

# 安顺市“5·11”强对流天气雷达产品特征分析

刘思洋<sup>1</sup>, 刘帆<sup>2</sup>, 陈玲丽<sup>3</sup>, 方怡瑾<sup>1</sup>, 王兴菊<sup>1</sup>, 吴哲红<sup>1</sup>

<sup>1</sup>安顺市气象局, 贵州 安顺

<sup>2</sup>常德市气象局, 湖南 常德

<sup>3</sup>普定县气象局, 贵州 安顺

收稿日期: 2023年6月19日; 录用日期: 2023年7月20日; 发布日期: 2023年7月27日

## 摘要

利用常规资料、多普勒雷达资料和地面观测资料等, 对2021年5月11日贵州省安顺市的一次强对流天气过程中两个强风暴单体的形势背景、强对流发生条件、强风暴单体演变及结构特征、风暴的异同点进行了详细分析。结果表明: 上干下湿的不稳定层结, 配合高空槽、低空切变线、中低空急流和午后的热低压发展等有利的环流背景, 地面辐合线触发强对流天气导致此次安顺冰雹、大风及短时强降水天气的出现; 两个超级单体降雹前均出现了回波强度高、有界弱回波区、三体散射长钉和旁瓣回波等特征; 贵阳雷达观测到的回波强度和VIL值更大, 增加和降低趋势更加明显。这些均为安顺强对流天气的预警、预报提供了参考。

## 关键词

地面辐合线, 中气旋, 三体散射, 旁瓣回波

# Analysis of Product Characteristics of “5·11” Severe Convection Weather Radar in Anshun City

Siyang Liu<sup>1</sup>, Fan Liu<sup>2</sup>, Lingli Chen<sup>3</sup>, Yijin Fang<sup>1</sup>, Xingju Wang<sup>1</sup>, Zhehong Wu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Meteorological Bureau of Anshun, Anshun Guizhou

<sup>2</sup>Meteorological Bureau of Changde, Changde Hunan

<sup>3</sup>Meteorological Bureau of Puding, Anshun Guizhou

Received: Jun. 19<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 20<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 27<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

By using conventional data, Doppler radar data and ground observation data, the background,

文章引用: 刘思洋, 刘帆, 陈玲丽, 方怡瑾, 王兴菊, 吴哲红. 安顺市“5·11”强对流天气雷达产品特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(4): 755-764. DOI: 10.12677/ccrl.2023.124079

conditions of convective occurrence, evolution and structural characteristics of two strong storm cells during a strong convective weather in Anshun City, Guizhou Province on May 11, 2021 are analyzed in detail. The results show that the unstable stratification of dry above and wet below, combined with the favorable circulation background such as upper trough, low level shear line, middle and low level jet stream and the development of hot low in the afternoon, the surface convergence line triggered the strong convective weather, resulting in the occurrence of hail, strong wind and short-term heavy precipitation in Anshun. The characteristics of strong echo intensity, bounded weak echo region, three-body scattering spike and sidelobe echo appeared in both supercells before hail fall. The echo intensity and VIL values observed by the radar in Guiyang are larger, and the trend of increase and decrease is more obvious. All these provide reference for Anshun strong convective weather warning and forecast.

## Keywords

Surface Convergence Line, Mesocyclone, Three-Body Scattering, Side Lobe Echo

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

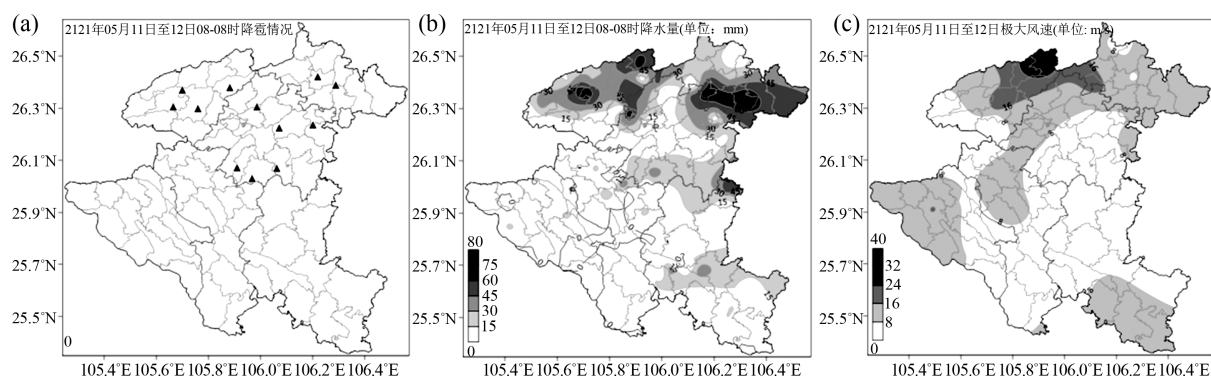
冰雹是贵州春、夏季最常见的一种强对流天气，常伴有雷电、短时强降水等灾害性天气发生，具有破坏力强、局地性强、突发性强等特点，冰雹的预警和预报是短临预报和防灾减灾的重点。近年来，气象工作者[1]-[7]在对强对流天气过程进行了深入的研究，许爱华等[8]从强对流的不稳定条件和主要触发条件的角度出发，提出中国强对流天气 5 种基本类别：冷平流强迫类、暖平流强迫类、斜压锋生类、准正压类、高架对流类；吴芳芳等[9]研究了中气旋特征与强烈天气的关系，发现带有中气旋的高顶高底的对流风暴易产生大冰雹，后侧入流急流进入风暴有时会导致中气旋切变剧增、中气旋的底和顶降低而产生雷雨大风，低底和含有较低旋转速度的前侧中气旋容易导致短时暴雨；Lemon [10]指出三体散射的出现是大冰雹存在的充分条件和非必要条件。他进一步指出特征出现后 10 到 30 分钟之内，往往会产生最大的地面降雹和大风；王晓军等[11]基于普洱天气雷达资料对此进行了深入的研究，认为 TBSS 一般出现在 4.0 km~9.5 km，最低出现在 2.6 km，最高出现在 11.4 km，预报时间提前量为 5 到 100 分钟，且 TBSS 出现时 59%出现降雹；麻服伟[12]和张钊等[13]指出旁瓣回波可作为强冰雹的一个预警指标；何炳文[7]等认为旁瓣回波特征可以作为 S 波段的雷达强冰雹预报预警的充分条件，但是否适用于 C 波段新一代天气雷达，需在今后的业务工作中经验总结；徐云杰等[14]指出垂直液态水含量(VIL)的强度和跃增对冰雹有很好的指示作用，当  $VIL > 40 \text{ kg/m}^{-2}$ ，且有明显跃增时出现冰雹概率比较大。2021 年 5 月 11 日午后至夜间，安顺市出现较大范围冰雹、雷暴大风强对流天气，雷达观测表明这次的风雹灾害是由两个超级单体风暴引起。本文利用贵阳和六盘水两部新一代天气雷达观测资料，对天气环境背景、强对流发生条件、强风暴单体的演变及结构特征、异同点进行详细分析，为今后安顺的短临预报提供一定的参考和思路。

## 2. 天气实况和灾情

2021 年 5 月 11 日 17 时~12 日 02 时贵州省安顺市中北部出现雷电、冰雹、大风、短时强降水混合型强对流天气，平坝、西秀区、普定、镇宁等地共 17 个乡镇(街道)在雷雨中夹降冰雹，普遍直径在 5 mm~10 mm，冰雹最大直径达 12 mm，降雹密度达 150 粒/m<sup>2</sup>；共出现 9 站 6 级以上大风天气，最大风速出现在

19时51分普定猴场31 m/s;暴雨主要集中在安顺北部,共11站暴雨,最大小时雨强为11日19~20时普定猴场42.3毫米/小时,据统计此次强对流天气对平坝区、西秀区、普定县造成风雹及洪涝灾害,其中共造成56,003人受灾,直接经济损失4056.17万元。

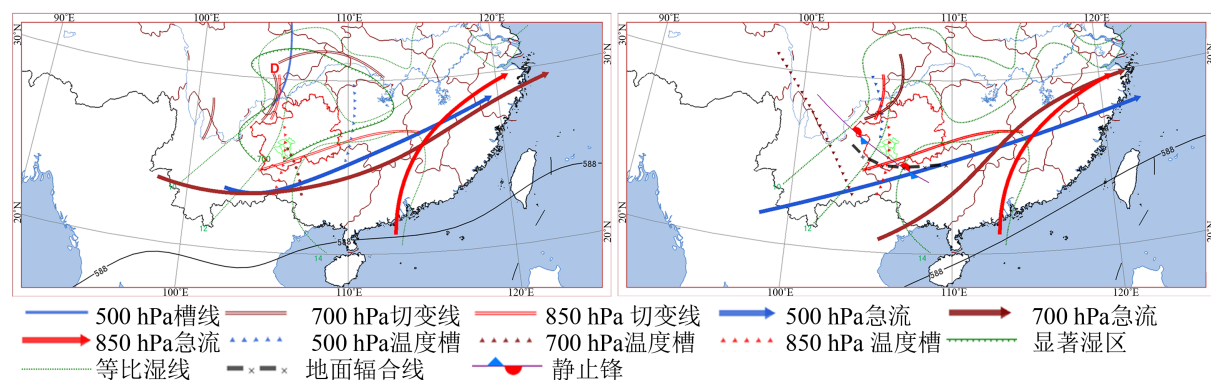
从暴雨、冰雹、大风的水平空间分布看出,此次强对流天气主要影响安顺市中北部地区,成为造成本次灾情严重的主要原因(图1)。



**Figure 1.** (a) Hail situation, (b) precipitation area map, (c) maximum wind speed map in Anshun City from May 11 to 12, 2021

**图 1.** 2021年5月11日~12日安顺市(a)降雹情况、(b)降水落区图、(c)极大风速图

### 3. 天气形式背景



**Figure 2.** The comprehensive analysis of altitude and ground at 08:00 and 20:00 on 11 May 2021

**图 2.** 2021年5月11日08、20时高空及地面综合分析

2021年5月11日08时(图2),500 hPa安顺受北支槽底偏西气流影响,温度槽在湖南西侧至广西一线;700 hPa和850 hPa,川东上空低涡切变,贵州中南部受温度脊控制,安顺位于西南急流左侧;安顺850 hPa比湿在10 g/kg~12 g/kg之间,地面受热低压东南部控制。20时,500 hPa安顺市位于西南急流左侧,588线东退相较于08时更有利于水汽输送,温度槽在安顺上空;700 hPa切变位于贵州东北部,切变线南侧为显著的西南风,850 hPa切变线到达贵州南部边缘,温度脊影响安顺,比湿从08时的10 g/kg~12 g/kg增至12 g/kg~14 g/kg,地面受静止锋影响。17时热低压发展至最强,低压中心达993 hPa,地面辐合线呈东-西走向,位于安顺北部边缘一带。对流发生地区(安顺)在切变南侧的暖湿区内,中层干冷空气覆盖在低层的暖湿气流之上,形成条件不稳定层结,在西南急流的暖湿强迫背景下,增加了条件不稳定,同时带来了充沛的水汽。850 hPa的切变线、地面辐合线及地面发展的热低压为主要的触发抬升条件。安顺北部个别乡镇最高气温达31℃,南部大部分乡镇午后最高气温升至30℃以上,为能量积累提供有利条

件。本次强对流天气主要受东北方向的冷空气影响，形成西北-东南向的静止锋系统，强天气出现在静止锋北侧偏东气流的冷区中。

#### 4. 强对流发生条件分析

2021年5月11日08时和20时贵阳站的T-lnP图所反映的环境场特征有以下几种特点(图3): 1) 08时和20时近地面层到500 hPa, 条件不稳定特征明显, 20时CAPE(对流有效位能)值较大, 达736.1 J/kg, K指数08时、20时分别为37.6℃和36.9℃, SI指数从08时的0.67℃降至20时的-0.82℃, 表明对流发生前热力不稳定明显; 2) 08时湿层到700 hPa, 20时湿层到600 hPa, 夜间600 hPa以上有干空气卷入, 温湿层结曲线形成向上开口的喇叭形状, “上干冷、下暖湿”特征明显; (3) 贵阳站两个时次中底层风速随高度升高有一定的顺转, 其中20时850 hPa~600 hPa风向随高度升高顺转明显; 08~20时垂直风切变明显增强, 0 km~3 km从8.2 m/s增至14.8 m/s、0 km~6 km从16.9 m/s增至23 m/s; 4) 20时0℃层及-20℃层高度相对08时有所降低, 分别为4.7 km和7.9 km, 对出现冰雹天气更为有利。

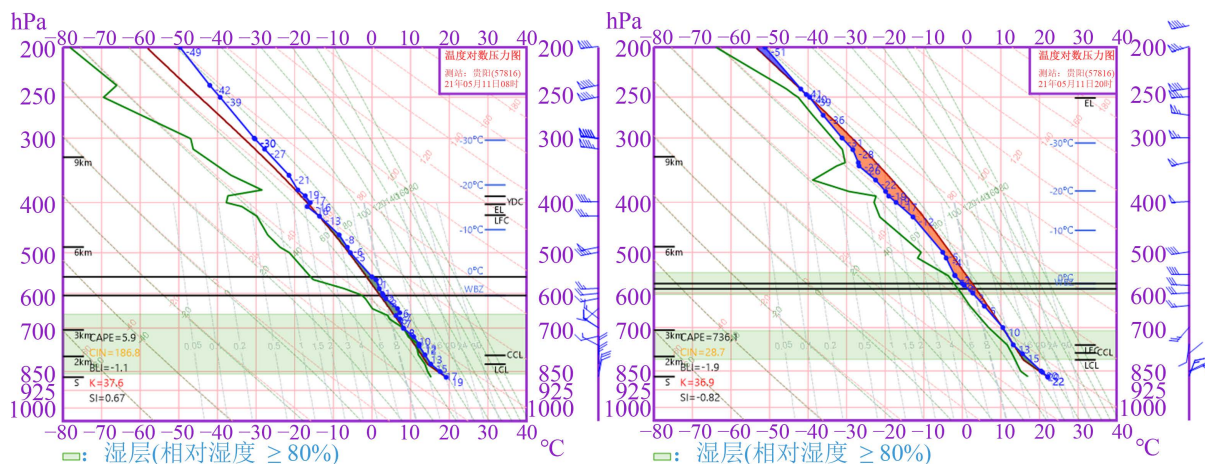


Figure 3. Tlogp of Guiyang Station at 08:00 (left) and 20:00 (right) on May 11, 2021

图3. 2021年5月11日08时(左)和20时(右)贵阳站探空图

#### 5. 多普勒雷达回波演变特征分析

通过对多普勒天气雷达对本次强对流天气的跟踪监测, 安顺市的强对流天气主要受到两个对流风暴导致的, 将这两个风暴分别命名为风暴A、风暴B。

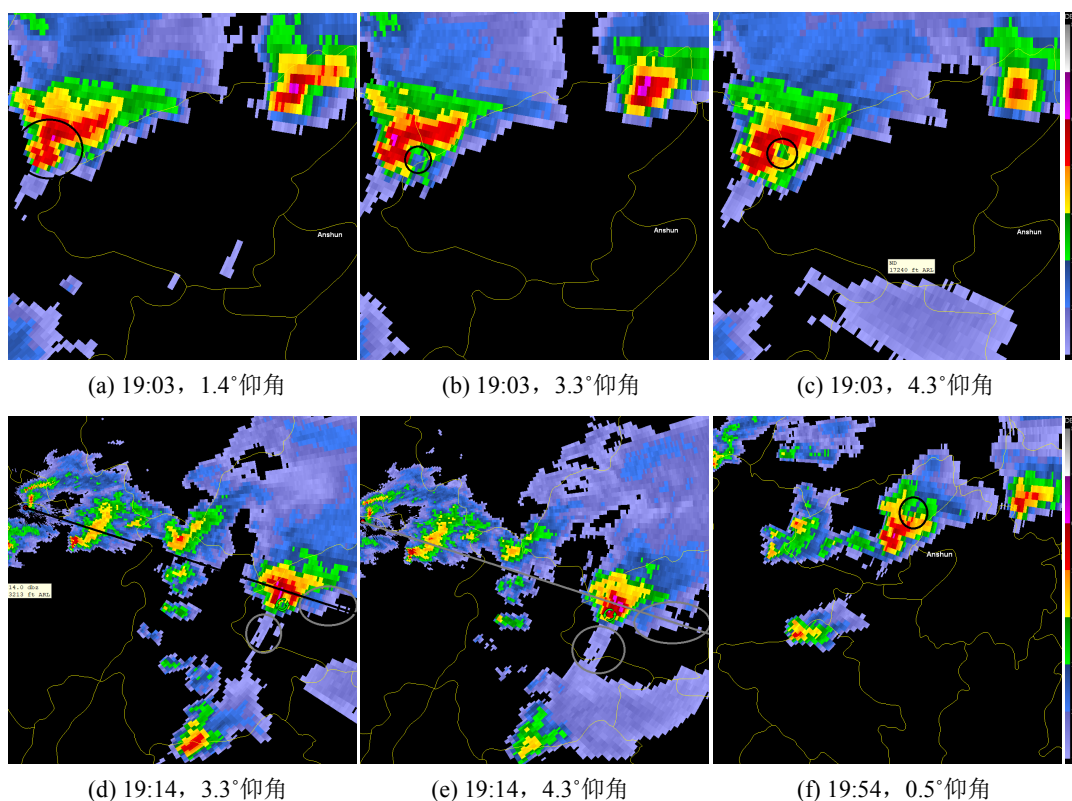
##### 5.1. 风暴A的演变特征

2021年5月11日15:11左右在六盘水西北部附近开始有孤立的多单体生成, 随着地面辐合线的缓慢南压, 雷达回波不断向东偏南方向移动, 19:03风暴A进入普定, 19:08基本反射率因子最强, 此后到19:25基本反射率因子逐渐减弱, 19:30变强后再次减弱直到移出普定。

18:56, 风暴A临近普定县北部边缘。19:03, 该风暴已经发展成为尺度约为20 km强盛的对流单体, 1.4°仰角(图4(a))高度约1.5 km其前进方向的后侧出现突出物, 开始显现出超级单体低层回波特征, 3.3°和4.3°仰角(图4(b)、图4(c))高度约3.6 km~4.8 km已显现出有界弱回波区BWER结构, 沿入流方向穿过最强回波位置的反射率因子垂直剖面(图5(a))呈现典型穹隆、强大的回波悬垂和有界弱回波区左侧的结构墙, 此时多普勒雷达未自动识别出中气旋, 结合低层速度图特征中气旋已经存在, 反射率因子中心强度为61.5 dBZ, 仍在继续增强。19:08该风暴呈现出了典型的超级单体钩状回波结构, 在超级单体的中低层



( $0.5^\circ$ 、 $1.4^\circ$ 和 $2.4^\circ$ )有明显的前侧入流缺口,表明有强的入流气流进入上升气流中,有利于大冰雹的增长,而 $3.3^\circ$ 和 $4.3^\circ$ 存在弱回波通道,表明存在强的下沉后侧入流急流,“弱回波通道”向下沉气流提供干燥的和高动量的空气,通过垂直动量交换和增加的雨水蒸发,增加地面附近出流的强度,低层的径向速度图(图 6(a))呈现一个强烈的中气旋。反射率因子最强中心在 $4.3^\circ$ 高度约 5 km,强度增强到 66.5 dBZ。19:14,雷达产品显示中气旋底高在 1.5 km 以上,反射率因子中心强度为 64.5 dBZ 在 $2.4^\circ$ 仰角,相比上一个时次雷达产品,反射率因子中心强度及高度均有降低, $3.3^\circ$ 和 $4.3^\circ$ 仰角(图 4(d)、图 4(e))及剖面图(图 5(b))上观测到了随高度增长的 TBSS,这预示着中气旋将要减弱。从 19:03~19:14,在 $0.5^\circ\sim 4.3^\circ$ 仰角均能观测到旁瓣回波,从低到高逐渐增大,19:14 达到峰值,而后在 19:20 减弱。19:20,反射率因子中心强度为 62.5 dBZ,虽然反射率因子垂直剖面仍有悬垂等特征,但此时的中气旋反射率因子中心强度较上一个体扫来说较弱,19:25,雷达产品显示中气旋底高在 1.5 km 以下,中气旋进一步向低层发展,反射率因子中心强度为 61.5 dBZ。超级单体虽然减弱,低层辐合,6 km 以上辐散等特征仍存在,在冷暖空气的不断交汇下,超级单体有机会继续加强,19:31,反射率因子中心强度再次加强达 69.5 dBZ。19:32~19:35 坪上、19:30~19:34 穿洞办和 19:48~19:51 普定城区出现了直径为 8 mm,密度为每平方米 30 粒的冰雹。中气旋的出现较冰雹的出现提前了约 22 分钟,三体散射的出现较冰雹的出现提前了约 10 分钟,而旁瓣回波特征出现的更早,提前了约 30 分钟。19:42 开始超级单体再次减弱。19:54,此时回波移至普定县东部边缘,最强中心高度降低至约 1.2 km 的 $0.5^\circ$ 仰角,强度减弱至 60.5 dBZ。单体东北朝向出现 V 字型结构(图 4(f)),低层气流引导干冷空气进入暖湿气流,而高反射率因子的高度连续下降意味着下沉气流伴随降水粒子下降,干空气被夹卷进入下沉气流使雨滴迅速蒸发,大大加强了下沉气流的强度,而显著增加了大风的强度,19:31 分普定猴场出现风速为 31 m/s 的东北风。



**Figure 4.** The evolution of radar reflectivity factor of Storm A (unit: dBZ)  
**图 4.** 风暴 A 六盘水雷达的反射率因子演变(单位: dBZ)

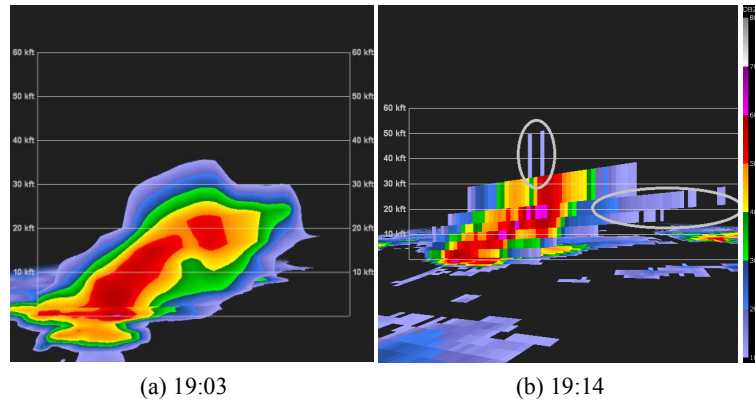


Figure 5. Liupanshui radar vertical profile of Storm A (unit: dBZ)  
 图 5. 六盘水雷达对风暴 A 的垂直剖面(单位: dBZ)

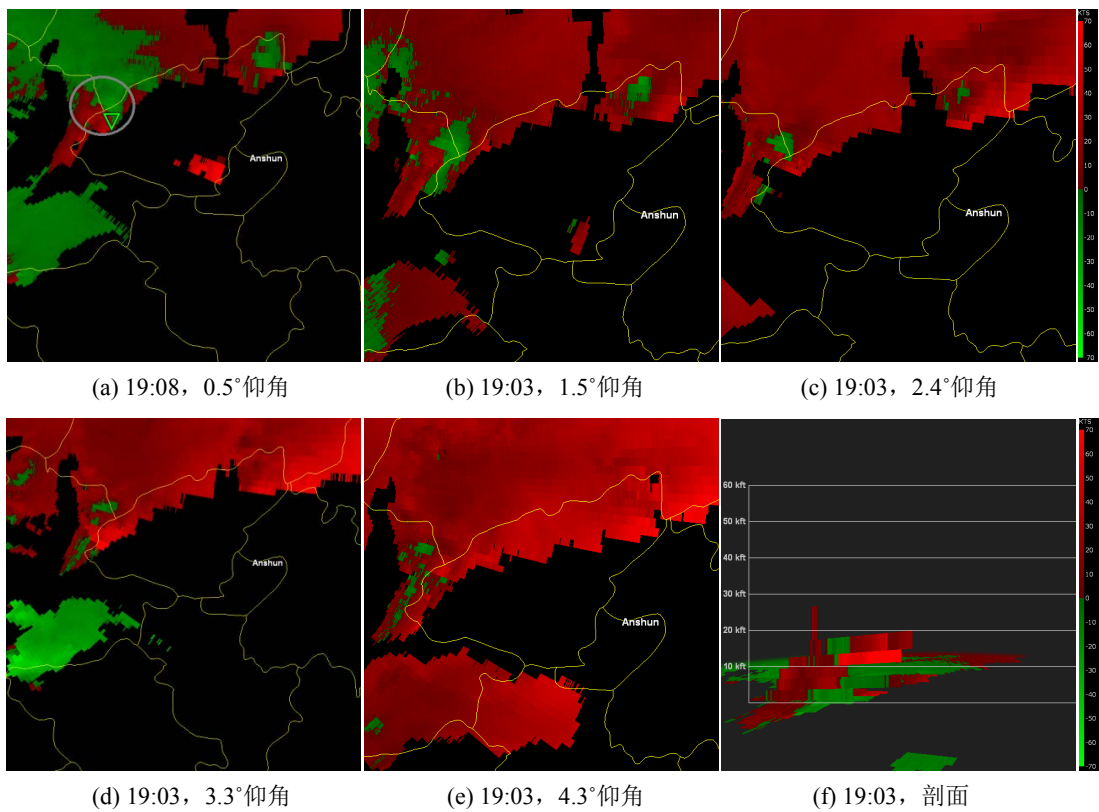


Figure 6. Radial velocity evolution of Liupanshui radar for storm A (unit: KTS)  
 图 6. 六盘水雷达对风暴 A 的径向速度演变(单位: kts)

冰雹成长的有利环境是合适的  $0^{\circ}\text{C}$  层、 $-20^{\circ}\text{C}$  层高度, 以及  $-20^{\circ}\text{C}$  层高度以上有无超过  $45\text{ dBz}$  的反射率因子核。5月11日, 08时  $0^{\circ}\text{C}$  层在  $4.9\text{ km}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$  层  $8.1\text{ km}$ , 20时  $0^{\circ}\text{C}$  层在  $4.7\text{ km}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$  层  $7.9\text{ km}$ 。19:03 的反射率回波高度上, 回波顶高  $10.5\text{ km}$ , 强度剖面上  $45\text{ dBz}$  的回波还未伸展到  $-20^{\circ}\text{C}$  以上, 但强中心回波强度已达  $60\text{ dBz}$  以上, 并伴有强回波悬垂和低层弱回波区。1.5°仰角的径向速度图(图 6(b))上为辐合式气旋性旋转是中气旋特征, 2.4°和 3.3°仰角径向速度图(图 6(c)、图 6(d))呈现出气旋性旋转, 4.3°仰角的径向速度图(图 6(e))呈现出气旋式辐散结构, 约  $4.5\text{ km}$  高度辐散有利于单体的继续发展。速度剖面上(图 5(e))呈现低层辐合、高层辐散特征。

19:08, 45 dBz 的反射率因子伸展到 8.1 km 附近, 超过 $-20^{\circ}\text{C}$ 高度, 强回波中心加强, 大于 60 dBz 强回波伸展高度接近 5 km, 在  $0^{\circ}\text{C}$  层以上, 速度图上中底层速度辐合明显。19:03~19:14 三个体扫过程中, VIL 从  $19.6\text{ kg/m}^2$  增加至  $41.7\text{ kg/m}^2$ , 说明这段时间强回波明显发展。

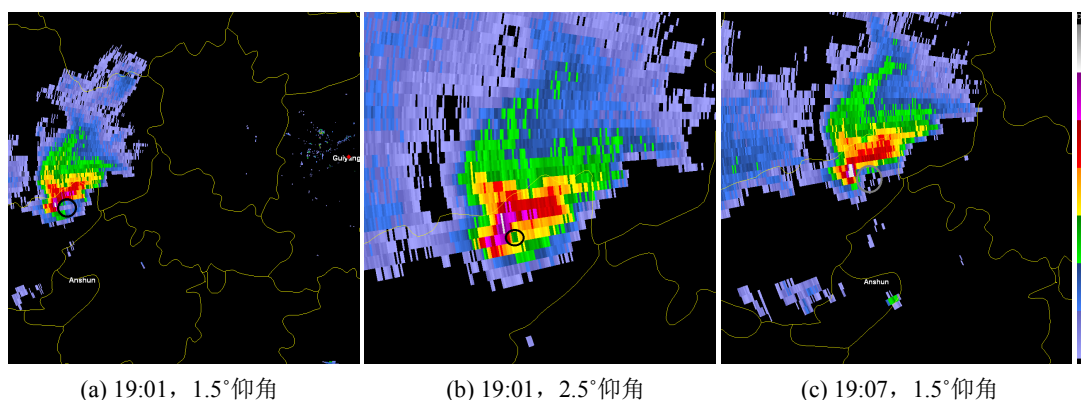
## 5.2. 风暴 B 的演变特征

六盘水雷达、贵阳雷达同时捕捉到了风暴 B, 两部雷达相距约 176 km。强冰雹风雹单体位于六盘水雷达的东南方向, 离六盘水雷达约 104 km; 离贵阳雷达约 70 km, 位于贵阳雷达的西南方向。同时分析两个雷达资料, 观测密度更高, 风暴特征更完整; 对灾害性天气发生的提前量及判断更可信, 有助于积累短临预报的经验。在本次过程中, 因为贵阳雷达距离风暴更近, 所以分析以贵阳雷达的资料为主, 六盘水雷达为辅。

风暴 B 影响普定、平坝。18:51 左右从普定县东北部进入安顺地区, 此时已发展成为超级单体, 随后向南偏东方向移动, 19:28 进入平坝区, 到 21:15 从平坝东南部移出。19:23 开始出现三体散射现象, 19:33 三体散射最强并出现旁瓣回波, 19:30~19:32 平坝观测到冰雹, 19:44 三体散射明显减弱并继续向东南方向先移动, 19:50 三体散射和旁瓣回波特征再次出现, 19:50~20:04 平坝再次观测到冰雹。

贵阳雷达资料显示, 19:01, 风暴 B (方位  $260^{\circ}$ , 距离 88 km) 低层发展成为钩状回波结构,  $1.5^{\circ}$  仰角(图 7(a))有前侧入流缺口,  $2.5^{\circ}$  仰角(图 7(b))上有界弱回波区明显, 强回波中心 72.5 dBz (高度约 4.2 km), 反射率因子垂直剖面也显现出明显的弱回波区结构和悬垂回波,  $0.7^{\circ}$  仰角径向速度图(图 8(a))辐合式气旋性旋转,  $1.5^{\circ}$  仰角径向速度图(图 8(b))表现出辐合结构。

19:07,  $1.5^{\circ}$  仰角(图 7(c))仍然有前侧入流缺口, 说明仍然有强的入流气流进入到上升气流中, 强回波中心在  $1.5^{\circ}$ 、 $2.4^{\circ}$  仰角上为 72.5 dBz (高度约 3 km~4 km)。19:12, 继续维持之前的特征, 强回波中心上升至  $4.4^{\circ}$  仰角, 回波中心强度为 71.5 dBz (高度约 6 km), 此时的强回波中心高度已超过  $0^{\circ}\text{C}$  层, 且 $-20^{\circ}\text{C}$  层高度反射率因子在 55 dBz 以上, 有利于冰雹的产生。19:17~19:33 回波中心强度超过 70 dBz, 在此期间强回波中心向上向下发展, 19:33,  $6.2^{\circ}$  仰角(高度约 7.3 km)反射率因子中心强度达 66 dBz,  $0.7^{\circ}$  仰角(高度约 1.1 km)反射率因子中心强度达 70.5 dBz, 19:23~19:33, 三体散射长度不断增长, 在  $0.7^{\circ}$ 、 $1.5^{\circ}$ 、 $2.5^{\circ}$  仰角观测到并持续 3 个体扫, 产生旁瓣回波风暴核的最小反射率因子强度为 68 dBz, 最大为 73.5 dBz, 高度在 1.1 km~3 km 之间, 旁瓣回波在 19:33 的  $0.7^{\circ}$ 、 $1.5^{\circ}$ 、 $2.5^{\circ}$  仰角明显(图 9)。19:33 以后 TBSS 逐渐减弱消失, 但反射率因子强度仍然很强, 直到 19:50 开始才再次出现三体散射, 并随时间的推移 TBSS 长度逐渐变长, 19:55 旁瓣回波再次出现在  $0.7^{\circ}$ 、 $1.4^{\circ}$ 、 $2.5^{\circ}$ 、 $3.4^{\circ}$  仰角, 此时最小反射率因子强度为 68 dBz, 最大为 73.5 dBz, 高度在 1.1 km~4 km 之间, 19:50~19:55 平坝区乐平镇和 20:02~20:04 平坝城区观测直径 5 mm 的冰雹。



**Figure 7.** Evolution of reflectance factor of Guiyang radar for Storm B (unit: dBZ)  
**图 7.** 贵阳雷达对风暴 B 的反射率因子演变(单位: dBZ)

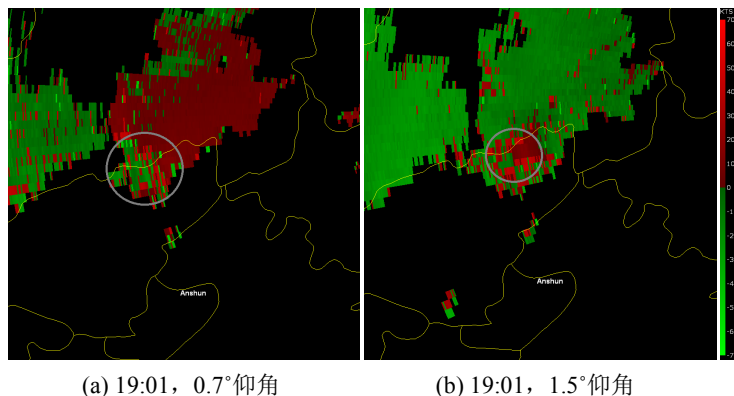


Figure 8. Radial velocity evolution of Guiyang radar for Storm B (unit: KTS)  
图 8. 贵阳雷达对风暴 B 的径向速度演变(单位: kts)

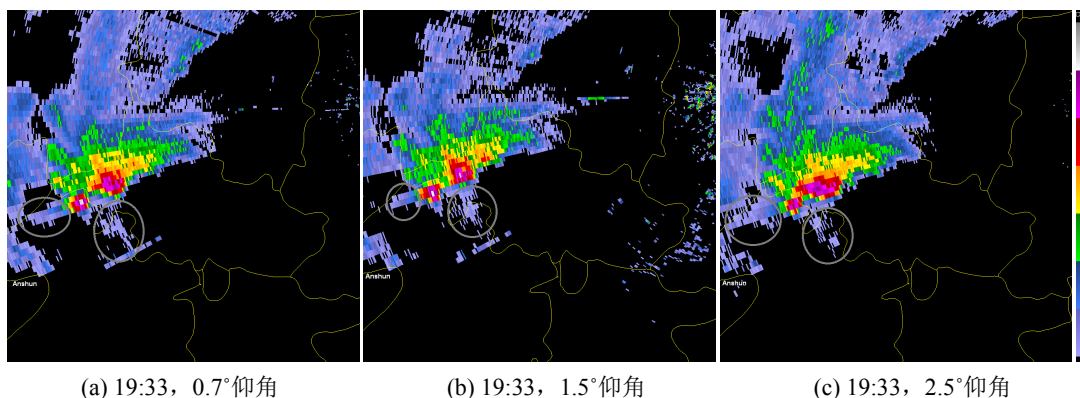


Figure 9. Reflectance factor three-body scattering and sidelobe echo characteristics of Storm B by Guiyang radar (unit: dBZ)  
图 9. 贵阳雷达对风暴 B 的反射率因子三体散射及旁瓣回波特征(单位: dBZ)

### 5.3. 风暴 AB 在六盘水雷达和贵阳雷达上 VIL 的表现

在六盘水雷达(表 1)上观察到的 VIL 变化和降雹情况, 风暴 A 中 VIL 的峰值区共有三个, 其中有两个峰值出现时间与降雹时间对应, 且低值区对应降雹的间歇期, 19:14~19:19 是 VIL 的峰值但无冰雹, 风暴 A 在这一时刻的体扫中发现三体散射和旁瓣回波的特征, 单体在下一个体扫减弱, 此时刻冰雹已经发生, 可能因为观测点的位置与冰雹落区距离较远, 所以降雹没有被观测到。20:10~20:16 观测到冰雹, 但 VIL 只有  $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。风暴 B 中 VIL 的峰值区共有两个, VIL 峰值出现时间与降雹时间对应。由于风暴 AB 在一条辐合线上发展且距离较近, 则风暴 B 的 VIL 趋势特征与风暴 A 保持一致, 且两风暴降雹时间接近。

六盘水雷达和贵阳雷达(表 2)相比, 贵阳观测到的 VIL 值更大, VIL 增加和降低趋势更加明显, 可用的 VIL 的数据时间段更长。在本次过程中, 19:00~20:30 六盘水雷达和贵阳雷达分别缺失了三个体扫, 观察风暴 B 的时候, 由于距离和没有其他回波阻挡等原因, 贵阳雷达更有优势。观察风暴 A 的时候, 两个雷达资料互相补充效果更好。

Table 1. VIL and hail situation of Liupanshui radar

表 1. 六盘水雷达的 VIL 与冰雹情况

时间	$VIL_A/\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	有无冰雹	$VIL_B/\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	有无冰雹
19:03~19:08	19.6	无	22.6	无



## Continued

19:08~19:14	33.1	无	25.1	无
19:14~19:19	41.7	无	24.1	无
19:20~19:25	30.1	无	30.1	无
19:25~19:30	23.1	无	32.6	无
19:31~19:36	61.7	有	43.2	有
19:42~19:47	34.6	有	31.1	无
19:54~19:59	24.6	无	35.1	有
20:05~20:10	15.6	无	33.6	有
20:10~20:16	14.1	有	13.1	无
20:16~20:21	10.5	无	-	无
20:22~20:27	10	无	12.5	无
20:27~20:33	34.1	无	13.1	无
20:33~20:38	36.6	无	14.6	无
20:39~20:44	22.6	有	16.6	无

**Table 2.** VIL and hail situation of Guiyang radar  
**表 2.** 贵阳雷达的 VIL 与冰雹情况

时间	VILA/kg·m <sup>-2</sup>	有无冰雹	VILB/kg·m <sup>-2</sup>	有无冰雹
19:07~19:11	58.2	无	52.2	无
19:12~19:17	53.2	无	62.7	无
19:17~19:22	45.2	无	58.7	无
19:28~19:33	18.1	无	100	无
19:33~19:38	51.2	无	100	无
19:44~19:49	55.7	有	76.8	有
19:50~19:54	37.1	有	65.8	无
19:55~20:00	51.2	无	112	有
20:00~20:05	68.8	无	121	有
20:06~20:10	89.9	有	95.4	无
20:11~20:16	70.3	无	86.8	无
20:16~20:21	63.2	无	125	无
20:22~20:26	82.8	无	65.3	无
20:32~20:37	96.4	有	101	无

## 6. 结论

1) 本次强对流天气发生在地面辐合线附近的不稳定层结中, 高空槽、低空切变线、中低空急流和热低压是导致此次强对流天气的主要影响系统。午后热低压因发展积累了能量。上干下湿的水汽垂直分布, 适宜的 0°C、-20°C 层高度有利于冰雹等强对流天气产生。

2) 风暴 A、B 在一条辐合线上发展, 共同特征是降雹前均出现了回波强度强、有界弱回波区、三体散射长钉和旁瓣回波、强大的回波悬垂等特征; 不同的是风暴 A 出现中气旋较冰雹的出现提前了约 22 分钟, 而三体散射的出现较冰雹的出现提前了约 10 分钟, 旁瓣回波提前了约 30 分钟; 风暴 B 冰雹提前 7 分钟观察到三体散射, 旁瓣回波在冰雹出现时被发现, 第二次冰雹前 5 分钟观察到三体散射。地面灾害性大风主要由超级单体对流风暴所引发。

3) VIL 值呈现波动式跃升和下降, 表明冰雹开始生成并可能出现降雹现象。VIL 变化和降雹情况统计中, 风暴的 VIL 的峰值区出现时间与降雹时间对应, 低值区对应降雹的间歇期。两个雷达相比, 贵阳观测到的 VIL 值更大, VIL 值的跃升和降雹后的减弱趋势更明显。观察风暴 B 的时候, 由于距离和没有其他回波阻挡等原因, 贵阳雷达更有优势。观察风暴 A 的时候, 两个雷达资料互相补充效果更好。

## 基金项目

贵州省山地气候与资源重点实验室项目《安顺市冰雹短临预警指标研究》(编号: QHLSSLJ[2022]-02)。

## 参考文献

- [1] 陈关青, 杨群, 李伟栋. 贵州铜仁连续两次冰雹天气过程的对比分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(1): 163-172.
- [2] 黄莉, 詹莹玉, 白龙. 2013 年广西春季混合型强对流天气分析[J]. 灾害学, 2014(4): 38-42.
- [3] 刘希文, 李得勤, 韦惠红. 2013 年湖北地区两次雷暴大风过程环境及雷达回波特征[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(1): 1-10.
- [4] 赵俊荣, 郭金强, 杨景辉. 一次致灾冰雹的超级单体风暴雷达回波特征分析[J]. 高原气象, 2011, 30(6): 1680-1689.
- [5] 郑永光, 陶祖钰, 俞小鼎. 强对流天气预报的一些基本问题[J]. 气象, 2017, 43(6): 641-652.
- [6] 刘小艳, 索勇, 王瑾. 基于 CAPS 系统的贵州安顺市冰雹云识别指标研究[J]. 干旱气象, 2017, 35(4): 688-693.
- [7] 何炳文, 胡振菊, 高伟. 湘西北地区强冰雹的多普勒天气雷达旁瓣回波统计分析[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(3): 269-275.
- [8] 许爱华, 孙继松, 许东蓓. 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(4): 400-411.
- [9] 吴芳芳, 俞小鼎, 张志刚. 对流风暴内中气旋特征与强烈天气[J]. 气象, 2012, 38(11): 1330-1338.
- [10] Lemon, L.R. (1998) The Radar "Three-Body Scatter Spike": An Operational Large-Hail Signature. *Weather and Forecasting*, 13, 327-340. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1998\)013<0327:TRTBSS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1998)013<0327:TRTBSS>2.0.CO;2)
- [11] 王晓君, 夏文梅, 段鹤. 三体散射长钉(TBSS)在 C 波段雷达中的应用研究[J]. 气象, 2014(11): 1380-1388.
- [12] 麻服伟. 哈尔滨强冰雹雷达回波特征[J]. 气象, 2007, 33(2): 88-92.
- [13] 张钊, 张俊利. 一次冰雹过程的雷达回波特征分析[J]. 现代农业科技, 2012(20): 271-274.
- [14] 徐云杰, 梁依玲, 张丁丁. 2018 年 5 月 7 日来宾强冰雹雷达特征分析[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(3): 52-55.