

铂电阻温度传感器现场检定和实验室 检定不确定度评定对比分析

龚熙 曾涛 王延东 刘园园

(湖北省气象信息与技术保障中心, 武汉 430074)

摘要 目前我国自动气象站铂电阻温度传感器的检定方式有现场检定和实验室检定两种。根据《JJG(气象)002-2015 自动气象站铂电阻温度传感器检定规程》的指导方法, 分别对相同的铂电阻温度传感器开展现场检定和实验室检定, 并通过 GUM 法对两种检定方式的检定结果进行测量不确定度评定, 对比两种检定方式的测量不确定度, 结果表明现场检定中测量重复性引入的不确定度和测量设备引入的不确定度较实验室检定更高。分析两种检定方式的测量不确定度产生差异的原因, 建议国家级自动气象站的铂电阻传感器采用实验室检定的方式开展计量检定工作。

关键词 铂电阻; 温度传感器; 计量检定; 不确定度评定

中图分类号: P414 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20190072 **文献标识码:** A

引言

我国自动气象站地面观测中, 温度的测量以铂电阻传感器为主。为了确保观测数据的准确、可靠, 必须按照规程进行检定或校准^[1-4]。目前国内自动气象站的铂电阻传感器检定方式有实验室检定和现场检定两种。

任何检定结果都存在不确定度, 正确分析评估测量不确定度分量, 得出的检定结果才更具有可信度^[5-7]。目前国内针对自动气象站铂电阻传感器测量不确定度的研究, 刘宇等^[8]、黄斌等^[9]进行铂电阻温度传感器检定结果的不确定度评定, 但不同检定方式的不确定度对比的研究暂时还处于空白。通过对不同检定方式进行不确定度评定, 对比分析不同检定方式的不确定度大小和不确定度来源, 是研究和改进气象仪器计量检定方法的有效途径^[10]。

1 检定方法

1.1 环境条件

依据《JJG(气象)002-2015 自动气象站铂电阻温度传感器检定规程》, 检定环境要求温度处于 15~35℃, 湿度处于 30%~80%^[11]。现场检定需进行

现场环境条件监测, 现场环境条件满足规程要求, 方可进行测试; 实验室检定可以通过恒温恒湿空调进行实验室温湿度控制, 保证环境条件满足规程要求。

1.2 测量方法

依据《JJG(气象)002-2015 自动气象站铂电阻温度传感器检定规程》, 选取 -10℃, 0℃, +20℃, +50℃ 共 4 个温度点为测试点, 采用比较法, 将标准温度计和被检温度传感器插入到控温介质中, 使被检温度传感器和标准温度计在同一温度环境下进行测温, 将两者测量得到的数据进行比对^[12]。

现场检定设备采用 RTC-158 型便携式干体炉, 无水乙醇作为控温介质, 设备波动度为 0.015℃/30min, 均匀度为 0.015℃。标准器采用 RCY-1A 型铂电阻测温仪。

实验室检定设备采用 WLR-1D 型恒温槽, 无水乙醇作为控温介质, 设备波动度为 0.01℃/30min, 均匀度为 0.01℃。标准器采用 RCY-1A 型铂电阻测温仪。

2 测量结果

2.1 现场检定测量

测试环境条件为温度 20.1℃、湿度 44%, 现场

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

中国气象局山洪地质灾害防治气象保障工程省级装备保障能力(计量检定能力)建设项目资助

作者简介: 龚熙, 男, 1988 年生, 硕士, 工程师, 主要从事气象计量检定及装备保障工作, Email: g1119x@163.com

收稿日期: 2019 年 2 月 18 日; 定稿日期: 2019 年 5 月 31 日

检定测试数据如表 1 所示。

2.2 实验室检定测量

为保证测试数据的可比性,尽可能排除环境干扰,铂电阻温度传感器完成现场检定后,将其从现场的自动站拆除并清洗,放置在待测实验室稳定一周。测试前将实验室温湿度设置到与现场检定的环境温度湿度接近方可进行测试。测试环境条件为温度 20.3℃、湿度 45%,实验室检定测试数据如表 2 所示。

表 1 铂电阻温度传感器现场检定测试数据											℃
检定点		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-10	标准器读数	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94
	被检传感器读数	-9.92	-9.89	-9.95	-9.93	-9.89	-9.92	-9.97	-9.95	-9.92	-9.91
0	标准器读数	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45
	被检传感器读数	-0.43	-0.46	-0.49	-0.46	-0.43	-0.45	-0.46	-0.48	-0.45	-0.44
20	标准器读数	19.96	19.96	19.96	19.96	19.96	19.96	19.96	19.96	19.96	19.96
	被检传感器读数	19.95	19.97	19.96	19.93	19.95	19.98	19.96	19.93	19.94	19.97
50	标准器读数	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70	49.70
	被检传感器读数	49.71	49.67	49.70	49.73	49.69	49.67	49.70	49.73	49.71	49.66

表 2 铂电阻温度传感器实验室检定测试数据											℃
检定点		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-10	标准器读数	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00
	被检传感器读数	-10.01	-10.03	-10.00	-10.01	-10.01	-10.00	-10.02	-10.03	-10.01	-10.00
0	标准器读数	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	被检传感器读数	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06	0.05	0.05
20	标准器读数	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02
	被检传感器读数	19.99	20.01	20.01	20.03	20.03	20.01	20.00	19.99	20.01	20.02
50	标准器读数	49.96	49.96	49.96	49.96	49.96	49.96	49.96	49.96	49.96	49.96
	被检传感器读数	49.97	49.96	49.96	49.98	49.97	49.95	49.94	49.96	49.97	49.95

3 测量不确定度评定

3.1 测量不确定度评定依据和步骤

测量不确定度的评定方法依据 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》,又称 GUM(Guide to the Uncertainty in Measurement)评定方法或 GUM 法^[13-15]。GUM 法评定测量不确定度的步骤如下:①分析不确定度来源,建立测量模型;②评定标准不确定度分量 u_i ;③计算合成不确定度 u_c ;④确定扩展不确定度 U 或 U_p ;⑤报告测量结果。

3.2 测量不确定度的来源

有 5 个主要的不确定度来源:测量重复性引入的不确定度分量;被测传感器分辨力引入的不确定度分量;标准器引入的不确定分量;干体炉或恒温槽的温场波动度引入的不确定度分量;干体炉或恒温

槽的温场均匀度引入的不确定分量(表 3)。

表 3 测量不确定度评估表

不确定度来源	类型	分布	包含因子
测量重复性	A 类	正态分布	$k = 1$
被测传感器分辨力	B 类	均匀分布	$k = \sqrt{3}$
标准器	B 类	正态分布	$k = 2$
温场波动度	B 类	均匀分布	$k = \sqrt{3}$
温场均匀度	B 类	均匀分布	$k = \sqrt{3}$

3.3 现场检定的测量不确定度评定

3.3.1 现场检定标准不确定度的 A 类评定

标准不确定度的 A 类评定可得出由测量重复性引入的标准不确定度 u_A 。

对于被测量 x ,在同一条件下进行 n 次独立重复性测试,测量值为 $x_i(i = 1, 2, \cdots, n)$,则算术平均

值为:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

根据贝塞尔公式,单个检定点测得值的实验标准差为:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

则此次测量过程中,该检测点的测量结果 A 类评定的标准不确定度为:

$$u_A = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

式中, n 为单个检定点的读数次数。

将表 1 测量数据代入式(1)~(3)中可得现场检定中各测量点的 A 类评定标准不确定度(表 4)。

表 4 现场检定的 A 类标准不确定度 $^{\circ}\text{C}$

-10°C	0°C	20°C	50°C
8.718×10^{-3}	6.191×10^{-3}	5.416×10^{-3}	7.753×10^{-3}

3.3.2 现场检定标准不确定度的 B 类评定

标准不确定度的 B 类评定为借助任何有关信息进行科学判断得到估计的标准偏差^[16]。首先根据相关信息或经验判断区间半宽度 a ,然后假设被测量在区间内的概率分布,根据概率分布估计包含因子 k ^[17-18],则 B 类标准不确定度为:

$$u_B = \frac{a}{k} \quad (4)$$

(1)被测传感器的分辨力引入的不确定度。被测铂电阻地温传感器的分辨力为 0.01°C ,则区间半宽度为 0.005°C 。概率分布采用均匀分布处理, $k=\sqrt{3}$ 。根据式(4),被测传感器分辨力引入的不确定度 $u_B(x_1)=0.005/\sqrt{3}\approx 0.0029^{\circ}\text{C}$ 。

(2)标准器引入的不确定度。标准器由上一级计量检定机构定期进行校准,标准器引入的不确定度可直接参考校准证书提供的 uncertainty。根据本次测量使用的标准器最近一份校准证书的校准结果,标准器的扩展不确定度均为 0.03°C , $k=2$,所以 $u_B(x_2)=0.015^{\circ}\text{C}$ 。

(3)温度场波动度引入的不确定度。RTC-158 型便携式干体炉的波动度为 $0.015^{\circ}\text{C}/30\text{min}$,其不确定度半宽为 0.0075°C ,按照均匀分布处理, $k=\sqrt{3}$,则

温度场波动度引入的不确定度 $u_B(x_3)=0.0075/\sqrt{3}\approx 0.0043^{\circ}\text{C}$ 。

(4)温度场均匀度引入的不确定度。RTC-158 型便携式干体炉的均匀度为 0.015°C ,其不确定度半宽为 0.0075°C ,则温度场均匀度引入的不确定度 $u_B(x_4)=0.0075/\sqrt{3}\approx 0.0043^{\circ}\text{C}$ 。

3.3.3 现场检定的合成标准不确定度

合成标准不确定度由标准不确定度 A 类评定和 B 类评定的各标准不确定度分量合成得到的。由于各不确定度分量相互独立不相关,合成不确定度的计算公式如下:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2} \quad (5)$$

将上述各不确定度分量代入式(5)中计算现场检定各检测点的合成标准不确定度(表 5)。

表 5 现场检定的合成标准不确定度 $^{\circ}\text{C}$

-10°C	0°C	20°C	50°C
1.8612×10^{-2}	1.7571×10^{-2}	1.7313×10^{-2}	1.8180×10^{-2}

3.3.4 现场检定的扩展不确定度

扩展不确定度由合成标准不确定度 u_c 乘以包含因子 k 得到,即

$$U = k u_c \quad (6)$$

若 $k=2$,则测得值落在由 U 所给出的统计包含区间内的概率为 95%。取置信概率为 95%, $k=2$,可得现场检定各检测点在 95%置信区间的扩展不确定度(表 6)。

表 6 现场检定的扩展不确定度 $^{\circ}\text{C}$

-10°C	0°C	20°C	50°C
3.7224×10^{-2}	3.5142×10^{-2}	3.4626×10^{-2}	3.6360×10^{-2}

3.4 实验室的测量不确定度评定

3.4.1 实验室检定标准不确定度的 A 类评定

将表 2 测量数据代入式(1)~(3)中可得实验室检定中各测量点的 A 类评定的标准不确定度(表 7)。

表 7 实验室检定的 A 类标准不确定度 $^{\circ}\text{C}$

-10°C	0°C	20°C	50°C
3.590×10^{-3}	3.367×10^{-3}	4.472×10^{-3}	3.786×10^{-3}

3.4.2 实验室检定标准不确定度的 B 类评定

根据被检传感器和标准器的相关技术参数可得,实验室检定中被测传感器的分辨力引入的不确

定度 $u_B(y_1)$ 和标准器引入的不确定度 $u_B(y_2)$ 均与现场检定的不确定度数值相同, $u_B(y_1) = 0.0029\text{ }^{\circ}\text{C}$, $u_B(y_2) = 0.015\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

实验室检定采用 WLR-1D 型恒温槽,波动度为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{min}$,均匀度为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。波动度和均匀度的不确定度半宽均为 $0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$,按照均匀分布处理, $k=\sqrt{3}$,则温度场波动度引入的不确定度 $u_B(y_3) = 0.005/\sqrt{3} \approx 0.0029\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度场均匀度引入的不确定度 $u_B(y_4) = 0.005/\sqrt{3} \approx 0.0029\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.4.3 实验室检定的合成标准不确定度

将上述各不确定度分量代入式(5)中,得到实验室检定各检测点的合成标准不确定度(表 8)。

表 8 实验室检定的合成标准不确定度 $^{\circ}\text{C}$

$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$
1.6221×10^{-2}	1.6238×10^{-2}	1.6439×10^{-2}	1.6265×10^{-3}

3.4.4 实验室检定的扩展不确定度

取置信概率为 95% , $k=2$,根据公式(6)可得,实验室检定各检测点在 95% 置信区间的扩展不确定度(表 9)。

表 9 实验室检定的扩展不确定度 $^{\circ}\text{C}$

$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$
3.2442×10^{-2}	3.2476×10^{-2}	3.2878×10^{-2}	3.2530×10^{-2}

4 结论与讨论

通过测量数据的处理和计算可发现,现场检定的测量不确定度较实验室检定更高。

从技术角度分析,由于现场检定的环境状态并不稳定,在重复性测量的读数过程中,环境温湿度的不断变化会导致读数波动增大,且存在环境温湿度不满足《JJG(气象)002-2015 自动气象站铂电阻温度传感器检定规程》中环境要求的风险,导致检定结果无效。而实验室检定过程中,环境状态更为稳定,有效的减小了此风险。另一方面,在现场检定时,需要使用便携性较好的测量设备,但更小巧轻便的干体炉的波动度和均匀度性能略低于实验室检定使用的大型恒温槽,所以现场检定过程中,测量设备引入的不确定度也较实验室检定更高。

从经济角度分析,现场检定会产生大量的交通成本、差旅成本和人员成本,将待测传感器打包通过

物流运输至省级气象计量实验室统一检定,是更加经济和高效的选择。

从业务角度分析,在现场检定工作中,自动气象站的观测工作不能停止,大量因检定产生的无效数据上传到观测软件中,给数据处理人员带来了大量的数据修订工作。若错误数据未经修正进入数值预报系统,将产生错误的预报结论。

为保障气象装备的计量检定业务更加准确可靠,建议采用实验室检定的方法开展国家级自动气象站铂电阻传感器的检定工作。对于暂时仍需进行现场检定的情况,需要严格监测现场检定环境,避免在环境温湿度不满足规程要求的情况下开展检定工作。实验室检定全面取代现场检定后,现场检测的方式可用于自动气象站铂电阻传感器的现场核查校准工作,其检测结果可作为内部数据质量控制的数值参考,也可以用于传感器粗大误差及传感器故障的判断依据。

参考文献

[1] 晏敏,柳鸣,刘希林,等. 铂电阻温度传感器检定结果的不确定度评定[J]. 气象研究与应用,2017,38(1):140-143.

[2] 任燕,王锡芳,孙嫣,等. 温度传感器检定数据统计分析[J]. 气象科技,2016,44(1):19-22.

[3] 龚熙,曾涛,李中华,等. 铂电阻温度传感器现场检定的干扰故障及处理方法[J]. 成都信息工程大学学报,2018,33(2):160-163.

[4] 李施,支询,邢婉茹. 铂电阻温度传感器测量结果的不确定度分析[J]. 科技风,2013(23):11-12.

[5] 刘洋. 风速表检定装置测量不确定度分析[J]. 轻工标准与质量,2017(3):48-50.

[6] 曾涛,龚熙,边泽强. 自动气象站风速传感器测量不确定度评定[J]. 电子测量技术,2018,41(15):96-99.

[7] 李昕娣,罗怀洁. PTB220 型压力传感器检定结果不确定度评估[J]. 气象科技,2014,42(6):983-985.

[8] 刘宇,张佳佳,刘文忠,等. 铂电阻地温传感器检定不确定度评定[J]. 气象科技,2016,44(5):728-732.

[9] 黄斌,匡昌武,陆土金,等. 铂电阻温度计检定结果的不确定度分析[J]. 气象水文海洋仪器,2016,33(2):31-34.

[10] 赵旭,邵长亮,迟晓珠,等. 自动气象站温度传感器检定方法改进研究[J]. 气象与环境学报,2015,31(5):179-183.

[11] JJG 002-2015,自动气象站铂电阻温度传感器检定规程[S].

[12] 龚熙,曾涛,杨维发,等. 基于 Pt100 铂电阻的无线地温测温系统设计[J]. 气象科技,2018,46(2):233-236.

[13] JJF1059.1-2012,测量不确定评定与表示[S]. 2012.

[14] 宋明顺,方兴华,黄佳,等. 校准和检测中微小样本测量不确定度评定方法研究[J]. 仪器仪表学报,2014,35(2):419-426.

- [15] 崔学林,梁宝龙,黄斌,等.湿度传感器测量不确定度评定[J].电子测量与仪器学报,2015,29(10):1544-1549.
- [16] 倪育才.实用测量不确定度评定[M].5版.北京:中国质检出版社,2016.
- [17] 中国计量测试学会.一级注册计量师基础知识及专业实务[M].4版.北京:中国质检出版社,2017.
- [18] 宣安东.实用测量不确定度评定及案例[M].北京:中国计量出版社,2009.

Comparative Analysis of Uncertainty Evaluation of Platinum Resistor Temperature Sensors between On-site and Laboratory Verification Results

GONG Xi ZENG Tao WANG Yandong LIU Yuanyuan

(Hubei Meteorological Information and Technical Support Center, Wuhan 430074)

Abstract: At present, there are two types of verification of platinum resistance temperature sensors in automatic meteorological stations in China, i.e., on-site verification and laboratory verification. As instructed in the related verification regulations (JJG (Meteorology) 002-2015 Platinum Resistance Temperature Sensor of Automatic Weather Station), on-site verification and laboratory verification are separately performed for the same platinum resistance temperature sensor, and the measurement uncertainty is determined using the GUM (Guide to the Uncertainty in Measurement) method based on the results of both types of verification. The result shows that the uncertainty evaluation of on-site verification is higher than that of laboratory verification. The causes of differences in measurement uncertainty between the two types of verification are analyzed. It is suggested that the laboratory verification should be used in the verification of platinum resistance temperature sensors for automatic meteorological stations.

Keywords: platinum resistance; temperature sensor; metrological verification; uncertainty evaluation

欢迎订阅《气象科技》

《气象科技》由中国气象局气象探测中心、中国气象科学研究院、北京市气象局、国家卫星气象中心及国家气象信息中心联合主办。报道大气科学和相关科学各领域新理论、新方法和新技术,也刊载反映大气科学各领域发展水平的综合评述。主要栏目:大气探测与信息技术,天气气候与数值预报,应用气象与科学试验,台站实用技术等。欢迎气象部门和相关学科的业务、科研、技术开发人员以及相关院校师生投稿和订阅。《气象科技》为大 16 开本双月刊,全年定价:120 元,全年随时订阅。

联系地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号,中国气象局气象探测中心,《气象科技》编辑部

http: //www.qxkj.net.cn, **邮政编码:** 100081, **电话:** (010)68407256, **Email:** qxkj@cma.gov.cn

户名: 中国气象局气象探测中心, **账号:** 4043200001819900025525, **开户行:** 华夏银行北京紫竹桥支行