

# 影响湖南的一次强对流天气的中尺度分析

曾欣, 胡夏初, 汪洪, 朱劲 (湖南省株洲市气象局, 湖南株洲 412003)

**摘要** 利用常规气象观测资料、中小尺度自动站资料、FY-2D 卫星资料、多部多普勒雷达资料对 2013 年春季的一次强对流天气过程进行了分析。结果表明, 此次强对流过程是发生在中高层干冷、低层暖湿的较强不稳定环境中, 低层强烈的辐合触发不稳定能量的释放, 激发中小尺度系统发生发展; 强对流天气发生发展的热力动力条件呈现明显的中尺度天气特征; 不同雷达回波特征可以清楚地判断冰雹、雷雨大风等中小尺度天气的发生发展。

**关键词** 中尺度分析; 环境条件; 强对流天气; 湖南

**中图分类号** S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)27-09440-05

## Analysis of a Strong Convective Weather Influencing Hunan

ZENG Xin, HU Xia-chu, WANG Hong et al (Zhuzhou Meteorological Bureau, Zhuzhou, Hunan 412003)

**Abstract** Based on the conventional meteorological data, meso-micro automatic station data, FY-2D satellite data and Doppler radar data, the strong convective weather process in the spring of 2013 was analyzed. This process occurs in a strong unstable environment where dry and cold in high level, but wet and warm in low level. The strong convergence in lower level triggers the release of unstable energy, stimulating the development of the meso-micro scale system. The result indicates: the dynamic and thermal conditions of the occurrence and development of strong convective weather present obvious mesoscale weather characteristics; and the occurrence and development of mesoscale weather such as the hail and thunderstorm weather can be judged by different radar echo characteristics.

**Key words** Mesoanalysis; Environmental conditions; Strong convective weather; Hunan

2013 年 3 月 19 日晚, 湖南中南部出现了一次典型的强对流性天气过程, 部分地区伴有雷暴大风、冰雹、短时强降水等强对流天气, 具有突发性强、影响大、灾害损失严重等特点。全省共计 12 个县(市)出现冰雹, 冰雹最大直径达 50 mm(湘西南靖州), 16 个县(市)出现雷暴大风(湘东南道县瞬时最大风速达 30.7 m/s)。短时强降水主要出现在 19 日 19:00~20 日 06:00, 共计 102 个乡镇降暴雨, 其中绥宁县寨市站日降水量最大, 达 90.6 mm。据初步统计, 全省受灾人口 81.9 万, 其中极端地面大风造成道县 3 人死亡、52 人受伤, 直接经济损失共计 7.2 亿元。为此, 笔者应用多种观测资料, 分析引起该过程的强对流风暴发生发展的环境条件及触发机制, 对进一步认识影响湖南的强对流性天气发生发展的中尺度特征以及今后强对流性天气的预报预警提供帮助。

## 1 环流背景分析

造成湘中南的这次暴雨、雷暴大风、冰雹等强对流天气过程的主要影响系统是高空低槽、高原槽、南支槽同位相叠加, 配合中低层切变、西南急流及地面倒槽的共同作用。3 月 19 日 08:00(图 1a), 500 hPa 亚欧大陆中高纬地区呈两脊一槽型, 贝加尔湖以东为宽广低槽区, 我国东北地区有一冷涡。冷涡底部不断有冷空气沿着槽后西北气流下滑, 青藏高原东部、位于孟加拉湾的短波槽和南支槽叠加, 有利于水汽向华南、江南地区输送, 西太平洋副热带高压西脊点位于 110°E, 副高西侧偏南气流也为此次过程短时强降雨的形成提供了水汽条件, 湖南受南支槽前和副高西北侧西南气流控制。19 日 20:00(图 1b), 北支锋区南压, 有利于冷空气扩散南下, 高原槽和南支槽东移并与中高纬短波槽同位相叠加, 850 hPa 江南、华南西南气流建立并得到加强, 最大风速达 22 m/s, 与

之对应湿舌从北部湾向东北方向伸展, 12 g/kg 的比湿高值中心位于江南、华南一带。

地面气压场上, 贝湖附近高压东移南压, 19 日 20:00, 高压移至内蒙古中东部, 高压前冷锋压到山东半岛, 低层西南暖湿气流增温减压, 黄淮、江南、华南受低压倒槽控制, 为降水提供不稳定和上升运动条件。中低层冷空气渗透南下, 与西南暖湿气流在江西、湖南、贵州一带交汇, 形成冷式切变线, 同时这些地区地面风场存在东北风、西南风或东南风的辐合线。

## 2 中尺度特征分析

**2.1 中尺度对流系统的发生发展** 陈涛等对一次南方春季强对流过程中影响对流发展的环境场特征分析中指出, 强对流的发生发展与  $\alpha$ -MCS 及  $\beta$ -MCS 尺度的中尺度系统有着密切的关系<sup>[1]</sup>。分析影响湖南的这次强对流天气过程发现, 强对流天气的发生发展与中尺度对流系统密切相关。此次强对流过程出现时间在夜间, 影响时间相对较长, 达 8~9 h, 影响范围广, 几乎影响湘中湘南, 但中尺度特征仍然非常明显。19 日 20:00 前后, 在湘中长沙、湘潭、株洲北部就开始有强的回波出现, 对应有冰雹、雷暴短时强降水出现, 此时在贵州至湘西也有强回波单体, 强回波 20:50 开始影响湖南, 21:00~22:30 先后有 2 个强风暴单体先后扫过靖州, 22:30 这 2 个超级单体风暴合并, 范围开始增大, 呈东北—西南向带状, 23:49 带状强回波与东面强回波合并发展成飚线, 东移南压, 飚线维持时间长达 4.5 h; 20 日 05:30 后飚线断裂减弱为强风暴单体。整个过程呈现明显的中尺度特征。

**2.2 中尺度对流系统发生发展的热力动力条件** 强对流天气的发生与各种气象条件有关, 即要求存在较强的对流不稳定、充分的水汽条件、一定的抬升条件。分析 19 日湖南境内的地面天气实况, 19 日午后至 17:00 湘中以南天空明显放晴, 气温回升, 有利于对流性天气发生。计算 19 日 20:00 850

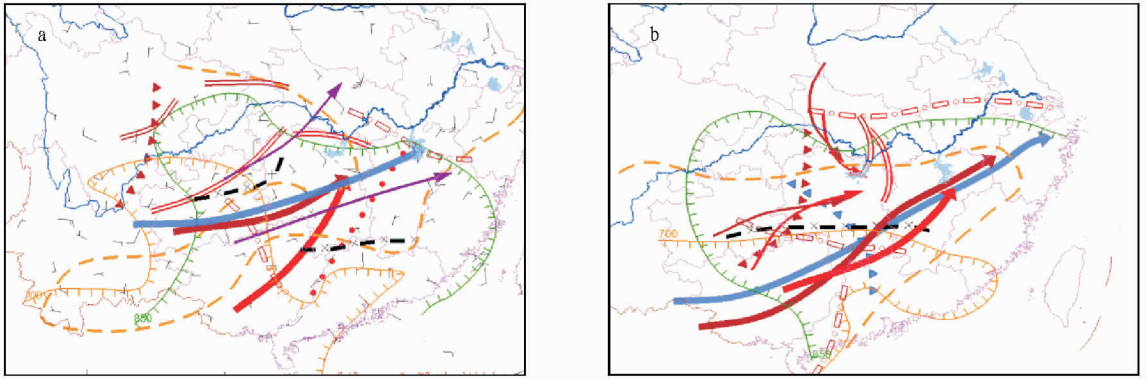


图1 2013年3月19日08:00(a)和20:00(b)中尺度系统综合分析

hPa 与 500 hPa 的  $\theta_{se}$  之差  $\Delta\theta_{se(850-500)}$  发现, 湖南南部  $\Delta\theta_{se(850-500)}$  达 15 K 以上, 表明大气存在明显的对流不稳定层结, 非常有利于该区域强对流天气发生发展。同时分析 3 月 19 ~ 20 日期间 3 个时次长沙、怀化、郴州的对流参数(表 1) 发现, 19 日 20:00 前后, 无论是 K 指数、沙氏指数 SI、总湿度 TT、抬升指数 LI 还是对流有效位能 *Cape* 的值均有利于强对流天气的发生发展; 而在此之前的 19 日 08:00 与 20 日 08:00 各种对流参数均表明对流较弱, 说明 19 日 08:00 具备一定的

对流潜势, 对流在开始发展阶段; 至 20 日 08:00, 对流发展逐渐减弱消亡。

计算 19 日 20:00 怀化与郴州的温度垂直梯度可以发现, 怀化 500 hPa 与 850 hPa 的温度差达 29 °C, 郴州达 27 °C; 500 hPa 温度露点差 (*T-Td*) 怀化为 39 °C, 郴州为 41 °C; 而 700 hPa 及以下无论长沙、怀化还是郴州及华南大部的温度露点差 *T-Td*  $\leq 3$  °C 以下。以上特征表明 19 日 20:00 前后, 湖南中南部高层干冷、低层暖湿, 存在较强的对流不稳定。

表 1 2013年3月19~20日长沙、怀化、郴州对流参数

物理量分析	19日08:00					19日20:00					20日08:00				
	K指数 °C	SI指数 °C	Cape J/kg	LI °C	TT °C	K指数 °C	SI指数 °C	Cape J/kg	LI °C	TT °C	K指数 °C	SI指数 °C	Cape J/kg	LI °C	TT °C
长沙	31	2.36	0	10.09	46	34	0.19	0	4.95	47	21	7.98	0	6.81	37
怀化	31	-0.22	0	7.92	48	40	-5.68	0	1.95	57	20	1.53	0	4.84	47
郴州	33	-1.04	0	5.40	49	34	0.19	1 268.5	-3.07	49	29	4.41	0	2.76	42

进一步分析长沙站、怀化站、郴州站 19 日 20:00 *T-lnP* 探空曲线(图 2) 可以发现, 500 hPa 以上的温度露点差明显增大, 呈上干下湿的“喇叭口”, 表明湘中南上干下湿的特征非常明显。虽然长沙、怀化未经订正的 *Cape* 值为 0, 但郴州站 *Cape* 值在 19 日 20:00 达 1 268.5 J/kg; 三站探空图上 0 °C 层高度位于 3 ~ 4 km, -20 °C 层高度位于 6 ~ 7 km, 这种条件

非常有利于冰雹的发生; 同时垂直风切变非常明显, 0 ~ 6 km 垂直风切变长沙达 21 m/s, 怀化达 29 m/s, 郴州达 27 m/s, 风垂直方向的变化随着高度的增加, 风向随高度顺转, 有明显的暖平流, 表明湘中南在对流发展前均存在明显的风的垂直切变。风的垂直切变影响对流云的发展、移动和分裂等过程, 强的风垂直切变有助于普通风暴组织成持续性强风暴,

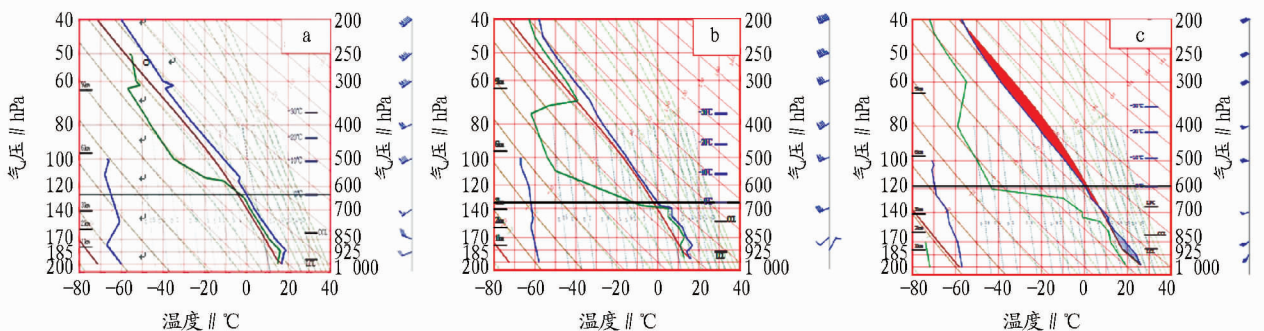


图2 2013年3月19日20:00长沙(a)、怀化(b)、郴州(c) T-lnP 图

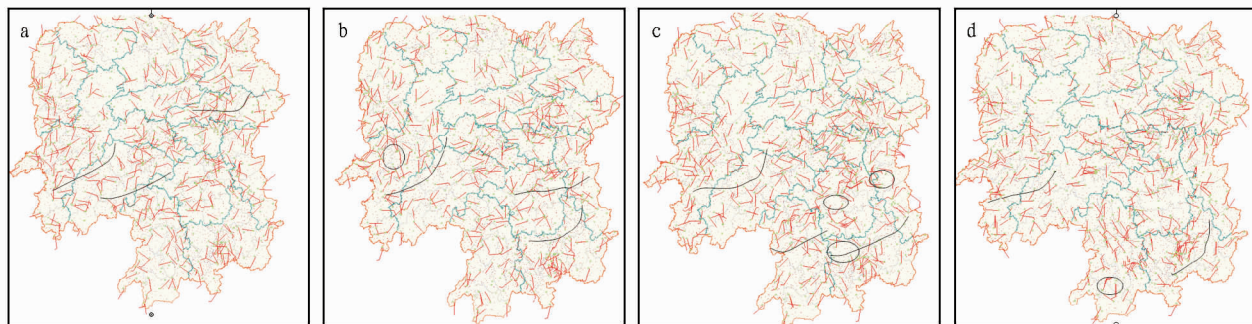
是对流风暴维持和增强的重要因子。

**2.3 地面中尺度特征** 分析 19 日 08:00 ~ 20 日 08:00 地面观测资料发现, 整个湖南处在地面倒槽之中, 19 日 08:00 地面图上可以清楚地分析出 2 条地面中尺度辐合线, 一条位于湘西至贵州, 一条位于湘东南, 强度与范围均不强, 至 17:00,

湘南至赣南的中尺度辐合进一步发展加强, 呈东西向, 南北风速达 4 m/s, 一直维持至 20:00, 23:00 地面辐合线位于湘东南, 呈东北-西南向, 20 日 02:00 地面辐合明显减弱。进一步对湖南中小尺度站资料进行分析(图 3), 可以发现湘中南宽广的辐合带内可以分析出多条中小尺度辐合线和气旋

性辐合区,随着时间的发展,辐合线(区)位置与强度有所加强与变化,20日02:00前后湘南涌现多个中小尺度的辐合线

(区)地面辐合最为强盛,随后随着对流系统的减弱,地面辐合也随着减弱消失。



注:a.19日20:00;b.19日22:00;c.20日02:00;d.20日04:00。

图3 2013年3月19~20日地面中尺度风场分析

**2.4 MCS的中尺度特征** 分析此次过程的卫星云图可以发现,19日19:30强对流过程出现之初,卫星云图上在湖南表现为2块对流云团,一块位于湘中偏东的位置,这块对流云团给湘中带来了局地冰雹、雷雨大风等强对流性天气,1h后迅速移出湖南发展影响江西;另一块位于贵州与湘西交界处,这个对流云团在以后的2h内迅速发展维持一个

较强的MCS云团结构特征,至23:20云团达到最为强盛,MCS云团面积达3个纬距、7个经距,长短比为0.43,云顶亮温最低达 $-71^{\circ}\text{C}$ (图4),呈现明显的MCS云团特征。随后这个MCS云团东移减弱,影响湘东南,随着这个MCS云团的发生发展东移,所经之处先后出现了冰雹、雷雨大风等强对流性天气。

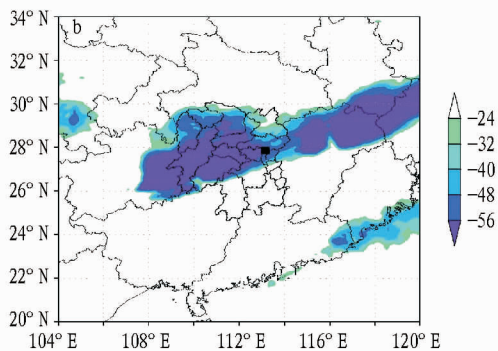
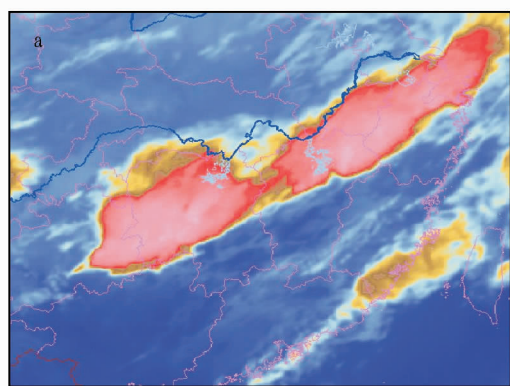


图4 2013年3月20日00:30 MCS云团特征(a)和01:00 MCS云团云顶亮温(b)分析

### 3 多普勒雷达回波特征分析

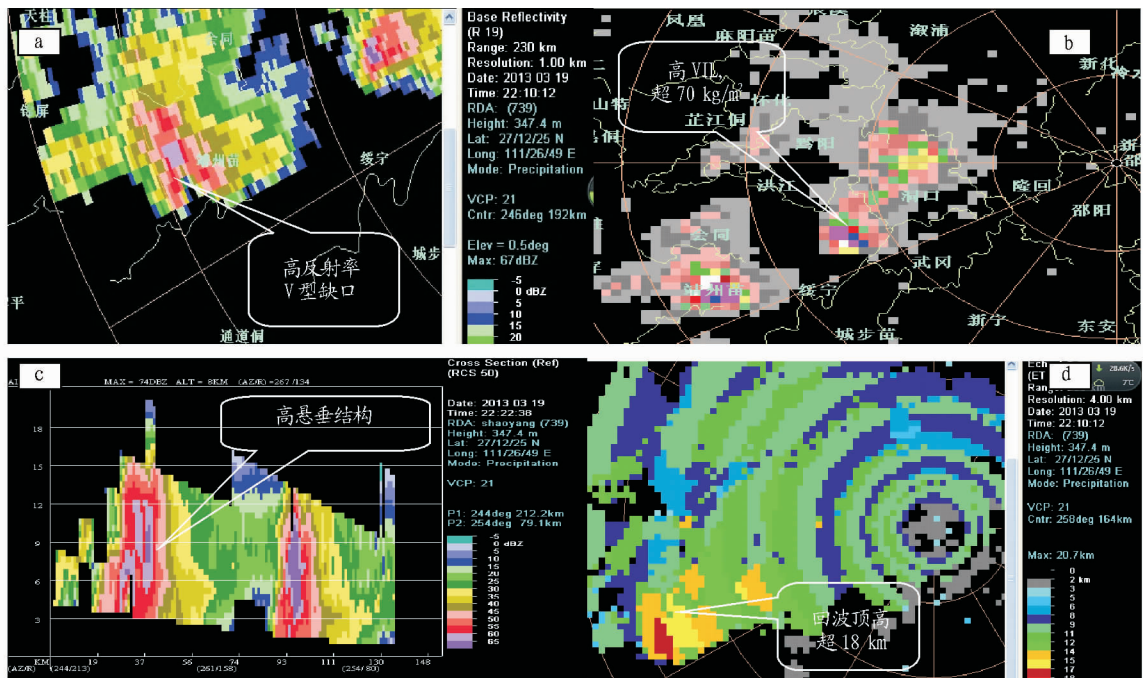
**3.1 强对流风暴雷达回波演变** 此次强雹暴过程影响湘中南,范围广,影响时间长达7~8h,因此在此采用长沙、邵阳、永州雷达观测资料来分析此次过程的雷达回波演变。长沙雷达观测强对流回波于19日19:00~22:00自西向东影响湘潭、长沙、株洲北部,19:00~20:30这一段时间较强,回波呈带状分布,回波带上有多个强回波中心,强回波中心在60~65 dBz,且能观测到高仰度角基本反射率因子回波形态呈三体散射特征;邵阳雷达观测到20:30从贵阳至湘西有强对流单体发展,20:49可清楚看到回波三体散射特征,21:51邵阳雷达西部2个强对流单体发展影响靖州,后一个回波单体低层反射率因子65 dBz,回波形态呈“V”型缺口,向东偏南缓慢移动,强对流回波于20:00~23:00一直在湘中呈东北-西南带状发展,回波带镶嵌多个强回波中心,反射率因子超65 dBz,回波呈“V”型缺口形态,回波不断自西向东南方向发展生消;23:55,强对流回波带发展为飑线,飑线在偏西气

流引导下东移,扫过邵阳地区。永州雷达上高仰度角上,20日00:30飑线东段与邵阳雷达东面强回波合并后,出现“弓形”回波特征,回波中心强度达65 dBz,飑线前沿有多个强风暴单体侧向排列,且有明显的反射率因子梯度;20日02:04,带状回波逐渐演变成两块弓形回波,东北方向的弓形回波迅速东移减弱,西南方向的弓形回波此时达最强盛阶段,当它横扫永州时导致永州自北向南出现雷暴大风,局地冰雹;此后1h,飑线强度维持不变,向东南移动经过郴州、株洲南部,导致湘东南飑线过程。

**3.2 冰雹出现时的雷达回波特征** 从邵阳雷达与长沙雷达回波基本反射率因子图上可以看到,多个强回波单体镶嵌在东北-西南向的强回波带上(图5~6)。仔细分析强回波带及强对流单体回波特征发现,19日22:10前后,多个强回波单体反射率超过60 dBz,回波形态具有明显的“V”型缺口、三体散射特征,对应强回波均存在较高的垂直积分液态水含量(VIL),一般均超过 $55\text{ kg/m}^2$ ,最大达 $65\sim 70\text{ kg/m}^2$ (图5a、

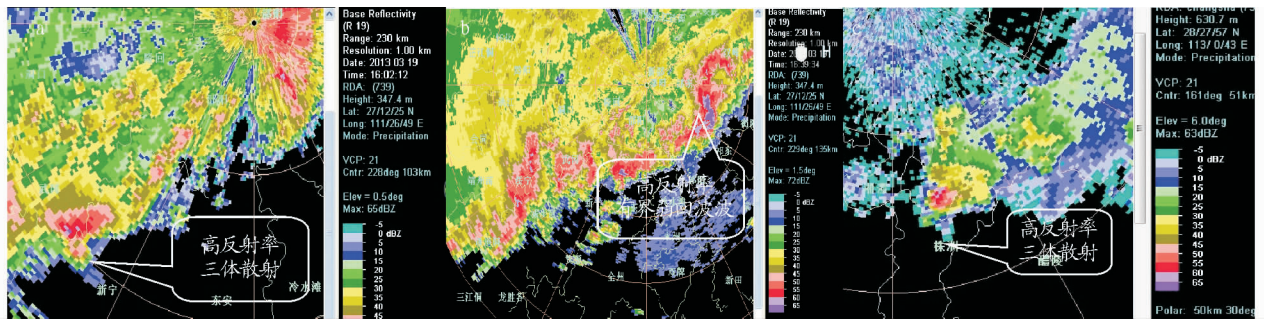
b);回波顶高强盛时达 18 km 以上(图 5d);沿高反射率因子的强回波单体做垂直剖面(图 5c),可以看到回波内部明显的高悬垂穹隆结构,大于 65 dBz 强回波中心超过 -20 °C 层

高度,0 °C 层高度一般位于 3~4 km,凭强回波单体的这些回波特征可以较易判断有冰雹的发生,同时也伴有雷暴大风、短时强降水<sup>[2]</sup>。



注:a 为 19 日 22:10 基本反射率因子(dBz);b 为 19 日 22:10 垂直液态水含量(kg/m<sup>2</sup>);c 为 19 日 22:22 反射率因子垂直剖面;d 为 19 日 22:10 回波顶高(km)。

图 5 2013 年 3 月 19~20 日邵阳雷达观测到的雷达回波特征



注:a 为新宁冰雹回波呈三体散射;b 为回波带上的高反射率;c 为株洲冰雹回波呈三体散射。

图 6 多部雷达观测到的雷达回波特征

19 日 19:30~20:30 在长沙、湘潭、株洲北部一带出现了小冰雹,分析长沙雷达的回波特征可以看到,强回波中心反射率达 55~65 dBz,大于 60 dBz 的强回波扩展到了 -20 °C 层高度。从 19 日 20:14 开始,连续 3 个扫体在高仰度角可见明显的三体散射。垂直积分液态水含量(VIL),19 日 20:26 VIL 值超过 55 kg/m<sup>2</sup>,最强达 55~60 kg/m<sup>2</sup>;回波顶高(ET)为 14~15 km,这些回波特征表明株洲西部、北部对流发展非常旺盛,有冰雹等强对流性天气出现。

**3.3 雷暴大风出现时的雷达回波特征** 叶成志等根据永州雷达资料分析了此次飊线过程导致永州雷暴大风的回波特征<sup>[3]</sup>,从邵阳雷达观测资料来看,20 日 00:39 在绥宁、城步两县开始形成弓形回波,此时双峰-祁东北部-东安北部-武冈-绥宁为一条东北-西南向的回波带,回波带上的强回波单体具有高反射率因子,多处弓形回波、钩状回波与三体散

射回波形态,此时飊线特征基本形成<sup>[4]</sup>。随着回波带向东南方向移动,湘东南飊线于 20 日 02:16 发展强盛,出现了明显的弓形回波,弓形回波前沿存在高反射率因子梯度区,弓形回波后侧存在弱回波通道。从反射率因子垂直剖面可以看出,55 dBz 扩展到 -20 °C 层高度,明显的回波悬垂,有界弱回波,强回波中心超过 65 dBz。低仰角存在较大的径风风速中心,风暴中心自西往东南方向移动,发展生消。

从长沙多普勒雷达资料分析,20 日 02:16 长沙雷达 2.4° 仰角的基本反射率因子图上表现为一个超强风暴,由多个强风暴单体组成,最大反射率因子达 60 dBz,范围长约 120 km、宽约 30 km(图 7);至 02:30,超强风暴发展成 2 个强风暴,一个朝东北方向移动,一个朝东偏南方向移动影响茶陵与炎陵,于 20 日 02:31~02:37 影响茶陵,影响茶陵时强度较强,呈钉子状回波,同时探测到的垂直积分液态水含量的值高达

65 ~ 70 kg/m<sup>2</sup> (图 8), 于 20 日 02:49 ~ 02:55 影响炎陵, 此时强度较弱, 回波强度仅 45 ~ 50 dBz。这种回波往往给影响区

域带来冰雹、雷暴、大风等强对流天气。

从雷达速度图(图 9)上, 此次过程低层从过程开始就存

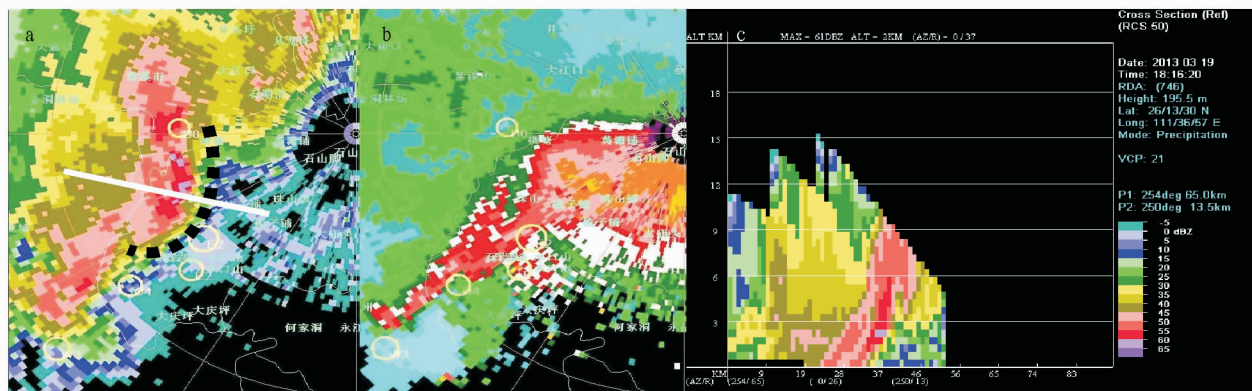


图 7 2013 年 3 月 20 日 02:16 永州雷达的反射率因子(a)、速度(b)和剖面(c)

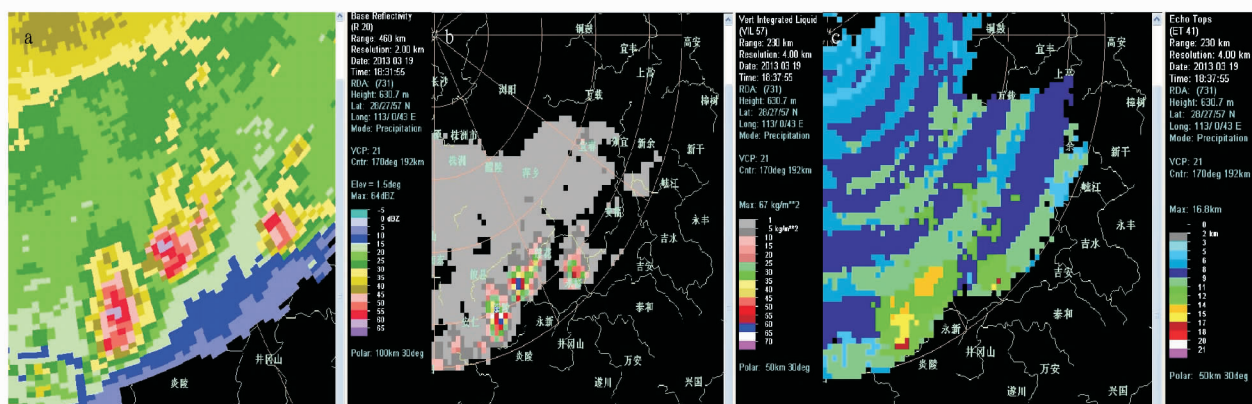


图 8 2013 年 3 月 20 日 02:31 长沙雷达反射率因子(a)、VIL(b)及回波顶高(c)

在明显的辐合, 表现在速度图上正负速度辐合一直存在; 在大片的负速度区存在正的速度逆风区或在大片正速度区中存在负的速度逆风区, 同时可以发现很多时候有中气旋的存

在; 同时通过低仰角的速度图上可以观测到低层速度大值区, 出现了速度模糊, 这些特征为冰雹、雷暴大风的预警提供了很好的依据。

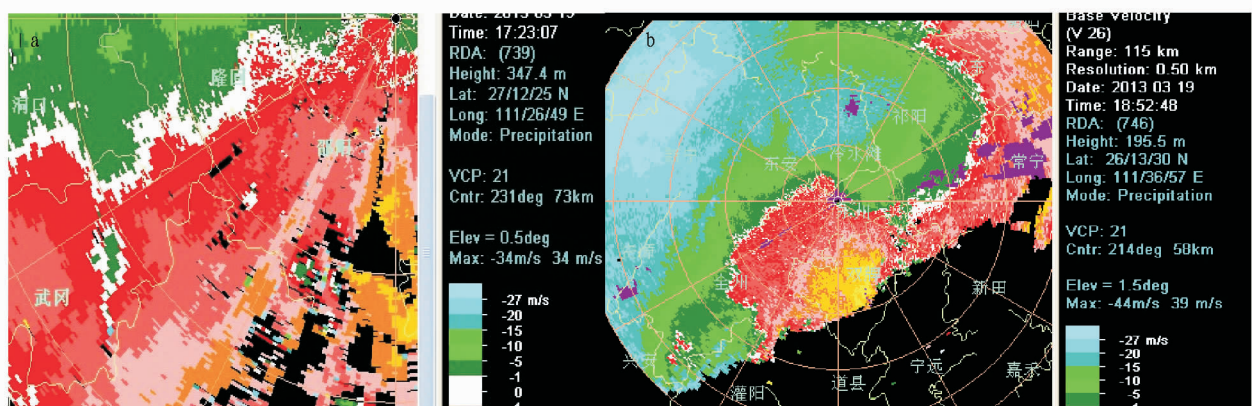


图 9 2013 年 3 月 20 日 01:23(a)和 02:52(b)邵阳雷达探测到的径向速度图(单位:m/s)

### 4 小结

(1) 此次强对流天气的发生发展具备较好的潜势条件。强对流天气发生前, 湘中及湘南地面晴空辐射增温、对流层结不稳定, 强的垂直风切变以及近地面层较好的水汽条件均为这次强对流发生发展提供了良好的潜势条件。

(2) 此次强对流天气过程无论从环流背景还是地面中尺

度分析、卫星云图分析及多部雷达资料分析均具备显著的中尺度特征, 根据对多种资料分析, 不同强对流类型的判断及短临预警主要还是依赖雷达的短临监测与预警。在短临预警中, 冰雹预警需主要关注强回波最大值, 强回波区相对于 0℃层和 -20℃层高度的位置、有界弱回波区、垂直液态水含

理,启动 VFP6 文件进入 foxpro 菜单,通过读取统计归纳后的 6 个 EXCEL 数据转换为 6 个 dbf 数据库,打开每个 dbf 数据库对各字段的数据类型进行修改,建立了高温平均(gwpj.dbf)、低温平均(dwpi.dbf)、高温差异(gwey.dbf)、低温差异(dwcy.dbf)、高温预报(gwyb.dbf)、低温预报(dwyb.dbf)数据库,系统还建立了最高、最低气温预报结论(gwybjl.dbf、dwybjl.dbf)数据库供保存日常使用的预报结论,供预报检验时备用。

**2.2 系统的菜单设置** 系统采用 foxpro 命令编程建立程序文件(wdybxt.prg),设置“数据输入”、“资料查询”和“日常预报”三列菜单。数据输入内容中包括“选择月份和日期”、“输入天空状况资料”、“输入风资料”和“退出”下拉菜单(图 1a);资料查询中包括“查询平均高温”、“查询高温差异”、“查询平均低温”和“查询低温差异”下拉菜单(图 1b);日常预报中包括“高温预报”和“低温预报”下拉菜单(图 1c)。

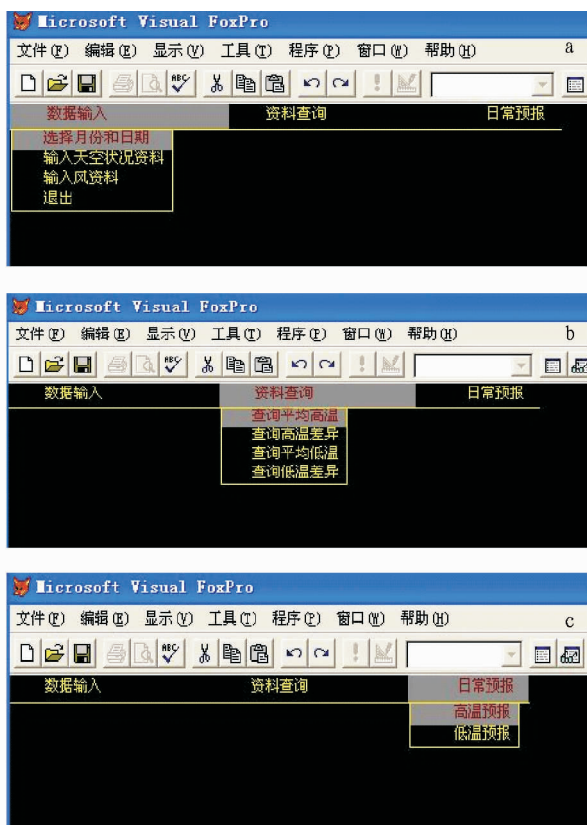


图 1 数据输入(a)、资料查询(b)、日常预报(c)

**2.3 系统的输入和输出** 系统中所运行的数据库均为复制后的数据库,在复制后的数据库中可根据输入变量的不同

进行删减,“输入天空状况资料”包括要查询或预报时的白天日照时数、夜间总云量;“输入风资料”中显示 7 类风向的划定供选择输入值;资料查询中的 4 个下拉菜单分别显示不同月份、不同天空状况和不同风向三组变量的平均高温、高温差异、平均低温、低温差异多年平均值,系统中的变量显示输出根据输入的数据内容采用条件语句锁定;“高温预报”和“低温预报”中分别输入当天岳阳 6 个观测站 02:00 气温或 14:00 气温并结合“数据输入”的其他条件计算和显示最高、最低气温预报结论,并同时 will 将预报结论存入相应的预报结论数据库供检验预报质量之用。

### 3 系统的应用及其检验效果

**3.1 最高、最低气温预报的应用** 最高、最低气温预报可直接用于 24 h 预报,并可适当参考平均最高、最低气温平均值。

**3.2 气温差异的应用** 24 h 以上岳阳站最高、最低气温预报值可通过 EC 细网格及 EC 850 hPa 预报数值变化和天气形势综合决定,高温、低温差异可应用于预报 2~7 d 的以岳阳站预报值为基数的其他各站上下浮动的数值幅度,对于特殊月份、天空状况、风向的数值浮动幅度具有极好的参考性,如 11 月晴天下午南风时平江、临湘最低气温分别比岳阳低 6 和 4 ℃。

**3.3 2014 年 6 月最高、最低气温检验效果** 利用岳阳气温预报系统对 2014 年 6 月份最高、最低气温进行了检验,以天气预报质量评定的  $\pm 2$  ℃ 作为标准,得出 2014 年岳阳最高气温预报准确率为 74.4%,最低气温预报准确率为 80.0%,高于日常预报水平,对日常天气预报有较好的参考作用。

### 4 小结

岳阳气温预报系统的开发实现了气温预报由主观判断上升到量的计算,克服了主观上的盲目性。系统以数值结论整合了逐月不同天空状态和不同风场对最高、最低气温和站际高温、低温差异的影响程度,各种类别的气温数值统计符合客观实际,城市效应、山地效应、湖陆效应得到了量化体现,数据输入简单明了,系统操作方便快捷。

### 参考文献

- [1] 喻长建. 汛期南洞庭湖高洪水位与湖南暴雨分析[J]. 气象,1992(2):47-49.
- [2] 黄菊梅,邹用昌,蔡海朝,等. 近 60a 来洞庭湖区气温的变化特征[J]. 气象科学,2013(4):457-463.
- [3] 黄菊梅,周金良,胡德强. 岳阳近五十五年气温变化趋势[C]//中国气象学会 2008 年年会气候变化分会场论文集. 北京:中国气象学会,2008.
- [4] 林必元,李敏娟. 洞庭湖湖陆风特征与降水[J]. 南京气象学院学报,1988(1):78-88.

(上接第 9444 页)

量、三体散射等。雷暴大风预警则需关注是否有飑线或弓形回波生成等,低层是否出现径向辐合与速度大值区等特征。

(3) 利用多部雷达较好地监测到了此次湘中南的强对流天气过程,单凭一部雷达对中小尺度的识别存在一定的困难,因此发挥短时系统与多部雷达联合监测预警对强对流天气的准备预报预警发挥了较大的作用。

### 参考文献

- [1] 陈涛,张芳华,宗志平. 一次南方春季强对流过程中影响对流发展的环境场特征分析[J]. 高原气象,2012,31(4):1019-1031.
- [2] 许爱华,应冬梅,黄祖辉. 江西两种典型强对流天气的雷达回波特征分析[J]. 气象与减灾研究,2007,30(2):23-27.
- [3] 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.
- [4] 牟容,余君,张亚萍,等. 一次飑线过程的雷达回波分析及其反演风场研究[J]. 气象科学,2012,32(2):153-159.