

郁青 王雨曾

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

通过多因子综合识别法对满城 1986—1988 年 103 个强对流云进行了统计分析,找出了河北满城及周围地区雷达识别冰雹云的综合指标。使用该综合指标( $y \geq 2.3$  或  $y < 2.3$ )对历史冰雹云和雷雨云资料进行拟合,对冰雹云的识别成功率达 95%。

关键词: 识别 冰雹云 指标 雷达回波

## 引 言

正确判别冰雹云是搞好防雹工作的前提。不是冰雹云而误认为是雹云进行作业,不仅浪费了炮弹,而且给防雹效果的检验、作业方法的选择带来困难;是冰雹云而判别不出来或判断不及时,就会发生雹灾,给工农业生产造成很大的危害。所以,只有作出正确的判断才能有效地开展防雹作业。

在人工防雹作业中,首先要识别冰雹云与雷雨云。由于两者有许多共同特征,识别比较困难,但根据多年外场观测经验和借助于一些仪器设备,发现冰雹云与雷雨云在宏观特征演变规律、云中声、光、电现象以及地面气象要素的变化等方面有某些差异,根据这些差异,提出了各种各样的冰雹云识别方法。目前主要使用雷达获得识别冰雹云的判据,其它方法只作为识别雹云的辅助手段。

## 1 雷达识别冰雹云的主要参量

一次成功的防雹必要条件之一就是要有

一个识别冰雹云的判据,国内外识别冰雹云的判据是从经验中得出来的,它主要使用 6 个参量,即回波顶高( $H_r$ )、回波强度( $P$ )、强回波区顶高( $H_r$ )、云中冷区与暖区厚度之比( $h_-/h_+$ ),其中  $h_-$  定义为  $H_0$  与  $H_0$  (0°C 线高度)之差,  $h_+$  为  $h_0$  与  $H_0$  (云底高度)之差,负温区厚度( $\Delta H$ )和回波顶温度( $T$ )。除上述 6 个参量外,各地在实际防雹工作中,有的还选用最大回波强度及其对应的高度,0°C 线高度和回波形态特征等。

1.1 回波顶高低是云内垂直气流的重要标志,而上升气流的强弱是决定云内形成水滴或冰雹大小的重要因子。根据北京、河北(满城、遵化)、辽宁(林西)四地雷达(3cm,下同)资料统计得到雹云回波顶高度在 7.0—16.2km 间,平均高度为 11.96km(见表 1)。苏联、美国、加拿大(阿尔伯塔)等国观测资料表明,雹云回波顶高也多在 10—13km 间,与我国观测资料基本相似。

表 1 各地冰雹云雷达回波顶高、强度统计表

站名	回波顶高/km			回波强度/dBz			观测时间与个例数
	最低	最高	平均	最小	最大	平均	
北京	7.5	16.0	13.0			50	1967—1971 39 例
甘肃平凉	7.5	14.0	11.4		>50		1973 1977 18 例
岷县	5.7	10.8	8.4	30	75	48	1973 13 例
永登			8.0				1973—1977 26 例
北京顺义	10.1	14.8	12.6				1976 年 6 月 17 例
河北遵化	9.6	14.5	12.5	45	60	50	1977 7 例
满城	7.0	16.2	11.3	36	73	50	1986—1990 93 例
山西阳泉			9.0	30	55	45	1975 年 76 年 6—9 月
青海互助	6.1	9.1	7.6	40	55	50	1975 年 15 例
辽宁林西	8.9	13.0	10.9			59	1975—1977 36 例
广西河池	5.0	18.0	10.2	30	75	41	1980—1988 51 例
河南商丘	8.2	17.9	11—13	40	55	50	1980 1990 25 例

雹云回波顶高一般大于雷雨云顶高,但两者并无明显界限,美国用回波顶高与对流层顶高比较来判断有无冰雹。根据我国的观测资料有的未降雹的雷暴也超过对流层顶几百米,有的没有进入平流层的强对流云也出现地面降雹,所以,单用回波顶高作为识别雹云的判据,效果较差。

1.2 强回波的空间位置在一定程度上是反映雹云与非雹云的差异,我国不少地方用较大的中频衰减观测到的强回波区顶高作为雷达识别雹云的重要指标,是有一定的物理意义的。苏联提出的含冰量累积带是冰雹生长的重要源地,过冷水滴、小冰雹使电磁波后向散射加强,在屏幕上出现了强回波区,这可能就是冰雹生长的重要源地。

根据河北满城、甘肃岷县、山西阳泉以及北京等地雷达观测资料统计得到,雹云回波强度多在45dBz以上,衰减30分贝的强回波顶高在6km以上,造成严重雹灾的多在8km以上。

上述的几个参量具有明显的物理意义,它们反映了形成冰雹所需要的重要条件,即①足够强大的上升气流;②适宜的负温区;③供冰雹长大的过冷水累积带。

## 2 综合识别方法

1986—1990年河北满城防雹指挥部利用3公分测雨雷达在满城县进行了强对流云特别是冰雹云的探测研究,取得了大量资料。资料统计表明,冰雹云与雷雨云在回波形态和回波参量上具有统计性差异外,在生成—发展—成熟过程中,还有一个明显的差别,即冰雹云有一个跃增阶段(即在RFD显示上,

回波在短时间内向上突增)根据1980—1990年河北满城、宣化等地20次冰雹天气过程的雷达观测资料,跃增发生在地面降雹前5—58分钟,平均为26分钟(20次天气过程均有跃增现象),利用这个跃增现象以及回波参量上的差别,选用3—4个因子或参量作为判据。对某些形态特征(包括跃增特征)以某一参量表示,把它与雷达回波的有关参量有机地结合起来,建立综合判别指标。

多因子判别冰雹云的概率方程为:

$$y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (P_{ja} \cdot X_{ja} + P_{jb} \cdot X_{jb}) \quad (1)$$

y为综合指标或综合判据;

n为参加判别的因子数;

$X_{ja}$ 和 $X_{jb}$ 分别为判别是雹云和不是雹云的条件指标;

$P_{ja}$ 和 $P_{jb}$ 分别为满足指标 $X_{ja}$ 和 $X_{jb}$ 时降雹的条件概率,条件概率可以由历史资料统计获得,当 $j=a, b$ 时,可以写成:

$$P_{ij} = \frac{\text{实际某现象出现数}}{\text{满足指标 } X_{ij} \text{ 统计数}} \quad (2)$$

根据实际资料计算综合指标的平均值 $\bar{y}$ ,然后规定,当 $y \geq \bar{y}$ 时,判别为冰雹云回波,当 $y < \bar{y}$ 时,判别为非雹云回波。

1986—1988年通过对55个降雹云和48个块雷雨云雷达回波资料整理分析获得判别冰雹云的具体指标:

- ①回波顶高 $\geq 9.5\text{km}$ ;
- ②回波强度 $\geq 40\text{dBz}$ ;
- ③衰减30dBz的强回波顶高 $\geq 6\text{km}$ ;
- ④回波形态具有明显的指状、沟状、“V”型缺口、涡旋、前悬回波和跃增等特征。

满足上述指标的条件概率见表2。

表2 综合识别方法中各项指标的条件概率

条件概率	回波参量			
	回波顶高( $X_1$ )	回波强度( $X_2$ )	衰减30dBz强回波顶高( $X_3$ )	回波形态( $X_4$ )
$P_a$	0.78	0.84	0.93	0.91
$P_b$	0.13	0.08	0.06	0.10

从表2看出,各个单项条件判定雹云都较好, $P_a$ 达78%—93%,而非雹云中够报雹云的 $P_b$ 仅有6%—13%,用上述P值代入式(1),经统计计算,选取综合指标: $y \geq 2.3$ 时

为雹云, $y < 2.3$ 为非雹云。运用该指标对1986—1988年103个例的概括情况为,55个冰雹云中有52个满足指标 $y \geq 2.3$ ,48个雷雨云中有45个满足 $y < 2.3$ ,因此,该综合指

标对冰雹云和雷雨云的拟合识别率为 94.2%，雹云漏报率为 5.5%，非雹云空报率为 6.3%。

使用综合指标后，符合雹云指标的综合条件概率( $P_c=94.5\%$ )比综合前条件概率的平均值( $P_c=86.5\%$ )提高了 8%，而不符合雹云指标的条件概率综合后( $P_c=6.3\%$ )比综合前减少了 3%，因此，可以认为综合识别冰雹云方法是有效的。

表3 指标验证结果统计表(1989—1990年)

年份	个例数		满足指标数		识别率		平均识别率
	冰雹云	雷雨云	冰雹云	雷雨云	冰雹云	雷雨云	
1989	16	19	15	17	0.938	0.895	0.914
1990	21	22	19	19	0.905	0.864	0.883
合计	37	41	34	36	0.919	0.878	0.897

#### 4 分析与讨论

4.1 选用 4 个与雹云变化规律有关的雷达回波参量(包括形态特征)综合识别冰雹云与雷雨云，其拟合识别率较高，1986—1988 年 55 个冰雹云中，只有 3 例漏报，48 例雷雨云中误报为雹云的也只有 3 例，平均成功率达 94.2%。用 1989—1990 年 37 个冰雹云和 41 个雷雨云验证该综合指标的使用效果，平均成功率达 89% 以上，由此可见，满城采用综合识别法的准确率比较高，有利于及时准确地进行高炮作业，减少盲目性，提高防雹作业效果。

4.2 1986—1990 年满城雷达观测发现，在回波顶高或强中心顶高出现跃增现象后不久就会出现降雹。这一特殊现象的发现，有助于提前判别冰雹云。为了提高识别成功率，在选用形态特征这一因子时，我们把云体在短时间内出现跃增特征作为重要因素考虑，实例证明是有效的。

#### 3 综合识别法的验证

运用上述综合指标在 1989—1990 年对满城地区强对流云进行实际判别，其识别成功率比较高，可达到 89% 以上(见表 3)。

从表 3 可知，1989—1990 年 37 个冰雹云中有 34 例满足  $y \geq 2.3$  的指标，识别成功率为 91.9%，41 个雷雨云中有 36 例满足  $y < 2.3$  的指标，识别率为 87.8%，平均识别成功率为 89.7%。

4.3 在识别雹云方面，人们常注意回波顶高和回波强度的变化，根据满城雷达观测资料发现，每年 7—8 月份强对流云回波顶高常超过 9.5km，强度达到 40dBz 左右，而没有出现地面降雹。经资料统计获得 7—8 月份单用回波顶高或回波强度判别冰雹云，其识别率在 75% 以下，而用 30dBz 强回波顶高来识别冰雹云，其识别成功率明显提高，所以，强回波顶高(衰减 30dBz)这一参量是一个较好的判别因子。

4.4 本文主要根据满城 1986—1990 年雷达观测资料统计分析得出的综合识别指标，由于个例不太多，还不能对不同月份、不同天气背景时的冰雹云区别对待，只能粗略地定出一个统一的指标，今后，随着雷达观测资料的增多和人工防雹研究工作的不断深入，将进一步完善和改进这一综合判据。

参考文献(略)

### Synthetic Identification of Hail Clouds

Yu Qing Wang Yuzeng

(Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081)

#### Abstract

According to synthetic identification of multiple factors, statistical analyses have been made to 103 cases of severe convective clouds from 1986 to 1988 in Mancheng county, Hebei province. A synthetic criterion of hail clouds has been obtained by radar observation in Mancheng and surrounding regions. The historical data of hail clouds and thunderclouds are fitted by the criterion. The accuracy of identifying hail clouds can reach to 95%.

**Key Words:** identification hail clouds criterion radar echo