

冰雹云雷达回波的特征及其判别方法

葛润生

近年来，不少天气雷达站开展了对冰雹云的探测工作，取得了有关雹云回波特征的一些宝贵资料。本文将根据各地的资料，综合介绍雹云回波的一些统计特征和识别方法，以供参考。

一、雹云回波的特征

1. 雹云回波的顶高

雹云云顶一般比较高。表 1 列出了国内十四个地区雷达观测到的雹云回波顶高的数据。国内雹云回波顶高平均约在海拔 10 公里以上，大多数在海拔 11—13 公里之间。高原地区的雹云回波顶高平均比平原地区略低一些。另外，平原地区观测到的雹云回波顶高分布得比高原地区的顶高较为离散，这可能和当地的地理、气候条件有关。

表 1 各地雹云回波顶高

站名	海拔 (公里)	回波顶高(公里)			探测时间及次数
		平均	最大	最小	
北京	0.05	13.0	16.0	7.5	67—71年39次
顺义	0.1	12.6	14.3	10.1	76年6月17次
徐州	0.2	10—12*			
成都	0.5	10*			76年7—8月
西安	0.5		16.5	9.0	
遵化	0.8	13.0	14.5	9.6	77年7次
阳泉	1.0	9*			75、76年6—9月
林西	1.0	10.9	13.0	8.9	75—77年36次
昔阳	1.1	9*			
平凉	1.7	11.4	14.0	7.5	73年5—9月18次
冕宁	2.0	8*			73—74年
永登	2.5	8.3			73—77年26次
互助	3.0	7.6	9.1	6.1	75年13次
岷县	3.0	8.4	10.8	5.7	73年13次

* 当地雹云回波顶高判别数据

在各地的雷达观测中也曾注意到，有些地面未出现降雹的云体，其回波顶也可以相当高。如平凉地区观测到的“干雷暴”，回波顶很高，但回波强度很弱，未出现降雹。又如北京地区观测到的出现在副高边缘的强对流降水回波，尽管回波顶高很高，回波强度很强，但回波很少移动，常造成局地的暴雨而不出现降雹。不过总的来讲，雹云的回波顶高一般比雷暴云的回波要高。

国外探测到的雹云回波顶高和国内探测到的资料相近，加拿大阿尔伯塔地区的雹云回波顶高约为 10 公

里，苏联格鲁吉亚地区约为 11 公里，美国新英格兰地区为 13 公里，内布拉斯加州地区约为 12 公里。

2. 雹云的回波强度

各地用雷达对雹云的探测中，还取得了一批雹云回波强度的资料。表 2 列出了各地测出的雹云回波强度。可以看出，各地得到的雹云平均回波强度约在 45—50dBZ 之间。观测中还发现，雹云的回波强度愈强，地面降雹造成的灾害愈严重；回波强度是用来判别雹云和降雹大小的较好依据。

表 2 各地雹云的回波强度

站名	回波强度(dBZ)			探测时间及次数
	平均	最大	最小	
北京	55			67—71年*
北京	50			63—66年
遵化	55	60	45	77年7次
阳泉	45	55	30	75、76年6—9月
昔阳		>45		
平凉		>50		73—77年
互助	50	55	40	75年15次
岷县	48	65	30	73、74年11次

* 为 5 厘米雷达探测

国内目前较多地应用 3 厘米雷达来探测雹云。人们发现，用 3 厘米雷达探测回波强度随高度的分布时，雹云具有一个明显的特征，即回波强度在中空出现极大值，而一般雷雨的回波不具备这种特征。因此，可以用此来判别雹云。

对雹云的回波强度，国外也进行了较多的探测，雹云的回波强度一般都在 50dBZ 以上；用 10 厘米雷达探测到的回波强度更强一些，用 3 厘米雷达探测的则相对地要弱一些。国外并用回波强度 45dBZ 来作为判断强风暴的雷达探测标准。在国外的研究中同样发现，用 3 厘米雷达探测雹云时，回波强度在中空出现极大值，并认为用这一依据判断雹云比用回波强度或顶高来判断，效果要好，但这仅限于 3 厘米雷达。

3. 雹云的形态特征

各地的雷达探测中，对雹云回波的形态特征进行了相当多的研究。这些研究大致可以分成两类：一类是从整个回波区的排列结构着手，寻找出降雹时的回波特征；另一类则从对回波单体结构的研究出发，寻找雹云回波单体的形态特征。

观测中发现一些具有特殊排列结构的回波，往往伴随着剧烈的天气。“人”字形的排列结构就是其中的

一种，回波呈现这样的结构，常常出现降雹。尤其是在“人”字形带状的中心附近，回波发展得特别旺盛，造成地面降雹。图1是福建晋江雷达站观测到的一次“人”字形排列结构的回波示意图，当天多处出现强降雹。这种“人”字形的排列结构类似于美国提出的“线状回波波动形式”(LEWP)，它是美国出现强烈天气的一种回波排列特征。另外，在华北地区的观测中，发现“平行短带”状的回波排列形式是当地出现降雹天气的回波特征，降雹常出现在短带上发展旺盛的单体中。图2是北京地区观测到的一次“平行短带”状排列的回波示意图，当天北京地区多处出现降雹，

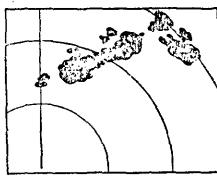


图1 “人”字形排列结构回波

福建晋江，1976年4月17日20时05分，每圈100公里，强飑线过程，回波中多处出现降雹

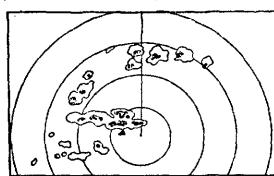


图2 “平行短带”状排列结构的回波 北京，1978年7月9日14时05分，每圈50公里，▲处14时降雹

降雹的地点和短带上的强回波在时间、空间上配合得很好。这种排列结构上的特征用于早期警戒冰雹天气的出现，效果还是不错的。

对于雹云回波的单体形态特征，各地提出了不少的事例，比较普遍地认为，平面位置显示器上回波单体出现“钩状”、“指状”和“螺旋状”结构时可以判断为雹云。在距离高度显示器上，雹云回波常呈现出悬垂回波和无回波弯窿的结构，但这和雷达所剖单体的部位有关。

回波的形态学分析是雷达回波分析中的一个方面，在早期的雷达应用中曾起过不小的作用，揭示了一些雹云的结构和气流情况，但过多的把注意力集中到回波的形态分析上并不是可取的。降水回波的外形本来很复杂，加上3厘米雷达观测受降水衰减影响很大，常造成回波图像的畸变，以致回波上出现一些虚假的“钩状”、“指状”或其他形状，而地面上并没有出现强烈天气。另外，形态的分析带有较大的主观成份，对一些形态的确定，任意性较大，不易掌握。在对回波形态分析中，有必要对某些回波特征给出确切的定义，并和一定的物理意义相联系。

4. 霰云回波的移动

雹云回波的移动是比较复杂的，和局地条件有关。不同地区观测得到的结果可以差异很大。其中比较一致的是雹云回波移动的方向偏于其他回波移动方向的右侧。另外发现产生降雹的回波移动速度一般在30—50公里/小时内。移速过大，出现降雹的机率小；而且即使降雹，雹粒也小。移速过小，降雹的可能性也小。就一块降雹单体来讲，在降雹阶段比其他阶段移动得要慢一些。

对雹云移动速度的观测需要注意两点：一是雹云的移动速度变化较大，雷达观测的间隔不能太长，否则所取得的只是系统的移动速度；另一点是雹云回波的新陈代谢现象很频繁，判断时要注意。

5. 霰暴的分类

根据雹云回波的结构和演变规律的不同，以及出现时天气背景的差异，国外有人对雹暴进行了分类，分为超级单体雹暴、多单体雹暴、飑线雹暴及强切变雹暴等。这样的分类对国内情况并不完全合适，从各地观测到的雹云回波资料来看，类似于国外超级单体的雹暴回波并不多；即使有些雹暴回波相似，其剖面上的悬垂回波和无回波弯窿也不很明显，持续时间也较短。观测中较多出现的是多单体雹暴，另外局地性小范围的雹暴也不少；尤其是在丘陵地区，更是如此。

二、雷达识别冰雹云

根据观测到的雹云回波的特征，各地总结的识别雹云回波的方法很多。概括起来，大致可以分成两类。一类是单纯应用雷达探测到的回波参数来判断，另一类是应用雷达回波参数配合探空资料来综合判断。

1. 应用雷达回波参数判断雹云

早期对雹云的回波的判断，常采用单项回波参数，如回波顶高度、回波强度等。有些地区使用这些判据取得好的结果，但一般讲来，应用单项参数往往造成较大的空报率。为了克服单项回波参数的缺点，目前各地综合了回波顶高和回波强度两项参数，提出用强回波区的高度来作为雹云的判据。如甘肃平凉地区采用36dBZ作为强回波区的标准，当回波中强回波区的高度超过7公里时，可判断为雹云，效果很好。其他各地也给出了一些相应的判断标准。有些地区简单地把雷达中频增益衰减若干db后的回波定为强回波区，也取得了一些效果。但显然这种定义是不合适的，必须考虑对回波进行距离订正，否则这样的标准会随距离而发生变化。在用这种方法判断雹云时，最好对雷达的探测能力进行标定，这样各地取得的资料才有比较意义。

应用强回波区高度的方法，主要在距离高度显示器上进行，使用时有时会因剖面选择不好而造成判断错误，这是需要注意的。近来也有人提出用平面位置显示器上强回波区覆盖的面积作为判断雹云及其降雹强弱的判据。相类似的工作国外也曾进行过，效果并不错，但在使用时要注意。

另外有些地区还用回波单体的面积、回波顶高、最大回波强度、回波强度的梯度等多项雷达回波参数，组成判断方程来综合地判别雹云，方法是好的，但用起来较麻烦。

国外关于用雷达判断雹云的研究中也较多地应用了强回波区的概念，但所定义的强回波区标准比较高，常用41dBZ或45dBZ做标准。另外还采用雷达探测的垂直累积含水量(VIL)来判断强风暴，用强回波持续的时间来区分雹云和雷雨云等等。

2. 配合探空资料综合判断雹云

应用探空资料配合雷达探测到的回波资料来判断

雹云，是一种比较好的方法。国内有些地区进行了这方面的试验。现已进行的试验大致有以下几种。第一种是简单地根据探空观测得到的温度垂直分布廓线，与雷达回波资料配合，用回波顶到达的温度作判据，以判断是否雹云，或者用强回波区顶高到达的温度作判据。第二种也是根据探空资料得出的温度廓线，将雷达回波区分成负温区（高于 0°C 的回波区）和正温区（0°C 高度以下的回波区），用这两个区的厚度比作为判别雹云的判据。第三种是根据这两种探测手段得到的资料，列出好几个判别因子，组成判断方程，从而判断是否是雹云。这种多因子的判断雹云方法，国外也进行了不少的研究。苏联摩尔达维亚地区曾运用回波顶高、回波顶高处的温度、回波厚度、正负温度区厚度比、最大回波强度、最强回波所在高度、最强回波处的温度等近十个参数作为判断因子，根据当地的资料，列出单项判据，然后组合成综合判据：

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i$$

上式中 N 为所列判断因子数， n_i 为 0 或 1 的数，表示单项是否超过判据。当 K 超过某一数值时，则可判定

为雹云。据说这样来判断，准确率可超过 70%。

使用探空资料配合雷达探测来判断雹云，其物理意义比较清楚，识别的准确率比较高，但在实际的应用中是有些困难的。由于探空资料和雷达探测资料在时间和空间上相差较大，用这样的资料来进行综合判断，其实际的效果比单纯用雷达探测到的回波参数进行判断的效果好不了多少。如果把出现降雹的天气系统进行分类，再配合雷达探测的回波资料进行分类统计，则所统计出的各类天气系统下的雷达回波参数判断标准，可能更准确一些，而且在实际应用中也较方便。不过这样作需要用较多的资料进行统计。美国的有些地区，在对雹云的识别中，采用了按天气系统分类的方法，分别定出判断指标。据称用这种方法提高了判断的准确率。

目前对雹云的识别和判断还没有一个非常完美的方法。一切判断指标和判据的提出都是建立在大量探测资料的基础上，所以积累对雹云的雷达观测资料是极其重要的。另一方面，随着天气多卜勒雷达、双波长雷达的出现，新的探测手段逐渐应用，识别雹云的准确率将会不断地提高。