

丽江暴雨的多普勒雷达回波特征研究

秦香婷*, 张崇莉#, 雷富川

云南省丽江市气象局, 云南 丽江

收稿日期: 2023年4月27日; 录用日期: 2023年5月24日; 发布日期: 2023年5月31日

摘要

本文精选了6年来出现在丽江市4个气候站的暴雨个例, 利用多普勒雷达资料的强度场和径向速度资料对暴雨个例进行了详细的分析, 结果表明: 丽江市的暴雨主要出现在汛期(5到10月)。丽江暴雨雷达回波在强度场上前期多以积层混合降水回波为主, 后期减弱为层状云降水回波。大多数宁蒗站和华坪站暴雨中, 回波强度值都在45 dBz以下, 这在以后的暴雨临近预报中需要特别注意。在速度场上的主要特征是: 零径向速度线走向呈现出直线型、“S”型、反“S”型、折角等特点, 其中零径向速度线有折角的出现次数较多, 同时还具有逆风区、辐合线、速度模糊、低空急流等特征, 但以逆风区、辐合线为主。

关键词

暴雨, 多普勒雷达, 特征

Study on Doppler Radar Echo Characteristics of Lijiang Rainstorm

Xiangting Qin*, Chongli Zhang#, Fuchuan Lei

Lijiang Meteorological Office of Yunan Province, Lijiang Yunan

Received: Apr. 27th, 2023; accepted: May 24th, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

In this paper, the rainstorm cases which occurred in 4 climate stations in Lijiang City in the past 6 years are selected. The intensity field and radial velocity data of Doppler radar data are used to analyze the rainstorm cases in detail. The results show that the rainstorm mainly occurs in the flood season (May to October) in Lijiang City. The radar echo of Lijiang rainstorm in the intensity field was mainly composed of stratified mixed precipitation echo in the early stage and weakened

*第一作者。

#通讯作者。

to stratified cloud precipitation echo in the late stage. The echo intensity values of most Ninglang stations and Huaping stations are below 45 dBz in the rainstorm, which requires special attention in future rainstorm forecast. The main characteristics of the zero radial velocity line in the velocity field are as follows: the trend of the zero radial velocity line presents the characteristics of straight line, "S" shape, reverse "S" shape, and broken Angle, among which the zero radial velocity line has broken Angle more times, and also has the characteristics of upwind zone, convergence line, velocity blur, low-level jet, etc., but the upwind zone and convergence line are the main ones.

Keywords

Rainstorm, Doppler radar, Characteristics

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

新一代天气雷达网自建立以来,为了更好的使用雷达资料,很多气象工作者对雷达资料的应用做了大量研究工作[1]-[8],取得了非常多的应用成果。丽江市地处滇西北青藏高原和云贵高原的交界处,地形地貌复杂多样,是印度洋水汽向我国内陆输送的重要通道。特殊的地理位置和复杂的地形地貌,使全市20,600平方公里的地域内,集中了热带、亚热带、温带、寒温带等多种气候类型,带来了生物资源的多样性,但也造成了气象灾害的复杂性。特别是在水汽丰富的汛期,对流活跃,中小尺度强对流天气频发,每年都造成巨大的经济损失和人员的伤亡,严重制约着以农业为基础的地方经济发展。暴雨也是丽江汛期主要的气象事件之一,受特殊地形地貌影响丽江市辖区内单点性暴雨较多,强度较强,例如2006年7月21日丽江站一小时降水量48.5 mm,以及2007年7月30日宁蒭站一小时降水量51.8 mm,这些突发性暴雨给当地的社会、经济生活造成一定的影响。本文通过分析这些暴雨过程的micaps资料及多普勒天气雷达资料,欲找出丽江暴雨在常规天气图上及在雷达回波图上的特征。用多普勒天气雷达每6分钟一次的雷达观测资料,来补充常规micaps资料的不足,或者两者相互配合使用,提高短时临近预报的准确率。

2. 资料

2.1. 雷达回波资料

丽江新一代天气雷达安装在玉龙县太安乡境内的香炉山(100°2'33"E, 26°43'40"N)上,天线高度是3175 m,探测半径是150 km,距离圈间距为50 km,采用VPPI(体积扫描)扫描模式,体扫资料包括强度(Z)、平均径向速度(V)及谱宽(W)三种基本数据信息。本文采用的雷达回波资料为丽江天气雷达站观测资料,若无特殊说明,所用资料均为雷达最佳观测仰角1.5°、最佳探测半径150 km的PPI资料。

2.2. 暴雨实况资料

本文所用的暴雨资料是丽江市辖区内的丽江、永胜、宁蒭、华坪四个观测站记录的暴雨资料。2006~2011年两年间共记录暴雨43站次,其中资料完整的有35站次,本文主要对这35次暴雨个例进行详细的分析。

3. 丽江暴雨天气的时空分布特征研究

2006~2011 年丽江、永胜、宁蒗、华坪四个气候观测站共记录暴雨有 43 站次，从时间分布(见表 1) 看均发生在汛期(5~10 月)，汛期暴雨出现频率以 7 月最高共出现了 14 站次，其次是 9 月的 11 站次，6 月出现了 8 站次，8 月出现了 5 站次，10 月出现了 3 站次，5 月出现了 2 站次。从空间分布(见表 2)看，华坪出现频率最多共计 19 次，其次是宁蒗出现的 11 次，然后是永胜出现 7 次，最少的是丽江只出现了 6 次。

Table 1. Time distribution characteristics of heavy rain in Lijiang

表 1. 丽江暴雨的时间分布特征

	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	合计
2006 年	1	2	2	2		2	9
2007 年	1		8	1	3		13
2008 年			1	1	1		3
2009 年		3		1	3		7
2010 年		1	2		2	1	6
2011 年		2	1		2		5
合计	2	8	14	5	11	3	43

Table 2. Spatial distribution characteristics of rainstorm in Lijiang

表 2. 丽江暴雨的空间分布特征

	丽江	永胜	华坪	宁蒗	合计
2006 年	3		4	2	9
2007 年	2	3	4	4	13
2008 年			2	1	3
2009 年		3	3	1	7
2010 年	1	1	2	2	6
2011 年			4	1	5
合计	6	7	19	11	43

4. 暴雨过程的多普勒天气雷达回波综述

4.1. 强度场特征综述

对 35 个暴雨日暴雨发生时主要降水时段的多普勒天气雷达强度回波资料进行统计分析可知：降水时的回波类型以积层混合降水回波为主，其次是积状云降水回波，但在这类过程中还伴随着冰雹天气。分析这些暴雨过程的雷达强度场回波资料，由纯粹的层状云降水回波引起的暴雨过程很少，但是大部分降水回波的后期都会减弱为层状云降水回波。

4.1.1. 积状云降水回波

由于积状云中对流强烈，因此积状云降水也称对流性降水，对流性降水包括阵雨、雷雨、冰雹和暴雨等，本文主要对暴雨进行分析。在 PPI 上，积状云降水回波通常由单一的或者许多分散的回波单体组

成，回波单体结构紧密，边界清晰，菱角分明，回波强度高，其强中心的反射率因子值通常在 50 dBz 以上，反射率因子空间梯度较大，持续时间变化大；在 VCS 垂直剖面图上，回波单体呈柱状结构，其高度通常在 6~7 km 以上，但随地区、季节和天气系统不同差异很大。在丽江出现的由积状云降水回波引起的暴雨过程较少，强回波对过程降雨量的贡献比较大，后期减弱为稳定的层状云降水回波，这类降水过程有一个特点就是持续时间短，并伴随着冰雹天气。图 1 为 2006 年 7 月 21 日暴雨过程的雷达回波强度图，强中心达到 60.9 dBz，VCS 垂直剖面高度达到 10 km，强中心高度达到 6 km，属于积状云降水回波。

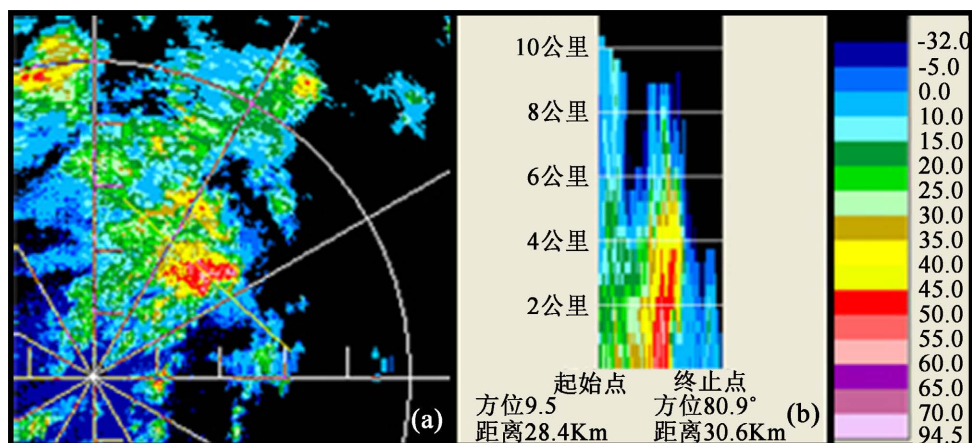


Figure 1. 15:59 hours on 21 July 2006. (a) Intensity diagram (2.4°), (b) VCS vertical profile
图 1. 2006 年 7 月 21 日 15 时 59 分。(a) 强度图(2.4°), (b) VCS 垂直剖面图

4.1.2. 层状云降水回波

层状云降水回波比较均匀，在 PPI 上表现为比较稳定而面积较大的降水回波，反射率因子空间梯度较小，反射率因子值一般大于 15 dBz 而小于 35 dBz，有时在高仰角会出现“零度层亮带”；在 VCS 垂直剖面图上，层状云降水回波的特征是：结构较均匀，顶部有时虽有起伏，但相对于对流云降水来说，顶部比较平整，不出现明显的泡体，垂直厚度不大，一般在 5~6 km 左右，但随地区、季节等的不同而变化，另外，回波的水平尺度比垂直尺度大的多。大部分降水过程在减弱阶段的回波类型都是层状云降水回波。

4.1.3. 积层混合降水回波

积层混合性降水回波常常表现为积状云和层状云降水回波相混合，在 PPI 上的特征表现为在比较大的范围内，回波边缘呈现支离破碎，没有明显的边界，回波中夹有一个个结实的团块，似一团团棉花絮，强度通常可达 40 dBz 或以上，在高仰角有时也会出现“零度层亮带”，不过这种亮带大部分具有不均匀的结构；VCS 垂直剖面图的回波特征是：柱状回波高低起伏，犹如破土而出的雨后春笋，高峰部分常达积状云的回波高度，而较低的部分，一般只有层状云降水回波所具有的高度。丽江辖区内大部分暴雨过程的雷达回波强度图都具有层积混合降水回波的特征，其中分为单点性的积层混合降水回波(图 2)及区域性的积层混合降水回波(图 3)。

4.2. 速度场特征综述

对 35 个暴雨日的雷达回波径向速度场资料进行分析，有 18 次过程中的零速度线比较明显，其余均不明显，零径向速度线的走向呈现出直线型、“S”型、反“S”型、折角等特点，其中零径向速度线有折角的出现次数较多；同时速度场上还具有逆风区、辐合线、速度模糊、低空急流等特征(见表 3)，但又

以逆风区及辐合线为主。

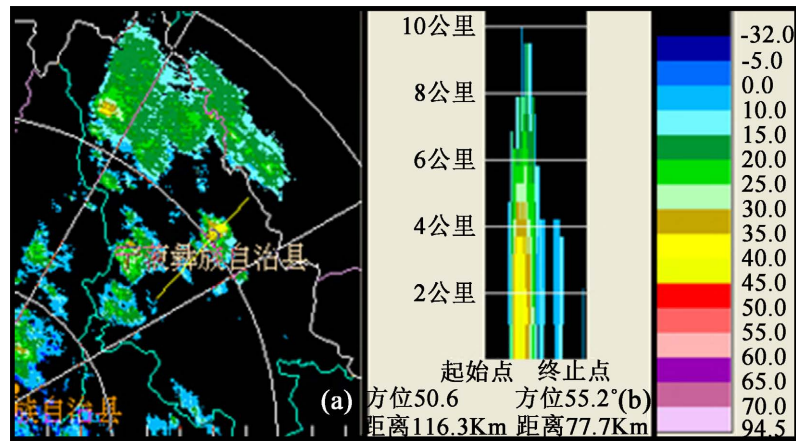


Figure 2. 18:36 hours on 30 July 2007. (a) Intensity map, (b) VCS
图 2. 2007 年 7 月 30 日 18 时 36 分。(a) 强度图, (b) VCS

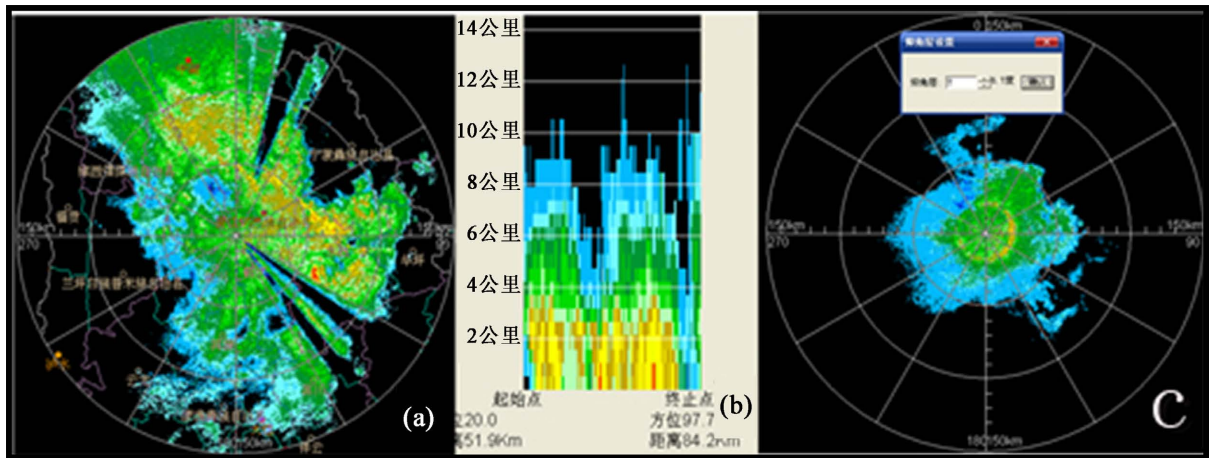


Figure 3. 22:30 hours on 19 July 2007. (a) Strength diagram (1.5°), (b) VCS, (c) Strength diagram (6.7°)
图 3. 2007 年 7 月 19 日 22 时 30 分。(a) 强度图(1.5°), (b) VCS, (c) 强度图(6.7°)

Table 3. Velocity field characteristics in rainstorm process

表 3. 暴雨过程中的速度场特征

中小尺度特征	出现次数	零径向速度线走向特征	出现次数
逆风区	12	直线型	5
辐合线	12	“S”型	4
低空急流	2	反“S”型	1
无特征	3	折角	8
合计	29	合计	18

4.2.1. 零径向速度线分析

当实际风速为零或雷达波束与实际风向垂直时，径向速度为零，称为零速度，径向速度相同的点构成等速度线；零速度线即由沿雷达径向速度为零的点组成。图 4(a)中的零径向速度线为直线，走向为西

北-东南向,即实际风向从 RDA 处到屏幕显示区边缘对应高度都是均匀的西南风,即在雷达探测区域内为西南气流控制;图 4(b)中零速度线走向呈“S”型,即实际风向随高度增加顺时针旋转,表示在雷达有效探测范围内为暖平流;图 4(c)中零速度线在 40 km 以内的走向呈反“S”型,即在低空实际风向随高度增加逆时针旋转,在低空有冷平流存在,在 40 km 以外,风向随着高度的增加顺时针旋转,在高空有暖平流存在;图 4(d)中的零速度线有明显折角,反映了水平风层中有不同方向的气流存在,即存在风切变。

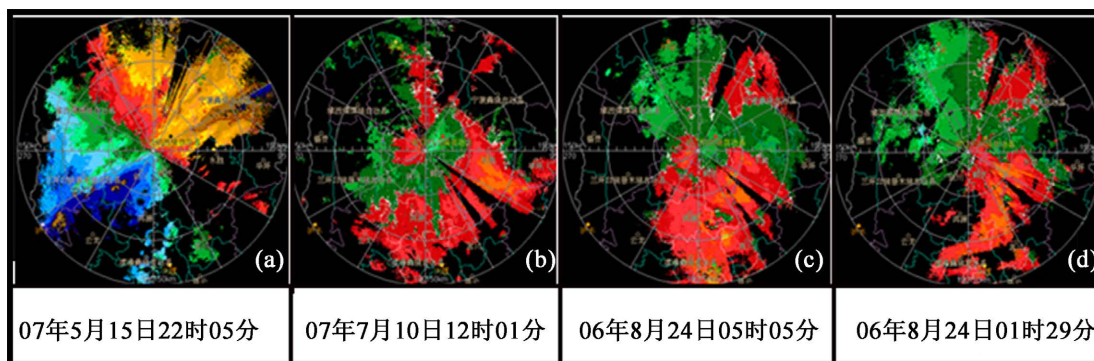


Figure 4. Trend of zero velocity line. (a) Linear, (b) “S” type, (c) Reverse “S” type, (d) Creased
图 4. 零速度线走向。(a) 直线型, (b) “S” 型, (c) 反“S” 型, (d) 有折角

4.2.2. 速度场特征分析

1) 辐合线

零径向速度线走向与距离圈平行,可能会出现远离中心(正)和朝向中心(负)沿径向排列的情形,若负速度中心在外,正速度中心在内即为辐合线。在 2006 年 6 月 23 日华坪站、宁蒗站的暴雨中,辐合线(图 5(a))是速度场上的主要特征。

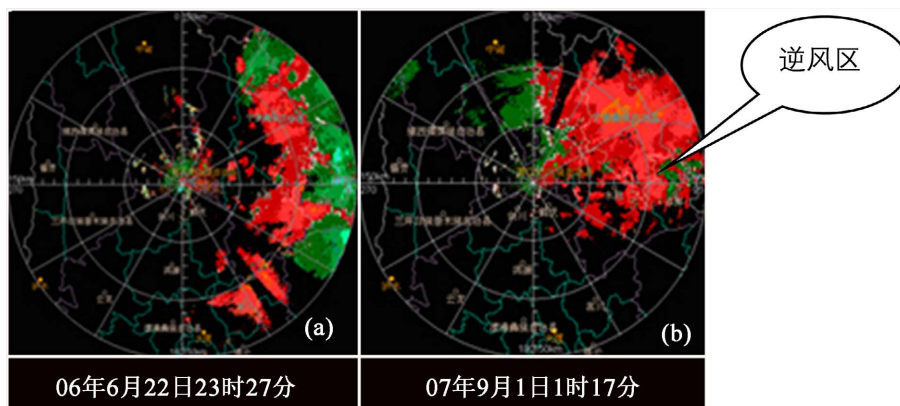


Figure 5. Velocity field characteristics. (a) Convergence line, (b) Upwind area
图 5. 速度场特征。(a) 辐合线, (b) 逆风区

2) 逆风区

早在 1990 年张沛源等[9]在多普勒雷达速度图的应用中就提出了逆风区的概念,其定义为:在低仰角 PPI 没有速度模糊的速度图上,凡在同一方向的速度区中,出现的另一种方向的速度区为逆风区,且风区不能跨越测站原点。张沛源等还认为在逆风区附近存在有明显的水平风向的垂直切变,反映了强对流内的上升气流引起的水平动量交换过程,这种动量交换影响了水平辐散辐合的强弱和分布,造成了中尺

度垂直环流的形成,是一个很好的暴雨判据。蔡晓云等[10]在识别逆风区时又加入了“无论是正区包围负区,还是负区包围正区,正负区之间要有零线分割,这块被包围的速度区称为逆风区,逆风区成熟时区中颜色应由浅到深、风速从小到大按色彩层次逐渐过渡”,从而完善了逆风区的定义。2007年9月1日华坪暴雨过程中呈现出了逆风区(图5(b))特征。

5. 小结

1) 丽江暴雨的时空分布特征:丽江市2006~2011年玉龙、永胜、华坪、宁蒗四个气候站共记录暴雨43站次,主要集中在5~10月份,从时间分布看7月份出现概率最大,从空间分布看华坪站出现频率最多。

2) 丽江暴雨的多普勒雷达回波特征:丽江暴雨雷达回波在强度场上前期多以积层混合降水回波为主,后期减弱为层状云降水回波。大多数宁蒗站和华坪站暴雨中,回波强度值都在45 dBz以下,这在以后的暴雨临近预报中需要特别注意。在速度场上的主要特征是:零径向速度线走向呈现出直线型、“S”型、反“S”型、折角等特点,其中零径向速度线有折角的出现次数较多,同时还具有逆风区、辐合线、速度模糊、低空急流等特征,但以逆风区、辐合线为主。

基金项目

云南省气象局预报员项目(YB201213)资助。

参考文献

- [1] 徐芬, 王博妮, 夏文梅, 等. 2014. 长江中下游地区一次春季暴雨过程的多普勒雷达速度特征分析与研究[J]. 高原气象, 33(2): 548-556.
- [2] 张桂莲, 杭月荷, 付丽娟, 等. “列车效应”诱发的一次河套地区致灾暴雨成因[J]. 高原气象, 2020, 39(4): 788-795.
- [3] 刁秀广, 孟宪贵, 万明波, 等. 源于飚线前期和强降雨带后期的弓形回波雷达产品特征及预警[J]. 高原气象, 2015, 34(5): 1486-1494.
- [4] 吴举秀, 周青, 杨传凤, 等. 2015年7月14日阵风锋及锋后大风多普勒天气雷达产品特征分析[J]. 高原气象, 2017, 36(4): 1082-1090.
- [5] 俞小鼎. 强对流天气的多普勒天气雷达探测和预警[J]. 气象科技进展, 2011, 1(3): 31-41.
- [6] 李彦霖, 张述文, 田程, 等. 基于雷达回波的贵阳地区对流性降水特征分析[J]. 气象, 2018, 44(6): 752-758.
- [7] 张崇莉, 李淑华, 赖云华, 等. 滇西北高原局地暴雨雷达回波特征[J]. 气象科技, 2010, 38(2): 197-200.
- [8] 吴红秀, 和卫东, 焦泽红, 等. 滇西北高原一次局地暴雨的雷达产品分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 645-649.
- [9] 张沛源, 余志敏. 多普勒天气雷达资料在强天气短时预报中的应用[C]//第十一届亚运会. 第十一届亚运会气象保障研究论文集, 1992年卷. 北京: 气象出版社, 1992.
- [10] 蔡晓云, 焦热光. 多普勒速度图暴雨判据和短时预报工具研究[J]. 气象, 2001, 27(7): 13-15.