

两次斜压锋生类强对流过程对比分析

盛志军¹ 周雨^{2*} 张国平³

(1 江西省气象台, 南昌 330096; 2 江西省气象服务中心, 南昌 330096; 3 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要 利用常规气象观测资料、加密自动站资料及 NCEP 再分析资料, 对 2019 年春季江西两次强对流天气(以下简称“3·21”、“4·9”过程)作对比分析。结果表明:①两次过程都由冷空气进入地面倒槽触发,“3·21”过程冷暖空气的辐合明显;“4·9”过程锋面辐合较弱,冷锋移动快。②“3·21”过程对流发生时湿层更深厚,对流层高层高值位涡库自上而下呈漏斗状延伸至 400 hPa,“干侵入”特征明显;“4·9”过程中低层整体湿度条件较差,中高层有明显干空气卷入,冷却蒸发作用导致的强下沉气流引发地面大风。③“3·21”过程回波有明显弓形特征,中气旋数量达 9 个;强冷空气从 3 km 高度侵入,动量迅速下传,移速快,对大风等强对流预警有指示意义;“4·9”过程侵入冷空气轻薄,单体风暴 VIL 小,短临预警低估大风可能性大。

关键词 强对流;飏线;干侵入;回波特征

中图分类号: P458 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200437 **文献标识码:** A

引言

强对流天气通常是指由深厚湿对流(DMC)产生的冰雹、雷雨大风等各种灾害性天气,因其突发性强、生命期短、局地性强、造成的天气剧烈等特点,一直备受关注^[1-3]。随着我国气象现代化的发展,各类专项研究也纷纷展开^[4-17],极大推进了我国强对流天气预报水平。强对流天气的发生发展需要以下基本环境条件:不稳定层结、垂直风切变、触发机制和水汽条件。然而强对流发生前的环境大气特征并不存在非常明确的物理界限,即使是在天气系统配置相似的情况下,对应的强对流天气类型或强度也不尽相同。如何准确的做出雷暴大风、冰雹或短时强降水等强对流分类预报仍然是目前天气预报业务中的难点^[18-21]。由于影响强对流的天气尺度系统结构及局地中尺度环流特征差异,同一种类型的强对流强度也会有所不同。强对流天气的上述复杂性决定了一些细微的差别就可能对强对流天气类别或强度差异。因此需要加强对一些相似类型强对流

个例的细致分析研究,通过环境场条件差别研判分析强对流天气不同类型或强度潜势。

2019 年春季江西北部发生了两次类似区域性强对流过程,一次出现在 3 月 20 日 20:00 至 21 日 18:00(简称“3·21”过程),44 个气象站出现 10 级以上大风(图 1a);19 个气象站出现冰雹,最大直径约 30 mm(宜春市);69 个气象站小时雨量超过 30 mm(图 2a),最大小时雨量达 62.1 mm(湖口县文桥乡);强对流天气导致死亡 5 人,直接经济损失 7.4 亿元。另一次过程出现在 4 月 9 日 13:00—20:00(简称“4·9”过程),5 个气象站出现 10 级以上大风(图 1b),最大风速达 $30.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (广丰县大石乡),4 个气象站小时雨量超过 30 mm(图 2b),最大小时雨量 46.8 mm(九江永修县柘林镇)。两次过程发生时间前后间隔不到 20 d,环流背景相似,但强天气的强度、范围及造成的灾情损失差别较大,其成因对强对流天气预报预警服务有重要意义。本文从天气形势、水汽条件、触发机制和回波特征等方面探讨两次过程强天气成因的异同。

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

江西省气象局重点项目“基于精细化降水产品的江西高速公路交通气象预报技术研究”(17302005151714)、江西省科技厅项目“江西高速公路高影响天气通行风险预报预警技术研究(20202BBGL73100)”资助

作者简介:盛志军,男,1983 年生,高级工程师,主要从事短临预报技术研究,Email:94644112@qq.com

收稿日期:2020 年 10 月 16 日;定稿日期:2021 年 4 月 1 日

* 通信作者,Email:715089388@qq.com

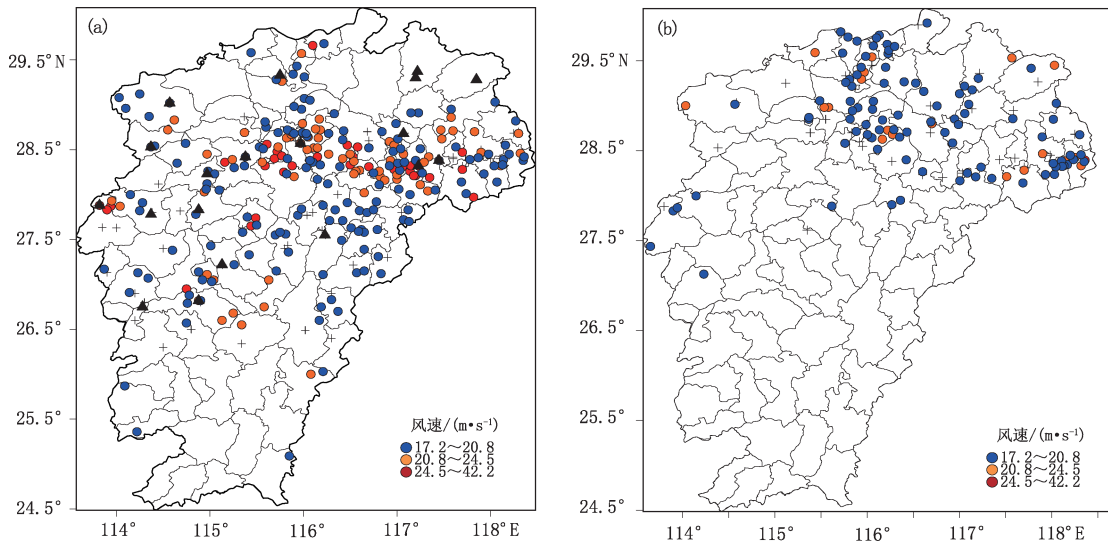


图1 2019年3月20—21日(a)和4月9日(b)江西出现8级以上极大风速(实心圆圈)、冰雹(黑色实心三角形)及雷电(+)实况分布

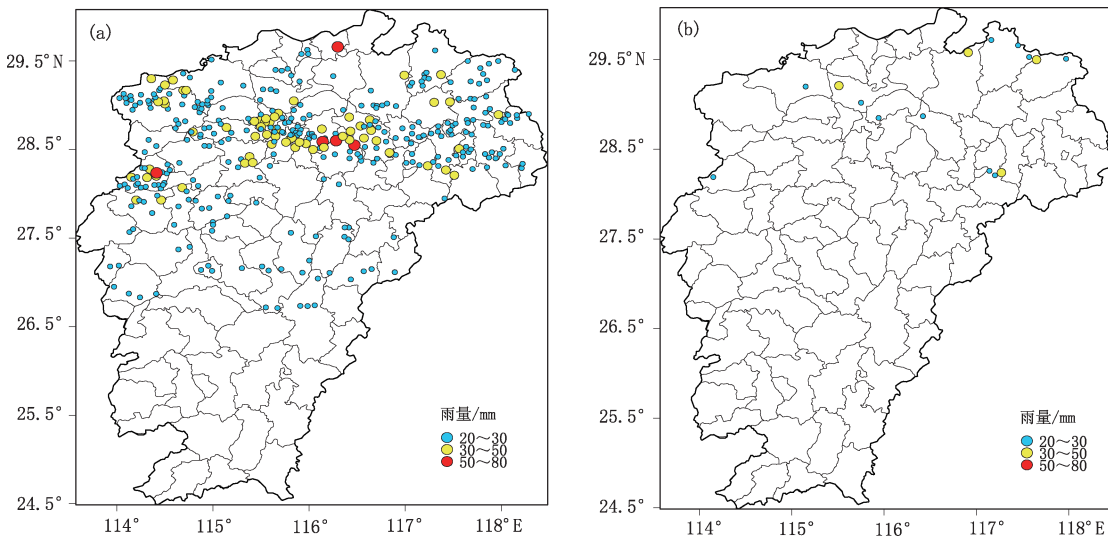


图2 2019年3月20—21日(a)和4月9日(b)江西最大小时雨量达20 mm以上的分布

1 天气形势及冷空气对比分析

1.1 天气形势对比

强对流天气的发生发展与其所在的大尺度环境条件密切相关。2019年3月20日20:00山东半岛到长江中下游500 hPa有阶梯式短波槽(图3a),引导冷空气沿偏东路径南下。700 hPa到925 hPa切变线位于长江流域,切变南侧江西到华南有宽广的西南急流,呈风速辐合。地面冷高压主体位于西北地区东部,中心气压1035 hPa,前缘冷锋位于山东西部至陕南,江西北部处于低压倒槽中。21日

08:00随着高空槽东南移,低层切变南压,动力辐合明显加强,锋区两侧温差达到每100 km 5~7℃。4月9日08:00(图3b),500 hPa江西受槽前暖脊控制;700 hPa至925 hPa切变线位于黄淮到江淮之间,850 hPa长沙、南昌到安庆风速达20~26 m·s⁻¹,江西处地面低压倒槽中,9日下午开始气旋后部冷锋快速南下影响江西,锋区两侧温差达每100 km 4~10℃。

两次过程都由冷空气进入倒槽触发,有明显的冷暖平流,属斜压锋生类强对流过程^[12]。“3·21”过程500 hPa温度槽超前于高度槽,有利于槽前建立不稳定;“4·9”过程高空槽前是更强的暖平流,导致

地面气旋发展。“3·21”过程江西北部低层及锋面南侧风向风速场均呈现辐合特征,为锋前中尺度对流系统发生发展提供了有利的动力条件;“4·9”过程江西北部呈风速辐散特征。

1.2 冷空气对比

分析两次过程天气系统配置,锋前及锋面附近出现了中尺度对流系统。“3·21”过程先有地面静止锋进入倒槽引起暖区分散性对流(图 3a),而后冷空气移入静止锋,锋前干冷空气与暖湿空气的辐合增

强引起锋生,上升运动加强,风暴顶辐散在锋前形成垂直环流,降水作用在锋面附近形成冷池,使得温度梯度进一步加大,地面辐合加强,冷池出流与暖湿空气辐合,锋生作用触发江西北部对流新生发展,锋面移速缓慢,导致中尺度对流系统持续时间较长。“4·9”过程地面冷空气势力较强移动快,暖湿气流偏弱,降水条件偏弱导致冷池作用不及前次过程明显,锋前垂直环流维持时间短,以干对流为主。

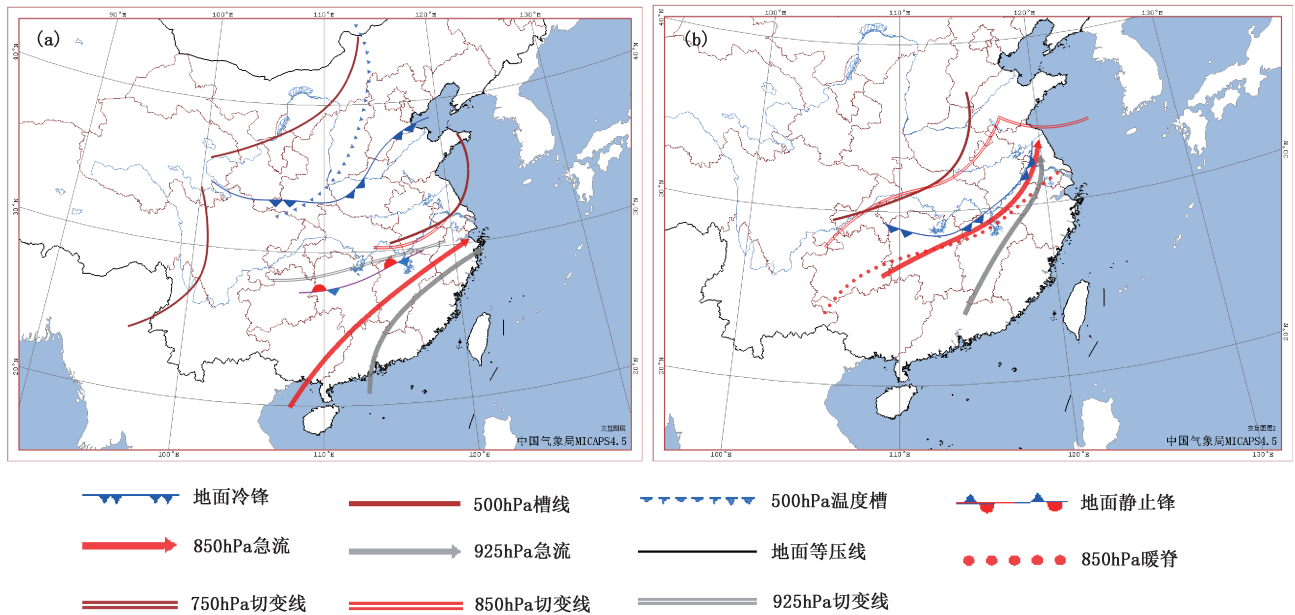


图 3 2019 年 3 月 20 日 20:00(a)、4 月 9 日 08:00(b)天气形势综合配置

2 环境条件对比分析

2.1 不稳定特征

强对流发生前,低层一般都存在潜在不稳定能量积聚过程,在外部动力条件具备的情况下,大气潜在不稳定能量释放从而触发强对流天气。 $T-\ln p$ 图能够反映探空站及其附近气象要素的垂直分布,可有效判断强对流潜势。选取南昌站进行探空分析(图 4),两次过程层结曲线都呈典型“上干下湿”分布;3 月 20 日 20:00,850 hPa 以下风随高度顺转,700 hPa 至 400 hPa 风随高度逆转,呈“上冷下暖”温度垂直分布特征;0 °C 和 -20 °C 层高度分别为 4.0 km 和 7.2 km,显著不稳定层结和适宜的中间层高度有利冰雹增长。

对比常用对流参数(表 1),3 月 20 日 20:00 对流有效位能达 1090 J·kg⁻¹,850 hPa 与 500 hPa 温

差达 28 °C,气温垂直递减率增大,表明对流发生前已积累较高不稳定能量,分析 4 月 9 日 08:00 探空图(图 4b),使用 14:00 地面温度和露点温度订正后对流有效位能达 1533 J·kg⁻¹,两次过程的对流有效位能在江西 3—4 月是明显偏高的。分析表明,两次过程在对流发生前均具有较明显的热力和动力不稳定特征,对流层中层存在明显干冷层结;而“3·21”过程不稳定能量积累更强,中层干冷条件更好,湿层相对更深厚,对流潜势环境条件利于产生更剧烈的强对流天气。

2.2 动力抬升条件

在具有强的不稳定层结条件下,强对流天气是否能够发展,另一关键条件是动力抬升条件和触发机制。以下从散度和垂直速度具体分析两次过程的动力抬升条件。

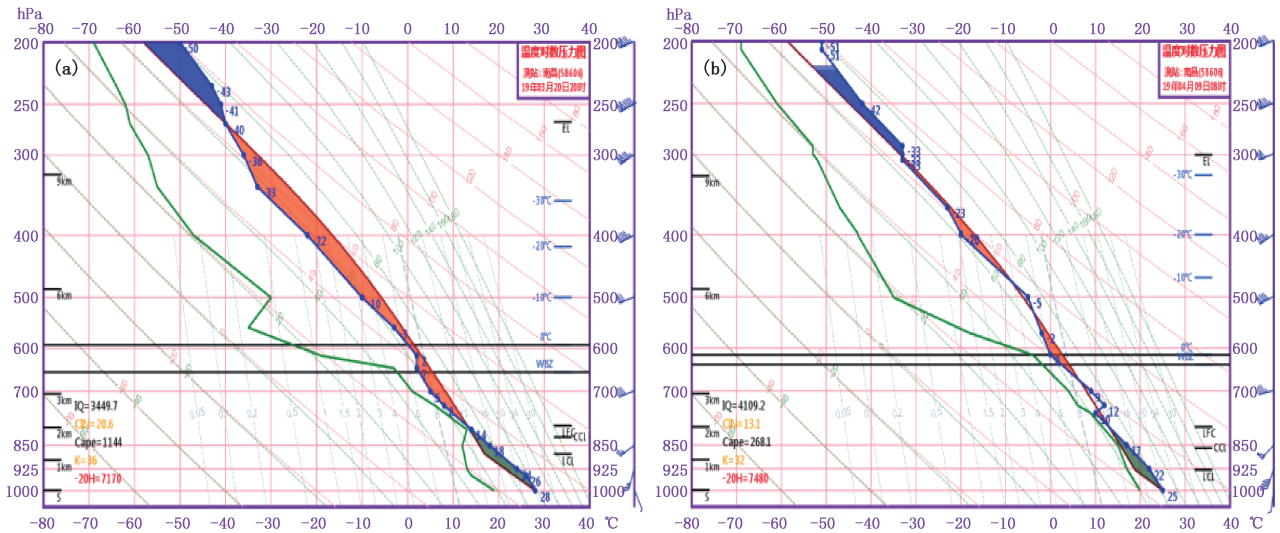
图 4 2019 年 3 月 20 日 20:00(a)和 4 月 9 日 08:00(b)南昌探空站 $T-\ln p$ 图

表 1 2019 年 3 月 20 日 20:00 和 4 月 9 日 08:00 南昌站常用对流指数物理量对比

过程	CAPE	DCAPE	$T_{850-500}$	K	SI	LI	0~6km 风切变	0~2km 风切变	0℃ 高度	-20℃ 高度	可降 水量
	$J \cdot kg^{-1}$	$J \cdot kg^{-1}$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$10^{-3} s^{-1}$	$10^{-3} s^{-1}$	km	km	mm
“3·21”	1090	457	28	36	-1.7	-3.9	22.7	7.62	3.97	7.17	35.8
“4·9”	1533	341	22	33	1.2	1.5	25.8	12	4.8	7.48	42.7

注:CAPE 表示对流有效位能;DCAPE 表示下沉对流对位能; $T_{850-500}$ 表示 850 hPa 与 500 hPa 温差,K、SI、LI 分别表示 K 指数、沙氏指数、抬升指数。

分析图 5 发现,3 月 20 日 02:00 至 21 日 14:00 江西北部 200 hPa 为辐散区,700 hPa 以下为辐合区,辐合中心为 $-1.0 \times 10^{-6} s^{-1}$,出现在 850 hPa(图 5a、b、c),低层辐合高层辐散的抽吸效应使得锋面前沿深厚的垂直上升区建立,为强天气的触发提供了有利的动力抬升条件;20 日 02:00 开始江西北部对流单体风暴有组织化发展,南昌、鹰潭、上饶东部等地区先后出现 8~10 级雷暴大风和短时强降水。“4·9”过程 500 hPa 以上无明显的辐散特征,辐合出现在 925 hPa 和 850 hPa。9 日 08:00—20:00,925 hPa 和 850 hPa 辐合中心为 $-1.0 \times 10^{-6} s^{-1}$ 、 $-0.4 \times 10^{-6} s^{-1}$ (图 5d、e、f),较前次过程辐合层浅薄、范围小。

2.3 垂直风切变

对流风暴的组织程度和强度与环境风垂直切变有密切关系^[17],分析两次过程风场及涡度的高度-经度剖面,3 月 20 日 20:00 至 21 日 08:00(图 6a、b)随着冷空气侵入,116°E 附近 1000~700 hPa、1000~500 hPa 垂直风矢量差最大分别为 $12 m \cdot s^{-1}$ 、

$24 m \cdot s^{-1}$,切变最大分别为 $2.0 \times 10^{-3} s^{-1}$ 、 $3.2 \times 10^{-3} s^{-1}$ 。高低层垂直风矢量差及风向差异的增大,使得高低空垂直风切变增强,为强对流发生发展提供了不稳定层结条件。4 月 9 日 08:00—14:00(图 6c、d),116°E 附近 1000~700 hPa、1000~500 hPa 垂直风矢量差最大分别为 $8 m \cdot s^{-1}$ 、 $14 m \cdot s^{-1}$,切变最大分别 $1.6 \times 10^{-3} s^{-1}$ 、 $2 \times 10^{-3} s^{-1}$ 。对比发现,“3·21”过程垂直风切变更强,有利于水平正涡度的激发和中层干冷空气的吸入,导致冰雹增长,触发强下沉气流。对比图 6b、d 发现,强垂直切变区存在较大水平正涡度,涡管扭曲产生垂直涡度,上升运动加强,利于产生冰雹。

2.4 水汽条件

强对流发生需要一定的水汽条件,王秀明等^[21]通过数值模拟分析发现,大气低层湿度对风暴的组织结构有较大影响,中-高湿度环境更有利于形成高度组织化的飚线。分析两次过程水汽通量和通量散度分布(图略)发现:①两次过程低层均有较好的水汽输送,但“3·21”过程水汽输送偏南,“4·9”过程水

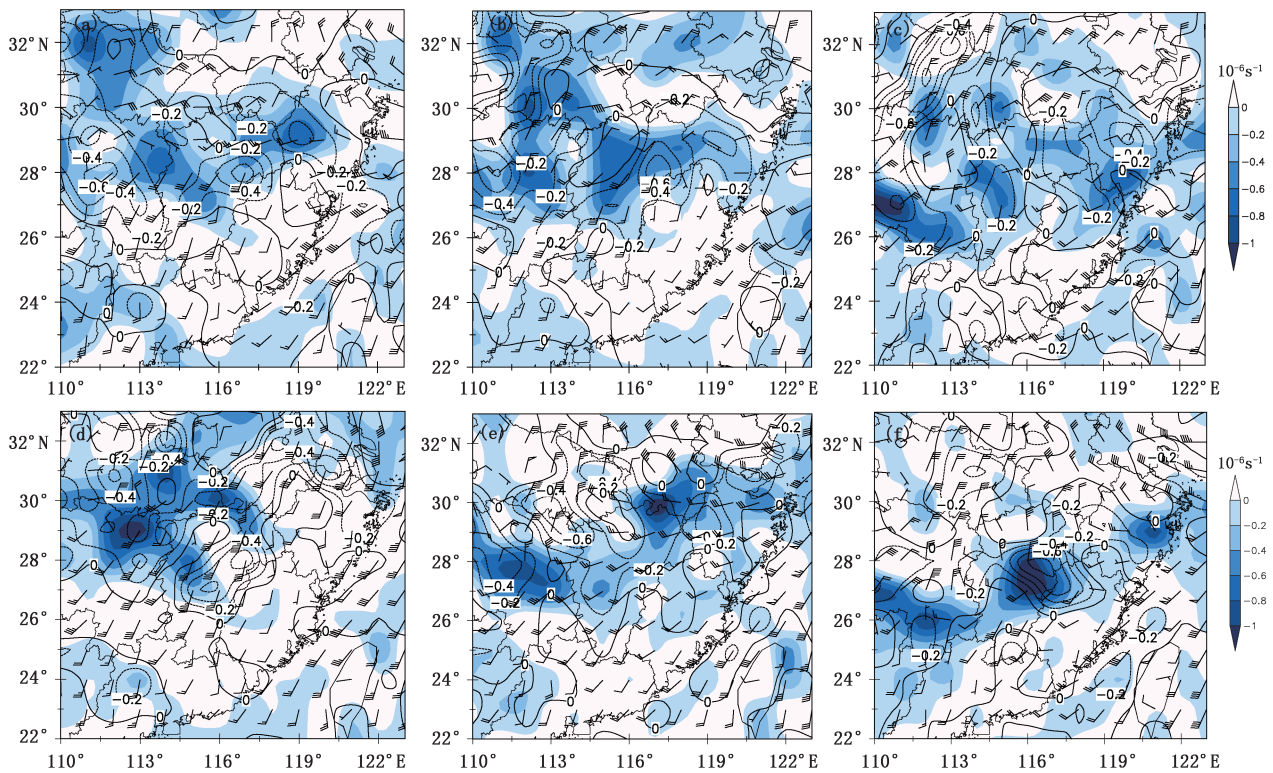


图5 2019年3月21日02:00(a)、21日08:00(b)、21日14:00(c)、4月9日08:00(d)、9日14:00(e)、9日20:00(f)925 hPa风场、925 hPa辐合区(填色)、850 hPa辐合区(等值线,单位: 10^{-6}s^{-1})分布

汽输送偏东偏北。两次过程最大水汽通量分别为 $20 \sim 30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $20 \sim 27 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。②两次过程强对流发生区域均有较强的水汽辐合,“3·21”过程赣北水汽通量散度中心达 $-14 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,高于“4·9”过程。

干侵入是指来自平流层下层和对流层中上层的低相对湿度和高位涡表征的干燥下沉气流,与低层暖空气相互作用,对暴雨的增幅、天气系统位势不稳定的发展以及中气旋发展生成起着重要的促进作用。分析两次过程主强对流发生区域($115^{\circ} \sim 117^{\circ} \text{E}$, $28^{\circ} \sim 31^{\circ} \text{N}$)每6 h 1次的位涡和相对湿度时间剖面发现,3月19日08:00至20日23:00对流层高层高值位涡库自上而下呈漏斗状延伸至400 hPa,表明有干空气向下侵入对流层中层(图7a)。之后,干区逐渐减弱,湿度高值区开始增加,21日08:00,925~300 hPa为显著的湿区,这样深厚的湿层和高位涡库的存在,为短时强降水、冰雹等强对流天气的发生提供了水汽和不稳定条件。“4·9”过程也存在对流层高层位涡库高值向下延伸和湿层增厚

(图7b),但位涡高值区和高湿区维持时间较“3·21”过程偏短。

3 多普勒天气雷达回波特征对比分析

3.1 回波演变特征对比

两次过程大尺度天气系统结构配置有相似性,雷暴大风、冰雹等强天气主要是由飑线等中小尺度系统导致,以下主要讨论其回波演变特征。

“3·21”过程回波演变(图8a)可分为准静止锋影响下的多单体风暴(20日20:00至21日04:00)、冷暖空气共同触发的强飑线(21日04:00—09:00)及湖南短飑线移入(21日10:00—14:00)等3个阶段。20日20:00开始,赣北北部对流单体逐渐新发展。21:00出现超级单体风暴,浮梁、婺源、都昌等县受影响出现雷暴大风和冰雹。21日04:00(图8a)飑线A回波移入赣西北,45 dBz以上强回波呈南北向分布,与移动方向几乎垂直,平均移速 $75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,07:00飑线经过南昌市时出现弓形特征,造成进贤县瞬时大风达 $28.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (10级);飑线北侧和西侧

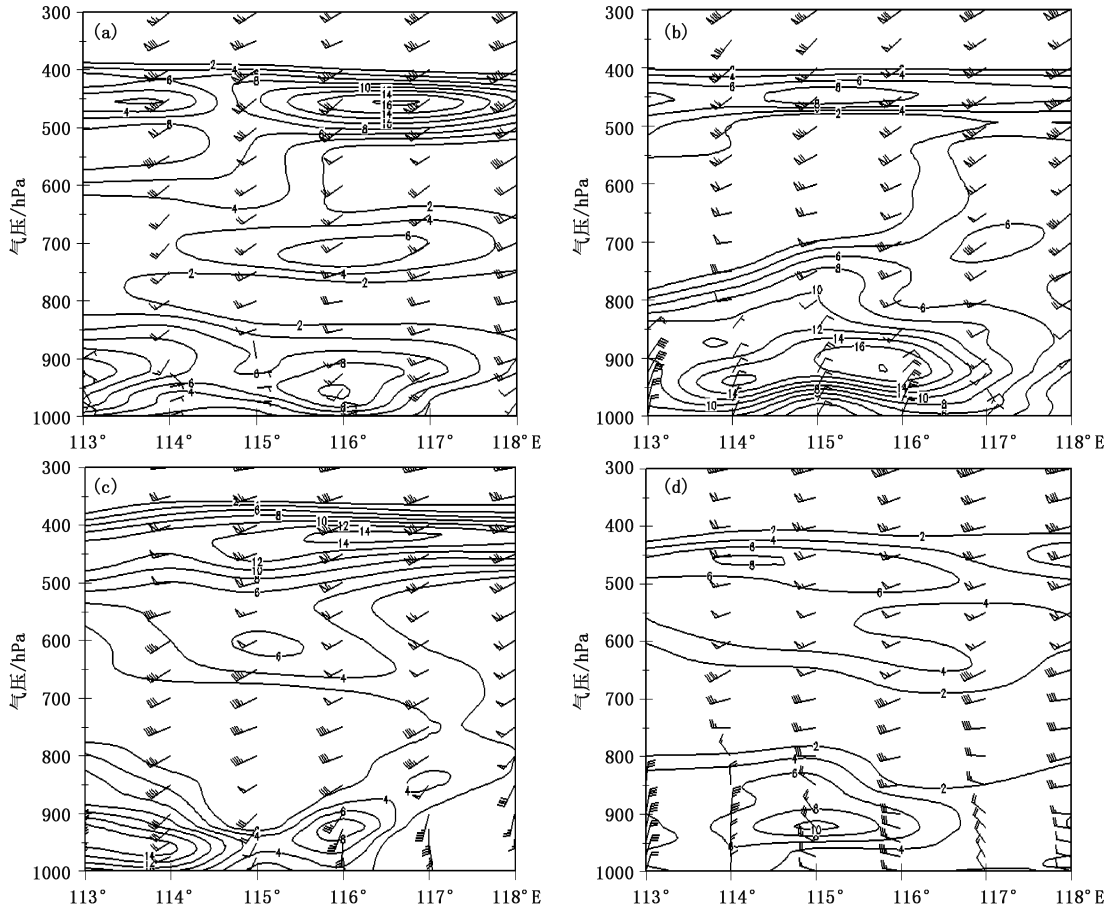


图6 2019年3月20日20:00(a)、21日08:00(b)、4月9日08:00(c)、9日14:00(d)沿29°N风场及涡度(等值线,单位: $10^{-5} s^{-1}$)的垂直剖面

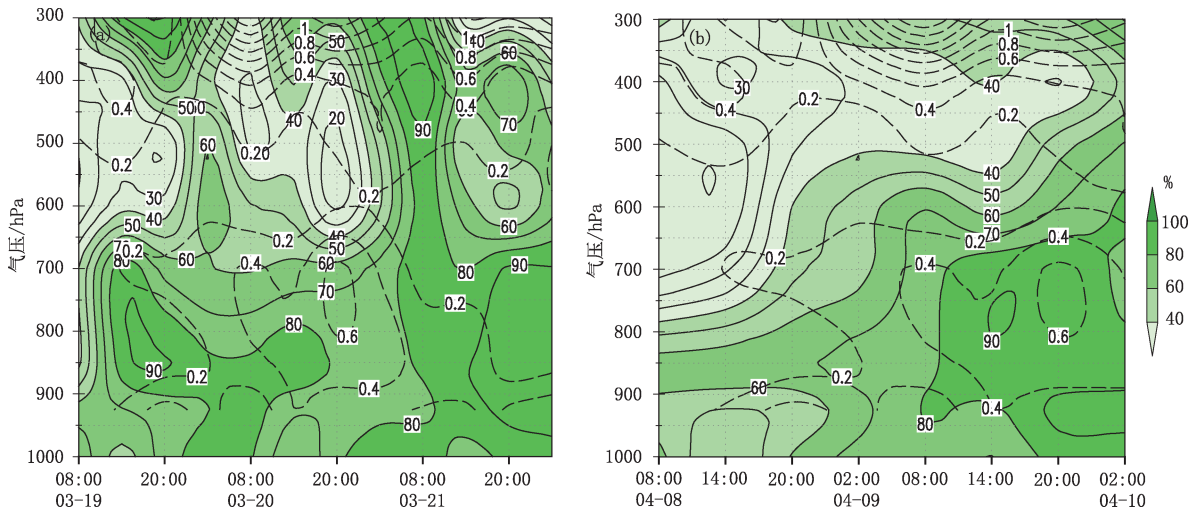


图7 2019年3月19日08:00至22日02:00(a)和4月8日08:00至10日02:00(b)强对流区(113°~118°E, 28°~32°N)平均相对湿度(阴影,实线,单位:%)和平均位涡(虚线,单位:PVU,1 PVU= $10^6 m^2 \cdot s^{-1} \cdot K \cdot kg^{-1}$)

层积混合回波水平尺度超过 200 km,回波列车效应导致进贤县三阳集 08:00 小时降水量达 61 mm。此后强飚线加速东移并脱离后侧层积混合回波,降水强度减弱,08:00—09:00 强飚线快速东移影响鹰潭、抚州、上饶等市,造成大范围 9~11 级雷暴大风,09:00 以后逐渐移出江西。10:00 飚线 B 从湖南浏阳移入萍乡市,45 dBz 以上强回波呈南北向线状,东移平均移速 $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,11:00—14:00 相继影响新余、吉安等市,造成 7~8 级雷暴大风,冰雹和短时强降水分布较分散,14:00 飚线 B 进入抚州后减弱,2 组飚线回波影响时长达 10 h。

“4·9”过程有 2 组(C、D)飚线自西北向东南先后影响江西北部(图 8b)。9 日 13:00 多个雷暴单体在九江市组织化发展并呈线状排列,C 飚线形成,反

射率因子最大达 60 dBz,平均移速达 $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,15:00 飚线 C 东南方向移动影响景德镇、上饶、南昌等市出现 8 级左右雷暴大风。飚线前沿有阵风锋回波,前侧雷暴出流遭遇强西南气流,在飚线南部触发新的对流单体生成,17:00 逐渐消亡。飚线 D 16:00 在南昌市南部发展东移,此后其东段发展东移,西段逐渐减弱,18:00 影响鹰潭、上饶等市,飚线 D 水平尺度 100 km 左右,平均移速 $65 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。2 组飚线影响时长超过 5 h。

分析可知,“3·21”过程飚线回波具有典型弓形特征,强回波范围大,形状与移向垂直,移速快;“4·9”过程飚线的线状排列特征明显,强回波面积小,前侧有阵风锋回波。

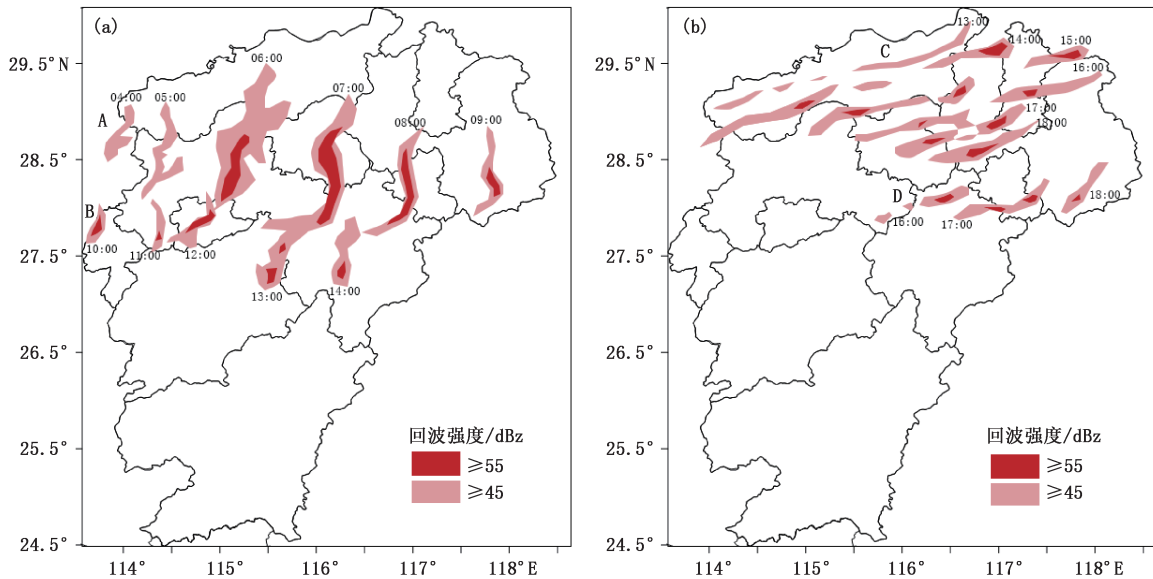


图 8 2019 年 3 月 21 日 04:00—14:00(a)和 4 月 9 日 13:00—18:00(b)大于 45 dBz 雷达回波随时间演变

3.2 风廓线产品资料对比分析

风廓线产品(VWP)反演的是雷达多个体扫时次的水平风垂直廓线,一般认为能较好代表距离雷达站 60 km 范围内的环境风场^[16]。“3·21”过程进贤、南昌县和“4·9”过程靖安、永修县出现了 8 级以上雷暴大风(南昌雷达处有效范围内),选取南昌站 VWP 产品分析飚线过境前后垂直风场演变。

分析 3 月 21 日 06:14—07:13 南昌 VWP 演变(图 9a)可知,06:38 前受一支强西南气流控制,5 km 高度风速最大达 $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,06:38 开始 3 km 高度有明显偏北风冷空气侵入(图 9a 红色方框),冷

空气与偏南气流交汇,产生明显辐合,激发对流风暴新生并强烈发展,南昌县附近识别出明显的中气旋,06:43 强偏北风自上而下迅速扩展,动量快速下传,1.8 km 高度偏北风最大达 $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,06:48 南昌县出现 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大风;07:13 强偏北风已向下扩展至 0.3 km 高度,07:18 进贤县出现 $28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (10 级)大风。07:36 中层逐渐转为西南风,边界层风速减小,飚线移出南昌。

图 9b 给出了 4 月 9 日 15:09—16:08 南昌 VWP 演变,15:27 前中低层为较强西南风,最大风速 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,15:33 冷空气开始从 0.9 km 高度侵入

(图 9b 蓝色方框),最大风速 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,之后快速向地面扩展,15:39—16:00 靖安、永修先后出现 $19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (8 级)雷暴大风,此后边界层维持偏北风,最大风速 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,南昌地区出现了 $13\sim 15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (7 级)大风,与实况基本吻合。

由以上分析可知,“3·21”过程暖平流特征明显

(3 km 以下西南风速最大达 $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),高空冷空气侵入深厚(从 3 km 向下延伸),偏北风速大(最大达 $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$);“4·9”过程 3 km 高度以下西南风相对偏弱(最大 $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),侵入冷空气浅薄(0.9 km 高度以下)。

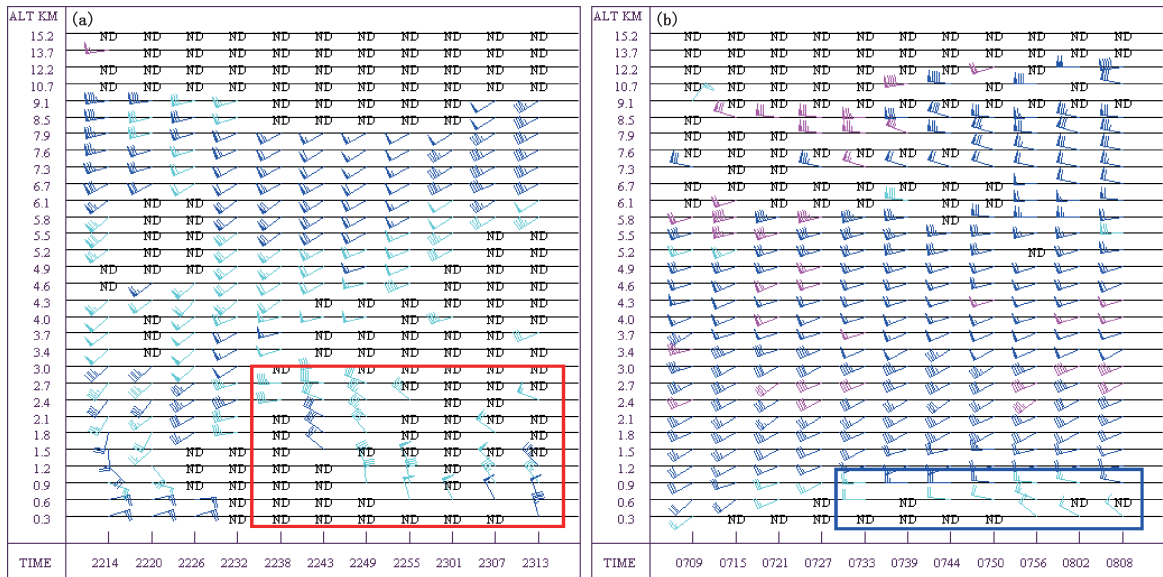


图 9 2019 年 3 月 21 日 06:14—07:13(a)、4 月 9 日 15:09—16:08(b)南昌垂直风廓线演变
(图 a、b 中红色、蓝色方框表示有冷空气侵入,横坐标为世界时)

3.3 中气旋对比分析

中气旋是强风暴雷达回波的重要特征,对冰雹、雷暴大风等强对流天气的短临预报预警有重要指示作用。本文选取的中气旋持续时间 2 个体扫以上,考虑到中气旋在合适的距离才能被探测到,结合南昌、上饶、景德镇等 3 部雷达对“3·21”和“4·9”过程

中气旋产品作对比,将明显识别不合理的中气旋剔除后发现,“3·21”过程出现了 9 个中气旋,其中 3 月 21 日 06:49 南昌县附近 20 km 范围内识别出 3 个中气旋(图 10a 黑色方框内),中尺度对流发展非常剧烈。“4·9”过程永修附近出现了中气旋(图 10b),最长持续时间为 3 个体扫。

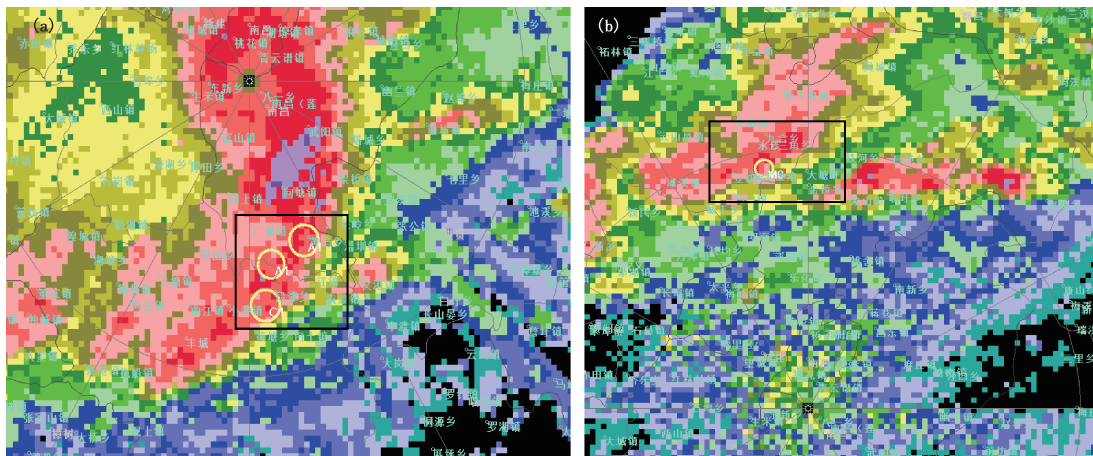


图 10 2020 年 3 月 21 日 06:49(a)、15:21(b)南昌雷达组合反射率因子
(黄色圆圈表示中气旋,黑色方框表示中气旋发展区域)

3.4 单体风暴参数对比分析

垂直积分液态水含量(VIL)、风暴移动速度(MV)与雷暴大风天气的发生发展密切相关,是江西雷达短临监测预警的重要产品指标之一。两次过程江西抚州东乡区都出现9级雷暴大风(3月21日07:37风速 $24\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、4月9日16:02风速 $22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),对东乡站在风暴过境前后VIL和MV进行分析。两次过程东乡雷暴大风发生前VIL均出现下降(图略)，“3·21”过程VIL由07:30的 $43\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 降至07:36的 $38\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,VIL值符合江西本地雷暴大风研究统计值,VIL值下降出现在大风发生前。“4·9”过程VIL值由15:56的 $18\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 降至16:02的 $13\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,与江西雷暴大风VIL统计值相比明显偏小,可能导致预报员低估雷暴大风的强度,增大了短临预警的难度。

两次过程东乡雷暴大风发生前MV出现上升,“3·21”过程东乡雷暴大风发生前30 min(07:07)已达 $22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图略),07:18增大至 $27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,之后维持 $27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,东乡及下游鹰潭等地区出现9~10级大风。“4·9”过程大风发生前MV由15:56的 $15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增加至 $17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,对流单体影响东乡后增大到 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 继续影响下游地区。可见,风暴发生发展移动趋势对预报员短临预警有重要参考作用。

4 结论

本文对2019年江西两次斜压锋生类强对流天气过程进行对比分析,主要结论如下:

(1)两次过程都由冷空气进入地面倒槽触发,“3·21”过程温度露点差近饱和状态,冷暖空气的辐合明显;“4·9”过程锋面两侧辐合较弱,冷锋移动快。

(2)“3·21”过程对流发生时湿层更深厚,对流层高层高值位涡库自上而下呈漏斗状延伸至400 hPa,“干侵入”特征明显;“4·9”过程中低层整体湿度条件较差,中高层有明显干空气卷入,冷却蒸发作用导致的强下沉气流引发地面大风。

(3)“3·21”过程弓形回波特征明显,中气旋数量达9个;强冷空气从3 km高度侵入并迅速下传动量,单体风暴VIL大、移速快,对大风等强对流预警有指示意义;“4·9”过程飊线回波的中气旋发展程度不如前次过程,侵入冷空气浅薄,单体风暴VIL小,短临预警低估大风可能性大。

本文从环境条件、触发机制、回波特征等方面对

两次斜压锋生型强对流过程作对比分析,但对锋面次级环流触发作用分析还不够深入,需要在今后的工作中加强从锋面动力学特征方面,深入挖掘类似强对流天气过程的成因与差异。

参考文献

- [1] Busch U, Hofmann M, Jacobi C, et al. Errors in aircraft measurements of turbulent fluxes in a boundary layer with strong convection [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1996, 21(5): 10-16.
- [2] Johns R H, Doswel C A. Severe local storms forecasting [J]. *Weather Forecasting*, 1992, 7(4): 588-612.
- [3] Lemon L R. The radar three-body scatter spike: An operational large-hail signature [J]. *Weather Forecasting*, 1998, 13(2): 327-340.
- [4] 俞小鼎,王迎春,陈明轩,等. 对流天气预警及临近预报技术[C]//中国气象学会2003年年会“城市气象与科技奥运”分会论文集.北京:中国气象学会,2003:36-41.
- [5] 冯箫,施萧,李勋. 海南一次冰雹天气过程成因分析[J]. *气象科技*, 2020, 48(4): 542-553.
- [6] 孙密娜,韩婷婷,王艳春,等. 华北一次冷涡背景下飊线雷暴大风成因分析[J]. *气象科技*, 2020, 48(2): 263-273.
- [7] 李静,郭晓宁,张青梅,等. 祁连山南麓一次冰雹天气成因分析[J]. *气象科技*, 2020, 48(2): 284-291.
- [8] 高晓梅,马守强,王世杰,等. 山东两次强对流天气雷达特征及环境场对比[J]. *气象科技*, 2018, 46(6): 1188-1200.
- [9] 范裕祥,杨彬,王玉红,等. 巢湖地区一次梅雨期强对流暴雨中尺度特征分析[J]. *气象科技*, 2020, 48(5): 731-740.
- [10] 武冰路,尹泽疆,王萌,等. 一次后向传播对流风暴特征及传播机制[J]. *气象科技*, 2020, 48(6): 836-845.
- [11] 陈静,矫海燕,李川. 青藏高原东侧一次 β 中尺度对流系统的数值模拟[J]. *高原气象*, 2003(增刊1): 90-101.
- [12] 许爱华,李玉塔,郑婧,等. 两次致灾雷电天气过程对比分析[J]. *气象*, 2008, 34(4): 71-78+139.
- [13] 许爱华,孙继松,许东蓓,等. 中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J]. *气象*, 2014, 40(4): 400-411.
- [14] 俞小鼎,周小刚,王秀明,等. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. *气象学报*, 2012, 70(3): 311-337.
- [15] 孙继松,陶祖钰. 强对流天气分析与预报中的若干基本问题[J]. *气象*, 2012, 38(2): 164-173.
- [16] 孙继松,戴建华,何立富,等. 强对流天气预报的基本原理与技术方法[M]. 北京:气象出版社,2014:30-31.
- [17] 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,2006:93-95.
- [18] 许爱华,马中元,叶小峰. 江西8种强对流天气形势与云型特征分析[J]. *气象*, 2011, 37(10): 1185-1195.
- [19] 汪雅,苗峻峰,谈哲敏. 宁波地区海-陆下垫面差异对雷暴过程影响的数值模拟[J]. *气象学报*, 2013, 71(6): 1146-1159.
- [20] 张赞程. 城市效应对上海地区夏季午后强对流天气的影响研

究[D].上海:华东师范大学,2016.

影响的对比研究[J].气象学报,2013,71(5):839-852.

[21] 王秀明,周小刚,俞小鼎.雷暴大风环境特征及其对风暴结构

Comparative Analysis of Two Baroclinic Frontogenesis Convection Processes

SHENG Zhijun¹ ZHOU Yu² ZHANG Guoping³

(1 Jiangxi Meteorological Observation, Nanchang 330096; 2 Jiangxi Meteorological Service Center, Nanchang 330096;

3 Public Meteorological Service Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: Two severe convective weather events (processes “3·21” and “4·9”) in Jiangxi Province in the spring of 2019 are compared and analyzed, by using conventional meteorological observation data. The results show that: (1) Both strong convection processes were formed by the cold air entering the inverted trough. In the “3·21” process, the convergence of cold and warm air was obvious, the temperature trough was ahead of the height trough, and the jet wind speed presented convergence characteristics. During the “4·9” process, the front convergence was weak, and the cold front moved faster. (2) During the “3·21” process, the wet layer was deeper, the high value potential vorticity pool in the upper troposphere extended from top to bottom till 400 hPa, and the “dry invasion” feature was obvious. During the “4·9” process, the overall humidity condition in the middle and lower troposphere was poor, and there was obvious dry air involved in the middle and upper troposphere, while the strong downdraft caused by cooling evaporation caused the ground gale. (3) During the “3·21” process, the bow-echo feature was obvious, and the number of mesocyclones was up to 9. The cold air intruded from the height of 3 km and transferred momentum rapidly, and moved faster, which had an indicative significance for the early warning of severe convection such as gales. The invasion of cold air was shallow during the “4·9” event, VIL (Vertical Integrated Liquid water content) of the single storm was small, and strong wind was possibly underestimated by nowcasting warning.

Keywords: strong convective weather; squall line; dry air invasion; echo character