

雹云的 3 参数概率判别法

杨传凤 陈秀杰 黄秀韶 袁希强

(山东省气象台, 济南 250031)

提 要

根据山东省雷达回波资料、天气和灾情实况,统计了回波顶高 H_m 、强回波区顶高 H_z 、回波强度 Z 与降雹概率的关系;给出单、双参数判别雹云的指标;提出用 3 参数降雹条件概率法判别雹云;指出了 3 参数识别指标对降雹的预示作用,这对强对流天气的短期预报具有一定的实用价值。

关键词: 回波参数 雹云识别 降雹概率 降雹时间

引 言

天气雷达是识别、预报强对流天气的有效工具,有关这方面的论著很多,但由于各地区的中小尺度天气、地形等其它因素的差别,直接采用有关文献^[1~4]中的判别方法在本地区探测预报中验证,结果空、漏报现象严重,本文结合山东省雷达回波、天气实况等资料,统计得出 H_m 、 H_z 、 Z 与降雹概率的关系及识别指标,作为粗略判别雹云的依据,选出具有代表性的样本,进一步提出适合山东省的雷达探测识别雹云的方法。最后分析了雹云 3 参数的演变,指出识别指标对降雹的预示作用。

1 资料来源及处理

雷达回波资料选用济南 711 雷达探测到的,其扫描半径为 200km 范围以内的各种天气的回波资料,雷达技术参数已经过标定。雹云单、双参数的识别方法和雹云各个发展阶段内 3 参数的演变资料,取 1990~1994 年 4~10 月份冰雹、雷雨及阵雨天气各 25 个共 50 个样本;在 3 参数降雹条件概率识别雹云的方法中,取 1986~1994 年 4~10 月份共 75 个样本,其中 40 个为冰雹(龙卷)天气,35 个为雷雨(雷雨大风)、阵雨天气,该识别方法

的验证,选用的是 1995~1997 年 4~10 月份的冰雹、雷雨及阵雨各 20 个样本;天气和灾情实况由各雷达站或气象站提供。

2 回波参数与降雹的关系

2.1 回波顶高 H_m

回波顶高一般指的是雷达灵敏度放在最大时所测回波的高度, H_m 的高、低是云内垂直上升气流强弱的重要标志,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。因此,回波顶高是对流天气强弱程度的重要标志,是判断雹云的主要指标之一。通过对降雹回波部分资料进行统计分析,得出济南地区 4~10 月份降雹回波的平均顶高(表 1),可以看出:盛夏降雹回波顶高较高,初夏和夏末较低。一般来说,回波顶高越

表 1 济南地区降雹回波顶高

月份	平均顶高/km	统计次数
4	10.1	5
5	10.5	8
6	12.0	11
7	14.5	10
8	14.3	8
9	11.8	5
10	10.6	5

高越有利于降雹。但并非所有回波顶高达到一定的指标都能产生降雹,雷暴有时可以达到与降雹回波同等的高度,这与当时的天气形势及中小尺度及其它多种因素有关,据统计当 $H_m \geq 10\text{km}$ 时,降雹拟合率为 72%。

2.2 回波强度 Z

回波强度反映了云体发展和云体结构密度对电磁波反射强弱的程度。为更好地说明其识别雹云的重要性,我们从照相纪录中读出冰雹、雷雨及阵雨样本不同衰减量下的回波顶高,结合强中心强度绘出回波强度随高度分布的平均曲线(图 1),由此可见降雹回波的平均强度大于雷雨及阵雨,且在中空出现极大值,而雷雨及阵雨 Z 值的极大值出现在低空。从图 1 得知,对于冰雹回波,48dBz 强回波柱平均伸展到 6km 左右的高度,这说明雹云上升气流很强。若以 $Z \geq 48\text{dBz}$ 作为判别降雹指标,则拟合率达 84%。

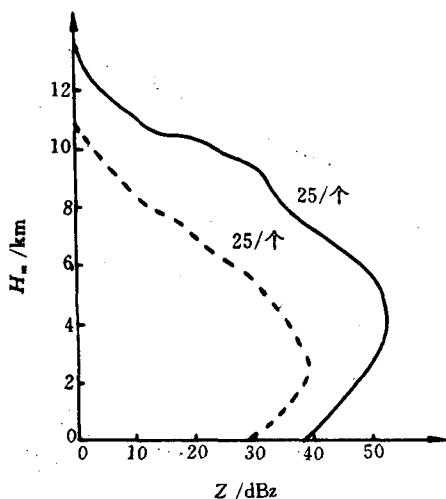


图 1 冰雹与非冰雹回波强度随高度分布
实线:冰雹 虚线:雷雨和阵雨

2.3 强回波区顶高 H_z

中频衰减 30dBz 后的强回波区顶高比回波顶高具有更好的指示雹云的意义。雷达探测证实,在雹云中上部上升气流最强,当这支最强上升气流所达高度越高,强对流天气越激烈,被托住的冰雹越大。因此, H_z 越高,冰雹在其中增长的含水量积累的负温区厚度越厚,越有利于冰雹增长。通过对冰雹、雷雨天气各 25 个样本,采用衰减 30dBz 的强回波顶高和回波强度结合起来的方法,绘出降雹与非降雹分布的点聚图(图 2),以反映强回波与降雹的关系。需要指出的是雹云的 H_z 是

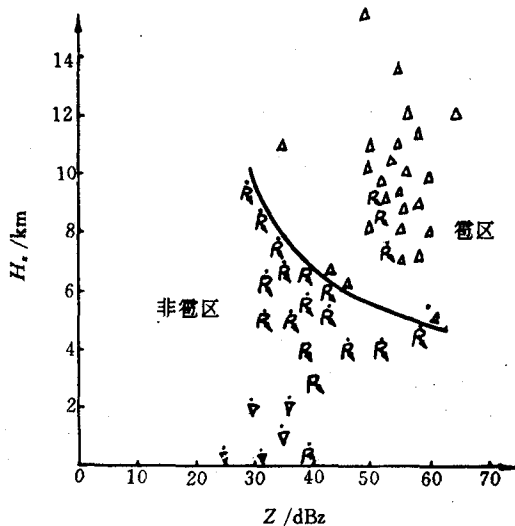


图 2 冰雹与非冰雹判别点聚图

随衰减的大小、季节不同而变化的。统计结果,6~8 月份 H_z 高于 4~5,9~10 月份,后者在 5.2km 即有冰雹出现,而 6~8 月份一般要高于 6km 才有降雹。由图 2 看出:若以单参数 $H_z \geq 7\text{km}$ 作为判别降雹指标,其拟合率为 82%;若以双参数 $H_z \geq 7\text{km}$ 和 $Z \geq 48\text{dBz}$ 作为判别降雹指标,则拟合率达 86%,其历史概括率达 94%。单独给出降雹指标,

不能具体地估计降雹出现的概率,为此对降雹样本进行统计分析(样本的选取、分布见图2),确定 H_m 、 H_z 、 Z 与降雹概率的关系(图3),可见,回波强度越强、高度越高降雹概率越大。

综上所述:用 H_z 指标识别雹云,当 Z 值标准定得愈高,该值保守性愈好。反之亦然(见图1)。

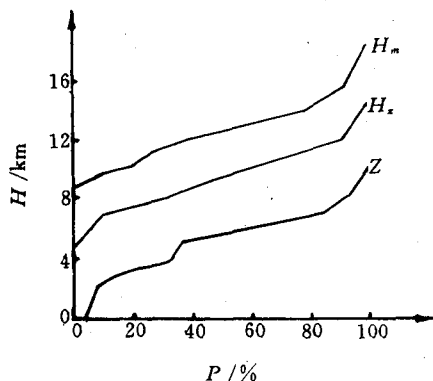


图3 降雹概率与 H_m 、 H_z 、 Z 的关系

3 利用3参数降雹条件概率法判别雹云

冰雹的生成和增长是由多种因素决定的,单参数通常只能反映识别雹云某一方面的条件,因此仅用单参数识别雹云具有较大的局限性。双参数识别雹云的准确率虽然有所提高,但效果还是不够理想,我们尝试以上述统计的指标及各参数与降雹的关系作为粗略判别雹云的依据,选出具有代表性的样本,进一步综合使用3参数,提出3参数的降雹条件概率判别雹云的方法,以提高雹云的判别准确率。

3.1 判别因子的选取和计算公式

H_m 、 H_z 、 Z 都是能反映雹云的形成和增长的重要标志,它们对雹云的预报具有明确的物理意义;从数理统计基本理论出发,3

参数选取样本的容量大、相关关系高且相关稳定,并且3参数能较好的相互配合使用。为此本文选取 H_m 、 H_z 、 Z 这3个物理量作为识别雹云等强对流天气的因子。根据计算降雹条件概率公式^[2]及选定的参数,3参数降雹条件概率判别式为:

$$P_n = [1 + \frac{\rho_s(H_m) \cdot \rho_s(H_z) \cdot \rho_s(Z)}{\rho_h(H_m) \cdot \rho_h(H_z) \cdot \rho_h(Z)}]^{-1} \quad (1)$$

式中 P_n 表示降雹的条件概率; H_m 、 H_z 、 Z 分别表示其参数的实测值; $\rho_s(x_i)$ 、 $\rho_h(x_i)$ 分别表示对应某参数非降雹、降雹的条件概率分布密度。

3.2 3参数的降雹条件概率判别法

根据选定的3参数,首先对所给75个样本资料进行统计分析,分别作出 H_m 、 H_z 、 Z 的降雹和非降雹的条件概率分布密度曲线(图4)。然后,再据3参数的实测值从图4分别读出 $\rho_s(x_i)$ 、 $\rho_h(x_i)$ 的值,代入上述计算公式(1),即可算出降雹条件概率 P_n 值(计算结果见表2)。由此可知,降雹条件概率 $P_n \geq 0.6$ 的占降雹样本的92.5%,而非降雹条件概率 $P_n \leq 0.2$ 的占雷、阵雨样本的85.7%。我们以 $P_n \geq 0.6$ 和 $P_n \leq 0.2$ 分别定为识别降雹和非降雹的指标,又选用了1995~1997年4~10月份冰雹、雷雨天气各20个样本进行检验,准确率、空报率、漏报率分别为95%、5%、5%,可见3参数的降雹条件概率

表2 3参数降雹条件概率

P_n	冰雹样本数	非冰雹样本数
≤ 0.1	0	24
0.2	0	6
0.3	0	1
0.4	2	2
0.5	1	0
0.6	4	2
0.7	9	0
≥ 0.8	24	0

法判别降雹等强对流天气确实是有效的。为了更好地检验本方法判别雹云等强对流天气的效果,我们又把该法同单参数和双参数判别雹云法进行比较,几种方法比较效果看出(见表3)采用独立3参数综合使用的降雹条件概率法判别雹云,比仅用一或两个参数判

别法的准确率提高,空报、漏报率降低,多方面都证实此法判别雹云等强对流天气的有效性。并且本法在雷达探测实际应用中不需要查阅探空资料,可以直接从回波中获取,使用简单、方便,实用性较好。

表3 几种方法判别冰雹云的效果比较

判别方法	样本数	判别指标	拟合率/%	准确率/%	漏报率/%	空报率/%
单参数	50	$H_m \geq 10\text{km}$	72.0	67.7	16.0	32.3
	50	$H_z \geq 7\text{km}$	82.0	78.6	12.0	21.4
	50	$Z \geq 48\text{dBz}$	84.0	81.5	12.0	20.0
双参数	50	$H_z \geq 7\text{km}$	86.0	87.5	16.0	12.5
		$Z \geq 48\text{dBz}$				
3参数 条件概率	75	$P_n \geq 0.6$	89.3	94.8	7.50	5.20
		$P_n \leq 0.2$				

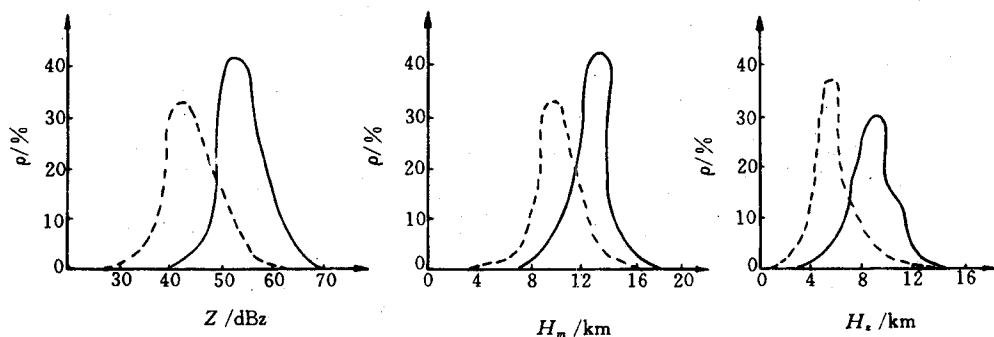


图4 3参数降雹和非降雹条件概率分布密度曲线

实线代表降雹 虚线代表非降雹

4 3参数识别指标对降雹的预示作用

我们关心的是识别指标是否对降雹有预报意义,为此从1990~1994年4~10月份25个样本中选取10例雷达连续跟踪观测的雹云单体回波资料与降雹实况进行对比分析,发现多数降雹的识别指标具有一定的提前量,即从识别为雹云开始到地面实际降雹有一定的时间距离,且这时间差多集中在5~20分钟内,占72%,有的降雹滞后20分钟甚至更长。识别指标为什么有提前量?我们

知道雹云形成经过发展、成熟和消亡三个阶段,当对流回波发展为雹云时,3参数中尤其是 H_m 、 H_z 增大较为明显,有时这种增长过程进行得很迅速,只需几分钟至十几分钟,表现出一种突发式特征;有时对流回波在增长阶段内 H_m 、 H_z 、 Z 就可达到雹云指标 $P_n \geq 0.6$,但在此阶段内产生降雹现象的占极少数,并且降雹的强度不大;有时由于回波连续传播发展,3个参数可能在二、三个小时内满足雹云指标,相应地面也只是呈现“间歇式”

降雹,这时可根据回波参数的波动情况加以判断,一般认为参数的跃升预示着雹粒的形成,而降雹主要发生在雹云成熟阶段^[2]。实例分析表明:雹云的成熟阶段回波参数相对比较稳定,即维持一个较高的数值或略有起伏变化,并且能持续一段时间,据10例统计,持续时间在15~30分钟不等,所以当 P_n 达到0.6时,并不一定都立即降雹。识别指标可作外推预报,尤其对“间歇式”降雹来说,识别指标可为下游提供降雹的预报信息。

图5是一块雹云单体演变的全过程。1994年5月10日14时发现有回波生成发展,14时09分回波参数 H_m 、 H_z 、 Z 分别为9.5km、7.5km、50dBz,在图4上查出所测数字对应的非降雹概率密度(%)分别为31、10、16;降雹概率密度(%)分别为5、18、25,然后按式(1)计算得出 $P_n = 0.31$,未达到雹云指标0.6,14时16分3参数 H_m 、 H_z 、 Z 发展较快,分别达到10.3km、8.6km、52dBz,强区结实,计算 $P_n = 0.76$,故识别为雹云,14时32分雷达屏幕显示强区回波柱高耸、粗大,从图5看出,衰减30dBz的强区顶高超过万米,值班纪录为灾害性降雹。事后实地调查,从14时30分开始该雹云在临朐等地出现雹径4cm的灾害性冰雹,降雹持续20分钟。15时趋于消散阶段,回波参数降低到一个较低值,计算 $P_n < 0.2$,回波结构趋于松散。此例雹云是在地面降雹前14分钟识别的,降雹主要发生在回波高度 H_m 达到最高值前后。值得注意的是,成熟阶段内强烈降雹会引起回波参数的大幅度下降,这种情况不要误认为降雹已经结束,而实际上正在降雹,有的个例在消散阶段,有时也会发现残余的小雹粒。

综上所述:当回波3参数 H_m 、 Z 、 H_z 满

足指标 $P_n \geq 0.6$ 时即识别为雹云,这时可以

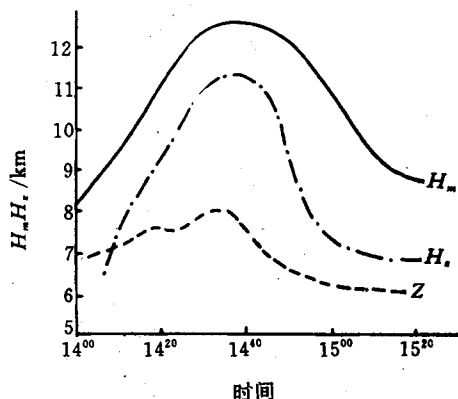


图5 1994年5月10日济南一块雹云单体演变的全过程

在地面降雹前5~15分钟作出预报(对一块单体而言)。降雹主要发生在雹云成熟阶段内并可持续15~30分钟。当3参数下降到雹云指标值以下,或者结构特征表明雹云消散时可宣布降雹结束。

5 小结

5.1 分别利用 H_m 、 H_z 、 Z 与降雹的概率关系来判别雹云的方法,可以较具体地估计出降雹出现的概率。

5.2 用 H_z 识别雹云, Z 值标准定得愈高,该值保守性愈好;反之亦然。

5.3 3参数的降雹条件概率判别法,综合考虑了3个参数的作用,其选取的都是定量因子,因而应用时客观性强,从几种判别雹云方法的效果进行比较看出,采用3参数的降雹条件概率法,比仅用一或两个参数判别法的准确率提高,空、漏报率降低,这说明此法判别冰雹等强对流天气确实是有效的。

5.4 分析表明,识别指标对降雹的短时预报有预示的作用,这方面由于资料稀疏,还有待于深入研究。(下转第35页)

参考文献

- 1 李祚泳. 用雷达回波资料识别雹云的最新进展. 成都气象学院学报. 1993, 1.
- 2 陈良栋. 天气雷达资料的分析与应用. 北京: 气象出版社, 1991.

- 3 戴铁丕. 雹云的判别方法与短期预报统计模式. 气象. 1992, 18(4).
- 4 张鹏辛. 用 711 雷达判别冰雹、雷暴及一般降水的强度指标探讨. 北京: 气象出版社, 1981.

The Identification Method of Three Parameters Probability of Hail Cloud over Shandong Province

Yang Chuanfeng Chen Xiujie Huang Xiushao Yuan Xiqiang

(Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031)

Abstract

Based on the radar echoes, information of weather conditions and the catastrophe in Shandong province, the correlation between the top height of echo vault H_m , severe echo vault region H_z , the strength of the echo vault Z and the hail fall probability was analysed. The discrimination indices of the hail in single-and bi-parameter were provided. The parameters formula incorporating with conditional probability of hail was used to identify hail cloud. It showed the use of the three parameters discriminatory index for hail forecast. This is very important for the forecasting of severe convective weather.

Key Words: echo parameter discriminatory analysis of hail cloud hailfall probability period of hailfall