

液态 CO₂ 播撒催化技术在河南省飞机人工增雨作业中的应用

鲍向东，郭献林，张云平，李昊，黄宪刚，郑宏伟

(河南省人工影响天气中心, 郑州 450003)

摘要:介绍了液态 CO₂ 的催化原理和催化技术, 并根据催化后的雷达回波强度和雨量变化, 分析了利用液态 CO₂ 催化技术实施人工增雨作业的效果。结果表明: 对 0~ -5 ℃ 云层实施液态 CO₂ 作业后, 影响区雷达回波增强, 地面雨量增大。

关键词:液态二氧化碳; 催化技术; 应用效果

中图分类号: P481

文献标识码:A

文章编号:1673-7148(2007)04-0034-03

引言

河南省自 1988 年恢复飞机人工增雨作业以来, 在飞机增雨催化作业中先后使用过干冰、尿素、液氮、碘化银(丙酮溶液新老配方和焰弹)等作为增雨催化剂^[1]。有机化合物尿素(NH₂CONH₂)为吸湿性巨核, 具有强吸湿性, 既无腐蚀性又无毒性, 还具有一定肥效, 是理想的暖云催化剂。碘化银(AgI)的晶体与冰晶的晶体十分相似, 新的 AgI 丙酮溶液配方, 其原料有丙酮、碘化铵、碘化银、过氯酸铵、过氯酸钠和水等 6 种成分, 它生成的 AgI·AgCl·4NaCl(凝结冻结核)比一般常用的配方高一个量级, 在 -10 ℃ 时成核率可达到 4×10^{14} 个冰核, 但 AgI 的成核阈温为 -4 ℃, 且成核率随温度的升高而迅速降低。河南省多年春、秋两季的飞机人工增雨作业观测表明: -4 ℃ 的高度一般在 4.0~4.5 km 之间, 而现在使用的运-7 或安-26 增雨作业飞机飞到 -5~-10 ℃ 的云层进行催化作业的可能性很小, 即便能飞到这个高度也往往会出现云, AgI 播云的效益不能充分发挥。干冰和液氮都属于制冷型冷云催化剂, 但由于储存、搬运、播撒不便等原因, 很难在实际业务工作中使用。

2006年初, 河南省人影中心从陕西省人影中心

引进了由美国犹他大学福古塔教授研制的液态 CO₂(LC)播云技术, 在近两年的飞机人工增雨作业中取得了较好的应用效果。目前, 国内除陕西外, 吉林、山东等省也使用了液态 CO₂ 播云技术。

1 液态 CO₂ 的特性

CO₂ 的分子量为 44.01, 俗称碳酸气, 也称碳酸酐或碳酐, 常温下是一种无色的气体, 密度比空气稍大, 微溶于水, 并生成碳酸。CO₂ 的临界温度 $t_c = 31^\circ\text{C}$, 临界气压 $p_c = 73\text{ atm}$ 。当压力为 5.28 atm、温度为 -56.6 ℃ 时, 就形成气、液、固三相共存^[2]。固态 CO₂ 俗称干冰, 升华时可吸收大量热量, 因而用作制冷剂, 干冰播云时成核率为 1 011~1 013/g, 但储存、播撒比较困难。

钢瓶装液态 CO₂ 的压力为 5.5~6.5 atm, 温度为 -36 ℃(液、气共存), 容量为 24 kg, 出口温度为 -78 ℃, 是一种优良的制冷剂, 也是一种无毒、无污染、无燃性、理想的冷云催化剂, 且价格低廉、长期保存方便, 作为液体能连续、准确释放。

2 液态 CO₂ 增雨的物理过程

液态 CO₂ 作为冷云催化剂使用时其核化机制不同于碘化银催化剂, 属同质核化物质, 播入云中数

收稿日期: 2007-08-02; 修订日期: 2007-10-19

基金项目: 河南省重大攻关项目“河南省云水资源开发利用技术研究与示范”(0522030400)资助

作者简介: 鲍向东(1960-), 男, 河南柘城人, 高级工程师, 主要从事人工影响天气工作. E-mail: baoxiangdong2007@sina.com.cn

秒钟即会参与过冷水汽的同质核化过程^[3]。

液态CO₂播云时,在冷云中迅速汽化、膨胀、制冷,汽化时温度降至-78℃左右,其周围形成一个-40℃左右的区域,使云中产生大量冰晶,在冰、水共存和过饱和环境中,液态云滴向固态冰晶凝华和凇附,生存并长大成冰胚^[4]。

液态CO₂播云时,只要云区温度低于0℃,其产生的冰晶量基本是一个常数,可达1013/g。而AgI播云所产生的冰晶量是随温度降低而增加,-10℃时才能达到10¹⁴/g,因此,液态CO₂与碘化银催化剂相比,它具有无毒、无污染(绿色环保),其成核率基本不受温度、水汽和过冷水量的影响,目前,在温度为0~-5℃层状云人工增雨中应为首选。图1给出了每克液态CO₂产生的冰晶数与相同质量碘化银(丙酮溶液新配方和焰剂)产生的冰晶数的比较。

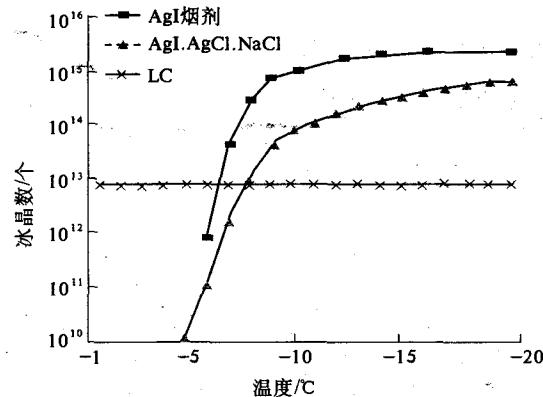


图1 1 g LC产生的冰晶数与相同质量碘化银产生的冰晶数的比较

3 机载液态CO₂播撒设备

河南省人影中心使用的液态CO₂播撒设备是由陕西省人影中心研制的,其框架部分采用符合国家标准的角钢焊接加工。机内LC催化设备支架长1.2 m,宽0.56 m,净重<35 kg,最大负荷>210 kg,最大夹角18°,最小夹角10°(保证喷出的是液体)(见图2)。机外LC喷嘴部分采用优质铜材加工成直径为0.4、0.6、0.8 mm的单孔喷头。喷嘴与钢瓶之间连接管线采用耐高压、耐低温的特氟龙软管及内径为3.0、4.0、6.0 mm的铜质管材,根据不同情况可组装成套使用(见图3)。

4 催化方法和作业效果分析

河南省人影中心从2006年春季开始使用液态CO₂播撒设备进行飞机人工增雨试验作业。在作业中使用了4.0 mm的铜质管材和0.4、0.6 mm的单



图2 机内LC催化设备

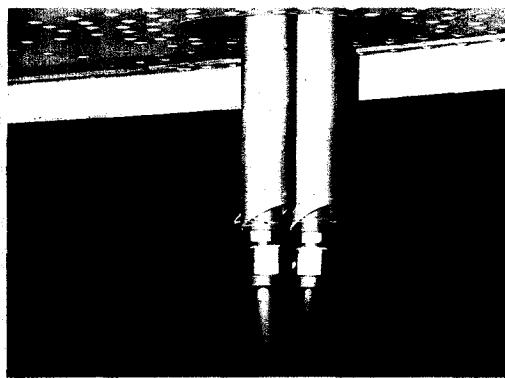


图3 机外LC喷嘴

孔喷头,支架夹角为15°,所使用的液态CO₂是由河南省南阳天冠集团生产的,纯度可达99.99%以上,每罐净重24 kg,按7 g/s的播撒速率,每罐可播撒34.3 min,每个架次至少可以装4罐,可连续播撒近137.2 min。2006年春季、秋季和2007年春季,共进行了14个架次的增雨试验飞行,播撒液态CO₂691 kg(云层温度在0~-5℃时)。当云层温度<-5℃时,可启用碘化银末端燃烧器,每个架次可携带8×2根烟条,每根烟条含碘化银(AgI)11 g,空中燃烧时间10 min,每个架次最大播撒时间160 min,根据实际情况也可同时点燃1~16根。其中,2007年3月2日至4月5日,租用了白城通用航空公司的运-12飞机,该飞机除装备液态CO₂播撒设备和机载碘化银末端燃烧器(焰剂)外,还安装了中科院大气所的PMS云粒子探测设备及热线含水量仪等。

2006年4月4日8:24,运-12飞机从新郑国际机场起飞,10:33落地,播撒液态CO₂72 kg。其中,9:45至10:09在汝州与登封之间进行“8”字型的播撒飞行,飞行高度4 100 m左右,环境温度-3~-4.0℃,风向202.5°、风速12 m/s,液态CO₂播撒速率7 g/s。10:05,郑州714CD雷达观测,汝州与登封附近及下风方回波强度为25~30 dBz,到10:17时,其回波强度已达35 dBz。

2007年3月3日11:42,运-12飞机从新郑国际机场起飞,14:01落地,播撒液态CO₂ 25 kg。其中,12:47至13:45在临颍与扶沟之间进行蛇型播撒飞行,飞行高度4 300 m左右,环境温度-3.0~-5.0℃,风向135°、风速14 m/s,液态CO₂播撒速率6 g/s。图4、5是飞机作业时和作业后的基本反

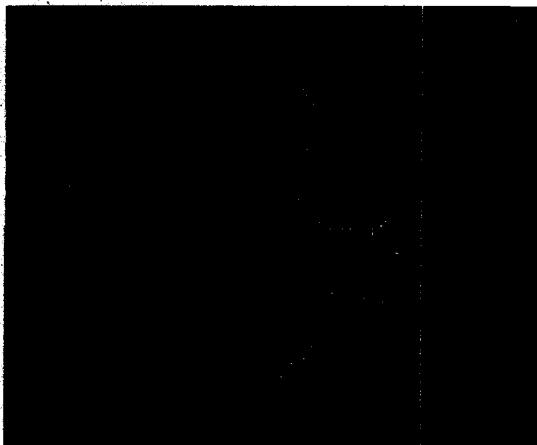


图4 飞机作业时雷达观测基本反射率

以上两次播云作业后,雷达回波增强,地面降水量增大,说明在云层温度较高(0~-5℃)时,播撒液态CO₂增雨效果较好。

5 结语

河南省利用液态CO₂播云技术,对0~-5℃云层实施飞机催化作业,技术可行,效果明显,且可操作性强、易于业务化,与机载碘化银(AgI)末端燃烧器(焰剂)搭配使用,扩大了播云催化范围。

射率图,红色三角区为飞机作业区,可以看到飞机作业后,作业区内及下风方的降水回波明显加强,由原来的25~30 dBz增加到作业后的38~43 dBz,≥33 dBz回波面积明显扩大。对应13:00~14:00,1 h降水量上风方的西华降雨量为7 mm,下风方的长葛达到10 mm。

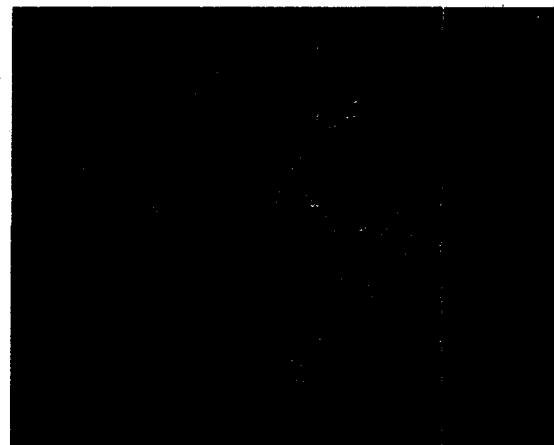


图5 飞机作业后雷达观测基本反射率

参考文献

- [1] 黄宪刚.飞机人工增雨新催化剂AgI溶液应用总结[C]//人工影响天气优化技术研究.北京:气象出版社,2000.
- [2] 陈保国.液态二氧化碳(LC)播撒设备研制与播撒试验研究[C]//陕西甘宁人工增雨技术开发研究论文集.北京:气象出版社,2003.
- [3] 陈万奎,严采繁.冰相雨胚转化水汽密度差的实验研究[J].应用气象学报,2001,12(增刊):23~29.
- [4] 中国气象局科教司.人工影响天气岗位培训教材[M].北京:气象出版社,2003.

Application of Liquid Carbon Dioxide Seeding Technique in Airplane Precipitation Enhancement in Henan Province

Bao Xiangdong, Guo Xianlin, Zhang Yunping, Li Hao, Huang Xiangang, Zheng Hongwei

(Henan Provincial Weather Modification Center, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: The effects of artificial precipitation stimulation using the liquid carbon dioxide catalysis technique are analyzed on the basis of the changes of the radar echo intensity and rainfall after introducing the liquid carbon dioxide catalysis principle and technique. Results show that the radar echo is enhanced and surface rainfall is increased in the influenced region by the liquid carbon dioxide catalysis technique after catalyzing the cloud layer of 0~-5℃.

Key words: liquid carbon dioxide; catalysis technique; applied effect