

# 多普勒天气雷达判别宁夏川区 强对流天气的综合预报指标

徐阳春<sup>1,2</sup>, 陆晓静<sup>2</sup>, 周 虎<sup>2</sup>, 陈晓娟<sup>2</sup>, 沈 阳<sup>2</sup>, 聂金鑫<sup>2</sup>

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002)

**摘 要:**采用多因子综合相关概率法、多参数点聚折线法,对宁夏川区2003~2008年汛期160个暴雨天气个例进行了统计分析,找出了多普勒雷达识别宁夏川区强对流天气的定量综合预报指标。结果表明,综合指标达到2.8时,识别冰雹、暴雨等强对流天气的成功率达87.1%。

**关键词:**宁夏川区;雷达判别;强对流天气;预报指标

**中图分类号:**P412.25

**文献标识码:**A

## 引 言

及时准确识别冰雹、暴雨等强对流天气,对于适时开展人工影响天气作业,提高人工增雨、防雹效果,提高经济效益具有很大的现实意义。我国上海、浙江、江西、内蒙等地总结制订了一些使用雷达识别强对流天气的预报指标,但各地因海拔高度、气候属性不同,宁夏地区使用这些指标有很大的偏差。宁夏自20世纪70年代中期开始利用711测雨雷达在六盘山区进行强对流云特别是冰雹云的探测和研究工作,在指导“三七”高炮防雹、增雨作业的同时收集了大量暴雨雷达回波和地面降水有关资料,也订制了一些作业预报指标,在指导增雨及防雹方面起到了一定的作用。2003年银川和固原相继更换为多普勒天气雷达,这种天气雷达有丰富的预报产品,它探测信息全、精度高,为预测灾害性天气特别是强对流天气内部的风场信息提供了可靠的技术支持,在短时天气临近预报中发挥重要作用。多年的探测经验得出,识别冰雹、暴雨等强对流天气需要综合考虑一些因子,其中有定量的,如雷达回波顶高度、回波强度(基本反射率)、强回波顶高度、液态水含量(VIL)、冰雹指数、中气旋等;也有不定量的,如回波外形结构特征、演变规律、回波尺度、范围等。本文利用多参数相关点聚图法、多因子相关概率法与回

波的其他参量有机地结合起来,建立定量的综合指标,对历史资料进行拟合。结果表明,这个指标使用方便,准确性和可靠性比较好。

## 1 分析方法

(1)采用多参数点聚折线法,用2003~2008年宁夏川区160个雹暴个例观测资料及地面降水实况资料,作出折线点聚图(图1~图3)。由图可见,图中的各个预报参量相关性比较好。冰雹回波强度27个例中有20个强度在50~60 dBZ,占总数的74%,大到暴雨回波强度大部分在40~45 dBZ,占总数81.5%,阵雨、雷阵雨回波强度多数在35~40 dBZ,占总数92%,中雨回波强度大部分在30~35 dBZ,占总数82%。冰雹云回波顶高度多数在10~13 km,占总数88%,大到暴雨回波顶高度多数在8.0~9.0 km,占总数74%,阵雨、雷阵雨回波顶高度多数在9.0~10 km,占总数66%,中雨回波顶高度大部分在7.0~8.0 km,占总数63%。冰雹云液态水含量大部分在20 kg/m<sup>2</sup>以上,占总数67%,大到暴雨液态水含量基本在10~20 kg/m<sup>2</sup>,占总数81%,阵雨、雷阵雨液态水含量基本在8.0~10 kg/m<sup>2</sup>,占总数85%,中雨液态水含量基本在6.0~8.0 kg/m<sup>2</sup>,占总数73%。

收稿日期:2009-10-29;改回日期:2009-11-27

基金项目:宁夏自然科学基金项目“宁夏区域内风能资源时空变化特征研究”(N208157)资助

作者简介:徐阳春(1952-),男,宁夏银川人,高级工程师,主要从事雷达气象及短时预报工作。

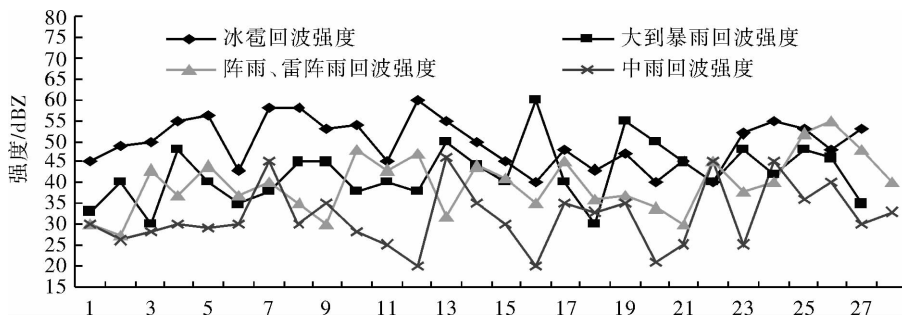


图1 强对流天气回波强度曲线图

Fig. 1 Radar reflectivity of severe convective weather

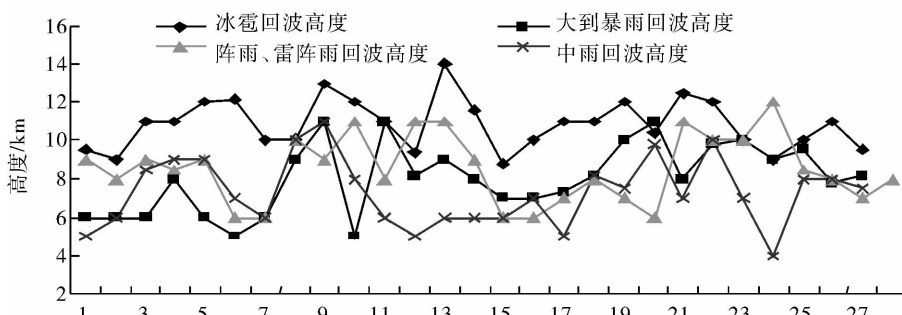


图2 强对流天气回波高度曲线图

Fig. 2 Echo tops height of severe convective weather

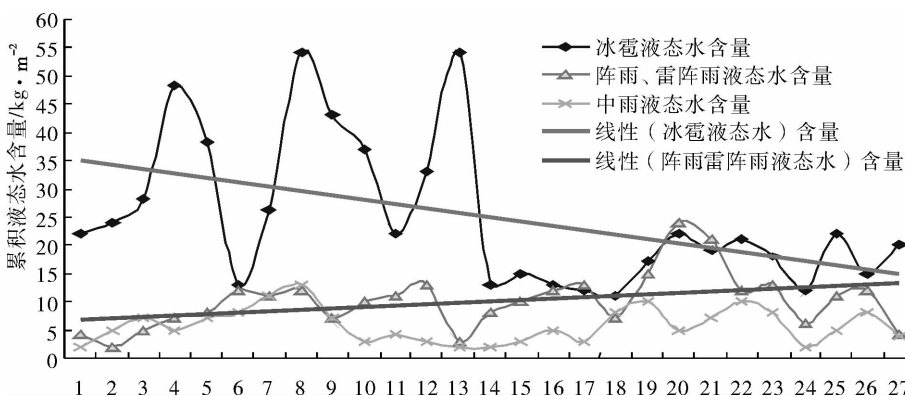


图3 液态水含量曲线图

Fig. 3 Vertically integrated liquid water content of severe convective weather

(2) 采用的多因子判别冰雹、暴雨等强对流天气的概率方程可写为:

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{1A}X_{1A} + P_{1B}X_{1B} + P_{2A}X_{2A} + P_{2B}X_{2B} + \dots + P_{nA}X_{nA} + P_{nB}X_{nB}) \quad (1)$$

式中  $n$  为参加判别的因子数,  $X_{iA}$  为判别是冰雹、暴

雨等强对流天气的第  $i$  个指标,符合这个指标时令它为 1,不符合这个指标时则令它为 0,  $X_{iB}$  为判别非冰雹、暴雨等强对流天气的第  $i$  个指标,符合这个指标时令它为 1,不符合时则令它为 0,  $P_{iA}$  和  $P_{iB}$  分别为满足  $X_{iA}$  和  $X_{iB}$  时降雹暴的条件概率,即

$$P_{iA} = \frac{\text{某现象实际出现数目}}{\text{满足指标 } X_{iA} \text{ 的统计数}}$$

$$P_{iB} = \frac{\text{某现象实际出现数目}}{\text{满足指标 } X_{iB} \text{ 的统计数}}$$

以此类推。

要求判别因子  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  相互独立且与冰雹云的相关性好,而且选6个以上因子为佳。

系数  $P_{iA}, P_{iB}, \dots$ , 可以从历史资料中标出,因子选择得好  $P_{iA}, \dots, P_{nA}$  接近1,  $P_{iB}, \dots, P_{nB}$  接近0,但由于有时时间掌握不当,使个别资料收集得不够完整和全面,所以实际情况不一定这样理想。

综合指标  $\bar{Y}$  可根据实际资料计算若干个冰雹、暴雨等强对流天气个例和非冰雹、暴雨等强对流天气单体个例  $Y$  值来予以确定,然后规定当  $Y \geq \bar{Y}$  时则判断为冰雹、暴雨等强对流天气回波,当  $Y < \bar{Y}$  时则判断为非冰雹、暴雨等强对流天气回波。

## 2 指标

我们利用2003~2008年5~9月汛期宁夏川区160个雹暴个例观测资料及地面降水实况资料,银川探空站2003~2008年5~9月08时探空资料,共查阅出160个比较完整的雹暴个例,其中冰雹、暴雨等强对流天气个例96个,非冰雹、暴雨等强对流天气个例64个,对每个雹暴个例外形结构特征、回波强度(基本反射率)、降雹暴范围、回波尺度、回波顶高度、强回波高度(衰减20 dBZ后)、液态水含量、冰雹指数风廓线、回波厚度、负温区厚度、正温区厚度及它们的比值等进行了统计分析。其中选定:(1)回波顶高度( $H_w$ ), (2)强回波顶高度( $H_{强}$ ), (3)回波强度(基本反射率), (4)液态水含量(VIL), (5)冰雹指数, (6)负温区厚度, (7)组合反射率强度, (8)回波外形结构特征等8个因子。一是由于它们基本满足上述2个要求,二是它们具有明显的物理属性和意义(形成冰雹、暴雨等强对流天气所需的2个重要条件:(1)有强烈的上升不稳

定气流,(2)有冰雹、暴雨等强对流天气的过冷水滴累积区)。对对流云回波顶高度一般指的是雷达灵敏度放在最大量,所观测到的回波顶高,它的高低是云内垂直上升气流强弱标志。而上升气流强度又是决定云内所能形成的最大水滴或冰雹、暴雨等强对流天气尺度的重要因素,因此,回波顶越高,降雹暴概率越大。

衰减20 dBZ后的强回波顶高度比  $H_w$  具有更好的指示冰雹、暴雨等强对流天气的意义。雷达探测证实冰雹、暴雨等强对流天气中上部的上升气流最强,当这支最强上升气流所达高度越高,强对流天气越激烈,被托住的冰雹等也越大。因此,  $H_{强}$  越高,冰雹、暴雨等强对流天气在其中增长和发展的含水量累积的负温区垂直厚度越厚,越有利于冰雹、暴雨等强对流天气发展和增长。另外,它们易于获得,除负温区厚度需要探空资料外,其它几个因子都可在雷达产品中直接获取。

确定为冰雹、暴雨等强对流天气的具体指标如下:

- (1)回波顶高度  $> 10.8 \text{ km}$ ;
- (2)强回波顶高度  $> 9.6 \text{ km}$  (衰减20 dBZ后);
- (3)回波强度  $\geq 52 \text{ dBZ}$  (基本反射率);
- (4)液态含水量(VIL)  $32.3 \text{ kg/m}^2$
- (5)冰雹指数(出现与未出现而定);
- (6)负温区厚度  $> 4.0 \text{ km}$ ;
- (7)组合反射率强度  $\geq 56 \text{ dBZ}$ ;

(8)回波外形结构上具有明显涡旋、“V”型缺口、带状、前悬回波、回波墙、钩状、指状、逆风区结构、2个强单体回波合并、明亮结构密实的较大块回波等。

由表1可见,各因子对冰雹、暴雨等强对流天气的指示性都较好,  $P_A$  达83%~94%,  $P_B$  仅有11%~15%,把以上这些系数代入方程(1),并且省略掉括号前的1/8则得:

表1 满足各项指标的条件概率

Tab.1 Conditional probability meeting all items above

条件概率	回波顶高 ( $X_1$ )	强回波高度 ( $X_2$ )	回波强度 ( $X_3$ )	液态含水量 ( $X_4$ )	冰雹指数 ( $X_5$ )	负温区厚度 ( $X_6$ )	组合反射率 回波强度 ( $X_7$ )	外形特征 ( $X_8$ )
$P_A$	0.872	0.836	0.910	0.913	0.908	0.920	0.852	0.944
$P_B$	0.133	0.126	0.143	0.157	0.138	0.142	0.139	0.119

$$Y = 0.872X_{1A} + 0.133X_{1B} + 0.836X_{2A} + 0.126X_{2B} + 0.910X_{3A} + 0.143X_{3B} + 0.913X_{4A} + 0.157X_{4B} + 0.908X_{5A} + 0.138X_{5B} + 0.920X_{6A} + 0.142X_{6B} + 0.852X_{7A} + 0.139X_{7B} + 0.944X_{8A} + 0.119X_{8B} \quad (2)$$

根据(2)式分别计算 160 个个例的  $Y$  值,计算结果表明,冰雹、暴雨等强对流天气回波的  $Y$  值绝大部分  $>2.8$ ,非冰雹、暴雨等强对流天气的回波的  $Y$  值绝大部分  $<2.8$ ,因此,可以确定综合指标  $\bar{Y} = 2.8$ ,当  $Y \geq 2.8$  时,则判断为冰雹云,当  $Y < 2.8$  时就判断为非冰雹云。该指标对 160 个历史资料  $Y$  值概括情况详见表 2。

该综合指标对 160 个个例中的冰雹、暴雨等强对流天气和非冰雹、暴雨等强对流天气的拟合识别率是  $142/160 = 88.7\%$ ,漏报了 10 个冰雹、暴雨等强对流天气(约占冰雹、暴雨等强对流天气总数的 10%),空报了 6 次冰雹、暴雨等强对流天气(约占非冰雹、暴雨等强对流天气总数的 9%)。

如果对 160 次平均  $P_{iA}$  和  $P_{iB}$  值再综合简化,得出一个更实用和简单的综合指标(表 3)。

由表 3 可见,综合后符合冰雹云指标的综合条件概率即  $P_A = 86/94 = 91.4\%$ ,比综合前的 89% 提高了 2.4%,不符合冰雹云指标的条件概率即  $P_B = 6/62 = 9\%$ ,比综合前的 11.9% 下降 2.9%,因此可以认为综合概率法判别冰雹云是有效的。

表 2 综合指标对历史资料的概括情况

Tab.2 Historical case number corresponding to each comprehensive indexes

	冰雹、暴雨等强对流天气	非冰雹、暴雨等强对流天气
符合 $Y \geq 2.8$ 的	86	8
符合 $Y < 2.8$ 的	6	56

表 3 综合后的条件概率与综合前的条件概率比较

Tab.3 Compare of conditional probability before and after synthesis

	符合冰雹、暴雨等强对流天气指标的	不符合冰雹、暴雨等强对流天气指标的
综合前	$\left. \begin{array}{l} \overline{P_{1A}} = 0.872 \\ \overline{P_{2A}} = 0.836 \\ \overline{P_{3A}} = 0.910 \\ \overline{P_{4A}} = 0.913 \\ \overline{P_{5A}} = 0.908 \\ \overline{P_{6A}} = 0.920 \\ \overline{P_{7A}} = 0.852 \\ \overline{P_{8A}} = 0.944 \end{array} \right\} P_{iA} = 89\%$	$\left. \begin{array}{l} \overline{P_{1B}} = 0.133 \\ \overline{P_{2B}} = 0.126 \\ \overline{P_{3B}} = 0.143 \\ \overline{P_{4B}} = 0.157 \\ \overline{P_{5B}} = 0.138 \\ \overline{P_{6B}} = 0.142 \\ \overline{P_{7B}} = 0.139 \\ \overline{P_{8B}} = 0.119 \end{array} \right\} P_{iB} = 11.9\%$
综合后	$P_A = 86/94 = 91.4\%$	$P_B = 6/62 = 9\%$

### 4 结 论

(1)综合概率法判别冰雹、暴雨等强对流天气简单易行,除个别因子需要考虑探空资料外,其它因子可直接从雷达产品中获取,只要我们用“新一代天气雷达系统软件”设置识别产品就可以迅速作出判断,及时、方便,时效性比较好。

(2)综合法综合考虑了多个因子的作用,由于每个因子在计算中都以 0,1 出现,因此一些非定量

的指标,例如回波的外形结构特征都可作为重要因子加以应用,使用中既方便又灵活。

(3)综合法比仅用一个因子或双参数法判别冰雹、暴雨等强对流天气效果好,可减少空报率和漏报率,提高识别冰雹、暴雨等强对流天气的准确率。

(4)综合法的缺点是各因子之间的相互关系考虑得少了一些,被选因子中有的权重过大,而有的则太小。为弥补这个缺陷,应尽可能选择反映判别对象中物理意义明确的因子。

(5) 本文中所采用的资料,有些也不是很理想,因而判别指标可能有局限性,所用资料大部分都是在半径 123 km 范围内,由于各种原因所引起的有些资料可能有些误差,因此在该监测范围外使用本指标需小心慎重。

(6) 所采用的 8 个因子中,组合反射率回波强度的效果差一些,原因是收集资料时时间上有时掌握得不是很合适,另外使用的资料年限也有些短,资料取得也不是很完整,所以有待于进一步加以完善。

#### 参考文献:

- [1] 胡明宝,高太长,汤达章. 多普勒天气雷达资料分析与应用[M]. 北京:解放军出版社,2000. 79-80.
- [2] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,2001. 236-239.
- [3] 伍志芳,张春泉,张沛源. 一次强对流天气的多普勒雷达特征分析[J]. 高原气象,2001,20. (2): 204-206.
- [4] 徐阳春,陆晓静,沈阳,等. 2003—2004 年强对流灾害性天气多普勒天气雷达产品特征分析[J]. 干旱气象,2005,23(1):40-41.
- [5] 陆晓静,周虎,徐阳春,等. 宁夏短时灾害性天气预报服务系统设计[J]. 干旱气象,2006,24(1):67-69.
- [6] 聂晶鑫,陆晓静,李蓉. 宁夏一次短时暴雨天气的跟踪预报分析[J]. 干旱气象,2009,27(2):187-188.
- [7] 毕旭,刘勇,刘子林. 陕西中部一次下击暴流的多普勒雷达回波特征[J]. 气象,2007, 33(11):54-61.
- [8] 陈良栋编著. 天气雷达资料的分析与应用[M]. 北京:气象出版社,1991. 125-128.
- [9] 强对流天气文集编辑组. 强对流天气文集[C]. 北京:气象出版社,1983. 12,138-139.

## Integrated Forecast Index of Severe Convection Weather in the Plain Region of Ningxia Based on Doppler Weather Radar

XU Yangchun<sup>1,2</sup>, LU Xiaojing<sup>2</sup>, ZHOU Hu<sup>2</sup>, CHEN Xiaojuan<sup>2</sup>, SHEN Yang<sup>2</sup>, NIE Jingxin<sup>2</sup>

(1. Ningxia key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Meteorological Observatory Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** The multi-factor integrated correlation probability method and the multi-parameter dot pitch line method are used to analyze 160 hailstorm cases occurred in the plain region of Ningxia in flood season from 2003 to 2008. The quantitative comprehensive forecast index of severe convection weather in the plain region of Ningxia discriminated by Doppler Radar was found. The result shows that the success rate of identification of hail, heavy rain and other severe convective weather could reach to 87.1% while the comprehensive forecast index reaches 2.8.

**Key words:** the plain region of Ningxia; radar discrimination; forecast index of severe convection weather