

杨春艳,孔德璇,王芬,等. ROSE2.0 在黔西南 4·14 强对流天气中的应用分析[J]. 中低纬山地气象,2023, 47(2):30-39.

ROSE2.0 在黔西南 4·14 强对流天气中的应用分析

杨春艳,孔德璇,王 芬,管 玥,何海燕,蒋尚雄

(贵州省黔西南布依族苗族自治州气象局,贵州 兴义 562400)

摘 要:受高空槽、切变线、静止锋、弱冷空气、西南急流、地面辐合线影响,2022 年 4 月 14 日黔西南州出现大范围强对流天气。该文对此次过程中 ROSE2.0 应用进行检验分析,得出以下结论:(1)过程第 1 阶段对流强度偏弱;第 2 阶段超级单体或强多单体风暴发展和成熟,对流以大冰雹、8 级雷暴大风、40 mm 以下短时强降水为主;第 3 阶段列车效应最明显,风暴移速较快,对流以 8~11 级雷暴大风、中冰雹、40~60 mm 短时强降水为主。(2)ROSE2.0 与本地雷达软件相比,大冰雹时 CR 基本一致,但 VIL、HI 偏小,ET 偏大;ROSE2.0 与实际理论值相比,VIL 值明显偏低,ET、HI 偏大;雷暴大风时低层径向速度 ROSE2.0 比本地的要小,但中高层偏大;短时强降水时,ROSE2.0 小时雨强估计值比实际值偏小。

关键词:ROSE2.0;强对流;风云 4A 卫星云图;雷达产品对比

中图分类号:P412.25 **文献标识码:**A

Application Analysis of ROSE 2.0 in the Strong Convective Weather on April 14th in Southwest Guizhou

YANG Chunyan, KONG Dexuan, WANG Fen, GUAN Yue, HE Haiyan, JIANG Shangxiong

(Qianxinan Bouyei and Miao Autonomous Prefecture Meteorological
Bureau of Guizhou Province, Xingyi 562400, China)

Abstract: Affected by the upper trough, shear line, stationary front, weak cold air, southwest jet, and ground convergence line, a large - scale severe convective weather occurred in Southwest Guizhou on April 14, 2022. The application of ROSE2.0 in the process is tested and analyzed in this paper. The conclusions are as follows: (1) the convection intensity in the first stage of the process is weak; in the second stage, supercell or strong multicell storms develop and mature, and the convection is dominated by heavy hail, magnitude 8 thunderstorm gales, and short - term heavy rainfall below 40 mm; in the third stage, the train effect is the most obvious, the storm moves faster, and the convection is dominated by magnitude 8~11 thunderstorm gales, moderate hail, and 40~60 mm short - term heavy rainfall. (2) Compared with the local radar software, ROSE2.0 has basically the same CR during heavy hail, but the VIL and HI are smaller, and ET is larger; compared with the actual theoretical value, ROSE2.0 has a significantly lower VIL value and a higher ET and HI values; during thunderstorm gales, the radial velocity ROSE2.0 at the lower level is smaller than that at the local level, but it is larger at the middle and upper levels; during short - term heavy rainfall, the estimated hourly rainfall intensity of ROSE2.0 is smaller than the actual value.

Key words: ROSE2.0; severe convection; FY - 4A satellite cloud image; comparison of radar products

收稿日期:2022 - 07 - 13

第一作者简介:杨春艳(1990—),女,工程师,主要从事中短期天气预报及气候研究,E-mail:1048574207@qq.com。

通讯作者简介:王芬(1978—),女,正研,主要从事灾害性天气机理研究,E-mail:1043006358@qq.com。

资助项目:贵州省气象局研究型业务关键技术攻关团队(GGTD—202212);贵州省山地气候与资源重点实验室基金项目(QHLSSLJ[2022]—12);黔西南州气象局科研项目(2021—07)。

0 引言

ROSE 软件是中国气象局 ROSE 项目开发的针对雷达台站的业务软件,目前完成了 ROSE2.0 版本研发。其优点在于可支持所有国产雷达型号(S 波段、C 波段、X 波段等),例如基于 C 波段雷达的.05V 和.bz2 格式数据,使用者可以方便、快捷地利用其 RPG 转化为组合反射率 CR、回波顶高 ET、冰雹指数 HI、垂直液态水含量 VIL、1 h 累计降水 OHP、风廓线 VWP 等 PUP 雷达产品。自 2022 年 4 月以来,黔西南作为贵州省试点开展了 ROSE2.0 业务运行,主要应用于强对流天气过程中。

强对流天气是指伴随雷暴现象的冰雹、雷暴大风、短时强降水等天气,一般属中小尺度天气系统,突发性强、生命史短、灾害性重。贵州地区强对流天气一年四季都有发生,一般 3 月突增,以 4—9 月最为频繁。在黔西南地区,冰雹多发于 3—5 月,大冰雹 4—5 月最多,且集中在 15—21 时,17 时最多,82% 的降雹过程在 5 min 之内结束^[1-3]。目前,学者们对雷达回波产品在强对流天气过程中的应用已有了成熟的认识。适宜的湿球温度 0℃ 层高度与 -20℃ 层高度、超过 55 dBz 的强回波、VIL 值跃升骤降变化等可判别冰雹的发生^[4-7];2020 年 3 月 22 日湘北冰雹^[8]、2020 年 5 月 2 日黔西南冰雹^[9]研究也证实,超级单体一般伴有冰雹发生,其雷达回波特点包括回波悬垂、垂直液态含水量跃增、三体散射长钉、高回波顶高等。多个体扫回波质心低、雨强估计大、存在列车效应、强降水超级单体稳定少动时,易发生短时强降水^[9-13];低层大风核、低层径向辐散、反射率因子核快速下降等特点是雷暴大风的典型雷达判据^[9,14-15]。

以往的 PUP 软件对雷达产品处理不够及时,一般用于灾害性天气发生后的复盘分析或者学术论文、技术报告中。而 ROSE2.0 在前人的基础上,可以高效、实时地利用其 RPG 转化成 PUP 产品并显示出来,及时用于灾害性天气监测及预警预报中,尤其是对冰雹、雷暴大风天气的监测及预警服务较为方便。但目前鲜有关于 ROSE2.0 应用的相关论文,尤其是在强对流天气的临近监测分析过程中,ROSE2.0 显示的各个雷达产品与实况是否一致,或者与以前常用的雷达显示系统有无区别等方面都亟待研究分析。本文选取了 2022 年黔西南较强的 1 次强对流天气过程进行复盘分析,初步探讨 ROSE2.0 在临近监测中的应用及其与本地雷达软

件之间的使用差异,希望为今后本地预报员使用 ROSE2.0 提供有效的应用参考。

1 天气实况及环境场分析

1.1 天气实况

2022 年 4 月 14 日 13—23 时,黔西南州出现大范围强对流天气(图 1)。根据 GB/T27957—2011 冰雹等级划分^[16],3 个时段中 16—21 时全州共 48 个点降雹,其中 8 个点大冰雹,最大直径 40 mm,最大冰雹密度 $200 \text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$;16—19 时共 8 站出现 8 级以上雷暴大风,最大风速为望谟向阳的 $29.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (11 级);全州 134 个站次出现短时强降水,有 8 站小时雨强超过 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,最大小时雨强为兴仁王家寨的 $61.7 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (14 日 19 时)。

1.2 影响系统分析

如图 2。14 日 08 时黔西南处于 500 hPa 高空槽前西南风控制,温度槽后冷平流影响;700 hPa 切变线前、温度槽前,贵州中南部为西南急流 $12 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,湿舌区,提供了较好的水汽输送条件;850 hPa 风场在黔西南州东部辐合明显,有利于增强该地区的上升运动,比湿 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。地面上黔西南位于热低压前部,省中部有弱静止锋,地面辐合线位于毕节至贵阳一带, $T_d = 15^\circ\text{C}$ 。整层大气为上冷下暖、上干下湿的结构,各层系统配合较好,有利于不稳定层结的建立。

14 时,静止锋逐渐西移,黔西南处于高温高湿环境,能量累积不断增大;17 时地面辐合线南压至黔西南州北部,州的东部比湿继续上升,说明风场辐合造成该地水汽堆积和能量积聚愈发强盛,这是造成此次强对流集中发生在黔西南东部的主要原因。20 时,500 hPa 高空槽已南下过黔西南州,槽后西北气流引导高原冷空气南下;700 hPa 切变线南段东南移至滇桂交界处,西南急流减弱,湿区扩大;850 hPa 切变线与地面辐合线基本重合,州的东部位于东北风和南风辐合区,南部位于中高层湿度梯度密集带,导致夜间东南部强对流旺盛。

综上,500 hPa 高空槽与 700 hPa 切变线配合向黔西南方向东移南下,850 hPa 切变线逐渐南压与静止锋西移配合,有利于天气尺度的上升运动建立和发展;持续的西南急流配合湿舌,午后高温高湿环境为强对流天气提供了充足的水汽和能量;州东部风场辐合,叠加中高层高原上的弱冷空气,大气为不稳定层结,在地面辐合线的触发下,黔西南中东部地区出现了本次大范围强对流天气。

• 32 •

1.3 大气不稳定层结及水汽条件

对 4 月 14 日威宁、贵阳、百色的探空图进行不稳定层结分析,见表 1。08 时,贵阳 $K=30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $BLI=-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{85}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, DCAPE 估算的下沉速度为 $20\sim 23\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,且 $700\sim 400\text{ hPa}$ 有明显干层,此不稳定大气环境利于雷暴大风发生。从水汽条件来看,威宁整层较湿,地面比湿 $11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;贵阳地面比湿 $9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 750 hPa 比湿 $11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,暖云层厚度均在 2 km 以上,发生暖区短时强降水的可能性较大。特殊温度高度来看,湿球温度 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度贵阳为 3.0 km (去除本站海拔高度后,下同),威宁 2.1 km ; $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度贵阳 6.4 km ,威宁 5.3 km ,发生大冰雹的可能性较大。从垂直风切变来看,08 时贵阳 $0\sim 6\text{ km}$ 垂直风切变(SH6)为 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,20 时百色 $0\sim 6\text{ km}$ 垂直风切变为 $26\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,属于强的垂直风切变,利于产生有组织的、持续时间较长的强风暴。20 时百色 $BLI=-2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{85}=26\text{ }^{\circ}\text{C}$,

DCAPE = $1100\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,表明黔西南州的南部仍然处于强的不稳定层结,夜间发生雷暴大风、冰雹、短时强降水的概率依然很高。

根据海拔相近、距离相近的原则,利用 14 时贞丰实时气温和露点温度来订正 08 时贵阳探空、16 时望谟实况来订正 08 时百色探空,如图 3 所示。俞小鼎等^[17]指出,对流风暴类型在一定程度上取决于 CAPE 和 $0\sim 6\text{ km}$ 垂直风切变大小的组合,见表 2。结合 $0\sim 6\text{ km}$ 垂直风切变值($20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)和订正后的贞丰 CAPE 值($1919\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$),判断贞丰地区有超级单体风暴的可能性大,出现大冰雹、雷暴大风和短时强降水的概率较大;望谟 $0\sim 6\text{ km}$ 垂直风切变值为 $15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,订正后的 CAPE 值为 $3540\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,判断望谟地区为多单体或强多单体风暴类型,出现小冰雹、大风力等级的雷暴大风和短时强降水的可能性大。

表 1 14 日 08 时威宁和贵阳探空、20 时百色探空要素表

Tab. 1 Elements of sounding in Weining and Guiyang at 08:00, Baise at 20:00 on the 14th

要素 单位	CAPE/ ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	DCAPE/ ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	BLI/ $^{\circ}\text{C}$	K/ $^{\circ}\text{C}$	T_{85} / $^{\circ}\text{C}$	H_{warm} / km	WBZ/ km	WB_{-20} / km	SH6/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
贵阳	0	791	-1	30	20	2.5	3.0	6.4	20
威宁	26	398	0.9	\	\	2.0	2.1	5.3	15
百色	227	1100	-2.7	33	26	2.5	3.9	7.2	26

表 2 不同 CAPE 和 $0\sim 6\text{ km}$ 风矢量差组合情况下可能出现的对流风暴类型

Tab. 2 Types of convective storms that may occur under different combinations of CAPE and $0\sim 6\text{ km}$ wind vector difference

CAPE/($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~6 km 垂直风切变值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)		
	<20	12~20	>20
<1000	普通单体	普通单体或多单体	普通单体或超级单体
1000~2500	脉冲风暴	多单体或强多单体	超级单体
>2500	脉冲风暴	多单体或强多单体	超级单体

2 雷达产品与卫星云图分析

利用 ROSE2.0 和国家卫星气象中心的风云 4A 星天气应用平台对本次大范围强对流天气进行临近监测分析。按照对流风暴类型、强对流种类及强度将本次过程分为 3 个阶段。

第 1 阶段(13 时 10 分—16 时)为普通单体风暴或多单体风暴发展阶段,以雷电、小时雨强 20 mm 以下的降水为主。13 时 10 分对流云开始在黔西南州北部边缘地区生成,该阶段对流云不断在黔西南州北部地区新生发展,移动缓慢,反射率因子较小,对流发展不高,云顶亮温均高于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图略)。

第 2 阶段(16—18 时)为超级单体或强多单体风暴发展和成熟阶段,以大冰雹、8 级雷暴大风、 $20\sim 40\text{ mm}$ 短时强降水为主。如图 4 所示,该阶段对流云团发展旺盛,16 时 40 分云顶亮温达 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$,上冲云顶高,存在许多对流云泡;云团内包含多个超级单体,ROSE2.0 对应的雷达回波最强反射率因子超过 60 dBz 。17 时雹暴云团发展成熟,由于垂直风切变较大,卫星云图上表现为上风方边界光滑清晰,下风方出现较长的卷云砧;且后向传播特征明显,后部不断有对流云团新生发展,形成列车效应。ROSE2.0 对应的组合反射率图上对流单体呈现团状分布,沿移动方向排列成群。

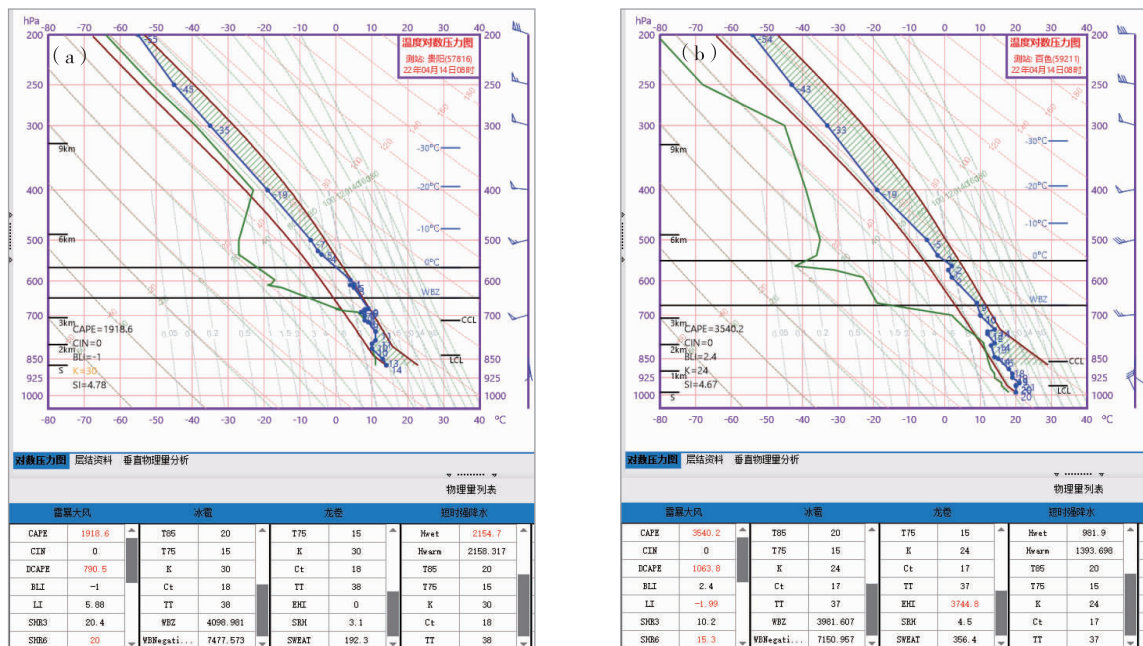


图 3 14 时贞丰探空订正(a)、16 时望漠探空订正(b)

Fig. 3 Sounding correction of Zhenfeng at 14:00 (a) and Wangmo at 16:00 (b)

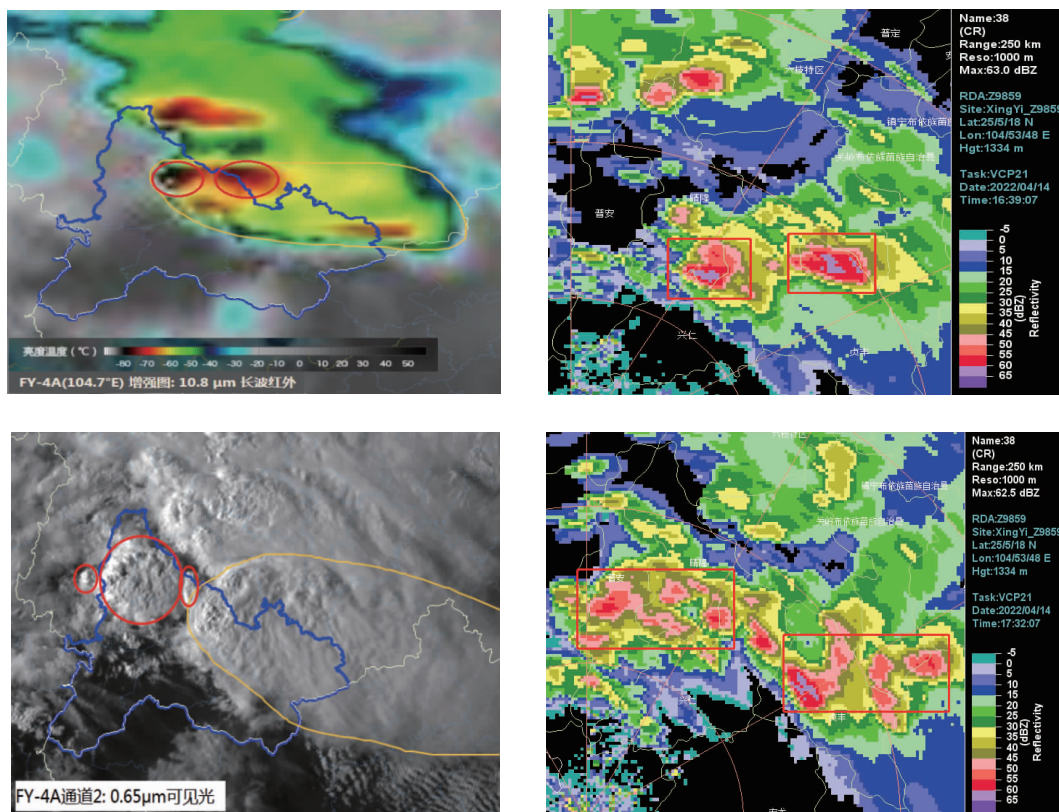


图 4 第 2 阶段风云 4A 卫星云图(左)及 ROSE2.0 组合反射率图(右)

Fig. 4 Cloud image of FY-4A satellite (left) and ROSE2.0 combined reflectance map (right) at the second stage

该阶段 16 时 40 分—17 时 40 分,贞丰平街、北盘江、回龙、双乳峰出现大冰雹,其中平街和双乳峰最大冰雹直径均为 40 mm,平街分别在 16 时 40

分—16 时 52 分、16 时 57 分—17 时 01 分、17 时 30 分—17 时 35 分 3 个时段降雹。对平街、双乳峰的雷达产品进行详细分析(图 5),两者均有以下特点:

存在超级单体,最强反射率因子超过 60 dBz,高悬的强反射率因子核心,50 dBz 反射率因子扩展到 -20℃层(6.4 km)以上,低层弱回波区、中高层回波悬垂,后侧 V 型缺口,高垂直累积液态含水量 VIL 值,回波顶高超过 16 km 等。对 16 时 39 分贞丰平街处雷达回波沿径向做垂直剖面图可以发现,距离约 6 km 的 2 个超级单体 60 dBz 反射率因子核心悬挂于

6 km 高空,造成平街相隔 10 min 内出现 2 次大冰雹天气。对垂直累积液态含水量 VIL 分析发现,降雹前 VIL 突增明显,降雹临近时和过程中达到最大,17 时 43 分贞丰双乳峰降雹过程中 VIL 达到 $60\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,降雹后迅速减弱为零。需要说明的是,兴义雷达为 C 波段雷达,贞丰距离雷达 90 km 左右,以上雷达产品特征有衰减效果。

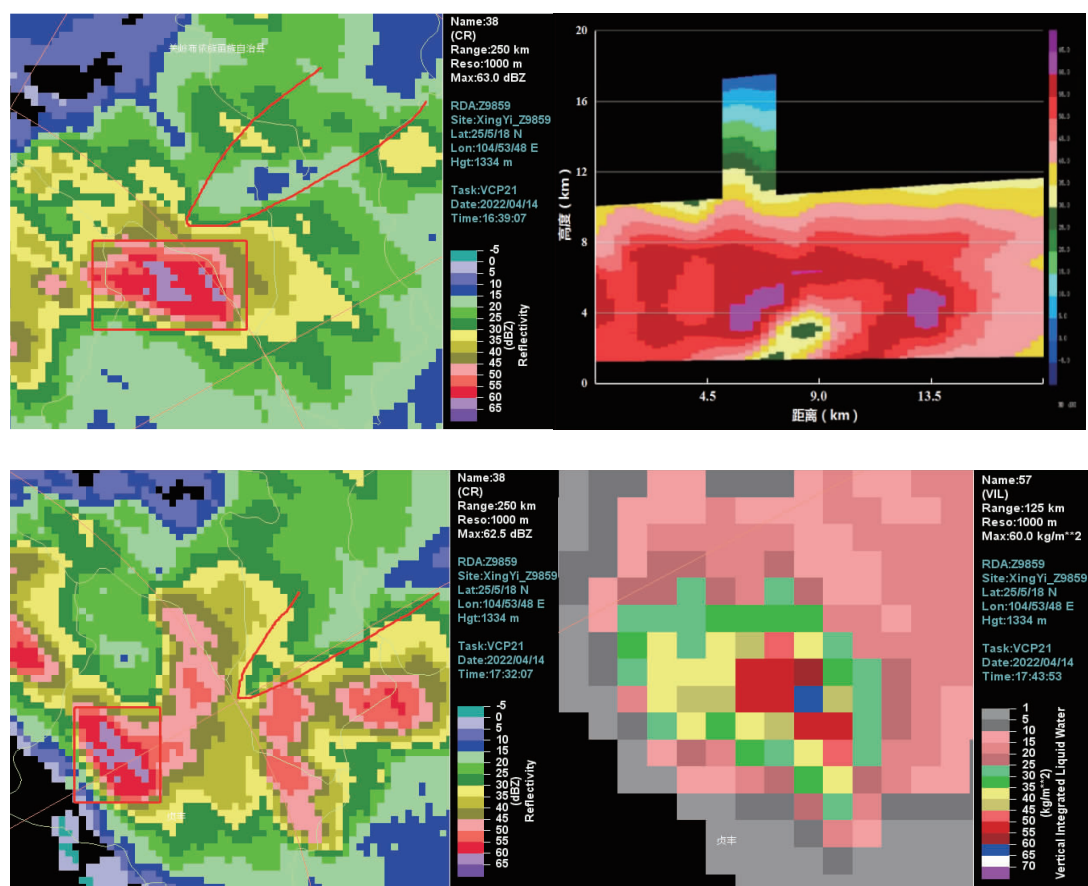


图5 贞丰地区 CR、16 时 39 分反射率因子垂直剖面

Fig.5 CR, vertical profile of reflectance factor at 16:39 in Zhenfeng

第3阶段(18时—22时30分)为普通单体、多单体、超级单体风暴不断发展和消亡的阶段,以中冰雹、8~11级雷暴大风、40~60 mm 短时强降水为主。该阶段18—19时,雹暴云团对流依然旺盛,云顶亮温 -80~-70℃,出现 V 型顶点,云团内含有多个超级单体风暴,移速较快。由于低空急流作用,此时对流云团向南、后向传播造成的列车效应更为明显(图6);ROSE2.0 对应的组合反射率图上不断有单体新生发展,沿同一路径向东南方向移动,局地反射率因子仍可超过 60 dBz,使得局地累计降雨量较大。

该阶段望谟地区出现雷暴大风,19 时 19 分董

万 $28.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,19 时 44 分向阳 $29.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。通过雷达产品分析可得,雷暴大风点位于移速较快 ($>19\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) 的对流风暴前沿,识别出有中气旋(图略)。但由于望谟地区雷达衰减较强,其余大风特征并不明显。该阶段的另一大特征是出现超过 50 mm 的短时强降水,18—19 时最大小时雨强兴仁王家寨 $61.7\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 、望谟将军石 $59.3\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。结合望谟将军石逐分钟雨量分布,沿回波移动路径进行反射率因子剖面分析可以看出(图7),该时段雷达回波列车效应明显,望谟将军石临近降水时空回波的质心偏低,局地雨强估计超 80 mm。

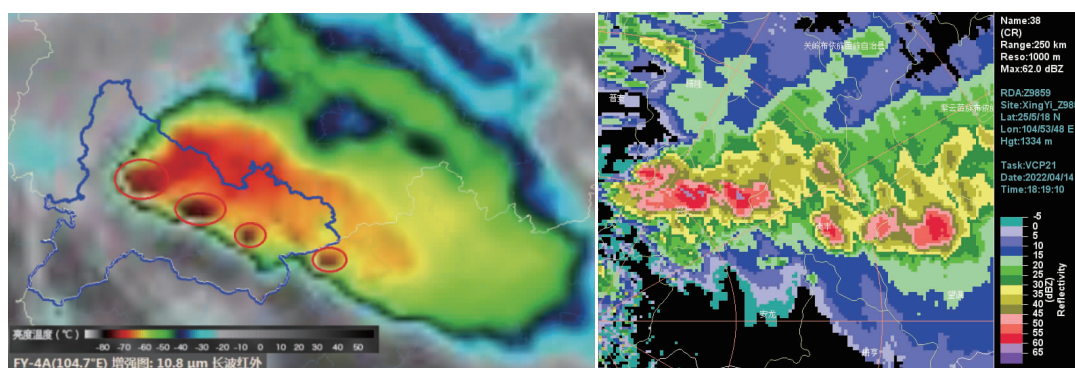


图 6 第 3 阶段风云 4A 卫星云图(a)及 ROSE2.0 组合反射率图(b)呈现的列车效应

Fig. 6 The train effect presented by the cloud image of FY - 4A satellite (a) and ROSE2.0 combined reflectance map (b) at the third stage

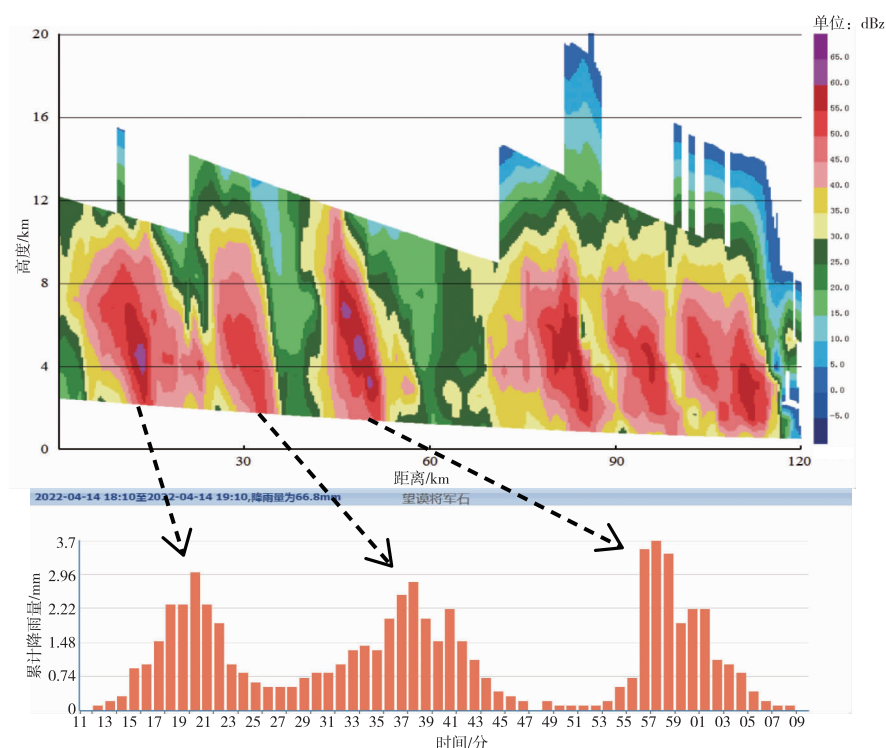


图 7 沿回波移动路径反射率因子剖面与望谟将军石逐分钟雨量对应图

Fig. 7 The reflectivity factor profile along the echo moving path corresponds to the minute by minute rainfall of Wangmo Jiangjunshi

对比 3 个阶段特点,第 1 阶段对流发展不高,对流强度偏弱;第 2 阶段雹暴云团发展旺盛,存在多个超级单体或强多单体风暴,对流主要以大冰雹为主;第 3 阶段对流云团向南、后向传播造成的列车效应最明显,超级单体风暴移速较快,对流主要以大风力等级的雷暴大风、中冰雹、40 ~ 60 mm 短时强降水为主。

3 ROSE2.0 与本地雷达软件产品对比分析

目前黔西南州使用的兴义雷达自带的产品终端软件(简称本地雷达软件)是一个有效的天气监

控、跟踪和预报系统,采用的数据格式是.05V,其导出产品与 ROSE2.0 的产品类型基本一致。下文选取典型大冰雹、雷暴大风、短时强降水个例,将对应的 ROSE2.0 显示的雷达产品与本地雷达软件显示的雷达产品进行对比分析(表 3),寻找两者之间的差异大小及其与实际值的差异。

3.1 大冰雹对比分析

以 16 时 45 分贞丰平街(距兴义雷达约 90 km)大冰雹为例(图 8)。一是组合反射率,ROSE2.0 显示的最大反射率强度为 65 dBZ(图 8a),与本地雷达软件显示(图 8d)基本一致,风暴中心的强度稍微偏弱。二是垂直液态水含量 VIL,ROSE2.0 显示的

VIL 值(图 8b)明显比本地雷达软件(图 8e)要小,前者贞丰平街处 VIL 最大值为 $41\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,后者 VIL 最大值为 $63\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,比前者明显偏强 $22\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$;根据文献[9]研究及实际监测经验表明,本地雷达软件显示的更接近大冰雹发生的实际 VIL 理论值,ROSE2.0 显示的明显偏低。三是回波顶高,ROSE2.0 显示的回波顶高 ET 最大值为 20 km (图 8c),而本地雷达软件显示的回波顶高为 10 km (图 8f),较前者明显偏小 10 km 。四是冰雹指数 HI,ROSE2.0 显示的 HI 为 5 cm ,本地雷达软件显示的为 6 cm (图略),较前者偏大;实际上贞丰平街的冰

雹直径 4 cm ,均比预报的偏小明显,相比而言,ROSE2.0 显示的更接近实况。

对 15 时 50 分晴隆东观街道大冰雹、17 时 39 分贞丰双乳峰大冰雹、19 时 25 分兴仁潘家庄大冰雹的 2 种雷达软件显示的产品对比分析的结论与上述基本一致。总的来说,对于本次大冰雹过程而言,ROSE2.0 显示的组合反射率与本地雷达软件显示基本一致,但 VIL、HI 比本地雷达软件的小,ET 比本地雷达软件的大;与大冰雹发生的实际理论经验值相比,ROSE2.0 显示的 VIL 值明显偏低,ET 明显偏高,HI 偏大。

表 3 大冰雹对应的 ROSE2.0 与本地雷达软件的雷达产品对比

Tab. 3 Radar products comparison of the strong hail between ROSE2.0 and local radar software

雷达产品	15 时 50 分晴隆东观 2 cm		16 时 40 分贞丰平街 4 cm		17 时 39 分贞丰双乳峰 4 cm		19 时 25 分兴仁潘家庄 3 cm	
	ROSE2.0	本地	ROSE2.0	本地	ROSE2.0	本地	ROSE2.0	本地
CR/dBz	61	63	65	>65	64	>65	61	63
VIL/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	48	73	41	63	50	73	33	43
ET/km	15	10	20	13	15	11	14	10
HI/cm	4	6	5	6	4	5	\	3

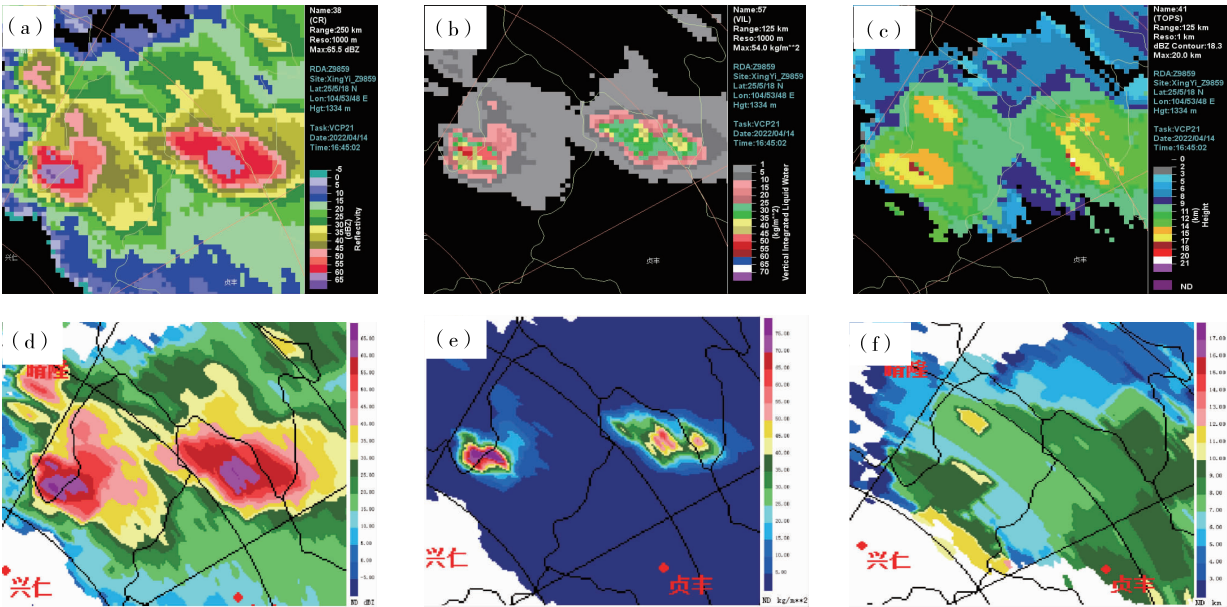


图 8 16 时 45 分贞丰平街大冰雹对应的 ROSE2.0(a~c)与本地雷达软件(d~f)的雷达产品对比:CR(a,d);VIL(b,e);ET(c,f)

Fig. 8 Radar product comparisons of ROSE2.0(a~c) and local radar software (d~f) corresponding to the strong hail in Zhenfeng Pingjie at 16:45:CR(a,d);VIL(b,e);ET(c,f)

3.2 雷暴大风对比分析

以 19 时 17 分册亨坡妹(距兴义雷达约 78 km) $25.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 雷暴大风为例(图 9)。从组合反射率可见,坡妹位于移速较快的对流风暴前沿顶点处,ROSE2.0(图 9a)和本地显示的(图 9d)最大反射率强度基本一致。分析径向速度可知,坡妹附近识别

出中气旋,低层存在 γ 中尺度气旋式涡旋,ROSE2.0 显示的径向速度(图 9b)比本地显示的(图 9e)要小;中层出现速度模糊,有中层径向辐合 MARC 特征,ROSE2.0 显示的径向速度中心值(图 9c)比本地显示的(图 9f)要大些;高层呈现风暴顶强辐散特征,同样 ROSE2.0 显示的径向速度中心值比本地显

示的(图略)要大。同时发现,ROSE2.0 显示的径向速度大值中心的位置与实际一致,而本地显示的位置略偏西。

此外,对比分析 17 时 05 分兴仁大山、19 时 19 分望谟董万雷暴大风的 2 种雷达软件显示的产品,结论与上述基本一致。

总的来看,雷暴大风附近能识别出中气旋,有中层径向辐合 MARC、高层风暴顶强辐散特征,低层 ROSE2.0 显示的径向速度比本地显示的要小,但中高层 ROSE2.0 显示的径向速度中心值比本地显示的要大。

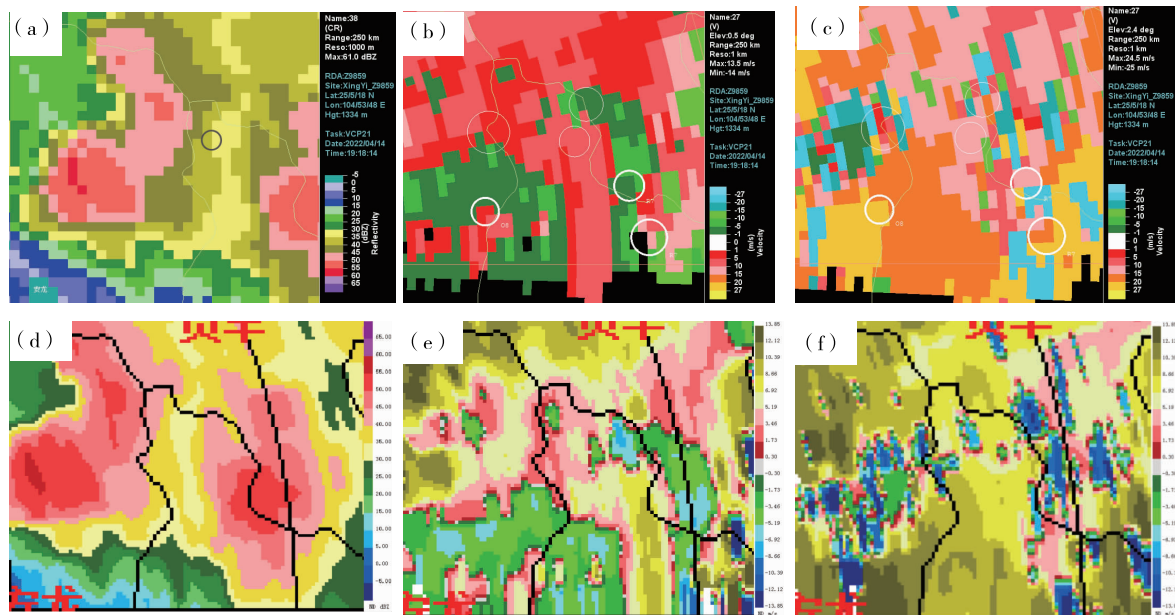


图 9 19 时 18 分册亨坡妹雷暴大风对应的 ROSE2.0(a~c)与本地雷达软件(d~f)的雷达产品对比:

CR(a,d); 0.5 °V(b,e); 2.4 °V(c,f)

Fig. 9 Radar product comparisons of ROSE2.0 (a~c) and local radar software(d~f) corresponding to the thunderstorm gale in Ceheng pomel at 19:18 CR(a,d); 0.5 °V(b,e); 2.4 °V(c,f)

3.3 短时强降水对比分析

以 18—20 时兴仁王家寨(距兴义雷达约 60 km)短时强降水为例(如图 10 所示)。王家寨连续 2 h 小时雨强超过 50 mm,其中 18—19 时雨强为 61.7 mm,19—20 时雨强为 53.5 mm。从 19 时 18 分组合反射率可见,影响王家寨的雷暴单体列车效应明显(图 10a~b),ROSE2.0(图 10a)和本地显示的(图 10b)最大反射率强度基本一致,均超过 60 dBz;回波的质心较低(图略)。从 19 时 47 分小时雨强估计来看,ROSE2.0 显示的王家寨小时雨强估计为 37 mm(图 10c),本地显示的该处小时雨强估计超过 150 mm(图 10d),与实际值(58 mm)相比,ROSE2.0 显示的偏小,本地显示的明显偏大。

另对 17 时 08 分贞丰小花江、18 时 54 分望谟将军桥、19 时 06 分兴仁下山、19 时 18 分贞丰龙场等短时强降水的 2 种雷达软件显示的小时雨强估计产品对比分析,结论与上述基本一致。总的来看,对于短时强降水,ROSE2.0 显示的小时雨强估计比实际值偏小,而本地显示的又明显偏大。

4 小结与讨论

(1)受高空槽、切变线、静止锋、弱冷空气、西南急流、地面辐合线等系统影响,2022 年 4 月 14 日黔西南州出现大范围强对流天气,最大冰雹直径 40 mm,最大风力 11 级,最大小时雨强 $61.7 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(2)过程分 3 个阶段:第 1 阶段为普通单体风暴或多单体风暴发展阶段,对流强度偏弱,以雨强 20 mm 以下的降水为主;第 2 阶段为超级单体或强多单体风暴发展和成熟阶段,存在列车效应,以大冰雹、8 级雷暴大风、20~40 mm 短时强降水为主;第 3 阶段为普通单体、多单体、超级单体风暴生消阶段,对流云团向南、后向传播造成的列车效应最明显,风暴移速较快,以中冰雹、8~11 级雷暴大风、40~60 mm 短时强降水为主。

(3)发生大冰雹时,组合反射率 ROSE2.0 显示的与本地雷达软件基本一致,但 VIL、HI 偏小,ET 偏大;与实际理论经验值相比,ROSE2.0 的 VIL 值明显偏小,ET、HI 偏大。发生雷暴大风时,识别出中气

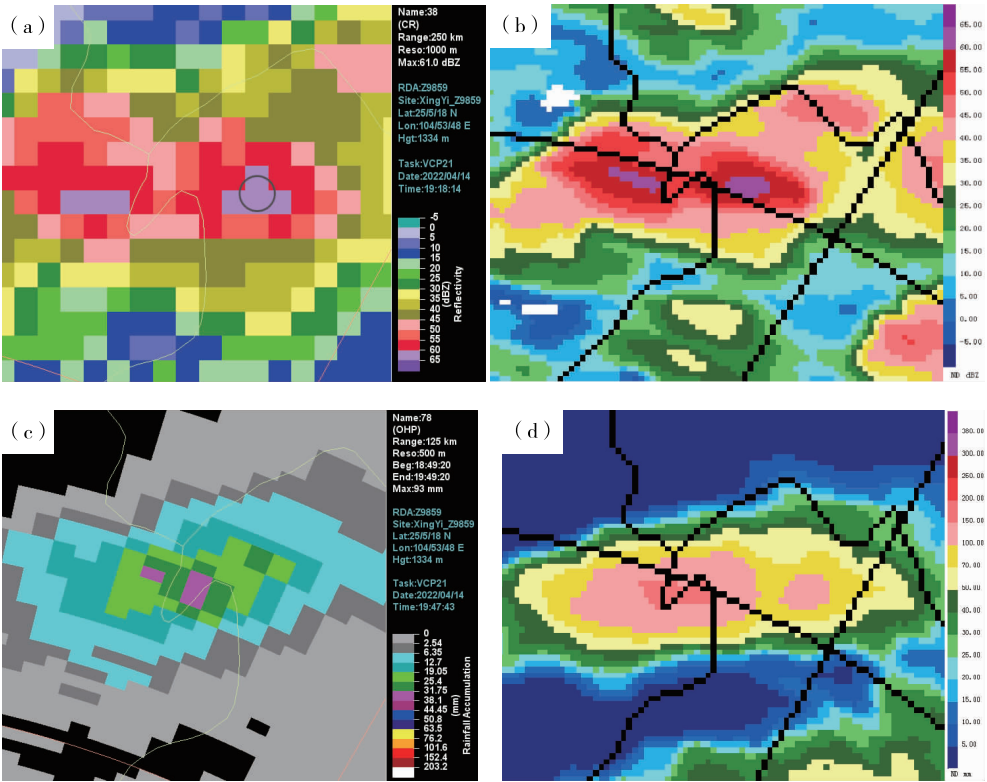


图 10 19—20 时兴仁王家寨短时强降水对应的 ROSE2.0 与本地雷达软件的雷达产品对比(a)19 时 18 分 ROSE2.0 - CR (b)19 时 18 分本地 CR,(c)19 时 47 分 ROSE2.0 小时雨强估计(d)19 时 47 分本地小时雨强估计

Fig. 10 Radar product comparisons of ROSE2.0 and local radar software corresponding to the short-term heavy rainfall in Xingren Wangjiazhai at 19—20 h(a)19: 18 ROSE2.0 - CR (b)19: 18 local - CR, (c)19: 47 ROSE2.0 one hour rain intensity estimation (d)19: 47 local - one hour rain intensity estimation

旋,中层径向辐合,高层风暴顶强辐散,低层径向速度 ROSE2.0 的比本地的要小,但中高层的中心值偏大。发生短时强降水时,小时雨强估计 ROSE2.0 的比实际值偏小。

虽然以上结论对预报预警业务有一定的理论指示意义,但对 ROSE2.0 的检验仍不够。需加强 ROSE2.0 的应用分析,争取得出更多其与本地雷达软件、实际理论经验值的订正经验,更好地应用于灾害性天气预报预警监测业务中。

参考文献

[1] 崔庭,赵玉金,孙旭东,等.黔西南州近 51a 冰雹天气气候特征分析[J]. 贵州气象,2013,37(6):34-35.
[2] 付琼,何依遥,姜荣,等.贵州省黔西南州冰雹分布特征统计分析[C]//中国气象学会.第 31 届中国气象学会年会论文集,第 16 届全国云降水与人工影响天气科学会议——大气水资源开发利用与气象防灾减灾,2014:146-149.
[3] 唐浩鹏,王芬,付琼.近 10a 黔西南州冰雹特征分析[J]. 云南地理环境研究,2017,29(1):65-68.
[4] 俞小鼎.关于冰雹的融化层高度[J]. 气象,2014,40(6):649-654.
[5] 陈红梅,刘洪良.2020 年“3·24”重庆城区冰雹天气形成原因与雷达回波演变特征[J]. 农业科技,2020(8):79-81.

[6] 张正国,汤达章,邹光源,等. VIL 产品在广西冰雹云识别和人工防雹中的应用[J]. 热带地理,2012,32(1):50-53.
[7] 罗雄,罗喜平,李枚曼,等.基于卫星和雷达资料的 FAST 冰雹云特征分析及识别指标初探[J]. 中低纬山地气象,2021,45(5):56-62.
[8] 朱家亮,潘红萍,邱丽静,等.基于多源数据的湘北地区春季一次冰雹过程的观测分析[J]. 中低纬山地气象,2022,46(2):46-54.
[9] 杨春艳,陈杨,孟庆怡,等.黔西南一次中 β 尺度强对流天气分析[J]. 中低纬山地气象,2021,45(6):1-8.
[10] 欧坚莲,汤中明,黄恩恩,等.2014—2020 年梧州市短时大暴雨雷达回波特征分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(1):20-25.
[11] 余兴湛,刘升源,黄国斌,等.广东西部沿海一次致灾暴雨的中尺度分析[J]. 中低纬山地气象,2021,45(3):73-80.
[12] 苟阿宁,王玉娟,张家国,等.一次梅雨锋附近“列车效应”致灾大暴雨过程观测分析[J]. 气象,2019,45(8):1052-1064.
[13] 邱双.雅安一次极端强降水的超级单体风暴特征及成因分析[J]. 中低纬山地气象,2022,46(2):55-62.
[14] 王珏,肖艳姣,冷亮,等.2021 年 5 月武汉两次对流性大风天气的多普勒雷达观测分析[J]. 暴雨灾害,2022,41(2):119-129.
[15] 王秀玲,张莉.冀东地区“9.27”雷暴大风的雷达回波特征[J]. 中国农学通报,2016,32(11):121-126.
[16] 国家气象中心.冰雹等级:GB/T27957-2011[S].
[17] 俞小鼎,王秀明,李万莉,等.雷暴雨强对流临近预报[M].北京:气象出版社,2020.