

热电偶配用补偿导线测温的 误差分析及其实验研究

查美生

清华大学核能技术设计研究院 北京市 100084

【摘要】 本文根据热电偶配用补偿导线的测温原理,进行了测温误差分析,给出了镍铬-镍硅(铝)热电偶配用铜-康铜补偿线的测温误差修正值,并经实验验证。

叙词: 温度测量 误差分析和修正 热电偶和补偿导线

The Error Analysis and Correction for Temperature Measurement of a Thermocouple with Compensation Lead and Experimental Study

Zha Meisheng

Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084

Abstract: On the basis of the principle of temperature with compensation lead, this paper presents the error analysis and correction method for temperature measurement of a thermocouple with compensation lead. The correction temperature value of the type of k(NiCr - NiSi) thermocouple with copper - constantan lead was presented. It was tested by experiment.

Key Words: Temperature Measurement, Error Analysis and Correction, Thermocouple and Compensation Lead.

一、引言

热电偶配用补偿导线测量温度十分普遍,有关的使用手册中规定补偿导线的使用温度范围是 0~100℃ 或 0~150℃。大多数用户误认为,只要使用温度没有超值,测温就是准确的,实际并非如此,例如,某电厂使用镍铬-镍硅配用补偿导线测量主蒸汽的温度,由于热电偶偶丝与补偿导线连结处的温度高达 150℃,以致产生很大的温度测量误差,当时也没有意识到,结果发生了严重的事故,造成了一定的损失,事后查明原因是,连结点的温度太高。热电偶配用补偿线的原理表明,连结点的温度的高低直接影响着温度

测量误差的大小,实际使用时,要把连接点放在合适的温度处,或根据连结点的温度进行误差修正。

本文运用热电偶配用补偿导线测温原理,分析了测温误差,提出了误差修正的方法,给出了镍铬-镍硅热电偶配用铜-康铜作补偿线的测温误差修正值,并经实验研究,验证了本文的分析结果。

二、热电偶配用补偿导线 测量温度的原理

热电偶与补偿导线的连接方式如图 1 所示,图中 A、B 为热电偶偶丝, A'B' 为补偿导线,根据热电偶连接导线定律,回路总的热电

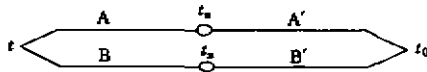


图1 热电偶和补偿导线接线图

势为： $E = E_{AB}(t, t_n) + A_{A'B'}(t_n, t_0)$ (1)

式中 t_n ——偶丝和补偿导线连结点的温度在某一温度范围内，下式近似成立：

$$E_{AB}(t_n, t_0) = A_{A'B'}(t_n, t_0) \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式得：

$$\begin{aligned} E &= E_{AB}(t, t_n) + A_{AB}(t_n, t_0) \\ E &= E_{AB}(t, t_0) \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式就是热电偶使用补偿导线的测温原理，公式说明，使用补偿导线后，相当于把热电偶的参比端移到温度 t_0 处，另外，(3)式成立的条件是，在某一温度 t_n 时， $E_{A'B'}(t_n, t_0) = A_{AB}(t_n, t_0)$ ，或者在 t_n 的某一范围内， $E_{A'B'}(t_n, t_0) \approx E_{AB}(t_n, t_0)$ ，此时会引入测温误差。

三、热电偶配用补偿导线测温误差分析

对于同一介质温度 t ，使用热电偶和同种偶丝材料作延长线，以及热电偶和别的金属丝作补偿导线这两种测温体系来测定，连结点的温度为 t_n ，测量简图如图2所示，这两种测量体系所测得的热电势分别为：

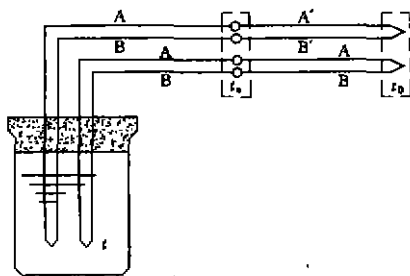


图2 测量简图

$$E_{ABBA}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_n) + E_{AB}(t_n, t_0) \quad (4)$$

$$E_{ABB'A'}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_n) + E_{A'B'}(t_n, t_0) \quad (5)$$

$$\text{令 } \Delta E = E_{ABBA}(t, t_0) - E_{ABB'A'}(t, t_0) \quad (6)$$

将(4)和(5)式代入(6)式得：

$$\begin{aligned} \Delta E &= [E_{AB}(t, t_n) - E_{AB}(t, t_n)] + \\ & \quad [E_{AB}(t_n, t_0) - E_{A'B'}(t_n, t_0)] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\Delta E = E_{AB}(t_n, t_0) - E_{A'B'}(t_n, t_0)$$

(7)式说明，使用补偿导线后，两种测温体系测得的总的热电偶差值为在温差 $t_n - t_0$ 下，热电偶偶丝和补偿导线的热电势之差。这个差值便是使用补偿导线后引入的误差。(7)式还说明， ΔE 是 t_n 和 t_0 的函数，在 t_0 不变时， ΔE 只与 t_n 有关，也就是说，使用补偿导线引入的测温误差与偶丝和补偿导线连结点处的温度 t_n 有关，在知道了热电偶材料、补偿导线材料和 t_n 后，这个测温误差是可以修正的。

表1是镍铬-镍硅(铝)热电偶和补偿导线铜-康铜 $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ， $t_n = 0 \sim 200^\circ\text{C}$ 时的热电势及它们之间的差值。从表1中可以清楚地看出，在 0°C 和 40°C 时，它们的热电势相等，即 $t_n = 40^\circ\text{C}$ ，使用补偿导线测量温度与使用热电偶的测量值相等，不存在测温偏差。

表1 镍铬-镍硅(铝)和铜-康铜热电偶在 $0 \sim 200^\circ\text{C}$ 时的热电势值

温度 ($^\circ\text{C}$)	镍铬-镍硅(铝) 热电势 (mV)	铜-康铜 热电势 (mV)	差值 (mV)
0	0	0	0
20	0.789	0.789	0.009
40	1.611	1.611	0
80	3.266	3.357	-0.091
100	4.095	4.277	-0.182
150	6.137	6.702	-0.565
200	8.137	9.286	-1.149

四、热电偶配用补偿导线 测量温度误差修正

由(7)式可知，测温误差引入的根本原因是，由于热电偶和补偿导线在 $t_n - t_0$ 下的热电势不同造成的，即由于 $\Delta E \neq 0$ 所造成的。但是进行测温误差修正时，不能简单地把 ΔE 的 mV 值直接转化成温度 $^\circ\text{C}$ ，原因是热电偶的 mV- $^\circ\text{C}$ 关系不是线性的。正确的修正方法见图3所示的计算方法，为叙述方便起见，计算方法中热电偶具体化为镍铬-镍硅(铝)

(K 型热电偶), 补偿导线是铜-康铜(T 型热电偶)。

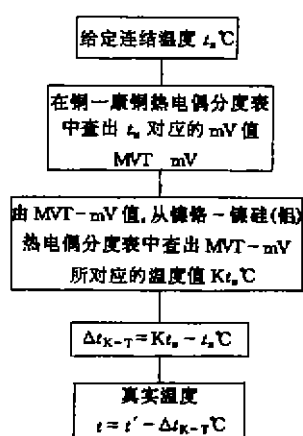


图 3 测温误差修正计算方法简图

对于别的型号的热电偶和配用的补偿线的测温误差修正计算方法是一样的, 只要将不同型号的热电偶和补偿导线代入即可。

图 3 所示的测温误差修正计算方法是精确的热电偶配用补偿导线测温误差修正方法, 其本质是公式(7), 考虑到 $mV - ^\circ C$ 关系是非线性的, 直接引入 t_n 温度后, 即确定了 ΔE 值所在温度区间, 直接取用热电偶的分度值, 便能精确进行测温误差修正值的计算。

表 2 是根据图 3 所示的计算方法得到的 K 型热电偶配用 T 型热电偶作补偿线, t_n 在 $-50 \sim 150^\circ C$ 范围内部分温度时的修正值。

表 2 测温误差修正表

$t_n / ^\circ C$	$\Delta t_{K-T} / ^\circ C$	$t_n / ^\circ C$	$\Delta t_{K-T} / ^\circ C$
-50.00	1.94	70.00	1.39
-30.00	0.92	80.00	2.20
-10.00	0.23	90	3.19
0.00	0.00	100.00	4.39
10.00	-0.15	110.00	5.85
20.00	-0.22	120.00	7.54
30.00	-0.17	130.00	9.48
40.00	0.00	140.00	11.66
50.00	0.31	150.00	14.08
60.00	0.76		

应用举例: 用镍铬-镍硅(铝)热电偶、配

用铜-康铜作补偿导线测量某一介质温度, 测量指示值为 $250^\circ C$, 连结点温度为 $100^\circ C$, 求介质的实际温度值。

解: 由 $t_n = 100^\circ C$ 在铜-康铜热电偶分度表中查得 $MVT = 4.277mV$, 由 $MVT = 4.277mV$ 在镍铬-镍硅(铝)热电偶分度表中查得 $Kt_n = 104.39^\circ C$

$$\therefore \Delta t_{K-T} = 104.39^\circ C - 100.00 = 4.39^\circ C$$

$$\therefore \text{介质实际温度} = 250 - 4.39 = 245.61^\circ C$$

五、实验研究

1. 实验装置简述

实验的目的是, 选择有代表性的温度点, 验证上述分析, 实验选用常用的镍铬-镍硅(铝)热电偶, 配用铜-康铜作补偿线, 标准温度用精度为 $0.10^\circ C$ 和 $0.05^\circ C$ 的标准水银温度计, K-T 体系测温采用输力强公司的 IMP 专用温度采集板, 误差 $< 0.3^\circ C$, 实验装置示意图见图 4 所示。

2. 实验步骤

(1) 在水沸点下, 校验作为补偿的铜-康铜热电偶。

(2) 在水沸点下, 校验镍铬-镍铝热电偶。

(3) 按图 4 所示装置和连结关系, 完成实验装置和信号连接。

(4) 升温、保温、使广口保温瓶中水保持沸腾状态。

(5) 实验, 记录下水银温度计 1 和 2 温度, 同时由 PC 机通过 IMP 采集 K-T 体系的测量值 t 。

(6) 重复实验。

3. 实验结果

为了确保实验精度, 实验在沸水条件下进行, 即连结温度 t_n 等于水沸点 ($99.50^\circ C$), 介质 t 温度等于水沸点 ($99.50^\circ C$), 此情况下, 在整个实验过程中, t 和 t_n 温度恒定, 人工读数和计算机读数都很精确。表 3 是实验结果及与根据热电偶分度表所得的温度修正值的比较。

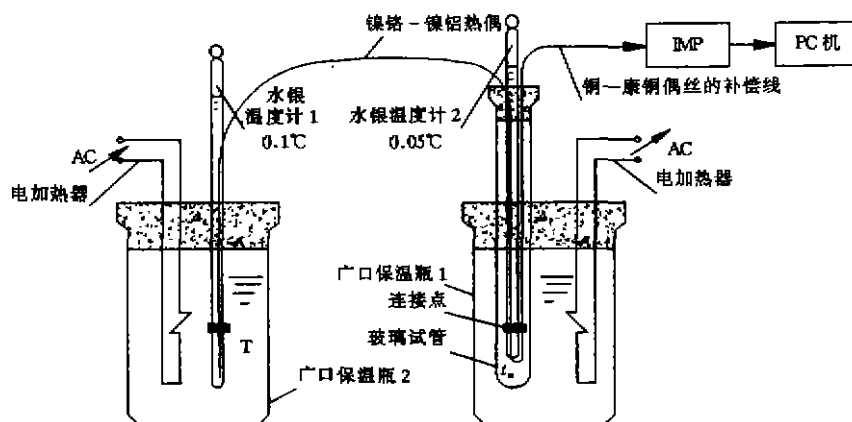


图4 实验装置示意图

表3 实验结果及与根据热电动势的温度误差修正值的比较

$t, ^\circ\text{C}$	实验结果温度误差修正值 $^\circ\text{C}$	根据分度表的误差修正值 $^\circ\text{C}$	偏差 $^\circ\text{C}$
99.40	4.30	4.32	-0.02
99.55	4.38	4.34	+0.04
99.50	4.32	4.33	-0.01
99.50	4.37	4.33	+0.04
99.50	4.32	4.34	-0.02
99.50	4.33	4.33	0

4. 实验测量误差分析

根据图4所示的测量系统,测量误差主要包括水银温度计误差 Δt_1 、 Δt_2 和IMP测量误差 Δt_3 ,由于实验用的镍铬-镍铝和铜-康铜热电偶现场经水银温度计检验,所以此项误差 Δt_4 和 Δt_5 取为相应的水银温度计误差 Δt_1 和 Δt_2 值。

根据 $\Delta t_1 = 0.05^\circ\text{C}$

$\Delta t_2 = 0.1^\circ\text{C}$

$\Delta t_3 = 0.3^\circ\text{C}$

$\Delta t_4 = 0.05^\circ\text{C}$

$$\Delta t_5 = 0.10^\circ\text{C}$$

则测量系统的最大误差为:

$$\Delta = \pm \sqrt{0.05^2 + 0.1^2 + 0.3^2 + 0.05^2 + 0.1^2} \\ = \pm 0.34^\circ\text{C}$$

六、结束语

使用镍铬-镍硅(铝)配用铜-康铜补偿导线测温,连结点的温度在 $0 \sim 50^\circ\text{C}$ 之间较合适,如果 t_n 温度值较低,或较高,需要根据测量精度要求,进行测温误差修正,以免由于测温误差过大而带来不良后果。

对于其它型号的热电偶及配用的补偿导线,用户可根据本文提出的修出方法进行测温误差的修正。

参考文献

- 1 吕崇德等.热工参数测量与数据处理.北京:清华大学出版社,1990.

(收稿日期:1997年9月26日;

修改稿日期:1998年3月10日)

下期要目预告

- 齿轮传动系统动态参数复合传感原理
- 用电化学方法测量磷化氢浓度的原理及应用
- 一种表面可动微结构的释放新工艺
- 激光衍射 CCD 测径系统
- 便携式活动量测量仪的设计
- 一种单片机电源监测和看门狗保护电路及方法
- 国产温敏 Z-元件的特性与分析
- 刀具切削状态的电机电流监测新方法