

浙江大学实验报告

课程名称： 传感与检测

实验项目名称： 温度检测传感器与检测仪表实验

学生姓名： 黄于翀 专业： 工程力学 学号： 3210105423

实验日期： 2023 年 12 月 29 日

一. 实验目的

1. 使学生掌握工业现场常用的温度传感器热电偶和热电阻测温的基本原理及使用方法；
2. 使学生掌握热电偶冷端温度补偿的基本概念及处理方法；
3. 使学生掌握热电偶、热电阻测温系统的结构形式和接线方式；
4. 使学生掌握热电偶、热电阻检测仪表的基本使用方法。

二. 实验要求

1. 掌握热电偶、热电阻检测温度的原理及其使用方法；
2. 掌握热电偶测温过程中的冷端温度补偿的基本概念和处理方法；
3. 掌握热电偶、热电阻测温系统的结构形式和接线方式；
4. 了解实验室仪器设备的作用和使用方法，完成接线并使用检测仪表进行测量；
5. 实验报告应包括测量原理图、接线图、测量误差分析等。

三. 实验原理

电阻式检测元件在检测技术领域具有广泛应用，其基本原理是将被测物理量转化为电阻值的变化，然后利用测量电路测出电阻的变化值，从而达到对被测物理量检测的目标。目前使用的金属热电阻材料有铂、铜、镍、铁等，其中最为广泛的为铂、铜材料，并已经实现了标准化生产，且具有较高的稳定性和准确度。以铂材料电阻为例，铂电阻的电阻值与温度的关系是一个典型的非线性函数，一般工业用的铂电阻可以用下式表示：

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (0^\circ\text{C} \leq t \leq 850^\circ\text{C})$$

$$R_t = R_0\{1 + At + Bt^2 + C[t^3(t - 100)]\} \quad (-200^\circ\text{C} < t < 0^\circ\text{C})$$

式中, R_t 为温度在 $t^{\circ}\text{C}$ 时铂电阻的电阻值; A 、 B 、 C 为常数。

热电式检测元件是利用敏感元件将温度变化转化为电量的变化,从而达到测量温度的目的。最典型的热电式检测元件为热电偶,目前也常用于工业现场的测温环节,具有结构简单、测温准确度高和测温范围广等优势。如图 2-8 热电偶结构示意图所示,将两种不同的导体 A、B 连接成闭合回路,将它们的两个接点分别置于温度为 T 及 T_0 的热源中,则在该回路内就会产生热电动势。这种现象称

之为热电效应。将两种材料的组合称为热电偶,材料 A 和 B 称为热电极。温度高的接点称为热端(或者工作端),温度低的接点称为冷端(或自由端)。热电偶回路中所产生的电动势是由两部分组成:其一为两种导体的接触电势(或者称为帕尔帖电势);其二为单一导体的温差电势(或者称为汤姆逊电势)。

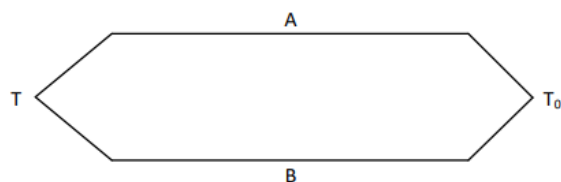


图 2-8 热电偶结构示意图

由教材中热电偶回路总热电势计算公式可知:

- (1) 若电极 A、B 为同一导体,则无论 T 与 T_0 有多大差异,回路总热电势均为 0。
- (2) 热电偶必须采用两种不同材料组成,且产生热电势的条件是两接点温度不同。
- (3) 热电势的大小只与热电极材料和温度有关,与热电极几何尺寸无关。
- (4) 热电极材料确定之后,热电势大小只与 T 、 T_0 有关,若保持 T_0 一定,则热电偶回路总热电势就可以看成为温度 T 的单值函数。

利用上述结论和热电偶的基本定律,可以使用相关温度传感器设计温度测控

系统,检测并控制工业现场温度。

四. 实验操作步骤

- 注意：实验前炉温设置的的操作须在实验指导教师的指导下进行，以防止设备损坏！！**
1. 通电前，首先认识实验装置中各个组成部分仪表的功能。按下表进行接线并检查。
- 表 2-2 温度传感器与干体炉接线对应表
- | 始———终 | 导线规格 | 备注 |
|--------------------|---------|----------|
| 标准热电偶—ET3805 输入端⑤ | 配套补偿导线 | 二等标准热电偶 |
| E 型热电偶—ET3805 输入端① | 配套补偿导线 | 接①中间测量插孔 |
| K 型热电偶—ET3805 输入端② | 配套补偿导线 | 接②中间测量插孔 |
| 普通热电阻—ET3805 输入端③ | 配套热电阻引线 | 四线制接线方式 |
| AC 电源—ET3805 电源插头 | 三芯橡胶护套线 | 电源线，必须接地 |
2. 检查完毕后，打开 ET3805 干体炉电源开关，此时电源指示灯常亮，等待设备启动完毕。
3. 在主界面下点按设置温度输入框（图 2.2 中②所示），弹出设置温度界面，如图 2-10 所示。输入目标温度，例如 100，点按“确认”按键，系统自动回到主界面，温度设置成功。
-
- 图 2-10 设置温度界面
4. 在仪器关闭输出状态下，设置好目标温度，点按主界面上“启动”按键（图 2.2 中⑤所示），仪器开始工作，同时主输出指示灯将以特定的时间间隔闪烁。
5. 等待“测量温度”文字呈绿色显示，默认的温度稳定条件为波动度 0.4℃，目标偏差 0.5℃，稳定时间 5min（满足波动度和目标偏差要求后的持续时间）。
- 注意：干体炉进入工作状态后，若控温温度同时满足波动度、目标偏差与稳定时间三个判定标准，则系统判定当前控温进入稳定状态，“测量温度”文字呈绿色显示。此时，方可采集各个外置被检通道的测量数据。**
6. “测量温度”文字呈绿色后，分别记录标准、普通热电偶以及热电阻的输出值（按照实验要求记录电信号数值），参考表 2-3 记录实验数据。
7. 将 E、K 型热电偶从干体炉输入端（图 2-3 中①②）拔出，将 E 型热电偶插入

干体炉输入端②，待稳定片刻后观察并记录此时的显示数据，完成思考题 3。

8. 根据步骤 6 所记录的数据，查阅分度表，判断标准热电偶的分度号，参考标准热电偶的输出值，分别计算该温度点下普通 E、K 型热电偶以及热电阻(PT100)的温度相对误差。

五. 实验数据记录与处理

1. 记录数据并分析结果

表 2-3 温度传感器实验数据记录表

室温: 27.8℃

序号	设定温度 值/℃	标准热电偶 电压值/mV	E 型热电偶 电压值/mV	K 型热电偶电 压值/mV	热电阻电阻值/Ω
1	100	0.4812	4.5882	2.9010	137.957
2		0.4816	4.5863	2.8994	137.959
3		0.4815	4.5849	2.8989	137.961
4		0.4819	4.5854	2.8990	137.956

经查表可知，标准热电偶标度号为 S 型，标准热电偶温度值为 100℃。

E 型热电偶电压平均值为 4.5862mV,查表得到对应的温度值在 99℃到 100℃之间，相对误差小于 1%。

K 型热电偶电压平均值为 2.8996mV,查表得到对应的温度值在 98℃到 99℃之间，相对误差在 1%到 2%。

热电阻的电阻平均值为 137.958Ω,查表得到对应的温度值在 98℃到 99℃之间，相对误差在 1%到 2%。

六. 实验思考题

1. 热电阻式检测元件主要分为几种，各适用于哪种场合？
2. 试比较热电偶测温 and 热电阻测温有哪些区别（可以从原理、系统构成和应用场合分析）。
3. 有一配 K 分度号的电子电位差计，在测温过程中配错了 E 分度号的热电偶，此时仪表指示为 315°C ，假设冷端温度为 23°C ，则实测温度约为多少 $^{\circ}\text{C}$ （取整数）。
4. 简述热电阻测温有哪几种接线方式，以及分析各自优缺点。

1. 热敏电阻常用于室温范围内的温度测量；热电偶适用于高温炉、炼油、化工、航空航天等领域；热电阻阵列适用于温度分布分析、热图像仪等应用。

2. 原理：热电偶利用两种不同金属连接形成的回路，在温度变化时产生热电势。热电势的大小与温度差成正比，利用热电势差来测量温度。热电阻使用材料（如铂）制成的电阻元件，其电阻值随温度变化而线性变化。通过测量电阻值的变化来确定温度。

系统构成：热电偶系统由两个连接的金属导线组成，形成一个回路。常见的热电偶类型有 K 型、J 型、T 型等，每种类型使用不同的金属组合。热电阻系统包括一个热敏电阻元件（如铂热电阻）和一个测量电路。通常使用恒流源或恒压源来提供电流，测量电路测量电阻值并转换为温度。

应用场合：热电偶具有广泛的温度范围和高温测量能力，适用于高温炉、炼油、化工、航空航天等领域。由于其结构简单、响应快速，也常用于一般工业和实验室温度测量。热电阻具有较高的精度和稳定性，被广泛应用于实验室测量、精密控制和工业流程控制等场合。热电阻通常用于需要更高精度和较宽温度范围的应用，如精密实验室测量和自动化控制系统。

3. 电势差为 $12.831 - 0.919 = 11.912\text{mV}$ ，再查 E 型的表，得 198°C

4. 两线制接线方式：

优点：两线制接线方式简单，只需要两根导线连接热电阻到测量电路，成本低。适用于一般的温度测量应用。

缺点：由于电阻导线的电阻值也会影响测量结果，长导线会引入额外的电阻，导致测量误差。对于较长的导线或要求较高精度的测量，可能会产生较大的误差。

三线制接线方式：

优点：三线制接线方式通过引入一个额外的导线来补偿导线电阻的影响，可以消除导线电阻

对测量结果的影响，提高测量精度。适用于需要较高精度的测量应用。

缺点：相对于两线制，三线制接线方式需要多一根导线，增加了系统的复杂性和成本。对于较长的导线，仍然可能存在导线电阻的影响。

四线制接线方式：

优点：四线制接线方式进一步增加了一对额外的导线，用于测量电流和测量电阻的电压降，可以在更长的导线距离下消除导线电阻的影响，提供更高的测量精度。适用于需要极高精度测量的应用，如实验室测量和精密控制。

缺点：四线制接线方式需要更多的导线和测量电路，增加了系统复杂性和成本。

浙江大学实验报告

课程名称：热电偶校准实验

实验项目名称：温度检测传感器与检测仪表实验

学生姓名：黄于翀 专业：工程力学 学号：3210105423

实验日期：2023 年 12 月 29 日

一. 实验目的

- 使学生熟悉热电偶校准的设备、规程及热电偶校准的方法；
- 使学生掌握热电偶冷端温度补偿、补偿导线等的基本概念及应用方法；
- 使学生了解温度控制系统的基本构成及控制精度的概念；
- 使学生了解测量系统的动态特性的实验研究方法。

二. 实验要求

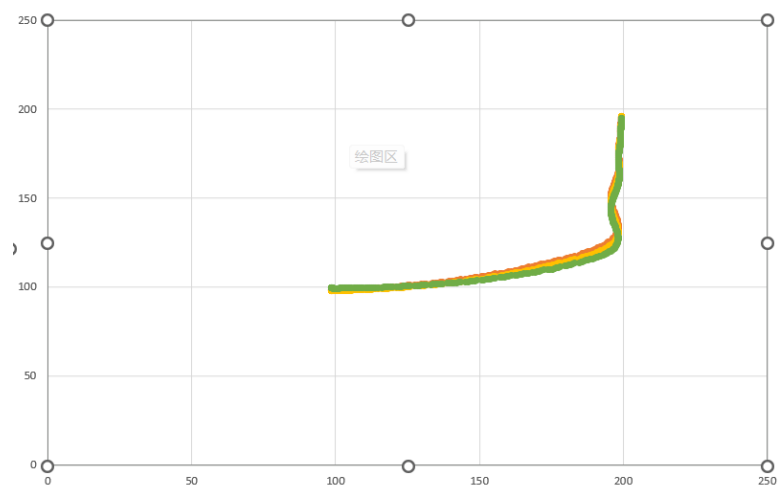
- 了解热电偶的结构，掌握热电偶检测温度的原理及其使用方法；
- 掌握热电偶传感器校准的方法和操作过程，了解所用仪器的选型和用法等；
- 掌握热电偶测温中的几个关键概念，如热电偶冷端处理、补偿导线的原理；
- 实验报告应包括测量原理图、接线图、测量误差分析等。

三. 实验原理

热电偶使用一段时间后，测量端由于氧化腐蚀和高温下的再结晶等因素，热电特性会发生一定变化，因而会产生测量误差，为了确保其测量准确度，必须对其进行校准或者检定。一般采用比较法进行校准，本实验将标准热电偶和被校热电偶的测量端同时插入干体炉的均热块中（尽量使其测量端的温度相同），待干体炉的控温系统将均热块的温度控制在变化不超过正负 0.2°C 时直接测量标准热电偶与被校热电偶的热电势，通过比较、换算，最后确定被校热电偶的示值误差，并判断是否超差。

四、实验数据记录与处理

温度计校准记录					
校准地点				校准时间	
参考标准	外置标准温度计	型号规格	S	序列号	1
被校热电偶信息					
	No.1	No.2	No.3	No.4	
型号	e	k	3		
分度号	E	K	PT100-385		
量程/°C	-40~1000	-40~1000	-40~1000		
制造单位					
出厂编号					
校准温度点/°C	标准温度 (温度°C/电信号mV)	被检热电偶温度 (温度°C/电信号mV)			
200	198.83/1.2714	195.16/11.6000	195.56/6.9816	194.20/173.7195	
冷端温度	24.49	24.49	--	--	
误差	--	3.66	3.27	4.63	
250	250.55/1.7157	246.76/15.4979	248.12/9.1159	246.68/192.8942	
冷端温度	24.04	24.04	24.04	--	
误差	--	3.79	2.43	3.87	
300	300.48/2.1594	296.62/19.3406	297.88/11.1618	296.40/210.7678	
冷端温度	23.98	23.98	23.98	--	
误差	--	3.86	2.61	4.08	



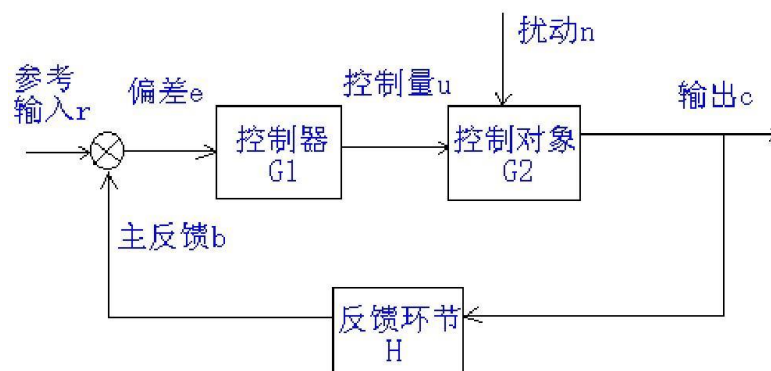
其中橙色为标准热电偶，黄色为 E 型，绿色为 K 型，可见它们温度的变化有一定滞后性，标准热电偶变化速率相对较大，K 型热电偶变化速率最慢。

五、实验思考题

1. 列举冷端补偿的方法。
2. 在热电偶测温电路中采用补偿导线时，应如何连接，需要注意哪些问题？
3. 当补偿导线类型和极性混淆不明时如何判别？
4. 试画出典型计算机控制系统的单回路控制方块图。

1. 冷端补偿电阻，额外温度测量点，冷端温度传感器，内置冷端补偿。

2. 补偿导线应与热电偶的冷端连接，并与测量电路中的冷端补偿电路相连。补偿导线的连接应保持良好的接触，并使用合适的连接器或端子固定；补偿导线的材料应与热电偶的材料不同，以避免引起额外的热电势。常见的补偿导线材料有铜、铁、镍等，具体选择应根据热电偶类型和应用环境来决定；补偿导线的长度应尽量与热电偶的导线长度相等，以确保在温度变化时两者受到的影响相同。不同长度的导线会引入不同的电阻，可能导致冷端温度测量误差。
3. 测试电压差异：将热电偶和补偿导线连接到一个测试电路上，并施加一个已知的温度差。通过测量在不同极性下的电压差异，可以初步判断导线的类型和极性。然而，这种方法需要特别小心，确保测试电路的安全和正确性。
- 4.



反馈控制系统方框图

浙江大学实验报告

课程名称：传感与检测

实验项目名称：热电偶温度显示仪表实验

学生姓名：黄于翀 专业：工程力学 学号：3210105423

实验日期：2023 年 12 月 29 日

一. 实验目的

1. 掌握热电偶温度显示仪表的原理、构造及使用方法；
2. 掌握典型温度显示仪表精度校准的基本方法；
3. 了解目前主流过程校验仪的功能，并掌握其基本使用方法；
4. 掌握显示仪表的误差分析及准确度等级判断。

二. 实验仪器设备、装置

1. 被校热电偶温度显示仪表一台（量程 $0\sim 1300^{\circ}\text{C}$ ）
2. 便携式过程校验仪一台
3. 高精度温度计一支
4. 实验原理参考实验总体介绍

三. 实验步骤

实验前应仔细阅读仪表使用说明书，掌握仪器的使用方法。

1. 按照图 2-19 红框所示接好显示仪表输入端导线，将温度显示仪表接通电源。

注意：该款显示仪表采用 220V AC 供电，禁止触摸接线处，当心触电！！

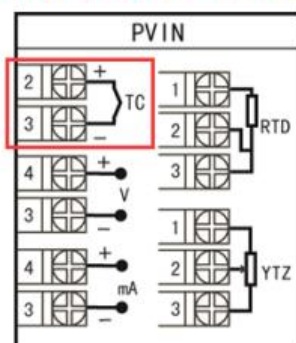








图 2-19 显示仪表输入端

2. 显示仪表在工作状态下，单击  键，PV 显示  且 SV 值为 132 时，长按  键进入参数设置模式，PV 显示  且 SV 值为 2 时，表示输入信号模式为 K 型热电偶，确认后长按  返回工作界面。
3. 便携式过程校验仪在开机状态下，按测量（输出）键选择输出模式，按  键调整到 mV 电压输出工作状态。
4. 参考图 2-20 过程校验仪输出端，将过程校验仪的红黑表笔分别连接到显示仪

表的输入端导线的正负端。

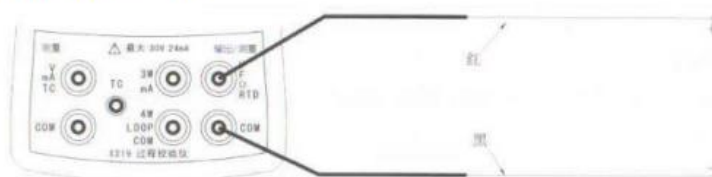


图 2-20 过程校验仪输出端

4. 检查热电偶温度显示仪表的量程范围，在全量程范围中均匀选取 10 个温度基准点进行精度校验，分别记录在表 2-6 中。
5. 选好温度基准点后，查阅热电偶分度表换算为相应的 mV 电信号（注意显示仪表自带冷端温度补偿的影响）。
6. 依次在过程校验仪上的数字键输入需要输出的电信号数值，按确认键待显示稳定后记录实验数据。

四、实验数据

序号	校验温度基准点	过程检验仪输出电压值	温度显示仪表读数	误差%
1	125	4.29	122.4	-2.08
2	250	9.52	252	0.8
3	375	14.51	372.2	-0.74667
4	500	19.81	497.2	-0.56
5	625	25.13	622.2	-0.448
6	750	30.38	747.2	-0.37333
7	875	35.49	872	-0.34286
8	1000	40.44	996.6	-0.34
9	1125	45.22	1121	-0.35556
10	1250	49.98	1251	0.08

可以看到除了 125℃时误差为 2.08%，其他的误差都不到 1%，准确度等级为 2.5。

五、思考题

1. 当温度显示仪表热电偶输入端的输入电势为 0mV 时，指示温度应该是多少；当温度显示仪表没有输入时，指示值又是多少；将温度显示仪表热电偶输入端短接，指示值又是多少？
2. 如何判断热电偶温度显示仪表是否自带冷端温度补偿？
3. 检定配热电偶的温度显示仪表时，常用标准电势输入替代实际热电偶的热电势。现要检定 K 型温度显示仪表在 700℃时的准确值，问需要输入多大的标准电势（环境温度为 25℃）。

- 1.指示温度应该都是室温 27℃。
- 2.在已知热电偶型号的情况下进行几次预实验，通过查表可以知道是否有自带冷端补偿；
- 3.通过查表得到，应该输入 28.129mV