

文章编号: 1006-4354 (2009) 06-0012-03

风暴剖面 45 dBz 强回波在识别冰雹云中的作用

樊 鹏

(陕西省人工影响天气办公室, 西安 710014)

摘 要: 在人工防雷作业中, 正确识别冰雹云是关键。利用雷达识别冰雹云的技术方法很多。研究风暴剖面 45 dBz 的高度及其对应的温度识别冰雹云的技术方法, 并阐述其理论依据和物理意义。利用 1992—1994 年和 1997—2000 年陕西渭北旬邑人工防雷基地雷达观测的结果统计分析, 证明用风暴剖面 45 dBz 高度或者对应的温度能够较好地识别冰雹云。同时介绍了其它一些地区利用风暴剖面 45 dBz 作为雹云播撒判据的数学模型。

关键词: 风暴剖面; 45 dBz; 识别冰雹云

中图分类号: P458.121.2 **文献标识码:** A

对于雹暴和雷暴, 通称为风暴。监测风暴最有用的工具是天气雷达。如何识别风暴中的雹暴, 早期是根据天气雷达回波的几何外形特征区分雹暴和雷暴, 但具有明显外形特征的冰雹云, 一般持续时间较短, 而且与雷达距雹云的位置以及观测员的技术水平有关, 往往很难发现雹云的外形特征, 对人工防雷工作带来一定难度。随后, 人们通过统计强回波区反射率因子 30、35、40、45、50、55 dBz 等不同强度及其对应的高度或温度区分雹暴和雷暴, 这种统计结果大大提高了预测预警冰雹云的能力。那么, 对于这些强回波, 反射率因子选用多少才能较好地反映云内的物理过程, 并能够提高识别冰雹云的准确率。本文将研究选择 45 dBz 作为识别冰雹云的理论依据及其物理意义, 通过一些地区的观测结果说明: 45 dBz 强回波的顶高及其所对应的温度能很好地识别冰雹云。

1 等效雷达反射率因子 45 dBz 的概念

对于各种粒子, 通用的雷达气象方程为:

$$P_r = \frac{\pi^3 P_t G_0^2 \theta_0 \varphi_0 L |K|^2}{1024 (\ln 2) \lambda^2 \gamma^2} Z_e \tag{1}$$

上式中 P_r 为雷达接收到的散射功率, P_t 是雷达发射的功率, G_0 为天线波束轴方向上的增益, θ_0 和 φ_0 分别为水平和垂直波束宽度, L 为雷达发射脉冲的长度, $|K|^2$ 是由粒子的介电性质决定的常数, 对于冰球, $|K|^2=0.20$, λ 是雷达波长, γ 为雷达距探测目标物的距离, Z_e 是在包含大粒子或其它非瑞利散射粒子的情况下的等效雷达反射率因子。

对于一部雷达, 波长 λ 是固定的, G_0 、 θ_0 、 φ_0 、 L 均为雷达给定的常数, 因此, 雷达接收功率 P_r 与等效雷达反射率因子 Z_e 成正比, 与距离 γ 的平方成反比, 距离愈远, 接收功率愈小。由于等效雷达反射率因子 Z_e 是粒子直径 D_0 和粒子数浓度 n_0 的函数, D_0 值愈大, Z_e 值愈高, 或者当 D_0 一定时, n_0 愈大, Z_e 值愈高。

通过大量观测, 认为雹谱分布与 M-P (1948) 雨滴谱指数分布的形式相同, 在本文中,

收稿日期: 2009-07-02

作者简介: 樊鹏 (1951—), 男, 陕西大荔人, 正研级高级工程师, 从事人工影响天气研究工作。

法数值研究 [J]. 大气科学, 2003, 27 (2): 212-221.

[4] 洪延超. 冰雹形成机制和催化防雷机制研究 [J]. 气象学报, 1999, 57 (1): 30-44.

[5] 李金辉,樊鹏. 冰雹云提前识别及预警的研究[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30 (1): 114-119.

[6] 樊鹏, 肖辉. 雷达识别渭北地区冰雹云技术研究 [J]. 气象, 2005, 31 (7): 16-19.

假定冰雹的数浓度使用雨滴谱的数浓度, 即 $n_0 = 3 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-4}$, 显然也是一个常数。所以, 等效雷达反射率因子 Z_e 只与粒子直径 D_0 有关。

根据 Smith 等人^[1]在数值模拟的云中, 使用修订了的瑞利近似, 对湿冰球的等效雷达反射率因子表达式为:

$$Z_e = (8 \times 10^{10} n_0 D_0^7)^{0.95} \quad (2)$$

这里, Z_e 的单位是 $\text{mm}^6 \text{ m}^{-3}$ 。(2) 式表明, 等效雷达反射率因子 Z_e 与雹云中粒子直径 D_0 的 7 次方成正比, 于是, 粒子直径 D_0 愈大, Z_e 值愈大。

对于最初冰雹增长区的粒子直径, Smith 等人提出是 $0.4 \sim 0.5 \text{ cm}$, 在式 (2) 中, 令 $D_0 = 0.4 \text{ cm}$, 对于最初冰雹增长区, 计算得到的等效雷达反射率因子是 44 dBz , 为了使用方便, 把 45 dBz 作为冰雹的临界值。

2 风暴剖面 45 dBz 高度的物理意义

由于等效雷达反射率因子是粒子直径和粒子数浓度的函数。假定粒子数浓度在准定常情况下, 当风暴中出现 45 dBz 值时, 只说明云内存在 0.4 cm 直径的中数体积水汽凝结体, 还不能确定为雹暴, 除非 45 dBz 高度伸展到云内 0°C 层以上某一高度时, 风暴才能发展成为雹暴。在 0°C 层以下出现 45 dBz 值, 该强回波区是由中数体积直径大于 0.4 cm 的大水滴组成, 地面只会出现降雨; 在 0°C 层以上出现 45 dBz 值, 是由中数体积直径大于 0.4 cm 的冰粒子和水粒子混合存在, 若云内上升气流较大时, 45 dBz 高度继续伸高, 当伸到云体的中上部时, 地面则产生降雹。

3 风暴剖面 45 dBz 高度及对应温度在识别冰雹云中的应用

3.1 利用风暴剖面 45 dBz 高度识别冰雹云

3.1.1 南非用 45 dBz 高度识别冰雹云 南非东部地区用 45 dBz 高度 (h_{45}) 作为播撒指标^[2], 该地区的防雹计划使用 C 波段雷达, 通过对 3 000 个 RHI 资料的处理, 如果云顶高度超过 12 km , 并且雷达最大反射率超过 45 dBz , 作为开始防雹作业的条件, 经统计, 得到以下数学模型:

$$h_{45} \geq h_0 + 3.3 \text{ km} \quad (3)$$

该地区整个雹季的 0°C 层高度 (h_0) 是 4.2 km , 45 dBz 廓线低于 7.5 km 地面出现冰雹的概

率为 1% , 相反, 风暴单体中若 45 dBz 顶高超过 8 km , 发现地面未出现冰雹的概率为 3% 。

3.1.2 瑞士、意大利、法国联合防雹试验 瑞士、意大利、法国于 1977—1981 年联合在三国交界处开展防雹试验^[3], 使用改进了的判据, 即:

$$h_{45} \geq h_0 + 1.4 \text{ km} \quad (4)$$

当云体回波强度达到 45 dBz 时的高度与 0°C 层高度之差等于或大于 1.4 km , 就判定为冰雹云。运用这一判据, 瑞士 1977 年对非作业的 195 个单体实时测定, 其中 33 个降雹单体都满足判据。38 个强降雨单体中有 10 个满足判据。改进的判据反映了强回波区顶高与 0°C 层高度在识别冰雹云方面起了重要的作用。

3.1.3 陕西渭北地区用 45 dBz 高度识别冰雹云

樊鹏^[4]根据 1992—1994 年对 57 次风暴的 RHI 资料分析, 回波强度在 45 dBz 以上, 有 34 次风暴地面出现降雹, 从而统计得出地面降雹的定量判据为:

$$h_{45} \geq h_0 + 2.3 \text{ km} \quad (5)$$

式中 h_0 是由无线电探空得到的西安 0°C 层高度, 经统计分析, 降雹单体的 45 dBz 平均顶高为 9.3 km (海拔高度), 强降水单体的 45 dBz 平均顶高为 6.2 km , 雷达用此模型识别冰雹云的准确率为 90% 左右, 空报 4 次, 无漏报现象。

3.1.4 阿根廷用 45 dBz 高度作为降雹风险的估算标准 阿根廷门多萨省的防雹计划中^[5], 风险情况的估算标准也使用了 45 dBz 高度的概念。

设 45 dBz 等值线的最大高度与 0°C 层高度的差为 $\Delta h_{45} = h_{45} - h_0$, 15 dBz 等值线的最大高度与 0°C 层高度的差为 $\Delta h_{15} = h_{15} - h_0$, 雷达探测到的单体能否导致降雹, 这种风险的建立由雷达获取的资料决定。首先根据降雹风险的大小将单体分为 4 类, 以后就可以根据单体的类型来评估其风险大小。从第 1 类“零风险”到第 4 类“最大风险”类别的划分按照下面的标准来定。当 $15 \text{ dBz} < Z_{\max} < 35 \text{ dBz}$, $\Delta h_{\max} \geq 2 \text{ km}$ 时为第 1 类; 当 $35 \text{ dBz} < Z_{\max} < 55 \text{ dBz}$, $\Delta h_{45} \geq 2.5 \text{ km}$ 时为第 2 类; 当 $Z_{\max} \geq 55 \text{ dBz}$, $\Delta h_{45} \geq 3.0 \text{ km}$ 时为第 3 类; 当 $Z_{\max} \geq 65 \text{ dBz}$, $\Delta h_{45} \geq 4.0 \text{ km}$ 时为第 4 类。其中 $Z_{\max}$ 为等效雷达反射率因子, $\Delta h_{\max}$ 为在 0°C 等

温线和反射率达到最高点之间的垂直距离。

用于风险评定的模式以 Nalchik 地球物理研究所的观测结果为基础，由 Abshaev 博士确认此模式在门多萨同样适用。

3.2 风暴剖面 45 dBz 高度对应的温度识别冰雹云

积云必须发展到能使个别大水滴冻结的高度（一般认为，温度必须达到 $-12\sim-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）^[6]因此，云内温度条件，特别是强回波顶高的温度，是形成冰雹云的必要条件。

陕西旬邑用 45 dBz 强回波顶的温度识别冰雹云^[4]。1997—2000 年利用陕西渭北地区旬邑人工防雹试验基地观测到的 146 例对流云雷达回波资料，统计得出强冰雹云、弱冰雹云和雷雨云的 45 dBz 强回波顶高 h_{45} 和对应的环境温度 t_{45} （表 1）。利用这一指标，结合雹云发展特征，可提前 5~10 min 识别冰雹云，准确率为 86.0%。

表 1 旬邑冰雹云识别判据

云型	h_{45}/km	$t_{45}/^{\circ}\text{C}$
强冰雹云	≥ 8.0	< -20.0
弱冰雹云	$7.0\sim 8.0$	$-14.0\sim -20.0$
雷雨云	< 7.0	> -14.0

用地面降雹前被识别为雹云的 45 dBz 回波顶高和对应的环境温度作点聚图（图 1）。可看出，

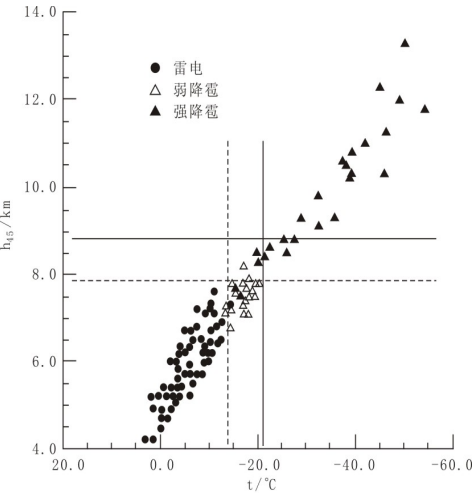


图 1 冰雹云、雷雨云 45 dBz 回波顶高 h_{45} 和其对应的环境温度 t 的关系

45 dBz 回波顶高 $h_{45}\geq 7.0\text{ km}$ ，有 9 次无雹（空报），漏报 3 次，冰雹识别准确率为 85.9%；当 $h_{45}\geq 8.0\text{ km}$ 且 $t_{45}\leq -20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时为强降雹云，空报 1 次（弱冰雹云），漏报 1 次，识别准确率为 96%；当 h_{45} 在 $7.0\sim 8.0\text{ km}$ 之间， $t_{45}=-14.0\sim -20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时有 9 次空报，漏报 1 次，识别准确率为 73.6%；当 $h_{45}< 7.0\text{ km}$ 时， $t_{45}> -14.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，出现冰雹云概率很小，只有 2.7% 为冰雹云，并且为弱冰雹云。

4 小结

4.1 风暴剖面 45 dBz 强回波有明确的物理概念和物理意义，比用 30、35、40、50、55 dBz 等强回波区反射率因子能更好地识别冰雹云。

4.2 用风暴剖面 45 dBz 高度能很好识别冰雹云，由于各地地形地貌不同，需统计分析观测资料，寻找当地的 45 dBz 高度识别冰雹云指标。

4.3 风暴剖面 45 dBz 高度上的温度反映了冰雹云的物理本质，能较好的识别强冰雹云、弱冰雹云出现的概率。

参考文献：

[1] Smith P L, Myers C G and Orville H D. Radar reflectivity factor calculations in numerical cloud Models using bulk parameterization of precipitation [J]. J Appl Meteor, 1975, 14 (6): 1156-1165.

[2] Mather G K, Treddenick D and Parsons R. Observed relationships between the height of the 45 dBZ contours in storm profiles and surface hail reports [J]. J Appl Meteor, 1976, 15 (12): 1336-1340.

[3] Federer B, Waldvogel A. Plan for the swiss randomized hail suppression experiment [J]. Design of Grossversuch IV. Pure and Applied Geophys (1978/1979), 117 (3): 548-571.

[4] 樊鹏, 肖辉. 雷达识别渭北地区冰雹云技术研究 [J]. 气象, 2005, 31 (7): 16-19.

[5] 张蕾, 宛霞, 金永利, 等. 人工影响天气译文集 [M]. 北京: 气象出版社, 2004: 62-67.

[6] 皱进上, 刘长盛, 刘文保. 大气物理基础 [M]. 北京: 气象出版社, 1982: 211-213.