

雷达识别渭北地区冰雹云技术研究^①

樊 鹏

肖 辉

(陕西省人工影响天气办公室, 西安 710015) (中国科学院大气物理研究所)

提 要

通过对陕西渭北地区各雷达站观测的回波资料和地面降雹资料分析, 得出了适合识别渭北地区冰雹云的 7 个指标。实际应用结果表明, 识别效果良好, 并可以做到提前识别, 为防雹作业赢得非常宝贵的时间。

关键词: 冰雹云 雷达 识别指标

引 言

正确区别雷雨云和冰雹云是雷达监测、识别的关键技术。对于冰雹云, 如能早期识别, 在大冰雹尚未形成时作业, 可达到事半功倍的效果^[1]。我国科学家在用雷达识别冰雹云和雷雨云方面做了大量工作, 各地都有自己的判别指标, 识别准确率达 80% ~ 85%^[2,3], 并以此作为是否作业的依据。如河南省统计了 1982~1997 年 40 次冰雹云回波强度, 降雹时回波强度均 $\geq 40\text{dBz}$, 最大的可达 60dBz , 所以把 40dBz 作为有无冰雹的判据之一^[4], 新疆塔城—额敏盆地识别雹云及其强度使用了多参数指标^[5]。以上这些指标有如指状回波、回波穹窿、V 型缺口等定性指标, 也有以回波顶高、反射率强度等因子结合的综合指标。然而, 在实际应用当中发现, 用这些指标判别的雹云或者已经开始降雹, 或者使用起来很复杂, 时效差。本文根据十余年来对陕西渭北地区冰雹云活动规律及雷达观测技术的研究, 得出雹云的综合识别技术, 使用方便、快捷, 也可以单技术使用, 效果也良好。所谓综合识别技术, 就是对识别指标综合运用, 因为雹云在发生发展过程中, 有时会同时符合几项指标, 只要符合其中某

一项指标, 就可以开始催化作业。当然, 这还要求雷达观测员和指挥员具有一定的云物理学基础知识, 在充分理解各种指标的物理意义前提下, 结合当地的雹云特征, 在防雹作业时机的选择中熟练、灵活地应用这些指标, 可以为防雹作业赢得宝贵的时间, 并减少不必要的浪费。

1 资料来源

雷达回波资料以陕西省旬邑、洛川、宝鸡三部 711 型雷达观测资料为主, 探空资料选用宝鸡和旬邑上游 100km 的平凉站 08:00 (北京时, 下同) 探空。地面降雹资料根据实地调查和有关县防雹站提供。

2 冰雹云的识别指标

2.1 用 45dBz 强回波顶高高度识别冰雹云

樊鹏^[6]根据 Smith 等(1975)^[7]数值模拟提出的云内最初冰雹增长区的水凝物的中数体积直径最小为 0.4cm 的理论, 使用通用的雷达气象方程和 Marshall-Palmer(1948)雨滴谱指数分布的关系式, 推导得到冰雹云初期冰雹形成时等效雷达反射率因子为 44dBz 。为方便起见, 使用 45dBz 作为冰雹预报的临界值。因此, 以风暴剖面等效雷达反射率因子为 45dBz , 并结合其伸展所达到的高度作

^① 课题资助: “九五”国家科技攻关(96-020-01-07)课题和陕西省科技攻关(97K14-G2)课题共同资助。

为冰雹云的识别指标。有关 45dBz 强回波的物理意义樊鹏在 1994 年阐述过^[6]。根据旬邑雷达站 1992~1994 年 57 次风暴的雷达 RHI 观测资料分析,有 34 次风暴地面出现了降雹,经统计 45dBz 强回波顶高,得出地面降雹的数学模型为:

$$H_{45dBz} \geq H_0 + 2.3\text{km} \quad (1)$$

式中 H_{45dBz} 是雷达观测的 45dBz 强回波顶高度, H_0 是由西安无线电探空得到的当天 08:00 时 0℃ 层高度。经资料统计分析,降雹单体的 45dBz 顶高平均为 9.3km(海拔高度,下同),强降水单体的 45dBz 顶高平均为 6.2km;降雹单体的 45dBz 顶高在 0℃ 层以上的平均高度为 4.6km,而强降水单体的 45dBz 顶高在 0℃ 层以上的平均高度仅为 1.3km。雷达用此模型识别冰雹云的准确率可达 90% 左右,一般不会产生漏报现象。陕西省宝鸡市雷达站用此模型识别冰雹云的准确率达 89.7%^[8]。

由于雹暴的发生发展与地理地形有很大的关系,45dBz 强回波顶高度各地也不尽相同。因此,各地在用雷达识别冰雹云工作中应通过资料积累总结出适合本地的判别指标。

2.2 用 45dBz 强回波顶高的温度识别冰雹云

在 1997~2000 年国家“九五”科技攻关项目《人工防雹减灾技术研究》专题和陕西省科技攻关项目《渭北人工防雹技术研究》课题中,利用课题执行期间在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 45dBz 强回波顶高和对应的环境温度,如表 1 所示。用这个识别指标,结合雹云发展特征,还可以提前 5~10 分钟识别出冰雹云,准确率为 86.0%^[10]。

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

表 1 旬邑冰雹云识别判据

云型	H_{45dBz}/km	$T_{45dBz}/^\circ\text{C}$
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

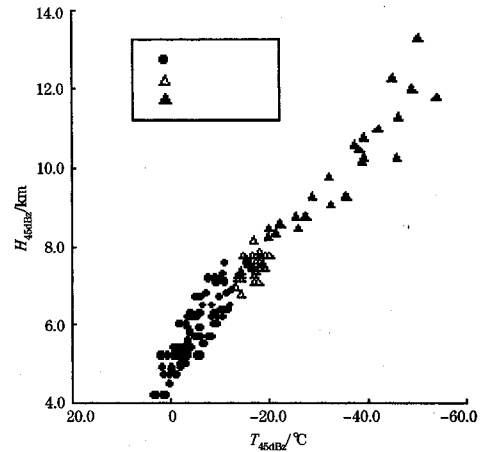


图 1 冰雹云、雷雨云 45dBz 回波顶高 H_{45dBz} 和其所对应的环境温度 T_{45dBz} 的关系

由图 1 可看出, 45dBz 回波顶高 $H_{45dBz} \geq 7.0\text{km}$, 有 9 次无雹(空报), 漏报 3 次, 冰雹识别准确率为 85.9%。当 $H_{45dBz} \geq 8.0\text{km}$ 时为强降雹云, 有 1 次空报(弱冰雹云), 漏报 1 次, 识别准确率为 96%; 当 H_{45dBz} 在 $7.0 \sim 8.0\text{km}$ 之间, 有 9 次空报, 漏报 1 次, 识别准确率为 73.6%; 当 $H_{45dBz} < 7.0\text{km}$ 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。

2.3 用回波跃增增长识别冰雹云

对冰雹云发展早期进行连续跟踪观测都能发现冰雹云有爆发式增长阶段, 这种现象被称为冰雹云的“跃增增长”现象, 这是冰雹云发展的一个重要特征。出现“跃增增长”时 45dBz 强回波区比 0dBz 回波区增长得更快, 观测到“跃增增长”的回波后在地面都有降雹(表 2)。这是冰雹云从生成到发展再到成熟过程中的一个明显特征, 在雷达 RHI 显示上, 45dBz 强回波在短时间(5 到 10 分钟)向上突增, 常导致不久之后地面降雹, 而雷雨

云没有这种现象。

表 2 冰雹云回波跃增长特征统计

观测日期 年-月-日 -时-分	H_{0dBz} 回波 顶变化 $/km \cdot min^{-1}$	H_{45dBz} 回波 顶变化 $/km \cdot min^{-1}$	降雹 时间	降雹 地点	观测到跃 增与降雹 时间差/min
1997-07-08- 13:30~13:56	0.14	0.16	14:03	旬邑县 马栏镇	7
1999-07-17- 12:50~13:20	0.42	0.50	13:30	淳化县 安子哇镇	10
1999-08-01- 12:42~12:56	0.10	0.40	13:06	旬邑县 水家镇	10
1999-07-20- 22:15~22:20	0.40	0.30	22:15	三源县 新兴镇	0
1994-07-13- 15:15~15:22	0.11	0.21	15:30	铜川市	8

2.4 根据初期回波出现的高度识别冰雹云

识别冰雹云初始回波对提高人工防雹作业的效果非常重要。识别冰雹云和雷雨天初始回波的方法是,冰雹云初始回波一般形成于 $0^{\circ}C$ 层以上的中空,并向上发展。1999年5月24日出现的冰雹云(如图2、图3所示,见封二),当日15:31在雷达站西北方向120km处观测到初始回波(位于陇县北部),45dBz底高为4.3km,顶高达9.0km,7分钟后观测,15:38 45dBz回波区面积明显增大,其顶高增长到10.2km,而底高基本未变。平凉08时探空测得 $0^{\circ}C$ 层高度为3576m。在以后的发展中45 dBz回波区面积进一步扩大,且中心强度始终在50 dBz以上,属冰雹云回波。从15:31回波位于陇县北部到16:30陇县出现强烈降雹,这段59分钟为该冰雹云的酝酿阶段,这段时间为防雹最佳时机。而同一天在雷达站东北方向60km处观测到的雷雨天初始回波出现在 $0^{\circ}C$ 层以下高度并且强中心向下发展(图略)。虽然该回波强度达到65dBz,但云的主体在 $0^{\circ}C$ 层以下,地面未降雹。

2.5 根据强回波区在云体中的位置识别冰雹云

对流云在发展阶段,如果45dBz强回波区出现在云体的中上部,通常为冰雹云(如图

2、3、4所示,见封二),如果在云体的中下部,为雷雨天(如图5所示,见封二)。在图4中,当日平凉探空站08时测得 $0^{\circ}C$ 层高度为3798m,彬县、乾县等地降雹。图5中,当日延安探空测得 $0^{\circ}C$ 层高度为3938m,虽然出现了45dBz强回波,但高度位于云体中下部,距地面仅2km,只下了阵雨。表3还列出了观测得到的冰雹云初期回波出现高度和强回波在云体中出现位置。

表 3 冰雹云初期回波和强回波出现高度

日期	时间	初期回波 出现高度 $/km$	强回波 垂直范围 $/km$	强回波在 云中位置	云型
1997.7.08	13:30	6.0	4.9~7.5	中上	冰雹云
1999.7.10	14:36	5.0	5.0~6.0	中上	冰雹云
1999.7.11	17:07	5.3	5.0~7.8	中上	冰雹云
1999.7.17	12:50	5.5	4.5~7.5	中上	冰雹云
1998.7.15	11:30	3.8	3.5~4.2	中下	阵雨天
1999.7.10	12:22	4.5	3.0~4.5	中下	阵雨天

2.6 对流单体合并加强可识别为冰雹云

对流单体在移动过程中常常加强并产生合并,合并后继续加强产生降雹(如图6、7所示,见封二)。在图6中,1999年5月24日宝鸡雷达站PPI观测时仰角为 3° ,16:03观测到距测站80~100km处,方位 345° 有一块对流单体(称为回波A),另在方位 25° 、60~80km处还有一块对流单体(称为回波B),在南移过程中于17:00合并(见图7)。合并后回波加强,回波顶高达到11.5km,45dBz顶高9km,并在移动路径上不断产生降雹,冰雹直径一般为15~30mm,最大达到60mm,持续时间长达30min,最大瞬时风速 $19m \cdot s^{-1}$ 。据民政部门统计,受灾农田2万公顷,造成经济损失4391万元。

2.7 根据对流单体的移动方向识别冰雹云

在一般情况下,渭北地区的冰雹云移动方向为NW—SE或由N—S方向移动,然而,由于受不同天气系统的影响,有时会出现由SE—NW或由S—N的移动,虽然为数不多,但一旦出现,即可识别为冰雹云,如旬邑

1993年6月26日、1994年8月5日,渭南2002年7月2日,洛川2002年8月18日(如图8、9,见封二)等。在图8中,2002年8月18日12:15时PPI观测,方位135°、距洛川测站26km处(箭头所指)的对流单体,回波顶高5km,45dBz顶高4.2km,到13:31时(图9),该块向NW方向移到距测站7km处,强中心位于10km处,回波顶高8.5km,45dBz顶高7km(洛川站海拔高度1159m),回波移动速度 $12\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,测站于13:55~14:06降雹,冰雹直径21mm,在向NW方向移动过程中连续降雹,14:28云体移到测站的正西方向10km处,回波顶高11.5km,45dBz顶高8.5km,胡村、马家庄一带降雹。

3 小结

(1)通过对陕西省渭北地区近十余年来雷达资料和降雹资料的分析研究,得出了5种渭北地区雷达定量识别冰雹云的技术指标和2种定性指标,加上已有的指状回波、钩状回波、回波窟窿等定性指标,基本上不会出现漏报,可以做到早预测、早识别、早作业,尽量减少雹灾造成的危害。

(2)各种识别冰雹云指标要进行综合应用。冰雹云在发生发展过程中,既有合并现象,也有跃增现象,既符合45dBz高度指标,同时也符合45dBz高度上的温度指标,其中

只要符合任一种指标,即可识别为冰雹云。

(3)各地在使用雷达识别冰雹云的工作中应通过资料积累总结出适合本地的判别指标。

致谢:旬邑、宝鸡、洛川雷达站的雷达观测员为本研究提供了丰富的资料,在此表示感谢。

参考文献

- 1 李宏宇,胡朝霞,肖辉等.人工防雹实用催化方法数值研究.大气科学,2003,27(2):212~222.
- 2 刘黎平,徐宝祥.雷达识别冰雹云方法的进展.地球科学进展,1994,9(2):47~50.
- 3 张鸿发,左洪超等.平凉冰雹云回波特征分析.气象学报,2002,60(1):110~115.
- 4 张素芬,鲍向东,牛淑贞.河南省人工消雹作业判据研究.气象,1999,25(9):36~40.
- 5 高子毅,张建新等编.新疆云物理及人工影响天气文集.北京:气象出版社,1999.
- 6 樊鹏.用风暴剖面45dBz高度选择防雹作业时机.陕西气象,1994,4:29~31.
- 7 Smith, P. L., Jr., C. G. Myers and H. D. Orville. Radar reflectivity factor calculations in numerical cloud models using bulk parameterization of precipitation. J. Appl. Meteor., 1975, 14, 1156~1165.
- 8 李金辉,朱振凯等.宝鸡地区风暴剖面45dBz高度选择防雹时机.陕西气象,1996,4:31~32.
- 9 王雨增,李风声等编.人工防雹实用技术.北京:气象出版社,1994:45~58.
- 10 肖辉,樊鹏等.旬邑地区冰雹云的早期识别及数值模拟.高原气象,2002,21(2):159~166.

Study of Hail Cloud Identification in the Weibei Area, Shaanxi Province by Radar Echoes

Fan Peng¹ Xiao Hui²

(1. Shaanxi Weather Modification Office, Xi'an 710015;

2. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Five quantitative and two qualitative identification indexes of hail cloud are found by analysis of radar echoes and hailfall data in the north of Weihe River in Shaanxi Province. It shows that the indexes can conveniently identify hail cloud before the hailfall shooting, and then to gain the time for hail suppression.

Key Words: hail cloud radar echo identification criterion

《雷达识别渭北地区冰雹云技术研究》附图

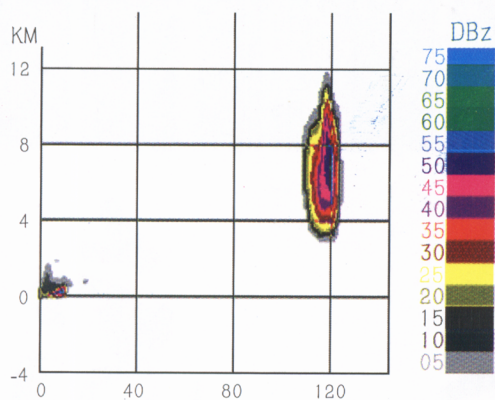


图2 1999年5月24日15:31:48 RHI 方位345.1°

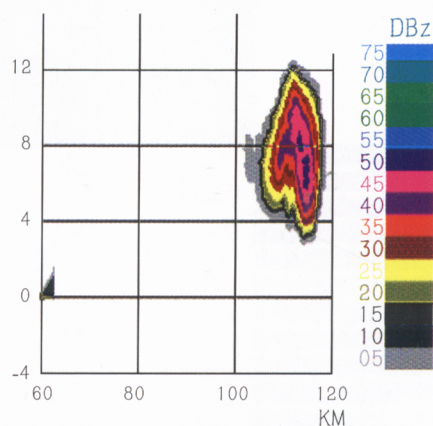


图3 1999年5月24日15:38:26 RHI 方位342.5°

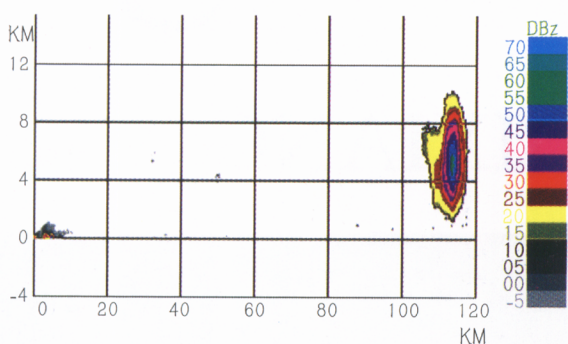


图4 宝鸡雷达站2002年5月16日16:02:17 RHI 方位50.4°

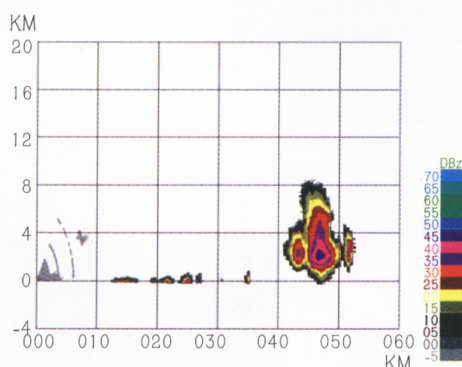


图5 洛川雷达站2002年8月17日13:18:21 RHI 方位117.9°

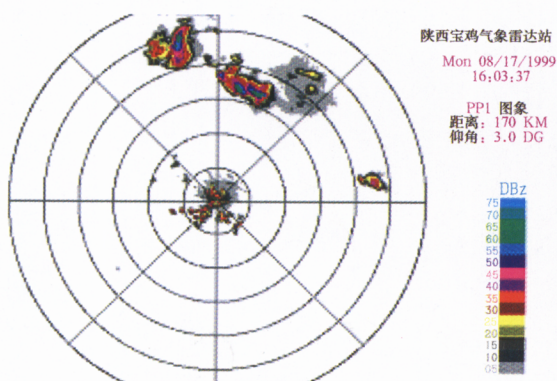


图6 宝鸡雷达站1999年5月24日16:03 PPI 资料

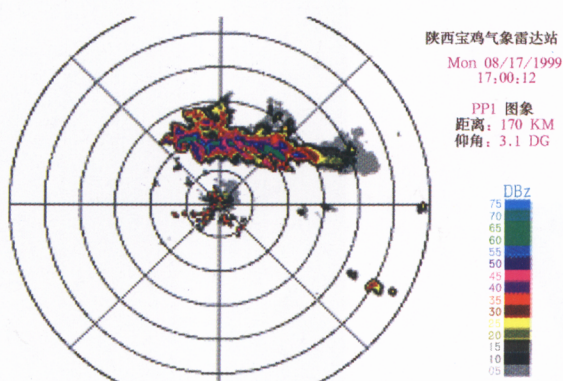


图7 宝鸡雷达站1999年5月24日17:00 PPI 资料

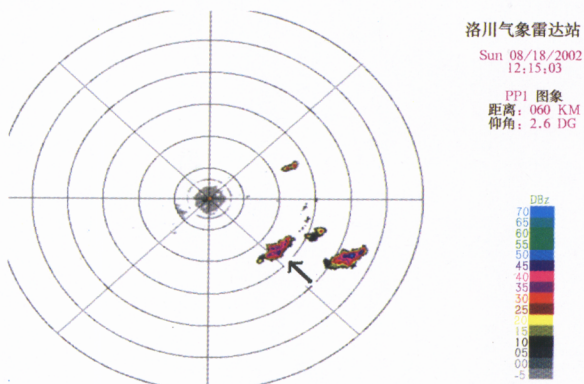


图8 洛川雷达站2002年8月18日12:15 PPI 资料

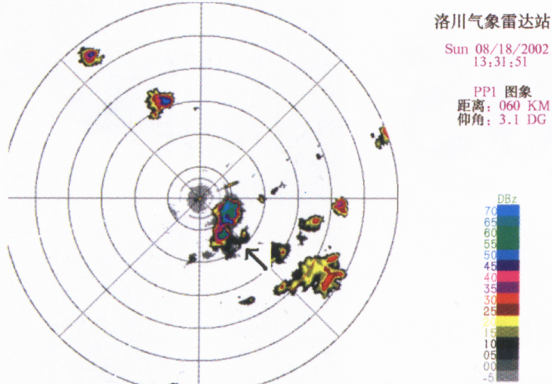


图9 洛川雷达站2002年8月18日13:31 PPI 资料