

# 二等标准铂电阻温度计校准结果不确定度评定

邓艳琴

(江苏省电力试验研究院有限公司,江苏南京 211103)

**摘要:**在二等标准铂电阻温度计固定点的校准中,使用的标准器具、固定点容器及测温电桥等都会对测量产生影响。文中分析了各因素对校准结果扩展不确定度的影响,并根据 JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》技术规范,对二等标准铂电阻温度计水三相点、锌凝固点及锡凝固点的校准结果进行不确定度评定。

**关键词:**二等标准铂电阻温度计;校准;不确定度评定

**中图分类号:**TH765.2<sup>+</sup>3

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2010)05-0044-03

依据 JJG 160—2007《标准铂电阻温度计》检定规程,将被校准的二等标准铂电阻温度计在水三相点装置、锌凝固点装置及锡凝固点装置中,用定点法进行分度,通过公式计算得出电阻比  $W_{Zn}$ ,  $W_{Sn}$ 。

## 1 水三相点标准不确定度评定

### 1.1 A类标准不确定度分析

用一支性能稳定、合格的二等标准铂电阻温度计在水三相点处做6次重复测量,如表1所示。

表1 水三相点重复性测试数据  $\Omega$

测量次数 $i$	测量结果 $x$	平均值 $\bar{x}$
1	25.330 62	25.330 653
2	25.330 63	
3	25.330 68	
4	25.330 65	
5	25.330 69	
6	25.330 66	

根据贝塞尔公式计算实验标准差:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.74 \times 10^{-5} \Omega$$

平均值的标准偏差:  $S_p = S/\sqrt{6} = 1.12 \times 10^{-5} \Omega$

则标准不确定度为:  $u_1 = 1.12 \times 10^{-5} / (R_p \times \frac{dW}{dt}) =$

$$1.12 \times 10^{-5} / 0.1 = 0.112 \text{ mK}$$

式中:  $\frac{dW}{dt} = 3.988 \times 10^{-6} / \text{mK}$  为水三相点时的电阻比值相对温度的变化率<sup>[1]</sup>。

### 1.2 B类标准不确定度分析

(1) 电阻测量引入的标准不确定度。电阻测量的计算公式为:

$$R_p = XR_s(1 + \alpha\Delta t + \beta\Delta t^2) \quad (1)$$

式中:  $R_p$  为二等标准铂电阻温度计在水三相点温度处的电阻值;  $X$  为 6242T 测温电桥的读数;  $R_s$  为标准电阻在室温为 20 °C 时的电阻值;  $\alpha$  和  $\beta$  为标准电阻温度系数;  $\Delta t$  为环境温度偏离 20 °C 的差值。

在测量过程中,标准电阻的  $\Delta t$  很小,且每次测量均对标准电阻的实际温度进行修正,因此可忽略不计。对式(1)简化后进行全微分可得:

$$dR_p = R_s dX + X dR_s \quad (2)$$

当变量以标准不确定度计入的时候,其合成方差为:

$$u_c^2 R_p = c_1^2 u_x^2 + c_2^2 u_{R_s}^2 \quad (3)$$

式中:  $c_1 = R_s = 10 \Omega$ ;  $c_2 = X = 2.5$ ;

$u_x$  为测温电桥在测量水三相点时引入的标准不确定度  $u_2$ , 从 6242T 测温电桥说明书可知,其不确定度为  $2 \times 10^{-7}$ , 按均匀分布,则:

$$u_2 = (c_1 \times 2 \times 10^{-7}) / \sqrt{3} (R_p \times \frac{dW}{dt}) = 0.012 \text{ mK}$$

$u_{R_s}$  为标准电阻测量时引入的标准不确定度  $u_3$ , 标准电阻(10  $\Omega$ )的年稳定度为  $\pm 5 \times 10^{-6}$ , 按正态分布,则:

$$u_3 = (c_2 \times 5 \times 10^{-6} \times 10) / 2.58 (R_p \times \frac{dW}{dt}) = 0.484 \text{ mK}$$

其中  $\frac{dW}{dt}$  与 1.1 节中的相同。

(2) 水三相点瓶引入的标准不确定度。由中国计量研究院提供的数据可知,水三相点瓶的不确定度为 0.4 mK, 按正态分布,则:

$$u_4 = 0.4 / 2.58 = 0.155 \text{ mK}$$

(3) 静压修正不准引入的标准不确定度。该项是由标准铂电阻温度计感温元件中部距水三相点瓶内液面的深度测量不准引起,最大误差估计为 1 cm, ITS-90 国际温标给出了深度对水三相点温度的影响为  $7.3 \times 10^{-3} \text{ mK}$ 。按均匀分布,则:

$$u_5 = 7.3 \times 10^{-3} / \sqrt{3} = 0.004 \text{ mK}$$

(4) 二等标准铂电阻温度计在测量时由于自热

效应引入的标准不确定度。由检定规程可知,二等标准铂电阻温度计允许自热效应不大于 4 mK,其半区间为 2 mK。按均匀分布,则:

$$u_6 = 2/\sqrt{3} = 1.155 \text{ mK}$$

(5) 测量结果数据修约引入的标准不确定度。检定规程要求,二等标准铂电阻温度计证书上  $R_{tp}$  值给出小数点后 4 位。由修约而引入的误差为修约单位的 1/2,即  $5 \times 10^{-5} \Omega$ ,按均匀分布,则:

$$u_7 = 5 \times 10^{-5} / \sqrt{3} (R_{tp} \times \frac{dW}{dt}) = 0.289 \text{ mK}$$

### 1.3 水三相点标准不确定度汇总

水三相点标准不确定度分量如表 2 所示。

表 2 水三相点标准不确定度分量 mK

序号	不确定度来源	类别	不确定度分量
$u_1$	重复性	A	0.112
$u_2$	测温电桥的影响	B	0.112
$u_3$	标准电阻的影响	B	0.484
$u_4$	水三相点瓶的影响	B	0.155
$u_5$	静压修正引起的影响	B	0.004
$u_6$	自热效应的影响	B	1.155
$u_7$	数据修约的影响	B	0.289

### 1.4 水三相点合成不确定度

水三相点合成不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} = 1.3 \text{ mK}$$

### 1.5 水三相点扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 则:

$$U = k u_c = 2 \times 1.3 = 2.6 \text{ mK}$$

## 2 凝固点标准不确定度评定

### 2.1 数学模型

根据 ITS-90 温标定义,在锌凝固点、锡凝固点的测量结果  $W_t$  的函数<sup>[2]</sup>:

$$f(R) = W_t = R_t / R_{tp} \quad (4)$$

式中: $R_t$  为被校铂电阻温度计在锌凝固点和锡凝固点测得的电阻值  $R_{zn}, R_{sn}$ ;  $R_{tp}$  为被校铂电阻温度计在水三相点测得的电阻值。

对式(4)进行全微分,得:

$$dW_t = (1/R_{tp})dR_t - (R_t/R_{tp}^2)dR_{tp} \quad (5)$$

当变量以不确定度计入时,其合成不确定度为:

$$u^2 = (1/R_{tp})^2 u^2 R_t + (-R_t/R_{tp}^2)^2 u^2 R_{tp} \approx u^2 W_t + (-R_t/R_{tp}^2)^2 u^2 R_{tp} \quad (6)$$

灵敏系数:

锌凝固点  $c_1 = 1, c_2 = -65/25^2 = -0.1/\Omega$  ;

锡凝固点  $c_1 = 1, c_2 = -48/25^2 = -0.08/\Omega$ 。

### 2.2 A 类标准不确定度分析

用一支性能稳定、合格的二等标准铂电阻温度计在锌凝固点、锡凝固点处分别做 6 次重复测量,每次测量完  $R_t$  后再测量  $R_{tp}$ , 得出  $W_t$  值,根据贝塞尔公式计算出实验标准差。如表 3、表 4 所示。

表 3 锌凝固点重复性测试数据

测量次数 $i$	测量结果 $x$	平均值 $\bar{x}$
1	2.568 575	
2	2.568 572	
3	2.568 581	
4	2.568 573	2.568 577
5	2.568 580	
6	2.568 583	

锌凝固点实验标准差为:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 4.6 \times 10^{-6}$$

平均值的标准偏差为:  $S_p = S/\sqrt{6} = 1.878 \times 10^{-6}$

则标准不确定度为:  $u_1 = 1.878 \times 10^{-6} / (\frac{dW}{dt}) = 0.537 \text{ mK}$

其中,  $\frac{dW}{dt} = 3.495 \times 10^{-6} / \text{mK}$  为在锌凝固点的  $W$  值相对温度的变化率。

表 4 锡凝固点重复性测试数据

测量次数 $i$	测量结果 $x$	平均值 $\bar{x}$
1	1.892 610	
2	1.892 619	
3	1.892 620	
4	1.892 616	1.892 616
5	1.892 613	
6	1.892 618	

锡凝固点实验标准差为:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 3.9 \times 10^{-6}$$

平均值的标准偏差为:  $S_p = S/\sqrt{6} = 1.571 \times 10^{-6}$

则标准不确定度为:  $u_1 = 1.571 \times 10^{-6} / (\frac{dW}{dt}) = 0.423 \text{ mK}$

其中,  $\frac{dW}{dt} = 3.713 \times 10^{-6} / \text{mK}$  为在锡凝固点处的  $W$  值相对温度的变化率。

### 2.3 B 类标准不确定度分析

(1) 凝固点装置引入的标准不确定度。固定点容器所使用的纯金属中所含的杂质、充入气压及静

压修正都会对凝固点温度产生影响。由中国计量科学研究院提供的数据可知, 锌、锡凝固点容器校准不确定度分别为 2.5 mK, 2.0 mK, 按均匀分布, 则:

$$\text{锌凝固点 } u_2 = 2.5/\sqrt{3} = 1.443 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_2 = 2.0/\sqrt{3} = 1.155 \text{ mK}$$

(2) 凝固点温坪的影响。温场波动, 热传导等因素会对凝固点温坪产生影响。在整个温坪的 15%~85%, 锌、锡凝固点装置的温度变化值要求不大于 1.5 mK, 按均匀分布, 则:

$$\text{锌凝固点 } u_3 = 1.5/\sqrt{3} = 0.866 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_3 = 1.5/\sqrt{3} = 0.866 \text{ mK}$$

(3) 二等标准铂电阻温度计测量时自热效应引入的标准不确定度。温度计在测量时, 通过的电流为 1 mA, 二等标准铂电阻温度计允许自热效应不大于 4 mK, 其半区间为 2 mK。按均匀分布, 则:

$$\text{锌凝固点 } u_4 = 2/\sqrt{3} = 1.155 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_4 = 2/\sqrt{3} = 1.155 \text{ mK}$$

(4) 测温电桥测量时引入的标准不确定度。从 6242T 测温电桥说明书可知, 其不确定度为  $2 \times 10^{-7}$ , 按均匀分布, 则:

$$\text{锌凝固点 } u_5 = 2 \times 10^{-7}/\sqrt{3} \left( \frac{dW}{dt} \right) = 0.033 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_5 = 2 \times 10^{-7}/\sqrt{3} \left( \frac{dW}{dt} \right) = 0.031 \text{ mK}$$

(5) 标准电阻测量时引入的标准不确定度。标准电阻的年稳定度为  $\pm 5 \times 10^{-6}$ , 按均匀分布, 则:

$$\text{锌凝固点 } u_6 = 5 \times 10^{-6}/\sqrt{3} \left( \frac{dW}{dt} \right) = 0.826 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_6 = 5 \times 10^{-6}/\sqrt{3} \left( \frac{dW}{dt} \right) = 0.777 \text{ mK}$$

(6) 标准器一等铂电阻温度计引入的标准不确定度<sup>[3]</sup>。在测量过程中, 锌、锡凝固点装置性能由一等标准铂电阻温度计进行考核。检定规程要求, 一等标准铂电阻温度计在相邻周期的  $W_{zn}, W_{sn}$  之间的最大差值分别不超过 9.0 mK, 7.0 mK。取其半区间, 分别为 4.5 mK, 3.5 mK, 按均匀分布, 则:

$$\text{锌凝固点 } u_7 = 4.5/\sqrt{3} = 2.598 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_7 = 3.5/\sqrt{3} = 2.021 \text{ mK}$$

(7) 水三相点瓶引入的标准不确定度。由中国计量研究院提供的数据可知, 水三相点瓶的不确定度为 0.4 mK, 约 0.04 mΩ, 按正态分布, 则:

$$\text{锌凝固点 } u_8 = |c_2| \times 0.04/2.58 \left( \frac{dW}{dt} \right) =$$

$$0.444 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_8 = |c_2| \times 0.04/2.58 \left( \frac{dW}{dt} \right) =$$

$$0.334 \text{ mK}$$

(8) 测量结果数据修约引入的标准不确定度。检定规程要求, 二等标准铂电阻温度计证书上  $W_{zn}, W_{sn}$  值给出小数点后 5 位。由修约而引入的误差为修约单位的 1/2, 即  $5 \times 10^{-6}$ , 按均匀分布, 则:

$$\text{锌凝固点 } u_9 = 5 \times 10^{-6}/\sqrt{3} \left( \frac{dW}{dt} \right) = 0.826 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_9 = 5 \times 10^{-6}/\sqrt{3} \left( \frac{dW}{dt} \right) = 0.777 \text{ mK}$$

## 2.4 凝固点标准不确定度汇总

凝固点标准不确定度分量如表 5 所示。

表 5 凝固点标准不确定度分量 mK

序号	不确定度来源	类别	不确定度分量	
			锌点	锡点
$u_1$	重复性	A	0.537	0.423
$u_2$	凝固点装置的影响	B	1.443	1.155
$u_3$	凝固点温坪的影响	B	0.866	0.866
$u_4$	自热效应的影响	B	1.155	1.155
$u_5$	测温电桥的影响	B	0.033	0.031
$u_6$	标准电阻的影响	B	0.826	0.777
$u_7$	标准器的影响	B	2.598	2.021
$u_8$	水三相点瓶的影响	B	0.444	0.334
$u_9$	数据修约的影响	B	0.826	0.777

## 2.5 凝固点合成不确定度

凝固点合成不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2 + u_9^2} \quad (7)$$

$$\text{锌凝固点 } u_c = 3.6 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } u_c = 3.0 \text{ mK}$$

## 2.6 凝固点扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 则:

$$\text{锌凝固点 } U = k u_c = 2 \times 3.6 = 7.2 \text{ mK}$$

$$\text{锡凝固点 } U = k u_c = 2 \times 3.0 = 6.0 \text{ mK}$$

## 3 测量结果不确定度报告

通过以上分析评定, 二等标准铂电阻温度计在水三相点、锌凝固点及锡凝固点校准结果的扩展不确定度 ( $k=2$ ) 分别为:

$$\text{水三相点 } U = 2.6 \text{ mK}; \quad \text{锌凝固点 } U = 7.2 \text{ mK};$$

$$\text{锡凝固点 } U = 6.0 \text{ mK}。$$

### 参考文献:

[1] JJF 1059—1999, 测量不确定度评定与表示[S].

[2] JJG 160—2007, 标准铂电阻温度计[S].

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m [(\bar{X}_n)_i - \bar{X}_m]^2}{m-1}} \quad (6)$$

式中:  $\bar{X}_n$  为一次观测时  $n$  各测量值的算术平均值;  
 $\bar{X}_m$  为  $m$  组观测结果的算术平均值。

依据 JJF 1033—2008《计量标准考核规范》,若计量标准在使用中采用标称值或者示值, 如果其稳定性小于计量标准的最大允许误差的绝对值; 或者若计量标准需要加修正值使用时, 如果其稳定性小于修正值的扩展不确定度, 则该计量标准稳定性核查通过。

综上所述,不同的核查方法耗费的成本不一,实验室应采用经济、简单、可靠的方法。例如,如果实验室自身条件满足的话,采用自校准法比较方便;如果稳定的核查标准容易获得,可以采用核查标准法或者多台功能相同、准确度一致的仪器时,可以采用多台比对法;如果实验室内部无法满足上述条件,也可以采用实验室间的对比来进行核查。

#### 4 核查结果的处理

当发现核查结果不满足要求,或者将要超出预期使用要求时,要立刻停止使用,再采取适当的纠正措施,对前次满足要求的核查后开展的检定或者校

准工作进行追溯,分析数据,评估由于使用该仪器对测量结果造成的影响,必要时追回已经发出的检定或者校准证书。

#### 5 结束语

期间核查是实验室保证计量设备检定/校准状态可靠、保证测量结果质量的重要手段。对影响检定/校准结果的重要设备进行期间核查,保持期间核查的统计结果,有效统计数据越多,对核查设备的运行质量情况的认识就更准确,更易于对其运行的趋势做出正确判断。期间核查的方法不一,被核查对象不同,采用的方法也不同,实际工作中,应具体问题具体分析,从适宜性和经济型出发,有效保证测量结果的可靠。

#### 参考文献:

- [1] JJF 1069—2007, 法定计量检定机构考核规范[S].
- [2] GB/T 27025—2008, 检验和校准实验室能力的通用要求[S].
- [3] 施昌彦, 虞惠霞. 测量仪器和计量标准的期间核查[J]. 中国计量杂志, 2008(9):40-42.
- [4] 黄耀文. JJF 1069—2007《法定计量检定机构考核规范》实施指南[M]. 北京:中国计量出版社, 2007.
- [5] JJF 1033—2008, 计量标准考核规范[S].

#### 作者简介:

张健(1980-),女,江苏南京人,工程师,从事电力计量研究工作。

### Research on the Electrical Measurement Period Verification

ZHANG Jian

(Jiangsu Electric Power Research Institute Co.Ltd., Nanjing 211103,China)

**Abstract:** The period verification is an important measure to guarantee the measurement standards and instrument calibration, and the reliability of calibration status in the laboratory. The concepts, objects, methods and implements of the period verification are presented and discussed in this paper. The way of choosing appropriate and effective verification methods according to different objects is introduced. All these analysis results can provide technical reference for laboratory period verification.

**Key words:** Measurement standards; period verification; Implement

(上接第 46 页)

- [3] JJF 1178—2007, 用于标准铂电阻温度计的固定点装置校准规范[S].

#### 作者简介:

邓艳琴(1966-),女,湖南宁远人,工程师,从事热工计量工作。

### Uncertainty Evaluation of Calibration Result for Second Grade Standard Platinum Resistance Thermometer

DENG Yan-qin

(Jiangsu Electric Power Research Institute Co. Ltd., Nanjing 211103, China)

**Abstract:** In the calibration process of second grade standard platinum resistance thermometer's fixed point, the measure results will be affected by standard equipment, fixed point container and bridge for measuring temperature. This paper analyzes the impacts of these factors on uncertainty evaluation of calibration result. Based on the technical specification of 'Uncertainty Evaluation and Expression of Measuring' published in 1999, a new uncertainty evaluation method is proposed to assess the calibration results of Second Grade Standard Platinum Resistance Thermometer's triple point of water, freezing point of zinc and freezing point of tin.

**Key words:** Second Grade Standard Platinum Resistance Thermometer; Calibration; Uncertainty Evaluation