

唐文,刘国忠,覃月凤,等.台风“暹芭”引发广西极端强降水成因分析[J].气象研究与应用,2024,45(2):126-133.

TANG Wen, LIU Guozhong, QIN Yuefeng, et al. Analysis of the causes of extreme rainfall in Guangxi caused by typhoon “CHABA” [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(2): 126-133.

## 台风“暹芭”引发广西极端强降水成因分析

唐文,刘国忠\*,覃月凤,梁存桂,苏洵

(广西壮族自治区气象台 南宁 530022)

**摘要:**利用多源气象资料,对2022年第3号台风“暹芭”影响广西极端强降水成因进行分析。结果表明:(1)台风“暹芭”影响广西降雨具有累计雨量及日雨量大、范围广,短时强降水范围广、强度强、维持时间长及极端性强、灾害重等特征。(2)台风“暹芭”登陆及进入广西强度强,在广西停留时间长,自南向北贯穿广西东部的罕见路径是导致降水极端的主要原因。台风本体和季风卷入给强降雨区提供丰沛的水汽和能量,本体环流、低空急流风速辐合、海陆差异、地形抬升、地面和边界层明显中尺度辐合线共同作用形成的强烈上升运动是产生极端强降水的动力机制。(3)台风云系内存在明显中尺度对流系统 MCS 活动,形成超级单体风暴,是强降雨产生的直接原因。暖云层深厚,强雷达反射率位于5 km以下,直径大且密集降水粒子形成高的降水效率,是产生短时强降水的重要因素。(4)业务预报中,加强分析多途径的水汽来源、各种天气系统特别是中小尺度天气系统对台风降水的增幅作用,是台风极端强降水预报着眼点。

**关键词:**台风;极端暴雨;极端短时强降水;中尺度对流系统

**中图分类号:** P429

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.2.21

台风是夏季影响我国的重要天气系统,每年都会给我国中东部沿海地区带来严重的风雨影响和经济损失,因此我国气象工作者对台风做了大量研究。任福民<sup>[1]</sup>通过对1949年以来影响我国的台风暴雨形成机理和预报进行研究,给出在云微物理、极端降水和预报方法三个研究新方向。张庆池<sup>[2]</sup>等通过雨滴谱方法分析登陆台风不同强度降水特征,指出雨强较小时,以中、小雨滴为主;雨强增大时,大雨滴增多,强降水对应数量较多的大雨滴;造成强降水的主要是由大直径雨滴构成的对流云降水,混合云降水也会形成强降水,层状云降水较弱;对流云降水主要贡献为大直径雨滴。钮学新<sup>[3]</sup>等通过气候统计分析与数值模拟相结合的方法,研究影响热带气旋降水的因素,指出热带气旋强度是影响台风降水中心强度的主要因素之一;地形作用使迎风

坡及降水中心雨量增加,大陆及其近海湿度场对热带气旋降水起到较大影响作用。朱红芳<sup>[4]</sup>等进行数值模拟研究地形对台风降水增幅影响,指出地形对台风的移动路径、强度以及降水分布、强度均有不同程度的影响;不同地形高度下模拟的台风路径及降水分布差异较大,且降水中心强度与地形高度相关性较好,地形对暴雨增幅作用明显;山区地形有利于中尺度辐合线和低涡生成、发展,并有强水汽辐合中心与之相对应;有地形影响时的对流层低层上升运动比无地形时明显加强,对强降水增幅作用显著。广西位于华南地区,是我国遭受台风影响最严重的省份之一,广西气象工作者<sup>[5-7]</sup>对台风做了大量的研究工作。高安宁等<sup>[8]</sup>分析台风“威马逊”近海加强及引发广西异常暴雨成因,指出季风急流辐合加强,促使台风中心附近潜热能持续增大,暖心结

收稿日期:2023-11-02

基金项目:广西自然科学基金项目(2024GXNSFAA010352)、中国气象局气象能力提升联合研究专项(22NLTSY011)、广西气象科研计划项目(桂气科2024M01)

第一作者:唐文(1982-),高级工程师,主要从事中短期天气预报和灾害性天气预报技术研究。E-mail:94095732@qq.com

\*通讯作者:刘国忠(1968-),正高级工程师,主要从事天气预报业务及研究。E-mail:baiselgz@sina.com

构更趋于完整,是“威马逊”强度突然加强的重要原因。李菁和祁丽燕<sup>[9]</sup>认为进入广西的台风有三类路径:沿海型、桂东南型和桂东北型,不同路径进入广西的台风,造成的影响也有所不同。覃武等<sup>[10]</sup>分析台风“山竹”登陆结构变化及造成广西强降水异常分布的成因,认为“山竹”降水分布与低层湿位涡负值区有较好对应。台风降水<sup>[11-13]</sup>多以稳定降水为主,也包含阵性降水,这种阵性降水可能反复多次出现,说明台风暴雨也具有中尺度的性质和结构。各地短时强降雨特征研究表明<sup>[14-21]</sup>,我国东南地区台风降水总的特征是小时降水超过 10 mm 的累积概率为 10%~15%;小时雨量超过 20 mm 阈值的概率极低,但由于降水持续时间长,累积降雨量仍会达到大暴雨或特大暴雨。随着全球气候变暖,极端天气事件多发,台风极端降水也越来越明显,台风降水也逐渐出现极端的短时强降雨,雨强达到 60~80 mm·h<sup>-1</sup>,甚至超过 80 mm·h<sup>-1</sup>。目前对台风路径和暴雨研究较多,但对于台风极端强降水特别极端小时强降雨的研究较少。

2022 年第 3 号台风“暹芭”于 7 月 1—4 日先后影响海南、广东、广西、湖南等地,造成严重风雨影响,在影响广西期间造成极端短时强降雨,带来严重的灾害。本文利用多源气象资料,通过天气诊断等方法,对台风“暹芭”极端强降水的成因进行分析,为台风极端强降水预报提供参考。

## 1 资料与方法

(1)利用广西国家基本气象站和区域自动气象站降水资料对台风“暹芭”影响广西期间过程、24 h、6 h 和 3 h 的累积雨量,1 h 雨量大于 20 mm 的短时强降雨实况进行统计分析,得出极端暴雨的分布和强度特征。

(2)使用地面和高空常规资料、1°×1°的 NCEP 再分析资料,分析台风“暹芭”的天气环流背景和环境条件,研究造成台风“暹芭”罕见路径的成因,分析暴雨过程中的大气层结条件和环境场的不稳定性,研究产生极端暴雨的水汽和能量输送来源。

(3)应用 6 h 间隔、空间分辨率为 1°×1°的 NCEP 再分析资料,对极端暴雨过程发生的天气背景进行分析,探讨边界层中小尺度天气系统对暴雨的触发和加强作用;并计算散度、垂直速度、水汽通量、水汽通量散度等物理量,从动力抬升条件、水汽条件对短时强降雨、中尺度对流系统发展变化的动

力条件进行诊断分析。

(4)应用 FY4A 卫星云图资料、广西闪电定位资料和雷达回波资料,对引发广西沿海地区极端短时强降雨的中尺度对流系统的结构及演变特征进行分析。

## 2 台风“暹芭”概况

2022 年第 03 号台风“暹芭”(图 1(a))于 6 月 30 日上午在南海中部生成并向西北方向移动,7 月 2 日 15:00 以台风级(12 级)在广东电白沿海登陆,2 日 22:00 以强热带风暴级(10 级)从广西北流进入广西境内,由南向北贯穿广西东部,3 日 17:00 减弱为热带低压,4 日 08:00 停止编号。残余环流继续北上影响湖南、湖北、安徽、江苏、河南、山东等地,台风“暹芭”移动路径十分罕见,给经过地区带来严重的风雨影响。

受台风“暹芭”影响,7 月 1—4 日广西东部及沿海累计雨量大于 100 mm(图 1(b)),区域自动站累积雨量 100~250 mm 有 349 个,250~400 mm 有 41 个,超过 400 mm 有 2 个,最大为浦北县石埇镇 435.5 mm,最大日雨量出现在 4 日(图 1(c)),最大日雨量浦北县石埇镇 373.4 mm,累计雨量及日雨量大量范围广。

期间,广西小时雨量大于 20 mm·h<sup>-1</sup>短时强降雨 494 站次,雨强 20~50 mm·h<sup>-1</sup> 449 有站次,50~80 mm·h<sup>-1</sup> 有 33 站次,80~100 mm·h<sup>-1</sup> 有 9 站次,大于 100 mm·h<sup>-1</sup> 有 3 站次,钦州市钦南区犀牛脚镇平山站 4 日 02:00—03:00 雨量为 137.6 mm,超过钦州市历史极值,短时强降雨主要在广西的南部,大于 50 mm·h<sup>-1</sup> 极端短时强降雨<sup>[14]</sup>位于沿海至东南部一带,短时强降雨的范围广、强度强。分析过程最大雨量浦北县石埇镇的小时雨量时间序列发现,强降雨主要集中在 4 日 10:00—14:00,连续 4 h 达 50 mm·h<sup>-1</sup> 极端小时强降雨,短时强降雨强度大、维持时间长。

此外,钦州市钦南区犀牛脚镇平山站最大 1 h 降雨量为 137.6 mm(4 日 02:00—03:00),最大 3 h 降雨量为 311.7 mm(4 日 00:00—03:00),最大 6 h 降雨量为 368.7 mm,降水具有极强的极端性。

## 3 天气环流背景

6 月底南海到西北太平洋海面热带辐合带明显活跃,辐合带上有多低值系统发展,30 日上午南海中部低值系统发展成为台风“暹芭”,与此同时,

在台湾东面的西太平洋上的低值系统发展为第4号台风“艾利”,由于“艾利”的影响,500 hPa副热带高压(以下简称副高)主体位于 $140^{\circ}\text{E}$ 以西,距离台风位置较远,对台风“暹芭”的引导作用弱。

7月2日08:00(图1(b)),随着台风“暹芭”靠近广东近海,500 hPa在湖南、湖北到长江中下游一带可以分析出586 gpdm高压带,呈东西向带状分布,588 gpdm高压带也加强西伸到 $120^{\circ}\text{E}$ 附近,台风“暹芭”位于高压带西南侧,受偏东南风气流引导及其自身内力作用下,向西偏北移动。2日15:00在广东电白沿海登陆(图1(a)),登陆时强度为台风级(12级)。登陆后,随着500 hPa中高纬度槽从我国西部地区逐渐东移,受其影响长江中下游一带的高压带减弱,导致“暹芭”引导气流减弱,在自身内力和弱引导气流作用下转向西北方向移动,于2日22:00以强热带风暴级(10级)从玉林北流进入广西(图1(c)),台风结构依然完整,850 hPa台风本体周围风速在 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,其中东侧的最大偏南风达 $28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,从北部湾到“暹芭”南侧存在西南急流。随着台风“暹芭”深入广西内陆(图1(d)),副高有所东退,脊线稍有南压,高原东部高空槽东移与台风“暹芭”北侧倒槽结合,使“暹芭”转向偏北移动,在广西东部自南向北贯穿广西,这是影响广西的罕见台风路径,造成3日广西东部出现大到暴雨,局地大暴雨到特大暴雨的强降水,降水主要位于台风中心附近区域,为台风本体降水,降雨最大为玉林北流沙垌丹花气象观测站266.4 mm,强降雨范围扩大、强度增强。

3日20:00到4日20:00,虽然台风环流及季风卷入有所减弱,但台风结构依然完整(图1(e)),台风“暹芭”南侧存在明显的台风槽,在850 hPa风场上,从广西沿海到广西东北部有西北风与东南风辐合,在3日20:00到4日08:00,东南风加大到 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,在地面天气图上可以看到(图1(f))在沿海地区也有明显的辐合线,触发对流云团进一步发展加强,因而导致4日出现桂东北和沿海地区以大暴雨到特大暴雨的集中强降雨区,其中钦州浦北石埇油滩气象观测站出现373.4 mm的降雨,沿海地区出现日雨量和小时雨强极端强的降水,该阶段降水主要出现在台风中心的西南向区域。

## 4 物理机制分析

降雨发生的物理机制表明,降水是由湿空气抬升凝结产生的,一个地点的降水率( $R$ )正比于垂直

水汽通量( $wq$ ),其中 $w$ 是上升气流速度, $q$ 是上升空气的比湿。高的降水率由高的水汽含量和强的上升速度决定。当有高的降水效率时,降水能持续较长时间,就会造成强降雨天气。

### 4.1 水汽与能量机制

该次过程中,除台风本身携带大量水汽,带来本体降水外,台风登陆后,季风明显卷入,将南海水汽向广西地区输送,使水汽得到不断补充,维持降水持续。

分析7月3日20:00广西6个探空站资料发现,850 hPa上广西比湿大于 $14\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,其中沿海地区比湿大于 $16\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,水汽含量十分充足,夜间水汽逐渐增加,到4日08时,随着低空急流加强,广西沿海地区比湿达到 $18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,远超广西产生暴雨的阈值 $12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,是这次极端性降水成因之一。产生暴雨需空气中含有充足的水汽外,还需要有水汽的输送,随着850 hPa低空急流加强,有利于水汽向广西地区输送,从3日20:00 925 hPa和850 hPa水汽通量场(图略)可以看到,从中南半岛到华南沿海为明显的水汽输送通道,水汽通量达到 $28\sim 30\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ,使得水汽源源不断地向华南地区输送,充足的水汽输送是暴雨能长时间持续的重要条件。

强降雨主要位于广西沿海至桂东南一带,北海探空站为距离强降雨区最近的探空站,基本可以反映暴雨区大气状况。分析7月3日20:00北海探空站T-LogP图(略)可以看出,广西沿海地区上空气层湿层深厚,850 hPa比湿达 $16\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,925 hPa比湿达 $21\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,低层水汽含量充足。对流有效位能CAPE值达到 $4\,115.4\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,能量十分充足。抬升指数为 $-5.7^{\circ}\text{C}$ ,K指数为 $37.8^{\circ}\text{C}$ ,300 hPa以下大气为对流不稳定层结,不稳定层结深厚,气层同时满足对流不稳定性和条件不稳定性。抬升凝结高度313 m,气层受到抬升作用时很容易到达饱和,潜热释放有利于自由对流的发生。可见,强降水发生之前,强降雨区有深厚充足的水汽、巨大的对流有效位能,大气处于不稳定状态,有低的抬升凝结高度,这些为强降水的发生提供有利水汽和能量条件。

### 4.2 动力机制

水汽要凝结成雨水,需要抬升到凝结高度以上,致使这种抬升的可以是中低层的天气尺度和中尺度辐合抬升作用,也可以是一些中尺度系统的对流抬升作用。台风登陆进入广西后,受台风本体环流等影响,广西为辐合上升气流,随着西南季风气



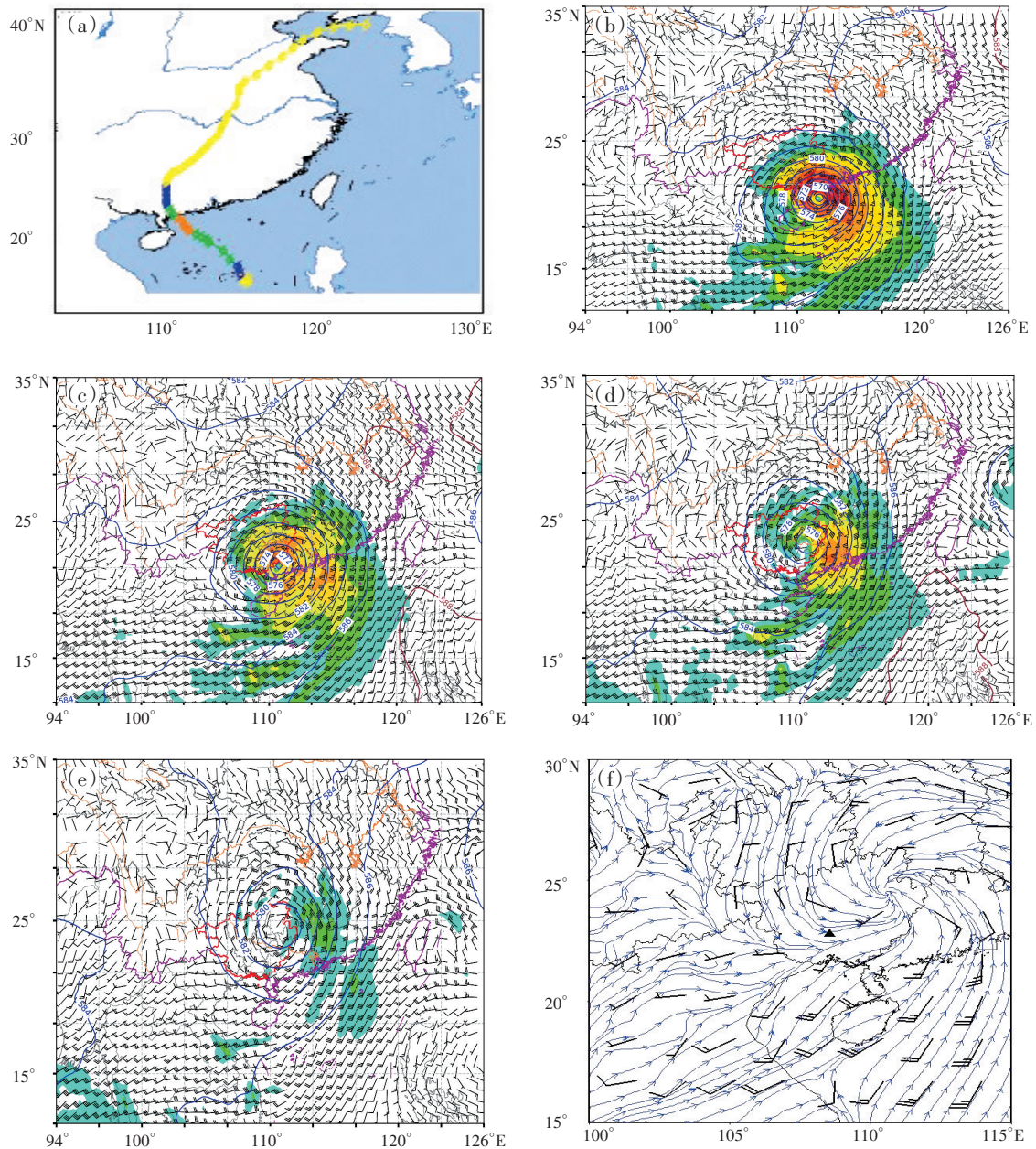


图1 (a)台风“暹芭”移动路径图,2022年7月2日08时(b)、2日20时(c)、3日08时(d)、3日20时(e)、500 hPa 高度场(单位:gdpm)和850 hPa 风场综合图(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), (f)2022年7月3日20时地面流场

流加强后这种辐合进一步加强。从7月3日20:00 850 hPa风场(图略)和地面风场(图略)可以看到,广西沿海地区有明显的辐合线发展,中尺度辐合线缓慢北抬,对流系统也缓慢北抬东移。850 hPa散度场(图2(a))可以看出,除台风中心桂东附近的强辐合区外,在北部湾北部到广西中南部也有一个明显的辐合区,辐合中心位于广西钦州到南宁一带,这种低层辐合强迫空气抬升,在700 hPa形成强烈的垂直上升速度(W)区(图2(b)),除台风中心附近存在

上升中心外,北部湾到广西沿海地区为明显上升运动中心,强烈的上升气流使暖湿空气凝结成雨水,潜热释放使得对流云团得到发展,形成正反馈机制,这种正反馈机制,为短时强降水的发生提供持续动力条件。4日08:00强降雨区随辐合线北抬,4日14:00后,中尺度辐合线逐渐减弱消失,对流云团也迅速减弱,降水减弱停止。可见,中尺度辐合线抬升触发对短时强降水的发生发展、增强和消亡都有重要作用。

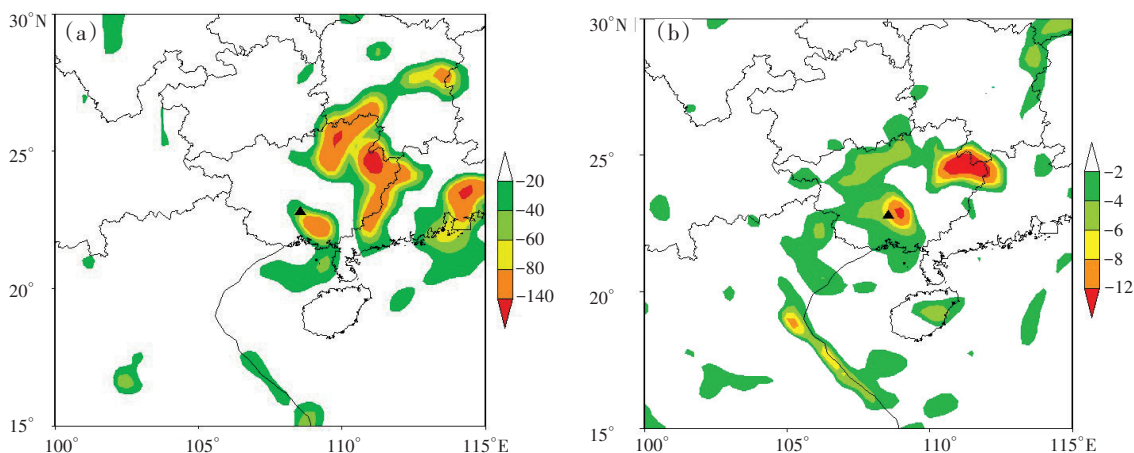


图2 (a)2022年7月3日20时850 hPa散度场(单位: $10^{-5}\text{s}^{-1}$ ), (b)2022年7月3日20时700 hPa垂直速度场(单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ )。

## 5 中尺度对流系统特征分析

### 5.1 卫星云图特征

此次台风过程中最强的短时强降水主要出现在7月4日00:—12:00, 大于 $100\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的3个站点和大部分大于 $80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的站点都出现在这个时段, 因此主要分析7月3日20:00到4日11:00FY4A红外卫星云图和地面闪电分布图(图3), 由此可以看到, 台风在广东登陆后进入广西, 由于陆地的摩擦作用, 台风中心区域对流云系发展逐渐减弱, 很少有闪电活动, 但仍有螺旋结构, 对应时次的风场上有闭合的气旋性环流。在台风南侧广西沿海一带, 不断的有中尺度对流系统(MCS)生成发展, 对流发展十分旺盛, 闪电非常活跃。

7月3日20:00(图3(a)), 对流云系主要位于广西沿海一带, 为一长椭圆形MCS, 发展旺盛, 云顶亮温 $220\text{ K}$ , 云团中心有大量闪电活动, 主要为负闪, 在北海、玉林到广东湛江一带。台风中心的桂林、贺州、梧州一带为松散的云系, 闪电不明显, 但云系有明显的螺旋特征。在孟加拉湾到中南半岛地区季风云系十分活跃, 并不断向华南地区移动, 强劲的季风为强降水长时间维持提供了源源不断的水汽和能量补充。此外, 在越南北部有4个云团在活动, 并且有与广西沿海的对流云团合并的趋势。23时(图3(b)), 广西沿海的MCS向东移动, 低亮温区东移到广东湛江, 而这时在该MCS的西端又有新的对流单体开始发展, 从闪电观测资料可以看到, 在新生发展的对流单体上闪电非常频繁, 并且出现较多的正闪, 这反映该对流单体正在强烈的发展。而越南北部的季风云团也逐渐移近, 即将合并, 这也

会使得该对流单体发展得更加迅速、强大。4日02:00(图3(c)), 季风云团合并到该对流云团, 使得对流云团脱离原来的对流系统而发展成为一个新的MCS, 该MCS发展得比前一个对流系统更加强盛, 云顶亮温低至 $190\text{ K}$ 。该MCS在02:00—03:00之间达到最强盛时段, 从闪电观测上看, 广西防城港、钦州、北海一带出现十分密集的闪电, 并且主要以正闪为主, 在偏北区域也有出现大量闪电活动, 但主要是负闪。因而在这个时间段出现一个短时强降水的高峰期, 钦州市钦南区犀牛脚镇平山站出现 $137.6\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降水。该MCS到05:00—06:00开始减弱(图3(d)), 07:00—08:00, 在南侧开始有新的对流单体发展(图3(e)), 到09:00—11:00达到最为强盛时段, 形成新的MCS, 主要影响钦州、北海、玉林到广东湛江一带, 该MCS中也出现大量闪电, 并且也以正闪居多, 云顶亮温也低至 $190\text{ K}$ 左右。因此09:00—11:00又出现第二个短时强降水高峰期, 钦州市浦北县石埇镇出现 $125.2\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水, 北海合浦曲樟气象站出现 $105.1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水。

### 5.2 雷达回波特征

为了更细致地探讨引发广西沿海短时强降水的MCS的内部结构特征和多个MCS的发展、合并及其相互作用, 使用北海和防城港的S波段雷达资料进行分析。

从雷达和卫星云图分析, 可以看到从7月3日17:00开始, 广西沿海地区对流云开始发展, 对流单体逐渐合并形成长条带状, 20:00发展成椭圆形云图MCS。对流系统长时间在广西沿海维持, 移动缓慢, 对流系统中不断有MCS发展、合并, 造成广西沿



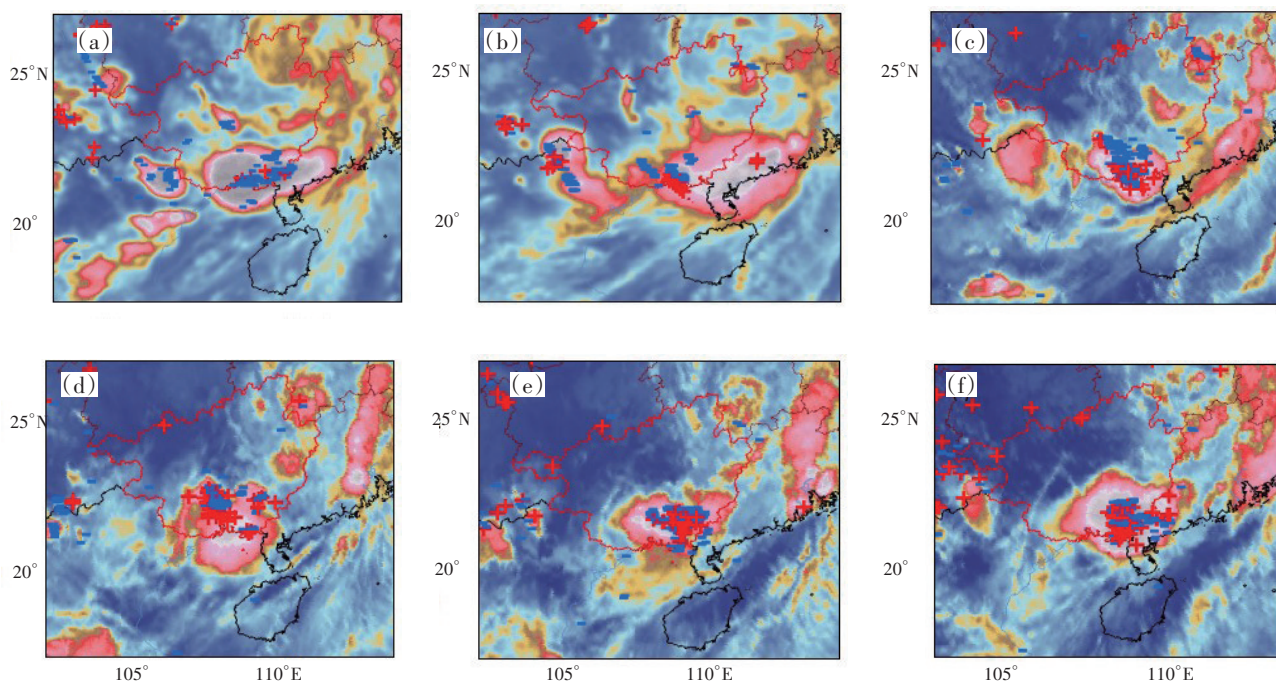


图3 FY4A 红外卫星云图和地面闪电分布图 2022年7月3日20时(a)、3日23时(b)、4日02时(c)、4日05时(d)、4日08时(e)、4日11时(f)

海的短时强降水。从北海雷达 $0.5^\circ$ 仰角基本反射率因子和速度图(略)可见,7月4日01:29在钦州犀牛角附近有钩状回波的对流风暴,抬高仰角可以发现回波悬垂,说明有强烈的上升气流,最大反射率因子接近 $57\text{ dBZ}$ ,在对应时刻速度图上,可以看到有中气旋存在,正速度达到 $26\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,负速度 $9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,中气旋的旋转速度为 $17.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,为中等偏强的中气旋,中气旋持续三个体扫,说明该对流系统已发展成为超级单体风暴,回波顶高 $18\text{ km}$ ,垂直液体水含量达到 $68\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。从7月3日20时北海的T-LogP图上可以看到,广西沿海地区不稳定能量非常充足,CAPE值达到 $4\,115.4\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,湿层深厚,300 hPa以下空气都接近饱和,从边界层到300 hPa都是西南风,风垂直切变比较小,这些都有利于出现强降水。短时强降水是有相对较高的降水率持续相对较长时间造成的,根据云的微物理理论,降水系统中的暖云层越厚,越有利于高降水效率的产生。暖云层厚度可以通过探空曲线进行分析,在抬升凝结高度LCL到融化层高度(大致为 $0^\circ\text{C}$ 层的高度)之间的厚度可以作为暖云层厚度。在7月3日20时北海的探空曲线上可以看到,抬升凝结高度为 $313\text{ m}$ , $0^\circ\text{C}$ 高度为 $5\,548\text{ m}$ ,暖云层厚度为 $5\,235\text{ m}$ ,超过 $5\text{ km}$ 的暖云层厚度非常有利高效率的降水发生。对

7月4日01:29—03:03这段时间内钦州犀牛角地区附近的雷达回波做垂直剖面(图略)能够看到, $5\text{ km}$ 以下的回波强度都在 $40\sim 55\text{ dBZ}$ , $5.5\text{ km}$ 以上的回波迅速减弱到 $35\text{ dBZ}$ 以下,强回波出现在 $0^\circ\text{C}$ 高度层以下,说明对流系统中存在冰雹的可能性非常小,对流风暴都是雨滴粒子构成,并且在暖云层内,回波强度都在 $40\sim 55\text{ dBZ}$ ,说明云层内降水粒子非常密集,致使广西沿海地区出现特别强的短时强降水,钦州钦南区犀牛角镇7月4日02:00—03:00出现 $1\text{ h}$ 为 $137.6\text{ mm}$ 的罕见短时强降水。

由于西南气流的引导作用和风暴新生传播作用,对流系统缓慢向东偏北方向移动,4日8:00,对流系统移动到钦州市东部和北海市北部地区,随后一段时间内的短时强降水也主要集中在该地区。从4日09:29的反射率因子图(略)和速度图(略)可以看到,回波呈现宽带状,强回波主要在风暴移动的前端,回波强度达到 $55\text{ dBZ}$ 。对反射率因子做剖面,回波垂直结构特征与01:29—03:03时段的回波垂直结构相似,强回波主要在 $5\text{ km}$ 高度以下,由高密度雨滴粒子构成。速度图上可以看到,环境风为西南风,最大风速有 $20\sim 24\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,高度为 $1\,300\sim 1\,500\text{ m}$ ,说明广西沿海地区有强盛的低空急流活动,低空急流是为暴雨输送水汽的通道,充足的水汽供应是暴

雨产生的条件之一。在降水已经开始的情况下,可以通过多普勒天气雷达径向速度图监视低空急流的变化,与其它条件相结合,判断降雨是否会继续。低空急流也是对流的抬升触发机制,使对流发展。在西南风的环境风场中,可以看到在钦州东部、北海北部地区有一片逆风区存在,夏茹娣等<sup>[22-24]</sup>研究认为逆风区的出现反映大气流场的一种不均匀性,这种不均匀性造成云的运动速度小于高层风大于低层风,云体运动下风方是低层辐合,高层辐散,形成上升气流,会使得整个对流系统不断维持发展,导致降水量不断增加。逆风区的东北风和环境风西南风的强烈辐合,这种中尺度辐合线一方面使得水汽辐合上升,凝结成雨,另一方面也是新生对流单体的触发机制,使得新的对流单体在辐合线上不断生成,然后合并到对流系统中。强回波带呈东北—西南走向,受西南气流引导缓慢东北移动,使得对流单体不断的经过同一地区,形成“列车效应”,强降水持续较长时间,导致该地区出现短时强降水,因此4日09:00—11:00又出现第二个短时强降水高峰期,钦州市浦北县石埇镇09:00—10:00出现 $125.2\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水,北海合浦曲樟气象站10:00—11:00出现 $105.1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水。

## 6 结论与讨论

(1)台风“暹芭”影响广西降雨具有累计雨量及日雨量大、范围广,短时强降水范围广、强度强、维持时间长及极端性强等特征。台风“暹芭”登陆及进入广西强度强,在广西停留时间长,自南向北贯穿广西东部的罕见路径是导致降水极端的天气环流形势。台风本体及季风卷入给强降雨区提供极端丰沛的水汽和能力来源,低空西南急流风速辐合、海陆差异、地形抬升、地面和边界层明显中尺度辐合线共同作用形成的极端强烈上升运动,是产生极端强水的物理机制。

(2)台风云系内存在明显中尺度对流系统MCS活动,形成超级单体风暴,是强降雨产生的直接天气系统。暖云层深厚,雷达观测强的反射率因子都位于5 km以下,强度在45~55 dBZ,由降水粒子组成,降水粒子直径大且降水粒子密集,导致对流性强降水,形成高的降水效率,是产生短时强降水的重要因素。

在业务预报中,加强分析多途径的水汽来源、各种天气系统特别是中小尺度天气系统对台风降水的增幅作用,是台风极端强降水预报着眼点。

## 参考文献:

- [1] 任福民,杨慧. 1949年以来我国台风暴雨及其预报研究回顾与展望[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5):526-540.
- [2] 张庆池,吕翔,刘子贺,等. 登陆台风不同强度降水的雨滴谱特征对比[J]. 气象, 2022, 48(12):1617-1628.
- [3] 钮学新,杜惠良,滕代高,等. 影响登陆台风降水量的主要因素分析[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(1):76-80.
- [4] 朱红芳,王东勇,娄珊珊,等. 地形对台风“海葵”降水增幅影响的研究[J]. 暴雨灾害, 2015, 34(2):160-167.
- [5] 蒙熠臻,陈见,韩慎友,等. 广西台风残涡暴雨发生特征分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(1):20-25.
- [6] 陆芊芊,黄卓. 广西台风与非台风暴雨时空变化特征差异分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3):12-17.
- [7] 郑凤琴,王盛繁,赵金彪,等. 广西台风极端强降水特征及环境参数异常性分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(4):07-13.
- [8] 高安宁,李菁,陈见,等. 台风“威马逊”近海加强及引发广西异常暴雨分析[J]. 气象科技, 2016, 44(4):653-659.
- [9] 李菁,祁丽燕. 不同路径进入广西内陆台风气候特征分析[J]. 灾害学, 2015, 30(2):115-119.
- [10] 覃武,赵金彪,黄荣成,等. 台风“山竹”登陆结构变化及造成广西强降水异常分布的成因分析[J]. 热带气象学报, 2019, 35(5):587-595.
- [11] 马涛,胡勇,杨琳晗,等. 三个登陆台风造成云南灾害的天气成因研究[J]. 灾害学, 2020, 35(4):113-120.
- [12] 韩鹏,郭桂祯,孙宁,等. 广东省台风灾害时空格局及影响因素研究[J]. 灾害学, 2022, 37(3):112-117.
- [13] 张丽杰,刘建成,朱慧云. 影响海南岛的台风的时空特征分析[J]. 灾害学, 2019, 34(1):135-138.
- [14] 廖胜石,卓健,罗建英,等. 广西汛期极端短时强降水特征分析[J]. 暴雨灾害, 2022, 41(3):308-314.
- [15] 卢伟萍,王建东,孙靖雯. 基于自动气象观测站的广西短时强降水时空分布特征[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(4):91-97.
- [16] 赵琳娜,白雪梅,邢程,等. 中国东南地区夏季台风小时降水概率分布特征[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(2):97-107.
- [17] 蔡晶,李怀宇,钱嘉星,等. 广东短时强降水的时空分布特征[J]. 广东气象, 2019, 41(6):5-9.
- [18] 黄铃光,黄慧琳. 福建省短时强降水分布特征及暴雨预警指标分析[J]. 海峡科技, 2021(9):11-15.
- [19] 肖蕾,杜小玲,武正敏,等. 贵州省短时强降水时空分布特征分析[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(4):383-392.
- [20] 姚蓉,唐佳,王晓雷,等. 湖南短时强降水时空分布及相关环境参数统计分析[J]. 灾害学, 2020, 35(2):116-121.
- [21] 朱莉,王治国,李华宏,等. 西行台风背景下云南一次短时强降水过程的成因分析[J]. 热带气象学报, 2020, 36

- (6):744-758.
- [22] 夏茹娣, 赵思雄. 2005年6月广东锋前暖区暴雨 $\beta$ 中尺度系统特征的诊断与模拟研究[J]. 大气科学, 2009, 33(3):468-488.
- [23] 孙婧, 王建捷. 北京地区一次引发强降水的中尺度对流系统的组织发展特征及成因探讨[J]. 气象, 2010, 36(12):19-27.
- [24] 赵海军, 李柏, 潘玲, 等. 暴雨过程中逆风区特征及应用判据研究[J]. 海洋气象学报, 2019, 36(2):126-133.

## Analysis of the causes of extreme rainfall in Guangxi caused by typhoon “CHABA”

TANG Wen, LIU Guozhong\*, QIN Yuefeng, LIANG Cungui, SU Xun  
(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

**Abstract:** By using multi-source meteorological data, the causes of extreme rainfall in Guangxi affected by typhoon “CHABA” in 2022 were analyzed. The results showed that: (1) the rainfall in Guangxi under the influence of Typhoon “CHABA” was characterized by large and wide range cumulative rainfall and daily rainfall, extensive and intense of short-term heavy precipitation with a long duration, strong extremes and heavy disasters. (2) Typhoon “CHABA” had made landfall and entered Guangxi with strong intensity, staying in Guangxi for a long time, with a rare track across the eastern part of Guangxi on a south-to-north direction, which was the main reason for the extreme precipitation. The typhoon itself and the monsoon entrainment provided abundant water vapor and energy sources for the heavy rainfall area. The strong upward movement formed by the combination of the body circulation, the wind speed convergence of the low-level southwesterly jets, the sea-land difference, the topographic uplift, and the obvious mesoscale convergence lines both on the ground and in the boundary layer were the physical mechanism for the generation of extreme rainfall. (3) There were obvious mesoscale convective system MCS activities within the typhoon cloud system, forming supercell storms, which was the direct cause of heavy rainfall. The thick warm clouds, strong radar reflectivity located below 5 km, large diameter and dense precipitation particles form high precipitation efficiency, which was an important factor in generating short-term heavy precipitation. (4) In operational forecasting, it is of great significance to strengthen the analysis of multi-channel water vapor sources and the increasing effect of various weather systems, especially small-and medium-sized weather systems, on the precipitation of typhoons, which is the focus of the extreme precipitation forecasting of typhoons.

**Key words:** typhoon; extreme rainfall; extreme short-term rainfall; mesoscale convective systems