

西北地区云和降水微物理特征个例分析

李淑日

(中国气象学会, 北京 100081)

提 要: 为了提高人工催化的效果和成功率, 准确地选择催化作业时机和最佳作业部位, 利用装有粒子测量系统(PMS)的飞机对2001年5月28日中国西北地区春季层状云系进行了探测飞行。将所取得的微物理资料结合卫星云图、天气实况等资料进行了分析, 发现: (1) 该地区过冷水分布的温度区间较大, 这为人工增雨提供了有利条件。(2) 在该个例中: 粒子平均直径主要在 $10\sim 20\mu\text{m}$ 之间; 平均粒子浓度为 $18.3\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$; 平均含水量为 $0.036\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 与新疆、河北、山东等省的含水量值相当。(3) 二维图像分析表明, 聚并和凝华过程是冰晶增长的主要过程。

关键词: 云微物理 PMS 液水含量

Case Study of Cloud and Precipitation Micro-physics Structure over Northwest China

Li Shuri

(Chinese Meteorological Society, Beijing 100081)

Abstract: In order to improve the effect of artificial rain enhancement, an aircraft equipped with the Particle Measuring System (PMS) probed the spring precipitable stratiform clouds over Northwest China on May 28, 2001. The micro-structure characteristics of the cloud system are analyzed by means of micro-physical data from the aircraft measurement, satellite cloud picture and synoptic background data, etc. The main results are as follows: (1) The super-cooled water occurred in a wide temperature range, which is favorable for artificial rain

资助项目: 国家科技攻关计划西部开发科技行动重大项目“祁连山空中云水资源开发利用研究”(2004BA901A16); 甘肃省气象局“甘肃省人工增雨防雹体系工程”研究课题

收稿日期: 2006年4月4日; 修定稿日期: 2006年6月6日

enhancement. (2) In this case, the average particle diameter is about $10\sim 20\mu\text{m}$, the average particle concentration is 18.3cm^{-3} , and the average liquid water content is $0.036\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, which is similar to the value of Xinjiang, Hebei, and Shandong Province, etc. (3) From the 2D image we can see that the coagulation and sublimation are the main processes for ice crystal growing.

Key Words: micro-structure of cloud case study PMS liquid water content

引 言

人工增雨是对具有降水潜力的云在适当的部位和时机用科学方法进行人工催化,激发或加速降水形成过程,提高云的降水效率,达到增雨的目的。它是开发空中水资源的有效途径,其科学基础已被大量的理论研究、室内实验和外场试验所证实^[1,2]。为了提高人工催化的效果和成功率,深入了解在干旱季节中主要降水系统的结构特点、降水形成的原因、演变规律,把握作业时机就更为重要^[3]。利用 PMS 资料,专家们对国内的一些典型个例进行了分析,发现不同的天气系统和地形条件下,云系的宏、微观结构和降水物理过程具有明显不同^[4-8]。

本文利用装备有粒子测量系统的飞机对 2001 年 5 月 28 日中国西北地区春季层状云系进行了探测飞行。利用探测取得的微物理资料,结合卫星云图、天气实况等对云的微物理结构特征进行了分析,讨论了该次降水的天气过程;云的宏、微观物理特征;云中液态水含量和粒子谱等的水平和垂直微物理结构特征。

1 观测设备

观测过程中使用的云物理专业考察飞机是经过改装的运八型飞机,机上装有专门用于云微物理观测研究的机载仪器:PCASP-100X 用于观测气溶胶粒子。FSSP-100 用于

观测直径为 $1\sim 95\mu\text{m}$ 的云滴。OAP-260X (260Y) 用于测量云(雨)滴和冰雪晶粒子浓度和粒子谱,OAP-2D-GA2 (GB2) 用于测量云(雨)滴和冰雪晶粒子二维图像及粒子浓度和粒子谱。

此外,飞机上还安装了国产返流式铂电阻测温仪、GPS 全球卫星定位系统、露点温度计以及高度空速转换盒。

2 个例分析

2.1 资料情况

本文所用资料为 2001 年 5 月 28 日飞行探测的 PMS 粒子测量系统测量资料,包括温度、露点、高度、空速等宏观资料和 6 个探头的微物理(粒子浓度、粒子谱、粒子图像、含水量)资料,共取得 4989 组(2 秒一组)记录,每组记录的飞行距离约 204m。探测云系为层状云。

2.2 飞行情况

飞机停甘肃省临洮机场,临洮海拔高度为 1886m。临洮北侧的马衔山,海拔高度 3670m。飞机 9:50 从临洮机场起飞,爬升到 8500m 高度后逐渐下降,飞行路线是先向西北共和方向飞行,后向东飞经西宁、平安,11:30 分飞回临洮本场上空盘旋飞行并下降,12:36 分降落,飞机探测到云顶高度为 8400m,对应温度为 -24.9°C ,云底高度为 2840m,温度 9.4°C 。飞行探测区域

的地面均有较大降水，从 5 月 29 日 08 时地面降水量分布上看出：西宁、共和、平安等测站 24 小时降水超过 6mm，临洮测站 24 小时降水大于 5mm，临洮以西降水超过 10mm，最大降水达 19mm。

2.3 卫星云图

从飞机作业时段的卫星云图上看，云系位于青海东部、甘肃中部和北部上空，缓慢向东移动，移速约 $10\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ，临洮一直处于该云系影响下，云体中有一小团一小团颜色比较白，说明云体发展不均匀。

2.4 云水含量

云水的出现频率统计结果表明：该次探测飞行共有 4989 个记录，其中有 4720 个记录探测到有云水，云水出现频率为 94.6%，其中 94.1% 是过冷水（温度低于 0°C 的云水）。云中平均含水量为 $0.036\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ，探测到的最大过冷水含量为 $0.346\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ，该高含水量出现在马衔山南侧 5646m 高度处，温度为 -5.3°C 。估计是因为受地形影响，西南暖湿气流由于马衔山的抬升作用形成地形积云，并由于山的阻挡而维持，因此云中含水量较高。

将不同的含水量按温度区间进行统计，可以看出 79.12% 的含水量值在 $0.005\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \sim 0.03\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间。过冷水含量出现频率较高的温度范围在 $-3 \sim -18^{\circ}\text{C}$ 之间。分析发现过冷水分布的温度区间较大，这为人工增雨提供了有利条件。

表 1 我国北方几省云中过冷水含量飞机观测结果

观测地点	过冷水含量/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$
新疆层状云系 ^[4]	0.04~0.3
山东层状云系 ^[4]	0.001~0.36
河北层状云系 ^[4]	0.01~0.45
吉林层状云系 ^[6]	0.11(As-Ns) 0.23(Sc)
青海层状云系(1995,1997) ^[6]	0.05(平均)
西北地区层状云系(2001)	0.036

从表 1 的测量结果可以看出，西北地区层状云中含水量与新疆、河北、山东、吉林等省的含水量相当。

2.5 粒子浓度

有 4883 个记录探测到粒子浓度。浓度出现频率达 97.9%，平均粒子浓度为 $18.3\text{个} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，探测的最大云粒子浓度 $693\text{个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。将不同的粒子浓度按温度区间进行统计，发现该次观测的粒子浓度大部分小于 $10\text{个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

2.6 垂直分布特征

图 1、图 2 分别为飞机上升时和下降时

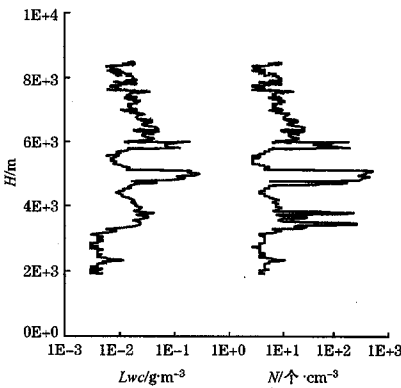


图 1 上升段云粒子浓度和含水量随高度的分布

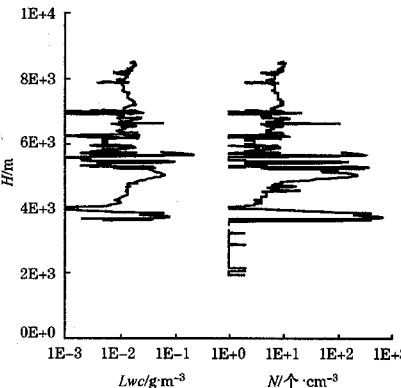


图 2 下降段云粒子浓度和含水量随高度的分布

观测得到的粒子浓度和含水量随高度的分布,可以看出,上升时云体分为3层,云下有浓度低于 $10 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的粒子,下降时上面两层云基本上合并到一起,下层云变薄,云底升高,云下基本没有粒子浓度,说明云下蒸发比较强,较小粒子被蒸发。图中浓度和含水量对应较好,较高的浓度对应较高的含水量。

2.7 水平特征

本次飞行在高浓度区的飞行时间约15分钟,航线长约91公里。图3为该区域的过冷水水平分布特征,可以看出,云粒子浓度和过冷水含量随时间存在明显的起伏性变化。云粒子浓度和过冷水含量变化趋势对应较好,较高浓度对应较高的过冷水含量,在层状云中过冷水区中的微物理量有比较大的起伏,高浓度和高含水量的区域估计是云中镶嵌的对流活动区。

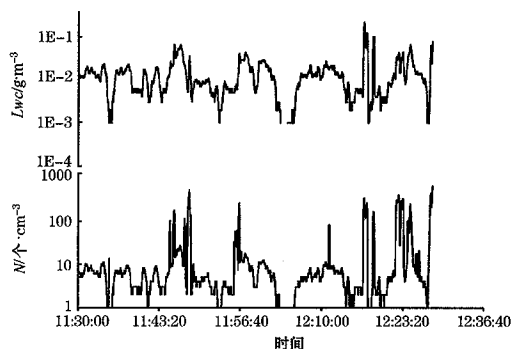


图3 粒子浓度和含水量随时间的分布

2.8 含水量与浓度的相关性分析

画出不同温度区间的含水量和浓度的散点图(图略),对其进行拟合分型,令拟合曲线经过原点,得出拟合曲线系数和相关系数。发现含水量和浓度的相关非常好。拟合

曲线的斜率(含水量/浓度),实际上比较直观的代表了粒子的平均直径,相关系数越大,说明粒子大小越接近,斜率大则表示粒子平均直径比较大。计算得出粒子平均直径大小主要在 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 。

2.9 云粒子谱

将云粒子谱按I型、II型、III型三种谱型分类,分析发现,II型出现几率较高,占91.2%,I型的谱型为单峰型,峰值直径基本都在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 左右,浓度较大,90%以上粒子浓度高于 $30 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$,最小浓度也达到 $13 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$,估计这部分粒子是云滴,有云滴存在,说明那里的过冷水条件较好。II型为双峰型,第一峰值出现在 $3 \mu\text{m}$,第二峰值出现在平均直径 $12 \sim 16 \mu\text{m}$ 处,有少部分粒子直径大于 $20 \mu\text{m}$,该种谱型粒子浓度较小,基本上全都小于 $20 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$,绝大多数浓度小于 $10 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。而温度高于 6°C 粒子谱型均为III型,第一峰值出现在 $3 \mu\text{m}$,第二峰值出现在 $6 \sim 9 \mu\text{m}$,该谱型粒子浓度全部小于 $15 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$,95%以上的浓度都小于 $10 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。图4、5、6分别给出了I型、II型、III型三种谱型的平均谱(粗线)和部分谱型。

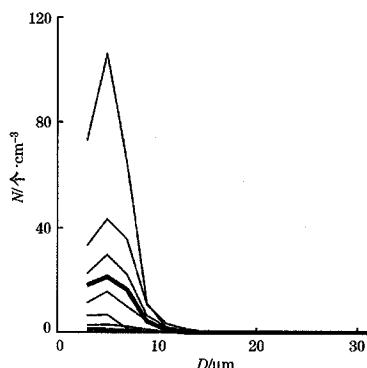


图4 I型粒子谱型

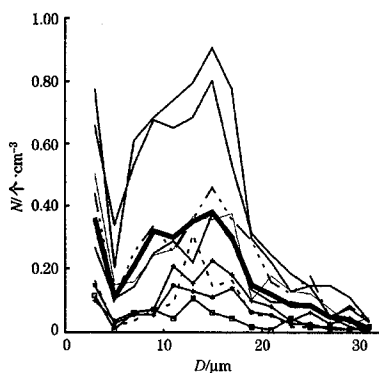


图 5 II 型粒子谱型

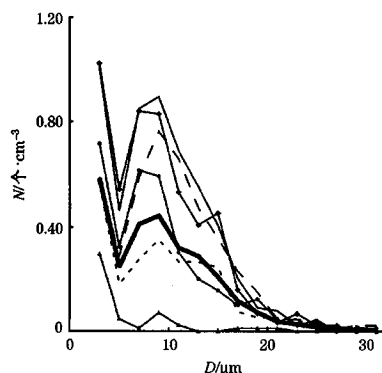


图 6 III 型粒子谱型

2.10 冰晶分析

对粒子二维图像进行分析,表明:冰晶形状主要为冰晶淞附形成的聚合物、不规则状冰晶、空间枝状、柱状、针状和小冰粒子等,晶形比较复杂,与以前的观测结果相似^[7]。由此可以推测,聚并和凝华过程是冰晶增长的主要过程。8000m ($< -20^{\circ}\text{C}$) 以上主要是不规则状和六角板状,5800m~8000m (-7°C) 高度的冰晶形状主要是不规则状、空间枝状和柱状。随着高度降低,温度升高,出现针状和粘连在一起的枝状冰晶。 0°C 附近以聚并粘连在一起的空间枝状冰晶为主,空间枝状冰晶上有较强的淞附。温度高于 0°C 后冰晶开始融化,尖锐的枝杈消失,粒子外缘变得比较光滑。至 3700m 高度时冰晶粒子已经完全融化,二维图像上

全部为球型的雨滴粒子。融化层厚度约 500m。

3 结 语

(1) 该地区过冷水分布的温度区间较大,这为人工增雨提供了有利条件。

(2) 在该层状云个例中:粒子平均直径主要在 $10\sim 20\mu\text{m}$ 之间;平均粒子浓度为 $18.3\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-3}$;平均含水量为 $0.036\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$,与新疆、河北、山东等省的含水量值相当。

(3) 二维图像分析表明:聚并和凝华过程是冰晶增长的主要过程。融化层厚度约为 500m。

影响西北地区的降水系统受不同天气形势支配,所形成的云系无论从动力学或微物理学上考虑,都存在着很大差异。文章仅对典型的个例进行了初步的分析,还有待于今后进行更为系统的统计分析。

参考文献

- 1 章澄昌. 人工影响天气概论 [M]. 北京:气象出版社, 1992: 323.
- 2 黄美元, 徐华英. 云和降水物理 [M]. 北京:气象出版社, 1999: 291.
- 3 游来光. 我国人工增雨的资源条件及面临的一些云物理问题. 云降水物理和人工影响天气文集 [G]. 北京:气象出版社, 1995: 1-5.
- 4 吴志会. 河北省春夏季层状云微物理结构及人工增雨潜力的初步分析. 云降水物理和人工增雨技术研究 [G]. 北京:气象出版社, 1994: 83-88.
- 5 汪学林, 陆熠钧, 金德镇等. 吉林春季降水性层状云宏微观特征的综合分析. 云雨物理论文集 [G]. 北京:中国科学技术出版社, 1987: 1-16.
- 6 李仑格, 德力格尔. 青藏高原东部春季降水云层的微物理特征分析. 青藏高原云和降水人工影响天气研究 [G]. 北京:气象出版社, 2000: 30-33.
- 7 李淑日, 王广河, 刘卫国. 降水性层状云微物理结构个例分析 [J]. 气象, 2001, 27 (11): 17-21.
- 8 王广河, 游来光. 乌鲁木齐冬季冷锋锋上云带和锋下层积云的微物理结构及其降雪特征 [J]. 气象, 1989, 15 (3): 8-12.