

# 温度变送器(配热电阻)的不确定度分析

于海 赵斌

(昌吉州回族自治州计量检定所,新疆 昌吉 831100)

摘要: 本文介绍了在常规实验室条件下,使用 fluke 754 过程校验仪校准温度变送器的方法,通过试验测得数据建立测量模型,对其进行了不确定度评定。与传统校准方法相比,使用 fluke 754 过程校验仪校准温度变送器所用配套设备少,减少中间测量环节,操作简便,输出与测量数据可同步显示,更为直观。

关键词: fluke 754; 温度变送器; 测量模型; 校准; 不确定度分析

中图分类号: TM934.1

文献标识码: A

国家标准学科分类代码: 460.4025

DOI: 10.15988/j.cnki.1004-6941.2016.03.046

## Temperature Transmitter (with Thermal Resistance) Uncertainty Analysis

Yu Hai Zhao Bin

带传感器的变送器通常由两部分组成:传感器和信号转换器。传感器主要是热电偶或热电阻;信号转换器主要由测量单元、信号处理和转换单元组成(由于工业用热电阻和热电偶分度表是标准化的,因此信号转换器作为独立产品时也称为变送器),有些变送器增加了显示单元,有些还具有现场总线功能。变送器如果由两个用来测量温差的传感器组成,输出信号与温差之间有一给定的连续函数关系,故称为温度变送器。变送器输出信号与温度变量之间有一给定的连续函数关系(通常为线性函数),早期生产的变送器其输出信号与温度传感器的电阻值(或电压值)之间呈线性函数关系。标准化输出信号主要为(0~20)mA和(4~20)mA或(1~5)V的直流电信号。目前国内外广泛地使用集成温度传感器和相应的组件组成温度变送器。集成温度变送器也开始投入使用。这些温度变送器在整个温度探测设备中处于核心的地位,其采集数据是否可靠决定着产品质量的好坏,因此开展温度变送器的不确定分析十分必要。

### 1 温度变送器工作原理及配备的标准器

#### 1.1 温度变送器工作原理

热电偶或热电阻传感器将被测温度转变成电信号,再将该信号送入温度变送器的输入网络,该网络包含调零和热电偶补偿等相关电路。经过调零后的信号输入到运算放大器进行信号扩大,扩大的信号一路经V/I转换器计算处理后以4~20mA电流信号输出;另一路经A/D转换器处理后到表头显示。温度变送器的线性化电路有两种,均使用反馈方法。对热电阻传感器,用正反馈方法

校正,对热电偶传感器,用多波段折线逼近法进行校正。温度变送器有两种显示方法。LCD显示和LED显示。前者是采用两线制方法输出,后者使用的是三线制方法输出。

#### 1.2 配备的标准器

输入标准器为ZX74直流电阻箱,输出测量标准器为fluke 754过程校验仪。

### 2 实验室检测原理及方法

#### 2.1 754过程校验仪主要技术指标

测量范围:(0~22)mA

最大允许误差: $\pm(0.02\% \text{ 读数} + 0.003 \text{ mA})$

ZX74直流电阻箱主要技术指标,如表1所示

表1 ZX74直流电阻箱主要技术参数

RTD 类型	测量(输出)信号范围 $t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	最大允许误差 $\Delta$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Cu50	$-50 \leq t < 0$	$\pm 0.02$
	$0 \leq t < 100$	$\pm 0.03$
	$100 \leq t < 150$	$\pm 0.04$
Pt100	$-200 \leq t < -50$	$\pm 0.01$
	$-50 \leq t < 0$	$\pm 0.02$
	$0 \leq t < 200$	$\pm 0.04$
	$200 \leq t < 400$	$\pm 0.06$
	$400 \leq t < 600$	$\pm 0.08$
	$600 \leq t < 800$	$\pm 0.12$

#### 2.2 测量对象

配热电阻温度变送器(简称温变)标准测量范围为(-200~800) $^{\circ}\text{C}$ ,分别配对不同类型的热电阻,测量范围多种多样;仪表的允许误差通常以输出量程的 $\alpha\%$ 表示,其中 $\alpha$ 分0.1,0.2,0.25,0.5,1.0这几种;输出范围主要有(0~10)mA和(4~20)mA,其中(4~20)mA最常见。

本次评定对象为 Pt100 分度、测量范围为 (0 ~ 200) °C 输出范围为 (4 ~ 20) mA ,最大允许误差 ±0.2% (即 ±0.032 mA)。

### 2.3 测量方法

(1) 依照 JJF 1183 - 2007 《温度变送器校准规范》的校准方法,在测量范围内选择 5 个温度测量点,包括上限值和下限值正在内。均等分布后各测量点依次为 0, 25, 50, 75, 100( °C)。

(2) 检查仪表的零点和满量程输出是否符合要求,否则应对仪表的零点和满度反复进行调整。按上行程和下行程方向,分别给变送器输入各被检点所对应的电量值,读取相应实际输出值,然后依次完成同样操作构成三个循环,取误差最大值作为基本误差。

(3) 热电阻输入的温变测量接线示意图如图 1 所示(图 1 为同时具有电压和电流输出的温度变送器的接线,校准时可根据仪表的实际输出情况而定),仪表通电预热 5 分钟。

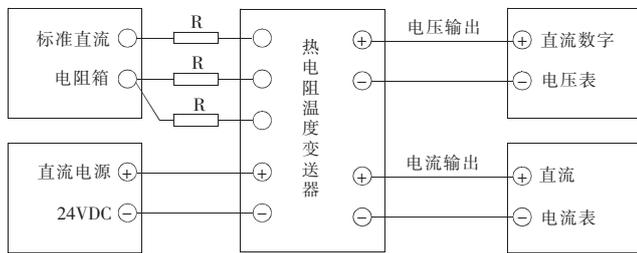


图 1 热电阻输入的温变测量接线示意图

### 3 测量模型的提出以及不确定度分析

测量误差的测量模型:

$$\Delta I_t = I_d - [(I_m / T_m) t_s + I_0] \quad (1)$$

式中:  $\Delta I_t$ —温变被校点在  $t$  时的测量误差;

$I_d$ —温变被校点实际输出电流的平均值;

$I_m$ —温变的温度输出量程;

$t_m$ —温变的温度输入量程;

$t_s$ —温变输入温度值;

$I_0$ —温变的输出起始电流值。

#### 3.1 输入量 $I_d$ 的标准不确定度 $u(I_d)$ 的评定

输入量  $I_d$  为温变在被校点的实际输出电流值,由 754 过程校验仪测得,影响  $u(I_d)$  的分量有:温变输出电流测量重复性导致的标准不确定度  $u(I_{d1})$  和 754 过程校验仪测量误差导致的标准不确定度  $u(I_{d2})$ 。

#### 3.1.1 输出电流测量重复性导致的标准不确定度 $u(I_{d1})$

$u(I_{d1})$  可以通过连续测量得到的测量列,采取 A 类方法进行评定。

在被校点为输出量程的 25% 处(8mA)重复测量 10 次,得到测量列 8.008, 8.006, 8.005, 8.007, 8.002, 8.004, 8.008, 8.006, 8.005, 8.007 mA。

平均值  $\bar{I}_d = 8.0053$  mA

单次测量的实验标准偏差为

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (I_i - \bar{I}_d)^2 / (10 - 1)} = 0.0009 \text{ mA}$$

随机选取 3 台相同型号温变分别在量程的 25%、50%、75% 附近,在重复性条件下连续测量 10 次数据,得到 9 组测量列。每组测量列分别按照上述方法计算,得到单次实验标准偏差如表 2 所示。

表 2 9 组实验标准偏差统计

测量点	25%	50%	75%
$S_j$ (mA)	0.0009	0.0008	0.0009
	0.0007	0.0006	0.0006
	0.0005	0.0006	0.0007

$$\text{合并样本标准偏差 } S_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_j^2} = 0.0007 \text{ mA}$$

由于  $\sigma(S_i) \leq S_p / 4$ , 因此可以用  $S_p$  代替所有同类仪表的实验标准偏差。

实际测量结果以 6 次测量平均值表示,则标准不确定度

$$u(I_{d1}) = \frac{S_p}{\sqrt{6}} = 0.0002 \text{ mA}$$

$$\text{自由度为 } v_1 = \sum_{j=1}^m v_{1j} = 9 \times (10 - 1) = 81$$

#### 3.1.2 754 过程校验仪测量误差导致的标准不确定度 $u(I_{d2})$

$u(I_{d2})$  可以采用 B 类方法进行评定。754 过程校验仪的相对准确度  $\Delta = \pm (100\text{ppmR} + 20\text{ppmFS})$ ,按均匀分布,包含因子  $k = \sqrt{3}$ ,可靠性 90% 则

$$\text{标准不确定度 } u(I_{d2}) = \Delta / \sqrt{3} \quad (2)$$

自由度为  $v_2 = 50$

#### 3.1.3 输入量 $I_d$ 的标准不确定度 $u(I_d)$

由于  $u(I_{d1})$  和  $u(I_{d2})$  彼此独立,因此

$$u(I_d) = \sqrt{u^2(I_{d1}) + u^2(I_{d2})} = 1.1 \mu\text{A}$$

$$v = \frac{u^4(I_d)}{\frac{u^4(I_{d1})}{v_1} + \frac{u^4(I_{d2})}{v_2}} \quad (3)$$

5 个温度测点输入量  $I_d$  的标准不确定度  $u(I_d)$  和自由度分别是

$$u(I_d): 0.0009 \quad 0.0011 \quad 0.0013 \quad 0.0015 \quad 0.0012$$

$$v: 50 \sim 70 \text{ 取整为 } 50。$$

#### 3.2 输入量 $t_s$ 的标准不确定度 $u(t_s)$ 的评定

$t_s$  为温变输入温度值,影响  $u(t_s)$  的评定来源主要是标准器的实质误差,环境温、湿度以及连接导线的影响可以忽略不计。

用 ZX74 直流电阻箱作为标准器,  $u(t_s)$  可以采用 B 类方法进行评定,其  $u(t_s)$  如表 3 所示。

表3  $u(t_s)$

RTD 类型	测量(输出) 信号范围 $t$ (°C)	$u(t_s) \Delta$ (°C)
Cu50	$-50 \leq t < 0$	0.01
	$0 \leq t < 100$	0.02
	$100 \leq t < 150$	0.02
Pt100	$-200 \leq t < -50$	0.01
	$-50 \leq t < 0$	0.02
	$0 \leq t < 200$	0.02
	$200 \leq t < 400$	0.03
	$400 \leq t < 600$	0.05
	$600 \leq t < 800$	0.03

根据直流电阻箱输出信号的大小和热电阻类型,查表1的 $\Delta$ 。按均匀分布考虑,则 $u(t_s) = |\Delta| / \sqrt{3}$ 。见表3。ZX74 直流电阻箱检定结果的可靠性为95%,自由度按保守估计取100。

该实验所选仪表各测点的 $u(t_s)$ 分别为: $u(0) = u(25) = u(50) = u(75) = u(100) = 0.01^\circ\text{C}$

4 标准不确定度统计表(见表4)

表4 标准不确定度统计表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	$C_i$	$ C_i  u(x_i)$ (mA)	自由度 $v_i$
$u(I_d)$			1	0.0009	50
				0.0012	
				0.0017	
				0.0019	
$u(I_{d1})$	测量重复性	0.005 mA		0.0021	
				0.0025	
$u(I_{d2})$	754 示值误差	公式(2)			
$u(t_s)$	ZX74 示值误差	见表3	-0.016(mA/°C)	0.0032	100

5 合成标准不确定度分析评定

5.1 灵敏系数

$$\Delta I_t = I_d - [(I_m / T_m) t_s + I_0]$$

$$\text{灵敏系数 } c_1 = \frac{\partial \Delta I_t}{\partial I_d}; c_2 = \frac{\partial \Delta I_t}{\partial t} = -\frac{I_m}{t_m}$$

5.2 合成标准不确定度的分析

输入量 $I_d$ 和 $t_s$ 彼此相互独立,所以合成标准不确定度可按下式得到:

(上接第97页)

不应超过 $\pm 0.002\text{rad}$  取矩形分布,分布因子 $b = 0.6$ ,受检点 $L = 50\text{mm}$ 。

$$u(\theta) = L \cdot \frac{\theta^2}{2} \cdot b = 50\text{mm} \times 0.000002 \times 0.6 = 0.06\mu\text{m}$$

4 合成标准不确定度

$$u_c^2 = u^2(L_d) + u^2(L_s) + u^2(\delta_\alpha) + u^2(\delta_t) + u^2(\theta)$$

$$u_c^2 = 1.2^2 + 1.614^2 + 0.34^2 + 0.32^2 + 0.06^2$$

$$u_c = 2.07\mu\text{m}$$

5 扩展不确定度

假定满足正态分布,置信水平为95%,则 $k = 2$

$$U = \sqrt{2}u_c \times 2 = 5.85\mu\text{m}$$

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2(I_d) + c_2^2 u_2^2(t_s)} \quad (4)$$

$u_c$ 的数值大小可以根据被测仪表的规格,查表3带入上式计算得到。本例仪表各测量点 $u_c$ 依次为0.0032,0.00384,0.0036,0.0039,0.0043(mA)。

5.3 扩展不确定度的分析

取置信概率 $P = 95\%$  按有效自由度 $v_{eff}$ 查t分布表得到 $K_{95} = t_{95}(100) = 1.98$  扩展不确定度 $U_{95} = K_{95} \cdot u_c = 1.98 u_c$

6 不确定度报告

此次试验中所用标准器作为配装热电偶的温变的校准源,仪表输出误差测量结果不确定度的报告以按表5的方式给出。

表5 温度变送器(配热电阻)测量不确定度报告

测量点 (°C)	输出误差 (mA)	扩展不确定度 $U_{95}$ (mA)	包含因子 $K_{95}$	自由度 $v$
0	0.010	0.007	1.98	100
25	0.010	0.007	1.98	100
50	-0.011	0.008	1.98	100
75	-0.012	0.008	1.98	100
100	-0.013	0.008	1.98	100

扩展不确定度 $U_{95}$ 不大于仪表最大允许误差的1/3。

7 结论

温度变送器校准规范已更新为JJF 1183 - 2007《温度变送器校准规范》,因此利用原来的规范JJG829 - 1993《电动温度变送器检定规程》进行校准已不合时宜。本文在新规程的基础上开展不确定度评定,可为其他类型温度变送器的不确定度评定提供一定参考。

参考文献

- [1] JJF1183 - 2007《温度变送器校准规范》[S].
- [2] 施昌彦. 测量不确定度评定与表示指南. 中国计量出版社,2005.

作者简介:于海,男,高级工程师。工作单位:昌吉州回族自治州计量检定所。通讯地址:831100 昌吉市北京北路102号昌吉州质监局计量所。

赵斌,昌吉州回族自治州计量检定所(昌吉831100)。

表2 大量程百分表测量不确定度一览表

不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度分量来源	不确定度 $u_i$
$u_1$	测量重复性引入的不确定度分量 $u(L_d)$	1.614 $\mu\text{m}$
$u_2$	数显式指示表检定仪示值引起的不确定度分量 $u(L_s)$	1.2 $\mu\text{m}$
$u_3$	指示表和检定仪的温度差引起的不确定度 $u(\delta_t)$	0.34 $\mu\text{m}$
$u_4$	指示表和检定仪的热膨胀系数差值引起的不确定度 $u(\delta_\alpha)$	0.32 $\mu\text{m}$
$u_5$	大量程百分表测杆轴线和检定仪轴线的夹角引入的不确定度 $u(\theta)$	0.06 $\mu\text{m}$
$u_c$	/	2.07 $\mu\text{m}$
$U$	/	5.85 $\mu\text{m}$

作者简介:陈炼,女,工程师。工作单位:东华计量测试研究院,通讯地址:330029 江西省南昌市南池路229号。