

文章编号:2096 - 5389(2022)06 - 0041 - 07

# 江南一次强对流天气的成因及环境场特征分析

王子晨<sup>1</sup>, 王红军<sup>2,3</sup>, 彭 冲<sup>2,3</sup>, 解石鑫<sup>2,3</sup>

(1. 西北工业大学数学与统计学院, 陕西 西安 710129; 2. 西安卫星测控中心, 陕西 西安 710043;  
3. 宇航动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710043)

**摘 要:**该文利用观探测资料、NCEP/NCAR 再分析资料、雷达资料等,对 2018 年 3 月 4 日广西、湖南、江西一次区域性雷暴大风、冰雹、飑线等强对流天气进行分析,结果表明:高低空急流耦合,700 hPa 暖中心,850 hPa 强暖湿低空急流 + 暖脊 + 切变线,地面暖低压倒槽 + 辐合线 + 冷锋,上述系统是此次强对流天气的触发者和组织者;极端温差及水汽分布形成异常热力不稳定和位势不稳定;中低层强垂直风切变形成的动力不稳定使飑线组织化发展且长时间维持;弓形飑线和中低层风向夹角大,在西南急流引导下,飑线以  $60 \sim 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  速度向东北加速移动。在强低层风切变下,冷池能够触发其前沿空气产生较强上升运动,有利于飑线发展和维持。大风发生前 10 ~ 30 min,中层存在大风速核明显下降现象。

**关键词:**强对流天气;垂直风切变;雷达回波;冷池

**中图分类号:**P458.1<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A

## Analysis on the Cause and Environmental Field Characteristics of a Severe Convective Event in the South of the Yangtze River

WANG Zichen<sup>1</sup>, WANG Hongjun<sup>2,3</sup>, PENG Chong<sup>2,3</sup>, XIE Shixin<sup>2,3</sup>

(1. School of Mathematics and Statistics of Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China; 2. Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043, China; 3. State Key Laboratory of Astronautic Dynamic, Xi'an 710043, China)

**Abstract:** Based on surface and radiosonde observation, NCEP/NCAR reanalysis data and weather radar data, a severe convective weather event with thunderstorm, hail and squall line on March 4, 2018 in Guangxi, Hunan and Jiangxi province was analyzed. The results show that the coupling of high - level jet and low - level jet streams, the 700 hPa warm center, 850 hPa strong warm and wet low - level jet + warm ridge + shear line, and ground warm low level inverted trough + convergence line + cold front triggered and organized the severe convective weather event. Extreme temperature difference and water vapor distribution form abnormal thermodynamic instability and potential instability. The dynamic instability caused by strong vertical wind shear in the middle and lower layers plays an important role in the organized development of squall lines. The bow - shaped squall lines have a large inclined angle with the wind direction and move northeast, steered by low - level jet stream with a steady speed of  $60 \sim 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . With strong low - level wind shear, the cold pool can trigger the front air to produce strong upward movement, which is favorable for forming a new squall line. 10 ~ 30 minutes before the occurrence of surface strong wind, the height of strong wind in the middle layer decreased significantly.

**Key words:** severe convective weather; wind shear; radar echo; cold pool

收稿日期:2021 - 11 - 02

第一作者简介:王子晨(2001—),女,学生,主要从事统计分析研究工作,E-mail:wangzc9@126.com。

资助项目:青海省科技厅基础研究项目(2020 - ZJ - 739):基于机器学习的青海气象地质灾害智能网格预报预警关键技术研究。

## 0 引言

雷暴大风主要由对流风暴的强下沉气流造成,具有突发性强、历时短、易致灾等特点,是我国主要灾害性天气之一<sup>[1]</sup>。加强对强对流天气研究,对工农业生产、航天发射与测控以及人民生活等具有重要意义。近年来,国内外气象工作者从强对流大尺度环流、环境参数以及雷达回波等方面进行了研究<sup>[2-5]</sup>,总结了强对流天气的演变模型和雷达回波特征<sup>[6-7]</sup>,并模拟再现了强对流天气过程中起重要作用的中尺度系统演变过程<sup>[8-9]</sup>。雷暴大风过程多伴有飚线,飚线过境时,气象要素剧烈变化。引起江淮地区雷暴大风的弓状回波,其天气背景主要是东北冷涡和高空槽,中等的对流不稳定性垂直风切变,中层存在明显干层<sup>[10]</sup>。而中到强的垂直风切变下形成雷暴大风的过程中,大范围的雷暴大风多由沿着飚线的弓形回波造成<sup>[11]</sup>。丁一汇等<sup>[12]</sup>研究了中国华北地区飚线的环流背景、触发机制和动力、热力条件,指出槽前暖区飚线的重要特征是低空急流发展,暖平流和湿舌向北伸展,建立位势不稳定,飚线易发生在槽前地面倒槽中。方翀等<sup>[13]</sup>将华南地区飚线分为西风带飚线和台风飚线,其中,西风带飚线的低层强暖湿气流导致层结不稳定多与 700 hPa 冷平流有关,对流的线状组织化与倒槽内的气旋性切变、锋区和冷池等有关。吴哲红等<sup>[14]</sup>对贵州冰雹发生的环境潜势研究发现,各型对流性天气物理量有着共同特征,且物理量的强度、配置等对于产生对流性天气的强度、种类有指示作用。上述研究有助于提高对强对流天气的认识,但不同区域、不同季节的强对流天气成因及维持机理等存在差异,在预报业务中一直是重难点。

2018 年 3 月 4 日,江南地区发生了 1 次历史罕见的大范围极端强对流天气过程,广西、湖南及江西等地出现强风雹天气。本文利用地面观测资料、 $1^\circ \times 1^\circ$  的 NCEP/NCAR 再分析资料以及雷达资料等,从强对流天气环流演变、环境参数、飚线演变特征和极端大风成因等方面,研究此次强对流过程的主要特点和极端大风成因,旨在加深对强对流天气的认识,以提高强对流天气分析预报能力。

## 1 天气概况

2018 年 3 月 4 日 05—18 时,广西(4 日 05—10 时)、湖南(4 日 08—14 时)和江西(4 日 13—18 时)自西南向东北先后出现区域性雷暴大风过程,并伴

有局地冰雹、短时强降水。93 市(县、区)出现 8 级以上雷暴大风,20 市(县、区)出现 10 级以上雷暴大风,3 市(县、区)出现 12~13 级雷暴大风,江西庐山、景德镇出现 13 级极端雷暴大风(庐山站,  $37.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;乐平塔山工业园站,  $40.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),8 级以上大风覆盖范围之广为有完整气象记录以来历史罕见。194 站(国家站+区域站)出现短时强降水,广西东北部多站超过 50 mm。冰雹监测显示,广西、湖南及江西等境内均有冰雹发生,湖南冰雹直径达 18 mm。此次雷暴大风过程导致 44 万人受灾,14 人死亡,3.5 万间房屋受损,1.6 万  $\text{hm}^2$  农作物受灾,直接经济损失 5 亿元以上。灾害以江西最严重,直接经济损失 4 亿元以上;其次是湖南,直接经济损失 1 亿元以上。

3 月上旬强雷暴大风(10 级)多发于西南及华南一带,而湖南、江西很少。湖南、江西强飚线最早发生于 2009 年 3 月 21 日<sup>[15]</sup>,此次强对流发生时间明显偏早。同时在对流过程中,副高与南支槽共同作用,导致副高西北侧西南暖湿气流较常年异常偏强,使得广西—江西一带的水汽和能量条件都非常有利于强对流天气出现。

## 2 环流演变

3 月 3—4 日,新地岛—白令海峡有 1 个极涡,极涡不断分裂短波槽东移,引导极地冷空气南下,亚洲东部环流形势东高西低,同时长江以南地区南支槽活跃,低层处于暖中心,有低涡及切变线存在(图略)。当西风带中北支槽和南支槽系统过境,北支槽引导冷空气南下,与南支槽前强盛的暖湿气流交汇于广西—江西一带,在地面倒槽暖区内辐合线附近形成了 1 次大范围的强对流天气过程,江西九江、景德镇出现极端雷暴大风。

### 2.1 中高层环流形势

由图 1 看出,4 日 08 时,200 hPa 高空锋区位于广西—福建地区,广西—浙江高空急流( $40 \sim 54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),广西处于高空急流入口区右侧、高空锋区和 500 hPa 南支槽前的叠加区,广西高空辐散。

由图 2a 看出,4 日 08 时,500 hPa 北支槽位于西北地区东部,槽区内等温线密集,系统斜压性强,南支槽位于西南地区东部;11—14 时,北支槽与南支槽在青藏高原东部同位相叠加,并开始发展加深,槽前西南气流从  $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  增大到  $34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,在槽前形成天气尺度的上升运动,其动力降压作用有利于低层对流系统的形成与发展。500 hPa

温度场上(图略),3日20时,南支槽落后于温度槽,有利于在南支槽前形成不稳定层结,这是槽前强对流不稳定建立的重要机制;20时后,二者相继从贵州中部东移;4日05时到达广西西部,百色出现雷暴大风及冰雹天气;08—14时,从广西经湘南移至江西中部,江西中北部  $T_{850 \sim 500}$  达  $28 \sim 33^{\circ}\text{C}$ ,这在南方地区尤为罕见,其所经过的地区均出现雷暴大风,伴有冰雹、短时强降水天气。

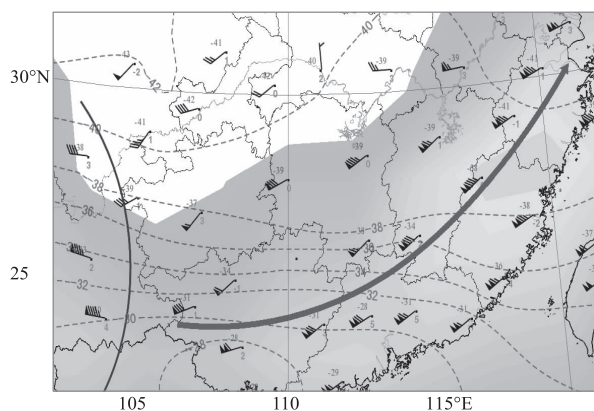


图1 2018年3月4日08时200 hPa风场、温度场  
(细实线为500 hPa槽线,粗实线为200 hPa急流轴)

Fig.1 Wind field and temperature field on 200 hPa at 08:00 on March 4, 2018 (thin solid line as 500 hPa trough line, thick solid line as 200 hPa jet stream axis)

## 2.2 低层环流形势

低层强暖湿气流对建立热力不稳定起了主导作用。

4日05时,广西—江西,700 hPa强西南低空急流达  $20 \sim 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最大风速出现在广西北部,广西中部冷切变。08时,700 hPa、850 hPa西南低空急流分别达  $20 \sim 28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $18 \sim 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (图2b、2c),最大风速出现在湖南中部,在西南低空急流的作用下,广西、湖南及江西受高能舌控制,同时偏北低空急流在其北部建立,湘赣北部冷切变。09—12时,低空急流轴位于湖南中部,冷切变南压至湖南中部及江西北部。13—18时,低空急流显著增强,低层能量舌也显著增强。江西中北部西南风风速增加了  $4 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,且有明显风速辐合,冷切变维持在湖南中部和江西中北部。这种强暖湿低空急流和低层切变线构成了低层辐合系统,为强对流天气提供有利动力条件。低空急流在13—18时的加强与南支槽有关,在南支槽前上升运动所导致的中低层动力降压以及绕流与侧向摩擦等共同作用下,南支槽移动到青藏高原东部下高原时,在槽前西南地区强迫出西南低涡,导致南支槽与副高之间的气压梯度加大,低空急流显著增强,而暖湿低空急流的加强有利于热力不稳定增长。

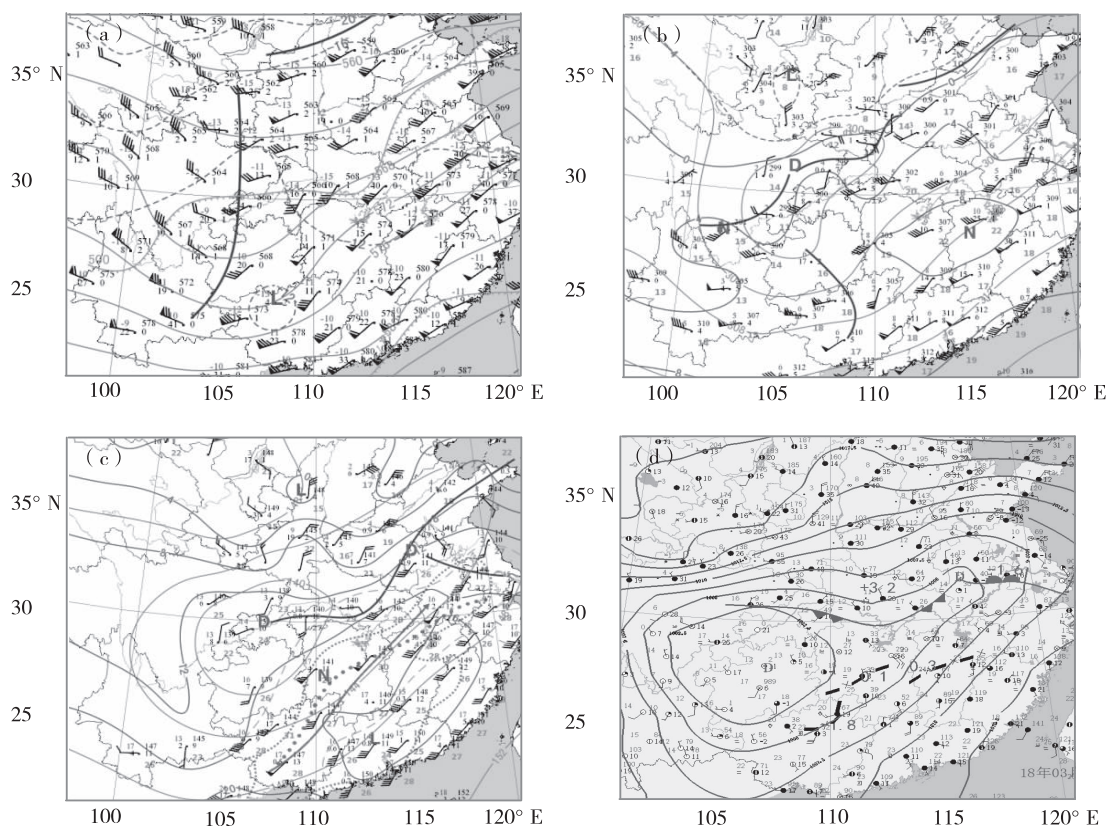


图2 2018年3月4日08时500 hPa(a)、700 hPa(b)、850 hPa(c)和地面(d)形势场

Fig.2 System configuration on 500 hPa(a), 700 hPa(b), 850 hPa(c) and surface (d) at 08:00 on March 4, 2018

2.3 地面环流形势

3 月 3 日 14 时,冷高压位于西北地区,冷锋位于东北地区并逐渐南下。4 日 05 时,广西百色地面辐合线、暖中心。08 时,冷高压东移至华北(图 2d),冷锋位于长江中下游,受南支槽前上升运动的动力降压和暖湿空气等作用,贵州地面形成暖低压,中心气压异常偏低(1000.0 hPa),湖南、江西处于低压倒槽中,存在地面辐合线。13 时以后,随着低空急流的增强,低压倒槽强烈发展,地面降压强烈,南昌最低气压 1003.9 hPa,上述地区  $\Delta P_3$  达  $-4 \sim -3$  hPa,为该地区强对流提供了辐合抬升条件,冷锋南移至江西和湖南北部,随着冷锋侵入地面暖低压倒槽和辐合线中,触发了江西中北部异常强对流天气,雷达回波显示,冷锋前的暖低压倒槽中有从湖南移入江西的一条飚线强烈发展,呈现较大尺度的西北—东南向的弓状回波,当弓状回波移到江

西中北部时,造成了极端雷暴大风天气。广西—江西一带,3—4 日地面升温明显(表 1),多数地区接近  $30^{\circ}\text{C}$ ,最高气温较常年同期偏高  $4^{\circ}\text{C}$  以上,西南暖湿气流携带丰沛的水汽和热量,使大气中积累了大量不稳定能量,当冷锋南下侵入到暖低压倒槽的辐合线时,触发了强对流天气,使得积累的大量水汽和能量在瞬间释放,形成强烈风雹天气。

地形迎风坡具有抬升作用。在迎风坡迫使气流沿山爬升,造成很强的上升运动;当山的坡度愈大,且风向与山的走向接近垂直时,则地面垂直运动愈强。另外,地形对过山气流具有阻碍作用,导致过山气流发生绕流,形成沿山脉走向的辐合线,诱发新的上升运动。由于百色、钟山、株洲、萍乡、宜春、南昌、景德镇等地势呈北高南低形状,4 日 08 时,江南盛行偏南风,风向与地形存在夹角,因此,该地形对偏南风具有辐合抬升作用。

表 1 2018 年 3 月 3—4 日广西、湖南、江西最高温度(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

Tab. 1 Maximum temperature in Guangxi, Hunan and Jiangxi Province on March 3—4, 2018 (unit:  $^{\circ}\text{C}$ )

| 时间\站点   | 百色 | 钟山 | 江华 | 江永 | 衡阳 | 株洲 | 萍乡 | 宜春 | 南昌 | 抚洲 | 进贤 | 景德镇 | 上饶 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| 3 日最高温度 | 33 | 26 | 25 | 25 | 27 | 25 | 28 | 24 | 24 | 21 | 24 | 25  | 22 |
| 4 日最高温度 | 35 | 24 | 26 | 26 | 28 | 28 | 29 | 30 | 30 | 30 | 31 | 30  | 31 |

3 环境参数特征

环境参数分析有助于了解强对流天气的物理过程,在实际预报中有一定的指示意义。

3.1 热力及水汽条件

3 月 4 日 08 时,南昌站 850 hPa(图 2c)、925 hPa 西南风均达到  $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,温度露点差( $T-T_d$ )<sub>850</sub>、( $T-T_d$ )<sub>925</sub>均小于  $4^{\circ}\text{C}$ ,暖(湿)平流显著,而( $T-T_d$ )<sub>700</sub>、( $T-T_d$ )<sub>500</sub>、( $T-T_d$ )<sub>400</sub>分别达  $25^{\circ}\text{C}$ 、 $18^{\circ}\text{C}$ 、 $14^{\circ}\text{C}$ (图略),说明干舌出现在 700~500 hPa,且空气十分干燥,而对流层中层干冷空气有利于下沉气流中降水粒子的强烈蒸发、融化或升华而导致下沉气流显著降温并产生负浮力,对下沉气流起到加速作用。大气层结曲线与露点曲线下部紧靠、上部分离,呈“漏斗”状,也表明南昌水汽分布“上干下湿”。同时 850 hPa 与 500 hPa 温度差( $T_{850-500}$ )达  $28^{\circ}\text{C}$ ,700 hPa 与 500 hPa 温度差( $T_{700-500}$ )达  $22^{\circ}\text{C}$ ,强温度垂直递减率是加强对流上升和下沉运动的重要原因。上述因素有利于热力不稳定层结的建立。4 日 17 时,江西中北部  $T_{850-500}$ 达  $32^{\circ}\text{C}$ ,极端温差造成的“上冷下暖”使得江西地区处于异常热力不稳定,这是雷暴大风形成有利条件之一。而强对流发生前近地层存在的逆温层,则有利于不稳定能

量的聚集。

4 日 08—14 时,广西—江西对流有效位能(CAPE)不断加强并东移(图略),14 时,江西中北部 CAPE 达  $1500 \sim 2000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,说明该地区不稳定能量处于高值区,4 日 17 时后,该地区 CAPE 降到  $1500\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以下,CAPE 最大值迅速减小表明强对流天气已发生。

3.2 动力条件

4 日 08 时,200 hPa 高空急流(图 1),500 hPa 温度槽超前高空槽,700 hPa、850 hPa 强暖湿低空急流,高低空急流耦合形成的强上升运动,850 hPa 切变线,地面暖低压倒槽中的辐合线,冷锋,地势北高南低(图 2)。上述因素是此次强对流天气有利的动力强迫抬升条件。

强低空垂直风切变使上升气流发生倾斜,有利于对流层中层干冷空气卷入,从而加强雷暴下沉气流,当垂直风切变 $\geq 20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,易出现雷暴大风天气<sup>[10]</sup>。4 日 08 时,湖南—江西 0~6 km 垂直风切变  $20 \sim 24\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 3a),08—20 时,垂直风切变明显增大,达  $24 \sim 30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 3b)。广西北部—江西中北部强垂直风切变形成的动力不稳定使飚线高度组织化发展且长时间维持,有利于雷达回波形态演变为尺度较大的线状弓形。14—18 时,江西

中北部地区飑线发展成熟,逐渐形成弓状回波,飑线所经地区伴随 11~13 级灾害性雷暴大风、冰雹及

短时强降水天气。

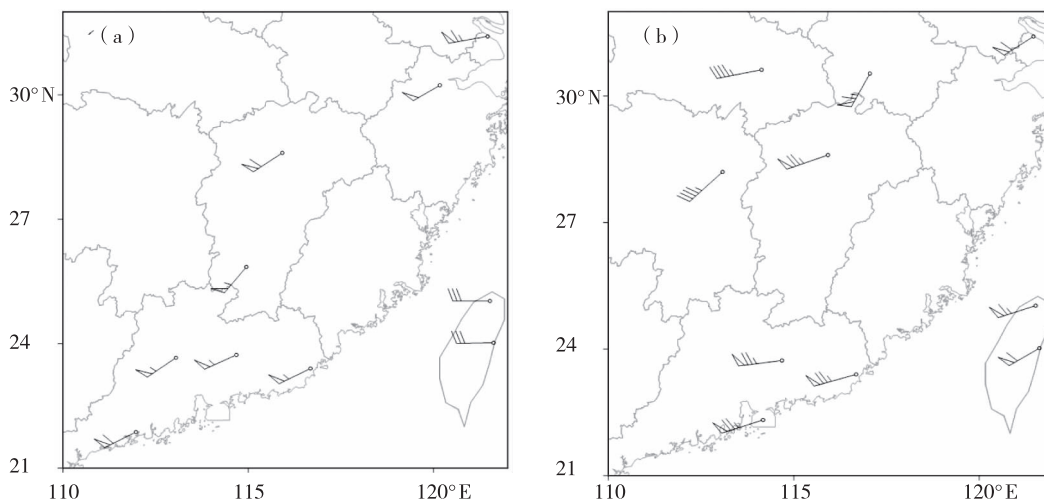


图3 2018年3月4日08时(a)、20时(b)0~6 km垂直风切变(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 3 0~6 km vertical wind shear at 08:00 (a) and at 20:00 (b) on March 4, 2018 (unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

## 4 中尺度对流特征

### 4.1 雷达回波特征

此次强对流过程可分为3个阶段:初始阶段、强盛阶段和减弱阶段。初始阶段(4日04—12时),04时,对流开始在云南与广西交界处发展东移(图4a)。05时(图4b),百色出现东北—西南向线状回波,缓慢移向东北,在当地造成了较强的风雹天气。08时(图4c),回波移到广西北部,发展成2条线状回波,移速  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,广西北部出现雷暴大风,伴随多地短时强降水天气。08时30分—11时(图4d~4f),广西北部2条线状回波依次移入湖南后,在湖南中南部合并为1条飑线。11时30分—12时(图4g~4h),飑线发展,回波结构更加紧密,飑线前不断有新的对流单体形成,飑线所经地区雷暴大风,伴有冰雹及短时强降水天气。强盛阶段(4日12—18时),12时12—36分(图4i~4j),强回波面积增大,飑线在东移中与湘粤交界处对流回波合并发展,形成近似南北向的飑线,移速  $60 \sim 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。13时12—24分(图4k~4l),飑线移入江西后继续增强,形状演变为弓状回波,强度  $60 \text{ dBz}$ ,移动加快,移速达  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。14时24分—15时30分(图4m~4n),飑线发展旺盛并快速向东北方向移动。15时36分—17时36分(图4o~4t),西北—东南向的飑线发展成熟,弓状回波特征更加明显,移速  $100 \sim 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,弓状回波凸起处及其北侧所经过的赣中北地区出现区域性的雷暴大风,多站

监测到12级以上的强雷暴大风,九江庐山站、景德镇乐平塔山工业园站分别出现  $37.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $40.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的极端雷暴大风。减弱阶段(4日18时后),18时(图4u),飑线移出江西后减弱并进入浙江、安徽一带。综上所述,这次强对流过程,前期在广西、湖南形成的强对流回波,4日午后进入江西鄱阳湖平原,摩擦减小,移速加快,鄱阳湖午后高温高湿,上述因素促进了强对流天气的发展,飑线发展成熟,由线状回波演变为弓状回波,造成江西中北部大范围8~10级雷暴大风、九江—景德镇地区11~13级强雷暴大风。

### 4.2 引导气流特征

雷达回波移速与雷暴大风出现几率呈正相关,回波移速  $> 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时有利于产生灾害性大风<sup>[11-12]</sup>。3月4日850~300 hPa平均风场上(图略),08时,广西—江西上空为一致性的西南风,风速  $22 \sim 28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,08—20时,湖南—江西的西南风增强,达  $24 \sim 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在西南急流引导下,04—12时、13—14时、15—17时雷达回波移动速度分别达  $60 \sim 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $80 \sim 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $100 \sim 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

### 4.3 风廓线特征

地面大风发生前,中层大风速核下降明显。3月4日宜春风廓线产品显示(图5a),大风出现前,12时56分—13时25分,西南风  $> 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的大风速核从  $3.7 \text{ km}$  高度下降至  $1.8 \text{ km}$  高度,飑线于13时13—36分经过宜春雷达站,13时33分宜春出

现该过程最大阵风南风  $> 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $21.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )。4 日,南昌风廓线产品显示(图略),大风出现前,14 时 57 分—15 时 14 分,西的大风速核从 2.7 km 高度下降至 0.3 km;15 时 21 分,南昌出现  $19.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的阵性大风。由图 5b 看出,4 日,景德镇大

风出现前,16 时 33—46 分,西南风  $> 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的大风速核从 3.7 km 下降至 0.6 km;16 时 50 分,景德镇出现  $20.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的阵性大风。由此可见,大风速核下降时间早于地面大风 10 ~ 30 min 左右。

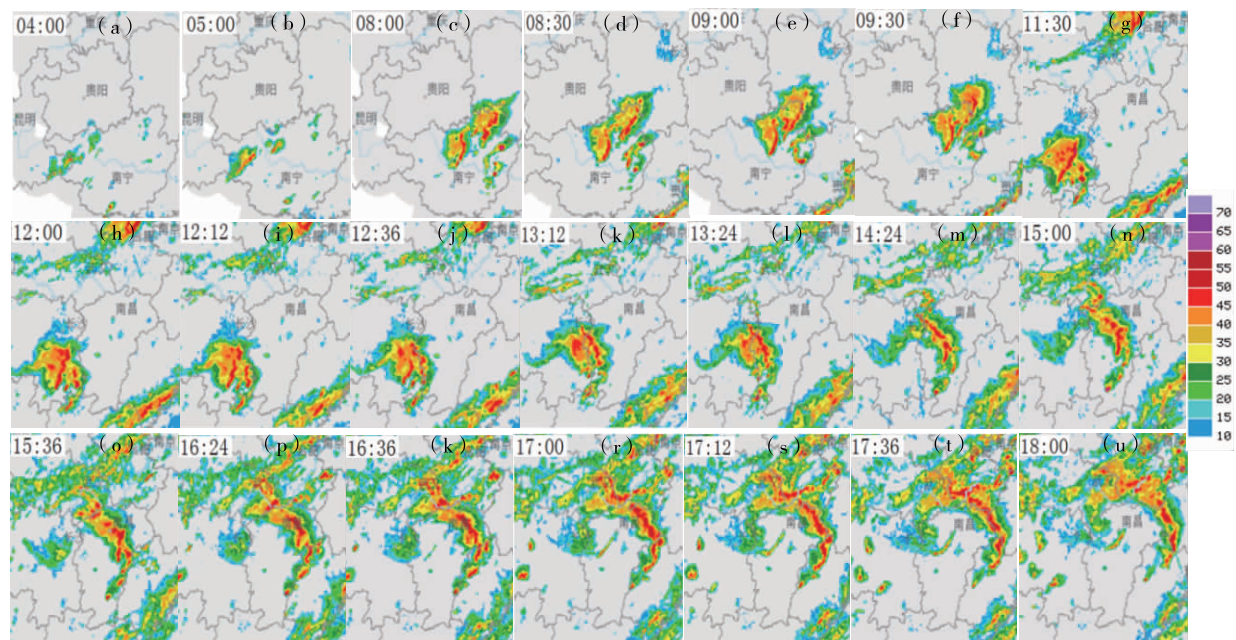


图 4 2018 年 3 月 4 日雷达回波(单位: dBz)  
Fig. 4 Radar echo on March 4, 2018(unit: dBz)

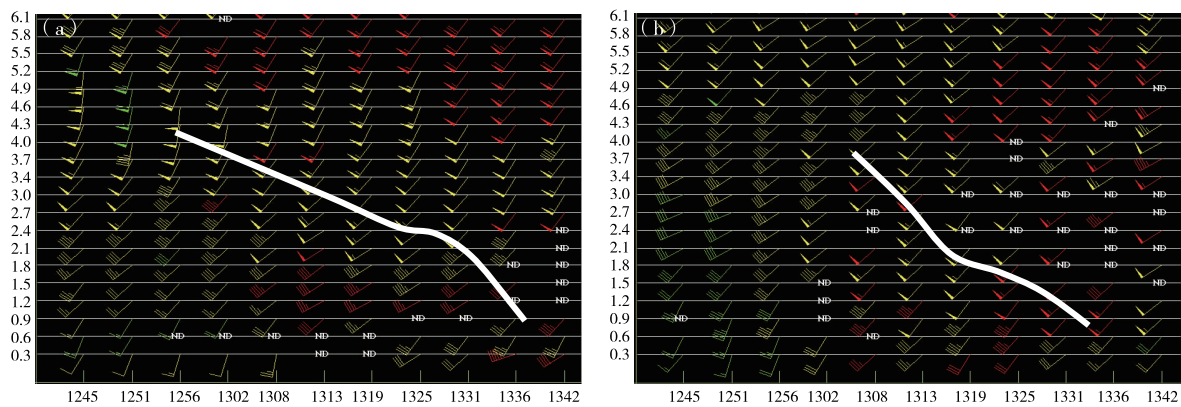


图 5 2018 年 3 月 4 日 12 时 45 分—13 时 42 分宜春(a)、16 时 33 分—17 时 04 分(b)景德镇风廓线  
Fig. 5 Wind profile in Yichun at 12:45—13:42(a) and in Jingdezhen at 16:33—17:04(b) on March 4, 2018

4.4 冷池特征

冷池是飚线的边界层特征,冷池前部是风暴出流边界。低层存在垂直风切变时,冷池就能够触发其前沿空气产生较强上升运动,对触发新的风暴单体有利。冷池和低层垂直风切变相互作用是飚线发展维持最为重要的热力和动力机制。4 日 15 时 20 分,地面温度客观分析显示,南昌西侧出现冷池,中心最低温度  $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,阵风锋前高温达  $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 6),在阵风锋前后分别出现飚前暖低压、雷暴高压(图

略),阵风锋前后温差大,气压梯度大,密度流强。冷池引起上升气流,在冷池前部不断诱生新的对流单体,使得雷暴快速传播而形成弓形回波。冷池前沿阵风锋与弓形回波凸起处对应较好,冷池前风向与弓形回波接近垂直,飚线以  $100 \sim 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  的速度向东北方向快速移动。冷池与强低空垂直风切变共同作用,促使飚线前部不断形成新的风暴单体,从而维持了对流风暴的发展与移动。

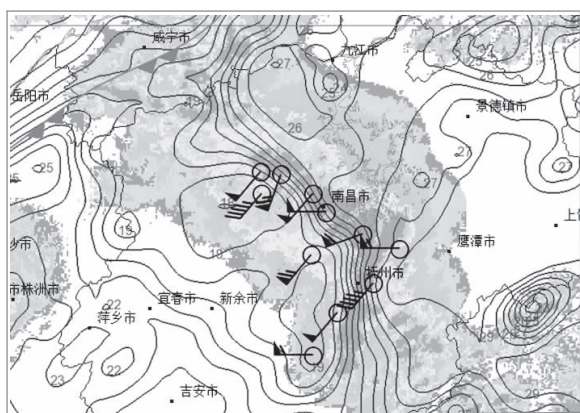


图6 2021年3月4日15时20分地面温度场(黑色实线为等温线,单位:℃)和雷达回波(阴影为雷达回波)

Fig. 6 Surface temperature field (black solid line, unit:℃) and radar echo at 15:20 on March 4, 2018 (shadow as radar echo)

## 5 结论

本文利用 NCEP/NCAR 再分析资料、雷达资料和观测资料,分析了2018年3月4日发生在江南的1次区域性强对流天气过程,得出以下结论:

①此次强对流天气产生于槽前暖区,强低空急流带来的暖湿空气有利于热力不稳定增大、水汽输送和低空垂直风切变维持,同时中层干冷空气进一步加剧了层结不稳定。高空急流、高空槽、垂直风切变、低空急流、低层能量舌+切变线、地面暖低压倒槽+辐合线+冷锋,上述系统是此次强对流天气的触发者和组织者。强垂直风切变使上升气流发生倾斜,导致对流层中层干冷空气卷入,进而加强雷暴下沉气流,最终导致灾害性雷暴大风的出现。地面大风前,中层大风速核下降明显。

②对流条件分析表明此次强对流低层暖平流显著。3月4日08时,700、850 hPa 西南低空急流分别达  $20 \sim 28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $18 \sim 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,08时以后低空急流不断增强,江西中北部低层高温高湿,  $(T - T_d)_{850}$ 、 $(T - T_d)_{925}$ 均小于  $4^\circ\text{C}$ ,中层有冷槽影响,  $(T - T_d)_{700}$ 达  $25^\circ\text{C}$ ,干区明显。温度垂直递减率高,4日08时,南昌  $T_{850-500}$ 、 $T_{700-500}$ 分别达  $28^\circ\text{C}$ 、 $22^\circ\text{C}$ ,4日17时,江西中北部  $T_{850-500}$ 达  $32^\circ\text{C}$ ,达极端热力不稳定,DCAPE达  $1500 \sim 2000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,上述因素非

常有利于极端雷暴大风天气的出现。

③此次强对流过程中,对流开始在云南与广西交界处发展东移,呈线状回波,在强盛的西南气流引导下,线状回波以  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度从广西移入湖南后,与湘粤交界处对流回波合并发展,形成近似南北向的飑线,移动不断加速。飑线移入江西后发展为线状弓形,飑线后冷池明显,中尺度雷暴高压与阵风锋前暖低压的强气压梯度造成强密度流,弓形回波移速达  $100 \sim 120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,导致江西中北地区出现区域性8~10级大风,九江庐山站、景德镇乐平塔山工业园站出现13级的极端雷暴大风。

## 参考文献

- [1] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006:122-123,169.
- [2] 程小娟,王长学,马中元,等.短时强降水雷达回波特征分析[J].气象水文海洋仪器,2021,38(2):25-27.
- [3] 於慧玲,杨宇.一次短时强对流天气的雷达产品特征分析[J].中低纬山地气象,2018,42(3):83-88.
- [4] 杨春艳,陈杨,孟庆怡,等.黔西南一次中 $\beta$ 尺度强对流天气分析[J].中低纬山地气象,2021,45(6):1-8.
- [5] 毕波,高兵,杨航.大理机场雷暴特征及潜势预报分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):71-75.
- [6] JOHNS, R. H., Doswell III C. A. Severe local storms forecasting[J]. Weather Forecasting, 1992, 7(2):588-612.
- [7] 杨金红,郭建侠,王佳,等.雷达气候学分析方法在2020年汛期强降水中的应用[J].气象水文海洋仪器,2022,39(2):86-89.
- [8] 钟利华,曾鹏,李勇,等.广西雷暴大风天气环流特征和物理量诊断分析[J].气象,2011,37(1):59-65.
- [9] 伍志方,叶爱芬,胡胜,等.中小尺度天气系统的多普勒统计特征[J].热带气象学报,2004,20(4):391-400.
- [10] 罗爱文,朱科锋,方茸,等.江淮地区弓状回波的分布和环境特征分析[J].气象,2015,41(5):588-597.
- [11] 柳守煜,马中元,陈鲍发,等.“2013.3.19”飑线天气过程分析[J].气象水文海洋仪器,2014,31(3):28-32.
- [12] 丁一汇,李鸿洲,章名立,等.我国飑线发生条件研究[J].大气科学,1982,6(1):18-27.
- [13] 方翀,林隐静,曹艳察,等.华南地区西风带飑线和台风飑线环境场特征统计对比分析[J].热带气象学报,2017,33(6):965-974.
- [14] 吴哲红,胡秋红,蒙军,等.2017年贵州中西部冰雹流型识别和物理量特征检验[J].中低纬山地气象,2018,42(6):8-14.
- [15] 罗建英,廖胜石,梁岱云,等.2005年3月22日华南飑线的综合分析[J].气象,2006,32(10):70-75.