

液氮消过冷雾对冷云催化增雨的启示

秦长学

(北京市人工影响天气办公室,100089)

提 要

对用液氮消过冷雾和冷云催化增雨作业的宏、微观条件进行比较,找出其异同点。并根据消冷雾作业所出现的物理响应推演冷云催化后应出现的结果,以弥补飞机云中催化后缺少直接观测资料的缺陷,进而对液氮(LN)增雨效果进行探讨。

关键词: 消雾 增雨 液氮

1 问题的提出

目前国内飞机增雨作业多为单机实施,无专用探测机配合作业机进行有设计的宏微观探测,所以对催化后云内不同时间出现的物理现象,如冰晶产生、增长和降落等现象缺乏直接观测和记载。所以增雨效果分析只能用下风方和对比区雨量进行统计检验,或使用云图、雷达回波变化量等方法进行评估。消过冷雾作业可直接目测和仪器探测催化后所产生的物理现象,从而对催化剂的效果做出客观定量的评价。

另外人工增雨作业依赖自然降水过程,所以对效果评估的分歧点往往集中在如何真实区分自然降水和人工催化增加的降水量,这也是各种效果检验方法中的难点所在。但雾多出现在晴好天空状况下,所以催化后产生的水凝物(冰晶、雪花)只能是人工影响的结果,所以对其评估无疑比增雨作业简单明了。

基于以上原因,把消雾作业和增雨作业联系起来进行分析对增雨作业效果评估可得到一些有意义的启示。

2 冷雾和冷云宏、微观异同点分析

1997年12月18日北京地区出现大雾,首都机场能见度100m左右,最差时只有20m,机场因此关闭。北京市人工影响天气办公室从07:40至10:00用LN进行了催化,11:30水平能见度增至300m,催化处下风方雾中过冷水汽凝华产生降雪使地面积雪1cm。作业前后使用了人影中心的地面PMS、海洋局的风廓线仪等设备,使用机场气象中心气象资料和RVR能见度资料,在

作业现场还进行了冰雪晶取样。

1999年8月18日上午9:30~10:40在紧临北京西部的怀来一带进行了飞机冷云增雨作业,飞机垂直于高空风偏南北向S型播撒LN三个来回。航程990km,共130分钟播撒LN160kg,作业后效果区最大降水量29mm。这次由于使用未改装飞机,所以未使用PMS等微物理观测仪器,所以相关数据使用以前探测平均值。现将这两次冷云和冷雾情况列表如下:

表1 冷云、雾宏微观资料比较

名称	天气型	温度/℃	含水量($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	厚度/m	催化剂	用量/kg	降水量
冷云	西来槽	-2.7(作业层)	0.023(平均)	10	3600	LN	160	29mm
冷雾	地形槽	-4.6	0.1535	1~2	240	LN	7200	积雪1cm

通过上表可以看出,1999年8月18日出现在夏季4360m以上的冷云和1997年12月18日冬季贴地层的冷雾,其共同点是北京均处于高空槽或华北地形槽前辐合区内;气温比较接近,增雨或消雾作业过程中温度变化范围为 $-5 \leq T \leq 0^\circ\text{C}$;雾中含水量大于冷云含水量的均值;使用催化剂均为液氮(LN),且催化后均产生了降雨或降雪。不同点为云中风速大于雾中,说明云中水汽输送能力远大于平流雾;整层云厚度是雾的10倍

以上;催化剂LN用量消雾远大于增雨,主要由于地面播撒液氮利用率极低且试验中追求消雾效果没有对合适用量进行筛选研究。

在以前增雨作业中使用PMS粒子探测仪对云滴谱和冰雪晶进行了观测(23次探测资料),把OAP-2D-C固态粒子浓度作为冰晶浓度,OAP-2D-P固态粒子浓度作为雪晶浓度。消雾作业前用三用滴谱仪距地面20m高对自然雾滴谱进行了观测,对雾中冰雪晶进行了取样。观测结果见表2。

表2 云、雾滴谱及冰、雪晶情况

项目	云滴平均浓度/ $\text{个} \cdot \text{cm}^{-3}$	峰值直径/ μm	最大浓度/ $\text{个} \cdot \text{cm}^{-3}$	冰晶平均浓度/ $\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$	雪晶平均浓度/ $\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$
冷云	31.7	9.17	301	16.3	0.73
冷雾	1206	6	1515	无	无

从表2可看出,虽然不同设备探测精度有一定影响,但也可以看出冷雾滴浓度明显高于冷云滴,但峰值直径略小于云滴,且自然冷雾中没有测到冰、雪晶。

3 使用LN消冷雾对增雨作业的几点启示

致冷剂LN在消雾作业中可使过冷水汽同质核化成冰晶,冰晶在雾水环境下迅速长大成雪花降落形成地面积雪,那么在冷云中正确播撒LN也应有明显的增水效果^[1]。

在LN消冷雾实验中,在云室和小规模野外实验基础上,于1994年2月17~18日、1996年12月15日和1997年12月18日共进行了三次分别在沙河或首都机场的大规模消雾实验作业,尽管时间地点不同,但催化后出现的物理响应惊人的一致。沙河机场催化后机场气象台测得降水量0.2mm,而处于上风方的跑道上却无积雪;首都机场两次消雾作业地面积雪均达1cm,而作业上风方无降

雪发生。当天为晴空,所以消雾作业所产生的降水纯粹为人工催化结果。对于厚度仅为100~250m的雾层催化均可产生有量降水,对于厚度几公里的、且空中水汽输送远比地面平流雾充分的云层来说,选择合适的催化方案作业应该有明显的增水效果。

(1) 催化方案设计

以1994年2月17~18日沙河机场消雾作业为例,17日22:04开始第一次作业,当时气温 -3.8°C ,地面为ESE风 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,相对湿度99%,逆温层顶高200m,能见度40m。作业车以 $20\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 速度沿机场周边转圈播撒21min,催化处可见冰晶闪烁能见度短时改善,但无降雪现象出现。第二次作业时间很短,因夜间不好观测而中止。

18日晨08:56开始第三次作业,当时气温 -4.2°C ,相对湿度96%,逆温层顶高210m,地面风 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。作业在上风方拖机道3km长来回播撒1小时,开始播撒半小时可见小雪花纷纷落下,一小时能见度改善到1000m,地面积雪范围方圆1000m左右,降水量0.2mm。由此可见,即使在小范围进行消雾作业,在目标区上风方来回反复作业远优于沿目标区外沿转圈作业。所以制定飞机增雨作业方案,切忌沿目标区外缘飞大圈,应在目标区上风方垂直于高空风反复催化。这样每一回播撒,均可形成一条垂直于高空风的线源,此线源随扰动气流和高空风不断扩散,如此反复播撒可使下风方目标区达到人工引晶的必要浓度,达到增加降水量的目的。而沿目标区外缘转大圈,必然使一部分催化剂扩散到目标区以外,而目标区引晶量达不到所需浓度,像消冷雾作业沿机场外缘转圈一样没有明显效果。

(2) 催化效果分析

3次消冷雾作业均可发现,液氮在冷雾中播撒1分钟后开始出现冰晶,5分钟后冰晶大量出现,30分左右开始小雪花飘落,停

播LN后42分降雪停止。也就是说冰晶在冷雾中凝华增长成降水粒子尺度需时30分左右。

冰晶质量在冷云中凝华增长速度可用下式求出:

$$\frac{dM}{dt} = 4\pi CG(S - 1)$$

式中 C 对不同冰晶形状取不同的值,如当冰晶半径为 r 的球体时, C 等于 r ; S 为饱和比,即云中实际水汽压和冰面饱和水汽压之比。

$$G = \left[\frac{L_s^2}{KR_w T} + \frac{R_w T}{DE_s(T)} \right]^{-1}$$

式中 L_s 为凝华潜热; K 是空气的热传导率; R_w 是水汽的比气体常数; T 为环境温度; D 为云中水滴直径; $E_s(T)$ 是环境温度为 T 时的冰面上的饱和水汽压。

据周文贤介绍^[2],六角板状冰晶在假定云中已达到水面饱和情况下,在30分钟内冰晶可长到10mm以上,如果融化成雨滴直径达200 μm ,这和冷雾中冰晶增长速度比较一致。

据此对1999年8月18日飞机增雨效果进行分析,此日作业情况及雨量分布如图1。飞机9:30从西郊机场起飞,9:49飞到怀来附近开始向南播撒,高度4431m。10:04飞机位于门头沟区西河北地界,转向北朝涿鹿一带飞,10:15到宣化转向东,10:19再转向南飞,10:33到蔚县转向东,10:40到西斋堂上空播撒完毕,共用液氮160kg。作业层为偏西风 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,地面为东北风 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从雨量分布看,以催化区高空风为轴线出现一片降雨中心,最大雨量八达岭29mm,官厅水库测得过程降雨量33mm。因为大雨区在官厅水库水系,所以降雨第二天19日官厅水库入库流量达 $65\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,而同日密云水库入库流量仅有 $5.43\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 。

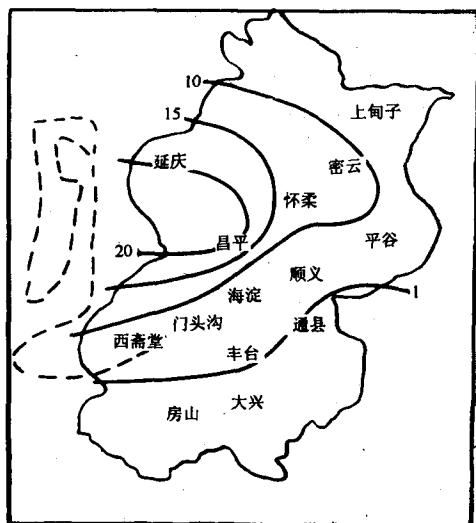


图1 1999年8月18日飞机作业
08~20时雨量 单位:mm

美国开垦局在塞拉内华达山脉用液体丙烷对 -2°C 的冷云进行催化试验^[3],得到结果是冰晶在云中以 $0.5\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 速率增长,5~10分钟内长到 $200\sim300\mu\text{m}$,在过冷水存在的云内迅速的淞附长大,在下一个5~10分钟内开始下落,如果给定 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速,大

部分冰晶将在60分钟内在下风方36km范围内下落。

为了分析此次增雨的效果,我们分析距催化区39km的下风方延庆县气象局雨量自记记录。

如果按LN播撒30分钟左右冰晶长大成降水尺度,60分钟内大部分冰晶可以下落,那么可得出播撒后90分钟左右应有明显增雨效果。8月18日飞机作业时段为9:49~10:40,据此推算11:19~12:10时段内应为主要效果出现时段。从雨量自记中可看出11:00~12:00时之间出现一降雨量高峰区8.1mm,当然此结论不能排除自然降水时空分布的偶然性,推算过程也比较粗糙,但也说明催化有一定效果。

参考文献

- 1 曹学成. 液氮人工增雨技术. 北京:气象出版社,1997. 8.
- 2 周文贤. 云物理和人工影响天气. 中国气象研究院庐山人才培训教材,1995.8.
- 3 DAVID W. REYNOLDS. 世界人工影响天气新进展译文集,北京:气象出版社,1990.2.

Revelations on Enhancement Precipitation in Cold Cloud by Supercooled Fog Dissipation

Qin Changxue

(Beijing Weather Modification Office, Beijing 100089)

Abstract

Macro- and micro-physics conditions of supercooled fog dissipation operation using liquid Nitrogen with that of the cold cloud seeding are compared. For filling a gap of data after seeding by airplane, physical responses is elicited after seeding in cold clouds based on those that occurred in fog dissipation operation and then the effect of enhancement precipitation is discussed.

Key Words: fog dissipation enhancement precipitation revelation