

普通物理学实验 II

电子实验报告

实验名称： 热敏电阻和热电偶的温度特性研究

指导教师： 张利

班 级： _____

姓 名： _____

学 号： _____

实验日期： 2024 年 12 月 4 日 星期 三

目录

1 实验综述	3
1.1 热敏电阻温度特性原理	3
1.2 金属电阻温度特性原理	3
1.3 热电偶温度特性原理	3
2 实验内容	4
2.1 实验数据	4
2.1.1 热敏电阻的温度特性	4
2.1.2 金属电阻的温度特性	7
2.1.3 热电偶的温度特性	11
2.2 实验结果与误差分析	13
2.2.1 热敏电阻的温度特性	13
2.2.2 金属电阻的温度特性	14
2.2.3 热电偶的温度特性	14
2.3 热电效应的基本原理	14
2.3.1 塞贝克效应	14
2.3.2 珀尔帖效应	14
2.3.3 汤姆逊效应	15
2.4 利用热敏电阻控制空调启停的系统设计	15
2.4.1 测温基本原理	15
2.4.2 系统框图设计	15
2.4.3 系统工作过程	15
3 参考文献	15

1 实验综述

本实验主要利用 **FB203** 型多档恒流智能控温实验仪与万用表等探究金属电阻，热敏电阻与热电偶的温度特性。实验中，我们通过改变电阻的温度，测量电阻的阻值，从而得到电阻的温度特性曲线。

1.1 热敏电阻温度特性原理

热敏电阻是一种电阻随温度变化的电阻，其阻值随温度的变化规律可以用以下公式表示：

$$\rho = A_1 \exp \frac{B}{T} \quad (1)$$

带入 $R = \rho \frac{L}{S}$ ，可以得到电阻与温度的关系：

$$R_T = A \exp \frac{B}{T} \quad (2)$$

对于一定的电阻来说，A 和 B 都是定值。对上式取对数，可以得到：

$$\ln R_T = \ln A + \frac{B}{T} \quad (3)$$

得到这样的线性表达式后，用作图法可以得到 A 和 B 的值。

1.2 金属电阻温度特性原理

在一定温度范围内，金属电阻的阻值与温度一般为线性关系。可以用以下公式表示：

$$R_T = R_0(1 + \alpha(T - T_0)) \quad (4)$$

其中 R_0 为参考温度下的电阻值， α 为温度系数， T_0 为参考温度。

1.3 热电偶温度特性原理

热电偶是利用两种不同金属的热电势差来测量温度的一种仪器。是由两种不同材料的 A、B 金属丝的端点彼此紧密接触而组成的。当两个接点处于不同温度时，会产生热电势差。热电势差与温度的关系可以用以下公式表示：

$$E_x \approx \alpha(T - T_0) \quad (5)$$

其中 α 为热电势系数， T_0 为参考温度。

在实验中，利用万用表，我们可以便捷地测出电阻的阻值与电动势大小。

2 实验内容

2.1 实验数据

2.1.1 热敏电阻的温度特性

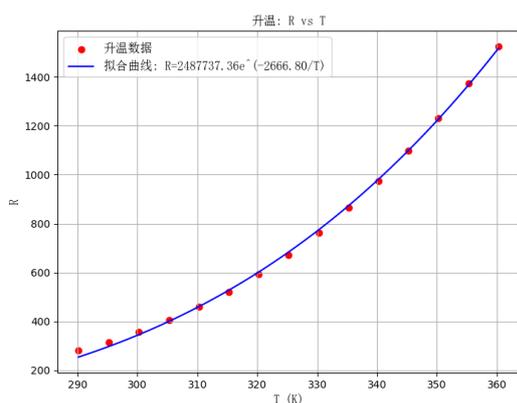
正温度系数热敏电阻

表 1: 正温度系数热敏电阻的升温数据, 室温为 15°C

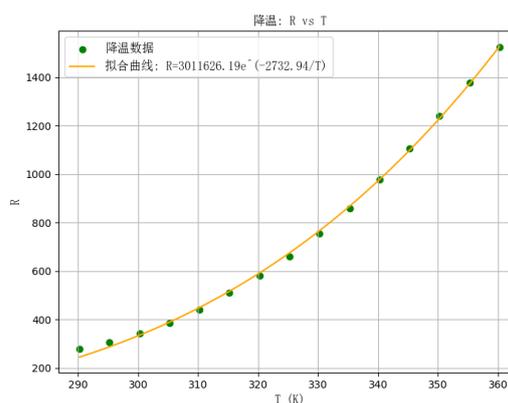
$T/^\circ\text{C}$	17.0	22.1	27.1	32.1	37.1	42.1	47.1	52.1
$R_{\text{正}}$	280.3	315.1	355.7	403.6	458	521	592	672
$T/^\circ\text{C}$	57.1	62.1	67.1	72.1	77.1	82.1	87.1	
$R_{\text{正}}$	763	864	975	1098	1231	1373	1525	

表 2: 正温度系数热敏电阻的降温数据, 室温为 15°C

$T/^\circ\text{C}$	87.1	82.1	77.1	72.1	67.1	62.1	57.1	52.1
$R_{\text{正}}$	1525	1379	1241	1107	978	860	755	662
$T/^\circ\text{C}$	47.1	42.1	37.1	32.1	27.1	22.1	17.1	
$R_{\text{正}}$	581	511	440	387.0	343.6	307.6	277.5	



(a) 升温拟合曲线



(b) 降温拟合曲线

图 1: 正温度系数热敏电阻实验结果图

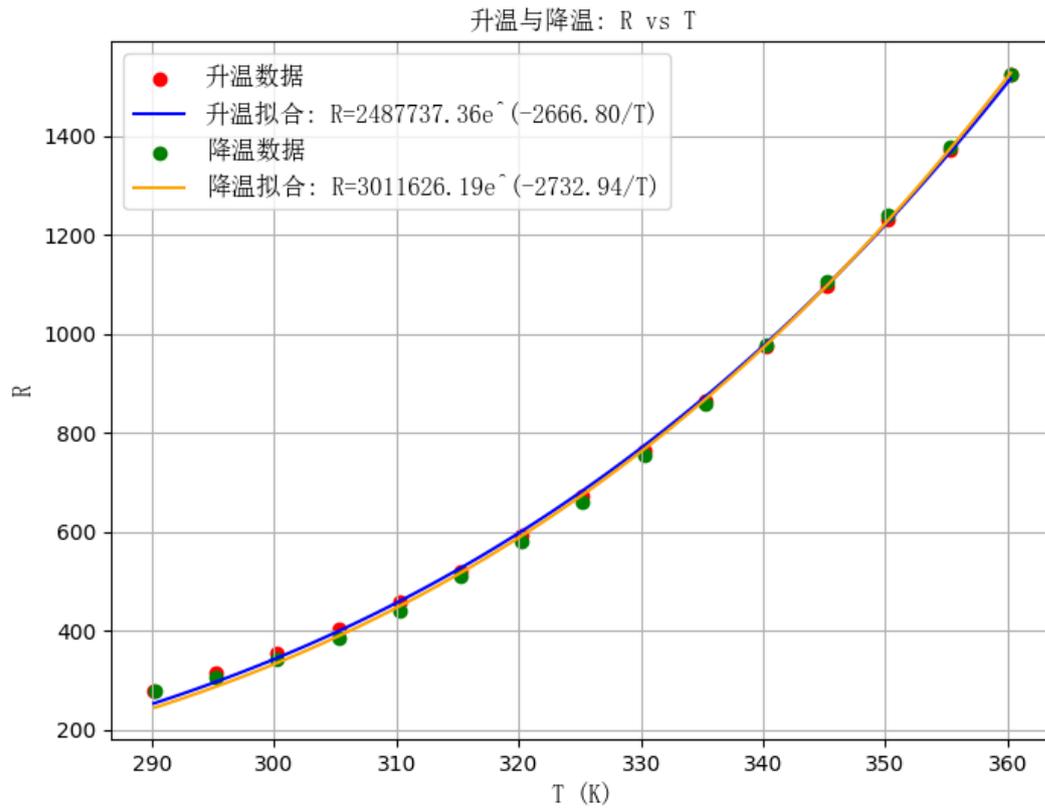


图 2: 两曲线比较

两曲线函数表达式为:

$$R_{\text{正}} = 2487737.36e^{-2666.80/T}$$

$$R_{\text{正}} = 3011626.19e^{-2732.94/T}$$

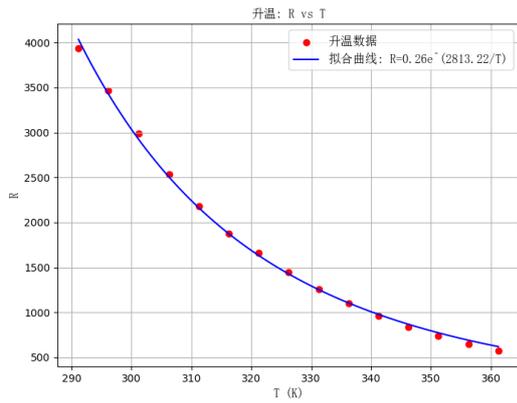
负温度系数热敏电阻

表 3: 负温度系数热敏电阻的升温数据, 室温为 15°C

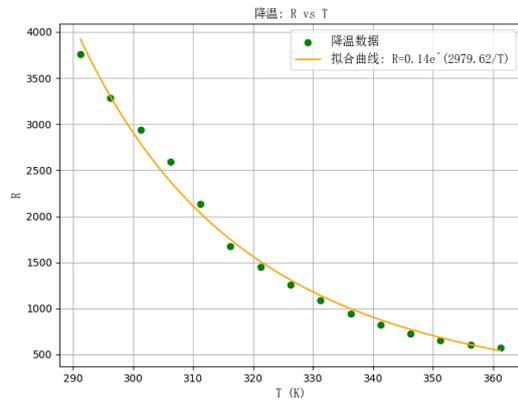
T/°C	18.0	23.0	28.1	33.1	38.1	43.1	48.1	53.1
$R_{\text{负}}$	3938	3469	2985	2534	2180	1877	1659	1447
T/°C	58.1	63.1	68.1	73.1	78.1	83.1	88.1	
$R_{\text{负}}$	1255	1100	959	835	737	650	573	

表 4: 负温度系数热敏电阻的降温数据, 室温为 15°C

T/°C	88.1	83.1	78.1	73.1	68.1	63.1	58.1	53.1
$R_{负}$	573	601	652	726	823	946	1090	1257
T/°C	48.1	43.1	38.1	33.1	28.1	23.1	18.1	
$R_{负}$	1453	1676	2129	2593	2936	3284	3762	



(a) 升温拟合曲线



(b) 降温拟合曲线

图 3: 负温度系数热敏电阻实验结果图

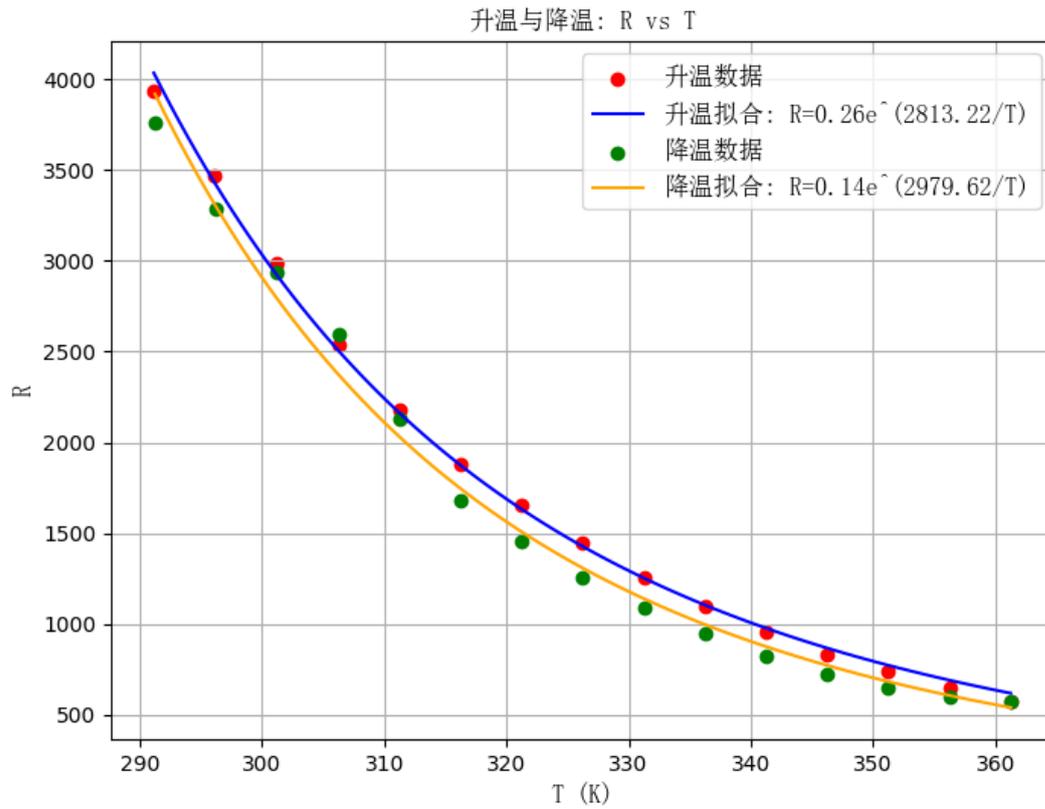


图 4: 两曲线比较

两曲线函数表达式为:

$$R_{\text{负}} = 0.26e^{2813.22/T}$$

$$R_{\text{负}} = 0.14e^{2979.62/T}$$

2.1.2 金属电阻的温度特性

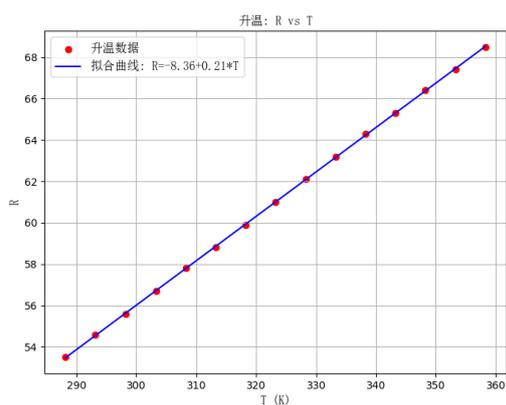
铜电阻

表 5: 铜电阻的升温数据, 室温为 15°C

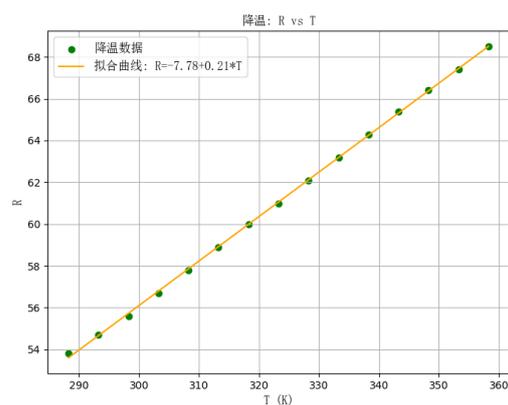
T/°C	15.0	20.0	25.1	30.1	35.1	40.1	45.1	50.1
$R_{\text{铜}}$	53.5	54.6	55.6	56.7	57.8	58.8	59.9	61.0
T/°C	55.1	60.1	65.1	70.1	75.1	80.1	85.1	
$R_{\text{铜}}$	62.1	63.2	64.3	65.3	66.4	67.4	68.5	

表 6: 铜电阻的降温数据, 室温为 15°C

T/°C	85.1	80.1	75.1	70.1	65.1	60.1	55.1	50.1
$R_{\text{铜}}$	68.5	67.4	66.4	65.4	64.3	63.2	62.1	61.0
T/°C	45.1	40.1	35.1	30.1	25.1	20.1	15.1	
$R_{\text{铜}}$	60.0	58.9	57.8	56.7	55.6	54.7	53.8	



(a) 升温拟合曲线



(b) 降温拟合曲线

图 5: 铜电阻实验结果图

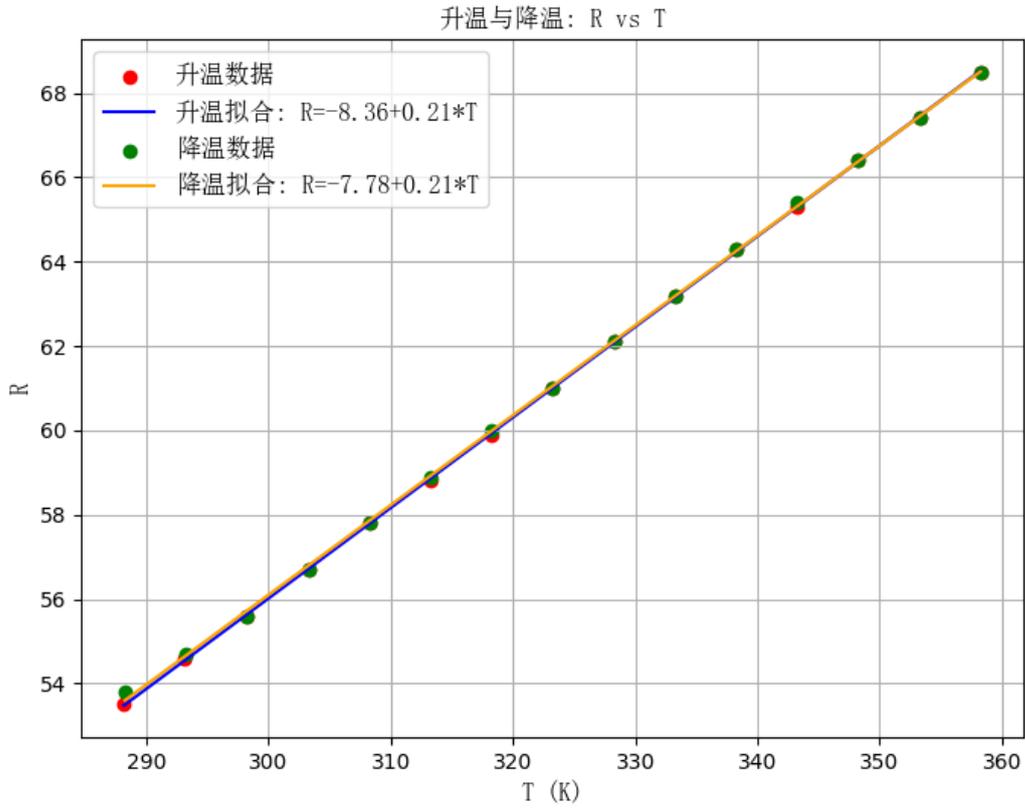


图 6: 两曲线比较

两曲线函数表达式为:

$$R_{\text{铜}} = 8.36 + 0.21T$$

$$R_{\text{铜}} = 7.78 + 0.21T$$

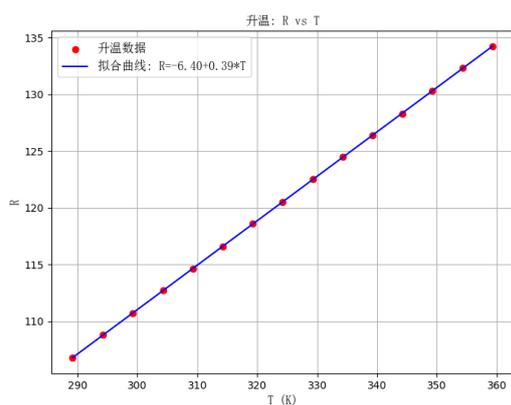
铂电阻

表 7: 铂电阻的升温数据, 室温为 15°C

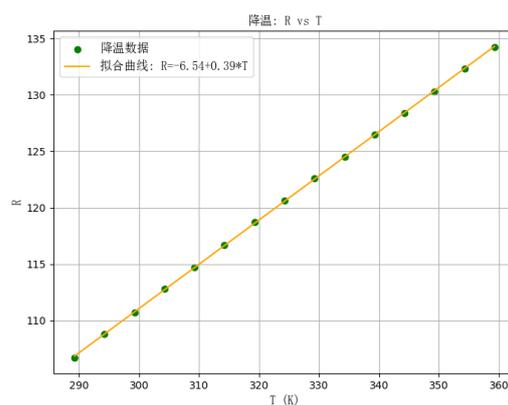
T/°C	16.0	21.1	26.1	31.1	36.1	41.1	46.1	51.1
$R_{\text{铂}}$	106.8	108.8	110.7	112.7	114.6	116.6	118.6	120.5
T/°C	56.1	61.1	66.1	71.1	76.1	81.1	86.1	
$R_{\text{铂}}$	122.5	124.5	126.4	128.3	130.3	132.3	134.2	

表 8: 铂电阻的降温数据, 室温为 15°C

T/°C	86.1	81.1	76.1	71.1	66.1	61.1	56.1	51.1
$R_{\text{铂}}$	134.2	132.3	130.3	128.4	126.5	124.5	122.6	120.6
T/°C	46.1	41.1	36.1	31.1	26.1	21.1	16.1	
$R_{\text{铂}}$	118.7	116.7	114.7	112.8	110.7	108.8	106.7	



(a) 升温拟合曲线



(b) 降温拟合曲线

图 7: 铂电阻实验结果图

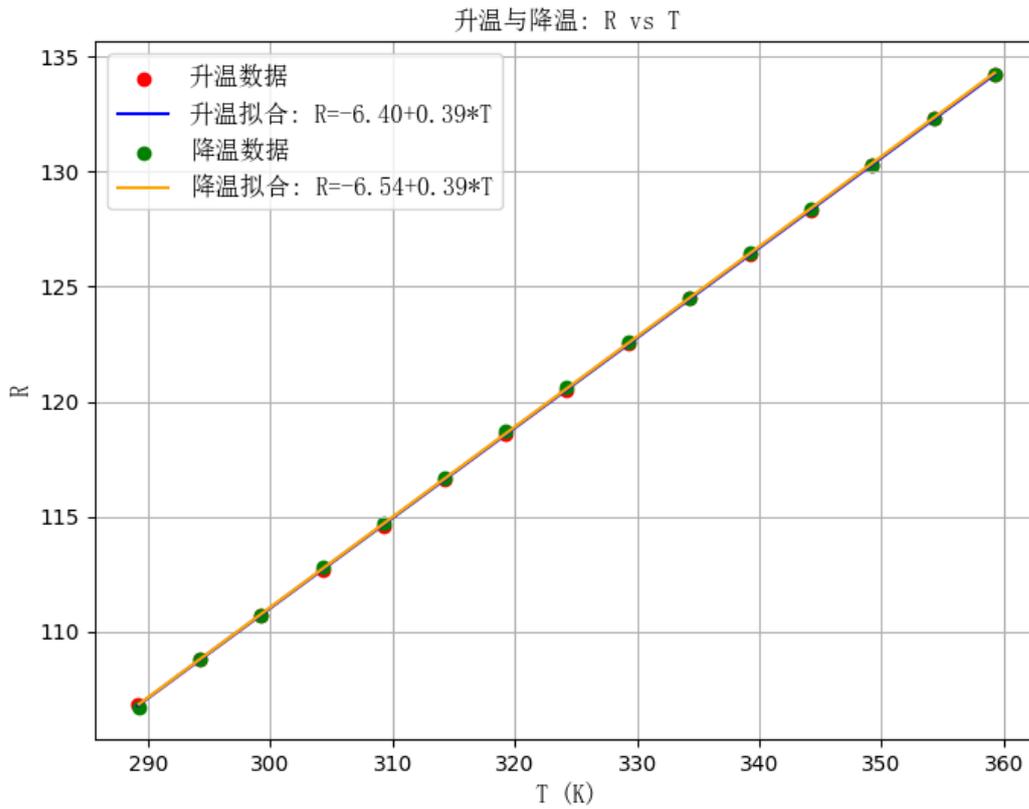


图 8: 两曲线比较

两曲线函数表达式为:

$$R_{\text{铂}} = 6.40 + 0.39T$$

$$R_{\text{铂}} = 6.54 + 0.39T$$

2.1.3 热电偶的温度特性

表 9: 热电偶的升温数据, 室温为 15°C

$T/^{\circ}\text{C}$	19.0	24.1	29.1	34.1	39.1	44.1	49.1	54.1
E/mv	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6
$T/^{\circ}\text{C}$	59.1	64.1	69.1	74.1	79.1	84.1	89.1	
E/mv	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	2.9	

表 10: 热电偶的降温数据, 室温为 15°C

$T/^{\circ}\text{C}$	89.1	84.1	79.1	74.1	69.1	64.1	59.1	54.1
E/mv	2.9	2.8	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.3
$T/^{\circ}\text{C}$	49.1	44.1	39.1	34.1	29.1	24.1	19.1	
E/mv	1.2	0.9	0.8	0.6	0.4	0.3	0.0	

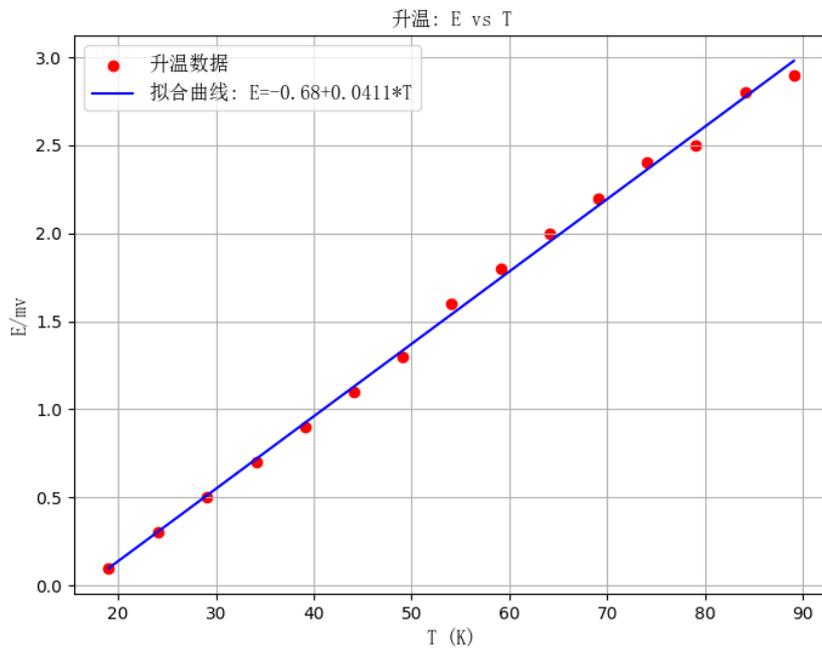


图 9: 热电偶升温结果图

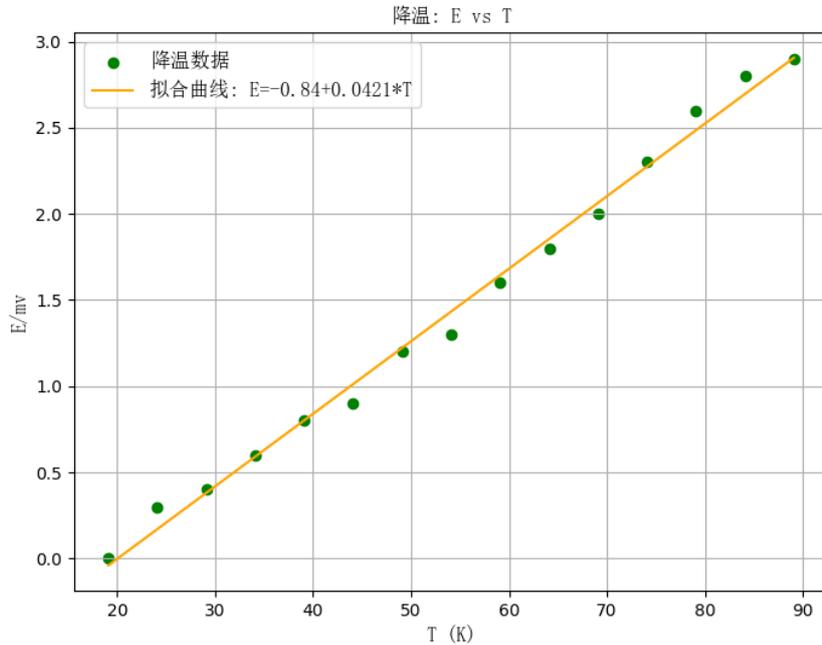


图 10: 热电偶降温结果图

两曲线函数表达式为:

$$E = 0.68 + 0.411T$$

$$E = 0.84 + 0.0421T$$

在升温曲线中, 斜率 $\alpha = 0.0411\text{mv}/^\circ\text{C}$, 与理论值 $0.0428\text{mv}/^\circ\text{C}$ 相比, 相对误差为:

$$\frac{0.0428 - 0.0411}{0.0428} \times 100\% = 3.97\%$$

在降温曲线中, 斜率 $\alpha = 0.0421\text{mv}/^\circ\text{C}$, 与理论值 $0.0428\text{mv}/^\circ\text{C}$ 相比, 相对误差为:

$$\frac{0.0428 - 0.0421}{0.0428} \times 100\% = 1.64\%$$

2.2 实验结果与误差分析

2.2.1 热敏电阻的温度特性

在正负系数的热敏电阻中, 利用函数 $R = Ae^{B/T}$ 进行拟合, 从图中可以看出, 拟合的效果都很好。

另外观察可发现, 对于正温度系数热敏电阻, 降温时的电阻在一开始高于升温, 但之后保持持平甚至低于, 对于负温度系数热敏电阻, 降温时的电阻几乎总是低于升温时的。

推测可能的原因是，实验仪器显示的温度并非是电阻的温度，在降温时，一开始温度下降不均匀，电阻的温度高于显示的温度，但随着时间的推移，温度逐渐均匀，电阻的阻值也几乎回归正常。并且从图中数据可看出，所用的负温度系数热敏电阻的温度特性曲线更加陡峭，升降温差异更大，说明其对温度的敏感度更高。

2.2.2 金属电阻的温度特性

铜和铂电阻的温度特性曲线都很好地拟合了线性关系，说明金属电阻的阻值与温度的关系是线性的。另外，由于金属对温度的敏感度不如热敏电阻，在升温与降温时电阻差异不大。

从拟合的函数表达式可以看出，铂电阻相比于铜电阻阻值更大，且随温度变化幅度更大。

2.2.3 热电偶的温度特性

热电偶的温度特性曲线也符合线性关系，符合预期。另外，由于热电偶对温度的敏感度较高，升温与降温时电动势存在差异。

最后计算出的热电势系数与理论值相比，误差在 5% 以内，说明实验结果较为准确。降温时的热电势系数相比于升温时更接近理论值，也说明了前面提到的温度下降不均匀的温度。

本实验的误差来源有：

1. 仪器的温度显示不一定是电阻的真实温度，存在系统误差。
2. 温度变化较快时，读数可能也变化较快，难以读取精确值。
3. 万用表的测量精度限制了实验的精度。

2.3 热电效应的基本原理

查阅资料得知，热电效应是指在导体或半导体中，由温度差引起电动势或电流的现象，主要包括塞贝克效应、珀尔帖效应和汤姆逊效应。

2.3.1 塞贝克效应

当两种不同的导体或半导体组成闭合回路，且两端存在温度差时，回路中会产生电动势，形成电流。

2.3.2 珀尔帖效应

当电流通过两个不同导体的接点时，接点处会发生放热或吸热现象。

2.3.3 汤姆逊效应

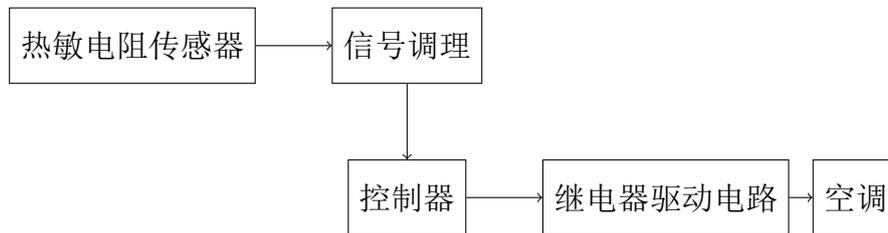
当电流在温度不均匀的导体中流过时，导体除产生不可逆的焦耳热之外，还要吸收或放出一定的热量

2.4 利用热敏电阻控制空调启停的系统设计

2.4.1 测温基本原理

热敏电阻的电阻值会随着温度的变化而发生显著变化。通过测量热敏电阻的电阻值变化，可以准确感知环境温度，实现温度的实时监测，进而判断是否需要开启空调。

2.4.2 系统框图设计



2.4.3 系统工作过程

系统利用热敏电阻传感器实时检测环境温度，传感器的电阻变化经过信号转换后，转化为数字信号输入控制器。控制器根据设定的温度阈值，判断当前温度是否需要开启或关闭空调。当温度高于设定值时，控制器控制继电器驱动电路接通空调电源，启动空调降温；当温度低于设定值时，断开继电器，关闭空调。

3 参考文献

本实验无参考文献。