

文章编号: 2096 - 5389 (2022) 04 - 0045 - 06

双偏振雷达在毕节一次强风暴中的特征分析

姚 浪¹, 周永水², 李 刚², 李 力², 吴 珊³

(1. 贵州省毕节市气象局, 贵州 毕节 551700; 2. 贵州省气象台, 贵州 贵阳 550002;
3. 贵州省毕节市七星关区气象局, 贵州 毕节 551700)

摘 要: 利用习水 C 波段双偏振雷达和常规气象观测资料对 2021 年 5 月 9 日发生在毕节的一次冰雹和雷暴大风强对流天气特征进行分析, 结果表明: 上干冷下暖湿层结使得毕节大气层结极不稳定, 午后地面辐合线叠加露点锋抬升触发对流形成有组织性的多单体强风暴。反射率因子表现出典型强风暴型雷暴单体特征, 有利于大冰雹的生成和发展。双偏振雷达参量 Z_{DR} 和 CC 能有效识别降水粒子类型, 其中已识别冰雹区中相关系数 ρ_{HV} 异常低值区能较好地反映出大冰雹或超大冰雹特征。阵风锋的出现以及风暴单体底层的冷池出流是百里杜鹃—黔西一线大风出现的主要原因, 配合径向速度图上低层强气旋式辐合使得地面大风加强, 造成黔西县出现极端破坏性大风天气。

关键词: 双偏振; 强对流; 冰雹; 大风; 毕节

中图分类号: P458.3 **文献标识码:** A

Analysis of Dual P - polarization Radar of a Strong Storm in Bijie

YAO Lang¹, ZHOU Yongshui², LI Gang², LI Li², WU Shan³

(1. Bijie Meteorological Bureau of Guizhou Province, Bijie 551700, China;
2. Guizhou Meteorological Observatory, Guiyang 550002, China;
3. Qixinguan Meteorological Bureau of Bijie City of Guizhou Province, Bijie 551700, China)

Abstract: Xishui C - band dual - polarization radar and conventional meteorological observation data were used to analyze the strong convective weather characteristics of a hail and thunderstorm that occurred in Bijie on May 9, 2021. The results show that the stratification of the upper dry and cold lower warm and wet stratification makes the Bijie atmosphere stratified. Extremely unstable, the ground convergence line superimposed on the dew - point front uplift in the afternoon triggered convection to form an organized multi - cell strong storm. The reflectivity factor shows the characteristics of a typical strong storm - type thunderstorm, which is conducive to the generation and development of large hail. The dual - polarization radar parameters Z_{DR} and CC can effectively identify the types of precipitation particles. The abnormally low correlation coefficient ρ_{HV} in the identified hail area can better reflect the characteristics of large hail or super hail. The emergence of gust fronts and the outflow of cold pools from the bottom of the storm monomer are the main reasons for the appearance of strong winds from Bailidujuan to Qianxi. In conjunction with the strong cyclone convergence of the lower layers on the radial velocity map, the strong ground winds intensify, resulting in Qianxi Extremely destructive windy weather.

Key words: dual polarization; strong convection; hail; gale; Bijie

收稿日期: 2021 - 05 - 31

第一作者简介: 姚浪 (1989—), 男, 工程师, 主要从事气象服务与应用工作, E - mail: 452334633@qq.com。

通讯作者简介: 周永水 (1982—), 男, 高工, 主要从事强对流天气预报研究工作, E - mail: 312404588@qq.com。

资助项目: 国家自然科学基金 (41965010); 乌蒙山东侧雹源地初生雹云形成机制及催化机理研究; 贵州省气象局科研业务项目 (黔气科登 [2021] 11 - 10 号); 毕节分级降雨特征及在城镇预报中的应用分析。

0 引言

毕节位于贵州西北部,平均海拔达 1600 m,境内山地起伏、地形复杂,春季强对流天气频发,风雹灾害成为毕节受灾程度较大的灾害性天气之一。由于地处四川盆地至乌蒙山脉海拔骤升山区,春季地面辐合线影响频繁,常成为贵州强对流风暴发展的源地,对流发展具有回波生成快、发展强度高、降雹频次高、影响范围广、致灾严重等特点。因此准确识别冰雹云,判断可能发生的灾害性天气,及时发布预警信息,开展人工防雹作业对气象防灾减灾有着十分重要的意义。随着雷达升级改造,双偏振雷达投入业务运行,其双偏振参量能更好地识别降水粒子类型^[1]。张鸿发等^[2]在偏振雷达观测冰雹云方面做了大量研究,李春娥等^[3]、李玮等^[4]在偏振参量识别冰雹方面给出参量特征。刘亚男等^[5]在双极化雷达对云中水凝物粒子相态识别作出分析。本文选取 2021 年 5 月 9 日毕节市一次大范围冰雹、大风、短时强降水强对流天气过程,结合观测资料对典型单体进行双偏振雷达特征分析,总结习水雷达在毕节中东部应用效果。

1 资料和天气实况

本文使用遵义习水 C 波段双偏振雷达和贵阳 C 波段多普勒雷达对毕节一次冰雹、大风、短时强降水天气进行雷达产品特征分析。冰雹数据来源于毕节市县气象局观测资料,天气背景分析数据来自 MICAPS 高空、地面观测资料,降水量使用毕节地面观测自动站数据。

2021 年 5 月 9 日 14 时开始,毕节市境内西部地区分散对流天气发展,17 时分散对流单体缓慢东移合并加强为线状强回波影响七星关、赫章和大方,18—23 时组合反射率产品呈多单体对流风暴缓慢东移南压影响毕节中东部地区。过程收集到毕节境内七星关、纳雍、赫章、织金、黔西、大方和金沙共计 7 县域 45 乡镇出现冰雹天气,冰雹直径 20 mm 以上 7 乡镇,最大冰雹直径金沙安洛宋家坪 35 mm;小时雨强 25 mm 以上短时强降水 72 站,最大小时雨强为黔西中建 20 时 100.5 mm。过程共计发生 100 mm 以上大暴雨 12 站,50 mm 以上暴雨 58 站,其中毕节中心城区降水量达 120.8 mm,站点最大降水量 142.3 mm。出现 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上大风 7 站,黔西城区测站最大风速达 $33.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (19 时 09 分)。本次强对流天气过程在毕节中东部出现大范围冰雹、大风、短时强降水和强雷暴天气,具有持续时间

长、影响范围大、对流强度高和受灾损失重等特点。

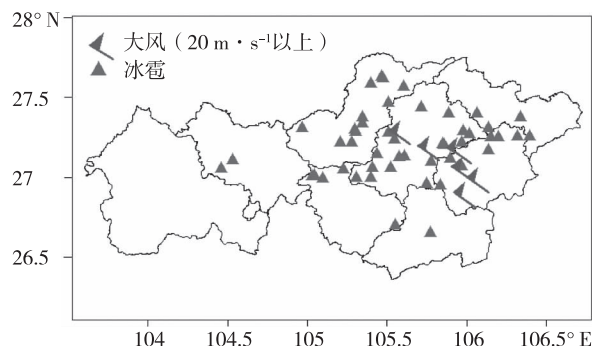


图 1 2021 年 5 月 9 日毕节市冰雹、大风天气实况

Fig. 1 Hail and gale weather in Bijie on May 9, 2021

2 天气背景与环境场特征

强对流天气发生前高空 500 hPa 贵州受 584 线北侧西南气流影响,青藏高原东南侧至云南西北地区为温度冷槽区,低层受暖区偏南气流控制,威宁早晨探空有弱逆温层,午后增温有利于不稳定能量集聚。20 时 500 hPa 西风迅速增大至 $18 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,高空冷平流自西向东影响贵州西北部地区;850 hPa 南风急流建立,地面热低压发展,随着午后升温贵州区域低层高温高湿特征明显。贵阳站 850 hPa 与 500 hPa 温差从 24°C 增大到 31°C ,威宁探空呈喇叭口分布,中高层干区明显。20 时贵阳 CAPE 值达 $1560 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。威宁、贵阳 SI 指数分别为 -3.3°C 、 -5.8°C ,贵州西北部地区上干冷下暖湿层结加剧大气不稳定性,14 时毕节自西向东露点分布为 $6 \sim 18^\circ\text{C}$,露点梯度大。随着 14—17 时边界层辐合线扰动和能量锋区抬升,毕节对流天气发展,0 ~ 3 km 贵州西北部 $16 \sim 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 中等强度的垂直风切变和中高层干侵入利于组织对流的形成,适宜的融化层高度 (WBZ:4300m) 和 -20°C 层高度 (7300m) 为冰雹的形成和增大提供了适宜的环境温场条件。

3 冰雹、大风过程的双偏振雷达产品分析

3.1 大冰雹识别

3.1.1 强风暴特征 习水雷达 0.5° 仰角在 17 时 04 分探测到大方东部有强度超过 50 dBz 回波发展,17—20 时该强回波缓慢东南移动,期间对流单体多次发展—成熟—减弱,风暴路径上多个乡镇出现冰雹、短时强降水。图 3 给出 18 时 03 分发生在毕节市东北部一个强风暴单体的不同仰角反射率因子 (Z_h) 和 0.5° 仰角径向速度 (V)。由图 3a 可见低层

沿入流一侧(南侧)反射率因子具有很大梯度,强回波呈勾状形态,最大回波强度达 64 dBz(高度约 1800 m),在红点标注区域存在弱回波区,2.5°~4.3°仰角上红点区回波强度递增,3.5°仰角上 50 dBz 以上强回波区呈准圆形,反射率因子梯度较低层分布更均匀,弱回波区上空存在反射率因子 >60 dBz 强回波中心,风暴单体自西北向东南出现回波悬垂。1.5°、2.5°、3.5°、4.3°、6.1°仰角上最大反射率因子分别达 66.5 dBz(高度约 3600 m)、69.5 dBz(高度约 5600 m)、69 dBz(高度约 7500 m)、68.5 dBz(高度约 9200 m)和 54.5 dBz(高度约 12 800 m),强回波伸展高度高,且在 1.5°仰角 4500 m 高度上沿雷达径向 60 dBz 强回波区域后侧出现三体散射长钉和旁瓣回波特征。在低层径向速度图上可

见风暴单体南侧入流区存在明显负速度大值区,入流气流显著,叠加低层弱回波区上空有高强回波悬垂,该区域存在强上升气流。对比贵阳多普勒雷达 18 时 06 分(图略)观测到金沙南部冰雹云回波低层呈勾状形态,向南一侧探测到 V 型缺口,垂直方向上向东南方出现悬垂回波,60 dBz 以上强回波伸展到 10 km 以上。强风暴特征与习水雷达观测一致,主要区别在于金沙南部冰雹云单体所处方位和单体移动方向的差异导致习水雷达在 1.5°仰角探测到强回波区后侧的三体散射长钉现象,而贵阳雷达同仰角未探测到三体散射长钉现象。对应观测实况,金沙南部安洛乡宋家坪于 17 时 50 分—18 时 30 分出现最大直径为 35 mm 的大冰雹,该风暴单体组织性好,属于具有强风暴特征的成熟阶段冰雹云。

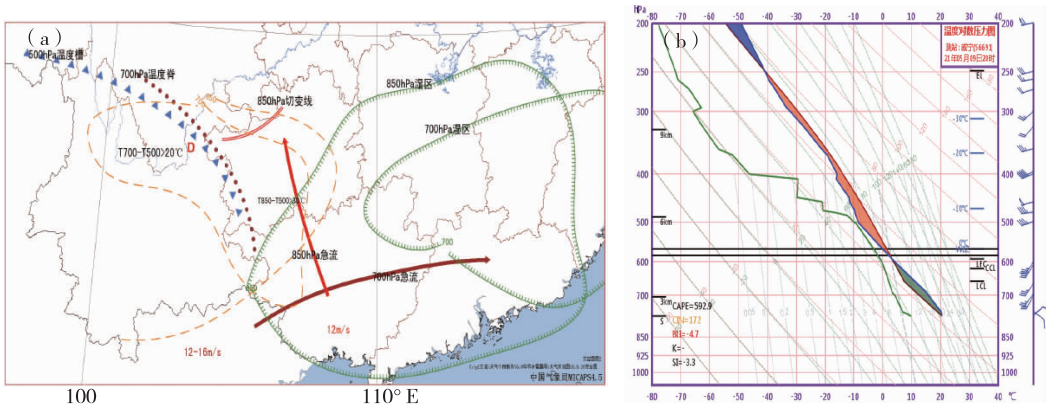


图 2 5 月 9 日天气综合分析(a)和 20 时威宁 T - ln p 图(b)
Fig. 2 Comprehensive analysis of weather on May 9 (a) and 20:00 Weining diagram (b)

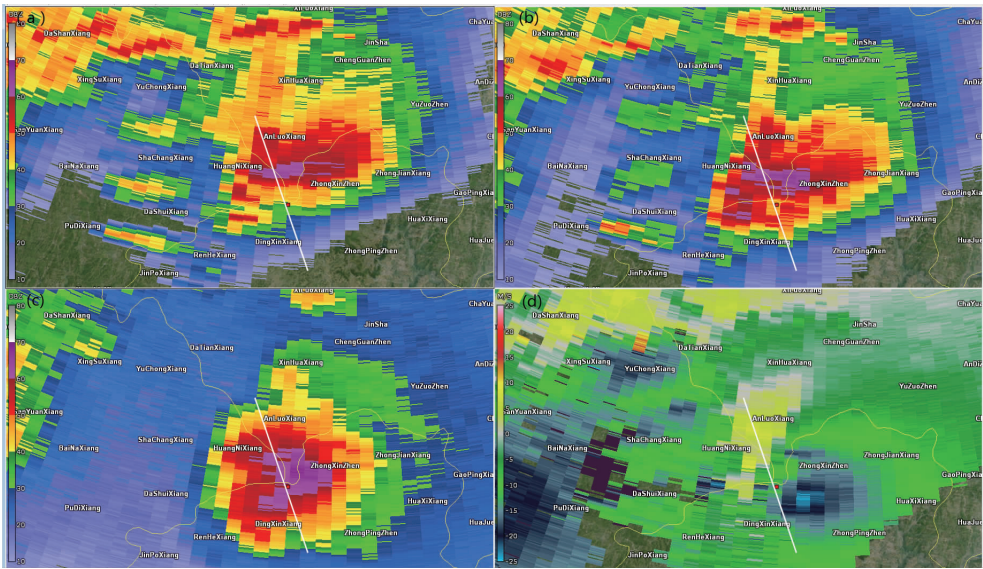


图 3 5 月 9 日 18 时 03 分不同仰角反射率因子和 0.5°径向速度图(a. 0.5°Z_h, b. 1.5°Z_h, c. 3.5°Z_h, d. 0.5°V)
Fig. 3 The reflectivity factor of different elevation angles and the radial velocity of 0.5° at 18:03 on May 9 (a. 0.5°Z_h, b. 1.5°Z_h, c. 3.5°Z_h, d. 0.5°V)

沿单体低层反射率因子梯度大值区的金沙县安洛乡西部—黔西县鼎新乡做反射率因子剖面分析(图 4),发现 18 时 03 分 50 dBz 以上反射率因子已接近近地层,60 dBz 以上强回波自近地层到 10 km 以上出现小区域垂直伸展形态, -20 ℃ 层以上强回波区域大,对流发展极其深厚,利于大冰雹在融化层以上的翻滚和体积增大。垂直形态上可见

低层弱回波区上空对应中高层强回波区,风暴顶位于低层反射率因子大值区上空,在接近 5 km 高度附近出现短时有界弱回波区,表明该区域存在一支强盛上升气流。19 时 09 分,60 dBz 以上强回波区质心逐渐下降,面积迅速减小,50 dBz 以上反射率因子呈准垂直分布,对流单体进入减弱消亡阶段,对应地面观测以降水天气为主。

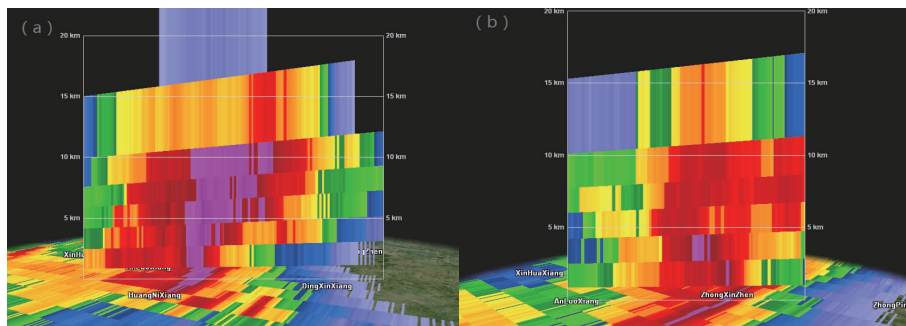


图 4 5 月 9 日反射率因子剖面(a. 18 时 03 分,b. 19 时 09 分)

Fig. 4 Reflectance factor profile on May 9 (a. 18:03,b. 19:09)

3.1.2 双偏振雷达参量特征 双偏振雷达的双线偏振功能可以有效提高探测冰雹的准确率和改进降水估测,同时对冰雹在垂直方向上的翻滚状态和下落融化过程进行判断。考虑到该单体造成实际强对流天气有短时强降水和大冰雹混合,结合观测天气现象和双偏振雷达差分反射率因子 Z_{DR} 、相关系数 CC 和比微差相移 K_{DP} 可以更准确地识别冰雹云特征。0.5° 仰角上反射率因子 $Z_h \geq 55$ dBz 区域 Z_{DR} 值在 -1 ~ 1 dB,CC 上该区域 $\rho_{HV} < 0.9$,其中在金沙安洛南侧至百里杜鹃沙厂东侧探测到中心值为 0.67 的低值区, K_{DP} 显示金沙安洛南侧出现 1 ~ 3.5 ° · km⁻¹ 大值区,其南侧为 K_{DP} 空白区,在 Z_h 南

侧梯度大值区对应 $Z_{DR} > 2$ dB,中心峰值达 5.2 dB,表明安洛南侧可能为分界线,其北部为干冰雹区,南侧出现融化的冰雹和大雨滴混合。从 0.5° 仰角 CC(图 5c)可见在标记处冰雹区南侧出现了较大范围的 ρ_{HV} 低值区,对应低层反射率因子该区域强度低于 50 dBz,表明 CC 产品在低层径向方向上前侧的大冰雹区可能造成后侧 ρ_{HV} 出现异常低值区。2.5° 仰角上反射率因子 $Z_h \geq 50$ dBz 区域对应 Z_{DR} 接近 0 dB(图 5b),该高度强回波区粒子为干冰雹,在南侧入流区百里杜鹃仁和乡东部出现 $Z_{DR} > 1$ dB 大值区,观测高度为 6200 m,处于融化层之上,可以判断为一个 Z_{DR} 柱,指示该区域有强上升气流存在。

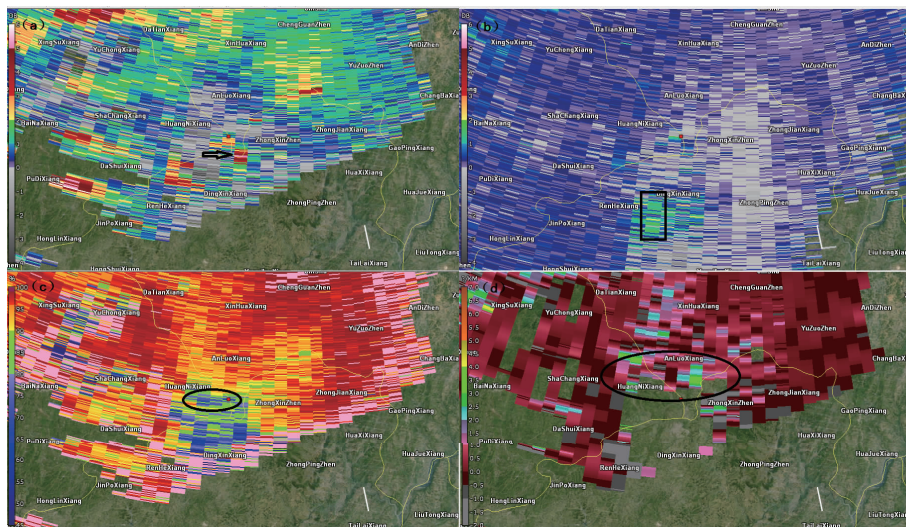


图 5 5 月 9 日 18 时 03 分双偏振参量(a. 0.5° Z_{DR} , b. 2.5° Z_{DR} , c. 0.5° CC, d. 0.5° K_{DP})

Fig. 5 Dual polarization parameters at 18:03 on May 9 (a. 0.5° Z_{DR} , b. 2.5° Z_{DR} , c. 0.5° CC, d. 0.5° K_{DP})

由图 6 的 Z_{DR} 剖面可见低层反射率因子南侧梯度大值区对应 $Z_{DR} > 1$ dB 高度接近 5 km,宽约 10 km,中心峰值接近 5dB(高度 3800 m),该区域降水粒子主要为融化的小冰雹和较大的降水粒子。结合相关系数 CC 剖面可见,对应反射率因子 $Z_h > 60$ dBz 区域 ρ_{HV} 约在 0.85 以下,在 8 km 高度附近出现

1 个 $\rho_{HV} < 0.7$ 的低值区,中心最低值达 0.42,表明 8 km 附近有带尖刺的大冰雹或超大冰雹发展,对应近地层可以找到间断 $\rho_{HV} < 0.7$ 的低值块,可见高空大冰雹在穿越融化层下落到近地层仍能达大冰雹尺寸,对应地面在该区域内收集到 35 mm 大冰雹实况信息。

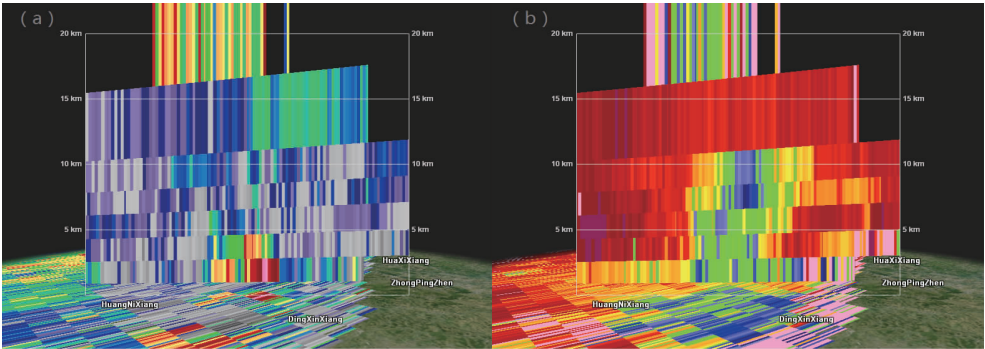


图 6 5 月 9 日 18 时 03 分差分反射率因子 Z_{DR} 剖面(a)、相关系数 CC 剖面(b)

Fig.6 Differential reflectance factor Z_{DR} section (a), correlation coefficient CC section (b) at 18:03 on May 9

3.2 黔西大风回波特征

5 月 9 日 19 时 09 分黔西城区观测到 $33.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 12 级西北大风,大风发生时对流风暴呈多强单体线性排列,黔西位于线状强回波前侧弱反射率因子影响区域,风暴整体向东偏南方向移动。分析大风发生前雷达回波特征发现,18 时 56 分低仰角反射率因子在黔西东北区域有前侧 V 型入流缺口,西北部有强单体缓慢东移,结合地面气压观测百里杜鹃近 1 h 正变压达 3 hPa,风向转为西北,风暴冷池下沉出流气流与南风的辐合在黔西南侧激发出强度为 15 ~ 25 dBz 的阵风锋和弱对流单体

发展,抬高仰角到 2.5° 箭头标记处 Z_h 弱,跟踪 2 个体扫后南侧弱单体逐渐消散。 0.5° 仰角径向速度上仁和乡以西—中坪乡为风暴前侧入流区,雨冲南侧—仁和乡西部为风暴流出正速度区,在黔西县西北侧的仁和乡南部标记处探测到旋转速度为 $26.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的气旋式辐合速度对,抬高仰角到 1.5° 该区域为 $10 \sim 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 负速度区,速度对伸展高度约为 2200 ~ 3500 m,持续时间 1 个体扫。这表明强风暴单体前侧与阵风锋之间风暴底层出流气流配合近地层强气旋式辐合会造成极端破坏性大风天气。

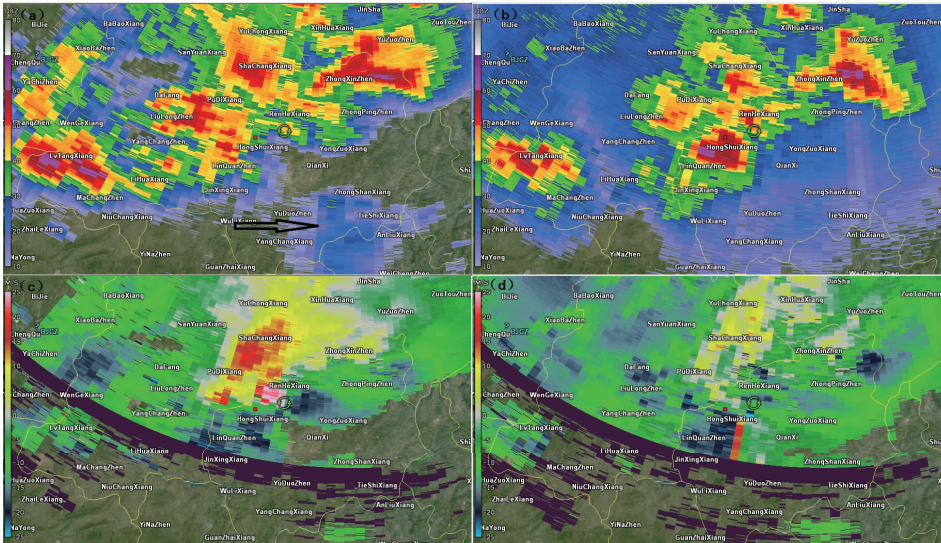


图 7 5 月 9 日 18 时 54 分不同仰角反射率因子 Z_h 和径向速度 V(a. $0.5^\circ Z_h$, b. $2.5^\circ Z_h$, c. $0.5^\circ V$, d. $1.5^\circ V$)

Fig.7 The reflectivity factor Z_h and radial velocity V at different elevation angles at 18:54 on May 9 (a. $0.5^\circ Z_h$, b. $2.5^\circ Z_h$, c. $0.5^\circ V$, d. $1.5^\circ V$)

4 小结

本文分析了 2021 年 5 月 9 日毕节强对流天气发生时的主要环流背景和多普勒雷达与双偏振雷达产品在毕节东部典型强对流单体中的特征,揭示了金沙南部大冰雹和黔西大风的雷达产品特征,认为多普勒雷达和双偏振雷达均能探测出对流单体的强风暴形态,双偏振参量的优势在于能有效识别降水粒子类型以及对大冰雹特征的显示,主要结论如下:

①此次过程 500 hPa 冷平流加强、低层南风急流建立,上干冷下暖湿层结使得毕节大气层结极不稳定,垂直方向上存在中等强度的风切变,随着午后地面辐合线叠加露点锋抬升触发对流天气,形成有组织性的多单体强风暴。

②习水、贵阳雷达均探测到金沙南部低层反射率因子强回波区呈勾状形态,伴有弱回波区,抬高仰角显示中高层回波悬垂、有短时有界弱回波区,60 dBz 以上强回波区伸展到 10 km 以上,强风暴单体特征明显,有利于大冰雹、大风的发生。

③习水雷达双偏振参量显示金沙南部低仰角反射率因子 Z_h 大值区与 Z_{DR} 零值附近对应干冰雹

特征显著,反射率因子强中心南侧梯度大值区 $Z_{DR} > 1$ dB 区域与 $K_{DP} > 1^\circ \cdot \text{km}^{-1}$ 的大值区重叠能反映出水凝物粒子类型特征,近地层 $\rho_{HV} < 0.7$ 的低值区存在能有效识别大冰雹的降落。

④阵风锋的出现以及风暴单体底层冷池出流是百里杜鹃—黔西一线大风出现的主要原因,配合径向速度图上低层强气旋式辐合使得地面大风得以加强,造成黔西县出现极端破坏性大风天气。

参考文献

- [1] 杨通晓,袁招洪.多波段双偏振天气雷达识别降水类型的模拟研究[J].高原气象,2017,36(1):241-255.
- [2] 张鸿发,鄯秀书,王致君,等.偏振雷达观测强对流雹暴云[J].大气科学,2001,25(1):38-48.
- [3] 李春娥,牛乐田,胡伟,等.陕西中东部一次强对流天气过程分析[J].安徽农业科学,2014(36):12998-13000.
- [4] 李玮,李皓,刘伟,等.贵州中部冰雹的双偏振雷达参量特征与识别[J].中低纬山地气象,2019,43(2):53-57.
- [5] 刘亚男,肖辉,姚振东,等.X波段双极化雷达对云中水凝物粒子的相态识别[C]//中国气象学会.中国气象学会年会论文集 SI 气象雷达探测技术研究与应用,2014.
- [6] 夏文梅,王晓君,孙康远,等.V型缺口在C波段多普勒雷达中的应用研究[J].气象,2016,42(1):69-75.
- [3] 刘国忠,黄嘉宏,曾小团,等.引发广西两次严重山洪地质灾害的暴雨过程分析[J].气象,2013,39(11):1402-1412.
- [4] 苏爱芳,张宁,黄勇.“8.13”黄淮北部暴雨云团的组织结构和触发机制[J].气象,2016,42(8):905-919.
- [5] 陈永仁,李跃清.“12.7.22”四川暴雨的 MCS 特征及对短时强降雨的影响[J].气象,2013,39(7):848-860.
- [6] 马晓华,马青,刘佳慧敏,等.陕西榆林一次大暴雨成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(2):40-47.
- [7] 冉仙果,胡萍,杨群,等.贵州铜仁一次罕见暴雪过程分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):1-8.
- [8] 曾妮,方鹏,李启芬,等.安顺市大暴雨的时空分布特征与物理量分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):66-70.
- [9] 张凌云,刘蕾,苏小玲,等.桂北后汛期一次持续性暴雨天气过程分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):25-31.

(上接第 44 页)