

热电偶的定标与温度的测量

热电偶的重要应用是测量温度。它是把非电学量（温度）转化成电学量（电动势）来测量的一个实际例子。热电偶在冶金、化工生产中用于高、低温的测量，在科学研究、自动控制过程中作为温度传感器，具有非常广泛的应用。用热电偶测温具有许多优点，如测温范围宽（-200—20000℃）、测量灵敏度和准确度较高、结构简单不易损坏等。此外由于热电偶的热容量小，受热点也可做得很小，因而对温度变化响应快，对测量对象的状态影响小，可以用于温度场的实时测量和监控。

【实验目的】

1. 学习使用电位差计测定温差电动势。
2. 掌握热电偶定标曲线的绘制规则。
3. 学习用直线拟合方法处理实验数据。

【实验器材】

热电偶，杜瓦瓶，温度计（两支），直流电位差计，EH-3 数字化热学实验仪，槽式加热器。

【实验原理】

温度是表征热力学系统冷热程度的物理量，温度的数值表示法叫温标。常用的温标有摄氏温标、华氏温标、热力学温标等。

温度会使物质的某些物理性质发生改变。一般来讲，任一物质的任一物理性质只要它随温度的改变而发生单调的、显著的变化，都可用它来标志温度，也即制作温度计。常用的温度计有水银温度计、酒精温度计、热电偶温度计等。

将两种不同的金属焊接到一个回路中，如果使它们处于两个不同的温度环境下，则回路中就会出现一个通常不为零的电动势，这个电动势称为温差电动势，产生这个温差电动势的金属回路称为温差电偶或热电偶。

热电偶的温差电动势主要取决于所选用的材料和两个接触点的温度，但材料中所含的杂质和加工工艺过程也会对它产生一定的影响。因而，由同样的两种材料组成的热电偶，它们的温差电动势与温度的关系可能并不完全相同。所以对于每一支焊好的热电偶温度计，都应先进行分度定标，即测定出温差电动势与温度间的确定关系，然后才能用它来测量温度。

两种不同的金属互相接触时，在它们的接触面上产生一个接触电位差（珀耳贴电动势）；同一种金属两端处于不同的温度下也会产生一个电位差（汤姆逊电动势）。热电偶所产生的温差电动势是这两种电动势之和，与温度有关。可以把温差电动势 ε 与温度 T 的关系写成 $\varepsilon = f(T - T_0)$ 。此式不是严格的线性关系，可将其展开为无穷级数

$$\varepsilon = a + b(T - T_0) + c(T - T_0)^2 + \dots \quad (1)$$

式中 T_0 是恒温端（亦称冷端）的温度， T 是另一端（即工作端）的温度。若选取 $T = T_0$ 时， $\varepsilon = 0$ ，可得 $a = 0$ ，式（1）应写成

$$\varepsilon = b(T - T_0) + c(T - T_0)^2 + \dots \quad (2)$$

式中 b 、 c 等是与组成该热电偶的材料等因素有关的系数。对于一支做好的热电偶，当其冷端温度 T_0 固定时，温差电动势 ε 仅仅是工作端温度 T 的函数，可用实验方法确定出二者的函数关系（或定出 b 、 c 等系数）。根据其温差电动势 ε 的值来测定温度 T ，热电偶的结构示意图如图 1 所示。

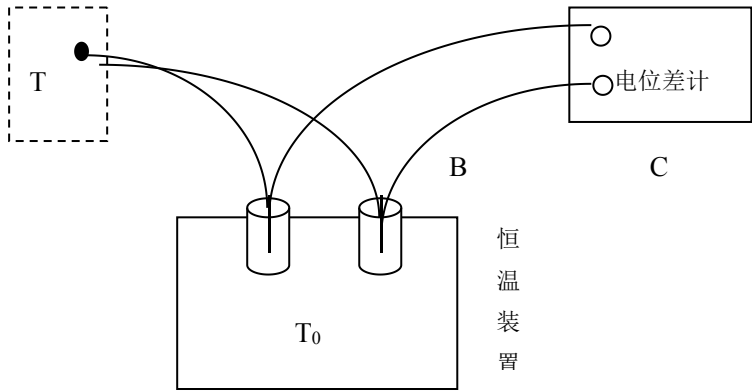


图 1 热电偶的结构示意图

【实验内容与方法】

1. 测定温差电动势，绘制定标曲线。

热电偶的分度一般是这样进行的，将热电偶的冷端放置在冰水混合物中，工作端的温度就是 $T_0=0^{\circ}\text{C}$ （如将冷端置入室温下的某种液体中，则可用水银温度计测出其温度 T_0 ）；将热电偶的工作端置入油中或其它温度较高又可调节的环境中，用温度计测出一系列高低不同的温度点 T_i ，同时用电位差计分别测出相应的温差电动势 ε_i ；绘制出 $\varepsilon \sim T$ 曲线，即完成热电偶的分度。如果热电偶的工作端温度需分度到几百度以上，则常将其工作端置入各种正在熔化或正在凝固过程中的某种纯金属液体中，则工作端温度 T 就是该金属的熔点或凝固点，可视为已知温度。

实验步骤：

（1）按图 2 连接电路，检查无误后通电预热。

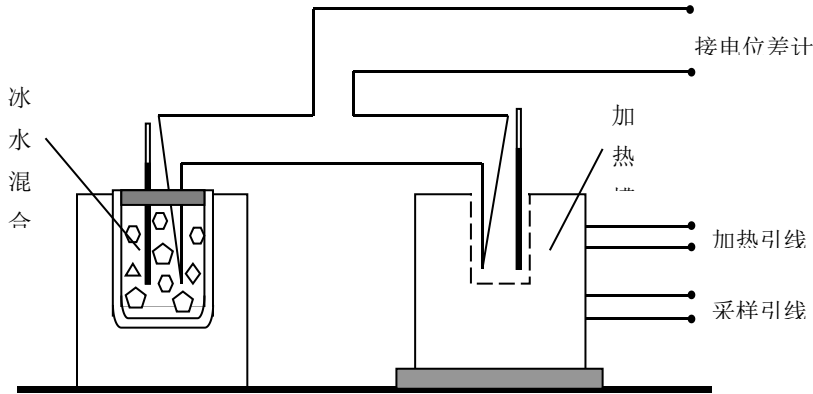


图 3 热电偶的标度实验线路图

（2）将电位差计预热待用。

（3）通过 EH-3 数字化热学实验仪调节好工作端的温度待其稳定后，从电位差计上读取相应的温差电动势（注意，在测量时先让工作端按选定温度点依次升高温度；然后再依次降低温度）。

度，并在选定温度点测量其温差电动势)。

(4) 在坐标纸上作出 $\varepsilon \sim \tau$ ($\tau = T - T_0$) 图线。用最小二乘法 (直线拟合) 求出热电动势 ε 与温差 τ 的关系 $\varepsilon = b\tau$ ，并以此关系为依据，对热电偶温度计进行标定。

(5) 根据 $\varepsilon = b\tau$ 算出此热电偶温度计所测沸水的温度值 (实验中先测出沸水的温差电动势)，并与标准值比较。

【注意事项】

1. 为使杜瓦瓶内水温均匀，应不断进行搅拌。
2. 电位差计应勤校准、快测量。
3. 操作中应小心，避免打翻杜瓦瓶或被高温装置部分烧伤。
4. 测量完毕后，应该等待工作端基本冷却后方可取出温度计。

【思考题】

1. 如果实验中热电偶“冷端”不放在冰水混合物中，而直接处于室温或空气中，对实验结果有什么影响？
2. 在实验过程中，为了测量准确，应特别注意哪些方面？
3. 简述杜瓦瓶内水温为何要保持均匀。
4. 确定热电偶的温差电动势与温度的关系。

附录

1. 电位差计见图 3，使用方法为：

(1) 插上电源，打开箱后侧电源开关，把倍率开关 K1 从“断”旋到所需倍率，“测量一输出”开关 K3 置于“测量”位置，调节“调零”旋钮，使检流计指针指零。

(2) 扳键开关 K2 扳向“标准” (注意：扳键要向前推到底不松手)，调节“工作电流调节”旋钮，使检流计指零。

(3) 将热电偶按极性接入“未知”端钮 (注意：热电偶红线接“—”极，黑线接“+”极)，扳键开关 K2 扳向“未知”，调节三个测量盘 ($\times 10$ 、 $\times 1$ 、 $\times 0.1$)，使检流计指零，被测电压 (势) 为测量盘读数与倍率乘积。

(4) 使用完毕后，倍率开关 K1 置于“断”位置，并切断电源。

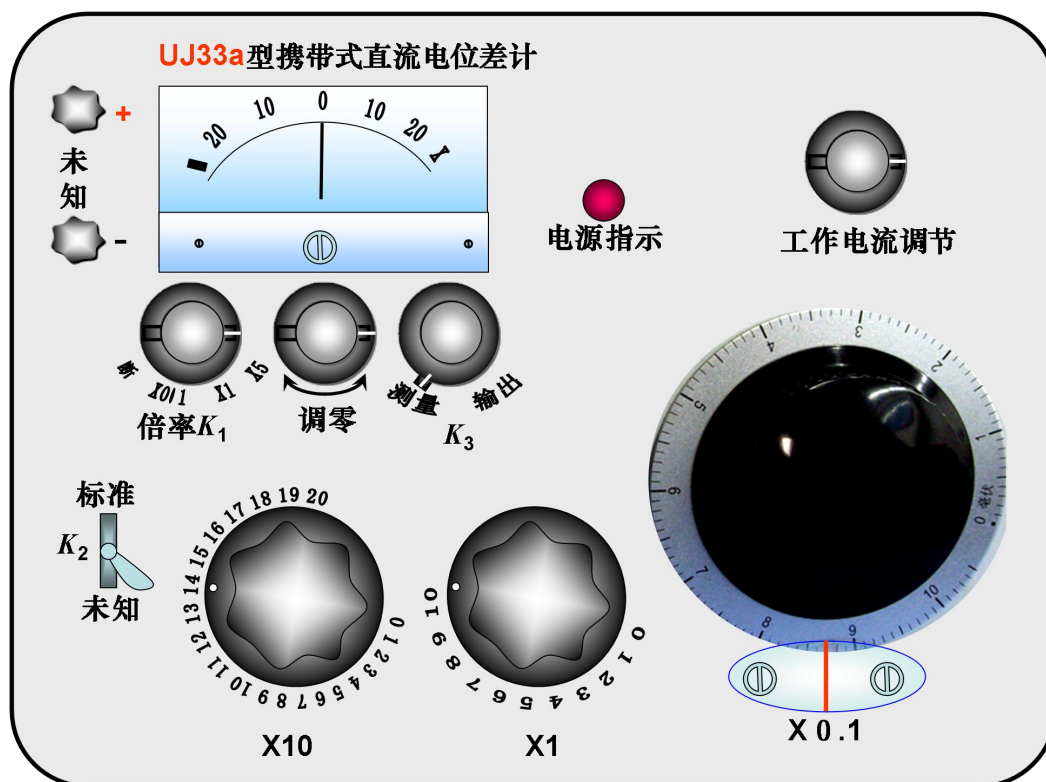


图 3 电位差计

2. 国际实用温标（TPTS-68）定义的固定点

平衡状态	国际实用温标指定值	
	T_{68} (K)	t_{68} ($^{\circ}\text{C}$)
平衡氢二相点	13.81	-259.34
氧三相点	54.361	-218.789
氧凝固点	90.188	-188.962
水三相点	273.16	0.01
水沸点	373.15	100
锡凝固点	505.1181	213.9681
锌凝固点	692.73	419.58
银凝固点	1235.08	961.93
金凝固点	1337.58	1064.43

3. 常用热电偶的特性

热电偶	常用温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	温差电动势近似值 (mv/ 100°C)
铜-康铜	-200~+300	4.3
铁-康铜	-200~+800	5.3
铬-铝	-200~+1100	4.1
铂-10%铑	-180~+1600	0.95
铂, 40%铑-铂, 20%铑	+200~+1800	0.4

4. 水的饱和蒸汽压 (mmHg) 与温度的关系

温 度 (°C)	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	温 度 (°C)	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
70	233.7	235.7	237.7	239.7	241.8	86	450.9	454.4	458.0	461.6	465.2
71	243.9	246.0	248.2	250.3	252.4	87	468.7	472.4	476.0	479.8	483.4
72	254.6	256.8	259.0	261.2	263.4	88	487.1	491.0	494.7	498.5	502.2
73	265.7	268.0	270.2	272.6	274.8	89	506.1	510.0	513.9	517.8	521.8
74	277.2	279.4	281.8	284.2	286.6	90	525.76	529.77	533.80	537.86	541.95
75	289.1	291.5	294.0	296.4	298.8	91	546.05	550.18	554.35	558.53	562.75
76	301.4	303.8	306.4	308.9	311.4	92	566.99	571.26	575.55	579.87	584.22
77	314.1	316.6	319.2	322.0	324.6	93	588.60	593.00	597.43	601.89	606.38
78	327.3	330.0	332.8	335.6	338.2	94	610.90	615.44	620.01	624.61	629.24
79	341.0	343.8	346.6	349.4	352.2	95	633.90	638.59	643.30	648.05	652.82
80	355.1	358.0	361.0	363.8	366.8	96	657.62	662.45	667.31	672.20	676.12
81	369.7	372.6	375.6	378.8	381.8	97	682.07	687.04	692.05	697.10	702.17
82	384.9	388.0	391.2	394.4	397.4	98	707.27	712.40	717.56	722.75	727.98
83	400.6	403.8	407.0	410.2	413.6	99	733.24	738.53	743.85	749.20	754.58
84	416.8	420.2	423.6	426.8	430.2	100	760.00	765.45	770.93	776.44	782.00
85	433.6	437.0	440.4	444.0	447.5	101	787.57	793.18	798.82	804.50	810.21