

文章编号: 2096-1618(2022)06-0701-08

成都“8·11”强对流天气多普勒雷达与闪电特征分析

谢晓林^{1,2}, 胡迪³, 罗宇昂¹, 李翔¹, 王杰¹, 景号然^{1,2}

(1. 四川省气象探测数据中心, 四川 成都 610072; 2. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072; 3. 四川省气象台, 四川 成都 610072)

摘要:为研究雷暴云雷达回波的典型特征,统计成都2020年4-9月天气雷达和闪电定位仪数据,通过“8·11”成都区域性特大暴雨天气过程,分析了强对流天气的闪电数据与雷达回波雨带的特征关系,得出以下结论:(1)2020年成都雷暴8月数量最多,闪电主要发生在雷达反射率因子40~60 dBZ,闪电强度主要集中在20~100 kA。(2)雷暴云有4个雷达回波特征:雷暴云的中低层仰角径向速度存在逆风区,可作为对流云闪电发生的标志;雷暴云发展到成熟阶段时,雷达径向速度低层存在辐合,中层出现零速度闭合线,高层有弱辐散特征,闪电发生数量增加;闪电位置主要分布在雷达VIL超过10 kg·m⁻²的区域附近;雷暴云存在质心下移现象。将这些雷达回波特征在35373次闪电数据中进行统计分析,得到较高的典型性结果,对提高雷暴云的识别和灾害预警速度有一定参考价值。

关键词:雷达气象;回波特征;闪电定位;雷暴云
中图分类号:P412.25 **文献标志码:**A
doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2022.06.013

0 引言

区域性强降水常伴随雷电、大风等灾害性过程,灾害性天气的预报是目前世界性的难题,仍未得到完全解决^[1-2]。四川地形特殊,西高东低,川西高原及攀西地区夏季降雹多发,成都平原夏季多夜雨并伴有闪电大风,短时强降水常引发城市内涝^[3-4]。2020年8月11日08时(北京时,下同)四川省气象台发布近7年来的首个暴雨橙色预警,成都市共出现暴雨72站,大暴雨193站,特大暴雨9站,单日最大单站雨量为373.8 mm,城市交通瘫痪,河流漫堤,形成内涝,造成严重经济损失。

多普勒天气雷达是监测中小尺度灾害性天气系统的主要工具,它能提供反射率因子、径向速度等数据,从而得到降水过程的强度信息或降水粒子运动的径向风速特征^[5]。近代天气预报技术的快速进步除了得益于数值预报外,天气雷达等遥感观测技术也有很大功劳^[6-7]。四川现有由12部多普勒天气雷达组成的观测网,盆地内的观测覆盖较完整,川西高原及攀西地区由于地形复杂、建设难度大等原因,雷达覆盖区域不足40%。

闪电定位仪能通过闪电辐射的声、光、电磁场特性来探测雷电过程,通过自动化组网,可精确定位闪电发生的位置、强度等信息,对开展雷暴预报、森林防火、气象防灾减灾、人工影响天气等工作有很大促进作用

用^[8]。四川已经建成由24部闪电定位仪加24部大气电场仪构成的雷电监测网,在2019年四川木里森林火灾、2020年四川凉山森林火灾等防灾减灾气象服务中发挥了重要作用。

利用新一代天气雷达结合闪电定位仪对强降水进行预测分析,对闪电的形成、雷暴云的生消、防雷防灾、城市内涝预防都有重要意义^[9-10]。研究表明,当对流层中层有干空气侵入,下层气流具有较大不稳定性,低层环境温度直减率较大时有利于雷暴的出现^[11]。龙柯吉等^[12]将影响四川的雷暴大风系统分为5大类,分别为混合性大风类,深厚低槽(低涡)后部类、低槽(切变)东移类、副热带高压西侧切变类和东风扰动类,不同种类的系统有着不同的雷达回波特征,而相同系统种类在不同时间段的雷达回波有何特征并未有深入研究。雷达径向速度图中同一方向的速度区出现零速度闭合线,说明存在逆风区,反映了强对流天气的生消特征和涡旋结构,研究逆风区在雷暴云中的回波特征有重要意义^[13]。国内外文献常将天气雷达探测到的闪电回波进行个例分析,而少有结合闪电定位仪,对闪电发生的位置与强度和雷达反射率因子、速度等产品信息之间关联特征的深入分析^[14-16]。成都“8·11”强对流天气过程共探测到11957次,单日闪电次数占整个汛期的近1/3,利用天气雷达和闪电定位仪数据,分析整个强对流天气的生消过程,结合天气形势和环流背景,提取雷暴过程的强度和速度特征,并统计整个汛期雷暴过程这些特征的出现频次,验证特征结果的典型性,以期能提高对强雷暴天气的预警预报时效。

收稿日期:2021-11-10

资助项目:高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室青年专项资助项目(SCQXKJQN2019016);四川省气象局科学技术研究开发课题资助项目(川气探数课题2019-5)

1 资料

利用架设于成都市区的新一代天气雷达(CINRAD/SC)和成都周边的4部闪电定位仪,分析2020年4-9月汛期的所有雷暴数据,得到雷达数据与闪电数据特性关系。

表1 成都新一代天气雷达站与闪电定位仪的位置分布

观测设备	型号	经度/°E	纬度/°N
成都天气雷达	CINRAD/SC	104.01	30.66
龙泉闪电定位仪	ADTD	104.26	30.61
新都闪电定位仪	ADTD	104.18	30.78
金堂闪电定位仪	ADTD	104.43	30.81
双流闪电定位仪	ADTD	103.92	30.58

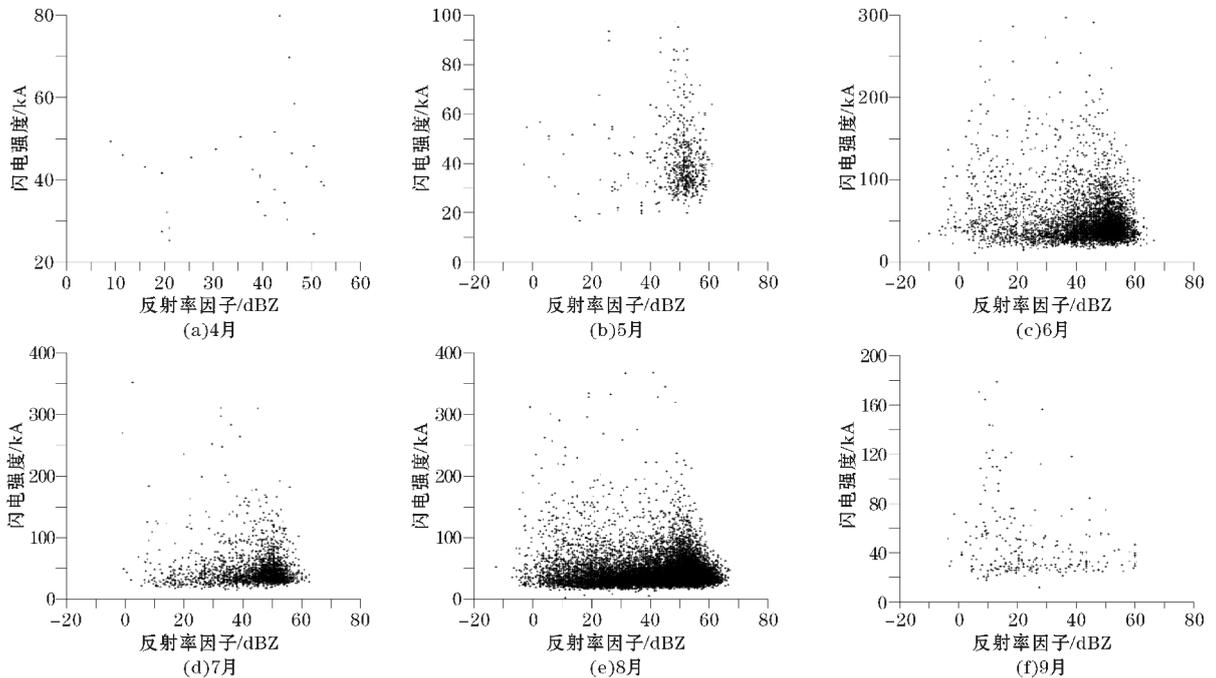


图1 反射率因子与闪电强度对比散点图

2020年4-9月成都区域共探测到35373次闪电过程,其中4月发生30次,5月发生608次,6月发生5612次,7月发生2422次,8月发生26433次,9月发生268次。与雷达数据对比,由图1(a)可见成都4月雷暴少,强度弱,无明显特征可供分析;2020年5月成都雷达探测范围内共发生1644次闪电过程,由图1(b)可见反射率因子大于40 dBZ后,闪电数量明显增加,且反射率因子介于40~60 dBZ时,闪电发生最为频繁,闪电强度主要集中在20~60 kA。图1(c)~(e)给出了6-8月成都雷达观测范围内的21255次闪电过程的反射率因子与闪电强度对比散点图,它们都有相似的特征,反射率因子大于15 dBZ后,闪电发生频次明显增加;反射率因子介于40~60 dBZ时,雷电活动最为频繁,闪电强度主要集中在30~100 kA。由图1(f)可见9月成都雷暴活动较8月明显减少,虽有强度超过100 kA的闪电发生,但数量不大,不足以形成灾害。

雷达数据采用成都雷达连续VCP21模式体扫基数据,闪电数据采用4部闪电定位仪探测到的成都雷达观测区域内的闪电发生时间、经度、纬度、强度、极性。

2 2020年汛期雷达和闪电数据统计分析

由于天气雷达数据时间分辨率为6 min,闪电定位仪时间分辨率为2 min,闪电发生时间与雷达数据时间无法准确对应,通过编程将雷达反射率因子数据和闪电发生时间、位置进行统计,尽量减少时间匹配误差。图1给出了2020年主汛期(4-9月)成都雷达反射率因子与闪电定位仪闪电强度数据的对应关系。

通过分析可以发现,2020年4月为汛前,成都发生的强对流过程较少,雷雨天气主要发生在清明后,春雷强度不大,闪电强度低于100 kA。5月进入汛中后,闪电发生的次数多、强度大,且以8月数量最多,占比超过7成。其中,8月11日共计发生闪电11957次,占全月的45.23%,整个汛期的33.80%。到9月汛末,闪电次数急剧减少。

3 “8·11”成都强降水个例分析

2020年8月11日四川省气象台发布了近7年来的首个暴雨橙色预警,北方的冷气团与南方的暖气团在四川盆地西部形成明显的气团“对峙”现象,带来了持续性强降雨天气过程。由于处在迎风坡方向,成都西部地区降水最为明显。图2给出了8月11日00时至12日00时成都降水量分布图。

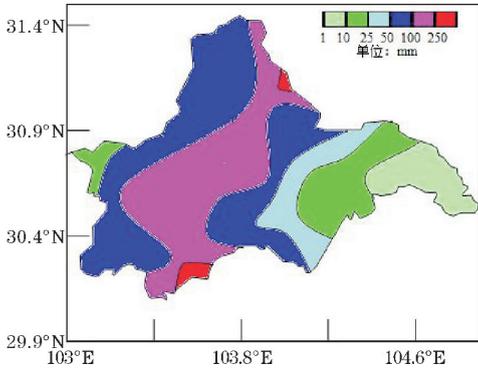
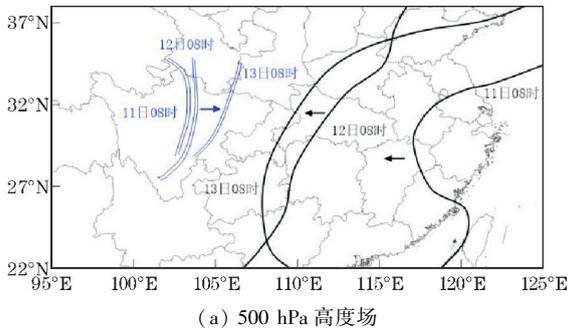
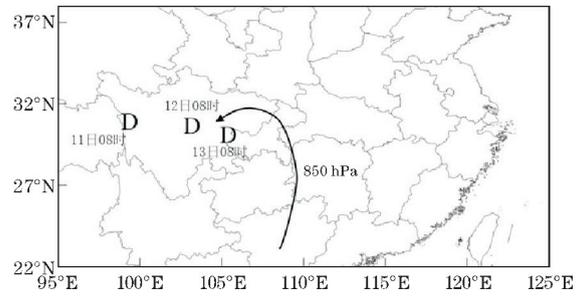


图2 8月11日0时-12日0时成都降水量分布图

成都市共出现暴雨72站,大暴雨193站,特大暴雨9站,单站最大雨量为373.8 mm。



(a) 500 hPa 高度场



(b) 低层系统

图3 8月11日08时-13日08时500 hPa 高度场与低层系统演变图

3.2 闪电次数与降水量关系对比

图4给出了8月11日00时-8月12日03时闪电发生次数与小时最大降水量的对比图。可见当日闪电的发生主要集中在3个时间段,分别是11日06-07时,共发生闪电4923次,其中负闪4675次,闪电发生区域的小时降水量均超过50 mm,分别达到77.5 mm和80.6 mm;11日13时,发生闪电741次,其中负闪706次,闪电发生区域的小时降水量为64.6 mm;11日22时-12日00时,共发生闪电2081次,其中负闪1966次,闪电发生区域的小时降水量分别为68.3 mm、69.2 mm和99.8 mm。

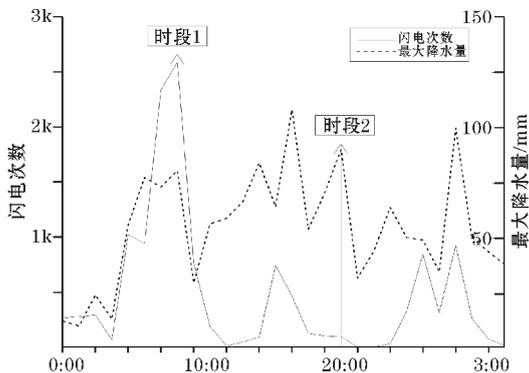


图4 11日00时-12日03时闪电次数与最大降水量的对比图

8月11日00时-12日03时的最大降水量分布呈多波峰的分布,闪电发生的密集时间段,能对应到较强的降

3.1 天气形势和环流背景

200 hPa 南亚高压脊线位置偏南,在28°N附近。从500 hPa高度场(图3a)来看,中高纬地区为两槽一脊的形势,四川盆地西部存在低槽。11日08时到12日08时,槽线一直在盆地西部边缘摆动,随着西太平洋副高的西进,13日08时槽线明显东移,槽前的上升气流配合副高前端持续偏南暖湿气流为盆地内降水提供了适宜的动力和水汽条件。从低层动力条件(图3b)来看,11日08时700 hPa在甘孜州西部白玉县附近有西南涡生成,并在之后两天迅速东移至盆地内,西南低涡的存在提升了盆地内上升气流的同时进一步加速了中低层偏南暖湿气流进入盆地降水区。

水量,如11日06-07时(时段1)。而强降水发生时,闪电发生不一定频繁,如11日17时(时段2)最大降水量达到90.1 mm,而对应的闪电发生次数仅为95次。

在同一降水个例时间区间内,同样具有较强降水的前提下,时段1和时段2闪电次数差别巨大,下文将根据现有资料,从雷达回波强度,速度场,VIL、回波垂直结和闪电位置等方面对其特征进行对比,找到雷暴云的雷达回波典型特征。

3.3 雷暴云的雷达与闪电数据对比分析

组合反射率(CR)是根据雷达体扫基数据,将各个高度的最大反射率因子投影到同一等高面得到的二次产品,反映了反射率因子最大值的水平分布。垂直积分液态水含量(VIL)是根据雷达体扫基数据,通过反演算法得到。由于业务雷达体扫模式的局限,得到的液态水含量虽有一定误差,但也能定性地说雷暴云中液态水含量分布与闪电位置分布的特性关系^[17]。

3.3.1 时段1 雷达 CR 产品、VIL 产品与闪电位置分布的对比分析

图5给出了11日06-07时(时段1)雷达CR产品、VIL产品与闪电位置分布的对比关系,可见强回波中心主要集中在成都雷达西南方向,南北跨度超过100 km,东西方向跨度在80 km左右,回波强度普遍超过40 dBZ,最强中心可达58 dBZ。06时47分(图5d)逐渐分离为3个部分,到07时03分(图5e)时完全分

离,而强度并未有明显减小。另外,位于成都北偏东方向100 km处有零散的强回波,06时04分(图5a)可见3个小的局地性单体,每个单体半径为5 km左右。06

时15分(图5b)3个单体回波合并为1个条形单体,有一个强度大于40 dBZ的质心,大概维持了30 min后,07时14分(图5f)强度开始减弱。

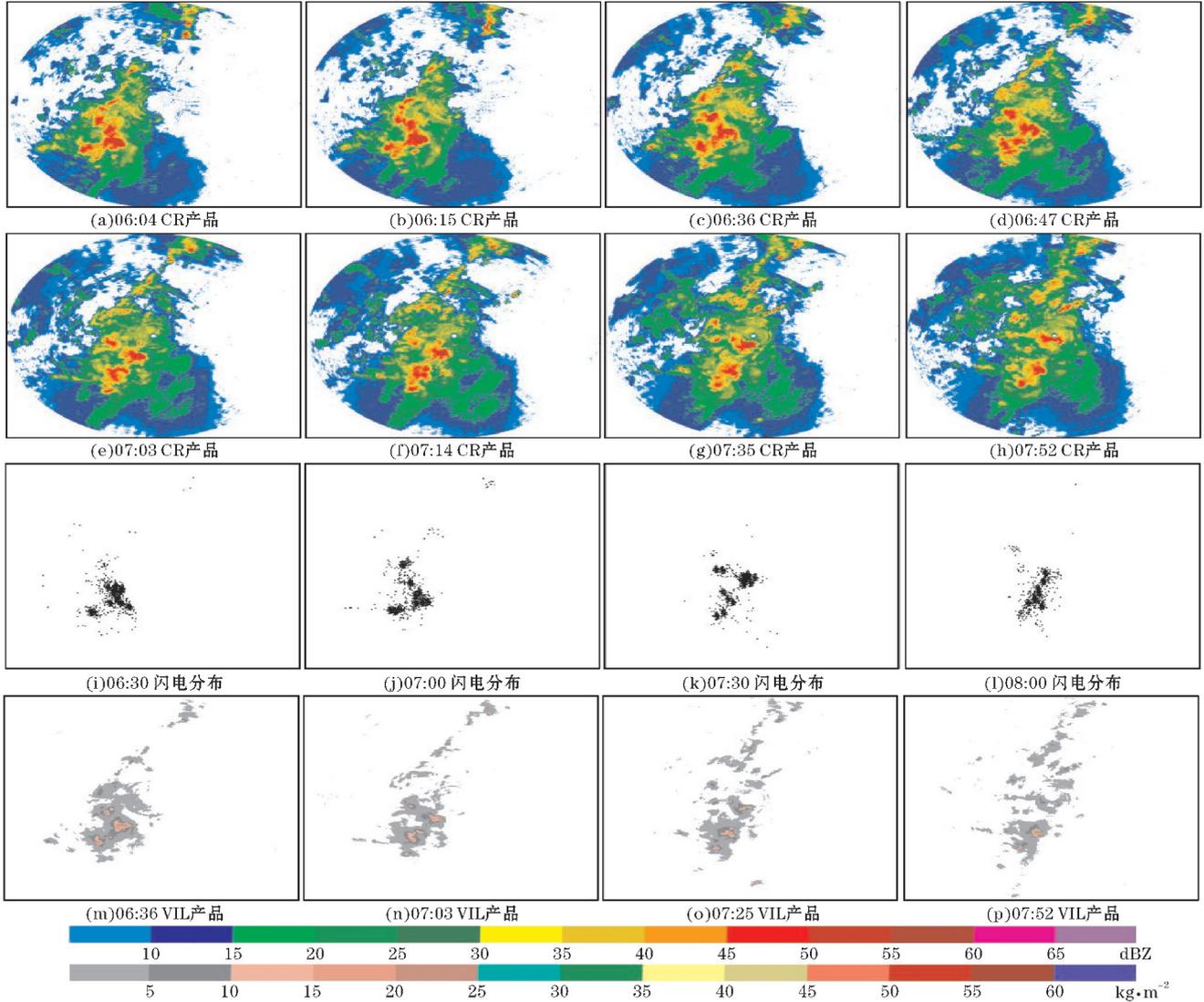


图5 时段1 雷达CR产品、VIL产品与闪电位置分布对比图

从闪电发生的位置分布图可见该时段雷暴发生密集,其中06时00分-30分(图5i)共发生闪电1153次,其中负闪1104次;06时30分-07时00分发生闪电1184次,其中负闪1134次;07时00分-30分发生闪电1292次,其中负闪1216次;07时30分-08时00分发生闪电1294次,其中负闪1221次。雷达强回波带主要集中在成都西南方,闪电发生位置与雷达强回波带位置有很好的对应关系。雷达北方虽然有尺度较小的强回波带,但是未有较强闪电过程发生。可以看出,闪电发生位置呈东移趋势,这与雷达强回波带的移动关系也有很好的对应关系,且闪电发生的密集区域与雷达反射率因子大于40 dBZ的区域也有正相关性。

对比VIL产品可见,06时25分(图5m)VIL的大值区集中在雷达西南方,最大值超过 $25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,VIL大值区的分布与闪电位置分布有较好的对应关系,闪

电发生密集的区域,其VIL产品都会有一个超过 $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 的质心(图5m~5p)。

3.3.2 时段1 雷达径向速度特征分析

图6给出了时段1两个时次的雷达径向速度,其中图6(a)~6(c)为06时15分雷达 1.5° 、 3.4° 和 9.9° 3个仰角的径向速度图,图6(d)~6(f)为07时35分对应3个仰角的径向速度图。对比图(5b)可见,06时15分,强回波中心位于雷达西南方向,低层有明显辐合(图6a),中层存在零速度闭合线,称为逆风区,且逆风区位置正好位于反射率因子大值区域(图6b),高层有明显的辐散特性(图6c);07时35分,强回波中心移动到雷达南方,回波低层和高层依然存在明显的辐合特性与逆风区(图6d~6e),高层存在辐散特性(图6f)。雷达北方存在速度大值区,与强回波中心位置无重合关系。

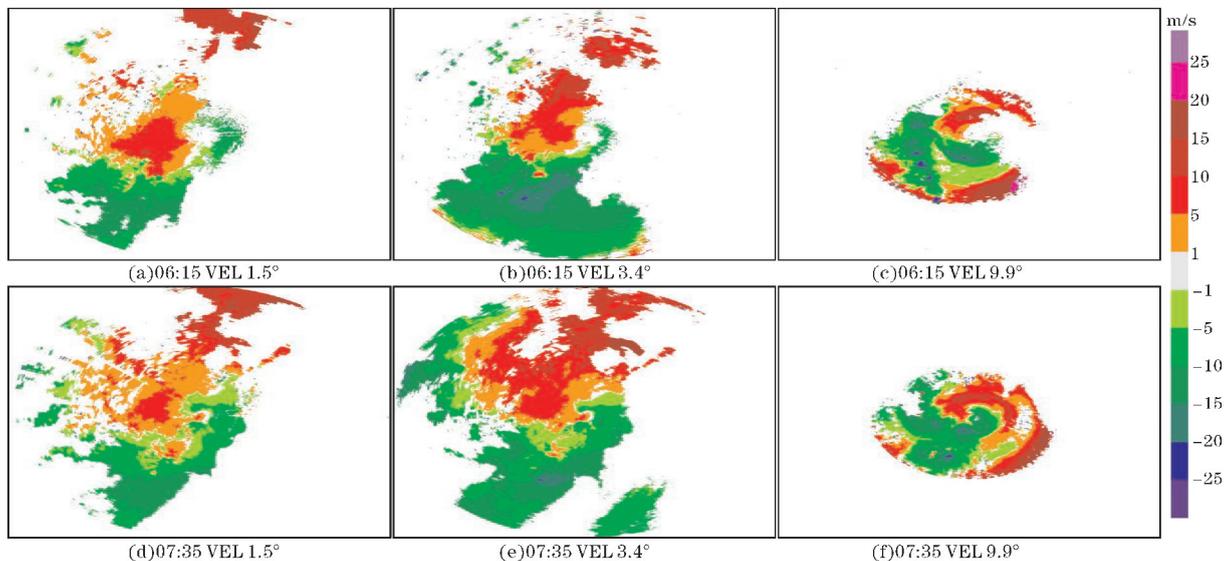


图 6 时段 1 雷达径向速度图

3.3.3 时段 2 雷达 CR 产品、VIL 产品与闪电位置分布的对比分析

图 7 给出了 8 月 11 日 17 时 08 分-51 分(时段 2) 雷达 CR 产品、VIL 产品与闪电位置分布的对比关系。可见 17 时 08 分雷达西南方形成一个强回波中心,最

强反射率因子超过 50 dBZ,发生闪电 57 次,最大降水量发生在西南方的新津站,小时降水量 90.1 mm;17 时 24 分,强回波依然未减弱,17 时 00 分-24 分共发生闪电 90 次,占该小时总闪电数量的 94.74%,17 时 51 分,回波强度开始减弱,闪电发生次数也相应减少。

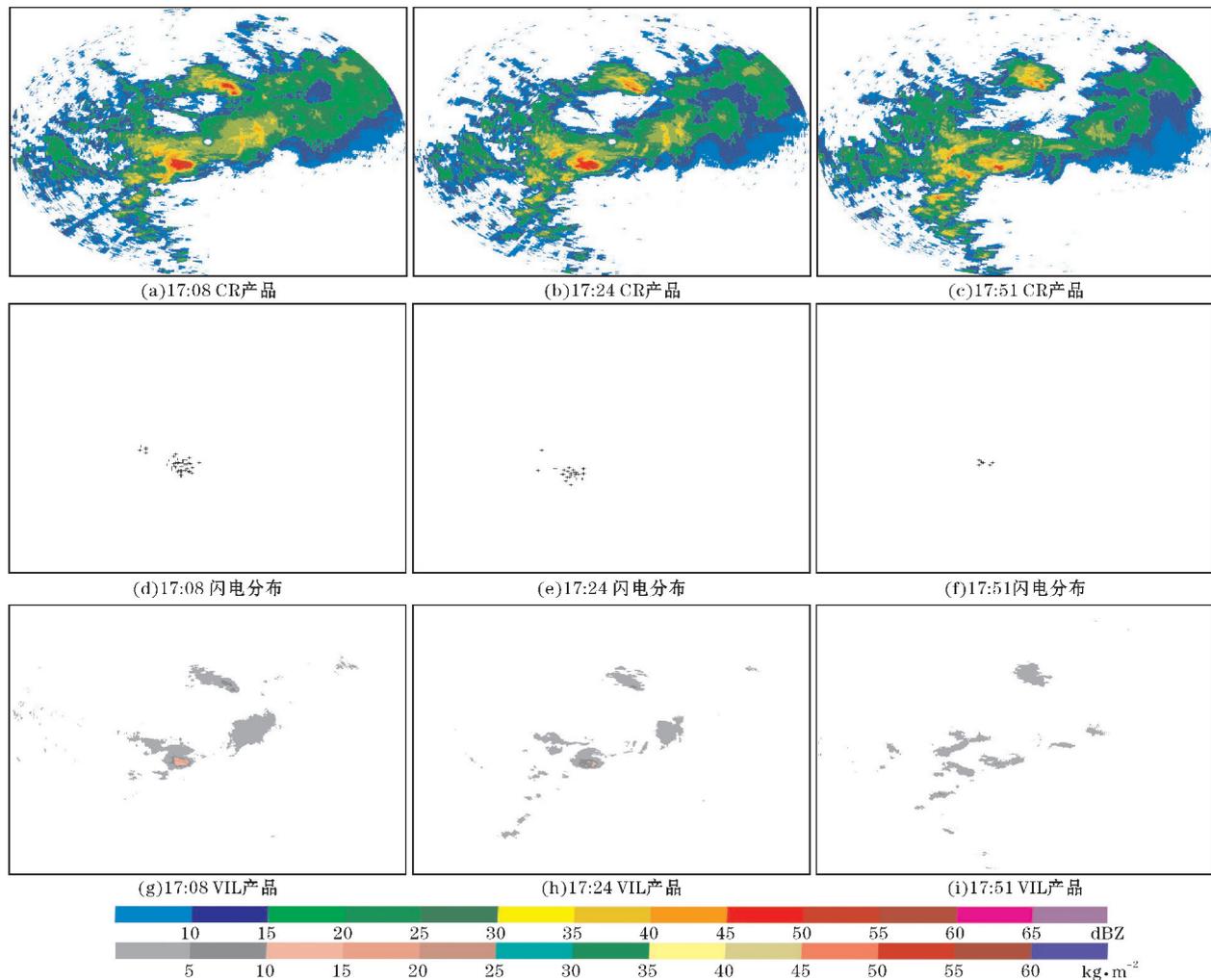


图 7 时段 2 雷达 CR 产品、VIL 产品与闪电位置分布对比图

对比 VIL 产品可见,17 时 08 分(图 7g)VIL 的大值区集中在雷达西南方,最大值超过 $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,VIL 大值区的分布与闪电位置分布有较好的对应关系。闪电主要发生在 17 时 24 分以前,该时间段的 VIL 产品都可见一个大于 $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 的质心,该特征与时段 1 相符。

3.3.4 时段 2 雷达径向速度特征分析

图 8(a)~8(c)给出了 17 时 24 分时段 2 的 1.5° 、 3.4° 和 9.9° 3 个仰角的径向速度。可见时段 2 低层无明显辐合特征,强回波中心有逆风区(图 8a),该段时间有部分闪电发生,雷达东北方存在速度大值区,速度

超过 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而反射率因子不超过 40 dBZ ;中层有一定辐合特征(图 8b);高层无辐散特征(图 8c)。图 9(d)~9(f)给出了 17 时 51 分时段 2 的 1.5° 、 3.4° 和 9.9° 3 个仰角的径向速度。低层逆风区消失,该段时间闪电发生很少,其他层仰角与 17 时 24 分速度特征相同。可见代表对流运动的逆风区与闪电的发生有正相关性,同时,与时段 1 相比,在反射率因子都超过 40 dBZ 、速度场都存在逆风区的情况下,代表了对流的存在,而速度场低层存在辐合区,高层存在辐散区的特征是对流是否旺盛的关键。

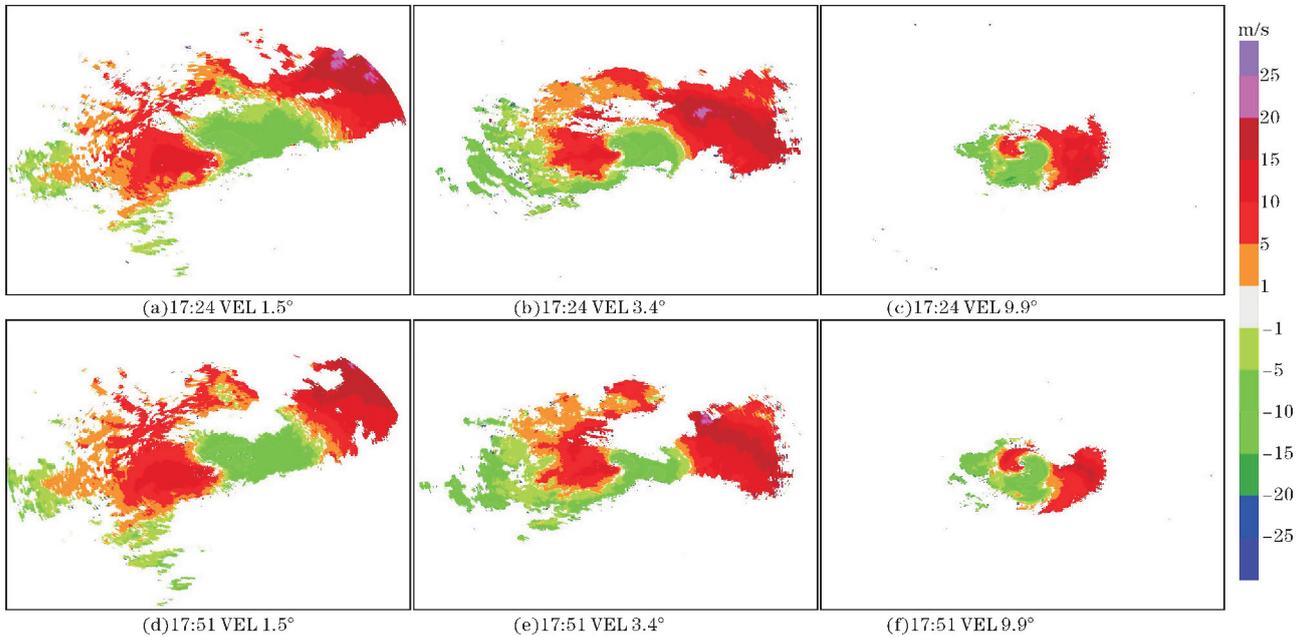


图 8 时段 2 雷达径向速度图

3.3.5 时段 1 和时段 2 雷达反射率因子垂直剖面图特征分析

图 9(a)~9(c)是时段 1 在 11 日 06 时 15 分、06 时 47 分和 07 时 14 分 3 个时次的反射率因子垂直剖面图。可见 06 时 15 分,时段 1 对流发展旺盛,云顶高度超过 15 km ,质心在 6 km 左右,水平宽度超过 65 km ;06 时 47 分时段 1 开始分裂成 3 个单体,质心下移,高度在 5 km 左右,水平宽度仍然在 60 km 左右;07 时 14 分时段 1 继续分裂,质心继续下移到 5 km 以下,并且水平宽度已经超过 80 km ,强度始终维持在一个较高的水平,对流运动旺盛,闪电发生频次密集。原因是质心下移到零度层高度附近时,此时云中冰粒和雨滴通过彼此碰撞和感应起电,云地间的电场因为闪电放电而破坏,同时恢复快,此时闪电多发且频率较高。

图 9(d)~9(f)是时段 2 在 11 日 17 时 08 分、17 时 24 分和 17 时 51 分的反射率因子垂直剖面图。可见时段 2 的垂直高度低于时段 1,云顶高度仍然超过 10 km ,

由于对流不够旺盛,质心高度不超过 5 km ,位于融化层高度以下,水平宽度不超过 20 km ;17 时 24 分质心下移到 2.5 km 左右,强度依然超过 45 dBZ ,水平宽度维持在 20 km 左右,到 17 时 51 分,时段 2 已经明显减弱,虽然有一定的强度,但是水平尺度不超过 5 km 。

3.3.6 雷暴云雷达回波特征统计分析

通过对比同一雷暴天气过程中的两个不同时间段的数据,得到雷暴云发生闪电时的 4 个雷达回波特征。分别是速度场中层存在逆风区(RW)、速度场低层存在辐合区,高层存在辐散区的特征(VEL)、闪电位置与雷达 VIL 超过 $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 的区域呈正相关对应关系(VIL10)和雷达反射率质心下移特征(CD),统计 2020 年 4~9 月的 35373 次闪电过程中这 4 种特征发生占比情况(图 10),RW 特征占比 85.94% ,VEL 特征占比 66.15% ,VIL10 占比 82.83% ,CD 占比为 75.19% 。另外,当 4 种特征同时出现时,闪电强度大,频率高,占比 14.27% 。

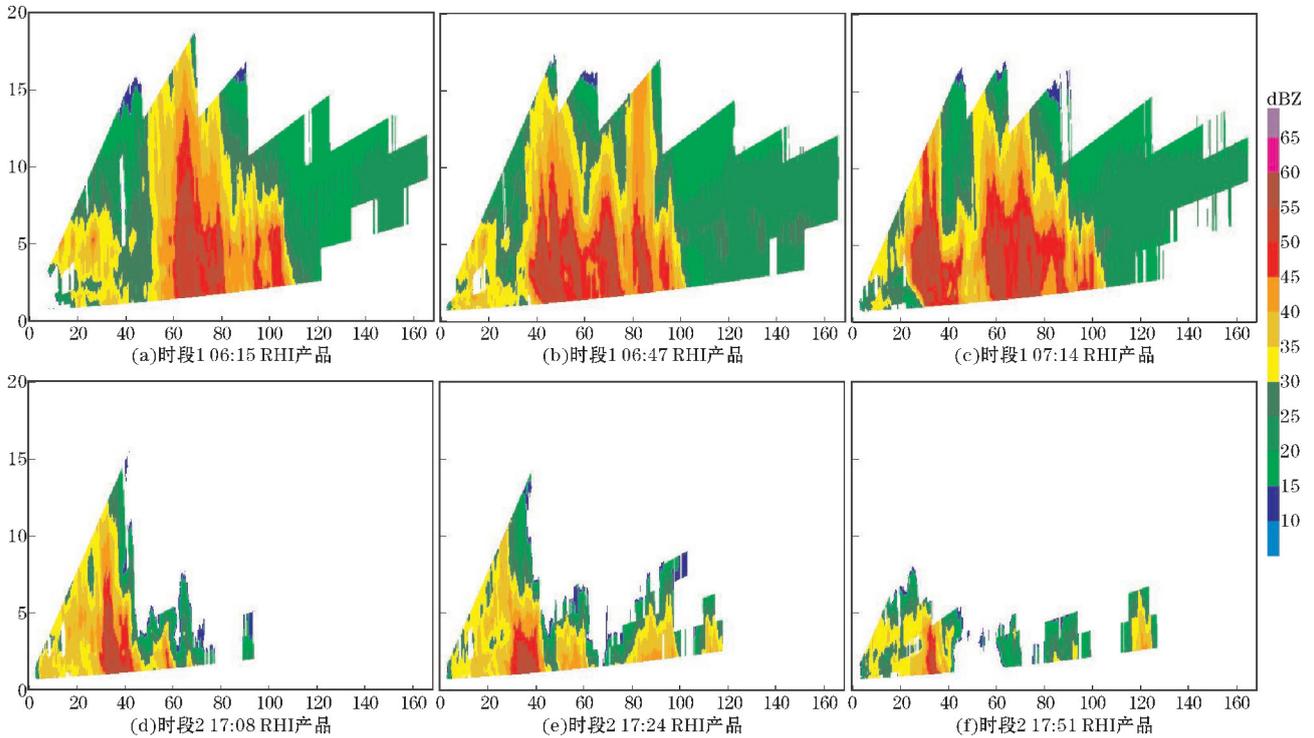


图9 时段1与时段2雷达反射率因子垂直剖面对比图

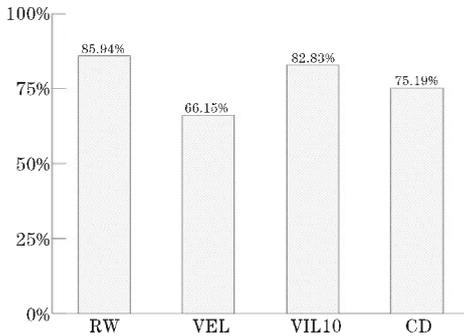


图10 4种雷暴云回波特征占比柱状图

通过对雷暴云发生闪电时的4个雷达回波特征在主汛期所有闪电过程的占比分析,发现回波特征的出现频率高,具有很好的代表性和典型性,这对预报员提高雷暴云的识别和灾害预警速度有一定参考价值。

4 结束语

通过以上分析,得如下结论:

(1)2020年4-9月,成都地区闪电8月发生最为频繁,占整个汛期的74.72%;闪电主要发生在雷达反射率因子40~60 dBZ,强度一般低于100 kA。

(2)通过对比“8·11”成都强降水过程雷达和闪电数据,得到4个雷暴云的雷达回波特征,并在整个汛期的闪电过程中进行典型性验证。特征1在雷暴云对流发生的过程中,雷达中低层仰角径向速度存在逆风区,位置与强回波中心对应,此时有闪电发生;速度大

值区和强回波中心位置不重合;逆风区可作为对流云中闪电发生的标志。

(3)特征2当雷暴云发展到成熟阶段,反射率因子超过40 dBZ时,雷达径向速度低层存在辐合,中层存在零速度闭合线,高层存在弱辐散特征,闪电发生量明显增加,位置主要分布在雷达VIL超过 $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 的区域附近(特征3)。

(4)特征4雷暴云存在质心下移现象。当质心下移到零度层高度附近时,如质心发生分裂,云中冰粒和雨滴通过彼此碰撞和感应起电,云地间的电场因为闪电放电而破坏,同时恢复得也很快,此时闪电多发且频率较高。

由于天气雷达观测模式的局限性,雷达数据与闪电资料时间分辨率相差3倍,雷暴云发生发展剧烈,云中风场变化很快,雷达径向速度并不代表雷暴云中的实际流场,只能分析出一定回波特征。采用双偏振雷达增加雷达观测量,相控阵天线加快观测时间分辨率,多雷达协同观测得到雷暴云实际风场与闪电资料结合,分析雷暴云不同阶段的云中流场关系还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 石玉恒,张义军,郑栋,等.北京地区雷暴的雷达回波特征与闪电活动的相关关系[J].气象,2012,38(1):66-71.

- [2] Liu D X, Feng G L, Wu S J. Temporal and spatial characteristics of cloud-to-ground lightning of hailstorms over north China [J]. Atmospheric Research, 2009, 91(2/4): 459-465.
- [3] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322-330.
- [4] 马振锋, 彭骏, 高文良, 等. 近40年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2001, 2(1): 633-642.
- [5] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 378-392.
- [6] 成鹏伟, 周筠珺, 赵鹏国, 等. 北京与成都城市下垫面闪电时空分布特征对比研究[J]. 成都信息工程大学学报, 2018, 33(3): 9.
- [7] Browning K A. Development in observation system for weather forecast[J]. Meteor Appl, 1994, 2(1): 3-21.
- [8] 刘畅, 张远扬, 张婧雯, 等. 成都地区一次雷暴过程地面电场演变特征[J]. 高原山地气象研究, 2018(1): 77-80.
- [9] 端木礼寅, 李照荣, 张强, 等. 甘肃中部强对流天气多普勒雷达和闪电特征个例研究[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 764-772.
- [10] 董元昌, 李跃清, 慕丹. 一次西南低涡降水雷达回波结构和演变特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2018(4): 1-7.
- [11] 杨新林, 孙建华, 鲁蓉, 等. 华南雷暴大风天气的环境条件分布特征[J]. 气象, 2017, 43(7): 769-780.
- [12] 龙柯吉, 康岚, 罗辉, 等. 四川盆地雷暴大风雷达成回波特征统计分析[J]. 气象, 2020, 46(2): 212-222.
- [13] 范思睿, 陶丽, 张恒, 等. 四川一次超级单体风暴的多普勒雷达观测分析[J]. 高原山地气象研究, 2017(1): 73-79.
- [14] 李建华, 郭学良, 肖稳安. 北京强雷暴的地闪活动与雷达回波和降水的关系[J]. 大气科学学报, 2006, 29(2): 228-234.
- [15] 俊伟, 张亮, 田琨. 2009年四川夏季强雷电过程的气象卫星资料分析[J]. 高原山地气象研究, 2015(3): 68-72.
- [16] 王晓娟. 四川盆地南部边缘一次局地风雹天气的中尺度及雷达观测分析[J]. 高原山地气象研究, 2016(2): 75-81.
- [17] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.

Analysis of Doppler Radar and Lightning Characteristics in “8 · 11” Severe Convective Weather in Chengdu

XIE Xiaolin^{1,2}, HU Di³, LUO Yuang¹, LI Xiang¹, WANG Jie¹, JING Haoran^{1,2}

(1. Meteorological Observation Data Center of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 2. Sichuan Meteorological Observatory, Heavy rain and Drought-Flood Disaster in Plateau and Basin key laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 3. Meteorological Observatory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: In order to study the radar echo characteristics of thunderstorm clouds, the weather radar and lightning locator data from April to September in Chengdu in 2020 is studied. Based on the data of “8 · 11” regional rainstorm weather in Chengdu, the relationships between lightning data and radar echo of strong convective weather are analyzed. It draws these conclusions as follow: (1) in 2020, thunderstorms of Chengdu mainly occur in August. When lightning occurs, the reflectivity of radar is mainly between 40-60 dBZ, and the main range of lightning intensity is between 20-100 kA. (2) There are four kinds of radar echo characteristics of thunderstorm clouds are found: there is an upwind region in the middle and lower elevation of thunderstorm cloud radar velocity data, which can be used as a sign of lightning in convective cloud; when the thunderstorm cloud develops to mature stage, there is convergence in the low level of thunderstorm cloud, zero velocity polyline is closed in the middle level, weak divergence characteristics exists in the high level, and the number of lightning increases; the location of lightning is mainly distributed near the area where VIL of radar exceeds $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$; the center of mass of thunderstorm cloud moves downward. According to the statistics of 35373 numbers of lightning data, these radar echo characteristics are considered to be highly typical. It has a certain reference value for improving the speed of thunderstorm cloud identification and disaster early warning.

Keywords: radar meteorology; echo characteristics; lightning location; thunderstorm clouds