

# 大兴安岭火区上空云和降水微物理 结构特征个例研究

王广河\*

(气象科学研究院)

## 提 要

1987年5月24日云物理专业考查飞机对大兴安岭火区上空的云进行了水平观测。对此次观测结果的分析与研究表明：(1)来自空间状及空间枝状区域的冰粒子(25—800 $\mu\text{m}$ )及降水粒子(200—6400 $\mu\text{m}$ )平均浓度较高；而来自枝状及枝星状区域的冰和降水粒子其平均浓度较低。(2)依据不同降水粒子形态所计算出的降雪强度以空间枝状为最大。

## 一、引 言

森林火灾不仅破坏森林资源和生态环境，而且直接威胁着林区人民的生命财产安全。

1987年5月，大兴安岭发生了特大森林火灾，安装有PMS观测系统的云物理专业考查兼人工降雨作业飞机进行了探测作业，利用5月19日及24日两次有利天气条件在火区上空成功地进行了人工降雨作业，并获取了火区上空云和降水的微物理资料。

本文根据5月24日的水平飞行观测及同期的天气、卫星资料分析了本次降水的天气过程；云和降水的微物理结构特征；计算了人工降水作业层不同降水粒子形态下的降雪强度；依据不同形态的降水粒子质量换算得出的融滴谱与同等降水强度下的Guun-Marshall(G-M下同)谱进行了比较。

## 二、观测设备

观测仪器采用美国粒子测量系统公司生产的机载PMS观测系统。3个探头分别为FSSP-100(观测云粒子谱)；OAP2D-C(测量冰粒子谱及图形)；OAP2D-P(测量降水粒子谱及图形)。露点和温度分别采用EGG露点计及机载铂电阻测温仪。

## 三、天气形势及资料收集

1987年5月24日，伴随乌拉尔山北部一股冷空气的入侵，大兴安岭北部地区产生了一次中到大雨的降水天气。过程平均降水量为10—14mm，局地达20—25mm。24日08时地面图上东北气旋中心位于额尔古纳河苏沁一带，700hPa天气图上高空槽线呈西北—东南向。高空槽线的移动速度约为每小时20km。与700hPa及地面气旋中心相对应的卫星云图上存有一椭圆状云团，云顶温度< -30℃。沿暖锋走向有呈条状分布的云带，云顶温度为-30℃，很像是切变下的波动，

\*气象科学研究院王守荣，内蒙气科所马慧萍、程晓辉、才根成同志参加了本次飞机观测工作。

其波距约为70—80km。火区上空09时38分云图上存有非系统零散云区，云顶温度 $< -20^{\circ}\text{C}$ ，没有证据说明其是否与火区上空的热对流有关，但存有这种可能性。大兴安岭以东的大片地区有云顶温度 $< -20^{\circ}\text{C}$ 的云区，与低压东北方位的偏东气流可能有关。在低压同一方位的小反气旋弯曲部位为少云区。东北方位另有一片较强云区。按云团移动速度估计，呈椭圆状的云团约在14时移至火区上空附近。

本次降水云的结构分为上下两层，上部为分布不均的高层云(As)，云顶约为5km，温度约为 $-20^{\circ}\text{C}$ ；下部为层积云(Sc)，云顶在3.7—4km之间，温度介于 $-8^{\circ}\text{C}$ — $-10^{\circ}\text{C}$ 。

作业飞机于12时27分从齐齐哈尔机场起飞，13时11分开始接触系统云区，13时30分至加格达奇上空并沿3800m的高度在层积云顶附近水平飞行，同时进行人工降水作业。飞机于15时59分飞回本场。本文分析所使用的资料取自13时30分—15时20分水平飞行段。

#### 四、云的微物理结构特征

由于飞机是处在层积云顶附近飞行，所以在大部分区域所观测到的云粒子(2— $47\mu\text{m}$ )浓度不高。由图1可以看出，飞机在

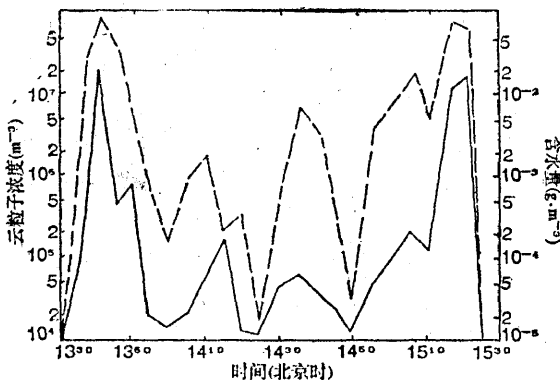


图1 云粒子浓度、含水量水平分布  
实线：云粒子浓度，虚线：含水量

13:30—13:46及15:13—15:20所飞行的区域云粒子浓度较高，其浓度分布在 $10^0$ — $2 \times 10^7$ 个/ $\text{m}^3$ 之间，其它大部分区域云粒子浓度均处在 $4 \times 10^4$ 个/ $\text{m}^3$ 附近。含水量分布和浓度分布趋势一致，对应高浓度区含水量分布在 $10^{-3}$ — $8 \times 10^{-2}$ g/ $\text{m}^3$ 之间，对应低浓度区含水量大都分布在 $4 \times 10^{-4}$ g/ $\text{m}^3$ 附近。

图2表明，在本次个例中降水粒子及冰粒子的浓度分布与降水粒子形状有着明显关系。在降水粒子形状为空间状和空间枝状的

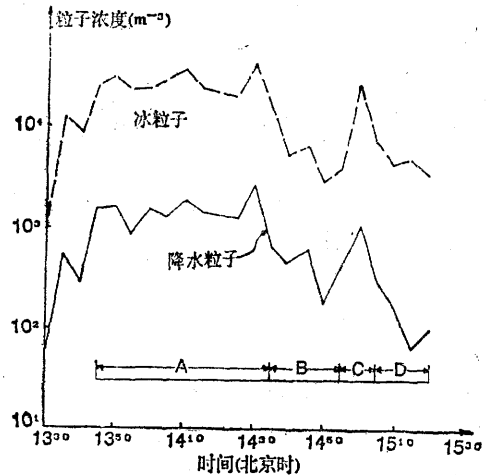


图2 冰粒子、降水粒子浓度水平分布

区域，云中冰粒子及降水粒子浓度较高，其中在空间状粒子区域中，冰粒子浓度变化范围在 $1.5 \times 10^4$ — $4 \times 10^4$ 个/ $\text{m}^3$ 之间，降水粒子浓度变化范围在 $6 \times 10^2$ — $2.5 \times 10^3$ 个/ $\text{m}^3$ 之间，在空间枝状粒子区域中，冰粒子浓度分布在 $4 \times 10^3$ — $2.7 \times 10^4$ 个/ $\text{m}^3$ 之间，降水粒子浓度分布在 $3 \times 10^2$ — $1 \times 10^3$ 个/ $\text{m}^3$ 之间。在降水粒子形状为枝星状和枝状的区域，云中冰粒子及降水粒子浓度较低，其中在枝星状粒子区域中，冰粒子浓度的变化范围在 $2.7 \times 10^3$ — $1.3 \times 10^4$ 个/ $\text{m}^3$ 之间，降水粒子浓度变化范围在 $1.7$ — $6 \times 10^2$ 个/ $\text{m}^3$ 之间；在枝状粒子区域中，云中冰粒子浓度分布在 $(3-7) \times 10^3$ 个/ $\text{m}^3$ 之间，降水粒子浓度分布在 $6 \times 10^1$ — $3 \times 10^2$ 个/ $\text{m}^3$ 之间。

不同形状的降水粒子平均直径、浓度的分布列于表1。由表1可以看出,降水粒子平均直径及浓度的分布随其形态的不同有较大差异。枝状、枝星状降水粒子平均直径大,浓度低,高层无较强催化云,粒子主要靠下层增长。空间状、空间枝状降水粒子平均直径小,浓度较高,高层有较强催化云,粒子在下层增长较少。

表1 不同形状的降水粒子平均直径、浓度的分布

降水粒子形状	空间状	空间枝状	枝状	枝星状
水平飞行距离(km)	240	48	72	96
平均直径( $\mu\text{m}$ )	800	1488	1727	2064
平均浓度个/ $\text{m}^3$	1400	657	152	430

不同形态的降水粒子谱特征也有较大变化(图3)。空间状雪粒子呈单峰窄谱,峰值位于直径800 $\mu\text{m}$ 处,峰值浓度为20个/ $\text{m}^3 \cdot \mu\text{m}$ 。空间枝状降水粒子呈双峰中等大小谱,粒子大都集中在直径1200 $\mu\text{m}$ 处,峰值浓度9

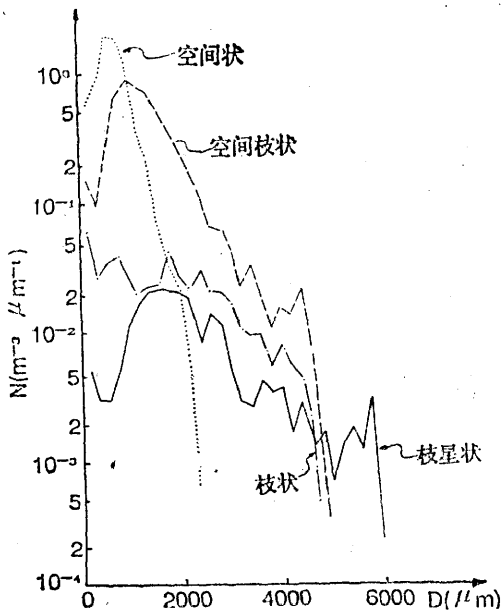


图3 不同降水粒子形态谱

$\times 10^{-1}$ 个/ $\text{m}^3 \cdot \mu\text{m}$ 。枝状降水粒子呈多峰中谱,其浓度随直径的变化在 $2 \times 10^{-3} - 6 \times 10^{-2}$ 个/ $\text{m}^3 \cdot \mu\text{m}$ 之间。枝星状降水粒子为多峰宽谱,其众数浓度在直径2000 $\mu\text{m}$ 处的第二峰值上,峰值浓度约为 $2 \times 10^{-2}$ 个/ $\text{m}^3 \cdot \mu\text{m}$ ,降水粒子最大直径为5700 $\mu\text{m}$ 。

## 五、讨论

### 1. 不同降水粒子形状的降雪强度估算

根据二维粒子探头获取的图像资料得到了各时段降水粒子形状的变化。图4a为枝星状雪晶,枝叉清晰,无淤附。图4b为枝状雪晶,枝叉可辨,有少量淤附。图4c为空间枝状雪晶,枝叉不清晰,有淤附。图4d为空间状雪晶,枝叉无法辨认,有较强的淤附。按降水粒子不同形状,利用公式 $R = m_i V_i N_i$ 计算其降雪强度。式中, $m$ 为质量( $\text{mg}$ ); $N$ 为降水粒子浓度(个/ $\text{m}^3$ ); $V$ 为降水粒子落速( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )。其中降水粒子质量及落速分别由公式 $m = AD^3$ 、 $V = A_r D^{b_r}$ 及 $V = A'_r + B'_r \lg D$ 算出,式中 $D$ 为降水粒子直径, $A, B$ 和 $A_r, B_r, A'_r, B'_r$ 根据Hobbs (1974) (1)及Nakaya (1935) (2)的观测结果取值(见表2)。

由表2可以看出,根据不同降水粒子形状所计算出的雪强有较大差别。枝星状及枝状降水粒子直径虽大,但由于其浓度较低,故算出的雪强较小。空间状降水粒子浓度虽然较高,但这些粒子主要分布在小粒子段,所以计算出的雪强也较小。空间枝状降水粒子直径较大,浓度也较高,故雪强最大。

### 2. 降水粒子融滴谱特征

根据不同形状的降水粒子质量换算得出的融滴谱与同等降水强度下G-M谱的比较见图5。由图5可见,在降水粒子形状为空间枝状区域,小于0.4及大于0.9mm的滴浓度低于G-M谱,0.4—0.9mm的滴浓度高于G-M谱。在降水粒子形状为空间状区域,小于0.3及大于0.6mm的滴浓度低于G-M谱,

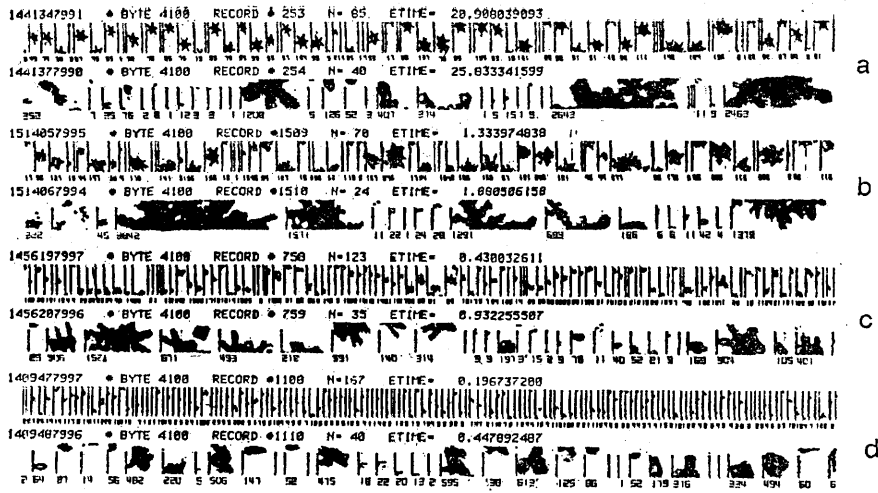


图4 不同形状的降水粒子图像

表2 不同系数的取值表

降水粒子形状	A	B	$A_V$	$B_V$	$A_V'$	$B_V'$	降雪强度
空间状	0.037	1.9	0.81	0.99			$0.106\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$
空间枝	0.073	1.4			127	64	$0.679\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$
枝状	0.015	2	0.8	0.16			$0.021\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$
枝星状	0.0033	2	$V=0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$				$0.0015\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$

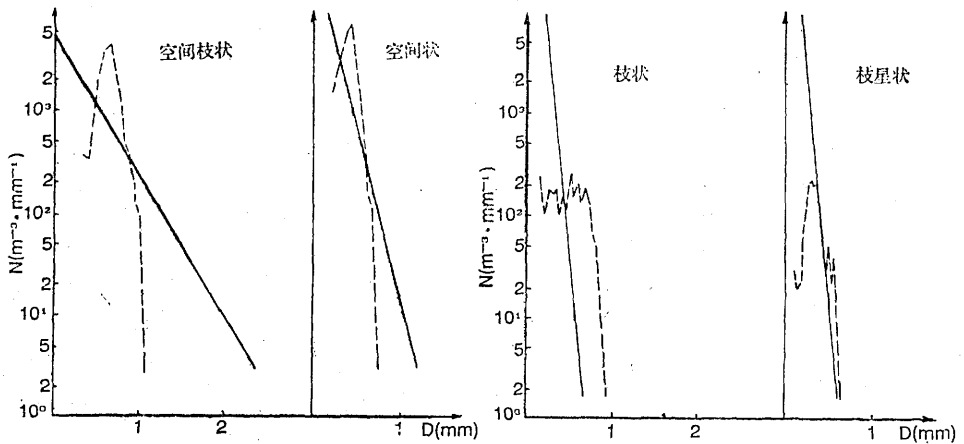


图5 不同降水粒子形状的融滴谱

实线: G-M谱, 虚线: 融滴谱

0.3—0.6mm的滴浓度高于G-M谱。在降水粒子形状为枝状及枝星状区域, 小于0.4mm的滴浓度低于G-M谱, 而大于0.4mm的滴浓度高于G-M谱, 并有第二峰值出现,

与早期的一些观测结果一致(3)

在本例中, 云物理专业考查飞机沿3800m的高度水平飞行, 温度在 $-9^{\circ}\text{C}$ 附近, 但观测到了4种不同形态的降水粒子, 推测与

高层催化云所处的高度不同有关。

本次过程地面降水达 10—14mm,但在飞行高度层观测到的云过冷水含量,及依据不同降水粒子形态所计算出的降雪强度均较小,据此推测,在飞行高度层下部的层积云中粒子会有较好的增长条件。从二维降水粒子探头所观测到的图象资料可以看出,大多数的粒子是在高层云低温环境下形成的。由不同形态的降水粒子谱及冰粒子浓度的水平分布可以推测,本次过程中,在不同的区域进行人工催化增雨,其效果会有明显不同。枝状及枝星状雪晶区域,冰粒子及降水粒子浓度均较低,是人工催化作业有希望的部位。

## 六、小 结

(1) 在本例中,由于资料是在层积云顶部附近收集的,大部分区域过冷水含量较小。冰粒子及降水粒子浓度分布随其形状的不同有较大差异,在空间状及空间枝状区域冰粒子及降水粒子浓度较高。在枝状及枝星状区域冰粒子及降水粒子浓度较低。

(2) 降水粒子谱随其形状的变化也有较大不同<sup>(4)</sup>,空间状及空间枝状粒子平均浓度较高,但粒子浓度大都集中在小粒子段。枝状及枝星状粒子谱较宽,但粒子浓度较低。

(3) 根据几种粒子形状所计算出的降雪强度表明:空间状及空间枝状粒子区域雪

强较大,枝状及枝星状粒子区域雪强较小。

(4) 由不同形状的降水粒子质量换算出的融滴谱与同等降水强度下的 G-M 谱比较有明显偏离,在空间状及空间枝状粒子区域的小滴段,浓度偏高,大滴段,浓度偏低。在枝状及枝星状粒子区域的小滴段,浓度偏低,大滴段,浓度偏高。

(5) 根据不同降水粒子形状区域中的微物理结构特征分析,在枝状及枝星状粒子区域,高层催化云较弱,层积云顶部所观测到的粒子浓度较低,是人工催化作业有希望的部位。

致谢: 本文得到游来光研究员的指导。

## 参 考 文 献

- (1) Locatelli, J.D., and P.V. Hobbs, Fall-speeds and masses of solid precipitation particles. *J. Geophys. Res.*, 79, 2185—2197 1974.
- (2) Nakaya, U., and T. Terada, Simultaneous observation of the mass, falling velocity and form of snow crystals. *J. Fac sci. Hokkaido univ., Ser. 2.1*, 191—201, 1935.
- (3) 王广河、游来光, 乌鲁木齐冬季冷锋降水云前期的微物理结构及其降雪特征, 全国云物理和人工影响天气会议文集, 气象出版社, 1986.
- (4) 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, 气象, 第 3 期, 1989.

## A case study on microphysical structure of clouds and precipitation over the area of Daxinganling forestfires

Wang Guanghe

(Academy of Meteorological Science)

### Abstract

Horizontal observations were made of the clouds over the area of Daxinganling forestfires on May 24, 1987, using airborne PMS probes. The analysis shows that (1) the ice crystals (25—800  $\mu\text{m}$ ) and precipitation particles (200—6400  $\mu\text{m}$ ) from space and the the regions for space-dendrites forming appear with their higher concentrations, comparing to those from the regions with dendrites and stells, (2) the snowfall with space-dendrites shows the highest indensity among the various precipitation particles.