新型 AgI 末端燃烧器及其在增雨作业中的应用

汪晓滨[1,2] 毛节泰[2] 郑国光[3] 楼小凤[1]
马舒庆[4] 李仑格[5] 关立友[1]

(1 中国气象科学研究院 ,北京 100081 ; 2 北京大学物理学院大气科学系 ,北京 100871 ; 3 中国气象局 ,北京 100081 ; 4 中国气象局大气探测技术中心 ,北京 100081 ; 5 青海省人工影响天气办公室 ,西宁 810001)

摘要 文章对我国新型 AgI 末端燃烧器的研制情况、结构和改造及其使用作了介绍 ,简述了这种新催化工具的特点 ,结合 2002 年 12 月至 2004 年 9 月 ,新型 AgI 末端燃烧器在河北、河南、青海、山东和北京飞机人工增雨探测作业试验 ,介绍了新型 AgI 末端燃烧器在 3 种增雨探测作业机型中的使用情况 ,并就其中遇到的问题进行了讨论 ,对如何结合探测作业飞机上所加载的 GPS 导航数据记录系统及其它辅助记录数据进行催化作业情况记录进行了说明。

关键词 飞机增雨 AgI 末端燃烧器 作业数据记录

引言

作为国家“十五”科技攻关项目“人工增雨技术研究及示范”中的“人工增雨催化技术研究”专题的重要研究内容之一 ,新型机载 AgI 末端燃烧器及其外场催化试验和应用 ,是“十五”期间飞机人工增雨机载催化技术方法优选工作中的一项重要内容[1]。针对以往我国机载 AgI 丙酮燃烧炉和机载人工增雨焰弹 AgI 焰剂播撒量偏低和成核率不够高的问题 ,中国气象科学研究院人工影响天气研究所(以下简称气科院人影所) 与内蒙古北方保安民爆器材有限公司和哈尔滨飞龙航空公司(以下简称民爆器材有限公司) 合作 ,联合研制开发了新型机载 AgI 焰剂发生产品及其机载作业控制系统。

2002 年 12 月 20 日至 2004 年 9 月 27 日 ,该系统在河北、河南、青海、山东和北京飞机人工增雨探测作业试验中 ,针对不同降水天气过程 ,参与了以上地区有科学设计的地面和高空相配合的飞机人工增雨探测作业试验。本文旨在介绍我国新型 AgI 末端燃烧器的研制情况 ,结合 2002 年 12 月至 2004 年 9 月 ,在河北、河南、青海、山东和北京飞机人工增雨探测作业试验新型 AgI 末端燃烧器在 3 种增雨探测作业机型中的使用情况 ,并就其中遇到的问题进行讨论 ,对催化实施中的数据记录进行总结 ,并对一些可用的辅助资料情况进行解释说明。

1 新型 AgI 末端燃烧器的研制

AgI 是目前飞机增雨所使用的最常用的无机冰核[2~6]。AgI 末端燃烧器是为发展机载 AgI 催化工具而研制开发的新型机载 AgI 焰剂发生产品。在进行了末端燃烧器的设计、制作加工 ,计算了达到火箭成冰核率所需的燃烧剂量 ,解决了 AgI 末端燃烧焰条中催化剂的密封问题后 ,还进行了 AgI 焰剂的低温试验 ,即 AgI 焰剂在 - 40 ℃的容器蓄放 24 h ,不影响焰条的使用寿命。随后的外场实践也验证了这一特性 ,在探测作业飞机飞到 8210 m 海拔高度 ,机舱外环境温度达 - 22 ℃ ,未燃的 AgI 末端燃烧焰条在低温状态滞留 1 h 以上后 ,在其后续架次中仍能正常点燃作业 ,且燃烧特性基本不变。

新型 AgI 末端燃烧器可机载到适宜进行 AgI 焰剂催化作业的位置 ,通过机舱内的操作控制器或地面遥控 ,以电击火方式点燃释放 AgI 焰剂。由于

国家十五科技攻关项目“人工增雨技术研究及示范”(2001BA610A-06) 资助
作者简介 :汪晓滨 ,男 ,1963 年生 ,在读博士 ,主要从事飞机探测、云降水过程分析等研究工作
收稿日期 :2004 年 9 月 16 日 ;定稿日期 ;2004 年 11 月 25 日

这种新型 AgI 末端燃烧焰条可逐根点燃和多根点燃作业,因此可根据飞机实时探测的云降水物理场状况,来选择 AgI 焰剂播撒量。采用这种固态 AgI 末端燃烧焰条的燃烧方式,还回避了以往 AgI 丙酮燃烧炉作业时由于 AgI 气体对容器喷嘴造成腐蚀,而影响催化剂烟雾在作业时的有效扩散问题[7~9]。

AgI 末端燃烧焰条形状为圆柱形,主要由接电铜片、焰管外壳、定位柱、喷焰口、防潮塞和管内的催化药柱构成。在增雨作业飞机升空前,AgI 末端燃烧焰条由工作人员逐个解开包装后,装载到 AgI 末端燃烧焰条作业架上,在探测飞行到适宜的作业条件时进行逐个或多个击发点火。点燃形成焰羽后的焰条一般会持续燃烧 10 min 后熄灭。在探测飞行降落后,这些燃烧后的焰条再由工作人员卸下,作业燃烧后的 AgI 焰条管内会有一些黑色碳状残留物。

AgI 末端燃烧焰条尾部是接电铜片装置,用于电击火,以控制 AgI 末端燃烧焰条的点燃。点火使用电压 28 V,输出电流大于 10 A。在焰条外壳,距离焰条末端 9 mm 处有 2 个定位柱,是焰条作业架上固定焰管的卡口。焰条头部为喷焰口。"夏延"和"运-12"飞机所使用的 AgI 末端燃烧焰条每根重量 1080 g,管长 412 mm,管径 49 mm,催化剂燃料重量 550 g,AgI 含量 11 g。在河北正定机场的地面燃烧试验中,AgI 末端燃烧焰条燃烧时间为 9 min,飞行中的燃烧时间则随飞行高度和空速而变化,但都大于地面燃烧时间。作业飞行高度越高,焰条燃烧时间就越长,在 5000 m 海拔高度、100 m/s 的空速时,一般燃烧时间为 13 min。

AgI 末端燃烧焰条包装采用木箱装箱,每箱 8 根,每根 AgI 末端燃烧焰条又由塑料袋封装,具有良好的密封防潮作用。AgI 末端燃烧焰条出厂的标定储存期为 3 年。试验期间发现,装载在"夏延"飞机播撒架上的 AgI 末端燃烧焰条,在日晒雨淋下仍有较高的点火发焰率。

2004 年 6 月,在北京飞机人工增雨外场试验提出需进一步改进 AgI 末端燃烧焰条的点火性能后,气科院人影所和民爆器材有限公司根据一年多的外场试验情况,进一步提高了 AgI 末端燃烧焰条和作业架的技术标准并对作业架进行了改进。2004 年 6 月 12 日以后出厂产品形状和外观虽然未变,但个别参数有些变化,如:管长 410 mm,比以前减少 2 mm;管径 46.5 mm,较前减小了 2~3 mm;催化剂总质量 590 g,较前增加 40 g;AgI 末端燃烧焰条总重量为 1070 g,较前减轻 10 g。

2 在外场试验中的应用

2002 年 12 月进行的河南省冬季飞机人工增雪外场综合探测飞行试验中使用了新型 AgI 末端燃烧器,2003 年 3~4 月河北、河南春季抗旱型飞机人工增雨综合探测外场试验,2003 年 7~9 月和 2004 年 4~9 月北京地区水资源增蓄型人工增雨示范试验研究,2003 年 9~10 月青海省水资源增蓄型人工增雨示范试验研究,山东省东营黄河入海口和滨州沾化县对流云人工增雨外场综合探测试验。下面分别根据"夏延"、"运-12"和微型无人驾驶气象探测作业小飞机 3 种机型所进行的外场试验情况进行讨论。

2.1 "夏延"飞机机载 AgI 末端燃烧器

"夏延"飞机的 AgI 末端燃烧器装载在飞机的左右机翼末端,类似美国云降水探测作业飞机夏延-Ⅱ。在 2004 年 5 月 12 日以前,左右翼作业架上可装载各 10 根 AgI 末端燃烧焰条,由于 2004 年 5 月初的云降水探测仪器的改装,以及其后作业架的改造,在左右翼作业架上只能各搭载 9 根 AgI 末端燃烧焰条。这些 AgI 末端燃烧焰条均可通过机翼末端作业架与机舱内的电点火系统相连的控制装置来点火作业,在飞行到适宜进行 AgI 催化作业条件的部位,操纵机舱内标有左右顺序的电点火按钮,可进行多根 AgI 末端燃烧焰条或单根 AgI 末端燃烧焰条的作业。

由于"夏延"飞机新型 AgI 末端燃烧器作业架在设计上属国内首次,因此针对其在河南飞机人工增雪外场试验中发现的问题,在河北外场试验中,改善了其点火控制装置,对期间发现的点火率偏低的问题,也尝试对 AgI 末端燃烧焰条进行点火部位的钝化处理技术,来提高 AgI 末端燃烧焰条的点火效率,并进一步明确了 AgI 末端燃烧器催化数据的观测记录内容。这些工作为后续进一步提高 AgI 末端燃烧焰条的催化作业效率打下很好的基础。

AgI 末端燃烧焰条属易燃易爆品,在实际应用时,特别是进行电点火时,应密切注意其点燃是否正常,发现可能影响飞行安全的情况,及时与机组人员联系,共同处理飞行探测作业中的紧急情况。此外,在试验中也发现个别 AgI 末端燃烧焰条在击发后,虽被正常点燃,但无焰羽形成,飞行结束后检查发

现,这些 AgI 末端燃烧焰条点火击发后未形成正常燃烧,这类问题也需在随机观察中进行明确记录。

从河北、北京、青海和河南外场试验看,早期的 AgI 末端燃烧焰条在 5000 m 左右的海拔高度、100 m/s 的巡航速度下,一般燃烧时间为 13 min。由此推算,一根 AgI 末端燃烧焰条可播撒 98 km 的航路,满载 AgI 末端燃烧焰条,进行单根连续作业,可播撒 1960 km 的航路。至于其播撒面积的估算,需根据催化剂扩散模式,来进行更精确的推算[10]。2004 年 6 月 12 日以后的改进型 AgI 末端燃烧焰条,在 5000 m 左右的海拔高度、100 m/s 的巡航速度下,一般燃烧时间为 10 min,可播撒 60 km 的航路。在北京一次 8100 m 海拔高度进行探测作业时,环境温度低于 - 22 ℃,空速 105 ~ 130 m/s,焰条燃烧了 18.516 min。作为一般飞行作业高度(5000 ~ 6000 m),满载 AgI 末端燃烧焰条的"夏延"飞机,单根连续作业情况下可播撒 1080 km 的航路。

在 2004 年 6 月 4 日,北京夏季一次云降水探测作业返航降落后的滑行时,AgI 末端燃烧焰条在地面点火后,以滑行速度直至减速停车的过程中,右边序号为 7 的 AgI 末端燃烧焰条,在海拔高度为 60 m 左右的机场跑道上的燃烧过程中,形成了 9 min 的燃烧焰羽。

2.2　"运-12"机载 AgI 末端燃烧器

"运-12"飞机的 AgI 末端燃烧器作业架,是青海省人工影响天气办公室在 2003 年秋季水资源增蓄型人工增雨示范试验研究中,与民爆器材有限公司合作研制,并装载到"运-12"(3819)飞机上。这种作业架是根据"运-12"飞机上单翼的结构特点,在其支撑架间装置的类似于 AgI 燃烧炉的作业架。左右作业架上可各装载 8 根 AgI 末端燃烧焰条。AgI 末端燃烧焰条尺寸等同于"夏延"飞机所使用的同一产品。以"运-12"飞机巡航速度 70 m/s 推算,一个架次可催化作业的航路为 672 km。

"运-12"机载 AgI 末端燃烧焰条,由于装载在靠近飞机腹部位置,且 AgI 末端燃烧焰条呈环状安放,故在点火后用肉眼不易观察其点火成功与否和熄灭时间,特别是同一侧面,较"夏延"飞机而言,多根焰条同时作业时,更容易混淆记录,因此除加强作业时的记录观察外,还需要加紧设计安装可通过计算机记录焰条燃烧情况的设备,如摄像头或温控感应器。

2.3　微型无人驾驶小飞机机载 AgI 末端燃烧器

气科院人影所和中国气象局大气探测综合试验基地与民爆器材有限公司合作,进行了微型无人驾驶气象探测作业飞机的 AgI 末端燃烧器规格设计和地面点火试验。用于微型无人驾驶小飞机专用 AgI 末端燃烧器的浇铸法生产已由气科院人影所与民爆器材有限公司合作完成,并在北京、内蒙、山东进行了试验。

出于催化作业载荷考虑,在原微型无人驾驶气象探测飞机的技术基础上,将微型无人驾驶人工增雨探测作业飞机的发动机改为 51 型两冲程发动机;油料也改为 10 %硝基油料;探空仪改装到机翼外段;剂 AgI 末端燃烧器装载在微型无人驾驶小飞机背部。试验地点和时间分别为内蒙古自治区太仆寺旗(2002-08-12 ~ 16)、山东省东营地区仙河镇黄河入海口(2002-09-24 ~ 29)和山东滨州地区沾化县(2003-09-19 ~ 22)。

3　催化作业数据记录说明

由于这 3 类飞机进行 AgI 末端燃烧焰条作业时,均缺乏摄像监控和温度监控记录,且作业段的飞行状态,包括飞机的飞行高度、飞行状态(上升、平飞、下降或盘旋)、所处的经纬度、机舱外实际温度、飞行速度、飞机航向和作业焰条序号,均需随机观测人员或地面操作人员进行记录,并在作业后对所记数据进行补充和校验,因此有关各个焰条作业状况的记录,也是外场试验中需要注意的问题。

"夏延"飞机,尽管其机载 GPS 航迹记录中有焰条作业记录一项,但因焰条点燃和熄灭从目测到计算机操作有一滞后,故需注意飞行完毕后,根据随机宏观记录对飞机焰条作业数据做补充、修订和完善。

"运-12"飞机尽管加装有 3 套机载 GPS 记录系统,但也没有与焰条作业相对应的自动记录,因此需像夏延飞机一样,加强作业时的随机要素记录,并以一套精度较高的机载 GPS 数据为基准,进行催化作业状况记录,飞行后再结合其它记录数据进行作业情况数据的汇总。

微型无人驾驶人工增雨探测作业飞机的作业监测和记录,还处于试验阶段,因其飞行探测作业由其机载 GPS 系统控制,可望通过温控器,连接其机载 GPS 控制系统,根据夏延和"运-12"飞机的作业记录和分析经验,直接进行作业状况的电子监测记录。

4 辅助记录资料的分析和使用

在飞机人工增雨探测作业外场试验中,由于探测作业飞机普遍带有机载 GPS 导航记录系统,另外为监测和分析作业效果,随机工作人员可通过数码照相或摄像,取得实际作业的视声频资料,这些资料再结合可能有的飞机空速和飞行环境场的资料,可很好地进行空中催化剂播撒情况的分析总结。

例如,"夏延"飞机其自动驾驶仪上就有飞机空速显示、机舱外风向风速记录和飞机导航记录,这些数据可作为催化剂扩散模式的输入参数,也是进行实际催化面积和催化效果评估的重要推算参数。这些数据的记录也可作为探测作业机载 GPS 数据的补充和校验。

此外,数码相机在探测作业后,对焰条燃烧状况进行拍摄记录,也是作为随机宏观记录或电子记录的重要补充,图 3 为 2004 年 6 月 30 日北京"夏延"飞机增雨作业后,"夏延"飞机右翼作业架上燃烧后的焰条和未燃烧的焰条。正常作业燃烧的焰条对应编号分别为左 8、左 7、左 6、左 5,而左 4、左 3 未进行点火操作。左 9 为 AgI 末端燃烧焰条闲置插口。图 1 为 2004 年 7 月 29 日作业后,"运-12"飞机右翼作业架上的燃烧后焰条和未燃烧的焰条。这次探测作业由于"运-12"飞行高度的温度不适于进行 AgI 作业,故只点燃了 1 个焰条。图片 1、2 上还可见焰条上的雨滴。燃烧后的焰条头部有炭化状痕迹,且头部封口已不存在。

5 结语

(1)新型 AgI 末端燃烧焰条及其作业装置自研制和参与外场试验以来,先后进行了地面燃烧试验和飞机人工增雨探测作业的应用试验,在试验中得到不断改进和完善,并在 3 种增雨探测作业机型("夏延"、"运-12"和微型无人驾驶探测作业飞机)、多种天气(降雪、层状云降水和对流云降水)状况下使用情况良好。

(2)在试验中,结合飞机探测作业的机载 GPS 系统和其它飞机探测作业的数据,进行催化作业的播撒情况记录分析和有关播撒效果的催化剂扩散模拟分析,可明晰探测作业的环境场状况,提供更为可信的分析总结数据。

(3)通过分析数据,并结合随机宏观记录和摄像、数码照相可进行催化状况的分析,可进一步刻画云降水过程中的可能催化效果,进行更为可信的催化效果分析。

(4)在试验中也发现,有必要发展与电子记录相配套的焰条作业摄像记录或焰条口温控记录系统,以确保作业记录的精确性,并减轻随机观测人员探测作业飞行时的工作强度。

参考文献

[1] Zheng Guoguang. A national key research project: Demonstration of precipitation enhancement techniques[C]. Eighth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Casablanca, Morocco, 2003.

[2] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等.大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2003.374.

[3] 鄂大雄.燃烧 AgI 丙酮溶液产生冰核气溶胶[J]. 气象,1991,17(3):3-7.

[4] 潘进军. 人工冰核发生技术[J]. 气象科技,2002,30(2):125-126.

[5] 秦长学.气球携带碘化银焰弹技术研究[J].气象,1997,23(11):11-13.

[6] 秦长学,杨道侠,金永利.碘化银地面发生器增雨(雪)作业可行性及作业时机选择[J].气象科技,2003,31(3):174-178.

[7] 于永华,李连银.碘化银发生器常见故障的识别[J],气象,1998,24(11):48-49.

[8] 李培仁,卢玩顺.机载碘化银发生器燃烧室残留物成分分析[J].气象,1999,25(2):28-32.

[9] 卢玩顺,李培仁.BS-1 型机载碘化银发生器的维护与改进[J].气象,1996,22(10):39-41.

[10] 申亿铭. 云中催化剂的扩散[M]. 北京:气出版社,2003.374.

Application of New Airborne AgI Flare Seeding Generator to Precipitation Enhancement with Aircraft

Wang Xiaobin[1,2]　Mao Jietai[2]　Zheng Guoguang[3]　Lou Xiaofeng[1]
Ma Shuqing[4]　Li Lunge[5]　Guan Liyou[1]

(1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; 2 Department of Atmospheric Science, Physics School, Peking University, Beijing 100871; 3 Chinese Meteorological Administration, Beijing 100081; 4 Atmospheric Observation Technology Center, Beijing 100081; 5 Qinghai Provincial Weather Modification Office, Xining 810001)

Abstract: A new airborne AgI flare seeding generator was described in the aspects of the development process, structure, alteration, and application, which was developed in the project of the national key research project Demonstration of Precipitation Enhancement Techniques. It was used in the Cheyenne ⅢA, Yun-12 and micro-robot aircraft in cloud seeding from 2002 to 2004 in Hebei, Henan, and Shandong provinces as well as in Beijing. The advantages in application of the airborne AgI flare seeding generator are introduced for three kinds of aircraft, respectively. Discussion is made on some problems encountered in application. Especially, an introduction is made to the recording of cloud seeing data in combination with the on-borne GPS data recording system and other supplementary data.

Key words: precipitation enhancement, AgI flare seeding generator, seeding data recording