

WSR-88D 多普勒天气雷达 冰雹探测算法及评价

杨引明

(上海中心气象台, 200030)

提 要

详细介绍了 WSR-88D 多普勒天气雷达冰雹探测算法的设计、使用, 并进一步分析该算法存在的优点和不足。最后, 提出业务运行中改进的使用步骤和方法, 有效地提高了 WSR-88D 多普勒天气雷达探测、预报冰雹的能力。

关键词: 风暴 冰雹 WSR-88D 多普勒天气雷达 冰雹指数

引 言

冰雹是一种激烈的强对流性天气, 降雹以及伴随的大风、局地暴雨常造成严重的灾害。因此, 近年来国内外雷达气象工作者充分利用雷达资料建立了很多冰雹云的识别技术和方法^[1,2]。而美国新一代天气雷达(NEXRAD)采用的冰雹算法是 Forsyth, D. E, P. Petrocchi 等人 1981 年提出来的^[3], 他们依据 Lemon's (1978) 的强冰雹识别理论, 从风暴系列算法中选取风暴倾斜角等代表三维风暴体反射率因子结构的几个因子, 分别按照它们对冰雹形成的有用性赋予一定的权重值探测冰雹。该算法在美国多年的业务运行中显示了较强的冰雹探测和预警能力, 但在各种因子的选取、阈值的确定等方面也暴露出许多不足。本文在介绍风暴识别的基础上详细阐述了 NEXRAD 冰雹算法, 并根据上海中心气象台 WSR-88D 多普勒天气雷达一年来的使用情况, 分析其存在的优点和不足, 结合丰富的多普勒天气雷达输出产品, 提出改进的多普勒天气雷达冰雹探测的操作、使用方法, 有效监测冰雹的发生、发展。

1 风暴的识别及三维立体结构参数的计算

WSR-88D 是对风暴系列算法识别出的每一风暴单体分析、计算其结构而进行冰雹探测的, 因此客观、准确的识别出风暴体是冰雹探测算法的基础和关键。他们首先将风暴定义为反射率因子超过一定阈值, 且具有一定体积的三维连续区域, 可以认为由不同探测仰角上的二维风暴分量组成, 而风暴分量是由该探测仰角上的与方位相关的径向风暴段组成的。在完成了一个体扫描内各个风暴单体的识别后, 便可计算表达每个风暴特征的结构参数, 为风暴的跟踪、预报及冰雹探测作准备。参数有: 风暴的中心、体积; 风暴内的反射率因子最大值及其发生高度、谱宽最大值及其发生高度; 最低仰角内最大风暴速度; 风暴的回波顶高和回波底高、倾斜角和倾斜方向; 风暴的悬挂方向和长度。

这里定义一个风暴的最低层风暴分量的几何中心和中上层风暴分量的几何中心连线与垂直轴之间的夹角为风暴倾斜角(如图 1); 一个风暴的中上层风暴分量的边缘超过最底层风暴分量的边缘(向外伸展)的距离

为风暴悬挂 (如图 2), 实际计算中将每一个

风暴分量近似为圆来处理。

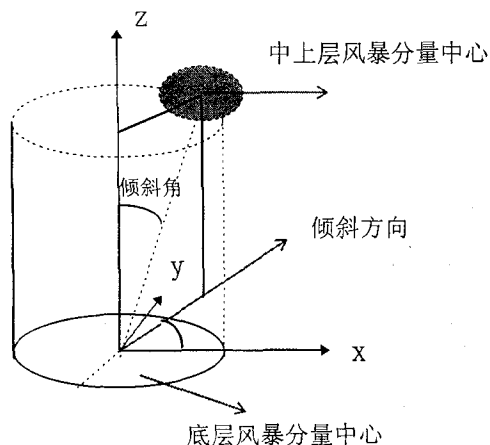


图 1 风暴倾斜角示意图

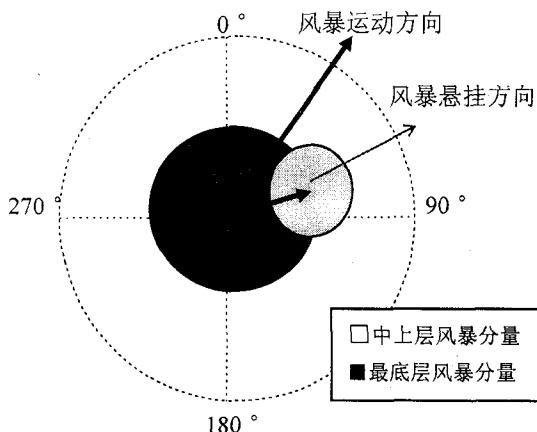


图 2 风暴悬挂示意图

2 冰雹探测

多年的研究表明^[4], 冰雹云特别是超级单体冰雹云有如下典型的环境场特征: 上升气流从地面附近沿逆切变方向倾斜, 下沉气流在对流层中层进入风暴; 从对流层中层流入的下沉气流以很小的曲率下沉, 在地面附近主要流向风暴的后侧; 对流层中高层的环境风比风暴的移速大, 在追上风暴后发生绕流; 上升气流源来自风暴的右前侧等, 所有这些特征导致冰雹云回波单体具有相应的三维立体结构特征。因此 WSR-88D 中冰雹算法根据 Lemon's (1978) 的强冰雹识别理论^[5], 选取多个代表风暴三维立体结构的指示性因子, 根据它们对冰雹形成所起作用大小赋予一定权重值, 然后通过这些权重值的累加结果探测冰雹。需要指出的是这些因子的选取以及每一因子权重值的大小应随地域、季节的不同而改变, WSR-88D 用户在一定的条件下可作修改。这里仅给出早期版本中较为通用的算法设置和流程 (流程图如图 3)。

其中选取 7 个指示性因子及其权重值如下:

- ① 最高可探测风暴分量高度 > 当地 0°C

层高度 (权重值 17);

- ② 风暴体内最大反射率因子 > 55dBz (权重值 15);

- ③ 中层风暴分量最大反射率因子 > 50dBz (权重值 20);

- ④ 最底层风暴分量的中心位于其上各层风暴分量的中心后侧 (权重值 7);

- ⑤ 风暴中层倾斜方向在风暴运动方向的右侧 45~180°之间 (权重值 8);

- ⑥ 中层风暴分量的悬挂至少为 4km 且方向在风暴运动方向的右侧 45~180°之间 (权重值 15);

- ⑦ 最高可探测风暴分量位于中高层悬挂之上 (权重值 18)。

7 个指示性因子权重值的累加为 100。对于每一个风暴, 当一个指示性因子满足时, 其权重值就累加到该风暴的 WPO 上 (WPO = 该风暴满足的所有指示性因子权重值的累加), 当一个指示性因子无法探测时 (如所需仰角超过雷达探测范围), 其权重值就累加到该风暴的 WPR 上 (WPR = 该风暴无法探测的所有指示性因子权重值的累加)。接着用 WPO 和 WPR 计算冰雹置信度因子 CFA 和

冰雹成绩 SCR :

$$CFA = 100 - WPR$$

$$SCR = (WPO/CFA) \times 100$$

若 $CFA \leq 25$, 说明无足够资料探测冰雹 (Insufficient-data); 若 $CFA > 25$ 且 $SCR \leq 50$, 说明不可能产生冰雹 (Non-hail); 若 $CFA > 50$ 且 $50 < SCR < 60$, 说明可能产生冰雹 (Pro-hail); 若 $CFA > 50$ 且 $SCR \geq 60$, 说明肯定产生冰雹 (Hail)。

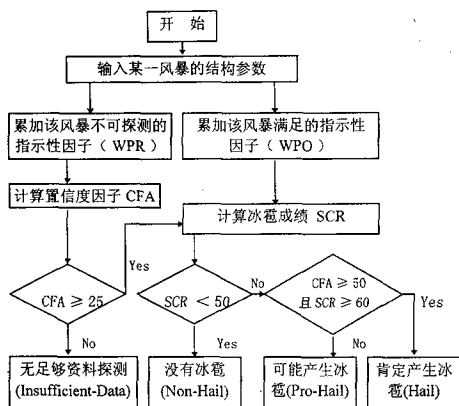


图3 WSR-88D 冰雹探测流程图

3 算法评价与改进

上海中心气象台 1997 年从美国引进 WSR-88D 多普勒天气雷达, 其冰雹探测产品包括: POH (可能产生冰雹)、POSH (可能产生强冰雹)、MEHS (估计最大冰雹尺寸) 及冰雹指数属性表 (列出冰雹 ID、方位、距离、冰雹概率和大小、0°C 层高度等)。上节算法中 Insufficient-data 和 Non-hail 不作为结果输出。

该雷达自 1998 年投入业务使用以来共输出 3 次降雹 (POH 或 POSH) 产品, 分别为 7 月 21 日、8 月 1 日和 8 月 9 日。地面实况结果为 8 月 9 日在雷达预报点上海川沙出现了强降雹, 持续时间长达 1 小时, 直径 3~4cm, 其他两次虽然在雷达预报地点未降雹, 但也出现了短时的雷雨大风。上述冰雹探测结果表明 WSR-88D 多普勒天气雷达具有一

定的冰雹预警能力, 特别是当冰雹尺寸较大 (直径超过 2.5cm) 时探测结果尤其显著; 而当对流条件不十分有利时雷达预报区域未产生冰雹, 仅出现了灾害性的短时雷雨大风, 过高估计了冰雹产生的可能性。这可能与我们的警报阈值有关, 但仔细分析这几次 WSR-88D 的冰雹探测实例, 可发现 WSR-88D 冰雹探测算法存在如下不足:

① 冰雹探测算法需要用户准确、及时的输入 0°C 和 20°C 层的高度、风暴的移向移速, 不正确的输入这些参数会降低算法的性能。

② 当冰雹单体离雷达站很远或很近时, 由于一个单体内包含太少扫描仰角或扫描仰角所达高度太低而导致冰雹算法不稳定。

③ 雷达最大探测距离为 480km, 而冰雹探测算法的处理距离为 240km, 超过 240km 发生的冰雹将无法探测。

④ 在算法中假定各个仰角上的风暴分量为一个圆, 可能会使冰雹悬挂指示性因子项的计算产生较大误差而降低冰雹探测性能。

⑤ 风暴顶的辐散等是产生冰雹的很重要的特征, 但这些显著的多普勒雷达速度场信息在 WSR-88D 冰雹探测算法中并未被使用。

纵观国内外关于冰雹云的形成机制, 可发现冰雹云单体在 WSR-88D 多普勒天气雷达其它输出产品上也有很明显的表现特征, 如: 较大的弱回波区 (WER/BWER)、回波顶强辐散、较大的垂直风切变、最强回波中心高度上升以及较大的垂直积分液态水含量等, 但它们并未被冰雹探测算法所采用。为了弥补自身冰雹探测算法的不足, 充分利用 WSR-88D 多普勒天气雷达其它丰富的气象产品, 我们提出以下的冰雹探测、预警操作方法。

第一步: 根据 WSR-88D 多普勒天气雷达其它屏幕输出产品建立如下方程计算强降

雹概率指数 H_{hail} :

$$H_{hail} = 0.20X_1 + 0.20X_2 + 0.20X_3 + 0.20X_4 + 0.20X_5$$

其中各项的意义及计算方法如下:

X_1 : 弱回波区 (WER/BWER) 是否较大。通过操作两个以上不同方位的基本反射率因子垂直剖面产品 (RCS) 或弱回波区 (WER) 产品获得。

$$X_1 = \begin{cases} 1 & \text{WER/BWER 明显} \\ 0 & \text{WER/BWER 不明显} \end{cases}$$

X_2 : 最强回波中心高度是否上升。通过操作前后不少于两个时次的基本反射率因子垂直剖面产品 (RCS) 或弱回波区 (WER) 产品获得。

$$X_2 = \begin{cases} 1 & \text{最强回波强中心高度上升} \\ 0 & \text{最强回波强中心高度不上升} \end{cases}$$

X_3 : 垂直风切变是否较大。通过操作 VAD 风廓线产品 (VWP) 可获得。

$$X_3 = \begin{cases} 1 & \text{垂直风切变较大} \\ & \text{(特别是风随高度顺转)} \\ 0 & \text{垂直风切变较小} \end{cases}$$

X_4 : 回波顶辐散是否较强。通过操作高仰角基本速度产品 (V) 或风暴相对平均径向速度区产品 (SRR), 累加最大来向和去向速度可获得。

$$X_4 = \begin{cases} 1 & |V_{out}| + |V_{in}| \geq 37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ 0 & |V_{out}| + |V_{in}| < 37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$$

X_5 : 垂直积分液态含量是否很大。通过操作垂直积分液态水含量产品 (VIL) 可获得。

$$X_5 = \begin{cases} 1 & VIL \geq 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \\ 0 & VIL < 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \end{cases}$$

第二步: 在获得强降雪概率指数 H_{hail} 后可按图 4 所示流程图探测冰雹并发布警报。

4 结语

(1) 本文在介绍风暴识别的基础上详细阐述了全美 NEXRAD 冰雹算法, 旨在帮助我国广大多普勒天气雷达用户了解、熟悉

WSR-88D 的冰雹探测算法, 提高冰雹预报准确率, 因为中国下一代 S 波段多普勒天气雷达 (CINRAD) 将在全国布点投入业务使用, 而其采用的算法及各种输出产品与美国 WSR-88D 大致相同。

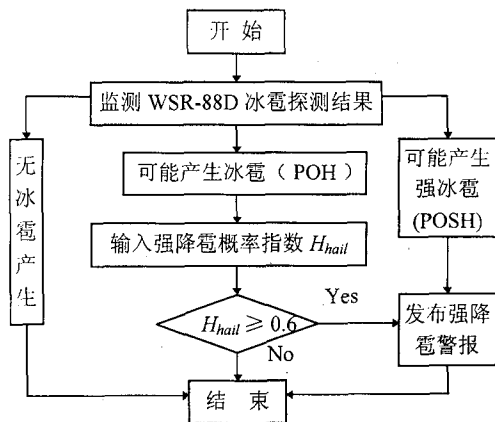


图 4 改进的 WSR-88D 冰雹探测流程图

(2) 本文还根据上海中心气象台 WSR-88D 多普勒天气雷达一年来的使用情况, 分析其存在优点和不足, 结合丰富的多普勒天气雷达产品, 提出改进的多普勒天气雷达探测冰雹的操作方法流程, 有效监测冰雹的发生、发展。

(3) 在改进的冰雹探测操作流程中, 诸如较大的弱回波区 (WER/BWER)、回波顶强辐射、较大的垂直风切变等没有给出定量的标准, 很大程度依赖于预报员的主观判断; 另外, 整个冰雹算法要求用户准确、及时的输入 0°C 和 -20°C 层的高度、风暴的移向移速, 各种冰雹指示性因子权重值的大小也应随地域、季节的不同要求用户不断调整。

参考文献

- 1 刘黎平, 张胡发. 利用双线偏振雷达识别冰雹区方法初探. 高原气象, 1993; 333~337.
- 2 刘黎平等. 用 C 波段双线偏振雷达研究冰雹冰雹云. 大气科学. 1992, 16 (3): 370~376.
- 3 Forsyth D. E., C. Bjerkaas and P. Petrocchi. Modular

- Radar analysis software system (MRASS), preprints, 20th National Conventional Conference on Radar Meteorology. 1981: 696~699.
- 4 张培昌等. 雷达气象学. 北京: 气象出版社, 1985.
- 5 Lemon L. R. On the use of storm structure for hail identification, preprints, 20th National Conventional Conference on Radar Meteorology, 1978: 696~699.

Description and Evaluation of WSR-88D Doppler Weather Radar Hail Algorithm

Yang Yinming

(Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030)

Abstract

The design and operation of WSR-88D Doppler weather radar hail algorithm were described, and the strengths and weakness of these algorithm were given. Finally, in order to improve the potential to detect and forecast severe hail an improved practical method which can be used in operation was suggested.

Key Words: storm hail WSR-88D Doppler weather radar hail index