

防雹作业用弹量的计算

王雨增 刘新元

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

利用各地冰雹资料以及冰雹从 0°C 层等温线到地面的降落过程中的融化情况,并参考各地防雹作业的实际用弹量,提出雹源含水量的近似计算方法。推导出每个炮点一次防雹作业用弹量的计算公式。

关键词: 防雹 用弹量 雹源含水量

引 言

近几年来,我国各地大量使用三七高炮进行防雹试验(一般每个弹头含有 1g AgI ,也有的含 $4\text{--}6\text{g AgI}$,其成核率基本相同)。每次防雹作业究竟需用多少炮弹,达到既能抑制雹云,又能节约炮弹的目的,是当前防雹作业中值得注重的课题。本文从雹源体积,催化剂成核率及雹云的强弱,雹源含水量的多少探讨三七炮弹在早期作业中的合理使用数量。

1 雹源体积确定

1.1 由雷达和探空资料推算雹源体积

当雹源强中心距炮位 10km 时,雷达对准强中心依次进行等分贝衰减(5 或 10dBz)。当云顶高度不再下降或下降很小时,即确定为雹源顶高,减去当天探空(最好是雹云临近前的探空或中午探空资料)得到的 -5°C 层高度,即是雹源体积高度 h ,从屏幕上读出雹源平均半径 R ,采用圆锥体积公式求算出雹源体积。

1.2 实际工作中采用的方法

当雷达回波强度达到 30dBz 时,读出 $5\text{--}7\text{km}$ 高度的回波宽度作为雹源直径,强回波顶高减去 -5°C 层高度得到雹源体高 h ,用圆锥体积公式求取雹源体积。另一种方法是当雹云雷达回波中心顶高达到本地区识别雹云指标时,用高显读取强中心顶高和回波平均宽度,然后用上述方法求算雹源体积。

2 AgI 的成核率

目前我国防雹作业使用的三七高炮炮弹,其 AgI 成核率在 -16°C 时,一般为 1.05×10^{13} 个 $\cdot\text{g}^{-1}$ 。若弹体在 0°C 层附近爆炸,一部份 AgI 粒子可能未进入冰雹生长区,一部份也可能在冰雹生长区内来不及冰晶化就被气流带走,因此,进入云中冰雹生长区的 AgI 粒子剩余数目很可能是极少的。假定 AgI 粒子的成核率为万分之一,既爆炸后在 -5°C — -20°C 层中, 1 万个 AgI 粒子中可能只有一个可以和过冷大水滴碰并冻结成冰雹胚胎,即人工雹胚形成概率 $C = 0.01\%$,则在 -16°C 时的有效成核率为 $r = 1.05 \times 10^{13} \times 0.01\% = 1.05 \times 10^9$ 个 $\cdot\text{g}^{-1}$ 。

3 雹源含水量的近似计算

目前我国使用探测仪器直接测定云中雹源的含水量还有很大困难,因此采用近似的方法即根据载水湿绝热上升气流模式估算含水量。

3.1 雹云云体庞大,可把云中心部位看成绝热过程,把绝热含水量作为雹云中心部位含水量的近似值,并假定该值短时间内不变。这个近似值可能比实际的雹云含水量要低些,因为云中有水份累积,但由于没有考虑卷积和混合作用,计算的含水量比没有水份累积的积雨云可能要高。

3.2 当雹云过境时,释放入云探空球,测得云底高度和云底温度。根据这两个参数计算

(或查表)云底和-20℃的比湿 q_0 和 q_{-20} ,求得 $q_0 - q_{-20}$,再根据对应高度上的空气密度换算成含水量 Q ,即 $Q = (q_0 - q_{-20})\rho$ (单位: $g \cdot m^{-3}$),做为雹源含水量的近似值。

3.3 若不释放入云探空球,可由当天13时或07时(北京时间)的探空资料查出对流凝结高度,把它做为云底高度,从埃玛图上查出相应的 q_0 和 q_{-20} ,再按上述方法计算含水量 Q 。

4 用弹量计算

三七高炮防雹是基于“争食”理论。人工冰雹胚胎数目到多少,才能与自然雹胚争食云中含水量,使冰雹落地不致造成灾害?根据测雹板获得的落地冰雹数推测,云中自然雹胚数一般为 $n_0 \leq 10^0$ 个 $\cdot m^{-3}$ 。

4.1 在云中的含水量积累区撒入大量的人工胚胎,与自然胚胎竞争,使云中含水量分散在大量的冰雹胚胎上,每一个胚胎都得不到充分的水份,大家都长不大,落地不能对农作物造成危害。

假定云中含水量在短时间内不变,云中上升气流分布也不变,则有:

$$\bar{R}_i = \bar{R}_e (N_e / N_i)^{1/3}$$

式中, \bar{R}_i 为人工播撒胚胎后冰雹平均立方半

径; \bar{R}_e 是自然条件下生长的冰雹平均立方半径; N_e 为自然条件下冰雹胚胎浓度(个 $\cdot m^{-3}$); N_i 是人工增加的冰雹胚胎浓度(个 $\cdot m^{-3}$)。

如果自然胚胎浓度 N_e 为1个 $\cdot m^{-3}$, N_i 为100个 $\cdot m^{-3}$,也就是冰雹胚胎数目增加100倍,则冰雹均立方半径可减少到1/4.5。如果原来落地冰雹直径为1cm(对农作物有损害),经过人工催化作业后,云中冰雹胚胎数目增加100倍,则落出0℃层的冰雹直径将减小为0.22cm,落地后更小甚至完全融化,对农作物的损害将减小。

按以上设想,每立方米体积中投入100个人工冰雹胚胎,按单发三七炮弹的有效成核率为 $r = 1.05 \times 10^9$ 个 \cdot 发,则1km³雹源的用弹量为:

$$m = 10^9 N / V = 96 \text{ 发} \cdot \text{km}^{-1}$$

根据上述计算,若一块雹云的雹源体积为 $V = 10 \text{ km}^3$,则一次催化作业就需要三七炮弹960发。而实际作业证实,一个炮点只有1—2门三七高炮,每门炮在5—10分钟发射的炮弹数,一般不超过100发,也就是说,一个炮点一次防雹作业的实际用弹量一般不超过200发(见表1),远小于理论计算值。

表1 1987—1988年满城高炮作业用弹量

作业时间	雷达回波		用弹量/发			
	强度/dBz	顶高/km	北台渔	魏庄	龙门	石井
1987.5.30	45	11.0	90	101		
1987.6.29	45	11.1	82			
1987.7.14	40	8.4	30			
1987.7.20	30	8.0	33			
1987.8.23	35—45	10.4—11.0	194	187		170
1988.9.3	50	10.4		67	39	

4.2 人工催化播撒的人工胚胎数量应随雹源中含水量的多少而定,并应着重考虑落地冰雹能否造成灾害。根据张家口、满城多年地面冰雹资料以及冰雹从0℃层到地面的降落过程中的融化情况分析,在0℃层中半径不大于0.6cm的冰雹落到地面时完全融化成水滴(见表2)。所以,进入雹源中的人工胚胎数量只要能满足把雹源中的全部含水量分散在小冰粒上,使每个冰粒子的半径不超过0.6cm就够了。

表2 0℃层冰雹与落地时冰雹的半径比较

R_0/cm	\bar{R}/cm
0.00	0.60
0.25	0.68
0.50	0.83
0.75	1.02
1.00	1.22
1.25	1.45
1.50	1.67
2.00	2.14
2.50	2.62

注:根据满城1987.6.29和万全县1980.7.20地面冰雹资料得到。 R_0 为冰雹落地时的半径, \bar{R} 为0℃高度上平均半径。

根据以上考虑,云中0℃层高度上的冰雹(平均)半径不大于0.5cm,则落地不能成灾。设半径为0.5cm的球形冰雹的含水量为0.471g,根据满城1987.6.29及河北万全县1980.7.20的地面冰雹资料得到表3。

表3 Q、N和m对应关系

Q/g·m ⁻³	N/g·m ⁻³	m/发·km ⁻³
4	9	9
5	11	11
6	13	12
7	15	14
8	17	16
10	21	20
15	32	31
20	43	41
25	53	48

4.3 用弹量计算公式

设Q为云中雹源的含水量(g·m⁻³),N是人工胚胎浓度(个·m⁻³),m是每方公里雹源的最低用弹量(弹数/km³),据Q、N和m的对应关系(见表3)可得到用弹量计算公式

$$M = kmV$$

$$= k \frac{\pi}{3} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h \cdot 10^9 \cdot \frac{N}{r} = k \frac{10^9 \pi}{12} \cdot \frac{D^2 h Q}{r q}$$

上式中,D为雹源平均宽度(km),h为雹源厚度(km),V为雹源体积(km³),M为一个炮点一次作业总用弹量(发),k为订正系数,一般取1.2。

4.4 个例分析

4.4.1 1980.7.6河北万全县郭磊庄一次高炮作业,从当日13时探空资料查得:q₀ = 7.3g·kg⁻¹,q₋₂₀ = 0.4g·kg⁻¹,ρ₋₂₀ = 0.86kg·m⁻³,Q = 5.93g·m⁻³,-5℃层高度为4639m,雷达测得雹源厚度h = 44km,雹源(平均)宽度D = 2.5km,则有雹源体积

V = 7.2km³,人工胚胎浓度N = Q/q = 5.93/0.47 = 12.6个·m⁻³,则有M = 86发。此次作业实际用了90发三七炮弹,郭磊庄未遭冰雹袭击,降了雨。怀安、宣化等地受雹灾。

4.4.2 1986.8.8一较强冰雹云从河北满城县西北方移进高士庄、岭西到北台渔上空。当日21时高炮作业。从08时探空资料查得:Q = 6.7g·m⁻³, -5℃层高度5102m,0℃层高度4267m,雹源厚度5.2km,平均宽度3.2km,得雹源体积V = 14.0km³,人工胚胎浓度N = 14.3个·m⁻³,则有M = 187发。炮击后,岭西上空的雹云回波强度由40dBz降到25dBz,北台渔、石井等地降了阵雨,高士庄上空的强雹云降了小雹后迅速向南移动,这次北台渔炮点作业用了三七高炮弹200发,比计算用弹量增加了13发。这可能是由于根据当日08时探空资料而不是临近雹云的探空资料计算所致。

5 小结

5.1 从实例计算可知,实际作业用弹量与计算公式推算的用弹量有10%左右的误差,在实际作业中,应加以订正。

5.2 从表1可看出,各炮点每次作业实际用弹量,一般不超过200发。各地作业证实,在高炮有效控制范围内,基本无灾。

5.3 根据冰雹从0℃层等温线降落到地面过程中的融化情况得出的用弹量计算公式,是基于含水量一定条件下的一种平均分配的设想,由于缺乏直接测量手段,难以证实这种设想与实际情况之间的差距,但它与实际用弹量比较接近。我们将进一步积累更多的资料,以充实修正这种设想。

参考文献(略)

Study on the Amount of Shells Using in the Hail Suppression Operation

Wang Yuzeng Liu Xinyuan

(Academy of Meteorological Science, Beijing, 100081)

Abstract

Based on the data of hail in all parts of China, the melting condition of hailstone from 0℃ level to ground, and referring the practical amount of artillery shells used in the hail suppression operation, a new assumption amount of shells is suggested. According to this assumption, a formula to calculate the amount of shells in one hail suppression operation at a site has been deduced.

Key Words: hail suppression amount of shells using water content of hail growth zone