

# 黔东南州一次冰雹天气过程分析

龙安华, 龙 源

贵州省黔东南州气象局, 贵州 凯里  
Email: 623898368@qq.com

收稿日期: 2021年8月7日; 录用日期: 2021年9月3日; 发布日期: 2021年9月13日

## 摘 要

本文利用常规气象观测资料和雷达资料, 对2018年4月13日黔东南的一次冰雹天气过程进行分析, 结果表明: 本次天气过程高空槽位于我省北部, 是在低层切变线和冷空气南下的共同影响下形成的; 超过25℃的T850-500以及一定的K指数、CAPE值等物理量, 配合适宜的0℃、-20℃高度形成了当天有利的降雹环境; 降雹前30 min的闪电统计中, 负闪占据明显优势, 闪电频次在降雹前有“跃增”现象和峰值的出现; 14个降雹点中有11个为两个单体风暴产生的, 降雹前雷达回波顶高均大于12 km, 强度在60 dBz以上; 降雹前VIL最大值在35 kg/m<sup>2</sup>以上, 且降雹前后的一段时间内呈先骤增后减小或维持一个较高VIL值的趋势, VIL值与冰雹大小之间没有较好的相关性。

## 关键词

冰雹, VIL, 闪电, 回波顶高

# Analysis of a Hail Weather Process in Qiandongnan Prefecture

Anhua Long, Yuan Long

Department of Meteorological Bureau of Qiandongnan Prefecture, Kaili Guizhou  
Email: 623898368@qq.com

Received: Aug. 7<sup>th</sup>, 2021; accepted: Sep. 3<sup>rd</sup>, 2021; published: Sep. 13<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Using conventional meteorological observation data and radar data, this paper analyzes a hail weather process in Qiandongnan on April 13, 2018. The results show that the high trough of this process of weather is located in the north of our province and is formed under the joint influence

of low-level shear line and cold air moving south; T850-500 above 25°C and certain physical quantities such as K index and Cape value, combined with the appropriate height of 0°C and -20°C, formed a favorable hail environment on that day; in the statistics of lightning 30 minutes before hail, negative lightning occupies an obvious advantage, and the lightning frequency has a “jump” phenomenon and peak value before hail; 11 of the 14 hail spots are caused by two single storms. The top height of radar echo before hail is greater than 12 km and the intensity is more than 60 dbz; the maximum value of VIL before hail is more than 35 kg/m<sup>2</sup>, and there is a trend of first sudden increase and then decrease or maintain a higher VIL value in a period of time before and after hail. There is no good correlation between VIL value and hail size.

## Keywords

Hail, VIL, Lightning, Echo Top Height

Copyright © 2021 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

冰雹作为一种贵州常见的气象灾害。在时间、范围、强度上难以在较大提前量上准确预测,冰雹的发生具有短时性、局地性、突发性的特点。冰雹发生时常伴随着强烈的雷暴、大风及短时强降水等天气过程。常给农业、社会经济及人民财产带来重大的损失。多年来,诸多气象学者从环流背景、物理量场和天气雷达回波特征等方面对冰雹进行了深入的研究,利用实时气象资料对冰雹进行临近预报预警目前研究的重点;然而冰雹天气隶属于中小尺度天气系统,其预报难度众所周知,如何最大限度的提升冰雹识别和预报预警的时间提前量是目前国内外对冰雹研究的主要内容,这也对及时发布冰雹预警和人工防御冰雹意义重大。

黔东南地处云贵高原向湘桂丘陵盆地过渡地带,每年的3~4月份是冰雹主要的发生时段。目前,已有学者对黔东南的冰雹研究已经取得了一些成果,如田菊萍[1]等研究表明黔东南属于明显的春季冰雹区,春季冰雹日数占年冰雹日数的62.7%;顾欣[2]等通过对黔东南冰雹事件统计分析得出黔东南冰雹事件集中度和集中期的平均和异常空间分布存在的很大区域差异,冰雹事件变得越来越不集中,但整体有明显提前趋势。近年来对黔东南的冰雹研究多集中在冰雹天气过程的中小尺度分析和雷达特征分析方面[3][4][5]。本文利用2018年4月13日的常规气象观测资料和黔东南三穗C波段多普勒天气雷达资料对黔东南此次降雹天气过程的降雹规律和特征进行分析研究,为黔东南的冰雹预报预警累积经验,为当地人工影响天气冰雹防御提供参考。

## 2. 天气实况及受灾情况

2018年4月13日,贵州黔东南州17时~23时(北京时,下同)自西向东出现冰雹天气过程,全州共7县(市)14乡镇降雹,如图1所示,降雹区域主要集中在中西部地区,降雹直径较大的有柳川15 mm、榕江塔石20 mm,最大的为剑河县城的25 mm。此次冰雹伴随着雷电、大风,造成麻江县、剑河县部分乡镇受灾,致使麻江县谷硐镇烤烟、太子参受灾严重,剑河县革东镇,柳川镇,久仰镇,太拥镇,仰阿莎街道办,南明镇,南寨镇,礐溪镇等八个乡镇不同程度受灾。其中剑河全县共2109人受灾,无人员伤亡;受损严重需要恢复重建8户33间;严重损毁房屋16户38间,一般受损房屋472户785间;果树受灾面积51.7公顷、主要受灾樱桃树,李子树等果树;直接经济损失645万元。

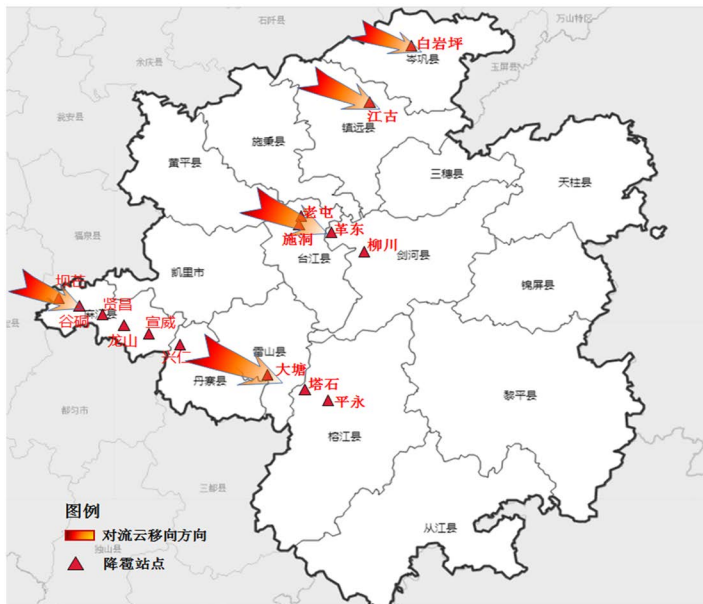


Figure 1. Distribution of hail falling points in Qiandongnan on April 13, 2018  
图 1. 2018 年 4 月 13 日黔东南冰雹落点分布图

### 3. 天气形势

4 月 13 日 08 时:

500 hPa: 高空槽位于四川东部到贵州省北部, 黔东南州大部受偏西气流影响。700 hPa: 低涡切变位于四川东部, 贵州省中部有浅槽, 温度露点差小于  $1.9^{\circ}\text{C}$ , 比湿  $5\sim 8\text{ g/kg}$ , 省东部湿度条件较好。850 hPa: 切变位于贵州省北部, 黔东南州受西南急流影响, 最大风速达到  $16\text{ m/s}$ , 温度露点差小于  $1^{\circ}\text{C}$ , 比湿  $13\text{ g/kg}$ , 湿度条件好。地面: 贵州省大部受热低压控制, 热低压中心位于贵州省西部。2018 年 4 月 13 日 08 时天气形势见图 2。

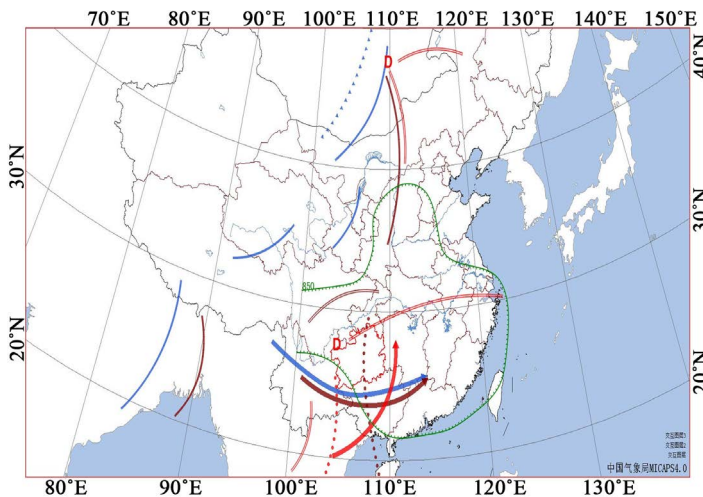


Figure 2. Weather situation on April 13, 2018  
图 2. 2018 年 4 月 13 日天气形势图

4 月 13 日 20 时:

500 hPa: 受偏西气流影响。700 hPa: 切变系统维持在川东至重庆地区, 贵州省维持西南气流, 省的中西部地区湿度条件增加, 贵阳、怀化温度露点差小于  $2^{\circ}\text{C}$ , 比湿  $8\sim 10\text{ g/kg}$ 。850 hPa: 切变位于黔东南州, 露点差小于  $2^{\circ}\text{C}$ , 比湿  $10\sim 16\text{ g/kg}$ , 南部边缘湿度条件更好。地面: 热低压西退, 黔东南州受冷空气影响。

综上所述, 受高空槽及低层切变共同影响, 加上热带低压控制, 随着地面冷空气的南下。大气低层常有暖平流, 近地面热力作用较强, 低层能量累积较快, 有利于热力对流的发生, 为这次多单体冰雹过程的形成提供了良好的环境。

## 4. 资料分析

### 4.1. 物理量分析

利用 2018 年 4 月 13 日贵阳 08 时和 20 时的探空资料, 如图 3 所示, 得出当天的  $0^{\circ}\text{C}$  层高度分别为 4830 m、4960 m,  $-20^{\circ}\text{C}$  层 7758.8 m、7763.5 m; Cape 值  $434.7\text{ J/kg}$ 、 $1352.5\text{ J/kg}$ , 表明当天有较为适宜的  $0^{\circ}\text{C}$  层和  $-20^{\circ}\text{C}$  层, 不稳定能量较好, 并呈逐步增大的趋势, 邝美清[6]等总结出当  $T_{850-500} \geq 25^{\circ}\text{C}$ , 上干下湿对冰雹的发生具有很好的指示意义。4 月 13 日 08 时、20 时  $T_{850-500}$  分别为  $23^{\circ}\text{C}$ 、 $26^{\circ}\text{C}$ , 呈逐步增大的趋势, 形成了“上暖下冷”“上干下湿”的垂直云层结构; 分析 13 日的 K 指数, 贵阳探空 08 时、20 时 K 指数分别为  $28^{\circ}\text{C}$ 、 $37^{\circ}\text{C}$ , K 值在逐渐增大, 大气层结越来越不稳定, 具备冰雹等强对流天气发生条件。

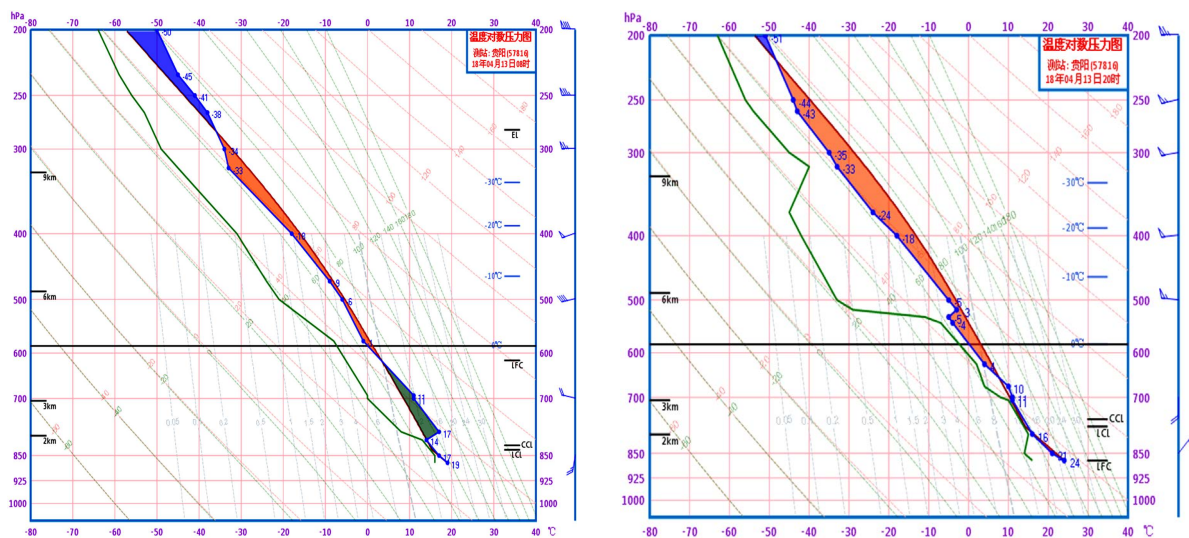


Figure 3. Sounding map of Guiyang on April 13, 2018 (08:00 and 20:00)

图 3. 2018 年 4 月 13 日贵阳探空图(08 时、20 时)

### 4.2. 卫星云图资料分析

云图特征分析 GMS 红外云图(图 4)上云的演变过程发现: 13 日 16:30 (图 4(a))在黔东南西北部有对流云团生成并不断发展壮大, 随后东北部的另一强对流云团合并, 由西向东偏南移动, 后与 19:30 (图 4(b))该云团从州东部的天柱、锦屏移除黔东南, 与此同时州的西部麻江、凯里一带有弱云生成, 并迅速发展形成强对流云团东移, 期间云结构变得紧密, 上风方边缘清楚, 下风方边缘模糊, 有云砧向东伸展, 到 21:30 (图 4(c))向东移至黔东南州中部地区, 期间州西南持续有云团生成发展, 之后东移与之前的强对流云团合并, 持续影响黔东南州中南部地区; 到 23:30 (图 4(d))云系范围不断扩大, 中心亮温超过了  $-60^{\circ}\text{C}$ , 其对应位置的榕江塔石和平永在 23:30、23:50 分别降下  $20\text{ mm}$ 、 $7\text{ mm}$  的冰雹。



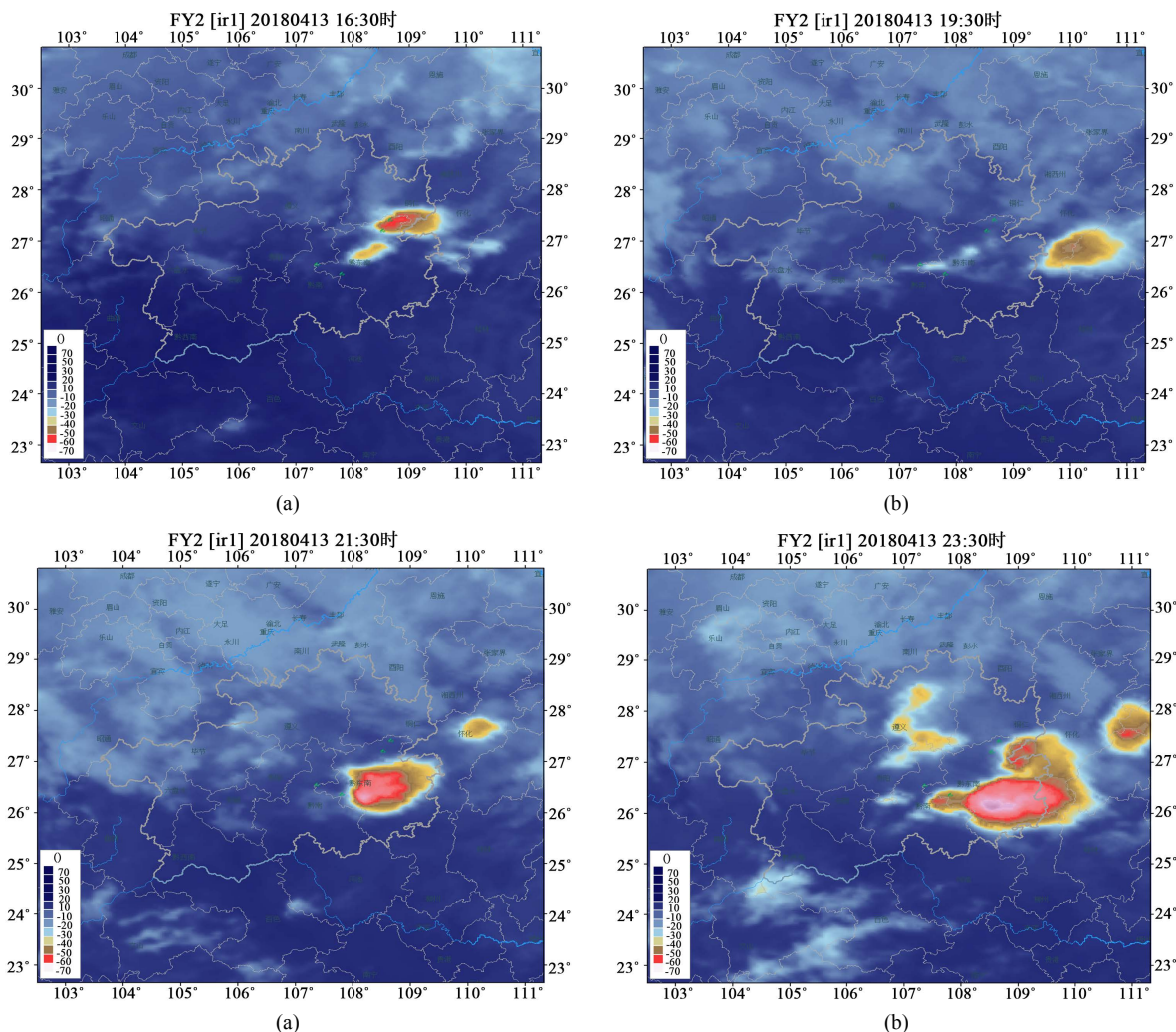


Figure 4. Satellite infrared cloud image of Qiongdongnan on April 13, 2018  
 图 4. 2018 年 4 月 13 日黔东南地区卫星红外云图

### 4.3. 闪电资料分析

冰雹作为强对流的产物之一，强烈的对流必然产生大量的大气放电现象，因此对强对流天气过程尤其是冰雹天气闪电活动的进行研究分析也是冰雹预测识别的一种重要手段。目前，国内在利用闪电资料在冰雹预测识别方面取得了许多的成果，如冯桂力[7]山东的闪电活动特征进行了分析，得出在雹云快速发展阶段，地闪频数存在明显的“跃增”；在减弱消散阶段，地闪频数显著减少，但正地闪比例有所提高。叶宗秀等[8]指出在甘肃平凉地区用 5 min 累计的闪电数  $\geq 100$  次可以识别测站 40 km 范围内有无冰雹云，其成功率为 80%以上；但南北地区冰雹发生前正负闪所占的比例差异极大，正闪占比呈北多南少的趋势。如周泓[9]对广西的研究分析得出降雹时段是负地闪的活跃期，正地闪出现频率极少，短时间内负闪频数远大于正闪频数，正负闪强度的比值大多都在 1.5 以上，5 min 闪电频次峰值都在 5 次以上，且降雹前峰值出现明显跃增。而冯桂力[7]对山东冰雹过程的地闪活动特征分析发现，雹暴中正地闪占总地闪的比例平均为 57.39%。较为普遍研究结论的是在降雹前出现闪电频数“跃增”和峰值，可很好的判别冰雹云和预测降雹时间。

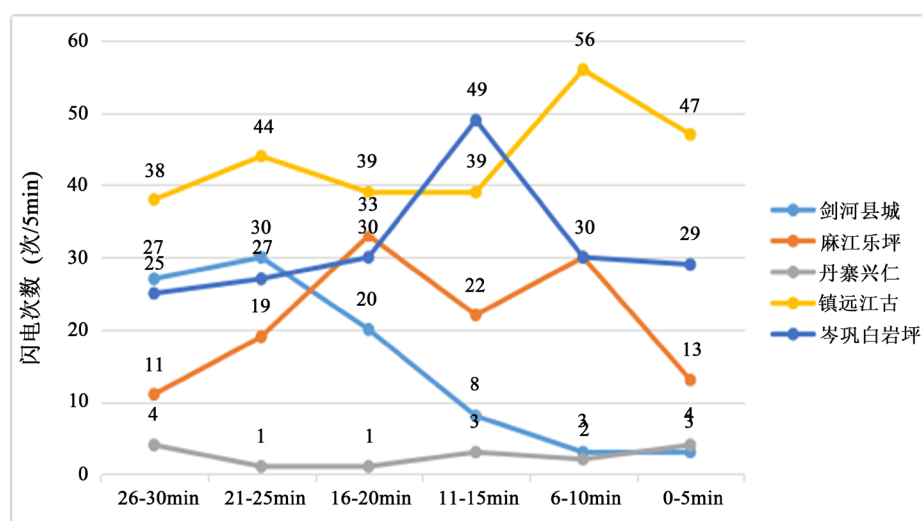
对本次降雹天气过程的 5 个降雹点降雹前的前 30 min 的闪电累积总数(表 1)进行统计分析，发现本

次过程负闪占据明显优势, 负闪与正闪的比值最小 3.28, 最大达 29.33; 从图 5 可以看出 5 个个例中每 5min 闪电频次均有增加的过程, 且均有峰值的出现, 这目前普遍的研究结论相吻合。从表 1 可以看出, 本文中选取的五个降雹点中 5 min 的闪电频次没有超过 100 次的, 最大仅为 56 次, 最小仅为 1 次, 与叶宗秀[8]的研究结果相差较大, 并不能很好表明闪电次数在黔东南降雹上的指示作用, 显然通过单个冰雹天气过程的闪电数据分析来说明黔东南冰雹与闪电的相关性是不合理的, 没有足够的说服力的, 对于不同的地域、地形中 5 min 的闪电频次对冰雹识别的指示作用需要对更多的个例研究分析才能下结论。

**Table 1.** Statistics of lightning 30 min before hail

**表 1.** 降雹前 30 min 闪电统计表

降雹地点	降雹时刻	闪电数据时段	闪电总数	负闪	正闪	负闪/正闪
剑河县城	17:49	17:19~17:49	91	88	3	29.33
麻江乐坪	20:05	19:35~20:05	128	121	7	17.29
丹寨兴仁	21:30	20:00~21:30	15	14	1	14
镇远江古	23:12	22:42~23:12	263	243	20	12.15
岑巩白岩坪	23:46	23:16~23:46	248	190	58	3.28



**Figure 5.** Lightning frequency distribution 30 min before hail on April 13, 2018 (times/5min)

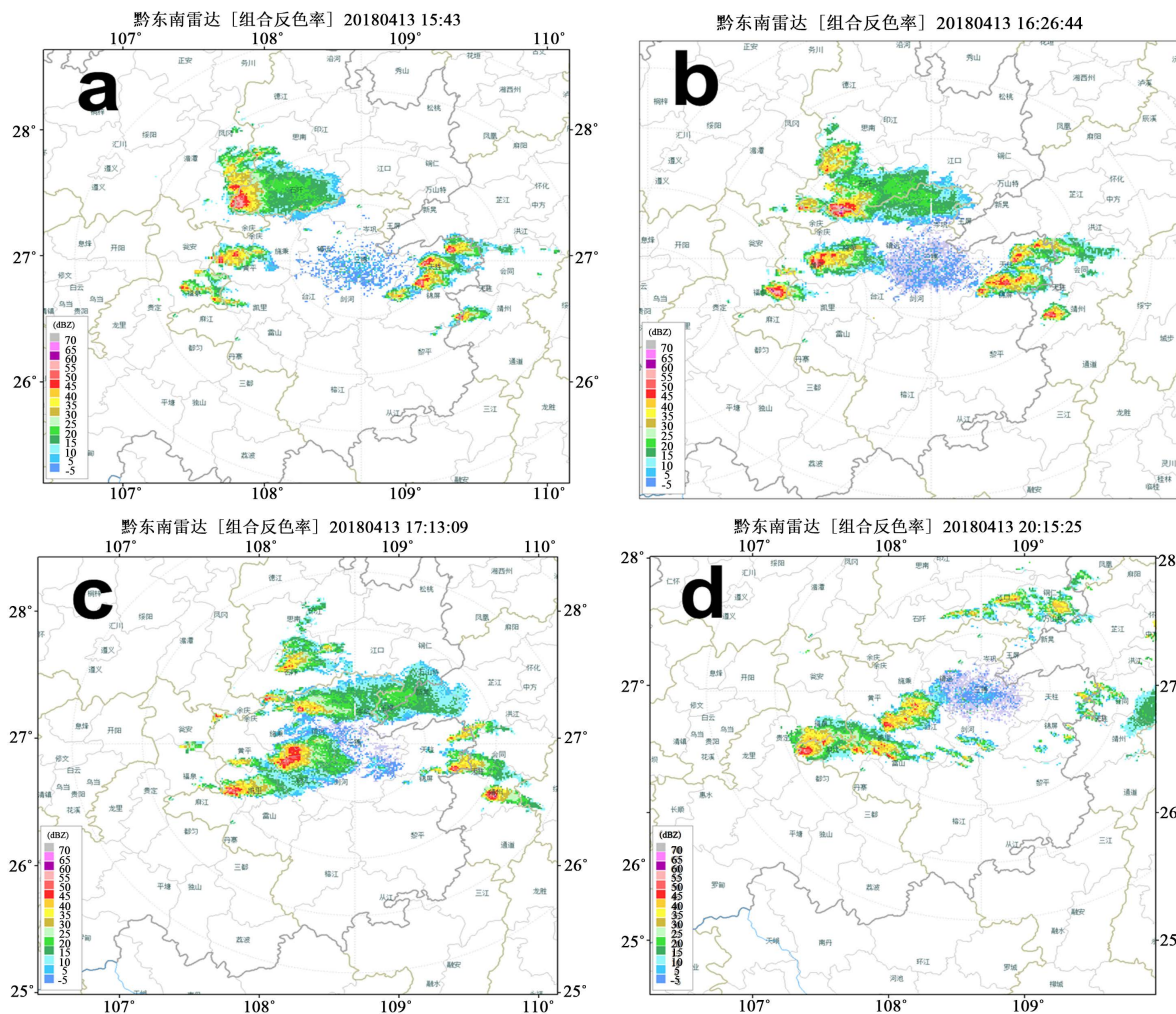
**图 5.** 2018 年 4 月 13 日降雹前 30 min 闪电频率分布图(次/5min)

## 4.4. 雷达资料分析

### 4.4.1. 雷达回波天气演变过程

根据黔东南多普勒雷达观测资料(图 6)显示, 13 日 15:43 (图 6(a))黔东南的东部和西部地区出现散状雷达回波, 16:26 (图 6(b))之后西部凯里、黄平一带回波迅速发展, 形成两个强的回波单体, 并向东南方向移动, 回波最强达到 65 dBz, 受其影响, 16:45 黔东南凯里庐山出现降雹, 而东部的回波减弱并移除东部地区; 17:13 (图 6(c))原西部黄平县境内回波逐渐加强向台江县北部移动, 中心强度高达 65 dBz, 并处于发展阶段。之后不久, 台江老屯、施洞, 剑河革东、柳川等多个乡镇降雹, 超强的单体回波伴随着雷电、大风造成剑河县多个乡镇遭受到不同程度的风雹灾害; 20:15 (图 6(d))麻江西部新生成一块强回波并持续发展, 此块回波向东南移过程中使麻江坝芒、谷硐、贤昌、龙山、宣威, 丹寨兴仁, 雷山大塘和榕

江塔石(20 mm)、平永(7 mm)多个乡镇发生降雹天气。综合分析,此次 14 个降雹点中有 11 个为两个单体风暴产生的,其持续时间长,冰雹直径大,破坏力强,为此次冰雹天气过程的主要雷达回波形态特征。其他 3 个降雹点为较弱的回波单体产生的,回波生命史较短,冰雹直径 4~8 mm,未造成冰雹灾害。



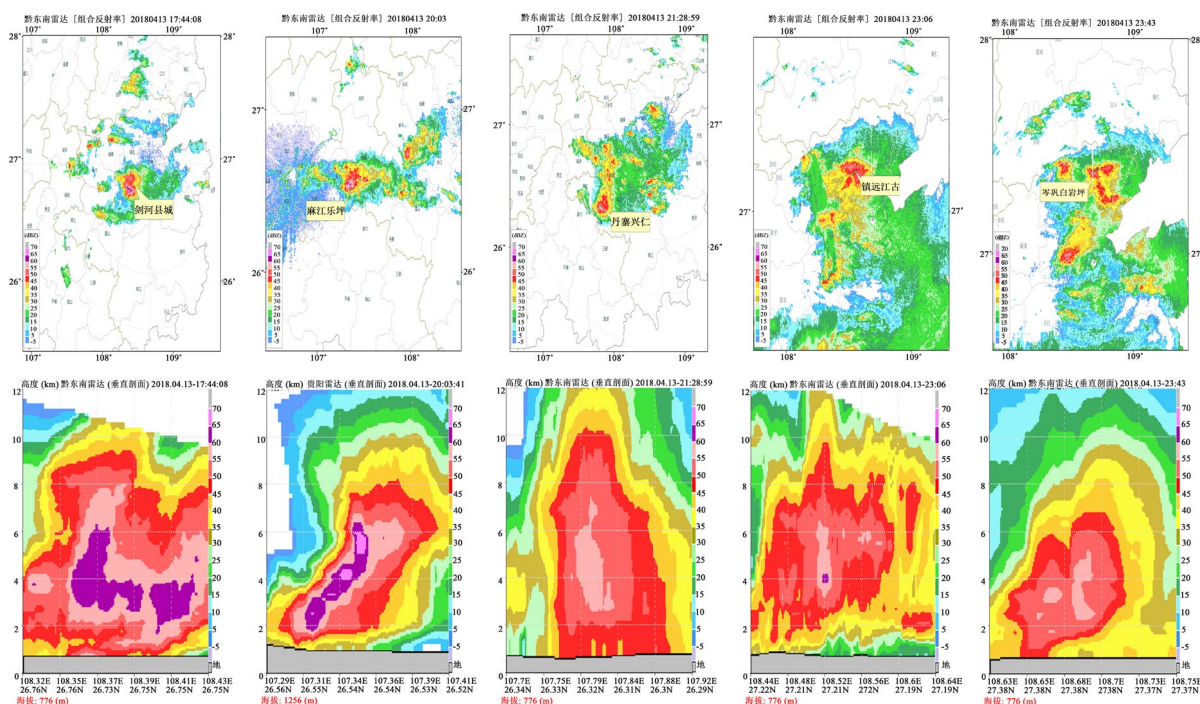
**Figure 6.** On April 13, 2018, Qindongnan radar combined reflectivity ((a) 15:43; (b) 16:26; (c) 17:13; (d) 20:15)  
**图 6.** 2018 年 4 月 13 日黔东南雷达组合反射率((a) 15:43; (b) 16:26; (c) 17:13; (d) 20:15)

#### 4.4.2. 雷达回波特征分析

多普勒雷达回波特征作为目前识别冰雹的重要手段之一,其在数据的实时性、降雹判断的准确性有明显的优势,也是目前研究的热点。本文选取 2018 年 4 月 13 日的人工影响天气作业站点的 4 个降雹和剑河县城的强冰雹,共 5 个降雹过程,对其多普勒雷达特征进行分析,选取 5 个降雹过程降雹前最近时次的雷达组合反射率因子(CR)及其剖面(图 7)作为研究对象,根据回波强度在 40~50 dBz 判定为一般冰雹云,回波强度在 51~60 dBz 判定为中等冰雹云;回波强度在 61~65 dBz 判定为强冰雹云的标准[10]。选取五次降雹个例中 2 个属于中等冰雹云,3 个属于强冰雹云;周永水[11]指出 45 dBz 回波冲过 0℃层是贵州冰雹发生的必要条件,且 45 dBz 回波冲过-20℃高度时可能会发生大冰雹。当天贵阳的探空资料显示-20℃高度约为 7.7 km,从表 2 的统计数据来看,45 dBz 强回波高度都在 8 km 以上,剑河县城 45 dBz 高度达到了 12 km,同时其冰雹直径也是本次冰雹天气过程中最大的(25 mm),另外 4 个 45 dBz 强回波高



度在 8~11 km 之间, 冰雹直径 4~5 mm 左右, 与 45 dBz 强回波高度没有很好的相关性, 但证实了 45 dBz 回波冲过 0°C 层是贵州冰雹发生的必要条件, 且 45 dBz 回波冲过 -20°C 高度时可能会发生大冰雹的理论。从表中还看出五个降雹过程回波强度均在 60 dBz 以上, 回波顶高在 12~14 km 之间, 符合李路长等[12]提出的最强回波强度 > 55 dBz 且回波顶高 ≥ 9 km 会发生冰雹的黔东南冰雹预警指标, 这也验证了李路长等提出黔东南冰雹预警标准的准确性和实用性。



**Figure 7.** Radar combined reflectance (top) and profile (bottom) at hailtime in Qiangdongnan on April 13, 2018  
**图 7.** 2018 年 4 月 13 日黔东南降雹时刻雷达组合反射率(上)和剖面(下)图

**Table 2.** Radar echo characteristics at hail time  
**表 2.** 降雹时刻雷达回波特征情况表

降雹地点	降雹时间	冰雹直径(mm)	dBzM (dBz)	ET (km)	H <sub>45dBz</sub> (km)
剑河县城	17:49~18:02	25	70	14	12
麻江乐坪	20:05~20:15	5	70	13	9
丹寨兴仁	21:30~21:31	5	60	13	11
镇远江古	23:12~23:13	4	65	12	10.5
岑巩白岩坪	23:46~23:47	5	60	13	8

#### 4.4.3. VIL 特征分析

VIL 作为判别强降水及降水潜力, 强对流天气造成的冰雹、暴雨等灾害天气的有效工具之一, 本文中统计 5 个降雹过程的前 5 个体扫和后 3 个体扫的 VIL 值(表 3), 并用折线图直观的进行表示出来(图 8), 从中分析得出, 兴仁降雹前后 8 个体扫近 40 min 的 VIL 维持着 70 kg/m<sup>2</sup> 较高水平, 其后造成其移动方向的雷山大塘, 榕江塔石、永平 3 个乡镇降下 6~20 mm 的冰雹。麻江乐坪因降雹时长达十分钟, 于是将降雹时段的 VIL 值也进行了统计, 发现虽然降雹后 VIL 值有一个短暂的增加, 达到了 65 kg/m<sup>2</sup>, 而 15 min 后降到了 50 kg/m<sup>2</sup>, 但降雹前后整体有一个增加后减小的趋势。从图 7 的麻江乐坪雷达回波剖面可以看出,



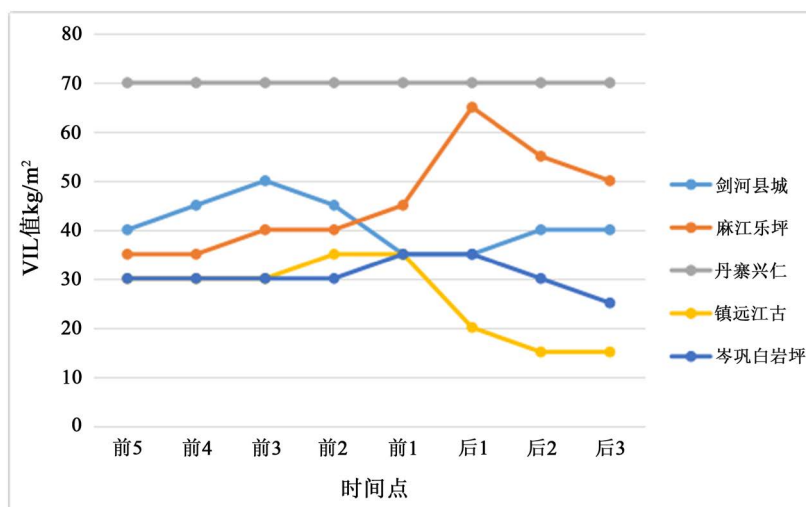
该块强回波有一个向着移动方向的倾斜, 由于 VIL 值是对垂直方向上的液态水含量进行的总量统计, 这就造成了 VIL 值会比实际值偏小, 也就解释了麻江乐坪为什么的 VIL 值降雹前和降雹时较小, 降雹后还出现了短暂的增加; 随着该块强回波的由麻江西部向东部移动, 造成麻江中东部 4 个乡镇降雹, 2 个点受到较为严重的雹灾, 因麻江降雹乡镇缺乏详细降雹时间和冰雹直径等信息, 难以对该块强风暴回波单体在降雹时的 VIL 值变化作一个详细的跟踪分析。除兴仁的降雹 VIL 维持着 70 kg/m<sup>2</sup> 外, 其他四个点的降雹前的 VIL 值都有明显的增加, 增量为 5~10 kg/m<sup>2</sup> 不等, 且降雹后 VIL 值有减小或者短暂的减小的趋势。这和目前利用降雹前的 VIL 值骤变来预测冰雹的研究结论基本一致。VIL 最大值在 35~70 kg/m<sup>2</sup> 之间, 其值大小与降雹大小没有良好的对应关系, 这和 Roger Ed-wards [13] 等通过对美国 400 多个冰雹事件统计分析得到的冰雹直径随着 VIL 的增大而增大, VIL 值在 45 kg/m<sup>2</sup> 以上的风暴一般会产生 1.9 cm 以上的冰雹, VIL 值在 55 kg/m<sup>2</sup> 以上一般会产生 3 cm 以上冰雹的研究结果并不相符, 杨帆等[14]在对黔东南一次冰雹天气过程的 VIL 值分析中得到的是和本文一样的结果。

**Table 3.** Distribution of VIL value before and after hail (unit: kg/m<sup>2</sup>)

**表 3.** 降雹个例降雹前后 VIL 值分布情况表(单位: Kg/m<sup>2</sup>)

降雹地点	前 5	前 4	前 3	前 2	前 1	降雹时间	降雹时	后 1	后 2	后 3
剑河县城	40	45	45	50	45	17:49~18:02	无体扫	35	40	40
麻江乐坪	35	35	40	40	45	20:05~20:15	50、55	65	55	50
丹寨兴仁	70	70	70	70	70	21:30~21:31	无体扫	70	70	70
镇远江古	30	30	30	35	35	23:12~23:13	无体扫	20	15	15
岑巩白岩坪	30	30	30	30	35	23:46~23:47	无体扫	35	30	25

注: 选取的数据为降雹前 5 个和降雹后 3 个体扫。



**Figure 8.** Broken line diagram of VIL value distribution before and after hail

**图 8.** 降雹个例降雹前后 VIL 值分布折线图

## 5. 结论

利用 2018 年 4 月 13 日的常规气象观测资料和黔东南三穗 C 波段多普勒天气雷达资料对此次过程的天气形势、常规物理量、闪电、雷达组合反射率(CR)及垂直积分液态水含量(VIL)等参数特征进行研究分析, 得出以下结论。

1) 2018年4月13日黔东南强冰雹天气过程是受高空槽和低层切变线共同影响下, 配合地面冷空气南下的共同影响下发生的。

2) 冰雹天气过程发生时, 较好的水汽条件, 超过 25℃的 850 hPa 与 500 hPa 温度差以及一定的 K 指数、CAPE 值等物理量, 配合适宜的 0℃、-20℃高度形成了当天有利的降雹环境。

3) 降雹前 30 min 的闪电数据进行统计分析, 得出负闪占据明显优势, 负闪与正闪的比值最小 3.28, 最大达 29.33; 每 5 min 的闪电频次在降雹前有“跃增”现象和峰值的出现。

4) 本次大范围降雹天气过程主要是由两个超级单体风暴产生的, 14 个降雹点中占了 11 个, 降雹前雷达回波顶高均大于 12 km, 强度在 60 dBz 以上, 45 dBz 高度均冲出了-20℃层, 最大降雹点的 45 dBz 高度达到了 12 km, 验证了当 45 dBz 高度均冲出了-20℃层, 可能发生大冰雹的理论。

5) 降雹前 VIL 最大值在 35 kg/m<sup>2</sup> 以上, 且降雹前后的一段时间内呈先骤增后减小或维持一个较高 VIL 值的趋势, VIL 值与冰雹大小之间没有较好的相关性, 有一个点降雹后 VIL 值出现增加的趋势, 这可能与该风暴单体的降雹前的向前倾斜有关, 较大的倾斜度让 VIL 值变小。

## 参考文献

- [1] 田菊萍, 黄艳, 顾欣. 黔东南冰雹气候变化特征及机理分析[J]. 贵州气象, 2010, 34(4): 11-14.
- [2] 顾欣, 张艳梅. 黔东南冰雹集中度与集中期的时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 627-632.
- [3] 龙天强, 罗辉, 朱克云, 等. 黔东南一次强冰雹过程的中尺度分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2016, 31(4): 433-442.
- [4] 李路长, 白慧, 曹凯明. 黔东南 2012 年 4 月 10 日大冰雹天气过程雷达回波特征分析[J]. 贵州气象, 2012, 36(5): 23-26.
- [5] 滕林, 贺德军, 陈军, 等. 黔东南一次大范围弱冰雹天气过程分析[J]. 贵州气象, 2017, 41(5): 39-45.
- [6] 邝美清, 蒋宗孝, 张家斌, 等. 2013 年 3 月 20 日三明市大范围冰雹过程分析[J]. 广东气象, 2014, 36(5): 36-40.
- [7] 冯桂力, 鄯秀书, 周筠珺. 山东地区冰雹云的闪电活动特征[J]. 大气科学, 2008, 32(2): 289-299.
- [8] 叶宗秀, 陈倩, 郭昌明, 等. 冰雹云的闪电频数特征及其在防雷中的应用[J]. 高原气象, 1982, V1(2): 53-59.
- [9] 周泓, 段玮, 赵爽, 等. 滇中地区冰雹的多普勒天气雷达及闪电活动特征分析[J]. 气象, 2014, 40(9): 1132-1144.
- [10] 张萍, 饶莲. 贵州省防雷作业有效性统计分析[J]. 贵州气象, 2009(3): 29-32.
- [11] 周永水, 周明飞, 原野. 多普勒雷达产品在贵州山区的降雹特征[J]. 贵州气象, 2012, 36(1): 40-43.
- [12] 李路长, 白慧, 杨胜忠, 等. 黔东南地区冰雹天气雷达临近预警指标研究[J]. 贵州气象, 2014, 38(1): 20-24.
- [13] Edwards, R. and Thompson, R.L. (1998) Nationwide Comparisons of Hail Size with WSR-88D Vertically Integrated Liquid Water and Derived Thermodynamic Sounding Data. *Weather & Forecasting*, **13**, 277-285.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1998\)013<0277:NCOHSW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1998)013<0277:NCOHSW>2.0.CO;2)
- [14] 杨帆, 白慧, 李路长. 黔东南州一次冰雹天气过程环境与雷达特征分析[J]. 贵州气象, 2013, 37(6): 16-20.