

# 雲南物理論文集

汪学林 金德镇 编

中国科学技术出版社

- 872857

327

0174

# 云雨物理论文集

汪学林 金德镇 编

中国科学技术出版社

## 内 容 提 要

本文集收入我国气象工作者, 关于吉林云雨物理和人工降水部分所著述的论文, 计44篇。全集共分四部分: 一、专题介绍云雨的宏微观特征以及各种天气系统之间的相互制约关系; 二、进一步阐述了云雨的发生发展的机制。三、从人工降雨实用角度进而研究了云雾的自然降水效率以及人工影响潜力; 四、介绍人工催化云层的物理效果以及尿素成冰能力等人工增雨效果的部分论文。

由于本文集收入的论文是外场实际探测试验和室内研究的综合成果。故而, 既具有一定科学价值, 又有较强的实用性。适用于从事气象、水文、通讯、航空、军事科研人员和业务人员以及大专院校有关专业的师生阅读。

### 云雨物理论文集

汪学林 金德镇 编

责任编辑 宋守今

\*

中国科学技术出版社(北京海淀区魏公村白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

吉林省委党校印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 插页: 字数 690千字

1987年9月第一版 1987年9月第一次印刷

印数: 1—1000册 定价: 14.00元

统一书号: 13252.1524

本社书号: 1418

## 编 者 的 话

由于生产的迫切需要，1958年8月，在国家气象局云雾物理专家的指导下，我们首先在我国开始了飞机人工降雨外场试验。28年来，共飞行作业570架次。结合外场作业，开展了长期、稳定而又比较系统的云雨物理试验研究。对云雨的宏微观结构、天气与云雨物理间的联系、降水性层状云的降水机制及其人工影响潜力诸方面等，得出一系列成果。撰写出60余篇有关论文。为了总结经验，承上启下，增进全国性交流，我们特将其有关部分汇总成这本文集。

本文集是集体工作的成果。汪学林和金德镇负责编辑和初审。为了慎重起见，又请游来光、胡志晋和马培民进行复审。

由于我们水平所限，这本文集肯定有不当或失误之处，希望广大读者批评指正。

在编辑出版过程中，蒙“中国科学技术出版社”给予帮助，在这里一并表示感谢。

编者 1986

## 一、云的宏微观结构

1. 吉林春季降水性层状云宏微观特征的综合分析.....汪学林、陆煜钧、金德镇等 ( 1 )
2. 降水性层状云微物理特征的初步探讨.....汪学林 ( 17 )
3. 降水性层状云中的冰晶与雪晶.....孙可富 ( 28 )
4. 降水性层状云中的液态含水量.....陆煜钧 ( 39 )
5. 吉林省各种降水性层状云的云滴谱特征.....刘志明 ( 54 )
6. 白城地区春季的大气冰核.....汪学林等 ( 60 )
7. 初夏暖锋雨带中对流泡的云滴谱特征.....李云得 ( 68 )
8. 降水性层状云的性质及其人工影响问题探讨.....陆煜钧 ( 74 )
9. 降水性层状云回波特征.....陆煜钧、孟繁喜 ( 88 )
10. 降水性层状云雷达初步探测.....于 勇、孟繁喜 ( 100 )
11. 吉林春季层状冷云的微物理结构.....游来光、陆煜钧、汪学林 ( 109 )

## 二、天气系统的云雨特征

12. 河套低压降水性层状云的云雨特征.....汪学林等 ( 114 )
13. 蒙古气旋的天气云雨特征及其人工影响潜力.....汪学林、金德镇、李永振 ( 123 )
14. 蒙古气旋的天气动力分析.....金德镇 ( 137 )
15. 吉林春季蒙古气旋降水性层状云云雨宏观特征.....任为民 ( 145 )
16. 蒙古气旋降水性层状云冰雪晶分布特征.....李永振 ( 152 )
17. 蒙古气旋降水性层状云液态含水量分布特征.....李永振 ( 160 )
18. 大范围冷锋雨系的探测研究.....汪学林、陈君寒、陈王山 ( 172 )
19. 锋面层状云系的天气特征.....栗 柯、陈君寒、汪学林 ( 182 )
20. 冷锋层状云系微物理结构的探测分析.....魏忠东、汪学林等 ( 191 )
21. 暖锋雨系的飞机探测及其人工影响问题研究.....汪学林 ( 198 )
22. 一次弱降水系统的观测分析.....陆煜钧 ( 221 )
23. 一次锋面气旋降水过程的雷达回波特征分析.....王鹏云、熊尚清等 ( 231 )
24. 一次蒙古气旋的探测研究.....汪学林 ( 242 )

## 三、降水机制

25. 吉林春季降水性层状云降水机制的综合分析.....汪学林、金德镇、刘志明 ( 253 )
26. 吉林春季层状云中降水元增长条件的研究.....游来光 ( 259 )
27. 春季吉林地区层状冷云中冰晶的形成与雪晶增长特点.....游来光等 ( 269 )
28. 降水性层状冷云中冰晶演化过程对降水的影响.....汪学林、周全 ( 281 )
29. 吉林层状云融化层中降水粒子的转化.....汪学林、靳瑞军 ( 287 )
30. 吉林层状云冰晶繁生的可能性.....刘志明 ( 293 )

#### 四、人工影响潜力

- 31. 吉林春季降水性层状云人工影响潜力的探讨……………汪学林、金德镇等 ( 298 )
- 32. 蒙古气旋的降水效率及其人工影响潜力……………汪学林、金德镇、李永镇 ( 309 )
- 33. 用WLC程序计算降水潜力的个例分析……………金德镇 ( 315 )
- 34. 冷锋雨系降水效率的初步研究……………金德镇、刘志明等 ( 321 )

#### 五、降水效果初步分析

- 35. 云室内尿素成冰性能试验……………张 铮、汪学林、孙国清 ( 327 )
- 36. 尿素成冰性能的实验研究……………张 铮、唐致美 ( 342 )
- 37. 尿素催化层状冷云的野外试验……………汪学林等 ( 348 )
- 38. 尿素催化层状冷云的联合野外试验……………汪学林等 ( 363 )
- 39. 尿素吸湿、凝结性能的联合野外试验……………汪学林等 ( 384 )
- 40. 使用中子活化技术检测播种尿素在大气中扩散的初步试验……………汪学林 ( 394 )
- 41. 飞机扰动对云层降水影响的试验……………陆煜钧 ( 404 )
- 42. 人工播撒时机对增加冷性层状云降水的影响……………金德镇 ( 419 )
- 43. 介乙醛催化层状冷云的野外试验……………陆煜钧 ( 430 )
- 44. 吉林省层状冷云催化效果与天气条件关系的初步研究……………汪学林 ( 448 )

# 吉林春季降水性层状云 宏微观特征的综合分析

汪学林、陆煜钧、金德镇、李永振、刘志明、  
李云得、熊尚清、于 勇、孟繁喜、李占柱、\*

## 一、引言

1958年我省首先在全国开展了人工降雨外场抗旱试验。1963年以后,在飞机上安装了云雾机载仪器,进行云雾资源考查。27年来,总共飞行作业570架次,其中,有设计的云雾探测约120架次左右。探测区90%集中在我省中西部地区,探测的对象主要是天气系统雨带范围内的春季层状冷云。它们的降水率一般在 $0.1\text{mm/h}\sim 3.0\text{mm/h}$ ,云顶温度在 $-10^{\circ}\text{C}\sim -20^{\circ}\text{C}$ 。

通过长期系统地探测,我们已基本了解了我省春季层状冷云的宏微观结构,得出了一批成果〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕。为使这批成果更有系统性、实用性,特将其综合归纳,以便更有效地推广和应用到人工影响天气、航空、预报、军事、教学和通讯传输等各个领域。

## 二、观测方法与资料的收集

探测所用飞机大都是伊尔—14、C—46、伊尔—12,有些年份也用过里—2,这些飞机航速为 $220\sim 350\text{km/hr}$ 飞行上限 $4\text{km}\sim 7\text{km}$ ,最大续航时间 $3\sim 5$ 小时。

飞机侧窗上分别装有TPZ—2液态,含水量仪、TPM—1云滴谱仪和冰雪晶、雨滴谱铝箔取样器等手动仪器,收集云中微物理资料,它们取样速率,一般以2分钟为一个间隔。同时装有CM—43飞机气象计,或飞机温度表,用以测量飞行中的温度和高度。

云的宏观结构特征主要根据飞机上实测资料综合判定,地面雷达资料和实况作参考。

资料整理都按国家气象局先后颁发的两个规定进行。

探测是围绕人工影响的对象而进行的,故而,主要探测的是降水性层状云。

---

\* 孙可富、唐长保、陈德林、任为民、郑日钟、朱鸿烈、唐致美、卫祥声、谷淑芳、郝学军等同志曾参加过资料收集和整理工作。

### 三、降水性层状云的宏观特征

表 1 是 4~8 月我省中部地区的怀德站各种云出现的频率及其和降水的关系。表 2 是 80~82 年飞机探测云型一览表。由两表可见,我省 4~8 月份以 Cu Cong 和 Sc 出现频率最多,其次是 As—Ns, 但其月平均降水量以 As—Ns 最大。由于飞机性能所限, 又是结合春季抗旱需要飞行, 所以, 我们主要催化和探测研究的是 As—Ns。

表 1            1980~1982 年怀德站 4~8 月云层出现日数及其和降水关系

| 云        层  | As—Ns | Cb  | Sc  | Cu cong |
|-------------|-------|-----|-----|---------|
| 14 点月平均出现日数 | 2.8   | 2.5 | 6.8 | 8.0     |
| 月平均降水量 (mm) | 15.4  | 9.8 | 2.8 | 2.2     |

表 2            1980~1982 年飞行探测云层一览表

| 云        层 | Ns    | Asop  | Astra |
|------------|-------|-------|-------|
| 飞行探测架次     | 7     | 23    | 23    |
| 占 百 分 比    | 13.2% | 43.4% | 43.4% |

#### 1. 水平和时间分布特点:

通过统计 1974~1983 年的资料,降水性 Asop—Ns 的云场面积最小是  $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 最大是  $6.4 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 平均为  $2.8 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。云场的维持时间, 最小 5 小时左右, 最大可达 48 小时, 平均约 22 小时左右。

雷达观测发现, 这种大面积降水性层状云, 大都和气旋锋面活动相联系, 在平面显示器上常表现为片状、絮状和网状回波。它们常伴随雨带生消、发展、移动〔5〕。

#### 2. 垂直结构:

我省春季的降水性层状云大都是多层次结构 (如表 3)。

表3 吉林春季降冰性层状云分层情况

| 飞行云的层次(%) |    |      |      |      |     |
|-----------|----|------|------|------|-----|
|           | 次数 | 一层   | 二层   | 三层   | 四层  |
| 5月        | 47 | 27.7 | 51.1 | 19.0 | 2.2 |
| 6月        | 34 | 11.7 | 47.1 | 29.4 | 8.8 |
| 7月        | 26 | 15.4 | 61.6 | 19.2 | 3.8 |
| 平均        |    | 20.6 | 52.3 | 22.4 | 4.7 |

两层云约占52.3%，它们大多是上面有一层Asop，下面有一层Sc。一层云大都是Ns，约占20.6%，3~4层云大都出现在系统的尾部或弱的降水系统中。

图1是降水性层状云云场平均垂直结构示意图。图中清楚表明，一般在1200~2300m有

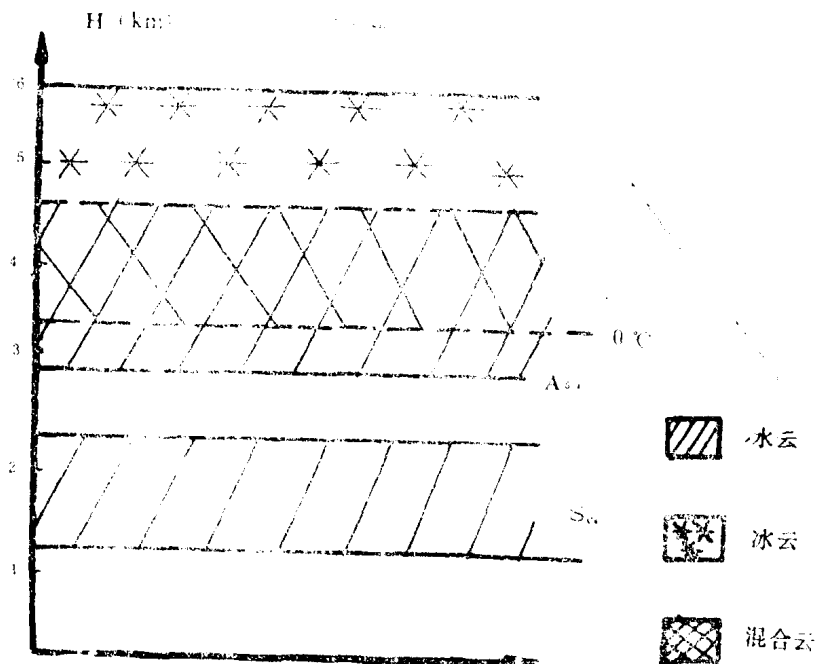


图1 降水性层状云云场平均垂直结构示意图

一层层积云，它们大都是暖云，3000~5800m有As，其云底向上300m范围内一般是暖云，上面有1100m左右厚是混合云，再往上是纯冰云，它约占整个云层厚度的30%左右。由于飞机爬高性能所限，有时上面卷云无法判断。当降雨开始后，有时在Sc下还出现一层Fn云厚约50~300m。

### 3. 宏观特征的不均一性

雷达和飞机观测发现〔5〕〔6〕，我省层状云降水带状结构是主要回波特征，常常表现为暖锋、冷锋、暖区雨带，它们的宽度为10~30公里，仔细辨别一般是结构紧密的细胞所组成，这说明我省层状云不是很均匀的，对流活动不强时，表现为层状云稳定降水，飞机在其中飞行是平稳的，一旦对流较强时，就会发展成一个一个对流泡，夹在层状云中，地面观测，仍是层状云，但雷达观测已发现小的块状结构，飞机进入其中，有小到中度颠簸，各种微物理因子发生突变。

“对流泡”直径一般几百米到1~2公里，常在3公里以上高度表现较明显，垂直厚度随对流发展程度而异，泡中降水很大，是降水预报和人工影响值得注意的对象。

## 四、降水性层状云微物理特征

### 1. 冰雪晶

通过130架次测得冰晶资料分析，几乎所有As—Ns中都有冰质点存在，但是随着天气、动力、云层条件不同差别较大。有时，在同一次飞行中，垂直和水平向差别也较大。

降水性层状云中冰晶雪晶平均和极值浓度见表4。

表4 As—Ns中冰雪晶浓度

| 冰 晶 浓 度 (个/L) |      |       |     | 雪 晶 浓 度 (个/L) |     |      |     |
|---------------|------|-------|-----|---------------|-----|------|-----|
| 样片数           | 平均值  | 最大值   | 最小值 | 样片数           | 平均值 | 最大值  | 最小值 |
| 854           | 14.6 | 221.9 | 0   | 831           | 5.2 | 40.8 | 0   |

通过1963年观测发现，冰晶浓度和云的宏观状况，至少有两点关系是明显的〔4〕：

(1) 随着云顶温度降低，冰晶浓度明显增加。如云顶温度低于 $-15^{\circ}\text{C}$ 的飞行架次，测得冰晶平均浓度为 $6.2 \times 10^4$ 个/米<sup>3</sup>，而高于 $-15^{\circ}\text{C}$ 测得冰晶浓度只有 $7.7 \times 10^3$ 个/米<sup>3</sup>。

(2) 高云发展状况是影响冰晶浓度又一重要因子，图2是相对于四种不同类型宏观取样部位示意图，所得结果如表5，即使这几次云顶温度相近( $-12^{\circ}\text{C} \sim -13^{\circ}\text{C}$ )，但由于卷云播种引起下层冰晶的浓度增高。

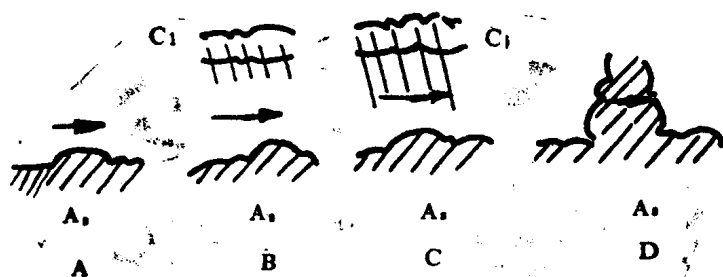


图2 高层云顶部位测得的冰晶浓度

表 5 不同观测部位测得冰晶浓度

| 取样部位    | 取 样<br>次 数 | 冰晶浓度 (个/米 <sup>3</sup> ) |                   |
|---------|------------|--------------------------|-------------------|
|         |            | 平 均                      | 最 大               |
| “碧 空”   | 10         | $1.9 \times 10^2$        | $9.6 \times 10^2$ |
| 卷 云 下 部 | 6          | $1.3 \times 10^3$        | $9.7 \times 10^3$ |
| 卷云的雪幡中  | 10         | $6.2 \times 10^3$        | $1.4 \times 10^4$ |
| 高层云隆起部分 | 7          | $1.6 \times 10^4$        | $4.2 \times 10^4$ |

冰晶浓度随高度的垂直分布，大致可归纳成以下两类：（1）自云顶到0℃层，浓度随高度降低而增加，在-3℃~-9℃层出现峰值，以后向下又减少。此种情况个例甚多，63年平均分布（图3—a）也属这种类型，可能是云层中冰晶分布的一种基本形式。（2）自云顶向下冰晶浓度逐渐减少（如图3—b）此种情况不及上种类型多，但在云雾探测中也经常可见（如图3—b）。

T (°C)

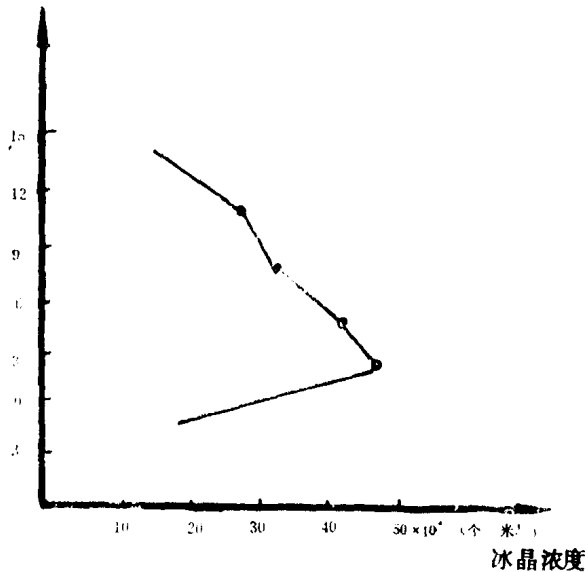


图 3 (a) 1963年平均冰晶浓度的垂直分布

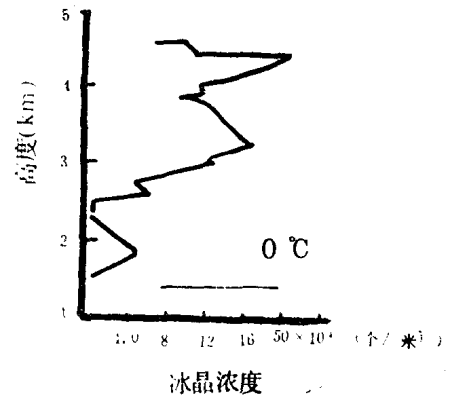


图 3 (b) 1963年4月28日的垂直分布

图 4 是1963年各次飞行观测雪晶浓度  $N_s$  与冰晶平均浓度  $N_i$  的相关，同图还给出了  $N_s/N_i$  和的相关，由图可看出：（1） $N_s$  与  $N_i$  正相关，一般  $N_s$  远小于  $N_i$ 。（2）在  $N_i$  小于  $1.5 \times 10^4$  个/米<sup>3</sup> 段， $N_s/N_i$  随  $N_i$  减小而迅速增加。（3）在  $N_i$  大于  $1.5 \times 10^4$  个/米<sup>3</sup> 段， $N_s/N_i$  基本不随  $N_i$  变化， $N_s/N_i$  近似为一常值  $5.2 \times 10^{-3}$ 。

关于雪晶的形状，由于飞行上高度限制，不能得到更广阔的温度区间中雪晶的状态。图 5 只给出了在不同温度条件下，观测到枝星状和针状雪晶的频率。由图可见，针

状大多出现在 $-3^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ 范围内。结合各温度区间各种晶形出现最大概率统计，可以得到我省春季降水性层状云晶型垂直分布示意图（图6）。

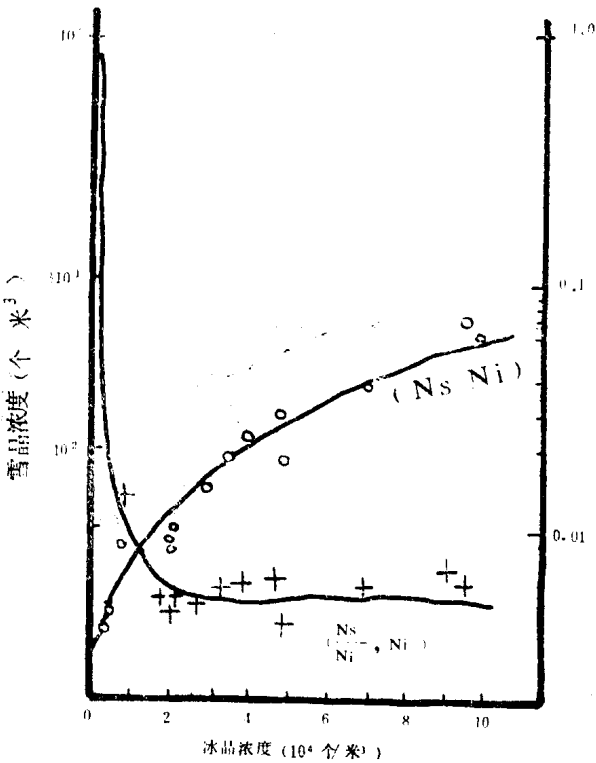


图 4 雪晶浓度Ns 与冰晶浓度Ni 的关系及Ns / Ni 与Ni 的关系

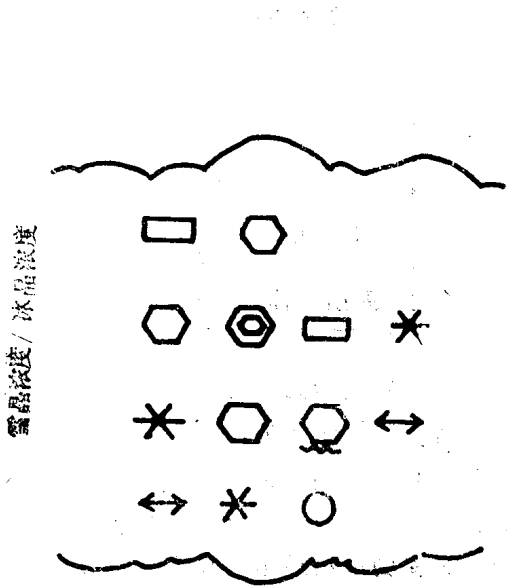


图 6 As—Ns 云中雪晶主要形态分布示意图

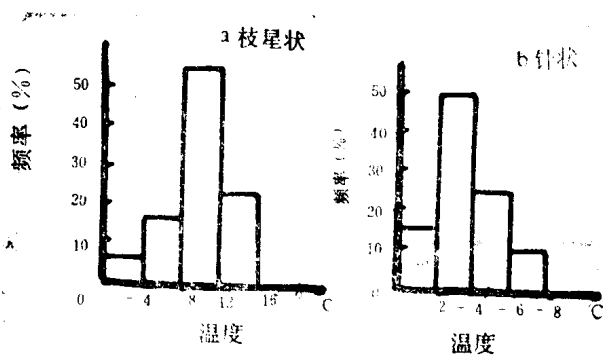


图 5 雪晶形状在各温度下的出现频率

## 2. 液态含水量

冰云下限高度，随着天气系统，动力条件和云型有所不同，每次差别较大，它的最低高度当温度为 $-2^{\circ}\text{C}$ 时，就发现过冰晶化；最高高度当温度低于 $-18^{\circ}\text{C}$ 时还不是纯冰

云。图7是根据1963年的资料综合而成。由图可见吉林省春季降水性层状云在 $-5^{\circ}\text{C}$ 时, 60%以上是混和云, 到 $-12^{\circ}\text{C}$ 只有27%左右。

根据947个样品, 求得As—Ns和Sc的平均含水量(见表6)。

表6 平均液态含水量

| 云 型   | 观测样本 | 平均含水量 ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|-------|------|---------------------------------|
| As—Ns | 671  | 0.11                            |
| Sc    | 303  | 0.23                            |

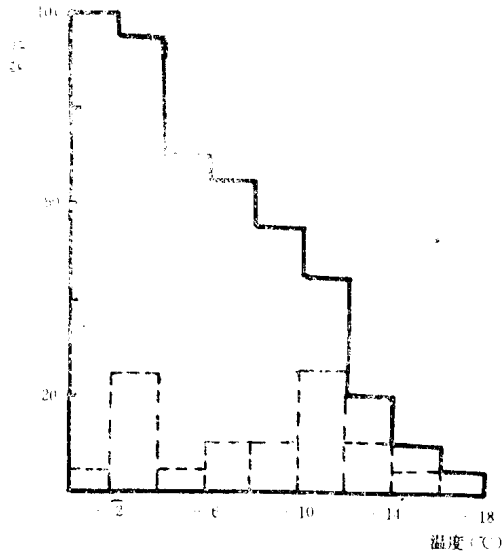


图7 混合层顶部温度的频率分布

As—Ns中含水量随温度的垂直分布, 大致有两种形式: (1) 单峰型。从云顶开始, 随着高度减低, 含水量一直增加, 直到云底上几百米, 出现极大值, 以后向云底又减少。吉林As—Ns中, 平均液态含水量随高度的分布(图8), 就是这种典型的代表。近十几年观测中, 也大多观测到这种形式, 只是峰值高度稍有变化。看来, 这种分布形式, 是吉林省As—Ns主要液水含量分布形式。(2) 双峰形。除离云底上面几百米处有一主峰外, 大约在云底上面1000~2000米处还有一个副峰。图9就是这种分布形式。

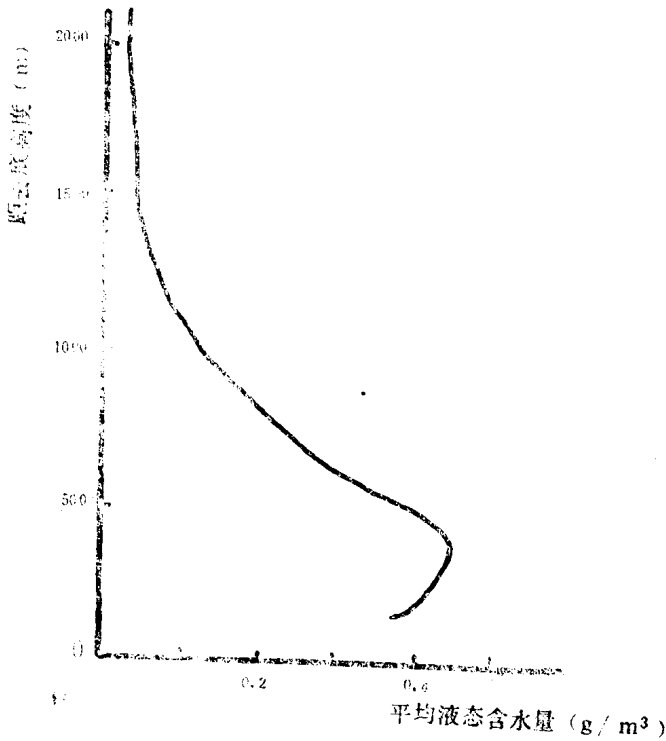


图8 1963年吉林As—Ns云中平均液态含水量的垂直分布

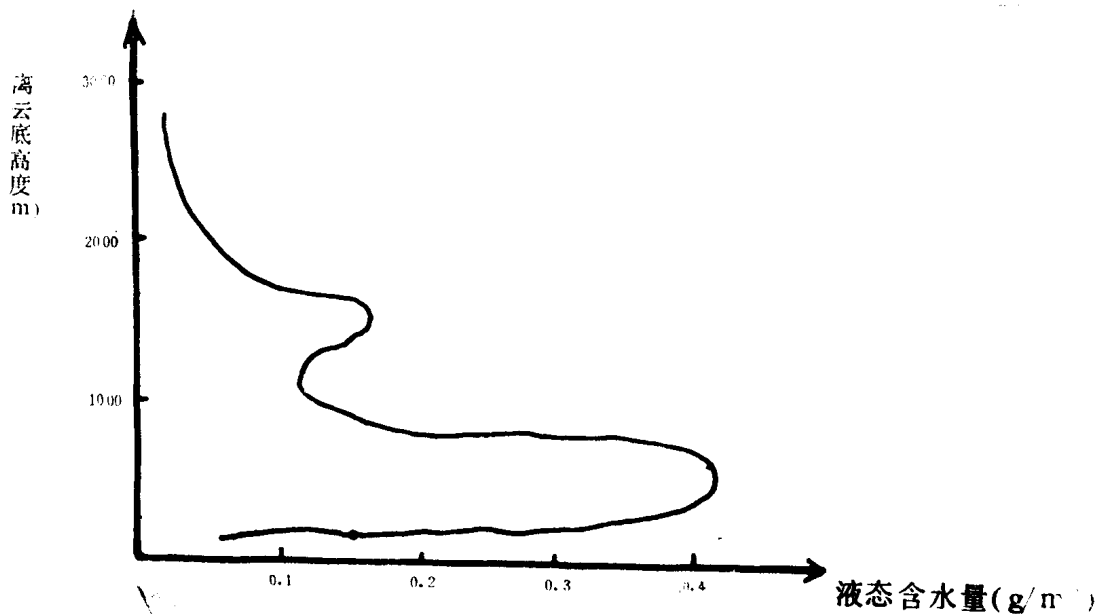


图 9 液态含水量随高度分布的第二种形式

### 3. 云滴谱

表 7 是根据 1963~1972, 1980~1982 年 446 份云滴谱资料整理制成〔8〕。由表可见, 吉林平均云滴浓度, 大致为  $10^2$  个/ $\text{cm}^3$ , 又多集中于  $142\sim 207$  个/ $\text{cm}^3$  范围内,

表 7 三地云滴谱特征

| 地 区           | 云 况   | $\bar{N}$<br>(个/ $\text{cm}^3$ ) | $N_{\max}$<br>(个/ $\text{cm}^3$ ) | $\bar{D}$<br>( $\mu$ ) | $\bar{N}_D > 24\mu$<br>(个/ $\text{cm}^3$ ) | $\bar{N}_D > 40\mu$<br>(个/ $\text{cm}^3$ ) | 取 样<br>片 基 |
|---------------|-------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|
| 吉林(1963~1972) | As—Ns | 207                              | 2000                              | 4.9~9.0                |                                            |                                            | 氧化镁        |
| 吉林(1980~1982) | As—Ns | 142                              | 1869                              | 11.7                   | 4.2                                        | 0.41                                       | 碘胶片        |
| 宁 夏           | As    | 556                              | 3459                              | 8.4                    |                                            |                                            |            |
| 内 蒙           | As—Ns | 116.3                            | 633.9                             | 12.7                   |                                            |                                            |            |

低于宁夏, 高于内蒙。云滴的平均直径,  $N$  (个/ $\text{cm}^3$ ) 一般小于  $10\mu$  左右, 直径大于  $24\mu$  的滴浓度平均是  $4.2$  个/ $\text{cm}^3$ , 这说明可为冰晶繁生提供一定大滴。

图 10 是 1980~1982 年平均云滴谱分布。由图看出, 吉林省的云滴主要集中于小滴部分, 呈单峰分布, 谱形很陡, 在  $3.3\mu\sim 12\mu$  之间, 占云滴浓度的  $87\%$ 。

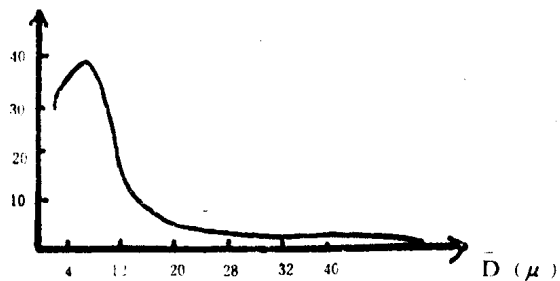


图 10 平均云滴谱分布

影响云滴谱浓度和尺度的因子很多, 就其云层宏观因子来看, 至少有两点是明显的: (1) 与云状有明显关系, 图11是分别统计四类云的滴谱分布, 其中A——雨层云, B——高层云和层积云, C——高层云和层积云, 它们之间云隙大于400米, D——多层次的中云。由图可见, 它们的分布特点是不一致的。(2) 和云中暖层厚度关系密切。如表八所示, 暖层愈厚, 云滴浓度愈大。

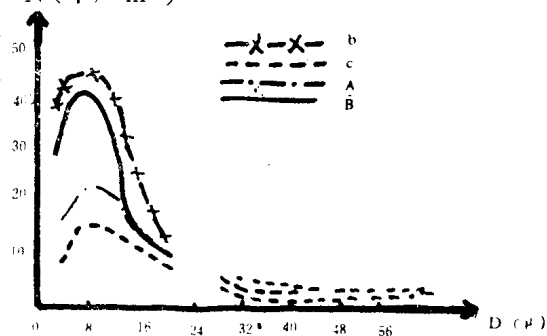


图11 各类层状云滴谱曲线

表8 4—7月逐月云滴浓度随云层各种厚度之间的关系

| 月份 | 资 料<br>份 数 | 云 厚<br>A H ( m ) | $\frac{A H_{\text{暖}}}{A H}$ % | $\frac{A H_{\text{冷}}}{A H}$ % | 云 滴 浓 度<br>N ( 个/cm <sup>3</sup> ) |
|----|------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 4  | 21         | 1660             | 4.5                            | 95.5                           | 111.6                              |
| 5  | 112        | 3370             | 12.5                           | 87.5                           | 102.2                              |
| 6  | 168        | 3260             | 41.7                           | 58.3                           | 338.3                              |
| 7  | 101        | 3810             | 68.4                           | 31.6                           | 537.7                              |

云滴浓度随高度的分布, 视云的分层情况而异, 如果只有一层, 云层不太厚, 暖层也不厚, 只有在 0℃ 附近一个峰值 (图12—a) 如果两层云, 云隙较小, 会出现两个峰区 (图12—b); 如果多层结构, 就会出现多个峰区 (图12—c、d)。

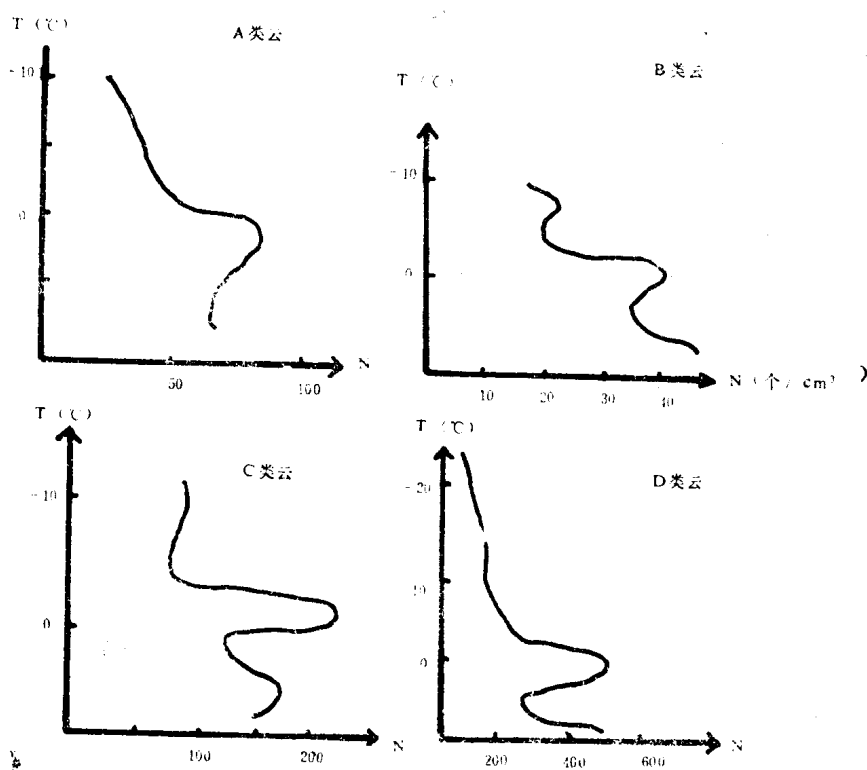


图 12 四类云型云滴浓度随高度分布

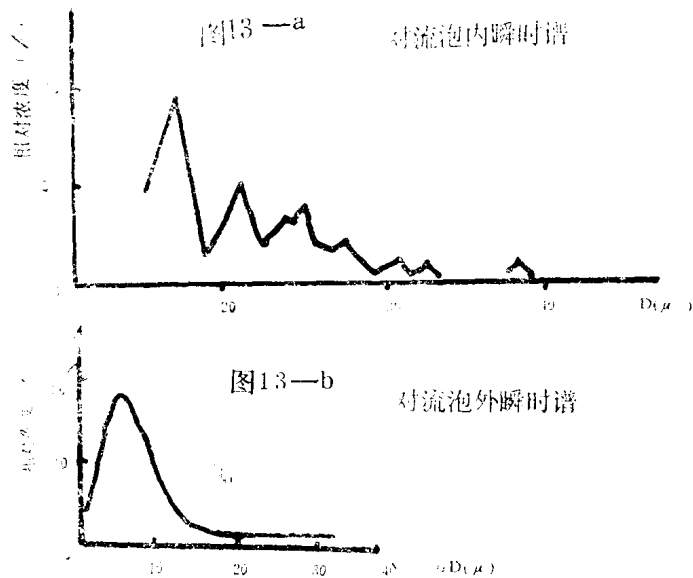
#### 4. 微物理特征量的起伏

通过长期、系统地探测,发现降水性层状云中,各种微物理特征量的起伏,波动是很大的,这种起伏主要来源于云层结构的不均匀。可能是层状云中夹有对流泡,也可能是层状云内更小的脉动,我们曾对1979年7月28日泡内外的云滴谱进行过比较分析,〔9〕发现二者之间谱形有显著差异(图13—a、b),泡外(b)是层状云的谱形;泡内很象科学院大气所在南岳观测的阵性降水谱〔10〕。

云滴浓度和尺度差别也很大(见表9),泡内浓度比泡外小20多倍,平均云滴直径大将近一倍。

表 9 对流泡内外云滴谱比较

| 云 型  | 浓 度<br>(个/cm <sup>3</sup> ) | 平均直径<br>(μ) |
|------|-----------------------------|-------------|
| 对流泡内 | 40.4                        | 19.73       |
| 对流泡外 | 943.0                       | 11.21       |
| 差 值  | 902.6                       | 8.52        |



1975年7月2日，我们同在3900米高度飞行探测，16时24分测得泡内液态含水量是0.46克/米<sup>3</sup>，16时24分飞行泡外实测只有0.049克/米<sup>3</sup>，比泡内小一个量级。

图14为1963年5月7日一次水平探测，探测高度在4510~4610米，水平航程约100 km，每次取样暴露时间为2秒，代表各点附近150米距离内的平均值，由图可见，冰晶浓度变化于 $1.6 \times 10^3$ 个/米<sup>3</sup>~ $4.9 \times 10^4$ 个/米<sup>3</sup>之间，极值间相差一个量级以上。

通过这些事例清楚可见，层状云中，微物理量的分布是不均匀的，常可以产生量级上的差别，我们所说层状云的均匀性，只是相对于对流云而言。

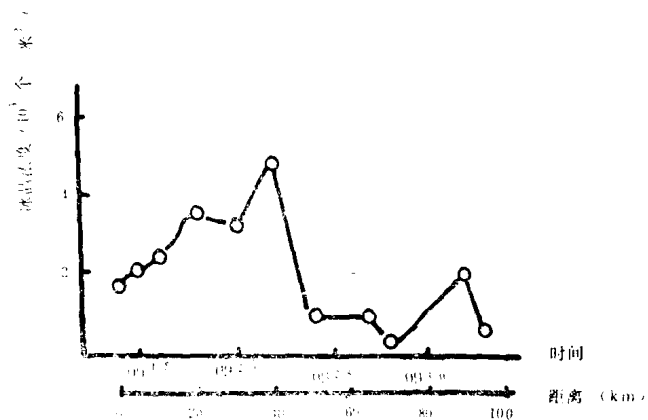


图14 冰晶浓度的水平变化

## 五、宏微观特征随天气系统的变化

近些年来，我们又开展了一系列各种不同天气系统中云雨宏微观特征的观测研究工作〔6〕〔13〕，特别是利用21架次河套低压和24架次蒙古气旋飞机探测资料，对我省这两个春季主要降水系统，进行了较系统的研究〔11〕〔15〕，得出一些初步结果。