

“三七”炮弹聚能分散碘化银 成冰核效率的试验研究

石安英 樊慧新 丛 澜

(河北省气象科学研究所)

王卓然 王久良 李喜增 邱振国

(凌云机械厂)

提 要

本文介绍了经改装后“三七”炮弹产生聚能效应,分散碘化银在 $-4.0\sim-20.0^{\circ}\text{C}$ 范围内,各温度下的成冰核效率。这种方法 1 克散装碘化银在 $-4.0\sim-20^{\circ}\text{C}$ 范围内,产生的冰核数目,比目前广泛应用于人工降雨、防雹碘化银“三七”炮弹(内装 4 克压制成型碘化银)平均成核率高 1 个量级。

在检测碘化银“三七”炮弹成核率中,采用了多云室、统一本底气、严格封闭云室顶部、大容器稀释、瞬时检测的方法,有效地避免了环境污染引起的误差,减小了在针管中稀释造成的累积误差,提高了检测冰核水平。

一、问题的提出

用碘化银“三七”炮弹在冷云中爆炸,以达到人工防雹和增雨的目的,在我国已广泛应用,每年要消耗数吨白银,随着云物理学的不断发展,会更多地运用这一科学成就。因此,研究提高碘化银成核效率是一个具有现实意义的科学问题。

影响碘化银炮弹成冰核效率的因素是多方面的,我们仅把爆炸药柱改成聚能形式,分散碘化银,提高成核率的方法进行了试验研究,以求达到提高成核率,节约碘化银的目的。

二、试验概况

1979年12月,河北省气象科学研究所和国营凌云机械厂,在中央气象局、五机部、河北省国防工办,北京大学等有关部门大力支持下,成立了碘化银“三七”炮弹成核率试验研究小组。1980年7月以前完成了爆炸室、稀释室的设施,制做了检测冰核仪器。7月1日正式进行爆炸试验,到12月8日,对35发有聚能效应,装1克散状碘化银和无聚能、装

1981年5月23日收到修改稿。

4克压制成型的碘化银“三七”炮弹进行了成冰核效率的检测。检测中用了较多的时间研究解决碘化银粒子对环境污染和随时间迅速衰减给检测带来的困难。在克服了上述困难的基础上,进行了碘化银成核率的检测。

三、实验设想

我国目前使用的碘化银“三七”炮弹结构方式如图1,称这种结构为A型弹。

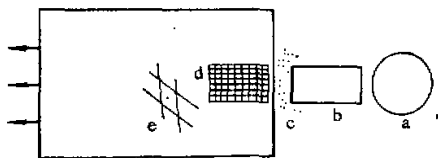


图1 A型弹药柱结构

图中a是延期药盘,b是雷管,c是引爆药,d是碘化银(4—6克),e是爆炸药柱。爆炸物理学常识表明^[1],药柱爆炸后的爆轰波,沿着药柱的纵轴方向,即沿燃烧面的法线方向迅速向前传播(8000米/秒)。这样,由于碘化银距引爆药很近,因此当引爆药起爆后,首当其冲的被炸开、粉碎,药柱引爆后,碘化银已不在原来位置,药柱的能量无法作用于碘化银上,而起爆药的能量是很小的,使碘化银的成核率受到影响。

我们改革了A型弹的内部结构,利用聚能分散碘化银,使之生成冰核。聚能的形成如图2,称这种结构为B型弹。

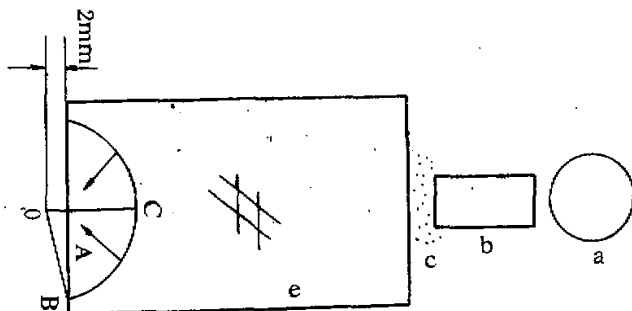


图2 B型弹药柱结构

聚能的形式很多,我们利用了径向聚能效应。径向聚能凹槽的设计是根据蒋结证大口径半球形罩聚能战斗部破甲威力的经验公式^[2] $D = 0.707d$ 计算出来的。

式中D为聚能凹槽直径,d为聚能炸药柱的直径。可以看出,聚能效应与凹槽直径有关系,凹槽做得越大越好。但考虑“三七”弹药柱的生产工艺,我们把聚能凹槽设计为球冠形式(如图2)。图中O为圆心,B为球冠直径的一个端点,A为球冠直径的二分点,C为球冠高的端点。其中OB为0.9厘米、OA为0.2厘米、AC为0.7厘米。球冠半径为AB。

$$AB = \sqrt{OB^2 - OA^2} = \sqrt{0.9^2 - 0.2^2} = 0.88 \text{ 厘米}$$

根据计算球冠体积公式:

$$V = \pi h^2 \left(R - \frac{h}{3} \right)$$

求得球冠体积为:

$$V = 3.1416 \times 0.7^2 \left(0.9 - \frac{0.7}{3} \right) = 1.03 \text{ 厘米}^3.$$

该体积可容纳散状碘化银 1 克。

当引爆药把药柱引爆后,爆轰波直线向前传播,遇聚能凹槽,爆轰波改变传播方向,沿球面法线向球中心聚集,形成高压、高温区域。碘化银在该区域内能较好地得到分散,形成碘化银气溶胶粒子,充当冰核的作用。

四、检测冰核的设备和方法

1. 实验设备和检测冰核仪器

带有钢壳的碘化银“三七”炮弹,在专用爆炸室内爆炸,爆炸室为石头、水泥结构,有效体积近似 114 米³。爆炸室内有排风设备,约十几分钟可把爆炸生成的烟雾排尽。在爆炸室前后壁上留有取样孔,如图 3。可做到在室外取得高、中、低斜对角线上的烟样。室内可测爆炸时的气温、湿度、气压等气象参数。爆炸时通过对外围观测,无烟雾泄出,密封良好。

抽取爆炸室烟样,用安在臂上的注射器,容积 100—500 毫升,在室外控制提取量。

检测冰核的云室为圆柱体,内径 12 厘米,高 30 厘米,容积 3.25 升,有效观测体积为 2.25 升,云室外腔用酒精、干冰降温,内壁用甘油涂擦,以防结霜,云室盖与云室腔之间的空隙用甘油密封。仪器结构如图 4。云室盖上面有向云室输入专用本底气装置。

本底气储存在直径为 2 米的气球内,供四个云室用,一组试验均用此气,气球内的空气经过多次本底核测示,各温度下冰核浓度如图 5。

云室所用水蒸汽,储存在保温器内,用压入空气、排出水汽的方法将蒸汽压入云室。输入保温器的空气,经过 0.2 微米孔径的滤膜过滤,用热电偶测量温度,热电偶装在距云室内壁 1 厘米的云室底部。同样云室共四台,同时工作。

2. 实验程序

将四个云室同时降温,降到所测温度范围,例如 -10—-12℃、-13—-15℃、-16—-18℃、-19—-21.0℃ (-4—-10℃ 的成核率,是用两台云室单独做的),盖好顶盖;打开通入云室本底气管开关,将糖盘缓慢下降,气球内的本底气,靠气球的压力进入云室,闭开关;冷却本底气 1—2 分钟(测低温核冷却时间短,测高温核冷却时间长些),通水汽;当云室内形成过冷雾后,注入碘化银烟样;记冰核活化温度,当糖盘长出冰晶后,提取记数。在冰晶总数中,减去该温度下本底气冰核数,为正式冰核数目。

糖溶液靠糖盘下边的阻冻剂降温。阻冻剂用水、乙二醇和干冰配制。糖溶液的浓度

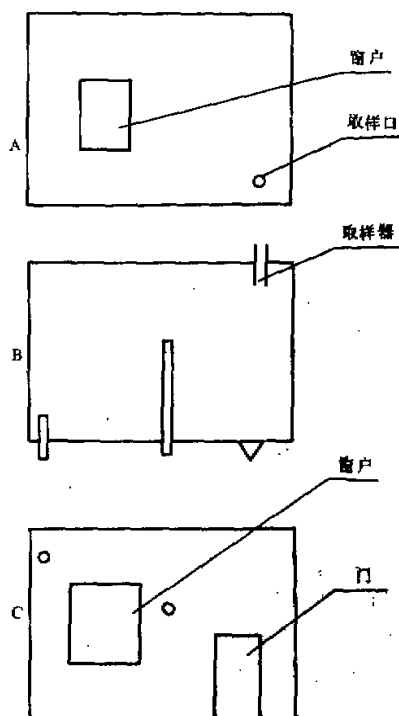


图3 爆炸室结构

A: 爆炸室后面 B: 爆炸室截面
C: 爆炸室前面

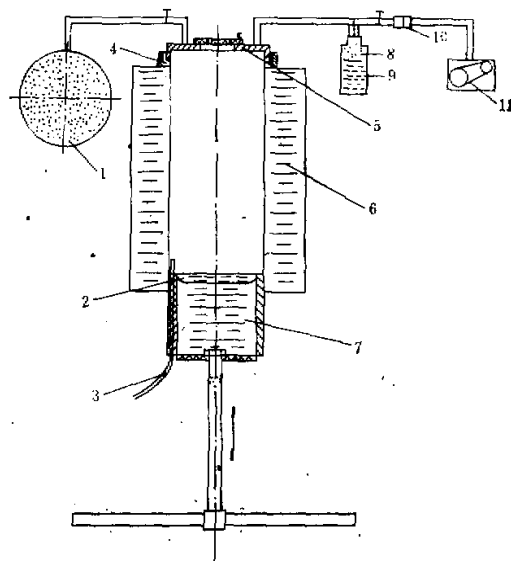


图4 冰核仪结构

1—本底气； 2—糖液； 3—测温电偶； 4—甘油；
5—云室盖； 6—酒精； 7—阻冻剂； 8—水汽；
9—开水； 10—滤膜； 11—空压机

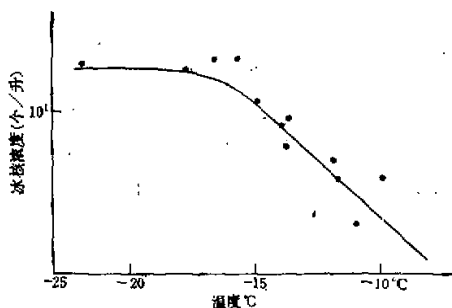


图5 本底气冰核浓度随温度分布曲线

有两种,低温时用水比糖为1比1.2,高温时两者的比为1比1.

通入云室的碘化银烟样,在爆炸室不同位置取到后,根据所要求的稀释比,分别注入云室、第一稀释室和第二稀释室.工作程序见方框图6. 稀释室用过,用丙酮反复抹擦,一天最多炸两发,相间6—7小时.

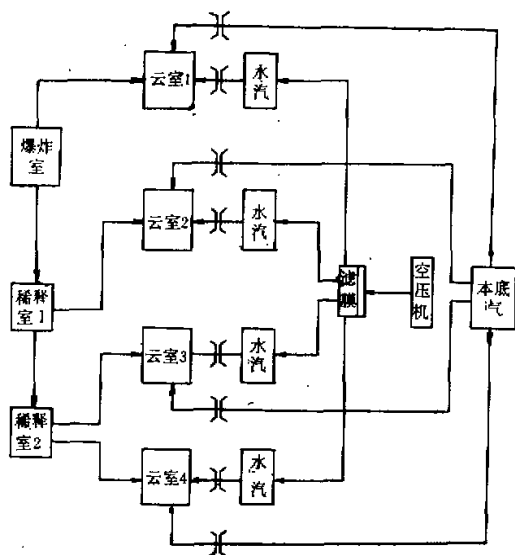


图6 检测冰核程序方框图

五、成核率的计算

1. 成核率的计算方法

设爆炸室体积为 V_1 , $V_1 = 1.14 \times 10^6 \text{cm}^3$; 设二个稀释室体积分别为 V_2, V_3 , $V_2 = V_3 = 4.7 \times 10^4 \text{cm}^3$; 设由爆炸室取烟样, 注入云室的样品体积为 M_1 ; 设由爆炸室取烟样, 注入第一稀释室体积为 M_2 ; 设由第一稀释室取烟样, 注入云室的体积为 M_3 ; 设由第一稀释室取烟样, 注入第二稀释室的体积为 M_4 ; 设由第二稀释室取烟样, 注入云室的体积为 M_5 ; 设云室截面与糖盘面积比为 S , $S = 1.4$; 设在温度 T 时成冰核率为 N_T ; 设在温度 T 时糖盘的冰核数(减去本底数)为 n ; 设每发炮弹装碘化银量为 x ; 则每发炮弹, 每克碘化银生成的冰核率有三种计算方法:

$$\textcircled{1} \text{ 烟样不经过稀释室, 注入云室 } N_T = \frac{V_1 \cdot S \cdot n}{M_1 \cdot x} \text{ (个/克)}.$$

$$\textcircled{2} \text{ 烟样经过 1 个稀释室, 注入云室 } N_T = \frac{V_1 \cdot V_2 \cdot S \cdot n}{M_2 \cdot M_3 \cdot x} \text{ (个/克)}.$$

$$\textcircled{3} \text{ 烟样经过两个稀释室, 注入云室 } N_T = \frac{V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot S \cdot n}{M_2 \cdot M_4 \cdot M_5 \cdot x} \text{ (个/克)}.$$

在我们试验的碘化银“三七”炮弹中, A 型弹 x 为 4 克, B 型弹 x 为 1 克.

2. 碘化银的成核率

对 A 型弹共检测 6 发, 在 $-6 \sim -20^\circ\text{C}$ 范围内, 不同温度生成的冰核数目用圆圈符号填在图 7 中; 图中点划线是 A 弹 4 克碘化银平均成核率; 图中虚线是 1973 年测得的 A 型

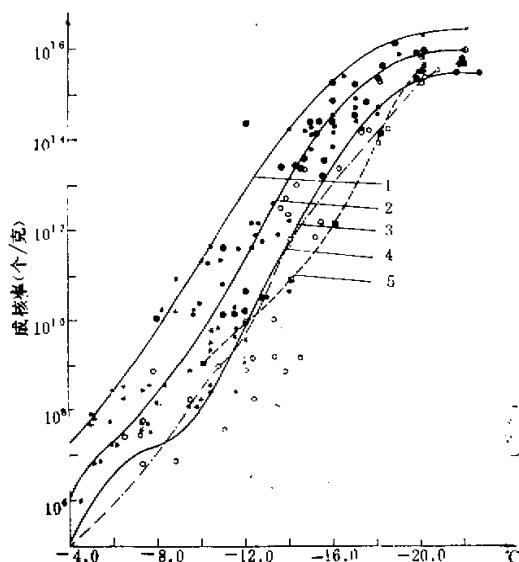


图 7 A、B 弹的成核率(个/克)

曲线 1: B 型弹成核率上限 曲线 2: B 型弹成核率平均值 曲线 3: B 型弹成核率下限 曲线 4: A 型弹平均成核率 曲线 5: A 型弹(1973)平均成核率

弹平均成核率^[2]。由于发现我们所测与 1973 年所测 A 型弹成核率, 两者有着基本上相同的分布趋势(在各温度下成核率没有量级上的差别), 因此对该型弹再没有进行检测。

图 7 中的黑实点是所测三发 B 型弹不同温度下的成核率, 三发共测到 35 个数据, 都点在图上; 图中圆圈中有黑点的是所测三发 B 型弹的重复性试验, 共测到 34 个点, 也都点在图上; 图中的星号是 12 月补做的 $-4 \sim -12^{\circ}\text{C}$ 范围内 B 型弹的成核率, 检测 4 发, 得到 39 个点也全点在图中; 图中三条实线分别为 B 型弹成核率的上限、下限和平均曲线。这三条曲线在 10 个指定温度上的成核率分别填在表 1B_上、B_平、B_下 相应温度栏内。可以看

表 1 A 型弹和 B 型弹成核率的比较(个/克)

代号 温度 $^{\circ}\text{C}$ 成核率	A 弹(4 克)	B 型弹(1 克) 上 限	B 型弹(1 克) 平 均	B 型弹(1 克) 下 限	B 平/A (倍)
-20	2.0×10^{13}	1.6×10^{14}	9.9×10^{11}	3.2×10^{13}	4.8
-18	1.2×10^{14}	1.1×10^{14}	3.5×10^{13}	1.1×10^{14}	29.2
-16	1.1×10^{13}	2.0×10^{13}	4.5×10^{14}	5.6×10^{13}	40.9
-14	5.2×10^{12}	2.0×10^{14}	1.0×10^{13}	5.6×10^{13}	19.0
-12	5.5×10^9	7.0×10^{12}	3.0×10^{11}	1.5×10^{10}	55.0
-10	2.5×10^8	1.9×10^{11}	5.0×10^8	1.0×10^8	20.0
-8	1.1×10^7	1.0×10^{10}	1.8×10^6	1.8×10^7	16.0
-6	1.0×10^6	2.5×10^8	1.7×10^7	3.0×10^6	17.0
-4	1.0×10^5	1.8×10^7	1.0×10^6	1.0×10^5	10.0

出,在 $-4\text{--}20^{\circ}\text{C}$ 范围内,1克碘化银(B弹)成核率的上限在 1.8×10^7 个(-4.0°C)至 1.6×10^{16} 个(-20°C)范围内;下限在 1.0×10^5 个(-4.0°C)至 3.2×10^{15} 个(-20°C);平均值为 1.0×10^6 个(-4.0°C)至 9.9×10^{15} 个(-20°C)。

图中的重复性试验表明,其分布情况,与初始试验有着相同的分布趋势。因此我们认为,平均曲线可代表B型弹的成核率。

六、对冰核资料的分析和误差讨论

1. A型弹与B型弹成核率的比较

A型碘化银炮弹,为152厂生产的装4克或6克碘化银防雷、降雨弹。1973年文献所测成核率与我们1980年所测该型弹成核率基本相同。这主要是测试条件相同所致。①使用的仪器相同,都是经改装的Bigg型云室;②指示冰核率的温度相同,碘化银的成核率,是指在其温度下单位质量的成核数目,因此要有比较意义,检测时的温度必须一样,否则会引起冰核效率具有量级上的差别。为此,我们在测A型弹和B型弹时选用了底部靠近云室内壁的温度来指示冰核数目。云室底部的温度与1973年测时用套筒酒精温度有着很好的相关。表2是检定云室底部与套筒酒精温度的相关。由表2可以看出,两者平均值都等于0.0,最大差值不超过 1.0°C ,不会引起冰核数目有1个量级的误差。因此A型弹与B型弹的成核率完全有着比较意义。

表2 云室底部与云室套筒酒精温度的相关

编 号	时 间	$T_1/^{\circ}\text{C}$	$T_2/^{\circ}\text{C}$	$T_1 - T_2/^{\circ}\text{C}$
1	16 ¹⁰	-20.0	-19.8	-0.2
2	16 ¹²	-20.0	-19.8	-0.2
3	16 ¹⁴	-19.0	-19.6	+0.6
4	16 ¹⁶	-19.0	-19.6	+0.6
5	16 ²⁰	-19.0	-19.5	+0.5
6	16 ²²	-19.0	-19.4	+0.4
7	16 ²⁴	-19.0	-19.3	+0.3
8	16 ²⁶	-19.0	-19.0	0.0
9	16 ²⁸	-19.0	-18.9	-0.1
10	16 ³⁰	-19.0	-18.7	-0.3
11	16 ³²	-19.0	-18.3	-0.7
12	16 ³⁴	-18.5	-18.2	-0.3
13	16 ³⁶	-18.3	-18.0	-0.3
14	16 ³⁸	-18.0	-17.9	-0.1
平 均		-19.0	-19.0	0.0

表2中 T_1 为套筒酒精温度, T_2 为云室底部温度。

A型弹与B型弹成核率的比较, B型弹上限成核率, 普遍为A型弹的 4.0×10^3 倍; 最高达 1.3×10^5 倍(-16.0°C); 由平均曲线看, B型弹较A型弹高几倍至几十倍; 下限两者量级相当。可见B型弹比A型弹成核率有明显的提高。

2. 对检测误差的讨论

① 温度误差: 温度对成核率影响很大, 由图 7B 弹平均成核率曲线可以看出, 变化 1°C 可引起冰核浓度 1 个量级的变化 (-11°C — -13°C)。我们知道云室内水平、垂直方向上的温度是不一样的, 底部低于顶部; 边缘低于中心, 最低温度在云室底部靠近内壁附近。这样由于采用云室不同位置的温度来指示碘化银的成核率, 会引起所测成核率的不同。我们检测 B 型弹时, 采用了云室中最低的温度来指示它的成核率(该温度比云室中的平均温度约低 1°C 左右)。因此比实际的成核率要偏低些。

② 稀释误差: 由于采用了严格封闭云室, 四个云室均用统一本底气, 而且在检测时又定时地对本底气进行抽样检测, 没有发现过本底气冰核数目高于原测本底气冰核数目。

所测点, 有时出现不连续, 系稀释比造成, 属系统误差, 在 ± 1 个量级内变化。

七、几点结论

1. A 型降雨弹, 为我国广泛使用, 它的成核率尚有潜力; B 型弹较 A 型弹每发可节约 3 克碘化银, 且成核率比 A 型弹还高 1 个量级。

2. 采用统一本底气, 云室盖用油密封, 过滤水汽, 大容器稀释, 多云室瞬时检测, 是一套检测高效成核率的较好方法。

致谢: 本试验是在刘羽廷、刘传信副总工程师、张汉章副所长、工程师指导下进行的。在仪器设计, 试验程序等项工作中, 张铮讲师、游来光、马培民、丰大雄、陈汝珍工程师等曾给以具体指导。河北省气象局的李小石、孙贵顺、戴冠军及国营凌云机械厂双革办公室的全体同志曾参加过试验, 我们一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 鲍姆等, 爆炸物理学, 众智译, 科学出版社, 1963 年。
- [2] 北京工学院八系编写组, 爆炸及其作用, 国防工业出版社, 1961 年。
- [3] 成核率检定小组, “三七”高炮碘化银炮弹冰核生成率的鉴定, 气象, 1975 年第 1 期。

A STUDY ON THE ICE NUCLEUS GENERATING EFFICIENCY BY “37 MODEL SILVER IODIDE SHELL” POSSESSING AGGREGATIVE ENERGY

Shi An-ying Fan Huei-xin Cong Lan

(*Hobei Meteorology Institute*)

Wang Zho-yan Wang Jiu-leng Li Xi-zhiang Qiu Zhung-kuo

(*Lingyun Machine Factory*)

Abstract

This paper investigates the ice nucleus generating efficiency by “the 37 model silver iodide shell possessing aggregative energy” under different temperature in the range of -4° — -20°C . The ice nucleus generating rate by this new model shell with 1 g silver iodide is four times higher than that by the old 37 model silver iodide shell with 4g silver iodide.

The experiment was made in a multi-cloud simulator with the same base atmosphere and a closed top. We used a big vessel to reduce the density and made instantaneous observation. This method has reduced the errors caused by the environmental contamination and the cumulative errors caused by a small vessel.