

覃皓,农孟松,赖珍权,等. 2020 年“1·24”广西大范围冰雹天气过程分析[J]. 气象研究与应用,2021,42(1):107–112.

Qin Hao, Nong Mengsong, Lai Zhenquan, et al. Analysis of large scale hail weather process in Guangxi on January 24, 2020[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(1): 107–112.

2020 年“1·24”广西大范围冰雹天气过程分析

覃 皓, 农孟松*, 赖珍权, 翟丽萍

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 2020 年 1 月 24–25 日, 广西出现近 20 年来范围最大的一次冰雹天气过程。利用常规观测资料、雷达、卫星以及再分析资料, 对此次天气过程进行分析和诊断。结果表明: (1) 500hPa 宽槽、高空急流、低层切变、地面冷锋以及辐合线相配合提供有利环流背景, 异常偏冷的中层导致大温度直减率, 大气不稳定增强; (2) 深层强垂直风切变、热力不稳定层结以及适宜的 0℃、–20℃层高度为冰雹产生提供适宜的热动力条件; (3) 对流云团呈“长椭圆”型, 具有造成区域性冰雹天气的典型特征, 雷达回波图上的回波悬垂结构、超过 60dBz 的强反射率因子、VIL 跃增、持久深厚中气旋以及高层辐散低层辐合等特征, 对于冰雹天气的识别和预警具有指示意义。

关键词: 冰雹; 不稳定层结; 垂直风切变; 边界层辐合线; 雷达回波特征

中图分类号: P458.1+21.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45–1356/P.2021.1.19 **OSID:**



引言

冰雹是广西主要的气象灾害之一, 具有局地性强, 持续时间短, 致灾性大等特点。多年来, 气象工作者从环流分型以及云图、雷达特征等方面对大范围冰雹过程进行了研究, 得出了一些具有指示意义的结论。俞樟孝等^[1]指出冷锋位置、边界层辐合线、潜在不稳定度和对流不稳定度这四个因子对于判断冷锋前有无大范围冰雹的发生具有重要意义^[1]。覃柱益^[2]对大范围冰雹的天气形势、落区、预报起始场以及冰雹产生的定性诊断问题进行了综合分析。陈见^[3]分析环流特点指出阿拉伯海高压、西太平洋副高偏强以及高原地区位势高度负距平的配置利于南支波动的产生, 进而使华南西部容易激发中小尺度对流系统, 导致冰雹较常年偏多。林开平等^[4]指出浮力能量的演变和天气尺度系统的配合与大范围冰雹过程密切相关。农孟松等^[5]将造成冰雹的环流形式进行了分型, 并指出高原东部低槽型造成冰雹的次数最多。廖胜石^[6]利用多普勒雷达产品结合天气图

资料分析了桂西一次大范围冰雹天气过程。梁维亮等^[7]发现 ω 方程与数值预报回报的结果相结合对区域性强对流时间和落区的总体趋势有较好的指示作用。翟丽萍等^[8]指出在云图上呈现长椭圆、上风方光滑为“V”型并沿下风方伸出卷云砧是广西区域性冰雹云团的典型特征。

广西的冰雹天气主要出现在 2–5 月份, 占全年总日数的 90% 以上, 其中以 3、4 月份最多, 前人的工作大多也集中于此时间段, 而对于出现在 1 月份的冰雹天气研究较少。除此之外, 一次强对流过程出现 30 站以上的冰雹观测记录也极为罕见。利用常规探空观测资料、欧洲中心 ERA5 再分析资料(分辨率 0.25°×0.25°)、多普勒雷达资料、风云 2G 卫星的相当黑体温度资料(TBB, 分辨率 0.1°×0.1°)对广西 2020 年 1 月 24 日一次罕见的大范围强对流冰雹天气进行综合分析, 总结 1 月份出现大范围冰雹过程的天气尺度条件及中尺度结构特征, 提高对冰雹天气发生的认识。

收稿日期: 2020–09–02

基金项目: 广西自然科学基金项目(2018GXNSFBA281178)、中国气象局预报员专项(CMAYBY2019–084)

作者简介: 覃皓(1991—), 男, 广西南宁人, 助理工程师, 主要从事灾害性天气及平对流层相互作用研究。E-mail: 289055112@qq.com

通讯作者: 农孟松, 主要从事灾害性天气预报和研究工作。E-mail: nmsong1997@163.com

1 天气过程实况

2020年1月24日下午14时至25日下午16时,广西出现了2000年以来范围最大的一次冰雹天气过程。冰雹的落区主要位于百色、河池、柳州、崇左、南宁、防城港、钦州、玉林8个市的41个县区,冰雹直径在3~50mm之间,其中小冰雹落区主要位于桂东北,而大冰雹落区主要位于桂西桂南,其中最大冰雹出现在百色市西林县,直径达到50mm。除此之外,此次过程还伴有雷暴大风和短时强降水,8个乡镇出现 $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上大风,31个乡镇出现短时强降水。

此次冰雹天气过程的范围之大,在广西雷达观测资料记录中是少有的。其中1月24日14时至23时左右主要为锋前暖区对流,强对流天气以大冰雹、雷电、短时强降水为主,25日为冷锋后的高架对流。在此主要讨论24日的锋前暖区对流过程。

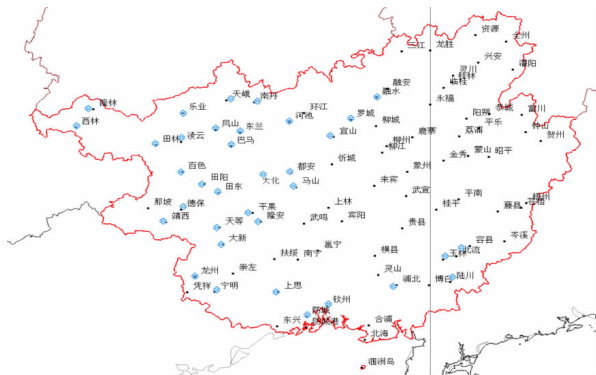


图1 2020年1月24日—25日冰雹落区分布

2 天气形势分析

2.1 影响天气系统

1月24日08时,500hPa上中高纬为两槽一脊的形势,副热带高压脊线稳定在 15°N 到 20°N 附

近,南支槽位于孟加拉湾与中南半岛之间,广西位于南支槽前正涡度平流区,具有天气尺度抬升背景。南支槽较宽,振幅较小,槽线距离对流触发的西边界约为4个经度。槽前等高线密集,存在一支西南风急流,急流轴位于桂北,风速达到 $28\sim 32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图2a),是造成深层强垂直风切变的原因之一。南支槽附近有冷槽,从四川盆地延伸至云南越南交界,广西上空异常偏冷, -12°C 温度线南压至了桂南,全区处于槽前24小时负变温区中,其中桂西24小时负变温达到 -2°C (图2b),槽前负变温与850hPa温度叠加有利于垂直温度递减率增大,增强对流不稳定^[9]。除此之外,从高原南部至云南一带不断有干空气入侵,广西上空500hPa均处在干区之中,相对湿度小于50%(图略)。而在700hPa上,南支槽位于孟加拉湾北部,落后于500hPa槽,在垂直方向上呈现出前倾槽的形势,也有利于大气不稳定层结的加强,为槽前暖区对流发生提供有利条件。

低层850hPa上,24日08时,切变线位于黔桂交界一带,东段呈东-西向,西段呈南-北向。在切变两侧,暖空气从中南半岛向东北方向输送,冷空气从湖南、贵州向南输送(图2c)。同时,广西上空850hPa与500hPa的温差大部达到了 24°C ,其中桂西超过了 26°C ,温度直减率大(图2c)。边界层925hPa上切变线已经南压至桂中,其南侧的东南风从南海源源不断输送水汽,桂南比湿达到了 $12\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,表明边界层具有良好的水汽条件。

24日14时,广西上空急流维持,南支槽东移引导切变线南下。此时地面上冷锋缓慢南压至桂中,冷锋前后为较强的东南风和东北风辐合,同时滇黔桂至广西越南交界存在东南风与西南风的辐合线,地面锋面与辐合线为对流提供了触发条件。

与历史同期1月份气候态相比,24日 $90^{\circ}\text{E}\sim$

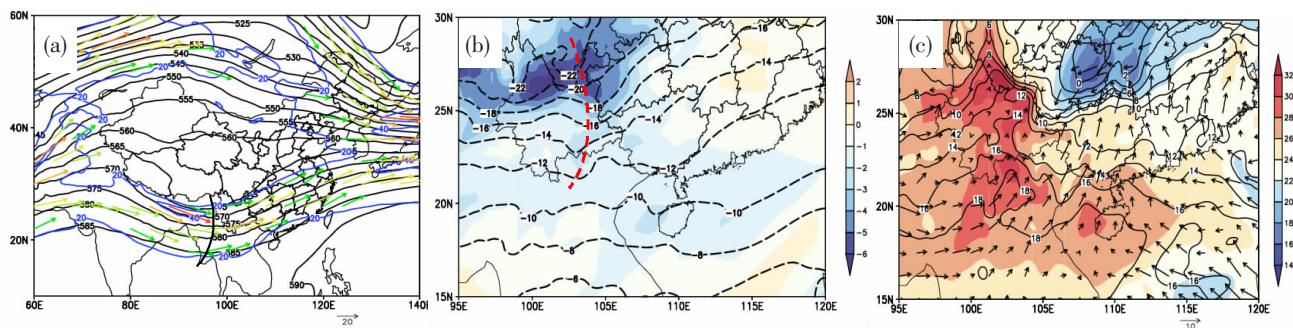


图2 2020年1月24日08时(a)500hPa位势高度(等值线,单位:dgpm)和风场(蓝线、风矢量, $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); (b)500hPa温度场(等值线,单位: $^{\circ}\text{C}$)和24h变温(填色,单位: $^{\circ}\text{C}$); (c)850hPa温度场(等值线,单位: $^{\circ}\text{C}$)、850hPa与500hPa温差(填色,单位: $^{\circ}\text{C}$)以及风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

110°E, 20°N~30°N 上空 500hPa 为位势高度负距平(图略), 偏低 1~4dagpm, 印度高压和西太副高偏强, 而高原地区为负距平, 在这样的环流背景下广西极易激发中小尺度强对流系统^[3], 为此次过程提供了天气尺度动力背景。温度场上, 广西上空 500hPa 异常偏冷, 温度与历史同期 1 月份相比为负距平, 其中桂西北为距平绝对值大值区, 温度偏低 5~6℃, 同时 500hPa 与 850hPa 的温差(T500-850)为-10~-7℃的负距平, 距平绝对值大值区位于桂西南, 达到-10℃(图略), 异常偏冷的中层以及大的温度直减率导致了不稳定层结的建立。

2.2 环境条件

此次过程主要发生在广西西部和南部, 因此分别选取百色和南宁探空站为桂西和桂南的代表站。24 日 08 时, 两个区域上空均呈现上干下湿的层结特征。百色湿层仅有 2km 的高度, 2km 以下温度曲线和露点曲线相差很小, 温度露点差在 1~2℃左右, 而在 2km 以上温度露点差迅速增大, 在 500hPa 左右达到了 25℃左右; 而南宁上空湿层更为深厚, 向上延展接近 3km, 3km 以下温度曲线和露点曲线几乎重合, 而在 4km 左右温度露点差迅速增大。

从能量条件看, 08 时南宁的对流有效位能(CAPE) 已经达到了 643.4J·kg⁻¹, 自由对流高度

(LFC)在 700hPa 以下(表 1), 表明该区域能量充足, 只需中低强度的抬升扰动就能促使不稳定能量释放; 而百色的 CAPE 值为 141J·kg⁻¹, 且存在一定的对流抑制, 此时对流还未发展。通过 14 时的温度 27.7℃和露点 17.3℃对探空进行订正后, CAPE 值达到了 2151.8J·kg⁻¹, 表明在对流发生前已经积累了非常可观的不稳定能量。另外, 两个站的 K 指数和沙氏指数(SI) 均指示大气具有较强的不稳定性。14 时, 百色站 K 指数达到了 41℃。

在动力条件上, 百色和南宁的探空显示近地面层为偏东风, 以上均转为偏西风, 700hPa 以上存在强的西南急流, 0~6km 垂直风切变分别为 32m·s⁻¹和 22m·s⁻¹(表 1), 均属于强的深厚垂直风切变, 利于对流风暴的组织化发展以及水平涡度向垂直涡度转化从而促进超级单体发展^[10,11]。

强冰雹的产生还需要合适的 0℃和-20℃层高度^[12-14]。百色和南宁的 0℃和-20℃层高度均分别在 3.6 和 6.6km 附近, 这样的高度不仅有利于冰雹的生成, 同时还使得降雹过程中的雹块不会因暖层过厚而在落地前融化。除此之外, 0℃和-20℃层的厚度在 3km 左右, 厚度区间内温度递减率较大, 表明条件不稳定性较大, 也有利于大冰雹的生成^[15]。

表 1 2020 年 1 月 24 日 08 时对流参数

	CAPE /J·kg ⁻¹	CIN /J·kg ⁻¹	K/℃	SI/℃	0~6km 垂直风 切变/m·s ⁻¹	零度层 高度/km	-20℃层 高度/km
百色	141	226	29.7	-3.14	32	3.6	6.6
南宁	643.4	55.7	38.5	-3.17	22	3.6	6.6

3 地形作用分析

此次过程的对流系统主要在桂西北和中南半岛北部一带触发, 并在高层引导气流的作用向东北移动, 在我区发展造成降雹。除了地面辐合线的动力抬升外, 地形的强迫抬升触发在本次过程中同样重要。24 日 12 时, 在中南半岛北部越南境内, 低层的偏南风与喇叭口地形呈约 45°夹角(图 3), 地形的抬升有利于对流的触发。同时该地区具有较强的热力不稳定条件($\theta_{se_{850-500}}$ 大值区), 对流一经触发就能得到快速发展。

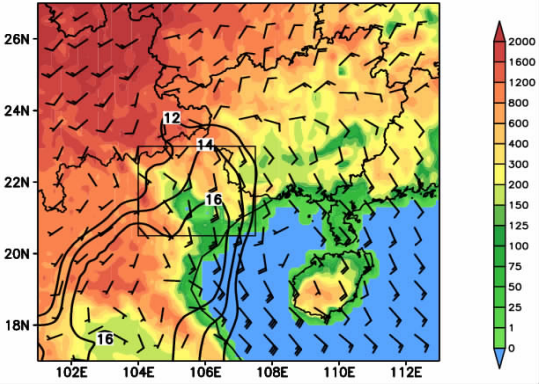


图 3 2020 年 1 月 24 日 12 时 925hPa 风场(单位:m·s⁻¹)、 $\theta_{se_{850-500}}$ 分布(等值线, ≥ 12 , 单位:K)和海拔高度(阴影, 单位:m)

4 云图和雷达回波特征

从 TBB 和雷达组合反射率分布可以看到,由于地形的作用,24 日 12 时已经有对流单体在越南东北部发展(图 4a,图 4d 中强回波 A)。14–20 时该对流单体发展加强为超级单体,在引导气流作用下向东北方向移动入境我区,经锋面动力抬升和不稳定能量释放后进一步发展,云团面积明显增大,TBB 低至 -58°C (图 4b),强回波面积增大,强度超过 65dBz (图 4e),且具有后向传播的特征,造成崇左、防城港、钦州和玉林一带的降雹,最大直径达到 30mm ,于 21 时左右减弱出境。

随着冷锋的南压,滇黔桂交界一带地面辐合线触发另一对流云团(图 4e 中强回波 B),随后向东北方向移动并不断发展,在强垂直风切变作用下向下风方向伸展出卷云砧,TBB 最低至 -56°C (图 4b),造成百色和河池部分县市的降雹,其中百色田林在 15

时 40 分左右出现直径达到 50mm 的落地冰雹,于 19 时左右减弱消亡(图 4c)。除此之外,16 时左右在百色、河池和南宁交界一带也有受锋面抬升原地触发的对流云团(图 4b,图 4e 中强回波 C 和 D),随后东北移造成河池、南宁和柳州的降雹。

18–22 时,高能舌由越南东北部伸向桂西南的形势维持,越南北部仍然不断有地形触发的对流云团(图 4c,组合反射率图 4f 上的强回波 E、F、G、H),入境后在锋面及低层切变作用下发展维持,造成百色、崇左、防城港和钦州多个县降雹。

此次过程中的冰雹云团在云图上表现为长椭圆形,上风方向呈“V”型并朝下风方向伸出很长卷云砧,具有造成广西区域性冰雹天气的典型特征^[8],在预报预警时具有一定的指示意义。雷达回波图像上部分强回波单体具有 $>1\text{h}$ 的较长生命史,能够移动较长距离并在多地降雹。

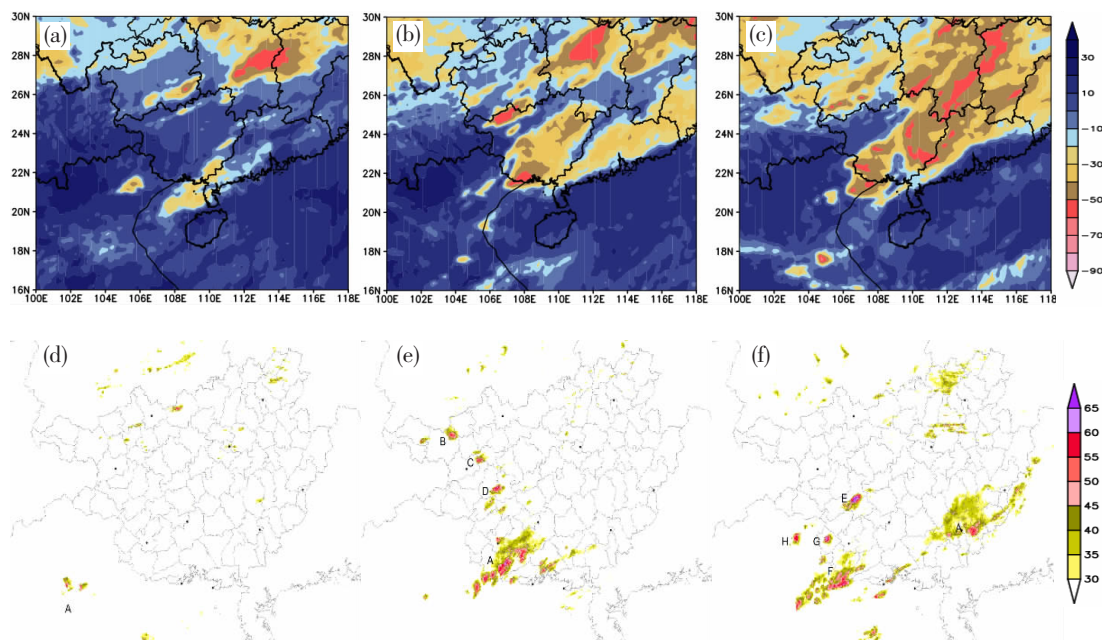


图 4 2020 年 1 月 24 日 12 时(a)、16 时(b)、20 时(c)的 TBB 分布(单位: $^{\circ}\text{C}$)以及 12 时(d)、16 时(e)、20 时(f)的雷达组合反射率($>30\text{dBz}$ 回波廓线,单位: dBz)

进一步选取造成 24 日 14:40 左右崇左宁明县降雹的对流单体进行分析。14:34 左右在崇左雷达 4.3° 仰角可以看到,位于雷达西南角 65km 处的宁明县西南部有一刚入境广西的对流单体,强度达到 60dBz ,在其后还跟随着一发展强盛的对流单体(图 5a)。广西这个季节的对流单体反射率因子一旦超过 60dBz 就表明该单体具有降雹的可能,此时已可以

考虑发布冰雹预警。沿对流单体前进方向(图 5a 中白线 AB)做剖面可以看到,该对流单体具有明显的回波悬垂特征,强反射率因子主体随高度向下风方向倾斜,回波顶伸展到 14km 左右,大于 50dBz 的强回波达到 8km 的高度,远高于 -20°C 层(6.6km)的高度(图 5b),这对于冰雹的预警具有指示意义^[16],可以视为预警信号发布最佳时机。

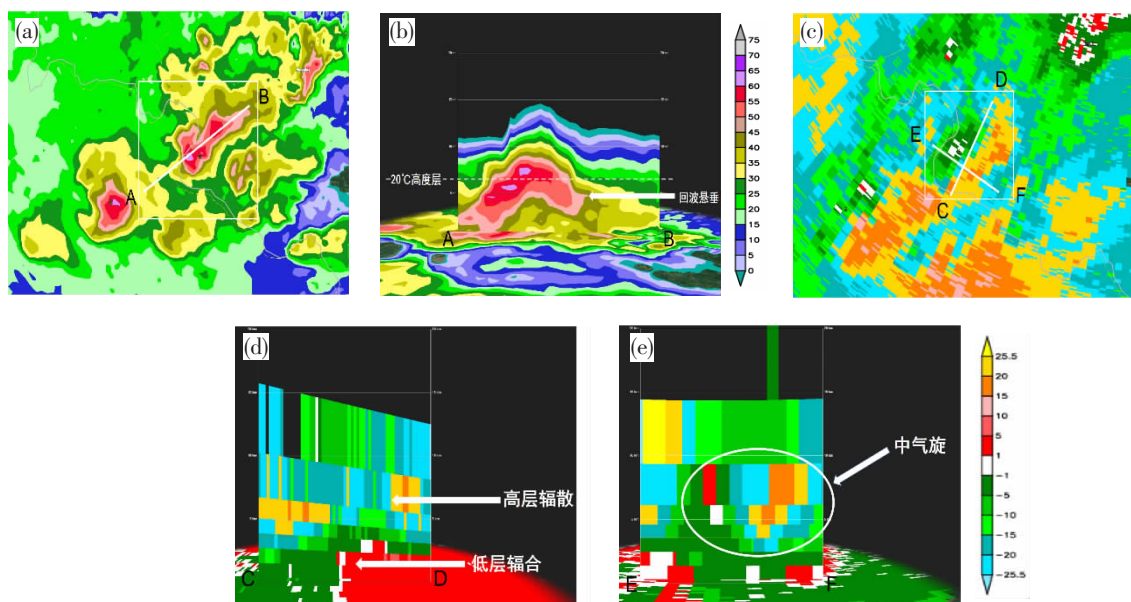


图5 2020年1月24日14:34崇左雷达4.3°仰角(a)基本反射率及(b)沿AB垂直剖面(单位:dBz), (c)基本径向速度,(d)沿CD雷达径向剖面以及(e)垂直雷达径向EF剖面(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

径向速度图上,3.4°、4.3°和6.0°仰角上都可以看到该超级单体的中气旋特征(图5c),从14:05开始持续7个体扫。沿209°雷达径向作如图白线CD的垂直剖面,可以看到在对流单体内部,高层和低层具有明显的风向切变。0–5km存在径向速度的辐合,而5–13km左右转为辐散,高层辐散低层辐合的配置有利于低层水汽向超级单体内输送从而使对流单体强烈发展^[17]。同时辐合辐散区轴线随高度向东北方向倾斜(图5d),利于对流的维持。沿垂直雷达径向EF做剖面(雷达在里)可以看到中气旋的速度对特征从2.5km向上伸展到了9km左右(图5e),达到超级单体垂直尺度的二分之一,旋转速度最大到 $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,距离雷达65km,根据美国国家强风暴实验室的中气旋判据属于中等强度的中气旋。

此外,该超级单体的垂直液态水含量(VIL)在14:22至14:34出现了从 $50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 至 $59\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的跃增(图略),表明此时云体内冰雹迅速增长,对冰雹的识别具有很好的指示意义^[18]。随后在14:40左右开始降雹落地,VIL快速降低。

5 结论

(1)2020年1月24日广西地区大范围的强对流冰雹天气过程具有500hPa宽槽、高空急流、低层切变、地面冷锋以及辐合线相配合的有利环流背景。中高层西南风急流的强劲造成较强的风垂直切变从

而有利于垂直上升运动的发展,为冰雹天气提供了动力条件。异常干冷的中层是导致大温度直减率的主要原因,配合槽前的负变温以及低层暖脊大大增强了大气的不稳定性。地面冷锋南压以及地形作用为此强对流过程提供了触发条件。

(2)深层强垂直风切变、热力不稳定层结以及适宜的0℃、–20℃层高度为冰雹的产生提供有利的环境条件。

(3)冰雹云团在云图上表现为长椭圆形,上风方向呈“V”型并朝下风方向伸出很长卷云砧,具有造成区域性冰雹天气的典型特征。雷达回波图上超过60dBz的强反射率因子、回波悬垂结构、VIL的跃增、持久深厚的中气旋以及高层辐散低层辐合的速度场配置对于冰雹天气的识别和预警具有很好的指示意义。

参考文献:

- [1] 俞樟孝, 翟国庆, 王泽厚, 等. 冷锋前浙江大范围冰雹天气的发生条件[J]. 气象学报, 1985, 43(3): 295–304.
- [2] 覃柱益. 广西大范围冰雹预报问题[J]. 广西气象, 1987(2): 17–19.
- [3] 陈见. 近十年广西春季冰雹天气特点及环流分析[J]. 广西气象, 1995, 16(3): 19–21.
- [4] 林开平, 张诚忠, 董良森. 浮力能量与“95·4”百色大范围冰雹、大风过程[J]. 广西气象, 1997(S1): 71.
- [5] 农孟松, 祁丽燕, 黄明策, 等. 基于环流分型的广西冰雹

- 潜势预报研究[J].气象,2008,34(6):46-52.
- [6] 廖胜石. 一次大范围冰雹天气的多普勒雷达产品分析[J].气象研究与应用,2009,30(S2):100-101.
- [7] 梁维亮,农孟松,屈梅芳.广西一次区域性强对流天气的诊断分析[J].自然灾害学报,2015(3):210-217.
- [8] 翟丽萍,黄明策,赖珍权,等.广西区域性冰雹天气的云图特征分型研究[J].气象与环境学报,2019,35(6):117-125.
- [9] 岳平,李栋梁,刘洪兰.陇东地区一次强冰雹过程的稳定度分析[J].自然灾害学报,2008,17(3):158-162.
- [10] Houze, Jr, Robert A. Cloud Clusters and Large-Scale Vertical Motions in the Tropics [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan.ser.ii, 1982, 60(1):396-410.
- [11] Weisman M L, Klemp J B. The Structure and Classification of Numerically Simulated Convective Storms in Directionally Varying Wind Shears [J]. Monthly Weather Review, 1984, 112(12):2479-2498.
- [12] 陆忠汉.实用气象手册[M].上海:上海辞书,1984.
- [13] 张霞,周建群,申永辰,等.一次强冰雹过程的物理机制分析[J].气象,2005,31(4):13-17.
- [14] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,2000:449-453.
- [15] 刘健文,郭虎,李耀东,等.天气分析预报物理量计算基础[M].北京:气象出版社,2005:198-200,215-217.
- [16] 俞小鼎,王迎春,陈明轩,等.新一代天气雷达与强对流天气预警[J].高原气象,2005,24(3):456-464.
- [17] 吴海英,陈海山,刘梅,等.长生命史超级单体结构特征与形成维持机制[J].气象,2017(2):141-150.
- [18] 刁秀广,朱君鉴,黄秀韶,等.VIL 和 VIL 密度在冰雹云判据中的应用[J].高原气象,2008(5):1131-1139.

Analysis of large scale hail weather process in Guangxi on January 24, 2020

Qin Hao, Nong Mengsong*, Lai Zhenquan, Zhai Liping
(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: From January 24 to 25, 2020, the largest hail event in recent 20 years occurred in Guangxi. The paper used conventional observation data, radar, satellite and reanalysis data to analyze and diagnose the weather process. The results showed that (1)the combination of 500 hPa wide trough, upper level jet, lower level shear, surface cold front and convergence line provided favorable circulation background, and the abnormally cold middle layer led to large temperature drop rate, enhancing atmospheric instability. (2)Deep strong vertical wind shear, thermal instability stratification and suitable layer height of 0°C and -20°C provided suitable thermal dynamic conditions for hail generation. (3)The convective cloud cluster was a long ellipse type, which had the typical characteristics of regional hail weather. In addition, the characteristics of echo drape structure, strong reflectivity factor over 60 dbz, VIL jump, persistent deep mesocyclone, upper divergence and lower convergence on the radar echo map had indicative significances for hail weather identification and early warning.

Key words: hail; unstable stratification; vertical wind shear; boundary layer convergence line; radar echo characteristics