

彭定宇, 刘国忠, 何启玄. “23·6”北海极端暴雨特征与成因分析[J]. 气象研究与应用, 2023, 44(4): 59–63.

PENG Dingyu, LIU Guozhong, HE Qixuan. Analysis of characteristics and causes of the “23·6” extreme rainstorm in Beihai [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(4): 59–63.

“23·6”北海极端暴雨特征与成因分析

彭定宇¹, 刘国忠², 何启玄¹

(1.北海市气象局, 广西 北海 536000; 2.广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 利用地面、高空气象观测资料、欧洲中期天气预报中心(ECWMF)0.25°×0.25°模式、风云气象卫星(FY-4)遥感信息、双偏振多普勒天气雷达探测数据等资料,对2023年6月7—10日北海暴雨过程的极端性特征与成因进行分析。结果表明:(1)此次暴雨过程由两个阶段的短时强降水组成,具有阶段性雨强大、过程降雨量大、强降雨集中等显著极端性特征。(2)高层辐散、中层副高位于两广交界、低层偏南急流强、季风低压停滞少动及地面弱冷空气入侵是极端暴雨形成的主要天气系统。(3)极端暴雨主要是由中尺度对流系统造成,云团稳定少动,对应的雷达回波为层积混合型降水回波,“列车效应”和低质心强回波长时间维持是造成极端降雨的直接原因。(4)风廓线 VWP 产品超低空急流的形成对强降水有一定的指示作用。

关键词: 极端暴雨;降雨特征;成因分析

中图分类号: P458.1+21.1

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.4.09

暴雨是我国常见的灾害性天气之一^[1],极易引发山洪、泥石流、山体滑坡、城市内涝等灾害,给人民群众生命和财产安全带来极大威胁。全球气候变暖背景下,极端暴雨天气事件频发,其成因机理与预报服务方法一直是天气预报的重点和难点,因此对其研究成为各方关注的热点。目前对极端暴雨的成因展开了许多研究,2012年北京“7·21”和2021年河南郑州“7·20”极端暴雨事件均具有一定的代表性,对其从不同角度的研究取得系列研究成果^[2-8]。周云霞等^[9]研究2019年广西靖西市极端暴雨时发现,低质心降水回波产生的“列车效应”是造成极端暴雨的直接原因。李向红等^[10]分析表明2022年桂林“龙舟水”暴雨触发与低空急流加强、切变线、低涡系统的控制以及副热带高压加强有关。黄芳等^[11]总结极端低空急流下,低层强烈辐合高层强烈辐散、深厚正涡度柱及充沛水汽是极端暴雨形成的重要原因。张丁丁等^[12]研究2020年广西南宁一次极端暴雨特征发

现,极端暴雨过程发生前高温高湿高能区及深厚湿度层配合不稳定层结,非常有利于极端暴雨的发生。这些研究成果对于提高广西暴雨特别是极端暴雨天气预报水平具有很好的借鉴和促进作用。

2023年6月7—10日,广西北海市连续2 d出现特大暴雨的极端暴雨天气,打破当地多项降水历史极值并引发严重洪涝灾害。本文研究此次极端暴雨过程特征及成因,以加深此类极端暴雨的认识,为今后类似极端暴雨预报提供参考思路。

1 资料与方法

本文采用中国气象局气象信息综合分析处理系统(MICAPS)地面、高空常规气象观测资料、0.25°×0.25°水平分辨率的欧洲中期天气预报中心(ECWMF)模式资料、逐小时区域自动站观测资料、风云气象卫星FY-4观测资料、双偏振多普勒天气雷达资料等资料。

收稿日期: 2023-11-25

基金项目: 中国气象局气象能力提升联合研究专项(22NLTSY011)、中国气象局复盘总结专项项目(FPZJ2023-095)、广西气象科研计划创新平台专项(桂气科 BNCO-S202305)

第一作者简介: 彭定宇(1990—),男,工程师,主要从事中短期天气预报服务。E-mail:405966290@qq.com

2 结果与分析

2.1 降水特征分析

2023 年 6 月 7 日 08 时—10 日 20 时,广西北海市出现极端持续性暴雨天气,强降水主要分布在北海市南部,连续 2 d 出现特大暴雨。据统计,过程累积降雨量 500 mm 以上有 18 个气象观测站点(以下简称站点,北海共计 53 个站点),250 mm 以上有 41 个站点,最大累积降雨量出现在铁山港石头埠国家气象观测站(以下简称石头埠站)达 820.5 mm(见图 1)。过程降水主要集中在两个阶段:(1)7 日 22 时—8 日 11 时,雨强大于 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的有 14 个站次,最强达到 $59.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$;累积降雨量大于 250 mm 有 11 个站点,其中最大累积降雨量出现在北海站达 392.5 mm。(2)8 日 20 时—9 日 08 时,此阶段降雨强度最大,极端短时强降水最多,雨强大于 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 有 31 个站次,最强达到 $119.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$;累积降雨量大于 250 mm 有 7 个站点,其中最大累积降雨量出现在石头埠站达 542.6 mm,历时降雨量打破北海市多项历史极值,最大 3 h 雨量 272.3 mm(9 日 01—04 时),打破北海市历史极值(243.7 mm);最大 6 h 雨量 440.5 mm(8 日 22 时—9 日 04 时),打破广西历史极值(427.6 mm);最大 24 h 雨量 614.7 mm(8 日 05 时—9 日 05 时),打破北海市历史极值(585.7 mm)。可见,本次极端暴雨天气过程具有小时降雨强度大、累积降雨量大,强降雨集中等显著极端性特征。

2.2 环流背景分析

暴雨过程期间,亚洲中高纬 500 hPa 环流呈现两槽两脊型,贝加尔湖一带为强高压脊,鄂霍次克海

为弱的高压脊,两低槽分别位于西西伯利亚和我国东北地区,东槽槽线向南延伸至长江中下游一带。6—7 日,云南附近有大陆高压少动,西太平洋副热带高压(副高)588 dagpm 线长时间维持在两广交界处,受 588 dagpm 线边缘偏南气流影响,季风低压从海南岛东部西移到北部湾海面后一直往北抬到北部湾北部海面,8—9 日其中心进一步北抬,并在桂南沿海一带停滞徘徊,此时 588 dagpm 线明显东退到西太平洋,季风低压处于两高之间,无明显的引导气流导致季风低压在桂南沿海长时间停滞少动。

7—10 日,200 hPa 南亚高压控制中国大陆南方地区到南海北部,桂南上空均为西北风和东北风形成的反气旋环流分流辐散区,有利于低层辐合上升运动发展。

7 日 850 hPa 季风低压有闭合环流在桂南到海南岛北部,广东有一支偏东南气流,风速较大($10 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$);8—9 日 850~925 hPa 季风低压闭合环流在桂南沿海稳定维持,偏南风加大成急流,风速最大达 $12 \sim 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,850 hPa 以下边界层内持续偏南急流给桂南地区输送丰沛的水汽和充足的不稳定能量,稳定的水汽和不稳定能量供给有利于长时间强降雨的维持。

从地面形势分析,7—10 日,西南地区冷高压控制,除了桂南沿海外,广西以东北到偏北风为主,显示有弱冷空气侵入,桂南季风低压处于均压场下基本维持少动,叠加冷空气的触发极有利于极端暴雨出现。

2.3 物理量场分析

文中采用 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 水平分辨率的 ECWMF 模式资料初始场对本次极端暴雨天气过程的物理量进行分析。

2.3.1 水汽条件

强降水发生期间,低层 850 hPa 有一条来自印度洋的西南急流水汽通道向桂南沿海一带输送水汽。7—9 日 850 hPa 北海上空对应的水汽通量均在 $18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,整层可降水量 $\geq 70 \text{ mm}$ 。其中 8—9 日整层可降水量在 80 mm 以上(图 2),与暴雨区相对应存在水汽通量散度辐合区位于北海上空,其辐合中心 $\leq -8 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 3),2 d 辐合区位置基本重叠,配合充沛稳定持续的水汽条件有利于强降雨的形成。

2.3.2 热力条件

过程期间,7—8 日 K 指数 $\geq 35^\circ \text{C}$,有一定的热

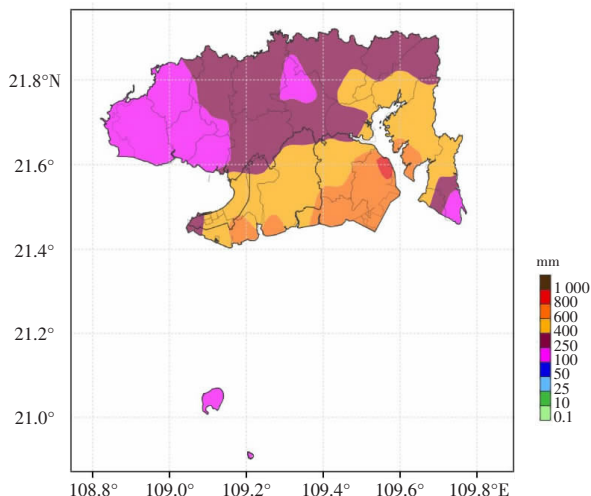


图 1 7 日 08 时—10 日 20 时北海市累积降水量(单位:mm)分布图

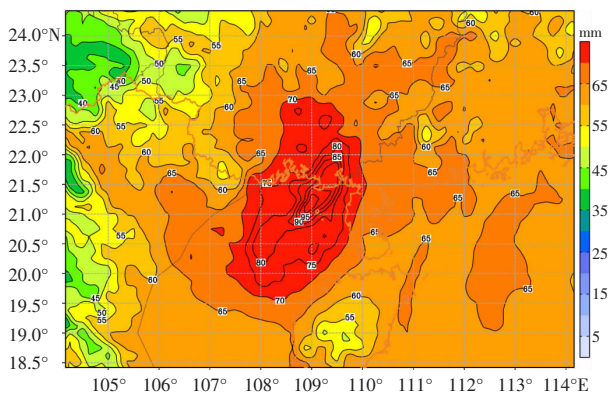
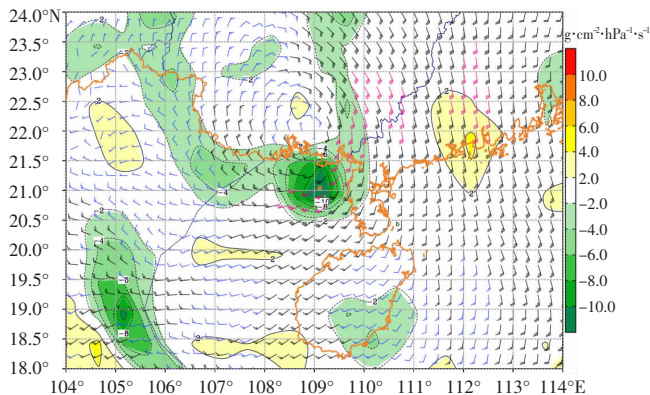


图2 2023年6月8日08时850 hPa可降水量(单位:mm)

图3 2023年6月8日08时850 hPa水汽通量散度
(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

力不稳定条件。7—9日08时CAPE值为300左右,晚上升到1000以上,表明白天有不稳定能量的积累,晚上有不稳定能量的释放,而本次暴雨天气过程强降水时段主要出现在夜间,白天降水减弱,跟CAPE值的变化基本吻合。

2.4 中尺度特征分析

2.4.1 对流云图演变特征

分析FY-4红外云图云顶亮温(TBB)演变可见(图4),7日10时华南沿海地区有两块中 α 尺度对流云团分别位于北部湾海面及粤西沿海一带。7日11—14时北部湾海面对流云团不断往北移动,逐渐进入北海上空,粤西沿海对流云团原地逐渐减弱消散,部分云团分裂西移与北抬的北部湾海面对流云团在北海上空合并,TBB降低,对流活动增强,7日15时对流发展达到最强,TBB有多个低于 -75°C 的负值中心,北海对应有大于 $50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的短时强降水但持续时间不长。7日17时对流云团迅速减弱,北海降水明显减弱。7日22时重新发展,对流云团面积扩大,TBB降低。7日23时—8日08时,对流云团逐渐发展为近椭圆形,结构更为紧密,组织性得

到加强,TBB长时间维持在 -70°C 以下,北海多个站点多个时段出现大于 $40\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降水。8日12时,随着对流云团减弱西移,北海第一阶段强降水基本趋于结束。8日21时,北海原地有中 β 尺度对流云团快速发展壮大,对流云团中心基本在北海上空稳定少动。9日03时已经发展为长轴约250 km成熟的椭圆形中 α 尺度对流云团,位于北海铁山港区附近的TBB负值中心达到 -80°C ,铁山港区内出现3个站点大于 $100\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的极端强降水,降雨强度达到过程最强。9日04—05时,TBB负值中心仍位于北海南部,附近区域小时雨强在 $50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上。9日06时开始,对流云团主体逐渐东北移动并分裂,北海上空TBB逐渐增大,对流减弱,第二阶段强降水基本趋于结束。

以上分析表明,此次极端暴雨主要是由中 α 尺度和中 β 尺度对流系统造成,且云团位置在北海上空稳定少动,加上充沛的水汽供给和极低的TBB,是北海出现此次极端暴雨的重要原因。

2.4.2 雷达回波演变特征

7日22时—8日11时,随着低压北上移入北海

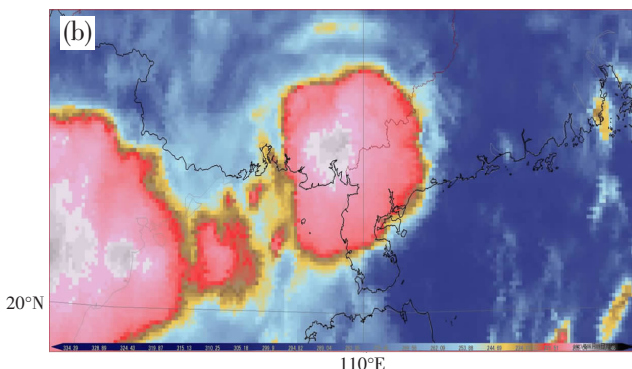
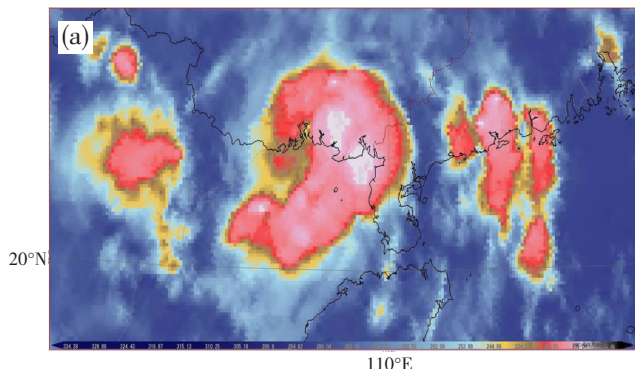


图4 FY-4红外云图

(a)8日03:19;(b)9日02:53

境内, 低压东南侧强风速切变区不断有螺旋状回波带出现, 雷达回波主要表现为层积混合型降水回波, 其中北海站附近反射率因子在 50 dBZ 以上, 径向速度图上有东南风和偏东风辐合, Z_{DR} 在 1~3 dB 之间, CC 在 0.97 以上, K_{DP} 在 $1\sim3^{\circ}\cdot\text{km}^{-1}$ 之间, 均有利于强降水的产生。受低压东侧螺旋型雨带影响, 源源不断有回波生成并往北海方向移动, 产生“列车效应”。对北海站南部强回波带沿着东北至西南走向做反射率因子剖面可以看出, 反射率因子大于 50 dBZ 区域接地, 且延伸高度均小于 6 km, 位于 0 °C 层高度以下, 属于低质心强降水回波, 降水效率高, 持续长时间影响形成强降水, 小时雨强为 $20\sim60\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

8 日 20 时—9 日 09 时, 低压稳定少动, 强度减弱, 但受低压南部暖切的影响仍有对流云团发展, 其中铁山港区石头埠站反射率因子在 50 dBZ 以上, 径向速度图上有汇合, 为辐合流场, Z_{DR} 在 1~2 dB 之间, CC 在 0.97 以上, K_{DP} 在 $2\sim4^{\circ}\cdot\text{km}^{-1}$ 之间, 均有利于强降雨的产生。受“列车效应”影响, 铁山港区和合浦县东部出现极端强降水, 小时雨强在 $50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上的强降水持续 3~5 h, 最长持续时间出现在石头埠站, 从反射率剖面图可以看出, 8 日 20 时—9 日 08 时该站附近的低质心强降雨回波明显强于 7 日 22 时—8 日 11 时的回波, 时段对应的石头埠站累积降雨量也明显偏大。

综上所述, 本次过程雷达回波为层积混合型降水回波, “列车效应”与低质心强回波长时间维持是造成极端降雨的直接原因。

2.4.3 多普勒雷达风廓线产品

风廓线 VWP(VAD WIND PROFILE) 产品为多普勒雷达的 48 号产品, 它是用雷达每个体扫资料在不同高度上通过 VAD 技术得到该高度上的风向风速^[13]。VWP 产品可实时提供观测站高空风随时间的变化。夏文梅等^[14]分析降水过程中 VWP 产品特征, 发现 VWP 产品反演的风场总体上是可信的; VWP 产品常用于分析急流的变化, 冷暖平流的变化及空气湿度的变化等^[15]; 刘淑媛等^[16]研究发现华南大暴雨常伴有低空急流的加强过程。

对此次强降水过程分析, 7 日 VWP 产品 0.3~5.0 km 主要为东到东南风, 低层 300 m 基本维持 $8\sim10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南风, 7 日 22:26 开始 300 m 东南风逐渐加大, 最大达 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 加强为超低空急流, 而实况强降水在 7 日 22 时起有加强的趋势, 超低空急流的形成与强降水实况基本吻合, 可以判断超低空急

流的形成对强降水有一定的指示作用。

3 结论

利用常规气象观测、 $0.25^{\circ}\times0.25^{\circ}$ 水平分辨率 ECWFM 模式、逐小时区域自动气象站观测、FY-4 卫星遥感、双偏振多普勒天气雷达探测等资料, 对北海“23·6”极端暴雨过程分析, 得到以下主要结论:

(1) 此次暴雨过程由两个阶段的短时强降水组成, 具有雨强大、过程累积雨量大、强降雨集中等显著极端性特征。

(2) 高层辐散、中层副高位于两广交界、低层偏南急流强、季风低压停滞少动及地面弱冷空气入侵是此次极端暴雨形成的主要天气系统。

(3) 极端暴雨主要由中尺度对流系统造成, 云团稳定少动, 对应的雷达回波为层积混合型降水回波, “列车效应”与低质心强回波长时间维持是造成极端降雨的直接原因。

(4) 风廓线 VWP 产品超低空急流的形成对强降水有一定的指示作用。

参考文献:

- [1] 李泽椿. 我国的气象灾害及科学防灾减灾[J]. 中国应急管理, 2007(7): 22-27.
- [2] 湛芸, 孙军, 徐珺, 等. 北京“7·21”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): 1 255-1 266.
- [3] 孙军, 湛芸, 杨舒楠, 等. 北京“7·21”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): 1 267-1 277.
- [4] 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.
- [5] 雷蕾, 孙继松, 何娜, 等. “7·20”华北特大暴雨过程中低涡发展演变机制研究[J]. 气象学报, 2017, 75(5): 685-699.
- [6] 栗仑, 王新敏, 张霞, 等. 河南“7·19”豫北罕见特大暴雨降水特征及极端性分析[J]. 气象, 2018, 44(9): 1 136-1 147.
- [7] 齐道日娜, 何立富, 王秀明, 等. “7·20”河南极端暴雨精细观测及热动力成因[J]. 应用气象学报, 2022, 33(1): 1-15.
- [8] 张霞, 杨慧, 王新敏, 等. “21·7”河南极端强降水特征及环流异常性分析[J]. 大气科学学报, 2021, 44(5): 672-687.
- [9] 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.
- [10] 李向红,张雅昕,周希源,等.2022年桂林“龙舟水”降水特征及形成机制分析[J].气象研究与应用,2023,44(1):26–32.
- [11] 黄芳,刘国忠,黄增俊,等.“22·06”广西极端暴雨过程低空急流作用[J].气象研究与应用,2023,44(3):1–8.
- [12] 张丁丁,黄莉,周琰,等.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.
- [13] 叶爱芬.多普勒雷达 VWP 产品在一次大暴雨过程中的特征[J].广东气象,2007(1):19–21.
- [14] 夏文梅,陈楠,程婷,等.降水过程中多普勒天气雷达风廓线产品特征[J].气象,2008,34(10):22–26.
- [15] 王君.郑州一次暴雨过程的多普勒雷达风廓线产品特征分析[J].高原山地气象研究,2018,38(3):85–90.
- [16] 刘淑媛,郑永光,陶祖钰.利用风廓线雷达资料分析低空急流的脉动与暴雨关系[J].热带气象学报,2003,19(3):285–290.

Analysis of characteristics and causes of the "23·6" extreme rainstorm in Beihai

PENG Dingyu¹, LIU Guozhong², HE Qixuan¹

(1.Beihai Meteorological Bureau, Guangxi Beihai 536000, China;

2.Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

Abstract: The extreme characteristics and causes of the rainstorm in Beihai during June 7–10, 2023 are analyzed by using MICAPS ground and high-altitude conventional meteorological observation data, ECWMF model data with $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ resolution, FY-4 satellite data, dual polarization Doppler weather radar detection. The results show that: (1)The rainstorm is dominated by sustained short-term heavy rainfall, with significant extreme characteristics in terms of strong rainfall, large accumulated rainfall, and long duration of heavy rainfall. (2)The main weather systems responsible for the formation of the extreme rainstorm are the upper-level divergence, the mid-level subtropical high located at the junction of Guangdong and Guangxi, the strong low-level southerly jet, the stagnant monsoon depression and the invasion of weak cold air on the ground. (3)The extreme rainstorm is mainly caused by the mesoscale convective system. The cloud cluster is stable and less dynamic, and the corresponding radar echoes are the stratocumulus-mixed precipitation echoes. The "train effect" and the long-term maintenance of the low centroid strong echo are the direct causes of extreme rainfall. (4)The formation of the ultra-low-altitude jet stream on the wind profile VWP product is indicative of heavy precipitation.

Key words: extreme rainstorm; rainfall characteristics; cause analysis