

蒋亚平,农明哲,马智,等. 2021年5月桂西南一次混合强对流天气过程诊断分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(3):88-92.

Jiang Yaping, Nong Mingzhe, Ma Zhi, et al. Diagnostic analysis of a mixed severe convective weather process in Southwest Guangxi in May 2021[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(3): 88-92.

## 2021年5月桂西南一次混合强对流天气过程诊断分析

蒋亚平, 农明哲, 马智, 苏彦, 黄秋丰

(崇左市气象局, 广西 崇左 532200)

**摘要:** 利用常规气象观测资料、NCEP再分析资料和雷达资料对2021年5月初发生在广西西南部的一次混合强对流天气过程进行分析。结果表明:(1)此次过程前期以冰雹、大风为主,极端性强,破坏性大,后期以短时强降水为主,强度大、局地性强、持续时间长;(2)此次过程由地面辐合线触发,辐合线在桂西南南部长时间维持,是造成多地出现持续性短时强降水天气的主要原因;(3)一定的对流抑制能量和强的垂直风切变有利于出现极端性强天气;(4)雷达回波分析表明,冰雹发生时具有明显的三体散射特征,而局地极端大风主要由下击暴流造成,短时强降水发生时,具有低质心和暖云高效率降水的雷达回波特征,且“列车效应”特征明显,有利于对流风暴的有组织发展和极端降水的发生。

**关键词:** 强对流天气;冰雹;极端大风;短时强降水;桂西南

**中图分类号:** P458.12

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.16

### 引言

强对流天气是广西的主要气象灾害之一,其中以雷暴、冰雹和大风对工农业生产、交通、通信、电力设施及人民生命财产造成的危害最大,会给广西造成不同程度人员伤亡和财产损失<sup>[1-2]</sup>,因此加强强对流天气预报预警服务一直是地方政府重视的一项工作。强对流天气具有生命史短、空间尺度小、突发性强和破坏力大等特点,一直以来是天气预报业务中的重点和难题<sup>[2-5]</sup>,近年来,强对流天气成因和预报预警服务的研究受到气象学者的关注和重视,并且取得了众多的研究成果<sup>[6-17]</sup>,叶成志等<sup>[18]</sup>在研究湖南一次致灾性强对流天气过程成因时指出,强对流发生前,近地面晴空辐射增温、对流不稳定层结、强的垂直风切变、强温度梯度直减率以及近地层较好的水汽条件等能为强对流风暴发生发展提供良好的潜势条件;郭琳晶等<sup>[19]</sup>研究一次华南局地强降水天气过程指出,西南暖湿气流上水汽辐合区和能量锋的变化与强降水发生的时间和落区有较好的对应关

系;刁秀广等<sup>[20]</sup>研究边界层辐合线在局地强风暴临近预警中的应用时发现,雷暴流出边界的叠加或流出边界与环境风辐合线的叠加在有利的环境条件下可产生局地强风暴;李向红等<sup>[21]</sup>研究广西强对流天气雷达临近预警时发现垂直累积液态水含量的变化对临近预报具有较好的指示效果;漆梁波等<sup>[22]</sup>研究上海局地强对流天气及临近预报要点时发现,低层风的大小对回波移动和雷雨大风的形成至关重要;翟丽萍等<sup>[23]</sup>研究相同大尺度环流背景下不同类型强对流天气时发现,干对流型强对流中高层垂直风切变明显大于混合强对流型。这些研究成果为强对流天气预报提供了很好的理论指导,有助于提高强对流天气预报水平。

2021年5月初广西西南部出现了一次冰雹、雷暴大风和短时强降水等混合强对流天气过程,本文主要利用常规气象观测资料、探空观测资料、NCEP再分析资料和多普勒天气雷达资料对此次天气过程的环境条件和中尺度触发机制进行分析,为今后同类型强对流天气的监测和预报预警积累经验。

收稿日期: 2022-04-30

基金项目: 广西气象科研计划面上项目(桂气科 2020M04)、崇左市气象局面面上项目(崇气科 202101)

作者简介: 蒋亚平(1993—),男,工程师,主要从事中短期天气预报服务。E-mail: lovjiangyp@sina.com

1 资料与方法

所用资料包括 2021 年 5 月 4 日 12 时—5 日 12 时常规气象观测资料、区域自动站资料、探空观测资料、崇左市多普勒天气雷达资料和美国环境预报中心(NCEP)1°×1°再分析资料。主要采用常规天气分析方法和中尺度天气分析方法。

2 过程概况及特征

据统计,2021 年 5 月 4 日 12 时—5 日 12 时广西南部强对流天气造成崇左市天等县多个乡镇出现了直径 20~30mm 的冰雹,多地出现大风天气,崇左市城区出现了  $33.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的极端大风,共计有 20 多个乡镇出现了 100mm 以上量级的降水,从崇左市部分乡镇区域自动站逐小时降雨量变化来看,此次过程最强降水主要出现在 5 日 01—06 时,最大小时雨量达到 78.8mm,出现在凭祥市友谊镇,从友谊镇强降水发生时段分钟雨量值来看,最大分钟雨量为 3.7mm,降水非常稳定且持续,有连续 13min 的分钟雨量值大于 2mm。这是一次明显的混合型强对流天气过程。

此次过程前期以冰雹、大风等强对流天气为主,极端性强,破坏性大,后期以强降水为主,降水过程强度大、局地性强、持续时间长,具有明显中尺度降水特征。

3 大尺度环流形势分析

从 4 日 08 时高低空天气形势来看,500hPa 欧亚中高纬地区为“两槽一脊”形势,高压脊位于贝加尔湖地区,脊前强偏北风不断引导冷空气南下,冷温槽南压至广西北部,在孟加拉湾地区有南支深槽存在,在其槽前不断有短波东移,同时西太平洋副热带高压(以下简称副高)北抬至南海中部,588 位势什米线位于广西南部沿海边缘,孟加拉湾的水汽和能量在槽前西南气流引导下沿副高边缘持续不断的向广西输送;700hPa 在云南南部至越南北部存在一条

明显的干线,西南显著流线自干线的干区一侧吹向湿区,使得层结的不稳定性增大,容易触发强对流;850hPa 切变线南压至桂北,云桂交界附近存在一条明显的温度脊,刚好位于 500hPa 温度槽前,桂西一带 850hPa 与 500hPa 温度差达到  $24^{\circ}\text{C}$ ,上层冷平流、下层暖平流进一步加大了层结不稳定性,同时越南北部至广西南部一带有西南急流存在,急流中心最大风速达到  $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,低层强水汽输送有利于短时强降水等强对流天气的出现;925hPa 切变线已南压至桂中,桂南一带的偏东气流在不断增强,有利于水汽向桂西南地区输送,桂西南地区均处于显著湿区内,局部地区比湿超过  $17\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;地面上,四川盆地以南地区有暖低压在不断发展,桂西南从 5 月 2 日开始受到热低压影响,地面温度持续升高,5 月 4 日部分乡镇地面最高温度超过  $38^{\circ}\text{C}$ ,高温高湿为强天气的触发提供了充足的不稳定能量,地面的干线也刚好位于热低压前沿的桂西至越南北部一带,而在云贵交界至桂中有一条明显的锋面存在,强对流天气在锋面附近不断生成发展。

4 环境条件分析

选取南宁、百色和越南河内三个探空站资料作为分析对象,从表 1 来看,强天气发生前,三站对流有效位能(CAPE)值均达到  $2700\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$  以上,河内 K 指数达到  $37.1^{\circ}\text{C}$ ,SI 指数为  $-2.41^{\circ}\text{C}$ ,百色和南宁稍差,且 850hPa 与 500hPa 温度差显示,三个站点  $T_{(850\text{hPa}-500\text{hPa})}$  均在  $22^{\circ}\text{C}$  以上,河内  $T_{(850\text{hPa}-500\text{hPa})}$  更是达到  $28.1^{\circ}\text{C}$ ,说明桂西至越南北部一带具有非常大的不稳定能量,且大气层结很不稳定;三个站都有一定对流抑制有效位能(CIN),百色 CIN 更是达到  $128\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,使得大量可用有效位能储存在大气低层,又因为三个站点的抬升凝结高度(LCL)均在 0.5km 左右,在较小的抬升作用下就能触发对流,从而使得对流触发后能够形成更强的天气;三个探空站  $0^{\circ}\text{C}$  湿球温度高度(WBZ)均在 4km 左右,且 0~6km 垂直风矢量差均在  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,南宁更是达到  $21.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,强垂

表 1 2021 年 5 月 4 日 08 时探空资料

站点 (站号)	CAPE/ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ (订正后)	K 指数 $/^{\circ}\text{C}$	SI 指数 $/^{\circ}\text{C}$	CIN $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	LCL /km	$T_{(850\text{hPa}-500\text{hPa})}$ $/^{\circ}\text{C}$	WBZ 高度 /km	0~6km 垂直 风切变/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	暖云层 厚度/km
南宁(59431)	2749.7	29.6	0.68	83.1	0.4	22.1	4.2	21.3	3.8
百色(59211)	3318.7	34.9	-1.96	128	0.65	25.5	4.1	16.1	3.5
河内(48820)	3729.2	37.1	-2.41	2.7	0.3	28.1	4.2	12.1	3.9

直风切变容易使上升气流倾斜,减弱对上升气流的拖曳作用,使上升气流能达到更高的高度,有利于冰雹和大风等强对流天气的形成,这也是过程开始初期桂西南出现较强冰雹和大风天气的原因,且三个站点暖云层厚度均在 3.5km 以上,深厚的暖云层和对流层低层强水汽输送,是过程后期桂西南地区高效率降水的基础。

## 5 触发条件分析

从地面风场和同时刻雷达回波图来看(图略),在地面锋面附近存在一条东北风和西南风或东南风的辐合线,气流在辐合线附近辐合抬升,从而导致回波在辐合线附近触发生成,并逐渐发展成深厚湿对流,回波生成和发展的位置与辐合线的位置几乎一致;辐合线在逐渐南移的过程中,不断触发出强对流云团产生,出现冰雹、大风、短时强降水等强对流天气,后期辐合线在桂西南南部长时间维持造成该地出现强降水。由此可见,地面辐合线是此次过程重要触发机制,辐合线在桂西南南部一带长时间维持,是造成该地出现持续性短时强降水天气的主要原因。

## 6 雷达回波特征

### 6.1 冰雹雷达回波特征

此次桂西南强天气过程主要分为两个阶段,5月4日14—22时为第一阶段,此阶段主要以冰雹、大风为主;5日00—07时为第二阶段,此阶段主要以短时强降水为主;13时左右,主体回波带呈蛇线位于百色和河池南部,在回波带南部有孤立的对流单体不断生成和发展,且不断向东南方向移动,至16:03,强回波移动到天等县东北部,其最大反射率因子值达到 68dBZ,最大垂直累计液态水含量超过  $76\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,且具有明显的旁瓣回波和三体散射长钉;从其剖面图来看(略),存在明显的有界弱回波区(BWER)和悬垂回波,回波顶的高度超过 17km,反射因子核心位于 8km 左右,而对应的速度图上(略)有明显的中气旋存在,在其移动过程中造成天等县进结镇出现最大直径超过 30mm 的大冰雹。

### 6.2 雷暴大风和短时强降水雷达回波特征

崇左国家一般气象观测站 4 日 21:15 监测到  $33.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的瞬时大风,从 21:10 的雷达回波来看,在崇左市城区上空存在较强的对流风暴,回波最大反射率因子达到 58dBZ,从风暴趋势图(略)来看,20:30 左右开始,反射率因子核心开始波动下降,到 21:15

下降到最低,对应垂直累积液态水含量(VIL)值也出现相应的降低趋势,在同一时刻下降到接近地面的位置,而地面也恰好在此时出现极端大风天气;从崇左站的风廓线来看,对流层中高层为较强的西北气流,低层为西南气流,近地面层开始为西北风,逐渐转为东北风,且风速在迅速增大,形成强的地面辐散流场,进而引起地面极端大风的出现;从对应的气象要素分钟变化趋势来看,21:10 左右气压开始骤降,21:14 降到最低,之后又开始陡升,平均速度也在这期间迅速增大,21:15 达到最大,对流风暴强下沉气流引起地面气压剧烈变化,下沉气流接地后形成地面强辐散流场,使地面风速迅速增大,进而出现极端大风天气,这是一起典型的下击暴流造成的地面极端大风天气。

5 日 00 时之后,辐合线开始在桂西南南部维持,辐合线附近仍不断有对流回波生成发展并向偏东方向移动,而辐合线的北面则转为大范围的稳定层状云降水,从反射率因子剖面来看,有多个对流回波单体存在,而各单体的回波质心均位于 4km 以下的较低高度,具有明显的暖云高效率降水特性,且这些回波单体在东移过程中不断经过同一地点,形成明显的“列车效应”,造成桂西南南部地区出现极端强降水。

## 7 结论

(1)此次过程前期以冰雹、大风等强对流天气为主,极端性强,破坏性大;后期以强降水为主,降水过程强度大、局地性强、持续时间长,具有明显的中尺度降水特征。

(2)过程主要由高空短波槽、低层切变线、急流和地面锋面等动力条件共同作用下产生,地面辐合线是重要触发机制,辐合线在桂西南南部一带长时间维持,是造成该地出现持续性短时强降水天气的主要原因。

(3)一定的对流抑制能量和强的垂直风切变有利于出现极端性强天气,低层强水汽输送和深厚暖云层是过程后期桂西南地区高效率降水产生的主要原因。

(4)冰雹发生时具有明显的三体散射和旁瓣回波特征,而局地极端大风主要由下击暴流造成,短时强降水发生时,具有低质心和暖云高效率降水的雷达回波特征,且“列车效应”特征明显,有利于对流风暴的有组织发展和极端降水的发生。

## 参考文献:

- [1] 《广西天气预报技术和方法》编写组[M].北京:气象出版社,2012.
- [2] 农孟松,黄荣,黄明策,等.广西强对流天气业务与研究进展[J].气象研究与应用,2020,41(4):28-33.
- [3] 丁一汇.强对流天气的分析和预报[J].气象,1978(5):15-17.
- [4] 闵锦忠,吴乃庚.近二十年来暴雨和强对流可预报性研究进展[J].大气科学,2020,44(5):1039-1056.
- [5] 俞小鼎,郑永光.中国当代强对流天气研究与业务进展[J].气象学报,2020,78(3):391-418.
- [6] 姚蓉,唐佳,兰明才,等.一次混合强对流天气的环境条件及演变特征分析[J].暴雨灾害,2017,36(3):217-226.
- [7] 覃皓,农孟松,赖珍权,等.2020 年“1·24”广西大范围冰雹天气过程分析[J].气象研究与应用,2021,42(1):107-112.
- [8] 杨振鑫,祁萍,孙磊,等.青藏高原东北侧短时强降水阈值确定及特征分析[J].干旱气象,2021,39(4):563-568.
- [9] 魏蕾,张兰.2018 年“05·07”广州暴雨过程诊断分析[J].气象研究与应用,2020,41(3):72-78.
- [10] 韦惠红,许冠宇,刘希文,等.湖北省不同类型雷暴大风的时空分布及环境参数特征[J].暴雨灾害,2022,41(1):66-75.
- [11] 林确略,邓雅倩,陈明璐,等.广西一次槽前型暖区飑线的中尺度分析[J].气象研究与应用,2018,39(1):38-45,155.
- [12] 赵强,陈小婷,王楠,等.副热带高压影响下陕西关中强对流发生的环境场特征及触发机制[J].气象,2022,48(1):28-43.
- [13] 王茂书,刘锐,龙俊天,等.巴中地区强对流天气预报方法研究[J].气象研究与应用,2019,40(4):18-23.
- [14] 刘金卿,刘红武,徐靖宇.西南涡引发的强对流天气特征[J].高原气象,2021,40(3):525-534.
- [15] 黄嘉浩,汤中明,欧坚莲.2019 年“6·11”广西雷暴大风天气成因分析[J].气象研究与应用,2020,41(2):75-79.
- [16] 张武龙,康岚,杨康权,等.四川盆地不同强度短时强降水物理量特征对比分析[J].气象,2021,47(4):439-449.
- [17] 赖雨薇,梁岱云.南宁春季冰雹特征分析[J].气象研究与应用,2017,38(1):64-67,78.
- [18] 叶成志,唐明晖,陈红专,等.2013 年湖南首场致灾性强对流天气过程成因分析[J].暴雨灾害,2013,32(1):1-10.
- [19] 郭琳晶,陈芳丽,曾丹丹.“5·23”华南局地性强降水天气过程分析[J].气象研究与应用,2016,37(S1):1-2.
- [20] 刁秀广,车军辉,李静,等.边界层辐合线在局地强风暴雨临近预警中的应用[J].气象,2009,35(2):29-33,131-135.
- [21] 李向红,唐伍斌,李垂军,等.广西强对流天气的天气形势分析与雷达临近预警[J].灾害学,2009,24(2):46-50.
- [22] 漆梁波,陈雷.上海局地强对流天气及临近预报要点[J].气象,2009,35(9):11-17,129.
- [23] 翟丽萍,农孟松,屈梅芳,等.相同大尺度环流背景下不同类型强对流天气个例分析[J].暴雨灾害,2013,32(4):346-353.



## Diagnostic analysis of a mixed severe convective weather process in Southwest Guangxi in May 2021

Jiang Yaping, Nong Mingzhe, Ma Zhi<sup>1</sup>, Su Yang, Huang Qiufeng  
(Chongzuo Meteorological Bureau, Chongzuo Guangxi 532200, China)

**Abstract:** Using conventional meteorological observation data, NCEP reanalysis data and radar data, this paper analyzed a mixed strong convective weather process that occurred in Southwest Guangxi in early May 2021. The results show that the process was dominated by hail and strong wind in the early stage with strong extremes and great destructiveness, and short-term heavy precipitation in the later stage with high intensity, strong locality and long duration. This process was triggered by the surface convergence line that maintained for a long time in the south of Southwest Guangxi, which was the main reason for the continuous short-term heavy rainfall in many places. A certain amount of convective inhibition energy and strong vertical wind shear were conducive to the occurrence of extreme weather. Radar echo analysis shows that there are obvious three body scattering characteristics when hail occurs, while local extreme winds are mainly caused by downburst. When short-term heavy precipitation occurs, the radar echo has the characteristics of low mass center and warm cloud high-efficiency precipitation, and the obvious “train effect”, which are conducive to the organized development of convective storm and the occurrence of extreme precipitation.

**Key words:** severe convective weather; hail; extreme gale; short-term heavy precipitation; Southwest Guangxi