

文章编号: 2096-1618(2020)06-0689-08

贵州正安夏季雨滴谱特征分析

王福增¹, 王秋淞¹, 何山¹, 谷晓平², 于飞³

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 贵州省生态气象和卫星遥感中心, 贵州 贵阳 550002; 3. 贵州省山地环境气候研究所, 贵州 贵阳 550002)

摘要:为了更好地对正安夏季降水进行准确预报,需要对本地夏季降水的宏微观特征进行研究,研究2019年夏季6-8月降水持续时间在半小时以上的降水雨滴谱特征,根据降水状况分层积云、对流云及混合云3种情况,分别对粒径分布规律、粒径与降水速度的关系、降水强度与粒径的关系、粒径分布与降水强度贡献率、 $Z-I$ 关系及降水分布特征几方面进行研究,得出如下结论:(1)3种降水状态,层状云降水粒径变化范围小,速度较低,粒径主要集中在小于1 mm,并且此部分粒子降水贡献率占71.41%;对流云降水粒子变化范围较大,速度可达10 m/s,粒径小于1 mm的粒子占64.4%,但降水贡献率只占16.95%;混合云降水粒子分布介于层状云与对流云之间,由粒径小于1 mm粒径粒子降水贡献率占50%。(2)层状云降水拟合的关系 $Z = 154.86 \times I^{1.33}$,混合云降水拟合的关系 $Z = 172.01 \times I^{1.39}$;对流云降水的 $Z-I$ 关系 $Z = 498.86 \times I^{1.12}$;3种状态降水拟合关系都比推荐的经典关系数值小。(3)3种状态降水分布特征用GAMMA分布拟合优于M-P分布,用分段拼接拟合,当粒径在0~0.937 mm使用GAMMA分布拟合,粒径大于0.937 mm使用M-P分布拟合的拼接拟合方式对雨滴谱进行拟合更为精确,层状云、对流云以及混合云拟合相关系数分别为99.6%、96.98%、97.16%。

关键词:正安;雨滴谱;降水贡献率; $Z-I$ 关系;降水特征分布

中图分类号:P426.6

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.06.016

0 引言

为了更好地对正安夏季降水进行准确预报,需要对降水的宏微观特性进行研究。雨滴谱随云的种类、降水机制等的不同而不同。雨滴谱观测直接得到了雨滴粒径、雨滴数浓度及雨滴降落末速度等信息,通过这些信息可以推导出雨水含量、降水强度和雷达反射率因子等重要物理量的数值。对进一步认识自然降水的物理过程、研究成雨机制、雷达及卫星反演降水提供重要参数。在雷达校验定标方面和人工影响天气的效果物理检验方面具有重要意义。

雨滴谱的分布特征研究已久,Marshall等^[1]最早详细测量了平均雨滴谱的分布,并得到M-P分布。Ulbrich和Willis^[3-4]提出了Gamma分布的雨滴谱表达式。研究发现,不同类型的降雨具有不同的雨滴谱类型,宫福久等^[5]分析了沈阳地区的雨滴谱资料,发现三类降雨的微物理参量随时间的起伏变化比较大,平均雨滴谱具有较大差异。周毓荃等^[6]分析了河南省干旱年地面雨滴谱特征。牛生杰等^[7]分析了宁夏夏季不同降水天气系统雨滴谱及有关物理量的特征。刘红燕等^[8]基于雨滴谱分析了层状云和对流云降水的特征。通过前人的研究发现,雨滴谱的特征具有地区

特性很显著,不同地区雨滴谱特征明显不同,不同地区雨滴谱和降水强度之间的关系不同,不同地区雨滴谱对降水的贡献明显存在不同^[9-11]。由于雨滴谱随降水类型、地区、高度等因素而变化,包含两个参数的指数形式M-P分布函数很难准确描述雨滴谱降水分布,一般使用Gamma分布(包含3个参数)描述雨滴谱分布^[12-14]。对贵州正安县2019年6-8月夏季降水持续时间在半小时以上的64次降水过程进行统计分析,降水类型分层状云、对流云及混合云3种情况,研究正安县夏季降水雨滴谱的降水粒径与降水下落末速度的关系、降水强度与降水粒径的关系、降水粒径的分布规律、降水粒径与降水贡献率的关系、 $Z-I$ 关系及降水分布特征等,研究结果对于本地区降水预报及人工影响天气具有参考价值。

1 仪器和资料

降水现象仪是地面气象观测的基本内容之一,实现降水现象自动观测,将有效提高观测的频次和质量,使用Parsivel降水粒子谱仪持续观测贵州正安6-8月夏季降水数据进行分析。

1.1 仪器介绍

Parsivel降水粒子谱仪采用平行激光束为采样空

间,光电管阵列为接受传感器,当有降水粒子穿过采样空间时,自动记录遮挡物的宽度和穿过时间,从而计算降水粒子的尺度和速度。

当激光束里没有降水粒子降落穿过时,接收器的输出电压最大。降水粒子穿过水平光束时以其相应的直径遮挡部分光束,因而降低了输出电压,从而可以确定降水粒子的直径。Parsivel 降水粒子谱仪能够提供 10 s ~ 1 h 时间分辨率的降水粒子谱数据,一般选择 60 s 时间分辨率。Parsivel 降水粒子谱仪测量的数据共有 32 个尺度测量通道和 32 个速度测量通道。其中粒子尺度测量 32 个通道对应的数据范围为 0.062 ~ 24.5 mm;粒子速度测量通道数据范围对应着 0.05 ~ 20.8 m/s。每一次采样间隔内的粒子谱测量数据都有 $32 \times 32 = 1024$ 个。

1.2 数据来源

降水粒子谱仪安装在 (28.53638 °N, 107.45833 °E), 记录了贵州正安 2019 年 6-8 月的降水过程,仪器连续采样,时间分辨率为 60 s,持续时间半小时以上的降水过程分别为 30、13、21 次,此次共采集到样本 2136 个,其中混合云样本 932 个,对流云样本 52 个,层状云样本 1152 个,6-8 月由采集到的数据可以看出,贵州正安 6-8 月降雨较为频繁。

其中贵州正安 2019 年 6 月混合云降水 12 次,平均降水时长 5 小时 11 分钟;对流云降水 1 次,降水时长 1 小时 50 分钟,降水强度达 9.92 mm/h;层状云降水 17 次,平均降水时长 1 小时 35 分钟。降水时长最长的降水过程是一次混合云降水过程,降水持续时长达 16 小时 55 分钟。2019 年 7 月混合云降水 3 次,平均降水时长 3 小时 56 分钟;层状云降水 10 次,平均降水时长 1 小时 53 分钟。平均雨强最高的降水过程是一次混合云降水过程,降水强度达 3.42 mm/h,降水时长最长的一次降水过程是混合云降水过程,降水持续时长达 9 小时 50 分钟。2019 年 8 月混合云降水 1 次,降水时长 2 小时 10 分钟;对流云降水 3 次,平均降水时长 57 分钟;层状云降水 17 次,平均降水时长 2 小时 49 分钟。平均雨强最大的降水过程是一次对流云降水过程,降水强度达 15.35 mm/h,降水时长最长的降水过程是一次层状云降水过程,降水持续时长达 11 小时 30 分钟。从整体来说,2019 年 6 月降水次数最多、持续时间比较长,降水最大的一次是 2019 年 8 月 6 号的一次对流云降水强度达 15.35 mm/h。

2 数据处理

由于降水粒子在下落过程中具有下降速度及上升气流的影响使粒子产生变形,需要对粒子进行变形订正,通过变形订正后分析降水粒径与降水末速度的关

系、粒径与降水强度的关系、降水粒径分布、降水粒径分布与降水雨强贡献率、 $Z-I$ 关系及降水雨滴谱分布特征等问题。

2.1 降水粒子变形订正

由于雨滴粒子在降落的过程中会产生一定的形变,为减小误差,对降水粒子谱仪采集到的雨滴谱数据进行变形修订。根据 Battaglia 等^[15],定义轴比 a_r 为雨滴粒子径向和横向长度的比值。对粒径小于 1 mm 的降水粒子定义为球形 ($a_r = 1$);对粒径在 1 ~ 5 mm 的降水粒子定义轴比 ($a_r = 1.075 \sim 0.075 D_{eq}$), D_{eq} 为等效降水粒子直径;对粒径大于 5 mm 的降水粒子定义轴比 ($a_r = 0.7$)。

2.2 降水粒子理想降落末速度公式

根据文献[16]的研究,降水粒子在理想情况下降水粒子粒径与降落末速度的存在如下关系:

$$\begin{cases} x < 0.03, v = 0 \\ 0.03 \leq x \leq 0.6, v = 4.323 \times (x - 0.03) \\ x > 0.6, v = 9.65 - 10.3 \times e^{-0.6x} \end{cases} \quad (1)$$

文中将研究本地降水粒子粒径与下落末速度间的关系。

2.3 雨滴谱反演计算公式

雨滴粒子数密度 N 计算公式^[17-18]:

$$N(D_i) = \sum_{j=1}^{32} \frac{n_{ij}}{A \cdot \Delta T \cdot V_j} \quad (2)$$

$$N = \sum_{i=1}^{32} N(D_i) \quad (3)$$

式(2)中, n_{ij} 代表粒径第 i 档、速度第 j 档的雨滴数, A 为降水粒子谱仪采样底面积为 5400 mm², ΔT 为取样时间,采用的数据为 60 s 时间分辨率, V_j 为某个速度档位的速度值,单位为 m/s。

降水强度,单位为 mm/h,公式:

$$I = \frac{6\pi}{10^4} \sum_{i=1}^{32} D_i^3 V(D_i) N(D_i) \quad (4)$$

雷达反射率因子,单位为 mm⁶/m³,公式:

$$Z = \sum_{i=1}^{32} N(D_i) D_i^6 \quad (5)$$

2.4 雨滴谱的分布

通过观测得到的雨滴谱都是离散的,使用双参数指数 M-P 分布模拟雨滴粒径分布,公式为

$$N(D) = N_0 \exp(-\lambda D) \quad (6)$$

其中, N_0 为数密度参数单位为 mm⁻¹ m⁻³, λ 为尺寸参数单位为 mm⁻¹。

这种分布型态在描述小雨滴和大雨滴部分与实际观测资料相比有一定误差。因此 Ulbrich 等^[19]提出了一个修正后的雨滴粒径分布型态,将雨滴谱分布视为

GAMMA 分布,用来修正分布在小雨滴和大雨滴之间的分布型态。此时雨滴粒径分布由原来的双参数指数分布变为三参数的 GAMMA 分布^[19],公式为

$$N(D)=N_0\times D^{\mu}\times\exp(-\lambda D)$$

(7)

式中 μ 是无量纲参数,称为形状因子。当 $\mu>0$ 时,曲线向上弯曲, $\mu<0$ 时,曲线向下弯曲。 $\mu=0$ 时,该式则变成式(6)。

GAMMA 分布拟合一般有最小二乘法 and 矩法。可将观测的雨滴粒径分布 $N(D)$ 拟合到 GAMMA 分布,可以求得其分布的 3 个参数 μ (无因次)、 λ 、 N_0 。采用最小二乘法对 M-P、GAMMA 分布进行拟合。

2.5 拟合相关系数

$$R^2=\frac{\sum_{i=1}^ny_i^2-\sum_{i=1}^n(y_i-Y_i)^2}{\sum_{i=1}^ny_i^2}$$

(8)

实际值为 y_i , 拟合曲线值为 Y_i , 残差平方和为 $\sum_{i=1}^n(y_i-Y_i)^2$, 总平方和为 $\sum_{i=1}^ny_i^2$, R^2 分布区间 $(0,1)$, R^2 越小说明拟合得越差, R^2 越大说明拟合得越好。

3 夏季雨滴谱特性分析

对贵州正安 2019 年 6-8 夏季总体雨滴谱分布的粒径与降水粒子末速度的关系、降水强度与粒径的关系、粒子数密度分布、粒子数密度分布与降水强度贡献率分布、Z-I 关系及 M-P、GAMMA 分布拟合。

3.1 粒子分布特征

贵州正安 6-8 月降水粒径与降水粒子末速度分布如图 1 所示。

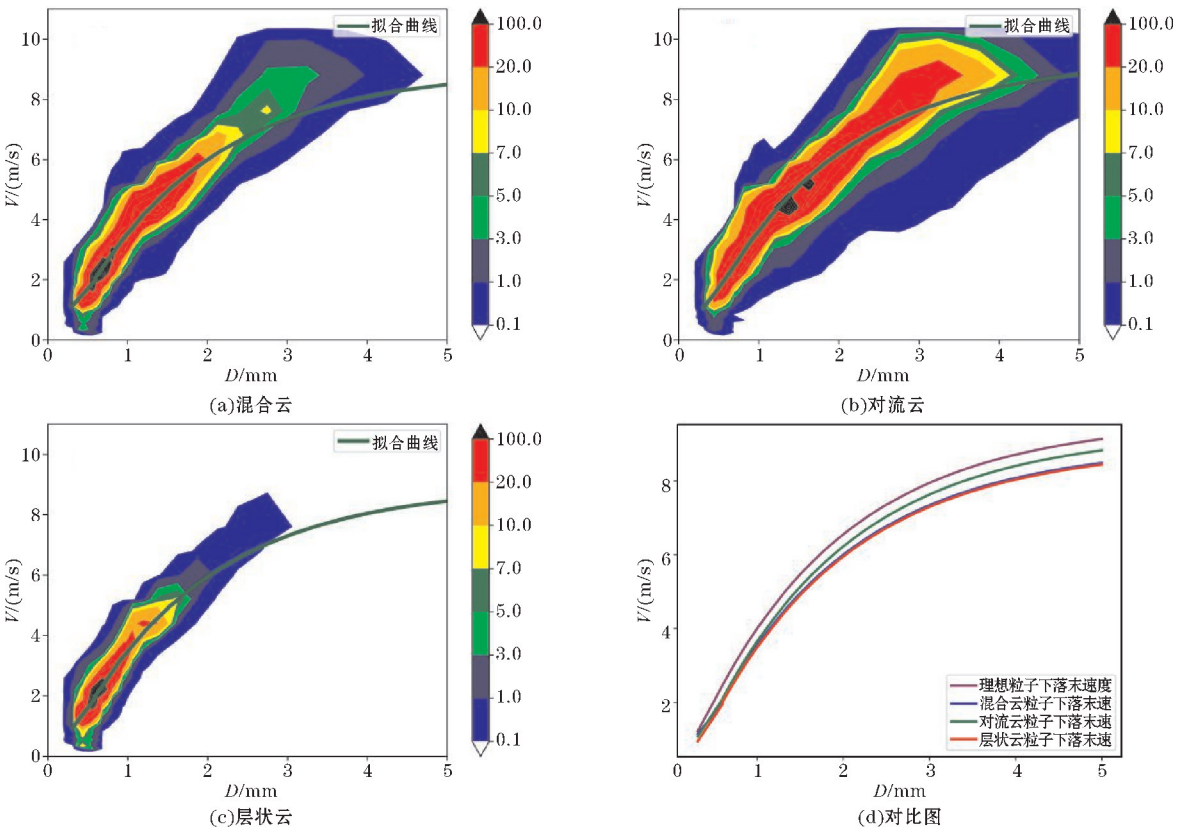


图 1 贵州正安 6-8 月粒子分布

图 1(a) ~ (c) 中粒子直径与速度的实测值,拟合曲线为粒子直径与粒子末速度拟合曲线。图 1(a) 为混合云粒子直径集中分布在 0.375 ~ 1.875 mm, 粒子速度主要分布在 1 ~ 8 m/s, 拟合公式为

$$\begin{cases} x<0.03, & v=0 \\ 0.03\leq x\leq 0.6, & v=2.967\times(x+0.071) \\ x>0.6, & v=8.98-9.91\times e^{-0.6x} \end{cases}$$

(9)

图 1(b) 对流的云粒子直径集中分布在 0.572 ~ 3 mm, 粒子速度主要分布在 1 ~ 10 m/s, 拟合公式为

$$\begin{cases} x<0.03, & v=0 \\ 0.03\leq x\leq 0.6, & v=3.543\times(x-0.096) \\ x>0.6, & v=9.35-10.39\times e^{-0.6x} \end{cases}$$

(10)

图 1(c) 为层状云粒子直径集中分布在 0.375 ~ 1.062 mm, 粒子速度主要分布在 1 ~ 4 m/s, 拟合公式为

$$\begin{cases} x < 0.03, & v = 0 \\ 0.03 \leq x \leq 0.6, & v = 3.505 \times (x - 0.043) \\ x > 0.6, & v = 8.94 - 9.94 \times e^{-0.6x} \end{cases} \quad (11)$$

图1(d)中理想粒子下落末速度与3种拟合的粒径与下落末速度的对比图,从图1(d)得到在同等粒径下,理想粒子下落末速度大于本地区实际粒子拟合的粒径与粒子下落末速度的对应关系。同时发现混合云与层状云粒径与下落末速度拟合曲线几乎重合,故可用混合云曲线作为层状云降水粒径与下落末速度的关系,而对流云粒径与下落末速度的拟合的关系大于混合云和层状云降水粒径与下落末速度的关系。同时层

状云粒子分布范围最小,粒子分布集中,主要在1.875 mm以下,下落末速度也比较小,而对流云降水粒子分布范围最广,粒子分散,下落末速度也比较大,速度可以达到10 mm/s以上。

3.2 降水强度与粒径的关系

利用6-8月雨滴谱资料分析降水强度与粒子的平均直径的关系以及降水强度与降水粒子优势直径的关系,采用最小二乘法对3种降水类型拟合,结果如图2所示。

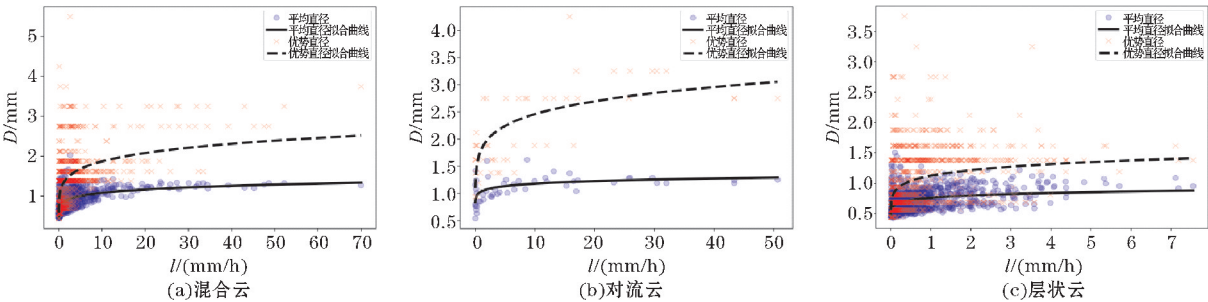


图2 贵州正安6-8月降水强度与粒径关系

图2(a)混合云降水中随着降水强度变化,平均直径分布在0.937~1.187mm,变化幅度很小,优势直径分布在1.375~2.5 mm随雨强增大而增加;图2(b)对流云降水中随着降水强度变化,平均直径分布在0.937~1.137 mm,变化幅度也很小,优势直径分布在1.5~3 mm随雨强增大而增加;图2(c)层状云降水中随着降水强度变化,平均直径分布在0.625~0.812 mm,变化幅度很小,优势直径分布在0.812~1.4 mm随雨强增大而增加。综合分析得出层状云降水粒子平均直径和优势直径都比较小,而对流云降水和混合云降水平均直径基本相当,但优势直径分布对流云降水偏大,这就是对流云降水比较大的原因。

3.3 粒子数密度分布与雨强贡献率分布

通过统计和计算贵州正安6-8月3种降水状态

的降水粒子数密度分布与降水强度贡献率,将结果列于表1,表1中N为总粒子数密度,N1为粒子直径小于1 mm的粒子数密度;N2为粒子直径在1~2 mm的粒子数密度;N3为粒子直径在2~3 mm的粒子数密度;N4为粒子直径在3~4 mm的粒子数密度;N5为粒子直径在4~5 mm的粒子数密度;N6为粒子直径大于5 mm的粒子数密度。R为降水强度,R1为粒子直径小于1 mm的粒子贡献的降水强度;R2为粒子直径在1~2 mm的粒子贡献的降水强度;R3为粒子直径在2~3 mm的粒子贡献的降水强度;R4为粒子直径在3~4 mm的粒子贡献的降水强度;R5为粒子直径在4~5 mm的粒子贡献的降水强度;R6为粒子直径大于5 mm的粒子贡献的降水强度。贵州正安6~8月粒子数密度分布与雨强贡献率分布如表1所示。

表1 贵州正安6-8月粒子数密度分布与雨强贡献率分布 %

	N1/N	N2/N	N3/N	N4/N	N5/N	N6/N
混合云	80.6368	17.8930	1.3243	0.1318	0.0130	0.0011
对流云	64.3947	30.9012	4.0244	0.5968	0.0739	0.0090
层状云	90.8758	8.9589	0.1615	0.0036	0.0002	0
	R1/R	R2/R	R3/R	R4/R	R5/R	R6/R
混合云	50.0506	39.2367	8.8208	1.6814	0.1851	0.0254
对流云	16.9506	52.2426	21.5112	7.4575	1.4888	0.3493
层状云	71.4105	26.4934	1.9562	0.1293	0.0106	0

由表1得到贵州正安6-8月混合云降水过程中粒径小于1 mm的粒子数密度所占比例为80.6368%,粒径在1~2 mm的粒子数密度所占比例为17.8930%。降水贡献率方面粒径小于1 mm的粒子降水贡献率为50.0506%,粒径为1~2 mm的粒子降水贡献率为39.2367%,粒径大于2 mm的粒子降水贡献率为10.7127%。对流云降水过程中粒径小于1 mm的粒子数密度所占比例为64.3947%,粒径在1~2 mm的粒子数密度所占比例为30.9012%。降水贡献率方面粒径小于1 mm的粒子降水贡献率为16.9506%,粒径为1~2 mm的粒子降水贡献率为52.2426%,粒径大于2 mm的粒子降水贡献率为30.8068%。层状云降水过程中粒径小于1 mm的粒子数密度所占比例为90.8758%,粒径在1~2 mm的粒子数密度所占比例为8.9589%。降水贡献率方面粒径小于1 mm的粒子降水贡献率为

71.4105%,粒径为1~2 mm的粒子降水贡献率为26.4934%,粒径大于2 mm的粒子降水贡献率为2.0961%。综合分析3种降水粒子分布主要是小粒子占多数,其中小于1 mm的降水粒子占到64.4%以上;降水粒子贡献率方面层状云降水主要是小于1 mm的小粒子贡献的,占71.4%;对流云降水主要是大于1 mm的降水粒子贡献的,占83.05%;而混合云降水粒子大于1 mm的降水粒子和小于1 mm的降水粒子各占50%。

3.4 Z-I 关系分布

Z-I关系的时空特性和地理特性的变化很大,利用雨滴谱资料分别计算雷达反射率Z和降水量I,研究正安地区的Z-I关系,6-8月Z-I关系分布如图3所示。

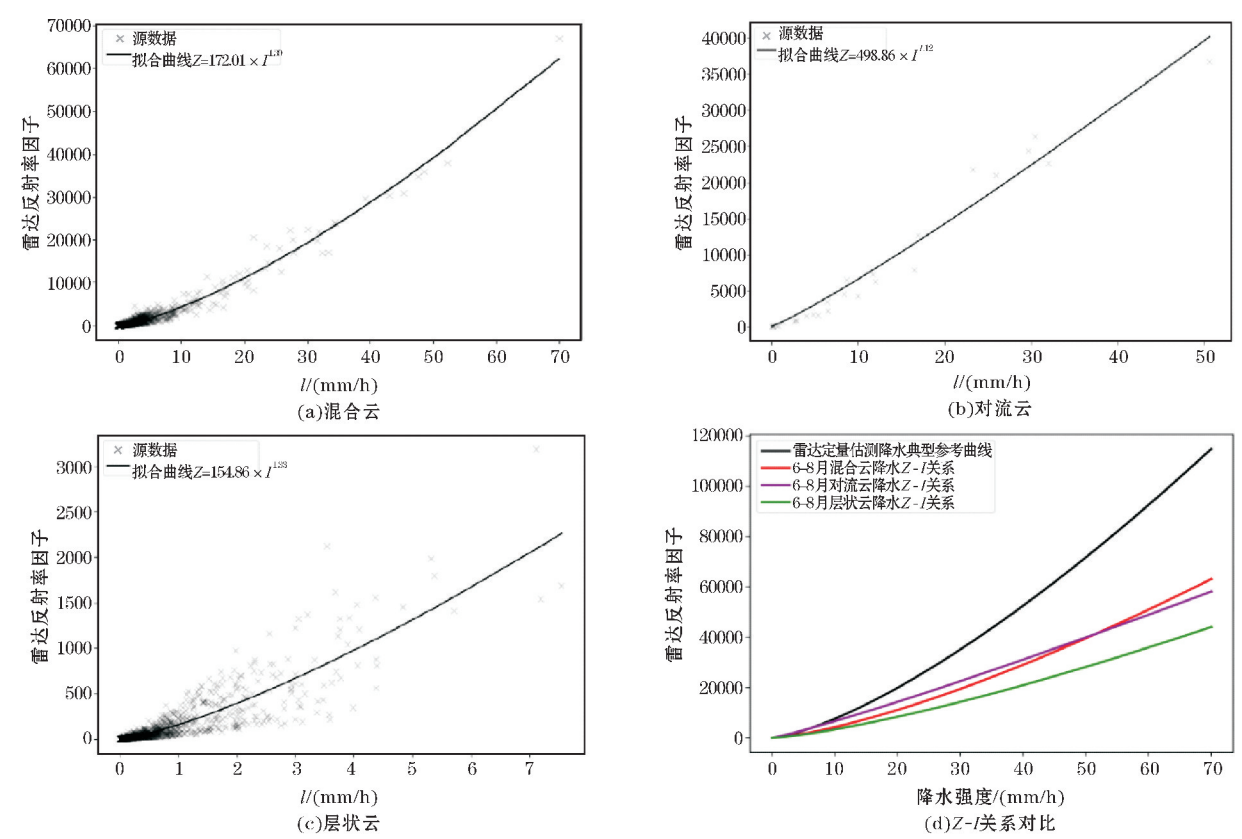


图3 贵州正安6-8月Z-I关系

由图3得到贵州正安6-8月的Z-I关系曲线呈现指数函数分布,图3(a)混合云降水的Z-I关系拟合后曲线为 $Z = 172.01 \times I^{1.39}$;图3(b)对流云降水的Z-I关系拟合后曲线为 $Z = 498.86 \times I^{1.12}$;图3(c)层状云降水的Z-I关系拟合后曲线为 $Z = 154.86 \times I^{1.33}$ 。在图3中看到有些点远超拟合曲线的雷达反射率因子,因为雷达反射率因子的计算为 D^6 ,对粒子直径极为敏感,因

该部分降水为低粒子数密度大粒子直径降水形态导致。图3(d)中降水强度模拟范围为0~70 mm/h,黑色实线为雷达定量估测降水参考系数 $Z = 300 \times I^{1.4}$ 关系曲线,图3(d)中反映出使用参考系数的Z-I关系会对贵州正安的雷达反射率因子一定程度的高估,雨强越大偏差越大。在整个横轴上层状云的曲线均是最低值,反映出层状云降水粒子微物理特点为整体粒径较

小。对流云降水在 0 ~ 55 mm/h 时雷达反射率因子最高,反映出对流云降水粒子微物理特点为整体粒径较大导致反射率因子偏大。混合云降水在 0 ~ 55 mm/h 雷达反射率因子介于对流云降水与层状云降水之间而在大于 55 mm/h 雷达反射率因子最高,体现了混合云

降水当雨强比较大时表现的为对流云性质降水。

3.5 降水粒子分布拟合

贵州正安 6-8 月降水 M-P、GAMMA 分布拟合如图 4 所示,横坐标为粒子直径,纵坐标为粒子数密度。

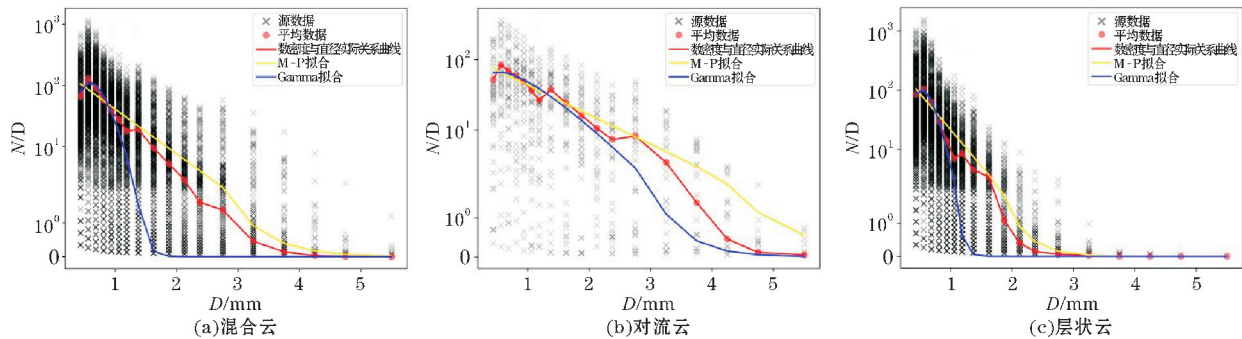


图 4 贵州正安 6-8 月降水 M-P、GAMMA 分布

图 4(a) 中 M-P 分布拟合曲线 $N(D) = 221.29 \times e^{(-1.689D)}$, GAMMA 分布拟合曲线 $N(D) = 8.53 \times 10^7 \times D^{8.876} \times e^{(-15.02D)}$, 经计算, GAMMA 分布拟合相关系数为 96.15%, M-P 分布拟合相关系数为 87.87%。图 4(b) 中 M-P 分布拟合曲线 $N(D) = 82.74 \times e^{(-0.8759D)}$, GAMMA 分布拟合曲线 $N(D) = 386.85 \times D^{1.331} \times e^{(-2.283D)}$, 经计算, GAMMA 分布拟合相关系数为 96.49%, M-P 分布拟合相关系数为 95.20%。图 4(c) 中 M-P 分布拟合曲线 $N(D) = 452.92 \times e^{(-3.052D)}$, GAMMA 分布拟合曲线 $N(D) = 1.19 \times 10^{11} \times D^{12.786} \times e^{(-23.941D)}$, 经计算, GAMMA 分布拟合相关系数为 99.32%, M-P 分布拟合相关系数

为 91.94%。统计 4 种情况下的拟合相关系数得到, 贵州正安 6-8 月降水过程中 GAMMA 分布拟合比 M-P 分布拟合的拟合程度更好。

由图 4 得到, 在粒径小于 0.937 mm 区域, GAMMA 分布拟合结果与真实值相近, 0.937 ~ 3.25 mm 区域, M-P 分布的误差比 GAMMA 分布的误差小, 大于 3.25 mm 区域, 3 条曲线几乎重合。故采用 GAMMA 分布曲线与 M-P 分布曲线进行分段拟合的结果更好。由此通过分析可知, 故在用拼接后的拟合分布拟合曲线。图 5 分别为贵州正安夏季混合云、对流云、层状云降水拼接拟合曲线和 GAMMA 分布对比。

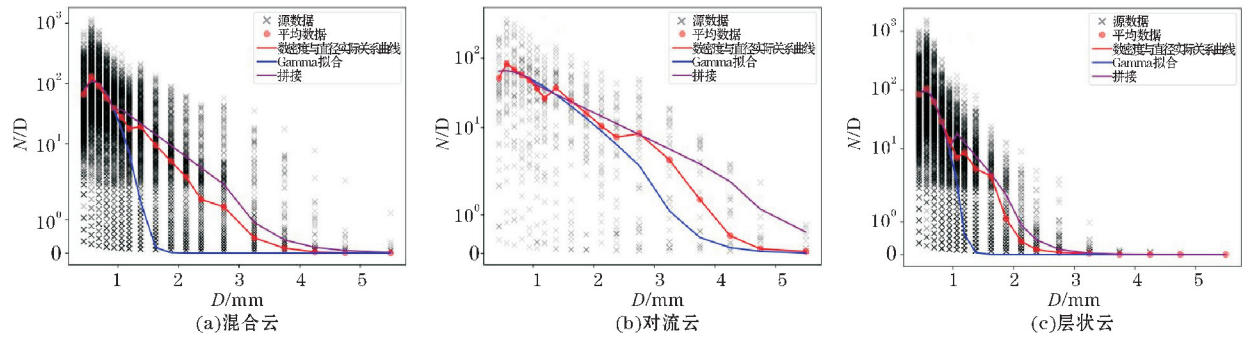


图 5 贵州正安 6-8 月降水拼接拟合分布及 GAMMA 分布

图 5(a) 经过拼接后的结果, GAMMA 分布拟合相关系数为 96.15%, 拼接拟合相关系数为 97.16%; 图 5(b) 经计算, GAMMA 分布拟合相关系数为 96.49%, 拼接拟合相关系数为 96.98%; 图 5(c) 经计算, GAMMA 分布拟合相关系数为 99.32%, 拼接拟合相关系数为 99.60%。通过统计分析, 拼接后曲线的拟合相关系数较 GAMMA 分布均有一定的提高, 拼接后的曲线对贵州正安雨滴谱拟合更精确。

4 结论

通过研究贵州正安 2019 年 6-8 月夏季降水粒子谱仪的观测资料, 得出混合云、对流云、层状云降水的雨滴谱分布特征, 根据降水过程的降水粒径、数密度与降水量的关系、降水数密度与降水贡献率、Z-I 关系及 M-P、GAMMA 分布。结论如下:

(1) 混合云降水粒子粒径集中分布在0.375 ~ 1.875 mm,粒子速度主要分布在1 ~ 6 m/s;对流云降水粒子粒径集中分布在0.572 ~ 3 mm,粒子速度主要分布在1 ~ 8 m/s;层状云降水粒子粒径集中分布在0.375 ~ 1.062 mm,粒子速度主要分布在1 ~ 4 m/s。得到对流云降水的粒径分布范围大,速度快;层状云降水的粒径分布范围小,速度慢。

(2) 综合分析3种状态降水量与降水粒子直径的关系,得到层状云降水粒子的平均直径和优势直径都比较小;而对流云降水和混合云降水粒子平均直径基本相当,但优势直径分布对流云降水偏大,对流云大粒子比重较大,大粒子降水贡献率也大,因此对流云降水量比较大的原因。

(3) 对于3种降水状态,粒径小于1 mm粒子数密度与降水贡献率占比从高到低依次为层状云、混合云和对流云,层状云降水由粒径小于1 mm粒径粒子主导。粒径在大于1 mm粒子数密度与降水贡献率占比从高到低依次为对流云、混合云、层状云,对流云1 mm粒子降水贡献率为83.05%,因此对流云降水由粒径大于1 mm粒径粒子主导。混合云降水粒子小于1 mm粒子比例占80.6%,但降水贡献率占比大于1 mm和小于1 mm粒径各占50%。

(4) 从 $Z-I$ 拟合关系得到一般雷达定量估测降水典型参考关系不适用于本地区;在这由于混合云降水的 $Z-I$ 关系与层状云拟合之后 $Z-I$ 关系曲线在降水量小于10 mm时二者关系基本重合,所以可以用混合降水 $Z-I$ 关系替代层状云降水关系,混合云降水拟合的关系为 $Z = 172.01 \times I^{1.39}$;对流云降水的 $Z-I$ 关系拟合后曲线为 $Z = 498.86 \times I^{1.12}$ 。

(5) 通过对3种降水情况下雨滴谱数据分布进行拟合,GAMMA拟合结果优于M-P拟合结果;而采用0 ~ 0.937 mm使用GAMMA分布拟合,大于0.937 mm使用M-P分布拟合的拼接拟合方式对雨滴谱进行拟合更为精确。层状云、对流云以及混合云拟合相关系数分别达到99.6%、96.98%、97.16%。

参考文献:

- [1] Marshall J S, Palmer W M K. The Distribution of Raindrops with Size [J]. Journal of Meteorology, 1948, 5(4): 165-166.
- [2] Marshall. Precipitation trajectories and patterns [J]. J. Meteor., 1953, 10(1): 25-29.
- [3] Ulbrich C W. Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution [J]. Climate Appl. Meteor., 1983, 22(10): 1764-1775.
- [4] Willis P T. Functional fits to some observed drop size distributions and parameterization of rain [J]. J. Atmos. Sci., 1984, 41(9): 1648-1661.
- [5] 宫福久, 刘吉成, 李子华. 三类降水云雨滴谱特征研究 [J]. 大气科学, 1997, 21(5): 607-614.
- [6] 周毓荃, 刘晓天, 周非非, 等. 河南干旱年地面雨滴谱特征 [J]. 应用气象学报, 2001, 12(S1): 39-47.
- [7] 牛生杰, 安夏兰, 桑建人. 不同天气系统宁夏夏季降雨谱分布参量特征的观测研究 [J]. 高原气象, 2002, 21(1): 37-44.
- [8] 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 [J]. 大气科学, 2006, 30(4): 693-702.
- [9] 陈宝君, 李子华, 刘吉成, 等. 三类降水云雨滴谱分布模式 [J]. 气象学报, 1998, 56(4): 506-512.
- [10] 房彬, 郭学良, 肖辉. 辽宁地区不同降水云系雨滴谱参数及其特征量研究 [J]. 大气科学, 2016, 40(6): 1154-1164.
- [11] 杨俊梅, 王星星, 封秋娟, 等. 山西汾阳地区层状云和对流云降水雨滴谱特征 [J]. 干旱气象, 2017, 35(3): 439-445.
- [12] 徐文静, 苏德斌, 王辉, 等. 北京一次强降水过程雨滴谱特征 [J]. 大气与环境光学学报, 2017, 12(1): 8-14.
- [13] 刘红燕, 陈洪滨, 雷恒池, 等. 利用2004年北京雨滴谱资料分析降水强度和雷达反射率因子的关系 [J]. 气象学报, 2008, 66(1): 125-129.
- [14] 柳臣中, 周筠珺, 谷娟, 等. 成都地区雨滴谱特征 [J]. 应用气象学报, 2015(1): 112-121.
- [15] Battaglia A, Rustemeier E, Tokay A, et al. PAR-SIVEL snow observations: A critical assessment. J Atmos Oceanic Technol, 2010, 27(2): 333-344.
- [16] Atlas D, R C Srivastava. Doppler characteristics of precipitation at vertical incidence [J]. Rev. Geophys. Space Phys., 1973, 11: 1-35.
- [17] 史晋森, 张武, 陈添宇, 等. 2006年夏季祁连山北坡雨滴谱特征 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2008, 44(4): 55-61.
- [18] 王鹏飞, 李子华. 微观云物理学 [M]. 北京: 气象出版社, 1989: 243-244, 285.
- [19] Carlton W Ulbrich, David Atlas. Assessment of the contribution of differential polarization to improved rainfall measurements. Radio Science. 1984, 1: 49-57.

Analysis of Summer Raindrop Spectrum Characteristics of Zheng'an in Guizhou

WANG Fuzeng¹, WANG Qiusong¹, HE Shan¹, GU Xiaoping², YU Fei³

(1. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Guizhou Ecometeorology and Satellite Remote Sensing Center, Guiyang 550002, China; 3. Guizhou Institute of Mountainous Environment and Climate, Guiyang 550002, China)

Abstract: In order to accurately forecast the summer precipitation of Zheng'an, it is necessary to study the macro and micro characteristics of local summer precipitation. In this paper, the characteristics of raindrop spectrum of precipitation lasting more than half an hour from June to August in summer of 2019 are studied. According to the precipitation conditions, there are three kinds of stratocumulus, convective clouds and mixed clouds. The law of particle size distribution, the relationship between particle size and precipitation speed, the relationship between precipitation intensity and particle size, the contribution rate between particle size distribution and precipitation intensity, the relationship between $Z-I$ and the characteristics of precipitation distribution were studied. Get the following conclusions: (1) Among the three precipitation States, the particle size of stratocumulus precipitation has a small change range and a low speed, and the particle size is mainly less than 1 mm, and the contribution rate of this part of particle precipitation accounts for 71.41%. The convective cloud precipitation particles have a wide range of changes, and the speed can reach 10 m/s. The particles with a particle size less than 1mm account for 64.4%, but the precipitation contribution rate only accounts for 16.95%. The distribution of precipitation particles in mixed cloud is between stratified cloud and convective cloud. the precipitation contribution rate of particles with particle size less than 1 mm accounts for 50%. (2) The relationship between radar reflectivity and precipitation fitted by stratocumulus precipitation is as follows $Z = 154.86 \times I^{1.33}$. The relationship between radar reflectivity and precipitation fitted by mixed clouds precipitation is as follows $Z = 498.86 \times I^{1.12}$. The relationship between radar reflectivity and precipitation fitted by convective cloud precipitation is as follows $Z = 172.01 \times I^{1.39}$. The fitted precipitation relations are all smaller than the recommended classical relations. (3) The distribution characteristics of precipitation in three states are better than M-P distribution by GAMMA distribution fitting. In this paper, piecewise stitching fitting is used that the GAMMA distribution is used to fit when the particle size is in the range of 0–0.937 mm and it is more accurate to fit raindrop spectrum by using M-P distribution fitting when the particle size is larger than 0.937 mm. The fitting correlation coefficients of layered cloud, convective cloud and mixed cloud are 99.6%, 96.98% and 97.16%, respectively.

Keywords: Zheng'an; raindrop spectrum distribution; precipitation contribution rate; $Z-I$ relation; precipitation distribution characteristics