

# 利用雷达指挥 WR-1B 型火箭 进行防雹作业的方法

施文全 李 斌

(新疆人工影响天气办公室, 乌鲁木齐 830002)

胡寻伦

(新疆生产建设兵团人工影响天气办公室)

## 提 要

介绍了一种新型(WR-1B型)增雨防雹火箭的结构,催化作业过程以及其性能特点同现有的三七高炮比较所具有的优越性;同时阐述了用雷达指挥火箭进行防雹作业的技术方法和要求。

**关键词:** 火箭 防雹 催化作业

## 引 言

我国自70年代起,开始广泛采用三七高炮取代土炮、土火箭进行防雹作业。二十多年来,高炮防雹作业已在我国形成相当大的规模。但由于三七高炮射程近,播撒高度低,AgI成核率低等缺点,严重地影响了防雹作业效果的进一步提高。针对这一情况,国内一些厂家和有关研究部门合作,开始着手研究火箭防雹技术。航天工业总公司第4研究院41所经过5年努力,已在我国首先研制成功一种高效多用途增雨防雹火箭系统。该火箭于1994年通过技术鉴定,为我国人工影响天气提供了一种新的催化作业工具。

为了使该火箭及早投入增雨防雹业务使用,4院41所和新疆人工影响天气办公室、新疆生产建设兵团农业局于1995年8月在新疆石河子联合开展应用火箭进行外场作业的试验。经过近一个月的外场作业试验结果表明:火箭工作性能良好,作业宏观效果明

显。同时摸索出一套利用数字化雷达直接指挥火箭作业的技术方法。本文将在上述试验工作基础上,重点阐述利用数字化雷达指挥WR-1B型火箭进行防雹作业的技术方法。

## 1 WR-1B型增雨防雹火箭的主要结构和性能特点

### 1.1 火箭的结构和催化作业过程

WR-1B型增雨防雹火箭由火箭弹和发射架两部分组成。火箭弹由头部的降落伞回收装置、中部的催化剂焰炉和后部的发动机等部分组成;火箭发射架由多联导向轨、电路检测发火控制装置等部分组成。火箭弹长1440mm,直径82mm,全重8.5kg;火箭发射架有车载机动式和地面固定式两种。

火箭的催化作业过程如图1所示。由图1可见,火箭弹点火升空后,弹在云中飞行时连续施放催化剂,催化剂施放结束后,回收装置自动打开降落伞,火箭残骸最终以小于 $7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度落地。

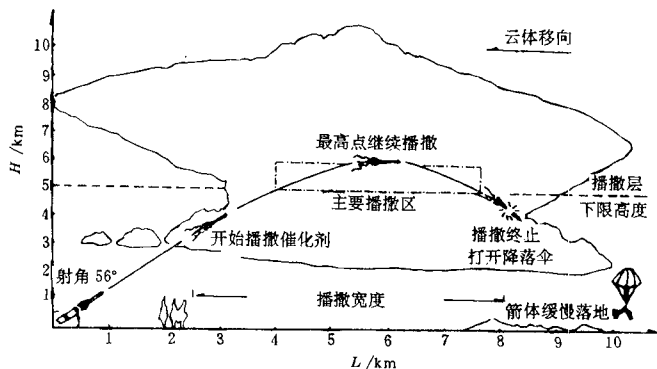


图1 火箭催化作业过程示意图

催化剂的播撒轨迹取决于火箭弹弹道，火箭弹弹道和发射仰角有关(图略)，发射仰角愈大，弹道陡度愈大，高度增高，水平距离变短。

### 1.2 火箭的性能特点

附表 WR-1B型增雨防雹火箭和83型三七高炮的主要性能指标比较<sup>[1]</sup>

项目名称	性能指标	
	WR-1B型火箭	83型三七高炮弹
最大射高(射角 85°)/km	8.0	5.1(引信 16 秒)
催化剂播撒长度/km	5.0(弧长)	<0.1(点源)
携带 AgI 重量/g	10	1
AgI 成核率(-10℃)/个·g <sup>-1</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>10</sup>
最大有效射程(仰角 56°, 距地 4km 以上播撒)/km	8.0	2.5(引信 16 秒)
单个作业点火力覆盖面积/km <sup>2</sup>	200	20
最大发射速率/发·min <sup>-1</sup>	8(8个导向轨)	180(双管)
最大播撒速率(按-10℃成核率计算的核数)/个·min <sup>-1</sup>	8×10 <sup>15</sup>	1.8×10 <sup>12</sup>

1.2.1 火箭射程远，火力覆盖面积大。在仰角 85 度时，火箭的最大射高为 8km，使用引信延时 16 秒的三七高炮弹的最大射高为 5.1km；在仰角 56 度时，弹道下落轨迹在 4km 以上高度的火箭最大有效射程(水平距离)达 8km，而使用引信延时 16 秒的三七高炮弹在 4km 高度上引爆的最大有效射程仅 2.5km；用上述最大有效射程计算的一个火箭发射点的火力覆盖面积为 200km<sup>2</sup>，而三七高炮仅 20km<sup>2</sup>，即一个火箭发射点的火力覆盖面积相当于 10 个三七高炮作业点的累计覆盖面积。

1.2.2 催化剂成核率高，核化速率快。WR-

附表给出了 WR-1B 型增雨防雹火箭和 83 型三七高炮弹的主要性能比较。由附表可见，和 83 型三七高炮弹相比，WR-1B 型火箭具有以下特点：

1B 型火箭选用北京理工大学和中国气科院合作研制的 BR-91-Y 型高效 AgI 焰剂，工艺性能良好，经中国气科院云室测定表明：在 -8—-10℃ 温度条件下，AgI 的成核率达到 10<sup>15</sup>g<sup>-1</sup>[2]，如果按一支火箭携带 10g AgI 计算，则在温度为 -10℃ 的条件下，可产生的冰核数目比一发 83 型三七高炮弹高 6 个量级(即 100 万倍)；另外，火箭焰剂核化速率快，经云室检测表明，焰剂产生的气溶胶微粒在入云室 5 分钟内，平均有 90% 的核已经活化，对于发展迅速的积状云的催化和防雹作业有较好的使用价值。

1.2.3 播撒速度快，影响路径长。WR-1B 型

火箭发射架有8个火箭导向轨,1分钟内可同时或连续发射8支火箭,即在-10℃条件下每分钟可播撒 $8 \times 10^{16}$ 个活化冰核,而使用双管三七高炮,每分钟最多只能播撒 $1.8 \times 10^{12}$ 个活化冰核,即火箭弹比三七高炮弹大4个量级。另外,一支火箭在4km以上高度可一边飞行,一边播撒AgI焰剂,播撒弧长可达5km,而一发三七高炮弹点源爆炸后,1分钟内只能形成宽度为0.1km的播撒区,即火箭播撒长度比三七高炮大50倍。

## 2 雷达指挥火箭进行防雷作业的技术设计

### 2.1 作业播撒高度和火箭发射仰角的确定

由于火箭推进剂只工作7—10秒钟,此后靠惯性向前飞行,火箭愈接近弹道最高点,飞行速度愈慢,这时播撒后催化剂的空间浓度也就愈大。也就是说,催化剂的分布主要集中在弹道的上半截。为此,定义弹道的最高点为作业播撒层上限高度 $H_u$ ,上限高度减去1km为作业播撒层下限高度 $H_l$ 。弹道最高点至火箭发射点的水平距离为有效作业距离 $L$ (或有效作业半径)。根据火箭弹道轨迹,按上述定义可分别计算每个发射仰角对应的作业播撒层高度 $H$ 和有效作业距离 $L$ ,并绘制成图2。

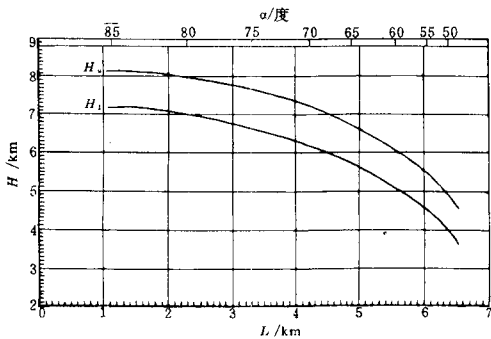


图2 火箭发射仰角 $\alpha$ 与作业播撒层高度 $H$ 及有效作业距离 $L$ 的对应关系

$H_u$  播撒层上限高度  $H_l$  播撒层下限高度

根据国内外经验,人工防雷引晶的下限高度一般取温度-6℃层高度<sup>[3]</sup>。但是,由于雹云类型和引晶防雷原理的不同。其播撒高

度也可取-3℃、-9℃甚至-12℃等不同下限高度。

温度-6℃层高度 $H_{(-6℃)}$ /m一般可用当地探空站资料获得。如果没有探空资料也可用早晨08时地面百叶箱温度 $t_{地}$ 按下列公式近似计算得出:

$$H_{(-6℃)} = \frac{t_{地} + 6}{0.6} \times 100$$

已知当天作业播撒层下限高度,由图2即可查得火箭当天的发射仰角。

### 2.2 作业部位的确定

作业部位由雷达站根据-6℃层高度(即播撒层下限高度)上的PPI图或通过PPI图强中心的RHI图来确定。

对新生单体或对称单体雹云的早期发展阶段,作业部位应选择在10—30dBz回波区中央部位。

对成熟的不对称单体雹云作业部位,应选择在强回波区前方30dBz回波廓线前部(PPI图),或悬挂回波区前下部的10—30dBz区域。

对多单体雹云作业部位应选择在新生单体的前沿部位,以及主体雹云前部的悬挂回波区(见图3)。

### 2.3 作业时间和发射方位角的确定

对固定火箭作业点来说,雷达确定的作业部位刚进入火箭有效作业距离(或作业半径)时,即可立即进行作业。

利用雷达站距离-方位图,根据雷达站给出的作业区坐标,即可换算出火箭作业点的发射方位角,或用计算机直接算出火箭发射点的方位角。

### 2.4 作业剂量的估算

催化作业用弹量 $M$ 可用下式估算:<sup>[4][5]</sup>

$$M = \frac{VQ}{GFE_n} \times 10^9 \text{ (单位:发)}$$

式中: $V$ 为播撒区体积( $\text{km}^3$ ),可用雷达探测估算; $Q$ 为播撒区含水量( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ),采用绝热含水量,可由地面气象资料或探空资料计

算得到;  $G$  为  $0^{\circ}\text{C}$  层高度上单个不成灾冰雹粒子的水质量, 一般为  $0.5\text{g}$ ;  $E$  为人工冰核形成雹胚的效率, 一般取  $10^{-4}$ ;  $F$  为催化剂成核率( $\text{个} \cdot \text{g}^{-1}$ ), 该火箭催化剂成核率经云室测定为  $10^{15}$  个  $\cdot \text{g}^{-1}$  ( $-10^{\circ}\text{C}$  温度条件, 下同), 但在实际云中播撒, 由于云内过饱和度的不均匀性, 其成核率至少要减少一个量级, 为此播撒量计算时取  $F=10^{14}\text{g}^{-1}$ ;  $n$  为一支

火箭的  $\text{AgI}$  含量( $\text{g}$ ), 由于火箭呈线状播撒, 以及弹道可能产生的偏移, 因此实际进入指定播撒区的催化剂只是其中的一小部分, 保守考虑设有效播撒率平均为  $0.2$ , 则一支火箭  $\text{AgI}$  的有效含量为  $2\text{g}$ 。

现有  $G=0.5\text{g}$ ,  $E=10^4$ ,  $F=10^{14}\text{g}^{-1}$ ,  $n=2\text{g}$  代入上式得:  $M=0.1VQ$

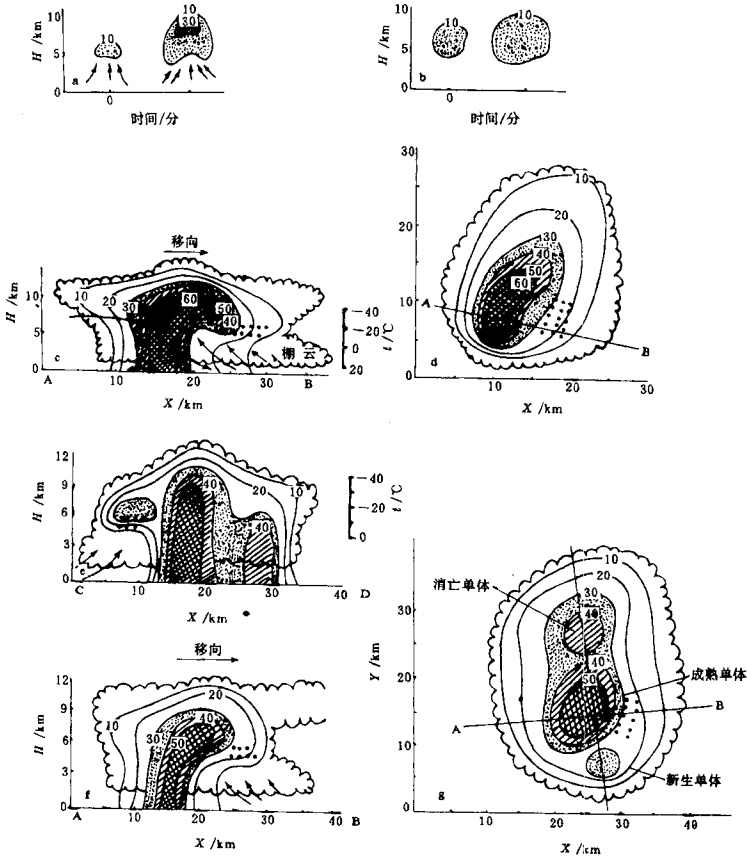


图3 各类雹云作业部位示意图

- (a) 新生单体或对称单体雹云早期发展阶段垂直剖面
- (b) 新生单体或对称单体雹云早期发展阶段在  $5\text{km}$  高度上的水平剖面
- (c) 成熟的不对称单体雹云通过(d)图中  $AB$  线上的垂直剖面
- (d) 成熟的不对称单体雹云在  $5.5\text{km}$  高度上的水平剖面
- (e) 多单体雹云通过(g)图中  $CD$  线上的垂直剖面
- (f) 多单体雹云通过(g)图中  $AB$  线上的垂直剖面
- (g) 多单体雹云在  $5.5\text{km}$  高度上的水平剖面

由上式可见,火箭的发射数量只取决于播撒区体积 $V$ 和播撒区内的含水量 $Q$ 。对于一块中等尺度的对流单体来说,假设播撒区体积为 $10\text{km}^3$ ,含水量为 $6\text{--}8\text{g}$ ,则只需发射 $6\text{--}8$ 支火箭。

## 2.5 作业效果的判别

火箭播撒作业后,雷达应继续对作业目标云进行追踪观测和取样(存储观测资料),特别应注意作业播撒层以上的回波强度,强回波顶高,较强回波区面积以及回波增长速率等能较好反映作业效果的雷达参数随时间的演变。当出现回波强度减弱,强回波顶高下降,较强回波区面积缩小,或提前出现降水,均可判别为作业有效。反之,则可判别作业效果不明显,或者说降雹危险性依然存在,这时需指挥下一个火箭发射点继续催化作业。直至作业云体减弱,降雹危险性解除,或者在主单体前部(或右侧)不再出现具有降雹危险性的新生单体,才能停止作业。

## 2.6 雷达-火箭防雹作业布局的几点要求

为了发挥雷达-火箭防雹作业系统的总体效益,对雷达-火箭的防雹作业布局有以下几点要求:

2.6.1 雷达尽量选用 $5\text{cm}$ 或 $3\text{cm}$ 波长的数字化雷达,或具有双线偏振等多功能雷达;DVIP设计应尽量减小近处( $60\text{km}$ 以内)弱回波的损失。

2.6.2 雷达站尽量设置在防雹作业区下游或右侧,火箭发射点与雷达站的距离最远不

应超过 $60\text{km}$ 。

2.6.3 火箭发射点布设应根据雹云的移动和演变规律,尽量选择在雹云初生或发展路径上,以便实施早期催化作业。

2.6.4 在火箭防雹的开始阶段,火箭、高炮可同时并用,交叉布点,使长短火力互为补充。

## 3 小结

WR-1B型防雹增雨火箭,从其结构和催化作业过程来看,是适合人工防雹作业需要的,从其性能特点来看,无论从射高,有效作业半径,AgI成核率等方面均优于三七高炮弹,比较符合人工防雹的作业技术要求。

用火箭进行防雹作业必须要有比较先进的计算机数字化雷达作配合,以提高雹云识别作业指挥的准确性,减少作业的盲目性,同时可收集大量的雷达资料评估作业效果。

雷达-火箭防雹作业布局要合理,雷达观测指挥人员业务素质要高,防区内的通讯要畅通,这样才能更好地发挥雷达-火箭防雹作业系统的总体效益。

## 参考文献

- 1 施文全. WR-1B型增雨防雹火箭性能介绍. 新疆气象, 1994, 17(5): 54—56.
- 2 丰大雄等. 高效碘化银焰火剂及其成冰性能的研究. 气象学报, 1995, 53(1): 82—90.
- 3 施文全. 五类雹云的作业方案设计. 新疆气象, 1990, 13(7): 37—39.
- 4 章澄昌. 人工影响天气概论. 北京: 气象出版社, 1992: 280—281.
- 5 人工防雹指导手册.

## Technique Research on Hail Suppression by Rocket WR-1B Conducted by Radar

Shi Wenquan Li Bin

(Weather Modification Office of Xinjiang, Urumqi 830002)

### Abstract

A new rocket WR-1B of anti-hail and artificial precipitation has been described with its structure, working and seeding process and superior feature and property to the gun "37". Meanwhile, the technique and requirement for hail suppression by this rocket conducted by a radar has been expounded.

**Key Words:** rocket hail suppression seeding