

王娟,李向红,王艳兰.广西临桂极端大风天气过程的中尺度特征分析[J].气象研究与应用,2020,41(2):84-88.

Wang Juan, Li Xianghong, Wang Yanlan. Mesoscale characteristic analysis of extreme gale weather in Lingui, Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(2): 84-88.

# 广西临桂极端大风天气过程的中尺度特征分析

王娟, 李向红, 王艳兰

(桂林市气象局, 广西 桂林 541001)

**摘要:** 利用常规观测资料、桂林多普勒天气雷达资料,对 2019 年 3 月 21 日夜间广西桂林市临桂区极端大风天气过程的气象要素变化特征、对流潜势和对流风暴的中尺度特征进行分析。结果表明,这是一次由超级单体造成的下击暴流过程,极端大风出现在最强分钟降水之前,气压在极端大风出现前后变化剧烈;过程发生在冷锋前低空急流前端的不稳定层结下,地面中尺度辐合中心触发对流,在强的风切变环境下迅速发展成超级单体风暴;雷达图上具有前侧入流缺口、后侧弱回波通道、回波垂悬、强中气旋、地面强辐散等特征;雷达提前一小时识别出 TVS,在今后的临近预警中值得高度重视。

**关键词:** 极端大风;下击暴流;超级单体风暴

**中图分类号:** P458.1<sup>+</sup>23 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.2.17

**OSID:**



## 引言

雷暴大风指由大气对流活动所导致的地面及近地面的强风天气事件。雷暴大风主要由风暴的强下沉气流造成,有时还有冷池密度流和高空动量下传的作用。下击暴流指由雷暴强下沉气流所导致的地面及地面附近的强辐散风<sup>[1]</sup>。雷暴大风发生在低槽东移,配合有低空急流和切变线,上干下暖湿的不稳定层结条件下,同时有切变线和冷锋触发的典型天气模型环境中<sup>[2-3]</sup>,也可发生在弱天气尺度强迫和弱垂直风切变背景下,要求环境中具有较为有利的热力不稳定增强机制<sup>[4]</sup>。雷暴大风的主要雷达回波特征有弓形回波、阵风锋和径向速度大值区<sup>[5]</sup>。造成下击暴流的超级单体风暴具有明显的钩状回波、中层径向辐合、近地面强辐散及反射率因子核心下降等雷达回波特征<sup>[6]</sup>。中尺度强雷暴高压与锋前暖低压作用造成强密度流,700hPa 以上干冷急流提供高动量气块,加大夹卷效应,相变降温效应加速降水拖曳引起的下沉气流,在地面形成极端大风<sup>[7]</sup>。

气象工作者对雷暴大风的环境条件、雷达回波

特征和形成机理做了大量研究。雷暴大风具有局地性强、破坏性强的特点,2019 年 3 月 21 日夜间广西临桂出现极端大风,打破广西有气象记录以来的风速历史纪录。通过对这次极端大风过程的中尺度特征分析,以期为提高致灾性雷暴大风的预报预警能力提供有效的参考依据。

## 1 灾情概况和气象要素分析

2019 年 3 月 21 日 21:13,广西临桂国家基本气象站观测到  $60.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (17 级)大风,打破广西有气象记录以来的风速历史纪录。临桂国家站百叶箱被吹倒,值班板房侧面被摧毁,发电机棚被吹走,观测站附近地区受不同程度的损害。广西区气象局会同佛山市龙卷风研究中心对风灾过程的现场进行了详细的灾情调查,受灾面积约  $320\text{hm}^2$ ,灾情指示物倒伏方向有明显的辐散状,多株直径大于 30cm 的樟树被连根拔起,有铁皮屋顶被掀翻,鸡舍的砂浆墙倒塌,风灾等级相当于 EF2 级,风灾强度等级判断与临桂观测站观测的 17 级阵风风速相符。经综合研判,临桂大风是一次强度为 EF2 级,影响直径在

收稿日期: 2020-04-30

基金项目: 中国气象局预报员专项(CMAYBY2020-096)、桂林市气象局自立科研项目(201904)

作者简介: 王娟(1985-),女,硕士,工程师,从事天气预报预警工作,E-mail: wxhcmf@163.com

2km范围内的微下击暴流过程<sup>[8]</sup>。

从临桂国家站 21:06–21:15 气象要素逐分钟数据(表 1)可以看出,21:08 阵风风速迅速增大,21:09 阵风风速大于  $17.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 极端大风  $60.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  出现在 21:13,下击暴流持续 6min,出现的时间段为 21:09–21:14。备份站 21:13 最大风速也达到了  $59.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,说明了观测数据的可靠性。风向则一直维持偏北风,在 21:06–21:07 的 1min 内顺转  $64^\circ$ 。

气压在 21:11–21:12 的 1min 内降低 2hPa,21:13 气压缺测,可能是气压 1min30 次的采样值误差或变化过大导致采集器处理为缺测。虽然有一个缺测数据,但是在 21:12–21:14 期间,2min 变压也达到了 6hPa,说明气压在极端大风出现前后变化剧烈,陡降后陡升。

气温在下击暴流出现期间降低  $2.2^\circ\text{C}$ ,露点温度

降低  $1.8^\circ\text{C}$ ,由于百叶箱被吹翻,从 21:14 开始气温和露点温度数据不可信。温度露点差由  $2.1^\circ\text{C}$  逐渐降低至  $1^\circ\text{C}$ ,表明水汽饱和度增大。

这次下击暴流过程伴随强降水。20:56 开始出现降水,21~22h 降水量达 47.9mm。21:12–21:15 分钟降水量均超过 3mm,其中 21:14 分钟降水量达 6.6mm,极端大风出现的后 1min 降水达到最强。

由逐分钟气象要素变化特征分析可知,大风过程期间,风向首先顺转,随后风速迅速增大,下击暴流期间气压在极端大风出现前后先陡降后陡升,气温和露点温度迅速降低,水汽饱和度增大,极端大风出现在最强分钟降水之前。

2 对流潜势分析

表 1 21:06–21:15 气象要素逐分钟数据

分钟	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
最大风速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	14.8	12.8	17.4	24.3	32.0	34.0	44.7	60.3	22.8	7.7
风向( $^\circ$ )	53	349	338	338	326	321	338	309	323	262
平均风( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	10.7	11.0	10.6	15.6	20.1	23.6	31.7	39.9	28.2	9.5
气压(hPa)	980.0	979.7	979.8	980	980	979	977	/	983	982
气温( $^\circ\text{C}$ )	22.8	22.6	22.4	22.3	22.2	21.4	20.6	20.1	20.1	20.1
露点( $^\circ\text{C}$ )	20.7	20.9	20.9	20.9	20.8	19.9	19.3	19.1	19.1	19.1
降水量(mm)	0.7	0.6	0.7	0.4	1.3	1.8	3.5	3.0	6.6	3.4

2.1 环境中尺度分析

由 2019 年 3 月 21 日 20 时中尺度分析(图 1)可知,200hPa 高空急流从滇北延伸至东海,华南地区位于 200hPa 急流轴右侧,强烈的高空辐散有利于垂直运动的发生发展。500hPa 中空急流穿过桂北,为强对流天气提供强的风切变环境以及大风天气提供高空动量条件。

700hPa 桂东北为显著降温区,高空锋区移至湘桂地区,桂北斜压性加大,干舌由桂南伸向桂东北,临桂位于干舌前端。850hPa 暖脊由中南半岛伸向桂北,湿舌由湘南伸向桂东北,临桂位于湿舌内。上干冷下暖湿的湿温垂直配置结构有利于对流天气发生并强烈发展。

700hPa 西南风低空急流由中南半岛延伸至江南,850hPa 和 925hPa 切变线位于湘黔桂交界处,广西受切变线南侧偏南气流控制,偏南风低空气流由南海延伸至桂东北,临桂位于 700hPa 西南风急流的

左侧和 850hPa 偏南风急流的前端,具有强烈的风切变、水汽辐合和风速辐合。地面冷锋已移至桂林中部,冷锋前存在地面辐合线。由锋面和地面辐合线触发对流,在有利的环境条件下发展加强。值得注意的是,临桂西北方向的天平山附近,地面风场上能分

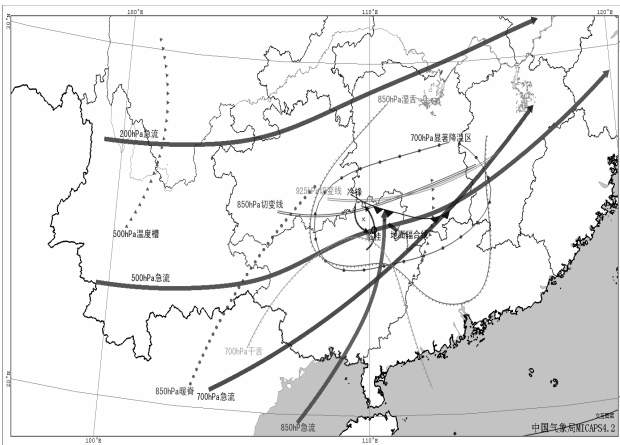


图 1 21 日 20 时中尺度分析图

析出中尺度气旋性辐合中心。

## 2.2 探空资料分析

由 21 日 20 时 T-lnP 图(图 2a)可以看出,桂林呈现上干下湿的对流不稳定层结,中层有干空气侵入,层结曲线呈现倒 V 型,有利于强对流天气尤其是雷暴大风的出现。500hPa 与地面风速差达到  $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,0~6km 高度存在强垂直风切变。SI 为  $-3.02^\circ\text{C}$ ,属于热力不稳定层结。850hPa 的 Td 为  $16^\circ\text{C}$ ,表明低层水汽充沛。21 日白天受锋前热低压影响,最高气温达  $30^\circ\text{C}$ ,不稳定能量积聚,CAPE 值为  $769.6\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。经触发后生成的对流风暴移入该区域后,较强的热力不稳定、上干下暖湿的垂直分布结构配合强的垂直风切变非常有利于伴有雷暴大风天气的强风暴

(包括超级单体风暴)的组织化发展。

速度矢端图(图 2b)是将风向、风速随高度变化或风的垂直切变用平面极坐标系表示出来,由各个层的切变风矢量组成,速度矢端图的形状与风暴发展的潜势有很大关系<sup>[9]</sup>。21 日 20 时风速矢端图上显示低层具有强的风切变和明显的速度矢端图的曲率,有利于加强风暴的旋转潜势,在这种环境中所产生的风暴已经具有发展成为超级单体风暴的潜势。700hPa 以下风随高度顺转,有暖平流,500hPa 以上风随高度逆转,有冷平流,冷平流叠加在暖平流之上,层结不稳定度加大,有利于对流风暴的发生发展。

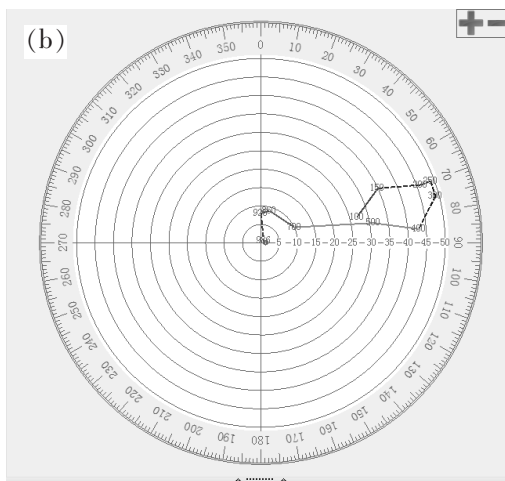
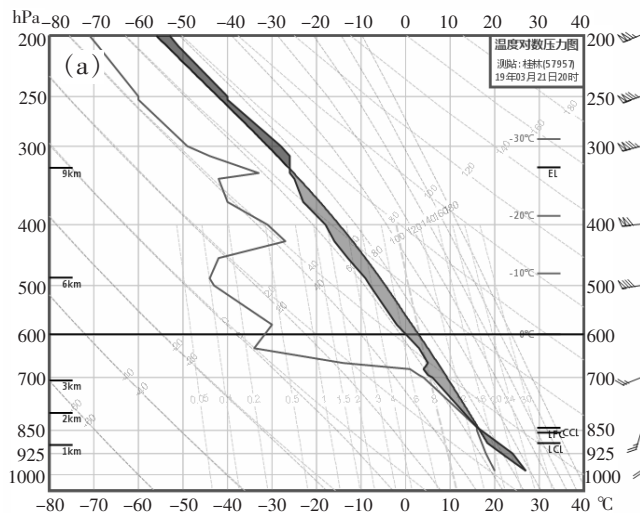


图 2 桂林 21 日 20 时 T-lnP 图(a)和速度矢端图(b)

## 3 对流风暴的中尺度特征

### 3.1 雷达反射率因子

临桂气象站位于  $110.15^\circ\text{E}$ ,  $25.23^\circ\text{N}$ , 海拔 222.5m, 位于桂林雷达站西南方向, 相距 17.7km。

21:06 反射率因子核心强度超过 65dBz, 呈现弓形形状, 大值区位于前侧, 靠近入流一侧, 存在明显的前侧入流缺口和后侧弱回波通道, 表明对流风暴前侧和后侧均存在强的入流, 前侧入流急流表明对流风暴内存在强的上升气流, 后侧入流急流将环境中的干冷空气夹卷进入风暴内。强回波中心位于低层弱回波区之上, 表明有强盛的上升气流。

反射率因子剖面图上, 20:54 存在两个强的对流风暴, 其中一个为低质心, 另一个为高质心。低质心

风暴中大于 60dBz 的回波位于 2~5km, 高质心风暴中大于 60dBz 的回波位于 5~6km, 低质心风暴主体位于  $0^\circ\text{C}$  层以下, 强回波表明风暴中存在大量的大水滴, 此次过程是由大水滴的拖曳作用发动的下击暴流。21:00 低质心风暴迅速增强, 质心升高, 高质心风暴强度增强, 移速比低质心风暴快。21:06 高、低质心风暴合并增强, 并有向下发展的趋势。21:12 可以看到明显的回波墙, 强回波核接地, 风力达到最大, 出现极端大风。在风暴的发展演变过程中具有低层弱回波区和中高层回波悬垂的回波特征, 低层相对于风暴的入流, 常位于低层反射率因子梯度较大的一侧, 同时弱回波区和回波顶也偏向低层入流一侧。

### 3.2 雷达平均径向速度

从径向速度图上可以看出, 在距离雷达站 17km



左右处出现小尺度涡旋,核区直径小于 10km,最大入流出现速度模糊,转动速度约为  $32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,属于强中气旋。旋转会在地面附近造成气压下降,从而形成向下的气压梯度力扰动,使得下击暴流加强。中气旋在低层随高度逆时针旋转,引起此次下击暴流的对流风暴为超级单体风暴。

径向速度剖面 20:54 出现明显的中低层辐合、高层辐散特征,21:00 开始地面出现明显的辐散特征。21:06 地面上 1km 处雷达径向上辐散气流达  $17.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而超级单体风暴移动方向与径向垂直,表明地面将出现 8 级以上大风。21:12 最低层出现速度模糊,径向上最大辐散速度为  $37\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,地面对应出现  $44.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  大风。

### 3.3 TVS 特征

龙卷涡旋特征 TVS 是指在雷达径向速度图上识别出的一种与龙卷紧密关联的比中气旋尺度小旋转快的涡旋,在速度图上表现为像素到像素的很大的风切变。21:12 的  $0.5^\circ$  仰角径向速度图上出现 TVS,相邻方位角沿方位方向的最大入流速度和最大出流速度的绝对值之和为  $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,满足 TVS 的切变判据。导致临桂极端大风的对流风暴中可能出现了一个龙卷。

雷达 TVS 产品在 20:13–21:06 不间断地识别出 TVS,非常靠近雷达的龙卷才能被探测到相应的 TVS,而 TVS 的预告虚警率很低,当雷达产品识别出 TVS,尽管没有满足相应指标,若提高警惕,依然能较早发布大风预警。

## 4 结论

通过分析广西临桂极端大风天气过程的中尺度特征,得出如下结论:

(1)2019 年 3 月 21 日 21:13 临桂出现的广西极端大风( $60.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )过程是一次湿微下击暴流过程。风向首先顺转,随后风速迅速增大,气压在极端大风出现前后先陡降后陡升,气温和露点温度迅速降低,水汽饱和度增大,极端大风出现在最强分钟降水之前。

(2)500hPa 中空急流提供强风切变环境和高空动量条件,上干冷下暖湿的湿温垂直配置结构提供有利的层结条件,850hPa 偏南风急流的前端,具有

强烈的风切变、水汽辐合和风速辐合。锋面和地面辐合线触发对流,天平山附近地面风场上分析出的中尺度气旋性辐合中心是初始对流发生的地方。

(3)层结曲线呈现倒 V 型,有利于雷暴大风的出现。强的风切变、热力不稳定环境具有较好的对流潜势。风速矢端图上显示低层具有强的风切变和明显的速度矢端图的曲率,有利于超级单体风暴的发展。

(4)中气旋转动速度约为  $32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,属于强中气旋,引起此次下击暴流的对流风暴为超级单体风暴。21:12 的  $0.5^\circ$  仰角径向速度图上出现 TVS,相邻方位角沿方位方向的最大入流速度和最大出流速度的绝对值之和为  $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,满足 TVS 的切变判据。导致临桂极端大风的对流风暴中可能出现了一个龙卷。雷达 TVS 产品在 20:13–21:06 不间断地识别出 TVS,雷达提前一小时识别出 TVS,在今后的临近预警中值得高度重视。

### 参考文献:

- [1] 王秀明,周小刚,俞小鼎.雷暴大风环境特征及其对风暴结构影响的对比研究[J].气象学报,2013,71(5):839–852.
- [2] 方翀,俞小鼎,朱文剑,等.2013 年 3 月 20 日湖南和广东雷暴大风过程的特征分析[J].气象,2015,41(11):1305–1314.
- [3] 王娟,王军君,王婷,等.桂林初春一次冰雹天气过程分析[J].气象研究与应用,2019,40(1):29–33.
- [4] 程月星,孙继松,戴高菊,等.2016 年北京地区一次雷暴大风的观测研究[J].气象,2018,44(12):1529–1541.
- [5] 王福侠,俞小鼎,裴宇杰,等.河北省雷暴大风的雷达回波特征及预报关键点[J].应用气象学报,2016,27(3):342–351.
- [6] 翟丽萍,农孟松,梁维亮,等.造成临桂极端大风的超级单体风暴单体观测分析[J].暴雨灾害,2019,38(4):346–353.
- [7] 盛杰,郑永光,沈新勇,等.2018 年一次罕见早春飚线大风过程演变和机理分析[J].气象,2019,45(2):141–154.
- [8] 李彩玲,黄先香,蔡康龙,等.2019 年中国龙卷等对流大风过程及灾情特征[J].气象科技进展,2020,10(1):7–14.
- [9] 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,2006:95–137.

## Mesoscale characteristic analysis of extreme gale weather in Lingui, Guangxi

Wang Juan, Li Xianghong, Wang Yanlan

(Guilin Meteorological Bureau, Guilin Guangxi 541001)

**Abstract:** Using conventional observation data and Guilin Doppler weather radar data, the meteorological elements characteristics, convective potential and mesoscale characteristics of convective storms in the extreme gale weather process in Lingui District, Guilin, Guangxi at night on March 21, 2019 were analyzed. The results showed that this was a downburst process caused by supercells. The extreme gale appeared before the max minute precipitation, and the pressure changed drastically before and after the extreme gale. The process took place under the unstable stratification at the front of the low-level jet in front of the cold front, and the surface mesoscale convergence center triggered convection, which rapidly developed into a supercell storm in the strong wind shear environment. The radar chart had the characteristics of an inflow gap on the front side, a weak echo channel on the rear side, an echo overhang, a strong medium cyclone, and strong ground divergence. The radar recognized the TVS one hour in advance, which deserved high attention in the near-warning in the future.

**Key words:** extreme wind; downburst; supercell storm