

文章编号: 1006-4354 (2004) 06-0017-04

LC 播撒设备研制与播撒试验

陈保国, 陈争旗, 樊 鹏, 何 军, 郭 强

(陕西省人工影响天气办公室, 陕西西安 710014)

摘 要: 研制出一套适于陕西播云作业的液态二氧化碳 (LC) 播撒设备, 开发 LC 催化技术方法, 通过试验得出最佳播撒速率, 提高作业效果; 根据播云作业需要提出技术指标, 并进行地面、空中试验 (包括静态、动态试验)。结果表明: LC 的纯度是决定喷撒质量的关键; 当环境温度较高时 LC 小粒子浓度较高, 谱型较窄, 当环境温度较低时粒子谱明显拓宽, 峰值浓度降低; 地面使用 0.6 mm 喷头, 喷撒速率为 10~12 g/s, 喷头距离激光束为 10 cm 时, PMS 粒子测量系统检测到 LC 粒子谱宽在 0.5~175 μm 之间, 小粒子平均总数密度为 146 个/ cm^3 。冰雪晶平均总数密度为 71 个/L; 陕西春、秋季适宜催化的降水云系云体温度较高, LC 宜作为播云首选冷云催化剂。当播撒率为 10~12 g/s 时, 作业数分钟后, 机载 PMS 粒子测量系统和地面雷达检测到云物理响应参数与云的本底值对比分析证明: 播撒 LC 有利于云水向雨水的转化, 催化效果较好。

关键词: LC; 设备研制; 地面试验; 空中试验

中图分类号: P481

文献标识码: B

我国人工影响天气工作自 1958 年以来, 在飞机增雨作业冷云催化中使用干冰、液氮、液态丙烷、碘化银 (AgI) 等作为播云催化剂。干冰是很好的致冷剂, 但在储存和播撒上存在着一定的局限性。AgI 具有成核率高, 储存、播撒都很方便的优点, 但其成核率与温度密切相关, 在 -8°C 以下的环境中应用较好^[1]。2001 年陕西省人工影响天气中心引进了美国犹他大学福古塔教授 2000 年人工增雨专利技术, 开展了 LC 的播撒设备研制和播撒试验。2002 年用于外场作业试验。试验表明播撒设备安全可靠^[2], 有广泛的应用前景。

1 LC 播撒设备研制

为了研制适于陕西冷云催化的播撒设备, 陕西省人影中心与省气象装备中心联合开发了供机载、车载多用途的可调 LC 播撒设备。播撒器支架长 120 cm, 宽 56 cm, 净重 <35 kg, 最大载荷 >210 kg, 最大夹角 18° , 最小夹角 10° , 可作 4 档角度调整 (10° 、 12° 、 15° 、 18°), 还可水平放置使用。

喷嘴部分在引进样品的基础上研制出直径为 0.2, 0.4, 0.6 和 0.8 mm 的单孔喷头, 双孔喷头和三孔喷头。通过选用耐高压、耐低温的特氟龙软管及内径为 2, 3, 4 和 6 mm 的铜质管材解决了钢瓶与喷头之间的连接、密封问题。提高了播撒设备使用的可靠性。

2 地面喷撒试验

2001—2003 年, 陕西省人影中心与西北大学、航空航天部 41 所等科研院所合作, 在西安、临潼进行了 12 次室内外试验。

2.1 室内试验

2002 年 2 月—2003 年 7 月先后在西安北郊和临潼机场做不同内容的静态和动态试验。主要试验目的是对 LC 性能及播撒设备测试, 内容包括: 撒播设备各管线、接头连接密封试验; LC 从 2, 3, 4 和 6 mm 直径的铜质管材中和特氟龙导管内的通过能力试验; 不同纯度 (99.8%, 99.9%, 99.99%) 的 LC 通过不同规格喷头的喷撒剂量试

收稿日期: 2004-06-08

作者简介: 陈保国 (1955-), 男, 陕西华县人, 高工, 主要从事人工增雨、防雹技术研究。

基金项目: 国家科技部“西部开发科技行动”重大攻关项目 (2001BA901A41)

验; LC 钢瓶不同置放角度、不同瓶压下的喷撒剂量和喷撒效果试验等。

试验发现,导致喷头堵塞的主要原因是 LC 纯度不够(含有氧、氮等杂气外还含有水汽),喷撒时随 LC 一同喷出的水汽在喷头处会很快冻结,采用高纯度的 LC(纯度 99.99%)可达到较理想的播撒效果;选择耐高压、耐低温的材料作为钢瓶与喷头之间的连接管线,连接管线的内径与钢瓶出液口的内径相同,也是保持钢瓶出液口与喷头压力均衡,LC 顺利喷出的条件之一;使用不同口径的喷头可以控制和改变 LC 喷撒剂量;目前使用的 LC 钢瓶的瓶内压力在 5.0 MPa 左右,钢瓶内的 LC 是以液态和气态并存,播撒时应将钢瓶出液口降低高度(出液口与地面夹角 10~15°即可),以便瓶内的气体上升到钢瓶尾部,LC 流向出液口,播撒时 LC 能够顺利喷出。从试验结果看,各喷头喷撒正常,密封好,无堵塞,喷撒速率能达到设计要求。

2.2 室外试验

2002 年 11 月—2003 年 2 月在多次室外试验中对 LC 播撒设备的性能进行测试,并对 LC 的催化效果做出评估。

2.2.1 LC 的粒子谱 2003-12-26 和 2004-01

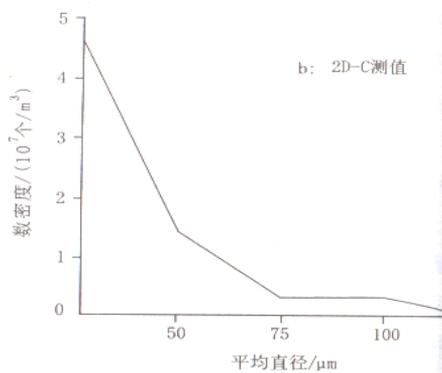
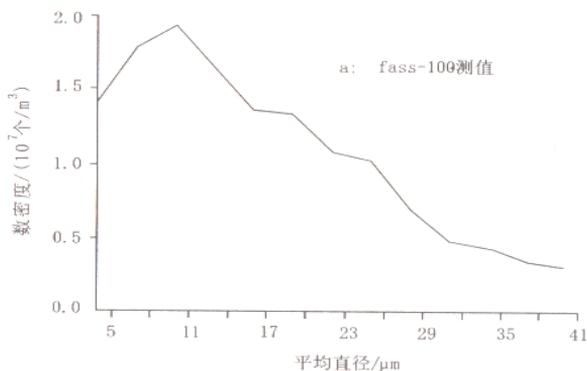


图 1 LC 粒子谱分布图

(均为 0.6 mm 喷头),喷洒距离相同(喷头距离激光束均为 10 cm)时,环境温度较高时小粒子数密度较高,谱较窄(见图 2a),环境温度较低时粒子谱明显拓宽,峰值数密度降低(见图 2b),其谱型均为偏正态分布。

2.2.2 LC 地面播撒试验 2002-12-13 的实验

-05 室外检测。12 月 26 日晴天,试验区气温 2.9~4.5℃。1 月 5 日上午轻雾,气温 1.3℃左右;下午晴,气温 5.5℃。使用 PMS 粒子测量系统的 FSSP-100 和 2D-C 探头,分别测量 LC 在 0.5~47 μm、25~800 μm 范围内的粒子谱。两探头均配备抽气风扇,FSSP-100 探头抽气速度约为 21 m/s,2D-C 探头抽气速度 28 m/s。LC 喷撒速率为 10~12 g/s。“PMS 粒子测量系统”有很强的稳定性和扩充性,具有空中采集云和降水微物理数据的实时显示和处理功能。

使用该系统测得的 LC 粒子浓度作出粒子谱,1 月 5 日 FSSP-100—0 道 LC 谱型较宽,2~47 μm 各档均有测值,其众数直径出现在 8~17 μm 之间,平均数密度 16.47~19.21 个/cm³。峰值直径 11~14 μm,数密度 19.21 个/cm³。检测的平均总数密度为 146 个/cm³(图 1a)。2D-C 测得 LC 平均谱宽小于 150 μm,峰值直径出现在 25~50 μm,数密度 49.55 个/L。检测的平均总数密度为 71 个/L(图 1b)。由 2D-C 给出的 LC 粒子二维图像清楚的反映出直径 25~50 μm 的 LC 粒子均呈球形(图略)。

从地面试验资料分析可看出,当喷撒剂量相同

作业区设在空军临潼机场跑道上,在试验区的上风方,试验中心区及作业影响区都布设了地面风、温度、能见度和降雪观测点,西安市气象局为试验增放了探空。试验共动作业车辆 3 台,每台车上各安装 0.6 mm 喷头 2 个,3 台作业车一字形排开,以 10 km/h 的速度齐头并进,沿西南—一东北向播

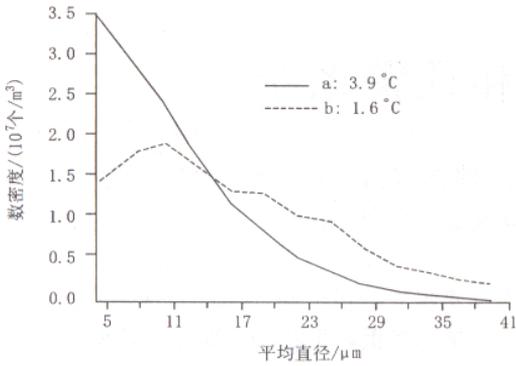


图2 不同气温 LC 粒子谱的比较图

撒作业,播撒宽度约 25 m,在设定的 1 km 区域内反复作业,作业时段为 08:30—10:50,共计 2 h20 min,累计播撒 LC 约 400 kg,单瓶播撒速率约为 8 g/s。

据各观测点每 5 min 观测一次的资料分析和现场综合观察,第一次作业 20 min 后,距离作业现场下风方 1.2 km 处开始降米雪,降雪范围距作业区下风方 1.2~3.0 km,区域包括营房区、跑道西头、斜口镇柳树村民兵路口等约 10 km²,平均降雪厚度为 1.5 mm。12 时以后逐渐结束。整个降雪时间持续了约 3 h。依据作业时间判断,综合气象要素综合分析,出现降雪时间和区域均在有效范围内。说明用 LC 催化作业有一定的催化效果。

3 空中播撒试验

空中飞行播撒试验涉及面广、组织协调难度大,但又是检验播撒设备、喷头质量、播撒速率等必不可少的环节,因此,每次试验飞行方案要科学设计,争取得到比较理想的结果^[3]。2002—2003 年共进行了 25 架次 LC 喷撒作业动态试验。

试验使用运-12 型、安-26 两种机型,由于安-26 是密封机舱,播撒设备安装难度较大,必须解决伸出机舱外的播撒管线、喷嘴与机舱之间的密封问题。每个 LC 播撒支架上可固定 LC 钢瓶两个,前支架高 17 cm,后支架高 27 cm,钢瓶与水平面夹角约为 12°,钢瓶保持一斜面,使 LC 容易喷出。各钢瓶上配备 0.6 mm 喷嘴一个,喷嘴与钢瓶用耐低温的特氟龙管连接,喷嘴固定在机舱底板外部。常温常压下 LC 容量为 25 kg,当在高空使用

时,能保证释放 20 kg LC,LC 由陕西兴平化工厂提供,纯度为 99.99%,钢瓶外包裹有化纤隔热垫,以减少钢瓶与外界的热交换。

为检验和评估催化效果,机上还安装了粒子测量系统(PMS),机载微波辐射计,卫星全球定位系统(GPS),温、湿度测量仪,热线含水量仪,空地(语音、数据)传输系统。试验结果证明,LC 播撒设备性能良好,使用安全可靠,能满足对冷云催化作业的播撒要求,喷撒速率适宜,能达到催化增雨的目的^[4]。

4 结论

4.1 目前使用的 LC 钢瓶内的 LC 是以液态和气态并存,播撒时要考虑将瓶嘴部位降低高度,支架夹角 10~15°为宜,以保证在播撒时 LC 能够顺利喷出。

4.2 纯度较低的 LC 钢瓶内含有水汽,播撒中随 LC 一同喷出,会很快在喷嘴处冻结,堵塞喷口。

4.3 LC 钢瓶与喷嘴之间宜采用耐高压、耐低温的特氟龙软管连接。播撒设备管线的连接要密封,否则会造成喷口压力不足,影响播撒速率。

4.4 飞机增雨作业中使用 0.6 mm 孔径的喷嘴,12°倾角时,LC 播撒率为 10 g/s 左右较适宜。

4.5 地面使用 0.6 mm 喷头,喷撒速率为 10~12 g/s,喷头距离激光束为 10 cm 时,FSSP-100 和 2D-C 探头检测到 LC 粒子谱宽在 0.5~175 μm 之间,FSSP-100—0 道检测的平均总数密度为 146 个/cm³。2D-C 检测的平均总数密度为 71 个/L。

4.6 陕西春、秋季适宜催化的降水云系 0°C 层一般较高,飞机多在-10°C 以上温度区域播云,LC 可作为播云首选催化剂。

参考文献:

- [1] 胡志晋. 层状云人工增雨机制、条件和方法的探讨[J]. 应用气象学报, 2001, 12 (增刊): 10-13.
- [2] 樊鹏,陈保国,雷恒池. 液态二氧化碳播云物理效应的观测研究[J]. 气象, 2004, 30(2): 35-38.
- [3] 张美华. 二氧化碳生产及应用[M]. 西安: 西北大学出版社, 1988. 12-13.
- [4] 陈保国,樊鹏,雷崇典,等. 2002 年秋季陕北地区一次锋面云系综合探测分析[A]. 陕甘宁人工增雨技术开发研究[C]. 北京: 气象出版社, 2003. 1-7.