

欧坚莲,汤中明,黄恩恩,等. 2014—2020 年梧州市短时大暴雨雷达回波特征分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(1):20–25.

Ou Jianlian,Tang Zhongming,Huang Enen,et al. Analysis of radar echo characteristics of short-term rainstorm in Wuzhou City from 2014 to 2020[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2022,43(1):20–25.

# 2014—2020 年梧州市短时大暴雨雷达回波特征分析

欧坚莲<sup>1</sup>, 汤中明<sup>2</sup>, 黄恩恩<sup>1</sup>, 蒋玉凤<sup>1</sup>

(1.梧州市气象局, 广西 梧州 543002; 2.百色市气象局, 广西 百色 533000)

**摘要:**利用梧州市多普勒天气雷达和自动气象站降水资料,分析 2014—2020 年发生在梧州市的短时大暴雨天气过程的雷达回波特征。结果表明:(1)大暴雨与 45dBz 以上的强回波和持续时间密切相关,发生短时大暴雨时,最大反射率因子超过 50dBz,45dBz 以上的强回波持续时间基本在 50min 以上;(2)质心高度在 2km 以下,且维持时间 10min 以上的低质心强回波容易形成暴雨;(3)强回波和辐合区相结合易形成大暴雨,与逆风区辐合区关系最密切,占 6 成多;(4)强回波带和列车效应相结合易形成大暴雨;回波带上单体或回波团的移动方向和回波带走向一致易形成大暴雨;(5)回波顶高和垂直累积液态含水量产品出现大值的时间对大暴雨预报预警有指示意义。

**关键词:**短时大暴雨;雷达产品;演变分析;临近预报

**中图分类号:** P412.25

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.1.04

## 引言

广西暴雨洪涝灾害常见<sup>[1]</sup>,尤其是短时大暴雨容易引发城市内涝、山洪、泥石流、山体滑坡等自然灾害,对此广西气象工作者在暴雨研究方面做了大量的工作,也取得了一定的成果<sup>[2-6]</sup>。多普勒雷达资料具有常规观测资料无可比拟的高时空分辨率,是研究中小尺度天气系统的主要手段之一。应用多普勒雷达资料可以跟踪降水过程的全貌,为及时发布暴雨预警信号提供重要的参考依据。黄垚飞等<sup>[7]</sup>研究了近 41a 来江南地区暴雨发生频次及强度特征,赵文等<sup>[8]</sup>研究表明 1h 降水量与 VIL(垂直累积液态含水量)有一定的滞后相关(滞后响应)。罗辉等<sup>[9]</sup>分析了不同类型雷暴群回波在初生阶段和成熟阶段的结构特征。李明等<sup>[10]</sup>研究短时强降水雷达反射率因子呈低质心结构,具有热带降雨型特征。刘国强等<sup>[11]</sup>、陈鲍发等<sup>[12]</sup>分析了短时强降水过程成因和逆风区的回波演变与强对流天气的结构特征。本文主要使用梧州雷达 7a 大暴雨个例,对雷达资料在大暴雨短时

临近预报中的应用做总结分析,为以后的大暴雨短时预报预警提供参考。

## 1 资料与方法

使用 2014—2020 年梧州市 168 个自动气象站逐 1h 和 3h 雨量实况及梧州多普勒天气雷达资料,采用统计分析、形态对比、特征提取等方法分析 3h 降雨量 100mm 以上的短时大暴雨天气过程的雷达回波特征。

短时大暴雨定义:依据降水等级标准(GB/T 28592-2012)24h 降雨量 100~249.9mm 为大暴雨,以及《广西壮族自治区气象灾害预警信号及防御指南》中暴雨红色预警信号为 3h 内降雨量将达 100mm 以上,或者已达 100mm 以上且降雨可能持续。这里规定 3h 出现 100mm 以上的降水为一次短时大暴雨天气过程。

## 2 雷达回波特征分析

### 2.1 回波强度及强回波持续时间特征

利用梧州多普勒雷达的组合反射率因子图

收稿日期:2021-10-13

基金项目:梧州市气象局暴雨研究创新团队项目(梧气科 Z2021005、Z2021006)和 2021 年梧州市气象局山洪地质灾害防治气象保障工程建设项目

作者简介:欧坚莲(1968—),女,高级工程师,主要从事天气预报与服务工作。E-mail:283441945@qq.com

(CR)、径向速度图和风暴追踪信息,统计分析了发生在梧州市境内的 15 次大暴雨过程的最强回波强度、 $\geq 45\text{dBz}$  回波持续时间、 $\geq 50\text{dBz}$  回波持续时间、径向速度特征等。表 1 给出了大暴雨与这些特征量的关系。从表 1 可以看出,大暴雨与  $45\text{dBz}$  以上的强回波和持续时间密切相关:出现 3h 雨量 $\geq 100\text{mm}$  大暴雨的最强回波强度均在  $53\text{dBz}$  以上,最强可达  $63\text{dBz}$ , $\geq 45\text{dBz}$  回波持续时间在  $50\text{min}$  以上 (占  $93\%$ ), $\geq 50\text{dBz}$  回波持续时间在  $10\text{min}$  以上。此外,从表 1 还可以看出最大小时雨强基本在  $50\text{mm}$  以上,径向速度图具有逆风区、风速辐合等辐合区特征,表明出现大暴雨时的雷达回波强度强,影响时间

较长,辐合特征明显,基本上是强回波持续影响某一地区,从而形成了大暴雨。分析发生大暴雨时的风暴追踪信息质心高度发现,回波质心低, $90\%$ 的质心高度在  $2\text{km}$  以下,最低可达  $200\text{m}$  左右,且低质心持续时间在 2 个体扫( $12\text{min}$ )以上,基本是维持一段时间高效率的降雨,形成短时大暴雨。另外发现质心高度较高的回波(大于  $2\text{km}$ )均是由于距离雷达天线较远,所探测到的都是高度较高的回波所致。可见,低质心强回波持续较长时间易形成大暴雨。

2.2 辐合区特征

统计分析还发现,大暴雨与强回波和辐合区密切相关。从表 1 的径向速度特征统计发现,大暴雨

表 1 梧州大暴雨过程及回波影响特征统计

| 暴雨时间<br>年月日时         | 暴雨<br>站点       | 3h雨量<br>(mm) | 最大反射率<br>因子(dBZ) | 最大<br>雨强<br>(mm · h <sup>-1</sup> ) | $\geq 45\text{dbz}$ 持续<br>时间<br>(min, 体扫个数) | $\geq 50\text{dbz}$ 持续<br>时间<br>(min, 体扫个数) | 质心高度<br>(Km) | 径向速度<br>特征 |
|----------------------|----------------|--------------|------------------|-------------------------------------|---|---|--------------|------------|
| 20140719<br>(15—17时) | 梧州站            | 101.1        | 63               | 56.9                                | 132 (22)                                    | 114 (19)                                    | 0.2          | 逆风区        |
| 20140623<br>(17—19时) | 岑溪市岑城镇<br>赤水村  | 105.1        | 58               | 72.0                                | 54 (9)                                      | 30 (5)                                      | 2            | 逆风区        |
| 20150509<br>(13—15时) | 岑溪市南渡<br>珊瑚坪水库 | 158.4        | 58               | 98.9                                | 114 (19)                                    | 48 (8)                                      | 2            | 风速辐合       |
| 20150704<br>(17—19时) | 龙圩镇<br>赛塘水库    | 119.8        | 63               | 90.5                                | 90 (15)                                     | 78 (13)                                     | 0.8          | 逆风区        |
| 20160810<br>(15—17时) | 龙圩站            | 157.4        | 58               | 135.2                               | 66 (11)                                     | 30 (5)                                      | 0.2          | 逆风区        |
| 20160810<br>(07—09时) | 岑溪市<br>归义镇     | 139.4        | 58               | 88.2                                | 102 (17)                                    | 35 (7)                                      | 1.8          | 逆风区        |
| 20160812<br>(15—17时) | 苍梧县<br>石桥镇     | 127.0        | 53               | 103.3                               | 48 (8)                                      | 30 (5)                                      | 1.5          | 逆风区        |
| 20170509<br>(17—19时) | 岑溪市诚谏镇<br>沙田村  | 112.1        | 53               | 79.9                                | 96 (16)                                     | 60 (10)                                     | 2            | 逆风区        |
| 20170524<br>(02—04时) | 万秀区夏郢<br>高才村   | 121.0        | 53               | 45.8                                | 138 (23)                                    | 30 (5)                                      | 1.2          | 逆风区        |
| 20180502<br>(22—24时) | 岑溪筋竹镇马<br>芹村   | 107.9        | 53               | 67.3                                | 60 (10)                                     | 12 (2)                                      | 2            | 切变辐合       |
| 20180901<br>(10—12时) | 藤县<br>大黎镇      | 227.3        | 53               | 83.9                                | 216 (36)                                    | 90 (15)                                     | 2.5          | 风速辐合       |
| 20190626<br>(06—08时) | 苍梧县<br>六堡村     | 101.7        | 53               | 50.6                                | 112 (17)                                    | 66 (11)                                     | 1.8          | 逆风区        |
| 20190722<br>(19—21时) | 苍梧县沙头镇<br>龙科村  | 121.0        | 53               | 47.6                                | 90 (15)                                     | 12 (2)                                      | 1.8          | 风速辐合       |
| 20200624<br>(21—23时) | 蒙山县<br>黄村村     | 129.0        | 53               | 58.8                                | 90 (18)                                     | 30 (5)                                      | 2.8          | 逆风区        |
| 20200907<br>(17—19时) | 岑溪市<br>归义镇     | 119.7        | 63               | 80.9                                | 66 (11)                                     | 60 (10)                                     | 2.0          | 风速辐合       |

发生的强回波具有逆风区、径向风速辐合、径向风切变辐等辐合区特征,其中,出现逆风区的个例最多(10/15),占 66%。在低层切变线或辐合线天气系统的作用下,回波往往组织发展成团(片)状或带状强回波,反射率因子最大超过 50dBz。雷达跟踪可见对流回波或积云层云混合性回波向辐合区移动,回波移入辐合区后,再经历一个发展、组织合并、加强的过程,然后组织发展成团(片)状或带状强回波,具有辐合特征的强回波持续影响某一地区,形成大暴雨。

2014 年 7 月 19 日梧州市短时大暴雨的雷达回波特征表现见图 1,本次暴雨是受第九号超强台风“威马逊”倒槽影响而导致,“威马逊”于 19 日 7 时 10 分在广西防城港市光坡镇沿海以强台风级第三次登陆,梧州受台风外围的东南气流影响,本次强回波由于台风外围螺旋云带影响造成,具有明显的带状强对流回波,带并不宽,仅 30km 左右,带上单体聚合在一起,回波带密实,最强 55~60dBz,大部分 45~55dBz,1h 降雨为 56.9mm,3h 雨量达到 105mm,为大暴雨;本次雷达回波的发展及移动,与逆风区的关系相当密切,逆风区出现时间比强降雨发生时间提前 2 个体扫左右(图 1)。从反射率因子演变图看,强降雨回波是由雷达站南部的对流层状云混合性回波北移发展起来的,19 日 13:33 梧州雷达站西南部

有积云和层云混合性回波向北移,到达雷达站西南面 30km 处时,组织发展为一条西北东南向的较强带状回波,中心强度为 50dBz,半小时后回波带继续发展加强,并向东北方向(梧州市城区)移动,14:01 强回波影响梧州市区西部、南部,移入时强度中心加强为 60dBz,14:06 起强回波覆盖整个梧州市城区,并维持影响。结合径向速度图分析,13:37 在 2.4°仰角梧州雷达站南部 20km 附近开始出现明显的逆风区,表明低层辐合明显,逆风区向北面(梧州市城区方向)移动,此时回波已发展加强,中心强度达 55dBz;13:49 强回波移到雷达站西南部 15km 附近(图 1a),而逆风区已影响到梧州市城区南部(图 1b);14:01 回波继续加强北移,开始影响梧州市城区,梧州地面观测站开始出现明显降雨,从 7 月 19 日 14 时—18 时逐小时雨量看,14:00—15:00 梧州站降水量为 56.9mm(图 1c),可见逆风区影响时间比降雨出现时间提前了 10min 左右。14:14—16:20 梧州城区南部不断回波新生、汇入到城区的强回波中,致使 45dBz 以上的回波面积覆盖梧州市城区的中北部,且稳定少动,造成暴雨,16:27 以后回波北移,并移出了梧州市城区,暴雨趋于结束。

2014 年 6 月 23 日岑溪市岑城镇赤水村短时大

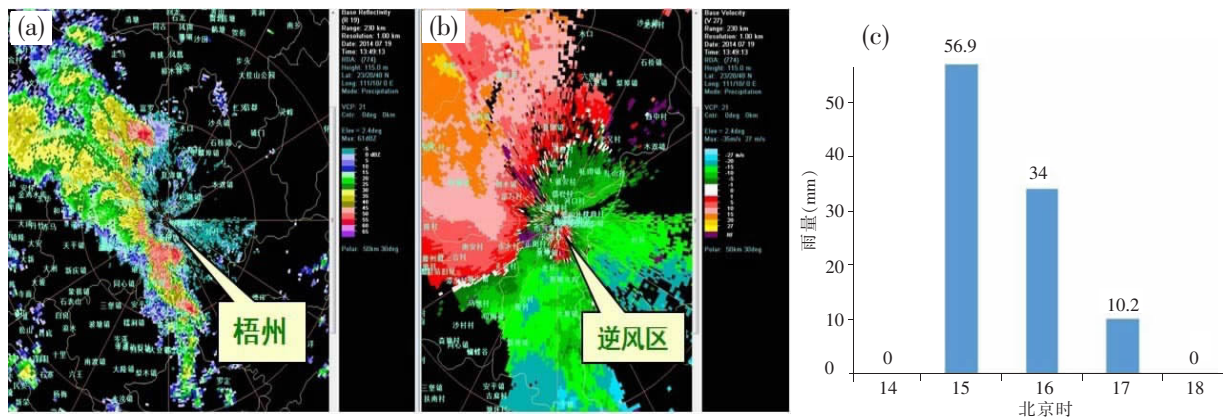


图 1 梧州多普勒雷达 2014 年 7 月 19 日 13 时 37 分 2.4°仰角反射率产品(a)和基本径向速度产品(b)及梧州站 2014 年 7 月 19 日 14 时—18 时逐小时雨量(c)

暴雨的雷达回波特征表现见图 2,本次雷达回波的发展及移动,也与逆风区的关系相当密切,而逆风区的走向决定了强降雨的落区变化。从反射率因子演变图看,强降雨回波是由分散的对流层状云混合性回波组织发展起来的,23 日 16—17 时,岑溪市周边有分散的积云和层云混合性回波,到 17 时以后,组

织发展为片状强回波,强回波位于岑溪市中南部,中心强度 53dBz,强回波缓慢北移,持续影响至 19 时后减弱。分析本次强降雨过程的逐小时雨量分布,强降雨主要出现在 16 时—19 时,强降雨落区主要出现在岑溪市中南部,最大为岑城镇赤水村 2h 雨量达 105mm。南端雨区主要出现在 16—17 时,中部雨区



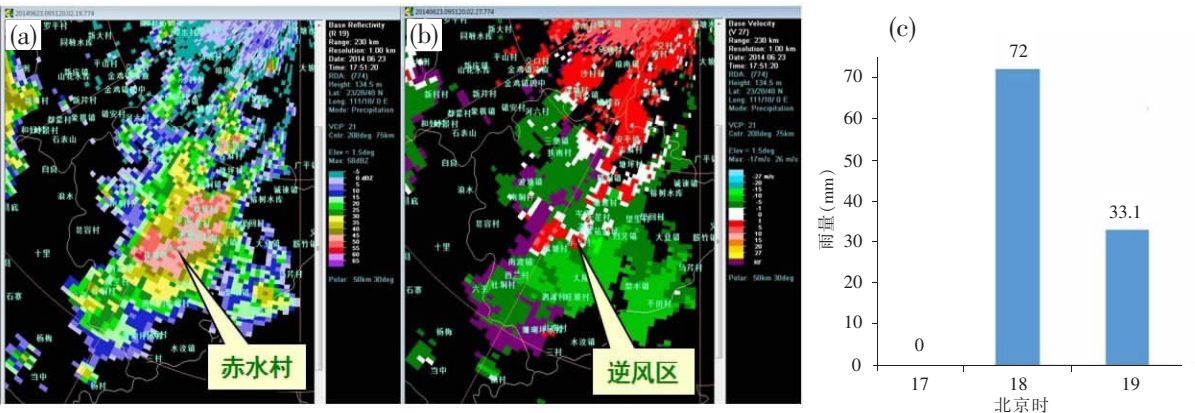


图2 梧州多普勒雷达 2014 年 6 月 23 日 17 时 51 分 1.5°仰角反射率产品(a)和基本径向速度产品(b)及岑溪市岑城镇赤水村 2014 年 6 月 23 日 17 时—19 时逐小时雨量(c)

则主要出现在 17—19 时。结合径向速度产品分析可发现,两个雨区在强降雨时段,均出现了明显的逆风区。同时发现,整个雨区程“西北-东南”走向,与逆风辐合区的传播基本一致,逆风辐合区位置与强降雨落区十分吻合。分析不同仰角发现,高仰角辐散区总是先于低仰角辐合区出现,提前时段为 3~5 个体扫,高仰角辐散区在 4.3°仰角及 6.0°仰角均表现明显。从反射率因子演变图和径向速度图对比分析发现,在回波加强北移的过程中,低仰角(1.5~2.4°仰角)有明显的逆风区向北移动,表明低层有明显的辐合区,低空风速增大,甚至达到急流的标准,为强降雨的产生提供了有利的动力条件和水汽条件,逆风区与强降水中心区是相对应的。

2.3 列车效应特征

从反射率因子场分析得到,强回波带和列车效应相结合易形成大暴雨。在低层切变、辐合线等天气系统的组织作用下,往往形成密集的强对流回波带,由于回波带上单体或回波团的移动方向和回波

带走向一致或者夹角较小,致使多个强度降雨云团先后影响某站,就形成大暴雨,这种现象被称之为列车效应。2016 年 8 月 10 日形成龙圩站短时大暴雨的雷达回波就具有明显的低质心强回波和列车效特征(图 3),回波在龙圩附近组成发展成密实的强对流回波带(图 3a),1 小时降雨量 135mm,达到大暴雨;分析暴雨前后的反射率因子演变可以见:强降雨回波是由雷达站南部的对流层状云混合性回波带北移发展起来的,10 日 14:36 龙圩站西南部有一条南北向回波带,向东北方向移,中心强度为 50dBz;15:06 回波东北移动到龙圩站,回波带明显加强发展,中心强度达到 55 到 60dBz,然后带上单体和回波团沿着回波带自西南向东北移动相继影响龙圩站,形成了明显的列车效应(图 3b),高强度降雨持续了 1h 左右;从 15:12 的反射率因子剖面图(图 3b)分析可发现,影响龙圩站的回波强度强、质心低,50dBz 以上的强回波距离地面 200m 左右,并且在径向上有多个 45dBz 以上的强回波向龙圩站移动,表

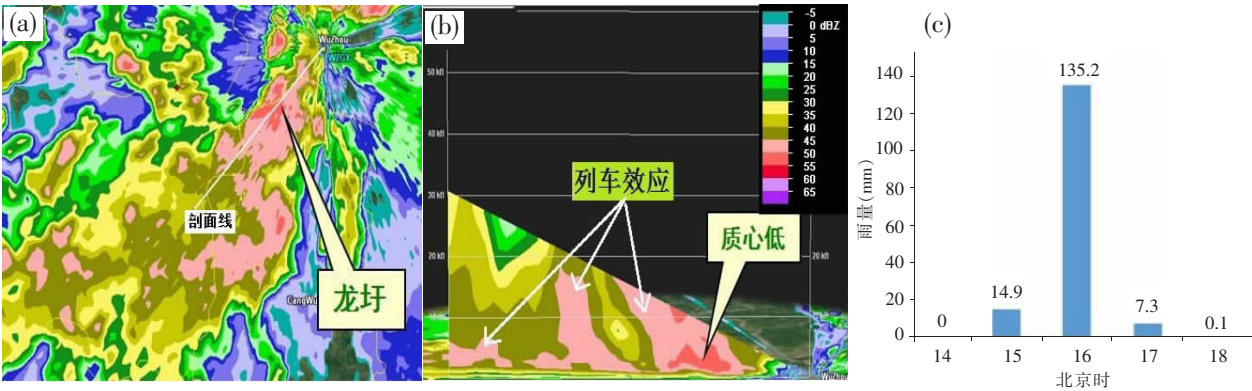


图3 梧州多普勒雷达 2016 年 8 月 10 日 15 时 12 分 2.4°仰角反射率产品(a)和剖面图(b)及龙圩站 2016 年 8 月 10 日 14 时—18 时逐小时雨量(c)

明有明显的列车效应影响,造成了短时大暴雨。

## 2.4 回波顶高和垂直累积液态含水量最大值特征

从短时大暴雨的回波顶高(ET)、垂直累积液态含水量(VIL)的变化分析看,一些个例 ET、VIL 出现大值的时间要比强降水出现时间提前一些,对短时大暴雨的预报预警有一定的指示意义。

分析 2014 年 7 月 19 日 14:00—17:00 梧州雷达每 6min ET、VIL 产品及降水随时间的演变。从每 10min 雨量来看,自 14:00 开始梧州降水强度加大,14:10—16:20 每 10min 降水量  $\geq 5\text{mm}$ ,其中 14:10—14:20 最大降水量为  $30.3\text{mm}/10\text{min}$ 。再来看 ET 和 VIL 的变化:13:00 之前,梧州南部 50km 范围内 ET 一直低于 8km;13:12 开始南部 40~50km 处 ET 达 10km,之后,13:18—16:10 维持在 12km 以上,特别是 13:18 和 14:10 回波顶高超过 14km;16:26 起 ET 又迅速降低至 8km 以下。13:00 之前  $\text{VIL}<20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ;之后迅速增加,13:06—15:10 在  $25\sim35\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  之间,特别是 13:24~14:10 超过了  $30\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ;16:10 以后, VIL 迅速降低,16:26 开始  $\text{VIL}<10\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。通过以上分析可以看出,ET、VIL 的发展演变和降水有非常密切的关系。此次过程中,  $\text{ET}\geq 14\text{km}$ 、 $\text{VIL}\geq 30\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  出现的时间超前强降水出现的时间分别为 42min 和 36min。

分析 2014 年 8 月 7 日 19:00—22:00 梧州雷达每 6min 的 ET、VIL 产品及降水随时间的演变。从每 10min 雨量来看,自 19:00 开始降水强度加大,19:10—19:50 每 10min 降水量  $\geq 10\text{mm}$ ,其中 19:20—19:30 最大降水量为  $33.9\text{mm}/10\text{min}$ 。再来看 ET 和 VIL 的变化:18:05 起梧州南侧 40~51km 处 ET 最大达 14km;18:11—19:50 维持在 11km 以上,特别是 18:53 和 19:06 回波顶高超过 15km;19:18ET 又迅速降低至 8km 以下。18:00 之前 VIL 小于  $20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ;之后迅速增加,18:05—19:10 在  $25\sim35\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  之间,特别是 18:23—18:35 超过了  $30\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ;19:10 以后 VIL 迅速降低,19:24 开始 VIL 小于  $10\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。通过以上分析可以看出,ET、VIL 的发展演变和降水有非常密切的关系。此次过程中,  $\text{ET}\geq 14\text{km}$ 、 $\text{VIL}\geq 30\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  出现的时间超前强降水出现的时间分别为 36min 和 32min。

综上分析可见,从 ET、VIL 的发展变化能够预测降水的发展趋势,可以利用这些产品及时做好雨情监测和预报预警的服务工作,ET、VIL 出现大值的时间要比强降水出现的时间早 30min 以上,对短时

大暴雨的预报预警有一定的指示意义。

## 3 结论

(1)短时大暴雨发生时,一般会出现反射率因子超过 50dBz 的强回波,大暴雨与 45dBz 以上的强回波持续时间关系密切,低质心强回波持续影响易形成大暴雨。

(2)大暴雨发生前的强回波往往出现逆风区、风速辐合、切变辐合等辐合特征,辐合区的移向和回波的发展有很好的对应作用,强回波和辐合区相结合易形成大暴雨。

(3)强回波带和列车效应相结合易形成大暴雨,强回波带上对流单体或回波团相继影响某一地区,从而形成列车效应,易造成大暴雨。

(4)从回波顶高和垂直累积液态含水量的发展变化能够预测降水的发展趋势,ET、VIL 出现大值的时间要比强降水出现时间提前一些,对短时大暴雨的预报预警有一定的指示意义。

### 参考文献:

- [1] 林开平,陈伟斌,刘国忠,等.广西暴雨业务预报技术回顾与展望[J].气象研究与应用,2020,41(4):13-19.
- [2] 刘国忠,周云霞,覃月凤,等.2020 年广西暴雨灾害天气综述与分析[J].气象研究与应用,2021,42(1):101-106.
- [3] 周云霞,翟丽萍,何珊珊.2019 年“5.27”广西靖西市极端暴雨成因及可预报性分析[J].气象研究与应用,2020,41(2):68-74.
- [4] 黄巾旗,黄子航,黄干淇.2017 年 7 月广西大范围暴雨过程分析[J].气象研究与应用,2018,39(4):18-21,33,105.
- [5] 陆芊芊,黄卓.广西台风与非台风暴雨时空变化特征差异分析[J].气象研究与应用,2021,42(3):12-17.
- [6] 刘国忠,赖珍权,钟祥平,等.“15.7”广西超长持续性暴雨过程多尺度特征分析[J].热带气象学报,2017,33(3):357-367.
- [7] 赵文,张强,赵建华.陇东南地区强降水过程与雷达 VIL 产品的定量关系研究[J].高原气象,2016,35(2):528-537.
- [8] 王楠,李萍云,井宇,等.黄土高原一次超级单体短时强降水尺度分析[J].气象科学,2016,36(6):742-751.
- [9] 李明,高维英,李萍云.陕西关中西北部一次短时强降水过程的成因分析[J].气象科学,2016,36(5):689-696.
- [10] 刘国强,佟欣怡,杨莲梅,等.新疆巴州一次短时强降水过程的中尺度特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2018,12(1):61-70.

# Analysis of radar echo characteristics of short-term rainstorm in Wuzhou City from 2014 to 2020

Ou Jianlian<sup>1</sup>, Tang Zhongming<sup>2</sup>, Huang Enen<sup>1</sup>, Jiang Yufeng<sup>1</sup>

(1. Wuzhou Meteorological Bureau, Wuzhou Guangxi 543002, China;

2. Baise Meteorological Bureau, Baise Guangxi 533000, China)

**Abstract:** Based on the Doppler weather radar and precipitation data of automatic weather station in Wuzhou City, the radar echo characteristics of short-term rainstorm weather processes in Wuzhou City from 2014 to 2020 were analyzed. The results show that (1) the rainstorm is closely related to the strong echo and duration above 45dBz. When the short-term rainstorm occurred, the maximum reflectivity factor exceeded 50dBz, and the strong echo duration above 45dBz was basically over 50 min. (2) The low centroid strong echo with centroid height less than 2km and maintenance time more than 10 min is easy to form rainstorm. (3) The combination of strong echo and convergence area is easy to form rainstorm, which is most closely related to the convergence area of upwind area, accounting for more than 60%. (4) The combination of strong echo band and train effect is easy to form rainstorms; the moving direction of monomer or echo group on the echo band is consistent with the direction of the echo band, which is easy to form rainstorms. (5) The echo top height and the time when the vertically accumulated liquid water content product has a large value are instructive to the prediction and early warning of rainstorms.

**Key words:** short-time rainstorm; radar products; evolution analysis; nowcasting