

哈尔滨地区层状云降水微物理特征

樊玲¹ 袁成² 张云峰¹

(1. 黑龙江省人工影响天气中心, 哈尔滨 150036; 2. 黑龙江省气象台)

提 要

利用 GBPP-100 型地面雨滴谱仪在哈尔滨地区所获得的春夏季降水雨滴谱资料, 分析了哈尔滨地区层状云降水的雨滴谱分布、微物理参量及其起伏特征。

关键词: 层状云 雨滴谱 微物理参量 起伏特征

引 言

雨滴是云雾过程的最终产物, 雨滴谱带有其形成过程的信息, 通过对雨滴谱的观测研究, 对了解降水形成机制、雷达定量测量降水及人工催化的效果检验等都具有重要意义。我国从 60 年代起就开展了这方面的工作^[1], 黑龙江省也曾在 80 年代利用吸水纸法进行过雨滴采样, 但因取样设备简陋不能进行连续观测, 并且读数过程有人为因素, 所以影响了样本的数量和客观性。

GBPP-100 型地面雨滴谱仪不受条件限制, 分辨率高(能测得直径为 0.14mm 的水滴), 可连续观测。我们利用该仪器于 1999 年 5~7 月对哈尔滨地区的降水过程进行了

观测, 共取得 27 次降雨过程的资料, 本文对其中的 9 次层状云降水过程的 6770 份雨滴谱资料(如表 1)进行了分析, 得出了哈尔滨层状云降水的一些微结构特征。

产生层状云降水的天气形势主要有三类, 第一类是冷式切变线附近产生的降水(如 5 月 5 日、7 日和 9 日); 第二类是气旋系统, 哈尔滨位于气旋波顶部时出现的降水(如 5 月 17 日、23 日); 第三类是冷涡或槽前降水, 地面图上哈尔滨位于高压的后部或底部(如 6 月 19 日, 7 月 9 日和 21 日)。产生降水的层状云有雨层云、层积云, 有的其上还有高层云。云底在 500~1500m 之间, 云顶多为 7000~9000m, 个别超过 10000m(表 1)。

表 1 资料概况

| 日期 年.月.日 | 样本数 | 观测时段 | 云底高/m | 云顶高/m | 云底温度/℃ | 云顶温度/℃ |
|-------------|------|-------------|-------|-------|--------|--------|
| 1999.5.05 | 13 | 11:54~12:01 | 2000 | 10000 | 2 | -52 |
| 1999.5.07 | 61 | 08:03~08:35 | 800 | 8000 | 3 | -43 |
| 1999.5.09 | 69 | 10:22~11:46 | 500 | 8000 | 4 | -48 |
| 1999.5.17 | 2409 | 07:54~19:18 | 700 | 7000 | 6 | -35 |
| 1999.5.23 | 864 | 06:35~09:08 | 1400 | 9500 | 8 | -46 |
| 1999.6.18 | 1157 | 08:07~13:17 | 500 | 9000 | 13 | -45 |
| 1999.6.19 | 197 | 09:44~17:24 | 1500 | 10000 | 7 | -48 |
| 1999.7.09 | 1663 | 12:56~23:41 | 800 | 12000 | 19 | -52 |
| 1999.7.21 | 337 | 09:06~16:28 | 1400 | 7400 | 17 | -15 |

1 雨滴谱仪

GBPP-100 型雨滴谱仪系美国 PMS 公司生产, 其工作原理是利用光阵排列法对雨

滴谱进行全谱观测。即当粒子通过探测器观测区域时留下阴影, 通过光学二极管感应而被探测出来。仪器共有 62 个通道, 每个通道

探测范围是 0.2mm, 第一个通道可测直径为 0.14~0.34mm 的粒子, 第二个通道可测直径为 0.34~0.54mm 的粒子, ……第 62 通道可测 12.3~12.5mm 的粒子。游来光和刘延刚^[2]曾使用吸水纸法和 GBPP-100 雨滴谱仪进行了对比观测, 结果显示, 在大滴一端由 GBPP-100 所测得的雨滴数偏大, 因而雨强也偏大。分析认为这是由于雨滴形变和重叠所致。关于对雨滴形变误差的订正, Pruppacher 和 Pitter^[3,4] 给出了如下公式 $a = (1.05 - 0.13a_0)^{-1/3} a_0$, 其中 a_0 代表相应球形水滴半径, a 代表形变水滴长半径。本文利用该公式对 3mm 以上的雨滴进行了误差订正, 重叠误差是由仪器的工作原理造成的, 目前尚无较好的解决办法^[5]。

2 微物理结构一般特征

表 2 给出了 9 个层状云降水过程的微物理参量平均值, 其中 N 为空间数密度, I 为雨强, Q 为含水量, D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_{max} 、 D_0 分别为雨滴的平均直径、均方根直径、均立方根直径、最大直径及体积中值直径(即从小滴起累计到 D_0 处的雨水量是总雨水量的 50%)。由表 2 可见层状云降水的数密度多为 10^2 个· m^{-3} , 少数为 10^1 个· m^{-3} 和 10^3 个· m^{-3} , 平均为 938.86 个· m^{-3} 。每次降水过程的数密度差异很大, 最小仅为 46 个· m^{-3} , 最大达到 1654 个· m^{-3} , 相差 2 个数量级。雨强偏小, 平均仅为 $0.757mm \cdot h^{-1}$, 最大才达到 $1.36mm \cdot h^{-1}$ 。层状云降水的雨滴平均直径为 0.36mm, 平均最大直径 1.34mm, 少数雨滴最大直径在 4mm 左右。空间含水量少, 平均含水量 $0.07g \cdot m^{-3}$ 。

表 2 微物理参量平均值

| 日期 | $N/个 \cdot m^{-3}$ | $I/mm \cdot h^{-1}$ | $Q/g \cdot m^{-3}$ | D_1/mm | D_2/mm | D_3/mm | D_{max}/mm | D_0/mm |
|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|----------|----------|----------|--------------|----------|
| 1999.5.05 | 110 | 0.22 | 0.01 | 0.35 | 0.42 | 0.51 | 1.48 | 1.26 |
| 1999.5.07 | 533 | 0.64 | 0.04 | 0.35 | 0.42 | 0.50 | 1.46 | 0.99 |
| 1999.5.09 | 59 | 0.04 | 0.00 | 0.33 | 0.35 | 0.37 | 0.88 | 0.56 |
| 1999.5.17 | 1096 | 1.36 | 0.09 | 0.36 | 0.44 | 0.53 | 1.55 | 1.05 |
| 1999.5.23 | 515 | 0.37 | 0.03 | 0.35 | 0.40 | 0.46 | 1.07 | 0.80 |
| 1999.6.18 | 374 | 0.39 | 0.03 | 0.39 | 0.46 | 0.54 | 1.26 | 1.01 |
| 1999.6.19 | 46 | 0.02 | 0.00 | 0.34 | 0.35 | 0.35 | 0.93 | 0.42 |
| 1999.7.09 | 1654 | 0.61 | 0.01 | 0.39 | 0.45 | 0.51 | 1.23 | 0.93 |
| 1999.7.21 | 120 | 0.04 | 0.00 | 0.31 | 0.32 | 0.33 | 1.72 | 0.38 |
| 平均 | 938.86 | 0.757 | 0.07 | 0.36 | 0.43 | 0.50 | 1.34 | 0.92 |

表 3 起伏量及各档雨强贡献(%)

| 日期 | N_1/N | I_0/I | I_1/I | I_2/I | I_3/I | δN | δI | δD | n/N | i/I |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|-------|-------|
| 1999.5.05 | 7.37 | 14.0 | 37.0 | 16.0 | 33.0 | 88.7 | 147.6 | 47.6 | 87.00 | 3.82 |
| 1999.5.07 | 97.50 | 32.0 | 55.0 | 11.0 | 1.0 | 126.8 | 158.9 | 45.1 | 80.30 | 4.46 |
| 1999.5.09 | 98.77 | 13.0 | 80.0 | 7.0 | 0.0 | 146.3 | 290.9 | 81.5 | 94.40 | 11.19 |
| 1999.5.17 | 97.40 | 34.0 | 53.0 | 11.0 | 2.0 | 101.1 | 112.9 | 42.4 | 78.60 | 4.2 |
| 1999.5.23 | 98.73 | 52.0 | 43.0 | 5.0 | 0.0 | 82.6 | 129.4 | 36.9 | 75.60 | 5.94 |
| 1999.6.18 | 97.67 | 43.0 | 53.0 | 4.0 | 0.0 | 88.3 | 103.4 | 48.0 | 78.00 | 4.61 |
| 1999.6.19 | 99.82 | 5.0 | 11.0 | 16.0 | 68.0 | 84.7 | 512.2 | 152.6 | 97.90 | 18.74 |
| 1999.7.09 | 99.36 | 27.0 | 46.0 | 21.0 | 6.0 | — | 320.2 | 52.7 | 95.40 | 16.73 |
| 1999.7.21 | 99.42 | 13.0 | 58.0 | 29.0 | 0.0 | 118.4 | 654.5 | 84.4 | 96.60 | 20.11 |
| 平均 | 98.30 | 34.0 | 50.0 | 12.5 | 4.2 | 96.5 | 205.2 | 50.9 | 83.85 | 8.86 |

表3揭示了各档雨滴对雨强的贡献,表中 N_1/N 为小于1mm的雨滴占总雨滴数密度的百分比。 I_0/I 、 I_1/I 、 I_2/I 、 I_3/I 分别为0~1mm、1~2mm、2~3mm、>3mm的雨滴对雨强的贡献。 n/N 、 i/I 分别为第一通道的雨滴占总雨滴数密度的百分比和对总雨强的贡献。由表3可见小于1mm的雨滴占总雨滴数密度的98.3%、对总雨强的贡献为34%,1~2mm的雨滴占总雨滴数密度不到2%,但对雨强的贡献达到50%,第一通道即0.14~0.34mm雨滴占总雨滴数83.85%,但对雨强的贡献仅为12.5%,由此可见对层状

云降水贡献较大的是0.35~2mm的水滴。

3 平均雨滴谱分布

雨滴谱有两种分布形式:其一为M-P分布^[6],表达式为 $n = n_0 \exp(-\lambda D)$,其中 n 为雨滴密度分布函数、 n_0 与 λ 为参数。另一种为 Γ 分布: $n = n_0 D^\mu \exp(-\lambda D)$,其中 n 、 n_0 、 λ 意义与M-P分布相同, μ 为新增的形状因子。

利用最小二乘法对每次降水过程分别进行了M-P分布与 Γ 分布的拟合计算,得出了各降水过程在两种分布下的参数值,如表4。

图1为9次降水过程的实际平均谱和拟

表4 M-P分布和 Γ 分布各参数的拟合值

| 日期 | M-P分布 | | Γ 分布 | | |
|-----------|----------|-----------|-------------|-----------|--------|
| | n_0 | λ | n_0 | λ | μ |
| 1999.5.05 | 43.034 | 1.710 | 3.843 | -0.1421 | -2.608 |
| 1999.5.07 | 1202.550 | 3.174 | 560.767 | 2.5854 | -0.752 |
| 1999.5.09 | 15.336 | 2.657 | 0.273 | -0.6226 | -3.202 |
| 1999.5.17 | 1676.199 | 3.017 | 752.395 | 2.3915 | -1.086 |
| 1999.5.23 | 2383.079 | 4.111 | 1514.769 | 3.7571 | -0.406 |
| 1999.6.18 | 1431.494 | 3.851 | 1311.849 | 3.7843 | -0.086 |
| 1999.6.19 | 0.598 | 1.465 | 0.005 | -2.1082 | -5.356 |
| 1999.7.09 | 586.021 | 2.793 | 117.542 | 1.5639 | -1.922 |
| 1999.7.21 | 5.562 | 2.956 | 0.024 | -0.8789 | -4.539 |
| 平均值 | 609.6 | 3.00 | 173.7 | 2.04 | -1.36 |

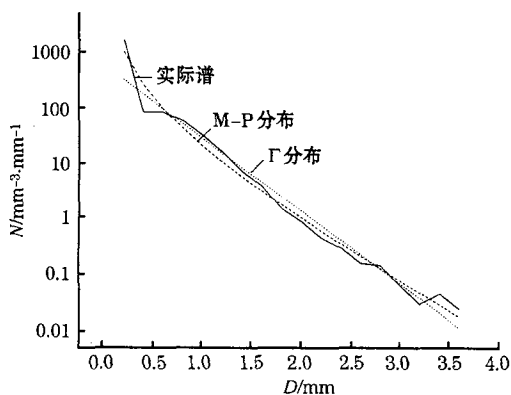


图1 层状云降水雨滴谱

—为实际谱,···为 Γ 分布,---为M-P分布

合谱。由图可以看出,层状云降水可以用M-P分布来描述,但 Γ 分布与实际雨滴谱更为接近,它减小了小滴端与大滴端的误差。两种分布式分别为:

$$N(D) = 609.6 \exp(-3.00D)$$

$$N(D) = 173.7 D^{-1.36} \exp(-2.04D)$$

4 微结构参量随时间的演变

图2为5月17日12时54分至13时07分层状云降水雨强 I 、数密度 N 、平均直径 D_1 、最大直径 D_{max} 随时间的演变。由图2可见,层状云降水也具有较大的波动性, I 与 N 的相位基本一致, D_{max} 的变化趋势也与之相近,只是峰值略微超前,而 D_1 的变化态势与前三者正好相反,当 I 、 D_{max} 、 N 处在峰值时 D_1 的变化正处波谷。也就是说雨强的大小主要由雨滴数密度和滴谱宽度共同决定的,雨强大时,数密度和最大直径都比较大,而雨强小时,数密度和最大直径都比较小,但平均直径有所增长。

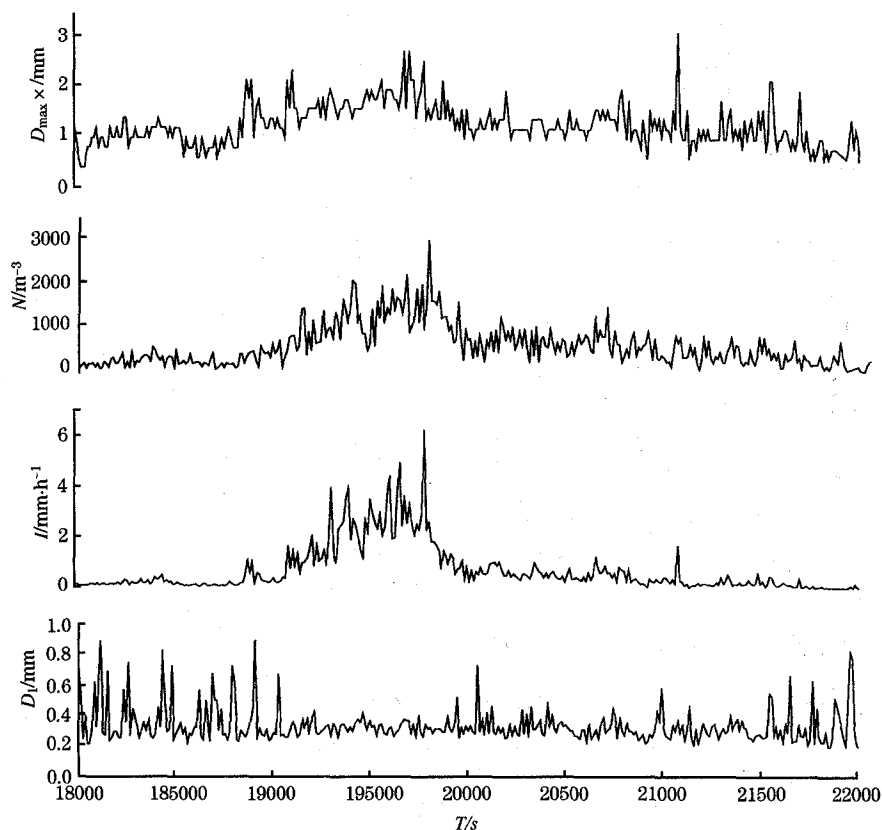


图2 微物理参量的演变

5 微物理参量的起伏特征

为定量研究层状云降水的起伏性,根据公式 $\delta(X) = \sigma(X)/\mu(X)$ 计算了数密度、雨强、雨滴直径的起伏量 δN 、 δI 、 δD 。 $\sigma(X)$ 为变量 x 的均方差, $\mu(X)$ 是其数学期望。从表3及图2中可见层状云降水的起伏变化也很大,数密度平均起伏量为 96.5%、最大起伏可达 146.3%,雨强起伏平均为 205%,个别的最大达到 654.5%,相比之下平均直径的起伏不大,平均为 50.9%。如此强烈的起伏变化说明层状云降水水平分布的非均匀性。

图3和图4给出了5月17日降水过程不同大小的雨滴对数密度和雨强起伏量的影响,横坐标0、1、2、3分别表示0~1mm、1~

2mm、2~3mm和大于3mm的雨滴,纵坐标分别表示各档雨滴对数密度起伏量 $F-N$ 和雨强起伏量 $F-I$ 的贡献。由图可见小于1mm的雨滴对数密度起伏的贡献大,而雨强是1~2mm的雨滴对它的起伏贡献大。

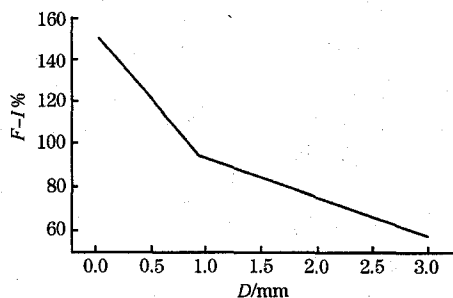


图3 不同大小雨滴对数密度起伏的贡献

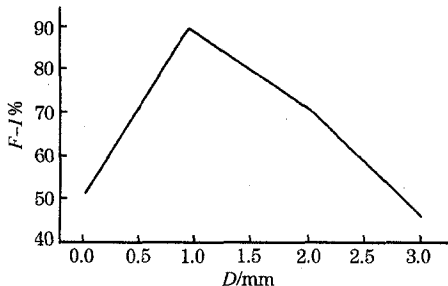


图4 不同大小雨滴对雨强起伏的贡献

6 小结

(1)层状云降水雨强较小,平均为 $0.757\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,主要是由 $0.35\sim 2\text{mm}$ 的雨滴贡献的;雨滴的数密度也不大,平均为 $938.86\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ 其变域为2个数量级;含水量、平均直径都较小,且在各次降水过程中差别不大。

(2)层状云降水雨滴谱谱宽较窄,谱型既

符合 M-P 分布,也符合 Γ 分布,且 Γ 分布误差更小。

(3)层状云降水的微物理参量起伏较大,这是由于其水平分布不均匀造成的。

参考文献

- 1 何珍珍.泰山一次雷雨雨滴谱观测结果.我国云雾降水微物理特征的研究,北京:科学出版社,1965:69~71.
- 2 Liu Yangang and You Laiguang. Error analysis of GBPP probe. Atmospheric Research, 1994,34:379—387.
- 3 王鹏飞,李子华.微观云物理学.北京:气象出版社,1989:401~412,339~353.
- 4 B. J. 梅森.云物理学.中国科学院大气物理研究所译,北京:科学出版社,1978:624~628.
- 5 陈宝君,李子华,刘吉成,官福久.三类降水云雨滴谱分布模式.气象学报,1998.
- 6 Marshall J S and Palmer W M. The distribution of raindrops with size. J. Meteor, 1948, (5):165—166.

Microphysics Features of Stratiform Clouds Precipitation in Harbin

Fan Ling Yuan Cheng Zhang Yunfeng

(The Weather Modification Center of Heilongjiang Province, Harbin 150036)

Abstract

Precipitation data were obtained with GBPP-100 produced by PMS Co. in Harbin from May to July, 1999. Nine times stratiform clouds precipitation data are analyzed with the obtained several constructive results about distribution of raindrop size, microphysics parameters and its fluctuation features.

Key Words: stratiform clouds size distribution of raindrops microstructure parameters fluctuation characteristics