

李彦霖,张述文,田程,等,2018. 基于雷达回波的贵阳地区对流性降水特征分析[J]. 气象,44(6):752-758.

基于雷达回波的贵阳地区对流性降水特征分析*

李彦霖¹ 张述文¹ 田程² 周林帆¹

¹ 兰州大学大气科学学院,兰州 730000

² 贵阳市气象局,贵阳 550002

提 要: 为了深入理解贵阳地区对流性降水的时空分布特征,本文利用贵州省贵阳站 2014—2016 年 5—8 月 CINRAD/CD 回波资料,首先挑选出符合对流性降水回波特征的 551 个样本,然后从对流性降水的回波形态、发生频次、位置、日变化、生命史以及大尺度环境场六个方面进行统计与分析。结果表明:对流性降水回波形态可分为单体型、线状型和区域型,其中线状型接近 50%,是贵阳地区最常见的对流组织形式;与线状型和区域型相比,单体型对流生命史最短且局地性特征明显;超过七成对流性降水发生在西南涡或西南气流存在的天气背景下;对流多发生在贵阳市西南和东南面,而北面最少;对流初始时刻存在午后和午夜两个峰值区。最后,还以三类对流性降水过程为例,对比分析其生消过程、降水范围和强度等特点。

关键词: 对流性降水,雷达回波,贵阳,统计特征

中图分类号: P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.06.003

Statistics Characteristics of Radar Echoes of Convective Precipitation in Guiyang

LI Yanlin¹ ZHANG Shuwen¹ TIAN Cheng² ZHOU Linfan¹

¹ College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

² Guiyang Meteorological Bureau, Guiyang 550002

Abstract: Using the radar data of CINRAD/CD in Guiyang, Guizhou Province, in the period from May to August in 2014—2016, the spatial and temporal distribution characteristics of convective precipitation in Guiyang area were analyzed. First, 551 cases of convective precipitation echoes were selected, and then the echoes were statistically analyzed from six aspects of morphological characteristics, occurrence frequency, location, diurnal variation, duration and large-scale background conditions. The results showed that the convective precipitation echoes can be classified into cell type, linear and regional type, of which the linear type is about 50%, being the most common form of convection organization in Guiyang area. Compared to the linear and regional types, the convective duration of cell type is the shortest and has obviously local characteristics. More than 70% of convective precipitation events occur under the southwest vortex or southwest airflow weather condition. Convective precipitation often occurs in the southwest and southeast of Guiyang and rarely in the north. Convective initiation time has two peaks in the afternoon and around midnight, respectively. Finally, three representative convective precipitation events were carefully examined in terms of lifetime, coverage and intensity of precipitation.

Key words: convective rain, radar echo, Guiyang, statistical characteristics

* 国家重点研发计划(2017YFC1502101)、国家自然科学基金项目(41575098)和国家重点基础研究发展计划(973计划)(2013CB430100)共同资助

2017年10月13日收稿; 2018年2月10日收修定稿

第一作者:李彦霖,主要从事对流性天气研究. Email: liyl2015@lzu.edu.cn

通信作者:张述文,主要从事陆面过程、资料同化及中尺度对流过程研究. Email: zhangsw@lzu.edu.cn

引言

贵州省地处我国西南低纬地区、青藏高原东南侧、云贵高原东部,属于山地亚热带季风气候区,省内地势西高东低,东西部之间海拔落差在 2500 m 以上(周明飞等,2014)。暴雨是对贵州省影响最大的灾害性天气之一,对降水的时空分布研究开展较多,如卢瑞荆和樊兰峰(2010)统计贵州省 1961—2008 年暴雨的时空分布,发现西南部、东南部和东北部是三个多雨区,5—10 月是暴雨高发时期;杨静等(2015)利用 FY 静止气象卫星相当黑体温度(TBB)资料等对云贵高原东段贵州省西部中尺度对流复合体(MCC)进行统计分析,表明 MCC 主要发生在 5—7 月,且发生时间集中在 19 时到次日 03 时(北京时,下同);杨秀庄等(2016)利用 TBB 资料对云贵高原东段 2012 年 5 月 11—12 日一次辐合线锋生型暴雨的触发机制进行分析。

受贵州境内复杂山地地形影响,贵州省多为对流性降水。利用观测资料研究对流系统的气候特征一直是大气科学领域的研究热点,而雷达资料具有水平和垂直分辨率高、观测时间间隔短的特点,是目前探测对流系统三维特征和强降水最为快速有效的气象工具之一(陈明轩等,2014)。为方便分析,一般采用雷达回波进行分类统计,如 Jirak et al (2003) 根据是否伴有层状云、初始对流形态及对流单体的相互作用,将中尺度对流系统(MCS)分为十七类;根据飑线的形成或发展阶段,Bluestein (2013)将飑线的雷达回波分为虚线型、后部新生型、多面型和嵌入区域型四类;Fabry et al (2017)综述 20 年美国雷达拼图资料在气候方面运用的可能性及面临的挑战。

近年来,国内科研人员也开展很多这方面探究,如喻谦花等(2016)和张琪等(2017)利用卫星资料分析对流性降水的特征和触发机制;周淑玲等(2016)利用多普勒雷达资料对 2014 年 12 月山东半岛一次冷流暴雪过程进行综合分析;高翠翠等(2017)用 1985—2011 年 5—9 月观测资料分析对流云和层状云的比例及其对降水的影响;Chen et al (2014; 2015)利用雷达资料从气候角度揭示华南地区 2007—2009 年 5—9 月对流和降水的时空分布和结构

特征;He et al(2016)利用 2007 年 7 月至 2011 年 6 月的雷达资料,统计江淮地区 MCS 对大于 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 强降水的贡献。此外,还有许多同化观测资料对对流性降水预报的定量影响工作(曹倩等,2016;李少英等,2017)。虽然国内很多研究人员已经展开了有关雷达气候学的研究工作,但基本是利用站点资料,其时空分辨率很低,很难对具有短时、突发和局地性特点明显的对流性降水进行有效统计分析。基于此,本文利用 2014—2016 年 5—8 月贵阳雷达站资料,对贵州省中部对流性雷达回波进行统计研究。

1 资料和方法

研究区域为贵州省中部贵阳地区,利用贵阳雷达站($26^{\circ}35'N$ 、 $106^{\circ}43'E$,海拔 1255.7 m)CINRAD/CD 的 PPI 和 RHI 雷达资料,分辨率为 0.25 km,有效扫描半径为 150 km(图 1),两次扫描时间间隔约为 6 min,雷达反射率强度范围为 $-5 \sim 70 \text{ dBz}$,每 5 dBz 为 1 级,共分为 15 级。统计时间段为 2014—2016 年 5—8 月。

本文采用 Steiner et al(1995)的方法对雷达回波中对流性降水进行识别,首先,将雷达反射率因子插值到 3 km 高度上,反射率因子大于 40 dBz 记为对流性格点;其次,以第一步挑选出的对流性格点为中心半径,11 km 内梯度小于一定阈值的格点记为对流性格点;最后,把前两步统计出的对流性格点半

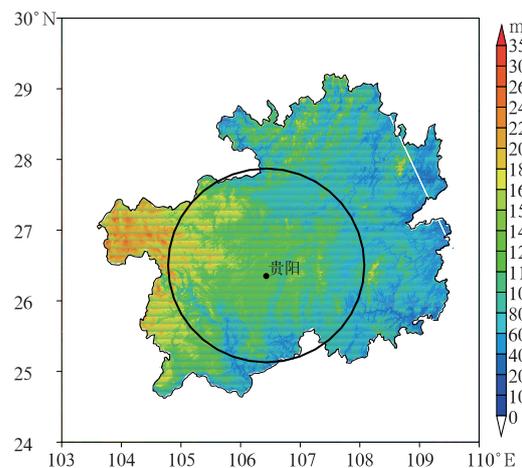


图1 贵州省地形及贵阳雷达站位置
Fig.1 Terrain in Guizhou Province and the location of Guiyang Radar Station

径为 11 km 内超过平均回波强度一定值的格点也记为对流性格点。根据 Romatschke et al(2010) 对对流系统的定义,同时考虑贵州省气候特征及一线气象工作者的经验,将成熟阶段对流性格点面积大于 10 km^2 记为一次对流过程。当雷达反射率因子强度大于 35 dBz 时记为对流初始时刻(Dixon and Wiener,1993),小于 35 dBz 为消散时刻;在发生发展阶段,若回波强中心移出观测范围,则这个例去除。

参照前人研究(Hoskins and Bretherton,1972; Parker and Johnson,2000; Jirak et al,2003; 俞小鼎,2011; Bluestein,2013; Weckwerth and Parsons,

2006;岳治国等,2008),按雷达回波的形态特征,将对流性降水回波分为三大类:对流回波发展成熟阶段 60 km 范围内无其他系统、相对孤立的风暴归为单体型;回波强度超过 35 dBz 的长宽比大于 5:1 且长度至少为 50 km 归为线状型;层云区嵌在多个对流单体中且回波区域长宽相差不大时归为区域型。进一步根据其移动速度、回波强中心位置以及是否伴有层状云等细分为九小类(表 1)。在分类时主要看对流系统发展过程中占主导类型的雷达回波形态,若回波形态不符合以上九个类别,则归为其他类别(5 例)。图 2 为选取的九类代表性雷达回波个例。

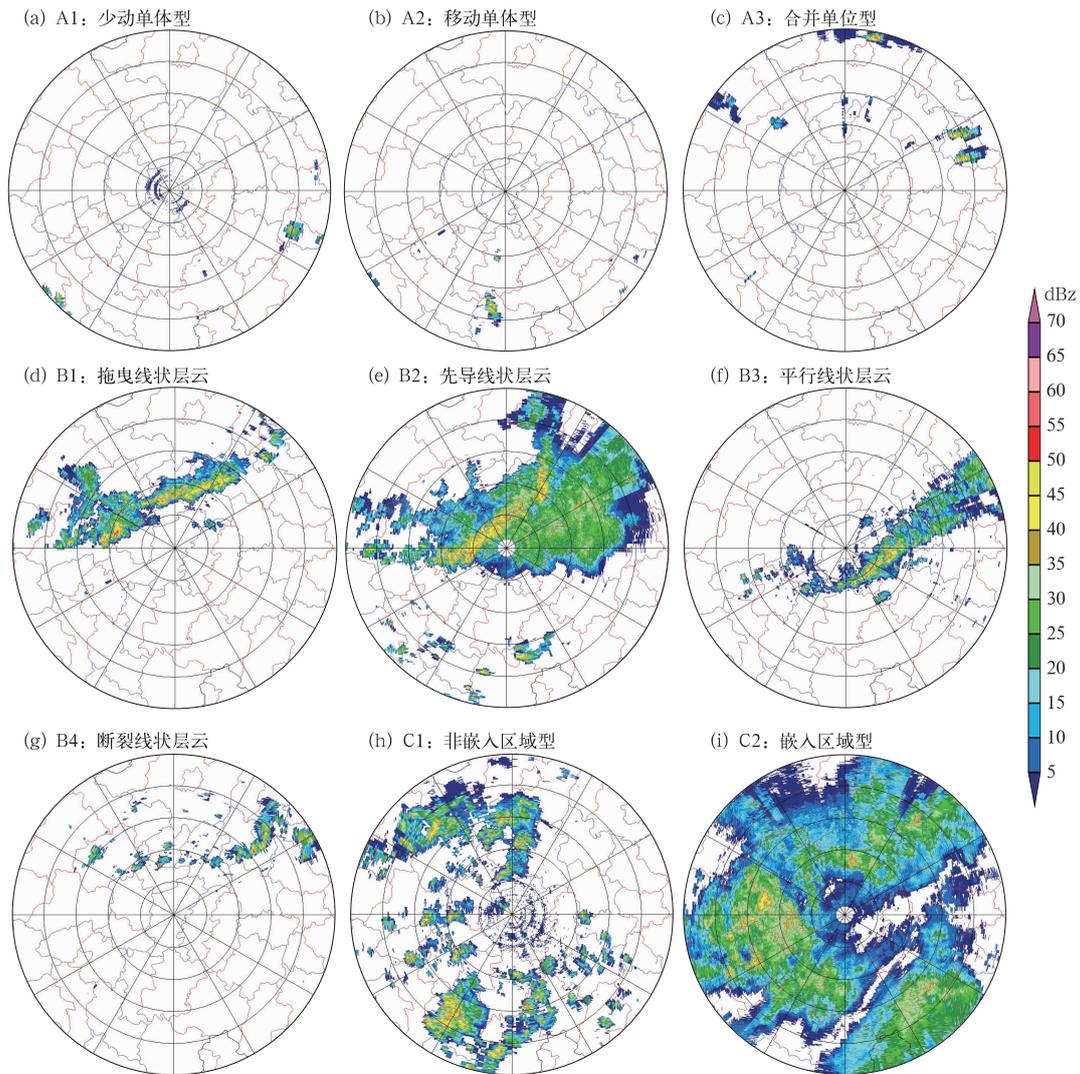


图 2 代表性九类对流性雷达回波形态特征

Fig. 2 Characteristics of nine representative types of convective radar echoes

2 结果与分析

2.1 频次和生命史

按第一节标准,去除发生发展不完整的 47 例(占总个例 7.8%),2014—2016 年 5—8 月对流性雷达回波有 551 例。

单体型、线状型和区域型的发生频次分别为 126、272 和 148 次;线状型占总数的 49.36%,是贵阳地区最常见的对流性雷达回波形态。进一步细分发现:断裂线状类发生频次最多,达到 121 次;非嵌入区域型次之,有 84 次;合并单体类的发生次数最少,仅 18 次(表 1)。少动单体型在 2014 和 2015 年发生频次很少,2016 年增多,移动单体型 3 年相差不大;先导层云和断裂线状类在 2014 年发生频次偏

多,平行层云在 2016 年偏少;区域型 3 年频次变化不大(图略)。

一次对流过程从初生到消散时刻所经历的时间即一次对流过程的生命史。从各类对流回波生命史看出(表 1),单体型对流的生命史总体偏短,少动单体的生命史最短,平均约 1.3 h,合并单体生命史较长,约 2.9 h;线状型对流的平均生命史集中在 2~4 h,拖曳层云生命史较长,达到 3.5 h;区域型对流的寿命史相差不大,相比前两类,生命史稍长,非嵌入区域型最长一次过程持续了 10.1 h。由于合并单体可能是多个单体各自发展一段时间后合并再发展,故生命史略长。单体型主要是局部对流,水平尺度小,生命史总体偏短,生消快,而线状型和区域型则多与天气系统相配合,多为 MCS,生命史更长,强降水范围更广。

表 1 对流性雷达回波的分类以及对应频次和生命史

Table 1 Category, occurrence frequency and lifetime of convective radar echoes

大类	单体型(A)				线状型(B)			区域型(C)	
小类	少动(A1)	移动(A2)	合并(A3)	拖曳(B1)	先导(B2)	平行(B3)	断裂(B4)	非嵌入(C1)	嵌入(C2)
发生频次	32	76	18	75	33	43	121	84	64
生命史/h	1.272	1.570	2.948	3.457	3.256	2.334	3.102	3.376	3.326

2.2 日变化规律

图 3 表示单体型、线状型和区域型对流初始发生时刻的日变化分布图。三种类型对流均存在两个峰值,单体型峰值出现在 14—15 时,另一个峰值出现在 23—01 时,07—10 时很少发生;相较单体型,线状型对流在 1 天内 24 个小时均有发生,其中两个峰值在 11—17 和 22—03 时,拖曳层云和断裂线状类对午后峰值贡献最大,凌晨峰值则是平行层云类贡献最大;区域型对流凌晨峰值较其他两类更明显。

若不考虑对流性回波的具体类型,对流主要发生在 10 至次日 03 时,与大部分大陆地区仅存在午后峰值相比(Mapes et al, 2003),贵州省对流发生时刻存在两个峰值,一个峰值在 13—15 时,另一个在 01—03 时,清晨发生频次最少。午后对流可能与太阳辐射加热效应有关,此时增大的地面感热通量改变了对流层低层的静力稳定度,有利于对流活动的发生。夜间可能与边界层作用有关,贵州地势西高东低,当中低层为偏西风时,贵州省处于云贵高原的背风坡,存在下沉气流,气压偏低,气流辐合,形成

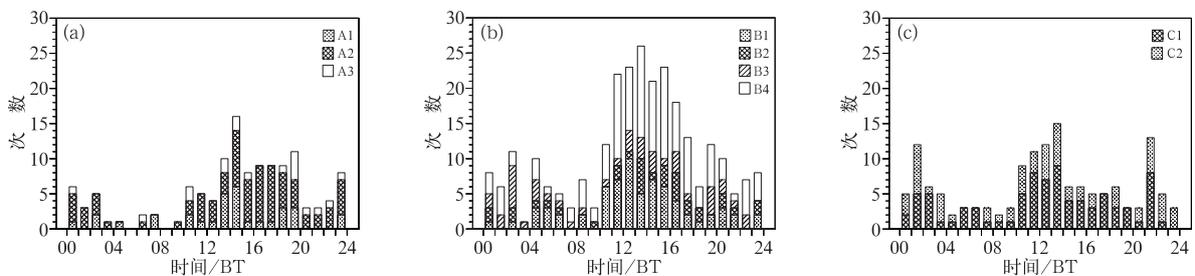


图 3 单体型(a),线状型(b),区域型(c)对流触发的日变化特征

Fig. 3 Diurnal variation of convection trigger times of cell type (a), linear type (b), and areal type (c)

气旋性环流,可能导致对流发生。此外,由于地势高低差异较大,白天高地温度高于低处,夜间相反,暖空气沿坡面爬升,降温凝结,当水汽条件充足时更易在夜间降水。

2.3 初生方位

图 4 分别为三类对流性回波相对贵阳雷达站的初生方位分布图。若对流发生位置与雷达站正东方向夹角在 10° 内,记为正东方向(E),正南(S)、正西(W)和正北(N)方向与此类似。单体型对流初生方位主要集中在贵阳的西南、东南和东北方向,西南方向最多,达到 33 次,占单体型总发生次数的 26.2%。合并单体多发生在西南、东南以及正南方向,少动单体多发生在西南、东南以及东北方向,移动单体八个方向均有发生,西南方向偏多。线状型对流在东南、西南和西北方向发生较频繁,其中断裂线状类在东南和西南方向发生频次最多,分别有 30 和 26 次。区域型对流在西南和东南方向发生的频次较其他方位多。

若不考虑对流性回波具体类型,对流发生在贵阳市南面的频次多于北面,其中贵阳市西南面和东南面最多,分别达到 124 和 114 次,而发生在正北方向频次最少,仅为 21 次。从贵州省地形上看,贵阳市位于云贵高原背风坡,海拔高度 1255 m,向南、北和东侧海拔高度递减,这样云贵高原东侧下沉气流与南面来的暖湿空气汇合,较易在贵阳南面发生对流性天气。

2.4 天气背景

若对流发生时西南涡与西南气流同时存在,则以控制贵州省的天气系统为主进行统计。贵阳地区对流多发生在西南气流和西南涡的天气形势下,分别有 245 和 175 次,占总对流个例的 44.46% 和 31.76%,西南气流伴有低涡 68 例,其中西南涡

61 例,西北涡 7 例。从类型上进一步细分,断裂线状类在西南气流天气背景下发生最多,达到 51 次,在偏东气流的天气形势下出现次数较其他类型多(19 次);先导层云和合并单体型在西北气流天气形势下没有出现。

西太平洋副热带高压(以下简称副高)是影响我国降水的重要天气系统,副高位置的移动对降水有显著影响。551 个对流系统个例中,高层伴随副高西伸至湖南、贵州一带的个例 189 例,其中 7 月最多,达到 73 例,8 月次之,5 月最少(图略)。这与我国雨带的移动有密切关系,7 月中旬从江淮梅雨进入华北雨季,雨带北跳停滞在我国华北和东北一带,500 hPa 副高脊线北进至 $25^\circ\sim 28^\circ\text{N}$,副高脊线北移常与西伸相结合,此时,贵州省多位于副高外围的西侧或西南侧,受偏南气流影响,更易发生对流性降水。

3 典型个例分析

3.1 概况

根据以上对贵州省对流性雷达回波形态特征的统计,单体型、线状型和区域型是贵州省对流性雷达回波的重要组织形式,因此下面以三类典型对流性降水过程为代表进行详细分析,以期对其中降水特征有进一步了解。

2014 年 7 月 21 日 23 时至 22 日 01 时发生在镇宁附近的移动单体过程,生命史约 1.67 h,移速约 $48.93\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,成熟阶段反射率因子达到 48 dBz,降水量不大;2015 年 6 月 2 日 08 时至 3 日 08 时,6 月 2 日傍晚和 3 日凌晨出现两次线状 MCS 过程,生命史分别为 4.9 和 5.33 h,有明显的径向速度辐合,贵州省中部出现强降水天气,其中石阡日降水量超历史次极值(238 mm);2014 年 6 月 2 日 23 时至 3 日 09 时一次区域型 MCS 生命史约 9.8 h,贵州省

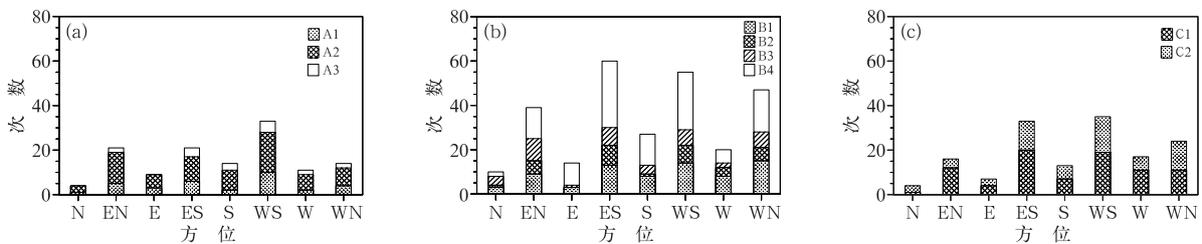


图 4 同图 3,但为对流回波的初生方位

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for initial azimuth of convective radar echoes

中部出现大范围强降水,平坝6h降水量高达187.7mm。

3.2 降水特征

2014年7月21日23:08时对流单体在镇宁南部发展,向西北方向移动,垂直液态含水量(VIL)很小,至23:30时,VIL超过 $10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,最大回波顶高达8km以上,22日00时,镇宁站雨强为 $12\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,之后降水量迅速减小。此次移动单体型过程降水范围很小,是局地的、非系统性的。

2015年6月2—3日两次线状MCS降水过程成熟阶段分别为2日17—20时、2日23时至3日02时,从3h降水量看,降水中心与MCS位置有很好的对应关系。傍晚降水集中在贵阳的东北方,降水中心位于瓮安、石阡一带,强降水中心断裂。从站点降水看,15—16时只有零星降水,且降水量不大,此时除瓮安附近有VIL大于 $20\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 外,其余区域VIL很小;16—17时,瓮安石阡以及修文降水量迅速增大,VIL强中心断裂,最大回波顶高位置与VIL相对应,最大雨强在印江达到 $30.1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,最大回波顶高达到16km,20时后,降水略有减弱,之后线状MCS再次发展,降水更强,至3日清晨,降水结束。此次强降水过程,贵州省位于高空槽前,850hPa伴有低涡东移,且低层有明显的辐合线。

2014年6月2日区域型对流降水过程,贵州省在低涡中心,西南气流控制贵阳地区,23时对流在长顺、罗甸以及丹寨附近发展,分布零散,VIL强中心分散,最大回波顶高达8km以上,系统向北移动。23—00时丹寨出现降水,雨强达到 $8.7\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,之后多站点出现瞬时降水,持续时间1~2h,至3日02:30,非嵌入区域型转为嵌入区域型,再次发展,降水更强,清晨平坝最大雨强达到 $81.9\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,09时后,系统减弱消亡。

三类对流性降水中,各站点降水开始时间不同,持续时间均不超过4h,具有短时阵性特征。单体型对流影响范围小,持续时间1~2h;而线状型和区域型降水过程持续时间长,降水范围广、强度大,与天气系统相联系。

4 结论

论文通过对贵阳地区2014—2016年5—8月551例对流性雷达回波的统计,以及对三类代表性

对流性降水过程的具体分析,得到以下结果:

(1) 线状型是贵阳地区最常见的对流性雷达回波形式,占总个例49.3%,其中断裂线状类发生次数最多。单体型多为局地强对流,水平尺度小、生命史偏短,而线状型和平面型多与天气系统相配合,水平尺度大、生命史较长。

(2) 贵阳地区对流多发生在中低层由西南气流和西南涡控制的天气形势下,高层副高对其发生发展也有影响;在7、8月,副高西伸的影响更大。

(3) 对流发生时段有双峰值特征,一个在午后13—15时,另一个在午夜01—03时;发生位置多位于贵阳西南和东南方向,这与贵阳市所处位置和周围地形密切相关。

(4) 三类具体代表性对流性降水事件的阵性较强、持续时间较短,其中单体型为局地降水且强度小,而线状型和区域型降水范围广、强度大,且与天气系统配合,这些都与统计结果相一致。

受观测资料所限,本文无法对热动力过程进行分析,因此只能从对流性雷达回波形态进行气候统计。此外,分类标准存在一定主观性,如区域型和线状型也可归类于多单体类型,而本文单体类型则指孤立单体。

参考文献

- 曹倩,张述文,曹帮军,等,2016. 超强不稳定和弱切变环境下一次飑线过程的雷达资料同化与分析[J]. 热带气象学报,32(5):645-655.
- 陈明轩,王迎春,高峰,等,2014. 雷达气候研究进展及其在城市区域强天气临近预报中的应用[J]. 气象科技进展,4(5):30-41.
- 高翠翠,李昉英,寇雄伟,等,2017. 中国东部暖季对流云与层状云的比例及与降水的对应关系[J]. 大气科学,41(3):490-500.
- 李少英,张述文,毛伏平,等,2017. 采用不同样本集同化地面观测对一次飑线过程的影响[J]. 大气科学,41(2):236-250.
- 卢瑞荆,樊兰峰,2010. 1961—2008年贵州暴雨时空分布特征[J]. 沙漠与绿洲气象,4(3):17-21.
- 杨静,杜小玲,齐大鹏,等,2015. 云贵高原东段山地MCC的普查和降水特征[J]. 高原气象,34(5):1249-1260.
- 杨秀庄,杜小玲,吴古会,等,2016. 云贵高原东段初夏辐合线锋生型暴雨研究[J]. 高原气象,35(4):920-933.
- 喻谦花,郑士林,吴葵,等,2016. 局部大暴雨形成的机理与中尺度分析[J]. 气象,42(6):686-695.
- 俞小鼎,2011. 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,1(3):31-41.
- 岳治国,牛生杰,梁谷,2008. 陕西渭北中尺度对流系统组织模型及灾害分析[J]. 南京气象学院学报,31(3):395-402.
- 张琪,任景轩,肖逸祥,等,2017. “5·6”四川盆地对流云团特征及触

- 发机制[J]. 气象, 43(12):1487-1495.
- 周明飞, 杜小玲, 熊伟, 2014. 贵州初夏两次暖区暴雨的对比分析[J]. 气象, 40(2):186-195.
- 周淑玲, 王科, 杨成芳, 等, 2016. 一次基于综合探测资料的山东半岛冷流暴雪特征分析[J]. 气象, 42(10):1213-1222.
- Bluestein H B, 2013. Severe Convective Storms and Tornadoes: Observations and Dynamics[M]. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Chen Xingchao, Zhao Kun, Xue Ming, 2014. Spatial and temporal characteristics of warm season convection over Pearl River Delta region, China, based on 3 years of operational radar data[J]. J Geophys Res, 119(22):12447-12465.
- Chen Xingchao, Zhao Kun, Xue Ming, et al, 2015. Radar-observed diurnal cycle and propagation of convection over the Pearl River Delta during Mei-Yu season[J]. J Geophys Res, 120(24):12557-12575.
- Dixon M, Wiener G, 1993. TITAN: thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting—A radar-based methodology [J]. J Atmos Oceanic Technol, 10(6):785-797.
- Fabry F, Meunier V, Treserras B P, et al, 2017. On the climatological use of radar data mosaics: possibilities and challenges[J]. Bull Amer Meteor Soc, 98(10):2135-2148.
- He Zhiwei, Zhang Qinghong, Sun Jun, 2016. The contribution of mesoscale convective systems to intense hourly precipitation events during the warm seasons over central East China[J]. Adv Atmos Sci, 33(11):1233-1239.
- Hoskins B J, Bretherton F P, 1972. Atmospheric frontogenesis models: mathematical formulation and solution[J]. J Atmos Sci, 29(1):11-37.
- Jirak I L, Cotton W R, McAnelly R L, 2003. Satellite and radar survey of mesoscale convective system development[J]. Mon Wea Rev, 131(10):2428-2449.
- Mapes B E, Warner T T, Xu Mei, et al, 2003. Diurnal patterns of rainfall in northwestern South America. Part I: observations and context[J]. Mon Wea Rev, 131(5):799-812.
- Parker M D, Johnson R H, 2000. Organizational modes of midlatitude mesoscale convective systems[J]. Mon Wea Rev, 128(10):3413-3436.
- Romatschke U, Medina S, Houze R A Jr, 2010. Regional, seasonal, and diurnal variations of extreme convection in the South Asian region[J]. J Climate, 23(2):419-439.
- Steiner M, Houze R A Jr, Yuter S E, 1995. Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data[J]. J Appl Meteor, 34(9):1978-2007.
- Weckwerth T M, Parsons D B, 2006. A review of convection initiation and motivation for IHOP_2002[J]. Mon Wea Rev, 134(1):5-22.