

雨滴尺度谱谱参数和形状因子的分析¹⁾

周文贤 陈金荣 齐久成

(南京气象学院大气物理学系, 南京 210044)

提 要

作者计算了3次降水过程的雨滴尺度谱参数, 并进行 $M-P$ 分布拟合和 Γ 分布拟合。同时还计算了雨滴谱形状因子 $S(Z, R)$, 分析了形状因子与雨强之间的关系。

关键词: 雨滴谱 参数 形状因子

引 言

对雨滴谱参数和形状因子进行分析, 有利于研究云内含水量变化, 雨滴的碰并过程, 地面降水强度以及云体结构与上升气流等, 从而进一步了解自然降水的微物理过程。我们在1992—1994年期间, 用GBPP-100型地面雨滴谱仪收集大量雨滴谱资料。GBPP-100型地面雨滴谱仪是美国PMS公司生产的全谱雨滴谱仪, 它的最大优点是可以连续观测雨滴谱, 获得大量雨滴谱的资料。1992年8月在南京, 1993年4月在江西庐山, 1994年8月在沈阳, 我们用GBPP-100观测了各类云降水的雨滴谱, 包括层状云降水和积状云降水。

GBPP-100测量雨滴谱分布的情况是基本可靠的^[1]。尤其是以雷达反射率因子表达雨滴谱特征时最为可靠, 用降水强度来表达时稍差一些, 存在一定的非随机误差。为此本文分析雨滴谱参数和形状因子时, 所收集到的资料是较为可靠的。本文对3次降水过程的雨滴谱观测资料计算了谱参数和形状因子, 进行 $M-P$ 分布拟合和 Γ 分布拟合, 对它们之间的关系进行了初步分析。

1 谱参数和形状因子的计算

1.1 谱参数的计算

1.1.1 $M-P$ 分布

Marshekll-Palmer 分布的表达式:

$$N(D) = N_0 \cdot e^{-\lambda D}$$

取对数可得 $\ln N(D) = \ln N_0 - \lambda D$ 。用雨滴谱实测资料拟合 $M-P$ 分布, 相应为 $\ln n''_i = \ln N_0 - \lambda D_i$ 设 $y = \ln n''_i$, $x = D_i$, $a = \ln N_0$, $b = -\lambda$, 则 $y = a + bx$ 。利用一元线性回归公式计算:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2 - N\bar{x}^2,$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i - N\bar{x}\bar{y},$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^N y_i^2 - N\bar{y}^2,$$

$$b = S_{xy}/S_{xx}, a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$M-P$ 分布的雨滴谱参数 $N_0 = e^a$, $\lambda = -b$ 。

1.1.2 Γ 分布

Γ 分布的表达式: $N(D) = N_0 D^a \cdot e^{-\lambda D}$ 。

取对数 $\ln N(D) = \ln N_0 + a \ln D - \lambda D$, 用实测雨滴谱资料拟合 Γ 分布相应为 $\ln n''_i = \ln N_0 + a \ln D_i - \lambda D_i$, 设 $y = \ln n''_i - a \ln D_i$, $a = \ln N_0$, $b = -\lambda$ 。如同 $M-P$ 分布拟合, 可以得到谱参数 N_0, λ 值。而 Γ 分布中的 α 值用比值法求得:

$$K_1 = \frac{D_1}{D_2}, K_2 = \frac{D_2}{D_3}$$

1) 气象科学基金资助项目

$$K_1 = \frac{\alpha + 1}{\sqrt{(\alpha + 1)(\alpha + 2)}}$$

$$K_2 = \frac{\sqrt{(\alpha + 1)(\alpha + 2)}}{\sqrt[3]{(\alpha + 1)(\alpha + 2)(\alpha + 3)}}$$

其中 D_1 、 D_2 、 D_3 分别是平均直径、均方直径和均立方直径。

1.2 形状因子 $S(Z, R)$ 的计算

J. Joss^[2] 定义的雨滴谱形状因子 $S(Z, R)$ 是:

$$S(Z, R) = \frac{\left[\frac{D(Z) - D(R)}{D(Z) + D(R)} \right]_{obs}}{\left[\frac{D(Z) - D(R)}{D(Z) + D(R)} \right]_{exp}}$$

其中分子部分是根据实测资料计算所得,而分母部分是雨滴谱为指数分布时的理论值,并且:

$$Z = \int_0^{\infty} N(D) D^6 dD$$

$$R = \int_0^{\infty} N(D) D^3 dD$$

$$D(Z) = \frac{\int_0^{\infty} N(D) D^6 dD}{\int_0^{\infty} N(D) D^5 dD}$$

$$D(R) = \frac{\int_0^{\infty} N(D) D^3 dD}{\int_0^{\infty} N(D) D^2 dD}$$

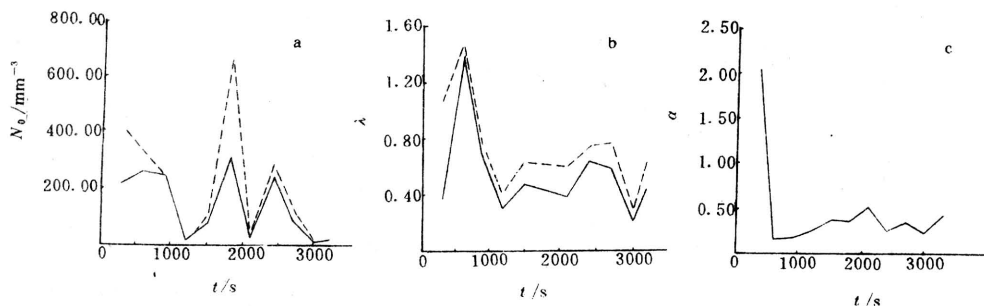


图1 920812 个例谱参数随时间的变化

a. N_0-t ; b. $\lambda-t$; c. Γ 分布的 α 参数

虚线是 Γ 分布, 实线是 $M-P$ 分布

2.2 930428 个例分析方案

降水总时段是 75 分钟, 平均处理成 47

$S(Z, R)$ 的物理意义是雨滴分布曲线偏离指数分布的程度。

$S(Z, R) < 1$, 表明对 Z, R 的主要贡献是在雨滴尺度上, 其次是指数分布;

$S(Z, R) = 1$, 表明对 Z, R 有贡献的雨滴符合指数分布;

$S(Z, R) > 1$, 表明对 Z, R 有贡献的雨滴是指数分布, 其次是在尺度上。

雨滴谱形状因子从另一个侧面反映了拟合滴谱分布与实测资料的滴谱特征量的符合程度, 若 $S(Z, R)$ 接近于 1, 说明实测的雨滴谱分布接近指数分布。

2 资料处理

本文分别计算了 3 个降水过程, 考虑到每个降水过程的瞬间雨滴谱变化较大, 按雨强随时间相对稳定, 划分成若干时间间隔, 并且对雨滴谱资料作平均处理, 求其谱参数, 然后再拟合该降水过程的平均谱分布曲线。3 个降水过程分别是 1992 年 8 月 12 日、1993 年 4 月 28 日, 1994 年 8 月 16 日。

2.1 920812 个例

降水总时段是 54 分钟, 平均处理成 11 个时段, $M-P$ 分布和 Γ 分布拟合的谱参数 N_0, λ, α 随时间的变化列于图 1。

个时段, $M-P$ 分布和 Γ 分布拟合的谱参数 N_0, λ, α 随时间的变化列于图 2。

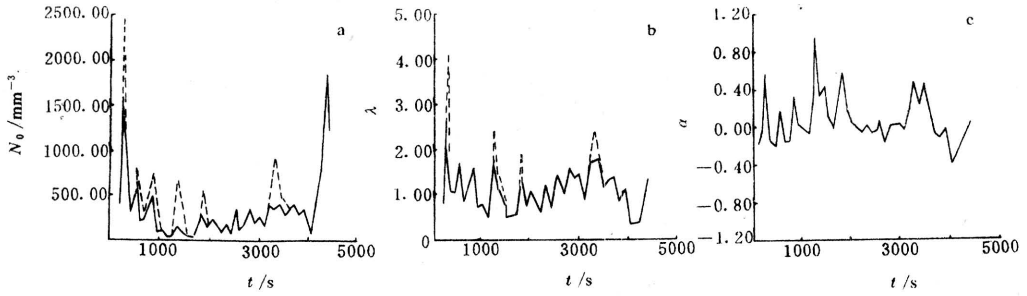


图2 930428 谱参数随时间变化

说明同图1

2.3 940816 个例

降水总时段是 120 分钟, 平均处理成 67

个时段, $M-P$ 分布和 Γ 分布拟合的谱参数 N_0, λ, α 随时间的变化列于图 3。

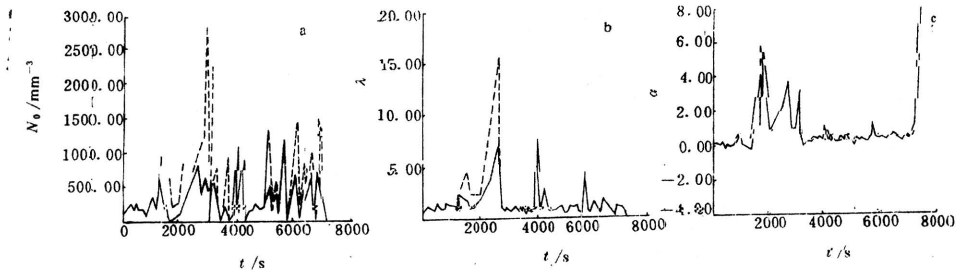


图3 940816 个例谱参数随时间变化

说明同图1

3 分析

3.1 两种分布拟合

由 920812、930428 和 940816 3 个个例的 $N(D)-D$ (图 4) 可以看出, 上述 3 个降水过程的雨滴谱参数分布曲线接近 $M-P$ 分布和 Γ 分布。其中 Γ 分布拟合值与实测值较好

些。

在 $M-P$ 分布中, 谱参数 N_0 变域很大, 其值范围是 $1.7 \times 10^1 - 10^4 \text{ m}^{-3} \cdot \text{mm}^{-1}$; λ 的取值范围是 $1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^1$ 。从计算结果统计来看, λ 与雨强 RI 的关系十分明显, 随着雨强的增大, λ 值是减小的。

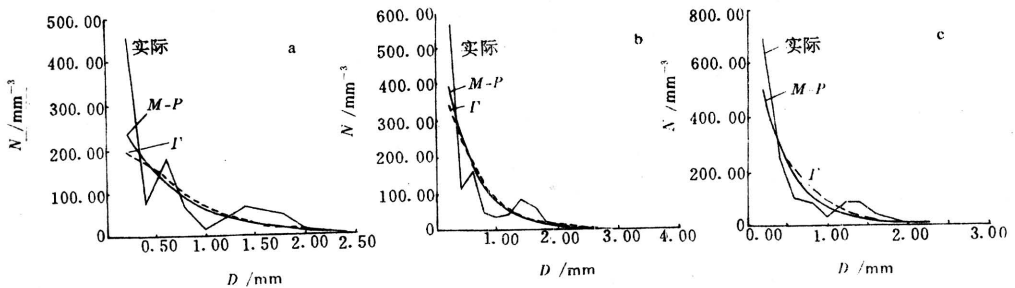


图4 雨滴谱分布 $N(D)$ 曲线

a. 920812 个例; b. 930428 个例; c. 940816 个例

在 Γ -分布中,谱参数 N_0 变域也很大,其值范围是 $1.3 \times 10^1 - 1 \times 10^4 \text{ m}^{-3} \cdot \text{mm}^{-1}$, λ 的取值范围是 $0.2 - 16.0$,但大部分集中在 $0.8 - 1.5$ 这一狭窄范围内。 α 的变域也很大,其范围是 $0.1 - 8.0$,但大部分集中在狭小范围内。

对比 $N(D) = N_0 \cdot e^{-\lambda D}$ 和 $N(D) = N_0 \cdot D^\alpha \cdot e^{-\lambda D}$ 及实测的 $N(D)$ 值随 D 的变化曲线,由于 D^α 项的作用, Γ 分布拟合曲线变为

比较平缓。

3.2 形状因子 $S(Z, R)$

$M-P$ 分布和 Γ 分布下的 $S(Z, R)$ 与雨强的关系绘于图 5。

$M-P$ 分布中,从形状因子 S 与雨强 RI 的图形中可看出,形状因子变域很大: $0.4 - 6.0$,主要分布在 $1.5 - 3.0$ 之间,而绝大部分的形状因子值出现在雨强为 $20 - 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 区域内。

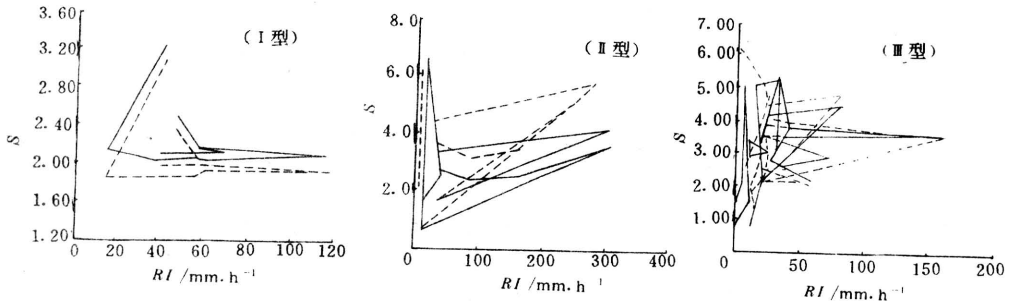


图5 雨滴谱形状因子随雨强 RI 的变化(虚线 $M-P$ 分布,实线 Γ 分布)

I 型 920812; II 型 930428; III 型 940816

Γ 分布中的形状因子 $S(Z, R)$ 与 $M-P$ 分布相类似, S 值的集中范围也相似。这说明两种分布所得出的雷达反射率 Z 和 R 值虽稍有不同,却很相近,因为 Γ 分布的 S 值总体趋势大于 $M-P$ 分布的 S 值,而它们的集中区域均大于 1。

综合 920812、930428 和 940816 3 个个例形状因子 $S(Z, R)$ 随时间 t 的分布来看,920812 个例的 S 值沿横轴较为集中,受 RI 影响大,而 940816 个例与 930428 个例的 S 值主要沿纵轴较为集中,受 RI 影响较小,这可能跟降水性质有一定关系。

分析 3 个个例的降水,920812 降水性质是高层云降水,其雨滴尺度主要集中在 $0.23 - 0.25 \text{ mm}$ 区间内,而雨强集中在 $40 - 70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,940816 降水性质是台风外围的层状云降水,其雨滴直径主要集中在 $0.3 - 0.6 \text{ mm}$ 范围内,而雨强则集中在 $10 - 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,930428 个例的降水性质是积雨

云中性降水,其雨滴尺度主要集中分布于 $0.35 - 0.55 \text{ mm}$ 区域内,而雨强 RI 则大体集中于 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右。这说明形状因子 $S(Z, R)$ 随雨强 RI 的分布形式与降水性质有关,受降水过程中雨滴尺度分布的影响很大。即当雨滴尺度小于 0.30 mm ,雨强 RI 较大,受 RI 的影响较大,我们称为 I 型分布;当雨滴尺度较大,大于 0.3 mm ,而雨滴密度稀疏雨强 RI 较小的降水过程中,主要为积状云降水, S 与 RI 的关系就不密切了,我们称这类降水的形状因子为 II 型。

我们用 GBPP-100 雨滴谱仪收集雨滴谱资料比较丰富,需要进行详细的分析研究,这里仅将 3 个典型个例的谱参数分布和形状因子做一初步分析,今后对大量雨滴谱资料整理分析后再做统计分析。

(下转第 45 页)

参考文献

- 1 陈金荣, 马生伟. GBPP-100 型地面雨滴谱仪测量的可靠性. 南京气象学院学报, 1995, 18(2).

- 2 J. Joss. Shapes of Raindrop Size Distributions. J. A. M., 1978, 17:1054.

Analyses of Parameters and Shapes of Raindrop Size Distribution

Zhou Wenxian Chen Jinrong Qi Jiuchen

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract

The parameters of raindrop size distribution for three precipitation processes, the $M-P$ distribution and the Γ -distribution have been calculated. Meanwhile the shapes of raindrop size distribution have been calculated, and the relationship between the shapes and the precipitation intensity has been analysed.

Key Words: raindrop size distribution parameter of raindrop size distribution shape of raindrop size distribution