

热敏电阻温度系数的测定

热敏电阻是其阻值对温度变化非常敏感的一种半导体元件，它具有体积小，灵敏度高，使用方便等特点。因此，半导体热敏电阻在自动控制，自动检测及现代产品中被广泛用于温控，遥控和测点温、表面温度、温差等。本实验用惠斯登电桥测量在不同温度下热敏电阻的阻值，并运用曲线改直的方法求热敏电阻的温度系数。

【实验目的】

1. 了解惠斯登电桥测电阻的原理，初步掌握惠斯登电桥的使用方法。
2. 了解热敏电阻的温度特性和测温时的实验条件，测定热敏电阻材料常数及温度系数。
3. 学会单对数坐标纸的使用及通过曲线改直图解法处理数据求得经验公式的方法。

【实验仪器】

电源、QJ23 型电桥、高精度智能温控器、待测热敏电阻。

【实验原理】

1. 惠斯登电桥

电桥测量法是一种测量电阻的常用方法，平衡电桥采用比较法进行测量即在平衡条件下，用标准电阻与待测电阻进行比较，以确定其阻值。它具有测试灵敏、精确和方便等特点。

电桥分为交、直流两大类。直流电桥又分为单臂电桥和双臂电桥，前者称惠斯登电桥，主要用于精确测量中值电阻（ $10 \sim 10^6 \Omega$ ），后者称为开尔文电桥，适用于测低值电阻（ $R \leq 1 \Omega$ ）。交流电桥还可以测量电容、电感等物理量。

惠斯登电桥是直流平衡电桥。如图 8.1 所示，待测电阻 R_x 和 R_1, R_2, R_S 构成了电桥的四个桥臂，对角线 AC 间接入电源 E，另一对角线 BD 之间接入检流计 G，用来比较 B、D 两点的电位。由于 BD 支路似“桥”一般，架于 B、D 之间，故通常称它为桥路。调节 R_S 使检流计 G 中电流为零，此时 $U_B = U_D$ ，称为电桥平衡，则有

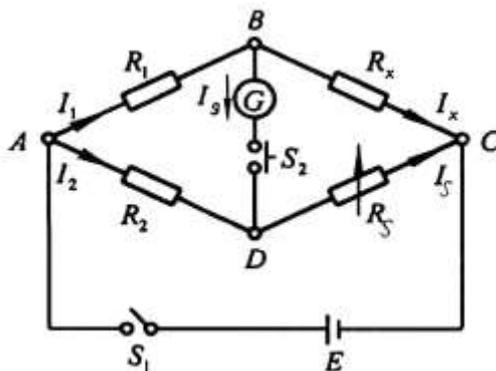


图 8.1 惠斯登电桥

$$U_{AB} = U_{AD} \quad U_{BC} = U_{DC}$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad I_x R_x = I_s R_s$$

因 $I_1 = I_x$ $I_2 = I_s$ ，从上两式得：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s = K R_s \quad (8.1)$$

其中 $K = R_1/R_2$ ，称为比率。若已知 K 和 R_s ，则可得 R_x 。

由于电桥采用与标准电阻相比较的方法，且标准电阻的精确度又较高，电桥的检流计较灵敏，且仅用它作平衡指示器，不需要提供读数，因此电桥具有灵敏度和精确度都较高的特点。

电桥的灵敏度越高，测量也就越精确。理论和实践都证明，电桥的灵敏度与它的电源电压、检流计灵敏度、桥路电阻大小及四个桥臂的搭配这四个因素有关。

2. 热敏电阻的阻值与温度的关系

由半导体材料制成的热敏电阻，其导电性质不同于金属导体，它是靠载流子（电子或空穴）的定向迁移导电的。载流子数目越多，它的导电能力就越强。对金属导体来说，自由电子的定向运动随温度的升高而减弱，它的电阻-温度特性通常呈线性关系。半导体却相反，它的载流子数目随温度的升高而增多，它的电阻-温度特性呈非线性关系。

热敏电阻分为负温度系数(NTC) 和正温度系数(PTC)两种。与金属或合金电阻具有较小的正温度系数相比，NTC 半导体热敏电阻具有较大的负温度系数，其阻值随温度变化比金属电阻要灵敏得多。NTC 热敏电阻一般由锰、镍、钴等金属氧化物按所需的比例混合压制后高温烧结而成，由这类金属氧化物半导体制成的热敏电阻具有对热敏感、电阻率大、体积小、热惯性小等特点。因此，它被广泛用于测温、控温以及电路中的温度补偿、时间延迟等。NTC 热敏电阻在工作温度范围内，阻值随温度的增加而减小。经验方程为

$$R_T = R_{T_0} e^{B_n \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (8.2)$$

式中， R_T ， R_{T_0} 是热力学温度分别为 T ， T_0 时的阻值，显然， R_T 与 T 不是线性关系。 B_n 是热敏电阻的材料常数（它与材料性质有关，在一个不太大的温度范围内是常数），一般 B_n 值越大，阻值随温度的变化越大，绝对灵敏度越高。

在工程上，常取环境温度 25°C （即 $T_0=298\text{K}$ ）为参考温度，将式(8.2)两边取对数，得

$$\ln R_T = B_n \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + \ln R_0 \quad (8.3)$$

即

$$\ln R_T = \frac{B_n}{T} + \left(\ln R_0 - \frac{B_n}{T_0} \right) \quad (8.4)$$

式中, $\ln R_0 - \frac{B_n}{T_0}$ 为常量。

以 $\ln R_T$ 为纵坐标, $1/T$ 为横坐标, 在单对数坐标纸上作 $\ln R_T \sim 1/T$ 图, 可得到斜率为 B_n , 过点 $(0, \ln R_0 - \frac{B_n}{T_0})$ 的一条直线。在直线上任取两点 $(1/T_1, \ln R_{T_1})$ 和

$(1/T_2, \ln R_{T_2})$, 则斜率 B_n 为:

$$B_n = \frac{\ln R_{T_1} - \ln R_{T_2}}{1/T_1 - 1/T_2} = \frac{2.303(\log R_{T_1} - \log R_{T_2})}{1/T_1 - 1/T_2} \quad (8.5)$$

这就是热敏电阻材料常数的计算公式。

根据定义热敏电阻的温度系数 α_m 为:

$$\alpha_{tn} = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT} \quad (8.6)$$

(8.2) 式对温度 T 求导数, 则得到

$$\alpha_{tn} = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT} = -\frac{B_n}{T^2} \quad (8.7)$$

式(8.7)就是热敏电阻温度系数的计算公式, 负号表示随温度 T 的升高, 阻值 R_T 减小, 该类电阻称为负温度系数热敏电阻。

图 8.2 为测量装置图。待测热敏电阻置于小盒子中, 热敏电阻的温度由温控器读出, 用惠斯登电桥测量热敏电阻的阻值, 惠斯登电桥的使用方法见【仪器介绍】。



图 8.2 测量装置图

【实验内容】

电桥面板下方 B、G 为按钮开关，使用时，先按 B 再按 G，断开时先断 G 再断 B，且对 G 的操作必须采取“跃接法”（即作短暂接通）。

电桥的使用步骤：

(1) 接线。用导线将电桥面板左上方 B 接线柱（注意正负极）与电源相连接。被测电阻接 R_x 接线柱。

(2) 检流计调零。

(3) 确定 k 值。

(4) 按下 B、G 按键，调节 R_s 的 4 个旋钮使检流计电流为零（此时电桥平衡）。

(5) 记录下 k 和 R_s 值，则被测电阻

$$R_x = kR_s$$

【思考题】

1. 电桥测电阻时，若出现如下现象：

(1) 检流计指针总是偏向一边。

(2) 检流计指针总不偏转。

试分析产生此现象的原因。

2. 热敏电阻与温度的关系为非线性的，本实验怎样进行线性化处理的？在图解法中怎样实现曲线改直的？

3. 如何用最小二乘法求得斜率 B_n 的值？

4. 如何减小温度不稳定对测量的影响？

【应用提示】

1. 关于热敏电阻

正温度系数(PTC)热敏电阻有陶瓷及有机材料两类。PTC 热敏电阻器具有独特的电阻—温度特性，它存在一个“突变点温度”，当温度升高超过 PTC 热敏电阻突变点温度时，其电阻可急剧增加 5~6 个数量级（例如由 $10^1 \Omega$ 变化到 $10^7 \Omega$ ），因而具有极其广泛的应用价值。陶瓷 PTC 热敏电阻具有工作功率较大及耐高温性好的特点，已被应用于工业机械、冰箱等作为电流过载保护，并可替代镍铬电热丝用于各种电加热家电作恒温加热器和新型自动控温烘干机的控温电路。有机材料 PTC 热敏电阻具有反应快、体积小、电阻值低等特点，现已被用于电话程控交换机、便携式电脑等高科技领域作过载保护电路。

热敏电阻还常被用于测量温度，电阻温度计具有测量准确度高、测量范围宽、能远距离测量等优点。其原理是基于金属或半导体材料的电阻值随温度的变化而变化，利



图 8.3 QJ23 型惠斯登电桥

用辅助电路及仪器测出热电阻的阻值，从而得到与电阻值相应的温度值。早期的热敏温度计是指针式的，近期发展为数字式的，其测量温度范围也进一步扩大。一般常用的金属电阻温度计是用铜、铂做成的，铜热电阻温度计测量范围 $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$ ；铂热电阻温度计测量范围 $-200\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，精度都为 0.4°C 。

在设计热敏电阻温度计时，注意正温度系数和负温度系数、线性和非线性等不同类型的区别，流经热敏电阻的电流一般选取其伏安特性曲线的线性部分的 $1/5$ ；必须考虑内热效应引起电阻的变化，使流过的电流越小越好。

NTC 热敏电阻与温度补偿：

NTC 热敏电阻是指负温度系数热敏电阻。它是以锰(Mn)、钴(Co)、镍(Ni)、铜(Cu)和铝(Al)等金属氧化物为主要材料，采用陶瓷工艺制造而成的。这些金属氧化物材料都具有半导体性质，因为在导电方式上类似锗、硅等半导体材料。温度低时，NTC 热敏电阻材料的载流子（电子-空穴）数目少，所以其电阻值较高；随着温度的升高，受热激发跃迁到较高能级而产生新的电子-空穴，使参加导电的载流子数目增加，所以电阻值降低。NTC 热敏电阻的阻值在室温下的变化范围为 $1\ \Omega\sim 10^6\ \Omega$ ，温度系数为 $-2\%\sim -6\%$ 。利用 NTC 热敏电阻器的不同特性，可广泛应用在温度测量、温度补偿、抑制浪涌电流等场合。

在各种交直流电路中，大部分的元器件都是正温度系数特性的，如线圈、LCD 显示屏、晶体管、石英振荡器等。精密电路或对温度特别敏感的元器件，受到温度影响后，会产生零点温度漂移或灵敏度温度漂移，而要在相当广的温度范围内获得良好的工作状态，选用一个或多个 NTC 热敏电阻与之配合使用，利用 NTC 热敏电阻的负温度特性，可抵消温度对电路中元件特性的影响，起到温度补偿的作用，使电路在较宽的温度范围下可稳定工作，NTC 热敏电阻器在温度补偿中表现出来的稳定性、跟踪性、可靠性，可减化温度补偿电路设计的复杂性，降低电路成本，使元件获得良好的温度适应性。如石英振荡器(TCXO)温度的高低会使频率出现波动，造成性能的不稳定。在石英振荡器电路中，使用一个 NTC 热敏电阻作温度补偿元件，可用来消除冷、热对晶体振荡器性能的影响。

2. 关于电桥

桥式电路（包括“导体电阻率的测定”实验中的双臂电桥）除了用在完整的测量电桥中外，还可应用于需要进行电阻或电压（电位）比较和检测的测量仪器的电路中，通常是将传感器作为桥式电路的一个臂，将待测量转换为电压，以便于处理、显示。