

文章编号: 1006-4354 (2005) 04-0027-03

WR-1B 型火箭在人工防雹中的应用

李秀琳, 贾金海, 白作金
(渭南市气象局, 陕西渭南 714000)

摘 要: 针对近年来在渭南市境内, 依靠“711”雷达实施指挥, 运用地面人工增雨防雹所使用的新一代 WR-1B 型火箭系统, 开展防雹作业的实践, 通过认真分析, 归纳总结出 WR-1B 型火箭系统防雹要实现科学、有效、安全的 5 项技术要点, 简要给出了针对不同雹云实施火箭作业的时机、部位和剂量。2004-07-10 火箭防雹作业 9 min 后, 雷达回波强度减弱 10.6 dBz, 回波顶高降低 2.0 km, 效果明显。

关键词: WR-1B 型火箭; 防雹; 技术; 应用

中图分类号: P482 **文献标识码:** A

WR-1B 型增雨防雹火箭作业系统是我国新一代人工影响天气的地面作业系统, 是预防冰雹、实施人工增雨, 开发利用气候资源、减少自然灾害、保证农业发展的有力工具。WR-1B 型火箭具有成核率高、核化速度快、催化强度高、覆盖面积大等特点, 整个作业系统科技含量高, 整体性能明显优于“37”高炮。根据 WR-1B 型火箭的特性和防雹作业实践, 分析总结火箭防雹作业技术要点, 对于提高人工防雹科学化作业水平, 提高作业效益是非常需要的。

1 WR-1B 型火箭的特性

1.1 催化剂成核率高

WR-1B 型火箭弹 AgI 含量为 10 g, 而“37”高炮炮弹 AgI 含量为 1 g。由于 WR-1B 型火箭弹属于焰剂燃烧法, 采用的是高性能的 BR-91-Y 催化剂, -10°C 时的成核率可达 $1.8\times 10^{15}\text{ g}^{-1}$ 。而“37”高炮炮弹属于爆炸法, -10°C 时成核率为 $2\times 10^9\sim 2\times 10^{13}\text{ g}^{-1}$ 。在相同温度下, WR-1B 型火箭弹明显比“37”高炮炮弹的成核率高; -10°C 时, 1 枚火箭弹的成核数量比 1 发炮弹高 3~6 个数量级。

1.2 火力覆盖面积大

WR-1B 型火箭弹撒播面积大, 催化速度快,

作业路径长, 作业高度高, 采用焰剂燃烧播撒扩散方式, 具有较大的催化作业覆盖面积。比“37”高炮炮弹以“点”爆炸方式向外播撒人工冰核有明显优势。

1.3 具有良好的机动性

WR-1B 型火箭在机动性方面明显优于“37”高炮, 对较大保护范围可提供迅速灵活的布防性作业; 可在短时间内连续作业, 有利于抓住作业时机, 对强冰雹天气的防御更为有效。

1.4 高安全可靠

火箭弹不含爆炸物品, 工作过程中不产生碎片; 火箭上的保险装置保证火箭弹在运输、贮存中的安全; 采用降落伞式安全着陆系统; 火箭残骸对环境不产生污染。

1.5 使用维护简便

系统结构紧凑, 操作方便, 其发控系统具有检测、单发、连发功能, 不需要很多的人力和辅助维护设备, 易操作易维护。

2 防雹作业技术要点

2.1 目标云的确定

根据雷达回波确定目标云, 人工防雹作业的目标云主要有单体雹云、多单体雹云和超级单体雹云 3 类^[1]。对不同的目标云应采取不同的作业

方式。对于单体雹云，作业要迅速及时，注意监视新生成的单体，提前作业；对于多单体雹云，要采取多点联防、连线跟踪、提前作业的方式；强单体雹云，具有生命力强、破坏力大的特点，一般难以防御，要早期识别，只有采取集中火力强烈轰击，才有可能促使其提前降落，使其不再增长并保护下风方免受冰雹袭击。

2.2 选择发射场地

根据雷达回波资料，将作业点选取在云体移动前方路径上。为确保作业区的安全作业点选取须注意：火箭发射方向前方 7 km 内是非人口稠密区，且无高大、重要建筑物；以发射架中心为基准，应将发射架前方 180°内半径 100 m 的扇形区和后方 120°内半径 50 m 的扇形区内列为禁区，发射前禁区内禁止人员和牲畜流动，发射控制器应置于 25 m 外的安全区（靠上风方向）^[2]。

2.3 作业时机与作业部位

2.3.1 选定“跃增”阶段作为作业时段 当初始雷达回波顶高在 5 min 内明显上升 1~2 km 以上，表明云体处于从雷雨云向冰雹云发展的跃增阶段，也即初始回波（冰雹云初始回波形成于 0℃层以上）出现到冰雹未形成这段时间应选择为作业开始时间。一般强回波增长速度比弱回波更快，观测到异常增长离降雹约 7.0~10.0 min。在单体初生时或在雹云形成前的雷雨云阶段提前作业，也可在防护区的上风方，在保护区上游提前作业，不但效果好，还可以节约催化剂。

2.3.2 作业部位 作业部位应在云中强上升气流区自然雹胚形成的位置，决定于冰雹云的类型和发展阶段。区域应根据雷达实时监测结果确定，可用雹云发展阶段的强回波中心的位置指示上升气流极值区。强回波中心位于云体的中上部，火箭的催化段尽可能横跨强回波中心或上升气流极值区。在无雷达指挥作业时，根据冰雹云的外观和作业经验，对于强雹云，地面刮大风后，应立即向云的来向正面作业，1~3 min 内将火箭弹射入云中乌黑处或上下翻滚激烈处（上升气流区）。

2.4 用弹量的确定

1 枚火箭弹可影响云体面积的理论计算公

式^[3]为： $S=z/(k \cdot h)$

其中 z 为 1 枚火箭弹成核总数， k 为单位体积增加人工冰核数， h 为催化云层厚度。 z 取 $10 \times 1.8 \times 10^{15}$ ， k 取 50 L^{-1} ($5 \times 10^{13} \text{ km}^{-3}$)， h 取 3 km，可计算出 $S=120 \text{ km}^2$ 。

1 枚火箭弹可使长宽约为 11 km、高为 3 km 的云体 1 L 增加 50 个人工冰核。考虑到撒播层结不够高，人工冰核扩散速度不够快，部分人工冰核逃逸等因素，1 次作业以发射 2 枚火箭弹为宜，且 2 枚火箭应射击云体不同部位。若云体较大，则应分时、分批、分部位作业。若认为核浓度不足，应短时间内增加发射火箭弹数，而不是调节点火延时和运行路径。

2.5 确定发射角

当发射角 85°时，火箭飞行高度可达 8 km，但是火箭在云中飞行的水平距离短。中云高度为 2.5~5 km，低云高度在 2.5 km 以下，取 45~65°发射仰角为宜，这样火箭在云中飞行的水平距离将大大增加。作业时，要根据雹云的强回波中心高度和离开火箭点的距离确定发射角。由于强对流云发展旺盛，垂直高度高，经过实践，55~65°之间的发射仰角在火箭防雹作业中比较常用。

由于 WR-1B 型火箭系无控火箭，其飞行弹道受风的影响较大，作业时必须考虑云体移动和风速风向的影响，在有风的情况下，火箭主动段（发动机工作时段）终点的位置和速度的大小及方向偏离理论值，应通过调整发射角和发射方位来修正风对火箭主动段速度和方向的影响，修正时要查算偏角修正表（见图 1）。

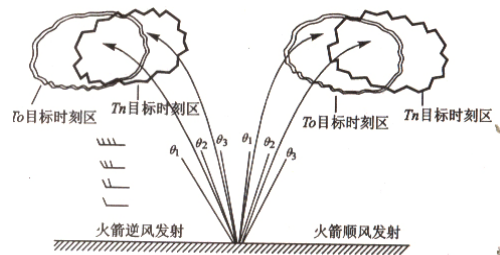


图 1 火箭发射示意图

火箭发射弹道在地面近似于直线，渭南市人

工影响天气办公室经过 5 a 的实践统计得出: 在静风时, 理论值应采用发射仰角为 θ_1 , 由于火箭在空中的飞行轨道是弯曲的, 加之云体不断在移动, 实际应取 θ_2 射角作业。在雷达监测强回波高度 5.5~6 km 的情况下, 作业时火箭发射角要根据火箭与云体的相对距离而定, 在 5~6 km 距离位置处, 发射角 θ_2 通常选择 58° 为宜。

当雹云主体向作业点移来, 火箭逆风发射, 由于高空风的影响, 风向使火箭“低头”, 发射仰角应偏高, 如图 1 中左部分所示, 在高空风速 6~8 m/s 的情况下, 发射角要订正 2.8~3.7°, 即实际发射角 θ_3 选择 60~64° 为宜, 当云体向火箭移动距离较近时, 射角也要由低到高适度调整, 但不能高于 85°。

当雹云主体从作业点移过, 即火箭顺风发射, 如图 1 右部分所示, 风向使火箭“抬头”, 加之火箭到高空后会随风产生漂移, 发射仰角应偏低, 采用 $\theta_2 \sim \theta_3$ 射角, $\theta_2 \sim \theta_3 = 3.5 \sim 4.6^\circ$, 经过修正 θ_3 一般不低于 55°。

雹云主体从侧面移过作业点, 风垂直于火箭发射面吹, 即横风影响火箭的方位角时, 在主动段火箭偏向来风方向飞行, 而到被动段(发动机停止工作后)火箭会随风有一定漂移, 所以发射时应综合考虑方位角的调整。如果横风影响主动段偏大, 则发射方位应偏向顺风方向调整; 如果横风影响被动段偏大, 则发射方位应偏向来风方向调整; 当主动段和被动段所受风力大致相当, 其方位调整可相互抵消。

3 外场作业应用实例

2004-07-10-16: 36, 渭南北部出现了强对流天气, 雷达观测本次对流云体强度大、高度高、移动较快。16: 48 强对流云体移入蒲城东北与澄城西南接壤的洛河一带, 回波中心强度已达 55.9 dBz, 顶高达 10.6 m, 45 dBz 顶高 8.1 km, 为发展旺盛的单体雹云特征。位于云体的西南方向有一火箭作业点, 现场观测: 雹云主体由东北一东南方向发展, 云顶高耸突起, 云底黑中带黄有明显的悬球状结构, 天气乌黑, 地面凉气逼人, 有

窒息之感。空域批准后, 指挥中心迅速下达作业指令, 此时云中已电闪雷鸣, 作业人员立刻准备作业。16: 49 火箭车调整方位、仰角及其弹道坐标, 根据强回波中心高度和离开火箭点的距离, 加之云体位移快, 使横风略有侧逆, 采用仰角略偏高为 62°。由于横风在主动段引起的方位偏大, 火箭偏向来风方向飞行, 根据 WR-1B 型火箭偏角修正表, 发射时向顺风方向调整方位角 15° 左右。16: 50 火箭进行作业, 准确将 3 枚火箭弹按云体不同方位射入雹云生长区。16: 57 强回波中心减弱到 45.3 dBz, 回波顶高 8.6 km, 45 dBz 顶高 6.6 km。9 min 内回波强度减弱 10.6 dBz, 回波顶高降低 2.0 km, 作业后地面没有出现降雹。此次过程历时 40~50 min, 移动路程 20~25 km, 强对流云体移过地出现了大风、大雨, 降水量达 0.3~90 mm, 其中澄城罗家洼炮点雨量达 90 mm。

4 小结

4.1 通过雷达回波确定目标云, 根据不同类型的雹云, 设计火箭最佳作业方案。

4.2 在 RHI 上, 从雷雨云向冰雹云发展的回波“跃增”阶段, 为最佳作业时机。作业部位在云体的中上部, 横跨强回波中心或上升气流极值区。

4.3 1 次作业应取不同方位发射 2 枚火箭弹为宜。若云体较大, 则应分时、分批、分部位作业。

4.4 WR-1B 型火箭防雹最佳发射仰角在 55~65° 之间, 考虑到云体移动和风速风向的影响, 火箭顺风发射时应降低仰角, 逆风发射时应抬高仰角。当横风影响主动段时, 修正方向应与风向一致; 横风影响被动段时, 修正方向应与来风方向一致; 如两个阶段所受风力相当, 不用修正方位。

参考文献:

[1] 中国气象局科技发展司. 人工影响天气岗位培训教材 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.

[2] 陈光学, 王铮. 人工影响天气作业方法及设备 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 2002.

[3] 蔡定军, 洪霞. 江西省 BL-1 型火箭增雨作业技术方法研究 [J]. 江西气象科技, 2004, (2): 35-38.