

# C波段天气雷达在一次区域性暴雨过程中的回波演变及预报应用分析

杨 旸

大理白族自治州气象局, 云南 大理

收稿日期: 2026年4月23日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月28日

## 摘 要

针对区域性暴雨过程短时临近预报中强降水落区识别不准、演变把握不及时等问题, 选取一次典型区域性暴雨天气过程, 基于C波段天气雷达资料, 对降水回波的生成、发展、合并、增强等的进行系统分析, 并结合环境场背景探讨其在暴雨预报业务中的指示意义。结果表明, C波段天气雷达能够较清晰揭示强降水回波的结构演变、移动路径与阶段性突变特征, 对识别中小尺度对流系统发展趋势、判定强降水中心演变方向等方面具有重要应用价值。研究进一步总结区域性暴雨过程中雷达回波演变的业务判识要点, 可为提升暴雨精细化监测预警和预报服务能力提供参考。

## 关键词

C波段天气雷达, 区域性暴雨, 回波演变, 短时临近预报

# Analysis on the Echo Evolution and Forecast Application of C-Band Weather Radar in a Regional Rainstorm

Yang Yang

Dali Bai Autonomous Prefecture Meteorological Bureau, Dali Yunnan

Received: April 23, 2026; accepted: May 22, 2026; published: May 28, 2026

## Abstract

In view of the problems such as inaccurate identification of heavy rainfall falling areas and untimely grasp of evolution in the short-term approaching forecast of regional rainstorm process, a typical

regional rainstorm weather process was selected, and based on the C-band weather radar data, the generation, development, combination and enhancement of precipitation echoes were systematically analyzed, and its indication significance in rainstorm forecast was discussed in combination with the background of environmental field. The results indicate that the C-band weather radar can clearly reveal the structural evolution, movement path, and stage mutation characteristics of heavy precipitation echoes, which has important application value in identifying the development trend of small and medium-sized convective systems and determining the direction of heavy precipitation center evolution. The study further summarizes the operational identification points of radar echo evolution in the process of regional rainstorm, which can provide reference for improving the precision monitoring, early warning and forecasting service capacity of rainstorm.

## Keywords

C-Band Weather Radar, Regional Rainstorm, Echo Evolution, Short Term Proximity Forecast

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. 过程概况与资料选取

选取一次发生在暖湿气流持续输送背景下的区域性暴雨过程作为分析个例,重点围绕强降水发生时段内C波段天气雷达回波的时空演变特征及其预报指示意义展开讨论。该类区域性暴雨通常具有影响范围较广、对流与层状云降水相互叠加等特点,不同于单体局地短时暴雨,也有别于完全均匀稳定的大片层云降水,其业务预报难点主要在于强降水中心的阶段性加强、回波带的合并重组以及落区的短时调整[1]。

资料方面,主要采用C波段天气雷达基本反射率产品,结合逐时降水实况,对暴雨发生前后回波形态、强回波核心演变、回波带组织方式及移动传播特征进行综合分析[2]。之所以选取C波段雷达资料,一方面在业务运行中其覆盖范围较广、时间分辨率较高;另一方面,相较于单纯依赖地面降水资料,雷达资料在识别中小尺度对流新生、强回波并合等方面具有更明显的提前指示作用。

## 2. 回波演变特征及其预报指示

从此次区域性暴雨过程看,C波段天气雷达回波演变总体呈现出“分散生成-带状组织-局地并合增强-列车式影响-逐步减弱东移或南压”的阶段性特征。降水初期,雷达图上先表现为若干分散对流单体或块状回波在低层辐合和水汽条件较好区域内发展,此时单体尺度虽不大,但局地回波发展速度较快,提示强降水具有突发性和局地先起特征[3]。

进入暴雨最强阶段后,雷达回波通常不再表现为简单平移,而是伴随明显的训练效应和回波再生现象,即强回波单体沿相近路径连续发展并影响同一区域,使累积雨量迅速增大。此类演变对区域性暴雨落区预报尤为关键:一方面,强回波核心的短时维持与反复叠加,往往比单次过境式回波更容易造成灾害性降水;另一方面,回波带前沿的细微摆动、后部新生单体的不断接入以及带状结构内部的强弱调整,都会直接影响暴雨中心的最终定位[4]。

## 3. 强回波演变的关键特征分析

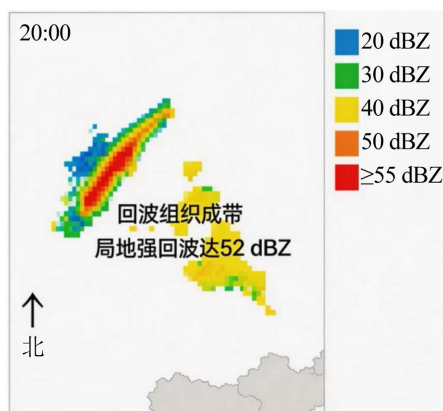
结合前述过程概况与资料选取结果看,此次区域性暴雨并非由单一孤立回波短时爆发造成,而是在

大尺度水汽输送持续、中低层辐合维持的背景下，由多个中小尺度对流单体不断生成、合并、嵌套并沿近似一致路径移动所形成的连续性强降水过程。C 波段天气雷达资料显示，降水初始阶段回波呈离散块状分布，雷达反射率以 30~40 dBZ 为主，局部发展到 45 dBZ 以上；随后在暴雨发生前 1~2 h [5]。多个分散回波在区域南部至西南部一带迅速组织成带，带状主体长度逐步增大，强回波中心由点状发展为串列状分布，并在主雨区上游存在持续再生现象。

从回波结构变化来看，暴雨增强阶段最突出的特征是强回波中心的稳定维持与局地嵌套增强。根据逐时雷达监测，在 20:00 前后，区域内主回波带范围已较前期明显扩大，40 dBZ 以上回波面积快速扩展，45 dBZ 以上强回波核由零散分布转为沿西南 - 东北向带状排列，局地最强反射率达到 52~58 dBZ；到 21:00~23:00，主雨区上空强回波核心基本维持，且其后侧不断有新生单体嵌入，使得高反射率区持续叠置于同一降水区域，降水效率显著提高[6]。该阶段强降水并不一定对应最规整的回波形态，相反，常表现为带状主回波内部存在多个尺度较小但发展旺盛的嵌套核心，这些核心在宏观上维持回波带整体稳定，在微观上推动局地雨强快速抬升。

此次过程另一个值得强调的特点，是强回波移动方向与降水强中心分布并非完全一致，说明在区域性暴雨预报中不能简单以“回波整体东移”替代“暴雨落区转移”的判断。雷达连续图像表明[7]，主回波带总体呈偏东或东北方向缓慢推进，但最强降水中心在一段时间内并未同步快速外移，而是在主带中段附近维持，局地甚至出现短时间摆动和停滞。这说明控制暴雨落区的不仅是回波主体平流移动，还包括后部再生单体的补充位置、低层辐合线的相对稳定以及带状回波内部的传播效应。本次个例同样表明，当后向新生回波不断沿既有路径向主雨区输送，且主带内部强中心维持时间超过 2~3 h 时，地面累计降水将显著增大，预报上若仅依据回波顶点位置外推，很容易造成暴雨中心报偏、报快或报弱。

为更直观展示此次过程的回波阶段性变化，可将关键时次雷达回波演变概括如图 1。



**Figure 1.** Schematic diagram of C-band weather radar combined reflectivity evolution during a regional rainstorm  
**图 1.** 一次区域性暴雨过程中 C 波段天气雷达组合反射率演变示意图

如图所示 18:00 回波以分散块状为主，最大反射率约 42 dBZ；20:00 出现明显带状组织，局地强回波达 52 dBZ；22:00 主回波带内部嵌套多个强中心，最大反射率达 58 dBZ，为暴雨最强阶段；次日 00:00 后主带东移但后部仍有新生回波补充，降水持续。从降水与回波的对应关系看，暴雨最强时段与强回波嵌套维持时段高度一致。整理主雨区逐时资料可见，19:00 前地面降水虽已有所发展，但仍以阶段性增强为主；20:00 后随着 40 dBZ 以上回波面积扩大和 45 dBZ 以上强中心稳定出现，小时雨量明显上升；21:00~23:00 是整个过程累计雨量增长最快的阶段，这一阶段不仅最大反射率维持在 55 dBZ 以上，而且强回波核心移动速度减慢、回波带后部补给增强，表现出明显的训练效应。到次日 00:00 以后，尽管局地

最大反射率仍可维持在 45~50 dBZ，但强回波带的连续性开始减弱，主雨区小时雨强相应下降，说明判断暴雨是否持续，关键并不只是看最大 dBZ 是否还高，而要综合考虑高值区面积、核心稳定性及后向补充强弱。为了更清晰反映这一关系，表 1 列出主雨区关键时段降水与雷达回波对应特征。

**Table 1.** Corresponding table of precipitation status and C-band radar echo characteristics during key periods in the main rainy area

**表 1.** 主雨区关键时段降水实况与 C 波段雷达回波特征对应表

时间	最大小时雨量 (单位: mm)	最大反射率 (单位: dBZ)	40 dBZ 以上回波范围特征	回波演变特征
18:00~19:00	12.60	42.00	范围较小, 分散分布	单体初生, 局地发展
19:00~20:00	21.80	49.00	面积增大, 开始连片	分散回波向带状过渡
20:00~21:00	34.70	54.00	沿西南-东北向明显扩展	强回波带形成并加强
21:00~22:00	46.30	57.00	中心区稳定, 局部嵌套增强	主雨区进入暴雨最强阶段
22:00~23:00	52.40	58.00	强中心维持, 面积最大	列车效应明显, 后部持续补充
23:00~00:00	38.90	55.00	范围略收缩但仍连续	强降水持续, 中心缓慢摆动
00:00~01:00	24.10	49.00	连续性减弱	主带东移, 后向补充减弱

由表 1 可以看出, 小时雨量峰值出现在 22:00~23:00, 对应最大反射率 58 dBZ, 同时也是强回波中心最稳定、后向再生最显著的时段。这说明在区域性暴雨过程中, 最大反射率虽是重要指标, 但其业务意义必须放在回波演变背景下理解: 若高值中心仅短时出现而缺乏组织性支撑, 则大多表现为短历时强对流。这一点对于 C 波段雷达短时临近预报具有直接指导意义。

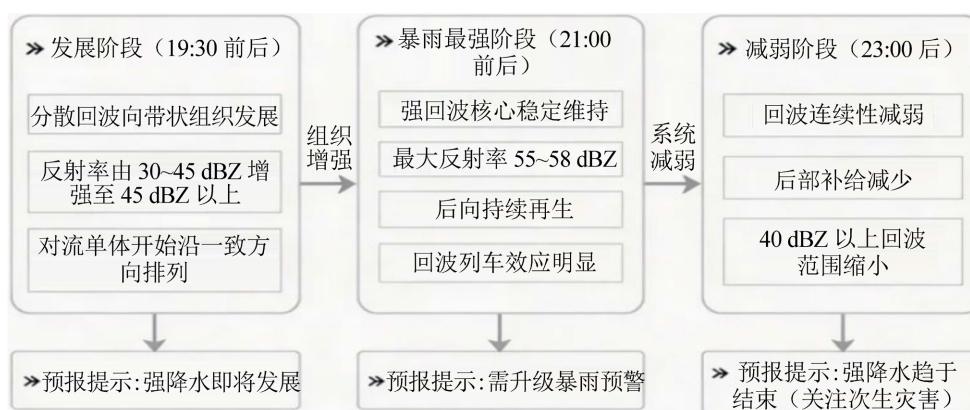
#### 4. C 波段天气雷达在短时临近预报中的应用分析

基于本次区域性暴雨过程的回波演变特征, C 波段天气雷达在短时临近预报中的首要价值体现在对强降水起报时机的提前识别。对于此类区域性暴雨, 业务预报中最容易出现的问题不是“完全看不到降水”, 而是对强降水何时由一般雨强跃升为暴雨缺乏足够敏感性。此次个例显示, 在地面显著降水增强前约 1 h, 雷达回波已经给出较清晰信号: 一是原本分散的对流单体开始沿一致方向组织成带, 初期反射率多在 30~40 dBZ, 随后迅速提升至 40~45 dBZ, 表明中尺度触发条件由局地性向区域性演变; 二是 45 dBZ 以上强回波核由短时出现转为连续维持, 局地最大反射率由 48 dBZ 升至 52~55 dBZ [8]。说明对流发展并非瞬时脉动, 而是进入相对稳定增强阶段; 三是主回波带后侧有新生单体不断生成并向前并入, 新生回波强度多在 35~45 dBZ 并逐步增强至 50 dBZ 以上, 提示后续雨强不会因前沿回波过境而迅速结束。这些信号共同表明, C 波段天气雷达不仅可以发现“已有强回波”, 更能在地面雨强真正爆发之前识别“暴雨即将进入持续增强阶段”的关键转折。

在暴雨落区订正方面, C 波段天气雷达的优势主要体现在能够动态刻画强降水中心的阶段性偏移和局地维持特征。常规主观外推往往倾向于根据回波带整体移动方向判断未来雨区位置, 但本次过程表明, 区域性暴雨中心并不总是与回波整体同步推进。特别是在强回波带内部存在嵌套核心、后向补给显著且低层辐合相对固定的条件下, 地面强降水中心常表现出“慢移、摆动、重复压区”的特点。雷达资料显示, 21:00~23:00 期间主回波带整体移动速度约为 15~20 km·h<sup>-1</sup>, 但强回波核心移动速度不足 10 km·h<sup>-1</sup>, 局地甚至出现短时停滞(约 30~40 min), 对应小时雨量持续维持在 40 mm 以上[9]。若仍机械采用平均移速外推, 则容易将暴雨中心预报得过快、过远, 进而低估原主雨区累计雨量。C 波段雷达连续观测可通过强回波中心的稳定性、带状结构的延续性和后向新生单体的生成频率, 对落区变化进行滚动订正。

从预警服务的实用层面看，C 波段天气雷达对区域性暴雨的应用价值，还体现在能够为预警升级、影响时段判断和重点区域服务提供更直接依据。对于一次区域性暴雨过程，预报工作并不仅仅是判断会不会下暴雨，还必须回答最强时段在哪里，持续多久，哪些区域风险最高三个更具服务指向性的问题。此次案例表明，当雷达监测到 40 dBZ 以上回波范围持续扩大(面积由约 800 km<sup>2</sup> 增至 2000 km<sup>2</sup> 以上)、45~50 dBZ 强核心在同一区域稳定维持超过 1 h、且后向不断生成新回波并沿主带方向输送(生成频次约 2~3 个·h<sup>-1</sup>)时，就意味着短时间内强降水仍将维持甚至进一步加重，预警信息应及时由一般强降水提示升级为暴雨重点防范提示[10]。而当高反射率区虽仍存在，但连续性减弱(40 dBZ 以上回波面积下降至 1000 km<sup>2</sup> 以下)、后部补给中断、回波带出现明显断裂时，则说明最强降水阶段可能接近结束，预报服务重点应转向次生灾害风险的延续提示。换言之，雷达资料在区域性暴雨中的应用，并非只服务于技术判断本身，更服务于预警“何时发、发多强、面向哪里”的实际决策(见图 2)。

为了突出雷达业务应用的流程性，可将本次个例的临近预报思路概括为：先利用 C 波段雷达识别分散回波是否向带状组织转化，再重点监测强回波核心是否稳定维持及其后部是否存在持续补给，最后结合逐时降水实况对暴雨中心落区进行滚动修正。这一思路看似简单，但其核心在于“动态连续判识”，而不是依赖单幅图像下结论。区域性暴雨预报难点正在于降水系统具有明显演变性，任何静态判断都容易失真。通过本次案例可以看出，C 波段天气雷达在暴雨监测中的高时效优势，使预报员能够对回波增强、并合、嵌套、训练效应及减弱等关键环节实施连续跟踪，从而把预报结论建立在演变事实上，而不是建立在经验推测上。



**Figure 2.** Operational application diagram of C-band weather radar in the regional rainstorm approaching forecast  
**图 2.** C 波段天气雷达在本次区域性暴雨临近预报中的业务应用示意图

## 5. 结语

本文基于一次区域性暴雨过程，分析了 C 波段天气雷达回波的生成、组织、并合、维持与减弱演变特征，并探讨了其在短时临近预报中的业务应用价值。结果表明，C 波段天气雷达能够较好揭示强降水系统的阶段性变化，对识别暴雨发展趋势、修正强降水落区和提升预警时效具有重要作用。实际业务中，应更加重视回波演变的连续判识，强化对组织化发展、后向再生和强中心维持等关键信号的综合应用，以进一步提高区域性暴雨预报服务的针对性与有效性。

## 参考文献

- [1] 宿海良, 陈艳, 吴洪, 等. 多普勒雷达回波在一次大暴雨中的应用分析[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 64-68.
- [2] 张杰, 贾汉奎, 徐学义, 等. 一次区域性大暴雨过程分析[C]//中国气象学会. 第 27 届中国气象学会年会灾害天

- 气研究与预报分会场论文集. 泰安: 泰安市气象局, 2010: 2032-2037.
- [3] 孔文甲, 何明琼, 刘天琦, 等. 基于雷达回波区域嵌套的致洪暴雨预警方法研究[J]. 暴雨灾害, 2025, 44(6): 744-754.
- [4] 莫祖斯, 刘永亮, 等. 广西 S/X 波段天气雷达组网拼图分析及其在一次台风过程中的应用[J]. 热带气象学报, 2025, 41(4): 519-530.
- [5] 陈娟, 尹洁, 何文, 等. 风廓线雷达资料在江西梅雨锋暴雨天气过程中的分析应用[J]. 气象与减灾研究, 2016, 39(3): 206-215.
- [6] 张家国, 王珏, 黄治勇, 等. 几类区域性暴雨雷达回波模型[J]. 气象, 2011, 37(3): 285-290.
- [7] 孙鸿娉, 温汉光, 晋立军, 等. 新一代天气雷达与闪电定位仪资料在一次区域性暴雨过程中的分析应用[J]. 山西气象, 2010(2): 15-19.
- [8] 季云昌. 雷达回波综合分析图在预报中的应用[J]. 气象, 1983(6): 17-18.
- [9] 代淑媚, 任玉欢, 卫甜, 等. 一次强对流天气过程预报失误分析[J]. 科技与创新, 2014(10): 136-138.
- [10] 沈龙, 吴飞乐. 两次暴雨的多普勒雷达回波特征的对比分析[C]//中国气象学会. 第 28 届中国气象学会年会——S1 第四届气象综合探测技术研讨会. 宿州: 宿州市气象局, 2011: 77-80.