

机载 19 管多星体拖曳式焰弹催化系统

金凤岭¹ 李靖平¹ 郑凯¹ 翟国辉²

(1 黑龙江省人工影响天气办公室, 哈尔滨 150030; 2 黑龙江省气象局, 哈尔滨 150001)

摘要 北方大范围层状云和混合云飞机人工增雨(雪)是解除干旱、森林灭火、改善生态环境的重要途径之一。研制的 L-1 型机载 19 管多星体拖曳式焰弹催化系统可满足上述需求。该系统由多星体焰弹弹体、AgI 焰剂、发射装置和电控装置构成。试验和初步应用证明,该系统工艺稳定、操作简便、发射成功率 100%, 催化剂成核率在 $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时高达 10^{15} 个/g, 入云 5 min 内 90% 的核即可活化, 携弹量 760 枚, 可连续作业 4 h 以上, 后向发射, 作业方式灵活。与目前使用的龙 B-2 型焰弹催化系统相比, 该系统是一种新型优越的催化系统。

关键词 多星体焰弹 催化系统 发射装置 控制装置 人工增雨(雪)

引言

干旱以及由干旱引发的森林和草原火灾是我国大部分地区的主要气象灾害之一。人工影响天气作为减轻这类灾害的手段, 尚属一门不很成熟的科学, 仍有诸多理论和技术难题需要研究和解决, 飞机人工增雨(雪)催化系统就是其中致力研究的课题之一。目前, 俄罗斯使用的发射式焰弹催化系统双侧携弹量为 128 枚^[1,2], 焰剂成核率为 10^{14} 个/g; 美国使用的下投式焰弹催化系统(有 2 种型号)双侧携弹量在 128~156 枚之间^[3~6], 焰剂成核率为 10^{13} 个/g。国内使用的有水平式播撒制冷剂(如液氮、液态干冰)催化系统、水平式播撒碘化银丙酮液发生炉、水平式播撒焰剂末端燃烧器、下投式焰弹催化系统, 侧向发射式焰弹催化系统等。上述催化系统(或催化装置)均有各自的优点, 但缺点也突出。不论是国外还是国内同类焰弹催化系统, 携弹量明显不足, 作业时间只能维持 1.5 h 以内, 且多数成核率较低。致冷剂的催化效率要比碘化银焰剂的效率低, 国外早已不用致冷剂进行人工增雨; 水平式催化系统只能在云内作业, 易受较强气流的影响, 不能保证人机安全。因此, 研制一套催化成核率高、作业时间长、在云内外均能作业且安全可靠的催化系统, 已成为飞机人工增雨(雪)作业的迫切要求。

1 研制目标

对俄罗斯和美国的同类系统进行了深入分析, 对国内相关材料和能加工该系统的厂家进行了调研, 在此基础上确定了研制目标: ①从国内外已有的众多焰剂配方中, 筛选出最佳配方; ②弹体挂载量与飞机飞行作业时限尽可能保持同步, 使投入产出比达到较高水平; ③根据云况, 使飞机在云内外均可作业, 提高作业的灵活性和安全性; ④通过机载探测设备, 了解云中水汽含量和分布状况, 根据有关判据和指标, 提高催化作业的针对性, 尽可能进行科学作业; ⑤发射装置坚固、轻便、安装通用性好, 确保安全; ⑥控制装置稳定、灵敏、操作方便, 出现故障时具备应急功能, 确保可靠; ⑦各子系统间的连接合理匹配, 形成完整的统一体。

2 总体设计

(1) 采用 BR-91-Y 型 AgI 焰剂配方, 经在 2 m^3 云室中检测, 成核率在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时不低于 3×10^{15} 个/g, 在国内外同类配方中属于最佳配方^[7~9]。

(2) 固定在发射架内的 19 管弹体管壳分别用 32 mm 不锈钢管、玻璃纤维管和直管进行试验, 这几种管壳都符合作为弹体的技术要求。但 32 mm 不锈钢管性能更可靠, 其相关参数完全满足焰弹发

射时产生的高温高压和高湿环境的技术要求,因此最终选择不锈钢管作焰弹弹体。

(3)为保证发射成功率达到 100%,焰弹中分层装进发射药、过渡药和焰剂。其中过渡药设 3 级点燃焰剂,以便使 AgI 的燃烧温度达到 900~1000 ℃,形成颗粒比较均匀的气溶胶凝结核。

(4)考虑到每次飞行作业最长在 4 h 以上,飞机两侧发射架内弹体的焰弹携带量定为 20×19×2 发。焰弹的点火由 19 孔弹夹式发射装置及电控箱完成。

(5)每颗焰弹燃烧时间为 7±1 min。
(6)发射装置装弹后的重量小于等于 46 kg;
(7)与飞机的接口线小于等于 9 根(含温、湿度传感器的接线)。

(8)发射装置适合安装在目前普遍使用的各种型号飞机上,不必再进行改装。

(9)成核率检测在中国气象科学研究院 2 m³ 云室内进行,性能控制特性在某军工试验基地进行,理化分析在齐齐哈尔建华机械厂进行。

这种设计与国内外下投式和发射式催化系统相比具有明显的优势,主要体现在同等条件下成核率高出 1~2 个量级;携弹量,是俄罗斯的 5.9 倍,是美国的 4.8 倍,可大大延长连续作业时间,提高投入产出比;在云内外均可以实施催化作业,除稳定云系外,也适用于生命史短暂的层积云催化,安全可靠。

3 产品结构及工作原理

3.1 焰弹结构及工作属性

焰弹结构如图 1 所示。将装有多星体焰弹的弹体放入发射装置内,接通额定电流后,电底火启动发射弹药工作。点火药产生高压、高温气体,将药柱点燃并将密封顶盖推射出弹壳体,燃烧的药柱以 900~1000 ℃ 的高温继续自由落体方式入云。药柱分过渡药与焰剂两段,先点燃过渡药,约 3~4s 产生

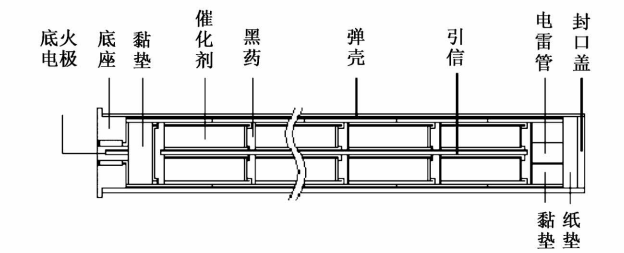


图 1 焰弹结构

高温,再点燃催化焰剂,在其喷射过程中产生大量含有 AgI 颗粒的气溶胶凝结核。

3.2 发射装置的结构及工作原理

图 2 为发射装置结构。发射装置选用不锈钢和铝合金制造,机械强度与 45[#] 钢材相当。电极板选用绝缘电极。外壳前部有整流罩呈流线型。单个发射装置的重量(含焰弹)小于等于 46 kg。焰弹向飞机尾部方向发射,发射方式分手动和自动 2 种,手动发射每次 1 枚,自动发射间隔时间在 1~999 s 范围内选择。根据需要还可群发。

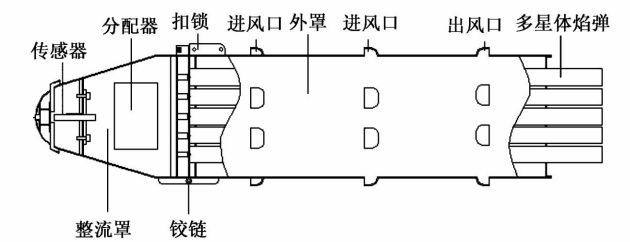


图 2 发射装置结构

3.3 发射控制箱结构及工作原理

图 3 为发射控制箱结构示意。将发射装置的固定卡分离后,打开整流罩,沿梅花孔装入 19 管焰弹,再将发射装置按原样固定。根据不同季节、不同云系、不同云层结构,借助地面指挥技术系统,飞机起飞到达作业目标区后,打开控制箱的电源开关,这时,所有显示器为零。再打开发射开关(左或右),选择手动或自动按钮。手动时,按发射按钮即可发射;自动时,选择间隔时间即可。如果电路发生故障,可选择应急发射方式,这时手动发射按钮直接控制继电器工作。

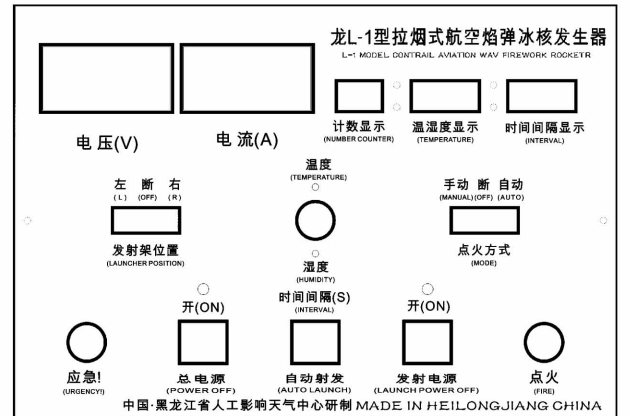


图 3 发射控制箱结构

4 研制过程中解决的关键技术

4.1 弹体

(1)改造了压制工艺。以往催化药剂通常采用压制工艺,应用中出现诸多问题,如燃烧时断火、电极接触不良、哑弹概率较高等。现在采用分层压制方式,即点火药为 1 级点火,其化学性能稳定,点火温度低,极易点火;引燃药为 2 级点火,产生的燃烧温度较点火药高;过渡药为点燃催化剂的火药,燃烧温度较引燃药高,其药剂量多少可调节点燃剂时间。根据多年实践经验,确定点燃 AgI 焰剂时间为 3~4 s。经过 100 多次试验,发射成功率为 100%。

(2)筛选出最佳发射药量。发射药点燃后可产生一定的压力气体,将下方药剂点燃并以一定的速度将密封顶盖推出弹壳。但药量过多将破坏弹壳和发射装置;药量不足则冲不开顶盖,发射不出焰弹。经多次试验,发射药量点火后产生的推力应以 5~10 m/s 为宜。

(3)将点火方式设计为电点火。需要多次试验才能确定电底火的结构。电底火包括接触电极、电热感应元件、引燃药等。该设计是解决手动和自动发射焰弹的关键技术。

4.2 催化焰剂

(1)从国内外多种配方中筛选出目前成核率最高、核化速率最快的 BR-91-Y 焰剂配方。

(2)解决了 AgI 均匀混合、防吸湿的压制工艺。

(3)解决了焰剂燃烧稳定性问题。经多次试验,采取在催化焰剂外加涂阻燃剂及保护层措施,使焰剂在降落并燃烧过程中始终保持层面燃烧,避免球面燃烧并保持近乎静态燃烧,确保了燃烧的稳定性。

4.3 发射装置

根据机载装置外型呈流线型、结构坚固、重量轻、安装接口通用性好且方便省时的要求,选择了铝合金压铸成形板材,关键部位选用不锈钢材,比安全阀值大 7 倍。所谓安全阀值是指:经过试验得出的焰弹发射时在发射装置内产生的高温高压临界值(临界值为 500 kg)。另外为安全起见,发射装置设计了 4 道保护措施:①发射电源保护,不接通发射电源则不能发射;②电源保护,电源开关关闭时,机上所有电源保持切断状态;③限流保护,1 A 电流最多只能提供发射 2 发焰弹的能量;④光电耦合器隔离和继电器双重保护,不会漏电以避免误发。

4.4 控制箱

它由自动和手控及应急发射开关、电源、脉冲发生器、发射计数器、温湿度计、数字时间间隔继电器和外壳组成。解决的关键技术是分配器的设计。结构为 2×38 个触点,步进电磁式。其特点是可靠性高,温、湿度对其均无影响,克服了以往脉冲分配器的诸多缺点。

5 应用情况

该系统研制完成后,主管部门组织专家进行了现场测试,验收鉴定,并已申请国家专利。2006 年 5~6 月间,在飞龙公司的运-12 型飞机上安装试飞,作业 2 个架次,飞行 7 h,共发射焰弹 1520 发,发射成功率 100%,分别在云内和云外进行作业,根据地面雨量资料分析,作业区和影响区降雨量均比非影响区降雨量大 5~8 mm,对大兴安岭林区灭火发挥了积极作用。2007 年再试运行一年,在此基础上向国内外推广。

根据古巴科技部与中国气象局技术合作协议,中方以技术支持作为对古巴的科技服务项目,2006 年 6~8 月在古巴实施飞机人工增雨作业。针对古巴人工影响的对象云以积云为主、发生发展消亡快的特点^[10~12],将本系统的群发(一次可发射 5 枚焰弹)技术应用到飞机增雨作业中,效果非常显著。其中最大的一次过程降水量达到 92 mm,引起媒体的热烈反响。据古巴气象部门介绍,热带积云如不人工干预,很难进一步发展并出现降水。对 2006 年 6~8 月共 20 余架次飞机人工增雨效果的统计,古方认为,增雨量至少在 20% 以上。古巴主管部门充分肯定了该技术,并提议开展深入和长期合作。

6 小结

该系统经 3 年的研制和初步应用,基本达到了预期目标。4 个子系统衔接良好,运行协调。经云内外催化作业,基本达到同样的效果,且能保证安全可靠。发射成功率实现 100%,根据需要,既能点发,也能群发;既能对层云进行催化,也能对积云进行催化。在目前使用的人工增雨飞机上均能安装,不必重新改装,通用性好。该系统具有很好的推广前景,目前已有国内外需求方,有的已签定购置合同,有的提出购置意向。

在试用过程中,点发时偶尔发生连发,需要进一

步改进装弹工艺,发射架仍有减轻重量的余地。

参考文献

[1] 李大山. 人工影响天气现状与展望[M]. 北京:气象出版社, 2002:245-246.

[2] 张铮,黄涛. 二十四种有机化合物成冰性能的实验研究[J]. 气象学报,1979,37(1):101-105.

[3] 章澄昌. 人工影响天气概述[M]. 北京:气象出版社,1992:217-229.

[4] 李大山. 人工影响天气现状与展望[M]. 北京:气象出版社, 2002:231-232.

[5] Grant L O,Steele R L. The calibration of silver iodide generators [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc. , 1966:713-717.

[6] Finnegan W G. Evaluation of ice nucle generatorsystems [J]. Nature,1971,(232):113-114.

[7] Henderson T J. A ten year non-randomized cloud seeding program on the Kings river in California [J]. J. Appl. Meteor. , 1966, 5 (5):697-702.

[8] 鄧大雄,Finnegan W G. 一种快速高效的冷云催化剂——AgI·AgCl-NaCl 复合冰核[G]//气象科学技术集刊(8). 北京:气象出版社,1985:37-42.

[9] 鄧大雄. 几种 AgI 焰弹成冰性能的比较[G]//气象科学技术集刊(9). 北京:气象出版社,1985:77-87.

[10] 许焕斌,田利庆,段英. 关于积云增雨和实施方案的探讨[J]. 气象科技,2005,33(增刊):1-6.

[11] 贾惠珍,寇书盈,孟辉,等. 强对流云新概念在积云人工增雨作业中的运用[J]. 气象科技,2005,33(增刊):7-10.

[12] 黄岩彬,陈秋萍. 对流云人工增雨潜力初步探讨[J]. 气象科技, 2005,33(增刊):40-43.

Air-Borne 19-Pipes Towed Flame Seeding
System with Multiple Warheads

Jin Fengling¹ Li Jingping¹ Zheng Kai¹ Zhai Guohui²
(1 Weather Modification Office, Heilongjiang Province, Harbin 150030;
2 Heilongjiang Provincial Meteorological Bureau, Harbin 150001)

Abstract: The aircraft weather modification in large-scale stratiform clouds and mixture clouds in North China is one of the important ways to relieve droughts and forest fires and improve the natural environment. The self-developed L-1 Seeding System of Air-borne Towed Flame with Multiple Warheads and 19 Pipes can meet the needs of precipitation enhancement operations. The system consists of the multiple warhead ammunition body, AgI catalyst, and launching and power control units. According to the experiments and primary application, the system shows obvious features of stable, easy to operate, and 100% launch rate. The nucleus rate is high up to above 10¹⁵ kg AgI at -8 ℃ and the 90% nucleus can be activated in 5 minutes after getting into clouds. The launcher can carry 760 flares so as to seed for 4 hours ceaselessly and can shoot backward. The Long B-2 flame seeding system used presently has just 90% launch rate, and the launcher can carries only 200 flares, operating for only 1.5 hours and shoots laterally with less flexibility, so mechanical failures occurs frequently.

Key words: flame with multiple warheads, seeding system, launch device, control device, precipitation (snow) enhancement