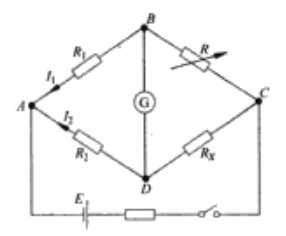
**直流电桥测电阻  
实验报告**

双33A组 2号

水工71班 石健

2007010241

2008年11月19日

1. **实验目的**
2. 了解单电桥测电阻的原理，初步掌握直流单电桥的使用方法；
3. 单电桥测量铜丝的电阻温度系数，学习用作图法和直线拟合法处理数据；
4. 了解双电桥测量低电阻的原理，初步掌握双电桥的使用方法。
5. 了解数字电表的原理和线性化设计的方法
6. **实验原理**

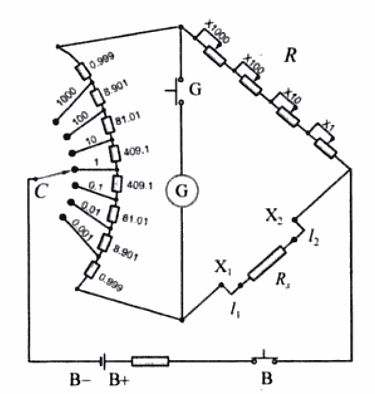
**2.1 惠斯通电桥测电阻**

惠斯通电桥是最常用的直流电桥。其中，和是已知阻值的标准电阻，他们和被测电阻构成四个“臂”，对角*B*和*D*之间接有检流计G，它像桥一样。若调节R使测流计中电流为0，则桥两端*B*和*D*点的电位相等，电桥达到平衡，这时可得：

，

图1 电桥原理简图

图1 电桥原理简图

两式相除可得：

只要检流计足够灵敏，上式就能相当好地成立，就能用三个标准电阻的值来求得，而与电源电压无关。从而测量的准确度较高。

单电桥的实际电路如右图所示。将和做成比值为的比率臂，则被测电阻为

其中，共分7个档：0.001～1000，为测量臂，由4个十进位的电阻盘组成。图中电阻单位为。

图2 单电桥电路图

**2.2 铜丝的电阻温度系数**

任何物体的电阻都与温度有关。多数金属的电阻随温度升高而增大，有如下关系式

式中，分别是时金属的电阻值；是电阻温度系数，单位是（）。严格地说，一般与温度有关，但对本实验所用的纯铜材料来说，在的范围内的变化很小，可当作常数，**即与*t*呈线性关系**。于是

利用金属电阻随温度变化的性质，可制成电阻温度计来测温。例如铂电阻温度计不仅准确度高、稳定性好，而且从都能使用。铜电阻温度计在范围内因其线性性好，应用也较广泛。

**2.3 双电桥测低电阻**

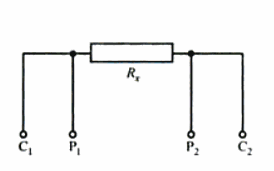
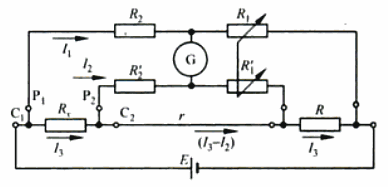
用图2的电路测电阻时，被测臂上引线等处都有一定的电阻，约为量级。这些引线电阻和接触电阻与待测电阻串联在一起，对低值电阻的测量影响很大。为减小他们的影响，在双电桥中做了两处明显的改进：

图3 低电阻的四端接法

1. 被测电阻和测量盘电阻均采用四端接法。
2. 如图4所示的双电桥中增设了两个臂和，其阻值较高。流过检测流计的电流为0时，电桥达到平衡，于是可以得到以下三个方程

上式中各量的意义见图4。解上列方程可得

图4 双电桥原理图

双电桥在结构设计上尽量做到使，并尽量减小电阻，因此可得：。

同样，在仪器中将做成比率臂，则

这样，电阻和的电压端附加电阻（即两端的引线电阻和接触电阻）由于和高电阻串联，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，其影响可以忽略；两个内测电流端的附加电阻和小电阻相传连，相当于增大了上式中的，其影响通常也可以忽略。于是只要将被测低电阻按四端接法接入双电桥进行测量，就可以像单电桥那样用来计算了。

**2.4 组装数字温度计**

**2.3.1 非平衡桥**

非平衡桥是指把单电桥中的检流计G去掉，通过测量其两端电压来测量电阻，与平衡桥相比，非平衡桥的优点是，可以在直接观测量与间接观测量之间建立函数关系，（而不是惠斯通电桥法里面，检流计仅仅作为“检验工具”），于是可以很方便快速地测得连续变化的电阻值。输出电压的公式为：

由2.2节知，铜丝电阻满足 ，则即可以通过测量铜丝电阻从而知道铜丝的温度；如用非平衡桥连续测得铜丝电阻的变化，那么就可以通过测量毫伏表实数从而测得温度。这就是数字温度计的原理。

一般来说，与的关系不是线性的，为了组装数字温度计，适当地选择电桥参数（），使其非线性项误差很小，在一定温度范围内近似呈线性关系。这就是线性化设计。

**2.3.2 互易桥**

把惠斯通电桥中电源和检流计位置互换，则，则这样的设计下误差较小。

**2.3.3 线性化设计**

欲组装一个温度范围在的铜电阻数字温度计，必须将的关系线性化，当采用量程为数字电压表来显示温度值时，要求显示值：

当温度，此时互易桥为平衡桥有：

式中铜丝电阻值，为测量臂电阻，对铜电阻来说，在范围内是线性关系：，那么， 可以改写为：

考虑到本实验中选，铜丝电阻温度系数，则上式可以进一步简化为：

其中为非线性误差项，忽略后，把上式与 比较得： 即：选择电桥参数，就可以使得数字电压表的示数与铜丝温度满足线性关系：。

1. **实验任务及步骤**
2. **惠斯通电桥测电阻**
3. 熟悉电桥结构，预调检流计零位。
4. 测不同量级的待测电阻值（其中有一个感生电阻），根据被测电阻的标称值（即大约值），首先选定比率并预置测量盘；接着调节电桥平衡而得到读数和的值，并注意总结操作规律；然后测出偏离平衡分格所需的测量盘示值变化，以便计算灵敏阈。
5. 根据记录的数据计算测量值，分析误差，最后给出各电阻的测量结果。
6. **单电桥测铜丝的电阻温度系数**
7. 测量加热前的水温及铜丝的电阻值
8. 从起始温度升温，每隔左右测一次温度及相应的阻值。
9. 注意摸索控制待测铜丝温度的方法。要求在**大致热平衡**（温度计示值基本不变）时进行测量。
10. 测量后用计算机进行直线拟合来检验数据。如果每次都在大致热平衡时测量，则和直线拟合的相关系数应该在以上。
11. **双电桥测低电阻**

测量一根金属丝的电阻或一根铜棒的电阻率。注意低电阻的四端接法。实验中要记下待测低阻的编号、双电桥的编号、测量范围和准确等级。

1. **组装数字温度计**
2. 将QJ-23型惠斯通电桥改装成互易桥（必须关掉电源后再操作）。电源*E*接到原电桥*G*的外接端（此时金属片必须将“内接”两端短路并拧紧），将数字电压表接到元电桥的B端。
3. 按所选的电桥参数组装数字温度计，即，其中在前面的实验中已测得。分析不准确对实验结果的影响。
4. 用实验检验组装的数字温度计

在前面测铜丝电阻温度系数的实验的水桶中继续进行，在余温度上每增加测个实验点，记录温度计示数测温范围大于。

1. **误差计算原理**
2. **QJ-23型单电桥不确定度计算**

使用QJ-23型单电桥在一定参考条件下（、电源电压偏离额定值不大于绝缘电阻符合一定要求、相对湿度等），电桥的基本误差极限可表示为

在上式中被测电阻值；第二项是常数项，是基准值，暂取。等级指数主要反映了电桥中各标准电阻（比率臂和测量臂）的准确度。

若测量范围或电源、检流计条件不符合登记指数对应的要求时，我们会发现电桥测量不够“灵敏”，即平衡后再改变（实际上等效地改变），而检流计却未见偏转。我们可将检流计灵敏阈（0.2分格）所对应的被测电阻的变化量叫做电桥的灵敏阈。的变化量可以这样测得：平衡后，将测量盘电阻人为地调偏分格，使检流计偏转分格（如2或者1分格），则按比例关系再求出0.2分格对应的，即：

电桥的灵敏阈反映了平衡判断中可能包含的误差，其值既和电源及检流计的参量有关，也和比率臂*C*以及的大小有关。。要减小，可适当提高电源电压或外界更灵敏的检流计。当测量范围及条件符合仪表说明书所规定的要求时，不大于的几分之一，可不计的影响，否则应该从下式得出测量结果的不确定度：

1. **QJ44型双电桥不确定度计算（略）**
2. **实验数据及误差分析**
3. **惠斯通电桥测电阻**

仪器组号 31# ；电桥型号 QJ-23 ；编号 2 。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 电阻标称值 | 1k | 11k | 360k | 1M | 120 | 25 | 200 |
| 比率臂读数 | 1 | 10 | 100 | 1000 | 0.1 | 0.01 | 0.1 |
| 准确度等级指数 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 平衡时测量盘读数 | 1002 | 1093 | 3530 | 1014 | 1198 | 2401 | 1958 |
| 平衡后将检流计 调偏 | 5 | 2 | 1 | 3 | 5 | 3 | 5 |
| 与对应的测量盘 的示值变化 | 1 | 2 | 100 | 230 | 1 | 2 | 1 |
| 测量值 | 1002 | 10930 | 353k | 1014k | 119.8 | 24.01 | 195.8 |
|  | 3.004 | 79.65 | 2015 | 30280 | 0.3396 | 0.05802 | 0.4916 |
|  | 0.04 | 2 | 2000 | 15333 | 0.0040 | 0.00133 | 0.0040 |
|  | 3.004 | 79.68 | 2839 | 33941 | 0.3396 | 0.05804 | 0.4916 |
|  |  | 1093080 | (3533)k | (101434)k | 119.80.3 |  |  |

（注1：最后一个()是感生电阻）

（注2：加阴影的数据不是原始测量量，是实验后计算得出的，下同。）

1. **单电桥测铜丝的电阻温度系数**

起始温度\_19.0\_；比率臂= 0.01 ；测量盘读数= 1337 ；起始电阻为 13.37 。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 温度 | 比率臂 | 测量盘读数 |  |
| 1 | 26.0 | 0.01 | 1369 | 13.69 |
| 2 | 31.0 | 0.01 | 1394 | 13.94 |
| 3 | 36.0 | 0.01 | 1421 | 14.21 |
| 4 | 41.6 | 0.01 | 1449 | 14.49 |
| 5 | 46.0 | 0.01 | 1474 | 14.74 |
| 6 | 51.0 | 0.01 | 1501 | 15.01 |
| 7 | 55.9 | 0.01 | 1527 | 15.27 |
| 8 | 61.0 | 0.01 | 1552 | 15.52 |

计算机直线拟合结果：12.30989；0.05277；0.99989。 。

（注：图中的细实直线即为拟合线，阴影的背景粗线各个数据连成的折线，下同）

1. **非平衡桥及组装数字温度计**

加热前水温：，加热前毫伏表示数：。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度 | 53.9 | 54.7 | 55.3 | 56.0 | 56.8 | 57.5 | 58.1 | 59.9 | 61.0 |
| 毫伏表示数 | 1.73 | 1.76 | 1.79 | 1.83 | 1.89 | 1.92 | 1.97 | 2.05 | 2.10 |

（续1）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 61.8 | 62.7 | 64.0 | 65.0 | 65.9 | 67.0 | 68.2 | 69.2 | 70.1 |
|  | 2.15 | 2.20 | 2.25 | 2.31 | 2.35 | 2.40 | 2.48 | 2.53 | 2.58 |

（续2）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 71.1 | 72.1 | 73.1 | 74.0 | 75.2 |  |  |  |  |
|  | 2.63 | 2.68 | 2.73 | 2.77 | 2.83 |  |  |  |  |

（注：表格中加框处65.9，原始表格中为66.9，经过与前后数据比照发现是记录错误，已改正）

1. **实验总结**
2. **惠斯通电桥的相对误差**

单电桥法虽然从原理上说，只要检流计足够灵敏那么就能做到足够精确，但由于测量盘不是连续可调的，所以在测高电阻的时候会有较大的相对误差。见下表：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 电阻标称值 | 1k | 11k | 360k | 1M | 120 | 25 | 200 |
| 测量值 | 1002 | 10930 | 353k | 1014k | 119.8 | 24.01 | 195.8 |
| 不确定度 | 3.004 | 79.68 | 2839 | 33941 | 0.3396 | 0.05804 | 0.4916 |
| 相对误差 | ***0.30%*** | ***0.73%*** | ***0.80%*** | ***3.35%*** | ***0.28%*** | ***0.24%*** | ***0.25%*** |

可以看出，被测电阻值越大，相对误差越大。这是因为当待测电阻大的时候，应该把比率臂放在大比率（如）上，则测量盘改变的最小电阻就是。有时经常找不到能“真正”电桥平衡的点，在测量盘某个示数时，检流计在0的左边几格，而改变最小的电阻值就发现指针在0的右方几格。

1. **两次直线拟合**

第一次直线拟合的相关系数，第二次是。第二次比较低。可能原因是：第二次拟合的时候测温时间间隔较密，不好把握，而且第二次刚开始升温记录数据的时候（前几个点），不知道怎么判断热平衡。所以前几个点误差比较大，从第二个图表也可以看出来，如果去掉前几个线性相关度不好的点，还能够更高。

1. **总结由平衡桥——非平衡桥——数字温度计演变的物理思想**

平衡桥是一种精确测电阻的方法，理论意义很重要，但是实际操作中，还是需要调整电源电压等以得到更大精度。非平衡桥与平衡桥测电阻的本质原理一致，都可用基尔霍夫方程推出，但是非平衡桥的读数方便，可以快速、连续测量。有了这一电阻值“监控”工具后，就可以“实时”地把该值转化为其他间接测量的物理量。

（原始数据表格见附页）