

贾小芹,郑丽娜,张子涵,等.激光雨滴谱仪探测降水与自动气象站观测降水的对比分析[J].海洋气象学报,2019,39(1):123-130.

JIA Xiaoqin, ZHENG Lina, ZHANG Zihan, et al. Comparative analysis of precipitation detected by an optical disdrometer and observed by the automatic weather station[J]. Journal of Marine Meteorology, 2019, 39(1): 123-130. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.01.013. (in Chinese)

## 激光雨滴谱仪探测降水与自动气象站观测降水的对比分析

贾小芹<sup>1</sup>,郑丽娜<sup>1</sup>,张子涵<sup>1</sup>,王媛<sup>2</sup>,张佳桐<sup>3</sup>

(1.东营市气象局,山东 东营 257091;2.东营市河口区气象局,山东 东营 257200;3.禹城市气象局,山东 禹城 251200)

**摘要:** 东营市气象局激光雨滴谱仪于2012年投入应用,为评估分析其探测降水量的准确性,选取东营国家级气象观测站2012—2017年间46个月的自动气象站降水资料与激光雨滴谱仪观测资料,共计245个过程降水量、1302个小时降水量数据,按不同降水量级对两种仪器观测资料进行对比分析,结果表明:1)过程降水小雨量级,激光雨滴谱仪较自动站平均偏多0.38 mm,降水量越大,差值越大;中雨量级两者差值较小,雨滴谱仪较自动站仅偏多0.24 mm;大雨量级,雨滴谱仪较自动站降水量明显偏少约2.8 mm;暴雨时雨滴谱仪较自动站常偏多。2)小时降水 $R_h < 2.5$  mm时,雨滴谱仪较自动站偏多约0.1 mm; $2.5 \text{ mm} \leq R_h \leq 4.9$  mm时,激光雨滴谱仪与自动站降水量平均差值为0.0 mm; $5.0 \text{ mm} \leq R_h \leq 16.0$  mm时,雨滴谱仪较自动站常明显偏少,偏少值约0.9 mm; $16.0 \text{ mm} < R_h \leq 20.0$  mm时,两者降水量较接近; $R_h > 20.0$  mm时,雨滴谱仪较自动站可能出现极端偏多、偏少或两者相近情况。3)降雪时雨滴谱仪降雪量常明显偏多。4)雨滴谱仪和自动站过程累积降水量趋势较一致,且雨滴谱仪分钟降水量能较早反映出降水量峰值及降水强度的变化。通过分析可见,雨滴谱仪雨量数据有较好的可靠性,可在辅助降水现象观测与订正、人工影响天气效果评估和短临预报中发挥更大作用。

**关键词:** 激光雨滴谱仪;自动气象站;降水量级;对比分析

中图分类号: P414.9 文献标志码: A 文章编号: 2096-3599(2019)01-0123-08

DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.01.013

## Comparative analysis of precipitation detected by an optical disdrometer and observed by the automatic weather station

JIA Xiaoqin<sup>1</sup>, ZHENG Lina<sup>1</sup>, ZHANG Zihan<sup>1</sup>, WANG Yuan<sup>2</sup>, ZHANG Jiatong<sup>3</sup>

(1. Dongying Meteorological Bureau, Dongying 257091, China; 2. Hekou Meteorological Bureau, Dongying 257200, China; 3. Yucheng Meteorological Bureau, Yucheng 251200, China)

**Abstract** The optical disdrometer of Dongying Meteorological Bureau was put into use in 2012. In order to assess the accuracy of the detected precipitation, the precipitation data of 46 months by the automatic weather station (AWS) and by the optical disdrometer at Dongying National Meteorological Station from 2012 to 2017, a total of 245 precipitation processes and 1302 hourly precipitation data, are collected. The observation data by these two instruments are compared and analyzed according to different precipitation grades. The results are as follows. 1) For light rain, the precipitation by the optical disdrometer is averagely 0.38 mm more than that by the AWS, and the greater the precipitation, the

收稿日期:2018-07-15; 修订日期:2018-09-06

基金项目:山东省气象局重点科研项目(2017sdqzx07)

作者简介:贾小芹,女,助理工程师,主要从事天气预报及气象服务等工作,83458639@qq.com。

通信作者:郑丽娜,女,正高级工程师,主要从事天气与气候研究,dongyingzln@163.com。

greater the difference; for moderate rain, the difference is relatively small, and the precipitation by the former is only 0.24 mm more; for heavy rain, the precipitation by the former is about 2.8 mm less; for rainstorm, the precipitation by the former is usually more. 2) When the hourly precipitation is less than 2.5 mm, the precipitation by the optical disdrometer is about 0.1 mm more than that by the AWS; when it is between 2.5 mm and 4.9 mm, inclusive, the average difference is 0.0 mm; when it is between 5.0 mm and 16.0 mm, inclusive, the precipitation by the optical disdrometer is obviously less than that by the AWS, which is about 0.9 mm; when it is between 16.0 mm (exclusive) and 20.0 mm (inclusive), the precipitation by these two is close; when it is more than 20.0 mm, the precipitation by the optical disdrometer can probably be extremely more or extremely less or close to that by the AWS. 3) As for snowfall, the precipitation by the optical disdrometer is usually significantly more. 4) The trend of accumulated precipitation by these two instruments is in conformity, and the minute precipitation by the optical disdrometer can reflect the precipitation peaks and changes of precipitation intensity. It can be seen from the analysis that the precipitation data by the optical disdrometer is reliable and can play a more important role in the observation and correction of precipitation phenomenon, the evaluation of weather modification effect, short-range forecasting, and nowcasting.

**Key words** optical disdrometer; automatic weather station; grade of precipitation; comparative analysis

## 引言

降水观测是气象观测的重要一项,主要包括降水类天气现象(如雨、雪等)、降水量和降水强度等<sup>[1]</sup>。近几年,随着地面气象自动化观测业务的推进,天气现象仪(雨滴谱仪)在气象业务中得到广泛布设和应用。该仪器通过观测降水粒子粒径和速度,进一步分析降水类天气现象、降水量等其他指标(如雷达反射率等)<sup>[2]</sup>。此仪器的优点,一是安装和使用地点对环境要求相对较低,维护周期长,可应用于高山、海岛及相对偏远地区;二是可以24 h不间断监测,观测资料连续且全面。在进行降水精细化观测,灾害性天气临近预报和雷达定量估测降水,检验人工影响天气作业效果等方面具有较好的应用价值<sup>[3-5]</sup>。但在实际业务应用中,其测量数据的可靠性和准确性如何,需要与其他观测设备进行更多的对比检验。

目前,激光雨滴谱仪在全国各地广泛安装,已有学者开始对其进行研究。周黎明等<sup>[6]</sup>将激光雨滴谱仪和自动气象站同步观测所获取的雨强资料进行对比分析,同时结合新一代多普勒雷达基数据提供的反射率因子与雨强作对比分析,结果表明,两种仪器探测到的雨强随时间变化趋势较为一致,但起伏变化强度差异大,激光雨滴谱仪探测到的雨强最大值远大于自动站测得的最大值且出现时间要提早些;通过两种仪器观测到的雨强资料与雷达反射率因子的对比分析,发现激光雨滴谱仪探测到

的雨强值与雷达反射率因子之间有更好的 consistency。晋立军等<sup>[7]</sup>利用 Parsivel 激光降水粒子谱与地面雨量计对2008年9月9日山西一次混合降水天气过程进行分析,根据汾阳、介休两站的雨滴谱资料,分别利用3种Z-I关系对此次降水过程进行估测,计算过程累积雨量,并将估测降水结果与地面雨量计实测结果进行对比,结果显示利用雨滴谱关系的估测降水效果最好,利用雨量计关系的估测降水结果次之,默认关系计算结果最差;第一者相对第二者提高4%左右,相对第三者则提高近18%。祝伟等<sup>[8]</sup>将武汉国家基本气象站2011—2012年间激光雨滴谱仪估测降水量与该站人工定时观测降水量进行了系统对比和分析,发现激光雨滴谱仪估测降水量与人工定时观测降水量总体较为接近,均方根误差较小,且不存在显著性差异;雨天时激光雨滴谱仪估测的降水量小于等于人工定时降水量,雪天则相反;激光雨滴谱仪初装时,误差较小,随着时间推移,稳定度逐渐下降;大风则使定时降水量监测值偏小。杜波等<sup>[9]</sup>对2011年12月—2012年6月布设在北京市观象台、庐山气象局的3种类型、每种类型3套天气现象仪进行对比观测实验,测试天气现象仪对各种不同天气现象观测的准确性,结果显示,各仪器观测降水现象的数据准确性均大于90%,区分降水强度时,各仪器降水捕获率在70%以上(雨强大于0.01 mm/h),微量降水(雨强小于0.01 mm/h)和混合型降水,各仪器降水捕获率相对较低。王俊等<sup>[10]</sup>分析表明,Thies型激光雨滴谱仪

观测资料采用质量控制后,短时强降水过程 1 min 的瞬时雨强和过程累积雨量与自动站符合得很好。以上多为短时段内对雨滴谱仪降水的分析研究。东营市气象局 HSC-PS32 型激光雨滴谱仪于 2012 年投入应用,至今已积累 6 a 观测资料。本文利用 245 个降水过程、1 302 个小时降水量数据,对激光雨滴谱仪与自动气象站观测降水量资料进行系统对比分析,以了解激光雨滴谱仪在降水数据方面的可靠性。

## 1 数据与方法

HSC-PS32 型激光雨滴谱仪位于东营国家级气象观测站翻斗式雨量传感器北侧 19 m 处,两者下垫面及周围观测环境一致。数据采用 2012 年 8—10 月、12 月、2013 年 5 月—2015 年 12 月、2017 年 1—10 月共 46 个月雨滴谱仪与同期自动气象站降水观测资料,整理小时降水资料 1 302 个。为尽可能避免跨日界及降水量滞后引起降水误差,将两者小时降水量间断同时超过 1 h 以上作为一次降水过程的结束,统计有 245 个降水过程。以自动气象站降水量为参考标准,将过程雨量和小时雨量划分为小雨、中雨、大雨和暴雨及以上等不同量级(表 1)进行对比分析。同时,使用 DSC1 型称重式降水传感器检验标准<sup>[11-12]</sup>对激光雨滴谱仪在测量降水量方面的性能进行检验,即无论是液态、固态还是混合性降水,仪器在测量降水 10 mm 以下时,最大测量误差为 $\pm 0.4$  mm;大于 10 mm 时,最大测量误差为 $\pm 4\%$ 。

表 1 降水量级划分标准

	小雨	中雨	大雨	暴雨及以上
24 h 降水量	0.1~9.9	10.0~24.9	25.0~49.9	$\geq 50.0$
1 h 降水量	0.1~2.4	2.5~8.0	8.1~16.0	$\geq 16.1$

## 2 降水量对比分析

### 2.1 系统误差对比

通过分析自动气象站和雨滴谱仪小时降水资料发现,共 125 个时次出现雨滴谱仪有 0.1 mm 及以上降水而自动站无降水情况,其中出现 0.4 mm 以上共 7 个时次,0.3~0.4 mm 共 30 个时次,0.2 mm 及以下共 88 个时次,偏差最大值出现在 2013 年 7 月 2 日 07 时,为 3.97 mm;有 38 个时次出现自

动站有 0.1 mm 降水而雨滴谱仪无降水现象或仅为微量降水(0.0 mm);仅有 1 个时次出现自动站有 0.2 mm 降水,而雨滴谱仪无降水量,该时次出现在 2013 年 10 月 7 日 07 时,人工记录天气现象为雾和毛毛雨。

对上述偏差最大的个例(2013 年 7 月 2 日)进行分析发现,此次为强对流引发的阵性降水过程。雨滴谱仪分钟资料显示,06:46—06:53,降水强度为 0.01 mm/min,06:54—07:00 降水强度增强,雨强均大于 0.2 mm/min,其中有 3 min 雨强大于 0.8 mm/min,有 2 min 雨强大于 0.9 mm/min,07 时雨滴谱仪小时降水量为 3.97 mm。自动站 07:03 才开始记录降水量,分钟最大降水为 1.2 mm,出现在 07:08。导致 07 时自动站小时降水量为 0.0 mm,08 时自动站小时降水量为 13.2 mm,雨滴谱仪为 9.33 mm,由 07—08 时两个时次累积降水来看,两者仅相差 0.1 mm。分析可能出现上述现象的原因,一是激光雨滴谱仪利用光电技术,其可测最小降水强度为 0.001 mm/h,反应较灵敏,而翻斗或称重式降水传感器<sup>[12]</sup>以 0.1 mm 为基础测量,致使小于 0.1 mm 的降水量失测。强对流天气引发的强降水靠近整点时,两者构造原理不同导致小时降水量存在较大差异。二是雨滴经过自动站翻斗式雨量传感器的承水器、多个翻斗、漏斗<sup>[13]</sup>,残余在仪器内壁的降水量也是造成两者差异的一个原因。三是由于两种设备取样面积均较小,遇强对流降水时雨滴分布不均,造成一个设备有雨量,而另一个设备雨量较小或没有雨量。

对于雨滴谱仪有降水而自动站无降水或自动站有 0.1~0.2 mm 降水而雨滴谱仪无降水的原因主要是仪器系统性误差造成的。激光雨滴谱仪的高灵敏性,降水现象结束后自动站滞后性和翻斗内残余雨量均可导致两者降水量产生一定偏差,但雨量差值一般较小。靠近整点时的强对流阵性降水可导致两者小时降水量出现较大差异,但此类情况出现概率较小。

### 2.2 过程降水量对比分析

通过对 245 次降水过程对比发现,不同降水量级雨滴谱仪较自动气象站降水量差值变化较大(表 2)。将小雨(小于 10.0 mm)个例划分为 4 个等级进行分析,发现雨滴谱仪较自动站降水量普遍偏多,降水量越大,两者差值也越大。中雨(10.0~24.9 mm)量级,降水量差值明显偏小。大雨(25.0~49.9 mm)量级,雨滴谱仪反演降水量较自动

表2 激光雨滴谱仪与自动气象站过程降水量对比分析

Table 2 Comparative analysis of process precipitation by the optical disdrometer and by the AWS

过程降水量/mm	个例数量	自动站降水量均值/mm	雨滴谱仪降水量均值/mm	平均差值/mm	差值百分比/%
小雨(0.1~0.4)	46	0.2	0.428	0.23	140.0
小雨(0.5~0.9)	29	0.7	0.973	0.32	51.6
小雨(1.0~4.9)	69	2.6	3.006	0.42	18.3
小雨(5.0~9.9)	25	7.3	7.88	0.54	7.2
中雨(10.0~24.9)	36	16.1	16.32	0.24	2.4
大雨(25.0~49.9)	20	36.0	33.24	-2.8	-7.4
暴雨( $\geq 50.0$ )	6	71.9	73.2	1.3	1.4
降雪(0.1~7.3)	14	2.08	3.83	1.74	113.3

站常明显偏少,偏少值约2.8 mm。6个暴雨个例中,雨滴谱仪较自动站降水量常偏多。降雪时,雨滴谱仪降雪量较自动站偏多较明显。

由降水量级从小到大的演变(图1)可见,小雨量级(图1a),降水量小于0.5 mm时两者差值波动较大;0.5~1.0 mm之间,两者差值波动幅度逐渐减小;大于1.0 mm时,波动幅度趋于稳定。中雨量级(图1b),降水量小于17.0 mm时,雨滴谱仪较自动

站常偏多;大于17.0 mm时,雨滴谱仪较自动站降水量常偏少。大雨量级(图1c),雨滴谱仪较自动站降水量明显偏少。6个暴雨个例(图略)中,1个较自动站偏少约12.0 mm;3个较自动站平均偏多约7.5 mm;2个差值较接近。降雪个例(图1d)中,雨滴谱仪降雪量全部较自动站偏多,小雪(0.1~2.4 mm)时平均偏多0.9 mm,中雪(>2.5 mm)及以上时,平均偏多3.9 mm。

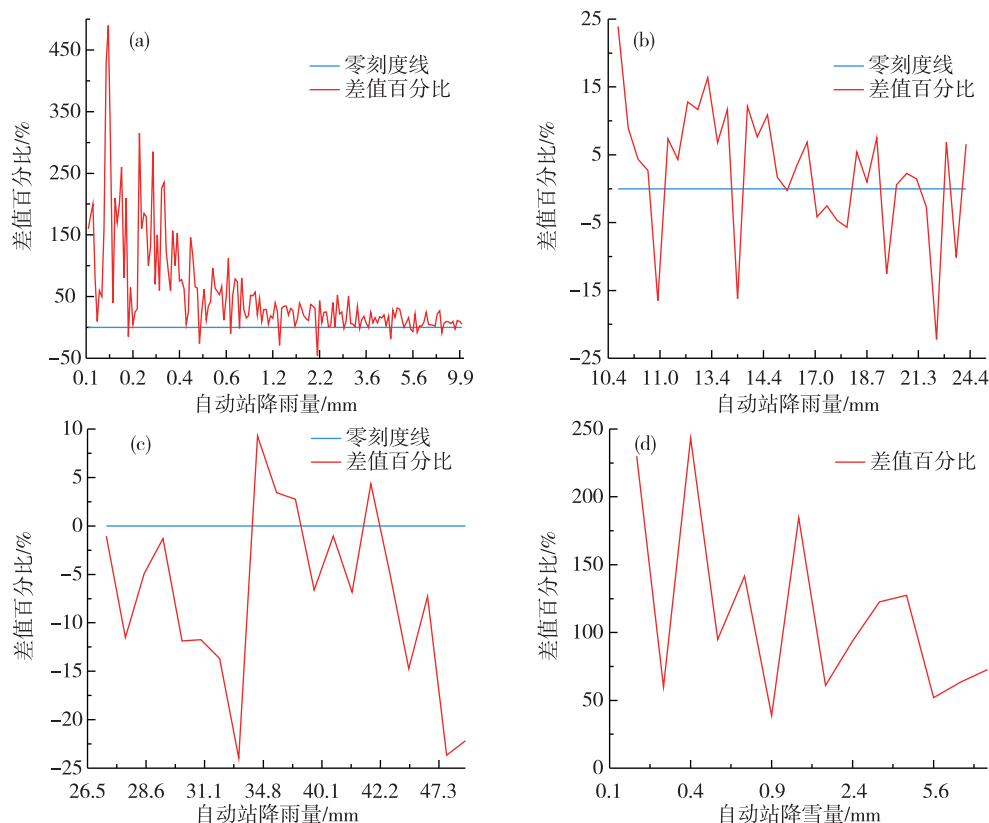


图1 雨滴谱仪与自动气象站不同量级过程降水量差值百分比曲线图(a.小雨,b.中雨,c.大雨,d.降雪)

Fig.1 Percentage difference curve of process precipitation of different grades by the optical disdrometer and by the AWS (a. light rain, b. moderate rain, c. heavy rain, d. snow)

### 2.3 小时降水量对比分析

为对雨滴谱仪探测降水量进行订正和应用,将雨滴谱仪和自动站两者 1 302 个小时降水量( $R_h$ ,下同)按降水量级(表 1)进行对比分析。小雨量级(0.1~2.4 mm/h)共 925 个时次,将其划分为 0.1~1.0 mm/h、1.1~2.0 mm/h、2.1~2.4 mm/h 等 3 组,分析发现雨滴谱仪小时降水量普遍较自动站偏多,

平均偏多 0.1 mm。中雨量级(2.5~4.9 mm/h),两者降水量较接近。5.0 mm(中雨) $\leq R_h \leq 16.0$  mm(大雨)阶段,雨滴谱仪探测降水量较自动站明显偏少,平均偏少约 0.9 mm。暴雨降水个例虽少,但雨滴谱仪探测降水量较自动站又出现偏多的趋势<sup>[14]</sup>(表 3)。降雪时,雨滴谱仪小时降雪量较自动站平均偏多 0.4 mm。

表 3 激光雨滴谱仪与自动气象站小时降水量对比分析

Table 3 Comparative analysis of hourly precipitation by the optical disdrometer and by the AWS

小时雨量/mm	小时数目	自动站降水量均值/mm	雨滴谱仪降水量均值/mm	平均差值/mm	差值百分比/%
小雨(0.1~1.0)	739	0.4	0.462	0.1	30.5
小雨(1.1~2.0)	152	1.5	1.569	0.1	7.1
小雨(2.1~2.4)	34	2.2	2.385	0.2	6.4
中雨(2.5~4.9)	90	3.4	3.376	0.0	0.7
中雨(5.0~8.0)	43	6.3	5.557	-0.7	-10.2
大雨(8.1~16.0)	37	11.5	10.425	-1.1	-8.9
暴雨( $\geq 16.1$ )	16	30.6	30.708	0.1	-1.4
降雪(0.1~2.1)	27	0.5	0.951	0.4	84.7

小雨强度(0.1~2.4 mm/h)降水曲线显示,当 $R_h < 0.5$  mm时,雨滴谱仪与自动站降水量差值较小且波动幅度不大, $R_h > 0.5$  mm时,雨滴谱仪降水量较自动站波动明显,且波动幅度随着降水强度的增加而增大(图略)。

中雨(2.5~8.0 mm/h)阶段(图 2a), $R_h < 5.0$  mm时,两者降水量整体接近,仅在 3.0~4.0 mm/h 间出现一次差值较大情况。对此次个例分析发现,2013 年 8 月 3 日出现强对流天气,06:38 突降雷阵雨,大雨滴持续至 07:39。06:51 自动站开始出现 0.1 mm 降水量,最大分钟降水量出现在 07:08,为 1.8 mm。雨滴谱仪最大分钟降水量为 1.68 mm,出现在 06:58。07 时自动站小时降水量为 3.6 mm,雨滴谱仪为 9.45 mm,两者出现明显偏差;08 时自动站小时降水量为 10.1 mm,雨滴谱仪为 5.85 mm,较自动站明显偏少,但两者该过程降水量合计相差不大。在整理资料时发现,上述情况较为常见,但降水量出现较大偏差的个例较少,对计算结果整体影响较小。 $R_h > 5.0$  mm时,随着降水强度的增大,雨滴谱仪小时降水量较自动站偏少概率和幅度普遍增大。

大雨(8.1~16.0 mm/h)阶段(图 2b),雨滴谱仪较自动站小时降水量常偏少,但与降水强度的增加无明显关系。在暴雨阶段 $16.0 \text{ mm} < R_h \leq 20.0$  mm(图 2c)时,两者降水量较接近, $R_h > 20.0$  mm时,

雨滴谱仪较自动气象站可能出现极端偏多、偏少或两者相近情况<sup>[15]</sup>,存在较大的不确定性。降雪个例(图 2d)中,小时降雪量 $R_h \leq 0.3$  mm时,雨滴谱仪探测降雪量与自动站较接近, $R_h > 0.3$  mm时,雨滴谱仪较自动站降雪量整体偏多,随着雪量的增加,偏多幅度也逐渐增大。

### 2.4 累积降水量对比分析

为了解雨滴谱仪与自动站降水量整体变化趋势及之间差异,将 245 个过程降水量逐次累加作对比分析(图 3),发现两者累积降水量曲线变化趋势较一致,大部时段两条曲线重合度较好,但雨滴谱仪较自动站累积降水量常表现为偏多。2012 年有 20 个过程多为小到中雨量级,两者降水量差值呈缓慢上升趋势,雨滴谱仪与自动站累积降水量误差百分比维持在 7%左右。2013 年 5—7 月有 4 次中雨、7 次大雨和 1 次暴雨过程,两者降水量差值积累至 14 mm,7 月之后因暴雨过程差值迅速减小,误差由年初 12%降至 1%左右。2013 年 8 月—2014 年 4 月,多小雨量级降水,降水量差值不断增加,误差增至 2.7%。2014 年 5—7 月有 3 次大雨、6 次中雨降水过程,使降水量差值再次减小,误差降至 0.5%。2014 年 8 月,一次暴雨导致降水量差值陡升,直至 2015 年 7 月,降水量差值均在 20 mm 左右,误差维持在 2%上下。2015 年 8 月 3 次大雨过后,雨滴谱仪较自动站降水量出现偏少现象,偏少最多为

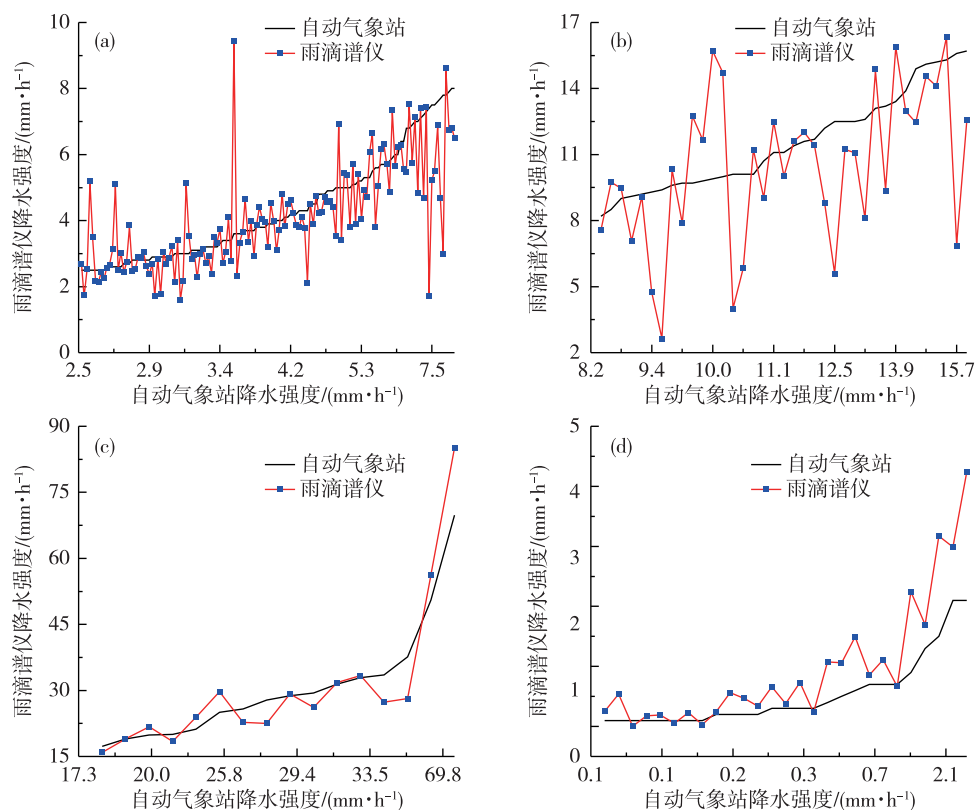


图2 雨滴谱仪与自动气象站降水强度对应图(a.中雨,b.大雨,c.暴雨,d.降雪)

Fig.2 Precipitation intensity curve by the optical disdrometer and by the AWS (a. moderate rain, b. heavy rain, c. rainstorm, d. snow)

5 mm,误差为-0.3%。2017年,雨滴谱仪过程降水量常表现为较自动站偏多,两者累加差值逐渐增加,累积差值为47.5 mm,误差为2%。分析发现,小雨时,两者降水量差值不断累加,曲线呈缓慢上升趋势

势,大雨或暴雨两个例往往使差值呈转折性变化。两者累积降水量误差随着降水量累加逐渐稳定,维持在0~2%之间,波动幅度不大。

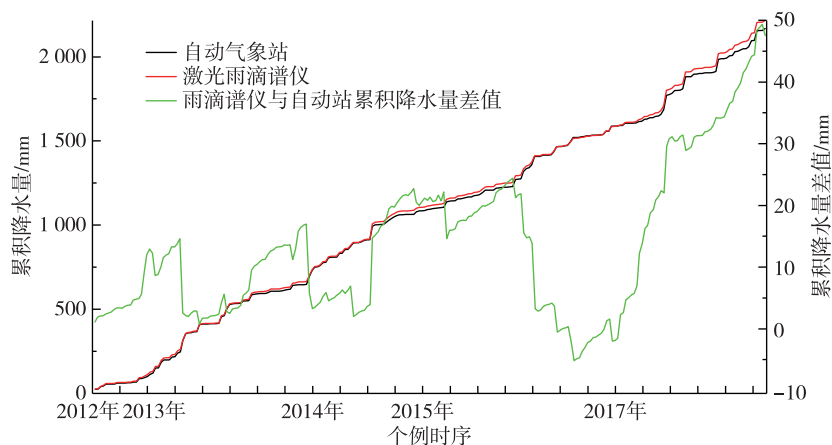


图3 雨滴谱仪与自动气象站过程累积降水量及差值变化曲线图

Fig.3 Accumulated precipitation and evolution of difference by the optical disdrometer and by the AWS

## 2.5 分钟降水量对比分析

因仪器观测原理不同,雨滴谱仪和自动站在分钟降水上有不同表现。弱降水时,降水量积累时间

差异较大,分钟降水变化规律较难掌握,强降水时,雨滴谱仪和自动站能很好体现降水强度的变化。为进一步了解两者分钟降水的变化规律,选用2014

年 7 月 2 日(阵性降水)和 2015 年 4 月 2 日(稳定性降水)两次过程的分钟降水数据作对比。2014 年 7 月 2 日夜出现雷阵雨,降水持续约 2 h 4 min,自动站降水量为 21.2 mm(中雨),雨滴谱仪降水量为 21.3 mm,共出现 6 次明显降水峰值,雨滴谱仪出现峰值时间平均较自动站提前 2 min(图 4a)。2015 年 4 月 2 日凌晨出现降水,降水时间持续约 4 h 18 min,自动气象站降水量为 31.3 mm(大雨),雨滴谱

仪降水量为 24.4 mm,自动站较雨滴谱仪偏多 6.9 mm,经统计,雨强 0~0.1 mm/min 时,自动站累积降水量为 10.4 mm,雨滴谱仪为 13.65 mm;雨强 0.2 mm/min 时,自动站累积降水量为 12.6 mm,雨滴谱仪为 7.96 mm;雨强大于 0.2 mm/min 时,自动站累积降水量为 8.3 mm,雨滴谱仪为 2.83 mm。共出现 6 次明显降水峰值,雨滴谱仪峰值出现时间平均较自动站提前 7 min(图 4b)。

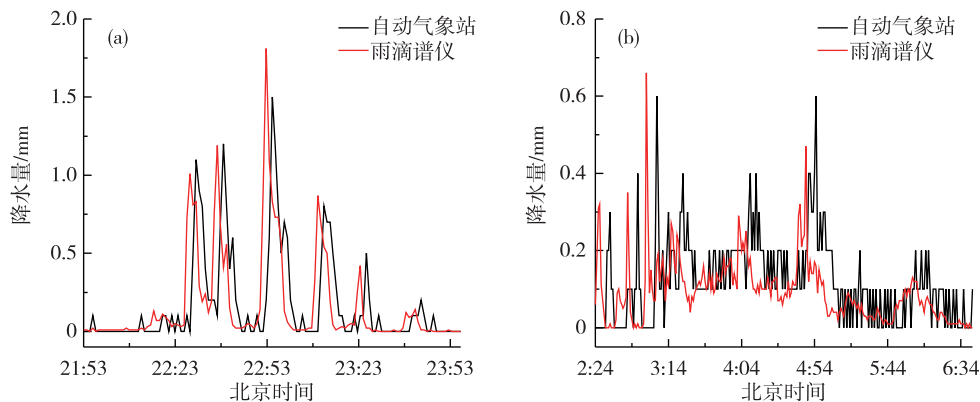


图 4 雨滴谱仪与自动气象站分钟降水量曲线图(a.2014 年 7 月 2 日,b.2015 年 4 月 2 日)

Fig.4 Minute precipitation curve by the optical disdrometer and by the AWS (a. 2 July 2014, b. 2 April 2015)

通过分析两次不同降水性质和降水量级的过程分钟雨量发现,两种仪器都能很好体现降水过程的强度变化。雨滴谱仪较自动气象站提前出现降水峰值的时间差异较大。雨滴谱仪连续曲线较自动气象站的锯齿状曲线更能连贯体现整个降水过程的变化趋势。

### 3 结论

通过对 2012 年以来 46 个月不同降水量级的雨滴谱仪与自动气象站过程、小时与分钟降水对比分析发现:

1)过程降水小雨量级,激光雨滴谱仪较自动站平均偏多 0.38 mm,降水量越大,差值越大;中雨量级两者差值较小,雨滴谱仪较自动站仅偏多 0.24 mm;大雨量级,雨滴谱仪较自动站降水量明显偏少约 2.8 mm;暴雨时雨滴谱仪较自动站常偏多。

2)小时降水  $R_h < 2.5$  mm 时,雨滴谱仪较自动站偏多约 0.1 mm;  $2.5 \text{ mm} \leq R_h \leq 4.9$  mm 时,激光雨滴谱仪与自动站降水量平均差值为 0.0 mm;  $5.0 \text{ mm} \leq R_h \leq 16.0$  mm 时,雨滴谱仪较自动站常明显偏少,偏少值约 0.9 mm;  $16.0 \text{ mm} < R_h \leq 20.0$  mm 时,两者降水量较接近;  $R_h > 20.0$  mm 时,雨滴谱仪较自动站可能出现极端偏多、偏少或两者相近情况。

3)降雪时,雨滴谱仪观测雪量较自动站普遍偏多,过程雪量平均偏多 1.7 mm,小时雪量偏多 0.4 mm。

4)雨滴谱仪与自动站过程累积降水量趋势较一致,累积降水量差值因大雨或暴雨常出现变化幅度较大情况。

5)雨滴谱仪分钟降水量较自动站能较早反映出降水量峰值及降水强度的变化。

通过以上分析发现,雨滴谱仪探测雨量与自动站观测雨量一致性较好,可以在辅助降水现象观测与订正、人工影响天气效果评估和短临预报中发挥较大作用。

### 参考文献:

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003.
- [2] 杜波,马舒庆,梁明珠,等.雨滴谱降水现象仪对比观测试验技术应用分析[J].气象科技,2017,45(6):995-1001.
- [3] 周黎明,王俊,龚佃利,等.激光雨滴谱仪在山东的布设和初步应用[J].山东气象,2015,35(1):18-22.
- [4] 余东升,徐青山,徐赤东,等.雨滴谱测量技术研究进展[J].大气与环境光学学报,2011,6(6):403-408.
- [5] 朱亚乔,刘元波.地面雨滴谱观测技术及特征研究进展

- [J].地球科学进展,2013,28(6):685-694.
- [6] 周黎明,王俊,张洪生,等.激光雨滴谱仪与自动气象站观测雨量的对比分析[J].气象科技,2010,38(增刊):113-117.
- [7] 晋立军,封秋娟,李军霞,等.自动激光雨滴谱仪在雷达降水估测中的应用[J].气候与环境研究,2012,17(6):740-746.
- [8] 祝伟,刘园园,李克,等.激光雨滴谱降水量与人工降水量的对比分析[J].青海气象,2014(3):50-53.
- [9] 杜波,张雪芬,胡树贞,等.天气现象仪自动化观测资料对比分析[J].气象科技,2014,42(4):617-623.
- [10] 王俊,姚展予,侯淑梅,等.一次飑线过程的雨滴谱特征研究[J].气象学报,2016,74(3):450-464.
- [11] 刘冬冬,王海龙,马晓璐.DSC1型称重式降水传感器工作原理及维护维修[J].山东气象,2014,34(3):83-86.
- [12] 陈征,龙亚星,张和.称重式降水传感器观测数据对比分析[J].陕西气象,2013(2):27-29.
- [13] 高彬.降水量人工站与自动站数据误差分析[J].陕西水利,2017(增刊):158-160.
- [14] 李力,姜有山,蔡凝昊,等. Parsivel 降水粒子谱仪与观测站雨量计的对比分析[J].气象,2018,44(3):434-441.
- [15] 卢超,罗红艳,李磊,等.深圳地区 Parsivel 雨滴谱仪与 SL3-1 雨量筒对比分析[J].广东气象,2017,39(6):69-71.