

# 黄淮气旋降水性层状云系微物理特征的综合分析<sup>①</sup>

陈文选 王 俊

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

## 提 要

利用机载“PMS”资料,对黄淮气旋降水性层状云系中的微物理特征、降水时段、云中微物理量分布间的关系进行了综合分析,为人工增雨潜力区的选择提供了依据。

关键词: 黄淮气旋 微物理特征 过冷水

## 引 言

黄淮气旋是影响山东的主要天气系统之一,利用探空资料分析<sup>[1]</sup>表明,层状云的平均云厚约 5355m,而黄淮气旋的云层最厚,达 6054m。在所有天气系统中,黄淮气旋的自然降水量最大、降水范围最广,是山东地区层状云人工增雨最好的天气系统之一。

我们在人工增雨作业的同时,用机载“PMS”探测仪器,对黄淮气旋降水性层状云系的宏微观结构作了探测,取得了大量资料。

本文以 PMS 资料为主,采用统计和个例分析相结合的方法,对黄淮气旋降水性云系的微物理特征作了初步分析。

## 1 飞机探测的云系宏观特征

表 1 是探测云系的一些宏微观探测资料。探测时段处于系统发展的不同阶段,作业层温度  $-4.8 \sim -15.8^{\circ}\text{C}$ 。冷层厚度 1.2~2.2km,作业层高度在 4.6~5.4km 间,降水为混合型降水。探测部位的降雨量不大,一般为小雨。

表 1 探测时间和云系的宏微观特征

时间	云状	演变趋势	作业层 高度(km)/温度( $^{\circ}\text{C}$ )	冷层厚度 (km)	作业区 雨量
1989.09.21	Ac	减弱	5.0/-15.8	2.2	小雨
1989.09.26	As	减弱	4.8/-5.6	1.2	小~中
1990.04.30	AcSc	加强	4.6/-7.1	1.5	小雨
1999.05.17	As	发展加强	5.4/-5.6	1.7	小雨
1999.05.18	As	减弱	4.9/-4.8	1.3	小雨

## 2 微物理量的统计特征

### 2.1 过冷水的统计特征

过冷水区作为人工增雨有潜力的催化区的重要指标,弄清楚它出现的宽度和含水量大小,以及在云系不同发展阶段的演变特征,对于人工增雨技术的发展和优化人工增雨作业方法,提高人工增雨效果,具有重要意义。以 FSSP 探头测量的  $2\sim 47\mu\text{m}$  的水滴浓度大于  $10\cdot\text{cm}^{-3}$  区的云水作为过冷水<sup>[2]</sup>,统计过冷水出现的宽度和含水量的频率分布。表

明过冷水的宽度小于 5km(飞机航速  $120\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )的占主要地位,占 55.8%,小于 15km 的占 88.2%。最宽为 30~35km,约占 2%。过冷水含量主要分布在  $0.01\sim 0.05\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $0.05\sim 0.1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,各占 44.2%和 33.9%,大于  $0.1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  的仅占 9%,最大含量为  $0.18\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。统计表明云中过冷水区的分布是不连续的。

### 2.2 过冷水滴谱

过冷水滴的尺度谱主要分为两类(图

① 中国气象局青年基金课题资助

1),一类是单峰谱,又可分为窄谱(谱1)和宽谱(谱2),2阶 $\Gamma$ 函数对此类谱的拟合程度较高;另一类为双峰或多峰宽谱,大于 $20\mu\text{m}$ 处存在峰值(谱3)。两类谱在大滴处有起伏。

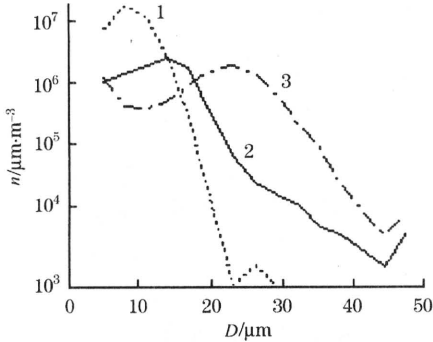


图1 云滴尺度谱

(谱1,2为单峰谱,谱3为双峰谱)

研究过冷水滴谱既有理论价值,又有实际意义。不同的谱型引起的冰雪晶的增长机制不同,窄谱区域,转移-凝华增长是小冰粒的主要增长机制。而宽谱型,冰晶的增长机制以冰晶对过冷水滴的撞冻和凝华增长为主(不考虑冰雪晶间的聚并过程)。

2.3 冰、雪晶的统计特征

雪晶浓度主要分布在 $0.01 \sim 1.0$ 个/L,约占77.8%,大于1个/L约占10%。平均直径小于 $1.0\text{mm}$ 占91%,而小于 $0.5\text{mm}$ 的占61%。

雪晶形状变化大,不同时期和部位的形状都有差别,主要是不规则霰粒子、枝片、聚合体、针状和米雪。

84.2%的冰晶浓度小于10个/L,平均直径约 $30\mu\text{m}$ 。冰晶形状以冰晶聚合体、不规则状、冰粒和枝针状为主。

2.4 冰雪晶尺度谱

雪晶谱主要分两类(图2),一类谱可用指数方程 $N = N_0 \cdot \exp(-\lambda D)$ 拟合,图中b、c谱,谱宽较窄时,拟合程度比较高;较宽的谱,大滴区粒子数密度起伏大,拟合程度低。另一类为双峰或多峰谱(a谱)。

负幂指数方程可以拟合冰晶谱(图略),这与陈万奎<sup>[3]</sup>给出的北方层状云中冰晶的谱方程相同,但山东有一些冰晶谱用负幂函数

$N = N_0 \cdot D^{-a}$ 拟合,相关程度更高,式中a接近2。

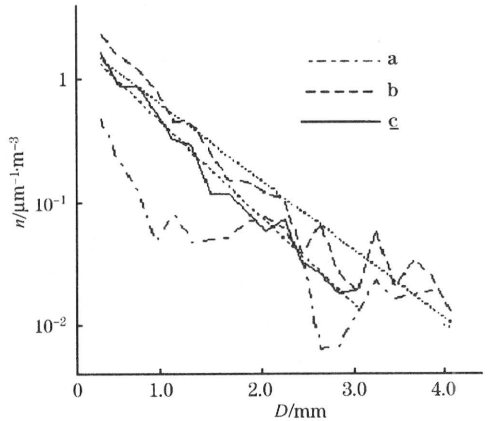


图2 冰雪晶尺度谱

a为多峰谱,b,c为指数谱,点线为指数拟合线

2.5 雨滴谱

雨滴尺度分布综合反映了粒子各种增长机制的贡献,因此根据地面雨滴谱的特征量可以推断云中微物理过程参数<sup>[4]</sup>。飞机起飞和降落时测到一部分雨滴谱,因雨量少,雨滴浓度和雨水含量都比较小,分析表明,雨滴谱可分为窄谱和宽谱(图3)。窄谱谱宽小于 $2.0\text{mm}$ ,这类谱基本符合指数分布。宽谱的小滴部分符合指数分布,大滴的分布不连续。

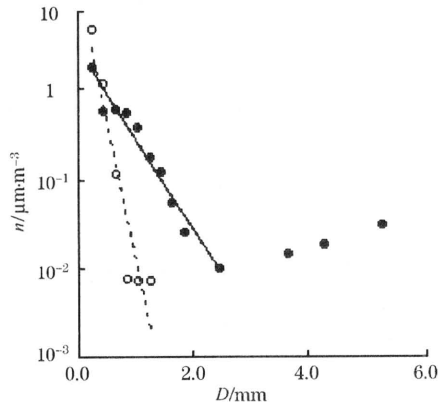


图3 雨滴尺度谱

空心圆点为窄谱型,实心点为宽谱型。

实线和虚线是指数拟合线。

3 个例分析

1989年9月26日黄淮气旋影响山东,山东大部降小到中雨,局部大雨。图4为逐时雨量图,降水自西向东,雨量中心在德州地

区。

探测航线,飞机 8:57 起飞,在潍坊-安丘一带飞行两圈,12:27 飞行结束。根据飞机上的宏观记录和逐时雨量推断,航路上存在三片降水云系,潍坊-安丘一带的降雨云系

(记为云区 I)、济南附近的降水云系(记为 II)和鲁西北德州-惠民-东营一带的降水云系(记为云区 III)。探测时三片云系基本都处于降水后期,雨强都不大,约 1.0mm/h。

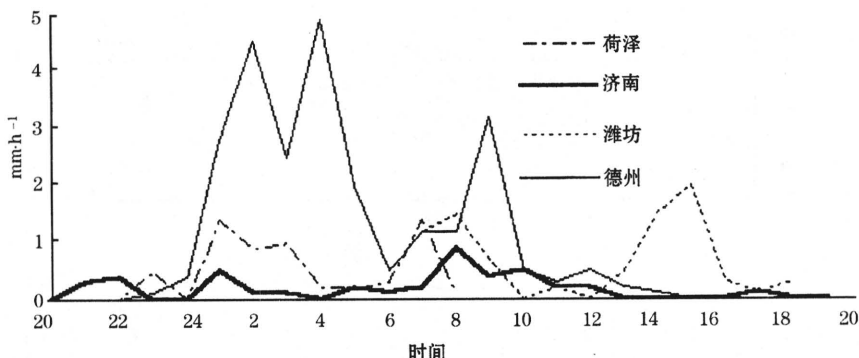


图 4 25 日 20 时至 26 日 20 时逐时雨量

### 3.1 垂直分布

微物理量的垂直分布(图 5)表明,潍坊附近的云系为两层结构,4.0km 附近存在几百米厚的干层,云底高约 1.0km。云滴浓度主要在  $10\sim 20$  个 $\cdot\text{cm}^{-3}$ ,云水含量在  $0.01\sim 0.12\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  间。云底附近为雨水含量峰值(图略),高达  $6.385\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,雨滴谱宽,存在直径大于 6.0mm 的雨滴。

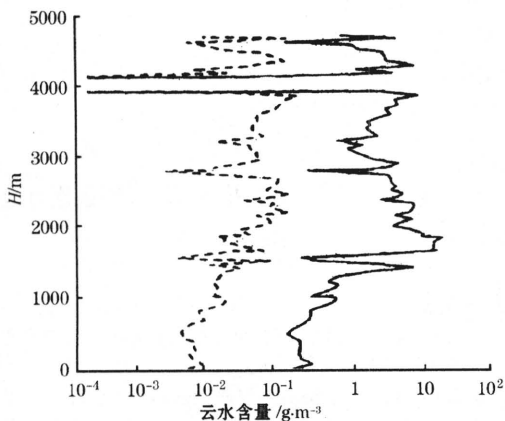


图 5 云粒子浓度(实线,个 $\cdot\text{cm}^{-3}$ )、含水量(虚线,个 $\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )的垂直分布

### 3.2 水平分布

图 6 是云滴和雪晶的水平分布,9:16~9:38 的探测对应云区 I, 10:15~10:25 的探测对应云区 II, 10:40~11:25 的探测对应云

区 III。微物理量的水平分布表明,潍坊西-济南和济南-平原之间是宽的少云区。统计表明:云区 I 中过冷水出现的频率为 75.6%,平均过冷水含量  $0.04046\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,最大  $0.1641\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,大于  $0.05\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  的含量占 32.5%。雪晶平均浓度和直径分别为  $0.1533$  个 $\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.3166\text{mm}$ ,最大浓度和直径为  $3.0$  个 $\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.629\text{mm}$ 。II 云过冷水出现的频率为 63.3%,平均过冷水含量  $0.0198\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,最大  $0.1036\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,大于  $0.05\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  的过冷水含量占 11.0%。雪晶平均浓度和直径  $0.0369$  个 $\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.284\text{mm}$ ,最大浓度和直径仅为  $0.174$  个 $\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.342\text{mm}$ 。云区 III 中过冷水区占 50.2%,平均过冷水含量  $0.02083\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,最大  $0.1703\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,大于  $0.05\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  的含量占 13.2%。雪晶平均浓度和直径为  $0.4172$  个 $\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.5657\text{mm}$ ,最大浓度和直径分别为  $2.64$  个 $\cdot\text{L}^{-1}$  和  $1.126\text{mm}$ 。

统计结果表明,基本处于同样降水时段的云系中的微物理量有明显差别, I 中微物理量起伏小,过冷水含量高,连续分布的宽度大; II、III 区物理量起伏大,过冷水出现的频率较低,连续出现的宽度窄。从人工增雨潜力来看, I 区潜力最大, II 区次之, III 区潜力最小。

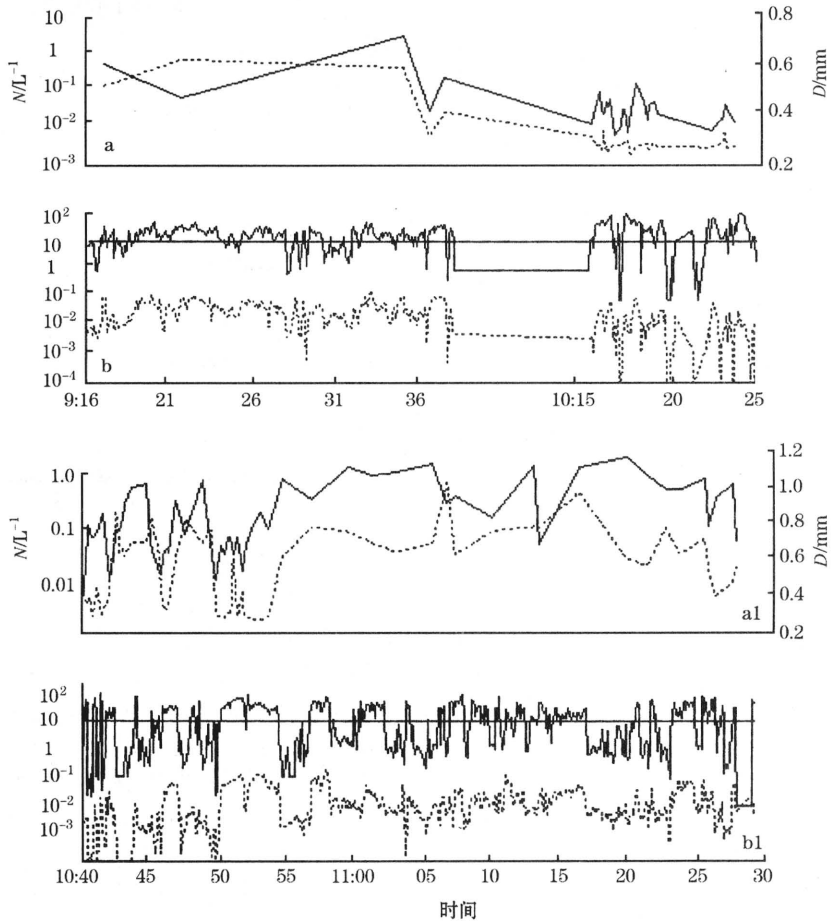


图6 微物理量的水平分布

图 a 和 a1 中的实线和虚线分别是雪晶浓度(个·L<sup>-1</sup>)和直径(mm);  
 图 b、b1 中的实线和虚线分别是云滴浓度(个·cm<sup>-3</sup>)和含水量(g·m<sup>-3</sup>)。  
 图 a 的横坐标与 b 图同, a1 横坐标与 b1 同。

#### 4 结论

(1) 统计分析表明, 过冷水含量以 0.01 ~ 0.1g·m<sup>-3</sup> 为主, 约占 78.1%。过冷水宽度以小于 15km 为主, 占 88.2%。

(2) 过冷水滴的尺度谱分单峰和双峰(或多峰)两类, 单峰谱粒子以小滴为主, 双峰谱存在大量 20 ~ 30μm 的云滴, 后者有利于冰晶的淞附增长。

(3) 雪晶浓度主要在 0.01 ~ 1.0 个·L<sup>-1</sup> 之间, 平均直径一般小于 1.0mm。

(4) 个例分析表明, 处于同样降水时期的云系, 其中的微物理如过冷水出现的频率、平均过冷水含量、雪晶的平均浓度和直径等, 都

具有明显的差别。据此推断人工增雨潜力也有明显差别。

#### 参考文献

- 1 王以琳, 朱平盛. 潍坊地区降水性层状云特征及云水资源的估算. 山东气象. 1992(1), 45.
- 2 游来光. 利用粒子测量系统研究云物理过程和人工增雨条件. 云降水物理和人工增雨技术研究. 北京: 气象出版社, 1994: 236 ~ 249.
- 3 陈万奎, 严采繁. 云中冰晶尺度谱特征与分布函数. 气象, 1987, 13(11): 13 ~ 17.
- 4 周文贤, 陈金荣. 用地面雨滴谱特征量推断云内微物理过程参数的研究. 中国气象局“八五”期间气象科学基金研究论文汇编, 1997: 201 ~ 208.

(下转第 19 页)

(上接第 16 页)

# Analysis the Microphysical Characteristics of Precipitable Stratiform Clouds of Huang-huai Cyclone

Chen Wenxuan Wang Jun

(Shangdong Institute of Meteorological Sciencen, Jinan 250031)

## Abstract

Based on the data obtained by the Partical Measuring System (PMS) with aircraft, microphysical characteristics stage and microphysical distribution of precipitable stratiform clouds of Huang-Huai cyclone are analyzed. It improved a bases to choose the potential area.

**Key Words:** Huang-Huai cyclone microphysical characteristics supercooled water