

文章编号:2096 - 5389(2022)05 - 0045 - 06

一次极端特大暴雨天气过程 C 波段双偏振雷达资料分析

李霞¹, 杨熠¹, 武正敏¹, 孟庆怡², 张云秋¹

(1. 贵州省遵义市气象局, 贵州 遵义 563000; 2. 贵州省黔西南布依族苗族自治州气象局, 贵州 兴义 562400)

摘要:为探究 C 波段双偏振雷达资料在暴雨监测预警中的应用, 该文利用遵义市 C 波段双偏振雷达资料及常规观测资料对 2020 年 6 月 12 日凌晨遵义市碧峰镇发生的 1 次极端特大暴雨天气过程进行分析, 结果表明: ①本次碧峰极端暴雨天气过程产生于高温高湿的背景下, 属于低涡切变型暖区性质降水, 500 hPa 高原槽后干冷空气的叠加促进了强降水天气过程的爆发。②过程由深厚的低质心强降水对流单体引发, 存在中尺度辐合区且与强降雨持续时间对应。③1.5°仰角 Z_{DR} 、 K_{DP} 值变化趋势与地面分钟雨量一致, 有跃增现象, 且超前 15 ~ 20 min。④低层 Z_{DR} 大值区与反射率因子大值区重合, 反映了强降水过程的主要落区。中尺度辐合造成强的上升气流使得低层的 Z_{DR} 和 CC 值显著减小, 同时其附近部分大雨滴被抬升至 4 km 高度形成 Z_{DR} 大值中心。

关键词:双偏振; 中尺度辐合; Z_{DR} ; CC

中图分类号:P412.25 **文献标识码:**A

Analysis of C - Band Dual - Polarization Radar Data in an Extreme Rainstorm Process

LI Xia¹, YANG Yi¹, WU Zhengmin¹, MENG Qingyi², ZHANG Yunqiu¹

(1. Zunyi Meteorological Bureau of Guizhou Province, Zunyi 563000, China;

2. Meteorological Bureau of Qianxinan Prefecture, Guizhou Province, Xingyi 562400, China)

Abstract: In order to explore the application of C - band dual - polarization radar data in rainstorm monitoring and early warning, this paper uses C - band dual - polarization radar data and conventional observation data in Zunyi City to investigate an extremely heavy rainstorm process that occurred in Bifeng Town, Zunyi City on the early morning of June 12, 2020. The results show that: ①The extreme rainstorm weather process in Bifeng occurred under the background of high temperature and humidity, which belongs to the low vortex shear type warm zone precipitation. The superposition of dry and cold air behind the 500 hPa plateau trough promotes the outbreak of the heavy rainfall process. ②The process is initiated by a deep low - centroid heavy rainfall convective cell, with a mesoscale convergence zone corresponding to the duration of heavy rainfall. ③The change trend of the 1.5° elevation angle Z_{DR} and K_{DP} is consistent with the minute rainfall on the ground, and there is a jump phenomenon, and it is 15 to 20 minutes ahead. ④The low - level Z_{DR} high - value area coincides with the reflectivity factor high - value area, reflecting the main falling area of the heavy precipitation process. The strong updraft caused by the mesoscale convergence causes the Z_{DR} and CC values in the lower layer to decrease significantly, and at the same time, some large raindrops in the vicinity are lifted to a height of 4 km to form the center of the Z_{DR} maximum value.

Key words: dual polarization; mesoscale convergence; Z_{DR} ; CC

收稿日期: 2021 - 11 - 19

第一作者简介: 李霞(1994—), 女, 助工, 主要从事中短期天气预报工作, E-mail: 359383703@qq.com。

资助项目: 遵义市科技局科技支撑项目(遵市科合支撑 GY[2021]63 号); 基于雷达的遵义市暴雨监测预警平台建设。

0 引言

随着双偏振雷达在业务上的投入使用,气象研究者开始利用双偏振雷达资料对天气过程开展更深入的探索,目前在粒子相态识别^[1-6]和降雨量估测^[7-11]等方面已取得大量的研究成果。近几年国内气象研究者开始将双偏振雷达资料应用于暴雨、冰雹等天气过程的个例分析中,并取得较大进展。刘黎平等^[12]研究发现,雨滴越大, Z_{DR} 越大,降雨强度越大, K_{DP} 越大,且液态水的相关系数一般大于 0.95。 Z_{DR} 是识别效果最好的偏振参量, K_{DP} 可以用来辅助分析不同相态粒子的含量,CC 则可用于辅助判断地物和降水回波,在实际应用中将各种偏振参量与基数据结合起来分析效果最佳^[13]。强降水超级单体低层相关系数小值区可以指示上升气流区, Z_{DR} 弧存在于下沉气流区,在中层 Z_{DR} 环和 CC 环围绕上升气流, Z_{DR} 柱和 K_{DP} 柱位于主上升气流附近^[14]。在短时强降水期间,低层偏振参量会出现增大现象且超前于地面雨强的变化,对判断强降水有很好的预示作用^[15]。林文等^[16]发现 Z_{DR} 柱和 K_{DP} 柱是不同强度对流云体内普遍存在的动力特征,CC 谷出现在超级单体和普通降雹单体近低层, Z_{DR} 弧出现在超级单体成熟阶段。以上研究结果表明双偏振雷达资料在灾害性天气中的应用性较强,具有较高的研究价值。

遵义市 CD 型多普勒天气雷达在 2018 年 4—12 月升级为双偏振雷达并投入使用,为局地灾害性天气的研究提供了有力的科技支撑,但目前本地对双偏振雷达资料的利用较少。2020 年暴雨天气频发,多地山洪暴发,洪涝灾害严重,6 月贵州省境内发生罕见的持续性强降雨天气。唐红忠等^[17]对此次持续性天气成因进行了分析,认为高纬地区高空槽引导冷空气南下,副高位置偏西偏北是导致此次连续性暴雨的重要原因之一。本文将利用遵义市 C 波段双偏振雷达资料及常规观测资料对 2020 年 6 月 12 日凌晨遵义市正安县碧峰镇发生的 1 次极端特大暴雨天气过程进行分析,探究新资料在此次极端暴雨天气过程中的表现特征,以期为此类极端暴雨天气过程提供提前预警的参考依据。

1 资料说明

2020 年 6 月 11 日 08 时—12 日 08 时(北京时,下同)遵义市 CD 型双偏振多普勒天气雷达观测资料、地面自动站逐分钟雨量数据以及探空资料。

遵义双偏振雷达位于遵义市中心城区,海拔高

度 1060 m。2018 年 12 月—2019 年 12 月为遵义 C 波段双偏振雷达试用阶段。试用结果表明:该雷达地物抑制能力以及稳定性等性能较好,数据质量可靠,可用于本地业务研究使用。由于雷达周围受大娄山脉阻挡,为保证分析结果的客观性和严谨性,本文选择 1.5° 仰角及以上的雷达观测资料作分析。

2 天气实况及环流形势

2.1 天气实况

6 月 12 日凌晨正安县碧峰镇发生了 1 次极端性强降雨,12 h 累计雨量 266.4 mm,小时雨强达 163.3 mm/h,小时雨强突破贵州省有气象记录以来的历史极值。通过对碧峰站分钟雨量数据的分析发现(图 1),12 日凌晨 02 时 10 分左右正安碧峰开始出现明显降水,02 时 49 分碧峰站累积雨量达 52 mm,23 min 后超过 100 mm,03 时 36 分超过 200 mm,最强降水集中在 3 时 10—40 分时间段内,半小时雨量达 115.3 mm,累积雨量变化曲线呈指数增长趋势,具有突发性强,降雨强度大,强降雨时间集中且短暂的特点。

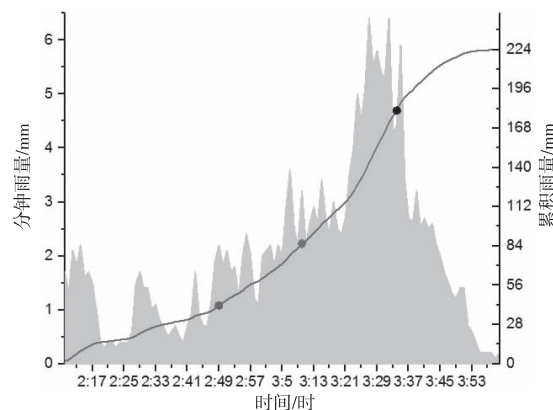


图 1 碧峰站分钟雨量(图中蓝色、红色、棕色圆点分别表示暴雨、大暴雨、特大暴雨)

Fig. 1 Minute rainfall of Bifeng Station (The blue, red and brown dots in the picture represent torrential rain, heavy rain, and extra heavy rain)

2.2 环流形势

本次碧峰特大暴雨是 1 次低涡切变型的暖区性降水过程。暴雨发生前,受地面热低压及低层西南暖湿气流影响,遵义市处于高温高湿状态。850 hPa 重庆中部有明显低涡系统,其南侧切变影响遵义市北部区域,与地面辐合线对应,700 hPa 川东存在 1 条西南—东北向切变线,而中层 500 hPa 川西北有高原槽活动,遵义市位于槽前正涡度平流区,同时

槽后有明显的冷平流存在,200 hPa 上南亚高压控制整个贵州省。低层辐合、高层辐散的高低空配置为本次暴雨的产生提供了有利的动力条件,随着夜间 500 hPa 高原槽的靠近,槽后西北气流带动冷空气叠加于低层暖湿气流之上,促使大气层结更加不稳定,进而促进了本次强降水天气过程的爆发。

3 双偏振雷达回波特征

3.1 回波演变特征

从碧峰分钟雨量数据的变化趋势发现降水主要分为 2 个阶段。第 1 阶段集中在 02—03 时,降水强度相对较弱。第 2 阶段在 03 时—03 时 40 分,该阶段降水强度大,时间集中,为本次碧峰特大暴雨

天气过程主要强降水阶段。从回波变化趋势看,本次极端性强降水由 2 个局地生成的强降水对流单体引发,第 2 阶段对流单体在 03 时左右生成,在原地维持到 03 时 40 分开始减弱,从生成发展到消亡不到 1 h,突发性和局地性强。03 时 13 分为回波发展最强阶段,回波中心强度达 51.5 dBz(图 2b)。从 03 时 13 分不同仰角回波特征来看,随仰角增加,回波中心略偏向西北侧。沿 03 时 13 分 4.3°仰角回波中心作剖面(图 2j),发现此时回波顶高在 15 km 左右,45 dBz 强度的回波伸展到 8 km 左右,而 51 dBz 的强回波中心位于低层 4 km 左右,为发展深厚的低质心高效率降水回波。

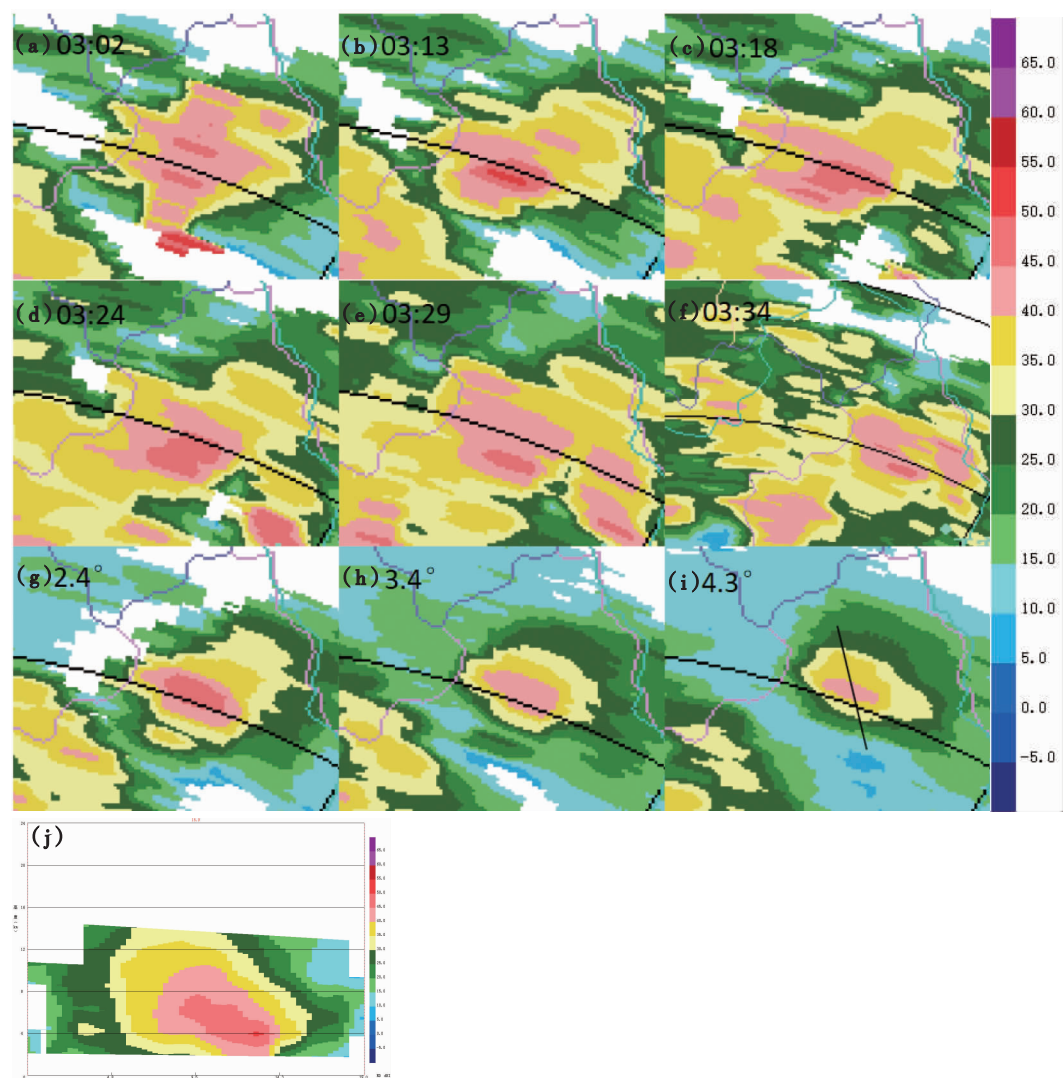


图 2 1.5°仰角水平反射率因子演变(a~f)、03 时 13 分不同仰角反射率因子(g~i)和水平反射率因子剖面(j)(直线为剖面位置)

Fig.2 Evolution of horizontal reflectivity factor at 1.5° elevation(a~f),horizontal reflectivity factor of different elevation(g~i) and horizontal reflectivity factor vertical section at 03:13(j)(The straight line is the cross-sectional position)

3.2 中尺度辐合

吴雪亚等^[18]在对同时期 6 月 29 日铜仁 1 次特大暴雨天气过程分析时发现中有中尺度辐合区存在且与强降水持续时间对应。在本次极端强降水天气过程中,从 1.5°仰角径向速度图上来看,强降水发生前碧峰附近主要吹西南风,03 时 13 分碧峰西北处出现逆风造成明显的中尺度辐合。03 时 24 分(图 3c),负速度增强到 $-5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,正速度约 14 m

$\cdot \text{s}^{-1}$,正速度值远大于负速度。后正速度区速度模糊越来越明显,说明当天凌晨南风出现快速增强的变化趋势,而中尺度辐合区持续到 03 时 40 后减弱消失,地面分钟雨量也在 03 时 40 分后开始逐渐减弱,辐合区持续时间与强降雨时间对应。由此可见低层逆风造成的中尺度辐合上升是触发本次极端强降水天气的关键所在。

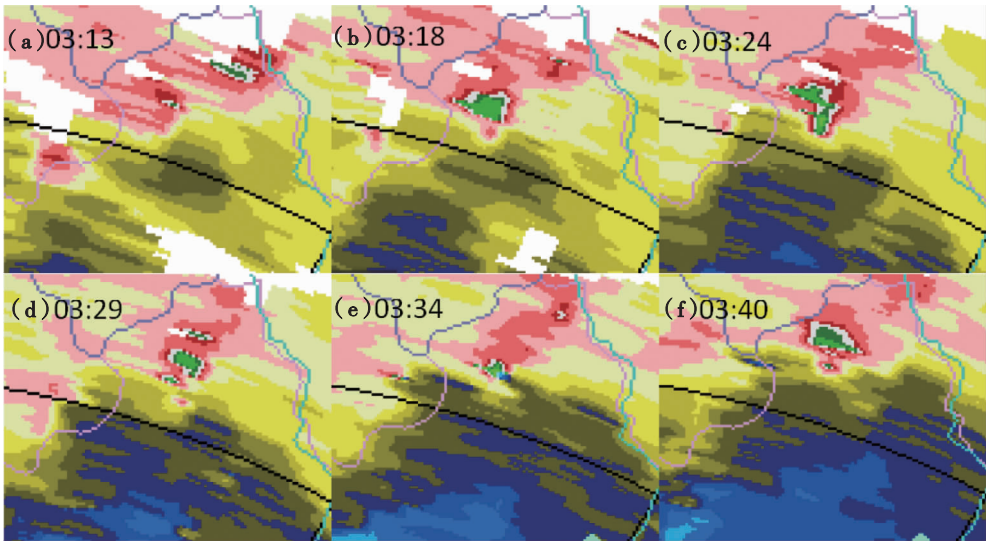


图 3 1.5°仰角径向速度演变
Fig.3 Evolution of Vr at 1.5° elevation

3.3 偏振量与地面分钟雨量的变化

本次强降水过程中碧峰附近 1.5°仰角 Z_{DR} 、 K_{DP} 值出现突然增大的现象,且超前于地面分钟雨量变化,对强降水的发生有提前指示意义,该结论与前人^[16]研究结论一致。将雷达体扫时间段内的分钟雨量累加,得到观测时间内的雨量数据,与碧峰附近 1.5°仰角上 Z_{DR} 、 K_{DP} 值的变化进行对比(图 4)。02 时 46 分 Z_{DR} 值开始增大,11 min 后出现跃增现象,03 时 13 分达到峰值 3.78 dB 后逐渐减小。 K_{DP}

值在 02 时 57 分开始增大,03 时 18 分从 $2.88^\circ/\text{km}$ 跃增到 $6^\circ/\text{km}$ 。从对应时间段分钟雨量数据的变化来看,03 时 08 分雨量开始明显增加,03 时 29 分达到峰值 27.3 mm(5 min 累积雨量),后降水缓慢减弱。整体来看,本次过程中 1.5°仰角 Z_{DR} 值与 K_{DP} 值的变化与雨量变化趋势基本一致,且较雨量变化提前 20 min 左右,峰值提前 15 min 左右, Z_{DR} 值表现得最明显,可用于提前判断强降水,在短临预报预警业务有较强的参考意义。

3.4 Z_{DR} 与 CC 特征

3.4.1 Z_{DR} 特征 研究表明,降水粒子在气流中存在筛选机制,大而重的粒子常常会集中出现在下沉气流区,表现为 1 条细长而浅薄的带状 Z_{DR} 回波^[19,20]。因此 Z_{DR} 回波的分布对判断强降雨主要落区和强度有一定的指示意义。03 时 18 分,1.5°仰角碧峰处 Z_{DR} 值增加到 3 dB 以上,呈块状分布,与低层反射率因子大值区重合(图 5b),说明该处是本次强降雨过程的主要降雨落区。自西南向东北方向对 03 时 18 分 1.5°仰角的 Z_{DR} 作剖面发现在垂直结构上 Z_{DR} 存在 2 个大值中心,为方便描述将南侧 Z_{DR} 大值中心称为 A,另一个为 B。从剖面图上看(图

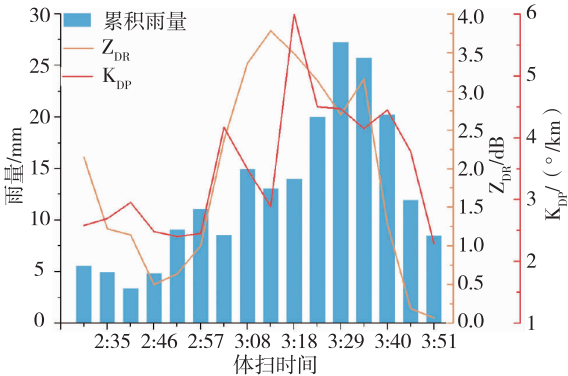


图 4 1.5°仰角 Z_{DR} 、 K_{DP} 与碧峰分钟雨量随时间的变化
Fig.4 The change of 1.5°elevation angle Z_{DR} , K_{DP} and Bifeng minute rainfall with time

5g),垂直结构上 2 处大值中心值均在 3 dB 上下,但 B 处大值中心高度在 4 km 左右,而 A 处接地,说明 A 处已有大量厚重的大雨滴在降落。对于空中出现 Z_{DR} 大值区的现象,潘佳文等^[14]认为水成物在上升气流中增大到一定程度时会在云中停留形成深厚的 Z_{DR} 大值区,位于主上升气流附近。而在本次过程中,中尺度辐合区造成强的上升气流,将其附近的部分大雨滴卷入上升气流中与之分离,而后随着辐合上升气流进一步增强,大雨滴的重力小于向上的浮力被气流抬到空中,在 B 处形成悬空的大值中心。

除此以外,碧峰北侧低层 Z_{DR} 表现为明显的负值,且随着风速增强, Z_{DR} 不断减小,03 时 24 分(图 5c)负值中心减小到 -3 dB,目前未发现相关研究解释说明。该处 Z_{DR} 出现负值应与气流辐合上升有关。近地层的树叶、杂草、昆虫等碎屑被吸入到上升气流中,与上升气流中的降水粒子混合在一起,导致气流中粒子形态具有巨大的不规则性, Z_{DR} 因此呈现出明显负值。随着上升气流的增强,吸入的碎屑增多,气流中粒子的不规则性会进一步增强, Z_{DR} 值随之减小。

3.4.2 CC 特征 相关系数(CC)对粒子相态的识别也有很好的指示作用,可以用于判别粒子的均匀一致性,业务中常常将两者结合使用。有研究认为在强对流天气过程中常常会出现 CC 低值区,而 CC 值较周围减小主要原因是近地层昆虫、树叶等碎片被带入对流云团上升气流中,碎片形状不规则使得粒子均匀一致性差,导致 CC 值明显减小^[19]。除此以外,也有学者认为强上升气流会将雨滴带入高层,造成低层水成物缺乏导致返回的信噪低,使得 CC 值减小^[21]。

结合 Z_{DR} 分析结果,进一步对本次过程中 CC 特征作分析。03 时 02 分碧峰附近 1.5°仰角 CC 值都在 0.98 以上(图 5d),6 min 后 3.4.1 所提到的 Z_{DR} 负值区内 CC 值出现减小现象,随后继续减小,至 03 时 24 分显著减小到 0.85 以下(图 5f),呈现出 1 个开口朝北的缺口。对该缺口作剖面分析其垂直结构发现;6 km 以下 CC 值在 0.7~0.9 之间,大部分区域小于 0.85;6 km 以上 CC 值迅速增大;10~12 km 的 CC 值普遍为 0.99。说明均匀的水成物粒子主要集中在高层,而中低层粒子性质嘈杂,均一性差,该分析结果与 3.4.1 吻合。

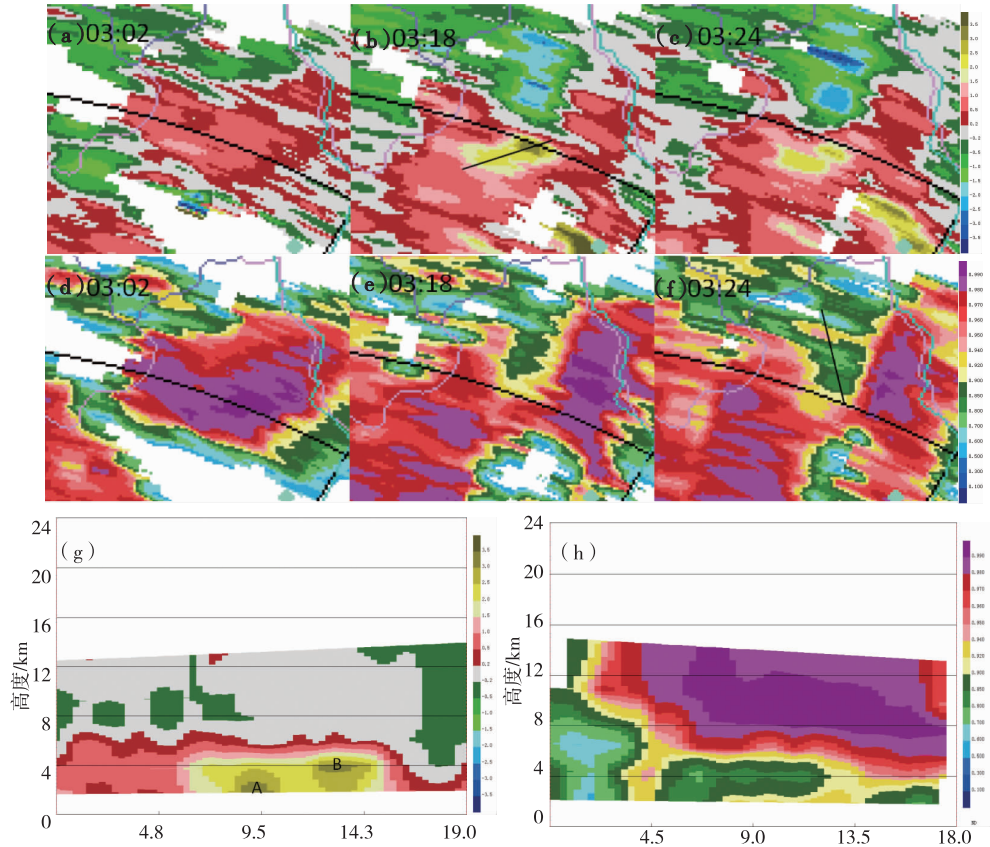


图 5 1.5°仰角差分反射率因子、1.5°仰角相关系数和 03 时 18 分 Z_{DR} (g)、CC(h)垂直剖面(直线为剖面位置)

Fig. 5 Z_{DR} at 0.5° elevation, CC at 1.5° elevation and 03:18 Z_{DR} (g)、CC(h) vertical section (The straight line is the cross-sectional position)

综上所述,双偏振参量在本次极端强降水天气过程中具有明显的表现特征。1. 5° 仰角 Z_{DR} 、 K_{DP} 值出现跃增现象,变化趋势超前于地面分钟雨量变化 15 ~ 20 min,对强降水的发生有提前指示意义。低层 Z_{DR} 大值区与反射率因子大值区重合,呈块状分布,是强降水过程的主要落区所在。由于中尺度辐合造成强的上升气流,使得其附近低层的 Z_{DR} 和 CC 值显著减小,同时部分大雨滴被抬升至 4 km 高度,在此形成 Z_{DR} 大值中心。

4 结论与讨论

①本次碧峰极端性暴雨天气过程具有突发性强、降雨强度大、强降雨时间集中且短暂的特点。强降水产生于高温高湿的环境背景下,属于低涡切变型暖区性质降水,低层辐合、高层辐散的高低空配置为强降水提供了有利的动力条件,500 hPa 高原槽后干冷空气的叠加促进了强降水天气过程的爆发。

②从回波演变来看,本次碧峰极端强降水天气过程由发展深厚的低质心强降水对流单体引发,对流单体从生成发展到消亡用时不到 1 h,具有局地性强、降水效率高、维持时间短的特点。1. 5° 经向速度图上碧峰附近有中尺度辐合区存在且与强降雨持续时间对应,中尺度辐合上升是触发本次极端强降水天气过程的关键所在。

③1. 5° 仰角 Z_{DR} 、 K_{DP} 值变化趋势与地面分钟雨量变化基本一致,在强降水过程中出现跃增现象,且超前于地面分钟雨量变化 15 ~ 20 min,对强降水的发生有提前指示意义。

④低层 Z_{DR} 大值区与反射率因子大值区重合,呈块状分布,是强降水过程的主要落区所在。中尺度辐合造成强的上升气流使得低层的 Z_{DR} 和 CC 值显著减小,同时其附近部分大雨滴被抬升至 4 km 高度形成 Z_{DR} 大值中心。

参考文献

- [1] BRINGI V N, SELIGA T A, AYDIN K. Hail detection with a differential reflectivity radar[J]. Science, 1984, 225 (4667): 1145 - 1147.
- [2] BRINGI V N, KNUPP K, DETWILER A, et al. Evolution of a Floridathunderstorm during the convection and precipitation/electrification experiment: the case of 9 August 1991 [J]. Mon Wea Rev, 1997, 125 (9): 2131 - 2160.
- [3] 刘黎平,徐宝莹,王致君,等. 用 C 波段双线偏振雷达研究冰雹云[J]. 大气科学, 1992, 16 (3): 370 - 376.
- [4] 刘黎平,钱勇甫,王致君. 用双线偏振雷达研究云内粒子相态及尺度的空间分布[J]. 气象学报, 1996, 54 (5): 590 - 599.
- [5] 曹俊武,刘黎平,葛润生. 模糊逻辑法在双线偏振雷达识别降水粒子相态中的研究[J]. 大气科学, 2005, 29 (5): 827 - 836.
- [6] 黄勇,吴林林,冯妍,等. 两次对流云合并过程的双线偏振雷达观测研究[J]. 高原气象, 2015, 34 (5): 1474 - 1485.
- [7] ZHANG G, VIVEKANANDAU J, BRANDES E. A method for estimating rain rate and drop size distribution from polarimetric radar measurements[J]. IEEE Tans Geosci Remote Sens, 2001, 39 (39): 830 - 841.
- [8] BRANDES E A, ZHANG G F, VIVEKANANDAN J. An evaluation of a drop distribution - based polarimetric radar rainfall estimator[J]. J Appl Meteor, 2003, 42 (5): 652 - 660.
- [9] 李宗飞,肖辉,姚振东,等. X 波段双偏振雷达反演雨滴谱方法研究[J]. 气候与环境研究, 2015, 20 (3): 285 - 295.
- [10] 王健林,刘黎平,曹俊武. 双线偏振多普勒雷达估算降水方法的比较研究[J]. 气象, 2005, 31 (8): 25 - 30, 41.
- [11] 汪舵,刘黎平,吴翀. 基于相态识别的 S 波段双线偏振雷达最优化定量降水估测方法研究[J]. 气象, 2017, 43 (9): 1041 - 1051.
- [12] 刘黎平,胡志群,吴翀. 双偏振雷达和相控阵天气雷达技术的发展和应用[J]. 气象科技进展, 2016, 6 (3): 28 - 33.
- [13] 郑钟尧,傅超,牟凤军,等. 广州两次强降雨的双偏振雷达回波特征分析[J]. 科学技术创新, 2020 (29): 139 - 141.
- [14] 潘佳文,蒋璐璐,魏鸣,等. 一次强降水超级单体的双偏振雷达观测分析[J]. 气象学报, 2020, 78 (1): 86 - 100.
- [15] 赖晨,支树林,李婕,等. SC 型双偏振雷达在江南南部一次对流性天气过程中的应用分析[J]. 气象, 2020, 46 (11): 1427 - 1439.
- [16] 林文,张深寿,罗昌荣,等. 不同强度对流云系 S 波段双偏振雷达观测分析[J]. 气象, 2020, 46 (1): 63 - 72.
- [17] 唐红忠,赵杰,陈杨,等. 2020 年 6 月贵州连续性暴雨成因分析[J]. 中低纬山地气象, 2022, 46 (1): 73 - 78.
- [18] 吴雪亚,张李娟,吴明,等. 铜仁市 2020 年 6 月 29 日特大暴雨雷达资料分析[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45 (4): 44 - 49.
- [19] KUMJIAN M R, RYZHKOV A V. Polarimetric signatures in supercell thunderstorm - s[J]. J Appl Meteor Climatol, 2008, 47 (7): 1940 - 1961.
- [20] DAWSON II D T, MANSELL E R, JUNG Y, et al. Low - level Z_{DR} signatures in supercell forward flanks: The role of size sorting and melting of hail[J]. J Atmos Sci, 2014, 71 (1): 276 - 299.
- [21] RYZHKOV A V, SCHUUR T J, BURGESS D W, et al. The joint polarization experiment - t: polarimetric rainfall measurements and hydrometeor classification[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2005, 86 (6): 809 - 824.