杨涛,夏雪,郑吉林. RG13 型雨量传感器测量结果的不确定度评定[J]. 中低纬山地气象,2023,47(1):116 - 118.

RG13 型雨量传感器测量结果的不确定度评定

杨　涛[1,2],夏　雪[1],郑吉林[1]

(1. 四川省气象探测数据中心,四川　成都　610072;2. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室,四川　成都　610072)

摘　要:国内民航机场主要使用的雨量观测设备为芬兰维萨拉公司生产的 RG13 型雨量传感器,为保证雨量测量数据的真实可靠,对其测量结果的不确定度分析很有必要。根据自动气象站现场校准方法,分别进行大雨强和小雨强的重复测试,并依据 JJF1059. 1 - 2012 测量不确定度的评定与表示要求,进行 A 类不确定度评定。分析测量过程中的 B 类不确定度来源,进行 B 类评定,最终给出扩展不确定度。结果表明:在小雨强下,测量不确定度为 U_{95} = 0. 17 mm,包含因子 k = 2 。在大雨强下,测量不确定度为 U_{95} = 0. 16 mm,包含因子 k = 2 。该研究完善了雨量传感器的现场校准工作流程,对雨量传感器测量结果的可信度评定具有参考价值。

关键词:气象;计量;测量不确定度;雨量传感器

中图分类号:P412. 13　**文献标识码:**B

Evaluating of Uncertainty of Measurement Result of RG13 Rainfall Sensor

YANG Tao[1,2], XIA Xue[1], ZHENG Jilin[1]

(1. Sichuan Meteorological Observation Data Centre, Chengdu 610072, China; 2. Heavy Rain and Drought - Flood Diaster in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: The rainfall observation equipment mainly used in domestic civil aviation airports is the RG13 rainfall sensor produced by Vaisala, Finland. In order to ensure the authenticity and reliability of the rainfall measurement data, it is necessary to analyze the uncertainty of its measurement results. According to the field calibration method of the automatic weather station, repeated measurements of two types of precipitation intensity were conducted respectively, and the uncertainty of type A assessment is evaluated according to the evaluation and expression requirements of JJF1059. 1 - 2012 measurement uncertainty. The sources of B uncertainty in the measurement process are analyzed and B uncertainty is evaluated. Finally, the extended uncertainty is obtained. The results show that under the light rain intensity, the measurement uncertainty U_{95} = 0. 17 mm, including the factor k = 2. Under the heavy rain intensity, the measurement uncertainty U_{95} = 0. 17 mm, including the factor k = 2. This study improves the field calibration workflow of rainfall sensor and has reference value for the reliability evaluation of rainfall sensor measurement results.

Key words: meteorology; metrology; measurement uncertainty; rainfall sensor

0　引言

降水观测作为气象观测中的基本项目之一,对研究防灾减灾、气候变化和气象服务具有重要作用。在民航气象观测系统中[1-2],雨量数据作为重要组成部分,为民航飞行安全提供了重要的参考依

收稿日期:2022 - 03 - 02
第一作者简介:杨涛(1978—),男,硕士,高工,主要从事气象设备计量研究,E - mail:66693105@ qq. com。
资助项目:高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室 2020 年度科技发展基金项目 (SCQXKJQN2020038):气象计量业务管理平台研究。

据[3-4]。民航系统观测雨量的设备主要采用芬兰维萨拉公司的 RG13 型单翻斗雨量传感器,该传感器功能完善、故障率低,但随着使用时间的增长,其测量精度不可避免会下降,因此需要定期进行检定校准[5-8],保证其测量数据的准确性。测量结果的不确定度是衡量仪器测量质量高低的重要参数[9-11],也是衡量计量工作科学性与严谨性的重要指标。胡苍龙等[12]结合四川省自动气象站雨量传感器检定工作,运用不确定度评定与表示方法,分析其误差来源,对二等雨量计量标准测量不确定度进行了评定。王敏等[13]基于雨量传感器的检定方法,介绍了 SL3 型雨量传感器示值误差测量不确定度的评定方法,并给出了影响测量不确定度的主要因素。韩广鲁等[14]根据自动气象站雨量传感器检定规程和测量不确定度评定的过程与方法,通过逐项分析误差来源及其引入的不确定度分量,最终给出了实验室检定双翻斗雨量传感器的扩展不确定度,完善了雨量传感器的实验室检定工作流程,提高了工作质量。以上研究主要以气象系统使用的上海气象仪器厂生产的双翻斗雨量传感器为主,针对民航系统广泛使用的 RG13 型单翻斗雨量传感器的测量不确定度研究较少。基于这种情况,文中提出了 RG13 型雨量传感器测量结果的不确定度评定方法,对各影响因子进行分析[15],最后给出了技术指标。

1　RG13 型雨量传感器

RG13 雨量传感器为芬兰维萨拉公司研制,主体和漏斗部分由铝合金制成,顶部承水口径 400 cm^2。翻斗装置安装在主体内部的铸铝合金底座,底座上装有固定耳、校平螺丝和水平仪。传感器包含独立的翻斗部件,以中心为轴翻动。雨水收集进倾斗的上半部分,当收集的雨水达到预定的水量时,翻斗将调整到倾卸状态。倾卸动作排出收集的水,并使排水翻斗下方的另外一半翻斗复位,准备加注。翻斗翻转由磁力原理监控,每翻转 1 次记 0.2 mm 的雨量。

2　测量模型

RG13 型雨量传感器在现场校准时参照《自动气象站现场校准方法》[16-17],采用直接比较法,雨量标准器为福建省风光物资技术开发公司的 JJS2 型雨量校准仪,内置 314.16mL 的标准玻璃量器。校准过程中,由雨量校准仪获取 314.16 mL 的纯净水,先按照 1 mm/min 的降水强度,向雨量传感器的承水口注水,记录数据采集器的雨量示值,分别校准 3 次。再以 4 mm/min 的降水强度,用同样的方法,分别校准 3 次。计算 2 种降水强度的测量误差值,作为雨量的校准结果。测量误差的数学公式可表示如下:

$$\Delta R = R_j - R_b \tag{1}$$

式中,ΔR 为被校雨量传感器的测量误差,R_j 为被校雨量传感器的雨量值。R_b 为雨量传感器的标准值,可表示如下:

$$R_b = \frac{V}{S} \tag{2}$$

式中,V 为标准玻璃量器容量,即 314.16 mL。S 为雨量传感器承水口面积。RG13 型雨量传感器的承水口面积为 400 cm^2,因此可计算出 R_b 为 7.8 mm。

3　测量不确定度分析

3.1　测量重复性引入的标准不确定度

在小雨强和大雨强下分别测量 10 次,测量结果如表 1 所示:

表 1　大小雨强下的 10 次测量结果

Tab. **1**　Results of **10** measurements under heavy and light rain intensity

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
小雨强被测值	7.8	7.8	8.0	7.8	8.0	8.0	7.8	7.8	7.8	7.8
小雨强标准值	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
大雨强被测值	7.8	8.0	8.0	8.0	8.0	7.8	8.0	8.0	8.0	8.0
大雨强标准值	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

按照《测量不确定度评定与表示》的 A 类评定方法[18-19],由贝塞尔公式单次测量结果的标准不确定度表示为:

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{ji} - \overline{R_j})^2}{n-1}} \tag{3}$$

式中,u_1 为测量重复性引入的标准不确定度,n 为测量次数,$\overline{R_j}$ 为 n 次测量结果的平均值。按照校准方法,现场校准时需要在小雨强和大雨强各校准 3 次,以 3 次测量结果的平均值计算测量误差,因此上式可进一步表示为:

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{ji} - \overline{R_j})^2}{3(n-1)}} \quad (4)$$

根据测量结果计算可得，在小雨强下重复性引入的标准不确定度为 $u_{11} = 0.056$ mm，在大雨强下重复性引入的标准不确定度 $u_{12} = 0.049$ mm。

3.2　由翻斗剩余水量引起的标准不确定度

RG13 型雨量传感器为单翻斗，1 翻斗的雨量为 0.2 mm。当校准结束后，在翻斗内可剩余理论上最大为无限接近 0.2 mm 降雨量的水，从而给校准结果引入不确定度分量。剩余水量在区间内服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$，剩余水量引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ mm} \quad (5)$$

3.3　由标准玻璃量器引入的标准不确定度

现场校准采用的雨量标准器内置 314.16 mL 的标准玻璃量器，标准玻璃量器引入的标准不确定度可根据检定证书的结果得到。由于标准玻璃量器的检定证书以 mL 为计量单位，按照 314.16 mL 容量对应 7.8 mm 降雨量的对应关系，根据检定证书给出的最大允许误差为 a 为 ±0.314 mL，雨量标准器引入的标准不确定度 u_3 可表示为：

$$u_3 = \frac{a}{40.28 \times \sqrt{3}} = 0.004 \text{ mm} \quad (6)$$

3.4　由雨量校准仪引入的标准不确定度

根据雨量校准仪的说明书可知，校准仪的最大误差为 ±0.5%，按照 RG13 型雨量传感器承水口面积 400 cm^2，标准值为 7.8 mm，即可得最大允许误差为 ±0.039 mm，引入的不确定度分量 u_4 服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$，可得：

$$u_4 = \frac{0.039}{\sqrt{3}} = 0.022 \text{ mm} \quad (7)$$

3.5　合成标准不确定度评定

由于 4 种不确定度之间相互独立，合成标准不确定度 U 可表示为：

$$U = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (8)$$

计算可得，在小雨强下合成标准不确定度为 0.084 mm，在大雨强下合成标准不确定度为 0.079 mm。

3.6　扩展不确定度评定

给定置信水平 $P = 95\%$，取包含因子 $k = 2$，根据 $U_{95} = kU$，可得出在小雨强扩展不确定度为 0.17 mm，在大雨强扩展不确定度为 0.16 mm。

4　结论

本文分析 RG13 型雨量传感器测量结果的不确定度来源，并通过数据给出了测量结果的扩展不确定度，完善了民航系统雨量观测设备的计量结果[20]，也对其他型号雨量传感器的不确定度评定提供了参考。

参考文献

[1] 王峰云，张小兵. 民航气象技术进步与创新发展[J]. 气象科技进展，2021，11(3)：189－193.

[2] 胡帆，赵泉钦，张正. 民航机场自动气象站传感器的现场校准[J]. 气象水文海洋仪器，2020，37(1)：94－97.

[3] 褚进华，唐修雄，矫健，等. 能见度仪校准系统的不确定度评定分析[J]. 电子测量与仪器学报，2020，34(2)：180－187.

[4] 贺苗，彭雪丽. 雨量传感器校准与测量在民航气象中的应用[J]. 集成电路应用，2021，38(10)：6－8.

[5] 陈曦，沙奕卓，杨尚军. 流量式雨量检定装置在气象计量中应用[J]. 电子测量技术，2012，35(5)：6－9.

[6] 刘宗庆，郑亮，陈涛. SL3－1 型双翻斗雨量传感器测量误差试验分析[J]. 气象科技，2020，48(5)：635－639.

[7] 周继先，聂云，孙啶棚，等. SL3－1 型双翻斗雨量传感器常见故障处理及误差调节[J]. 中低纬山地气象，2021，44(6)：121－124.

[8] 何捷，郑建伟，杨明灿，等. 双套站湿度传感器现场校准前后的期间核查[J]. 中低纬山地气象，2020，44(4)：84－86.

[9] 蒋薇，张玘，汪静. 装备可计量性的相关性模型研究与分析[J]. 电子测量与仪器学报，2012，26(4)：299－304.

[10] 魏明明. 蒙特卡洛法与 GUM 评定测量不确定度对比分析[J]. 电子测量与仪器学报，2018，32(11)：17－25.

[11] 胡红波，孙桥，杜磊. GUM S1 与基于贝叶斯方法的不确定度评估比较[J]. 计量学报，2017，38(4)：517－520.

[12] 胡苍龙，张虎，李晓红，等. 二等雨量计量标准测量不确定度评定[J]. 计量与测试技术，2013，40(9)：90－91.

[13] 王敏，魏根宝，王毛翠，等. SL3 型雨量传感器示值误差测量不确定度评定方法[J]. 气象科技，2015，43(1)：65－69.

[14] 韩广鲁，边文超，孙嫣，等. 双翻斗雨量传感器测量数据不确定度评定[J]. 气象科技，2014，42(5)：773－776.

[15] 胡苍龙，李晓红. 自动气象站雨量传感器现场校准方法探讨[J]. 气象水文海洋仪器，2019，36(3)：19－21.

[16] 吴丽娜，第五朋朋，汪鑫，等. 自动站各要素传感器现场校准结果的不确定度分析[J]. 仪器仪表学报，2011，32(6)：1232－1237.

[17] 周继先，聂云，袁庆，等. 新型自动气象站故障判断及处理办法[J]. 中低纬山地气象，2021，45(3)：117－121.

[18] 李常春，常克昊，刘禹杉. 几种异常值判别准则在气象计量数据处理中的应用[J]. 电子测量技，2020，43(23)：68－72.

[19] 范巧成，匡荣，邢成岗，等. 试论测量不确定度与误差理论的关系[J]. 计量学报，2017，38(3)：380－384.

[20] 余吕，吕静，蔡军，等. 2018 年威宁县茶山区域自动站雨量空间一致性检查分析[J]. 中低纬山地气象，2020，44(4)：69－71.