

# 机载碘化银发生器燃烧室残留物成分分析

李培仁 卢玩顺 裴巨才 韩淑云 孙国德

(山西省人工降雨办公室, 030002)

## 提 要

通过对碘化银发生器残留物样本化学分析、残留物附着规律及其成因研究,最后提出了减少残留物的对策。

**关键词:** AgI 发生器 残留物 人工播撒

## 引 言

碘化银(AgI)是迄今所发现的最好的人工冰核物质,它具有成冰阈温和成核率高的优点。碘化银气溶胶常用燃烧方法产生。近几年来,由于中国气象科学研究院人工影响天气所引进研制了BS-1型机载碘化银发生器,在国内飞机人工增雨作业中,采用燃烧碘化银丙酮溶液的方法已逐渐增多。山西省人工增雨防雹办公室自1990年起就在飞机人工降雨作业中使用了该仪器。在多年的工作实践中,我们发现该仪器在作业后,燃烧室有很多残留物质,主要成分是金属银、碘化银以及银的氧化物和部分碘盐。在一次飞行后的采样分析中,两个发生器产生的残留物中仅金属银就有23.6g,折合碘化银46g,占一次作业催化剂总量的5%还多,这种现象不仅浪费催化剂,也影响了云中播撒剂量,直接影响了降雨的效果。本文用外场试验与实验室

分析相接合的方法,分析了残留物的成分、重量,并研究了残留物的某些附着规律,提出了减少残留物的对策。

## 1 机载碘化银发生器残留物现象及试验样品收集

### 1.1 残留物现象

机载AgI发生器的使用大大改善了机上工作环境和人员劳动强度,提高了播撒效率。但是每次播撒作业后,我们在发生器的燃烧室内壁上均可看到很多残留物质,多的时候呈板块状,大部分情况为雾凇状。位置以燃烧室内壁正下方靠近喷液口的地方最多。这些物质经初步分析有:碘化银、金属银和其它残渣,其中碘化银和金属银的含量最多。

### 1.2 残留物样本收集情况

为了弄清残留物的具体成分和附着原因及附着规律,我们在1995~1996年,与人工播撒作业同步,收集了作业后残留物的样本。

表1 残留物样本收集情况

	燃烧一次取样		燃烧两次取样		燃烧三次取样		燃烧四次取样		合 计
	左	右	左	右	左	右	左	右	
实际加液次数	26	26	8	6	9	9	4	4	86
样本数	26	26	4	3	3	3	1	1	67

试验期间共收集样本总数67份,其中2%AgI-NaI-丙酮溶液4份,3%AgI-NH<sub>4</sub>I-丙酮溶液2份,2%AgI-NH<sub>4</sub>I-丙酮溶液61

份,其余几次因故未收集样本。

## 2 残留物分析方法

每次作业后,我们采用物理方法将残留

物分别收集在容器内注明左右发生器名称、作业时间以及燃烧次数,以备分析。

根据催化剂溶液配制时所添加的几种化学物质成分,以及它们在高温下所产生的各种反应,我们推断,残留物中最多可存在以下物质成分:碘化银、银、氧化银、碘化铵、碘化钠、氧化钠等。在高温燃烧过程中还将产生碘以及水等物质,但高温下这两种物质均不会存在。

根据以上推断,我们在化学实验室分析成分和含量时有针对性地进行分析。

表 2 所有样本各成分平均含量

类别	平均重量/g	占残留物/%	折合 AgI 含量/g	占催化剂总量/%	占损失 AgI/%
残留物总量	27.98	100	45.86	9.2	100
银	14.6	52.2	31.85	6.4	69.45
氧化银	0.6	2.1	1.22	0.2	2.67
碘化银	12.78	45.6	12.78	2.6	27.87
碘化铵	微量	微量	微量	—	—

另外,残留物中还存在大量碘化银,这部分的重量平均为 12.78g,约占残留物平均量的 45.6%,占一次作业催化剂总量的 2.6%,在损失的催化剂中,约占 27.9%。

除碘化银和单质银外,残留物中可定量检测到的还有氧化银。这一成分含量不是很多,61 份样本平均每次仅为 0.6g。在残留物中只占 2% 左右份额,折合碘化银 1.22g,占碘化银损失量的 2.67%,约为一次作业使用碘化银总量的 0.2%。

因为残留物中碘化铵的含量很少,实验室中未做定量分析。

### 3.2 不同取样次数样本中各成分含量的变化

#### 3.2.1 单质银的含量

表 3 列出了不同取样次数残留物样本中银的含量变化情况。从表 3 可以看出,随着燃烧次数的增加,残留物样本中金属银的平均含量也在不断的递增。因为金属银是残留物中的主要成分,其变化规律基本上代表了残留物的附着规律,因此可以说,燃烧次数越

### 3 残留物分析结果

#### 3.1 残留物含量

从表 2 可以看出,每次作业后,每个发生器平均残留物的总量为 27.98g,折合碘化银的重量为 45.86g。也就是说每次作业后,平均有 9.2% 的催化剂未进入云中。其中,以金属银的形式存在的残留物有 14.60g,占残留物总量的 52.2%,折合碘化银 31.85g,相当于一次作业单个发生器所加碘化银总量的 6.4%。

多,燃烧时间越长,残留物含量越多。

表 3 单质银的含量

燃烧次数	平均含量/g		最大值/g		最小值/g	
	左	右	左	右	左	右
1	12.4	13.6	14.5	15.0	9.53	10.5
2	13.6	14.4	15.42	17.9	10.8	10.9
3	15.4	15.35	20.50	19.3	10.3	11.4
4	15.8	15.93	—	—	—	—

注:表中数据以加催化剂次数为准,已平均到每次作业

#### 3.2.2 氧化银的含量

从表 4 中可以看出,残留物中氧化银的平均含量随着燃烧次数的增加,越来越多,但增量不大,只有 4 次燃烧取的平均值有较大跳跃,极值变化较离散,规律不明显。

表 4 残留物中氧化银的含量

燃烧次数	平均含量/g		最大值/g		最小值/g	
	左	右	左	右	左	右
1	0.54	0.33	0.59	0.49	0.38	0.24
2	0.57	0.37	0.61	0.47	0.50	0.20
3	0.60	0.65	0.82	0.87	0.36	0.23
4	0.78	0.71	—	—	—	—

#### 3.2.3 碘化银的含量

表5 残留物中 AgI 含量

燃烧次数	平均含量/g		最大值/g		最小值/g	
	左	右	左	右	左	右
1	6.71	11.76	12.64	22.54	0.79	0.98
2	13.36	16.34	13.57	29.32	13.16	6.73
3	17.91	42.65	29.71	57.86	9.67	34.34
4	8.63	28.27	8.63	28.27	—	—

表5的数据表明:残留物中 AgI 的含量变化与燃烧次数之间没有明显的规律,这主要是因为 AgI 的形成主要与发生器的工作是否正常有关,作业期间,溶液燃烧一直正常,残留物中 AgI 含量就很少,否则就会大

量堆积,这一部分也是我们在工作中减少残留物的主要对象,我们将在后面的章节予以详细讨论。

### 3.3 不同浓度 AgI 溶液残留物各成分含量

由于实际工作需要,我们在降雨中一直使用 2% 碘化银溶液,为了比较不同浓度碘化银溶液残留物成分含量,我们在 1995 年 6 月 16 日的降雨中使用了 3% 碘化银溶液,在作业后收集样本两份,对此样本进行了实验室分析,表 6 给出了所有 2% AgI 溶液残留物样本各成分平均含量与 3% AgI 溶液残留物成分含量比较。

表6 不同碘化银浓度残留物含量

AgI 浓度	2% AgI/g	折合 AgI/g	占 AgI 总量/%	3% AgI/g	折合 AgI/g	占 AgI 总量/%
AgI 用量	500					
总残留物	27.98	45.86	9.2	45.84	76.2	10.2
单质银	14.6	28.34	6.4	23.4	51.01	6.8
氧化银	0.6	1.22	0.2	1.15	2.68	0.35
AgI	12.78	12.78	2.6	22.54	22.54	3.0

从表 6 可以看出,3% 溶液残留物总量比 2% 溶液残留物总量有明显增加,升幅达 64%,而两种溶液中的 AgI 含量只相差 50%。

单质银的含量 3% 溶液也较 2% 溶液有大幅增加。但其折合 AgI 总量之比并不多,均在 6%~7% 之间。

氧化银含量虽说也有倍数增加,但因绝对量较少,对残留物总量影响不大。

最后一项是残留物中的碘化银含量。随着溶液中 AgI 浓度的增加,残留 AgI 含量也增加了约 76%。

总的来说,随着溶液 AgI 浓度的提高,残留物中各成分的含量也越来越多,各成分折合 AgI 含量与一次作业 AgI 用量百分比均比低浓度溶液有所提高。

### 3.4 不同助溶剂溶液残留物成分含量

本试验开始后,由于实际工作需要,我们

在播撒工作中没有再使用碘化钠做助溶剂。

表 7 中的 AgI-NaI-丙酮样本是我们在该试验开始以前收集的一份样本,其 AgI 浓度也是 2%,也一并做了实验室分析,在此与 2% AgI-NH<sub>4</sub>I-丙酮溶液样本的平均值作一比较。

从表 7 可以看出,虽然两种溶液助溶剂不同,但其残留物总量以及主要成分及其含量差异不大,所不同的只是一种含 NH<sub>4</sub>I 微量,另一种存在 NaI,但因其含量少,对降雨作业影响不大,均未做定量分析。两种助溶剂配制的溶液残留物在各成分的含量上也有小的差异,主要表现在:NaI 作助溶剂的残留物总量以及单质银的含量均比 NH<sub>4</sub>I 做助溶剂要高。氧化银含量基本相同。以上分析表明:残留物的成分及其含量主要与溶液中的 AgI 浓度有关。

表7 不同助溶剂 AgI 溶液残留物含量

	AgI-NH <sub>4</sub> I-丙酮			AgI-NaI-丙酮		
	含量/g	折合 AgI/g	占 AgI 总量/%	含量/g	折合 AgI/g	占 AgI 总量/%
AgI 用量/g	500	500	100	500	500	100
总残留物/g	27.98	48.56	9.2	28.66	50.00	10
单质银	14.60	29.34	6.0	17.61	38.38	7.6
氧化银	0.6	1.22	0.2	0.55	1.12	0.2
AgI	12.78	12.78	2.6	10.50	10.50	2.1
	碘化银微量			碘化钠未做定量分析		

### 3.5 残留物的附着及其成因

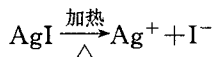
#### 3.5.1 残留物附着规律

(1) 燃烧时间越长,加催化剂次数越多,燃烧室残留物总量就越多。数据分析表明,多次燃烧取样,即使将残留物总量按每次作业进行平均,也比一次燃烧取样残留物的含量多,这说明燃烧室内壁的清静度、光滑度与残留物的含量有很大关系。实际工作中应每次进行残留物清理,以保持内壁的清静与光滑。

(2) 碘化银浓度与残留物的附着有很大的关系。AgI 浓度越高,残留物总量越多,而且残留物增加的幅度超过了碘化银浓度增加的幅度。分析认为,这主要与 AgI 浓度提高后喷出的雾状溶液的粒子浓度提高有关。同样的气流速度和同样的燃烧温度下,粒子堆积在燃烧室,有一部分来不及被气流带走和稀释,就粘附在燃烧室内壁上。有关这一点在后面还将继续讨论。

(3) 所有残留物中均有 40% 以上的碘化银。最多的一次达 86.9%。而且 40% 这一数字还有低估的可能。

(4) 残留物中单质银的比例一般在 50% 左右,占一次作业 AgI 用量的 9%~10%,这一部分的形成主要是由于 AgI 在高温下的分解造成的。



冷却后 Ag<sup>+</sup> 和 I<sup>-</sup> 结合成 AgI,由于碘易逃逸,再结合不完全,于是就有一部分 Ag<sup>+</sup>

离子还原为金属银,金属银的熔点高达 960.5℃,而器壁上的温度要低于此温度,所以在发生器壁上会有银的沉积物。另一个原因就是(3)中提到的粘附在器壁上的 AgI,当溶液再次燃烧时,表面也会有一部分 AgI 中的碘逃逸,而析出金属银。

(5) 残留物中的氧化银含量不是很高,仅占总残留量的 2% 左右,这一部分主要是析出的金属银高温下氧化所致。

#### 3.5.2 碘化银形成原因

从收集到的残留样本的物理性状可以看出:部分是板块状结构,取出这些块状残留物,观其断面,可以看出是由多层结构排列组成。最下面是较厚的黄色 AgI 层,在其上是薄的黑色层,最上面是白的金属银层。从以上残留物的物理结构可以推断出残留物中的碘化银主要是由于仪器工作不正常造成的。比如:点火不正常,电磁阀衔铁部分生锈封不严;进液管或喷嘴堵塞;螺旋进风口不清洁;石棉隔热垫损坏,不密封;进气口堵塞。以上原因均可导致溶液喷出不连续,燃烧不正常。由于丙酮极易挥发,不燃烧的雾状溶液喷出后,由于内壁阻挡,丙酮挥发后,析出的碘化银大部分进入空中,还有一部分粘附在器壁上,当再次点火后,燃烧室温度又上升到 600℃ 以上,器壁上最上层的 AgI 在高温下升华或分解,析出银。所以说残留物中的 AgI 含量有低估可能。这样碘化银的含量可能会占到残留物总量的 50%。

另一种原因:正常燃烧的雾状溶液中,AgI的反应方式有两种:一种是直接升华,冷却—凝结为AgI,另一种是分解再结合成AgI,因AgI的熔点是552℃,正常燃烧情况燃烧室温度一般在600℃以上,升华的AgI不大可能在器壁上冷却凝结,即使有,量也很小,所以我们认为,残留物中的AgI成分主要是由于仪器工作不正常,溶液中直接析出AgI所致。这为我们在实际工作中大量减少残留物提供了可能,因为我们可以通过改进和维护仪器来保证仪器的正常工作,从而减少或根除残留物中高达50%左右的AgI的形成。而同样的要减少残留物中金属银的附着,其难度就要大得多,甚至会收效甚微。

#### 4 减少残留物对策

残留物现象给人工降雨工作造成一定的损失,对仪器的正常工作也有一定影响,我们研究残留物的含量成分,最主要的目的还是要在实际工作中减少残留物的附着。这方面我们在实际工作中已做了很多尝试。从前面的分析讨论中,我们得知残留物中最主要的两种成分:一种是AgI,另一种是金属银,二者占到残留物总量的90%以上。因为残留物中的AgI主要是由于仪器工作不正常造成,只要能保证仪器的工作正常,这部分几乎可以消失,如果这样,残留物就会减少一半。所

以几年来我们将减少残留物的重点放在减少碘化银的含量上,主要对策就是通过改进和强化发生器的各部分的功能,并通过日常的维护保养来使发生器正常工作,从而减少或消除碘化银的附着。

除此之外,我们对残留物中银的减少也进行了实践并已取得效果。

(1) 因为碘化银浓度增大,残留物总量和银的含量均有较大增加,所以在配制溶液时,将碘化银的浓度控制在3%以下,一般使用2%。

(2) 改进集气室结构使气流流速增大,通风流畅,起到迅速稀释燃烧室粒子浓度的作用。

(3) 每次作业完后,检查石棉密封垫和气流回旋板,并清洁其表面,以保证回旋气流全部迅速从溶液喷口周围流出。

(4) 在配制催化剂溶液时,添加5%蒸馏水降低丙酮燃烧率,从而使燃烧室温度降低,有关这一点还没有在实际工作中使用。通过以上实践,预计残留物最大减少量可以达到60%左右。

#### 参考文献

- 1 卢玩顺,李培仁,韩淑云. BS-1型机载AgI发生器的维护与改进. 气象,1996,22(10).

## Composition Analysis of Remains in Firebox of Aircraft-loaded AgI Operator

Li Peiren Lu Wanshun Pei Jucai Han Shuyun Sun Guode

(Artificial Precipitation Office of Shanxi Province, Taiyuan 030002)

#### Abstract

The chemical composition of remains in AgI operator was analysed. The sticking rule of remains and the cause of remain formation were studied. The countermeasure to reduce remains was suggested.

**Key Words:** AgI operator remains seeding agent