

# 雷达在确定火箭高炮发射角中的应用

王 斌 杨维军 唐仁茂

(湖北省气象科学研究所, 武汉 430074)

## 提 要

通过对作业云体的回波强度、温度、含水量等物理量的观测,可定性定量的给出人工催化的云体部位,并可通过雷达、火箭、高炮、云体作业点三点组成的三角形直接计算出地面火力点的作业方位角,同时根据雷达测定的云的作业部位高度和火箭、高炮本身的弹道轨迹,给出地面火力点的发射仰角。在人工影响天气作业中可减少靠目测指挥作业的盲目性。

关键词: 雷达指挥 火箭 高炮 射角

## 引 言

在人工增雨作业中,作业工具的使用是其中重要环节之一。从作业设计的实现到催化效果的检验都依赖催化剂以正确的方向、高度和路径作用于作业云体。无论是火箭作业还是高炮作业,都有怎样确定其发射方位角和仰角,以及怎样保证其迅速有效的作业的问题。针对南方对流云催化作业的特点,雷达是指挥火箭、高炮作业的方便而有效的探测工具。因此根据雷达探测的各项催化指标如作业部位、作业半径等量,经过计算机自动处理,迅速确定火箭、高炮发射参数,对提高催化效率,科学判断催化效果将起到很好的作用。

## 1 火箭高炮发射方位角及距目标云水平距离的确定方法

方位角的确定主要依据雷达的指挥和现场目测相结合。利用雷达站距离-方位图,根据雷达站给出的作业区坐标来换算出火箭发射点的方位角,这些计算最好由雷达站负责。直接将算得的结果通知火箭作业点。

图1为雷达、地面火力点及云体作业点组成的水平三角形ABC。A为雷达站,B为地面火力点,C为云体作业部位在水平面上的投影。设雷达测火力点的方位角为 $A_1$ ,水平距离 $R_1$ ;雷达测目标云的方位角 $A_2$ ,水平

距离 $R_2$ ;  $B_1$ 为此三角形中AB与BC边的夹角;火力点测目标云的方位角 $A_3$ ,水平距离 $R_3$ 。则有:

$$R_3 = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos(A_1 - A_2)}$$
$$B_1 = \arccos\left(\frac{R_1^2 + R_3^2 - R_2^2}{2R_1R_3}\right)$$

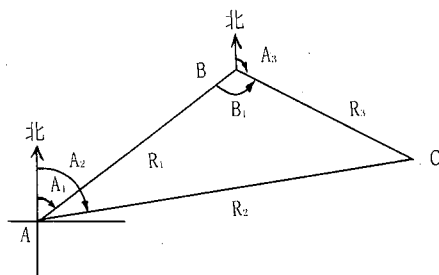


图1 雷达作业点和火力点示意

发射方位角 $A_3$ 的确定方法如下:

1.1 火力点在雷达东侧的发射方位角 $A_3$   
(即 $0 \leq A_1 < 180$ 时)

若 $A_1 < A_2$ ,且 $A_2 - A_1 < 180$ ,

$$A_3 = 180 - B_1 + A_1;$$

若 $A_1 < A_2$ ,且 $A_2 - A_1 \geq 180$ ,

$$A_3 = 180 + B_1 + A_1$$

若 $A_1 > A_2$ ,且 $B_1 + A_1 < 180$ ,

$$A_3 = 180 + B_1 + A_1;$$

若 $A_1 > A_2$ ,且 $A_1 + B_1 \geq 180$ ,

$$A_3 = B_1 + A_1 - 180;$$

若  $A_1 = A_2$ , 且  $R_2 > R_1, A_3 = A_1$ ;

若  $A_1 = A_2$ , 且  $R_2 < R_1, A_3 = A_1 + 180$

1.2 火力点在雷达西侧的发射方位角  $A_3$  (即  $180 \leq A_1 < 360$  时)

若  $A_1 > A_2$ , 且  $A_1 - A_2 < 180$ ,

$$A_3 = B_1 + A_1 - 180;$$

若  $A_1 > A_2$ , 且  $A_1 - A_2 \geq 180$ ,

$$A_3 = A_1 - B_1 - 180;$$

若  $A_1 < A_2$ , 且  $A_1 - B_1 < 180$ ,

$$A_3 = 180 - B_1 + A_1;$$

若  $A_1 < A_2$ , 且  $A_1 - B_1 \geq 180$ ,

$$A_3 = A_1 - B_1 - 180;$$

若  $A_1 = A_2$ , 且  $R_2 < R_1$ ,

$$A_3 = A_1 - 180;$$

若  $A_1 = A_2$ , 且  $R_2 > R_1, A_3 = A_1$ 。

2 火箭高炮发射仰角的确定

火箭、高炮发射仰角是由雷达探测的目标云作业部位高度计算出的火力点与目标云水平距离  $R_3$ , 以及火箭、炮弹弹道飞行参数而确定的。对于高炮, 还要考虑炮弹自炸的引信时间; 对于火箭, 则要考虑其催化剂播撒高度和水平距离。计算时还要考虑雷达站与火力点的海拔高度差, 将雷达所测的云体作业部位高度换算到云体相对火力点的高度即可。下面以 WR-1B 型火箭为例, 给出其发射仰角的计算方法。将弹道最高点作为作业播撒层上限高度  $H1$ ,  $H1$  减去 1km 作为下限高度  $H2$ ,  $H1$  到火箭发射点的距离为有效作业半径  $L$ , 根据 WB-1B 型火箭弹道轨迹图, 绘制成发射仰角与  $H1$ 、 $H2$ 、 $L$  的关系图<sup>[1]</sup>。如图 2, 通过雷达知道作业层相对火箭点高度和作业云与火箭点的水平距离  $R_3$  即可查得火箭发射仰角。如果将其飞行轨迹参数输入到计算机, 经过编写计算程序, 可实现查表自动化。

3 选择作业云体的雷达观测指标

选择什么特征的云体作为催化对象同作业点所在地的天气气候有着十分密切的关系。本文以湖北省西北部多山地区夏季经常发生的对流性降水为研究对象。表 1 为鄂西

北雷达 1995~1997 年 6~9 月观测的回波资料统计结果。阵雨型回波一般出现在中午前后及傍晚, 顶高 4~9km, 强度平均在 30dBz 左右, 平均高度 4~5km。移动较慢, 结构多为分散或孤立块状回波。雷雨(冰雹)型回波强度在 45dBz 以上, 大都由阵雨型回波演变而来, 形成于 15 时至傍晚时段。回波顶高 6、9 月份在 10km 左右, 盛夏的 7~8 月可高达 17km。强对流回波移速在 30~40km·h<sup>-1</sup>, 结构多为带状、超级单体或有规则排列。雷达测到的对流云最大含水量 2~6g·m<sup>-3</sup>, 整体含水量在 0.5g·m<sup>-3</sup> 以上。

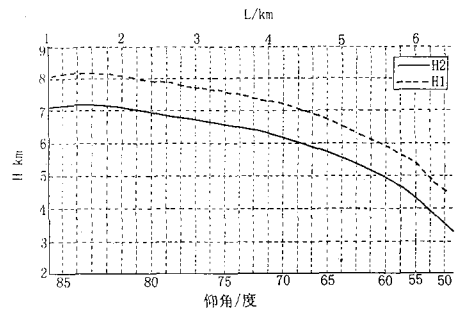


图 2 发射仰角和播撒高度及作业距离关系

表 1 鄂西北 6~9 月对流回波特征值(1995~1997)

	阵雨回波			强对流天气回波		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
高度/km	9.0	4.0	5.0	17.0	9.0	10.0
强度/dBz	50.0	20.0	30.0	65.0	40.0	45.0

通过分析试验区对流云发生发展的特点以及云体尺度特征, 并结合以往人工增雨试验分析结果, 确定试验选择强度在 20dBz, 高度 4~5km 的初始回波为准作业对象。若回波发展为带状或有规则排列云体, 整体强度 30dBz, 平均高度 5km 以上, 云量  $\geq 3$  成, 移速 30km·h<sup>-1</sup> 左右, 云中含水量  $\geq 0.5g \cdot m^{-3}$ , 最大含水量 2~6g·m<sup>-3</sup>, 可判断为具有作业潜力的对象。

通过二维对流云模式<sup>[2]</sup>计算分析发现, 催化位置在回波中心或偏上风方, 催化高度为 -3~-10℃ 并进行早期催化时, 催化增雨效果较好。再结合所采用火箭、高炮的性能特点, 作业部位可选择在稍低高度, 0~6℃。雷

达指挥时可选择云体移动路径的前方或庞大云体发展旺盛,不断有新生云泡产生之处,这样可保证催化剂能充分在云中活化,提高成核率。

#### 4 一次实例的运用

本次作业是鄂西北火箭人工增雨试验的一个个例,时间为1997年7月18日。雷达站于17日22:00对目标云进行加密观测,并及时通告火箭点处于准备作业阶段。18日00:30,作业区上空为黑云覆盖,作业人员用肉眼很难判断最佳作业部位。这时雷达站通知火力点作好发射准备,并不断向计算机输入目标云方位和作业高度,运用本文方法计算火箭发射各种参数。00:45经过计算得知目标云进入火箭最佳作业范围,即指挥火箭点进行发射,发射仰角为 $50^\circ$ ,方位角 $220^\circ$ 。发射第一枚火箭时强回波中心高度4.9km,云顶高8km,而火箭播撒催化剂高度为3600~4600m。随后回波进一步发展,30分钟后强回波中心高度增至5.5km,云顶高达13km。此后又在01:25和01:30对目标云进行了作业,发射仰角分别为 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ ,方位角分别为 $160^\circ$ 、 $100^\circ$ ,播撒高度分别为3600~4600m,4500~5600m。第二、三枚火箭发射20分钟后,降水逐渐增大,云的水平尺度扩大,顶高下降至10km,强回波中心高度下降至3.3km。从对应雨量资料,可以看出降水相当集中,强度大,降水中心位于试验点下风方

20~30km,最大值62.8mm,而上风方最大值为16.6mm。对应雨滴谱资料,雨滴谱宽由0.6mm迅速增至3.0mm,最大达到5.0mm。雨滴直径峰值由0.4mm一个变为0.4mm以下和1.8mm两个。可见此次雷达指挥火箭对目标云进行的催化作业,影响了降水的时空分布,增加了目标区的降水效率,达到了人工增雨的目的。

#### 5 小结

人工影响天气作业工具的正确指挥和发射是保证科学催化以及科学检验效果的重要环节之一。天气雷达在南方对流云催化作业中可以及时准确有效的指挥火箭和高炮的作业。本文提供了一套简便而行之有效的确定火箭、高炮发射方位角和仰角的计算方法,根据此方法可实现计算机处理输出。并通过多年雷达观测统计分析,确定了选择作业云体和确定作业部位的雷达观测指标。

运用此方法在1997年7月18日的一次人工影响天气试验个例中进行实时计算和指挥,取得了比较理想的催化效果。

#### 参考文献

- 1 施文全等. 利用雷达指挥WR-1B型火箭进行防雹作业的方法. 气象, 1996; 22(7).
- 2 胡志晋. 数值模拟在外场作业设计中的应用. 云、降水物理和人工影响天气文集. 北京气象学院高级进修部, 气象科学研究院人工影响天气所, 1995.

## Radar Application in Determining Launch Parameters of Rockets or Anti-aircraft Guns for Seed Clouds

Wang Bin Yang Weijun Tang Renmao

(Meteorological Sciences Institute of Hubei Province, Wuhan 430074)

#### Abstract

The position to catalyze a cloud can be determined by observing its physical quantities such as radar echo intensity, distribution of water content and temperature. In the triangle consisted of a radar station, a launching-site and an object cloud, the launching azimuth can be worked out. According the height of the seeding position observed by radar and the ballistic parameters of rockets or anti-aircraft guns, the launching elevation can be determined too. Thus, eye observation blindness can be properly reduced in weather modification actions.

**Key Words:** radar command rockets anti-aircraft guns launching parameters