

梁虹,何林宴,王盛繁. 2019年春夏广西两次冰雹过程特征分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(3): 79–84.

Liang Hong, He Linyan, Wang Shengfan. Comparative Analysis of the two hail processes in spring and summer of 2019 in Guangxi [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(3): 79–84.

2019年春夏广西两次冰雹过程特征分析

梁虹, 何林宴, 王盛繁

(贵港市气象局, 广西 贵港, 537100)

摘要: 利用常规气象资料、自动站资料、多普勒雷达资料, 对比分析了2019年3月5日和5月25日两次广西冰雹天气的环流形势及物理量的配置、雷达回波特征。结果表明, “0305”过程由高空冷槽、低空切变线和地面冷锋触发, “0525”过程则由深厚暖平流、西南暖低压边缘辐合线共同作用而触发; “0305”过程中低层有强的垂直风切变, 较厚的冻结层厚度和相对较小的对流有效位能, “0525”的过程则是较大对流有效位能与中等强度的垂直风切变、相对较薄的冻结层配合; 雷达资料上, 相比“0305”过程, “0525”过程具有强的反射率因子、回波伸展高度和更大VIL值与跃升幅度。

关键词: 冰雹; 切变线; 三体散射; 旁瓣回波

中图分类号: P458.1+21.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.3.14

OSID:



前言

春夏两季是广西发生强对流天气频率非常高的季节, 每年冰雹、暴雨、雷暴大风等强对流天气给当地人民的生产生活造成了难以弥补的损失。冰雹由于其尺度小、局地性和突发性强、灾害性大, 在当前短期预报甚至短临预报中常难以做出准确的预报和判断, 所以加强冰雹的短时和临近预报技术研究以提高预报能力仍然十分必要。随着国内外专家和研究学者对强对流天气的不断深入研究, 得出了许多有用的成果和经验^[1-5]。如郑媛媛^[6]对强降雹天气的超级单体风暴雷达回波进行了深入细致的分析; 农孟松^[7]、董良森^[8]等对广西高架雷暴的冰雹天气的环境条件、触发条件、强单体的回波演变特征进行了分析; 翟丽萍^[9]等对广西一次区域性强对流天气分析过程中发现, 在相同的大尺度环流背景下, 两种类型的强对流天气触发机制不同, 雷达和卫星图像也存在明显差异。2019年广西强对流天气频发, 多次出现冰雹天气, 造成严重的农业灾害。本文分析了

2019年广西两次不同环流形势下的冰雹过程, 提升对广西强对流天气特别是冰雹过程发生的成因认识, 为冰雹天气预报提供有益的参考信息。

1 冰雹过程概况

“0305”过程: 2019年3月5日下午至6日凌晨, 受中低层切变线及地面冷空气南下影响, 广西西北部出现大风冰雹天气过程。据信息员报告和站点统计, 广西右江河谷(百色至平果一线)、南宁马山、武鸣、上林一带出现冰雹, 田林出现最大直径为15mm的冰雹。

“0525”过程: 2019年5月25日下午, 受强偏南气流影响, 广西百色西林县出现局地强冰雹, 最大冰雹直径为50mm。

2 天气形势配置对比

2.1 高低空环流形势特征

分析中高层逐日形势变化(图略), 2019年2月下旬至3月初500hPa不断有南支槽东移造成华南

长时间连阴雨天气。5 日 08 时 500hPa 南支槽位于云桂交界,广西位于高空槽前,正涡度平流有利于低层上升气流发展,副热带高压位于南海东部海面,温度槽落后高度槽,槽前有冷平流;200hPa 广西为一致的西南风,最大风速达到 $42\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,广西位于高空急流入口区右侧的辐散区,利于加强低层气流辐合。2019 年 5 月 25 日 08 时 500hPa 同样有南支低槽东移影响广西,槽线附近为温度脊,200hPa 广西位于南亚高压东部辐散分流区,广西上空的西北气流与贵州、湖南偏西气流形成分流辐散形势,为强对流的产生提供有利的高空辐散条件。

从探空资料上看,3 月 4 日 20 时,925~700hPa 广西上空存在西南低空急流,850hPa 在黔桂交界存在暖式切变线。5 日 08 时,850hPa 黔桂交界切变线转为冷式切变线,925hPa 原位于贵州中部的切变线南移至桂中,百色、南宁 850hPa 与 500hPa 温差分别为 29°C 和 25°C 各系统配置如图 1(a) 所示;5 日 20 时,925、850hPa 切变线在桂中维持,850hPa 广西上空等温线密集,北海与桂林的温差达 7°C ,斜压性强。6 日 08 时,925hPa 切变线移至华南沿海;850hPa 切变线东段少动,西段切变线南压至南宁至北海之间,3 月 5 日南宁市武鸣区的冰雹出现在 850hPa 切变线西段南压这一时间段中。5 月 25 日 08 时 $102^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 的 925~700hPa 贵州、云南、广西气压场上为狭窄的深槽,槽线位于三省交界处。25 日 08 时 925hPa 广西东部为东南风,南部为西南风,在百色、河池附近是两支偏南气流的风向辐合区,且在百色附近有明确的风速辐合(百色站风速 4,南宁站风速 12);850hPa 广西上空为一致的西南气流,云南与广西交界处受温度脊控制,百色 850hPa 与 500hPa 温

差为 23°C ,各系统配置如图 1(b) 所示。直至 25 日 20 时,925~700hPa 上的低槽减弱,风场上仍然维持偏南风。

对比两次冰雹过程发现,两次过程 500hPa 均有南支槽东移,高层 200hPa 有辐散形势。“0305”过程广西中低层有冷式切变线南压,“0525”过程 925hPa 百色附近有风向风速辐合,气压场上有狭窄而深厚的低槽。温度场上,“0305”过程受冷平流影响广西中低层温度梯度较大,斜压性较强;“0525”过程广西中低层受温度脊控制,暖舌垂直伸展到 500hPa,暖层深厚。“0305”过程由于中层受到冷平流影响,较“0525”过程中低层温度垂直递减率更大。

2.2 地面形势

3 月 3—4 日广西受西南暖低压影响持续升温,累积了较大的不稳定能量。5 日 08 时地面冷锋移到贵州南部,13 时桂西北开始出现正变压及负变温,冷空气进入广西,23 时冷锋行至桂南。“0305”冰雹过程主要出现在 5 日下午至 6 日凌晨冷空气南下影响广西这一时段。5 月 25 日的过程地面形势与“0305”过程相比有明显差别,从 5 月中下旬就稳定维持在云南中北部的暖低压从 24 日开始增强,25 日 14 时低压中心气压值降至 992.5hPa,桂西北位于低压边缘,广西近地面等压线呈南北向分布。受西南暖低压发展的影响,从 24 日 11 时开始广西近地面增温显著,百色附近有明确的地面辐合线。

综合分析,两次冰雹过程发生前均伴有西南暖低压发展,不同之处在于“0305”冰雹过程是受中低层切变线和地面冷空气影响的移动性锋面降雹,属于孙继松、戴建华等总结的中国五类强对流天气中的斜压锋生类^[10];“0525”冰雹过程是受中低层强暖

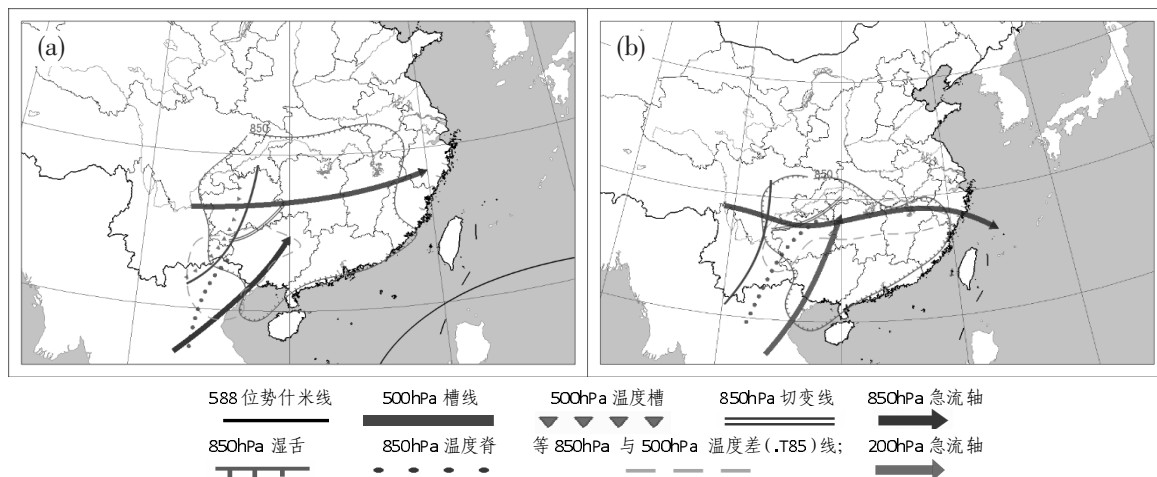


图 1 2019 年 3 月 05 日 08 时中尺度分析(a)、5 月 25 日 08 时中尺度分析(b)

平流、地面辐合线影响的暖区局地降雹, 预报难度较大, 属于低层暖平流类^[10]。

3 T-lop 图及对流参数对比分析

3.1 不稳定条件分析

分析 3 月 5 日百色、南宁 T-LOP(图略)发现, 08 时百色 850hPa 以下层次湿度接近饱和, 500~200hPa 为干区。百色 08 时订正后 CAPE 值是 $571\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, k 指数为 35.5°C , SI 指数 -5.47°C 。3 月 5 日 08 时南宁站订正后 CAPE 值达 $412\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 850hPa 以下温度露点差较小, 700hPa 以上露点曲线与温度曲线呈喇叭状, 上干下湿的特征明显。至 5 日 20 时南宁近地面至 850hPa 为东北风, 存在锋面逆温(图略), CAPE 值为 $14.1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 表征锋面过境触发不稳定能量释放。而“0525”过程则不同, 5 月 25 日 08 时百色站 T-LOP 显示, 500hPa 以下环境空气相对湿度很大, CAPE 值 14 时气温订正后达 $1942\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, k 指数 37.9°C , SI 指数 -1.61°C , 大气积累了较大的不稳定能量。20 时, 中上层有干冷空气入侵, 上干下湿特征变得明显, CAPE 值 $1305\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, k 指数升至 41.2°C , 出现了冰雹天气后, 大气仍然维持较强的位势不稳定状态。

3.2 风垂直切变

从 3 月 5 日 08 时的百色、南宁站的风向、风速的垂直变化来看, 两站在冰雹发生前中低层均从东南风随高度顺转为西南风, 700hPa 风速达 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 0~3km 垂直风切变 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 0~6km 深层垂直风切变达到 $23\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 另外通气管指数 $I=(V_{300}-V_{850})^2+(U_{300}-U_{850})^2$ 可以反映垂直风切变的强度^[11], 指数越大则垂直切变越强。3 月 5 日 08 时百色站通气管

指数高达 $2153.8\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$, 如此强的垂直风切变有利于对流风暴的发生和维持。可见, “0305”过程有较小的对流有效位能与强的垂直风切变相配合。5 月 25 日 08 时百色站 925~700hPa 风向顺转, 有暖平流, 0~3km 垂直风切变 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 0~6km 垂直风切变仅为 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 通气管指数 $194.5\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$, 与“0305”过程的垂直风切变相比较小。

3.3 0℃层和-20℃层高度

3 月 5 日 08 时百色站 0℃层高度为 3951m, -20℃层高度为 7621m, 0℃层到-20℃层之间冻结层有 3670m; 5 日 20 时南宁站 0℃层高度为 4194m, -20℃层高度为 7852m, 0℃到-20℃之间冻结层有 3658m。与春末夏初广西典型冰雹 0℃层高度 4.5km 相比, 这次强天气过程 0℃层高度略低。另外, 冻结层厚度也比平均值 2.6~3.0km^[8]略厚。“0525”过程百色 25 日 08 时 0℃和-20℃高度明显要比“0305”高, 分别为 5334m 和 8452m, 冻结层高度(3118m)也较小, 说明中层垂直温度递减率相对较大。研究表明冻结层厚度值越小, 表明垂直温度梯度越大, 大气越不稳定, 越有利于大冰雹的产生^[11]。“0305”过程冻结层比平均值略大, 冰雹主要以直径不超过 10mm 的小冰雹为主, 可能与较厚的冻结层厚度有关。

通过以上分析可得, “0305”的过程有强的垂直风切变, 较厚的冻结层厚度配合相对较小的对流有效位能; “0525”的过程则是较大的对流有效位能与中等强度的垂直风切变、相对较薄的冻结层相配合。

4 中小尺度特征对比分析

4.1 “0305”过程回波演变及结构特征

3 月 5 日中午, 百色西北方有孤立的回波发展

表 1 2019 年 3 月 05 日 08 时百色、南宁站对流参数

站点	时间	$H_{0^{\circ}\text{C}}$ (单位: m)	$H_{-20^{\circ}\text{C}}$ (单位: m)	CAPE (单位 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)
百色	5 日 08 时	3951	7621	571
	5 日 20 时	3993	7350	0
南宁	5 日 08 时	4194	7852	412
	5 日 20 时	4012	7809	14.1

表 2 2019 年 5 月 25 日 08 时百色站对流参数

站点	时间	$H_{0^{\circ}\text{C}}$ (单位: m)	$H_{-20^{\circ}\text{C}}$ (单位: m)	CAPE (单位 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)
百色	25 日 08 时	5434	8452	1942
	25 日 20 时	5373	8640	1305

并向东南移动。13:28 百色雷达 2.4°仰角富宁与田林交界处的单体出现旁瓣回波(图 2a1)特征,最大反射率因子 55dBZ,0.5°仰角径向速度场上有相对应的速度辐合(图 2a2)。14:10—14:28 分的 9.9°仰角上田林东南部的单体连续三个体扫在出现三体散射,强回波中心达到 60dBZ(图 2b1),1.5°仰角速度场上有明显的速度辐合(图 2b2)。此后对流单体经历了降雹、减弱、再发展的过程,雹暴云团向南宁方向移动,途径百色、田阳、田东、平果、马山、上林等地,造成数次降雹。16:50 的 1.5°仰角上田东附近的对流单体呈现钩状回波特征(图 2c1),表明有强的入流气流输入到对流风暴中,2.4°仰角速度场上出现中气旋,旋转速度达到 $23\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 2c2)。

分析出现三体散射特征时的风暴追踪信息(图 3a),13:58 前后该单体的回波顶高度从 6km 发展到

8km,垂直积分液态水含量 VIL 从 13:40 开始跃升,13:48—13:53 一个体扫时间内由 $20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 跃升到 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,之后升高到 $50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,冰雹概率升至 100%。随后,回波顶、单体质心和 VIL 均开始下降,地面出现降雹。

田林、百色降雹后,单体重新发展,从 17:25 百色雷达回波的垂直剖面图看到(图 3b),强回波伸展到 7km 以上,高反射率因子悬垂于低层弱回波之上,形成弱回波区(WER)和中高层回波悬垂特征,这支强的上升气流,造成了平果、武鸣地区的降雹。

“0305”过程,百色至南宁一带主要以小冰雹为主,对流单体强回波强度主要在 50~55dBZ,少数时刻出现大于 60dBZ 的回波,回波顶高 9km 左右,说明没有形成特别强烈的上升气流,对流发展高度有限导致此次过程以小冰雹为主。

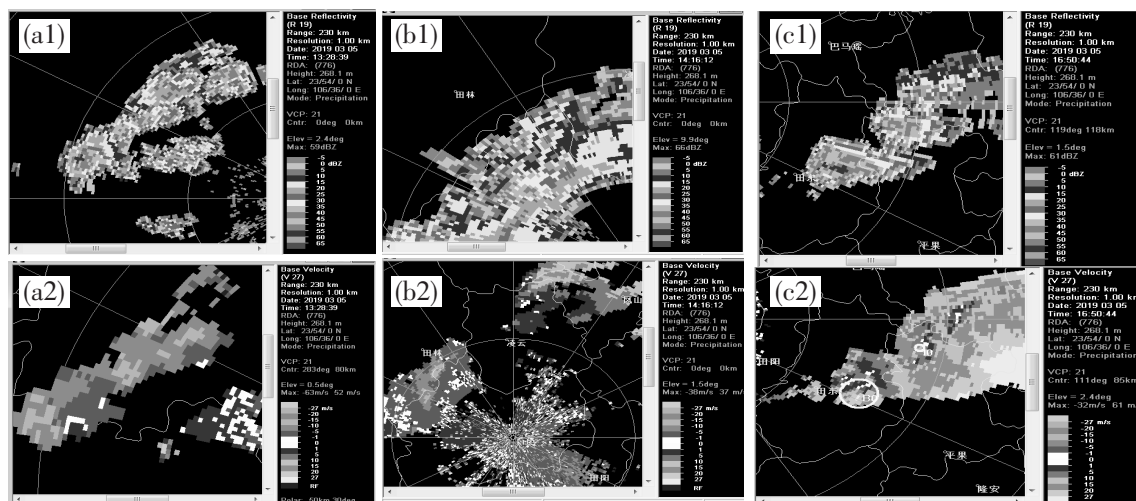


图 2 2019 年 3 月 5 日百色雷达站

(a1,a2)13:28 分 2.4°基本反射率因子和 0.5°平均径向速度图
(b1,b2)14:16 分 9.9°基本反射率因子和 0.5°平均径向速度图
(c1,c2)16:50 分 1.5°基本反射率因子和 2.4°平均径向速度图

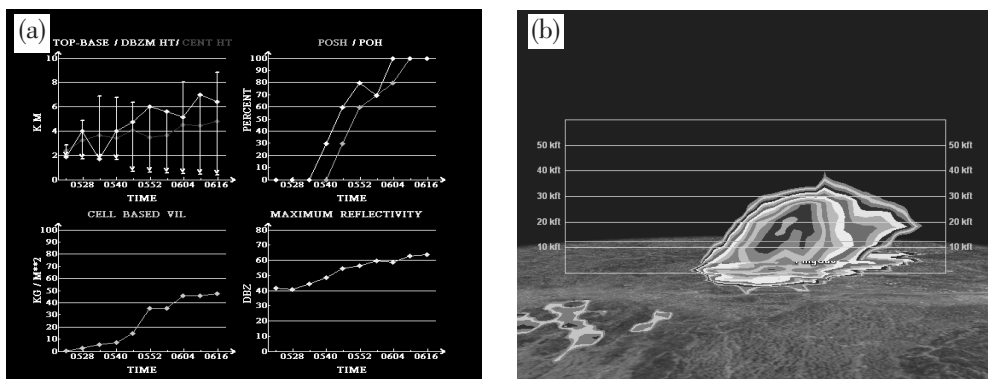


图 3 2019 年 3 月 5 日百色雷达

(a)14:16 分风暴追踪信息;(b)17:25 分反射率因子垂直剖面

4.2 “0525”过程回波演变及结构特征

百色雷达上, 14:00 西林县东部弱回波单体发展并向东北移动。14:53 的 1.5° 仰角回波强度明显较前一时刻加强, 反射率因子达 60dBZ, 14:59 对流单体显著发展, 最大反射率因子达 65dBZ, 沿强回波中心径向方向有长钉状回波, 强回波南侧有狭长弱回波带(旁瓣回波), 此外, 三体散射和旁瓣回波在 $1.5\sim 3.4^\circ$ 仰角均有体现, 14:59—15:17 在 1.5° 仰角连续 4 个体扫均有明显的三体散射和旁瓣回波特征(图 4a1、b1、c1), 对应径向速度图上出现速度辐合和中气旋结构特征(图 4a2、b2、c2)。随后回波移入田林, 强度维持在 55dBZ 以上, 16:29 后回波强度明显减弱, 并逐渐消失。

从 14:59 反射率因子垂直剖面图(图 5a)看出, 65dBZ 以上的强回波伸展到 10km 以上, 中高层回波悬垂, 具有明显的有界弱回波区, 对比“0305”过程的垂直剖面, 回波强度更强, 伸展更高, 并且在垂直剖面上, 三体散射明显。

风暴追踪信息上(图 5b), 14:35 垂直液态积分含水量 VIL 显著上升, 从原来的 $20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 跃升到 $100\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 与此同时最大反射率因子和质心高度迅速上升, 冰雹指数达到 100%。15:05 后 VIL、回波顶和质心高度迅速下降, 云顶坍塌, 地面易出现破坏性大风, 实况资料显示西林出现 8 级大风。

综上所述, 多个强对流单体是造成“0305”百色至南宁冰雹天气的主要原因。“0525”过程造成西林东南部的强冰雹实体为孤立的超级单体, 局地性更强, 回波强度更大、强回波伸展高度更高, 影响范围更小。同时, 更强的上升气流与对流以及冰雹出现前更大 VIL 值和跃升幅度也是“0525”过程冰雹直径更大的直接原因。

5 结论

(1) 两次冰雹过程发生在不同的天气形势下: “0305”过程由地面冷锋触发, 500hPa 有高空冷槽东移, 广西中低层有冷式切变线南压, 切变线以南有低空急流, 中低层温度梯度较大, 斜压性较强; “0525”过程由地面暖低压中的辐合线触发, 广西 500hPa 上高空

槽东移, 配合有强的低空急流, 广西中低层受温度脊控制, 温度梯度小, 暖层深厚。

(2) 两次过程环境对流参数上存在差异: “0305”的过程中低层有强的垂直风切变, 较厚的冻结层厚度配合相对较小的对流有效位能; “0525”的过程则是较大对流有效位能与中等强度的垂直风切变、相对较薄的冻结层配合, 冰雹直径相对“0305”过程较大。

(3) 两次冰雹过程的雷达回波特征有差异: 两次冰雹过程都是由孤立的强对流单体造成, “0525”局地性更强、具有强的反射率因子、回波伸展高度和更大 VIL 值和跃升幅度, 三体散射和旁瓣回波的结构更清晰、更明显; “0305”过程为锋面降雹, 降雹地点随锋面南压移动, 影响范围较“0525”大。

参考文献:

- [1] 孙莹, 寿绍文, 沈新勇, 等. 广西地区一次强冰雹过程形成机制分析[J]. 高原气象, 2008(3): 677–685.
- [2] 樊李苗, 俞小鼎. 中国短时强对流天气的若干环境参数特征分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 156–165.
- [3] 俞小鼎. 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, 2011, 1(3): 31–41.
- [4] 王娟, 王军君, 王婷. 桂林初春一次冰雹天气过程分析[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(1): 29–33.
- [5] 杨淑华, 梁进秋, 张玉芳. 冰雹天气的多普勒雷达特征统计分析[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(3): 101–106.
- [6] 郑媛媛, 俞小鼎, 方翀. 一次典型超级单体风暴的多普勒天气雷达观测分析[J]. 气象学报, 2004, 62(3): 317–328.
- [7] 农孟松, 赖珍权, 梁俊聪, 等. 2012 年早春广西高架雷暴冰雹天气过程分析[J]. 气象, 2013, 39(7): 874–882.
- [8] 董良森, 农孟松, 梁俊聪. 华南西部高架冰雹强对流天气过程的特征及成因分析[J]. 广西科学院学报, 2015(2): 67–75+82.
- [9] 翟丽萍, 农孟松, 屈梅芳. 相同大尺度环流背景下不同类型强对流天气个例分析[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(4): 346–353.
- [10] 孙继松. 强对流天气预报的基本原理与技术方法[M]. 北京: 气象出版社, 2014.
- [11] 杨庆红, 彭九慧, 刘园园. 一次强对流天气的大气物理量及雷达回波特征分析[J]. 干旱气象, 2010(3): 322–326.

Comparative Analysis of the two hail processes in spring and summer of 2019 in Guangxi

Liang Hong, He Linyan, Wang Shengfan

(Guigang Meteorological Bureau, Guigang Guangxi 537100)

Abstract: Based on the conventional meteorological data, automatic station data and Doppler radar data, the weather situation configuration, physical quantity configuration and radar echo characteristics of the two hail weather processes in Guangxi on March 5 and May 25, 2019 were compared. The “0305” process is triggered by the high-altitude cold trough, the low-altitude shear line and the ground cold front, while the “0525” process is triggered by the combined action of the deep warm advection and the edge convergence line of the southwest warm low pressure. In the “0305” process, there was a strong vertical wind shear in the lower layer, a thicker frozen layer thickness and relatively small convective effective potential energy. The process of “0525” was the coordination of large convective effective potential energy with moderate vertical wind shear and relatively thin frozen layer. According to the radar data, compared with the “0305” process, the “0525” process has a stronger reflectivity factor, echo extension height, and a larger VIL value and jump amplitude.

Key words: hail; shear line; three body-scattering; sidelobe echo