

浙江大学



《生物医学传感与检测》实验报告

项目名称: 热电偶传感器的性能测试

姓 名:

学 号:

学 院: 生物医学工程与仪器科学学院

专 业: 生物医学工程

指导老师: 陈凌翔

2026 年 4 月 30 日

浙江大学 实验报告

课程名称: 生物医学传感与检测 实验类型: 探究型实验 指导老师: 陈凌翔

实验名称: 热电偶传感器的性能测试

学 生 一: 学 号: 专 业: 生物医学工程

学 生 二: 学 号: 专 业: 生物医学工程

实验地点: 玉泉教七西裙楼-303 日 期: 2026 年 4 月 30 日

目 录

一、实验目的	2
二、实验原理	2
三、实验器材	2
四、实验步骤	2
五、原始实验数据记录	3
六、数据处理与分析	3
6.1 查表与温度推算过程	3
6.2 查表计算温度与真实温度的比较	3
七、问题和讨论	4
八、实验心得	4

一、实验目的

了解热电偶的工作原理和工作特性。

二、实验原理

热电偶的基本工作原理是热电效应。两种不同导体 A 和 B 组成闭合回路,如果两结点的温度不同,在回路中就会产生电动势,有电流流过,这种现象称为热电效应或塞贝克效应。这两种导体的组合称为热电偶。如图 10.1 所示,热电偶的两端是将两种导体焊在一起,其中置于被测介质中的一端称为工作端;另一端称为参比端或冷端,处于恒温条件下。当工作端被测介质温度发生变化时,热电势随之发生变化,将热电势送入显示、记录装置或用微机处理,即可得到温度值。 T 与 T_0 的温差越大,热电偶的输出电动势就越大,因此,可用热电势衡量温度的大小。

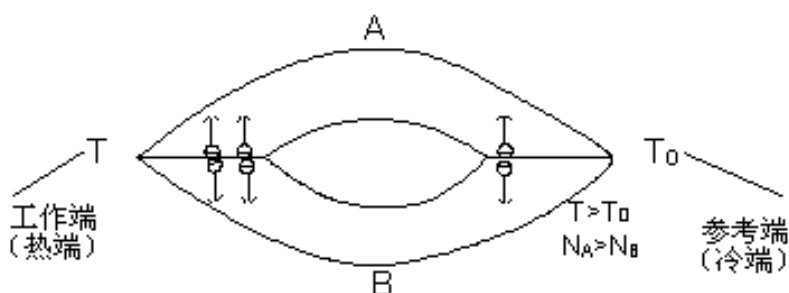


图 2.1 - 热电偶热电效应原理

三、实验器材

热电偶、差动变换(放大)器、电压表(2V 量程)、加热器、直流电源、数字温度计。

四、实验步骤

- (1) 观察热电偶在实验仪上的位置,它封装在双孔悬臂梁外侧。实验仪所配的热电偶是由铜——康铜组成的简易热电偶,分度号为 T。
- (2) 差动变换(放大)器 I 增益调到最大(右旋 10 圈到底,出厂设置放大倍数约 92 倍),按图 10.2 接线,外置的数字温度表接直流电源和热电偶,此时加热器先不要接入 +5V 直流电源,开启电源,在未加热状态调节差动变换(放大)器调零旋钮,使电压表显示为零,并记录下未加热的热电偶温度,即室温 t_0

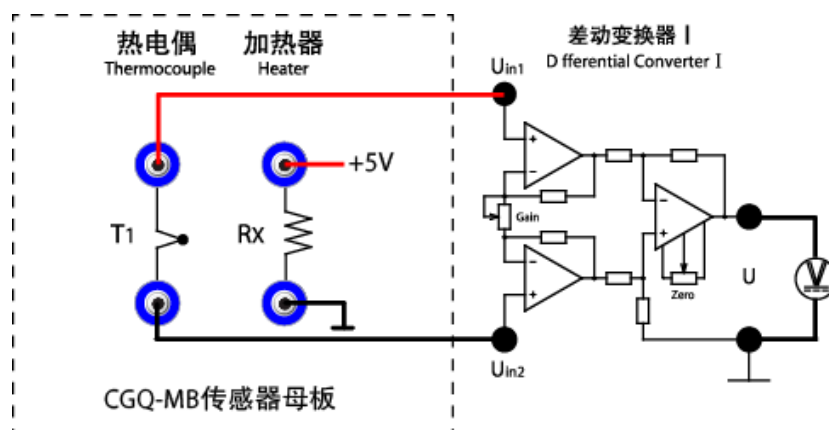


图 4.1 - 热电偶实验接线参考图

- (3) 加热器一端接+5V 直流电源、另一端接地,观察电压表显示值的变化,待显示值稳定不变时(约十分钟)记录电压表显示的读数 E 。
- (4) 根据热电势与温度之间的关系式 $E(t, t_0) = E(t, t_1) + E(t_1, t_0)$, 查阅 T 型热电偶分度表求出热端温度 t 。

其中: t ——热电偶的热端(工作端或称测温端)温度; t_1 ——热电偶的冷端(自由端即热电势输出端)温度也就是室温; t_0 ——热电偶分度表参考端温度 0°C ; $E(t, t_0)$ ——热端 t 、参考端 0°C 时的热电势,查表求出 t ; $E(t, t_1)$ ——热端 t 、冷端室温时的热电势, $E(t, t_1) =$ 测量所得电压表读数 $E/92$ (92 为差动放大倍数); $E(t_1, t_0)$ ——室温、参考端 0°C 时的热电势,即温度修正电动势,查表得。

- (5) 用外接的温度表读取热电偶热端温度,与以上实验计算查表所得结果相比较。

五、原始实验数据记录

未加热时热电偶的冷端温度(室温) t_1 : 10°C

待显示值稳定不变时,电压表显示的读数 E : 197 mV

外接数字温度计直接读取的热电偶真实热端温度 T : 62°C

六、数据处理与分析

6.1 查表与温度推算过程

根据实验测得的差动放大器输出电压 $E = 197\text{ mV}$, 考虑到差动变换器设定的放大倍数为 92, 首先求出热电偶实际输出的热端、冷端(室温)间的热电势 $E(t, t_1)$:

$$E(t, t_1) = \frac{E}{92} = \frac{197}{92} \approx 2.141\text{ mV}$$

已知室温 $t_1 = 10^\circ\text{C}$, 由于分度表是基于 0°C 的参考基准, 我们需要查 T 型热电偶分度表得到冷端补偿电势 $E(10, 0)$:

$$E(10, 0) = 0.391\text{ mV}$$

根据中间温度定律, 将其进行补偿叠加, 求得热端温度 t 相对参考端 0°C 时的绝对热电势 $E(t, 0)$:

$$E(t, 0) = E(t, t_1) + E(t_1, 0) = 2.141 + 0.391 = 2.532\text{ mV}$$

再次查阅 T 型热电偶分度表反查对应的温度 t 。在分度表中寻找 2.532 mV 对应区间: 已知 61°C 时为 2.511 mV , 62°C 时为 2.555 mV 。

利用线性插值法近似计算真实温度 t :

$$t = 61 + \frac{2.532 - 2.511}{2.555 - 2.511} \times 1 \approx 61.48^\circ\text{C}$$

6.2 查表计算温度与真实温度的比较

通过电压换算加冷端补偿查表推算出的测定温度为 61.48°C 。外接数字温度计测得的直接真实温度为 62°C 。

结果表明，两者在误差允许范围内可以认为相等，误差为 0.52°C 。误差产生的极小部分原因可能来自于实验差动放大倍数的轻微偏差、实验过程中室温微小波动导致的补偿误差，以及线性插值法自带的理论近似误差。

七、问题和讨论

1. 热电偶测温 and 热电阻测温有什么不同？

（1）工作原理不同：热电偶测温基于热电效应（塞贝克效应），是将温度的变化转化为热电动势（电压信号）的变化；而热电阻测温基于导体的电阻值随温度而改变的特性（热阻效应），将温度的变化转换为自身电阻值的变化。

（2）信号及测量方式不同：热电偶自身就是有源传感器，不需要外加电源激励即可输出热电势信号；热电阻属于无源传感器，测量时必须外加激励电源并配合电桥等测量电路才能把电阻变化转化为电压信号读出。

（3）应用范围不同：热电偶响应速度快，通常用于更宽的温度范围以及高温环境的测量；热电阻则在中低温测量领域具有更高的测量精度和稳定性。

2. 说明热电偶冷端温度补偿原理。

热电偶输出的热电动势大小不仅仅取决于工作端（热端）的温度，还与参考端（冷端）的温度密切相关。标准的热电偶分度表都是在冷端温度严格恒定为 0°C 的前提下测定的。但在实际应用中，热电偶的冷端通常暴露在室温环境中，冷端温度不仅不为 0°C ，且会随环境温度波动，这将导致直接查表得到的测温结果产生误差。

根据中间温度定律： $E(t, 0) = E(t, t_1) + E(t_1, 0)$

冷端温度补偿原理，即是通过各种手段（如冰点槽恒温法、公式计算修正法、或者是硬件上的冷端补偿电桥），把偏离 0°C 的冷端温度（ t_1 ）所造成的热电势差值（ $E(t_1, 0)$ ）给加回到仪表的实际测量值（ $E(t, t_1)$ ）中，从而求得相对于 0°C 的真实热电动势，最终获得精确的热端实际温度。

八、实验心得

在本次热电式传感器的特性实验中，我亲自验证了热电效应，并独立实践了热电偶冷端温度补偿的完整工程计算流程。通过对采集到的差分电压读数进行反推、叠加室温补偿电势、再查阅分度表并应用线性插值法，最终精确推算出热端温度。这一过程不仅严密且充满数理逻辑的魅力，其结果与 62°C 真实测温值的高度吻合，更让我真切体会到了中间温度定律在实际检测中的核心作用与实用价值，同时也极大地锻炼了我对系统微小误差来源的分析和归因能力。

最后，我要特别感谢陈凌翔老师和助教哥哥在实验操作和数据处理过程中给予的热情帮助和耐心点拨，使我的实验能够顺利、圆满地完成！