

箭载催化剂冰核生成率的检定*

陈汝珍 鄧大雄**

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

本文介绍了 JBR-56 型火箭箭载催化剂冰核生成率的检测。得出箭载碘化银 8 克每箭的冰核总数高于现使用的三七高炮弹每弹(含 4 克碘化银)的成冰核总数,就每克碘化银的成核率相比,无量级上的明显增加。在温度高于 -12°C 范围内,箭载的成核率仍然偏低,不理想,我们认为这可能是所使用的爆炸法所限。

一、引 言

目前,碘化银炮弹和碘化银火箭已广泛用于人工降水和防雹试验中。国内生产的人工降水、防雹火箭的单位很多,有带催化剂的,有不带催化剂的。为提高防雹火箭的成冰核效率,确保生产制造过程中的安全,根据 1979 年底全国催化剂会议的要求,由重庆江陵机器厂设计并生产携带催化剂的火箭,我所负责检定箭载催化剂的冰核生成率。

二、试验设备 and 设计

1. 检测催化剂成冰核效率的主要设备是两个相同自制的密封云室。为使云室温度分布力求均匀,采用冷液循环,冷液的温度可按要求冷却或回升,也可停止循环使云室温度自然平衡。考虑到四聚乙醛等有机物质的核化时间较碘化银要长,为测 AAC,我们设计了内径 20 厘米,高 33 厘米(有效体积约 9.3 升)的小云室(过去国内一般用 2—3 升),以延长雾的维持时间。云室采用热电偶测温,90% 的测量数据表明,云室(20 厘米以下的)水平温度,垂直温度分布梯度 $\leq 1.4^{\circ}\text{C}$ 。检定中用距云室中心 3 厘米,距底 5 厘米处的温度代表云室温度。表 1 为云室内温度分布的测量情况。

2. 为尽可能减少云室中出现的瞬时高过饱和,我们采用了北京医疗设备二厂生产的 CW-1 型超声波雾化器,用室温蒸馏水产生雾,将雾直接通入预冷到一定温度的云室。雾滴直径绝大部分为 2.5—7 微米。云室中的雾维持时间约 4—5 分钟。

3. 人工降水火箭(弹)在有限体积内爆炸后,粒子浓度十分高,必须要经过稀释以得到合适的样气浓度。我们一方面选用大而密封好的爆炸洞,另一方面采用大容器中静力稀释的方法。用两个经过改装的密封塑料桶(每个容积为 52 升),桶中事先充入经滤膜过滤过的洁净空气,进行一次稀释和二次稀释。

* 本文于 1982 年 12 月 25 日收到,1983 年 12 月 19 日收到修改稿。

** 参加此项工作的还有何绍钦、李太宇、杜毅清、孟玉巧、郁青、王广河。

表 1 云室距底 20 厘米高度以内的温度分布

观 测 次 数	单点垂直测量 $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$	五点自下而上测三个高度(T_0, T_{10}, T_{20})的水平温度分布		
		观 测 次 数	一次温度分布的测点	$\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$
27	$\Delta T < 1^\circ\text{C}$	9	5	$\Delta T < 1.2^\circ\text{C}$
4	$1^\circ\text{C} < \Delta T < 2^\circ\text{C}$	4	12	$\Delta T < 1.4^\circ\text{C}$
		3	24—30	$\Delta T < 1.4^\circ\text{C}$
		1	12	$\Delta T = 2.5^\circ\text{C}$
		1	24	$\Delta T = 3.4^\circ\text{C}$

4. 为清除“外来冰核”的影响,我们尽可能密封云室,并经常涂抹甘油以防止结霜引起的虚假计数。特别采用在大球皮内盛放经滤膜过滤后的干净空气作为云室背景气。在检测时,再进一步净化球皮内的背景气,以清除本底冰核。

5. 用糖液法显示冰晶并计数。糖盘面积为云室底面积的 92%,仍采用等分成四格的办法,冰晶只落在 1/4 糖盘象限内,可累积计数。

6. 借用中国科学院力学所体积为 375 立方米的爆炸洞,其密封等性能良好,内有排风设备,约 20 分钟可把洞内烟云排出。

三、检 测 过 程

1981 年 7 月初至 8 月初,在中国科学院力学所进行了检测试验。共爆炸 24 发,其中火箭 21 支,三七炮弹 3 发。火箭中分别装有碘化银(8 克和 2 克),碘化铅(外装 167 克),硫化铜(外装 68.6 克,内装 60.9 克)和乙酰丙酮铜络化合物(简称 AAC,外装 95 克,内装 108.7 克)。为与其他云室的测试结果有一定的比较意义,对重庆江陵机器厂原生产的(含碘化银 4 克)和改进后(含碘化银 1 克)的三七高炮弹也进行了测试。

检测时,两个云室分别降到所测温度范围,一般一个为 -20°C ,一个为 -12°C 左右。盖好顶盖,打开通入云室气球皮内背景气的开关,将带有糖盘的活塞缓慢下降,使气球皮内的背景气进入云室。待云室温度稳定后,打开超声雾化器开关,通雾数次,使“一切可能”的背景冰核充分核化并掉在 1/4 糖盘象限内。此时云室内基本上是无冰核的背景气了。另换 1/4 糖盘象限,通雾后,注入催化剂烟样,记云室温度。当糖盘长出冰晶后,若冰晶很多,可将糖盘提取读数,后再重复上述试验步骤,做另一次试验。若冰晶较少,糖盘在云室底部仍能清楚读数,可接着转下一象限,也可再次通雾,让剩余的冰核活化,计数。对 AAC,因其一次通雾活化不尽,一般计算三个象限的冰晶总数。

冰晶在糖盘中最早出现的时间大约在注入烟样后几秒到十几秒内,不同催化剂之间没有观测到明显差别。在冰晶出现后数分钟就可计数。

用糖液显示的冰晶,可根据下式计算成冰核效率。

$$N_t = n_t \cdot A \cdot S \cdot \frac{V}{v} \cdot \frac{1}{M} \quad (\text{个/克})$$

其中: n_t : 为温度 t 时,整个糖盘中的冰晶总数目 (个)。

A : 稀释倍数。

S : 云室底面积与糖盘面积之比, 本试验中 $S = 1.09$ 。

V : 爆炸洞体积, 本试验中 $V = 375$ 米³。

v : 注入云室中的样气体积 (厘米³)。

M : 每支火箭(炮弹)所含的催化剂量(克)。

取样者直接在爆炸洞内取样。根据云室温度可分别用原样, 一次稀释或二次稀释的样气。图 1 为冰核检测过程的示意图。

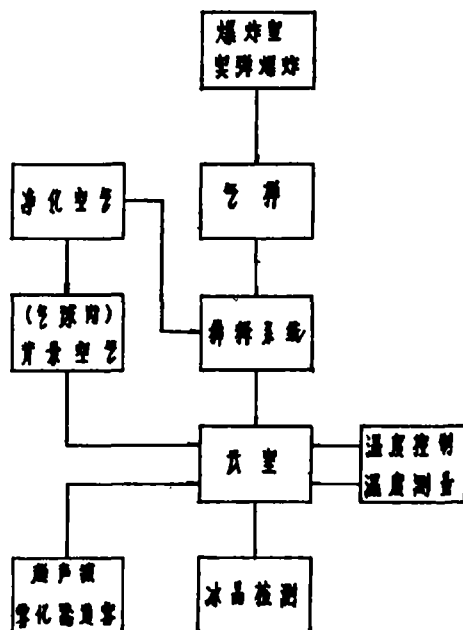


图 1 冰核检测过程示意图

四、检测结果和讨论

1. 检测结果

由检测资料所画的几种主要催化剂的冰核生成率随温度的分布见图 2—4。图 5 为碘化银三七弹的几次测试结果。表 2 给出了由曲线上读得的平均成冰核数。

由检测结果得出：

(1) 箭载碘化银每克的成核率最高, AAC 的成核率虽比碘化银差, 但优于碘化铅。每箭装 100 克 AAC 其成冰核效率相当于每箭装 8 克碘化银。仅就成冰核性能而言, AAC 是有希望的(但据厂方反映 AAC 的安定性能还有待解决)。这次检测中发现所用的硫化铜在 -10°C — -20°C 的温度范围内成核率很低(10^6 — 10^{10} /克)。

(2) 箭载 8 克碘化银每箭的成冰核数高于现使用的三七弹(含碘化银 4 克)每弹的成冰核数。就每克的成核率相比, 无量级上的明显增加。

(3) 在 -12°C 以上的温度范围内, 火箭分散催化剂的成核率仍然偏低, 不理想。

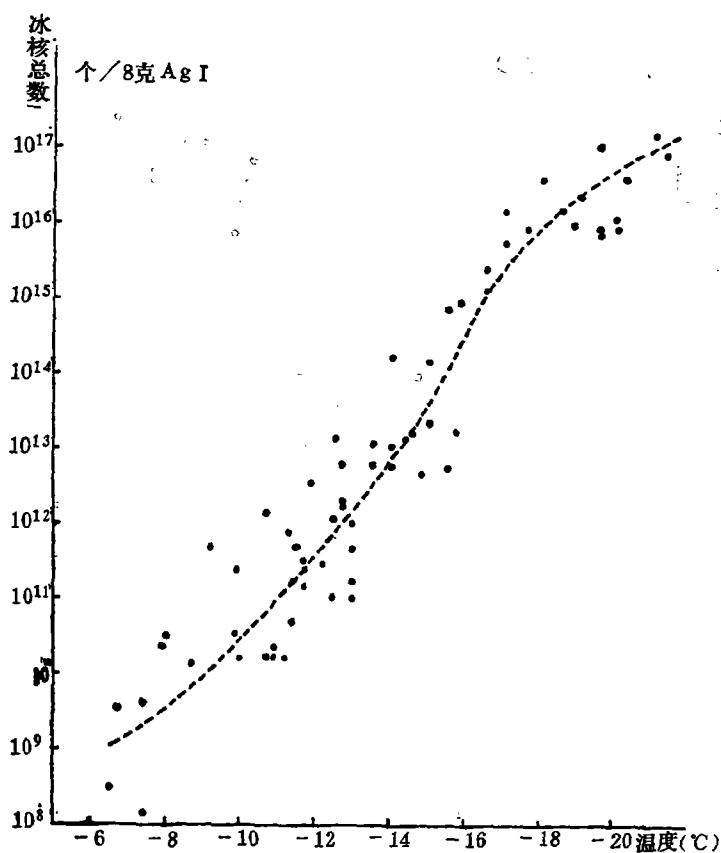


图 2 箭载碘化银 8 克每箭的冰核生成率随温度的分布

表 2 每箭(弹)的冰核生成率

催 化 剂	温 度		实用爆 炸次数	测试数据	-8°C	-12°C	-16°C	-20°C
	总 成 冰 核 数	冰 核 数						
火 箭	AgI 8 克		4	66	3.6×10^9	3.5×10^{11}	3.7×10^{14}	5.0×10^{15}
	AgI 2 克		4	50	4.9×10^8	1.3×10^{11}	1.7×10^{14}	1.4×10^{15}
	AAC ¹⁾ 100 克		4	37	9.5×10^9	2.5×10^{11}	3.5×10^{15}	4.2×10^{16}
	PbI ₂ 167 克		3	20	5.0×10^8	6.5×10^{10}	6.0×10^{14}	2.1×10^{15}
三七弹	AgI 4 克		1	16		7.0×10^9	4.2×10^{13}	3.5×10^{15}
	AgI 1 克		2	30		1.0×10^{10}	1.2×10^{14}	3.5×10^{15}

1) AAC 内装、外装一起点图, 平均为 100 克。

2. 结果讨论

(1) 检定误差估计

检测数据的离散主要有两个原因：一是待测样品和取样代表性造成的差异，二是测量误差。本文只对后者作出估计。

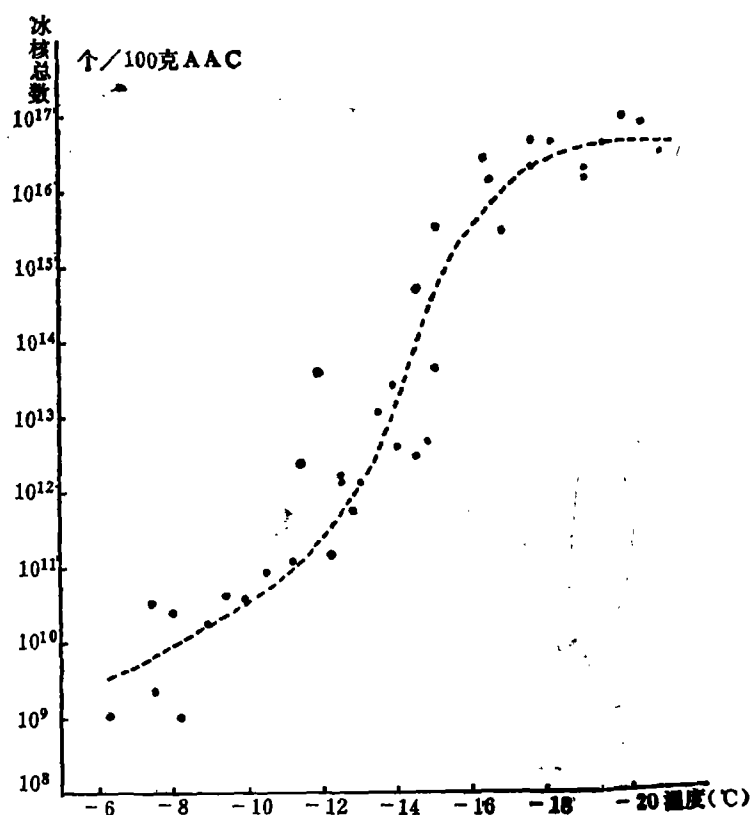


图 3 箭载 AAC 每箭的冰核生成率随温度的分布

表 3 样气成冰核浓度随时间的衰减

样气来源	观测时间	温度 (°C)	成冰核数	样气来源	观测时间	温度 (°C)	成冰核数	样气来源	观测时间	温度 (°C)	成冰核数
爆炸洞原样	9 ^h 37	-13.0	4.72×10^{11}	一 次 稀 释	14 ^h 54	-16.0	4.0×10^{12}	二 次 稀 释	11 ^h 40	-22.0	1.85×10^{17}
	9 ^h 50	-11.2	1.83×10^{10}		15 ^h 13	-15.8	4.09×10^{12}		11 ^h 46	-20.2	1.25×10^{18}
	9 ^h 54	-10.9	1.86×10^{10}		15 ^h 30	-15.0	1.87×10^{12}		12 ^h 42	-18.8	2.12×10^{18}
	9 ^h 57	-10.9	2.35×10^{10}		15 ^h 38	-15.8	3.15×10^{12}		12 ^h 46	-18.5	1.15×10^{18}
	10 ^h 31	-11.4	5.59×10^{10}		15 ^h 57	-15.8	2.22×10^{12}				
				释	16 ^h 04	-16.0	3.67×10^{12}	释			

A. 粒子逸散及聚并沉降影响

我们在体积为 375 立方米的爆炸洞中产生烟气, 实测爆炸洞中原样及两个稀释器中样气浓度随时间的衰减是不明显的, 见表 3。这可能是由于爆炸洞体积大, 密封好, 粒子间聚并及壁的影响相对小的缘故。在两个 52 升的稀释器中, 样气浓度是低的, 在 -15°C — -20°C 的过冷雾中, 其活化冰核浓度为 10^2 — 10^1 /厘米³。所以, 在我们的测试条件下, 烟样浓度在 1—2 小时的测试时间内其衰减可忽略。

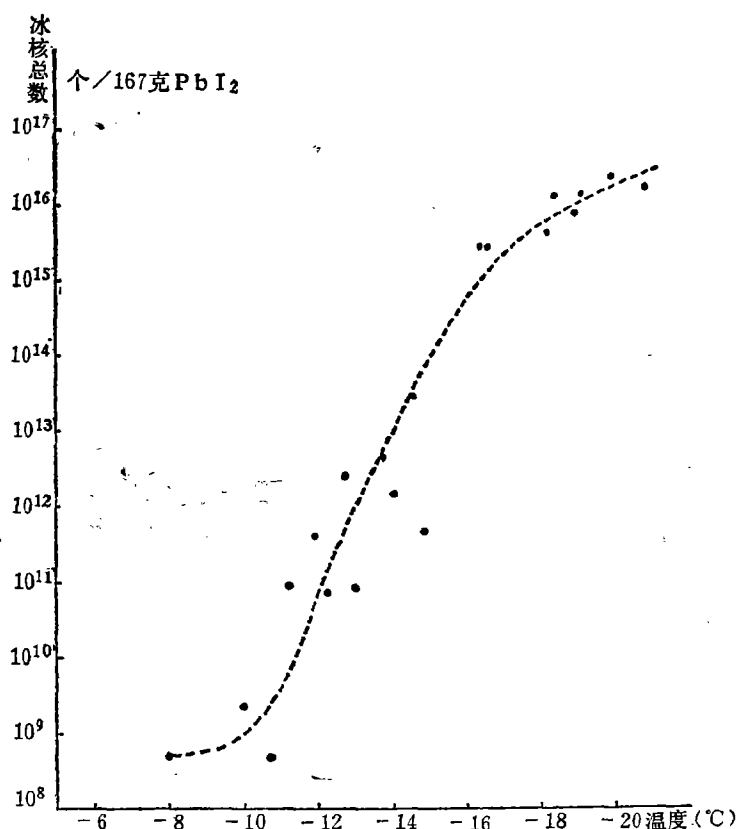


图 4 箭载碘化铅每箭的冰核生成率随温度的分布

表 4 比较不同稀释倍数对成冰核数目的影响

成核数 温度	$\log N_1 = 10.16 + 0.18T$ (一次稀释, 测点 $n = 12$)	$\log N_2 = 9.86 + 0.21T$ (二次稀释, $n = 23$)	$\frac{N_2}{N_1}$
-22°C	1.32×10^{14}	3.02×10^{14}	2.3
-20°C	5.75×10^{13}	1.15×10^{14}	2.0
-18°C	2.50×10^{13}	4.37×10^{13}	1.7
-16°C	1.10×10^{13}	1.66×10^{13}	1.5

B. 稀释影响

通过用不同稀释倍数对碘化银成冰核浓度的初步检测,认为样气经过一次($\sim 10^3$)和二次($\sim 5 \times 10^5$)稀释,其检测结果比较接近(表 4)。实际检测时,碘化银等催化剂二次稀释倍数常采用 $\sim 10^6$,所以估计稀释影响有 $\pm 2-3$ 倍。

C. 冰晶计数

云室中雾维持时间一般为 4—5 分钟,有部分烟粒在这段时间内不能充分活化,使观测值偏低。对碘化银,碘化铅一次读数约有 90%的冰核已被活化。对 AAC,因几次累计读数,由检测中估算,计数偏低值不大于 10%,见表 5。

D. 温度影响

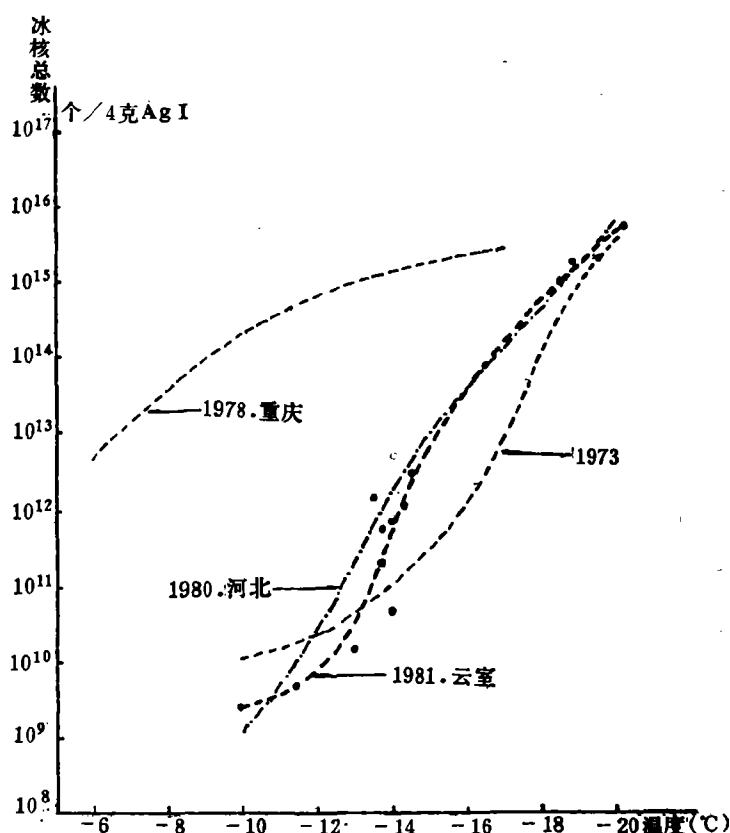


图 5 碘化银 (4 克) 三七弹每弹的冰核生成率随温度的分布

表 5 每 $\frac{1}{4}$ 糖盘中冰晶的计数

AgI PbI ₂	I	II	III	AAC	I	II	III
-18.8°C	85	4		-19 °C	450	265	32
-18.3°C	159	10		-18.3°C	159	229	84
-15.5°C	64	2		-16.8°C	378	105	25
-14.4°C	26	3		-12.7°C	63	31	2

虽然成冰核过程主要发生在云室温度较均匀的中下部(见表 1), 但温度对成冰核浓度影响极大。尤其在 -12°C — -14°C 温度范围内, 温度变化 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 甚至可引起冰核浓度 ± 1 个量级的变化。所以估计在检测过程中, 温度不均匀可引起成冰核浓度半个量级的偏差。

E. 过饱和度影响

本试验采用超声雾化器, 将生成的雾直接通入云室。初步比较用此方法造雾测空气中的背景冰核浓度最低(见表 6)。但对检测人工冰核的影响试验未做。因雾化器所用的是室温蒸馏水, 造出雾后通入低温室内仍会形成瞬时高过饱和, 给检测带来一定误差。

以上粗略地分析了试验的主要误差。影响检测试验的因子很多, 定量的给出误差分

表 6 用几种造雾方法测大气中的冰核浓度

湿 纱 布		高压水汽(>100°C)		水汽(60°C)		超声雾化器	
温 度	浓度/升	温 度	浓度/升	温 度	浓度/升	温 度	浓度/升
-14.3°C	43	-15.5°C	32	-14.5°C	3.1	-21.4°C	13
-14.4°C	16	-14.5°C	15	-14.8°C	4.3	-18.0°C	2

析比较困难。据对检测数据的初步统计,在 219 个测点中,有 71% 的测点(155 个)偏离在平均曲线 ± 0.5 个量级以内,84% 的测点偏离在 ± 1 个量级以内。有 15 个点(约占 6.8%)偏离在 ± 1.5 个量级以外,其中 9 个点是 4 支装 2 克碘化银火箭造成的。

(2) 分析意见

目前常用的碘化银发烟技术主要采取三种途径。即碘化银溶于丙酮碘化钠(钾)溶液,用发烟炉连续产生烟粒,如“天火”发烟炉;碘化银用高温燃烧剂发烟的方法,如 Olin-1055 焰弹;以及用炸药爆炸发烟的方法,如美国国家大气研究中心的爆炸索和我国的“三七”炮弹,火箭等。

图 6 为几种典型发烟技术的碘化银成核率曲线^[1,2]。可见连续发烟的燃烧炉法有最

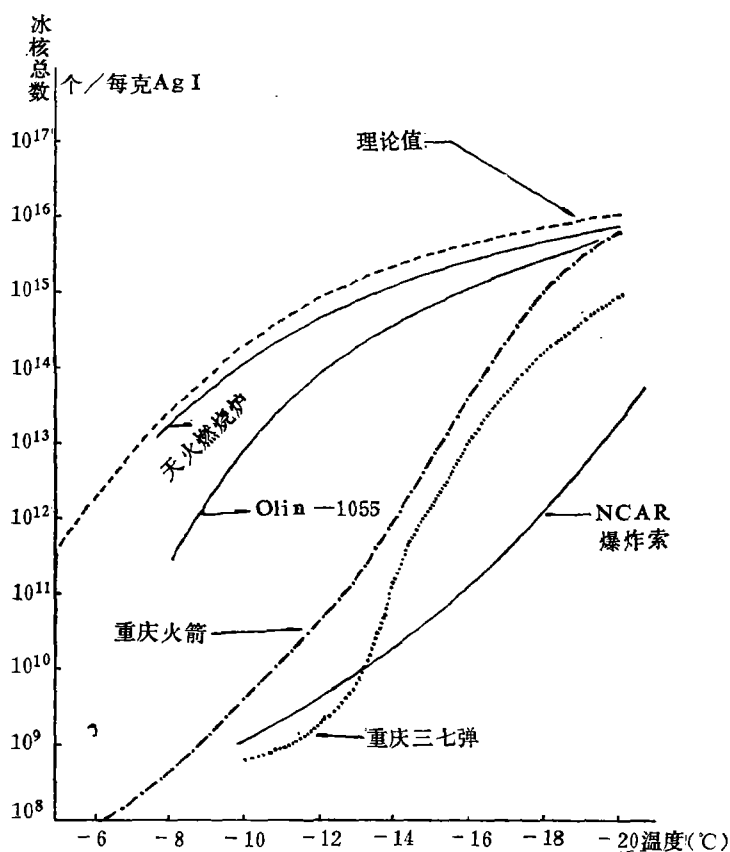


图 6 几种典型发烟技术的碘化银成核率曲线

高成核率;烟火方法次之;爆炸方法最低。在较高温度时,这种差别更大。从图中也可看出不同发烟技术的碘化银活化谱具有不同型式。

国内对原江陵机器厂生产的三七高炮弹(含碘化银 4 克)曾检测过多次,不同检定小组检测结果相当一致^[3-5](见图 5,1978 年重庆检测例外)。本次检测的箭载碘化银活化谱型式仍同于爆炸方法,但成核率比三七炮弹有所增加。

从测量结果看出(表 2),每箭装 8 克碘化银的成冰核数目稍高于每箭装 2 克碘化银的成冰核数,统计分析结果与此相一致。箭载碘化银的最佳剂量尚有待研究和进行多次测试。AAC 内装,外装的成核率无明显差异,原因可能是爆炸火箭的次数不够多,也可能是这种差别尚在测定误差之内。

总之,带催化剂的火箭和三七炮弹都具有一定的成核能力。它们都能在很短时间内向云中一定部位输送大量的人工冰核,目前用于人工降水和人工防雹试验中。但就其成核率来说,在较高温度时(-12°C 以上)是低的,这可能是爆炸法所限,有待进一步研究改进。

致谢:本试验所用的检测设备是由本院附属工厂设计并加工的;检测过程中得到了中国科学院力学所的大力支持;重庆江陵机器厂派员参加了检测;游来光、张纪淮、胡志晋等同志曾对本文提出过意见,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 中央气象局研究所编,人工降水、防雹基础知识,114,农业出版社,1974 年。
- [2] 梅森,云物理学,231,科学出版社,1978 年。
- [3] 成核率检定小组,三七高炮碘化银炮弹冰核生成率的检定,气象,1 期,10-11,1975 年。
- [4] 张铮,降雨弹成核率鉴定的误差分析,大气科学,第 5 卷,第 3 期,326-331,1981 年。
- [5] 石安英等,三七炮弹聚能分散碘化银成冰核效率的试验研究,大气科学,第 6 卷,第 3 期,315-323,1982 年。

THE EXAMINATION OF THE ICE NUCLEATING EFFICIENCY OF AgI IN THE JBR-56 ROCKETS

Chen Ruzhen

Feng Daxiong

(Academy of Meteorological Science, State Meteorological Administration)

Abstract

The method and result of the examination of the ice nucleating efficiency of AgI in the JBR-56 rockets are described. It is found that about 10^9 effective nuclei were produced per gram of AgI at the temperature of -10°C , 10^{15} at -20°C .