

# 贵州省中部地区一次冰雹大风天气特征 综合分析

黄金全, 邓小光

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2026年2月4日; 录用日期: 2026年3月2日; 发布日期: 2026年3月10日

## 摘要

2025年4月11日夜間, 贵州省中部地区发生一次以雷暴、大风、冰雹和短时强降水为主的强对流天气过程, 对贵阳龙洞堡机场运行造成显著影响, 导致多个航班备降与返航。本文基于多源观测资料, 包括ERA5再分析数据、贵阳双偏振雷达扫描数据及探空资料, 从环流背景、物理条件与雷达特征等方面对该过程进行综合诊断分析。结果表明: 本次过程发生在500 hPa短波槽东移、700 hPa西南急流输送水汽、850 hPa切变线对峙以及地面辐合线南压与冷空气侵入的有利配置下; 物理量分析显示大气层结具有明显不稳定特征, 中层干空气与强上升运动共同促进冰雹生长与雷暴大风发展; 雷达监测表明对流系统发展旺盛, 回波顶高超9.5 km, 垂直液态水含量达62.5 kg/m<sup>2</sup>, 粒子相态识别出“雨/雹”混合区, 进一步证实冰雹天气的发生。本研究揭示了贵州中部强对流天气在多尺度系统配合下的触发与增强机制, 可为该地区强对流天气的短临预警与航空气象服务提供参考依据。

## 关键词

强对流天气, 形势场分析, 物理量场, 雷达特征

# A Comprehensive Analysis of the Characteristics of a Hail and Strong Wind Weather Event in the Central Region of Guizhou Province

Jinquan Huang, Xiaoguang Deng

Guizhou Branch of Southwest Regional Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation Administration of China, Guiyang Guizhou

Received: February 4, 2026; accepted: March 2, 2026; published: March 10, 2026

## Abstract

On the night of April 11, 2025, a severe convective weather event with thunderstorms, strong winds, hail, and short-term heavy precipitation occurred in the central region of Guizhou Province, significantly affecting the operation of Guiyang Longdongbao Airport and causing multiple flights to divert and return. Based on multi-source observational data, including ERA5 reanalysis data, Guizhou dual-polarization radar scanning data, and sounding data, this study conducts a comprehensive diagnostic analysis of this process from the aspects of circulation background, physical conditions, and radar characteristics. The results show that this process occurred under favorable configurations such as the eastward movement of the 500 hPa short-wave trough, the transport of moisture by the 700 hPa southwest jet stream, the confrontation of the 850 hPa shear line, and the southward pressure rise of the ground convergence line and the intrusion of cold air; physical quantity analysis indicates that the atmospheric stratification has obvious unstable characteristics, and the middle-level dry air and strong ascending motion jointly promote the growth of hail and the development of thunderstorms and strong winds; radar monitoring shows that the convective system is vigorous, with the echo top exceeding 9.5 km and the vertical liquid water content reaching 62.5 kg/m<sup>2</sup>, and the particle phase identification reveals a “rain/hail” mixed zone, further confirming the occurrence of hail weather. This study reveals the triggering and enhancement mechanism of severe convective weather in the central region of Guizhou under the cooperation of multi-scale systems, which can provide reference for short-term warning of strong convective weather and aviation meteorological services in this region.

## Keywords

Severe Convective Weather, Synoptic Field Analysis, Physical Quantity Field, Radar Characteristics

Copyright © 2026 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

贵州地处青藏高原向我国东部丘陵平原过渡的关键边缘带,其地势自西向东呈三级阶梯陡降,且全省97%为山地丘陵,崎岖地形对气流产生强烈抬升、辐合与阻滞作用。同时,南向敞开的坡面成为暖湿气流的天然通道。这些地理条件共同构成了极易触发中小尺度天气系统的“敏感场”,使该地区成为全国雷暴冰雹、短时强降水等强对流天气最为频发的区域之一。

近年来,随着观测技术的进步和数值模式的发展,对强对流天气形成机制和预报技术的研究不断深入,但由于其发生发展的多尺度性和地域特殊性,针对贵州复杂地形下强对流天气的精细化分析仍具有重要的科学价值和实际意义。吴古会等[1]统计了贵州省国家站10分钟平均风数据,发现6级以上的大风一般发生在非暴雨过程中。陈义义等[2]通过对地面辐合线分型并分析其与强对流落区的关系,揭示在贵州地区当满足一定条件时地面辐合线可有效触发强对流天气。许爱华等[3]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;万雪丽等[4]统计了多年贵州的强冰雹天气过程,将春季强冰雹天气发生的有利形势分为西北气流型,高空槽型,锋前降雹型和高架雷暴型。徐云杰等[5]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。刘思洋等[6]利用多源探测资料,发现贵州安顺市的一次强对流天气中的两个超级单体风暴在降雹前均呈现出典型

的雷达结构特征。李俊瑶等[7]研究了春季贵州西北部一次冰雹大风过程, 基于雷达数据揭示了超级单体风暴中存在的钩状回波、强回波垂直伸展超过 10 公里及双偏振参量特征。

2025 年 4 月 11 日夜间, 贵州省中部地区发生了一次明显的强对流天气过程, 贵阳龙洞堡机场出现雷暴、大风、冰雹和阵雨等多种灾害性天气, 导致多个航班备降或返航, 对航空运行造成显著影响。本次过程在环流形势、物理机制及雷达特征上具有典型性和代表性, 为研究贵州地区强对流天气的触发、发展与演变提供了良好个例。

本文基于 ERA5 再分析资料、贵阳双偏振雷达数据及探空资料, 系统分析此次过程的环流背景、不稳定条件、水汽输送、动力抬升及微物理特征, 旨在揭示其发生发展的主要机制, 以为贵州地区强对流天气的监测预警和预报服务提供技术参考和依据。

## 2. 数据

本研究以多源观测资料融合分析为基础, 数据主要包括: ERA5 再分析资料, 其水平分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , 时间分辨率为 1 小时, 所采用的气象要素涵盖风场(U/V 分量)、气温、相对湿度、比湿、散度及地面气压等; 同时结合贵阳龙洞堡机场的双偏振雷达扫描数据, 以及贵阳探空站(站号 57816)的气球探空资料。

## 3. 天气回顾

4 月 11 日 19:30 至 23:30, 机场关键区受对流云团影响, 出现一系列强对流天气过程。天气具体过程见图 1, 19:41 至 21:23, 本场出现雷暴天气; 期间, 20:08 至 21:30 伴有小阵雨, 20:13 至 20:23、22:56 至 23:13 分别出现两段中阵雨。此外, 20:13 至 20:30 观测到弱冰雹现象。



Figure 1. Strong convective weather process at Longdongbao Airport, Guiyang on April 11, 2025

图 1. 2025 年 4 月 11 日贵阳龙洞堡机场强对流天气过程图

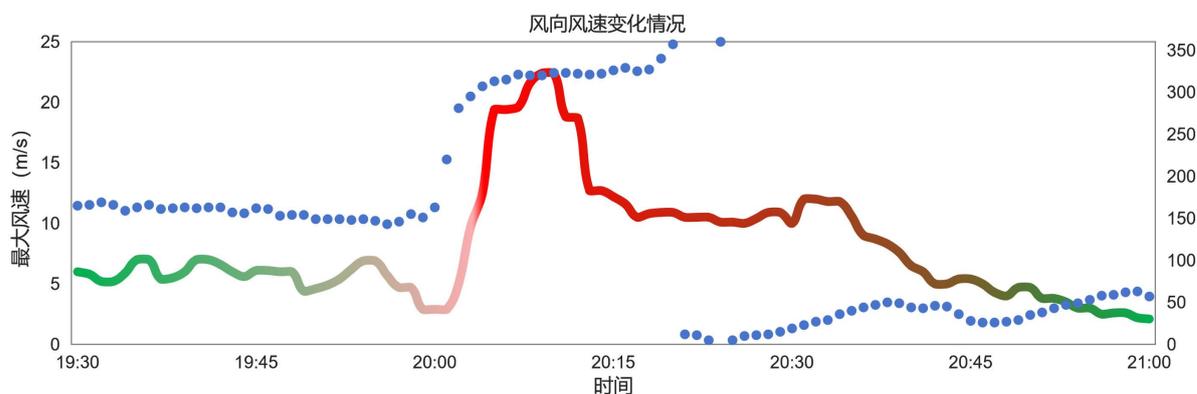


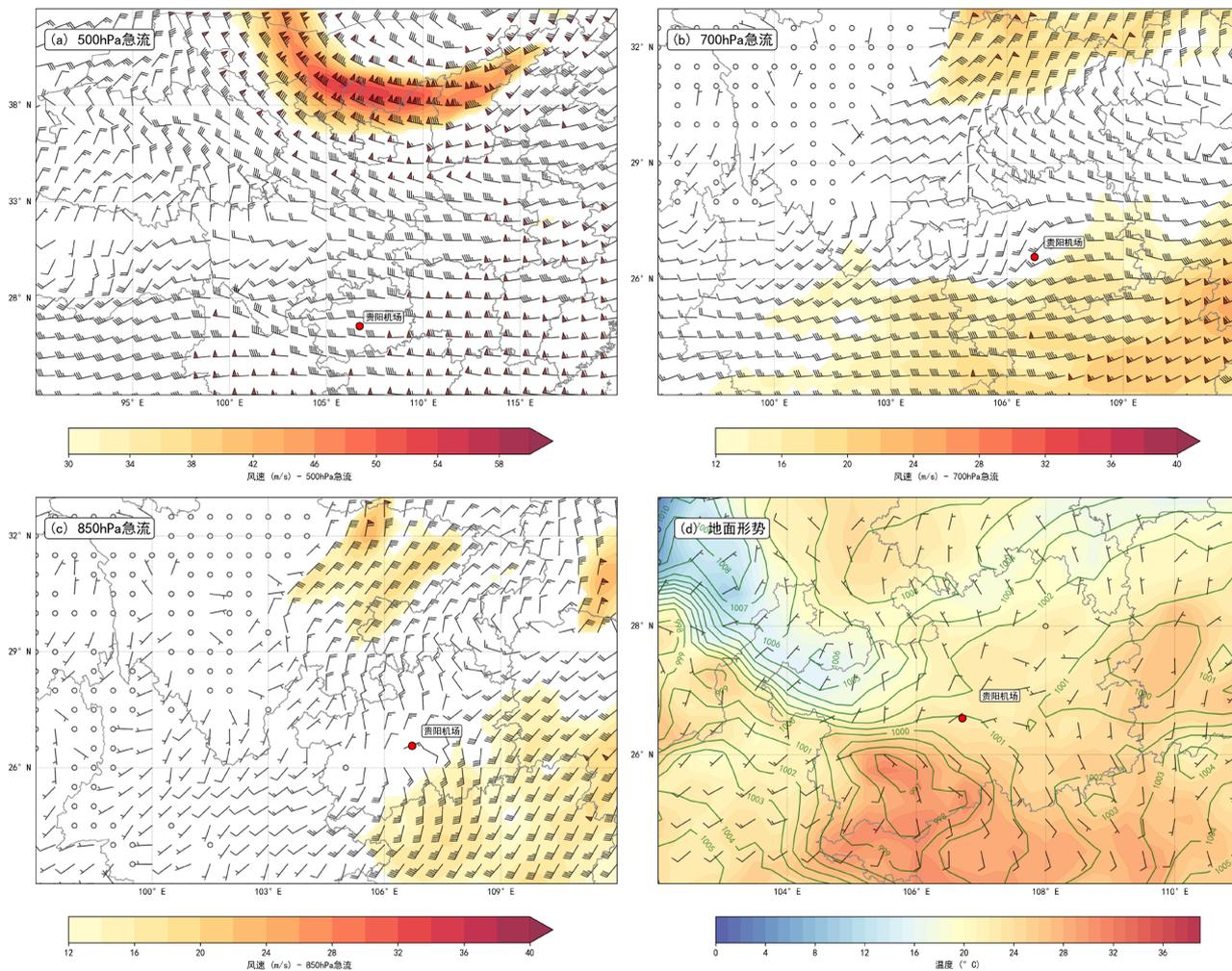
Figure 2. The wind direction and wind speed changes during the severe convective weather at Guiyang Airport. The horizontal axis represents Beijing time, and the vertical axis on the left shows the maximum wind speed, while the vertical axis on the right represents the wind direction

图 2. 贵阳机场强对流天气风向风速变化情况, 横坐标为北京时间, 纵坐标左轴为最大风速, 右轴为风向

分析图 2 可知 20:00 至 20:30 期间出现大风天气, 最大风速达 22.4 m/s, 风向 320°, 极大风出现在 20:09 至 20:12 之间。受上述天气影响, 共计 7 个航班实施备降, 1 个航班返航。

### 4. 过程分析

#### 4.1. 形势场分析



**Figure 3.** Geopotential height field on April 11, 2025 at 20:00: (a) 500 hPa wind field and jet stream field (colored); (b) 700 hPa wind field and jet stream field (colored); (c) 850 hPa wind field and jet stream field (colored); (d) Surface wind field, 2-meter air temperature (colored) and mean sea level pressure (green isotherms)

**图 3.** 2025 年 4 月 11 日 20 时形势场: (a) 500 hPa 风场与急流场(填色); (b) 700 hPa 风场与急流场(填色); (c) 850 hPa 风场与急流场(填色); (d) 地面风场、2 米气温(填色)与平均海平面气压(绿色等值线)

结合 2025 年 4 月 11 日 20 时 500 hPa、700 hPa、850 hPa 及地面形势场(图 3)的综合分析可知, 本次贵州地区雷暴大风伴冰雹天气是在有利的高低空系统配置共同作用下产生的。500 hPa 高度层有多个短波槽依次东移过境, 为中高层提供了明显的扰动条件; 700 hPa 上, 一支强盛的西南急流稳定维持在贵州省中南部, 急流轴左侧通常对应着强烈的辐合上升区, 为本地区对流的发生提供了持续的水汽和动力抬升条件; 850 hPa 上可见一切变线自北向南移动, 至 11 日 20 时已南压至贵州省中部, 该切变线北侧为东北急流, 南侧为偏南急流, 两侧急流明显对峙, 反映出层结不稳定和较强的垂直风切变, 有利于对流天气增强。

从地面形势场来看, 贵阳机场当时位于一个暖性低压区的东北侧, 地面辐合线也已南移至贵州省中部, 这种配置进一步加强了低层的辐合上升运动。同时, 从西北方向有冷空气南下侵入贵州省, 省内西北部表现为显著的气压梯度加大和气温下降, 显示此次冷空气强度较强。冷空气的侵入不仅增强了低层锋生作用, 也加剧了大气层结的不稳定性, 为对流的发生发展提供了触发机制。

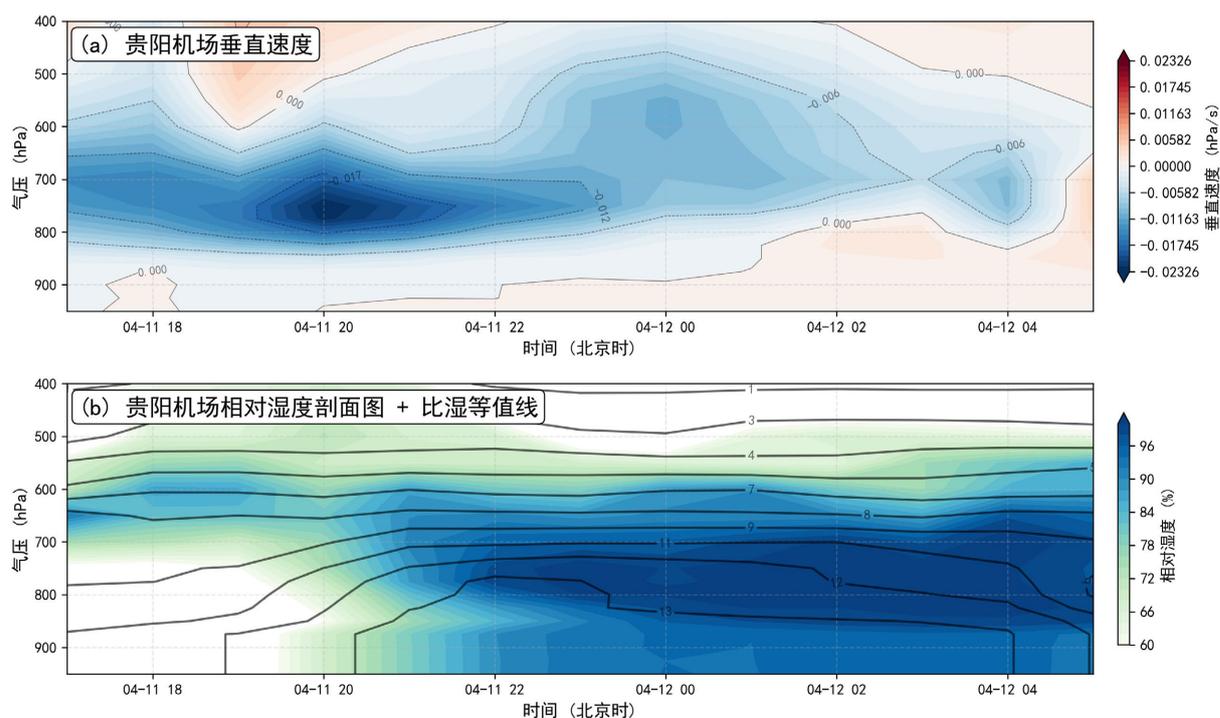
综上所述, 本次强对流天气过程是高空短波槽扰动、中低层急流与切变线配合、以及地面辐合与强冷空气侵入共同作用的结果, 各层系统在时间和空间上的叠加, 最终导致了雷暴大风及冰雹天气的发生。

#### 4.2. 要素时间 - 高度剖面分析

结合形势场分析, 本次过程中高低空系统配置良好, 且伴随较强的冷空气活动。为深入分析贵州省中部贵阳机场上空物理条件的时空演变, 选取该机场最近邻格点绘制时间 - 高度剖面, 如图 4 所示。

图 4(a)为贵阳机场垂直速度剖面。可以看出, 整个过程中较强的上升运动主要集中于 800 hPa 至 600 hPa 之间。11 日 20 时前后上升运动最为显著, 19 时之后, 受 500 hPa 短波槽影响, 上升运动区域向上扩展, 抬升层增厚、强度增强, 此种深厚且强烈的上升条件有利于冰雹的生长与形成。

从相对湿度与比湿的剖面分布来看, 自 11 日 19 时起, 低层比湿明显增大, 达到约 12 g/kg, 并逐渐向 700 hPa 延伸; 随后各层相对湿度也普遍上升。这一湿层结构的建立与维持, 为本次过程中出现的中等强度阵雨提供了必要的水汽条件。



**Figure 4.** Element time-altitude profile chart of Guiyang Airport, with the horizontal axis representing time and the vertical axis representing air pressure altitude: (a) Vertical velocity (unit: Pa/s); (b) Relative humidity (unit: %) color-coded map, specific humidity (unit: g/kg) isotherms

**图 4.** 贵阳机场要素时间 - 高度剖面图, 横坐标为时间, 纵坐标为气压高度: (a) 垂直速度(单位: Pa/s); (b) 相对湿度(单位: %)填色图、比湿(单位: g/kg)等值线

#### 4.3. 探空图分析

图 5 显示了贵阳探空站(站号: 57816) 11 日 08 时的探空曲线。分析表明, 当日上午大气已具备一定

的不稳定能量, CAPE 值达到 356.4 J/kg, Si 指数为-0.2, K 指数为 23.7, 这些指标共同反映出午后大气层结趋于不稳定, 有利于对流触发与雷暴发展。同时, 探空曲线呈现明显的“上干下湿”特征, 中层干空气有利于降水蒸发冷却, 增强下沉气流, 对雷暴大风的产生具有促进作用。此外, 0°C层高度位于 4670 米, -20°C层高度约在 7854 米, 这种温度层结为冰雹的生长提供了适宜的垂直空间, 有利于过冷水的积累与冰雹的碰并增长。

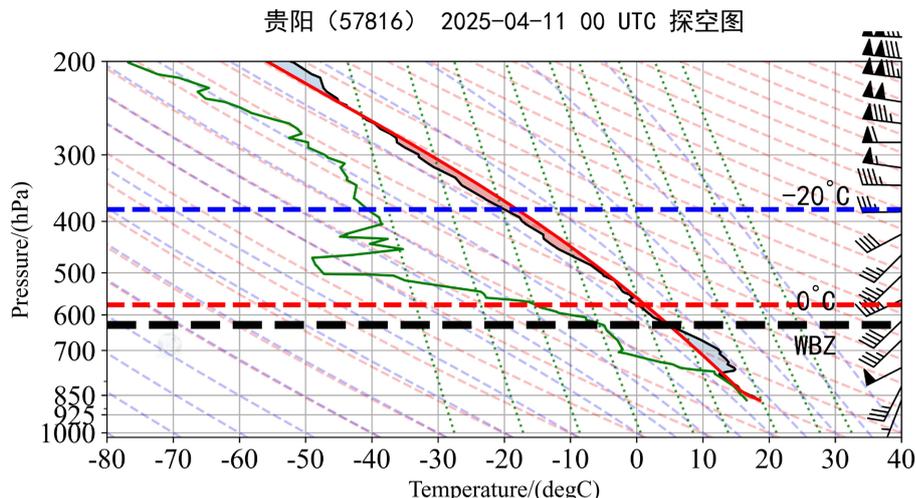


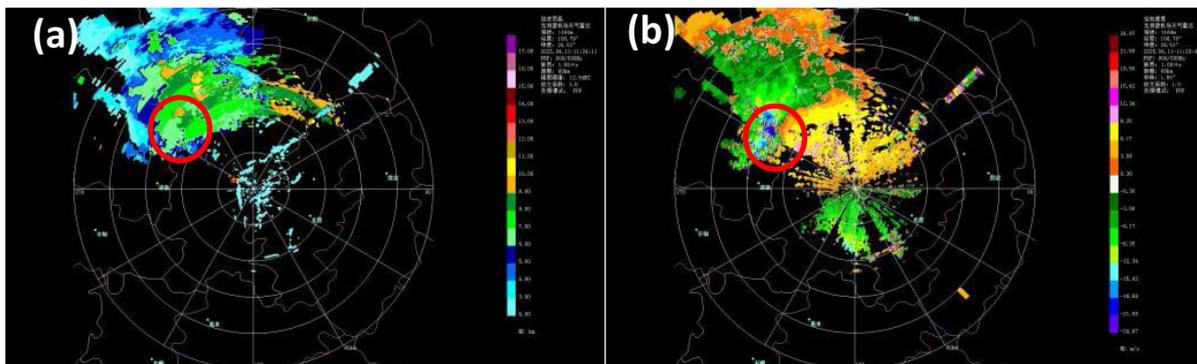
Figure 5. Stratigraphic chart of Guiyang Airport at 08:00 on April 11th (Beijing time)  
图 5. 贵阳机场 4 月 11 日 08 时(北京时)探空图

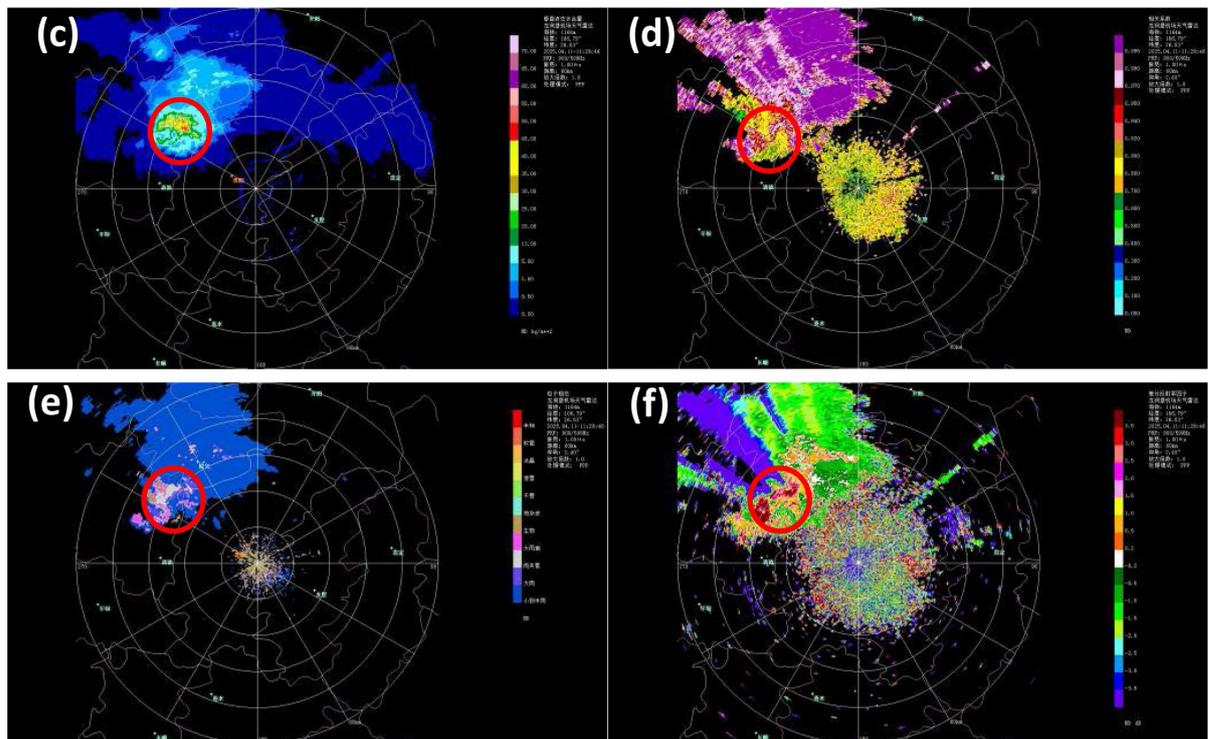
#### 4.4. 雷达图分析

在短临监测中, 雷达能够有效捕捉上游强对流系统的发展演变。图 6 展示了贵阳机场 11 日 19 时 28 分的多参数雷达产品, 包括回波顶高、径向速度、垂直液态水含量、相关系数、粒子相态及差分反射率等。

分析显示, 此时回波顶高已超过 9.5 km, 表明对流发展旺盛, 云体伸展较高。径向速度图中出现-23.12 m/s 的速度极值, 指示存在雷暴大风的下沉气流。垂直液态水含量最大达 62.5 kg/m<sup>2</sup>, 反映出云内存在强盛且持续的上升气流, 能够支持大量水汽向上输送并维持, 这一特征常伴随冰雹的形成。

从相关系数分布可见, 对流区内存在低于 0.8 的低相关区域, 通常对应于强对流风暴的核心区, 其中上升气流强烈, 粒子相态多样, 在 4 月份通常包括雨滴和冰雹等。粒子相态产品进一步识别出“雨/雹”混合区域, 该区域对应的差分反射率因子数值介于-0.2 至-0.5 之间, 表明粒子在垂直方向上较长, 具有典型的大冰雹粒子特征。





**Figure 6.** Radar image of Guiyang Airport at 19:28 on April 11th: (a) Echo top height; (b) Radial velocity; (c) Vertical liquid water; (d) Correlation coefficient; (e) Particle phase; (f) Differential reflectivity

**图 6.** 贵阳机场 4 月 11 日 19 时 28 分雷达图: (a) 回波顶高; (b) 径向速度; (c) 垂直液态水; (d) 相关系数; (e) 粒子相态; (f) 差分反射率

综上, 该时次雷达多参数产品一致反映出此次强对流天气具有较高的垂直发展、强烈的上升与下沉气流、以及冰雹生成的微物理条件。

## 5. 结论

本次强对流天气发生在高空短波槽东移、中低层急流与切变线配合、地面辐合及冷空气南下的有利环流背景下, 各系统在时空上的叠加共同触发了对流发展。

物理量分析表明, 过程中存在强烈的上升运动、充沛的低层水汽输送以及“上干下湿”的不稳定层结, 为冰雹的生长和雷暴大风的形成提供了热力与动力条件。

雷达多参数产品显示, 对流云团发展旺盛, 回波顶高超过 9.5 km, 垂直液态水含量显著, 粒子相态识别出雨雹混合区, 进一步印证了冰雹天气的发生。

此次过程对航空运行造成较大影响, 说明在类似环流配置下, 需重点关注贵州中部地区强对流的短临监测与预警。

## 基金项目

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局创新类项目(GZSWATMB-202405 贵州空域对流天气监测预警一体化业务平台)资助。

## 参考文献

- [1] 吴古会, 张艳梅. 贵州省近 10a 日最大风特征分析[J]. 贵州气象, 2018, 42(2): 13-20.

- [2] 陈义义, 宋媛, 罗娅. 贵州地区地面辐合线触发强对流天气机理研究初探[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(10): 1164-1172. <https://doi.org/10.12677/AG.2023.1310111>
- [3] 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, 40(4): 400-411.
- [4] 万雪丽, 周明飞, 曾莉萍, 等. 贵州春季强冰雹天气量化概念模型研究及试应用分析[J]. 贵州气象, 2017, 41(2): 1-7.
- [5] 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.
- [6] 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. <https://doi.org/10.12677/CCRL.2023.124079>
- [7] 李俊瑶, 罗浩, 唐枫, 黄金全. 基于 C 波段双偏振雷达一次强对流过程观测分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(1): 188-196. <https://doi.org/10.12677/ccrl.2026.151023>