DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)06-0108-04

DSG3型降水现象仪校验装置的研发与应用

韩玉婷，党选发，第五朋朋，宋 媛，金红梅，陈淑琼
（甘肃省气象信息与技术装备保障中心，甘肃 兰州 730020）

摘 要：为解决DSG3型降水现象仪的量值溯源问题，研制了一款JJS5型降水现象校验装置。通过模拟4.3 mm、9.5 mm的降水颗粒，分别对应2 m/s、7 m/s、12 m/s的速度，进行降水现象仪现场核查，结合上位机软件测试程序，记录相关粒子通道并显示在图谱中，自动判断降水现象仪的性能。其具有功能齐全、设计合理、携带方便等优点，软件操作界面友好，可一键检测，自动判断被校设备是否合格，并按照模板生成校验报告。经实际应用证明该装置为气象部门装备保障人员进行降水现象仪核查工作提供了强有力的支撑，提高了工作效率，起到了监督检查降水现象仪设备质量的作用，在降水现象仪的现场核查工作中有较好的应用前景。

关键词：雨滴谱；降水现象仪；校验装置；降水粒子
中图分类号：TP216 文献标识码：A 文章编号：1003-7241(2025)06-0108-04

Development and Application of the Calibration Device of DSG3 Precipitation Phenomenometer

HAN Yu-ting, DANG Xuan-fa, DIWU Peng-peng, SONG Yuan, JIN Hong-mei, CHEN Shu-qiong
(Gansu Meteorological Information and Technical Equipment Support Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: In order to solve the problem of quantity traceability of DSG3 precipitation phenomenon instrument, a JJS5 precipitation phenomenon checking device is developed. By simulating the precipitation particles of 4.3 mm and 9.5 mm, corresponding to the velocities of 2 m/s, 7 m/s and 12 m/s respectively, the on-site verification of the precipitation phenomenometer and the test program of the upper computer software are carried out, the relevant particle channels are recorded and displayed in the map, and the performance of the precipitation phenomenometer is judged automatically. It has many advantages, such as complete function, reasonable design, easy to carry, friendly software interface, one-button detection, automatically judge whether the equipment is qualified, and according to the template to generate a verification report. The practical application proves that the device provides a strong support for the meteorological department's equipment support personnel to carry out the verification work of the precipitation phenomenometer, improves the working efficiency, and plays a role in supervising and inspecting the quality of the precipitation phenomenometer's equipment, it has a good application prospect in the field verification of precipitation phenomenometer.

Keywords: raindrop spectrum; precipitation phenomenometer; calibration device; precipitation particles

0 引言

降水粒子特性是大气运动与云内微物理过程的综合结果，在云降水物理及人工影响天气领域有着重要的意义[1]。目前全国2 421个国家地面气象观测站均安装降水现象仪并投入业务运行，但是在降水现象仪的业务运行过程中，观测数据的准确性受设备硬件老化、安装高度、周围环境、光学透镜遮挡、划伤(如蜘蛛网、树枝、鸟窝等)以及外界抖动干扰等因素的影响。因此，核查校准是测量准确性的关键步骤[2-4]。中国气象局印发《降水现象计量业务管理暂行规定》和《降水现象仪现场核查方法(试行)》[5]，明确要求开展并规范降水现象计量业务，确保降水现象观测值准确可靠。但降水现象仪多家生产、种类丰富，当前中国气象局提供的由华云升达气象仪器厂生产的降水现象校验设备主要针对DSG1、DSG4和DSG5型降水现象仪的核查，在对DSG3型降水现象仪实际核查使用过程中适用性不足[6-8]。

雨滴谱测量原理的DSG3型降水现象仪根据降水粒子对激光信号的衰减影响程度，自动检测出降水粒子的直径和下落末速度，确定降水粒子的图谱分布，进一步判断输出相应的降水现象类型，同时可以输出降水粒子尺度谱、速度谱以及相应的粒子数量[9]。DSG3型降水现象仪的降水现象识别类型有毛毛雨、雨、雨夹雪、冰雹5种，降水现象类型识别准确率高(降水强度>0.1 mm/h的降水类型，识别准确率≥90%)[10]。降水现象模拟过程主要由滴谱模拟器完成，采用转盘式降水粒子模拟的方式，通

*基金项目：国家自然科学基金青年基金(42005056)
收稿日期：2023-11-21

过电机带动转盘转动，使粒子标记达到设定的运行速度(模拟降水粒子下落速度)，与降水监测设备测得的粒子粒径和下落速度数据进行比对，从而实现对传感器的性能核查[11-14]。

针对DSG3型降水现象仪的量值溯源问题，研制了1套JJS5型降水现象校验仪，该校验仪可以模拟激光降水现象仪捕获的粒子对应粒子谱图，检测降水现象仪的性能；可以模拟4.3 mm、9.5 mm的降水颗粒，并分别对应2 m/s、7 m/s、12 m/s的速度；结合上位机软件测试程序[15]，记录相关粒子通道并显示在图谱中，同时将降水现象仪的数据保存下来，自动判断降水现象仪的性能。

1 设计思路

JJS5型降水现象校验仪用于DSG3型降水现象仪的现场核查工作，主要针对DSG3型降水现象仪的降水粒子直径和降水粒子速度进行检测，通过这两项指标来判断DSG3型降水现象仪的测量性能是否满足要求。该设备由高精度调速电机、电机控制器、供电系统、石英玻璃检测盘、RS232接口、电源接口、供电系统、设备安装支架组成，结构框图如图1所示。

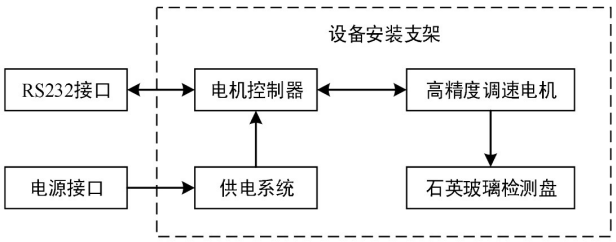


图1 JJS5降水现象校验仪结构框图

1.1 标准器

标准器由降水粒子黏贴石英玻璃检测盘组成，其作用是模拟不同直径的降水粒子以不同速度通过降水现象仪的激光检测区，从而用标准器的标准粒子直径和速度同检测结果对比，得到降水现象仪的校验结果。

转盘使用石英玻璃制作，一是由于降水现象仪的检测激光束的波长为785，而石英玻璃在该波段的透过率>90%，这可以减少转盘对检测激光束的影响，使检测结果更加准确；二是由于石英玻璃耐磨，可以避免玻璃盘的表明因为磨损引起降水现象仪的测量误差，影响校验结果。

1.2 电机控制

由高精度调速电机、电机控制器组成，主要作用是控制石英光盘的转动，得到高精度的降水粒子速度，作为降水粒子速度标准值。

1.3 通信接口

JJS5型降水现象校验仪通过RS232与电脑连接，电脑软件通过预设参数，控制校验仪进行自动校验或者手动校验，同时校验仪也可以实时将检测数据上传电脑软件系统，自动保存检定记录并生成检测报告。

1.4 主要技术指标

石英光盘的中心距指标：$r=(40\pm0.01)$mm；

石英光盘的转速指标：n=(−2～2)r/min；

线速度(≤0.01 m/s)：$V=2\pi rn/60$；

石英光盘的平行度和垂直度具体指标如图2所示。

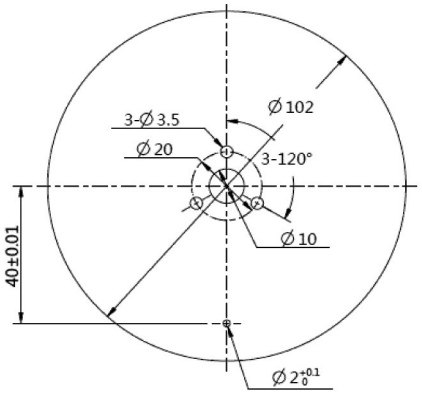


图2 石英盘平行度和垂直度

1.5 软件设计

通过RS232形式将降水现象校验仪与上位机通讯，具有运行监控、自动校验、手动校验等功能。软件启动后会打开预定的串口，然后输入被测降水现象仪的序号，即可开始校验。校验可以选用手动与自动两种。

1.5.1 手动试验

进行手动试验，首先要输入被测降水现象仪的序号，选用的测试盘直径，设定的粒子速度。上述信息都设定完成后即可点击“开始手动试验”按钮。软件会根据预设的粒子速度给定电机转速，可在框图的“给定电机转速”监视当前的电机速度。当电机达到给定速度后，系统会根据用户设定的平稳时长，使电机保持速度稳定，当速度稳定之后，软件开始读取并处理降水现象仪的数据。软件会将20×22的粒子放到框图区的对应方格中，并根据粒子数目的不同，以不同的颜色显示。软件将实际测得的粒子分布与预设的粒子分布做对比，从而判断粒子分布是否合格。同时软件将预设的天气现象与实际得到的天气现象做对比，判断天气现象是否合格。并将试验结果写入框图的表格中。

手动试验不限次数，可以多次收取数据。所有速度达到稳定后的数据都将显示在粒子分布区与结果统计区，直到点击结束试验为止。

1.5.2 自动试验

进行自动试验，首先要输入被测降水现象仪的序号，将检测石英玻璃检测盘放置好，然后点击“开始自动试验”按钮。软件会根据自动测试流程自动测试。首先进

行4.3 mm直径粒子的试验，开始自动试验以后，软件首先将速度升至2 m/s，到达设定速度后，系统会根据用户设定的平稳时长，使电机保持速度稳定，当速度稳定之后，软件开始读取并处理降水现象仪的数据，即报文1。收到并处理完报文1之后，速度再次上升至7 m/s，然后保持速度稳定，等待报文2。收到并处理完报文2之后，速度再次上升至12 m/s，然后保持速度稳定，等待报文3。收到并处理完报文3之后，速度开始下降至零，这时软件会提示更好测试石英玻璃检测盘。待更换完粒子直径为9.5 mm的石英玻璃检测盘后，点击提示框中的确定按钮，速度再次上升至2 m/s，重复4.3 mm直径的过程。直径9.5 mm的3个速度(2 m/s、7 m/s、12 m/s)都做完之后，电机转速开始下降，速度降至零后，试验结束。

1.5.3 设置

点击主界面的“设置”菜单即可进入设置界面，软件的设置界面分为通用设置、雨滴谱设置、测试仪设置。

2 技术方案与创新成果

2.1 整机结构设计

设计JJS5型降水现象校验仪的外壳结构、样机模型、安装转接件等，使其满足体积小、重量轻、功能全、集成度高、操作容易、携带方便等要求。同时增加定位模块、安装固定装置、支撑外壳，使其安装固定方便，可以一次性安装到位，使降水现象仪的激光束准确地照射到石英玻璃监测盘上，该设计使校验仪能够保持较高的稳定性，避免因安装不到位使校验仪抖动，影响现场校验的准确性。

2.2 降水粒子直径标准器设计

选用特殊材料的粒子作为降水粒子标准器，模拟降水粒子，其直径为2.1～21 mm，允许相对误差<1%。将该粒子黏贴在石英玻璃检测盘上，当其通过降水现象仪的激光检测区时，会被当作不同直径的降水粒子被检测出来，通过对比降水粒子直径标准器和降水现象仪检测出来的粒子直径大小差异，可以检验降水现象仪所测得的粒子直径是否准确。

2.3 降水粒子速度标准器设计

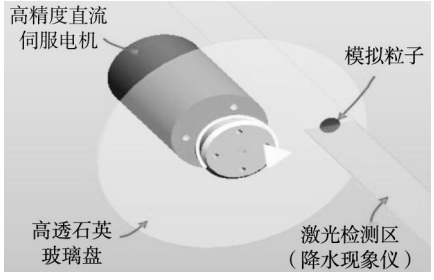


图3 降水粒子通过激光检测区示意图

将标准直径的降水粒子黏贴到转盘上，当转盘转动时的线速度即为模拟的降水粒子速度，如果转盘转动速度足够均匀，转速能够精确控制(采用高精度电机，使其速度满足0.6～16 m/s，最大允许相对误差<3%)，则该速度可作为降水粒子速度标准器，通过对比降水粒子速度标准器和降水现象仪检测出来的粒子速度大小差异，可以检验降水现象仪所测得的粒子速度是否准确。降水粒子通过激光检测区示意图如图3所示。

使用石英玻璃转盘，一是由于降水现象仪的检测激光束的波长为785 m，而石英玻璃在该波段的透过率>90%，这可以减少转盘对检测激光束的影响，使检测结果更加准确；二是由于石英玻璃耐磨，可以避免玻璃盘的表明因为磨损引起降水现象仪的测量误差，影响校验结果。

2.4 精确控制

首先采用高精度的直流伺服电机，使其转盘速度得到精确控制，其次石英转盘经过特殊的加工，使石英盘的平行度和垂直度处于较高水平，从而降低石英转盘转动引起的降水粒子抖动，减少对降水现象仪校验的影响。

3 性能测试

粒子直径为9.5 mm，粒子速度为12 m/s。其中直径区间大于8 mm，速度为8.2～9.0 m/s的粒子数量有999个，直径误差等级0级，速度误差等级−1级。

4 应用情况

2019年经安徽省气象计量检定站降水现象检测实验室对JJS5型降水现象校验仪的样机进行测试，测试结果表明该样机满足中国气象局发布的《降水现象仪现场核查方法(试行)》中规定的技术指标(粒径最大允许相对误差<1%，速度最大允许相对误差<3%)，可用于DSG3型降水现象仪的校验工作，具体测试结果如表1所示。

表1 样机测试结果

转盘参数平均值		识别结果	
转盘转速/(m·s^{-1})	金属片粒径/mm	粒径/mm	速度/(m·s^{-1})
2	4.30	4.3	2.0
	9.40	9.4	2.0
7	4.30	4.3	6.8
	9.40	9.4	6.9
12	4.30	4.3	11.7
	9.40	9.4	11.7

2020年委托中环天仪股份有限公司生产13台JJS5型降水现象校验仪，由安装有DSG3型降水现象仪的甘肃气象装备保障部门使用该设备连续进行各自辖区内共81台降水现象仪的现场核查工作2次，各部门评价该校验仪安装方便、操作简单、工作稳定，能够很好地校验降水现象仪的观测性能，保障降水现象仪观测数据的准确性，核

查结果表明DSG3型降水现象仪粒子速度通道误差满足合格判定准则(±2)两年的符合率均为100%。

5 结束语

本文研制的降水现象校验仪,其功能齐全、设计合理、携带方便、功能实用,软件操作界面友好,可以一键检测,自动判断被检设备是否合格,并按照模板生成校验报告。该系统为气象部门装备保障人员进行降水现象仪核查工作提供了较强的支撑,提高了工作效率,起到监督检查降水现象仪的设备质量,在降水现象仪的现场核查工作中有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 刘西川,高太长,刘磊,等.降水现象对大气消光系数和能见度的影响[J].应用气象学报,2010,21(4):433-441.

[2] 中国气象局综合观测司.降水现象仪观测规范(试行)[Z].2017.

[3] 程寅,刘达新,刘建国,等.基于光阻原理的降水现象测量系统研制[J].大气与环境光学学报,2017,12(4):260-268.

[4] 杜传耀,尹佳莉,李林.降水现象仪观测应用评估与应用[J].气象,2019,45(5):730-737.

[5] 中国气象局气象探测中心.降水现象仪现场核查方法(试行)[Z].2019.

[6] 戴学飞,行鸿彦,张晓宇.基于STM32降水现象仪检测装置设计[J].电子测量与仪器学报,2017,31(10):1596-1601.

[7] 北京华创维想科技开发有限责任公司.PCL32雨滴谱校准仪[P].2018.

[8] 杜波,马舒庆,刘达新,等.雨滴谱降水现象仪综合测试系统设计[J].气象科技,2018,46(1):56-63.

[9] 沙修竹,丁建芳,程博.地面激光雨滴谱仪反演降水参量的特性探究[J].气象,2019,45(11):1569-1578.

[10] DSG3降水现象仪培训手册[Z].天津:中环天仪(天津)气象仪器有限公司,2018.

[11] 李林,孙赫敏,仰美霖,等.基于速度和数量阀值的雨滴谱质量控制方法[J].气象,2022,48(7):891-898.

[12] 汪玮,张世国,王敏,等.降水现象仪测量结果的不确定度评定方法[J].气象水文海洋仪器,2021(2):57-60.

[13] 高清泉,纪诗璇,沈芳,等.DSG4型降水现象仪现场核查方法与应用实例[J].科学技术创新,2022(1):53-56.

[14] 张敏,张剑,金拴根.DSG1型降水现象仪现场核查方法与应用[J].山西气象,2022(2):119-121.

[15] 刘兆旭,刘金,宁金鸽,等.基于地基GPS-MET水汽探测仪的大气水汽监测预警平台设计与实现[J].自动化与仪器仪表,2022(3):123-127.

作者简介:韩玉婷(1988—),女,本科,高级工程师,研究方向:气象仪器计量检定。

(上接第107页)

研究目标,提出一种变电站现场设备突发火灾事故应急响应仿真模型。根据变电站现场设备突发火灾特征,构建基于BP神经网络和模糊推理技术的火灾探测模型,通过该模型实现火灾应急响应。由实验结果可知,所提方法有效实现了上述目标,能够及时、准确、高质完成火灾应急响应,有利于保障变电站安全。本文研究虽然有效改善了现有方法存在的火灾误报率较高,应急资源利用率较低等问题,但是由于没有定位变电站现场设备火灾危险源,因此,还有一定的提升空间,接下来将从该角度出发,致力于完善所提方法。

参考文献:

[1] 何晟霖,朱杰.终端变电站火灾事故风险评估——以乌兰察布某变电站为例[J].工业安全与环保,2020,46(12):24-27.

[2] 李昂,刘晨昊.基于AHP-DEA模型的火灾突发事件应急资源配置[J].消防科学与技术,2019,38(1):53-56.

[3] 刘勇,阳晓剑.危险化学品仓储火灾突发事件应急能力评价[J].消防科学与技术,2019,38(8):1157-1160.

[4] 周剑峰,李子成.基于着色时间Petri网的工业火灾应急响应行动建模与性能分析[J].安全与环境学报,2019,19(2):562-568.

[5] 尹小俊,陈崇成,李瑞兴,等.基于LoRa集成北斗通信技术的应急响应设计与实现[J].福州大学学报(自然科学版),2020,48(2):167-173.

[6] 梁魏,黄炎焱,王建宇.灾场内、外域相结合的应急响应建模方法研究[J].系统仿真学报,2020,32(4):669-677.

[7] 蒋从伟,曹飞,冯飞波,等.无消防水池的变电站火灾工况数值模拟研究[J].火灾科学,2021,30(1):38-45.

[8] 汪嘉俊,倪顺江.电力设备火灾危险性分析与防控技术[J].中国安全生产科学技术,2022,18(9):189-194.

[9] 孙婷婷,李军,苏楠.基于LSTM网络的船舶机舱火灾多特征融合探测[J].消防科学与技术,2020,39(7):985-988.

[10] 骆铁楠.基于时间平滑多特征量火灾快速识别算法[J].煤炭技术,2021,40(5):132-134.

[11] 王学林,黄琴琴,柳军.基于信息扩散理论的南方双季早稻气象灾害风险评估[J].中国农业气象,2019,40(11):712-722.

[12] 郑鑫,耿芸,赵杰.变电站弧光烟雾智能检测报警系统设计[J].电子器件,2019,42(5):1289-1293.

[13] 冯俊宗,何光层,代航,等.基于数据融合技术的无人值守变电站火灾探测算法研究[J].消防科学与技术,2022,41(9):1281-1286.

[14] 蔡智萍,郭谋发,魏正峰.基于BP神经网络的低压配电网生命体触电识别方法研究[J].电网技术,2022,46(4):1614-1623.

[15] 王智伟,王利,黄观文,等.基于BP神经网络的滑坡监测多源异构数据融合算法研究[J].地质力学学报,2020,26(4):575-582.

作者简介:徐广鹦(1983—),男,本科,高级工程师,研究方向:柔性直流输电技术,逆变器变换控制技术和电能质量,变电站消防等。