

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.
Chen Shaoh, Jiang Chengzhi, Lin Wenhua, et al. Cause mechanism and numerical model error analysis of ‘6·16’ heavy rain in mountainous area of Fangchenggang in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(3): 93–97.

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

陈绍河, 蒋承志, 林文桦, 曾 琪, 彭光固

(防城港市气象局, 广西 防城港 538000)

摘要: 利用美国国家环境预报中心(NCEP)再分析资料、广西地面自动气象站、欧洲中期天气预报中心高分辨率模式(ECMWF_HR)和多普勒天气雷达等资料,探讨2021年6月16日广西防城港山区出现大暴雨的成因机制及数值模式误差。结果表明:(1)暴雨过程不缺乏水汽和能量,但大尺度环流背景弱,尤其环境场上升运动非常弱,对准确预报大暴雨量级降水提出很大挑战;(2)山区大暴雨的出现和低层西南急流、地面中尺度辐合线密切相关;(3)此次过程成因机制是在高温高湿的环境场中,近海地面西南风加大,山区早晨逐渐转为偏北风,在暴雨区域南侧形成中尺度辐合线触发初始对流,低空西南急流持续提供水汽和不稳定能量,中尺度辐合线长时间维持提供强上升运动条件,不断触发新生成中小尺度对流回波,在西南气流引导下不断经过暴雨区域形成列车效应导致大暴雨产生;(4)主客观预报均没有报出此次过程,ECMWF_HR大尺度环流形势预报略有偏差,业务中应更注重利用高时空分辨率资料,通过中尺度分析其是否存在中小尺度系统,提前发布预报预警。

关键词: 十万大山山区;大暴雨;成因机制;模式误差

中图分类号: P458.121.1

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.17

引言

突发性局地暴雨以范围小、发展迅速、历时短、强度强为特点,预报难度非常大,造成灾害损失非常严重。近年来,随着全球气候变暖,近地面气温的升高,突发性局地暴雨明显增多,这也引起了很多学者的关注。暴雨的形成需要三个条件,即充足的水汽供应、强烈的上升运动和较长的持续时间^[1]。不少学者从局地大暴雨的触发机制、水汽输送以及中尺度特征等多方面进行深入分析,取得颇多研究成果^[2-10]。郭虎等^[11]对“0679”香山局地大暴雨的中小尺度天气分析表明,地形辐合回波带是造成此过程的主要影响系统。汪海恒等^[12]分析认为地形对于对流触发和暴雨的增幅有重要影响,山前迎风坡除了地形抬升作用外,位于山前的地面辐合线对于对流既有触发又有加强与维持的作用。杨芳园等^[13]研究发现地面中

尺度辐合线对强降水的发生有1~2h的提前预报实效,主峰特殊的喇叭口地形对降水的增幅作用明显。此外,还有不少学者从地形动力数值模拟和热岛效应方面探讨局地大暴雨^[14-16]。这些研究从不同方面分析了突发性暴雨,提高了预报员对局地强降水的认识。

防城港山区既不缺乏水汽,也有地形抬升条件,往往容易出现突发性强降雨。由于防城港复杂的地形地貌和缺乏高时空分辨率资料,以往对防城港山区局地突发性大暴雨过程分析较少,对其机制还缺乏清晰的认识,因而很有必要对这类暴雨过程做深入研究分析。

1 资料与方法

利用1°×1°美国环境预报中心气象科研计划(NCEP)再分析、广西地面气象自动站观测、FY4A

收稿日期: 2022-06-25

基金项目: 防城港市科技局重点研发计划(防科 AB21014037)、广西气象科研计划面上项目(桂气科 2021M09)、广西台风与海洋预报服务创新团队项目

作者简介: 陈绍河(1986—),男,高级工程师,主要从事短期天气预报及气候分析。E-mail: csh2005nuist@163.com

卫星云图、欧洲中期天气预报中心高分辨率模式(ECMWF_HR)和多普勒雷达探测等多源气象资料,应用天气学诊断分析方法,对2021年6月16日广西防城港山区一次局地大暴雨过程进行分析,从多视角探讨此次局地暴雨的成因机制以及数值模式误差,为预报此类局地暴雨提供一些预报思路或依据。

2 过程概况

2021年6月15日20时—16日20时,广西大部地区以阵雨天气为主,而防城港十万大山中北部山区出现一次强降雨过程,有5站出现大暴雨,2站出现暴雨,最大降雨出现在防城区滩营平旺气象观测站(225.1mm)。从暴雨中心平旺逐小时降雨量演变来看,强降雨从凌晨开始,早上逐渐结束,小时最大雨强高达 $82.9\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。综合来看,此次降雨过程具有突发性强,局地性明显,小时雨强强,雨带呈西南-东北向,强降雨主要出现在凌晨到早上等特征。

3 环流形势分析

16日02时200hPa北部湾海面到防城港大暴雨中心处于辐散区,500hPa长江以南地区受584dagpm控制,广西大部为 $6\sim 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的弱偏南气流影响;16日08时,200hPa北部湾海面仍处于辐散区,防城港转为辐合区,500hPa副高西伸北抬到广东东部,距离防城港仍较远,长江以南地区仍受584dagpm控制,广西维持弱偏南气流影响。可见,500hPa气流偏弱,副高位置偏东,并不利于出现大暴雨。

16日02时,孟加拉湾经中南半岛北部到桂东南地区风速突然加强到急流 $12\sim 14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,暴雨中心位于西南急流左侧,北部湾海面CAPE值也增加到 $1500\sim 2000\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,大暴雨中心仍维持 $500\sim 1000\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$;16日08时,急流带逐渐往东移,大暴雨中心仍位于西南急流左侧,北部湾北部海面对流有效位能(CAPE)值增加到 $2000\sim 2500\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,大暴雨中心CAPE值加大到 $1000\sim 1500\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,16日05时滩营平旺村小时最大雨强高达 $82.9\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$;16日14时,中南半岛经北部湾到广西大部的西南气流明显减弱到 $6\sim 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,此时暴雨过程结束。

4 物理量诊断

16日02时北部湾海面到桂东南整层(1000~

300hPa,下同)水汽输送带中心强度加强到 $60\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$,大暴雨区域整层水汽通量增加到 $50\sim 60\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$,同时水汽辐散转为水汽辐合,整层水汽通量散度突然加强到 $(-2\sim -4)\times 10^{-5}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$;16日08时(图略),水汽输送带强度维持,范围减小,暴雨中心整层水汽通量维持在 $40\sim 50\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$,水汽通量散度减弱到 $(0\sim -2)\times 10^{-5}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$;16日08—14时整层水汽辐散,降水趋于结束。

16日02时,垂直速度沿大暴雨中心的垂直剖面(图1)表明,强降雨期间大暴雨中心大尺度环境场800hPa以下及700hPa以上都是下沉运动,只在700~800hPa有弱上升运动,最大出现仅有 $-4\times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,达不到广西夏季大暴雨上升运动量级。

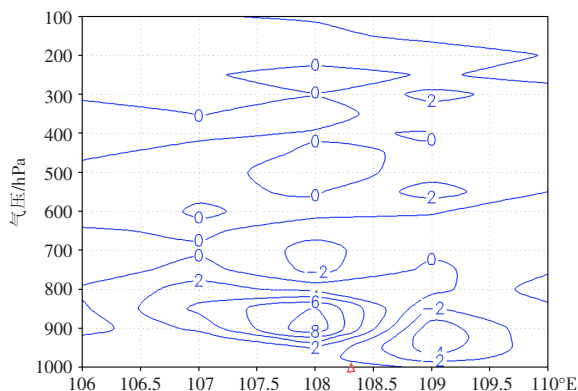


图1 2021年6月16日02时垂直速度沿大暴雨中心 21.9°E 垂直剖面图(单位: $10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,△为大暴雨中心)

大暴雨区域有源源不断的水汽输送,并在暴雨区域辐合集结,也具备有强的不稳定能量,但大尺度环流背景条件弱,仅有低层西南急流存在,环境场上升运动条件也非常弱,然而在上述条件下依然出现了大暴雨量级降水,而且暴雨范围小,局地性强,很明显是中小尺度系统触发造成。

5 雷达回波演变和中小尺度特征分析

5.1 雷达回波演变

6月15日23:11,越南北部靠近东兴西南部新生出一个小的块状回波,随后该地区不断有新生 γ 尺度对流回波出现,并向东北方向移动发展;16日01:31在东兴西北部-桂坝-平旺一带发展成长约80km、宽约7km、最大强度为 $40\sim 45\text{dBZ}$ 的 β 尺度窄带回波;16日04:26越南北部仍有对流回波生

成,使得带状对流回波中心强度加强到 45~50dBZ,不断经过暴雨中心区域形成列车效应,导致 16 日 05 时大暴雨中心出现 $82.9\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降雨;16 日 06:35 越南北部无新生对流回波,但东兴附近新生出一个小的块状回波,向东北方向移动并迅速发展;16 日 06:58 与北部线状对流回波合并成新的线状对流回波,并不断向暴雨区域移动;16 日 08:55 以层状云回波为主。

6 月 16 日 02:24,防城港近海白须公礁附近出现分散性强度 $15\sim 17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的径向速度,暴雨区域东南侧大部为 $10\sim 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的径向速度,表明低空急流建立;16 日 04:26 防城港近海已经出现较大范围度 $15\sim 17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的径向速度,暴雨区域东南侧径向速度加强到 $15\sim 17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明低空急流明显加强,此时降水回波强度明显增大;16 日 06:29 暴雨区域东南侧径向速度减小为 $10\sim 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,16 日 09:36 低空急流消失,降雨结束。

5.2 中小尺度特征

利用广西地面自动站逐小时资料和 FY4A 卫星云图分析此次暴雨过程的中小尺度系统变化特征。16 日 01:00 防城港近海海面为一致弱偏西南气流,大暴雨区域西南方向有弱偏南与偏北气流辐合,此时辐合线附近有弱对流云团开始生成;16 日 05:00 防城港近海海面仍维持偏南急流影响,有利于水汽和能量输送,但大暴雨区域由弱西南气流转为西北气流控制,辐合线整体略南压,范围扩大强度加强,其特点西南风强,偏北风弱,此辐合形势维持到 16 日 07:00,期间对流云团也加强发展呈椭圆状,云系位置少动,范围扩大,边界清晰,云系紧密结实,此时大暴雨中心持续出现 $82.9\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $56.3\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降雨;16 日 08:00—09:00,防城港大部转为一致的西南气流控制,辐合线消失,对流云团向西南方向移动并减弱消失,降雨结束。

综上所述,此次大暴雨的出现与地面辐合线、低层西南急流关系密切,初始对流的触发与地面辐合线出现时间吻合,降雨减弱停止与辐合线和低空急流消失一致。暴雨成因机制是地面辐合线触发初始对流,低空西南急流持续提供水汽和不稳定能量,中尺度辐合线长时间维持提供强上升运动条件,并不断触发新生成中小尺度对流回波,在西南气流引导下不断经过暴雨区域形成列车效应导致大暴雨产生。

6 模式误差分析

6.1 中尺度数值模式预报检验

中国中尺度数值天气预报模式(CMA-MESO)、华东区域中尺度数值天气预报模式(CMA-SH)和华南区域中尺度数值天气预报模式(CMA-GD)三家尺度降水数值模式都没有预报出此次防城港十万山区局地大暴雨过程,GUANGZHOU_HR 预报这一带有中雨到大雨,相对其它模式效果较好,有一定的参考价值,但量级仍相差比较大。

6.2 ECMWF_HR 大尺度环流形势误差

实际预报工作中,预报员参考环流形势预报主要以 ECMWF_HR 大尺度模式为主,且习惯用前一天 20 时 ECMWF_HR 资料来分析第二天天气,因此检验 ECMWF_HR 模式 48h 预报误差更符合实际业务。从 ECMWF_HR 模式 6 月 14 日 20 时起报 6 月 16 日最强降雨时段环流形势主要系统与实况比较:(1)500hPa 西太平洋副热带高压形态基本一致,都呈方头状,但西脊点偏西 5 个经度;(2)16 日 02 时 850hPa 孟加拉湾经北部湾到广西东部急流带位置和形态基本也吻合,但范围略偏广偏北;16 日 08 时急流带东移和范围明显减小也基本预报出来。

7 结论

通过多角度对 2021 年 6 月 16 日广西防城港山区一次局地大暴雨过程进行了分析,主要结论如下:

(1)降雨具有突发性强,局地性明显,小时雨强强,雨带呈西南-东北向,强降雨主要出现在头日凌晨到次日早上等特征。

(2)暴雨过程不缺乏水汽和能量,但大尺度环流背景条件弱,仅有低层西南急流存在,环境场上升运动非常弱,给这次大暴雨量级降水预报带来非常大挑战。

(3)局地大暴雨的出现与地面辐合线、低层西南急流关系密切,初始对流的触发与地面辐合线出现时间吻合,降雨减弱停止与辐合线和低空急流消失一致。

(4)此次暴雨过程成因机制是地面辐合线触发初始对流,低空西南急流持续提供水汽和不稳定能量,中尺度辐合线长时间维持提供强上升运动条件,并不断触发新生成中小尺度对流回波,在西南气流引导下不断经过暴雨区域形成列车效应才导致大暴雨产生。

(5)ECMWF_HR 模式基本预报出过程大尺度环流形势,但目前各家数值模式包括主观订正都很难预报出这类突发性局地大暴雨,主要原因还是中小尺度系统难以预报。因此,在业务中对这类暴雨的预报目前只能加强监测,利用高分辨资料如地面加密自动站和雷达风廓线等资料通过中尺度分析或天气学诊断做好短时临近预报服务。

参考文献:

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法(第四版)[M].北京:气象出版社,2006:321-323.
- [2] 何珊珊,梁依玲,农孟松.一次东风波背景下的局地强降雨过程分析[J].气象研究与应用,2020,41(2):63-67.
- [3] 许美玲,尹丽云,金少华,等.云南突发性特大暴雨过程成因分析[J].高原气象,2013,32(4):1062-1073.
- [4] 陈伟斌,翟舒楠,韩慎友,等.一次沿海局地特大暴雨的集合敏感性分析[J].气象研究与应用,2019,40(1):11-15.
- [5] 何立富,陈涛,周庆亮,等.北京“7·10”暴雨 β -中尺度对流系统分析[J].应用气象学报,2007,18(5):655-665.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 张晓美,蒙伟光,张艳霞,等.华南暖区暴雨中尺度对流系统的分析[J].热带气象学报,2009,25(5):551-560.
- [9] 冼星河,张玮,陈楚梦.新型观测数据在东莞一次大暴雨过程中的综合应用[J].气象研究与应用,2021,42(2):63-67.
- [10] 马志敏,朱莉,连钰,等.云南两次局地暴雨过程水汽输送特征分析[J].中低纬山地气象,2021,45(6):50-58.
- [11] 郭虎,段丽,杨波.“0679”香山局地大暴雨的中小尺度天气分析[J].应用气象学报,2008,19(3):265-275.
- [12] 汪海恒,张曙,伍志方,等.2019 年韶关“5·18”局地特大暴雨极端性成因分析[J].热带气象学报,2021,37(1):49-60.
- [13] 杨芳园,潘娅婷,邹灵宇,等.昆明市两次局地短时暴雨过程对比分析[J].云南大学学报(自然科学版),2021,43(5):953-963.
- [14] 王坚红,杨艺亚,苗春生,等.华南沿海暖区辐合线暴雨地形动力机制数值模拟研究[J].大气科学,2017,41(4):784-796.
- [15] 叶桂苓,张宇,徐建军,等.阳江复杂地形对特大暴雨影响机理的数值研究[J].热带气象学报,2022,38(1):133-144.
- [16] 吴庆梅,杨波,王国荣,等.北京地形和热岛效应对一次 β 中尺度暴雨的作用[J].气象,2012,38(2):174-181.

Cause mechanism and numerical model error analysis of ‘6·16’ heavy rain in mountainous area of Fangchenggang in Guangxi

Chen Shaohe, Jiang Chengzhi, Lin Wenhua, Zeng Qi, Peng Guanggu

(Fangchenggang Meteorological Bureau, Fangchenggang Guangxi 538001, China)

Abstract: Based on the data of $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ NCEP reanalysis, Guangxi surface automatic weather station, ECMWF_HR and Doppler weather radar, the causes and numerical model errors of the heavy rain on June 16 in mountain area of Fangchenggang in Guangxi were discussed and analyzed. The results show that: (1) There is no shortage of water vapor and energy in the rainstorm process, but the large-scale circulation background is weak, especially with the very weak ascending motion condition. Under the above conditions, it is very difficult to predict the magnitude of heavy rainfall; (2) and the surface mesoscale convergence line. (3) The formation mechanism of this process is that in the high-temperature and high-humidity environment field, the southwesterly wind on the offshore surface increases and the winds in the mountain area gradually turns to the northerly in the morning. A surface mesoscale convergence line is therefore formed on the south side of the rainstorm area to trigger initial convection. The low-level southwest jet continues to provide water vapor and unstable energy, and the mesoscale convergence line maintains for a long time to provide strong upward motion conditions, which continuously triggers the new generation of small and medium-scale convective echoes. Under the guidance of southwest airflow, the train effect is continuously formed through the rainstorm area, resulting in the occurrence of heavy rainstorm. (4) Both subjective and objective rainfall forecast cannot predict this process, and ECMWF_HR large-scale circulation situation forecast has a slight deviation. Therefore, forecaster should pay more attention to the use of high temporal and spatial resolution data in the operation, and analyze whether there is a small-scale or medium-scale system through the mesoscale analysis, so as to release the forecast and early warning in advance.

Key words: shiwandashan mountain; severe rainstorm; genetic mechanism; model error