

## 1.实验名称

直流电桥测电阻

## 2.实验目的

- (1) 了解单电桥测量电阻的原理，掌握直流电桥的基本使用方法。
- (2) 利用单电桥测量铜丝的电阻温度系数，学习用直线拟合法及作图法处理数据。
- (3) 利用非平衡互易桥构建数字温度计，学习桥路的应用分析设计。

## 3.实验原理（简明扼要）

## 一、惠斯通电桥测电阻

惠斯通电桥电路原理如图 1 所示， $R_1$ 、 $R_2$  和  $R$  阻值已知。A、C 间接电源  $E$ ；B、D 间接检流计  $G$ 。调节电阻  $R$ ，当 B、D 两点电位相等，检流计  $G$  中无电流通过，电桥达到平衡。

此时有  $\frac{R_x}{R_2} = \frac{R}{R_1}$ ，即  $R_x = \frac{R_2}{R_1} R$ 。

单电桥的线路如图 2 所示，将  $R_2$  和  $R_1$  做成比值为  $C$  的比率臂，则  $R_x = CR$ ， $C = \frac{R_2}{R_1}$ 。

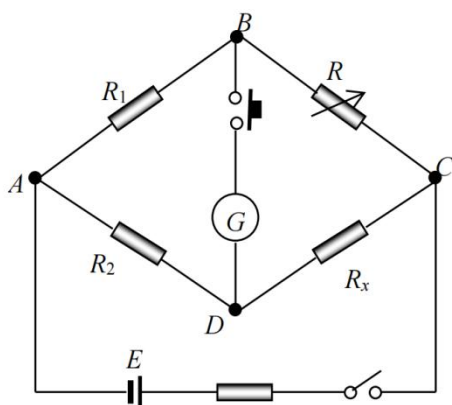


图 1 电桥原理图

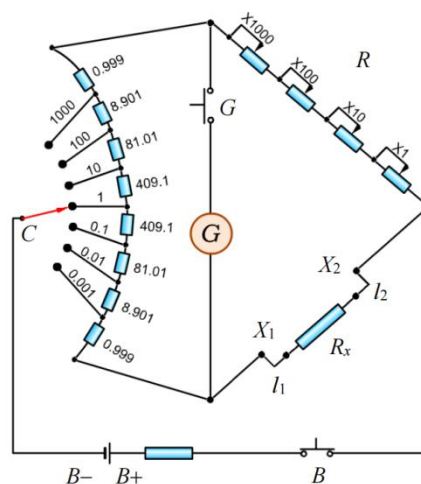


图 2 单电桥电路图

## 二、铜丝的电阻温度特性

金属电阻随温度升高而增大， $R_t = R_0(1 + \alpha_R t)$ ，其中  $R_t$ 、 $R_0$  分别为  $t^\circ\text{C}$ 、 $0^\circ\text{C}$  时金属的电阻值， $\alpha_R$  为金属的电阻温度系数。在  $-50 \sim 100^\circ\text{C}$  间，铜的  $\alpha_R$  变化很小，可视为常量， $R_t$  与  $t$  呈线性关系， $\alpha_R = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}$ 。

## 三、数字温度计设计

将图 1 的检流计  $G$  去掉，通过毫伏表测量其两端的电压  $U_t$  来确定电阻，构成非平衡电桥，如图 3 所示。此时  $I_{R_2 R_t} \gg I_{R_1 R}$ ， $\Delta U_t$  较大，非线性，且  $I_{R_2 R_t}$  过大易烧坏电路。因此将电源  $E$  与毫伏表互易位置，如图 4 所示，由于电桥的对称性，互易后电路与原先等效，此时  $I_{R_1 R_2} \approx I_{R R_t}$ ， $\Delta U_t$  较小，接近线性。输出电压  $U_t = E \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R}{R + R_t} \right)$ 。取  $C = 0.01$ ， $R = R_0/C$ ，则上式可近

似为  $U_t = \frac{EC\alpha_R}{(1+C)^2} t + \Delta U$ ， $\Delta U$  为非线性误差项，为使显示值与温度满足  $U_t = \frac{1}{10} t$  (mV)，取  $E = \frac{(1+C)^2}{10C\alpha_R}$ 。

# 物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 座位号 9

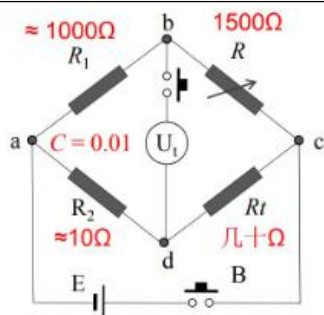


图 3 非平衡桥

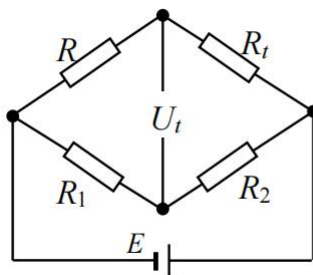


图 4 互易桥

## 4.实验仪器（名称、规格型号）

实验台号：9

仪器名称及型号：QJ23 型直流单电桥（编号：93061315）、控制仪、加热器、烧杯、直流稳压电源、数字调压器、万用表、温度表/毫伏表、Pt100 温度计

## 5.实验任务或步骤（列出关键事项，简单明了）

### 一、惠斯通电桥测电阻

- （1）单电桥检流计外接端短接，B+和 B 接直流稳压电源 DC5V，检流计调零。
- （2）待测电阻接入  $X_1X_2$  间，根据被测电阻的标称值，选定比率 C，预置测量盘 R（尽量用到最高位盘）。
- （3）点按电源开关 B、检流计开关 G（先按 B 后 G，先断 G 后 B），调节测量盘 R，使检流计指针为 0，读取 C 和 R 的值。
- （4）桥路平衡后，将测量盘电阻 R 改变  $\Delta R$ ，使检流计偏转 d 格（d 不超过 2 分格），计算电桥灵敏阈。

### 二、单电桥测铜丝的电阻温度系数

- （1）将铜丝线圈接入单电桥  $X_1X_2$  间，测量加热前的水温及铜丝的电阻值。
- （2）起始温度到 70℃ 间，每隔 5℃~6℃ 左右测一次温度 t 及相应的阻值  $R_t$ ，测量时应大致热平衡。
- （3）将测得数据用计算机进行线性拟合，计算出  $R_0$  和  $\alpha_R$ 。

### 三、铜电阻数字温度计的设计组装

- （1）单电桥检流计内接短路，外接端接数字调压计，B+和 B 接毫伏表。
- （2）根据二中所得  $R_0$  和  $\alpha_R$  设置桥路 C、R、E，锁住开关 B、G。
- （3）从室温到 70℃ 间，每隔 4~5℃ 测一次  $U_t$  和 t，测 6~8 组。
- （4）上机拟合，检验  $U_t$  和 t 线性关系。

# 物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 座位号 9

## 6.数据处理 (数据整理、计算、作图、不确定度分析、实验结果等)

### 一、惠斯通电桥测电阻

#### (1) 数据整理

仪器组号 9 电桥型号 QJ-23 编号 93061315

电阻标称值/ $\Omega$	1k	11k	120	360k
比率臂读数C	0.1	10	0.1	100
准确度等级指数 $\alpha$	0.2	0.5	0.2	0.5
平衡时测量盘读数R/ $\Omega$	9942	1096	1191	3606
平衡后将检流计 调偏 $\Delta d$ /格	1.0	1.2	0.8	1.0
与 $\Delta d$ 对应的测量盘的示值 变化 $\Delta R$ / $\Omega$	40	6	1	400
测量值CR/ $\Omega$	994.2	10.96k	119.1	360.6k
电桥的基本误差极限 $[ E_{lim}  = (\alpha\%)(CR + 500C)]/\Omega$	2.1	79.8	0.34	2053
灵敏阈 $(\Delta_s = 0.2C \cdot \Delta R/\Delta d)/\Omega$	0.8	10	0.025	8000
不确定度 $(\Delta_{R_x} = \sqrt{E_{lim}^2 + \Delta_s^2})/\Omega$	2.2	80.4	0.34	8259
$(R_x = CR \pm \Delta_{R_x})/\Omega$	994.2 $\pm$ 2.2	10.96k $\pm$ 0.08k	119.1 $\pm$ 0.3	360.6k $\pm$ 8.3k

#### (2) 数据处理过程

# 物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 座位号 9

1k $\Omega$ :

$$|E_{lim}| = 0.2\% (0.1 \times 9942 + 500 \times 0.1)$$

$$= 2.1 \Omega$$

$$\Delta S = 0.2 \times 0.1 \times \frac{40}{1.0} = 0.8 \Omega$$

$$\Delta R_x = \sqrt{2.1^2 + 0.8^2} = 2.2 \Omega$$

$$R_x = 0.1 \times 9942 \pm 2.2$$

$$= 994.2 \pm 2.2 \Omega$$

11k $\Omega$ :

$$|E_{lim}| = 0.5\% (10 \times 1096 + 500 \times 10)$$

$$= 79.8 \Omega$$

$$\Delta S = 0.2 \times 10 \times \frac{6}{1.2} = 10 \Omega$$

$$\Delta R_x = \sqrt{79.8^2 + 10^2} = 80.4 \Omega$$

$$R_x = 10 \times 1096 \pm 80.4$$

$$= 10.96k \pm 0.08k \Omega$$

120 $\Omega$ :

$$|E_{lim}| = 0.2\% (0.1 \times 1191 + 500 \times 0.1)$$

$$= 0.34 \Omega$$

$$\Delta S = 0.2 \times 0.1 \times \frac{1}{0.8} = 0.025 \Omega$$

$$\Delta R_x = \sqrt{0.34^2 + 0.025^2} = 0.34 \Omega$$

$$R_x = 0.1 \times 1191 \pm 0.34$$

$$= 119.1 \pm 0.3 \Omega$$

360k $\Omega$ :

$$|E_{lim}| = 0.5\% (100 \times 3606 + 500 \times 100)$$

$$= 2053 \Omega$$

$$\Delta S = 0.2 \times 100 \times \frac{400}{1.0} = 8000 \Omega$$

$$\Delta R_x = \sqrt{2053^2 + 8000^2} = 8259 \Omega$$

$$R_x = 100 \times 3606 \pm 8259$$

$$= 360.6k \pm 8.3k \Omega$$

## (3) 实验结果

a) 单电桥操作规律: 检流计向左偏时, R 偏大, 应调小, 检流计向右偏时, R 偏小, 应调大。

b) 误差分析: 待测电阻增大时, 电桥的灵敏阈增大, 不确定度增大,  $R_x$  相对误差增大。见下表:

电阻标称值 / $\Omega$	1k	11k	120	360k
测量值 CR / $\Omega$	994.2	10.96k	119.1	360.6k
不确定度 $\Delta R_x / \Omega$	2.2	80.4	0.3	8259
$R_x$ 相对误差 $\frac{\Delta R_x}{CR}$	0.22%	0.73%	0.25%	2.29%

单电桥法虽然理论上来说, 只要检流计足够灵敏就能得到足够精确的结果, 但由于测量盘阻值不是连续可调的, 待测电阻较大时, 比率 C 较大, 调节测量盘改变的最小电阻较大。因此测量

# 物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 座位号 9

时可能经常找不到“真正的”电桥平衡点，如有时检流计指针在 0 的左边几格，而改变最小的电阻值后发现指针在 0 的右方几格。

## c) 电阻测量结果

电阻标称值/ $\Omega$	1k	11k	120	360k
$(R_x = CR \pm \Delta_{R_x})/\Omega$	994.2 $\pm$ 2.2	10.96k $\pm$ 0.08k	119.1 $\pm$ 0.3	360.6k $\pm$ 8.3k

## 二、单电桥测铜丝的电阻温度系数

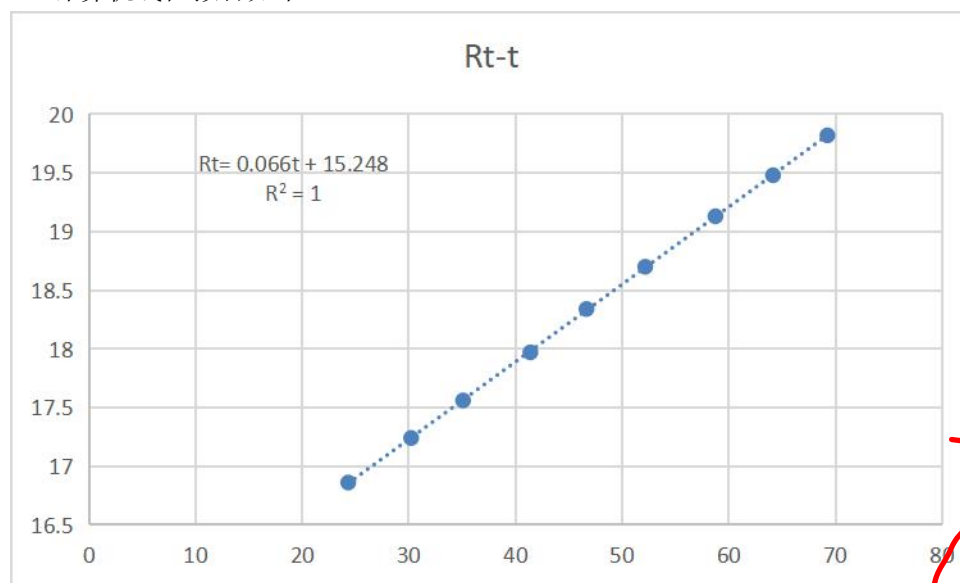
### (1) 数据整理

起始温度  $t = 24.32^\circ\text{C}$  比率臂  $C = 0.01$  测量盘读数  $R = 1686\Omega$  起始电阻为  $16.86\Omega$ 。

	温度 $t/^\circ\text{C}$	比率臂 $C$	测量盘读数 $R/\Omega$	$R_t = CR/\Omega$
1	30.22	0.01	1724	17.24
2	35.09	0.01	1756	17.56
3	41.40	0.01	1797	17.97
4	46.66	0.01	1834	18.34
5	52.17	0.01	1870	18.70
6	58.75	0.01	1913	19.13
7	64.15	0.01	1948	19.48
8	69.25	0.01	1982	19.82

### (2) 数据处理过程

#### a) 计算机线性拟合如下：



由图可知  $a = 15.248$ ,  $b = 0.066$ ,  $r = 1.000$

$R_0 = a = 15.248\Omega$

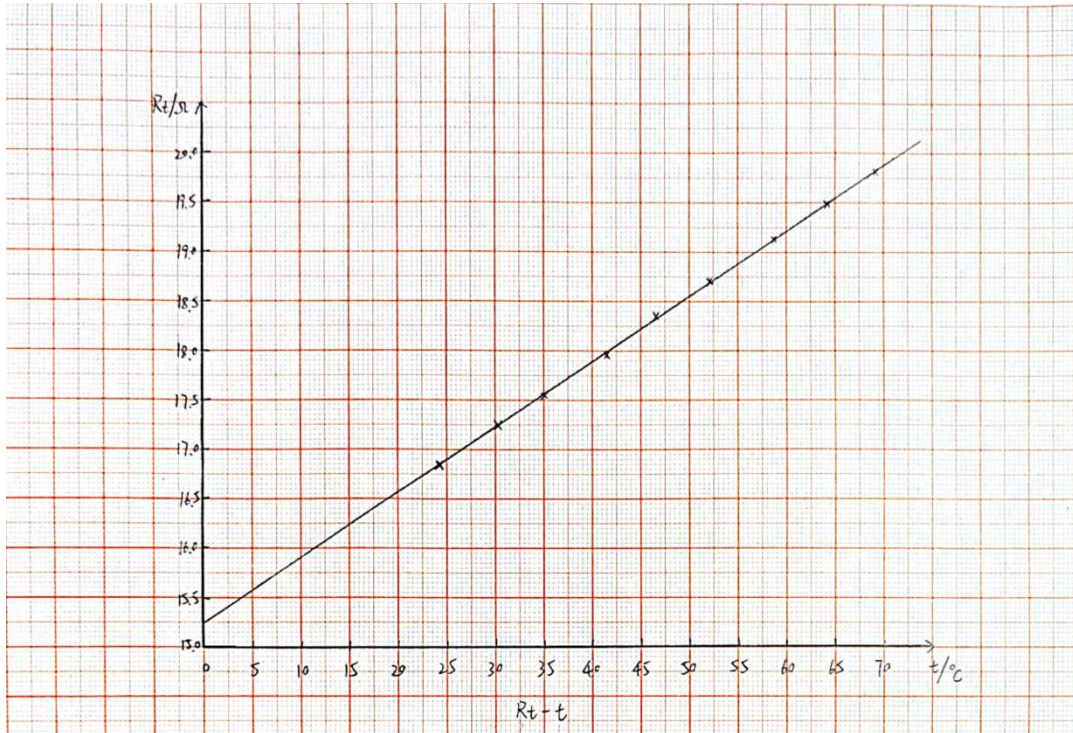
单位

# 物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 座位号 9

$$\alpha_R = \frac{b}{a} = 0.066 \div 15.248 = 4.328 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

b) 作图法拟合如下:



由图可知  $R_0 = 15.25 \Omega$ ,  $\alpha_R = \frac{R_{t1} - R_{t2}}{R_0(t_1 - t_2)} = \frac{19.55 - 17.00}{15.25 \times (65.00 - 26.50)} = 4.343 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

## (3) 实验结果

通过计算机线性拟合得结果:  $R_0 = 15.248 \Omega$ ,  $\alpha_{R1} = 4.328 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

通过作图法得结果:  $R_0 = 15.25 \Omega$ ,  $\alpha_{R2} = 4.343 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

$\frac{|\Delta\alpha_R|}{\alpha_{R1}} = 0.35\%$ , 在误差允许的范围内, 通过两种方法测出的  $\alpha_R$  相等。

## 三、铜电阻数字温度计的设计组装

### (1) 数据整理

取  $C = 0.01$ ,  $R = \frac{R_0}{C} = 1525 \Omega$ ,  $E = \frac{(1+C)^2}{10C\alpha} = 2357 \text{ mV}$

温度 $t/^\circ\text{C}$	28.73	34.16	39.02	46.88	51.84	57.82
毫伏表示数 $U/\text{mV}$	2.84	3.42	3.91	4.70	5.22	5.78

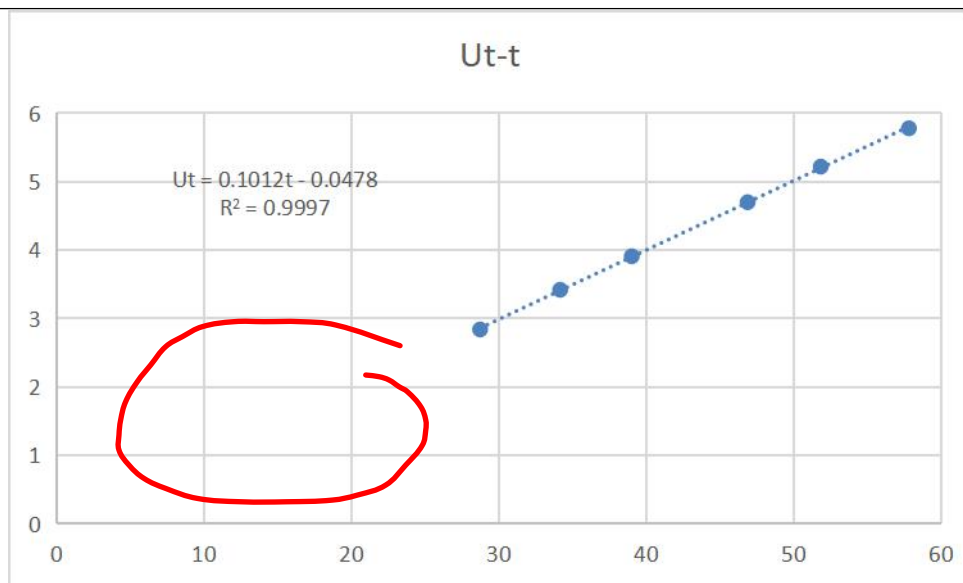
### (2) 数据处理过程

计算机拟合如下:



# 物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 座位号 9



图要占满

## (3) 实验结果

$$U_t = 0.1012t - 0.0478 \text{ (mV)}, a = -0.0478, b = 0.1012, r = 0.998$$

相较于室温到  $70^\circ\text{C}$  间的  $U_t$ ,  $a$  很小可以忽略, 因此在误差允许的范围内,  $U_t$  与  $t$  近似线性相关,  $\frac{|a|}{0.1} = 1.2\%$ ,  $b$  与设计的系数近似相等。

## 7.实验小结 (据实分析, 不写虚)

### (一) 小结

通过本次实验, 我学会了用单电桥测量电阻, 了解了数字温度计的原理, 掌握了 QJ23 型直流单电桥、控制仪、数字调压器等仪器的使用, 锻炼了作图法及计算机拟合等数据处理的能力。明白了为使得实验更有效率更精确地开展, 提前应进行精密的计算, 充分了解所能接触到的原理, 对实验有预期, 规避一些操作上的失误。体会了理论与实际存在差距, 理论上精确的东西, 付诸实际时总会由于种种因素产生误差。铭记了实验中应按规定使用仪器, 实验后应整理好设备, 避免危险的发生。

### (二) 思考题:

(1) 为什么用单电桥测电阻一般比伏安法测量的准确度高? 单电桥中检流计的准确度对实验中所用的平衡电桥法测量有无影响?

答: 单电桥测电阻电源及检流计的电阻对测量没有影响, 但伏安法中, 电压表内阻分流或电流表内阻分压都会对测量值造成影响, 因此单电桥测电阻一般比伏安法测量的准确度高。单电桥中检流计的准确度对实验中所用的平衡电桥法测量有影响, 若检流计不准, 指针指向 0 时, 电桥未必平衡, 桥两端电位不一定相等,  $\frac{R_x}{R_2} = \frac{R}{R_1}$  不成立, 不可用  $R_x = \frac{R_2}{R_1} R$  计算被测电阻。

(2) 如果用实验中所用到的单电桥测一微安表的内阻, 应怎样才能保证被测微安表不超量程?

答: 微安表串联限流电阻, 其阻值大小满足当其他外阻为零时, 电路中的电流小于电流表的满偏电流, 且使电路中的电流变化范围不致太小最好能使电流大于满偏的  $1/2$ 。

(3) 用电桥测量电感线圈的直流电阻时, 为防止通断瞬间产生大电流损伤检流计或干扰测量, 接通时应先按合 B、后按合 G, 断开时应先断 G 后断 B, 为什么?

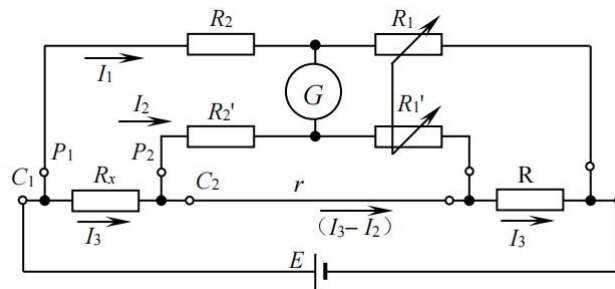
## 物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 座位号 9

答：接通时，先按合 B 使得电感线圈过渡过程结束达到平衡，则接入 G 时不至于有电流突变，且减小电感线圈交流电抗干扰测量。断开时，先断 G，以防断开 B 后，G 与电感间仍形成回路，突然有大电流流过检流计。

(4) 直流双电桥和单电桥在结构上有什么不同？为什么前者适合于低值电阻的测量？

答：如图所示，直流双电桥被测电阻和测量盘电阻均采用四端接法，单电桥为二端，且双电桥电路中增设了两个臂  $R_1'$  和  $R_2'$ ，其阻值较高。这样，电阻 R 和  $R_x$  的电压端附加电阻（即两端的引线电阻和接触电阻）由于和高阻值臂串联，其影响减小了；两个外侧电流端的附加电阻串联在电源回路中，其影响可忽略；两个内侧电流端的附加电阻和小电阻 r 相串联，相当于增大了 r，其影响通常也可忽略。



(5) 用惠斯通电桥测量电阻时，如果发现检流计的指针总是向一边偏转，请分析可能的原因。

答：可能是没有选择合适的比率，被测电阻不在电桥的测量范围内。

附原始数据记录（有教师签字）图表等



# 物理实验报告

姓名 刘若涵 学号 2020011126 班级 自 05 组号 单三晚 座位号 9

## 1. 惠斯通电桥测电阻

仪器组号 9 电桥型号 QJ23 编号 93061315

电阻标称值( $\Omega$ )	1k	11k	120	360k
比率臂读数C	0.1	10	0.1	100
准确度等级指数2	0.2	0.5	0.2	0.5
平衡时测量盘读数R( $\Omega$ )	9942	1096	1191	3606
平衡后将检流计调偏od(格)	1.0	1.2	0.8	1.0
与od对应的测量盘的示值变化 $\Delta R$ ( $\Omega$ )	40	6	1	400
测量值CR( $\Omega$ )	994.2	10.96k	119.1	360.6k
$ E_{lim}  = (2\%)(CR + 500C)(\Omega)$	2.1	79.8	0.34	2053
$\Delta S = 0.2C \Delta R / od(\Omega)$	0.8	10	0.025	8000
$\Delta R_x = \sqrt{E_{lim}^2 + \Delta S^2}(\Omega)$	2.2	80.4	0.34	8259
$R_x = CR \pm \Delta R_x(\Omega)$	994.2 $\pm$ 2.2	10.96k $\pm$ 80.4	119.1 $\pm$ 0.34	360.6k $\pm$ 8259

2.

加热前水温 24.32 $^{\circ}$ C 加热前铜丝电阻值 16.86 $\Omega$

温度t( $^{\circ}$ C)	30.22	35.09	41.40	46.66	52.17	58.75	64.15	69.25
阻值Rt( $\Omega$ )	17.24	17.56	17.97	18.34	18.70	19.13	19.48	19.82

$$R_t = 0.066t + 15.248$$

直线拟合结果  $r = 1$   $a = 15.248$   $b = 0.066$

$$R_0 = 15.248\Omega \quad \alpha_R = 4.328 \times 10^{-3} (^{\circ}\text{C})^{-1}$$

3.

$$C = 0.01 \quad R = 1525\Omega \quad E = 2357 \text{ mV}$$

U <sub>t</sub> (mV)	2.84	3.42	3.91	4.70	5.22	5.78
温度t( $^{\circ}$ C)	28.73	34.16	39.02	46.88	51.84	57.82

刘若涵