

文章编号:1673-8411 (2014) 03-0082-04

火箭防雹技术探讨及研究

陈安世¹, 唐 新², 吕抒航²

(1.巴马县气象局广西巴马 547500; 2.都安县气象局广西都安 530700)

摘 要:通过对火箭催化剂性能和撒播特点的分析、确定催化剂播撒最佳温度层和高度的方法、火箭防雹作业部位和火箭发射时的角度,提出火箭防雹作业用弹量的近似计算方法,尽可能地避免或减少损失,科学、高效地完成防雹减灾作业。
关键词:火箭防雹;播撒最佳温度及高度;作业部位及角度;用弹量
中图分类号:P48 **文献标识码:**A

Discussion and research on rocket hail suppression technique

Chen An-shi¹ Tang Xin² Lv Shu-hang²

(1. Bama County Meteorological Service, Bama Guangxi 547500;
2. Duan County Meteorological Service, Duan Guangxi 530700)

Abstract: Based on the analysis of the characteristics of the rocket catalyst performance and seeding, method to determine the best temperature layer and the height for sowing catalyst and operation position and angle for rocket hail suppression were found out to propose approximate calculation method for calculating the number using bombs, in order to avoid or reduce the loss as much as possible, and scientifically and efficiently to complete the hail disaster reduction work.
Keywords: rocket hail suppression; the best temperature and height for sowing; operation position and angle; the number of using bombs

1 引言

冰雹灾害是由强对流天气系统引起的一种剧烈的气象灾害,是春夏或夏秋之交最为常见的自然灾害天气之一,它出现的范围虽然较小,时间也比较短促,但来势猛和强度大,并常常伴随着狂风、强降水、急剧降温等阵发性灾害性天气过程。广西是我国冰雹灾害频繁发生的地区之一,冰雹每年都给农业、建筑、通讯、电力、交通以及人民生命财产带来严重损失,尤其是对农业生产危害巨大。猛烈的冰雹能打毁庄稼,损坏房屋,人被砸伤、牲畜被砸死的情况也常常发生;特大的冰雹甚至能致人死亡、毁坏大片农田和树木、摧毁建筑物和车辆等,具有强大的杀伤力^[1]。我国各地每年均会受到不同程度的雹灾,造成巨大

的经济损失及威胁着人畜生命安全。因此,高效、先进的防雹技术已成为当今提高人影事业及防灾减灾水平的重要指标之一。近年来随着我国人影事业的发展,火箭以射程远、播撒高度高、催化成核率高、核化速度快、播撒路径长等特点迅速在全国得到发展,规模不断扩大,成果显著,但火箭对不同类型云防雹作业时的仰角、方位角及用弹量的确定,是一个值得商榷的重要问题^[2]。火箭作业只有在科学选择作业时机、确定合适的部位及适宜的用弹量才能发挥其高效作用^[3]。文中主要通过火箭催化剂性能和撒播特点的分析、确定催化剂播撒最佳温度层和高度的方法、火箭防雹作业部位和火箭发射时的角度分析等相关技术进行探讨,并提出火箭防雹作业用弹量的近似计算方法,以尽可能地避免或减少损失,科

收稿日期:2014-03-16
作者简介:陈安世,(1974-),男,广西东兰县人,助理工程师,主要从事基层气象管理工作。

学、高效地完成防雹减灾作业^[4]。

2 火箭的催化剂性能和撒播特点

2.1 火箭的催化剂性能

催化剂是为改变云或雾的微结构和演变过程而往云或雾中播撒的物质,达到人工降水、防雹、消云、消雾、削弱台风和抑制雷电等目的,它们的作用是在过冷云中制造冰晶以诱发贝吉龙过程,或在暖云中制造大云滴以诱发碰并增长。现阶段,人工影响天气防雹作业主要是对冷云实施催化作业,使用的催化剂为碘化银(AgI)。碘化银催化剂在爆炸或燃烧时产生大量的人工冰核气溶胶,增加云中的凝结核数量,促使云中水汽凝结冻结的冰水转化过程,再借助水滴的自然碰并等过程,达到消雹或增雨的效果。碘化银核化的有效冰核数量与环境温度有关,随着环境温度的降低而活性增加,核化率增大,碘化银在 -4°C 以上成核率很低。外场作业试验表明,当云顶温度高于 -10.0°C 或低于 -24.0°C 时,催化播撒无效;云顶温度处于 $-10.0^{\circ}\text{C}\sim-24.0^{\circ}\text{C}$ 时,播云都有效,峰值区位于 $-20.0\sim-15.0^{\circ}\text{C}$,因此把此温度范围称为播云温度窗,作为播云的重要条件之一。一般说来,最好选择云顶温度在 $-20.0\sim-15.0^{\circ}\text{C}$ 的云进行作业,以提高作业的效率。

2.2 火箭作业撒播特点

火箭采用焰剂燃烧播撒扩散方式,作业路径长,作业高度高,火箭点火升空,经过一个设定的延迟时间,延时点火机构点燃催化剂,火箭携带的含高成核率催化剂采用燃烧播撒方式对云层释放含晶粒烟雾,并向周边迅速扩散,使之在 $3000\sim7000\text{m}$ 的云层中以线播方式形成一条弧形催化带,影响云微物理结构变化,达到增加降水或减弱消除冰雹灾害的目的。催化剂播撒结束时,在设定的开伞时间开伞机构工作,降落伞被拉出张开,并携带火箭残骸以安全的速度着陆它的播撒起始点。作业时根据实况调整发射架的射角,随着射角的提高,起始播撒点和播撒最高点间的垂直高度差相应增加,起始播撒点和播撒终点之间的水平距离相应减少,不同发射仰角对应的播撒轨迹的起点、最高点、终点及自毁点距发射点的水平距离和高度不同。一般情况下,对于云高 $<5\text{km}$ 或水平尺度在 10km 以下的云体,应根据云高和云体水平尺度选择合适射角,避免部分催化剂逸出云体,导致在云外无效播撒^[5]。

3 火箭防雹作业技术要求

3.1 作业地点的选择

火箭属于火工品,火箭发射如不成功,可能对人民群众的生命财产造成不安全因素,因此为确保人工影响天气作业安全,应按照中国气象局规定在安全射界内作业。火箭安全射界应符合以下条件:(1)方向器前方 10km 内,前方水平视角 30° ,最好是非人口稠密区,无重要建筑物;(2)选好作业点后,方向器前方 100m 和后方 50m 内为禁区,距离 1km 范围内应无油库、城镇、村庄、学校和工矿企业等人口密集区和重要设施,安全通道示意图要标注火箭最大射程范围内城镇、工矿企业、村庄等地标,确定火箭安全射击的方位角和仰角范围。

3.2 催化剂播撒最佳温度层和高度的确定

根据实践,发现高空 0°C 层的高度云顶温度、冷云厚度与暖云厚度之比、回波顶高、回波强度、回波动向等与降雹有密切的关系。中国气象科学研究所的二维积云时变模式计算结果表明,对流云消雹最佳催化部位在云中上升气流最大值附近,回波中心部位效果较好,作业高度在云体温度 -10.0°C 所在高度,并结合火箭性能特点^[6],火箭入云播撒点和催化剂播撒路线要使催化剂能在云中充分活化,提高成核率。因此,要使催化剂能达到有效作业部位,必须确定好火箭作业的温度层和作业高度。根据实践作业经验,确定催化剂播撒最佳温度层和高度的方法主要有以下几种:

(1)根据卫星云图反演产品判断。

根据卫星反演的云参数可查出云顶的高度、云顶温度及过冷层的厚度,依此判断云是否可作业,如果云顶温度处于 $-10.0^{\circ}\text{C}\sim-24.0^{\circ}\text{C}$,且过冷层厚度 $>1.5\text{km}$,可进行作业,否则,不适宜作业。利用卫星云图反演产品估测云高的方法的局限性是时空分辨率和精确度较低。

(2)用多普勒雷达回波顶高(ET)产品,结合探空资料反算出云顶温度。

根据探空资料确定特定温度层高度,结合多普勒雷达回波顶高(ET)产品进行判定。可直接使用探空资料,也可进行区域高度插值后确定当地 -4.0 和 -10.0°C 温度层的高度。用多普勒雷达回波顶高(ET)产品,结合探空资料反算出云顶温度较上述方法有更精确、可靠的优势,如果作业地点距高空探测站点较近(直线距离 150km 以内),且作业时刻离探

测时次较接近时,建议使用此种判定方法。表 1 为利用距巴马县水平距离最近的百色市 2010~2013 年高空探测资料统计的 0℃、-4℃和-10℃层各月份所在平均高度,这个平均高度具有很重要的参考意义。

在实际工作中,确认可以进行作业后,要确定-

表 1 广西巴马县 0℃、-4℃和-10℃层各月份所在平均高度表(单位:m)

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
0℃	2920	3360	3455	4450	5050	5290	5355	5400	5310	4990	4250	3580
-4℃	5235	5680	5695	5730	5750	5775	5810	5855	5800	5710	5585	5320
-10℃	6640	6685	6800	7010	7025	7023	7035	7050	7045	7005	6885	6775

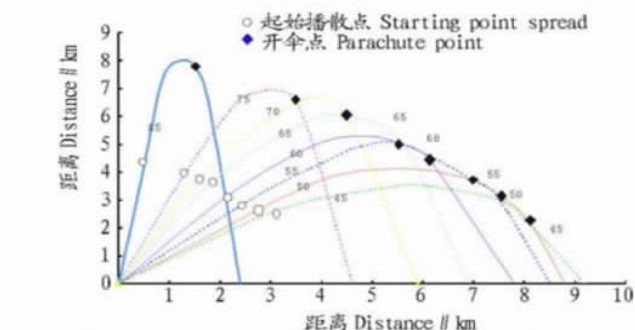
3.3 火箭发射方位角和仰角的确定

3.3.1 方位角的确定

根据播云方向的数值试验表明:逆风播撒其有效面积、有效时段均最小,顺风不利于提高消雹效率,垂直与 45°交角播云方案产生的效果相当。由此而得,播云线与风向垂直并不是惟一选择,对于系统性层状云,可将作业站点有效射程内的高空风向与雷达站相应的高空探空风向近似于同向,设其与雷达之间交角为 θ , 则火箭发射的方位角为: $\theta \pm (45^\circ \sim 90^\circ)$ 。

3.3.2 仰角的确定

对于火箭,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作业点的海拔高度差,将雷达所测的云体作业部位高度换算到云体相对作业点的高度,结合火箭弹轨迹(如图 1)即可查得火箭发射仰角,并结合 AgI 在-10.0℃层催化速度快核化率高等特点,综合考虑雹云上升气流特点,作业高度选择在-15.0~-6.0℃,在云的较低高度播撒,催化剂可随着上升气流的上移逐渐核化^[7]。



注:图中数字 85、75、70、65、60、55、50、45 表示发射角(°)。
Note: 85、75、70、65、60、55、50、45 represent launch angles(°).

图 1 WR-1B 型火箭弹道曲线图

4.0 和-10.0℃层的高度,根据火箭作业系统高度与射角的关系查出所需要的射角,严格按照所需的射角进行作业,以确保火箭弹播撒起点在预定的温度层的高度,提高作业效益。

3.4 作业催化剂量的确定

对雹云进行催化,要求人工撒播冰核数浓度大于 104~105 个/m³ 个,这些大量的人工冰晶及其形成的霰等冰相粒子通过贝吉龙过程和淞附过程与自然凝结核争食云体内过冷云水,从而减弱冰雹个体的成长。若对面积为 100km² 的孤立积云作业,则所需火箭用弹量 M 为: $M = \frac{10^5 \times V_e \times 10^9}{(1.8 \times 10^{15} \times 10) \div 10} = 0.0556 V_e$, 式中

10⁵ 是要求人工撒播冰核数浓度为 10⁵/m³ 个, $V_e \times 10^9$ 是对作业雹云的体积(m³), $1.8 \times 10^{15} \times 10$ 是按一发火箭弹 10gAgI 的成核率计算,考虑 AgI 在大气中光解等实际情况,成核率比理论成核率缩小一个数量级。如果对尺度为 100km³ (Ve)雹云单体作业时,火箭每次可对强中心部位下方,发射火箭弹 5~6 枚。新型火箭 AgI 含量为 36g,AgI 含量多,相对其他炮弹和火箭弹,将有利于防雹作业的过量撒播^[8]。

4 结语

目前,虽然在人工消雹的物理机制上已经达到许多共识,但每一次天气过程都是千变万化的,对防雹作业时机等技术要求较高,因此要熟悉火箭对防雹作业技术要求和火箭系统作业特点,作业前根据雷达数据准确判断雹云高度,科学合理地计算出作业用弹量,使催化剂到达一定温度的高度层和云的关键部位,才会产生较好的消雹防雹效果,从而更好地防治冰雹灾害,以尽可能地减少经济损失。

参考文献:

- [1] 李艳伟,牛生杰,罗宁,等.积云并合扩展层化型积层混合云的数值模拟分析[J].地球物理学报,2009,(5).

(下转第 99 页)

.....

(上接第 84 页)

- [2] 杨洁帆, 雷恒池. AgI 焰剂对层状云催化的数值模拟研究 [J]. 气候与环境研究, 2010, (6): 34-37.
- [3] 罗伟, 黄中雄. 南宁市蔗糖行业人工增雨服务效益调查评估 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (2): 43-46.
- [4] 廖铭燕, 黄远盼, 廖铭超. 贺州市一次降雹天气成因分析 [J]. 气象研究与应用. 2011, 32 (S1): 43-46.
- [5] 洪延超, 雷恒池. 云降水物理和人工影响天气研究进展和思考 [J]. 气候环境研究, 2012, (6): 46-48.
- [6] 王义耕, 韦卓运, 黄文高, 等. 2006~2010 年广西雷电灾害特征 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (4): 77-79.
- [7] 刘国忠, 农孟松. 桂西北强冰雹灾害的雷达回波特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (S1): 6-7.
- [8] 宋建予. 豫西山区一次典型防雹作业方案设计及效果评价 [J]. 气象与环境科学, 2012, (3): 52-54.