

胡玉清¹ 刘 晋¹ 陈红萍¹ 岳福豹²

(1. 山西省晋中市气象局, 030600; 2. 山西省忻州市气象局)

提 要

利用雷达探测信息、地面气象观测资料和高空探测资料,通过计算机分析处理,对冰雹天气的发生、发展进行分析预报,并计算多单体任意雹云核心部位的覆盖面积,对不同地理位置的各炮点,经过极坐标和三维直角坐标系的变换,确定雹云相对于不同空间位置的各炮点的准确位置,并对各炮点不同弹型的弹道方程进行连续模拟和分析计算,最终确定在炮控范围内的雹云体内弹着点的准确位置,并通过计算云中含水量、零度层高度、云体体积,准确得出各个炮点的射击诸元(射击仰角、方位、扇面和射击剂量等),通过通讯网络,通知各有关炮点实施作业。

关键词: 人工防雹 雷达 雹云模拟 射击诸元

1 防雹作业天气背景分析

根据天气学原理和实践经验,认为当大气具备以下三条时,有利于冰雹云的发展。

①当不稳定指数 $24.6 \leq (T_{s500} - T_{s850}) \leq 33.8$ 时,容易出现降雹天气。

②具有充沛的水汽条件,表现为在 850hPa 天气图上晋中市上游一般维持一个辐合中心(或辐合带)。

③当高空风和各层风的垂直切变平均在 $2.3 \sim 4.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ 时,常有利于冰雹云的发展。

2 雷达识别雹云

在雷达探测对流传云的过程中,主要根据冰雹云与雷雨云之间的差异,从雷达回波形态、运动特征以及各参量(如回波顶高、强回波中心高度、负正温度区厚度之比等)的演变中,识别冰雹云,确定可能降雹的部位和降雹强度。

根据近年来晋中市雷达观测资料分析得出,当雹云参数达到一定指标时(表 1),应该及时进行防雹作业。

3 软件设计参量简述

3.1 0℃层高度的估算

①由当天探空资料进行计算。

表 1 雹云与非雹云参量比较

	H_a /km	Z_m /dBz	H_{zm} /km	h_-/h_+	S_{30} /km ²	S_{40} /km ²
非雹云	4.8	32	2.1	1.2	3.6	2.8
冰雹云	10	45	6.5	3.5	16	12

其中 H_a 为回波顶高, Z_m 为回波强度, H_{zm} 为最大雷达反射率对应的高度, h_-/h_+ 为云中冷区与暖区之比, h_- 定义为 H_a 与 H_0 (0℃线高度)之差, h_+ 为 H_0 与 H_b (云底高度)之差, S_{30} 为衰减 30 分贝后云体的覆盖面积; S_{40} 为云体衰减 40 分贝后云体的覆盖面积。

②也可利用雷达荧光屏上的亮带估算。

③利用百叶箱温度粗略估算。

3.2 坐标转换

①将从雷达读取的极坐标参数转换为直角坐标参数(图 1)。

$$x = S_p \cos \theta$$

$$y = S_p \sin \theta$$

上式中 S_p 为衰减 30 分贝后云体边缘各拐点的距离。

②转换为以各炮点为原点的空间直角坐标系。

$$X_{ijk} = X_{jk} - A_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, L \quad (L \text{ 个炮点})$$

$$Y_{ijk} = y_{jk} - B_i$$

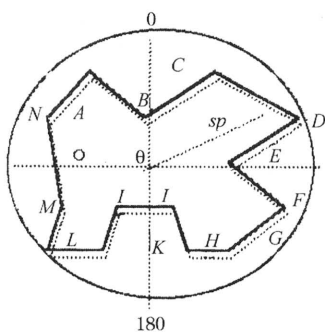


图1 雹云回波数值模拟图

$j = 1, 2, 3 \cdots M$ (M 个云块)

$$H_i = H - C_i$$

$k = 1, 2, 3 \cdots N$ (N 个拐点)

上式中 A_i, B_i, C_i 为各炮点相对于雷达的空间直角坐标。

③将所有不规则云体的拐点连接成任意多边形,其拐点为 $A, B, C, D \cdots$ 其闭合方程为

$$Y_{ijA} - Y_{ijB} = K_{ijAB}(X_{ijA} - X_{ijB})$$

$$Y_{ijB} - Y_{ijC} = K_{ijBC}(X_{ijB} - X_{ijC})$$

$$Y_{ijC} - Y_{ijD} = K_{ijCD}(X_{ijC} - X_{ijD})$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$i = 1, 2, 3 \cdots L \quad j = 1, 2, 3 \cdots M$$

3.3 计算爆炸点的水平距离与高度^[1]

$$S = x = \{S_1 + V_{t2}(t_{炸} - 7)\} \cos \alpha$$

$$h = y = \{S_1 + V_{t2}(t_{炸} - 7)\} \sin \alpha - g/2(t_{炸} - 7)^2$$

3.4 由最低催化高度求高炮射击仰角

图2给出由碘化银的最低催化高度求高炮射击仰角的关系。

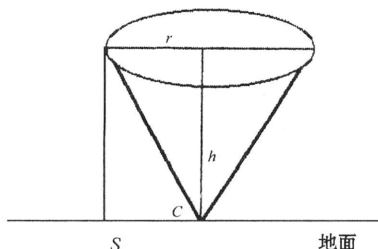


图2 高炮最低射击高度轨迹图

3.5 最低爆炸点的圆的轨迹方程

$$x^2 + y^2 = r^2 = s^2$$

3.6 求不规则云体的多边形与最低炸点圆的交点,并求出每层扇面的用弹量

图3给出雹云与最低炸点圆的交合图。

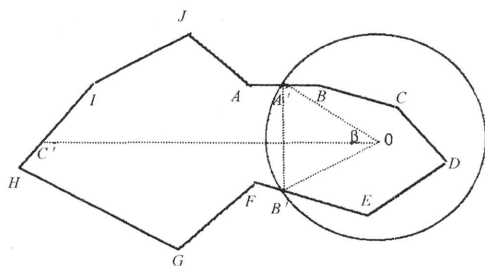


图3 雹云与最低炸点圆交合图

$$X_{ijk}^2 + Y_{ijk}^2 = S_{ik}^2 \quad (1)$$

$$(Y_{ijA} - Y_{ijB}) = K_{ijAB}(X_{ijA} - X_{ijB}) \quad (2)$$

$$(Y_{ijB} - Y_{ijC}) = K_{ijBC}(X_{ijB} - X_{ijC}) \quad (3)$$

$$(Y_{ijC} - Y_{ijD}) = K_{ijCD}(X_{ijC} - X_{ijD}) \quad (4)$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$i = 1, 2 \cdots L \quad j = 1, 2 \cdots M \quad k = 1, 2, 3$$

(三种弹型)

$A, B, C, D \cdots$ 为云体拐点,共 N 个。

假如圆与多边形有交点,则云体在炮控范围之内,进而计算交点坐标和交点夹角,并计算交点间的弧长和一次用弹量。

$$N_i = \frac{r}{L} \times \frac{\pi}{180} \times \beta + 1$$

N_i 为每层扇面的用弹量, L 为炮弹炸点间隔距离, β 为两交点间的夹角。

3.7 求云体体积

计算机将任意多边形雹云云体最优分割成 $N-2$ 个三角形,将每个小三角形的面积相加即得。

$$S_{\text{多边形}} = S_1 + S_2 + S_3 + \cdots + S_{N-2}$$

云体的平均高度取 $H_{\text{平}} = 0.75H$

则:云体的体积 $V = S_{\text{多边形}} \times H_{\text{平}}$

3.8 总用弹量估算

(1)碘化银成活率

设:人工催化影响冰雹后 0°C 高度上的平均半径增长不超过 0.5cm ,落到地面不能成灾^[2]。

$$N_{\text{总}} = \frac{(q_0 - q_{-20})\rho}{Q_{0.5}}$$

$$N_{\text{min}} = \frac{10^9 N_{\text{总}}}{n}$$

$$n = 1.05 \times 10^{13} \times 0.01\% = 1.05 \times 10^9$$

式中, $N_{\text{总}}, N_{\text{min}}, n$ 分别为投入每立方千米雹源的总用弹量、最低用弹量和人工冰雹胚胎

浓度^[3]。

(2)用弹量计算

$$M = S_{\text{多边形}} \times H_{\text{平}} \times \frac{10^9 N_{\text{总}}}{n}$$

式中, M 为对于整个一块冰雹云体一次作业的总用弹量(发)。

4 防雷效果与效益检验

4.1 防雷效果分析

$$\tau = \frac{H_1 \times S_1 - H_2 \times S_2}{H_1 \times S_1}$$

$$H_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m H_i$$

$$S_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i$$

$$H_2 = \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} H_j$$

$$S_2 = \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} S_j$$

当 $\tau > 0$ 时, 防雷有效果, 且 τ 愈大则防雷效果愈明显。

当 $\tau \leq 0$ 时, 防雷没有效果或效果不明显。

上式中, H_1 、 S_1 、 H_2 、 S_2 分别为衰减 30 分贝时作业前后的平均云顶高度和雹云主体面积。

m 、 n_1 分别为作业前、后每隔 5 分钟共读取雷达参数的次数(m 、 n_1 取决于防雷过程的强弱)。

4.2 防雷效益检验

防雷效益:

$$\mu = \left(\frac{J}{N} - \frac{I}{M} \right) / R$$

$$\text{其中, } R = \frac{1}{k(M+N)} \sum_{i=1}^k (A_i + B_i)$$

式中, I : 作业区内因雹灾减产的粮食产量(kg), M : 作业区内的作物播种面积(hm^2), J : 对比区内因雹灾减产的粮食产量(kg), N : 对比区内的作物播种面积(hm^2), A_i : 作业前保护区内历年因雹灾减产的粮食产量(kg), B_i : 作业前对比区内历年因雹灾减产的粮食产量(kg), k : 一般取防雷作业前 5~10 年。

对于晋中市防雷前 8 年: $R = 552$, 拟合近三年的效益:

1999 年防雷效益为: $\mu = 304.5/552 = 55\%$; 2000 年防雷效益为: $\mu = 324/552 = 58\%$; 2001 年防雷效益为: $\mu = 328.5/552 = 60\%$ 。

参考文献

- 1 王雨增. 人工防雷实用技术. 北京: 气象出版社, 1994.
- 2 吴保民, 王雨增. 最大降雹尺度的预报. 北京. 第十二次全国云降水物理和人工影响天气科学讨论会, 1996: 55~56.
- 3 章澄昌. 人工影响天气概论. 北京: 气象出版社, 1992: 280~282.

Study of Hail Suppression and Reducing Disaster System in Jinzhong City

Hu Yuqing¹ Liu Jin¹ Chen Hongping¹ Yue Fubao²

(1. Jinzhong Meteorological Office, Shanxi Province 030600;

2. Xinzhou Meteorological Office, Shanxi Province)

Abstract

Analysis and forecasting for hail weather's form and development are presented based on radar detection information, surface meteorological observation and computer analysis and processing. With calculation of the covered area of multicell hail's centre, and determination of hail's exact sites which is relative to different space area, the hail cloud simulation model is developed, exact place where the shell falls at length is determined. After calculation of the water contents in cloud, the height of 0°C, and cloud volume, the shooting point at the operating area are given.

Key Words: hail suppression radar simulation