

文章编号:1673-8411 (2016) 03-0052-05

广西柳州 2016 年 4 月一次致灾冰雹天气过程分析

李宜爽, 刘 蕾, 王 艺

(广西柳州市气象局, 广西 柳州, 545001)

摘 要: 利用 Micaps 资料、地面加密自动观测资料、NCEP/NCAR 的 $1^\circ \times 1^\circ$ 每 6h 再分析资料以及新一代雷达资料, 对 2016 年 4 月 9 日发生在柳州的一次强对流天气过程进行了分析。结果表明: (1) 在高空冷涡槽后干冷平流及地面西南暖低压的影响下, 中高层干冷, 低层暖湿的不稳定层结为此次冰雹天气提供了有利的热力及动力条件, 低层适当的水汽条件、高 CAPE 值以及较强的环境风垂直切变有利于强冰雹天气的发生; (2) 地面中尺度辐合线及低层锋区的南压是这次强对流天气的触发因子; (3) 适宜 0°C 层和 -20°C 层高度有利于强风暴云发展, 为雹粒的形成、增长和降落提供了有利条件; (4) 雷达回波分析表明, 回波云中存在 $\geq 60\text{dBz}$ 的回波单体, 回波区出现典型的冰雹回波特征, 是判别有无冰雹天气的重要指标。

关键词: 冰雹; 环流形势; 物理量; 不稳定能量; 雷达回波

中图分类号: P458.1*21.2

文献标识码: A

The Analysis of a Hail Weather on April 9th 2016 in Liuzhou, Guangxi

Li Yi-shuang, Liu Lei, Wang Yi

(Liuzhou Municipal Meteorological Service, Liuzhou Guangxi 545001)

Abstract: Based on the Micaps data, surface intensive observations data, and NCEP/NCAR $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ degree reanalysis (every 6 hours) data, and new generation radar data, severe convection weather on April 9th 2016 in Liuzhou of Guangxi was analyzed. The result shows: 1) Influenced by the dry and cold advection behind high-altitude cold vortex trough and southwest warm-core cyclone in the ground surface, the unstable stratification of dry and cold condition in upper-atmosphere and wet and warm condition in low atmosphere served as the advantageous thermal and dynamic conditions for the formation of this hail weather, and the adequate vapor condition, high CPAE value, and strong vertical shear of environmental wind in low level also catalyzed the forming of the strong hail weather. 2) The triggering mechanism of this severe convection weather is the southward of the ground surface mid-level convergence line and low level frontal zone. 3) The adequate altitude of 0°C and -20°C is advantageous for the development of the strong storm clouds, and it also created a favorable condition for the formation, growth, and falling of the hailstone. 4) According to the radar echo, the echo monomer ($\geq 60\text{dBZ}$) in the echo clouds and the typical hail echo feature appeared in the echo zone are the essential index for the judgement of hail weather.

Key words: hail; circulation feature; physical quantity; instable energy; radar echo

1 引言

雷暴、冰雹、龙卷等是严重的灾害性强对流天

气, 具有空间尺度小、生命期短的特点^[1], 用常规天气观测网很难捕捉到。冰雹毁坏庄稼、破坏房屋, 造成牲畜甚至人员伤亡, 对社会经济发展和人民生命

收稿日期: 2016-05-28

作者简介: 李宜爽 (1991-), 女, 广西柳州人, 助工, 从事天气预报服务工作

财产安全危害很大,研究冰雹天气具有重要意义。姚胜芳等统计了全区 90 个站共 49 年 (1956~2004 年)的冰雹资料,发现我区冰雹天气与海拔高度成正相关,具有“北多南少、西多东少、山区比沿海多”的特点,且主要集中在 3~5 月份^[2];冰雹是中尺度对流活动发展的结果,热力不稳定决定对流发展的强度,而动力作用对触发对流及决定风暴类型起重要作用^[3]。锋面抬升是华南地区强对流天气的主要触发机制,中层的干急流及垂直风切变可能是强对流发展的主要因素^[4-6]。孙莹等^[7]通过分析广西地区一次强冰雹过程形成机制分析得出,强对流过程发生前期存在暖干盖,中低层风切变的增加,促进了高低层能量的交换,揭开暖干盖,触发强对流的爆发。伍志方等^[8]对产生冰雹的中小尺度天气系统的多普勒雷达回波特征进行了统计;农孟松^[9]等对 2012 年早春广西一次高架雷暴冰雹天气过程进行分析,得出冰雹发生在 850hPa 切变线南北两侧约 200km 范围,等压面锋区强度大;高空槽前正负变温使 700~500hPa 垂直方向温度差大,导致层结对流不稳定性加大。当 500hPa 低槽移至强锋区上空时,锋面坡度变陡,上升运动加强,不稳定性增大,使得冰胚在对流层中层增长而形成冰雹;张正国^[10]等利用广西 2009~2012 年降雹样本资料和新一代天气雷达回波顶高(ET)产品,对广西冰雹云回波顶高变化特征进行统计分析,结果显示广西冰雹云的 ET 整体呈现明显的阶段性变化特征,降雹时间和 ET 值达到最大值时间基本一致。杨恩施等^[11]对百色市一次致灾冰雹天气过程进行分析,得出持续偏高的反射率因子和垂直积分液态水含量为冰雹、大风预警的发布提供了有效依据。唐熠、黄远盼、赖雨薇、张静等从物理机制、中小尺度系统特征等方面对广西境内冰雹天气进行了一些研究^[12-15]。

本文利用 Micaps 资料、地面加密自动观测资料、柳州市新一代天气雷达探测资料,从中尺度天气系统配置、物理量场以及雷达短临识别方面,对 2016 年 4 月 9 日发生在广西柳州地区一次冰雹天气过程进行综合分析,为做好人工影响天气作业等气象服务提供一定的科学依据。

2 冰雹天气过程概况

2016 年 4 月 9~10 日,柳州市出现了以冰雹、雷雨大风和短时强降水为主的强对流天气过程,影响到柳州市北部地区。根据气象台站观测和各地气象

信息员上报,三江、融安、融水境内出现冰雹,冰雹最大直径为 40mm,出现房屋损坏、倒塌、路面塌方、电力中断,农作物受灾面积大,经济损失超过 800 万元。强降水主要出现三江中南部、融安县、融水县、柳城县和鹿寨县中北部。强对流天气过程发生在 9 日 20 时至 10 日 01 时,以冰雹和短时雷雨大风为主,最强降水 109.7mm 出现在融水县的安太乡。9 日 21 时 30 分左右开始,北部山区的融安、融水县出现冰雹,局部伴有短时雷雨大风,最大风速达 23.5m/s (出现在融水县永乐乡)。

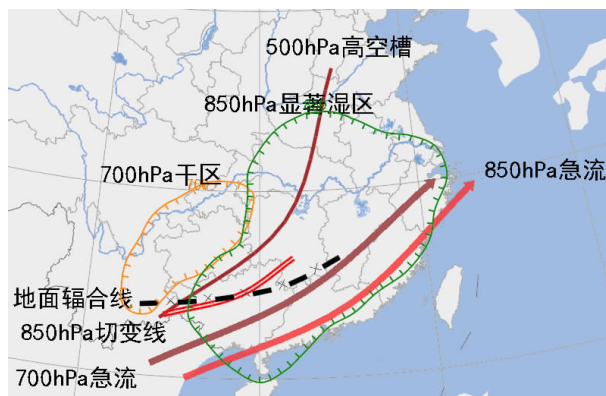


图 1 2016 年 4 月 9 日 20 时天气形势分析

3 天气形势分析

从 2016 年 4 月 8 日 20 时~9 日 20 时的高空环流形势来看,欧亚为两槽一脊型,乌拉尔山高脊逐渐加强为阻塞高压,华南沿海一带受副高外围影响,500hPa 高空槽不断加深东移引导北部冷空气侵入,柳州位于长波槽底。从中低层环流形势来看,700hPa 逐渐增强的西南气流和中高层的干冷空气于 9 日 20 时在柳州上空汇合,850hPa 上暖湿气流不断加强,使得低层湿度增加,温度升高,加上自西向东移动的切变线影响,整层大气呈现出上层干冷下层暖湿的不稳定状态,加上低层充足的水汽,为强对流天气的发生建立了有利的水汽、动力和能量条件。从地面形势来看,广西受西南暖低压控制,地面温度升高,大气不稳定性加剧,为对流的发展和冰雹的形成提供了能量来源,冷涡后部不断有冷空气随高空槽侵入,9 日 20 时,地面辐合线南压至广西北部,成为冰雹产生的触发机制。

4 物理量场分析

4.1 不稳定条件分析

4.1.1 沙瓦特指数(SI)

从图 2a 中可以看出,4 月 8 日 20 时,广西北部、贵州、湖南一带大部都处于 $SI > 0$ 的区域内;4 月 9 日 08 时(图略),广西大部处于 $SI < 0$ 的区域内,在河池附近有 -3°C 的负值中心,柳州 SI 值减小至 -1 至 -2°C ,说明柳州上空大气不稳定性增强;4 月 9 日 20 时(图 2b),广西大部 $SI < -4^{\circ}\text{C}$,在融安、融水附近 SI 降至 -5°C ,说明柳州北部上空不稳定性不断增强,从 9 日 21 时开始有强对流天气产生。

4.1.2 对流有效位能(CAPE)及环境风条件

河池站为柳州北部三县的上游地区,因此选取河池站的探空进行分析。分析河池上空的 CAPE 值发现,4 月 8 日 20 时的 CAPE 值为 $20.8\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,9 日 08 时的 CAPE 值为 $78.2\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,9 日 20 时的 CAPE

值为 $1287.3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 3),说明,在 20 时前后,柳州市的对流有效位能增加迅速,具备了较高的静力不稳定条件;同时,自由对流高度(LFC)降至到 700hPa 以下,预示着只需一个中低强度的扰动就能导致不稳定能量的释放。

从 4 月 8 日 08 时和 20 时河池站的探空资料可见,环境大气 0°C 层高度约在 4km 左右,即 600hPa 高度附近,这样的高度使得对流云可向更高处发展,使低层的水汽通过强烈的上升运动能够到达该高度,为冰雹生成提供了丰沛的水汽条件,且当雹粒增长到足够大而落下时,不至于因暖层过厚而被融化^[16]。 -20°C 层约在 7.5km ,即 400hPa 附近。 0 至 -20°C 层结的厚度为 3km ,有利于大冰雹的生成。从探空资料还可以看出,强对流过程中 $0\sim 6\text{km}$ 风向顺转 $>$

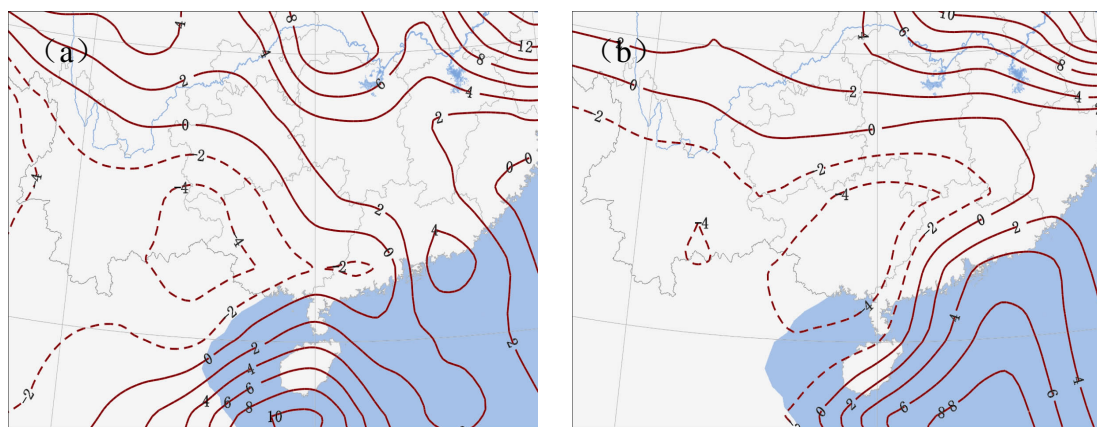


图 2 2016 年 4 月 8 日 20 时(a)、4 月 9 日 20 时(b)SI 指数水平分布(单位: $^{\circ}\text{C}$)

120° , 风的垂直切变为 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 且 0°C 高度低于 4.5km , 适宜冰雹的生长。

4.1.3 θ_{se} 垂直分布特征

沿 109.5°E 作 θ_{se} 垂直剖面图(图 4)发现,4 月 9 日 14 时(图 4a, 见彩页), 850hPa 以下存在 θ_{se} 高值区, 在 $600\sim 500\text{hPa}$ 之间有 θ_{se} 的低值中心向低纬度地区延伸, 表明对流层中高层有冷空气向南入侵。柳州范围内($24^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$), 近地面层到对流层中高层之间 θ_{se} 变化幅度较大, 随高度显著减小, 即 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial P} > 0$, 存在位势不稳定。到 4 月 9 日 20 时(图 4b, 见彩页), θ_{se} 低值区从低层逐渐向低纬度地区扩展, 在 25°N 附近, 冷空气逐渐从低层侵入, 到 4 月 9 日 02 时(图略), 锋面逐渐南压, 冷空气入侵到 24°N 附近。

$\theta_{se850-500}$ 表示一个地区在 850hPa 和 500hPa 高度上

的假相当位温之差, 用以表征这 2 个高度之间大气层结的不稳定度, $\theta_{se850-500}$ 值越大, 表明这两层之间的大气越不稳定。 $\theta_{se850-500}$ 值大于 10°C , 分别是 9 日 14 时值为 19°C , 9 日 20 时值为 16°C , 位势不稳定加剧, 有利于强对流的发生。10 日 02 时, $\theta_{se850-500}$ 值迅速减小, 为 6°C , 表明位势不稳定已逐渐减弱, 不利于强对流天气的发生。

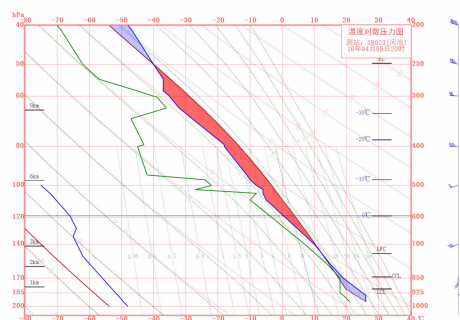


图 3 2016 年 4 月 9 日 20 时河池探空 T-lnp 图

4.2 水汽条件

从水汽通量散度垂直分布图(图 5a, 见彩页)看,水汽辐合区在低层 850hPa 以下,最强水汽辐合中心出现在 925hPa 附近,10 日 02 时,水汽辐合中心南压到 23~24°N。从相对湿度和温度的叠加图(图 5b, 见彩页)可以看到,柳州上空 850hPa 相对湿度 $\geq 80\%$, 850hPa 和 500hPa 温差达到 27℃,在这种条件下,低层的暖湿水汽辐合上升,高层较低的温度,这种低层高温高湿、中层干冷的配置有利于冰雹的产生。

4.3 动力条件

沿 109.5°E 作涡度的垂直剖面图可以看出,强对流发生之前涡度场有明显增强,9 日 20 时(图 6a),从地面到 200hPa 都为正涡度区,形成明显的垂直涡柱,300hPa 附近有一大值中心,强度达到 $10 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,正是这种深厚的涡度为水汽的抬升提供了强有力的动力。沿 109.5°E 作垂直速度的垂直剖面图,可以看出垂直速度的分布与涡度场配合很好,在强对流发生的 6h 之前,9 日 14 时(图 6b)可以看出,在冰雹发生区(25°N 左右),1000~300hPa

大气都处于上升运动不稳定区,上升垂直速度最大值中心位于 400hPa 附近,垂直速度最大值达 -7Pa/s ,上升运动不稳定层增强增厚,高层辐散,低层辐合,一个强烈的抽吸效应开始形成,有利于冰雹的抬升和维持。9 日 20 时(图略),柳州上空整层都为下沉运动,垂直速度最大值达 $13 \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$,降雹开始。

5 雷达回波演变特征

首先以柳州多普勒雷达 1.5°仰角基本反射率为主要分析对象。此次过程中,相继有一系列对流单

体生成,部分最终演化成超级单体。4 月 9 日 19 时观测到有块状的对流性降水回波从黔东南向东南方向移动发展。19 时 30 分左右,在黔东南一带有 3 个对流单体生成,并迅速发展,后面两个对流单体合并成一个,继续向东南方向移动,20 时 10 分在黔桂交界、融水县杆洞乡有两个对流单体。这些单体回波最大强度 $>60 \text{dBz}$,且 $>50 \text{dBz}$ 的强回波伸展高度超过 10km,回波顶最高高达 16km,远远超过了 -20°C 层高度,单体已发展成强风暴超级单体,会引发灾害性的冰雹天气。21 时左右,融水附近有块状的对流性降水回波生成,并迅速发展,逐渐向东南方向移动,21 时 49 分,单体回波最大强度为 63dBz ,回波伸展高度为 11km,21 时 55 分,单体回波强度达到最强, $>65 \text{dBz}$,回波伸展高度为 14km,降雹开始。此后,单体强度逐渐减弱消失,连成条状的强降水回波带。随着切变线的南压,降雨带也逐渐南压减弱。

图 7(a, 见彩页)为 21 时 49 分降雹时风暴核心的反射率因子垂直剖面图。由图中可以看到明显的弱回波区以及回波墙。弱回波区的水平尺度约为 5km,强的反射率因子区($>60 \text{dBz}$)为沿着弱回波区左侧的一个竖直的狭长区域,从 11km 左右高度一直扩展到低层,其中下部代表冰雹下降的区域。反射率因子从低层往高层向低层入流一侧倾斜,呈现出明显的回波悬垂,并出现典型弱回波区以及弱回波区左侧的强大回波墙。最强区域位于回波墙中部 4~6km,其值达到 63dBz 。超级单体的回波顶高接近 12km。从图 7(b, 见彩页)中可以看出,强回波中心已经及地,说明降雹开始产生。

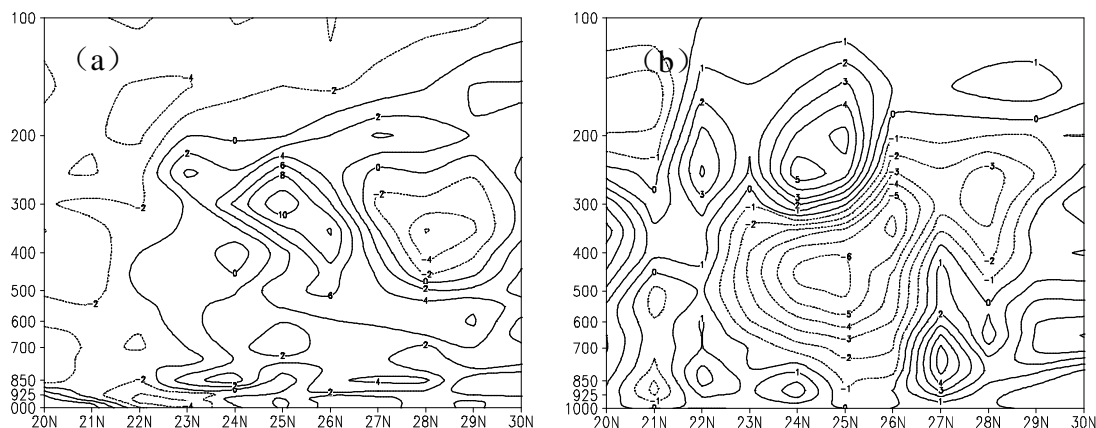


图 6 沿 109.5°E 作涡度(单位: 10^{-5}s^{-1})的垂直剖面图(a),垂直速度(单位: Pa/s)的垂直剖面图(b)

6 结论

本文利用 Micaps 资料、地面加密自动观测资料、NCEP/NCAR 的 $1^\circ \times 1^\circ$ 每 6h 再分析资料以及新一代雷达资料,对 2016 年 4 月 9 日发生在柳州的一次强对流天气过程进行了分析,得到以下结论:

(1) 高空低涡及其伴有的弱冷空气南移与低层暖湿空气所形成上冷下暖的不稳定层结,加上垂直上升运动的迅速发展为此次冰雹天气提供了有利的大尺度环境场条件。

(2) 通过对沙氏指数、有效位能和假相当位温的分析,表明大气层结处于热力不稳定中,并且降雹前大气不稳定性加大,为冰雹天气的发生提供了有利的热力不稳定条件。

(3) 水汽条件、不稳定层结、外部抬升力等条件同时满足,导致出现强对流天气,而单站探空 0°C 层和 -20°C 层高度较为适宜,环境风垂直切变较大,有利于强风暴云发展,为雹粒的形成、增长和降落提供了有利条件。

(4) 应用雷达回波分析,回波云中存在 $\geq 60\text{dBz}$ 的回波单体,而且回波区出现典型的冰雹回波特征(悬垂回波、弱回波区及回波墙等),是判别有无冰雹天气的重要指标。

参考文献:

- [1] 陈汉城.中尺度原理和预报 [M].北京:气象出版社,2000: 61-68.
- [2] 姚胜芳,黄治逢,农孟松,唐文.广西冰雹的活动特点 [J].热带地理,2008,28 (2): 119-124.
- [3] 彭治班,刘健文,郭虎等.国外强对流天气的应用研究 [M].北京:气象出版社,2001.
- [4] 张婉莹,花家嘉,侯书勋等.河北唐山一次飑线过程的

中尺度天气分析 [J].干旱气象,2014,32 (4): 636-641.

- [5] 牟容,余君,刘德.重庆 2008 年 7 月 21 日强对流天气成因及其特征 [J].气象,2009,35 (5): 49-54.
- [6] 张涛,方翀,朱文剑,等.2011 年 4 月 17 日广东强对流天气过程分析 [J].气象,2012,38 (7): 814-818.
- [7] 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,2009,27 (3): 677-685.
- [8] 伍志方,叶爱芬,胡胜等.中小尺度天气系统的多普勒统计特征 [J].热带气象学报,2004,20 (4): 391-399.
- [9] 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.
- [10] 张正国,邹光源,刘丽君等.雷达回波顶高 (ET) 产品在广西冰雹云识别中的应用研究 [J].气象研究与应用,2014,35 (4): 89-92.
- [11] 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].气象研究与用,2015 (2): 43-46.
- [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] 黄远盼,梁珊珊.贺州市一次致灾冰雹天气过程诊断分析 [J].气象研究与应用,2012,33 (2): 19-22.
- [14] 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.
- [15] 张静,张凌云.2008 年春季柳州市一次局地冰雹天气成因分析 [J].气象研究与用,2012,33 (S1): 29-32.
- [16] 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,2006,31 (4): 15-17.