

比较法定标温差电偶实验不确定度评定

王秀花

(昆明理工大学 理学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 温差电偶是测量温度的有效工具, 在实践中广泛应用, 但温差电偶在使用前须进行定标, 确定温差电动势与温度的对应关系, 即测定温差电偶常数 α , 然后才能用来测量温度. 用实验测定温差电偶常数 α , 称为温差电偶的定标. 文章介绍了比较法定标温差电偶实验的原理及过程, 对比较法定标温差电偶实验的不确定度进行了评定, 给出了实验测量结果的不确定度.

关键词: 温差电偶; 定标; 不确定度评定

中图分类号: O4.33 文献标识码: A 文章编号: 1007- 855X(2003) 04- 0167- 03

Evaluation of the Uncertainty for Thermocouple Calibrating Experiment

WANG Xiuhua

(Faculty of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The thermocouple is very effective in measuring the temperature and widely used in practice. Before being used, the thermocouple should be strictly calibrated to determine the relation between the electromotive force and temperature. The experiment for determining thermocouple constant α is called thermocouple calibration. The principle and the process of the thermocouple calibrating experiment are introduced. And the uncertainty of the experiment results is obtained by evaluating the uncertainty for the thermocouple calibrating experiment.

Key words: thermocouple; calibration; evaluation of uncertainty

0 引言

温差电偶是一种测量温度的有效工具, 具有结构简单、使用方便, 测量范围宽, 灵敏度和准确度高(可精确到 10^{-3}°C), 热容量小、对温度变化响应快等优点, 广泛应用于实时测温及监控系统.

温差电偶的测温范围取决于制作温差电偶的材料, 常用的有铂铑—铂热电偶、铁—康铜热电偶、铜—康铜热电偶.

1 温差电偶的测温原理

温差电偶由 A, B 两种金属材料焊接而成, 如图 1 所示. 当两接头的温度不同时, 回路中就产生电动势, 即温差电动势, 其大小取决于构成温差电偶的材料和两端的温度差. 当制作电偶的材料确定后, 温差电动势的大小只决定于两个接触点的温度差, 可表示为

$$E = \alpha(t - t_0) + \frac{1}{2}\beta(t - t_0)^2 + \dots$$

式中 α, β 是只与金属材料性质有关的常量, 在温差 $(t - t_0)$ 不太大时, 可取一级近似, 即

$$E = \alpha(t - t_0)$$

式中 α 为电偶常数, t_0 为低温端温度, t 为高温端温度.

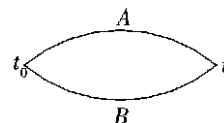


图 1 温差电偶

收稿日期: 2002- 12- 27.

作者简介: 王秀花(1971.6~), 女, 硕士, 讲师; 主要研究方向: 基础物理教学. E-mail: yaojianguo1@sina.com

当低温端温度 t_0 保持恒定时, 高温端温度 t 与温差电动势 E 有一一对应关系, 故温差电偶可用于测量温度. 但温差电偶在使用前须进行定标, 确定温差电动势与温度的对应关系, 即测定温差电偶常数 α , 然后才能用来测量温度.

2 比较法定标温差电偶实验

用实验测定温差电动势与温度的关系曲线, 即测定电偶常数 α , 称为温差电偶的定标. 比较法定标温差电偶实验是利用标准测温仪器(如温度计或已校准过的热电偶)与未知温差电偶测定同一温度, 进而得出电动势与温度的对应关系.

本实验对铜-康铜温差电偶进行定标, 实验装置见图2.

将低温端置于冰水混合物中, 高温端置于电热杯热水中, 用水银温度计(最小分度值 0.1°C) 测量温度, 用 UJ-31 型电位差计测出相应的温差电动势, 测量结果见表1.

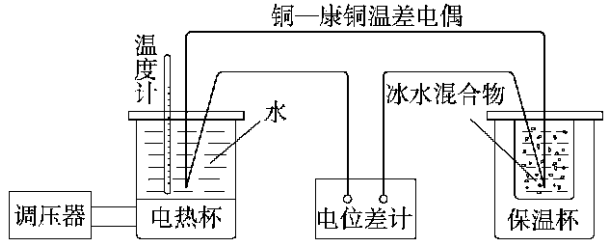


图2 温差电偶定标实验装置

表1 $E(t)$ 测量数据表

$t/^\circ\text{C}$	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00
E/mV	0.9401	1.1376	1.3411	1.5360	1.7396	1.9401	2.1381	2.3307	2.5283	2.7386	2.9301	3.1360

本文采用逐差法处理数据, 把测量数据分为两组进行计算, A 组为 E_1, E_2, \dots, E_6 , B 组为 E_7, E_8, \dots, E_{12} , 数据计算结果见表2.

表2 数据计算结果表

$t_A/^\circ\text{C}$	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00
E_A/mV	0.9401	1.1376	1.3411	1.5360	1.7396	1.9401
$t_B/^\circ\text{C}$	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00
E_B/mV	2.1381	2.3307	2.5283	2.7386	2.9301	3.1360
$\Delta t = t_B - t_A/^\circ\text{C}$	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
$\Delta E = E_B - E_A/\text{mV}$	1.1980	1.1931	1.1872	1.2026	1.1905	1.1959
$\alpha = \Delta E / \Delta t / \text{mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	0.03993	0.03977	0.03957	0.04009	0.03968	0.03986
$\bar{\alpha} / \text{mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	0.03982					

3 测量结果的不确定度评定

3.1 温差电动势 ΔE 的不确定度

A 类不确定度分量为

$$U_A(\overline{\Delta E}) = S(\Delta E_i) / \sqrt{n} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \overline{\Delta E})^2} / \sqrt{n} = 2.2 \times 10^{-3} (\text{mV})$$

根据国家有关规定, 对于准确度等级指数为 a 的电位差计, 在规定的参考使用条件下, 其基本允许误差限为

$$\Delta = \frac{a}{100} \left(\frac{U_N}{10} + U_X \right)$$

在实验中, 我们忽略偏离参考条件引起的附加误差, 取基本误差限为电位差计测量的 B 类不确定度, 即

$$U_B(\Delta E) = \frac{a}{100} \left(U_X + \frac{U_N}{10} \right)$$

式中 U_X 为测量值, U_N 为基准值, 一般规定 U_N 为所使用量程内最大的 10 的整数幂. 本实验中, 我们使

用的是UJ-31型电位差计,等级指数 $a = 0.05$,所使用的量程为17.1 mV,分度值为 $1\mu\text{V}$,游标可指示到 $0.1\mu\text{V}$,故取 $U_N = 10$,所以

$$U_B(\Delta E) = 1.1 \times 10^{-3}(\text{mV})$$

温差电动势 ΔE 的合成不确定度

$$U_c(\Delta E) = \sqrt{U_A^2(\Delta E) + U_B^2(\Delta E)} = 2.5 \times 10^{-3}(\text{mV})$$

3.2 温度 t 的不确定度

温度 t 的不确定度主要由B类不确定度分量决定.水银温度计的最小分度为 0.1°C ,以此作为仪器误差限,则

$$U_B(\Delta t) = \frac{1}{\sqrt{3}} \Delta t = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0.1 = 5.8 \times 10^{-2}(\text{ }^\circ\text{C})$$

$$U_c(\Delta t) = U_B(\Delta t) = 5.8 \times 10^{-2}(\text{ }^\circ\text{C})$$

3.3 电偶常数 α 的合成不确定度 $U_c(\alpha)$

$$U_c^2(\alpha) = \left[\frac{\partial \alpha}{\partial (\Delta E)} \right]^2 U_c^2(\Delta E) + \left[\frac{\partial \alpha}{\partial (\Delta t)} \right]^2 U_c^2(\Delta t) = \frac{1}{(\Delta t)^2} U_c^2(\Delta E) + \frac{(\Delta E)^2}{(\Delta t)^4} U_c^2(\Delta t)$$

$$U_c(\alpha) = \sqrt{\frac{U_c^2(\Delta E)}{(\Delta t)^2} + \frac{(\Delta E)^2}{(\Delta t)^4} U_c^2(\Delta t)} = 1.1 \times 10^{-4}(\text{mV}/^\circ\text{C})$$

3.4 电偶常数 α 的扩展不确定度

扩展不确定度 $U(\alpha)$ 由合成不确定度 $U_c(\alpha)$ 乘以包含因子 K 得到,取包含因子 $K = 2$,则

$$U(\alpha) = K U_c(\alpha) = 2 \times 1.1 \times 10^{-4} = 2.2 \times 10^{-4}(\text{mV}/^\circ\text{C})$$

因此,本实验测量结果表示为

$$\alpha = \bar{\alpha} \pm U(\alpha) = 0.03982 \pm 0.00022(\text{mV}/^\circ\text{C})$$

4 结束语

从不确定度的评定过程可看出,电偶常数 α 的不确定度主要是由温差电动势 E 和温度 t 决定的,与电位差计所使用的量程和水银温度计的最小分度值密切相关.在本实验中,若电位差计使用的测量范围选 $0 \sim 171\text{ mV}$ 档,所用水银温度计的最小分度为 1°C ,则电偶常数 α 的扩展不确定度将达到 $1.2 \times 10^{-3}\text{ mV}/^\circ\text{C}$.

温差电偶的定标,关系到温差电偶测出的温度是否可靠与精确,无论是制造新热电偶时,或是已使用一段时间的旧热电偶,均需进行严格的定标方可使用.因此,在进行温差电偶定标时,应根据测量结果的精度要求,选择适当的仪器.

参考文献:

- [1] 朱鹤年.物理实验研究[M].北京:清华大学出版社,1994.165.
- [2] 国家质量技术监督局计量司组.测量不确定度评定与表示指南[M].北京:中国计量出版社,2000.27.
- [3] 王惠棣,任隆良,谷晋骐,郑永星.物理实验[M].天津:天津大学出版社,1997.259.
- [4] 陶亚琴主编.大学物理实验[M].昆明:云南科技出版社,2002.104.
- [5] 黄仁华,陈永安,等.杨氏模量实验测量结果的不确定度评定[J].昆明理工大学学报(理工版),2001,26(2):111.