

# 一次华北冷涡降水的云物理飞机探测特征

苏正军<sup>①</sup> 黄世鸿 刘卫国

(南京大学大气科学系,210093) (中国气象科学研究院)

## 提 要

分析了1999年5月17~18日,由华北冷涡与长江中、下游切变线系统在山东境内交汇形成的一次较强的降水过程。对这次天气过程进行了飞机连续观测和人工增雨作业。此类降水是山东春季降水系统中的主要过程,具有一定的代表性。作业高度为4150~4500m,是层状云的中上层。云中含水量较小,最大值为 $0.035\text{g}/\text{m}^3$ 。云粒子浓度最大值为 $250\text{个}/\text{cm}^3$ ,云粒子直径、浓度空间分布等存在不均匀特性。其降水云系存在明显分层,云层之间有一干层,不利于降水。

**关键词:** 降水 云物理 微结构 云粒子谱

## 引 言

山东省是我国的农业大省,自然降水不足直接影响到农业生产和经济发展。而华北冷涡与长江中、下游切变线系统在山东相遇,进而形成降水,是山东省春季非常重要的降水过程,对缓解山东省春季旱情有着十分重要的意义。降水过程的云微物理结构的观测在云物理研究和人工影响天气中占有重要的地位。深入认识自然降水规律是人工影响天气的关键<sup>[1]</sup>。本文对1999年5月17~18日降水过程的宏、微观云物理特征进行较系统的分析。利用天气形势资料,卫星云图、飞机探测的PMS资料和GPS资料,较充分地描述了这次降水天气过程的特征,对深入认识这种天气系统及今后对此类形势分析和进行人工影响作业具有一定的参考价值。

## 1 天气形势

此次过程是由于西部冷空气入侵,在华北地区上空与北抬后的长江中、下游的切变线系统交汇形成的降水过程。5月16日12时(北京时,下同),850hPa形势图上,环渤海

地区受高压控制,沿长江中、下游为切变线系统,汉口以下为暖切变,华北北部至西北北部为一低值区。新疆大部、青藏高原有冷空气入侵,向青海方向东扩。我国南部地区副高形势有所加强。17日00时500hPa形势图上,华北地区为西南气流控制,水汽条件充足。850hPa形势图上,山东半岛为反气旋,河套和华北分别有低值系统发展。长江地区仍维持明显的切变,山东地区高压减弱东移,南部(包括山东半岛)为弱辐合区。河套~东北平原上空为低涡控制。17日12时,华北地区为东南风和东北风的辐合区,并开始出现降水。18日00时,山东半岛为偏北风,不利于降水继续发展,但仍有降水。之后,降水系统减弱东移入海。

降水实况:17日08时~18日00时(北京时,下同),华北中南部、黄淮地区出现大面积降水,山东全省降水量为20~40mm,最大出现在日照站,为51mm。18~19日雨区东移,雨势减弱,山东全省降水量为2~10mm,最大出现在成山头站,为23mm。

<sup>①</sup> 本文是作者在中国气象科学研究院人影中心完成。

从卫星资料来看,16日20时,贝加尔湖东部有一冷涡存在,锋面延伸至东北北部,长江中、下游为副高云系控制,并有切变线云团发展,华北东部有大面积云系发展。17日10时,华北上空云带加强东移,南部切变线系统加强北抬,17日16时,冷锋云系经贝加尔湖高压底部经青海东移到华北上空(包括山东全境),在山东上空有白亮云带。长江中、下游切变线云系有所加强(如图1)。18日20时,云系减弱并逐渐移出山东全境,降水过程结束。

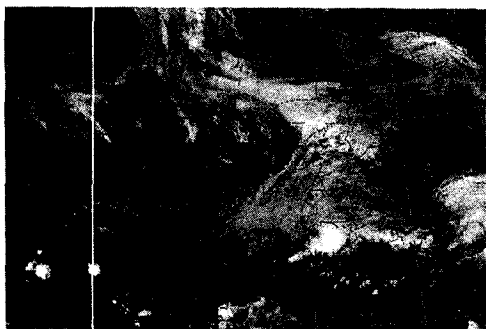


图1 1999年5月17日16时卫星云图资料

## 2 飞行作业情况简介

本次过程共飞行作业3架次。

第1架次为17日15时58分到19日20分。从潍坊机场起飞,向洒水飞行,爬升到4780m高度,飞经曲阜,达到最大高度5371m,最低温度为 $-6.4^{\circ}\text{C}$ 。在金乡附近飞机下降作垂直探测。降低到1078m高度,后又拉起,上升到4500m高度,再平飞曲阜、平邑,同时进行增雨作业。飞经枣庄上空,然后返航,19日20分到潍坊机场着陆。作业高度为4500m,作业中使用AgI溶液26kg,作业区风向 $225^{\circ}$ ,风速 $8.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

第2架次17日21时05分起飞,后因空域问题,21时27分返航着陆。

第3架次18日9时48分到12时29分。从潍坊起飞,爬升到4500m高度后,平飞

青岛、掖县、招远、海阳,北飞至烟台,从烟台穿原飞行轨迹至胶州,后回潍坊降落。飞行最大高度为4629m,最低温度为 $-4.89^{\circ}\text{C}$ 。作业高度4500m,使用AgI溶液20kg,作业区风向为 $250^{\circ}$ ,风速 $7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。飞行路线如图所示。

在飞行作业的同时,利用机载PMS粒子探测系统对云中的微物理特征量进行了连续观测。

## 3 宏观物理观测

17日15时30分,潍坊机场本地地面观测,云量10成,为中、低云。起飞后,在700m高度入低云,2100m时出云,云厚约1400m,飞机可观测到上空有稀薄云层。继续上升到4000m时接近中云云底,太阳苍白不耀眼。16时34分,上升到4780m,入云,云较暗,有轻微颠簸,说明云中有对流发展,接近云顶。飞机飞行最大高度5371m,温度为 $-6.4^{\circ}\text{C}$ ,云中。舷窗外有小水流,地面开始出现降水。飞机作垂直探测,下降到1078m,接近云底高度。飞机观测和PMS资料观测都能清楚地看出,降水云层有明显的分层特点,且层状云也不是均匀分布的,具有较明显的内部小特征(这一点从PMS资料很容易看到)。云层之间存在一干层,使部分降水粒子在下降过程中蒸发,不利于降水形成。

18日9时30分,潍坊本场云量仍为10成,并有零星小雨,降水过程主体云系已经向东移去。飞机起飞后向东南青岛方向飞行。爬升到850m高度入云,2000m出云,低云厚度为1150m。

## 4 云层微物理特征

17日飞行探测时为此次过程的发展阶段,18日飞行作业时,已经是此次降水过程的消散阶段。图2为17日飞机起飞阶段PMS探测结果。

从下图可以看出,17日云层分两层:700m~2km,为一约1.3km厚的云层,云滴

浓度最大达 250 个/cm<sup>3</sup>, 云滴直径为 7μm; 4.3~4.7km, 约 400m 厚, 云滴浓度最大为 60 个/cm<sup>3</sup>, 云滴直径达 23μm。含水量相对应

也分为两层, 1.2~2km 为 0.035g/m<sup>3</sup>; 4.4km 高度上为 0.015g/m<sup>3</sup>。含水量下层高于上层, 同一层中也分布不均。

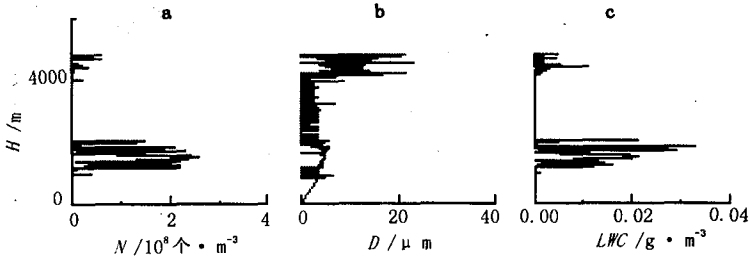


图2 17日飞机起飞阶段探测的云滴浓度(a)、云滴直径(b)、含水量(c)

图3为17日第一架次中加作垂直探测的结果。图中可以看出, 随着高度的增加云粒子浓度增大, 最大值出现在 3500m 高度上, 为 45 个/cm<sup>3</sup>, 含水量也随着增大, 在 4000m

高空达到最大值 0.015g/m<sup>3</sup>, 粒子谱增宽, 粒子直径从 1000m 时的 5μm 增大到 4500m 的 15μm。粒子浓度随高度基本上呈双峰型, 云粒子分布有分层现象。

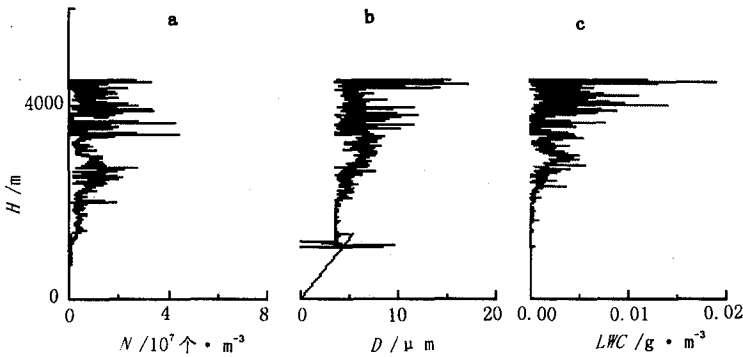


图3 1999年5月17日加作垂直探测时云滴浓度(a)、云滴直径(b)、含水量(c)

图4为18日飞机探测的云粒子垂直分布。图中可以看出, 18日云层中云粒子主要集中在 900m 到 2000m 高度上, 入云后, 云粒子浓度迅速增大到 250 个/cm<sup>3</sup>, 2500m 以上观测不到粒子浓度。地面有少数直径 32μm 的粒子, 平均直径为 10μm, 但浓度很小。云中含水量对应在 1000~2000m 高度层上, 最大值为 0.013g/cm<sup>3</sup>。

发展阶段, 云中含水量、云粒子浓度、尺度分布存在明显差异。降水初生阶段云中含水量较高(0.035g/m<sup>3</sup>), 随着降水的发展, 逐渐变小。说明随云的发展, 人工影响的潜力逐渐减小<sup>[2]</sup>。初生阶段, 降水云分层, 下层云中的云滴直径小, 浓度较大; 而上层云中的云滴直径较大, 但浓度较小, 随高度增加粒子谱增宽。到降水云发展后期, 云粒子谱变窄。

从上述分析可以看出, 降水过程的不同

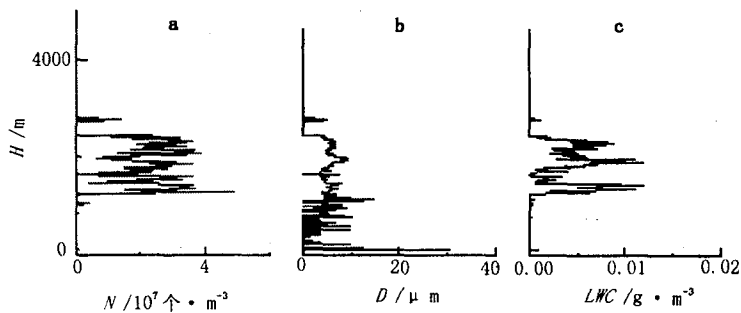


图4 1999年5月18日飞机探测的云滴浓度(a)、云滴直径(b)、含水量(c)

### 5 云粒子浓度和尺度分布特征

图5为飞机探测的粒子浓度、粒子直径、高度和含水量随时间的分布图。可以看出17日,此次过程的形成发展阶段,4500~4780m高度上粒子浓度一般在 $10^7$ 个/cm<sup>3</sup>,粒子直径在5~25 $\mu$ m间变化。其中垂直探测时的资

料可以看出,随着高度增加,粒子浓度、直径有增大。18日为该过程的发展后期,粒子浓度明显低于发展阶段,但粒子谱增宽,从0~30 $\mu$ m变化。粒子浓度、粒子直径随空间和时间分布存在不均匀性,云中云粒子浓度变化最大时有 $10^4$ 量级的差异(图略)。

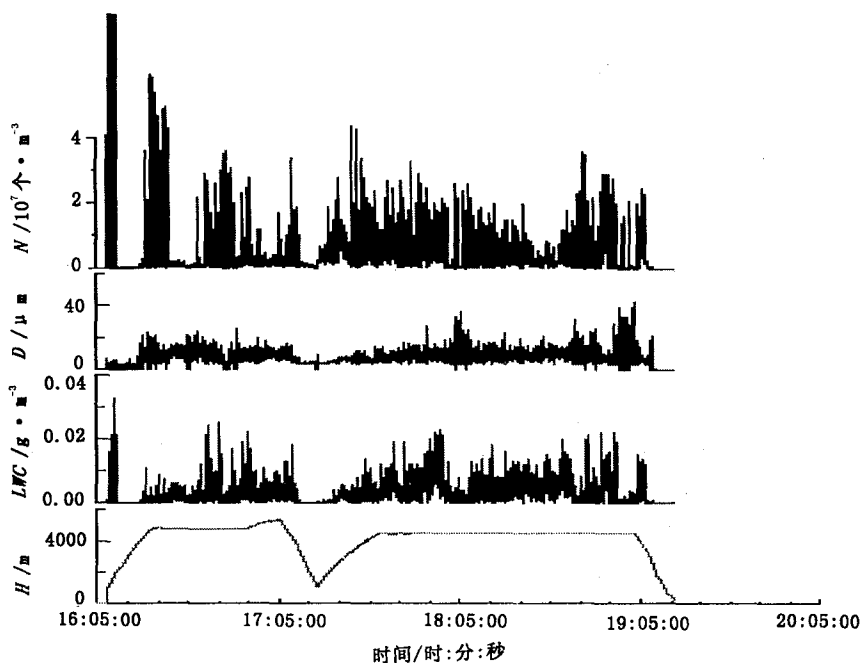


图5a 17日飞机探测中的云滴浓度、云滴直径、飞行高度、含水量随时间分布

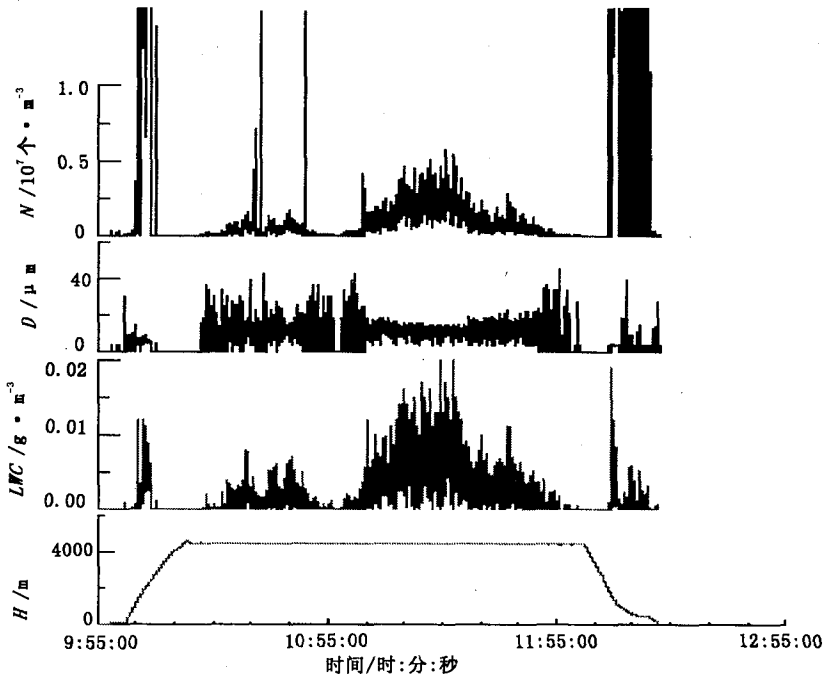


图 5b 18 日飞机探测的云滴浓度、云滴直径、飞行高度、含水量随时间分布

## 6 结论

本次降水过程特征明显,是山东春季非常重要的降水过程类型。通过上面的分析,可以得到以下初步结论:

①此次降水过程系统较强,有较充足的暖湿气流供应,有明显降水。但云中含水量较小,最大值只为  $0.035\text{g}/\text{m}^3$ 。初步分析降水与进行人工影响催化作用有关。

②云体有明显的分层,中、低云之间夹有干层。在此层中会使部分降水粒子蒸发,不利于降水。

③此次降水过程中,不同发展阶段粒子

浓度、直径特征不同,发展后期粒子浓度低于发展初期,但粒子谱有增宽。

④层状云有不均匀性的带状结构,粒子浓度、直径随高度增加而增大。

**致谢:** 本文完成过程中得到张纪淮先生的热情指导和帮助,特此感谢!

## 参考文献

- 1 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.
- 2 王鹏飞,李子华. 微观云物理学. 北京:气象出版社,1989:180~186.

(下转第 25 页)

# The Microphysical Characteristics of A Huabei Cold Vortex Precipitation

Su Zhengjun Huang Shihong

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, 210093)

Liu Weiguo

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

## Abstract

Based on weather charts, satellite data, surface precipitation data, GPS, specially the Particle Measuring System (PMS) data, etc, obtained in the cold vortex system in North China, in May 17—18, 1999, some features for this type of system were concluded as the following. ①The precipitation process was due to the meeting of the Huabei cold vortex and the shear line system along the Changjiang River. ②The precipitation clouds can be divided into two layers, and there is a dry layer among them. In the cloud body, the supercooled water content is low ( $0.035\text{g}/\text{m}^3$ ), and its distribution is not even. Due to the existence of the dry layer, the rain droplets evaporate after leaving the clouds. ③The maximum cloud particle concentration is  $250/\text{cm}^3$ . The cloud particle diameter and concentration are not uniform in the cloud.

**Key Words:** precipitation microphysical cloud particle spectrum