



# 河北承德地区冰雹天气雷达预警指标分析

张晓辉,尤国军,易永力,谭国明,周士茹

(承德市气象局,河北 承德 067000)

**摘要:**为提高承德地区冰雹临时预报的准确性,利用2012-2016年河北承德地区常规观测资料、C波段多普勒雷达基数据资料,采用雷达基数据反演及统计方法,对承德地区冰雹天气雷达预警指标进行了研究。结果表明:承德地区冰雹预警的定量指标有最大回波强度超过58 dBz、回波顶高超过7 km、垂直液态累计含水量超过 $33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,并且两个相邻体扫跃增值在 $20 \sim 33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ;承德地区冰雹预警的定性判断的依据有冰雹回波的形状主要分为块状或带状两种,径向速度图上,出现逆风区、大风区、中尺度辐合以及径向速度模糊,基本反射率因子图上,出现三体散射回波、强回波远离雷达一侧出现的V型缺口;V型缺口对冰雹预警的时间提前量为7~21 min。

**关键词:**冰雹;雷达;预警指标;承德

冰雹作为一种自然灾害,对人民群众的生命财产危害巨大,强烈的降雹会对局地的农业、畜牧业、交通、通信、城市建筑造成毁灭性的灾害,尤其是对烟草、棉花、水果等经济作物的损害更为严重。承德地处华北东北部,地形地貌十分复杂,冰雹是承德地区的主要气象灾害之一。由于冰雹多发生在农作物生长的关键期,农作物遭遇降雹将会受损,甚至危害到人民群众的生命财产安全,因此确定承德地区冰雹天气本地预警指标是非常有必要的。

多普勒天气雷达的安装布网为我国对冰雹、雷雨大风天气的探测和预警能力的提高提供了强有力的手段<sup>[1-2]</sup>。近年来,许多气象工作者利用新一代天气雷达数据对强对流天气进行了一些个例研究<sup>[3-5]</sup>,对冰雹天气的预报提供了有力的依据。在短时临近预报中,要判断未来的天气是否会出现冰雹是短时临近预报的难点。王福侠等<sup>[6]</sup>分析了河北中南部地区2004年的8次冰雹过程,总结出当回波强度 $\geq 50 \text{ dBz}$ ,回波顶高 $\geq 10 \text{ km}$ ,垂直累积液态含水量 $\geq 35 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 时容易降雹,垂直累积液态含水量越大,冰雹直径越大。张崇莉等<sup>[7]</sup>对丽江市2006-2010年出现的31次冰雹天气过程的多普勒雷达回波资料进行统计分析,结果表明:冰雹云回波具有较高的基本反射率因子值,成熟阶段的冰雹云在PPI图上多呈点状、块

状、带状,强烈的冰雹过程中还会出现钩状回波、线状回波、弓形回波、V型缺口、指状回波及三体散射现象等。王令等<sup>[8]</sup>通过对北京地区2001和2002年出现的32次降雹时伴随出现的天气现象分类和对雹云多普勒天气雷达径向速度场图像特征的分析统计,得出大风区、中气旋是经常出现降雹的多普勒径向速度图像特征。目前还没有对承德地区冰雹天气多普勒雷达的相关预警指标的总结和分析。本文对2012-2016年承德市区周边县出现的11次冰雹天气过程的多普勒雷达回波资料特征进行统计分析,从中得出冰雹天气多普勒雷达预警指标,为冰雹天气的短时临近预报提供参考依据。

## 1 材料与方法

利用2012-2016年承德地区常规气象观测资料、C波段多普勒雷达基数据资料,采用雷达基数据反演及统计方法,对承德地区11次冰雹天气过程的雷达回波强度(19号产品)、回波顶高(41号产品)、速度回波(27号产品)、垂直累积液态含水量(57号产品)、组合反射率(37号产品)等产品的演变进行了统计分析。

由于承德市区处于雷达静锥区内,而丰宁、围场、兴隆、宽城和平泉等县区距离雷达又较远(均超过50 km),因此本次研究主要选取隆化县、滦平县、承德县出现的冰雹过程进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 冰雹的雷达参数特征分析

结合目前对雷达参数判别冰雹的有效性研究,再根据雷达业务运行的实际情况,甄选出3种

收稿日期:2018-03-03

第一作者简介:张晓辉(1987-),男,学士,助理工程师,从事专业气象服务研究。E-mail:945302079@qq.com。

通讯作者:谭国明(1979-),男,学士,副高级工程师,从事专业气象服务研究。E-mail:93965366@qq.com。

雷达参数,即对承德地区 11 次冰雹过程的回波强度、回波顶高、垂直累积液态含水量等雷达判别因子进行统计分析(表 1)。

2.1.1 回波强度 雷达发射电磁波进入大气,在大气中碰到云粒子、雨粒子或空气介质,入射电磁波向四面八方散射开来,雷达接收粒子的后向散射能量,粒子越大,后向散射的能量越大,雷达回波强度越大,在雷达回波强度图上就会变现为大值区<sup>[1]</sup>。分析承德地区近 5 年的 11 次冰雹过程(表 1)发现,最大回波强度均超过 58 dBz,2014 年 6 月 9 日承德县冰雹回波强为最小值 58 dBz;2014 年 5 月 19 日滦平县和 2014 年 8 月 21 日隆化县冰雹回波强为最大值 65 dBz。其中有 10 次冰雹回波的最大回波强度超过 60 dBz,占 99%。将回波强度超过 58 dBz 作为冰雹预警的参考依据之一。

2.1.2 回波顶高 回波顶高度 ET(Echo Top)是衡量对流天气强弱程度的重要标志,它反映了云内垂直上升气流的强度,回波顶高度越高,云内上升气流越强,而上升气流又是决定云内所能形成的最大水滴或冰雹尺度的重要因素<sup>[1]</sup>。分析 11 次冰雹过程,除 2013 年 6 月 11 日滦平冰雹和 2014 年 6 月 9 日承德县冰雹回波顶高低于 10 km,分别为 7 和 8 km,其余回波顶高均超过 10 km,占 82%,因此将回波顶高超过 7 km 作为

冰雹预警的参考依据之一。必须指出的是,在研究中发现,一些回波顶高达到上述的高度时也曾有冰雹的发生,所以在考虑冰雹的发生时要把回波顶高和其它回波特征联系起来分析,减少冰雹空报的发生。

2.1.3 垂直累积液态含水量 Greene 等<sup>[9]</sup>提出了一种新的预报因子,垂直累计液态含水量 VIL(Vertically Integrated Liquid Water Content)对冰雹的存在有较好的指示作用。分析 11 次冰雹过程,垂直累积液态水含量最小为 33 kg·m<sup>-2</sup>,对应回波强度为 63 dBz,冰雹直径为 6 mm;最大为 63 kg·m<sup>-2</sup>,对应最大回波强度 63 dBz。其中垂直累积液态水含量超过 38 kg·m<sup>-2</sup> 占 82%,因此可将垂直累积液态水含量超过 33 kg·m<sup>-2</sup> 作为承德地区冰雹预警的参考依据之一。

另外,在分析这 11 次冰雹过程的回波时,还发现在冰雹发展初期的 2~4 个体扫垂直累积液态含水量一般会有一个跳跃性增长,通过对这 11 次冰雹过程的研究发现,除 2014 年 5 月 19 日滦平冰雹过程,降雹前相邻两个体扫垂直累积液态含水量没有明显跃增外,其余均有明显跃增,且两个相邻体扫跃增值在 20~33 kg·m<sup>-2</sup>,因此垂直累积液态含水量的跃增对预报冰雹具有非常重要的意义。

表 1 冰雹的雷达参数统计

Table 1 Hailradar parameters statistics

降雹日期/ 年-月-日 Falling date	降雹时间 Falling time	降雹地点 Falling location	反射率因子 Refractance factor	回波顶高 Echo ceiling height	VIL	VIL 相邻体扫跃增 VIL neighbors increase
2012-06-18	19:16	隆化县	63	11	63	25
2012-07-11	14:31	滦平县	63	10	38	25
2013-05-19	11:01	承德县	63	10	38	30
2013-06-11	17:21	滦平县	63	7	33	20
2014-05-19	13:11	滦平县	65	13	38	不明显
2014-06-09	13:02	承德县	58	8	43	25
2014-06-16	18:01	滦平县	63	10	33	25
2014-08-21	16:21	隆化县	65	11	53	20
2015-05-17	17:18	承德县	63	11	43	23
2016-05-01	20:07	滦平县	63	13	38	25
2016-06-29	16:18	滦平县	63	11	48	33

## 2.2 冰雹的雷达回波特征分析

主要是对冰雹过程中雷达回波的形状、移速,

径向速度特征以及是否存在“三体散射”、V 型缺口等现象进行统计分析(表 2)。

表 2 冰雹的雷达回波特征统计  
Table 2 Hail radar echo feature statistics

降雹日期/ 年-月-日 Falling date	降雹时间 Falling time	降雹地点 Falling location	回波形状 Echo shape	径向速度 Radial speed	三体散射 Three-body scattering	V 型缺口 V-notch	V 型缺口预报 冰雹时效/min V-notch prediction hail aging
2012-06-18	19:16	隆化县	块状	纯辐合	有	有	4
2012-07-11	14:31	滦平县	块状	逆风区	无	有	7
2013-05-19	11:01	承德县	带状	风场辐合	无	有	7
2013-06-11	17:21	滦平县	块状	弱辐合	无	有	15
2014-05-19	13:11	滦平县	块状	风场辐合	无	无	-
2014-06-09	13:02	承德县	块状	逆风区	有	有	20
2014-06-16	18:01	滦平县	块状	逆风区	无	有	19
2014-08-21	16:21	隆化县	块状	逆风区	无	有	21
2015-05-17	17:18	承德县	块状	风场辐合	有	无	-
2016-05-01	20:07	滦平县	带状	速度模糊	无	有	7
2016-06-29	16:18	滦平县	块状	速度模糊	无	有	18

2.2.1 回波形状和移速 统计这 11 次冰雹过程发现,大部分冰雹云回波都是块状,只有 2013 年 5 月 19 日和 2016 年 5 月 1 日回波呈带状。冰雹云在发展初期,一般移动速度不大,发展较成熟时,移速加大,不同回波移动速度相差较大,一般在 30~60 km·h<sup>-1</sup>。

2.2.2 径向速度(2.4°仰角) 冰雹回波因持续时间短、突发性强,在基本径向速度资料中以分析中小尺度特征为主。分析 11 个冰雹个例的基本径向速度图,出现冰雹天气时基本径向速度资料上一般伴有风场的辐合,风场辐合主要以辐合线及逆风区为主。逆风区是指在低仰角没有速度模糊的基本径向速度图中,凡在同一方向的速度区中,出现的另一种方向的速度区为逆风区,且风区不能跨越测站原点。在 11 次冰雹个例中风场辐合占 8 次,其中逆风区占 4 次;大风区 1 次,速度模糊 2 次。因此风场辐合、大风区以及径向速度模糊都是冰雹回波的典型风场结构,都有利于冰雹的形成。

2.2.3 三体散射 三体散射是由于雷达能量在强反射率因子能量区(回波很强)向前散射造成的异常回波。对这 11 次冰雹过程研究发现,有 3 次出现“三体散射”现象,这 3 次分别出现在 2012 年 6 月 18 日滦平县、2014 年 8 月 21 日隆化县以及 2015 年 5 月 17 日承德县,冰雹直径均超过 10 mm,观测位置均位于 3.4°和 4.3°仰角的基本

反射率因子图上,最大回波强度均超过 65 dBz。观测时出现三体散射现象对预报员来说非常容易识别,而观测到三体散射可以肯定有大冰雹。当回波强度高于 65 dBz 时,要注意观测三体散射回波。

2.2.4 V 型缺口 V 型缺口被视为冰雹的识别指标。C 波段雷达中 V 型缺口内往往残留有强度为 0~15 dBz 的回波,因此将 C 波段雷达中 V 型缺口定义为:远离雷达一侧出现的呈近似于 V 型的缺口,缺口内无回波或存在 0~15 dBz 的弱回波。夏文梅等<sup>[10]</sup>对 V 型缺口在 C 波段多普勒雷达中的应用研究中指出 V 型缺口的最佳观测仰角为 0.5°~2.4°。考虑到承德市是多山地形,如果仰角太低对雷达回波的探测将会受到地形的阻挡,因此选用 2.4°仰角去观测。

统计这 11 次冰雹过程的雷达回波发现,除 2012 年 6 月 18 日隆化县、2014 年 5 月 19 日滦平县、2015 年 5 月 17 日承德县冰雹过程中未出现 V 型缺口外,其余过程中均有 V 型缺口出现,因此,可以将雷达中 V 型缺口(2.4°)作为承德市冰雹识别的指标。

另外,假定出现 V 型缺口时,就开始发布回波未来影响区域有冰雹出现,将开始出现 V 型缺口的时间和开始降雹的时间之差视为 V 型缺口对冰雹的提前预警时间。那么对上述 8 次有 V 型缺口特征并出现降雹的过程中,V 型缺口对冰

雹预警的时间提前量为 7~21 min。

### 3 结论与讨论

通过对承德地区 11 次冰雹过程雷达参数特征的统计分析得到,最大回波强度超过 58 dBz、回波顶高超过 7 km、垂直液态累计含水量超过  $33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,都可以作为承德地区冰雹预警的定量指标;并且垂直累积液态含水量的跃增,两个相邻体扫跃增值在  $20 \sim 33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,对预报冰雹具有非常重要的意义。

通过对承德地区 11 次冰雹过程雷达回波特征的统计分析得到,冰雹回波的形状主要分为块状或带状两种,径向速度图上,逆风区、大风区、中尺度辐合以及径向速度模糊,基本反射率因子图上,三体散射回波、强回波远离雷达一侧出现的 V 型的缺口等这些雷达的回波特征,为承德地区冰雹预警的定性判断提供了重要的依据。

V 型缺口对承德地区冰雹预警的时间提前量为 7~21 min。

另外,实际预报值班中,在雷达反射率因子图上对强回波( $\geq 45 \text{ dBz}$ )作垂直剖面,剖面图上,45 dBz回波质心出现的位置作为判别冰雹出现的依据,若45 dBz回波质心出现在  $0^\circ\text{C}$  层附近,则该回波可能产生冰雹;若45 dBz回波质心出现在  $-20^\circ\text{C}$  层附近,则该回波肯定产生冰雹,可将

45 dBz回波顶高度超过  $0^\circ\text{C}$  层高度,作为承德地区冰雹预警的指标之一,运用到以后的实际工作当中。

### 参考文献:

- [1] 俞小鼎.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006:118-169.
- [2] 张培昌,戴铁丕,杜秉玉,等.雷达气象学[M].北京:气象出版社,1988.
- [3] 王健治.厦门 2002-12-18 冰雹天气成因分析[J].河南气象,2005(3):14-15.
- [4] 梁群,张国林,吴晓华.辽宁西部冰雹时空分布特征分析[J].农业灾害研究,2013,3(6):32-34.
- [5] 靳冰凌,王辛方,孙仲毅,等.2009 年 8 月 17 日河南北部区域性暴雨诊断分析[J].气象与环境科学,2008,31(3):54-60.
- [6] 王福侠,张守宝,裴宇杰,等.可能降雹多普勒雷达产品特征指标分析[J].气象科技,2008,36(2):228-232.
- [7] 张崇莉,和爱群,钱宝敏,等.滇西北高原冰雹天气的多普勒雷达回波特征[J].云南大学学报(自然科学版),2011,33(S2):367-373.
- [8] 王令,郑国光,康玉霞,等.多普勒天气雷达径向速度图上的雹云特征[J].应用气象学报,2011,17(2):281-287.
- [9] Greene D R, Clark R A. An indicator of explosive development in severe storms[C]//7th Conference on Severe Local Storms, Missouri, 1971.
- [10] 夏文梅,王晓君,孙康远,等. V 型缺口 C 波段多普勒雷达中的应用研究[J].气象,2016,42(1):67-73.

## Radar Warning Index Analysis of Severe Hail in Chengde of Hebei Province

ZHANG Xiao-hui, YOU Guo-jun, YI Yong-li, TAN Guo-ming, ZHOU Shi-ru

(Chengde Meteorological Service, Chengde 067000, China)

**Abstract:** By using the conventional observations, C band Doppler radar base data, based on radar based data inversion method and statistic method, the radar warning indicators for hail weather in Chengde area, Hebei province from 2012 to 2016 were researched to improve the accuracy of the hail forecast in Chengde area. The results showed as following. The quantitative indicators of hail warning in Chengde area, maximum echo intensity exceeded 58 dBz, echo top height exceeded 7 km, vertical liquid cumulative moisture content exceeded  $33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , and two adjacent body sweep values increased between 20 and  $33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ . The basis for the qualitative judgment of hail warning was the shape of the hail echo and was mainly divided into two types: block or band. On the radial velocity map, the upwind region, the strong wind region, the mesoscale convergence, and the radial velocity were fuzzy. On the reflectance factor map, a three-body scattering echo appears, and a strong echo appears far from the 'V' notch gap on the side of the radar. The hail warning for 'V' notch was 7 to 21 minutes early.

**Keywords:** hail; radar; warning index; Chengde