

文章编号:1673-8411 (2015) 01-0063-05

柳州夏季一次雨夹冰雹的天气过程分析

覃艳秋¹, 赖雨薇² 刘蕾³

(1.柳江县气象局, 广西 柳州, 545100; 2. 南宁市气象局, 广西 南宁, 530022; 3.柳州市气象局, 广西 柳州 545000)

摘要:利用常规地面观测、柳州地面自动站、FY-2C 卫星、柳州和河池的多普勒天气雷达观测资料,对 2014 年 7 月 22 日夏季柳州发生的一次短暂的雨夹冰雹天气过程的环境条件和雷达产品特征进行分析,主要结果如下:受副高和台风外围气流影响,柳州全市出现了 37℃以上大范围的高温天气,天气尺度和中尺度的上升运动较弱,局地性质的加热作用导致大气的不稳定度加强而诱发对流云系进一步发展造成的;雷达显示的冰雹云的最大基本反射率因子为 65dBZ,强回波区面积小;风速的切变和辐合上升运动小,0℃层高度较高,不利于对流系统的发展和维持。

关键词:冰雹;大气不稳定度;高温

中图分类号:P458

文献标识码:A

Analysis of a Rain and Hail Mixed Weather Process in Summer of Liuzhou

Qin Yanqiu¹ Lai Yuwei² Liu Lei³

(1.Liujiang County Meteorological Service, Guangxi Liuzhou, 545100; 2. Nanning Municipal Meteorological Service, Guangxi Nanning, 530022; 3.Liuzhou Municipal Meteorological Service, Liuzhou Guangxi 545001)

Abstract: Based on data of surface meteorological observation, automatic weather station, FY-2C satellite and the Doppler radar of Liuzhou and Hechi, weather conditions and characteristics of radar products of a rain and hail mixed weather process happened on July 22, 2014 in Summer of Liuzhou were analyzed. The main results show that: influenced by the subtropical high and peripheral airflow of typhoon, the weather of large-scale high temperatures above 37 degrees appeared in Liuzhou.. The Doppler radar products showed that the maximum basic reflectivity radar of hail cloud is 65dBZ with small area of strong echo. The small wind shear and convergence ascending motion, and a high height of 0℃ were not conducive to the development and maintenance of the convective system.

Key Words: hail; atmospheric instability; High-temperature

引言

冰雹是一种中小尺度的强对流天气之一,其天气变化强烈,具有突发性和局地性强的特点,常给人民生活和工农业生产带来严重的威胁,是春夏之交时节的主要气象灾害天气之一。国家气候中心统计

了 1961~2009 年全国年平均冰雹日数,结果显示我国冰雹的分布大体沿山系伸展,最多的地区是青藏高原地区,其次为大兴安岭至太行山一带,另外,天山、祁连山、长白山、云贵高原等地也是冰雹较多的地区^[1]。广西地处华南低纬度地区,北部山地较多,自然地理环境复杂,中低纬天气系统容易在复杂的

收稿日期:2014-11-15

作者简介:覃艳秋(1991-),女,广西柳州,助理工程师,主要从事地面测报、预报工作。

地形条件下诱生中小尺度天气系统,冰雹灾害天气多发。周国良等统计了1974~1985年12年广西区的降雹特点,得出我区全年降雹主要集中在3~4月份,10、11月为全年中降雹日数相对高点,其他月份也偶有出现^[2];陈见分析了1984~1993年2~5月冰雹偏多、偏少年份的环流特点^[3];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^[4];贺春江分析了河池市10个地面观测站51年(1961~2011年)的冰雹观测资料,发现桂西北4月冰雹出现的频率最大^[5];卢健壮、张静、黄冬梅对广西春季冰雹的天气过程进行综合分析^[6,7,8]。

1 过程概述

2014年07月22日16时(北京时,下同)许,柳州市气象局附近的三中路一带出现了高温、大风、雷电、雨夹冰雹的骤变天气,据目击称,前一分钟骄阳似火,随即突然出现大风,大风仅持续几分钟,16:40左右出现了雨夹冰雹的天气,持续时间5分钟左右,

冰雹尺寸如指头大小,随降随化,最大直径可达15mm。这次强对流天气持续时间较短,冰雹尺度小,并没有对当地造成太大损失,但是此种局地性质较强的冰雹天气的预警仍需加强。本文将对此次天气过程的环境条件及雷达回波进行初步分析。

2 天气形势分析

07月22日08时,500hPa高空图上,欧亚大陆为两槽一脊的环流形势,我国东北至江汉、江淮地区为低槽,588线控制江南及华南沿海地区,副高脊线的西端延至四川东南部,广西受500hPa高压环流和低层偏南气流影响,桂东北22日气温偏高,同时,由于第九号台风“威马逊”刚刚过去,第十号台风“麦德姆”的外围下沉气流正在蔓延,20时副高北抬,台风向西北行进,广西受台风顶后部的偏东气流控制。08时700hPa云南上空存在切变线,广西位于切变线的右前方,低空受切变线和台风外围偏南气流的共同影响(图1)。

2.1 物理量分析

Doswell(1987)指出天气尺度的上升运动不足

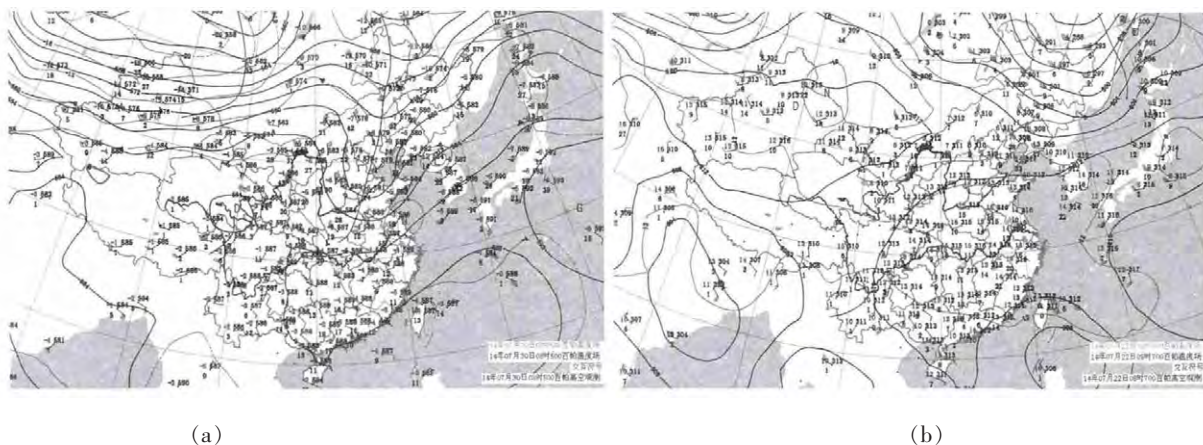


图1 2014年07月22日08时(北京时,下同)500hPa、700hPa天气图

以触发雷暴,低层的中尺度系统往往是雷暴的触发者^[9]。王秀明等指出,有两种条件可以使潜在的不稳定转化为现实的不稳定:(1)低层增湿使气层达到饱和;(2)低层辐合抬升使气块达到自由对流高度(LFC)^[10]。

从水汽通量散度来看,08时柳州上空,低层850hPa为弱的水汽辐合,700hPa即转为水汽辐散,水汽辐合不强,但是随着台风北西北行进,副高的东撤,西南静止锋切变线缓慢东移,东南气流将海上的暖湿水汽往陆地输送,使低层水汽含量升高(图2)。从散度场来看,08时柳州,850hPa散度小于零,

700hPa散度大于零,500hPa散度小于零,随着“麦德姆”向西北行进,到20时,850hPa散度大于零,700hPa和500hPa散度小于零(图3),广西为上升气流控制,但受环流的影响,辐合上升运动较小。

可见,22日柳州天气尺度和中尺度的上升运动较弱,冰雹天气产生所需的动力条件还需要从其他地方获取。

2.2 不稳定性度垂直风切变

Doswell等总结了雷暴生成的三要素包括静力不稳定、水汽和抬升^[11]。用来衡量热力不稳定大小的最佳参量是对流有效势能(CAPE),CAPE是气块在

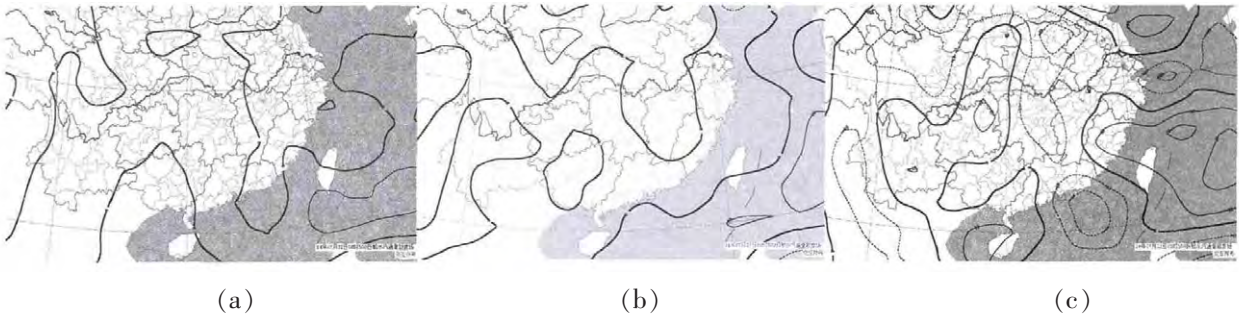


图 2 2014 年 07 月 22 日 08 时 500hPa(a)、700hPa(b)、850hPa(c)水汽通量散度

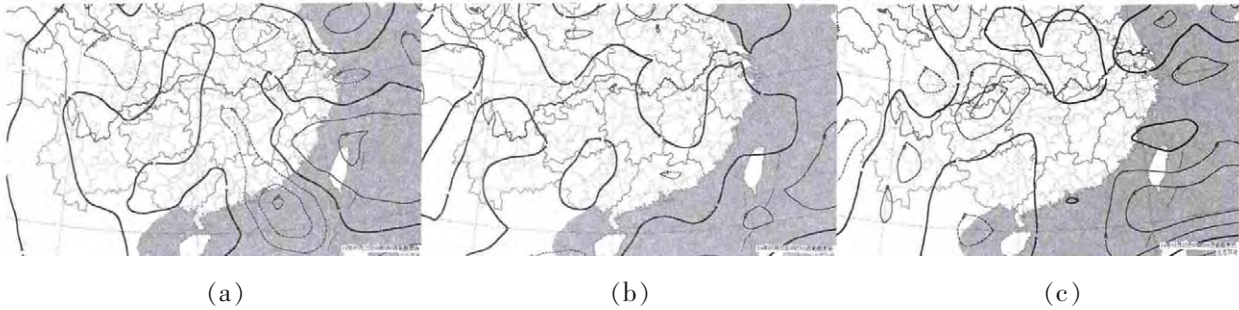


图 3 2014 年 07 月 22 日 08 时 500hPa(a)、700hPa(b)、850hPa(c)散度场

给定环境中绝热上升时的正浮力所产生的的能量的垂直积分,是风暴潜在强度的一个重要指标^[12],而风暴要形成,则要克服对流抑制能量 CIN,CIN 即处于大气底部的气块要达到自由对流高度至少需从其他途径获得的能量下限,正比于 $T-\ln P$ 图上自由对流高度下的负面积区。 K 指数是一个经验指标,它同时反映了大气层结稳定性和中低层的水汽条件, $K=(T_{850}-T_{500})+T_{d850}-(T-T_d)/700$ 。 $SI=T_{500}-T_s$,其中 T_{500} 为 500hPa 上的实际大气温度, T_s 是 850hPa 等压面上的湿空气团沿干绝热线上升至凝结高度后,再沿湿绝热线上升至 500hPa 高度时所具有的气团温度。沙氏指数 SI 定义式为: $SI=T_{500}-T_{850}$,理论上,沙氏指数 SI 负值愈大,愈有利于不稳定。根据国外对 SI 与对

流天气的关系研究,当 $0^{\circ}\text{C}<SI<3^{\circ}\text{C}$,有发生阵雨的可能;当 $-3^{\circ}\text{C}<SI<0^{\circ}\text{C}$,有发生雷暴的可能性^[1]。 LI 是条件性稳定度的参数, LI 为负值时表示气块处于不稳定状态,较小的 LI 有利于深对流的发展^[13]。 0°C 层高度(ZHT)和 -20°C 高度(THT)时识别冰雹云的两个重要参数,最有利于降雹的 0°C 层高度大约在 3.6~4.5km,而 -20°C 层高度在 5.5~6.9km 内最容易形成冰雹云。

由于柳州本地没有探空资料,当地预报员在实际的预报中通常使用位于其北侧的河池站探测资料。由 08 时和 20 时河池站 $T-\ln P$ 图可以看出(图 4),近地层往上,风向大致随高度逆转且风速较小,从低层到高层均为冷平流,整个气层是潜在不稳定

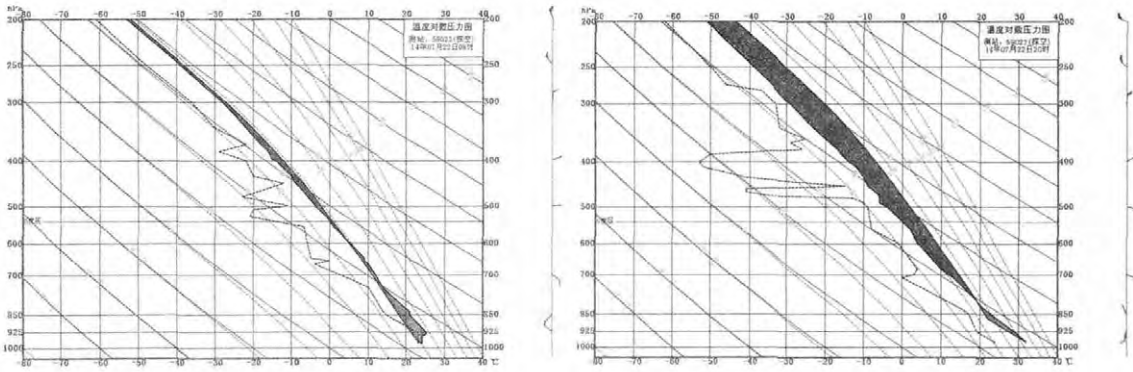


图 4 2014 年 07 月 22 日 08 时(a)和 20 时(b)59023 河池站温度对数压力图

表 1 2014 年 07 月 22 日 59023 河池站各对流参数

参数	强对流天气 参数阈值	本次天气过程参数	
		08 时	20 时
K/℃	>30(越大越不稳定)	31	44
SI/℃	<-1	0.16	-2.42
LI	≤-3	-1.71	-7.46
TT	≥50(越大越不稳定)	51	52
CAPE/J/kg	>400	384.5	2983.4
ZHT/m	3600-4500	5300	5264
THT/m	5500-6900	8500	9804

的。08 时河池的对流有效势能 CAPE 为 384.5J/kg, 对流抑制能量 CIN 为 402.4, CAPE 小于 CIN, 上升气块不易达到自由对流高度, 属于假潜不稳定型。但在 20 时, CAPE 增大为 2983.4J/kg, 而 CIN 减小为 201.9, 气层变成真潜不稳定型, 同时 K、SI、LI、TT 指数均有所增大, 表明当日不稳定能量逐渐增加, 有利于对流发展甚至雷暴的发生。而 0℃层高度维持在 5300m 附近, -20℃层高度相比与 08 时则增高了 1300m, 均超出经验阈值范围。夏季 0℃层高度高, 暖区(抬升凝结高度与 0℃层的高度差)厚, 容易导致雹块在下降过程中完全融化。

多数的雷暴或冰雹等对流性天气的产生都和槽线、切变线、低压、低涡等系统性的辐合和抬升运动相关, 但是在系统较弱的情况下或在一个气团内部, 由于午后地球表面受到太阳辐射增热而使层结变为不稳定, 往往容易发生“热雷暴”。因为局地地区的地表加热大气是导致大气不稳定的一个重要原因之一, 也是诱发对流云系快速发展的一个重要因素, 而热力作用的强弱取决于局地加热的程度, 也就是最高温度的高低。

柳州全市共有 92 个测温自动站, 当日大于等于 40℃共有四个县的 6 个站点, 37~40℃共有 7 个县的 73 个站点, 35~37℃共有 7 个县的 7 个站点, 仅有 3 个县的 6 个站点最高气温小于 35, 约 86%的自动站出现了 37℃以上的高温天气。如图 5(见彩页)为柳州市 7 月 22 日最高气温分布图, 图中蓝色线为江河流域, 降雹地点(箭头所指)附近为沿江地带。可见, 受副高影响, 当日柳州市午后局地加热作用强烈, 地表受热不均造成局地温差, 为产生“热雷暴”提供有利的条件。

3 卫星图像分析

冰雹云主要是由中小尺度天气系统造成的, 这

种系统空间尺度小, 时间尺度短, 常规探空资料由于分辨率低因此很难监测到这种系统, 用时空分辨率高的静止卫星云图, 可以观测中小尺度云系的发生发展、成熟和消散的演变过程。受副高控制, 该日上午柳州上空天气晴朗, 随着台风向西北方向前进, 副高逐渐北抬, 云南上空辐合线略有东移, 13 时柳州开始出现发展中的积云团, 此时台风中心位于 123.1°E, 21.5°N, 积云团逐渐发展成积雨云, 17 时云层面积达最大, 之后趋于减弱(图 6, 见彩页)。

4 雷达回波分析

多普勒天气雷达是目前时空分辨率最高的用于监测强对流天气和定量估计降水的有效工具, 是气象部门的重要探测和监测手段之一, 尤其是在变化强烈的灾害性天气的监测和预警中扮演重要的角色。许多学者对冰雹云的雷达回波特征进行分析, 发现冰雹云的雷达回波特征具有共性^[14-18]。

如图 7a(见彩页), 16:39 在柳州雷达站西南方向约 6km 处图中箭头所指降雹点附近, 雷达观测到积雨云的降雨回波最大为 58dBZ, 由于积雨云离柳州雷达站很近, 近距离的回波强度往往容易受到雷达站四周障碍物的阻挡而使回波强度偏小, 同时还使得回波顶高(对应区域最高为 4km)、垂直累积液态水(对应区域最大为 23kg/m²)含量过低。为此, 本文调取了位于柳州雷达西北方向 209km 左右的河池站雷达站的观测资料。由河池雷达的观测资料可以看出, 16:30 降雹地点附近, 积雨云内部 5-6km 高度处回波强度达 60dBZ, 最大为 63dBZ, 16:36 回波强度增强, 达到 65dBZ(图 7b, 见彩页), 强回波区的回波顶高达 15km, 最高的回波顶高为 17km(图 7c, 见彩页在强回波区的后方, 雹暴后倾。可见积雨云发展强盛, 有利于过冷水滴和雹粒的增长。最强回波的维持时间仅几分钟, 在下一个体扫 16:42 的最强回波强度又降为 60dBZ。本次过程的降雹时间也如目击者所述的 16:40 左右, 持续时间约 5 分钟, 与 65dBZ 回波的产生与消失时间基本吻合。可以得出, 本次降雹过程的反射率因子强度大于等于 65dBZ。

三体散射(TBSS)是冰雹云的重要特征, 但由于雷达的分辨率以及冰雹云尺度大小因素影响, 雷达回波产生三体散射需要满足一定的条件。本次过程回波强度大于 60dBZ 的面积较小, 并且由于冰雹云距离柳州雷达较近, 地物阻挡, 从而导致 TBSS 特征未能显示出来, 而距离河池雷达又较远, 雷达分辨率

变小, 亦不能体现小冰雹云的 TBSS 特征。

由柳州雷达基本径向速度图可以看出, 本次过程约在 15:00 以后负速度区大于正速度区, 风速的辐合大于辐散, 15:45 雷达站东侧低层 1km 出现负值的大风核(图 8a, 见彩页), 雷达站西侧低层也为负速度区, 在雷达东侧存在风辐合线(图中蓝色竖线处), 可见此时雷达站附近大气的辐合上升运动加强, 东侧低层的偏东气流向雷达附近地区输送海上的暖湿气流。近地层的强辐合以及水汽的输送有利于积雨云的垂直发展从而发生降雹的可能。16:21 低层出现南北向的正负速度对, 正速度区在北侧偏东方向, 低层吹偏南风, 而高层零速度线呈东北-西南向, 吹东北风, 风向在 1km 附近存在不连续性但强度不强, 由图 8c(见彩页)风廓线产品也可以看出。风的垂直切变是决定雷暴云团的生存时间、强度和云型的关键因子, 也是决定是否有强对流天气的重要因子, 因为它能形成有利于强雷暴发展的潜在不稳定, 提供不稳定能量释放和强雷暴发生的触发机制。风的垂直切边越大, 雷暴的生命期越短, 强度越大。低的风速垂直切变下产生的是短暂的孤立对流, 黄美元等对冰雹云的分析表明, 大多数较弱的冰雹云发生在较弱的风垂直切变环境中, 平均值为 $2.2\text{m}/(\text{s}\cdot\text{km})$ 。而本次过程低层风速小, 且风垂直切变小, 高层的偏东气流小而无急流, 因此冰雹前期的辐合上升和水汽输送条件不充足, 不利于对流运动的加强和维持, 导致了本次过程的短暂性。

5 总结

本文利用常规地面观测、柳州地面自动站、FY-2C 静止卫星、柳州和河池多普勒天气雷达的观测资料对 2014 年 7 月 22 日下午柳州发生的雨夹冰雹天气的环境条件和雷达产品特征进行初步分析, 结果显示: 在副高和台风外围气流的影响下, 天气尺度和中尺度的上升运动弱, 午后局地加热作用导致大气的不稳定度加强, 从而产生的次级环流和上升运动触发积云团的迅速增长, 触发了局地冰雹的发生; 风速的切变和辐合上升运动小, 导致了本次过程的短暂性; 夏季由于气温较高, 0°C 高度高, 暖区厚, 冰雹更容易融化变小; 由于本次过程发生在柳州雷达站较近距离处, 地物的阻挡使本站雷达观测到最强回波偏弱, 累积液态水含量和回波顶高偏低, 本地预报员对雹暴的预报需要根据其位置借鉴临近雷达站点的观测资料。

参考文献:

- [1] 姚学祥主编. 天气预报技术与方法 [M]. 北京气象出版社. 2011.
- [2] 周国良, 潘振宇. 广西冰雹初探 [J]. 广西气象, 1987, 18 (3): 4~11.
- [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] 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.
- [5] 贺春江, 党国花, 陆鸿生. 桂西北冰雹分布特征及春季降雹环境场分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (S2): 66~67.
- [6] 卢建壮, 黄帆. 梧州连续两天冰雹天气过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (S2): 87~88+90.
- [7] 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]. 气象研究与应用, 2012, 33 (S1): 29~32.
- [8] 黄冬梅. 2011 年春季河池市冰雹天气过程综合分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (S2): 29~30.
- [9] Doswell C A. The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: A case study example. Wea Forecasting, 1987, 2 (1): 3~16.
- [10] 王秀明, 俞小鼎, 周小刚. 雷暴潜势预报中几个基本问题的讨论 [J]. 气象, 2014, 40 (4): 389~399.
- [11] Doswell III C A, Brooks H E, Maddox R A. Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology [J]. Weather and Forecasting, 1996, 11 (4): 560~581.
- [12] 俞小鼎等. 多普勒天气雷达原理与业务应用 [M]. 北京气象出版社, 2006.
- [13] 刘健文. 天气分析预报物理量计算基础 [M]. 气象出版社, 2005.
- [14] 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.
- [15] 何草青, 曹江平, 蒋枚峻, 郭洪权, 陆鸿生. 一次降雹的成因和雷达回波特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (S1): 163~165.
- [16] 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+43.
- [17] 张正国, 邹光源, 刘丽君, 程鹏. 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.
- [18] 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.

覃艳秋等：柳州夏季一次雨夹冰雹的天气过程分析

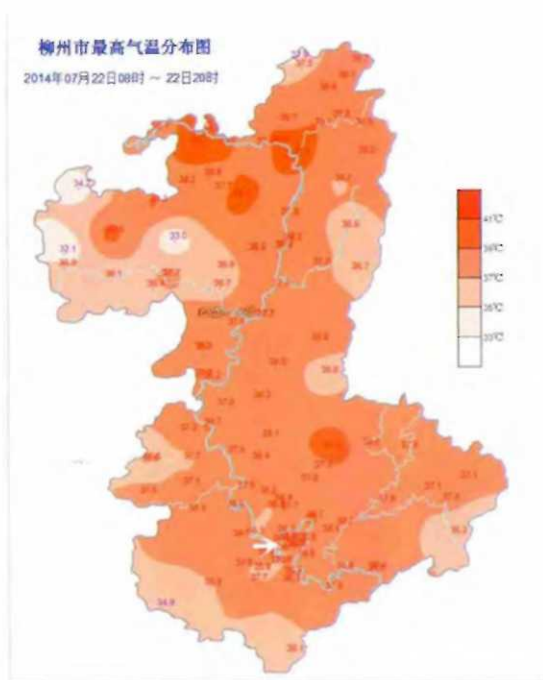


图5 2014年07月22日08时至20时柳州市最高气温分布图

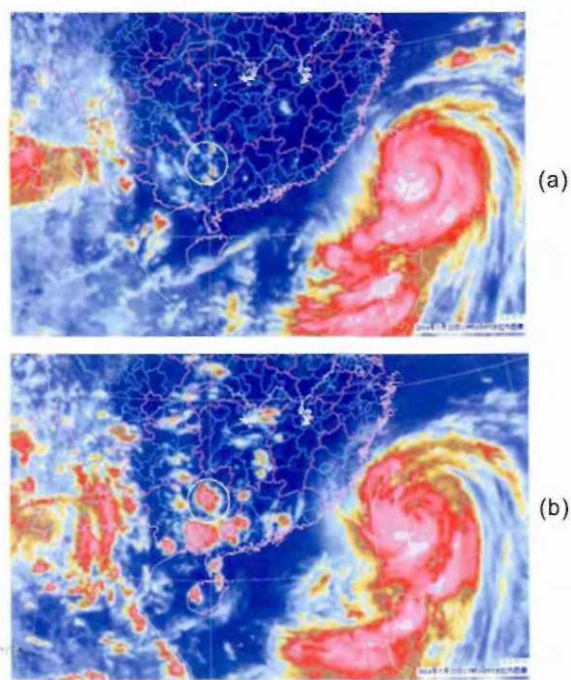


图6 2014年07月22日13时(a)和17时(b)静止卫星红外增强云图

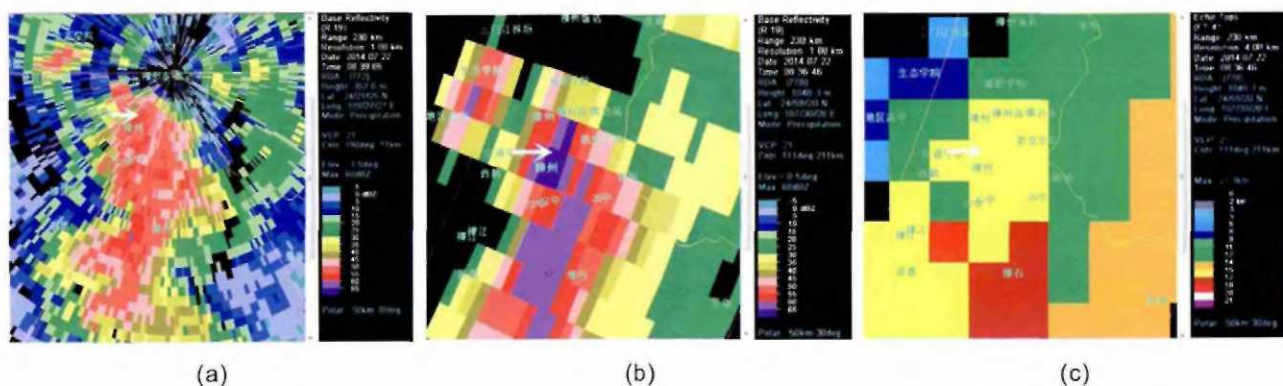


图7 2014年07月22日16:39 (图中时间为世界时,下同)柳州雷达1.5°基本反射率因子(a), 16:36河池雷达0.5°基本反射率因子(b)和回波顶高(c)

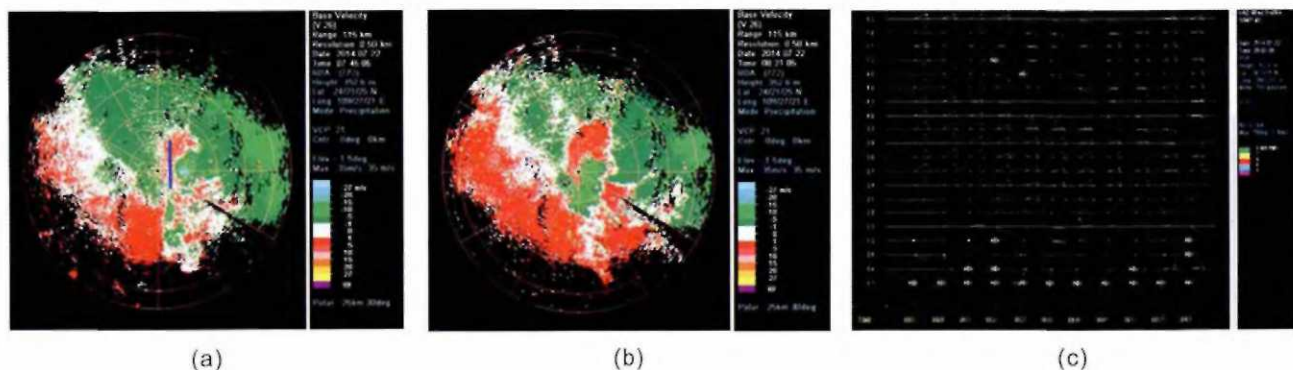


图8 2014年07月22日15:45(a)和16:21(b)柳州雷达1.5°仰角基本径向速度以及风廓线产品(c)