

梅雨锋暴雨的雨滴谱分析

蒋年冲 卞礼智 邢克溥*

(安徽省气象科学研究所)

提 要

本文根据1983年6月29—30日梅雨锋暴雨过程的雨滴谱观测资料,分析了这次梅雨锋暴雨的雨滴谱特征,着重分析了雨团内外的雨滴谱特征及其演变情况,并用雷达回波资料进行了解释。此外,还分析了雨强 I 与雷达反射因子 Z 等各参量之间的关系。

一、前 言

暴雨是我国常见的一种灾害性天气,每年6至7月,我国江淮流域进入梅雨期间,降雨十分频繁,尤其是在梅雨锋上,经常出现暴雨和大暴雨,造成严重的洪涝灾害。有些气象工作者从天气学角度研究了梅雨天气过程、梅雨暴雨的形成机制及暴雨出现的气候特征^[1],从云物理角度对梅雨锋暴雨的研究却很少。为研究梅雨锋降水的微结构特征,我们从1979—1981年,在安徽省庐江县白湖农场开展了梅雨锋雨滴谱的观测,对1981年6月27—28日的梅雨锋降水的滴谱特征进行了分析研究^[2]。1982—1983年,我们又继续在安徽省安庆市开展了这项工作,1983年6月22日—7月4日期间共取得雨滴谱资料1000多份。6月29—30日这次暴雨过程资料比较完整,本文主要分析这次过程的雨滴谱特征。

二、暴雨过程的降雨情况

1983年6月29日02时至30日02时,测站高空位于东西向切变线之南,受西南气流影响;地面处于静止锋锋区中,水汽充沛。

6月28日20时,测站开始下小雨;29日01时降雨增大。6月29日07时—30日03时,测站实际降雨量为96.0mm(雨量自记记录)。现将逐时降雨量和用雨滴谱资料计算

出的雨强分别以实线和虚线绘于图1。

以每小时实际降雨量大于或等于0.8mm作为一个雨团来分析。从图中可以看出,这次过程共有两个雨团影响测站,时间分别为:29日10—12时和30日02—03时。这两个雨团经过测站时,测站的实际降雨量(3小时)为47.2mm,占此过程实际降雨总量的49.2%。

三、梅雨锋暴雨的雨滴谱特征

1. 过程的雨滴谱特征

取样方法:用吸水纸法取样。一般是每两分钟取一次滴谱,取样时间在2.0—5.5s之间;当雨强增大时,每分钟取样一次,取样时间约在0.62—1.7s之间,大部分是在1.1s左右;当雨强小时,每5分钟取样一次,取样时间一般在30—60s之间。取样面积为900cm²,计算面积为400cm²,计算面积内雨滴的个数一般在100个以上。取样从29日07时16分开始,30日03时结束,共取雨滴谱547份。本文分析的是08时以后的538份资料。

计算雨滴数密度时,其下落末速度利用文献^[3]的结果。通过对这些资料的计算和分析,得出整个过程雨滴谱各特征量如表1。

表中 N 、 $D_{\max}$ 、 Q 、 I 和 Z 分别表示雨滴的数密度、谱宽(即最大滴直径)、含水量、瞬时雨强(计算值)及雷达反射因子、 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_6 分别表示:平均直径,平均平方直径、平均立方直径,平均六次方直径。其中:

$$D_1 = \frac{\sum N_i D_i}{N}$$

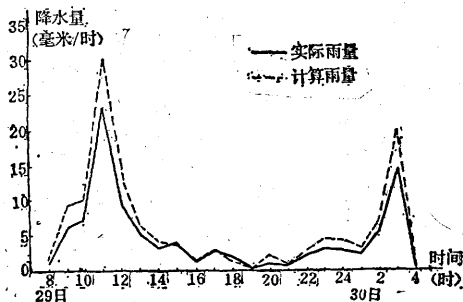


图1 逐时雨量分布曲线

* 吴可军同志帮助计算了大部分资料,王玉兰、赵雯同志参加了资料观测、整理工作。

表1 雨滴谱各特征量值

数值特征项目	N (个/m ³)	D _{max} (mm)	Q (g/m ³)	I (mm/h)	Z (mm ⁶ /m ³)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₆ (mm)
最大值	3259	6.3	18.945	120.6	766376.0	2.1	2.3	2.5	3.2
最小值	4	0.9	0.008	0.005	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6
平均值	438	3.1	2.186	9.5	23581.0	0.9	1.1	1.2	1.6

$$D_2 = \left(\frac{\sum N_i D_i^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_3 = \left(\frac{\sum N_i D_i^3}{N} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D_6 = \left(\frac{\sum N_i D_i^6}{N} \right)^{\frac{1}{6}}$$

式中 N_i 表示直径为 D_i 的雨滴浓度, N 为雨滴总浓度。

由表1可见, 雨滴谱宽的最大值是最小值的7倍, 是平均值的2倍; 雨滴数密度、瞬时雨强、含水量及雷达反射因子的极大值与平均值相比, 分别是平均值的7.4倍、12.7倍、8.6倍、32.5倍; 而与极小值相比, 分别比极小值大 10^3 、 10^5 、 10^4 、 10^7 左右; 而 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_6 的极大值与极小值相比也相差4—5倍以上。由此可见, 梅雨锋降雨的各特征量是很不均匀的。由于梅雨锋降雨中各特征量的极大值均出现在雨团中, 从而也更进一步说明雨团对梅雨锋暴雨所起的作用是极其重要的。

为了计算梅雨锋降雨中雨滴平均谱分布, 首先建立关系式:

$$\bar{N}(D) = \left[\sum_{K=1}^m N(D) \right] / m \quad (1)$$

式中: $N(D)$ 表示直径在 D 和 $D + \Delta D$ 间隔中的实际雨滴数密度; $\bar{N}(D)$ 表示该间隔的雨滴平均数密度; K 为某个样本; m 为样本总数。由(1)式, 取 $m = 538$, 计算出这次过程的平均雨滴谱分布, 以点线绘于图2。

M—P雨滴谱分布的表达式^[3]:

$$N(D) = N_0 \exp(-\lambda D) \quad (2)$$

式中: $N_0 = 0.08 \text{ cm}^{-4}$, $\lambda = 41 I^{-0.21} \text{ cm}^{-1}$, 其中, $N(D)$ 表示在直径 D 和 $D + \Delta D$ 间隔中

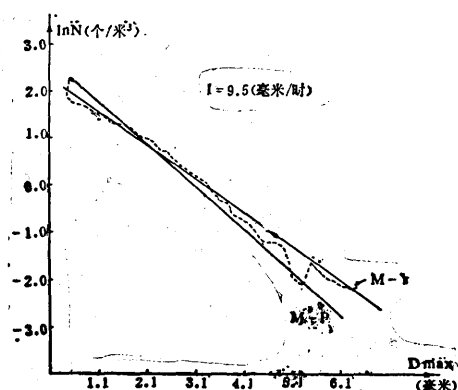


图2 梅雨暴雨平均谱与M—P谱分布的比较

的雨滴数密度, I 为雨强 (mm/h)。由(2)式计算出相应雨强下的M—P分布, 以直线绘于图2。

为方便比较, 我们又计算出梅雨锋降雨的雨滴谱分布表达式 (即M—Y分布)

$$N'(D) = N'_0 \exp(-\lambda' D) \quad (3)$$

式中: $N'_0 = 0.013 \text{ cm}^{-4}$, $\lambda' = 24.96 I^{-0.235} \text{ cm}^{-1}$, 其中, $N'(D)$ 、 I 、 D 的单位及物理意义均与(2)式相同。由(3)式计算出相应雨强下的M—Y分布亦以实线绘于图2。

从图2可见: 当雨滴直径小于2.1mm时, 由(1)式、(3)式计算的梅雨锋暴雨的雨滴谱分布比同雨强下的M—P谱分布要偏低; 当雨滴直径大于2.1mm时, 则比同雨强下的M—P谱分布偏高。从图2中还可看出, 由(3)式计算的梅雨锋降雨的雨滴谱分布与(1)式计算结果相比, 当雨滴直径小于1.1mm和大于3.7mm时, (3)式的计算结果比(1)式的计算结果偏高; 当雨滴直径在1.1—3.7mm之间时, 二者的结果比较一致。这可能是由于小滴部分读数误差比较大, 大滴部分的雨滴谱样本偏少的缘故。

2. 雨团内外平均谱特征的比较

计算雨团内外雨滴谱各特征量的平均值

表2 雨团内外雨滴谱各特征量的平均值

数值 项目	特征量	N (个/m ³)	$\bar{D}_{max}$ (mm)	$\bar{I}$ (mm/h)	$\bar{Q}$ (g/m ³)	Z mm ³ /m ³	$\bar{D}_1$ (mm)	$\bar{D}_2$ (mm)	$\bar{D}_3$ (mm)	$\bar{D}_4$ (mm)
雨团内		808.8	3.6	26.4	5.262	80633	1.1	1.2	1.4	1.9
雨团外		334.4	2.9	4.7	1.303	7203	0.9	1.0	1.2	1.5

列于表2。

表2中各符号的物理意义同表1，上加横线表示平均值。从表2可见，雨团内各特征量的平均值都比雨团外的大，其中雨团内的 $\bar{I}$ 、 $\bar{Q}$ 和Z分别是雨团外的5.6倍、4.0倍和11.2倍。

为了比较雨团内外雨滴谱的分布状况，我们将29日10—12时和30日02—03时所取的雨滴谱资料作为雨团内的样本，其余时间所取资料作为雨团外的样本，以直径D作为横坐标，雨团内m=120，雨团外m=418，利用(1)式计算出雨团内外平均雨滴谱分布图(见图3)。图3表明：随着雨滴直径的增大，雨团内的雨滴数密度比雨团外的雨滴数密度大得多，且雨团内的平均谱比雨团外的谱要宽。同时，还可看出雨团内的平均谱起伏较多，而雨团外的平均谱基本没有起伏。

图4是雨滴数密度随雨滴平均直径变化曲线，以平均直径 $\bar{D}_1$ 为横坐标，雨滴数密度为纵坐标。从图4中可以看到，雨团内外雨滴谱的变化也有明显的差别。雨团内的平均直径最大值和最小值都比雨团外大得多。雨滴

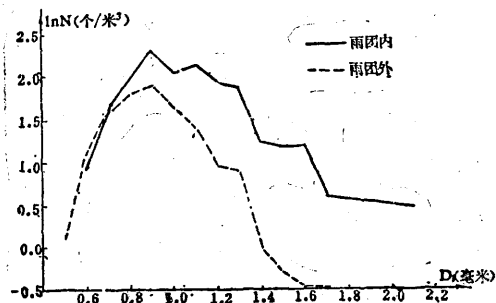


图4 雨滴数密度随雨滴平均直径变化

数密度则是：当平均直径小于0.7mm时，雨团外的比雨团内的大些；当平均直径大于0.7mm时，则雨团内比雨团外逐渐增多；当平均直径大于1.0mm后，二者则有量级之差。同时，雨团内的雨滴数密度峰值也比雨团外的多，但二者的最大峰值均出现在0.9mm处。

3. 雨团内雨滴谱型

根据雨滴谱分布状况，把它分为三种谱型：I型，即无峰型，随雨滴谱直径增大，相应的雨滴数密度呈指数递减；II型，即单峰型，随雨滴直径的增大，雨滴数密度大小有起伏，出现一个峰值；III型，即多峰型，雨滴数密度出现双峰或多峰〔2〕。分析这次梅雨暴雨过程，得出雨团内没有I型谱，只有II、III型谱的结论。这个结论和文献〔2〕所给的结论相同。雨团内II、III型谱所占比例见表3。

表3 雨团内谱型统计表

日期	降雨类型	谱型		
			II	III
1983年 6月29—30日	梅雨锋暴雨	样本数(个)	20	100
		百分比(%)	16.7	83.3
1981年 6月27—28日	梅雨锋降水	样本数(个)	15	66
		百分比(%)	18.5	81.5

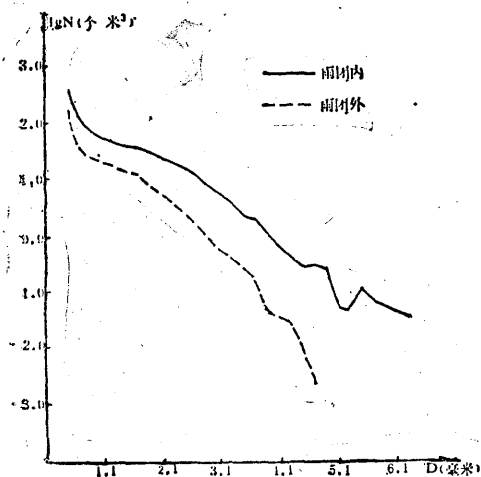


图3 雨团内外平均雨滴谱分布图

从表3中可以看出,梅雨锋降水中,雨团内的谱型分布是以Ⅲ型谱为主,它在整个雨团谱型分布中占有绝对多数,均在80%以上,而Ⅱ型谱仅占百分之十几。

4. 雨团内外雨滴谱的演变特征

分析有雷达资料的雨团内外雨滴谱演变特征,将其绘于图5。图5中,N表示某时刻单位体积内雨滴总数密度; D_{max} 表示该时刻的最大雨滴谱宽;I表示雨量自记读出的10分钟降雨量。

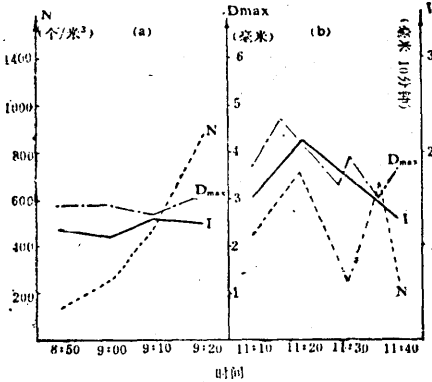


图5 雨团内外雨滴谱演变特征

图5(a)表示雨团外的雨滴谱随时间的演变特征。从图5中可见,雨团外 D_{max} 随时间变化不大,当雨团接近时, D_{max} 开始增宽。在这段时间内,最小的 D_{max} 是2.7mm, D_{max} 最大为3.1mm。雨滴的总数密度没有起伏,而是随着雨团的接近,逐渐增大。实

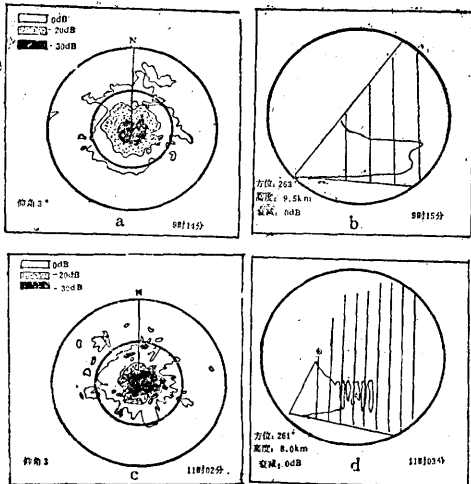


图6 雷达回波图
1983年6月29日上午

际降雨量起伏也不大。这段时间的雷达回波图见图6(a,b)。

图6中,PPI回波图的每圈间距50km,RHI回波图每一竖线代表10km。从雷达回波来看,在雨团来到之前,PPI回波上为大片的层状云回波,衰减后仍是均匀的,但强度比较大;从RHI回波上看,没有对流单体,其回波表现为一条完整、均匀的水平回波带。

雨团内雨滴谱特征见图5(b)。雨团内 D_{max} 随时间变化时宽时窄,起伏较大。这段时间内 D_{max} 最小为3.1mm;最大为4.7mm;雨滴总数密度是或增或减,实际降雨量起伏也很大。此时雷达回波图见图6(c,d)。从PPI回波上看(图6c),虽然也是大片的层状云回波,但经衰减后,可以看到回波是不均匀的;从RHI回波图(图6d)上可以看到许多明显的对流单体。由此可见,嵌在层状云内的对流单体是造成梅雨锋降雨不均匀的主要原因。

四、雨强与各特征量之间的关系

降水强度和雨水含量与雨滴数密度及大小分布有关。而 Z 、 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_6 也与雨滴数密度及其大小分布有关。用最小二乘法计算出整个降水过程(538个样本)的雨强(I)与雨滴谱中其它各特征量的关系,列于表4。

表中:V是平均下落速度,它由I和Q

表4 雨强(I)与各特征量间关系

数值 关系式	项目 系数 a	指数 b	相关系数 r	标准差 s
$I = aN^b$	0.002	1.340	0.788	0.994
$I = aQ^b$	2.700	1.310	0.968	0.402
$Z = aI^b$	424.037	1.500	0.964	0.669
$V = aI^b$	56.217	0.296	0.852	0.293
$D_1 = aI^b$	0.831	0.075	0.561	0.179
$D_2 = aI^b$	0.923	0.099	0.696	0.165
$D_3 = aI^b$	1.020	0.118	0.785	0.150
$D_6 = aI^b$	1.278	0.140	0.847	0.142

推出,即 $V = \frac{100}{3.6} \cdot \frac{I}{Q}$,其单位取cm/s。

其它符号的意义及单位与表1相同。

从表4中可见, $I \sim Q$ 、 $Z \sim I$ 的相关系数非常好,其相关系数均在0.96以上。 $I \sim N$ 、 $V \sim I$ 、 $V \sim I$ 、 $D_3 \sim I$ 、 $D_6 \sim I$ 的相关系

数也均在 0.78 以上。 $D_1 \sim I$, $D_2 \sim I$ 的相关关系较差, 相关系数仅在 0.56—0.70 之间。它们的标准差都很小。

五、分析结果

1. 梅雨锋暴雨的平均谱具有 M—P 谱分布的形式。它与 M—P 谱相比小滴偏少, 大滴偏多。

2. 雨团内平均谱的各特征量均比雨团外的大, 且雨团内平均谱较宽, 有明显起伏, 雨团外平均谱较窄, 起伏不明显。

3. 雨团内没有 I 型谱, 仅有 II、III 型谱, 并且以 III 型谱为主。梅雨锋暴雨的雨量主要来自雨团内的降水。

4. 梅雨锋降雨中, 雨团内的雷达回波是

不均匀的, RHI 回波图上有明显的对流单体, 这些对流单体是造成梅雨锋降雨分布不均匀的主要原因。

5. 梅雨锋降雨中, 雨强与含水量、雷达反射因子的相关关系很好; 雨强与雨滴数密度、平均下落速度等相关关系也较好。

参 考 文 献

[1] George Tai-Jen chen, Observational aspects of Mei-Yu phenomenon in Subtropical China, Journal of the Meteorological Society of Japan Ser. 11, Vol. 62, No. 21, April, 1983.

[2] 卞礼智等, 一次梅雨锋降水的雨滴谱分析, 南京气象学院学报, 1984 年 1 期。

[3] B. J 梅森, 云物理学, 中国科学院大气物理研究所译, 科学出版社, 1973 年 4 月。