

重庆铜梁雷暴大风雷达回波特征 统计分析

周燕秋^{1*}, 喻琴昆^{2#}, 王志毅³

¹重庆市铜梁区气象局, 重庆

²四川省自贡市气象局, 四川 自贡

³重庆市气象局, 重庆

收稿日期: 2023年10月7日; 录用日期: 2023年11月8日; 发布日期: 2023年11月20日

摘要

本文利用铜梁地区2012~2021年的雷达资料配合大风的实况观测资料, 根据雷暴大风的定义, 筛选出18例雷暴大风天气个例, 并详细分析每个个例中的雷达回波特征, 得到以下结论: (1) 铜梁的雷暴大风过程基本发生在汛期(4~9月), 8月是汛期发生雷暴大风频率最高的, 9月份几乎不发生; (2) $CR \geq 50$ dbz的最大组合反射率因子强度是雷暴大风(8级)产生的阈值, $CR \geq 60$ dbz是产生9级以上雷暴大风的阈值; (3) ET值 ≥ 12 km可以视为雷暴大风发生的理论阈值, VIL值 ≥ 15 kg/m²是铜梁雷暴大风过程可能发生的阈值。

关键词

雷暴大风, 反射率因子, 回波顶高, 垂直液态含水量

Statistical Analysis of Radar Echo Characteristic of Thunderstorm Gale in Chongqing Tongliang

Yanqiu Zhou^{1*}, Qinkun Yu^{2#}, Zhiyi Wang³

¹Meteorological Bureau of Chongqing Tongliang, Chongqing

²Meteorological Bureau of Sichuan Zigong, Zigong Sichuan

³Meteorological Observatory of Chongqing, Chongqing

Received: Oct. 7th, 2023; accepted: Nov. 8th, 2023; published: Nov. 20th, 2023

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 周燕秋, 喻琴昆, 王志毅. 重庆铜梁雷暴大风雷达回波特征统计分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(6): 1184-1191. DOI: 10.12677/ccrl.2023.126122

Abstract

This paper, by using the doppler weather radar along with the live observation of wind ranging from 2012 to 2021 in Tongliang, according to the definition of thunderstorm gale, selected eighteen cases of thunderstorm gale and thoroughly analyzed the characteristics of radar echo characteristics in each case. The conclusions are as follows: (1) The thunderstorm gale occurs mainly in flood season (from April to September), with the highest frequency in August and the rarely occurrence in September; (2) While the maximum composite reflectance factor intensity of $CR \geq 50$ dbz constitutes the threshold of thunderstorm gale (Grade 8 on the Beaufort scale), $CR \geq 60$ dbz constitutes the threshold of thunderstorm gale above Grade 9 on the Beaufort scale; (3) ET value ≥ 12 km can be regarded as the theoretical threshold of thunderstorm gale and VIL value ≥ 15 kg/m² is the possible threshold of the thunderstorm gale in Tongliang district.

Keywords

Thunderstorm Gale, Reflectivity Factor, Echo Tops (ET), Vert Integrated Liquid (VIL)

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

雷暴大风是一种由大气对流活动导致的灾害性天气，具有突发性强、持续时间短、致灾性强等特点，经常给农业、工业、养殖业等造成大量经济损失，对其的准确预报一直是短临预报工作的重难点。它有多种产生机制，主要因对流风暴的强下沉气流而造成，或者因为冷池密度流或者高空水平动量下传的作用而产生。研究发现，当对流层中层有干空气侵入时，下沉气流具有较大的不稳定性，同时对流层低层环境大气的温度直减率较大、中低层水平风垂直切变均有利于雷暴大风的出现[1] [2] [3]；梁建宇等[4]、孙虎林[5]等认为雷暴大风的产生，高层冷空气侵入、低层增暖是大尺度条件，低层和地面辐合、干线是触发条件。随着我国多普勒雷达组网的建成，从中小尺度的角度分析雷暴大风逐渐成为研究重点，多从大风的雷达回波特征及其演变等角度入手。经概括，对于雷暴大风的雷达识别指标主要包括：对流组织类型、中层径向辐合、风暴移动速度、回波质心下降、低仰角风速大值区和辐散等[6] [7] [8]。

近年来重庆铜梁也多次出现雷暴大风天气。本文将利用 2012~2021 年的雷达资料配合大风的实况观测资料，对铜梁地区发生的雷暴大风天气的时空特征进行统计分析。通过对其天气现象发生时雷达反射率、回波顶高、累积液态水含量等指标进行分析，提炼出适应于本地化的雷暴大风天气发生发展的雷达特征产品的指标范围，有效提高大风天气监测预报预警服务水平和气象防灾减灾能力。

2. 资料与方法

2.1. 雷暴大风个例的筛选

雷暴大风是指，某天(即当日 20 时至翌日 20 时)既观测到瞬时风力 ≥ 17.2 m/s 的大风又观测到雷暴，则计为一个雷雨大风日[9]。根据对 2012~2021 年间的雷暴大风个例进行统计分析，近 10 年铜梁本站出现 17.2 m/s 以上的雷暴大风个例有 18 个，均发生在汛期(4~9 月)(如表 1)。

Table 1. Screening results of thunderstorm gale processes in Tongliang from 2012 to 2021
表 1. 2012~2021 年铜梁雷暴大风过程筛选结果

极端大风出现日期	极端大风出现时间	极大风速(m/s)	风力等级
2013/5/29	02:48	17.4	8
2013/8/1	02:17	22.2	9
2014/4/19	02:48	18.1	8
2015/4/2	02:53	20.5	8
2015/5/1	05:16	17.4	8
2015/5/8	01:57	18.2	8
2016/8/3	02:13	17.2	8
2016/8/6	20:00	18.5	8
2016/8/7	20:03	21.6	9
2017/5/3	06:03	17.2	8
2017/8/3	17:41	30.3	11
2018/4/5	05:52	17.4	8
2018/5/22	05:12	18.5	8
2018/8/2	20:41	17.2	8
2018/8/5	15:31	18.1	8
2018/8/11	17:35	17.8	8
2019/6/5	04:47	30.3	11
2019/7/22	15:14	21.7	9

2.2. 雷达特征产品的选取

考虑强对流生成的三要素(层结不稳定、水汽、抬升触发机制),因而在选取雷达特征产品的时候也应围绕着对流单体发展强度(回波顶高 ET、回波组合反射率 CR)、水汽条件(垂直液态水含量 VIL)来重点分析与总结。

3. 雷暴大风的回波特征分析

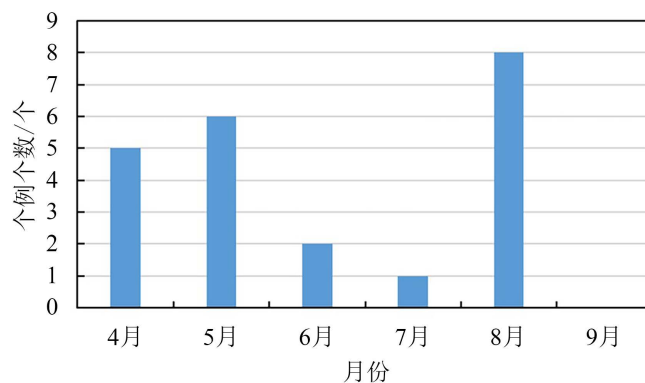


Figure 1. Monthly statistics of thunderstorm gale in Tongliang from 2012 to 2021
图 1. 2012~2021 年铜梁雷暴大风逐月统计图

雷暴大风在 8 月份出现次数最多, 占比 36%, 其次为 5 月, 占比分别为 27%, 从逐月的雷暴大风统计结果也可以看到(图 1), 近十年里 8 月是汛期发生雷暴大风频率最高的, 其次是 5 月、4 月, 6、7 月发生雷暴大风次数较少, 9 月份几乎不发生。4 月、5 月作为春夏转换的过渡时期, 较易发生雷暴大风比较正常。反而在副高稳定控制重庆地区的盛夏(8 月), 是雷暴大风的高发期。实际业务工作中又很难及时准确的把握住完整清晰的出流边界, 因而这类型的雷暴大风天气存在着一定的预警难度。

3.1. 回波反射率的统计分析

由于每次雷暴大风过程对应的雷暴单体可能是多个同时发展或单一强雷暴单体长时间维持, 因而对于雷暴大风过程最强反射率中心的分析也应从单一雷暴单体出发, 首先对从历史实时资料中筛选得到的 18 个雷暴大风个例进行相应的组合反射率产品特征统计分析。

通过分析所有过程发生时段及前后的雷达回波的组合反射率图像, 对 18 个雷暴大风天气过程的反射率形态进行了分类, 类别主要包括孤立块状、零散块状、带状、片状及多形态五种(图 2), 孤立块状指反射率图像呈现单一的块状单体分布, 零散块状指图像呈多个独立的块状单体相对独立的分布, 带状指图像呈现多个单体且生成与移动方向一致的线状分布, 片状指图像由大片的低反射率回波伴随较强反射率中心的回波分布, 多形态指图像由以上两种或多种的组合或者是存在有一种到另一种的演变而成。

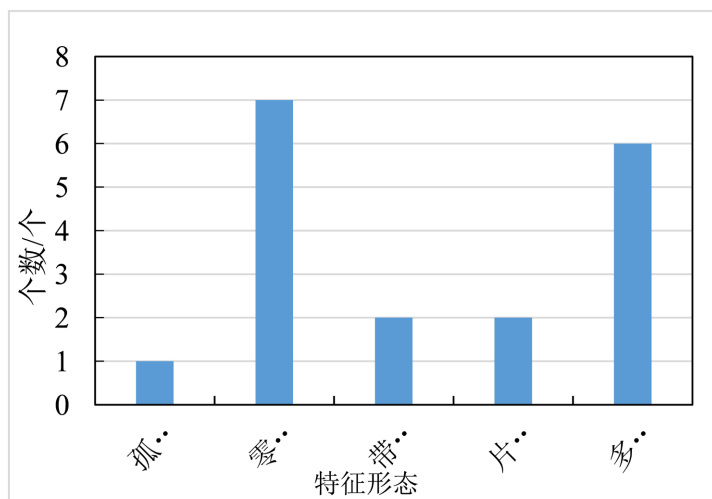


Figure 2. Characteristic morphology statistics of the combined reflectivity of thunderstorm gale in Tongliang from 2012 to 2021

图 2. 2012~2021 年铜梁雷暴大风组合反射率 CR 的特征形态统计

分析发现近十年雷暴大风个例的回波形态分布较为平均, 几种回波形态的个例均有发生, 且发生频率也较为接近。大风发生持续时间相对更长的过程往往伴随着多个单体组合而成的多形态特征分布, 以零散块状-带状组合更为常见。同时, 从组合反射率最强反射率因子的强度统计结果来看(表 2 所示), 强度表现的更强的大多在零散块状、孤立块状这两类形态中, 因为有超级单体的发生发展使得相应的最强回波反射率也更强, 能发展到 65 dbz 以上的强度, 而带状、片状及多形态的多单体回波形态则表现出中等强度特征, 大多发展到 55 dbz 左右的强度。从所有统计结果来看, $CR \geq 50$ dbz 的最大组合反射率因子强度是雷暴大风(8 级)产生的预警阈值, 通常产生 8 级大风的最大组合反射率因子范围在 50~55 dBz 之间, 而产生极端大风(9 级以上大风)的最大组合反射率因子阈值为 ≥ 60 dbz。

Table 2. Characteristic values of combined reflectivity during the thunderstorm gale processes in Tongliang from 2012 to 2021
表 2. 2012~2021 年铜梁雷暴大风过程组合反射率因子特征值

雷暴大风出现日期	雷暴大风出现时间	极大风速 /m·s ⁻¹	风力等级	特征形态	最大组合反射率因子 /dBz
2013/5/29	02:48	17.4	8	多形态	55
2013/8/1	02:17	22.2	9	零散块状	65
2014/4/19	02:48	18.1	8	多形态	50
2015/4/2	02:53	20.5	8	多形态	65
2015/5/1	05:16	17.4	8	带状	50
2015/5/8	01:57	18.2	8	片状	45
2016/8/3	02:13	17.2	8	孤立块	60
2016/8/6	20:00	18.5	8	多形态	60
2016/8/7	20:03	21.6	9	零散块状	60
2017/5/3	06:03	17.2	8	片状	55
2017/8/3	17:41	30.3	11	零散块状	65
2018/4/5	05:52	17.4	8	多形态	50
2018/5/22	05:12	18.5	8	带状	55
2018/8/2	20:41	17.2	8	多形态	55
2018/8/5	15:31	18.1	8	零散块状	55
2018/8/11	17:35	17.8	8	零散块状	55
2019/6/5	04:47	30.3	11	零散块状	65
2019/7/22	15:14	21.7	9	零散块状	60

3.2. 回波顶高 ET 的统计分析

回波顶高是在 ≥ 18 dbz 反射率因子被探测到时, 显示以最高仰角为基础的回波顶高度。因而常用来对最高顶定位, 判识风暴体。

从表 3 给出的各个过程发生时段的最高回波顶高可见, 对应雷暴大风发生的回波单体发展高度整体还是较高, ET 值 ≥ 12 km 可以视为一个理论阈值, 且对流发展最强阶段很多单体能发展到 14 km 以上的高度。经对每种回波形态对应的过程中最高回波顶高, 发现以下特征: 片状回波的回波顶相对来说较低, ET 值多在 12 km 以内, 块状、带状回波 ET 值偏高, 多在 14 km 以上, 个例中最大发展到了 21 km。

同时考虑对雷暴大风过程时刻前后的回波顶高度也进行了统计, 以期能够对雷暴大风开始及结束的一个相应特征值进行总结, 以提升雷暴大风预报的提前量及准确率。经过统计分析, 将雷暴大风过程回波顶高发生前、中、后的时序变化分为五个类别: 1、逐渐增高; 2、逐渐降低; 3、先减再增; 4、先增再减; 5、稳定变化。经分析发现, 从雷暴大风发生前、中、后期保持同一变化趋势特征的回波顶高, 即逐渐增加及逐渐减少的回波顶高对应的大风过程表现出的最显著特征为过程持续时间较短, 大风只出现并维持在两到五个体扫(12~30 分钟左右)的时间。而带有趋势变化的先增后减及先减后增的类型则对应了较长的大风过程持续时间(维持六个体扫以上)。

Table 3. Characteristic values of ET during the thunderstorm gale processes in Tongliang from 2012 to 2021
表 3. 2012~2021 年铜梁雷暴大风过程回波顶高特征值

雷暴大风出现日期	雷暴大风出现时间	极大风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	ET/km
2013/5/29	02:48	17.4	12
2013/8/1	02:17	22.2	16
2014/4/19	02:48	18.1	16
2015/4/2	02:53	20.5	12
2015/5/1	05:16	17.4	12
2015/5/8	01:57	18.2	9
2016/8/3	02:13	17.2	16
2016/8/6	20:00	18.5	18
2016/8/7	20:03	21.6	15
2017/5/3	06:03	17.2	12
2017/8/3	17:41	30.3	17
2018/4/5	05:52	17.4	9
2018/5/22	05:12	18.5	14
2018/8/2	20:41	17.2	21
2018/8/5	15:31	18.1	18
2018/8/11	17:35	17.8	16
2019/6/5	04:47	30.3	17
2019/7/22	15:14	21.7	17

3.3. 垂直积分液态水含量 VIL 的统计分析

东高红等[10]利用天津雷达垂直积分液态水含量(VIL)资料的分析结果中指出 VIL 值达到 30 kg/m^2 是地面灾害性大风出现的阈值,而当 VIL 值达到 40 kg/m^2 可视作大风的预警指标,地面灾害性大风的出现往往伴随 VIL 值达到最大后的快速减小,当再次跃增时就是大风开始的标志。为了验证这一结论在铜梁的适应性,重点对雷暴大风过程开始前及发生初期的几个时次进行统计分析。

Table 4. Characteristic values of VIL during the thunderstorm gale processes in Tongliang from 2012 to 2021 (unit: g/m^2)
表 4. 2012~2021 年铜梁雷暴大风过程垂直液态水含量特征值(单位: g/m^2)

雷暴大风出现日期	雷暴大风出现时间	极大风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	发生前 4 个体扫	发生前 3 个体扫	发生前 2 个体扫	发生前 1 个体扫	大风开始时刻	第 2 个体扫
2013/5/29	02:48	17.4	30	30	30	35	35	35
2013/8/1	02:17	22.2	20	30	45	65	65	65
2014/4/19	02:48	18.1	30	30	40	65	55	30
2015/4/2	02:53	20.5	65	65	50	65	65	65
2015/5/1	05:16	17.4	25	25	30	25	25	25
2015/5/8	01:57	18.2	10	10	15	15	15	15
2016/8/3	02:13	17.2	30	30	30	35	35	35

Continued

2016/8/6	20:00	18.5	65	35	55	65	65	65
2016/8/7	20:03	21.6	25	25	25	15	15	5
2017/5/3	06:03	17.2	15	15	15	15	15	15
2017/8/3	17:41	30.3	25	40	65	65	35	30
2018/4/5	05:52	17.4	15	15	15	15	15	15
2018/5/22	05:12	18.5	20	15	15	15	15	15
2018/8/2	20:41	17.2	50	35	35	25	30	40
2018/8/5	15:31	18.1	30	45	20	25	40	45
2018/8/11	17:35	17.8	15	25	30	45	60	25
2019/6/5	04:47	30.3	60	60	65	65	65	65
2019/7/22	15:14	21.7	25	25	30	35	35	25

表 4 给出了重庆铜梁近十年的典型雷暴大风过程发生前的 4 个体扫以及大风发生时段的前两个体扫对应的垂直液态水含量值统计情况, 从现有个例的 VIL 值来看, 大多数个例表现出随大风时刻临近 VIL 值逐渐增加的趋势(4/18), 部分个例伴随着 VIL 值逐渐减小(2/18), 部分个例伴随着 VIL 值的稳定维持(10/18), 能满足文献中提到的先达到最大值再快速减小, 并再次跃增的个例只有 2 次。

同时, 文献中提到的灾害性大风出现的阈值为 30 kg/m^2 , 而结合我们现有的个例资料来看, 铜梁雷暴大风的阈值应该低于该标准, VIL 值 15 kg/m^2 是本地区雷暴大风过程可能发生的预警阈值(参考所有雷暴大风过程 VIL 平均值与众数)。

4. 结论与分析

本文利用铜梁地区 2012~2021 年的雷达资料配合大风的实况观测资料, 根据极端强天气的定义, 筛选出 18 例雷暴大风天气个例, 并详细统计分析各个个例的雷达回波特征, 得到以下结论:

1) 铜梁的雷暴大风过程基本发生在 4~9 月。并且 8 月是汛期发生雷暴大风频率最高的, 其次是 4 月、5 月, 6、7 月发生雷暴大风次数较少, 9 月份几乎不发生。

2) 大风发生持续时间更长的过程伴随着多个单体组合而成的多形态特征分布, 强度表现得更强的大多在片状、孤立块状这两类形态中。 $\text{CR} \geq 50 \text{ dbz}$ 的最大组合反射率因子强度是雷暴大风(8 级)产生的阈值, $\text{CR} \geq 60 \text{ dbz}$ 是产生 9 级以上雷暴大风的阈值。

3) ET 值 $\geq 12 \text{ km}$ 可以视为雷暴大风发生的理论阈值, 且对流发展最强阶段很多单体能发展到 14 km 以上的高度。逐渐增加及逐渐减少的回波顶高对应的大风过程表现出的最显著特征为过程持续时间较短; 先增后减及先减后增的类型则对应了较长的大风过程持续时间。

4) VIL 值 15 kg/m^2 是本地区雷暴大风过程可能发生的预警阈值。

基金项目

重庆市铜梁区科技计划项目(2021015)。

参考文献

- [1] 廖晓农, 于波, 卢丽华. 北京雷暴大风气候特征及短时临近预报方法[J]. 气象, 2009, 35(9): 18-28.
- [2] 王秀明, 俞小鼎, 周小刚, 等. “6.3”区域致灾雷暴大风形成及维持原因分析[J]. 高原气象, 2012, 31(2): 504-514.

-
- [3] 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.
- [4] 梁建宇, 孙建华. 2009年6月一次飑线过程灾害性大风的形成机制[J]. 大气科学, 2012, 36(2): 316-336.
- [5] 孙虎林, 罗亚丽, 张人禾, 等. 2009年6月3~4日黄淮地区强飑线成熟阶段特征分析[J]. 大气科学, 2011, 35(1): 105-120.
- [6] 龙柯吉, 康岚, 罗辉, 等. 四川盆地雷暴大风雷达回波特征统计分析[J]. 气象, 2020, 46(2): 212-222.
- [7] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 311-337.
- [8] 王福侠, 俞小鼎, 裴宇杰, 等. 河北省雷暴大风的雷达回波特征及预报关键点[J]. 应用气象学报, 2016(3): 342-351.
- [9] 张雪晨, 朱珠, 刘高平. 安徽省近40年雷暴大风气候变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(12): 1621-1626.
- [10] 东高红, 吴涛. 垂直积分液态水含量在地面大风预报中的应用[J]. 气象科技, 2007, 35(6): 877-881.