“5.27”广西靖西市极端暴雨成因及可预报性分析

周云霞, 翟丽萍, 何珊珊

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 利用常规气象资料及多普勒天气雷达、卫星、中尺度自动气象站等资料, 采用天气学诊断分析方法, 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。结果表明, (1) 极端暴雨是在有利的大气环流形势下, 高空槽与地面冷空气共同作用下产生, 极端暴雨出现在 850hPa 切变线南侧低层西南急流与东南风辐合区中; (2) 对流主要在 850hPa 切变线、地面辐合线及迎风坡与偏南风的辐合上升区中触发, 冷池流出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, 低质心暖云降水回波形成的列车效应是极端强降水产生的直接原因; (3) EC-HR 模式与 SHANGHAI_HR 区域模式均没有预报出低层东南风影响, 可能是模式雨量预报偏弱的主要原因。

关键词: 极端暴雨; 中尺度对流系统; 列车效应; 可预报性

中图分类号: P458.1+21.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.2.14

OSID:



引言

极端暴雨是我国主要的气象灾害之一。近年来, 针对极端暴雨发生机制的研究成为暴雨研究热点, 如对北京“7·21”极端暴雨事件, 预报业务专家从极端暴雨过程的环流形势极端性、中尺度对流条件、地形增幅作用和中尺度环境条件、降水效率、水汽、上升运动等, 探讨了该次极端降水的成因^[1-6]。肖递祥等^[7]对四川盆地极端暴雨的基本气候特征进行了分析, 张萍萍等^[8]对湖北梅汛期一次极端强降雨的气象因子异常特征进行了分析, 杨志军等^[9]对湖南一次持续性暴雨过程中西南急流对极端暴雨的作用进行了分析。目前对广西暴雨产生的天气学原因分析较多^[10-14], 而对极端暴雨研究较少, 尤其对产生极端暴雨的中尺度对流系统发生、发展和演变规律缺乏足够认识, 造成极端暴雨的预报能力仍然较低。2019 年 5 月 27 日, 广西靖西市出现一次极端暴雨过程。为深入了解此次极端暴雨发生机制, 利用多源观测

资料、ECMWF 确定性数值模式和华东中尺度区域数值模式等资料, 采用天气学诊断分析方法, 对过程的大尺度环境场、中尺度对流系统的生成和发展以及降水预报偏差原因进行深入分析, 为今后类似过程的预报预警提供技术参考。

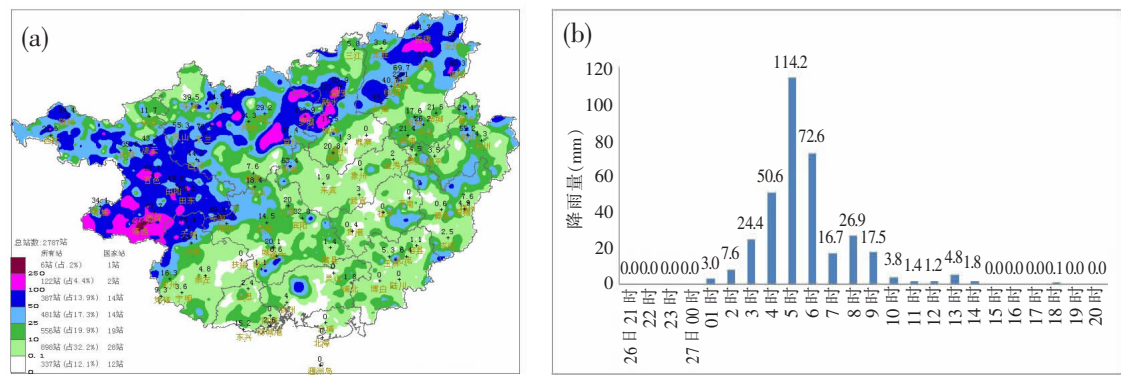
1 “5.27”靖西极端暴雨特征分析

2019 年 5 月 27 日, 广西北部、西部出现了一次大范围暴雨、局部特大暴雨的强降水天气过程 (图 1a), 其中最大雨量为靖西市气象站旧址 348.7mm, 打破了该站建站以来的历史记录, 出现了极端暴雨天气。短时强降水主要出现时段为 26 日 22 时–27 日 09 时, 1h 雨量大于 50mm 的有 153 站次, 其中有 2 站次大于 100mm, 最大为靖西市气象站旧址 27 日 04–05 时 114.2mm (图 1b)。此次暴雨过程特大暴雨范围小、雨强大, 降水时段集中, 具有典型的中尺度对流性降水特征, 无论从过程雨量还是小时雨强分析, 均为桂西历史少见的极端降水天气过程。

收稿日期: 2020-04-15

基金项目: 广西气象科研计划重点项目 (桂气科 2017Z02)、广西自然科学基金项目 (2018GXNSFBA281178)

作者简介: 周云霞 (1973–), 女, 广西南宁人, 高级工程师, 主要从事天气预报研究。E-mail: Zhouyunxiachongzuo@163.com



注:标值的为90个国家气象观测站,2019-05-27 21:15统计成图

图1 5月27日20时前24h雨量实况图(a)和靖西市气象站(旧址)逐时降水量(b)

2 大尺度环流背景和环境条件

2.1 大尺度环流背景

极端暴雨发生前,5月26日20:00的500hPa欧亚中高纬为两槽一脊的形势(图2a),槽区位于乌拉尔山及贝加尔湖以东,脊区在两者之间。华北槽底部南伸至桂北,伴有冷温槽,26日夜间东移,引导冷空气和低层切变线影响广西。西太副高位于南海,西脊点位于海南岛东部,同时阿拉伯海副高加强,并向东伸展,东脊点位于孟加拉湾中部,两环副高的脊线均位于18°N左右,两环副高的对峙在中南半岛形成的低压槽使得南海及孟加拉湾的水汽和能量向广西上空输入,也有利于高空槽在广西西部长时间的

维持,为极端暴雨的发生提供了中层动力条件。26日20:00的850hPa云南与广西交界处有西南风与东南风的辐合,风速分别为 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图2b),加密探空显示27日02:00西南风加强到 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,有利水汽向滇桂交界处输送,同时切变线及风向辐合线有利对流触发,此时在桂西形成了 $12\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽辐合中心,极端暴雨出现在切变线南侧的西南风与东南风辐合气流中。地面在云南中部暖低压发展,26日17:00百色市气温达到 35°C ,为极端暴雨的发生储存了不稳定能量,夜间高原南下的弱冷空气进入暖低压倒槽时,促使不稳定能量释放导致极端暴雨产生。

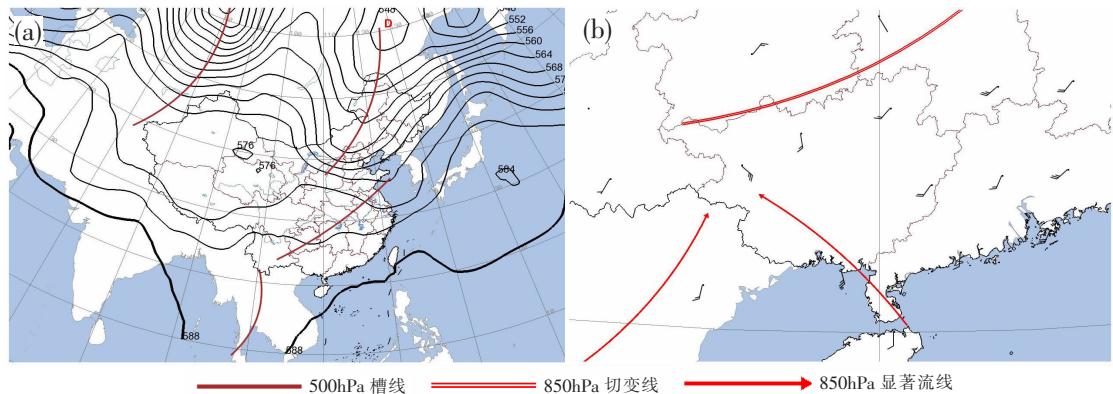


图2 5月26日20:00的500hPa位势高度场(a)和850hPa风场(b)

2.2 环境条件

极端暴雨发生前大气环境特征分析表明,桂西处于高温高湿高能区中。受地面西南暖低压影响,26日17:00百色市地面气温达 35°C ,26日20:00桂西对流有效位能(CAPE)为 $1800\sim 3300\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,比湿 $17\sim 18\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,大气可降水量 $45\sim 60\text{mm}$,27日00:00桂

西的地面总温度大于 68°C 。选取26日20:00靖西市附近的百色探空(图3)以及强降水云团的触发区附近的河内、南宁探空进行分析。强降水发生前各站的CAPE值均大于等于 $1750\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,而对流抑制能量(CIN)河内为 $153\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,其余为 $0\sim 6\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。抬升凝结高度在强降水云团的触发区附近均为距地面1000m

以下,中低层为东南风转西南风,湿层较厚都达到700hPa及以上,说明低层有比较深厚的暖平流输送,暖云层厚达3800~4800m,0~6km及0~3km的风速差均小于 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,垂直风切小,有利于高效率的降水,在这些有利的环境条件下弱扰动即能触发强降雨产生^[15]。

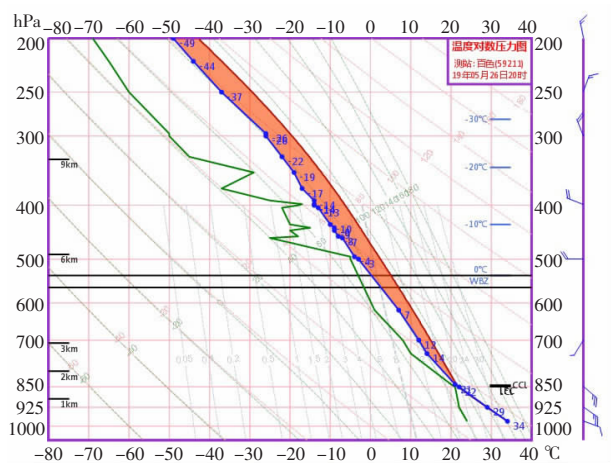


图3 5月26日20:00百色探空图

3 中尺度对流系统的生成和发展

3.1 对流云团的触发及演变

卫星红外云图与中尺度分析图显示,26日14:00(图4a),桂西位于700hPa高空槽、850hPa切变线、

地面辐合线及干线共同影响的区域,对流开始触发并在原地发展生消。26日20:00(图4b),孟加拉湾至中南半岛一带西南风加强,季风云团趋于活跃,850hPa桂西处于东北、西南、东南三支气流的汇合区,动力、水汽及不稳定能量条件充足,对流云团迅速发展。27日凌晨(图4c)西南急流加强,季风云团不断北上汇入桂西的对流云团中,使得对流云团长时间在桂西上空维持导致极端暴雨发生。27日08:00(图4d)之后对流减弱南压并缓慢东移,降水趋于减弱。

3.2 近地面中尺度辐合系统和中小尺度对流系统的发展、维持

暴雨是在有利的天气尺度背景下由中尺度系统产生的。在有利的环境条件下,地面中尺度辐合线可触发形成对流系统,并对对流系统具有加强和组织的作用^[16]。

雷达组合反射率与地面流场图分析显示:26日20:00(图5a),百色为一个气旋性辐合中心,向东北和向南各有一辐合线延伸,分散的对流单体逐渐在辐合线周围形成东北西南向的回波带,最强反射率达55dBz;26日22:00,靖西附近发展成一个气旋性辐合中心;26日23:00(图5b),靖西东面由东南风在山前抬升触发的对流随东南风向西北移动,而西南风在靖西西侧山前触发的对流向东北方向移动,与

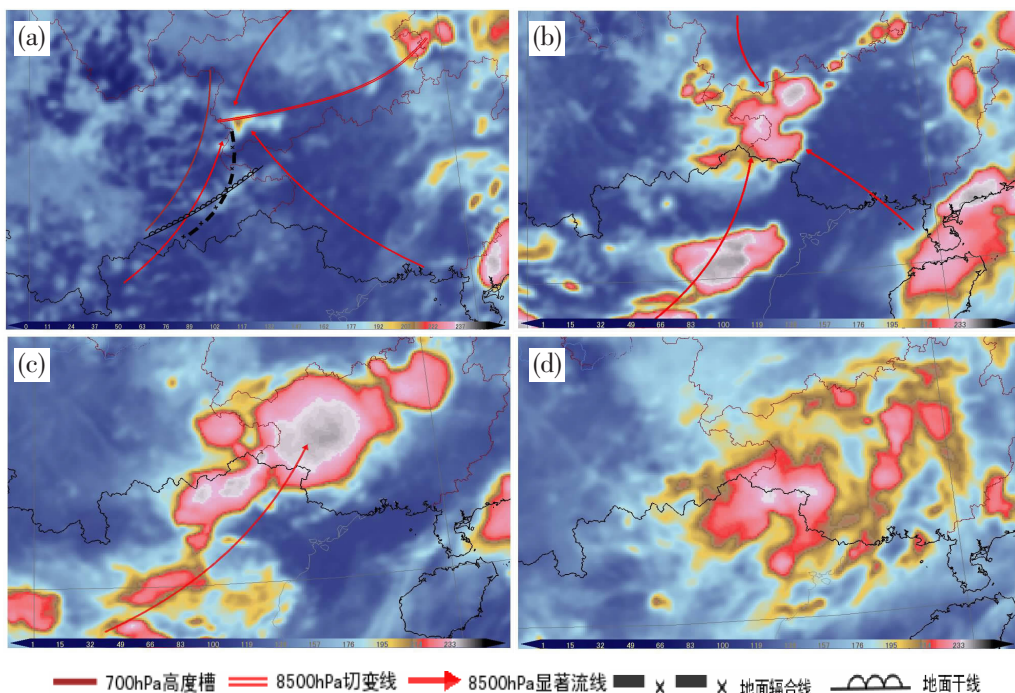


图4 卫星云图与中尺度分析叠加图

(a)26日14:00;(b)26日20:00;(c)27日02:00;(d)27日08:00

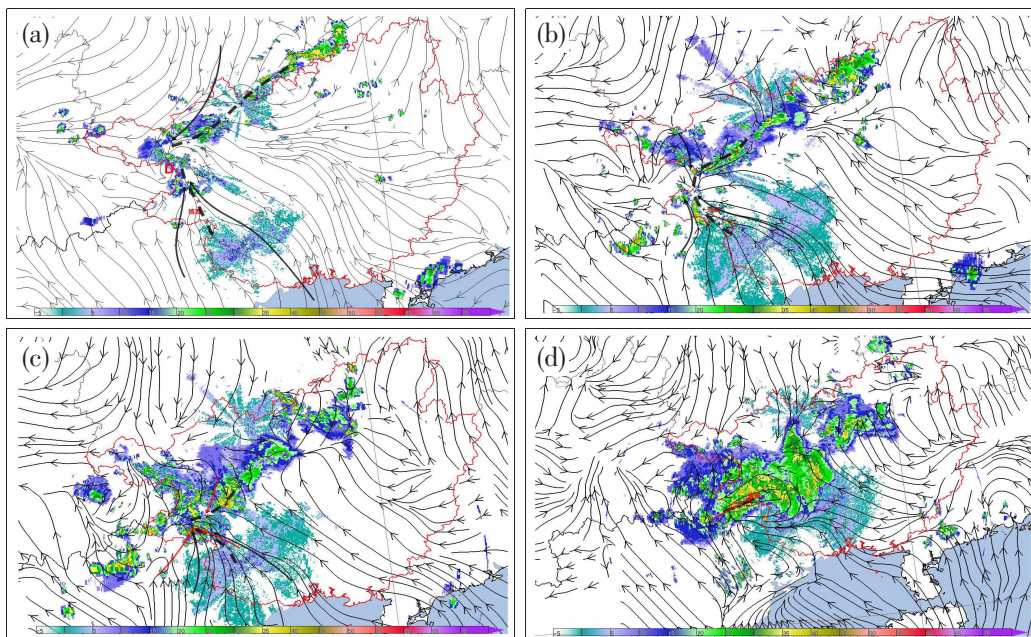


图5 雷达组合反射率(单位:dBz)与地面流场图
(a)26日20:00;(b)26日23:00;(c)27日01:00;(d)27日04:00

此同时高空槽引导的辐合线回波向东南方向移动;27日01:00(图5c),三个方向的对流回波最终在靖西附近气旋性辐合中心汇合加强,形成的混合型回波带在桂西上空停滞;27日02:00–05:00(图5d),45~55dBz的较强回波在西南气流的引导下不断经过靖西一带,形成列车效应,造成了极端的强降水。

靖西的小时雨强最大发生在04:00–05:00,对04:00经过靖西的强回波单体做反射率因子剖面,可以看到,最强反射率因子为55dBz,50dBz强反射率高度均小于6km,位于0℃层高度以下,属于暖云层降水可以产生高的降水效率,在回波前进方向的后侧仍有回波单体生成,具有后向传播特征并不断向东北方向移动经过靖西,形成列车效应。这是导致极端短时强降水的直接原因。

27日03:57–04:33的1.5~3.4°仰角基本速度图分析显示,靖西4.5km高空存在气旋性辐合,而低层有西南急流加强并存在急流的脉动。04:00–05:00逐5min的雨量显示,在高空气旋性辐合及低层西南急流加强后,对应降水的突增。高空辐合有利低层上升气流的发展,低层西南急流增强使低层大气层结不稳定状态和水汽输送得以较长时间维持,低空急流脉动产生的扰动有利对流系统的触发和加强,对强降水有激发作用。

3.3 地形和冷池的作用

靖西位于广西的西部,属岩溶山原地貌,由西北

向东南倾斜,略呈阶梯形态,海拔740m,其南侧与越南北部山地接壤,越南北部山地存在一条南北向的山脉。在特殊的地形下,地面偏南风从越南红河三角洲沿越北山脉北上与从北部湾西北行的东南风在靖西市形成一条辐合线,该辐合线是极端降水主要的触发维持系统。同时,靖西市南侧及东南侧的迎风坡及喇叭口地形处,西南风及东南风的爬升加强了垂直上升运动的发展和低层水汽的辐合,有利对流云团的生成。

在强降水期间,桂西地区的温度梯度不大,但是从逐小时的变温分析,27日02:00,由于地面弱冷空气的影响广西的西北部出现了中到大雨,在降水的作用下,靖西的北部出现了-4℃的变温,说明产生了冷池。而在北上的偏南气流影响下,靖西的南侧出现了1℃的升温,等变温线密集,在等变温线密集区对流发展旺盛,出现了50dBz的强回波(图6a)。03:00随着冷池的南下,靖西一带的变温梯度加大,冷池的存在有利对流系统的发展和维持,此时的回波强度达到了55dBz(图6b)。与此同时,在地形的强迫作用下,冷池出流下山加速与山前稳定维持的偏南暖湿气流产生更强烈的上升运动,并且通过强迫抬高冷池出流高度,使出流与近地面偏南气流构成随高度顺转的边界层垂直风切变,使得对流不稳定增强^[17]。直到05:00,靖西一带维持着较强的变压梯度,极端暴雨区位于冷池的前沿变温梯度大值区中。

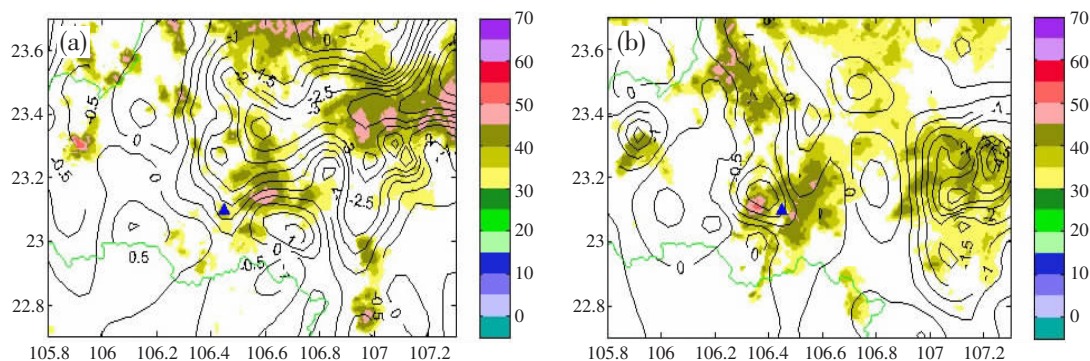


图6 1h变温(单位:℃)和雷达组合反射率(单位:dBz)
(a)27日02:00;(b)27日03:00

4 极端暴雨的可预报性分析

4.1 数值模式的预报偏差分析

2019年5月27日发生在靖西市的极端暴雨,各级气象台站24h预报降雨量比实况明显偏小。强降雨主要出现在26日20时–27日08时,因此在数值模式的预报偏差分析中,考虑了25日20时起报的预报结果。EC–HR确定性预报雨量偏小,暴雨落区在桂北。表明确定性高分辨率模式预报EC–HR出现明显的量级、落区偏差。从预报场和实况的对比分析,EC–HR对500hPa的整个环流形势预报较为准确,尤其预报出了26日20:00与27日08:00位于西太平洋与南印度洋两环副热带高压的位置及华北槽的移动,但对700hPa起触发抬升作用的桂西北小槽预报位置偏西,尤其对强降水产生起重要作用的850~925hPa的东南风,数值模式没有预报出来,只是预报了一致的西南风,且夜间的850hPa西南风预报偏弱,27日08:00的925hPa辐合线偏北,这些低层气象要素的预报偏差是极端暴雨区漏报的重要原因。

EC–HR全球模式是静力模式,仅对对流过程进行参数化处理^[18]。对大范围降水过程的预报技巧较高,但对中小尺度天气过程的描述或预报能力不足。中小尺度天气过程往往是非静力的,且包含复杂的对流过程。要有效预报中小尺度系统主导的暴雨过程,非静力、显式对流处理的高分辨数值模式是必不可少的^[19]。此次极端暴雨过程就是中小尺度系统作用的结果,因此对华东9km区域数值模式(SHANGHAI_HR)进行了预报偏差分析。SHANGHAI_HR的降水落区预报同样也是漏报了靖西的极端暴雨,相对EC–HR雨量预报暴雨带位置偏南,且在桂东报出了293mm的极端降雨量,在实际的雨量预报中,可以

对预报员起一些提示作用。风场预报上可看到从高层到低层华东模式的预报强度相对实况偏强,同样也没有预报低层及边界层的东南风,且预报850hPa切变线及925hPa辐合线27日08:00南下位置与实况不符,位置明显偏南,这是其预报暴雨带位置偏南的原因之一。从SHANGHAI_HR的组合反射率因子的预报图上显示模式很好地预报了对流的触发,预报了26日20:00对流在切变线上的触发及发展,其后回波带的强度、组织南下也较好地做出了预报,另外也预报了百色触发的单体及夜间西南季风气流在越南北部山区触发的对流单体的强度、发展、北上移动趋势,尤其预报了南下对流回波带与东北移动的越南北部强回波单体在极端暴雨区的合并,同时预报了对流单体在靖西东南部山前的触发,但是没有预报低层及边界层东南风,以及对850hPa切变线的预报错误,导致预报对流带迅速东移,从而对降雨量级的预报偏小。

4.2 极端暴雨的预报思考

这次极端暴雨的数值模式预报偏差分析表明,EC–HR对环流形势预报较好,两家模式对广西850~925hPa的东南风预报能力差,这与预报员应用经验结论相一致。模式对切变线暴雨的落区、降雨量级预报相对较好,但是对切变线与锋面南侧偏南气流影响下的暴雨预报能力不佳,SHANGHAI_HR能较好地模拟出中小尺度系统的触发、强度及移动趋势。在业务预报中,预报员一般基于模式预报的天气形势分析来确定强降水落区,会比较信任EC–HR的雨量预报。当预报将出现产生强降水的天气形势时,需要了解模式性能,根据预报经验对暴雨落区进行适当的调整。当考虑天气过程中可能出现由中小尺度系统产生的对流性降水时,需更多的参考中尺度数值模式的产品,尤其关注其对对流生消发展移

动及对降雨极值的预报,考虑地形的作用。

5 结论与讨论

对靖西极端暴雨产生的大尺度环流背景、中尺度对流系统生成维持机制及可预报性进行了分析,得到以下主要结论:

(1)此次靖西极端暴雨主要是在中高纬两槽一脊形势、低纬西太副高与阿拉伯海副高对峙的有利环流背景下,高空槽和地面弱冷空气共同影响产生,极端暴雨出现在切变线南侧的西南风与东南风的辐合气流中。

(2)导致极端暴雨产生的中尺度对流系统由 700hPa 小槽、850hPa 切变线、地面辐合线、干线及偏南风在山前触发。夜间增强的低层西南急流使得低层大气层结不稳定状态和水汽输送得以较长时间维持,地面辐合线、低空急流脉动产生的扰动有利对流系统的发展和维持,冷池出流与山前爬升的偏南暖湿气流产生的强烈上升运动也是对流系统生成和维持的机制之一。低质心的暖云降水回波形成的列车效应带来极端的强降水,极端暴雨区位于冷池的前沿变压梯度的大值区中。

(3)EC-HR 模式对大尺度环流形势预报较为准确但靖西降雨量预报显著偏弱,低层风场预报偏小;SHANGHAI_HR 区域模式能较好地模拟出中小尺度系统的触发、强度及移动趋势,更能预报出极端降水量级,但对降雨落区没有 EC-HR 模式把握得好,风场预报偏强。两家模式对切变线暴雨的预报相对较好,但是对切变线及锋面南侧偏南气流影响下的暴雨预报能力不佳,两个模式均没有预报出低层东南风的影响,是降雨预报明显偏弱的主要原因之一。

预报员在暴雨预报中如能考虑地形的作用,抓住数值预报中极端天气的预报信号,结合当地的气象预报经验,可以使极端暴雨的预报具有一定的可预报性。

参考文献:

- [1] 赵洋洋,张庆红,杜宇,等.北京“7·21”特大暴雨环流形势极端性客观分析[J].气象学报,2013,71(5):817-824.
- [2] 湛芸,孙军,徐晔,等.北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考[J].气象,2012,38(10):1255-

1266.

- [3] 方翀,毛冬艳,张小雯,等.2012 年 7 月 21 日北京地区特大暴雨中尺度对流条件和特征初步分析[J].气象,2012,38(10):1278-1287.
- [4] 孙继松,何娜,王国荣,等.“7·21”北京大暴雨系统的结构演变特征及成因初探[J].暴雨灾害,2012,31(3):218-225.
- [5] 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.
- [6] 杜钧,Grumm R H,邓国.预报异常极端高影响天气的“集合异常预报法”:以北京 2012 年 7 月 21 日特大暴雨为例[J].大气科学,2014,38(4):685-699.
- [7] 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.
- [8] 张萍萍,孙军,车钦,等.2016 年湖北梅汛期一次极端强降雨的气象因子异常特征分析[J].气象,2016,44(11):1424-1433.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 李佳颖,翟丽萍,覃月凤,等.广西一次大范围西南涡暴雨过程多尺度特征分析[J].气象研究与应用,2018,39(3):7-10.
- [12] 李家文,李宜爽,蓝燕丹.2017 年 7 月初柳州特大暴雨成因分析[J].气象研究与应用,2019,40(1):16-19.
- [13] 贾显锋,刘蕾.一次副高边缘特大暴雨的成因分析[J].气象研究与应用,2019,40(2):12-15.
- [14] 王盛繁.2017 年 7 月初广西极端暴雨过程诊断分析[J].气象研究与应用,2019,40(3):18-21.
- [15] 张楠,杨晓君,邱晓滨,等.一次突发性暴雨的机理分析及短期预报思考[J].气象,2008,44(1):118-131.
- [16] 苟阿宁,王玉娟,张家国,等.一次梅雨锋附近“列车效应”致灾大暴雨过程观测分析[J].气象,2019,45(8):1052-1064.
- [17] 陈双,王迎春,张文龙,等.复杂地形下雷暴增强过程的个例研究[J].气象,2011,37(7):802-81.
- [18] 漆梁波,徐晔.豫北“7·9”特大暴雨的短期预报分析和反思[J].气象,2018,44(1):1-14.
- [19] 漆梁波.高分辨率数值模式在强对流天气预警中的业务应用进展[J].气象,2015,41(6):661-673.

Causes and predictability of extreme rainstorm in Jingxi City on May 27, 2019

Zhou Yunxia, Zhai Liping, He Shanshan

(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022)

Abstract: Based on conventional meteorological data, and data of Doppler weather radar, satellite, and mesoscale automatic weather station, the causes and predictability of extreme rainstorm in Jingxi City, Guangxi Zhuang Autonomous Region on May 27, 2019 were analyzed by using synoptic diagnostic analysis method. Under beneficial atmospheric circulation situation, the extreme rainstorm was produced under the joint action of the high trough and the cold air on the ground. The extreme rainstorm occurred in the convergence area of southwest jet and southeast wind in the lower layer of the south side of 850 hPa shear line. Convection was mainly triggered in the 850hPa shear line, the surface convergence line, and the convergence ascending region of the windward slope and southerly wind. The upwelling of cold pool outflow and south warm moisture flow climbing in front of the mountain was beneficial to the development and maintenance of mesoscale convective system. The "train effect" formed by the precipitation echo of low centroid warm cloud was the direct cause of extreme heavy precipitation. Neither the EC-HR model nor the SHANGHAI_HR regional model predicted the effect of low-level southeast winds, which may be the main reason for the weak rainfall forecast result of the model.

Key words: extreme rainstorm; mesoscale convective system; train effect; predictability

《气象研究与应用》第十一届常务编委扩大会议在南宁召开

《气象研究与应用》第十一届常务编委扩大会议于5月26日在南宁气象大厦召开。第十一届编委会主任姚才主持会议,编委会副主任林开平、陆虹、廖雪萍及全体常务编委、编辑部人员参加会议。

会上,宣读了新调整的《气象研究与应用》第十一届编委会成员名单,介绍《编委职责与权利》及2020年《气象研究与应用》组稿重点选题指南、编辑出版工作流程和工作内容,宣读《恪守学术道德,抵制学术不端》倡议书。与会代表就期刊重点选题内容、组稿约稿方向、审稿专家库建设、调动编委和审稿专家及作者积极性等内容发表建议。

姚才就进一步做好期刊工作,提出六点要求。一是提高认识,增强加快科技期刊创新发展的责任感、使命感和紧迫感。始终坚持正确的政治导向,坚持正确的意识形态方向和科学精神的和谐统一;二是总结经验,分析形势,准确把握科技期刊创新发展的新要求;三是坚定信心,勇于创新,努力提升《气象研究与应用》的质量和影响力。不断推进改革开放,切实发挥



编委会作用;四是进一步规范编审流程,要加强编审流程的现代化、信息化,充分利用互联网、大数据、人工智能等新技术提升编审工作效能;五是建立完善激励机制,调动编委、审稿专家和作者的积极性;六是恪守学术诚信规范。要加强对期刊论文作者、审稿专家、编辑可能涉及的学术不端行为的抵制和惩戒,恪守学术诚信规范,营造良好学术生态。

(图文/蔡雨容 朱彦)