

文章编号: 1673-8411 (2019) 01-0029-05

桂林初春一次冰雹天气过程分析

王娟, 王军君, 王婷, 姚立宏

(桂林市气象局, 桂林 541001)

摘要: 利用常规气象资料、FY-2G 卫星资料和桂林多普勒雷达资料, 对 2016 年 3 月 19 日夜間桂林一次冰雹天气过程的环境条件和雷达回波演变和结构特征进行了详细分析。结果表明: 过程发生在地面暖低压和低空急流共同发展, 暖切附近的不稳定层结条件下; 合适的 -20°C 和 0°C 层高度、上干下湿层结以及强的垂直风切变有利于产生冰雹; 冰雹发生前反映大气不稳定度的各项参数发生显著变化, 对于做出冰雹的潜势预报具有很好的指示意义; 强回波中心强度超过 60dBz 、具有倾斜结构和 V 型缺口、VIL 值维持在 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上、回波顶高维持在 12km 以上的雷达回波特征可用于识别冰雹。

关键词: 冰雹; 大气稳定度; 多单体风暴

中图分类号: P458.1+21.2

文献标识码: A

Analysis of a hail event in Guilin in early Spring

Wang Juan, Wang Junjun, Wang Ting, Yao Lihong

(Guilin Meteorological Service, Guilin Guangxi 541001)

Abstract: Based on the conventional observation data, FY-2G and the Doppler weather radar data, the paper analyzed the environmental condition and radar echo structure of a hailstorm occurred in Guilin on 19 March 2016. The results showed that with the development of the surface thermal depression and low-level jet, the hailstorm occurred on unstable stratification conditions near the low-level warm shear. Suitable layer heights of -20°C and 0°C , unstable stratification formed by the dry airflow in the mid-high level and the humid airflow in the low level, and strong vertical wind shear were favorable for the hailstorm formation. The significant changes of the parameters reflecting the atmospheric instability has a good indication for the potential prediction. The value of intense echo center over 65dBz , having an inclined structure, a V-notch, VIL value maintaining above $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ and echo top height maintaining over 12km can be used to identify the hail.

Keywords: hail; atmospheric stability; multi-cell storm

引言

近年来为了提高冰雹预报能力, 许多气象工作者^[1-8]利用多源观测资料对大冰雹天气的环境条件和雷达回波特征进行了详细的分析, 天气雷达在强对流天气的监测和预警方面具有无可比拟的优势, 并已发挥了明显的效益^[9]。广西强冰雹天气研究也取得了较多成果^[10-14], 农孟松等^[15]对一次大范围冰雹天气中超级单体的雷达回波特征进行了分析, 覃靖等^[16]对柳州一次强雹暴天气中超级单体的雷达回波结构演变特征进行了详

细分析, 得出大冰雹临近预警的雷达参数量化指标。

预报员利用多普勒雷达容易识别超级单体风暴, 而普通的雹暴云不易识别, 在实际业务工作中为了提高预警提前量, 快速有效识别普通的雹暴云至关重要。因此, 本文对 2016 年 3 月 19 日夜間冰雹天气发生前后环境条件演变和雷达回波特征进行分析, 以期加深对桂林地区冰雹发生机制和雹暴演变特征的认识, 为今后此类天气的监测预警及相关研究提供参考。

收稿日期: 2019-01-02

基金项目: 广西区气象局气象科研项目 (桂气科 2017Z06) 资助。

作者简介: 王娟 (1985-), 女, 硕士, 工程师, 从事天气预报预警工作, E-mail: wxhcmf@163.com。

1 天气形势及大气稳定度分析

1.1 天气实况

2016 年 3 月 19 日夜间桂林市出现大范围冰雹天气过程,并伴随降水。根据灾情收集情况得知,龙胜、全州、兴安、桂林市区、灌阳、阳朔、恭城、平乐出现冰雹。

1.2 天气形势

17~18 日 500、700hPa 有一小槽东移过境并引导边界层弱冷空气扩散南下,850hPa 切变线南压至广西中部。19 日 20 时 500hPa 受小波动影响;700hPa 偏南风急流加强,急流通道从南到北贯穿我国,水汽从南海一直输送到华北,桂林处于这条水汽输送带上;850hPa 切变线北抬,暖切

位于南岭附近;准静止锋从黔东南-桂东北-粤西一线北抬,西南地区和中南半岛暖低压发展并连通,南海到河套地区维持着暖低压东侧南北向的等压线,有利于向北输送南海的水汽和能量(图 1)。19 日 20 时 500、700hPa 有 2~3℃ 的降温,850hPa 有 3℃ 的升温,桂林上空存在弱的热力环流。低空急流及切变线的共同作用,形成了强有力的抬升机制。

1.3 大气稳定度

19 日 20 时气温随高度迅速递减, $T_{850 \sim 500}$ 为 28℃,已超过广西强对流发生的相应指标。

对桂林站探空资料(图 2)进行分析,19 日 20 时部分物理量前 24h 变化如下: $\Delta \theta_{se(500 \sim 850)}$ 从 -5.8℃ 降至 -20.33℃;沙氏指数从 1.84℃ 降至

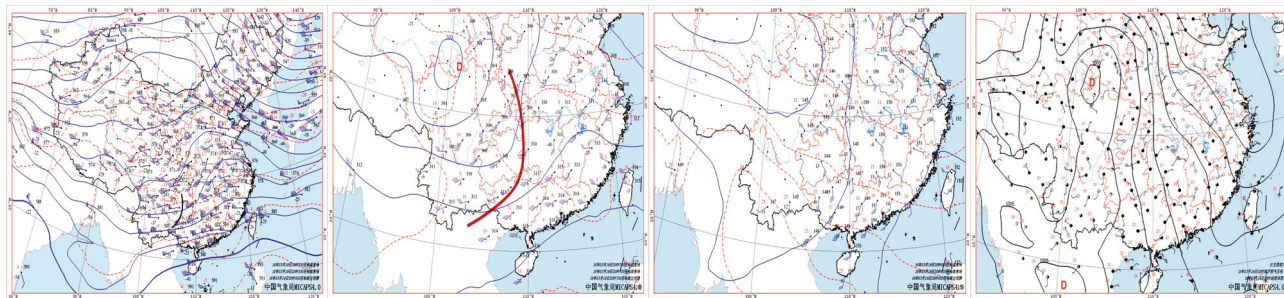


图 1 19 日 20 时 500hPa、700hPa、850hPa 和地面天气图

-5.61℃;K 指数从 5 升至 37;对流有效位能增加。说明大气稳定度迅速下降,冰雹发生前属于对流不稳定层结。上述物理量的变化对强对流天气的发生发展有很好的指示意义。

19 日 20 时,从 θ_{se} 的垂直分布(图 3)来看,850~700hPa θ_{se} 随高度减小,700~500hPa θ_{se} 随高度先增大后减小,再略有增大后迅速减小,根据稳定度判据,桂林上空存在大气不稳定层结。

850hPa 以下 θ_{se} 随高度增加,大气层结稳定,这是产生冰雹尺寸较小的一个原因之一。

1.4 适合冰雹生长的环境

19 日 20 时桂林站 -20℃ 层高度约 7km,0℃ 层高度约 4km。540hPa 以下湿度较大, $T-T_d < 4^\circ\text{C}$;540hPa 以上湿度迅速减小, $T-T_d > 10^\circ\text{C}$,最大为 37℃。合适的 -20℃ 和 0℃ 层高度以及上干下

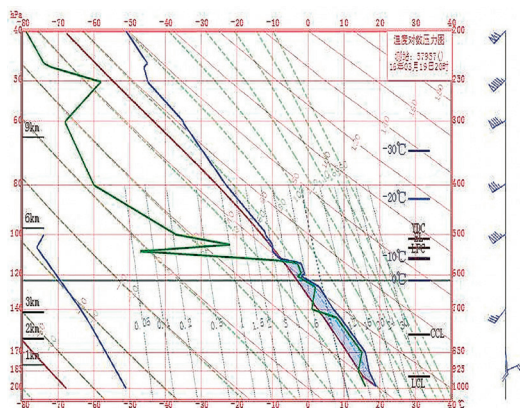


图 2 桂林 19 日 20 时 T-logP 图

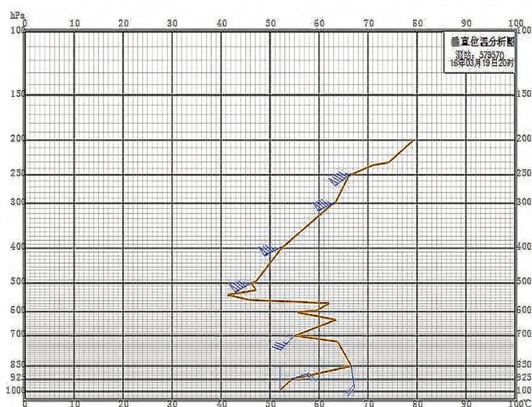


图 3 桂林 19 日 20 时 θ_{se} 的垂直分布

湿对流不稳定层结有利于产生冰雹。

-20℃~0℃层之间厚度不够, 雹核在这一层的上升气流中发展不够大。0℃层高度较高, 冰雹降落时暖层相对较厚, 冰雹不断融化, 一部分变成较小尺寸的冰雹, 一部分形成降水。这可能是产生冰雹尺寸小的原因之一。

400hPa 以下风随高度顺转, 有暖平流; 400~200hPa 风随高度逆转, 有冷平流。这种热力结构有利于对流天气的发生发展。

1.5 垂直风切变和速度矢量

850hPa 至 500hPa 的垂直风切变为 $7.65 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$; 850hPa 至 400hPa 的垂直风切变为 $4.68 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ 。500hPa 至 400hPa 的垂直风切变有所减弱, 这层大气垂直对流减弱, 下层的强风暴无法伸展到 400hPa 高度, 抑制了强风暴的发展, 这可能也是产生小冰雹的原因之一。

速度矢端图是由各个层的切变风矢量组成的, 切变风矢指的是顶层和底层风矢之差, 速度矢端图的形状与风暴发展的潜势有很大关系^[17]。500hPa 以下切变风矢量基本上成单一方向, 这种风切变分布促进新生单体在现存单体的有利一侧周期性的产生和发展, 并组织成完善的强风暴。500~400hPa 速度矢量旋转了近 150°, 不利于强风暴的发展。

2 多普勒雷达资料分析

2.1 反射率因子及其垂直剖面

19 日 20:37 桂林出现冰雹, 在雷达图上对应有多单体风暴 A (图 4), 具有多个 55dBz 以上的回波核, 回波强度达 67dBz。反射率因子的垂直剖面图上 (图 5), 云团 A 的弱回波区、回波墙和回波倾斜结构很明显, 55dBz 的强回波从 1km 一直伸展到 8km, 60dBz 强回波核位于 3km 到 7km 处, 但是比出现大冰雹时的回波强度弱 15dBz^[4]。20:43 云团 A 经过兴安境内时, 地面出现冰雹, 雷达图上出现钉状回波。云团 A 继续向东北方向移动时分裂成两个对流云团, 同时出现 V 型缺口, 回波中心强度均达 65dBz 以上, 地面出现冰雹并伴随降水。21:19 回波倾斜结构依然很明显, 65dBz 强回波位于 4km 处, 60dBz 强回波伸展到 9km 以上, 标志着上升气流非常强盛, 冰雹云进入了整个发展过程的鼎盛时期。21:31 强回波的倾斜度减小, 回波核迅速下降, 结束降雹。

19 日 22:42 对流云团 B 移至桂林上空, 对流风暴迅速发展, 回波中心强度增大至 62dBz, 地

面出现冰雹并伴随降水。23:00 云团 B 出现三体散射现象、旁瓣回波和 V 型缺口, 并分裂成南北两个新的云团, 新云团在途经兴安、灌阳、全州时, 地面均出现了冰雹。反射率因子的垂直剖面图上, 23:00 回波存在倾斜结构, 55dBz 的强回波从地面伸展至 5km, 60dBz 强回波位于 2~3km 处。冰雹云内上升气流明显比 A 弱。

20 日 00:01 桂林南部出现了呈东北-西南向条状排列的多单体风暴 C, 具有多个 55dBz 以上的回波核, 最强回波中心强度达 67dBz。云团 C 东移过境时, 地面出现冰雹并伴有降水。反射率因子的垂直剖面图上, 回波倾斜结构很明显, 55、60、65dBz 的强回波从 1km 分别伸展到 5.5km、4km、3.5km 处。此次过程冰雹的回波中心强度比出现大冰雹时弱, 回波核伸展高度比出现大冰雹时低。00:01~00:42 存在很明显的 V 型缺口, 表明有强的上升气流存在。00:48~01:18 云团 C 与南侧的层状云分开, 在雷达图上可以看出三体散射现象, 钉状回波较短, 长钉约 10km。

2.2 径向速度图及其剖面

云团 A 发展初期, 移动方向前侧存在一辐合区。当回波中心强度达 60dBz 以上时, 沿雷达径向两侧出现正负速度对, 辐合区范围变小, 21:01 开始云团 A 移动路径上均为西南风控制。

云团 B 发展初期, 移动方向前侧也存在一辐合区。速度图上各项特征均不明显。

云团 C 发展初期, 南侧存在一辐合区, 云团在辐合线北侧向东移动, 00:07 移动方向前侧出现辐合区, 随着云团的发展和移动, 00:36 移动方向前侧为辐合区后侧为辐散区, 00:48 沿雷达径向两侧出现正负速度对。

速度剖面图上, 径向速度方向一致, 存在明显的风暴顶辐散。风暴顶辐散是与风暴中强上升气流密切相关的小尺度特征, 可以与大冰雹尺度相关联, 是风暴强度变化的一个指标。这次冰雹过程无明显的入流, 是此次过程冰雹尺寸较小的原因之一。

2.3 垂直风廓线

桂林多普勒雷达反演的 VWP 图显示了从低层到高层较连续的风场资料, 19 日 20:43 从 0.9km 到 5.5km 的垂直方向上方向顺转, 风切变达 $4.78 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向从东风转为西南风, 顺转约 150°。21:19 和 00:01 风向从东北风顺转为西南风, 顺转约 170°, 风切变达 $5.29 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ 。大气层中有强垂直风切变, 有利于相对气流的发生发展, 从而导致有组织的风暴发生发展。

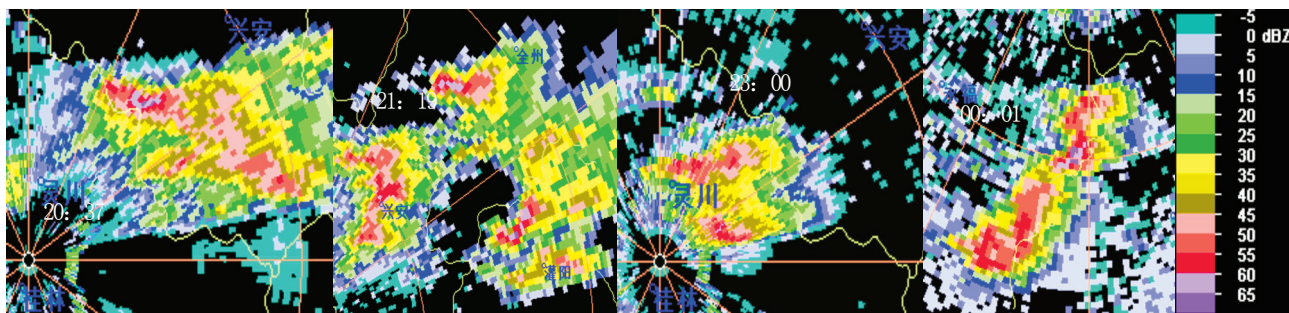


图4 2016年3月19日20:37、21:19、23:00和20日00:01桂林2.4°反射率因子

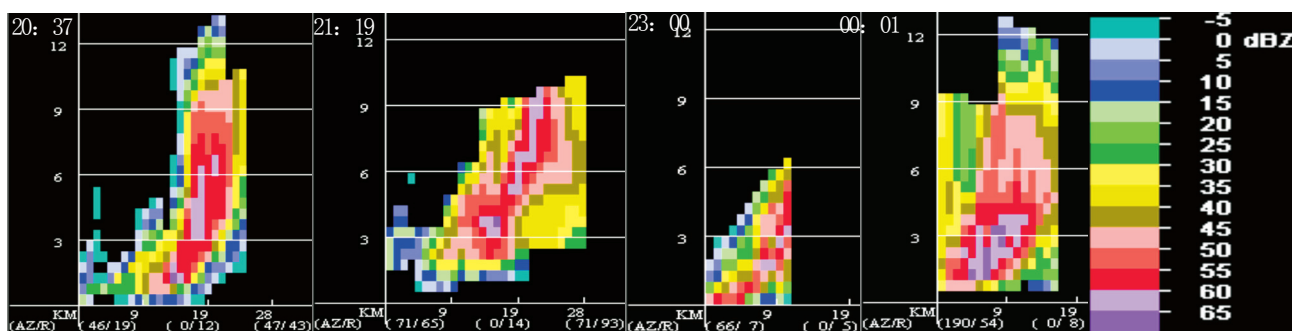


图5 2016年3月19日20:37、21:19、23:00和20日00:01桂林2.4°反射率因子剖面

2.4 垂直累积液态含水量

垂直累积液态含水量 VIL 值表示的是将反射率因子数据转换成等价的液态水值, 并且假定反射率因子是完全由液态水反射得到的。VIL 值能确定大多数强风暴的位置, 一旦临界值被确定, 可用于辨别带有大冰雹的风暴^[7]。

20:31 ~ 21:55 云团 A 对应的 VIL 值一直维持在 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上, 其中 21:07 ~ 21:19 和 21:49 ~ 21:55 超过 $50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 22 时 VIL 值迅速减小, 云团 A 的降雹过程结束。22:30 ~ 23:00 云团 B 经过雷达站上空, 由于静锥区的存在, VIL 值很小, 23:06 ~ 23:30 VIL 值维持在 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上, 随后 VIL 值迅速减小, 云团 B 的降雹过程结束。23:43 ~ 01:18 云团 C 的 VIL 值一直维持在 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上, 23:48 ~ 00:48 维持在 $50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上, 期间 00:19 和 00:25 达到 $60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 随后 VIL 值迅速减小, 云团 C 的降雹过程结束。

2.5 回波顶高

冰雹云中的上升气流强盛, 其回波顶高度比普通雷暴高。云团 A 从 20:31 到降雹过程结束, 回波顶高维持在 12km 以上, 其中 21:07 ~ 21:19 达到 14km。22:30 ~ 23:00 云团 B 经过雷达站上空, 由于静锥区的存在, 回波顶高较低, 均低于 10km, 23:06 至降雹结束, 云团 B 的回波顶高维持在 12km。云团 C 的回波顶高从 23:24 到降雹结束均维持在 12km 以上, 其中 00:30、01:06、

01:18、01:24、01:49 ~ 02:07 达到 14km。除了受雷达静锥区影响的时段以外, 降雹的整个过程中, 冰雹云团 A、B、C 的回波顶高均维持在 12km 以上。

3 卫星云图分析

随着卫星遥感技术的发展和进步, 气象卫星在灾害性天气的预报预警中发挥的作用越来越大, 监测初始对流也已成为可能, 尤其是可以先于地面雷达发现并有效监测快速增长的对流, 从而更早识别出可能带来强天气的对流单体。从 FY-2G 红外 1 通道云图可以看出 (图 6), 在对流发生前, 桂林南部曾有一对流云团快速发展并东移出境, 19 时东移至湘南的对流云团的西侧呈现出拇指状结构, 通过后向传播, 20 时在对流云团拇指方向上出现对流单体, 对流单体迅速发展成造成此次冰雹过程的雹暴云。对流云初始阶段水平尺度小, 卫星难以分辨, 成熟的对流云团呈现的拇指状结构对对流云初生地点有很好的指示意义。

4 结论

(1) 高空西风带上的扰动、低空急流、暖切是这次冰雹过程的影响系统。高层冷平流、底层暖平流的温度平流垂直配置使大气热力不稳定性加强。

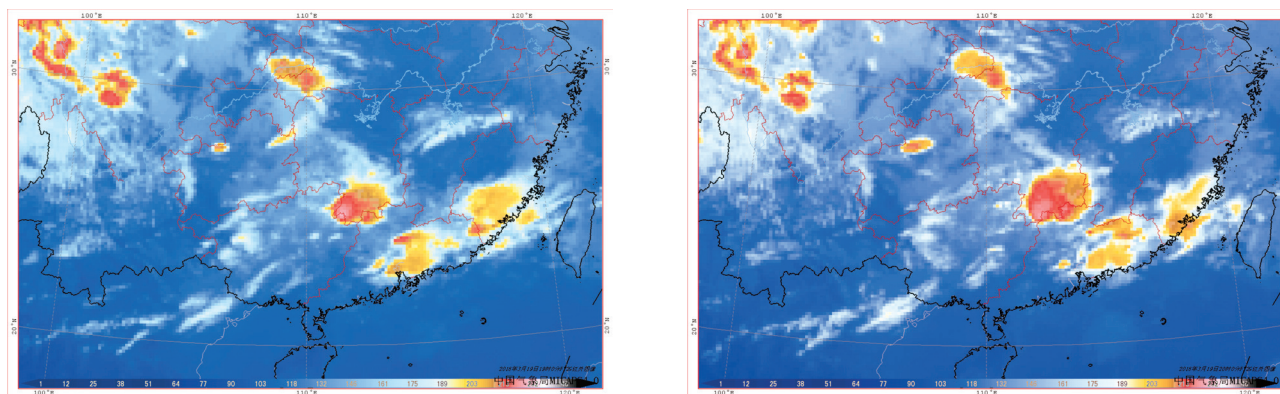


图 6 19 日 19 时和 20 时 FY-2G 红外 1 通道云图

(2) 冰雹发生前大气稳定度迅速下降, $\Delta \theta_{se(500-850)}$ 、沙氏指数、K 指数、对流有效位能等物理量的变化特征对强对流天气的发生发展有很好的指示意义。强的垂直风切变和单一方向的切变风矢量有利于强雷暴发生发展。合适的 -20°C 和 0°C 层高度、上干下湿层结以有利于产生冰雹。

(3) 此次过程中三个雹暴云团具有以下特征: 强回波中心强度超过 60dBz , 具有倾斜结构和存在 V 型缺口, 移动方向前侧存在一辐合区, 径向速度方向一致, 存在明显的风暴顶辐散, VIL 值一直维持在 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上, 回波顶高维持在 12km 以上。

参考文献:

- [1] 周长青, 徐冬英, 徐靖宇, 等. 2016 年春季湖南一次连续冰雹天气过程个例分析 [J]. 气象研究与应用, 2017, 38(4): 22-26.
- [2] 李宜爽, 刘蕾, 王艺. 广西柳州 2016 年 4 月一次致灾冰雹天气过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37(3): 52-56.
- [3] 曾数军, 荣利香, 杨亚钦, 等. 4.12 花都冰雹天气过程分析 [J]. 广东气象, 2013, 35(6): 23-27.
- [4] 叶爱芬, 伍志方, 程元慧, 等. 一次春季强冰雹天气过程分析 [J]. 气象科技, 2006, 34(5): 583-588.
- [5] 苏耀辉, 黄晓东. 江门地区一次冰雹过程的分析 [J]. 广东气象, 2017, 39(1): 35-39.
- [6] 李聪, 蒋有山, 姜迪, 等. 一次冰雹天气过程的多源资料观测分析 [J]. 气象, 2017, 43(9): 1084-1094.
- [7] 郝建平, 曹刚, 李斌, 等. 粤北一次降雹过程的成因分析 [J]. 广东气象, 2014, 36(6): 20-23.
- [8] 吴悦, 李骄杨, 李忠党. 2016 年 1 月钟山县一次罕见冬季冰雹天气分析 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37(2): 42-46.
- [9] 徐芬, 郑媛媛, 肖贲, 等. 江苏沿江地区一次强冰雹天气的中尺度特征分析 [J]. 气象, 2016, 42(5): 567-577.
- [10] 黄冬梅, 黄彩东, 韦美闹. 2011 年河池市冰雹天气过程雷达产品分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33(S1): 53-54.
- [11] 赖雨薇, 黄磊, 周惠文. 多普勒雷达产品对南宁冰雹天气的应用分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35(4): 36-39.
- [12] 唐熠, 冯晓玲, 王娟. 2012 年广西一次高架对流冰雹过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34(S1): 26-28.
- [13] 杨思施, 黄开刚, 刘国忠. 2013.3.23 百色市致灾冰雹天气过程成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(2): 43-46.
- [14] 覃艳秋, 赖雨薇, 刘蕾. 柳州夏季一次雨夹冰雹的天气过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(1): 63-67.
- [15] 农孟松, 祁丽燕, 黄海洪, 等. 桂西北一次超级单体风暴过程的分析 [J]. 气象, 2011, 37(12): 1519-1525.
- [16] 覃靖, 潘海, 刘蕾. 柳州“4·09”致灾冰雹的超级单体风暴过程分析 [J]. 气象, 2017, 43(6): 745-755.
- [17] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用 [M]. 气象出版社, 2006: 95-186.