段和平,马中元,陈鲍发,等.江西两次强降雹过程的雷达回波特征对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(2):137-145. doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.02.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 江西两次强降雹过程的雷达回波特征对比分析

段和平<sup>1</sup>,马中元<sup>2\*</sup>,陈鲍发<sup>3</sup>,黄龙飞<sup>3</sup>,万红燕<sup>4</sup>

(1.江西省气象灾害防御技术中心,江西 南昌 330046;2.江西省气象科学研究所,江西 南昌 330046;
 3.景德镇市气象局,江西 景德镇 333000;4.武宁县气象局,江西 武宁 332300)

摘要:使用常规 MICAPS 天气图、卫星、雷达拼图和 PUP 产品等资料,对 2020 年 3 月 21 日 武宁和 2021 年 3 月 30 日南昌大冰雹过程进行分析,结果表明:(1)地面冷空气南下,500 hPa 干 区与 850 hPa 湿区形成"上干下湿"不稳定层结,地面温度锋区、3 h 变压区和气流辐合区对江西 大冰雹天气的产生具有重要意义。(2)云图上为中尺度对流系统 MCS,黑体亮温 TBB 达 -71~-58℃, MCS 在雷达拼图上对应是超级单体回波。(3)"3·21"发生在飑线回波带超级单体上;"3·30"发生 在孤立超级单体上;组合反射率 CR≥60 dBZ、有回波核;强回波面积≥800 km<sup>2</sup>;强回波梯度≤8 km; 有"云砧"形成的前伸弱回波。(4)回波顶高 ET≥18 km,垂直积分液态水含量 VIL≥60 kg/m<sup>2</sup>,反射 率因子垂直剖面(RCS)强回波顶高≥10 km,径向速度垂直剖面(VCS)表现为负速度,中间包裹正 速度,形成"前辐散后辐合"的速度场和明显中气旋结构。(5)雷达拼图风暴跟踪信息 STI 产品能较 好地指示超级单体回波的移动方向和速度;回波强度与强回波面积之间关系对识别大冰雹回波 有较好价值。研究结果为监测大冰雹天气提供了分析依据。

关键词:大冰雹;飑线超级单体;孤立超级单体;回波特征

中图分类号: P458.121.2; P412.25 文献标识码: A 文章编号: 1002-0799(2023) 02-0137-09

冰雹灾害是江西自然灾害之一, 雷达回波最为 常见的是超级单体回波(Supercell echo)。

国内外专家学者对冰雹天气研究表明,冰雹回 波具有典型的超级单体回波特征,主要发生在飑线 回波带上或孤立超级单体回波上,组合反射率 *CR* 回波强度可达 65~70 dBZ<sup>[1-2]</sup>。三体散射 TBSS 特征 可以作为大冰雹的有效判据<sup>[3]</sup>。孤立超级单体风暴 有利于产生冰雹,强回波中心 *CR* 可达 71 dBZ,中 气旋和 *VIL* 极大值区域对应冰雹落区<sup>[4]</sup>。大冰雹风 暴单体发展非常旺盛,最大反射因子>65 dBZ,高 度>5 km;0 ℃和-20 ℃层高度上的最大反射率因子 均>54 dBZ<sup>[5-9]</sup>。飑线过境前后,气象要素变化比较明 显,风向突变、风力猛增、气压涌升、气温急降、相对 湿度上升<sup>[10-16]</sup>。中尺度对流系统MCS 是造成冰雹等 强天气的主要影响系统,且强对流区主要位于云 顶亮温 *TBB* 低值区的后部和南部<sup>[17]</sup>。冰雹季节变化 呈单峰型,3—5 月最容易出现冰雹,4 月最多<sup>[18-19]</sup>。 "上干下湿"的温度层结有利于能量聚集产生冰雹<sup>[20]</sup>。 正负闪电频数比例的变化与冰雹成长过程有较好的 关联<sup>[21]</sup>。云顶亮温 *TBB* 低值区和二维地闪探测位置 吻合,LMI 总闪和二维地闪随 *TBB* 低值中心移动,冰 雹和对流性大风的 *TBB* 更低,分布在 230 K 以下,强 降水则在 250~270 K<sup>[33-35]</sup>。

冰雹回波的识别是开展冰雹监测预警和预报服务的基础,单部雷达识别冰雹局限于有 PUP 终端的台站,广大基层台站很难获得 PUP 终端。雷达拼图

收稿日期:2021-12-18;修回日期:2022-04-11

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(A类-XDA19040202); 2022年江西省气象局重点项目(JX2022Z04);2022年江西省气象局 面上项目(JX2022M03);2022年景德镇市科技计划项目(2022SF003); 2022年吉安市生态气象重点实验室项目(2022JEM214)

作者简介:段和平(1973—),男,正高级工程师,主要从事雷电防护与 预报技术研究。E-mail:669117467@qq.com\_

通信作者:马中元(1954—),男,高级工程师,主要从事天气预报和预 报技术研究。E-mail:mazhongyuan1@163.com

采用网页共享方式,只要有网络的地方,随时可以使 用雷达拼图提供的产品,快速、方便地对冰雹天气监 测和预警,因此,总结雷达拼图冰雹回波特征,为基 层台站开展冰雹天气的识别与预报提供分析依据。

#### 1 资料来源与冰雹灾情

#### 1.1 资料来源

天气资料来源于 MICAPS 平台; 雷达拼图资料 来源于 江西 WebGIS 雷达拼图平台(http:// 10.116.32.81,2012), 江西 8 部及其周边 6 省 16 部 S 波段雷达组成的 24 部雷达拼图; 单部雷达资料来源 于单部雷达 PUP 产品; 雷电数据来源于 CIMISS 数 据库; 地面要素资料来源于江西省自动气象站要素 检索系统。本文全部使用北京时(BT), MICAPS 地图 的审图号: GS(2019)3082 号, 雷达拼图审图号: GS (2021)6375 号。

1.2 冰雹灾情

2020年3月21日,江西武宁出现一次大冰雹 天气,武宁县澧溪、上汤等地冰雹最大直径>5 cm, 持续时间>10 min。冰雹期间出现较密集次数的雷电 天气。

2021 年 3 月 30—31 日,江西南昌等地出现罕见的大冰雹天气,其中铜鼓和南昌市出现大冰雹,最大雹径≥8 cm,呈放射状,同时伴有密集雷电天气。

#### 2 天气背景

# 2.1 天气系统配置

2020年3月21日20时(图 1a),冷空气南下, 500hPa有明显干区,形成"上干下湿"的垂直湿度 梯度结构。高空低槽呈阶梯槽结构,槽前为28 m/s 以上的强盛西南急流。850与700hPa西南急流在 湘、鄂、赣三省交界汇合,冰雹出现在交汇点以东。 850hPa切变线从安徽至湖北东南部至湖南北部, 与地面冷锋位置一致。切变线以南低空为西南急流, 切变以北为东北气流。20时冷锋南下,强对流区逐 渐南压,冷暖气流在赣北交汇,江西气温≤-3℃,对 流有效位能(*CAPE*)达1 608.8 J/kg,0~5 km 风垂直 切变达 30 m/s 或以上,不稳定能量与风垂直切变均 达到江西强对流天气阈值。

2021年3月30日20时(图1b),槽前有明显的 西南急流,南昌位于急流汇合区附近。200hPa有分 流区,850hPa有明显偏东南气流,925hPa伴有超 低空急流。低层的明显偏东气流与急流把东海上空 水汽输送至对流区上空,与西部的西南急流、北部 偏东急流产生剧烈辐合,同时在垂直方向上随高度 增加东南风转西南风形成明显的暖平流,850hPa 切变线位于湖南中部至赣北,为上升运动提供了支 撑。850hPa以下为饱和区,700hPa以上开始变干, 500hPa湖南中部有明显干区,"上干下湿"结构为 冰雹等强对流发生提供了有利条件。

2.2 中尺度温度锋区、气流辐合区和 3 h 变压

由 2020 年 3 月 21 日 22 时地面温度场分布(图 2a)可知,武宁位于高温中心的西北方冷暖空气交汇 处,在较为密集的温度锋区中,北部有偏北风,南部 是偏南风,武宁在气流辐合区中。温度锋区叠加气流 辐合区,使得武宁地区极不稳定,有利于产生极端天 气。湖南境内产生的飑线回波带在朝偏东方向移动 进入江西锋区时,飑线回波带上强单体猛烈发展成 为强超级单体回波,造成武宁出现≥5 cm 直径的大 冰雹和雷暴大风等强对流天气。

2020年3月21日22时(图2b),地面3h变压 ( $\Delta P_3$ )明显,在武宁西北部有3h变压密集区,密集 区西北方向为高压中心,东南方向为低压中心,高低 压中心3h变压差达22hPa,武宁正好处于3h变 压低值中心;同时,武宁北部处在气流辐合中心区。 22:30超级单体回波移入武宁境内,造成武宁县乡



图 1 天气系统配置中分析 (a为2020年3月21日20时,b为2021年3月30日20时)

镇村出现≥5 cm 直径的大冰雹和 8 级以上的雷暴 大风等强对流天气。

由 2021 年 3 月 30 日 21 时地面温度场分布(图 2c)可知,南北走向的密集温度锋区中,北部有偏北风,南部是偏南和偏东风,铜鼓大冰雹区位于气流辐合区中。温度锋区叠加气流辐合区,使得该区域大气层结不稳定,有利于产生极端天气,湖南境内产生的超级单体移入后快速猛烈地发展,造成铜鼓等地出现≥5 cm 直径的大冰雹和雷暴大风等强对流天气。

21 时,地面 3 h 变压( $\Delta P_3$ )十分明显(图 2d),湖南 境内的 3 h 变压密集区,铜鼓正好处于 3 h 变压低 值区。

2.3 黑体亮温 TBB 云图特征

2020年3月21日21时(图 3a),飑线云带发展 旺盛,从湖南延伸到安徽境内,长达千余公里,亮温 增强,为-70~-71℃,云带上发展出A、B、C3个中尺 度对流系统MCS,飑线云带前沿接近江西边界;22 时(图 3b),A、B中尺度对流系统MCS合并为一体,



图2 中尺度地面温度场和3h变压

(a为2020年3月21日22时地面温度,b为2020年3月21日22时3h变压,c为2021年3月30日21时 地面温度,d为2021年3月30日21时3h变压)



图 3 江西大冰雹黑体亮温 TBB 云图特征

(a为2020年3月21日21时,b为2020年3月21日22时,c为2021年3月30日23时,d为2021年3月31日00时)

-71 ℃亮温面积不断扩大,飑线回波带前沿 MCS 发展旺盛开始进入江西境内(武宁、修水);22:30,对应 雷达拼图上表现为飑线回波带上强超级单体回波向 前快速移动,武宁县境内多个乡镇出现≥5 cm 直径 的大冰雹;23 时,A、B 中尺度对流系统 MCS 继续朝 东北方向移动,扫过武宁移入九江北部。

2021 年 3 月 30 日 23 时—31 日 00 时(图 3c, 图 3d),*TBB* 云图上表现为比较经典的 A 和 B 中尺 度对流系统 MCS,最低亮温达到 -62 ℃;MCS 西南 端亮温梯度线密集,与超级单体雷达回波的强回波 梯度相对应;MCS 云砧云系与超级单体雷达回波的 "前伸"回波相对应。A-MCS 发生在江西南部,产生 1 站小冰雹、雷暴大风和短时强降水天气;B-MCS 发生在江西中北部,在*TBB* 云图上,A、B 两个 MCS 形态、亮温强度基本差不多,在 -60 ℃左右,但产生 的天气却不同。A-MCS 产生单站小冰雹,B-MCS 却 出现罕见的大冰雹,最大冰雹直径>10 cm,超级单 体风暴所经之处出现冰雹。

2020年3月21日武宁飑线冰雹亮温强度,超 过2021年3月30日南昌超级单体亮温强度,但武 宁飑线产生的冰雹弱于南昌超级单体产生的冰雹。 南昌超级单体回波超强,达70dBZ,且强回波面积 超大;武宁飑线回波带上超级单体回波只有60dBZ, 强回波面积略小,实况冰雹天气也明显弱于南昌超 级单体。可见,TBB 云图探测的云顶亮温与实况存 在一定误差,雷达回波特征弥补了 TBB 亮温误差。

#### 3 超级单体雷达回波特征

#### 3.1 超级单体雷达拼图回波特征

2020年3月21日19时,湖南岳阳有对流回波 发展,强度达60dBZ,属于强单体回波。20时,岳阳 一带对流回波排列成带,发展成为飑线回波带,其中 回波带北段强单体回波发展成为超级单体回波,强 度达65dBZ,强回波面积较大。21时,湖南飑线朝东 南方向移动,回波带上不断出现强单体回波。22时 (图4a),飑线回波带逼近江西修水和武宁境内,2个 超级单体回波强度达到65dBZ,强回波面积较大, 属于典型冰雹超级单体结构<sup>[25-32]</sup>,最大回波强度达 到70dBZ。22:30(图4b),武宁部分乡镇出现≥5 cm 大冰雹的回波系统。22日00时,飑线回波带移出武 宁县,影响德安、永修等地,但回波带上超级单体回 波强度明显减弱,地面无冰雹产生,转而产生雷暴大 风等强天气。

2021 年 3 月 30 日 22 时(图 4c),铜鼓和南昌大 冰雹具有典型的超级单体回波结构,比飑线回波带 上的超级单体更强盛,回波特征更明显。孤立超级单 体回波强度 *CR* 具有以下特征:①70 dBZ 回波核;② 60 dBZ 强回波面积>800 km<sup>2</sup>; ③30~60 dBZ 强回波



图 4 江西 WebGIS 雷达拼图 CR 产品超级单体回波特征 (a为2020年3月21日22:00,b为2020年3月21日22:30,飑线回波带上超级单体;c为2021年3月30日22:00, d为2021年3月31日00:20,孤立经典超级单体)

梯度 ≤8 km; ④100 hPa 高空风造成的云砧形成的 "前伸"弱回波结构。飑线回波带上超级单体"前伸" 弱回波不是很明显,原因是被下风方强回波所掩盖; 孤立超级单体具有完整的"前伸"弱回波结构。发展 十分旺盛的超级单体会形成"盾"性回波结构,南北 向拉长,很像古代使用的盾牌(图 4d),这种"盾"形 超级单体回波往往带来十分严重的大冰雹天气。例 如:2021 年 3 月 31 日 00:20 南昌罕见大冰雹、2019 年 3 月 21 日 14:40 资溪中等冰雹等,都具有相似的 "盾"形超级单体回波特征。前者 CR 强度达到 70 dBZ, 强回波面积更大,出现大冰雹;后者 CR 强度为 65 dBZ,强回波面积略小些,出现 3~4 cm 中等直径 冰雹,两者"盾"形超级单体回波形态相似。

## 3.2 超级单体 PUP 产品特征

2020年3月21日22:13(宜春 SA 雷达),武宁 出现大冰雹,超级单体回波强度为65 dBZ(图 5a), 回波顶高 *ET*≥18 km, 垂直积分液态水含量 *VIL*≥ 60 kg/m<sup>2</sup>,是典型的超级单体冰雹回波结构。由于武 宁大冰雹回波距离南昌较远(130~140 km),PPI 径 向速度 0.5°V 图上没有反映。反射率因子垂直剖面 RCS 呈椭圆形为60 dBZ 以上的强回波悬挂在空 中,60 dBZ 回波顶高在12 km,65 dBZ 回波顶高在 10 km,强回波伸展高度高,水平尺度较宽,对冰雹 云的生长十分有利。由于雷达站距离冰雹回波较远 没有观测到冰雹经典悬挂、穹窿等回波特征(图 5b)。径向速度垂直剖面 VCS 表现为超级单体与悬 浮在空中的正负速度对相对应,由于距离较远,径向 速度有些失真(图5c)。 出现大冰雹, 组合反射率 CR 超级单体回波强度为 65 dBZ(图 6a),回波顶高 ET≥18 km,垂直积分液 态水含量 VIL≥60 kg/m<sup>2</sup>,是典型的超级单体冰雹回 波结构。PPI 径向速度 0.5°V 图上正负速度辐合强 烈,零速度线呈"S"形。反射率因子垂直剖面 RCS 有 60 dBZ 以上的强回波悬挂在空中,呈弯曲状,有明 显的悬挂、穹窿等回波特征;60 dBZ 回波顶高在 10 km,65 dBZ 回波顶高接近 10 km(图 6b)。径向速 度垂直剖面 VCS 主要特点是超级单体为负速度,中 间为正速度,被周围负速度包围。按照速度场原则, 形成超级单体回波中心朝向测站一侧辐散,背向测 站一侧辐合的气流环流(图 6c)。

#### 3.3 风暴跟踪信息 STI 演变

风暴跟踪信息 STI 能指示风暴的移动方向和移动速度。在单部雷达 STI 产品上,风暴移动路径由原点和 4 个间隔 15 min 预测点连线组成,每个点代表 15 min 的移动位置,4 个点可以表示未来 1 h 内的回波移动方向与距离<sup>[23]</sup>。雷达拼图是将多部雷达的STI 产品叠加在一起,形成 STI 指向密集区,密集区能很好地反映风暴的移动,可信度大大增加。2020年3月21日,武宁大冰雹发生在飑线回波带上超级单体回波中,风暴跟踪信息 STI 给出了未来 1 h 的移动位置(图 7a,7b)。叠加未来 1 h 的组合反射率*CR* 图,来验证 STI 指向的偏差,可以看出风暴跟踪信息 STI 未来 1 h 指向的位置与组合反射率*CR* 回波位置基本重合,说明风暴跟踪信息 STI 未来 1 h 预测位置是可靠的。

2021 年 3 月 30 日,铜鼓、南昌等地出现大冰 雹,风暴跟踪信息 STI 指向密集区域与未来 1 h 组



图 5 2020 年 3 月 21 日 22:13 江西大冰雹超级单体 PUP 产品回波特征 (a 为组合反射率 CR,b 为反射率因子垂直剖面 RCS,c 为径向速度垂直剖面 VCS)

2021年3月30日23:37(南昌SA雷达),南昌

合反射率 *CR* 回波位置重叠也较好(图 7c,7d)。值得 注意的是,由于超级单体回波受到自身猛烈发展和 地转偏向力的影响,风暴跟踪信息 STI 路径略有点 右偏,出现移动路径顺转现象。

风暴跟踪信息 STI 能指示"3·21"飑线回波带的 移动方向和移动速度,与未来1h 飑线回波带的实 况位置吻合;"3·30"超级单体回波的 STI 指向显示, 回波单体的移动方向和移动速度在超级单体发展旺 盛时段,偏离高空风向右侧,体现超级单体风暴的右 移特性,对风暴的发展强盛阶段有指示意义<sup>[23]</sup>。

3.4 回波强度与强回波面积关系

在分析冰雹回波特征时,冰雹回波的强度(组合 反射率 CR 值)和强回波面积大小(60 dBZ 强回波面 积)十分关键,尤其是出现大冰雹(雹径≥5 cm),强



图 6 2021 年 3 月 30 日 23:37 江西大冰雹超级单体 PUP 产品回波特征 (a 为组合反射率 CR,b 为反射率因子垂直剖面RCS,c 为径向速度垂直剖面 VCS)



图 7 江西 雷达拼图(*CR*)叠加风暴跟踪信息(STI)产品 (a为2020年3月21日22:30,b为2020年3月21日23:30,c为2021年3月30日22:10,d为2021年3月30日23:10; 阴影图是验证图,用60%透明度显示,颜色偏暗,显示STI未来1h*CR*回波位置)

回波面积起到重要作用。两次大冰雹个例,均发生在 组合反射率 *CR*>65 dBZ,强回波面积达到 800 km<sup>2</sup> (图 8)。强回波面积愈大愈有利于大冰雹的生长,但 一些≥65 dBZ 甚至达到 70 dBZ 的强回波,由于强 回波面积较小而没有产生大冰雹,因此,65 dBZ 回 波强度和 800 km<sup>2</sup>强回波面积同时满足才是大冰雹 的重要特征。

图 8 中绿色区域是满足组合反射率 *CR*>60 dBZ, 强回波面积达到 100 km<sup>2</sup>时,有可能出现小冰雹或 冰粒,这在实际预报中得到验证。小冰雹(≤2 cm)、 大冰雹(≥5 cm)和中等大小冰雹(2~5 cm)如何细 分?有待于今后对更多个例进行分析。



"3·21"和"3·30"天气过程回波强度都达到 70 dBZ,当 60 dBZ 强回波面积≥800 km<sup>2</sup>时,都出 现大冰雹;但"3·30"孤立的超级单体冰雹过程,出 现≥800 km<sup>2</sup>强回波面积的时间更长,最大面积 达1 400 km<sup>2</sup>,出现大冰雹的时间和雹径大于"3·21" 飑线回波带上超级单体冰雹过程。

#### 4 结论与讨论

通过对 2020 年 3 月 21 日武宁和 2021 年 3 月 30 日南昌大冰雹过程进行分析,得出以下结论:

(1)"3·21"和"3.30"大冰雹天气过程,500 hPa 高空低槽在江西中北部均为东西走向,且位置偏北 (30°N以北),槽后西北气流与槽前西南急流交汇, 导致风垂直切变增大,为冰雹的发生、发展提供有利 条件。"3·21"和"3·30"冰雹过程,都具备温度锋区、3h变压和气流辐合区。

(2)"3·21"飑线云带上 A、B 中尺度对流系统 MCS 发展旺盛,并逐渐合并成为 AB 强 MCS 云系, 黑体亮温最低为 -71 ℃;"3·30"孤立的中尺度对流系 统 MCS,其 *TBB* 亮温偏高于飑线 MCS,最低为-62 ℃, 但在雷达拼图上"3·30"超级单体回波强度明显超过 "3·21"飑线回波带。

(3)"3·21"武宁大冰雹发生在飑线回波带上,产 生大冰雹时组合反射率 CR 达到 65 dBZ,强回波 面积≥800 km<sup>2</sup>,强回波梯度≤8 km;"3·30"铜 鼓、南昌大冰雹发生在超级单体上,组合反射率 CR 达 70 dBZ,强回波面积≥800 km<sup>2</sup>,强回波梯 度≤6 km,具有"盾"型回波形态和明显"云砧"前伸 弱回波结构。

(4)在雷达 PUP 产品上,"3·21"武宁大冰雹是 在飑线回波带上超级单体回波上发生的。组合反射 率 CR 回波强度为 65 dBZ,回波顶高 ET≥18 km,垂 直积分液态水含量 VIL≥60 kg/m<sup>2</sup>,具有正负速度切 变,是典型的超级单体冰雹回波结构。"3·30"南昌大 冰雹是在孤立经典超级单体回波上发生的。组合反 射率 CR 回波强度为 65 dBZ,回波顶高 ET≥18 km, 垂直积分液态水含量 VIL≥60 kg/m<sup>2</sup>,具有明显的悬 挂、穹窿等回波和正速度被周围负速度包围(前辐散 后辐合)典型超级单体回波结构。

(5)风暴跟踪信息 STI 能指示"3·21"飑线回波 带的移动方向和移动速度,与未来1h 飑线回波带 的实况位置吻合;"3·30"超级单体回波的 STI 指向 显示,回波单体的移动方向和移动速度在超级单体 发展旺盛时段,偏离高空风向右侧。"3·21"和"3·30" 天气过程回波强度都达到 70 dBZ,当强回波面积 ≥800 km<sup>2</sup>时,都出现大冰雹;但"3·30"孤立的超级 单体冰雹过程出现≥800 km<sup>2</sup>强回波面积的时间更 长。

江西冰雹天气出现比较频繁,天气形势背景、环境条件、TBB 云图特征、雷达拼图回波特征、雷达 PUP 产品特征和雷达拼图 STI 特征,为识别和监测 冰雹天气提供了依据。雷达拼图上回波特征广泛应 用在基层台站日常工作中,因此,雷达拼图回波特征 研究任重道远。

## 参考文献:

- [1] 陈鲍发,马中元.江西局地冰雹 WebGIS 雷达拼图回波特 征分析[J].气象与环境科学,2019,42(2):104-114.
- [2] 卢秋芳,马中元,陈鲍发,等.一次飑线(冰雹)天气过程中

尺度分析[J].气象水文海洋仪器,2014,31(2):13-18.

- [3] 郭艳.大冰雹指标 TBSS 在江西的应用研究[J].气象, 2010,6(8):40-46.
- [4] 林琴, 俞旭枫, 施金海, 等. "7·26" 德清冰雹大风强对流天 气过程分析[J].科学通报, 2021, 37(4):10-14+22.
- [5] 胡胜,罗聪,张羽,等.广东大冰雹风暴单体的多普勒天气 雷达特征[J].应用气象学报,2015,26(1):57-65.
- [6] 徐芬,郑媛媛,肖卉,等.江苏沿江地区一次强冰雹天气的 中尺度特征分析[J].气象,2016,42(5):567-577.
- [7] 杨吉,郑媛媛,徐芬.江淮地区一次冰雹过程的双线偏振 雷达观测分析[J].气象学报,2020,78(4):568-579.
- [8] 郭润霞,张文龙.北京一次大雹天气过程的闪电活动特征 分析[J].气象与环境学报,2019,35(3):10-17.
- [9] 刘艳杰,周玉都,马庚雪.河北廊坊冰雹天气特征统计分 析[J].气象与环境科学,2018,41(1):110-117.
- [10] 刘贞,郭鸿鸣,李飏,等.秦皇岛一次飑线冰雹天气分析[J].气象与环境科学,2017,40(4):100-108.
- [11] 郭润霞,张文龙.北京一次大雹天气过程的闪电活动特征分析[J].气象与环境学报,2019,35(3):10-17.
- [12] 覃靖,潘海.柳州"4·09"致灾冰雹的超级单体风暴过程 分析[J].气象,2017,43(6):745-755.
- [13] 潘佳文,魏鸣,郭丽君,等.闽南地区大冰雹超级单体演 变的双偏振特征分析[J].气象,2020,46(12):1608-1620.
- [14] 江慧远,魏鸣,张深寿,等.一次冬季冰雹的双偏振多普 勒天气雷达回波分析[J].气象科学,2019,39(6):755-762.
- [15] 陈红霞,吕作俊,姬鸿丽,等.豫西地区一次冰雹天气多 普勒雷达资料分析[J].气象与环境科学,2007,30(3): 65-70.
- [16] 袁鹏飞,姬鸿丽,刘文玲.一次罕见大冰雹天气的新一代
  天气雷达回波分析[J].气象与环境科学,2012,35(1):
  62-66.
- [17] 李晓霞,李常德,马国涛,等.一次冰雹强对流天气过程的潜势条件和中尺度特征分析[J].沙漠与绿洲气象, 2020,14(4):69-77.
- [18] 龙余良,刘建文.江西冰雹与雷雨大风气候变化特征的 对比分析[J].气象,2010,36(12):62-67.
- [19] 刘献耀,许爱华,刘芳.江西省春夏季强对流天气气候特征[J].气象与减灾研究,2009,32(4):50-56.
- [20] 吴杨,阮楚雯.清远地区"2019·02·20"降雹天气过程特征分析[J].广东气象,2021,42(2):15-19.

- [21] 支树林,娄桂杰.江西冰雹天气期间的闪电活动特征[J]. 气象与减灾研究,2009,32(3):36-41.
- [22] 程小娟,马中元,陈鲍发,等.丰城冰雹雷达回波特征分 析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(增):1-6.
- [23] 陈鲍发,马中元,徐芬,等.天气雷达风暴跟踪信息拼图 技术设计与应用[J].气象科学,2020,40(6):838-848.
- [24] 刘一玮,孙建元,王颖,等.卫星遥感云分类和 TBB 产品 在天津地区云状识别的应用分析[J].气象.2016,42(8): 980-986.
- [25] BROWNING K A, DONALDSON R J. Airflow and structure of a tornadic storm[J].JAtmos Sci, 1963, 20: 533-545.
- [26] BROWNING K A. Airflow and precipitation trajectories with in severe local storms which travel to the right of the winds[J].J Atmos Sci, 1964, 21:634–639.
- [27] DONALDSON R J Jr. Vortex signature recognitionby a Doppler radar[J].JAppl Meteor, 1970, 9:661–670.
- [28] BROWNING K A. The structure and mechanisms of hailstorms[J].Amer Meteor Soc Monog, 1978, 38:1-36.
- [29] LEMON R L. DOSWELL C A. Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis [J]. Mon Wea Rev, 1979, 107 (9):1184-1197.
- [30] FUJITA T T.Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales[J].J Atmos Sci, 1981, 38: 1511-1534.
- [31] KLEMP J B.Dynamics of tornadic thunderstorms [J]. AnnRev Fluid Mech, 1987, 19:369–402.
- [32] MOLLER A R, Doswell C A III, Foster M P, et al. The operational recognition of supercel thunderstorm environments and storm structures [J]. Wea Forecasting, 1994,9:327–347.
- [33] 陈仁君,苟阿宁,王玉娟,等.湖北一次连续风暴中两次 强对流卫星雷达特征及与闪电关系[J].热带气象学报, 2021,37(3):457-467.
- [34] 成勤,张科杰,刘俊,等.一次特大暴雨过程三维和二维
  系统闪电特征对比分析[J].热带气象学报,2021,37(3):
  396-408.
- [35] 杜赛,刘显通,孙皓霆,等.华南一次典型雷暴过程双偏振雷达参量与闪电活动关系研究[J].热带气象学报, 2021,37(3):427-438.

# Comparative Analysis of Radar Echo Characteristics of Two Severe Hails in Jiangxi Province

DUAN Heping<sup>1</sup>, MA Zhongyuan<sup>2</sup>, CHEN Baofa<sup>3</sup>, HUANG Longfei<sup>3</sup>, WAN Hongyan<sup>4</sup>

(1. Jiangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanchang 330046, China;

2. Jiangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanchang 330046, China;

3. Jingdezhen Meteorological Bureau, Jingdezhen 333000, China;

4. Wuning Meteorological Bureau, Wuning 332300, China)

Abstract By using the data of conventional MICAPS weather map, TBB satellite, radar puzzle and PUP products, the process of Wuning hail ("3.21" for short) on March 21,2020 and Nanchang hail ("3.30" for short) on March 30,2021 were compared and analyzed. It shows that, (1) The hail occurred in "upper dry and lower wet" convection instability stratification formed by 500 hPa dry area and 850 hPa wet area, and the cold air on the ground went south. The surface mesoscale temperature front, three-hour variable pressure area and air flow convergence area have indicative significance for the generation of hail weather. (2)The TBB cloud picture showed the mesoscale convective system MCS, and the blackbody brightness temperature was between -71 and -58 °C.The corresponding radar puzzle of MCS was the super monomer echo. (3) The " $3 \cdot 21$ " hail occurred on the super monomer echo on the squall line echo belt, while "3.30" on the echo of isolated supercell, with combined reflectivity  $CR \ge 60$  dBZ, echo core  $\geq 65$  dBZ in the center, strong echo area  $\geq 800$  km<sup>2</sup>, and strong echo gradient  $\leq 8$  km. There was a forward weak echo formed by "cloud anvil".(4) The super monomer echo top  $ET \ge 16$  km, vertical integral liquid water content  $VIL \ge 60 \text{ kg/m}^2$ ; Reflectivity factor vertical section (RCS) 60 dBZ, strong echo top above 10 km; The radial velocity vertical profile (VCS) showed negative velocity and positive velocity in the middle, forming a velocity field of "front divergence and rear convergence" and an obvious mesocyclone structure.(5)The storm tracking information STI product on the radar puzzle can better indicate the moving direction and speed of the super monomer echo. The relationship between echo intensity and strong echo area is of indicative significance for identifying large hail echo.All above results provide an analytical basis for hail weather monitoring, early warning and short-term and imminent prediction services in Jiangxi province.

Key words Jiangxi hail; super monomer on squall line; isolated super monomer; puzzle echo characteristics