

新型 AgI 末端燃烧器在北京 飞机增雨作业中的使用分析^①

汪晓滨^{1,2} 张 菁³ 陈 跃¹
刘力威³ 李宏宇³ 何 晖³ 毛节奏²

(1. 中国气象科学研究院人工影响天气研究所,北京 100081;
2. 北京大学物理学院大气科学系; 3. 北京市人工影响天气办公室)

提 要

就 2004 年 4~9 月,北京飞机人工增雨探测作业试验中,新型 AgI 末端燃烧器在“夏延-ⅢA”飞机上的使用和数据记录进行了分析,讨论了如何利用夏延飞机搭载的仪器和辅助记录手段进行作业状况记录,对机上观测人员在记录催化作业时的常见问题提出了解决方案,并就数码相机在作业状况记录中的使用做了介绍。总结了一套可行的作业数据记录方案。

关键词: 飞机增雨 AgI 燃烧器 作业数据分析

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“水资源增蓄型人工增雨技术研究及示范”北京示范区 2004 年的重要外场试验之一^[1],2004 年 4 月 27 日至 9 月 27 日,结合北京地区抗旱增水业务,以及 2008 年北京奥运气象服务的需要,北京市气象局以北京市人工影响天气办公室为组织实施主体,联合中国气象科学研究院人工影响天气研究所、中国科学院大气物理研究所、北京市应用气象研究所和北京大学物理学院大气物理系的科研人员,对 2004 年 4~9 月期间北京周边发生的降水天气过程,开展了有科学设计的地面和高空相配合的人工增水作业和大气科学综合探测试验,其中调用“夏延-ⅢA”探测作业飞机、安-26 作业飞机、“运-12”探测作业飞机和无人驾驶微型气象探测飞机,共进行了春、夏、秋季 16 次降水天气系统的云降水的综合探测作业。本文对这

16 次天气过程、21 次探测作业中“夏延-ⅢA”飞机所装载的新型 AgI 末端燃烧器,在北京的探测作业数据记录进行了总结分析,并就其中的问题进行了讨论。

1 “夏延-ⅢA”飞机及其新型机载 AgI 末端燃烧器

“夏延-ⅢA”云降水探测作业飞机是美国 PIPER 公司生产的双发涡轮螺旋桨通用航空飞机,该机允许在目视飞行规则、仪表飞行规则和已知结冰条件下飞行。“夏延-ⅢA”是 1985 年取得 FAA 的型号合格证。该机机体进行过全尺寸(整机)疲劳试验,总寿命为 25,000 小时(每小时总着陆次数限于 6 次)。改装后的“夏延-ⅢA”飞机,在实际增雨作业探测中的最高飞行海拔高度可达 8200m。

改装后的“夏延-ⅢA”飞机除搭载 PMS 云降水粒子探头外,还配有由中国气象科学研究院凌亨公司研制的、飞机探测作业时可实时显示航迹、进行飞机-地面数据互传及单

^① 国家十五科技攻关项目“人工增雨技术研究及示范”2001BA610A-06 号课题、奥运期间人工防雹消雨作业试验研究 h020620250190 课题共同资助。

点或多点语音通话的机载 GPS 数据传输系统^[2], 机上都搭载有 King-LWC-5 型热线含水量仪、反流式铂金机载测温仪^[3]。2002 年 12 月至 2004 年 6 月 10 日, “夏延-ⅢA”飞机机翼上安装的新型 AgI 末端燃烧器作业架为气科院人工影响天气研究所、哈尔滨飞龙公司和内蒙古北方保安民爆器材有限公司联合设计的, 在飞机左右机翼上改装有各可携带 10 根 AgI 末端燃烧焰条的铝合金作业装置。作业装置空载时的设计重量为 30kg。

在北京飞机人工增雨外场试验中发现首次改装的新型 AgI 末端燃烧器作业架存在点火率不高的问题, 气科院人工影响天气研究所与内蒙古北方保安民爆器材有限公司, 在 2004 年 6 月 8 日再次改装了作业架, 同时根据因 PMS 云降水粒子探测线路改造占用了左右机翼序号为 9 的焰条点火线情况, 废除了左右翼上 9 号焰条的点火功能。

2 新型 AgI 末端燃烧器的作业数据记录

AgI 和制冷剂(如干冰、液态 CO₂ 和液氮)是目前飞机人工增雨最常用的引晶催化物质^[4,5]。我国目前主要机载碘化银焰剂播撒工具 BS-1 型机载碘化银发生器, 一直存在碘化银播撒量低、点火和燃烧中容易出现影响碘化银丙酮催化剂充分燃烧的现象和播撒量难以控制等方面的问题^[6-8]。在 2002 年改装“夏延-ⅢA”飞机时, 考虑飞机负载和密封限制, 决定研制新型 AgI 末端燃烧器作为我国新一代飞机人工增雨的催化作业工具。这种新型的 AgI 末端燃烧器可根据云降水物理参数, 选择多根或单根焰条作业, 从而解决了以往飞机播撒时的播撒量不足问题。

“夏延-ⅢA”飞机新型 AgI 末端燃烧器的作业数据记录, 主要由机上观测技术人员进行目测记录和利用 GPS 航迹记录中的颜色变换进行作业路径记录, 同时通过查询, 可附加记录“夏延-ⅢA”飞机其它观测仪器的资料, 如作业阶段 King-LWC-5 所显示的液态含水量, 机翼上反流式铂金机载测温仪动力增温订正后的温度, GPS 显示的飞机飞行海

拔高度、经纬度和大致地理位置、飞机相对地面飞行速度、飞机航向、飞机飞行状态(爬升、下降、或平飞“之”字型作业); PMS 观测的云降水粒子相态、一维气溶胶数浓度概况、一维云粒子浓度概况、二维云粒子概况和二维降水粒子概况, 包括飞机导航仪表中的高度、经纬度, 飞机电动仪表盘上的温度记录, 以及结合飞机空盒气压表高度或 GPS 显示的飞机海拔高度所目测的作业位置相对于云顶的高度或云区的相对部位。结合这些数据, 在飞行后可对飞机的作业播撒区、播撒高度、播撒区温度、播撒层环境风场以及飞机作业状态进行综合的数据分析, 从而遴选出更能精确描述飞机作业状态和效果的参数。

在探测作业飞行时, 计算机记录数据过程有时会因操作系统问题、存储故障或连接线接触不良而出现数据失真以及计算机重新启动, 因此探测作业飞行中要注意这些数据的记录情况, 从而及时解决发现的问题, 在排除故障的过程中, 可通知同机其他探测作业技术人员, 加强辅助资料的记录, 如利用手持 GPS 补充记录飞机相对地面速度、飞行的海拔高度和经纬度, “夏延-ⅢA”飞机上本身的气象温度计值等, 在探测作业后, 一定要及时对所记数据进行整理分析和讲评, 通过总结, 提高飞机探测作业数据的记录品质。

表 1 统计了北京 2004 年夏延飞机探测作业 AgI 焰条使用情况。从这 21 架次的资料情况看, 2004 年北京飞机探测作业的飞行时间一般为 2~3 小时, 在总的 44 小时 09 分钟的探测作业中, 使用焰条 228 根, 其中有效使用 214 根。其余主要为点火失败和击发后未有焰羽形成。从表 1 看, 单次探测作业未燃焰条个数最多为 3 根。

表 2 为 2004 年 6 月 16 日“夏延-ⅢA”飞机左翼焰条催化作业数据情况记录, 表中列有相应作业焰条的序号, 点火和目测焰羽熄灭时间记录, 点火和焰羽熄灭位置的经纬度、飞行高度、速度、航向和飞机飞行方式说明。这些要素的记录, 以及其后对作业焰羽的维持时间、作业段高度范围、温度和飞行状态变

化的补充整理数据,是进行催化效果分析的 析数据的校对资料。
重要依据,同时也可作为飞行中其它观测分

表1 北京2004年“夏延-ⅢA”飞机探测作业 AgI 焰条使用情况统计

架次	日期	飞行时段	飞行时间	作业记录		
				作业量	故障量	总量
BJ04-01	2004-04-29	16:12~17:42	1小时30分	7		7
BJ04-02	2004-05-02	06:10~08:20	2小时10分	8	1	9
BJ04-03	2004-05-12	06:30~08:40	2小时00分	2		2
BJ04-04	2004-05-16	06:10~08:50	2小时40分	12	1	13
BJ04-05	2004-05-25-1	10:20~12:20	2小时00分	10		10
BJ04-06	2004-05-25-2	14:30~17:50	3小时20分	13		13
BJ04-07	2004-06-04	10:12~12:12	2小时00分	9	2	11
BJ04-08	2004-06-16-1	09:54~12:52	2小时58分	14	3	17
BJ04-09	2004-06-16-2	14:37~16:50	2小时13分	14	3	17
BJ04-10	2004-06-28	10:37~12:13	1小时36分	1	1	2
BJ04-11	2004-06-30-1	09:25~11:10	1小时45分	7		7
BJ04-12	2004-06-30-2	13:59~15:20	1小时21分	4		4
BJ04-13	2004-07-11	15:47~17:18	1小时31分	7		7
BJ04-14	2004-07-18	09:07~11:31	2小时24分	13		13
BJ04-15	2004-07-26-1	09:00~12:25	3小时25分	17		17
BJ04-16	2004-07-26-2	14:51~16:40	1小时49分	2		2
BJ04-17	2004-07-29	09:16~12:18	3小时02分	16		16
BJ04-18	2004-08-12-1	06:17~09:07	2小时50分	16	1	17
BJ04-19	2004-08-12-2	10:09~12:51	2小时48分	15	1	16
BJ04-20	2004-08-15	13:47~15:56	2小时09分	10		10
BJ04-21	2004-09-14	15:34~17:55	2小时11分	17	1	18
合计	21		44小时09分	214	14	228

表2 2004年“夏延-ⅢA”飞机 AgI 末端燃烧器左翼焰条催化作业情况记录表

左翼	8	7	6	5	4	3	2	1	0
点火时间	10:24:10	10:36:22	10:49:30	11:02:35	未燃	未燃	11:16:30	未燃	11:35:29
熄灭时间	10:36:01	10:48:42	10:54:32	11:15:14			11:33:50		11:53:10
燃烧时间	11分59秒	12分20秒	15分20秒	17分39秒			17分20秒		18分31秒
点火海拔高度/m	5224	5225	5239	5226			6651		8079
熄火海拔高度/m	5232	5236	缺	6423			8089		8070
点火航速/km·h ⁻¹	361.00	361.19	324.94	376.46			396.15		380.51
熄火航速/km·h ⁻¹	358.43	319.60	380.51	369.83			377.01		468.27
点火位置(东经、北纬)	116034 4051	11655 4100	11725 4048	11632 4043			11531 4042		11539 4054
熄火位置(东经、北纬)	116534 4100	11724 4051	11708 4044	11536 4042			11531 4055		11546 4045
点火航向	79	76	76	70			93		99
熄火航向	76	79	65	68			0		16
温度	-15	-21.5	缺	缺			缺		缺

作业日期:2004年6月16日 装载焰条数:9 新焰条数:9 作业燃烧焰条数:6

从表中这组记录可见,“夏延-ⅢA”飞机由于种种原因,在探测作业时会出现焰条在击发后未被点燃,或无焰羽形成的现象。本个例9根焰条中有3根焰条未燃着,一般情

况下18根焰条,仅有1根焰条不着。每根焰条的燃烧时间,随飞行高度和飞机速度也有不同。在5200m的海拔高度上,以100 m·s⁻¹速度作业,单根焰条燃烧时间为11分

59秒。在8070~8079m的海拔高度上以 $100\sim 130\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度作业,单根焰条燃烧时间为18分31秒。

3 数据记录中需注意的问题

“夏延-ⅢA”飞机的AgI末端燃烧焰条是装在机翼末端作业架上,在飞机人工增雨探测作业试验中,焰条点燃后,其点燃时间和焰羽熄灭,尽管可有例的焰羽摄像资料来说明,但在未采用温度监控和录像焰羽来记录的作业时,飞行中焰条的点燃和作业时间均需机上技术人员用肉眼观察来记录,随后再反映到GPS数据传输系统中航迹记录,由此记录点燃时间时会存在时间滞后的现象,一般为5s左右。对于 $100\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的飞行速度来讲,手记作业时间可有500m的水平距离误差。对一次作业60km播撒的水平航程来讲,这种误差可以忽略,但在进行类似于MODIS数据(可见光通道分辨率为250m)反演对比分析^[5],以及结合催化剂扩散模式进行播撒计算时^[6],需要注意这种误差可能带来的影响。由于有时云顶作业会强烈影响机上技术人员肉眼观测的准确性,在同侧存在两根以上焰条点火时,建议采取间隔点燃焰条的方法,来方便技术人员的目测区分。

有时由于飞行状况和技术人员身体状况影响,这个数据记录还可能有更大偏差,因此需要提高机载催化工具的自动记录性能,开发焰条点火燃烧的自动记录系统,减少肉眼判断误差,减轻机上工作人员飞行探测作业时的数据记录工作量,来为飞机人工增雨探测作业和效果检验提供更准确的数据。

4 辅助记录资料的使用

目前“夏延-ⅢA”飞机探测作业,还缺乏摄像监控和温度监控记录,且作业段的飞行高度、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,均需随机观测人员根据飞机上不同仪表数据进行记录,因此机上探测作业技术人员,在对机载仪器仪表数据的品质有所了解的基础上,飞行作业后还需及时对所记数据进行补充和校验。同时,还可利用经济实惠易于操作的数码照相机,进行焰条作业状况的记录。

数码照相机不仅可获得每秒一帧的连续

图片和录音,所摄资料还有时间记录,易于存档备查。2004年6月4日,在飞机降落机场时,利用佳能数码相机128兆的CF卡,就取得了降落滑行过程中,AgI末端燃烧器点燃扩散的连续摄像资料。图1为“夏延-ⅢA”飞机降落后滑行期间AgI末端燃烧器燃烧的一帧照片,所燃焰条为“夏延-ⅢA”飞机右翼作业架上第7根焰条。数码摄像资料记录了这根焰条自12:00点燃,到12:09分焰羽消失,在地面滑行速度下发生焰羽时间为9分钟。此外,作业后,还可利用数码相机进行焰条作业燃烧情况的备档记录,如图2即为2004年5月25日探测作业飞行后,“夏延-ⅢA”飞机右翼作业架上燃烧的焰条(右0、右1和右3)和未燃焰条(左2和左4)的照片。



图1 “夏延-ⅢA”飞机降落滑行时进行AgI末端燃烧器燃烧试验的一帧数码照片,所燃焰条为右翼作业架上编号为7的焰条
记录地面滑行燃烧时间为9分钟

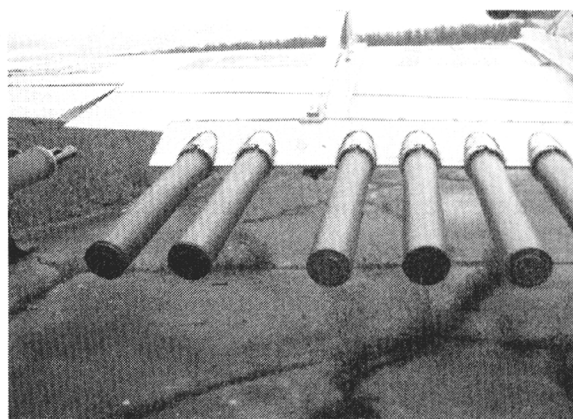


图2 2004年5月25日探测作业飞行后,“夏延-ⅢA”飞机右翼作业架上燃烧的焰条(右0、右1和右3)和未燃焰条(左2和左4)的照片
拍摄时间:2004-5-25, 17:44

5 结语

(1)作为“夏延-ⅢA”飞机唯一的催化作业方式,用于复杂天气条件下的AgI末端燃烧器作业系统,在地面及静态的催化播撒试验基础上,需要通过外场飞机人工增雨探测作业试验,进一步检验高速、低温、低压和高湿条件下的实际催化作业状况。

(2)外场试验中,机上观测技术人员在对“夏延-ⅢA”飞机各种资料品质了解后,利用多种观测资料及飞机显示数据和辅助资料,对飞机作业状况数据进行尽可能丰富的记录,并进行必要的校验和补充,可为飞机人工增雨作业效果评估提供更具科学性的判识资料。

(3)由于“夏延-ⅢA”飞机机舱狭小,在复杂天气探测作业时,机上观测技术人员在探测作业飞行时又不易移动,从多个窗口观测和摄像,故机上探测作业技术人员需密切配合,从各自角度进行尽可能仔细的作业状况记录,并在飞行完成后,及时对各种作业状况资料作整理汇总分析,进行相互校验。

(4)数码相机在随机观测记录催化作业状况时,简单实用,也易于备档检索,是进行

飞机人工增雨探测作业监测的良好辅助记录工具。

参考文献

- 1 Zheng Guoguang. A national key research project: Demonstration of precipitation enhancement techniques, Eighth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Casablanca, Morocco, 2003, April(7-12), 31-33.
- 2 阮征,彭浩,周国春等.人影作业信息空地传输显示系统及试用.气象,2005,31(7):80-84.
- 3 刘卫国,苏正军,王广河等.新一代机载PMS粒子测量系统及应用.应用气象学报,2003,12(增刊):11-18.
- 4 丰大雄.燃烧AgI丙酮溶液产生冰核气溶胶.气象,1991,17(3):3-7.
- 5 秦长学.气球携带碘化银焰弹技术研究.气象,1997,23(11):11-13.
- 6 于永华,李连银.碘化银发生器常见故障的识别.气象,1998,24(11):48-49.
- 7 李培仁,卢玩顺.机载碘化银发生器燃烧室残留物成分分析.气象,1999,25(2):28-32.
- 8 卢玩顺,李培仁.BS-1型机载碘化银发生器的维护与改进.气象,1996,22(10):39-41.
- 9 刘玉洁,杨忠东等.MODIS遥感信息处理原理和算法.北京:科学出版社,2001:2.
- 10 申亿铭.云中催化剂的扩散.北京:气象出版社,1994:117-119.

Analysis of Data of Airborne AgI Flame Seeding Generator in Cheyenne III A in Beijing

Wang Xiaobin^{1,2} Zhang Qiang³ Chen Yue²

Liu Liwei³ Li Hongyu³ He Hui³ Mao Jietai¹

(1. Institute of Weather Modification, CAMS, Beijing 100081;

2. Department of Atmospheric Science, Physics School, Peking University;

3. Beijing Weather Modification Office)

Abstract

A new airborne AgI flame seeding generator in Cheyenne III A was used in the project of the Beijing field experiment in 2004. It is one of the most important field experiments in the national key research project "the demonstration of precipitation enhancement techniques". The seeding data was recorded while the Beijing field experiment from April to September. These data are analyzed, and the technique how to record the seeding data with the new airborne AgI flame seeding generator in Cheyenne III A is discussed.

Key Words: precipitation enhancement AgI flame seeding generator data analysis