

DSG5 型降水天气现象仪观测数据分析与应用

申高航¹ 高安春^{2*} 周茂山¹ 李翠华¹ 李素梅¹

(1 山东省临沂市莒南县气象局, 莒南 276600; 2 山东省临沂市气象局, 临沂 276004)

摘要 目前 DSG5 型降水天气现象仪已在国内台站大量列装, 观测记录了许多宝贵的资料。本文通过一次降水天气过程, 分析了 DSG5 型降水天气现象仪的数据结构、内容及其在业务中的应用。发现: DSG5 型降水天气现象仪记录的降水天气现象与人工观测基本一致, 但记录的降水开始时间比实际滞后, 结束时间比实际提前, 一些微弱降水没有记录; 利用观测的雨滴谱数据可以揭示降水过程的细微结构和演变特征, 加深对降水过程的认识, 为处理地面观测中出现的降水量与天气现象矛盾等问题提供观测依据; 本次降水过程中雨滴数和雨滴尺度谱存在明显的时间变化。较多的是直径 0.3 mm 左右的小雨滴, 但对降水强度影响比较大的是直径大于 1 mm 的雨滴, 且伴随着大于 1 mm 雨滴增加, 雨滴尺度谱加宽, 地面降水显著增强。

关键词 DSG5 型降水天气现象仪; 观测数据; 应用

中图分类号: P412.13 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200028 **文献标识码:** A

引言

降水是云中微物理过程、云动力学过程以及诸因素综合作用的结果。地面降水性质、降水量大小等信息, 不仅包含有天气系统热力、动力、水汽等相互适宜配置信息, 还包含有云降水微物理过程配置信息^[1-2]。长期以来对降水天气现象的观测主要由观测员根据地面观测规范进行判断, 降水观测资料的客观性和时间空间分辨率受到了较大的限制。20 世纪 60 年代开始, 特别是 90 年代以来, 利用雨滴谱资料研究降水的工作越来越受到国内外许多气象工作者的重视^[3], 开展了很多关于不同地区、不同季节、不同降水性质雨滴谱的观测研究^[4-12]。

目前, 采用光学原理的雨滴谱仪, 以及以此为核心理件的降水天气现象仪已经比较成熟。利用雨滴谱测量原理的光学观测设备开展降水现象观测和雨滴图谱观测, 不但能够有效提高降水现象观测自动化程度, 减轻观测人员工作量, 为气象预报和服务提供更多有价值的气象信息, 而且对提高雷达定量估测降水的精度、更好地开展人工影响天气效果评估、

改进和优化数值模式中的降水参数化方案均具有重要意义^[13]。

从 2017 年起, 山东省在全部国家级气象观测站布设了 DSG5 型降水天气现象仪(下文简称 DSG5), 并开始业务化运行, 初步实现了降水天气现象的自动观测, 可以提供稳定的每分钟实时雨滴谱观测资料和天气现象判断资料。

本文系统分析了一次降水过程中, 山东省莒南县气象站 DSG5 观测到的雨滴谱资料和降水天气现象判断资料, 弄清了资料间的关系; 尝试利用雨滴谱资料剖析降水过程的细微结构和演变特征, 准确分析天气过程, 并解决地面观测的疑难问题。

1 DSG5 工作原理及观测数据结构分析

1.1 DSG5 基本组成和工作原理

DSG5 主要由传感器、数据采集单元、供电控制单元和附件等部分组成。不同降水现象的降水粒子, 因其物理特性的差异, 在粒径和下落末速度的分布上有各自对应关系。DSG5 根据降水粒子对激光信号的衰减影响程度, 检测降水粒子的粒径和下落

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

山东省自然科学基金(ZR2016DM20)、山东省气象局预报员专项(SDYBY2018-14)、临沂市气象局(2019lyqx06)资助

作者简介: 申高航, 男, 1994 年生, 学士, 助理工程师, 主要从事天气预警预报与综合气象观测研究, Email: 841872850@qq.com

收稿日期: 2020 年 1 月 31 日; 定稿日期: 2020 年 5 月 6 日

* 通信作者: Email: gacsdy@163.com

末速度,确定降水粒子的图谱分布,输出降水现象类型。

当激光束里没有降水粒子降落穿过时,接收装置收到最强的激光信号,输出最大的电压值。当降水粒子穿过水平激光束时,以其相应的粒径遮挡部分激光束,从而使接收装置输出的电压下降。通过电压的大小可以确定降水粒子的粒径大小,从而实现降水粒子的粒径检测;粒子下降通过水平激光束需要一定的时间,通过检测电子信号的持续时间,即从降水粒子开始进入激光束到完全离开激光束所经历的时间,可以推导出降水粒子的下降速度(地面气象自动观测规范(第 1 版))。

1.2 DSG5 终端数据结构及内容

DSG5 探测和生成的数据文件主要存放在设备安装目录下的雨滴谱、设备、质控和订正等 4 个子目录中。

雨滴谱子目录存放 DSG5 观测到的原始雨滴谱数据,基于雨滴谱由算法直接生成的降水天气现象文件存放在设备目录中,该两类数据定义为 0 级数据。

0 级数据中的雨滴谱,每日一个文件,每分钟一条记录,共包括 32 个尺度通道和 32 个速度通道,其中降水粒子尺度测量范围为 $0.1 \sim 22.4 \text{ mm}$,降水粒子速度测量数据范围为 $0.125 \sim 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。每条记录的雨滴谱数据为 $32 \times 32 = 1024$ 个(中国气象局《降水现象仪观测规范(试行)》,《雨滴谱观测数据 BUFR 编码格式(V1.0)》)。雨滴谱资料将尺度测量范围和速度测量范围分别由小到大编码为 32 个等级,这种编码是非线性的,本文中有关图表的雨滴速度和尺度坐标轴也使用了同样的编码。

0 级数据降水天气现象文件,存储 DSG5 利用算法对雨滴谱检测输出的结果。共包括雨、阵雨、毛毛雨、雪、阵雪、雨夹雪、阵性雨夹雪、霰、米雪、冰粒、冰雹等 11 种天气现象。

质控目录存放的降水天气现象文件定义为 1 级数据。1 级数据将 0 级数据中的 11 种降水天气现象归入《降水天气现象仪观测规范》要求的 5 种,即:毛毛雨、雨、雪、雨夹雪、冰雹等 5 种。

订正目录存放的降水天气现象文件定义为 2 级数据,2 级数据主要依据降水现象与地面常规气象要素的统计关系,对 1 级数据中的降水现象文件进行订正,克服了降水天气现象仪检测输出结果短时

间内频繁变换的问题,该文件作为 DSG5 的最终结果输出。

2 降水天气过程及观测记录情况

受高空槽和低空偏南暖湿气流的共同影响,2019 年 12 月 15 日凌晨至 16 日夜間,山东、江苏普降小到中雨。莒南县地处鲁东南,降水开始于 2019 年 12 月 15 日 09:23(北京时,下同),结束于 2019 年 12 月 16 日 19:50,过程降水量 8.9 mm 。整个降水过程中,DSG5 除降水结束前 1 min 2 级数据记录为毛毛雨外,其他时间都记为雨,同人工观测结果基本一致;0 级数据多次出现毛毛雨、雨和阵雨 3 种类型。

在 2019 年 12 月 16 日 20:00 检查地面测报业务软件(ISOS)采集的资料时发现,降水天气现象结束于 16 日 19:50,但 16 日 19:51 有 0.1 mm 的降水量,降水天气现象和降水量发生矛盾,按照规定需要人工订正。

3 利用 DSG5 探测资料分析降水过程

3.1 降水过程中雨滴数及 3 级数据中天气现象对比

图 1 是莒南县 2019 年 12 月 15 日 00:00 至 17 日 00:00 雨滴数及 3 级数据中天气现象时间序列图。采用双纵坐标轴的形式,横坐标表示时间,左侧纵坐标表示雨滴数,对应图中垂直于横轴的灰色针状图。右侧纵坐标表示 3 级数据中的天气现象,蓝色表示 0 级数据,绿色表示 1 级数据,红色表示 2 级数据,阶梯图表示不同的天气现象,横的水平线表示雨,第 2 高度表示阵雨,第 3 高度表示毛毛雨。

从图 1 可以看出:在一些雨滴数较小的时间段(如:2019 年 12 月 16 日 04:00—06:00),DSG5 3 级降水天气现象都记录为无降水。这是由于 DSG5 为了避开蜘蛛网、昆虫、花粉、灰尘等引起的干扰而采用了阈值,当观测到的雨滴数少于阈值时,都当作无降水天气现象处理。分析本次过程,发现 DSG5 在开始观测到每分钟不小于 15 个雨滴时,才记录降水开始;在检测到雨滴数小于 5 个时,即记录降水结束。由于采用阈值,导致 DSG5 记录的降水时段比实际降水要短。在上述时间段中,0 级数据有降水的时间是 625 min(毛毛雨 15 min、阵雨 4 min、雨 606 min),检测到雨滴、但雨滴数没有达到阈值、记录为无降水的时间为 219 min,DSG5 在识别微弱降

水方面的算法尚有改进空间。

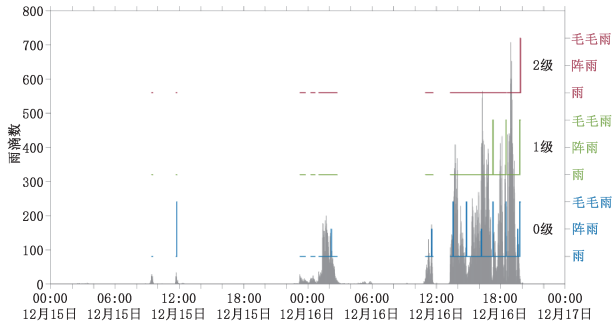


图 1 山东省莒南县 2019 年 12 月 15 日 00:00 至 17 日 00:00 雨滴数及 0 级、1 级、2 级天气现象对比

3.2 0 级数据雨滴谱与天气现象对应特征

为了比较上文中毛毛雨、阵雨、雨和检测到雨滴、但雨滴数没有达到阈值、判断为无降水这四类情况的雨滴谱特征,分别制作了 0 级数据的雨滴速度-

尺度谱,如图 2。速度-尺度谱主要应用于降水粒子的判别,能直观反映不同降水过程的滴谱分布特征。图 2 中横坐标代表雨滴直径,纵坐标表示雨滴下落末速度,色斑图中不同颜色代表雨滴个数。图中叠加了 DSG5 判别毛毛雨、雨、雪、雨夹雪、冰雹共 5 种天气现象以及未知现象的 6 个分区。

分析图 2 可以发现:图 2a 中判断为毛毛雨的雨滴谱分布非常集中,主体就在毛毛雨识别区,只是略向雨识别区延伸,符合雨滴小且比较均匀的毛毛雨降水特点;图 2b 中判断为阵雨的雨滴谱分布呈带状,主体在雨识别区,左下端微微伸展到毛毛雨识别区,其带状上有多个大雨滴数中心,这种多中心结构对应雨滴数-尺度谱中的多个峰,这和周黎明^[14]、谢媛^[15]等人研究的阵性降水雨滴谱特征相吻合;图 2c 中判断为雨对应的雨滴谱分布呈带状,主体分布在雨识别区,左下端微微伸展到毛毛雨识别区;图 2d 中

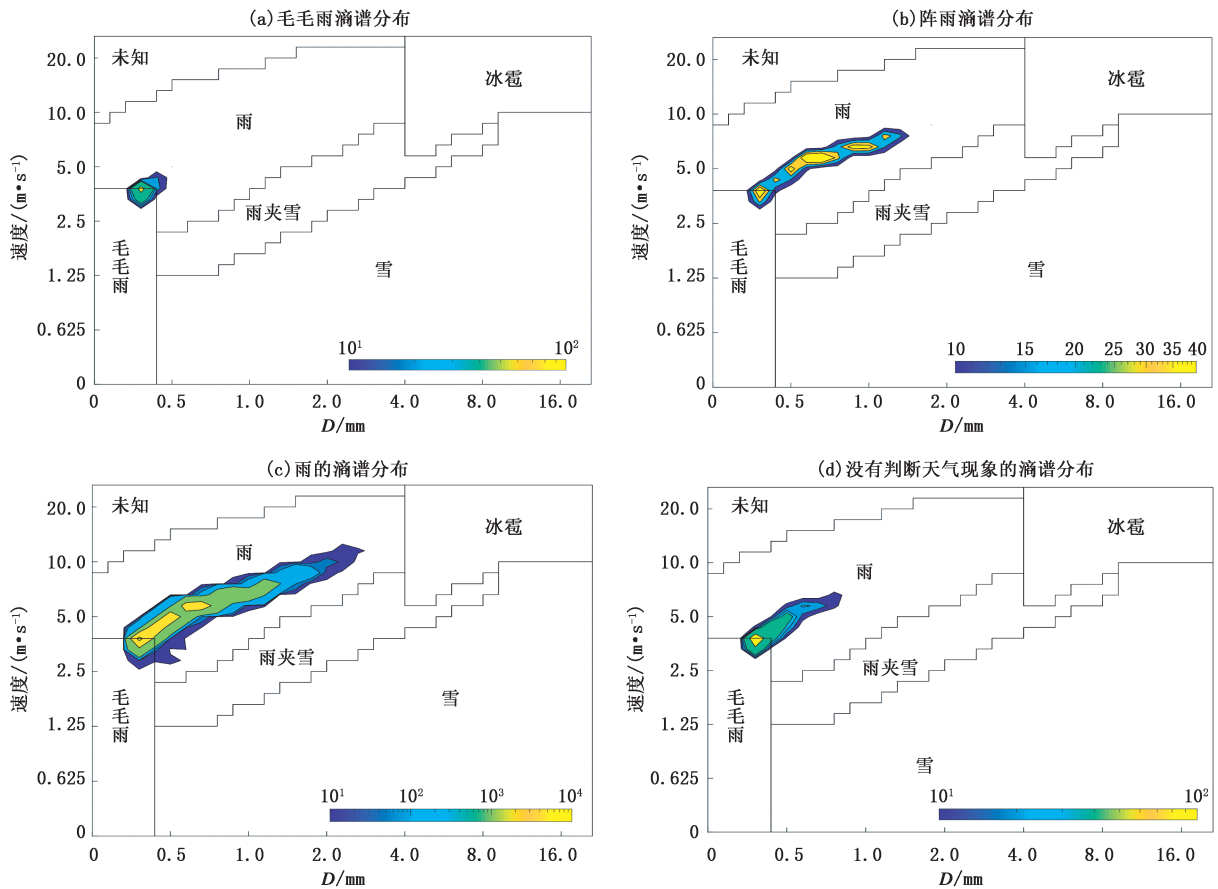


图 2 0 级数据雨滴谱与天气现象对应特征

(色斑图中不同颜色代表雨滴个数, D 为降水粒子尺度,下同)

有雨滴但雨滴数没有达到阈值而判断为无降水情况的雨滴谱分布呈短带状,和雨的滴谱特征类似,但主体压在毛毛雨识别区和雨识别区的分界线上,可以判断,这一部分也是降水,是 DSG5 由于采用阈值而抑制掉的弱降水。另外,在降水过程中,当大雨滴破碎时,形成的较小雨滴获得了较大的速度,在速度-尺度分布图上,偏向窄带的上方;当出现雨滴碰并时,形成的大雨滴速度则较小,在速度-尺度分布图上,偏向窄带的右方^[16],图 2c 中雨滴谱带状左下角的毛刺反映了降水过程中的雨滴碰并效应。

3.3 典型降水时间段雨滴谱与天气现象分析

0 级数据天气现象是 DSG5 基于雨滴谱利用算法处理的结果,其中有 11 种天气现象,保留了降水过程的较多细节。为了跟踪 DSG5 算法对雨滴谱的响应,选择 2019 年 12 月 16 日 13:04 至 16 日 20:10 一个完整的降水时间段,分析雨滴尺度-时间谱、分钟降水量及 0 级数据天气现象时间序列。如图 3 所示。图中横坐标表示时间,纵坐标表示雨滴直径,色斑图中不同颜色代表雨滴个数(如色标)。红色阶梯图表示 0 级数据天气现象,横的水平线表示雨,第 1 高度表示阵雨,第 2 高度表示毛毛雨。横轴上的黑色阶梯图表示分钟降水量序列,每个梯级代表 0.1 mm。

对照图 3 中雨滴尺度-时间谱和图 1 中的雨滴数时间序列可以看出:在这次小到中雨量级的稳定性降水过程中,雨滴数和雨滴尺度谱存在明显的时间变化。对照图 3 中的雨滴尺度-时间谱和分钟降水量时间序列发现:过程中直径 0.3 mm 左右的小雨滴一直较多,但对降水强度影响比较大的是直径大于 1 mm 的雨滴,直径 1.2 mm 左右的雨滴形成的降水是同等数量直径 0.3 mm 左右的雨滴的 66.78 倍^[16];伴随着直径大于 1 mm 雨滴增加,雨滴尺度谱明显加宽,地面降水显著增强;在 16:05—16:55、18:48—19:05 降水较强的时间段,雨滴数在直径 1.2 mm 左右出现了第 2 个极大值区,对应雨滴数-尺度谱中的双峰结构。分析图 3 中的雨滴尺度-时间谱和 0 级数据天气现象时间序列发现:在选择时间段的开始和结束,各有一小段,由于实测雨滴数小于阈值,而被 DSG5 算法抑制,作为无降水处理;16:11 及 19:34 的 0 级数据为阵雨,对应的雨滴数明显增多,雨滴尺度明显展宽;13:32—13:33、14:47、17:16、18:29—18:31、19:46—19:50,0 级数

据为毛毛雨,对应的雨滴数明显变少,雨滴尺度明显变小,是较强降水之间的间隙。因此,在揭示降水过程的细节方面,0 级数据可以提供丰富的降水过程信息。

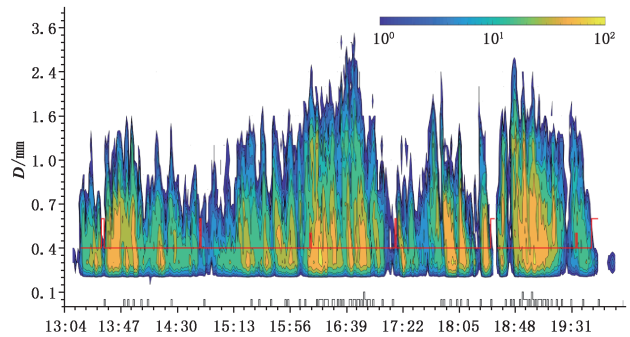


图 3 典型降水时间段(2019 年 12 月 16 日 13:04—20:10)雨滴谱(填色)与分钟降水量(横轴底部阶梯图, 0.1 mm/梯级)、0 级分钟天气现象(红色实线)

3.4 降水起止时间的订正处理

为了深入分析降水开始和结束阶段的雨滴谱变化特征,为订正降水天气现象和降水量矛盾寻找可靠的依据,在 3.3 部分选取的时间段中,进一步选取其开始时段(16 日 13:08—13:30)和结束时段(16 日 19:36—20:06),分别绘制雨滴尺度-时间谱和 2 级天气现象序列,如图 4。图中表示 2 级天气现象序列的红色阶梯图增加了刻度线,精确指示判断有降水的时间位置,横坐标上的黑色阶梯表示分钟降水量序列(图 4a 时间段没有降水量)。

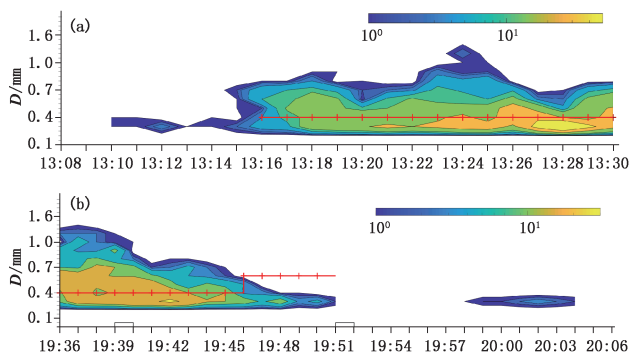


图 4 典型降水时间段(2019 年 12 月 16 日 13:08—20:10)开始(a)和结束(b)阶段的雨滴尺度-时间谱和 2 级天气现象(红色实线)

由图 4a 可以看出:开始阶段,DSG5 在 16 日 13:10 开始检测到雨滴,首先出现的是速度较小、尺度在 0.3 mm 左右的少量小雨滴(位于毛毛雨识别

区),13:15 后小雨滴密度迅速增加,开始出现 0.7 mm 左右的较大雨滴,尺度谱向大雨滴方向扩展,降水持续;到 16 日 13:16 雨滴数超过阈值,2 级天气现象开始有雨,滞后了 6 min;由于降水很弱,直到 16 日 13:30,雨量计都没有雨量记录。

分析图 4b 降水结束阶段发现:1.0 mm 左右较大雨滴逐渐减少、尺度谱向小雨滴方向收缩变窄,最后只剩下少量 0.3 mm 左右的小雨滴(位于毛毛雨识别区)。2 级天气现象在 16 日 19:50 有毛毛雨,随后雨滴数低于阈值,都记为无降水,但 DSG5 在 19:51 仍然检测到雨滴,中断 7 min 后,于 19:58 再次检测到雨滴,并一直持续到 16 日 20:04。根据《地面气象自动观测规范(第 1 版)》,毛毛雨天气现象可以连续记录到 16 日 20:04,这样就解决了有降水量无降水天气现象的矛盾,2 级天气现象记录的降水结束时间比实际提前了 14 min。

4 结论

(1) DSG5 型降水天气现象仪记录的降水天气现象与人工观测非常接近,0 级雨滴谱数据有助于揭示降水过程的细微结构和演变特征,加深对降水过程的认识,为准确处理地面气象观测中存在的问题提供依据。

(2) 由于采用了阈值,导致 DSG5 型降水天气现象仪记录的降水开始时间比实际滞后,降水结束时间比实际提前,一些微弱降水不能记录,记录的降水时段比实际降水要短。

(3) 降水过程中雨滴数和雨滴尺度谱存在明显的时间变化,较多的是直径 0.3 mm 左右的小雨滴,但对降水强度影响比较大的是直径大于 1 mm 的雨滴,且伴随着大于 1 mm 雨滴增加,地面降水显著增强。

参考文献

- [1] 罗俊颖,贺文彬,李金辉,等. 2003 年春季陕西省层状云降水的雨滴谱特征[J]. 气象, 2012, 38(9):1129-1134.
- [2] 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, 26(1):112-121.
- [3] 肖秀珠,刘君,张红梅. 雨滴谱资料在雷达面雨量估测中的应用[J]. 气象科技, 2018, 46(6):1111-1115.
- [4] Tokay A, Short D A. Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective clouds [J]. J Appl Meteor, 1996, 35(3): 355-371.
- [5] 宫福久,何友江,王吉宏,等. 东北冷涡天气系统的雨滴谱特征[J]. 气象科学, 2007, 27(4):365-373.
- [6] 杨俊梅,陈宝君,韩永翔,等. 山西省不同地区雨滴谱的统计特征[J]. 气象科学, 2016, 36(1):88-95.
- [7] 陈聪,银燕,陈宝君. 黄山不同高度雨滴谱的演变特征[J]. 大气科学学报, 2015, 38(3):388-395.
- [8] 胡子浩,濮江平,张欢,等. 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, 2014, 34(1):25-31.
- [9] 李侠丽,潘先洁,童应祥,等. 两次强降水过程雨滴谱特征及差异[J]. 气象科技, 2019, 47(2):322-328.
- [10] 宋薇,邱晓滨,王兆宇,等. 天津地区一次对流性降水过程雨滴谱特征分析[J]. 气象科技, 2018, 46(4):768-772.
- [11] 卢超,罗红艳,李磊,等. 2015—2016 年深圳地区强降水过程雨滴谱特征分析[J]. 气象科技, 2018, 46(3):563-567.
- [12] 高建秋,阮征,游积平,等. 广东东莞不同类型云的雨滴谱和降水特征[J]. 气象科技, 2015, 43(6):1085-1094.
- [13] Gilmore M S, Straka J M, Rasmussen E N. Precipitation uncertainty due to variations in precipitation particle parameters within a simple microphysics scheme [J]. Mon Wea Rev, 2004, 132(11): 2610-2627.
- [14] 周黎明,王俊,龚佃利,等. 山东三类降水云雨滴谱分布特征的观测研究[J]. 大气科学学报, 2014, 37(2):216-222.
- [15] 谢媛,陈钟荣,戴建华,等. 上海地区几类强降水雨滴谱特征分析[J]. 气象科学, 2015, 35(3):353-361.
- [16] 申高航,高安春,李君,等. “利奇马”台风不同强降水中心的雨滴谱特征分析[J]. 气象科学, 2020, 40(1):106-113.

Analysis and Application of Data Observed By DSG5 Precipitation Weather Phenomenon Instrument

SHEN Gaohang¹ GAO Anchun² ZHOU Maoshan¹ LI Cuihua¹ LI Sumei¹

(1 Junan Meteorological Service, Shandong, Junan 276600; 2 Linyi Meteorological Service, Shandong, Linyi 276004)

Abstract: The DSG5 precipitation weather phenomenon instruments have been installed in a large number of domestic stations, and a great deal of valuable data have been observed and recorded. This paper analyzes the data structure, content and application of the DSG5 precipitation weather phenomenon instrument data through a precipitation weather process. The analysis finds that the precipitation start time judged by the DSG5 precipitation weather phenomenon instrument is later than the actual, and the end time of precipitation is earlier than the actual, and some weak precipitation cannot be judged; the raindrop spectrum data can reveal the fine structure and evolution characteristics of the precipitation process, deepen the understanding of the precipitation process, and help to accurately and intuitively deal with the problem of the mismatch between precipitation and weather phenomena in automatic meteorological observations. From the raindrop spectrum data, there are many small raindrops with a diameter of about 0.3 mm in the precipitation process, but the raindrops with a diameter of more than 1 mm have the larger impact on precipitation intensity. With the increase of raindrops with a diameter of more than 1 mm, the ground precipitation increases significantly.

Keywords: DSG5 precipitation weather phenomenon instrument; observation data; application