

梁依玲, 刘国忠, 赵金彪, 等. 2021 年广西前汛期一次暴雨过程特征及模式预报偏差分析[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(4): 104–108.
Liang Yiling, Liu Guozhong, Zhao Jinbiao, et al. Characteristics of a heavy rainfall process and model forecast deviation analysis in the pre-flood season in Guangxi in 2021[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(4): 104–108.

2021 年广西前汛期一次暴雨过程特征及模式预报偏差分析

梁依玲, 刘国忠, 赵金彪, 刘晓梅, 孙红梅

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 利用常规地面和高空观测资料、新一代天气雷达、卫星云图及数值模式等资料, 对 2021 年 5 月 16—20 日发生在广西北部、中部的一次较强暴雨过程的特征和预报偏差进行分析。结果表明: (1) 本次暴雨过程受 500hPa 多波动、低层切变线和地面冷空气共同影响造成; (2) 地面冷空气移动速度是暴雨强度、雨带位置的重要影响因素。 (3) 东西向的中空急流 (即垂直风切变大) 有利于对流云团的加强发展并向东移动形成列车效应, 造成东西向强降雨带; 暴雨区分布与低层切变线、地面辐合线的走向比较一致; (4) 各家数值模式对暴雨落区的预报偏差主要是对地面冷空气、低层切变线以及偏南风急流等天气系统的预报偏差以及模式本身的性能造成的。

关键词: 前汛期; 暴雨; 中空急流; 预报偏差

中图分类号: P458.1+21

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.4.17

引言

华南前汛期雨季是由东亚夏季风主雨带明显跳跃性自南向北移动形成的, 暴雨主要由中尺度系统造成, 其发生发展的物理机制复杂, 许多气象学者对华南前汛期暴雨进行了研究并取得有意义的成果^[1-8]。而广西位于华南西部高原向沿海的过渡带, 地形地貌复杂, 属中亚热带季风气候, 在西风带系统和热带天气系统的交替影响下, 易出现暴雨天气。广西暴雨具有持续性、突发性、雨强强等特点, 业务预报难度大, 针对广西前汛期暴雨过程的成因分析以及特征研究也取得了一些成果^[9-14], 而针对广西前汛期暴雨过程特征和预报偏差的研究较少^[15-17], 更多的是台风暴雨、暖区暴雨的预报偏差研究^[18-22]。

2021 年 5 月 16—20 日广西出现了持续性强降雨天气过程, 此次过程比翟舒楠等^[23]研究的 2021 年 5 月 12—13 日的强降水过程强降雨范围更广、强度更强、持续时间更长, 影响系统复杂, 主观预报偏差

大, 因此有必要重点分析此次过程的特征及各模式暴雨落区预报偏差的主要原因, 并归纳其预报着眼点, 以期为预报员更好地预报广西暴雨及使用订正数值模式产品提供参考。

1 资料与方法

采用的资料包括常规地面和高空观测资料、逐小时区域自动站资料、新一代天气雷达、卫星云图等观测资料, 数值模式资料包括欧洲中心全球中期数值天气预报模式 (以下简称 ECMWF)、中国气象局全球同化预报系统 (以下简称 CMA-GFS)、中国气象局中尺度天气数值预报系统 (以下简称 CMA-MESO)、中国气象局上海数值预报模式系统 (以下简称 CMA-SH9)、中国气象局广东快速更新同化数值预报系统 (以下简称 CMA-GD) 的风场和降水量预报资料。运用天气学诊断分析方法和误差分析方法对此次暴雨过程特征与预报偏差进行综合分析与研究。

收稿日期: 2022-06-06

基金项目: 广西自然科学基金项目 (2022GXNSFAA035482)、广西气象科研计划重点项目 (桂气科 2020Z05)、广西气象科研计划重点项目 (桂气科 2017Z01)、广西极端暴雨形成机理及预报技术研究创新团队项目

作者简介: 梁依玲 (1989—), 女, 广西贵港人, 工程师, 主要从事天气预报业务及研究。E-mail: 907905060@qq.com

* 通讯作者: 刘国忠, 男, 正研级高级工程师, 主要从事天气预报业务及研究。E-mail: baiselgz@sina.com

2 过程降雨特点及环流形势特征

2021 年 5 月 16—20 日广西出现了持续性强降雨天气过程, 桂北、桂中部分地区有暴雨到大暴雨, 局地伴有雷暴大风。据统计, 5 月 16 日 20 时—20 日 20 时, 全区有 7 个县(区)11 个乡镇累计雨量超过 250mm, 其中 2 个县(区)超过 300mm, 分别为南宁马山林圩 366.9mm、贺州平桂公会镇 324.5mm; 全区 100~250mm 有 12 个市 58 个县(区)298 个乡镇站点, 50~100mm 有 13 个市 73 个县(区)292 个乡镇站点。

此次暴雨过程具有强降雨范围广、累积雨量大、局地强度强等特点。强降雨时段主要分为两个阶段: 第一阶段为 16 日 20 时—17 日 20 时, 强降雨区主要集中在桂北, 呈东西带状分布; 大暴雨区集中, 累计雨量大(243.6mm/24h); 第二阶段为 19 日 20 时—20 日 20 时, 强降雨区主要集中在右江河谷和桂东北, 呈东西两个强暴雨中心; 最大小时雨强为 126.8mm, 最大 24h 雨量为 257.8mm。

从环流形势看, 5 月 16—20 日, 200hPa 南亚高压脊稳定控制中南半岛北部到青藏高原南麓地区, 广西位于高压脊前西北气流的分流区, 有利于出现持续性暴雨过程。在强降水第一阶段(16 日 20 时—17 日 20 时), 500hPa 副热带高压 588d gpm 线稳定控制在桂南及中南半岛北部, 南支短波槽东移, 700hPa 切变线南移至贵州北部, 我区桂北有大于 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东西向的中空急流轴, 与暴雨区东西带状分布相对应; 850hPa 切变线南移至桂北后少动, 925hPa 切变线则继续缓慢南移来宾、贺州、百色三市南部一带, 强降雨落在 925~850hPa 切变线之间; 另外, 低层(925~850hPa)切变线南侧的西南风急流日变化较明显, 即急流白天减弱, 夜间增强, 与强降雨主要出现在 16 日夜间相对应。在强降水第二阶段(19 日 20 时—20 日 20 时), 500hPa 又有高空槽东移, 700hPa 急流轴南压至桂中, 有冷舌从四川伸向桂北, 副高 588d gpm 线仍稳定控制在桂南及中南半岛北部; 850hPa 西南风急流加强, 切变线北抬后又南压在桂北摆动, 925hPa 切变线则在桂中摆动维持, 强降雨落在 925hPa 切变线附近。20 日 20 时随高空槽移出我区, 广西降水趋于减弱。

地面气压场上, 16 日 08 时滇黔桂三省交界处受暖低压控制, 低压中心强度小于 1005hPa, 地面冷空气前锋移到了贵州、湖南两省的南部, 此时桂北的罗城、融安至桂林一带地面露点达到了 24~26℃, 积

聚了大量不稳定能量。此后冷空气自桂北向南缓慢南压, 16 日 20 时冷锋到河池、柳州、桂林三市中部一带, 冷锋触发对流发展, 开始出现明显降水, 16 日 20 时至 17 日 08 时, 锋面继续南压至河池、柳州、桂林三市南部一带, 锋面南北两侧露点温度差非常明显, 锋面南侧各站露点温度达 25~26℃, 北侧露点温度大部低于 20℃, 17 日 08—20 时, 冷空气继续南下, 锋面逐渐移达梧州、贵港、南宁北部一带后趋于静止, 锋后出现分散性的对流性强降水。19 日 20 时冷空气补充南下, 在地面静止锋附近触发对流, 然后发展加强造成强降雨, 20 日 08 时锋面稍有南移并减弱, 降水也趋于减弱。

综上所述, 此次暴雨过程是冷空气南下触发的锋面暴雨过程, 暴雨落区主要在 850hPa 切变线南侧到 925hPa 切变线之间, 500hPa 高空槽东移具有很好的动力抬升条件, 而 700hPa 维持稳定的东西向中空急流带, 与暴雨区呈东西带状分布有一定的关系。副高 588d gpm 线稳定控制在桂南及中南半岛北部, 低层切变线主要在广西中北部摆动, 暴雨落区主要在广西的中北部。另外, 200hPa 南亚高压脊稳定控制中南半岛北部到青藏高原南麓地区, 广西位于高压脊前西北气流的分流区, 有利于出现持续性暴雨过程。

3 云团演变及雷达回波特征

3.1 云团演变特征

5 月 16 日 19 时, 随着低层切变线南移, 在切变线东段的桂林、柳州等地生成 2 个较大的对流云团, 然后在切变线西段的河池、百色等地发展出多个对流云团单体, 每个对流云团生成后主要向东移动, 生命史较短, 但降水效率较高, 整体呈现出带状分布。

19 日 18—20 时, 在滇桂交界有多个对流单体合并生成一个中尺度对流系统(MCS), 云顶亮温低, 21 时—20 日 02 时 MCS 东移发展维持, 主要影响百色市中北部及河池市西南部地区。20 日 00—01 时, 在越南北部与广西交界处又有多个对流单体合并生成另一个 MCS, MCS 东移发展并与北部的 MCS 逐渐合并形成一个准中尺度对流复合体(MCC)系统; 03—07 时 MCC 发展维持, 主要影响右江河谷一带, 最大小时雨强为隆安布泉巴香 04 时 126.8mm; 08 时缓慢东移减弱。

3.2 雷达回波特征

16 日 08 时在贵州的东南部已出现窄带状回

波,回波形状与切变线走向一致,随后此窄带状回波自西北向东南方向移动,移动过程中不断加强,并向两端扩展。23 时以后,回波移动减慢,并在河池、柳州、桂林一带摆动,造成了这一带的强降水。小时雨强最强阶段主要集中在 16 日 22—23 时,分布在河池(罗城、东兰等县)、桂林(临桂区),最大小时雨强为罗城县四把气象观测站 69mm。

19 日 20 时,在切变线和冷空气共同影响下百色西北部出现较强回波,此回波从百色西北部自西北向东南移动,不断增强,范围不断扩大,呈现片状,在崇左北部、南宁西北部等地形成明显的列车效应,对该地产生了强降水。此次过程小时雨强最强阶段主要集中在 20 日 04 时,分布在南宁、崇左,最大小时雨强为南宁隆安布泉巴香气象观测站 126.8mm,崇左市天等县进远气象观测站为 103.7mm。

16 日 22 时不断有强回波经过第一阶段强降水中心区(罗城县),形成列车效应,持续时间约半小时,最大反射率因子强度大于 55dBZ,但回波在移动过程中强度不断减弱;其回波顶高度可达 15km,最大垂直液态水含量大于 $20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,速度图上具有明显的径向速度辐合。从经过强降水中心反射率因子垂直剖面上可看出,回波质心低,属于降水效率较高的热带型降水,有利于短时强降水。第二阶段强降水中心区(隆安县)也存在类似的特征,即不断有强回波经过降水区,形成明显列车效应,持续时间约 1h,且回波在移动过程中强度不断增强;其回波顶高度可达 18km,最大垂直液态水含量大于 $20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,速度图上也具有明显的径向速度辐合;反射率因子垂直剖面图上回波质心也较低,回波强度比罗城强降水区的弱,但持续时间更长,降水累积量更大。

4 数值预报产品检验

4.1 模式降水预报检验

对各家模式 5 月 15 日 20 时起报 16 日 20 时—17 日 20 时 24h 降水量预报与实况进行对比检验,发现 ECMWF 模式预报效果最优,其雨带形态分布及强降水中心位置与降水实况较为吻合,大暴雨范围偏广,落区整体偏南;其它模式如 CMA-GFS、CMA-MESO、CMA-SH9 和 CMA-GD 预报的强降雨带位置比实况偏南,CMA-GFS 和 CMA-MESO 模式降雨强度预报比实况明显偏弱,属于暴雨漏报;而 CMA-SH9 预报强降雨范围明显偏广。

对各家模式 5 月 18 日 20 时起报 19 日 20 时—20 日 20 时 24h 降水量预报与实况进行对比检验发现,暴雨及以上降水落区主要分布在百色东部、河池南部到南宁东北部的区域及桂林市南部、贺州市一带。ECMWF 模式预报的暴雨落区主要在桂北,呈带状分布,落区位置明显偏北,暴雨强度偏弱;CMA-GFS 模式预报的暴雨落区主要在百色、河池、柳州、桂林四市南部到来宾、南宁北部一带,强降雨带位置与实况较吻合,暴雨强度偏弱;CMA-GD 和 CMA-SH9 模式预报的强降雨落区位于桂中、桂南大部地区,落区整体偏南,范围偏大,强度偏强;而 CMA_MESO 模式预报桂北、桂中有中雨,局部大雨,比实况明显偏弱,属于暴雨漏报。

综合以上分析,对于此次锋面暴雨过程,前期 ECMWF 预报效果较好,CMA-GFS、CMA-MESO、CMA-GD 和 CMA-SH9 模式预报的暴雨带位置偏南,CMA-GFS 和 CMA-MESO 预报降水强度明显偏弱;后期 ECMWF 预报的暴雨带位置比实况偏北,强度偏弱,CMA-GFS 雨带位置与实况较为吻合,但强度偏弱;而中尺度模式 CMA-GD 和 CMA-SH9 预报的暴雨区范围明显偏大,暴雨带南界明显偏南,CMA-MESO 与实况差别较大,强度明显偏弱。

4.2 主要影响系统偏差检验

强降雨的预报偏差主要是由于天气系统的预报偏差造成的,因此利用模式的风场资料对此次暴雨预报偏差进行综合分析与研究。

5 月 16 日 20 时,850hPa 切变线位于黔桂交界处,15 日 20 时各家模式起报 16 日 20 时 850hPa 切变线位置偏南,且 CMA-GFS 和 CMA-MESO 模式预报风速明显偏小,辐合偏弱,降水强度偏弱,CMA-SH9 和 CMA-GD 预报切变线位置明显偏南,导致这两个中尺度模式预报的强降水落区偏南,ECMWF 预报切变线位置与实况最为吻合,位置稍偏南。

16 日 20 时,地面冷空气南移到桂林、柳州、河池中部,17 日 08 时,冷空气缓慢南压到桂林、柳州、河池南部;从各家模式 15 日 20 时起报 16 日 20 时和 17 日 08 时 10m 风场预报与实况对比检验可发现,16 日 20 时 ECMWF 和 CMA-GFS 模式预报 10m 风场辐合线位置与实况比较吻合,位置稍偏南,17 日 08 时,ECMWF 和 CMA-GFS 模式预报 10m 风场辐合线位置移到了桂中一带,比实况位置稍偏南,导致强降雨落区偏南;CMA-GD、CMA-SH9 模式预报 16 日 20 时 10m 风场辐合线移到桂中一带,比实况

明显偏南,17 日 08 时辐合线已经南压到桂南,导致预报暴雨带位置明显偏南;CMA-MESO 模式预报 16 日 20 时辐合线位于桂南,位置最偏南,17 日 08 时,全区大部转北风,与实况偏差较大,因此漏报了桂北强降水。

19 日 20 时,850hPa 切变线北抬到了桂北,20 日 08 时,切变线维持在桂北,偏南气流加强,偏南风分量远远大于偏北风分量,南压速度缓慢。从各家模式 18 日 20 时起报 19 日 20 时到 20 日 08 时 850hPa 风场预报发现,19 日 20 时各家模式预报切变线位置都位于桂北,ECMWF、CMA-GFS、CMA-MESO 等模式预报切变线比实况稍偏北,CMA-GD 模式预报切变线位置比实况稍偏南,CMA-SH9 模式预报切变线位置与实况比较吻合;各家模式预报切变线南侧的风速比实况偏大,特别是 CMA-GD、CMA-SH9 等模式预报超过了 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的南风急流。20 日 08 时,ECMWF 预报偏南风分量大,切变线南压速度慢,切变线位置较实况稍偏北,强降雨落区稍偏北;CMA-GFS 预报切变线位置与实况最接近;CMA-MESO 预报切变线南压速度快,风向偏西,实况为偏南风,辐合弱,且降水回波位于切变线北侧,导致降水偏北偏弱;CMA-GD 初始切变线位置较实况偏南,南压速度快,强降雨落区偏南;CMA-SH9 预报夜间偏北风偏强,南压速度快,且预报降水回波主要位于切变线南侧,导致强降水位置偏南。

19 日静止锋有所北抬,但受冷空气补充影响,20 日 08 时地面风场辐合线又移到了桂中,从各家模式 18 日 20 时起报 20 日 08 时 10m 风场预报与实况对比检验发现,ECMWF 预报 10m 风场辐合线位置比实况偏北;CMA-GFS、CMA-MESO、CMA-GD 预报 10m 风场辐合线位于桂中,与实况比较吻合;CMA-SH9 模式预报 10m 风场辐合线位置较实况偏南。

综合以上分析表明,模式雨带预报偏差主要是对地面辐合线位置及低层 850hPa 切变线位置、低空急流大小的预报偏差造成的。第一阶段全球模式 ECMWF 对地面辐合线及 850hPa 切变线预报位置与实况较吻合,预报效果较好;CMA-GFS 和 CMA-MESO 预报风速明显偏小,辐合偏弱,降水强度明显偏弱,CMA-MESO 预报冷空气移速偏快,强降水位置偏南;CMA-GD 和 CMA-SH9 模式预报 850hPa 切变线和地面辐合线位置比实况偏南,则暴雨带落区偏南。第二阶段 ECMWF 模式预报地面辐合线及 850hPa 切变线位置都比实况偏北,强降雨落区也偏

北;CMA-GD 和 CMA-SH9 模式预报 850hPa 切变线的南北两侧的风速均比实况偏大,由于模式性能,考虑强降水出现在偏南急流一侧,且南亚速度快,则预报的暴雨范围、位置及强度比实况明显偏广偏南偏强;CMA-GFS 预报低层切变线和地面辐合线与实况最为接近,强降水落区与实况最为接近;CMA-MESO 模式预报风场辐合偏弱,南压速度快,不利于强降水,降水强度明显弱于实况。

5 结论

(1)在南亚高压稳定和 500hPa 平直多波动天气形势下,地面冷空气进入广西的时间段及移动速度是暴雨强度、雨带位置的重要影响因素。700hPa 与 850hPa 切变线的距离较远表明冷空气的厚度不高即势力较弱;另外副高在桂南稳定维持,冷空气移动速度会放慢。

(2)700hPa 和 500hPa 存在东西向中空急流时(即风垂直切变大),有利于对流云团的加强发展并向东移动,形成列车效应,造成东西向的强降雨带。暴雨区分布与低层切变线、地面辐合线的走向比较一致。暴雨区主要位于 925hPa 与 850hPa 切变线之间,925hPa 与 850hPa 切变线距离较大(即锋面坡度小),暴雨区相对比较分散。低空急流有白天减弱夜间增强的日变化特征,暴雨时段主要出现在夜间。

(3)第一阶段强降水主要是不断有对流云团在切变线附近生成,向东移动,形成列车效应,第二阶段强降水主要是由 MCS 造成。强降水回波具有回波顶高,强度强,回波质心低,降水效率高等特点。

(4)各家模式对暴雨落区的预报偏差主要是对地面冷空气、低层切变线以及偏南风急流等天气系统的预报偏差造成的;临近时效内参考同化最新实况观测资料的模式预报结论,并结合实况检验分析做出适当的订正预报。

参考文献:

- [1] 陶诗言,丁一汇,周晓平.暴雨和强对流天气的研究[J].大气科学,1979(3):227-238.
- [2] 丁一汇.中国暴雨理论的发展历程与重要进展[J].暴雨灾害,2019,38(5):395-406.
- [3] 吴乃庚,温之平,邓文剑,等.华南前汛期暖区暴雨研究新进展[J].气象科学,2020,40(5):605-616.
- [4] 刘亚楠.华南前汛期降水及重要天气系统的诊断分析[D].成都信息工程大学,2018.
- [5] 陈思,高建芸,黄丽娜,等.华南前汛期持续性暴雨年代

- 际变化特征及成因[J].应用气象学报,2017,28(1):86–97.
- [6] 赵玉春,王叶红.近30年华南前汛期暴雨研究概述[J].暴雨灾害,2009,28(3):193–202,228.
- [7] 徐明,赵玉春,王晓芳,等.华南前汛期持续性暴雨统计特征及环流分型研究[J].暴雨灾害,2016,35(2):109–118.
- [8] 陈涛,陈博宇,于超,等.华南前汛期锋面对流系统和暖区对流系统的多尺度特征和集合预报敏感性对比分析[J].气象,2020,46(9):1129–1142.
- [9] 吴兴国.广西前汛期暴雨天气过程的特征分析[J].广西气象,2000,21(2):7–8.
- [10] 李勇,覃武,钟利华.广西2012年前汛期3次暴雨过程环流和中尺度特征[J].气象研究与应用,2013,34(2):31–35.
- [11] 欧徽宁,梁珊珊,杨胜才.2013年广西一次前汛期暴雨过程分析[J].气象研究与应用,2013,34(4):14–17.
- [12] 黄远盼,宁玉梅,莫家尧.广西前汛期两次暴雨天气过程对比分析[J].气象研究与应用,2014,35(1):12–16,35.
- [13] 黄春华,林文桦,余恒鑫,等.防城港市一次前汛期暴雨过程特征分析[J].气象研究与应用,2012,33(S2):70–71.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 张丁丁,黄莉,周琰.2020年广西南宁一次极端暴雨特征及预报偏差分析[J].气象研究与应用,2022,43(3):72–76.
- [17] 陈绍河,蒋承志,林文桦,等.广西防城港山区“6·16”大暴雨成因机制及数值模式误差分析[J].气象研究与应用,2022,43(3):93–97.
- [18] 赵飞,包文雯,张雪波,等.台风“浪卡”(2016)暴雨成因及数值预报模式偏差分析[J].气象研究与应用,2021,42(3):83–87.
- [19] 肖志祥,黎金玲,罗小莉.1415号台风“海鸥”广西极端暴雨预报偏差分析及地形订正[J].气象研究与应用,2021,42(4):14–19.
- [20] 董良森,翟丽萍,覃月凤,等.2018年广西东南部一次暴雨过程分析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(3):46–54.
- [21] 覃武,刘国忠,赖珍权,等.华南暖区暴雨预报失误及可预报性探讨[J].气象,2020,46(8):1039–1052.
- [22] 梁依玲,覃月凤,陈见.2020年广西开汛暖区暴雨特点及预报偏差分析[J].气象研究与应用,2022,43(3):77–82.
- [23] 翟舒楠,黄伊曼,刘国忠,等.一次多类型降雨组成的暴雨成因及预报偏差分析[J].气象研究与应用,2022,43(3):83–87.

Characteristics of a heavy rainfall process and model forecast deviation analysis in the pre-flood season in Guangxi in 2021

Liang Yiling, Liu Guozhong, Zhao Jinbiao, Liu Xiaomei, Sun Hongmei
(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

Abstract: Using the conventional ground and upper-air observation data, new-generation weather radar, satellite cloud images, and numerical models, this paper analyzed the characteristics and forecast deviations of a strong rainstorm process that occurred in northern and central Guangxi on May 16 to 20, 2021. The results showed that the rainstorm process was caused by the combined influence of 500hPa fluctuation, low-level shear line, and ground cold air. The moving speed of the ground cold air entering Guangxi was an important factor in the intensity of rainstorms and the location of the rainband. The east-west middle-level jet (i.e. large vertical wind shear) was conducive to the strengthening and development of convective clouds and move eastward to form a train effect, resulting in the east-west heavy rainfall belt. The distribution of the rainstorm area was relatively consistent with the direction of the low-level shear line and the ground convergence line. The forecast deviations of the rainstorm areas were mainly caused by the forecast deviations of the weather systems such as the cold air on the ground, the low-level shear line, and the southerly jet stream, as well as the performance of the model itself.

Key words: the pre-flood season; rainstorm; middle-level jet; forecast deviation