

工业铂电阻测量结果的不确定度评定

江正涛 彭剑英

(国网四川省电力公司计量中心,四川成都 610045)

摘要:工业铂电阻测量结果的不确定度评定过程比较复杂,致使很多单位在测试工业热电阻时都未能科学合理地进行测量结果进行评定。而随着现代检测技术的进步,对测量结果的科学性合理性要求越来越高,依据 JJG 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJG 229-2010《工业铂、铜热电阻》检定规程对工业铂电阻测量结果的不确定度进行评定,以期各基层单位在开展工业热电阻检测过程中对测量结果的不确定度评定方法提供一个范例。

关键词:工业铂电阻;不确定度评定

中图分类号:TM93 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2018)02-0092-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.03.019

Uncertainty Assessment of Industry Platinum Resistance Thermometer Measurement Results

Jiang Zhentao, Peng Jianying

(State Grid Sichuan Electric Power Corporation Metering Center, Chengdu 610045, Sichuan, China)

Abstract: The uncertainty assessment process of the measurement results for industry platinum resistance thermometer is complicated, which makes many units cannot evaluate the measurement results scientifically and reasonably during testing industry platinum resistance. With the development of modern detection technology, the demands for the scientificity and rationality of measurement results are getting higher and higher, the uncertainty assessment of measurement results for industry platinum resistance thermometer should be carried out in accordance with "Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement" (JJG 1059.1-2012) and "Industry Platinum and Copper Resistance Thermometers" (JJG 229-2010), in order to provide an example for uncertainty assessment method of industry platinum resistance thermometer measurement for basic units.

Key words: industrial platinum resistance thermometer; calibration; uncertainty assessment

0 引言

以温度(20±5)℃、相对湿度15%~80%的环境条件下工业铂热电阻测量结果的不确定度评定为例,介绍工业铂热电阻测量结果的不确定度评定方法。

校准过程使用的主要仪器如下:

- 1) 标准器:二等标准铂电阻温度计。
- 2) 电测仪器:电桥或可测量电阻的数字多用表^[1]。

A级及以上被测电阻用0.005级及以上等级仪器;B级及以下被测电阻用0.02级及以上仪器。如测Pt100的仪器分辨率不低于0.1mΩ^[1]。

- 3) 冰点器:U≤0.04℃,k=2。
- 4) 恒温槽:温度范围为-50~300℃。

5) 水平温场为0.01℃,垂直温场为0.02℃,波动度为0.04℃/10min。

6) 水三相点瓶及保温装置。

校准方法采用比较法,即把被检热电阻(Pt100, A级)和标准铂热电阻(R_{sp}=25Ω)放在同一温场中,待稳定后按检定规程要求的顺序读取被检电阻和标准热电阻的电阻值,按照相关公式算出被检铂热电阻的实际电阻值。

1 数学模型

1.1 检定点0℃测量误差的数学模型^[1]

$$\Delta t_0 = \frac{R_i - R_0}{(dR/dt)_{t=0}} - \frac{R_i^S - R_0^S}{(dR_i^S/dt)_{t=0}} \quad (1)$$

1.2 检定点100℃测量误差的数学模型^[1]

$$\Delta t_{100} = \frac{R_i - R_{100}}{(dR/dt)_{t=100}} - \frac{R_i^S - R_{100}^S}{(dR_i^S/dt)_{t=100}} \quad (2)$$

式中: R_i 为在检定点温度时被测铂电阻的实际电阻值; R_i^S 为在检定点温度时标准铂电阻的实际电阻值。其余符号含义与 JJG 229-2010 规程一致。

可见主要输入量有 R_i 、 R_i^S , 其余的 R_0 、 R_{100} 、 R_0^S 、 R_{100}^S 、 $(dR/dt)_{t=0}$ 、 $(dR_i^S/dt)_{t=0}$ 、 $(dR/dt)_{t=100}$ 、 $(dR_i^S/dt)_{t=100}$ 的不确定度很小, 可忽略不计^[1]。

$$u^2(\Delta t_0) = \frac{u^2(R_i)}{(dR/dt)_{t=0}^2} + \frac{u^2(R_i^S)}{(dR_i^S/dt)_{t=0}^2} \quad (3)$$

$$u^2(\Delta t_{100}) = \frac{u^2(R_i)}{(dR/dt)_{t=100}^2} + \frac{u^2(R_i^S)}{(dR_i^S/dt)_{t=100}^2} \quad (4)$$

2 输入量的标准不确定度的评定

被测铂电阻 R_i 的标准不确定度来源主要有: 测量重复性引入的标准不确定度 u_A 、电测设备引入的标准不确定度 u_{B1} 、温场不均匀引入的标准不确定度 u_{B2} 、温场波动度引入的标准不确定度 u_{B3} 。标准铂电阻 R_i^S 的标准不确定度来源主要有: 二等标准铂电阻温度计引入的标准不确定度 u_{S1} 、电测设备引入的标准不确定度 u_{S2} 。其中 u_A 采用 A 类评定方法, u_{B1} 、 u_{B2} 、 u_{B3} 、 u_{S1} 、 u_{S2} 采用 B 类评定方法。

2.1 测量的重复性引入的标准不确定度 u_A 的评定

标准不确定度 u_A 的来源主要是测量重复性引入的, 可以通过重复测量得到测量列, 用 A 类方法评定。即用本温度综合标准装置对一常规的被测对象(1支 Pt100 热电阻, 测量范围 0~300 °C, 准确度等级: A 级) 在 0 °C 和 100 °C 两检定点, 按检定规程要求进行 10 次独立重复测量, 得到测量重复性试验数据见表 1。

表 1 热电阻重复性测试数据

测量次数	$R(0\text{ }^\circ\text{C})$	$R(100\text{ }^\circ\text{C})$
1	99.990 9	138.455 8
2	99.990 7	138.459 9
3	99.988 8	138.425 4
4	99.994 5	138.413 3
5	99.996 2	138.390 3
6	99.990 5	138.420 4
7	99.999 7	138.426 5
8	99.973 1	138.430 2
9	99.992 8	138.450 8
10	99.992 9	138.391 5

由表 1 数据得到实验在 0 °C 检定点的标准偏差

为

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 7.05\text{ m}\Omega \quad (5)$$

同理, 在 100 °C 检定点的标准偏差为

$$S_{100} = 24.32\text{ m}\Omega \quad (6)$$

由规程可知, 测量铂电阻时, 交替重复不少于 4 次(包括电流换向), 因此

0 °C 检定点标准不确定度为

$$u_A = \frac{S_0}{\sqrt{4}} = 3.52\text{ m}\Omega \quad (7)$$

同理, 100 °C 检定点的标准不确定度为

$$u_A = 12.16\text{ m}\Omega \quad (8)$$

2.2 电测设备引入的标准不确定度 u_{B1} 的评定

标准不确定度 u_{B1} 的来源主要是电测设备引入的, 采用 B 类方法评定。其值可由电测设备的最大相对误差确定^[2]。由电测设备说明书得知, 在 0 °C 时, 相对误差半宽区间为 $(52 \times 100 + 9 \times 100) \times 10^{-6}\text{ m}\Omega = 6.1\text{ m}\Omega$, 在区间内服从均匀分布^[3], 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_{B1} = \frac{6.1\text{ m}\Omega}{\sqrt{3}} = 3.52\text{ m}\Omega \quad (9)$$

同理, 100 °C 时, 相对误差半宽区间为 $(50 \times 138.51 + 2 \times 100) \times 10^{-6} = 8.92\text{ m}\Omega$, 在区间内服从均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_{B1} = \frac{8.92\text{ m}\Omega}{\sqrt{3}} = 5.15\text{ m}\Omega \quad (10)$$

2.3 温场不均匀引入的标准不确定度 u_{B2} 的评定

标准不确定度 u_{B2} 的来源主要是温场不均匀引入的, 采用 B 类方法评定, 其值可由温场均匀性确定。按检定规程要求, 插入位置间温场均匀性不大于 0.01 °C, 在区间内服从均匀分布^[3], 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_{B2} = \frac{0.01\text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.006\text{ }^\circ\text{C} = 6\text{ mK}$$

换算成电阻则

$$u_{B2} = (6 \times 0.390\ 83)\text{ m}\Omega = 2.34\text{ m}\Omega \quad (11)$$

检定点 100 °C 时:

$$u_{B2} = (6 \times 0.379\ 28)\text{ m}\Omega = 2.28\text{ m}\Omega \quad (12)$$

2.4 温场波动度引入的标准不确定度 u_{B3} 的评定

标准不确定度 u_{B3} 的来源主要是读数时温场波动度引入的, 采用 B 类方法评定。其值可由其温场波动度要求确定。按检定规程要求, 插入位置间温场波动度不大于 0.04 °C/10 min, 以半区间计算, 在

区间内服从均匀分布 取 $k = \sqrt{3}^{[2]}$ 则 $u'_{B3} = \frac{0.04 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}}$

$= 0.023 \text{ } ^\circ\text{C} = 23 \text{ mK}$ 换算成电阻则

检定点 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时:

$$u_{B3} = (23 \times 0.39083) \text{ m}\Omega = 8.99 \text{ m}\Omega \quad (13)$$

检定点 $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时:

$$u_{B3} = (6 \times 0.37928) \text{ m}\Omega = 8.72 \text{ m}\Omega \quad (14)$$

2.5 二等标准铂电阻温度计引入的标准不确定度

u_{S1} 的评定

标准不确定度 u_{S1} 的来源主要是二等标准铂电阻温度计引入的,采用 B 类方法评定,其值可由水三相点的电阻值 R_{tp} 的检定周期不稳定性确定^[3]。

$0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时,根据检定规程规定 R_{tp} 的检定周期不稳定性最大为 5 mK ,在区间内服从正态分布,取 $k = 3^{[2]}$ 则 $u'_{S1} = 5/3 = 1.67 \text{ mK}$ 换算成电阻则

$$u_{S1} = 1.67 \times 0.0039885 \times 25 \text{ m}\Omega = 0.17 \text{ m}\Omega \quad (15)$$

同理, $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时,依据规程规定检定周期不稳定性最大为 12 mK ,在区间内服从正态分布,取 $k = 3^{[4]}$ 则 $u'_{S1} = 12 \text{ mK}/3 = 4 \text{ mK}$ 换算成电阻则

$$u_{S1} = (4 \times 0.0038682 \times 25) \text{ m}\Omega = 0.39 \text{ m}\Omega \quad (16)$$

2.6 标准铂电阻测量时电测设备引入的标准不确定度

u_{S2} 的评定

标准不确定度 u_{S2} 的来源主要是电测设备引入的,采用 B 类方法评定。其值可由其电测设备的最大相对误差确定^[3]。

在 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时,区间半宽为 $(52 \times 25 + 9 \times 100) \times 10^{-6} = 2.2 \text{ m}\Omega$,在区间内服从均匀分布^[3],取 $k = \sqrt{3}$ 则

$$u_{S2} = \frac{2.2 \text{ m}\Omega}{\sqrt{3}} = 1.27 \text{ m}\Omega \quad (17)$$

同理, $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时,区间半宽为 $(52 \times 35 + 9 \times 100) \times 10^{-6} = 2.72 \text{ m}\Omega$,在区间内服从均匀分布,取 $k = \sqrt{3}$ 则

$$u_{S2} = \frac{2.72 \text{ m}\Omega}{\sqrt{3}} = 1.57 \text{ m}\Omega \quad (18)$$

3 测量不确定度的计算与表示

对于直接测量的不确定度分量 $u_A, u_{B1}, u_{B2}, u_{B3},$

u_{S1}, u_{S2} 彼此独立不相关,所以 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时,合成标准不确定度为

$$u^2(R_i) = u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 = 35.36 \text{ m}\Omega^2 \quad (19)$$

$$u^2(R_i^S) = u_{S1}^2 + u_{S2}^2 = 1.64 \text{ m}\Omega^2 \quad (20)$$

$u(\Delta t_0)$

$$= \sqrt{\frac{1}{(dR/dt)_{t=0}^2} u^2(R_i) + \frac{1}{(dR_i^S/dt)_{t=0}^2} u^2(R_i^S)}$$

$$= \sqrt{\frac{35.36}{0.39083^2} + \frac{1.64}{(0.0039885 \times 25)^2}} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 0.02 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (21)$$

同理, $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时,合成标准不确定度为

$$u^2(R_i) = 184.97 \text{ m}\Omega^2$$

$$u^2(R_i^S) = 2.62 \text{ m}\Omega^2$$

$$u(\Delta t_{100}) = 0.04 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (22)$$

因此,取置信概率 $p = 95\%$, $k = 2$,工业铂热电阻(A级)测量结果的扩展不确定度为^[3]

$$0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ 时 } U_{0^\circ\text{C}} = 0.04 \text{ } ^\circ\text{C} \quad k = 2$$

$$100 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ 时 } U_{100^\circ\text{C}} = 0.08 \text{ } ^\circ\text{C} \quad k = 2$$

5 结 语

通过对工业铂电阻各项测量不确定度因素进行分析可知,影响不确定度的主要因素是被测铂电阻引入的。因此在检定时,电测设备应严格按照程序操作,测量某温度点时应等待足够长时间使温场尽量稳定后再读数,以减少误差,提高测量结果的准确性。

参考文献

- [1] 工业铂、铜热电阻检定规程: JJG 229 - 2010 [S] 2010.
- [2] 刘绚. 工业铂电阻测量结果的不确定度评定[J]. 工业计量 2012 22(2): 46 - 47.
- [3] 林景星 陈丹英. 计量基础知识 [M]. 北京: 中国质检出版社 2015.

作者简介:

江正涛(1987), 研究生、工程师, 研究方向为电力计量、自动化技术等;

彭剑英(1965), 高级工程师, 研究方向为自动化技术、工业控制等。

(收稿日期: 2018 - 01 - 13)