

文章编号:1673-8411 (2014) 04-0089-04

# 雷达回波顶高(ET)产品在广西冰雹云识别中的应用研究

张正国, 邹光源, 刘丽君, 程 鹏

(广西区人工影响天气办公室, 广西 南宁 530022)

**摘 要:**利用广西 2009 至 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。冰雹云量化识别指标分别为:2 月份回波顶高 $\geq 8\text{km}$ 且回波顶高与  $0^\circ\text{C}$ 层高度差 $\geq 6.1\text{km}$ ;3-4 月份回波顶高 $\geq 10\text{km}$ 且回波顶高与  $0^\circ\text{C}$ 层高度差 $\geq 6.1\text{km}$ ;5 月份回波顶高 $\geq 13$ 且回波顶高与  $0^\circ\text{C}$ 层高度差 $\geq 8.1\text{km}$ 。降雹直径与冰雹云 ET 值和特征层高度差值成正相关关系,可作为估计降雹直径的一个重要参考依据。

**关键词:**回波顶高(ET);冰雹云;识别指标;人工防雹

中图分类号:P49

文献标识码:A

## Application of Radar echo top (ET) products in the hail cloud recognition in Guangxi

Zhang Zheng-guo, Zou Guang-yuan, Liu Li-jun, Peng Cheng

Guangxi Weather Modification Office, Nanning Guangxi 530022

**Abstract:** Based on hail sample data from 2009 to 2012 and new generation weather radar echo top (ET) product in Guangxi, characteristics of hail cloud echo top changes were analyzed. The results show that ET of hail cloud present the obvious phase change characteristics, hailing time and ET value maximum time are basically identical. Hail cloud quantitative identification index are: echo top  $\geq 8\text{ km}$  in February and the height between echo top and  $0^\circ\text{C}$  layer acuity  $\geq 6.1\text{ km}$ ; echo top  $\geq 10\text{ km}$  from March to April and the height between echo top and  $0^\circ\text{C}$  layer acuity  $\geq 6.1\text{ km}$ ; echo top  $\geq 13\text{ km}$  in May and the height between echo top and  $0^\circ\text{C}$  layer acuity  $\geq 8.1\text{ km}$ . The diameter of the hail and hail cloud ET value and height difference between characteristic layers are positively correlated, which can be used as important reference for the diameter of hail.

**Key Words:** echo top (ET) ; hail cloud; recognition index; hail suppression

## 1 引言

在人工防雹作业中,天气雷达作为最主要的预警指挥工具,通过雷达回波形态演变特征和雷达产品参数来预测识别冰雹云,推测可能降雹的部位、时间和降雹强度,由此指挥实施人工防雹作业,包括作业时间、作业部位、用弹量等。从大量的国内外观测资料可知,冰雹云的雷达回波特征有其共性:强回波强度、高垂直液态水含量(VIL)、风暴顶强辐散和三体

散射(TBSS)等,通过分析上述产品的变化特征均可以在一定程度上预报识别冰雹云。

回波顶高(ET)是在 $\geq 18\text{dBz}$ (可调阈值)反射率因子被探测到时,通过算法反演得到以最高仰角为基础,以平均海平面(MSL)为参考的回波顶高度(不进行插值),由此形成 16 个数据级别的水平二维分布的数值图像产品<sup>[1]</sup>。目前,国内各种类型的新一代多普勒天气雷达系统配备的产品加工软件都能生成这种产品。回波顶高产品可通过对最高顶定位识

收稿日期:2014-06-15

基金项目:广西壮族自治区人工影响天气办公室自立课题项目“冰雹云综合识别技术研究”

作者简介:张正国(1982-),男,广西南宁,工程师,现从事人工影响天气工作。E-mail:57456896@qq.com

别对流风暴,是衡量对流天气强弱程度的重要标志,间接体现了云内垂直上升气流的强度,因此在冰雹云识别预报和人工防雹作业指挥方面具有较好的参考意义。国内许多冰雹云识别分析研究中均对回波顶高产品进行了分析<sup>[2]-[9]</sup>,如樊志超<sup>[2]</sup>、宋晓辉<sup>[3]</sup>、汤兴芝<sup>[4]</sup>、李金辉<sup>[5]</sup>等,将回波顶高产品作为识别冰雹云的其中一个重要量化识别指标。回波顶高产品作为冰雹云识别指标受气候天气差异影响较大,尤其是与当地 0℃层和-20℃层高度密切相关,如樊志超<sup>[2]</sup>研究表明湘西北地区冰雹云回波顶高识别指标为 $\geq 9\text{km}$ ,回波顶高平均高于 0℃层 7.1km,与一般降水对流云有明显差异;宋晓辉<sup>[3]</sup>分析发现河北邯郸地区冰雹云回波顶高 $\geq 13\text{km}$ ,0℃层高度在 600hPa 附近(约 3.8km);钟卓约<sup>[8]</sup>分析闽南地区冰雹云回波顶高与 0℃层和-20℃层高度关系表明,冰雹云回波顶高与 0℃层和-20℃层高度呈正相关,因此识别指标亦随之变化等。随着广西多普勒雷达的布设完成和投入业务使用,为识别本地冰雹云提供了技术条件。本文通过对广西冰雹云回波顶高产品进行统计分析,找出广西冰雹云回波顶高预测和识别指标,为本地冰雹预报识别和人工防雹作业提供参考和指导。

## 2 资料和方法

### 2.1 ET 产品和资料

广西布设的新一代型天气雷达为 CINRAD-SA/SB 型,回波顶高(ET)产品其产品代号为 41,使用的体扫模式为 VCP21,,产品分辨率为  $4\text{km}\times 4\text{km}$ 。在实际业务应用中,业务人员多为关注整个云体回波顶高值中的最大值,因此本文中冰雹云回波顶高值如未作特别说明,则以该时刻冰雹云体中回波顶高的最大值作为该冰雹云回波顶高的代表值。

### 2.2 冰雹样本资料

选取 2009 年至 2012 年距离雷达站 50km 以外范围冰雹云样本,因受雷达探测仰角的限制,距离太近会使 ET 估值偏小。冰雹云降雹记录以气象站记录为准,灾情报告为参考。由此共收集到 28 个有详细记录的冰雹云资料样本(每一次降雹过程为一个样本),其中 2 月份 2 个,3 月份 1 个,4 月份 19 个,5 月份 6 个。

## 3 广西冰雹云回波顶高变化特征

### 3.1 冰雹云回波顶高时间演变特征

按体扫时间序列对冰雹云回波顶高依次取值,

以降雹时间对应的体扫时间为 T,前一个体扫时间为 T-1,后一个体扫时间为 T+1,以此类推,制作成 ET 值时间序列,每一个样本均可得到一个 ET 随时间变化序列,通过对 28 个样本对应体扫时间 VIL 的值求平均值,得到冰雹云 ET 平均值时间序列,绘制成 VIL 时间序列变化曲线图(图 1),通过分析图 1 可以看出,广西冰雹云回波顶高总体变化特征可以分为 3 个阶段:

(1)初生阶段。多在 T-9 体扫时间之前,即约在降雹时间 54min 之前,云体处于初始生成阶段,ET 值变化特征为总体偏小且较稳定维持,其平均值在 10.8km 左右。

(2)发展成熟阶段。该阶段在体扫时间 T-9 至 T

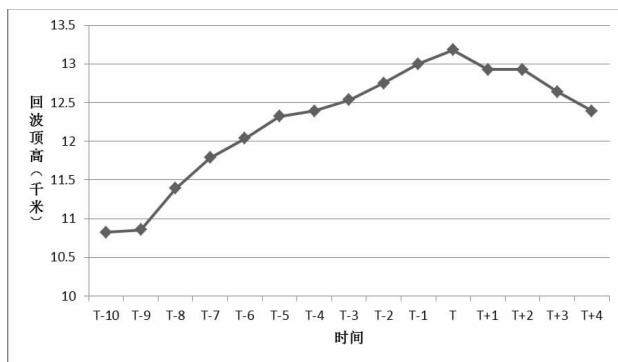


图 1 冰雹云回波顶高平均值时间序列变化图

之间,即约为降雹前 54 分钟至出现降雹时,云体迅速发展,ET 值逐步升高,达到最大值时产生降雹。ET 平均值从 10.8km 增长至降雹时间时的最大值 13.2km,平均每个体扫时间增加 0.24km,即云体云顶高度平均上升速度约为 0.67m/s。

(3)减弱阶段。该阶段为降雹时间 T 后至冰雹云减弱消散,ET 值在冰雹云出现降雹后逐渐降低。

上述为广西冰雹云回波顶高总体平均变化特征,从单独样本变化特征来看,受地理环境、天气背景和局地天气条件等多种实际因素影响,亦呈现出多种不同于总体特征的多样性变化特征。例如系统天气在上游地区已经发展成较强的对流云,探测到的回波顶高维持在较高水平,ET 值仅在降雹前 2-3 个体扫时间内出现一次小幅升高,或者在出现降雹后 2-3 个体扫时间内回波顶高仅略微下降,受局地环境影响云体再次发展产生降雹,ET 值亦随之再次升高等。

### 3.2 降雹与回波顶高和特征层高度的关系及识别指标

国内多个利用回波顶高产品作为冰雹云识别指标的研究表明<sup>[2][3][8]</sup>,回波顶高判别指标与当地 0℃层和-20℃层高度有十分密切的关系。广西由于地处低纬度,2~5 月份正值温度变化较大的春季,特征层

高度尤其是 0℃层高度变化幅度较大,对回波顶高冰雹云识别指标必然有极大的影响,因此分别对 2~5 月份各月冰雹云降雹时间回波顶高与 0℃层和-20℃层高度及之间关系进行列表分析(表 1)。

表 1 不同月份降雹时间回波顶高及特征层高度表

月份	回波顶高/平均 ( km )	0℃层高度/平均 ( km )	回波顶高与 0℃层高 度差/平均 ( km )	- 20℃层高度/平均 ( km )	回波顶高与 - 20℃层高 度差/平均 ( km )
2	8/8	0.6/0.6	7.4/7.4	6.5/6.5	1.5/1.5
3	10/10	3.9/3.9	6.1/6.1	6.8/6.8	3.2/3.2
4	10 ~ 18/12.9	3.9 ~ 4.8/4.3	6.4 ~ 13.2/8.6	5.8 ~ 8.0/7.2	3.0 ~ 10.0/5.7
5	13 ~ 21/15.1	4.6 ~ 5.3/5.0	8.1 ~ 15.7/10.1	8.0 ~ 8.5/8.3	4.5 ~ 12.5/6.8

由上表可以看到,广西 2 月份冰雹日 0℃层明显比 3~5 月偏低,因此云体回波顶高发展至 8km 左右即可产生降雹,此时回波顶高与 0℃层高度差达 7.4km。3~5 月份广西 0℃层高度约在 4~5km 之间,冰雹云回波顶高随之升高,均大于 10km,部分较强的冰雹云回波顶高甚至能突破对流层到达 18~21km 高度,与 0℃层的高度差均大于 6.1km,最大可达 15.7km。广西 2~5 月份-20℃层基本在 6~8km 之间,相比 0℃层较稳定,2 月份与回波顶高差达到 1.5km 即可产生降雹,3~5 月份产生降雹两者高度差则至少在 3km 以上,最大可达 12.5km。在上述分析的基础上,广西不同月份回波顶高产品冰雹云识别指标

应为:2 月份回波顶高≥8km 且回波顶高与 0℃层高度差≥6.1km;3~4 月份回波顶高≥10km 且回波顶高与 0℃层高度差≥6.1km;5 月份回波顶高≥13 且回波顶高与 0℃层高度差≥8.1km。

3.3 降雹直径与回波顶高及特征层高度的关系

为研究分析降雹直径和回波顶高及特征层高度的关系,将降雹直径进行分为三类,直径小于等于 10mm 的为弱降雹,直径在 10~40mm 的为中等强度降雹,直径大于等于 40mm 的为强降雹,由此统计分析各等级的冰雹直径与降雹时间回波顶高及特征层高度的关系(表 2)。

表 2 冰雹直径与回波顶高及特征层高度关系表

降雹直径 ( mm )	回波顶高/平均 ( km )	0℃层高度/平均 ( km )	回波顶高与 0℃层高 度差/平均 ( km )	- 20℃层高度/平 均 ( km )	回波顶高与 - 20℃ 层高度差/平均( km )
D < 10	8 ~ 16/11.9	0.6 ~ 5.1/3.9	6.4~11.0/8.0	6.5 ~ 8.5/7.5	1.4 ~ 7.7/4.4
10≤D < 40	11 ~ 18/13.5	3.8 ~ 5.1/4.4	6.6 ~ 13.2/9.1	7.1 ~ 8.3/7.5	3.8 ~ 10.0/6.0
D ≥ 40	13 ~ 21/15.4	4.2 ~ 5.3/4.7	8.1 ~ 16.8/10.7	5.8 ~ 8.5/7.4	7.2 ~ 12.5/8.0

由表 2 分析,由弱到强三种类型的降雹对应的回波顶高、回波顶高与 0℃层高度差和回波顶高与-20℃层高度差三者的平均值均呈正相关关系,即三者的值越大,产生的降雹直径也可能越大。但从三者对应的的分布情况来看,它们之间并非简单的线性增加关系,且从三者的比较来看回波顶高与-20℃层高度差变化最为明显。由于回波顶高可间接的反映对流发展强度,特征高度及与回波顶高差可在一定程度考虑降雹时环境条件和冰雹生成高度等几个影响降雹直径的最重要因素,因此可作为估计降雹直径的一个重要参考依据。由于降雹直接记录还易

受到地表温度、取样时间、地点等这些实际因素的极大影响,因此降雹直径记录数据会存在较大的误差。

4 结论与讨论

- (1) 广西冰雹云 ET 值随时间变化总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。受地理环境、天气背景和局地天气条件等多种实际因素影响,单个冰雹云 ET 值样本随时间变化特征亦呈现出多种不同于总体的多样性变化特征。
- (2) 广西冰雹云 ET 识别指标为:2 月份回波顶

高 $\geq 8\text{km}$ 且回波顶高与 $0^{\circ}\text{C}$ 层高度差 $\geq 6.1\text{km}$ ;3~4月份回波顶高 $\geq 10\text{km}$ 且回波顶高与 $0^{\circ}\text{C}$ 层高度差 $\geq 6.1\text{km}$ ;5月份回波顶高 $\geq 13$ 且回波顶高与 $0^{\circ}\text{C}$ 层高度差 $\geq 8.1\text{km}$ 。

(3) 降雹直径与ET值及特征层高度呈明显的正相关,回波顶高与 $-20^{\circ}\text{C}$ 层高度差关系最为明显,可作为估计降雹直径的一个重要参考依据,但还需考虑地表温度、取样时间、地点等实际因素对降雹直接记录的影响。

(4) 本文重在利用观测实例分析研究广西冰雹云ET值变化特征,为广西本地冰雹云预测和人工防雹作业预警识别提供量化指标。在实际业务应用中,冰雹的预测应结合广西冰雹发生的天气背景和活动特点<sup>[10-12]</sup>,利用雷达回波强度、径向速度和VIL等产品进行综合识别,由此形成冰雹综合识别量化指标,提高冰雹预警和人工防雹作业的成功率和准确率。

#### 参考文献:

- [1] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用 [Z]. 中国气象局培训中心,2006: 185.
- [2] 樊志超,高继林,王治平,等.湘西北山区夏季冰雹云多普勒雷达定量判别指标 [J]. 气象,2006.32 (12) .
- [3] 宋晓辉,柴东红,蔡守新,等.冰雹天气过程的综合分析 [J]. 气象科技,2007, 35 (3) .
- [4] 汤兴芝,黄兴友.冰雹云的多普勒天气雷达识别参量及其预警作用 [J]. 暴雨灾害,2009, 28 (3) .
- [5] 李金辉,樊鹏.冰雹云提前识别及预警的研究 [J]. 南京气象学院学报,2007, 30 (1) .
- [6] 袁鹏飞,姬红丽,刘文玲.一次罕见大冰雹天气的新一代天气雷达回波分析 [J]. 气象与环境科学,2012, 35 (1) .
- [7] 林小红,黄美金,徐黎,等.福建盛夏一次冰雹过程的环境场及雷达回波特征 [J]. 福建气象,2010, 6 (2) .
- [8] 钟卓约,张玲,杨奇志,等.闽南地区冰雹的雷达回波特征统计分析和临近预报 [J]. 福建气象,2010, 9 (3) .
- [9] 张秀珍,刘桂玲,全文峰,等.局地暴雨和冰雹在雷达回波上的对比分析 [J]. 内蒙古气象,2011, (4) .
- [10] 邹光源,陈博杰,钟小英.桂西北地区降雹的统计特征 [J]. 广西气象,2004, 25 (3) .
- [11] 姚胜芳,黄治逢,等.广西冰雹的活动特点 [J]. 热带地理,2008, 28 (2) .
- [12] 姚胜芳,黄治逢,等.广西冰雹气候统计分析及减灾对策 [J]. 气象研究与应用,2007, 28 (4) .
- [13] 张正国,汤达章,等.VIL产品在广西冰雹云识别和人工防雹中的应用 [J]. 热带地理,2012, 32 (1) .
- [14] 刘丽君,程鹏.广西冰雹云的预测和识别 [J]. 广西气象,2010, 31 (S1) .
- [15] 韦丹宜,吴桂忠.新一代雷达在桂西北一次冰雹大风天气过程短时临近预报的准确应用 [J]. 广西气象,2006, 27 (S1) .