

# 压力式温度计装置不确定度评定方法的探索

夏向宇

(无锡供电公司, 江苏 无锡 214101)

**摘 要:** 本文以 JJF1059-1999《测量不确定度评定与表示》为依据, 结合实际工作, 用二等标准水银温度计检定压力式温度计(即变压器温度计)装置的检定原理, 阐述了压力式温度计装置不确定度评定的方法和步骤。

**关键词:** 压力式温度计装置; 不确定度评定; 方法

## 0 引言

新颁 JJF1033-2008《计量标准考核规范》对计量标准的新建与复查提出了更高的要求, 为了更规范地开展压力式温度计(即变压器用油温表或变压器温度计)装置的评定, 本文通过实例, 详细阐述了压力式温度计装置测量不确定度评定方法, 以便能够全面、正确地开展压力式温度计装置的测量不确定度评定。

## 1 检定方法和工作原理

采用二等标准水银温度计直接比较法, 检定被测压力式温度计的误差。工作原理图见图 1。



图 1 压力式温度计装置工作原理图

## 2 压力式温度计装置测量不确定度的分析

对测量不确定度进行分析的目的, 是寻找不确定度的来源, 确定不确定度分量。分析时要考虑实际测量过程中有哪些因素会影响结果的不确定度, 从测量方法、测量设备、被测量、测量时的环境条件及测量人员等方面考虑, 要做到不重复、不遗漏。

以检定 1.5 级压力式温度计为例, 根据工作原理图可以看出采用的是直接比较法, 既以二等标准水银温度计与压力式温度计进行直接比较, 通过恒温槽(水槽、油槽及冰点槽)等辅助设备, 实现对

被检压力式温度计的检定。

由原理图可以看出, 所产生的不确定度分量主要有:

- (1) 被检压力式温度计的示值估读引入的标准不确定度分量;
- (2) 二等标准水银温度计的示值估读引入的标准不确定度分量;
- (3) 恒温槽温度波动引入的标准不确定度分量;
- (4) 恒温槽温场不均匀性引入的标准不确定度分量;
- (5) 二等标准水银温度计修正值引入的标准不确定度分量;
- (6) 二等标准水银温度计在使用中不作零点修正所引入的标准不确定度分量。

## 3 标准不确定度分量的评定

按照 JJF1059-1999《测量不确定度评定与表示》, 测量不确定度的评定方法分为 A 类和 B 类评定。用统计的方法进行评定, 即将一系列重复观测的数据转换成标准偏差的过程称之为 A 类评定, 而非统计的方法称之为 B 类评定。A 类评定和 B 类评定只是方法的不同, 这两类分量并不存在本质的区别, 它们对测量不确定度的贡献完全相同。

### 3.1 数学模型

在评定之前必须先确定测量的数学模型, 数学模型是指测量过程中的被测量  $Y$  (即输出量) 与对  $Y$  的测量结果  $y$  会产生不可忽略影响的所有影响(即输入量)  $(X_1, X_2, X_3, \Lambda, X_n)$  之间的函数关系:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \Lambda, X_n)$$

而  $Y$  的估计值为  $y$ , 输入量  $X_i$  的估计值为  $x_i$ , 则有:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \Lambda x_n)$$

对于压力式温度计装置, 其数学模型为:

$$y = t - (t' + A)$$

式中:  $y$  — 压力式温度计在某指定温度的示值误差,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t$  — 压力式温度计在测量时的示值,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t'$  — 二等标准水银温度计的示值,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A$  — 二等标准水银温度计的修正值,  $^{\circ}\text{C}$ 。

### 3.2 方差和灵敏系数

依照公式:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$$

可得方差

$$u_y^2 = c^2(t) \times u^2(t) + c^2(t') \times u^2(t') + c^2(A) \times u^2(A)$$

灵敏系数 由  $y = t - (t' + A)$  得:

$$c(t) = \partial y / \partial t = 1$$

$$c(t') = \partial y / \partial t' = -1$$

$$c(A) = \partial y / \partial A = -1$$

### 3.3 A 类不确定度评定

由测量重复性估算的标准不确定度分量  $u(x_i)$ :

以检定 1.5 级压力式温度计为例, 在重复性条件下进行 10 次测量, 分别在  $0^{\circ}\text{C}$  (冰点槽)、 $50^{\circ}\text{C}$  (水槽) 和  $200^{\circ}\text{C}$  (油槽) 下测量。

所得数据见表 1。

表 1 A 类不确定度评定数据

表号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 $^{\circ}\text{C}$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8
004768 50 $^{\circ}\text{C}$	49.8	49.8	49.8	49.7	49.8	49.9	49.9	49.9	49.8	49.8
200 $^{\circ}\text{C}$	200.2	200.2	200.2	200.2	200.2	200.3	200.3	200.3	200.2	200.2

$$\text{标准差: } S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$0^{\circ}\text{C} \quad s = 0.1033^{\circ}\text{C} \quad (\text{冰点槽})$$

$$50^{\circ}\text{C} \quad s = 0.0632^{\circ}\text{C} \quad (\text{水槽})$$

$$200^{\circ}\text{C} \quad s = 0.0483^{\circ}\text{C} \quad (\text{油槽})$$

实际工作中一般以 2 次测量值的平均值作为测量结果, 于是

$$\text{标准不确定度: } u(t_1) = \frac{s(t_i)}{\sqrt{m}}$$

$$0^{\circ}\text{C} \quad u(t_1) = 0.073^{\circ}\text{C} \quad (\text{冰点槽})$$

$$50^{\circ}\text{C} \quad u(t_1) = 0.045^{\circ}\text{C} \quad (\text{水槽})$$

$$200^{\circ}\text{C} \quad u(t_1) = 0.034^{\circ}\text{C} \quad (\text{油槽})$$

### 3.4 B 类不确定度评定

(1) 被检压力式温度计的示值估读引入的标准不确定度  $u(t_2)$ , 由于压力式温度计的示值估读到其

最小分度值的 1/10, 即  $0.2^{\circ}\text{C}$ , 所引起的误差半宽区间为  $0.2/2=0.1^{\circ}\text{C}$ , 其分布为均匀分布, 包含因子

$k = \sqrt{3}$ , 则标准不确定度分量

$$u(t_2) = 0.1 / \sqrt{3} = 0.058^{\circ}\text{C}$$

(2) 二等标准水银温度计的示值估读引入的标准不确定度  $u(t_1')$ , 由于数值相对很小, 可忽略不计。

(3) 恒温槽温度波动引入的标准不确定度  $u(t_2')$ 。恒温槽温度在读数过程中其最大变化不超过  $0.1^{\circ}\text{C}$  (油槽)、 $0.05^{\circ}\text{C}$  (水槽)、 $0.15^{\circ}\text{C}$  (冰点槽), 其分布为反正弦分布, 包含因子  $k = \sqrt{2}$ , 其标准不确定度为:

$$0^{\circ}\text{C} \quad u(t_2') = \left( \frac{0.15/2}{\sqrt{2}} \right) = 0.05^{\circ}\text{C} \quad (\text{冰点槽})$$

$$50^{\circ}\text{C} \quad u(t_2') = \left( \frac{0.05/2}{\sqrt{2}} \right) = 0.02^{\circ}\text{C} \quad (\text{水槽})$$

$$200^{\circ}\text{C} \quad u(t_2') = \left( \frac{0.1/2}{\sqrt{2}} \right) = 0.04^{\circ}\text{C} \quad (\text{油槽})$$

(4) 恒温槽温场不均匀性引入的标准不确定度  $u(t_3')$ 。恒温槽其温场的最大温差不超过 0.2℃（油槽）、0.1℃（水槽）、0.3℃（冰点槽），其分布为均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，其标准不确定度为：

$$0^{\circ}\text{C} \quad u(t_3') = (\frac{0.3/2}{\sqrt{3}}) = 0.09^{\circ}\text{C} \quad (\text{冰点槽})$$
$$50^{\circ}\text{C} \quad u(t_3') = (\frac{0.1/2}{\sqrt{3}}) = 0.03^{\circ}\text{C} \quad (\text{水槽})$$
$$200^{\circ}\text{C} \quad u(t_3') = (\frac{0.2/2}{\sqrt{3}}) = 0.06^{\circ}\text{C} \quad (\text{油槽})$$

(5) 二等标准水银温度计修正值引入的标准不确定度  $u(A_1)$ ，由于数值相对很小，可忽略不计。

(6) 二等标准水银温度计在使用中不作零点修正所引入的标准不确定度  $u(A_2)$ ，由于数值相对很小，可忽略不计。

4 合成不确定度的评定

标准不确定度 B 类分量见表 2。

表 2 标准不确定度 B 类分量表

序号	不确定度来源	误差限 bj	分布系数 kj	灵敏系数 Cj	Uj=bj/kj
1	被检温度计示值估度 $t_2$	0.1℃	$\sqrt{3}$	1	$\frac{0.1}{\sqrt{3}}$
					$\frac{0.15/2}{\sqrt{2}}$
					$\frac{0.05/2}{\sqrt{2}}$
2	恒温槽温度波动 $t_2'$	0.05/2℃（水槽）	$\sqrt{2}$	-1	$\frac{0.1/2}{\sqrt{2}}$
		0.3/2℃（冰点槽）			$\frac{0.3/2}{\sqrt{3}}$
		0.1/2℃（油槽）			$\frac{0.1/2}{\sqrt{3}}$
3	恒温槽温场不均匀性 $t_3'$	0.1/2℃（水槽）	$\sqrt{3}$	-1	$\frac{0.1/2}{\sqrt{3}}$
		0.2/2℃（油槽）			$\frac{0.2/2}{\sqrt{3}}$
		0.3/2℃（冰点槽）			$\frac{0.3/2}{\sqrt{3}}$

合成不确定度：

$$u = \sqrt{u_1(\varepsilon_{fx})^2 + \sum(u_j)^2}$$
$$u = \sqrt{u^2(t_1) + (c_i u_i)^2}$$
$$u = \sqrt{0.073^2 + 0.058^2 + 0.05^2 + 0.09^2}$$
$$= 0.14^{\circ}\text{C} \quad (\text{冰点槽 } 0^{\circ}\text{C})$$
$$u = \sqrt{0.045^2 + 0.058^2 + 0.02^2 + 0.03^2}$$
$$= 0.08^{\circ}\text{C} \quad (\text{水槽 } 50^{\circ}\text{C})$$
$$u = \sqrt{0.034^2 + 0.058^2 + 0.04^2 + 0.06^2}$$
$$= 0.10^{\circ}\text{C} \quad (\text{油槽 } 200^{\circ}\text{C})$$

5 扩展不确定度的评定

扩展不确定度  $U$  计算式： $U = ku$ （取置信因数  $k = 2$ ）

$$0^{\circ}\text{C} \quad U = 2 \times 0.14 = 0.28^{\circ}\text{C} \quad (\text{冰点槽})$$
$$50^{\circ}\text{C} \quad U = 2 \times 0.08 = 0.16^{\circ}\text{C} \quad (\text{水槽})$$
$$200^{\circ}\text{C} \quad U = 2 \times 0.10 = 0.20^{\circ}\text{C} \quad (\text{油槽})$$

6 结束语

由于此前对压力式温度计装置的不确定度评定一直没有一个相对较为规范的样板，为此本人根据压力式温度计检定规程和测量不确定度评定技术规范的要求，以检定 1.5 级压力式温度计为例，详细阐述了压力式温度计装置测量不确定度评定的方法和步骤，为需要开展该项目评定工作提供一个参考模式，也为类似的热工装置评定提供了一种参考模板。

参考文献：

[1] JJF1033-2008，计量标准考核规范[S].

[2] JJG310-2002，压力式温度计[S].

[3] JJF1059-1999，测量不确定度评定与表示[S].

作者简介：

夏向宇(1963-)，女，江苏苏州人，工程师，从事计量设备检定、修理和标准装置的测试、维护工作。