

袁野, 朱士超, 李爱华. 黄山雨滴下落过程滴谱变化特征. 应用气象学报, 2016, 27(6): 734-740.  
doi:10.11898/1001-7313.20160610

## 黄山雨滴下落过程滴谱变化特征

袁 野\* 朱士超 李爱华

(安徽省人工影响天气办公室, 合肥 230031)

### 摘 要

利用 2011—2012 年 4—10 月安徽省黄山山顶和山底两个站点同时采集的雨滴谱数据, 共选取 17 个降水个例, 将 17 个降水个例分为对流云降水和层云降水, 对不同高度和不同云系降水雨滴谱特征分析得出以下结论: 对于不同云系的降水, 山顶平均雨滴数浓度大于山底, 平均峰值直径和平均质量半数直径在下落过程中均增加, 平均雨强和平均雷达反射率因子变化幅度较小。不同云系的雨滴在下落过程中, 雨滴谱谱宽变化较小, 但雨滴谱均从 M-P (Marshall-Palmer) 分布转向了 Gamma 分布。降水粒子在下落过程中, 大部分通道的数浓度均出现损失, 最大损失超过 50%, 随着粒子尺度增加损失逐渐减少, 大粒子数浓度在降落时有所增加, 增加幅度为 10% 左右, 降水粒子的碰并和蒸发过程很可能是造成降水粒子下落过程中滴谱变化的两个主要原因。

**关键词:** 雨滴谱; 黄山; 对流云; 层状云

### 引 言

降水粒子谱形观测是微观云雾物理的重要内容之一, 通过对粒子滴谱特性的研究, 可以探索云内成雨机制, 同时对人工增雨效果的检验以及雷达定量测量降水都具有重大的理论意义和实用价值。

国外雨滴谱的相关研究一直是云降水的研究重点<sup>[1-5]</sup>, Brown<sup>[6]</sup>利用数值模拟分析了雨滴的碰并破碎过程对雨滴谱演变的影响, 发现雨滴碰并破碎产生的震荡使雨滴谱从最初的 M-P (Marshall-Palmer) 分布逐渐转为 Gamma 分布。Hu 等<sup>[7]</sup>建立了两种雨滴谱演变模型, 也发现雨滴的碰并破碎过程使雨滴谱从最初的 M-P 分布逐渐转为 Gamma 分布。Martinez 等<sup>[8]</sup>利用古巴人工影响天气项目 (Cuban Weather Modification Program, 简称 PCMAT) 中观测的雨滴谱数据, 研究了对流云暖区的雨滴谱特征, 发现大雨滴的尺度和密度取决于降水强度和云中动力结构特征, 在云的上升气流区, 大雨滴的尺度和密度都比较大, 这个结果很好地证明了云中雨滴

的碰并增长过程。Tokay 等<sup>[9]</sup>分析了热带气旋中观测的雨滴谱数据, 发现小雨滴浓度很高, 大雨滴尺度不超过 4 mm, 在雷达反射率因子为 40 dBZ 的云区下方, 雨滴数浓度约为 700 个。

我国从 20 世纪 60 年代开始就重视雨滴谱的观测和研究, 80 年代以来, 这项工作不断深入<sup>[10-15]</sup>。吴兑<sup>[16]</sup>利用数值试验分析了雨滴在下降过程中蒸发作用对雨滴谱的影响, 发现蒸发作用使得雨滴表面降温, 从而导致最小可落地的雨滴尺度降低。宫福久等<sup>[17]</sup>利用美国粒子测量系统公司生产的 GB-PP-100 型雨滴谱, 分析了积云、层云和积层混合云 3 种不同云系的雨滴谱特征, 发现 3 类云系滴谱分布有明显差异, 层云雨滴谱呈指数分布, 而积云和积层混合云谱型却呈多峰分布, 且积云小雨滴所占比例大, 约达 67%。刘红燕等<sup>[18]</sup>利用声雨滴谱仪测雨仪测量得到的雨滴谱资料, 结合降水云的结构将降水云系划分成为对流云降水云系和层状云降水云系; 发现对于对流云降水, 雨滴的平均体积直径大于 1.20 mm, 中数体积直径大于 1.5 mm; 同时发现层状云的稳定谱中包含有单峰雨滴谱, 而对流云的稳定

2016-02-04 收到, 2016-06-13 收到再改稿。

资助项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306040), 安徽省硕博启动项目(RC201514)

\* email: hfyuany@sina.com

谱中不包含单峰雨滴谱。金祺等<sup>[14]</sup>选取 2014 年 7 月 31 日安徽滁州一次飑线过程,使用地基雨滴谱仪资料分析此次过程的雨滴谱特征,结果表明:对流中心降水、过渡性降水、层云降水的质量加权直径均比较稳定,平均值分别为 1.8 mm, 1.0 mm, 1.7 mm。张昊等<sup>[19]</sup>分析庐山不同高度的雨滴谱数据,发现局地的对流云降水,具有时间短、强度大的特点,数浓度、雨强和含水量等微物理参量值普遍较大,海拔较高处的小雨滴比例较大,而海拔较低处大雨滴所占比例较大。

虽然目前雨滴谱的相关研究已经很多,但雨滴在下落过程中滴谱的变化及变化原因仍不清楚,本文利用在黄山山顶和山底两个站点同时采集的雨滴谱数据,分析雨滴在下落过程中的滴谱演变情况,进而分析影响雨滴谱演变的相关微物理过程。

## 1 试验区域及设备介绍

### 1.1 试验区域特征

本次试验雨滴谱采集地点为安徽黄山风景区,该风景区是世界文化和自然双遗产地,是世界著名风景区。景区山高林密,森林覆盖率为 84.7%,植被覆盖率高达 92%,黄山风景区年平均降水量为 2348.2 mm,年平均气温为 8℃,夏季最高气温为 27℃,冬季最低气温为 -22℃,属亚热带季风气候。

雨滴谱采集仪器主要布设在黄山山顶和山底,其中山顶观测点选择黄山光明顶气象站(简称为山顶站),位于 30°08'N, 118°09'E,海拔高度为 1840 m;山底观测点选择黄山汤口镇寨西人工影响天气基地(简称为山底站),位于 30°04'N, 118°10'E,海拔高度为 450 m,垂直距离为 1390 m。

### 1.2 观测仪器介绍

雨滴谱数据由德国 OTT 公司生产的激光雨滴谱仪(PARSIVEL)采集,该仪器是一种新型的光学雨滴谱仪,可以精确而可靠地测量距地表 1 m 以上的各种降水类型,如毛毛雨、小雨、冰雹、降雪及混合降水等。同时,可以得到雷达发射率因子、能见度和降水动能等指标,获得的数据通过通讯线缆传到数据采集器或笔记本电脑上。

目前,它已在包括美国航空航天局(NASA)、美国华盛顿大学、英国气象局(Met Office UK)、日本宇宙航空开发机构在内的世界各地得到广泛应用。PARSIVEL 雨滴谱仪运用红外激光测量原理,它向

水平方向发射薄而宽的红外激光,通过大气后聚集在光电二极管上,当降水粒子下降通过测量区域时,光电二极管接收到的激光强度会发生变化,数字处理系统便会通过这种变化计算出粒子的大小、速率和种类<sup>[20]</sup>。PARSIVEL 雨滴谱仪共计 32 通道,表 1 给出了本文分析数据涉及到的 PARSIVEL 雨滴谱仪不同通道所对应的粒子直径,由于第 1、第 2 通道粒子浓度误差较大,所以本文分析雨滴谱数据均从第 3 通道开始,而第 25~32 通道由于观测的直径范围较大,观测的雨滴浓度全部为 0,所以本文分析雨滴谱数据均到第 24 通道截止。

表 1 雨滴谱仪通道直径

通道	特征直径/mm
3	0.312
4	0.437
5	0.562
6	0.687
7	0.812
8	0.937
9	1.062
10	1.187
11	1.375
12	1.625
13	1.875
14	2.125
15	2.375
16	2.75
17	3.25
18	3.75
19	4.25
20	4.75
21	5.5
22	6.5
23	7.5
24	8.5

## 2 结果分析

### 2.1 数据采集

利用 2011—2012 年夏季探测到的雨滴谱数据,选取黄山上下同时降水的个例进行对比分析,共选取 17 个降水个例,表 2 给出了这 17 个降水个例的具体时间及采集数据的时长。

表2 采样时间及时长

Table 2 Time and duration of sample

采样序号	采样起始时间	采样终止时间	时长/min
1	2011-06-13T22:00	2011-06-15T18:59	2700
2	2011-06-24T15:00	2011-06-26T02:00	2100
3	2011-08-03T05:01	2011-08-03T09:00	240
4	2011-08-07T02:01	2011-08-07T16:00	840
5	2011-08-09T16:00	2011-08-09T19:59	240
6	2011-08-10T21:00	2011-08-12T09:59	2220
7	2011-08-29T12:01	2011-08-31T14:00	3000
8	2011-09-17T14:00	2011-09-18T02:59	780
9	2011-10-24T01:00	2011-10-24T23:59	1380
10	2012-04-20T10:00	2012-04-21T09:59	1440
11	2012-04-23T21:00	2012-04-25T06:59	2040
12	2012-05-07T20:01	2012-05-08T12:00	960
13	2012-05-12T15:01	2012-05-13T07:00	960
14	2012-05-23T00:00	2012-05-26T08:59	4860
15	2012-06-10T19:00	2012-06-11T07:59	780
16	2012-06-17T07:00	2012-06-18T13:59	1860
17	2012-06-25T15:00	2012-06-28T04:59	3730

## 2.2 不同降水性质的云降水物理参量对比

降水分类方法是雨滴谱研究的一个关键问题,不同的分类方法可能产生不同的结果。在将降水云系划分为对流云和层状云时,国内外许多作者提出了各种方法<sup>[17]</sup>。近年来很多学者在进行大样本雨滴谱资料统计时,根据雨强及其随时间的变化对降水类型进行划分<sup>[2,20-23]</sup>,Chen等<sup>[20]</sup>定义 $I_t$ 表示 $t$ 时刻雨强, $n$ 表示时间间隔,如果 $I_{t-n}$ 至 $I_{t+n}$ 全部大于 $5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,且标准差大于 $1.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,则 $t$ 时刻的降水为对流云降水;如果 $I_{t-n}$ 至 $I_{t+n}$ 在 $0.5 \sim 5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,且标准差小于 $1.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,则 $t$ 时刻的降水为层云降水;两个条件均不满足的,则为其他类型降水。Testud等<sup>[21]</sup>采用 $I=10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 为临界值划分降水类型,如果第 $t$ 时刻的降水强度 $I_t$ 及其相邻的10个时刻的雨强( $I_{t-5}$ 至 $I_{t+5}$ )全都小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,则该时刻的滴谱被划为层云滴谱,其他则划为对流云滴谱。Marzano等<sup>[22]</sup>也用 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 为临界值将层云降水从对流云降水中剔除,因为使用 $I=10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 为临界值可以将层云降水从对流云降水中较好剔除。本文结合了前人的方法,根据雨强变化及其标准差划分了降水类型,当第 $t$ 时刻的降水强度 $I_t$ 及其相邻的10个时刻的雨强( $I_{t-5}$ 至 $I_{t+5}$ )全都大于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,且标准差大于 $1.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,则该时刻的滴谱被划为对流云滴谱;当第 $t$ 时刻的降水强度 $I_t$ 及其相邻的10个时刻的雨强( $I_{t-5}$ 至 $I_{t+5}$ )全都小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,且标

准差小于 $1.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,则降水为层云降水;两个条件均不满足的,则为其他类型降水。

表3给出了不同站点及不同云型的云降水物理参量,由表3可以看出,对流云降水与层云降水滴谱特征差异较大,对流云降水的平均雨滴数浓度是层云降水的3~4倍,平均雨强和平均含水量高于层云降水1个量级,说明对流云降水含水量较层状云降水丰富,雨滴数量远多于层状云降水,对应的平均降水强度也大于层状云。对流云降水滴谱的峰值直径与层云降水相当,但其质量半数直径山顶和山底分别大于层云降水0.22 mm和0.28 mm,说明对流云降水中大雨滴对雨强和含水量的贡献要大。虽然对流云雨滴平均峰值直径与层云相近,但由于对流云雨滴数浓度远远高于层云雨滴数浓度,大雨滴数量也比层云多,所以对流云平均雷达反射率因子明显大于层云平均雷达反射率因子。

不论是对流云降水还是层云降水,山顶和山底的平均雨强、平均含水量、平均雷达反射率因子均大致相当,而其平均数浓度、峰值直径、质量半数直径等均有较大差异。山底对流云降水的平均数浓度,仅是山顶对流云降水的69%,其峰值直径和质量半数直径分别比山顶大0.2 mm和0.12 mm;山底层云降水的平均数浓度是山顶层云降水的64%,其峰值直径和质量半数直径分别比山顶大0.09 mm和0.06 mm。如果假设山顶和山底处雨滴在出云时其滴谱分布特性是相同的,那么经过超过1300 m的

下落,滴谱分布发生了明显变化,其数浓度明显减少,其峰值直径和质量半数直径向大滴端发生了偏移,且对流云降水滴谱峰值直径和质量半数直径偏移量则多于层云降水。平均数浓度减少明显,说明

雨滴在下落过程中其数浓度损失明显;峰值直径和质量半数直径向大滴端发生了偏移,说明小滴的损失率大于大滴的损失率,且层云降水的小滴损失率比对流云降水小滴损失率少。

表 3 不同站点及不同云型的云降水物理参量

Table 3 Cloud and precipitation parameters at different sites and cloud types

站点	云型	样本量	平均数浓度/ $m^{-3}$	平均雨强/ $(mm \cdot h^{-1})$	平均含水量/ $(g \cdot kg^{-1})$	平均反射率因子/dBZ	平均峰值直径/mm	平均质量半数直径/mm
山顶站	对流云	912	1482	19.5	1.12	40.0	0.50	0.88
山底站	对流云	897	1024	21.4	0.96	39.6	0.70	1.00
山顶站	层云	19122	422	1.6	0.097	18.9	0.55	0.66
山底站	层云	17017	269	1.7	0.09	19.6	0.64	0.72

2.3 不同降水性质的滴谱特征对比

图 1 为山顶站和山底站两站平均雨滴谱对比。由图 1a 可以看出,山顶对流云降水平均雨滴浓度最大可达到  $1790 m^{-3} \cdot mm^{-1}$ ,山底最大浓度仅为  $867 m^{-3} \cdot mm^{-1}$ ,均出现在直径最小的第 3 通道。山顶和山底最大雨滴均出现在第 21 通道,对应的直径为 5.5 mm,但山底的大雨滴数量要高于山顶,说明雨滴在下落过程中,有部分小雨滴通过碰并等过程逐渐增长为大雨滴。张昊等<sup>[19]</sup>分析庐山不同高度的雨滴谱数据时,也发现不同高度雨滴谱谱宽相近,雨滴在下落过程中,大雨滴数量增多。

由图 1b 可以看出,层云降水山顶各通道平均雨滴浓度最大达到  $779 m^{-3} \cdot mm^{-1}$ ,山底仅为  $405.2 m^{-3} \cdot mm^{-1}$ ,分别出现在第 3 和第 4 通道,平均滴谱浓度

随着滴谱直径的增加而逐渐减少。层云降水山顶和山底最大雨滴均出现在第 21 通道,其对应的直径为 5.5 mm,层云降水山顶与山底的谱宽一致。

同时由图 1 还可以看出,不管是对流云降水还是层云降水,山底雨滴谱小粒子端数浓度都小于山顶,说明雨滴在下落过程中,谱分布逐渐从 M-P 分布转向了 Gamma 分布,这与早期的雨滴下落过程的数值模拟结论一致,Brown<sup>[6]</sup>利用数值模拟分析雨滴下落过程中,碰并破碎过程对雨滴谱演变的影响,发现雨滴碰并破碎产生的震荡使雨滴谱从最初的 M-P 分布逐渐转为 Gamma 分布。而 Hu 等<sup>[7]</sup>建立了两种雨滴谱演变模型,也发现雨滴在下落过程中,雨滴谱从最初的 M-P 分布逐渐转为 Gamma 分布。

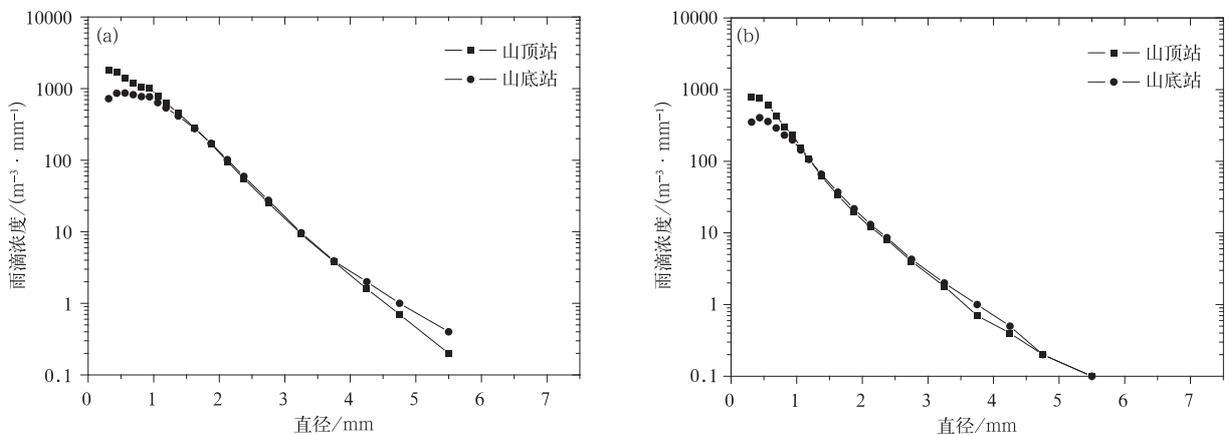


图 1 山顶和山底两站平均雨滴谱对比

(a)对流云,(b)层状云

Fig. 1 Comparison of average raindrop spectrum at top and foot of the mountain

(a)convection cloud,(b)stratiform cloud

图2为不同云型山底与山顶的各通道平均雨滴谱浓度比

$$r = \frac{N_B}{N_T} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, $r$ 为雨滴谱浓度比, $N_B$ 为山底各通道的雨滴数浓度, $N_T$ 为山顶各通道的雨滴数浓度,第18~24通道以上的雨滴数浓度较小,均小于 $10 \text{ m}^{-3} \cdot \text{mm}^{-1}$ ,存在较大的偶然性,故未计算比值与绘图。由图2可见,对流云降水大部分通道的比值均小于层云降水的比值,且这个比值从小粒子到大粒子基本呈单调上升的趋势,层云降水在第11通道,对流云降水在第13通道达100%以上。

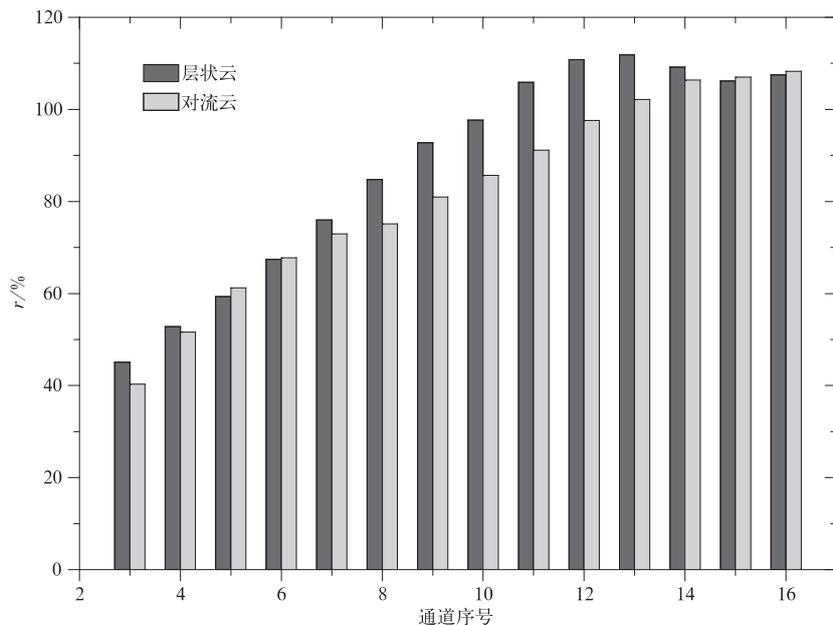


图2 不同云型山底与山顶的各通道平均滴谱浓度比

Fig. 2 Average raindrop concentration of different cloud at top and foot of the mountain

在降水过程经过两站点期间较稳定的前提下,分析雨滴下落过程中滴谱分布的差异,可能主要受到碰并和蒸发两个物理过程的影响。

首先,碰并过程的影响。降水粒子降落时,相对大的粒子会在降落过程中碰并掉小粒子,降落距离越长,碰并几率越大,一方面造成小粒子损失的加剧,另一方面造成大粒子的增加,所以对于山底站,不论对流云降水还是层云降水均出现了大粒子增加、小粒子减少的现象。对流云降水的粒子浓度要远大于层云降水,小粒子降落时被大粒子碰并掉的几率也较层云降水时大,这也是对流云降水小粒子损失率大的原因。

由于黄山山顶站和黄山山底站水平距离较近,所以在分析数据时,假定降水云系在经过两个站点期间未发生太大的变化,山顶站和山底站的雨滴在出云时滴谱分布类似,在此条件下,可以说明降水粒子在降落过程中大部分通道的数浓度出现损失,小粒子损失要大于大粒子的损失,最大的损失出现在最小的第3通道,损失率超过50%;层云降水在第11通道,对流云降水在第13通道以后,雨滴数浓度山底要大于山顶,说明此时大滴浓度在降落时有所增加,增加幅度除层云降水在第12和第13通道为10.8%和11.9%外,其余均在10%以内。

其次,蒸发过程的影响。降水粒子在降落时,由于到达山底时经过的距离长,粒子蒸发时间长,因此,产生的损失也比较大,山底粒子的数浓度也相应较低;由于发生对流云降水时,一般上升速度大于层云降水,这样粒子表面相对风速大于层云降水粒子,其蒸发速度也大于层云降水,造成了对流云降水粒子损失大于层云的损失。蒸发作用对小雨滴的浓度影响较大。

从本文所列的2011—2012年4—10月黄山17次降水过程统计结果看,蒸发过程一直伴随着降水下落过程,其对小粒子的影响远大于对大粒子的影响,造成山底降水小粒子浓度远小于山顶降水小粒

子浓度,最大可损失 50%以上,但随着粒子尺度的增加,这种损失逐渐减少。碰并过程发生的作用,随着粒子尺度增加而越发明显,使山底雨滴数浓度的损失逐渐减少,层云降水在第 11 通道、对流云降水在第 13 通道后山底雨滴数浓度反超山顶。

### 3 小 结

利用 2011—2012 年 4—10 月安徽黄山山顶和山底两个站点同时采集的雨滴谱数据,共选取 17 个降水个例,对不同高度和不同云系降水雨滴谱特征分析得出以下结论:

1) 对于不同云系的降水,山顶平均雨滴数浓度大于山底,平均峰值直径和平均质量半数直径在下落过程中均增加,平均雨强和平均雷达反射率因子变化幅度较小。从山顶和山底观测的平均雨滴谱分析得出,对于不同云系的雨滴下落过程,雨滴谱分布均从 M-P 分布转向了 Gamma 分布,山顶和山底观测的雨滴谱谱宽接近。

2) 降水粒子在降落过程中大部分通道的数浓度出现损失,最大的损失出现在最小的第 3 通道,损失率超过 50%;大滴浓度在降落时有所增加,层云降水在第 11 通道(特征直径 1.375 mm),对流云降水在第 13 通道(特征直径 1.875 mm)以后,雨滴数浓度山底要大于山顶,增加幅度除层云降水在第 12 和第 13 通道为 10.8%和 11.9%外,其他通道均在 10%以内。

虽然本文利用不同高度雨滴谱观测数据,分析了雨滴在下落过程中,雨滴谱的转变及造成转变的原因,但由于缺乏其他观测数据,如粒子图像数据等,只能初步分析雨滴谱下落过程中的转变原因。后期在观测数据允许的情况下,将更加深入分析雨滴下落过程中导致雨滴谱转变的具体微物理过程。

### 参 考 文 献

- [1] Maki M, Keenan T D, Sasaki Y, et al. Characteristics of the raindrop size distribution in tropical continental squall lines observed in Darwin, Australia. *J Appl Meteor*, 2001, 40(8): 1393-1412.
- [2] Bringi V N, Chandrasekar V, Hubbert J, et al. Raindrop size distribution in different climatic regimes from disdrometer and dual-polarized radar analysis. *J Atmos Sci*, 2003, 60(2): 354-

- 365.
- [3] Caracciolo C, Prodi F, Battaglia A, et al. Analysis of the moments and parameters of a gamma DSD to infer precipitation properties: A convective stratiform discrimination algorithm. *Atmos Res*, 2006, 80(2): 165-186.
- [4] Chu Y H, Su C L. An investigation of the slope-shape relation for Gamma raindrop size distribution. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2008, 47(10): 2531-2544.
- [5] Kirankumar N V P, Rao T N, Radhakrishna B, et al. Statistical characteristics of raindrop size distribution in southwest monsoon season. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2008, 47(2): 576-590.
- [6] Brown P S. Coalescence and breakup-induced oscillations in the evolution of the raindrop size distribution. *J Atmos Sci*, 1989, 46(9): 1186-1192.
- [7] Hu Z, Srivastava R C. Evolution of raindrop size distribution by coalescence, breakup, and evaporation: Theory and observations. *J Atmos Sci*, 1995, 52(10): 1761-1783.
- [8] Martinez D, Gori E G. Raindrop size distributions in convective clouds over Cuba. *Atmos Res*, 1999, 52(3): 221-239.
- [9] Tokay A, Bashor P G, Habib E, et al. Raindrop size distribution measurements in tropical cyclones. *Mon Wea Rev*, 2008, 136(5): 1669-1685.
- [10] 何越,何平,林晓萌.基于双高斯拟合的风廓线雷达反演雨滴谱. *应用气象学报*, 2014, 25(5): 570-580.
- [11] 严采繁,陈万奎.对流层下部雨滴谱分布. *应用气象学报*, 1990, 1(2): 191-197.
- [12] 安英玉,金凤岭,张云峰,等.地面雨滴谱观测的图像自动识别方法. *应用气象学报*, 2008, 19(2): 188-193.
- [13] 柳臣中,周筠睿,谷娟,等.成都地区雨滴谱特征. *应用气象学报*, 2015, 26(1): 112-121.
- [14] 金祺,袁野,纪雷,等.安徽滁州夏季一次飑线过程的雨滴谱特征. *应用气象学报*, 2015, 26(6): 725-734.
- [15] 李淘,阮征,葛润生,等.激光雨滴谱仪测速误差对雨滴谱分布的影响. *应用气象学报*, 2016, 27(1): 25-34.
- [16] 吴兑.关于雨滴在云下蒸发的数值试验. *气象学报*, 1990, 49(1): 116-121.
- [17] 宫福久,刘吉成,李子华.三类降水云雨滴谱特征研究. *大气科学*, 1997, 21(5): 607-614.
- [18] 刘红燕,雷恒池.基于地面雨滴谱资料分析层状云和对流云降水的特征. *大气科学*, 2006, 30(4): 693-702.
- [19] 张昊,濮江平,李靖,等.庐山地区不同海拔高度降水雨滴谱特征分析. *气象与减灾研究*, 2011, 34(2): 43-50.
- [19] 濮江平,赵国强,蔡定军,等. Parsivel 激光降水粒子谱仪及其在气象领域的应用. *气象与环境科学*, 2007, 30(2): 3-8.
- [20] Chen B, Yang J, Pu J. Statistical characteristics of raindrop size distribution in the Meiyu season observed in eastern China. *J Meteor Soc Japan, Ser: II*, 2013, 91(2): 215-227.
- [21] Testud J, Oury S, Black R A, et al. The concept of "normal-

ized" distribution to describe raindrop spectra; A tool for cloud Physics and cloud remote sensing. *J Applied Meteor.*, 2001, 40(6):1118-1140.

[22] Marzano F S, Cimini D, Montopoli M. Investigating precipitation microphysics using ground-based microwave remote sensors and disdrometer data. *Atmos Res.*, 2010, 97(4):583-600.

## Characteristics of Raindrop Falling Process at the Mount Huang

Yuan Ye Zhu Shichao Li Aihua

(Anhui Weather Modification Office, Hefei 230031)

### Abstract

Utilizing raindrop spectrum data recorded by PARSIVEL of April—October from 2011 to 2012 at the top and foot of the Mount Huang, 17 precipitation cases are collected, which divided into convective cloud precipitation and stratiform cloud precipitation. Characteristics of raindrop spectrum in different height and cloud from 17 precipitation cases are analyzed.

Observed results show that the average concentration of raindrops at the top of the mountain is higher than that at the foot of the mountain in both convective cloud and stratiform cloud precipitation, the average peak diameter and the average mass median diameter both increase during falling process, but average intensity and radar reflectivity both have a smaller change. Neither convective cloud nor stratiform cloud raindrop spectrum distribution broadens from top to foot of the Mount Huang, but the spectrum shapes of raindrop change from M-P (Marshall-Palmer) to Gamma. Raindrop loses at most bins when falling from top to foot of the mountain, the maximum loss appears at the third bin of raindrop spectrum, with the loss percentage exceeding 50%. The concentration of bigger raindrop of stratiform cloud begins at the 11th bin (with feature diameter of 1.375 mm) and convective cloud raindrop begin at the 13th bin (with feature diameter of 1.875 mm) increase during falling process. The increase amplitude is lower than 10% except the 12th bin (with features diameter of 1.625 mm) and the 13th bin of stratiform cloud raindrop, and the increase at these two bins are 10.8% and 11.9%, respectively. Evaporation accompanies with the whole falling process, which has bigger effects on small raindrops than big ones, leading to lower concentration of smaller raindrop at the foot of the mountain. These losses gradually reduce along with raindrop diameter increasing due to effects of coagulation process of raindrop become stronger along with raindrop diameter increasing. Therefore, these changes occurring during falling process may be caused by both evaporation and coagulation process of raindrop.

**Key words:** raindrop spectrum; the Mount Huang; convective cloud; stratiform cloud