

应用 713 数字化雷达回波判别冰雹云¹⁾

程相坤 金伟福

盖世民

(山东省东营市气象局, 257091) (山东省东营市垦利县气象局, 257500)

刘志红

(山东省气象台, 济南 250031)

提 要

利用东营市强对流天气的 713 数字化雷达回波资料、天气与灾情实况和探空资料, 讨论了降雹概率与回波顶高等因子的关系, 结合天气学因子, 应用 0、1 权重系数法制作冰雹回波判别模型, 取得了较好的效果。

关键词: 降雹概率 数字化雷达回波 冰雹判别模型

冰雹灾害是黄河三角洲地区第二大自然灾害^[1], 每年由冰雹灾害造成的损失, 仅东营市就达近亿元。本文利用东营市 1994—1996 年防雹期间所积累的 713 数字化雷达回波资料, 统计分析冰雹回波特征, 采用 0、1 权重系数法, 研制冰雹回波判别工具, 效果较理想。

1 选用资料

统计分析表明, 东营市冰雹一般发生在 5—9 月, 本文应用 1994—1996 年人工防雹中所存强对流回波资料, 样本取回波强度 $Z \geq 30\text{dBz}$ ($Z < 30\text{dBz}$, 实况无冰雹产生), 共 43 个样本, 其中有冰雹 18 天(一个以上乡镇降雹), 25 天为一般雷阵雨天气, 探空资料选济南当日 08 时资料。

2 利用回波参数制作冰雹回波判别模型

713 数字化雷达彩色显示器可以直接显示回波高度、回波强度、强回波高度 3 个参数, 有人曾用以上三因子组合判别冰雹回波^[2]。

2.1 回波强度 Z

回波强度是雷达测得的最直接的因子。713 数字化雷达 PPI 回波图显示器可以直接显示出监测范围内各级回波强度值。这里定义 Z 为中心强度值, 雹云回波的最大反射因子通常大于一般的雷暴云, 许多人用它来作为判别雹云的指标。统计分析发现, 当 $Z < 30\text{dBz}$ 时无冰雹产生; 当 $Z \geq 30\text{dBz}$ 时, 在以 5dBz 为间隔的分级中, 降雹概率随强度增加变化不明显。

2.2 回波高度 $H_{\text{回}}$

实验证明, 有利于产生冰雹的云中大含水量区上部的环境温度应在 $-8 \sim -28^\circ\text{C}$ 之间, 当 $H_{\text{回}}$ 达到或超过这个温度所对应的高度时, 才能形成冰雹。因此, $H_{\text{回}}$ 可以做为判别冰雹回波的指标, 一般 $H_{\text{回}}$ 越高, 降雹可能性越大。资料分析发现, $H_{\text{回}} < 10\text{km}$, 无冰雹产生, $10 \sim 16\text{km}$, 降雹概率随 $H_{\text{回}}$ 增大而增大, 当 $H_{\text{回}} \geq 16\text{km}$ 时, 降雹概率达 $6/9 = 67\%$ 。

2.3 强回波高度 $H_{\text{强}}$

1) 山东省青年科学基金资助。

观测发现,一般冰雹回波不仅回波高度很高,强回波高度也很高^[3],有些回波高度虽然很高,但强回波高度很低,也不易产生冰雹。 $H_{\text{强}}$ 反映了云内较大的降水粒子被上升气流系带上升所达高度,是云内上升气流强度的一种指标,也常用于判断冰雹回波。713数字化雷达 RHI 图可以直接显示回波各级强度(间隔 5dBz)高度值,这里选用 $Z=30\text{dBz}$ 回波高度。分析发现, $H_{\text{强}} < 7\text{km}$,降雹概率为 0; $H_{\text{强}} \geq 7\text{km}$,降雹概率随 $H_{\text{强}}$ 增加而增大;当 $H_{\text{强}} \geq 12\text{km}$,降雹概率达 6/6 = 100%。

对于冰雹的预报,目前仅报有无,所以采用 0、1 权重系数法简便易行。因为样本取舍标准 $Z \geq 30\text{dBz}$,故 Z 做为否决权因子,如果 $Z \geq 30\text{dBz}$ 编 1,否则编 0;取因子 $H_{\text{回}} \geq 11\text{km}$ 编 1,否则编 0;因子 $H_{\text{强}} \geq 7\text{km}$ 编 1,否则编 0。 $H_{\text{回}}$ 同号相关概率 0.581,查权重系数表,权重系数 1.6, $H_{\text{强}}$ 同号相关概率 0.674,权重系数 3.5,得权重系数方程:

$$Y = Z \times (1.6H_{\text{回}} + 3.5H_{\text{强}})$$

以拟合率最大为原则,取判据 $Y_c = 5$,若 $Y \geq Y_c$,则预报有冰雹;若 $Y < Y_c$,则预报无冰雹。对 43 次历史资料回报,正确 28 次,空报 15 次,漏报 0 次,总概括率 0.65。由此可以看出,三因子相结合判别冰雹回波虽然简单,但效果不理想。

3 回波参数与环境场因子相结合制作冰雹回波判别模型

由于雷达能直接显示的因子较少,而冰雹的生成和增长是由多种因素决定的,因此为提高预报准确率,减少由于三因子判别所产生的空报多现象,我们又从产生冰雹天气的环境场入手,选用一些物理意义明确的因子,用于判别冰雹回波。

3.1 回波顶温度 $T_{\text{回}}$

利用济南站当日 08 时探空资料中高度、温度值,结合回波顶高度,可以计算出 $T_{\text{回}}$ 。分析发现,该因子与降雹概率的关系比回波

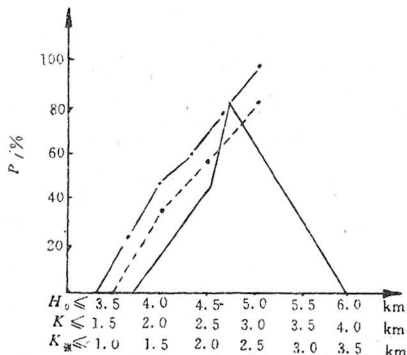
顶高度更密切,当 $T_{\text{回}} \leq -60^\circ\text{C}$,降雹概率达 8/10 = 80%。

3.2 回波梯度因子 $T_{\text{回}}$

在 RHI 中,存有各等级强度回波的高度值,选取 30dBz 回波高度与回波高度的比值: $T_D = H_{\text{强}}/H_{\text{回}}$ 作为回波梯度因子,该因子反映了强上升运动在整个云中所占比重。

3.3 零度层高度 H_0

冰雹的形成对零度层高度有一定的要求,其物理意义非常清楚。 H_0 是云中水分冻结高度的下限, H_0 越高,冰雹增长所需的负温区就越薄,显然不利于形成冰雹;反之若 H_0 越低,地面气温也不会太高,不易产生强对流,也不利于冰雹的形成。统计分析发现(见附图), $H_0 < 3.8\text{km}$,无冰雹形成;在 3.8—4.7km,降雹概率随 H_0 增大而增大;在 4.5—4.7km 之间,降雹概率达 5/6;当 $H_0 > 5.2\text{km}$,无冰雹形成。



附图 降雹概率与 H_0 (实线)、 K (虚线)、 $K_{\text{强}}$ (点划线)的关系

3.4 回波负正温区比 K

冰雹的形成要求云内有一定厚度的负温区,负温区越厚,越利于冰雹的增长,但不同的月份、季节,负温区厚度与降雹的关系不同,因此我们引进回波负正温区比: $K = (H_{\text{回}} - H_0)/H_0$,该比值可适用于整个防雹期间,当 $K < 1.5$ 时,无冰雹产生;当 $K \geq 1.5$ 时,降雹概率随 K 值增大而增大,二者近于正比(见附图);当 $K > 2.5$ 时,降雹概率达 5/6 =

83%。

3.5 强回波负正温区比 $K_{\text{强}}$

为了更加突出强上升运动区、大过冷水滴在回波中的比重,我们又计算了强回波(30dBz)负正温区比, $K_{\text{强}} = (H_{\text{强}} - H_0)/H_0$, 当 $K_{\text{强}} < 0.8$ 时,无冰雹产生;当 $K_{\text{强}} > 0.8$ 时,降雹概率随 $K_{\text{强}}$ 值增加而增大;当 $K_{\text{强}} \geq 1.8$,6 次个例全部降雹,降雹概率达 $6/6 = 100\%$ (见附图)。有些回波高度很高,回波很强的个例,用其它参数判断均为冰雹回波,而用 $K_{\text{强}}$ 就可判断为非冰雹回波。如 1996 年 8 月 5 日,观测回波顶高 18.5km, $Z = 30\text{dBz}$, $K = 2.43$,各项要素反映降雹概率均较大,但 $K_{\text{强}} = 0.69$,仅此一项指标,即可判断无降雹可能,实况为雷阵雨天气。

4 用雷达回波及天气学指标建立冰雹预报模型

4.1 模型组建方法

首先用原始资料建立数据文件,计算各要素各等级的降雹概率及各要素降雹的上、下限值。用不同的因子实验组建方程,从中得出最佳判据及最优方程,用于冰雹回波判别。如零度层高度 H_0 ,各等级降雹概率见表 1,其降雹下限为 3.8km,上限为 5.2km,极大值出现在 4.5—4.7km 之间,达 $5/6 = 83.3\%$ (当然,这些讨论都是回波强度 $Z \geq 30\text{dBz}$ 时的概率,而不是在任何情况下,零度层达这一高度都有如此高的降雹概率)。因此,在建立 0、1 权重系数模型时,存在着各因子判定 0、1 的判据问题。如零度层高度,以 $5.2 \geq H_0 \geq 3.8\text{km}$ 为判据,概括率达 100%,无一漏报,但空报多;若以 4.5—4.7km 为判据,基本无空报,但漏报率大。从防雷角度考虑,应以防止漏报,同时空报较少为原则,经实验因子判据选取如下:

- ① $Z \geq 30\text{dBz}$, 则 Z 编 1, 否则编 0;
- ② $H_{\text{回}} \geq 11\text{km}$, 则 $H_{\text{回}}$ 编 1, 否则编 0;
- ③ $H_{\text{强}} \geq 7\text{km}$, 则 $H_{\text{强}}$ 编 1, 否则编 0;
- ④ $H_{\text{回}} \leq -40^\circ\text{C}$, 则 $H_{\text{回}}$ 编 1, 否则编 0;

⑤ $T_D \geq 55$, 则 T_D 编 1, 否则编 0;

⑥ $5.2 \geq H_0 \geq 3.8\text{km}$, 则 H_0 编 1, 否则编 0;

⑦ $K \geq 1.6$, 则 K 编 1, 否则编 0;

⑧ $K_{\text{强}} \geq 0.8$, 则 $K_{\text{强}}$ 编 1, 否则编 0。

表 1 H_0 分级降雹概率

H_0/km	出现次数	有雹次数	降雹概率
< 3.8	5	0	0
3.8—4.5	17	8	0.47
4.5—4.7	6	5	0.833
4.7—5.2	10	5	0.5
> 5.2	5	0	0

各因子判据与同号相关概率见表 2。表 2 中,次数是因子为 1 的次数;正确率=有冰雹次数/因子为 1 的次数;同号相关概率=(报对有的次数+报对无的次数)/总次数;权重系数根据同号相关概率由 0、1 权重系数表查得。

表 2 各因子判据及同号相关概率

名称	判据	次数	正确率	同号相关概率	权重系数
Z	≥ 30	42	0.429	0.441	否决因子
$H_{\text{回}}$	≥ 11	36	0.5	0.581	1.6
$H_{\text{强}}$	≥ 7	32	0.563	0.674	3.5
T_D	≥ 55	36	0.5	0.581	1.6
H_0	3.5—5.2	33	0.545	0.651	3.1
$T_{\text{回}}$	≥ -40	33	0.545	0.651	3.1
K	≥ 1.6	33	0.545	0.651	3.1
$K_{\text{强}}$	≥ 0.8	29	0.62	0.744	5.2

4.2 模型及拟合情况

由以上各参数 0、1 权重系数,即可得出冰雹 0、1 权重系数方程:

$$Y = Z \times [1.6H_{\text{回}} + 3.5H_{\text{强}} + 1.6T_D + 3.1(H_0 + H_{\text{回}} + K) + 5.2K_{\text{强}}]$$

方程判别规则按照拟合率最高为原则,同时出于人工防雷的需要,避免漏报,经统计选定, $Y_c = 21$ 。由实况资料计算 $Y \geq Y_c$ 时,则预报有冰雹天气出现;反之,若 $Y < Y_c$,则预报为一般雷阵雨天气。对 43 次回波资料回报, $Y \geq Y_c$ 23 次,其中冰雹日 18 次,空报 5 次,无漏报,总概括率 88.4%,空报率 22%,漏报率为 0,降雹概率 100%,成功界限指数 78%。其中:

总概括率 = (报准有的日数 + 报准无的日数) / 总日数;

空报率 = (空报次数) / 预报有的次数;

漏报率 = (漏报次数) / (有雹日数 + 漏报日数);

降雹概率 = 报准有的日数 / 有雹日数;

成功界限指数 = 报对冰雹日数 / 预报冰雹日数。

由以上统计检验,效果较好,尤其无漏报,符合人工防雹的要求。

5 冰雹预报模型的应用

方程中雷达回波参数,可以从 713 数字化雷达回波图(PPI, RHI)中直接读取,高空温度、高度由济南 08 时探空资料给出,结合雷达回波资料,可以计算出其它参数,代入方程,即可得出 Y 值,如果 $Y \geq YC$,则判定为冰雹回波,否则为一般雷阵雨天气。

6 小结

6.1 应用 713 数字化雷达提供的直接参量判别冰雹云,简单易行,但由于冰雹的发生是

多种因素共同作用的结果,为提高冰雹预报准确率,还应引进环境场因子。

6.2 引进物理意义明确的天气学因子,如零度层高度,对回波参量再加工,如回波顶温度、强回波负正温区比等,用于组建冰雹预报模型,是一条切实可行的方法。

6.3 713 数字化雷达数字化处理后将各种参数值直接显示,便于应用。再结合济南 08 时探空资料,根据上述冰雹预报模型,即可得出结论,为今后建立人工防雹自动化指挥系统创造了条件。

6.4 由于 713 数字化雷达应用时间较短,资料样本所限,模型可靠性、稳定性有待提高。

参考文献

- 1 程相坤等. 黄河三角洲地区气象灾害及其防御. 山东气象, 1995, (1).
- 2 孙玉稳, 石安英. 防雹及雹云物理. 北京: 气象出版社, 1989.
- 3 程相坤等. 一次降雹过程的数字化雷达回波分析. 气象, 1996, 22(8).

The Recognition Method of Hail Cloud by the Digitized Radar Echoes

Cheng Xiangkun Jin Weifu

(Dongying Meteorological Office, Shandong Province 257091)

Ge Shimin

(Kenli Weather Station, Shandong Province 257091)

Abstract

With the digitized radar observation of echo intensity, along with the information on weather conditions and hazards, as well as radiosonde data, the relationship between the radar echo parameter such as echo top and the hail probability associated with severe convection in Dongying city is discussed. The data of digitized radar echoes and the synoptic factors are used to formulate the hail forecasting model, based on the 0 or 1 recognition analysis. The results show that the recognition equation has reference value in the hail recognition.

Key Words: hail probability digitized radar echoes hail recognition model