

李力,姜有山,蔡凝昊,等,2018. Parsivel 降水粒子谱仪与观测站雨量计的对比分析[J]. 气象,44(3):434-441.

# Parsivel 降水粒子谱仪与观测站 雨量计的对比分析\*

李 力<sup>1</sup> 姜有山<sup>1</sup> 蔡凝昊<sup>2</sup> 夏敏洁<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 南京市气象局, 南京 210009

<sup>2</sup> 江苏省气象台, 南京 210009

**提 要:** 本文选取强降雨、一般降雨等几次天气过程,利用统计方法,对架设于南京的五个 Parsivel 降水粒子谱仪监测的资料和观测站雨量计雨量资料进行对比分析,结果得到:雨滴谱仪的雨量数据在降雨过程中与雨量计相差较小。雨强在  $10\sim 20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  之间时,雨滴谱仪的雨量与雨量计相差最大;雨强为  $0\sim 1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  和大于  $20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  (短时强降雨)、或直径大于  $2\text{ mm}$  时,雨滴谱仪雨量总体上大于雨量计;雨强为  $1\sim 20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 、或直径小于  $2\text{ mm}$  时雨滴谱仪雨量总体上小于雨量计。

**关键词:** Parsivel 降水粒子谱仪资料,雨量计雨量,对比分析

中图分类号: P412

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.03.010

## Contrastive Analysis of Parsivel Precipitation Particle Spectrometer Data and Pluviometer Data

LI Li<sup>1</sup> JIANG Youshan<sup>1</sup> CAI Ninghao<sup>2</sup> XIA Minjie<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nanjing Meteorological Bureau, Nanjing 210009

<sup>2</sup> Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210009

**Abstract:** This article selects some weather processes including heavy rainfall and general rainfall, using statistical method to contrast Parsivel precipitation particle spectrometer data and pluviometer data from five stations in Nanjing. The results show that the particle spectrometer data are close to the pluviometer data in rainfall processes. When the rain intensity is between  $10\sim 20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , the particle spectrometer data have the largest difference from the pluviometer data. However, the particle spectrometer data are bigger than the pluviometer data as a whole when the rain intensity is either larger than  $20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  or between  $0$  and  $1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , or when the rainfall particle diameter is bigger than  $2\text{ mm}$ . The result is opposite when the rain intensity is between  $1$  and  $20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , or when the particle diameter is smaller than  $2\text{ mm}$ .

**Key words:** Parsivel precipitation particle spectrometer data, pluviometer data, contrastive analysis

\* 华东区域气象科技协同创新基金合作项目(QYHZ201604)、国家自然科学基金项目(41575010)、江苏省自然科学基金青年基金项目(BK20171094)、江苏省自然科学基金项目(BK20161603)和江苏省气象局预报员专项(JSYBY201409)共同资助

2016年2月27日收稿; 2018年1月12日收修定稿

第一作者:李力,主要从事天气预报和新资料应用研究. Email:lilin163@163.com

通信作者:姜有山,主要从事短期天气预报技术研究. Email:jysnjsqxt@163.com

## 引言

雨滴谱观测是云降水物理学研究的重要内容之一,通过雨滴谱分布可以计算各种降水物理参量(如粒子数密度、雨水含量、雨强和雷达反射率因子)以及雨滴对微波的衰减、建立雷达反射率因子和降水强度之间的经验关系等,更重要的是,它反映了云中成雨过程、云动力学和微物理学之间的相互制约。这对进一步了解自然降水的物理过程、研究成雨机制、评估人工增雨的云水条件、检验催化效果以及数值模拟等方面提供科学的依据有重要意义。

我国从20世纪60年代就开始了雨滴谱进行观测和研究。樊玲等(2001)利用GBP-100型地面雨滴谱仪资料分析了哈尔滨地区春夏季层状云降水的雨滴谱分布特征。刘红燕和雷恒池(2006)利用声雨滴谱仪观测资料,对降水云系划分并分析相应雨滴谱特征。罗俊颀等(2012)对陕西省春季层状云降水雨滴谱特征进行了研究。明虎等(2014)利用边界层风廓线雷达对巴音布鲁克的一次层状云降水过程进行了雨滴谱的反演和研究。

Parsivel激光降水粒子谱仪是以激光为基础的新一代高级光学粒子测量器及气象传感器,可同时测量降水中所有液体和固体粒子的尺度和速度。基于激光雨滴谱仪的研究也有很多:李景鑫等(2010)利用此仪器对宁夏积层混合云降水雨滴谱特征进行分析;濮江平等(2010)也曾利用架设在解放军理工大学观测场的激光雨滴谱对南京的降水进行分析;温龙等(2015)利用二维雨滴谱仪和MRR对南京地区的两次降水过程进行了研究;房彬等(2016)利用激光雨滴谱研究了辽宁地区不同降水云系雨滴谱参数和特征量;熊飞鳞和周毓荃(2016)研究了雨滴谱 $\Gamma$ 分布三参数的阶矩法;汪学渊等(2016)开展了激光雨滴谱仪与风廓线雷达反射率的对比试验;梅海霞等(2017)利用激光雨滴谱对WRF 3.5.1模式参数化方案进行了调整。

南京市气象局自2014年以来,分别布设了5部Parsivel降水粒子谱仪于南京、六合、浦口、溧水和高淳站。但自布设以来业务应用相对甚少,这主要是由于对资料稳定性以及确定性研究甚少。本文以观测站雨量计降水为参照,重点对OTT1 Parsivel降水粒子谱仪的测量结果与其进行对比分析,对OTT1 Parsivel降水粒子谱仪资料的确定性进行基

础性研究,以期OTT1 Parsivel降水粒子谱仪能在今后业务中发挥应有的作用。

目前为止,国内外专家对雨滴谱仪(OTT1)和雨量计的降水资料进行过一些对比(徐文静等,2007;Tokay et al,2013;2014;胡子浩等,2014),以上研究都得出:OTT1的雨量和雨量计雨量具有一致性。

## 1 仪器简介

OTT1 Parsivel降水粒子谱仪(以下简称雨滴谱仪)是用以激光测量为基础的光学传感器,通过测量遮挡物的宽度和通过时间来计算降水粒子的直径和下落速度。数据输出频率为一分钟一次,除了直接测量的降水粒子直径和速度之外,输出数据产品有雨强、雨量、雷达反射率等。

## 2 资料说明与计算方法

本次研究选取架设在南京、六合、浦口、溧水和高淳站的雨滴谱仪的分钟雨量数据,与上述五站雨量计的10 min雨量数据进行对比。首先将雨滴谱仪数据累加为10 min雨量,再与雨量计数据分别计算相关系数、均方根误差、平均相对误差、平均绝对误差和平均偏差(熊秋芬等,2011)。

过程与数据选取方面:由于2014年各站的雨滴谱仪数据输出不稳定,2015年趋于稳定,但2015年4月之后由于南京站的仪器损坏,数据缺失,直至2015年10月才恢复。此次研究选取了2014—2016年的几次降水过程。

## 3 两次强降雨过程下两种资料的对比分析

### 3.1 过程简介

过程1:受低空切变线影响,2015年6月16—17日(过程1)南京市出现了强降雨,主要降雨时段集中在16日下午至17日早晨。此次过程中六合、浦口、溧水、高淳四站的累积降雨量均达到了大暴雨量级(100 mm以上)。

过程2:受到梅雨锋的影响,2015年6月26—28日(过程2)南京市出现2015年入梅以来首次强

降雨。此次过程的主要强降雨时段集中在 26 日夜  
里至 28 日。此次过程中,除了高淳站的累积降雨量  
在 86.1 mm 为暴雨量级,六合、浦口、溧水三站的累  
积降雨量均达到大暴雨量级。

两次过程中,南京站的雨滴谱仪资料均缺失,所  
以不予讨论。

### 3.2 两种资料的变化特征

图 1~图 4 分别是六合、浦口、溧水、高淳站雨  
量计和雨滴谱仪雨量数据逐 10 min 变化。可以看  
出,雨滴谱仪的雨量数据和雨量计数据总体上符合  
得较好,变化曲线上升、下降的趋势能较好地反映  
出来,两条变化曲线重合的部分较多。很少有雨量  
计测得的雨量为 0 时,雨滴谱仪测出了雨量;或者  
雨量计有雨量时,雨滴谱仪没测出雨量的情况。图  
1~图 4 的所有峰值处,雨滴谱仪和雨量计的数据也很

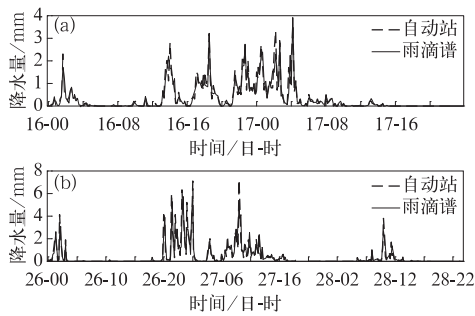


图 1 六合站雨量计和雨滴谱仪  
雨量数据逐 10 min 变化  
(a) 过程 1, (b) 过程 2

Fig.1 Particle spectrometer and  
pluviometer data changing every  
10 min at Luhe Station  
(a) Process 1, (b) Process 2

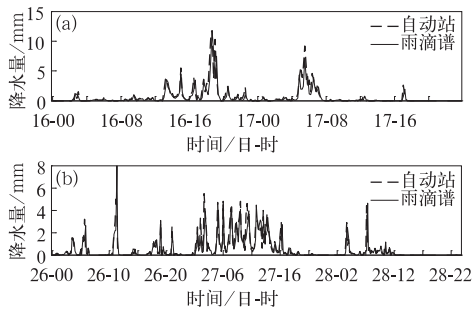


图 2 同图 1, 但为浦口站  
Fig.2 Same as Fig. 1, but for  
Pukou Station

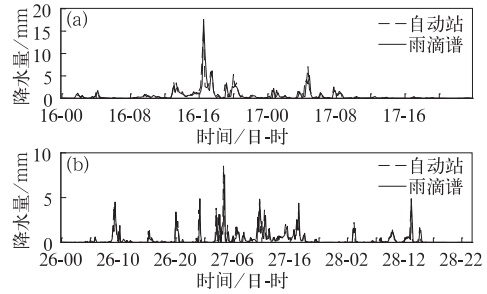


图 3 同图 1, 但为溧水站  
Fig.3 Same as Fig. 1, but for  
Lishui Station

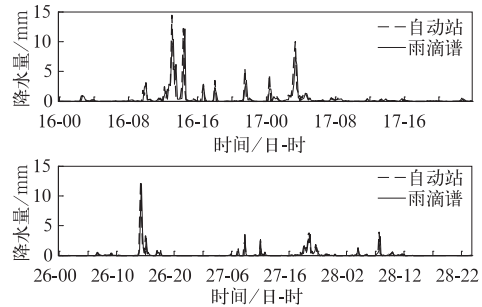


图 4 同图 1, 但为高淳站  
Fig.4 Same as Fig. 1, but for  
Gaochun Station

接近,但还有一定的偏差:大部分时次里,雨滴谱仪  
的峰值小于雨量计的数值;少部分时次里雨滴谱仪  
的峰值大于雨量计峰值。

### 3.3 雨量计和雨滴谱仪的统计对比

过程 1 和过程 2 中,六合、浦口、溧水和高淳四  
站雨量计的累积雨量和雨滴谱仪的累积雨量分别如  
表 1 和表 2。结果表明在过程 1 和过程 2 中,六合、

表 1 过程 1 中六合、浦口、溧水和高淳四站  
雨量计的累积雨量和雨滴谱仪的累积雨量

Table 1 Accumulated rainfalls by particle spectrometer  
and pluviometer at Luhe, Pukou, Lishui, and  
Gaochun Stations in Process 1

	六合	浦口	溧水	高淳
雨量计/mm	100.2	196.9	164.4	132.5
雨滴谱仪/mm	98.7	152.4	147.9	123.4

表 2 同表 1, 但为过程 2

Table 2 Same as Table 1, but for Process 2

	六合	浦口	溧水	高淳
雨量计/mm	177.1	225.3	148.8	86.1
雨滴谱仪/mm	169.7	210.1	139.1	78.4

浦口、溧水和高淳四站的雨滴谱仪的雨量数据均小于雨量计数据。

对两个过程中四站的数据分别计算相关系数、均方根误差、平均相对误差、平均绝对误差和平均偏差,结果如表3和表4。

过程1中,六合、浦口、溧水、高淳站的相关系数分别是0.92、0.87、0.84和0.71,均通过了0.01显著性水平检验,说明雨量计和雨滴谱仪数据的变化趋势较为一致;均方根误差分别为0.25、0.83、0.81和1.11,说明雨量计和雨滴谱仪数据的离散程度较

小;相对误差分别为1.5%、22.6%、10%和6.9%,绝对误差为0.12、0.31、0.29和0.33,说明两种数据的误差总体较小;平均偏差分别为-0.01、-0.15、-0.06和-0.03,这表明总体上,雨滴谱仪雨量数值略小于雨量计,这与累积降雨量的结果相对应。

过程2中,各站的相关系数和各误差与过程1中的类似,均说明了雨滴谱仪雨量数据和雨量计的数据较为接近,且数值略小于雨量计数据。

表3 过程1中六合站、浦口站、溧水站、高淳站雨量计和雨滴谱仪的雨量数据的误差统计

Table 3 Error statistics of particle spectrometer and pluviometer data at Luhe, Pukou, Lishui, and Gaochun Stations in Process 1

	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
六合	0.92	0.25	1.5	0.12	-0.01
浦口	0.87	0.83	22.6	0.31	-0.15
溧水	0.84	0.81	10	0.29	-0.06
高淳	0.71	1.11	6.9	0.33	-0.03

表4 同表3,但为过程2

Table 4 Same as Table 3, but for Process 2

	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
六合	0.9	0.45	4.2	0.16	-0.02
浦口	0.82	0.6	6.7	0.24	-0.04
溧水	0.69	0.65	6.5	0.23	-0.02
高淳	0.82	0.52	8.9	0.13	-0.02

## 4 两次一般性降雨过程中两种资料的对比分析

### 4.1 过程简介

过程3:选取2014年9月18—19日降雨过程,整个过程中,除了高淳站总降雨量为20.4 mm,其他站都在20 mm以下。五站的10 min降雨量都在2 mm以下,最大10 min降雨量均出现在18日17时左右,为1.7 mm,出现在高淳站。

过程4:选取2015年1月13—14日降雨过程,降雨时段比较集中,五个站点的降雨基本都集中在13日08时至14日10时。各站总降雨量都在20 mm以下,降雨量也比较均匀,除了浦口有三个时次的10 min降雨量在0.5 mm以上,其他各站的10 min降雨量均在0~0.5 mm。

### 4.2 两种资料在一般降雨过程中的变化特征分布

与强降雨过程类似,一般降雨过程中,雨滴谱仪的雨量数据与雨量计雨量变化逐10 min变化曲线重合度较高(图略),总体效果较好。

与过程1、过程2不同,除了浦口站雨量计的累积雨量大于雨滴谱仪之外,其他站点雨量计的累积雨量反而小于等于雨滴谱仪数据(表5、表6),其中过程4的高淳站雨量计和雨滴谱仪的累积雨量同为14.7 mm。

表5 过程3中南京、六合、浦口、溧水和高淳五站雨量计的累积雨量和雨滴谱仪的累积雨量

Table 5 Accumulated rainfalls by particle spectrometer and pluviometer at Nanjing, Luhe, Pukou, Lishui, and Gaochun Stations in Process 3

	南京	六合	浦口	溧水	高淳
雨量计/mm	9.9	15.0	12.3	13.4	20.4
雨滴谱仪/mm	13.5	16.1	11.6	14.6	20.6

表 6 同表 5, 但为过程 4

Table 6 Same as Table 5, but for Process 4

	南京	六合	浦口	溧水	高淳
雨量计/mm	11.0	11.5	13.0	15.4	14.7
雨滴谱仪/mm	14.0	11.9	12.7	15.7	14.7

## 4.3 雨量计和雨滴谱仪的统计对比

对两个过程中的数据分别计算相关系数、均方根误差、平均相对误差、平均绝对误差和平均偏差, 结果如表 7 和表 8。

表 7 过程 3 中南京、六合、浦口、溧水和高淳五站雨量计和雨滴谱仪的雨量数据的误差统计

Table 7 Error statistics of particle spectrometer and pluviometer data at Nanjing, Luhe, Pukou, Lishui, and Gaochun Stations in Process 3

	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
南京	0.81	0.05	36.4	0.03	0.01
六合	0.82	0.06	7.3	0.03	<0.01
浦口	0.86	0.06	5.7	0.03	>-0.01
溧水	0.9	0.05	9	0.02	<0.01
高淳	0.88	0.08	1	0.04	<0.01

表 8 同表 7, 但为过程 4

Table 8 Same as Table 7, but for Process 4

	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
南京	0.89	0.04	27.3	0.02	0.01
六合	0.86	0.04	3.5	0.02	<0.01
浦口	0.9	0.04	2.3	0.02	>-0.01
溧水	0.91	0.04	2	0.02	<0.01
高淳	0.89	0.04	0	0.02	>-0.01

过程 3、过程 4 和过程 1、过程 2 相比, 六合、浦口、溧水、高淳站的均方根误差和平均绝对误差明显较低; 六合的相关系数较低, 浦口的相关系数基本持平, 而溧水、高淳的相关系数明显较高; 六合的平均相对误差较高, 浦口、溧水和高淳的平均相对误差明显较低; 除了浦口站和过程 4 的高淳站之外, 其他各平均偏差均为正, 与累积雨量相对应。

上述研究针对的是整个降雨过程, 为了进一步对雨滴谱仪和雨量计数据进行对比, 将选取的所有降雨过程按照小时降雨量(雨强)来分类, 计算相关系数、均方根误差、平均相对误差、平均绝对误差和平均偏差。

## 5 按雨强分类的降雨过程中两种资料的对比分析

5.1 雨强  $> 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  (短时强降雨)

从所有降雨过程中选取雨强  $> 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  的时次, 共 150 个样本, 结果如表 9。相关系数为 0.74, 通过了 0.01 显著性水平检验; 均方根误差、平均相对误差和绝对误差均较小; 平均偏差为正, 说明雨滴谱仪雨量大于雨量计雨量。

表 9 雨强  $> 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  过程中雨量计和雨滴谱仪的雨量数据的误差统计Table 9 Error statistics of particle spectrometer and pluviometer data with rain intensity  $> 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 

	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
$> 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$	0.74	3.87	7.9	2.66	0.42

5.2  $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1} < \text{雨强} < 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 

选取雨强在  $10 \sim 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  的降雨时段, 共 294 个样本, 结果如表 10。与短时强降雨过程相比:

相关系数较小; 平均相对误差较大; 均方根误差和平均绝对误差较小; 平均偏差为负, 说明雨滴谱仪雨量小于雨量计雨量。

表 10 同表 9,但雨强为 10~20 mm·h<sup>-1</sup>

Table 10 Same as Table 9, but for rain intensity 10—20 mm·h<sup>-1</sup>

	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
10~20 mm·h <sup>-1</sup>	0.64	1.64	8.1	1.03	-0.19

5.3 1 mm·h<sup>-1</sup><雨强<10 mm·h<sup>-1</sup>

选取雨强在 1~10 mm·h<sup>-1</sup> 的降雨时段,共 1468 个样本,结果如表 11。

相关系数与短时强降雨持平;均方根误差、平均相对误差、平均绝对误差、平均偏差的数值均较上两个过程小;其中平均偏差为负值,说明雨滴谱仪雨量小于雨量计雨量。

表 11 同表 9,但雨强为 1~10 mm·h<sup>-1</sup>

Table 11 Same as Table 9, but for rain intensity 1—10 mm·h<sup>-1</sup>

	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
1~10 mm·h <sup>-1</sup>	0.74	0.54	6.0	0.27	-0.03

5.4 0<雨强<1 mm·h<sup>-1</sup>

选取雨强在 0~1 mm·h<sup>-1</sup> 的降雨时段,共 1888 个样本,结果如表 12。可以看出,相对于以上几个过程,0~1 mm·h<sup>-1</sup> 过程中相关系数基本持平;均方根误差、绝对误差和偏差的数值最小;相对误差最小。平均偏差为正,说明总体上雨滴谱仪雨量大于雨量计雨量。

总的来说,均方根误差、平均绝对误差和平均偏差的数值随着雨强的减小而减小,这是由于参与计算的数值越来越小造成的。相关系数都在 0.6 以上,平均相对误差都在 10% 以下,说明雨滴谱仪雨量和雨量计雨量相差较小,趋势也较为一致,且各个过程都比较稳定。其中 10~20 mm·h<sup>-1</sup> 的相关系数相对最小、相对误差最大,和雨量计雨量相差最大。

表 12 同表 9,但雨强为 0~1 mm·h<sup>-1</sup>

Table 12 Same as Table 9, but for rain intensity 0—1 mm·h<sup>-1</sup>

	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
0~1 mm·h <sup>-1</sup>	0.7	0.07	2	0.04	0.001

6 按粒子直径分类的降雨过程中两种资料的对比分析

在上述工作中,针对不同雨强,开展了雨滴谱仪和雨量计所测雨量的对比分析工作。本节重点讨论在降雨粒子直径(D<sub>m</sub>)不同时,雨滴谱仪和雨量计所测雨量的差异。

通过计算每个时次的质量加权平均直径(Ulbrich,2010),再做逐 10 min 平均,得到 10 min 的平均直径 D<sub>m</sub>。本节选取 D<sub>m</sub> 范围分别为 0~0.5、0.5~1、1~1.5、1.5~2 mm、>2 mm 的所有样本,样本数分别为 230、1282、1202、367、78。对 D<sub>m</sub> 不同范围内的样本进行相关系数、均方根误差、平均相对误差、平均绝对误差和平均偏差分析,结果如表 13。

雨滴谱仪和雨量计雨量的相关系数为

表 13 降雨粒子直径为 0~0.5、0.5~1、1~1.5、1.5~2 mm、>2 mm 时雨量计和雨滴谱仪的雨量数据的误差统计

Table 13 Error statistics of particle spectrometer and pluviometer data with rainfall particle diameters being 0—0.5, 0.5—1, 1—1.5, 1.5—2 mm, and >2 mm respectively

降雨粒子直径/mm	相关系数	均方根误差/mm	平均相对误差/%	平均绝对误差/mm	平均偏差/mm
0~0.5	0.47	0.04	47.6	0.02	-0.01
0.5~1	0.51	0.17	21.4	0.06	-0.01
1~1.5	0.65	0.56	18.2	0.24	-0.09
1.5~2	0.72	1.55	11.6	0.96	-0.28
>2	0.67	4.44	19.7	3.12	1.41

0.47~0.72, 都通过了  $\alpha=0.01$  的显著性水平检验。平均相对误差均大于 10%, 大于按雨强分类的相对误差。均方根误差、平均绝对误差、平均偏差的绝对值随着直径的增大而增大。直径  $<2$  mm 时, 平均偏差为负值, 说明雨滴谱仪雨量小于雨量计雨量; 直径  $>2$  mm 时, 平均偏差为正, 说明雨滴谱仪雨量大于雨量计雨量。

## 7 误差原因的初步探讨

造成雨滴谱仪和雨量计雨量差异的原因主要是仪器测量原理的差异。雨量计的翻筒在收集到 0.1 mm 的降水时才会翻转, 即测量精度为 0.1 mm; 而雨滴谱仪的雨量是通过测得粒子直径计算得到, 测量精度比雨量计高。当雨量较大时, 雨量计翻筒翻转、降水溅落等原因会造成一部分雨量损失, 导致测

量值小于雨滴谱仪; 当雨量较小时, 测量精度的差异也会导致雨量计的测量值相对较小; 以上两种情况分别对应了雨强  $>20$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$  和  $0\sim 1$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$  的结果。

OTT1 Parsivel 雨滴谱仪有一个特点: 当多个小粒子并排通过时容易识别为大粒子, 从而造成误测 (Yuter et al, 2006)。

由图 5 可看出, 大部分降雨粒子直径越大, 下落末速度也越大。有少部分的粒子直径很大, 末速度却很小, 就是由于多个小粒子被误测为一个粒子造成的。这也是造成平均直径 2 mm 以上时雨滴谱仪雨量大于雨量计雨量的主要原因。总的来说, 两种仪器测量的雨量都存在误差, 业务上通常以雨量计的雨量作为标准。OTT1 Parsivel 雨滴谱仪的雨量数据与雨量计虽然有一定的偏差, 但是偏差较小且比较稳定, 对业务及科研具有较大的实用价值。

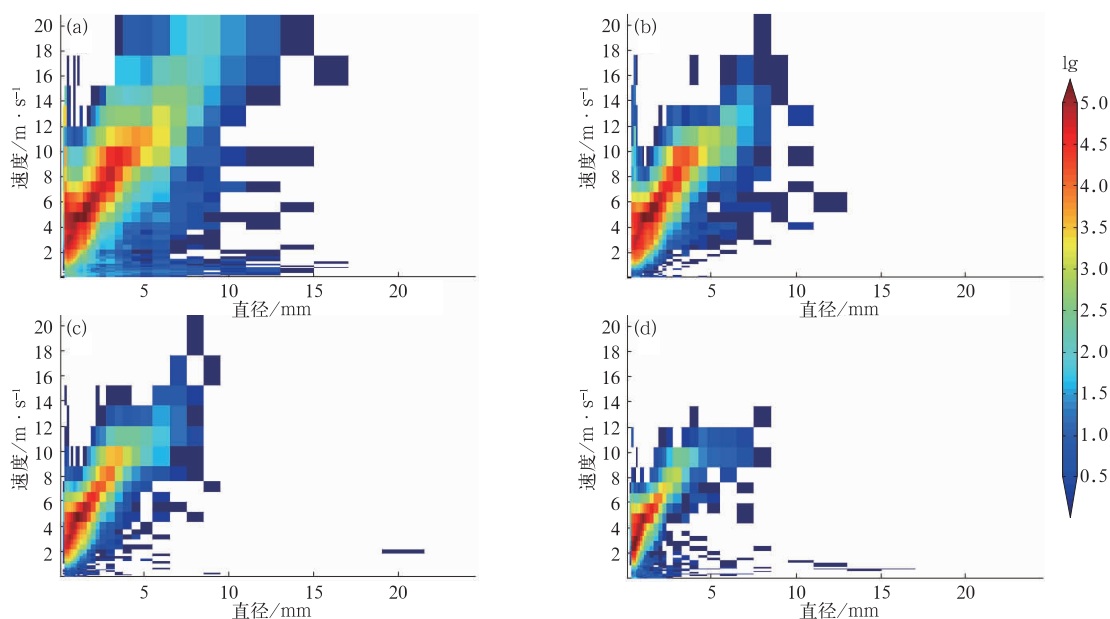


图 5 不同雨强的粒子直径速度分布

(a)  $>20$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$ , (b)  $10\sim 20$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$ , (c)  $1\sim 10$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$ , (d)  $0\sim 1$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$

Fig. 5 Distribution of particle diameter and velocity with different rain intensity

(a)  $>20$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$ , (b)  $10\sim 20$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$ , (c)  $1\sim 10$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$ , (d)  $0\sim 1$  mm  $\cdot$  h $^{-1}$

## 8 结 论

本文选取了几次强降雨过程和一般降雨过程, 并按照雨强来分类降雨过程, 通过计算南京、六合、浦口、溧水和高淳站的雨量计的雨量数据和雨滴谱仪的雨量数据的相关系数、均方根误差、平均相对误

差、平均绝对误差和平均偏差, 来检验雨滴谱仪雨量数据。得到结果如下:

(1) 在降雨过程中, 雨滴谱仪雨量数据整体上与雨量计雨量数据较为接近。相关系数都在 0.7 以上, 均通过了  $\alpha=0.01$  显著性水平检验, 均方根误差、平均绝对误差和平均偏差的数值也都较小, 说明和雨量计较为接近。

(2) 将降雨过程按照雨强分为 $>20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  (短时强降雨)、 $10 \sim 20$ 、 $1 \sim 10$ 、 $0 \sim 1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  四种过程。总体来说,雨强 $10 \sim 20 \text{ mm}$ 过程中雨滴谱仪和雨量计数据相差最大。在短时强降雨过程和 $0 \sim 1 \text{ mm}$ 过程中,雨滴谱仪雨量总体上大于雨量计雨量,另外两个过程中雨滴谱仪雨量总体上小于雨量计雨量。

(3) 将降雨过程按照降雨粒子的质量加权平均直径分为 $0 \sim 0.5$ 、 $0.5 \sim 1$ 、 $1 \sim 1.5$ 、 $1.5 \sim 2$ 、 $>2 \text{ mm}$ 五个范围。总的来说,相关系数均通过显著性水平检验;平均相对误差大于按雨强分类的相对误差,均方根误差、平均绝对误差、平均偏差的绝对值随着直径的增大而增大。直径 $<2 \text{ mm}$ 时,雨滴谱仪雨量小于雨量计雨量;直径 $>2 \text{ mm}$ 时,雨滴谱仪雨量大于雨量计雨量。

(4) 雨滴谱仪和雨量计雨量的差异主要是由仪器测量原理的差异造成的,雨滴谱仪的数据对于业务及科研具有较大的实用价值。

## 参考文献

- 樊玲,袁成,张云峰,2001. 哈尔滨地区层状云降水微物理特征[J]. 气象,27(12):42-46.
- 房彬,郭学良,肖辉,2016. 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,40(6):1154-1164.
- 胡子浩,濮江平,张欢,等,2014. Parsivel 激光雨滴谱仪观测较强降水的可行性分析和建议[J]. 气象科学,34(1):25-31.
- 李景鑫,牛生杰,王武功,等,2010. 积层混合云降水雨滴谱特征分析[J]. 兰州大学学报,46(6):56-61.
- 刘红燕,雷恒池,2006. 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,30(4):693-702.
- 罗俊颀,贺文彬,李金辉,等,2012. 2003年春季陕西省层状云降水的雨滴谱特征[J]. 气象,38(9):1129-1134.
- 梅海霞,郭文刚,周林义,等,2017. 雨滴谱谱形参数对梅雨降水模拟能力的影响[J]. 气象,43(1):34-45.
- 明虎,王敏仲,阮征,等,2014. 风廓线雷达对天山中部一次层状云降水过程的探测分析[J]. 气象,40(12):1513-1521.
- 濮江平,张伟,姜爱军,等,2010. 利用激光降水粒子谱仪研究雨滴谱分布特征[J]. 气象科学,30(5):701-707.
- 汪学渊,阮征,李效东,等,2016. 雨滴谱仪与风廓线雷达反射率对比试验[J]. 气象,42(1):107-114.
- 温龙,刘溯,赵坤,等,2015. 两次降水过程的微降雨雷达探测精度分析[J]. 气象,41(5):577-587.
- 熊飞麟,周毓荃,2016. 估算雨滴谱 $\Gamma$ 分布三参数的阶矩法研究[J]. 气象,42(7):777-789.
- 熊秋芬,黄攻,熊敏谄,等,2011. 基于国家气象观测站逐日降水格点数据的交叉检验误差分析[J]. 高原气象,30(6):1615-1625.
- 徐文静,苏德斌,张小兵,2007. Parsivel 雨滴谱仪与自动站雨量计降水资料初步对比分析[J]. 仪器仪表学报,28(8):457-460.
- Tokay A, Petersen W A, Gatlin P, et al, 2013. Comparison of rain-drop size distribution measurements by collocated disdrometers [J]. J Atmos Oce Tech, 30:1672-1690.
- Tokay A, Wolff D B, Petersen W A, 2014. Evaluation of the new version of the laser-optical disdrometer, OTT Parsivel2 [J]. J Atmos Oce Tech, 31:1276-1288.
- Ulbrich C W, 2010. Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution [J]. J Climate Appl Meteor, 22(10): 1764-1775.
- Yuter S E, Kingsmill D E, Nance L B, et al, 2006. Observations of precipitation size and fall speed characteristics within coexisting rain and wet snow [J]. J Appl Meteor Clim, 45:1450-1464.