

电阻值的测量

项目分析

阻抗是描述一个网络和系统的重要电参量。阻抗测量包括电阻、电容、电感及与它们相关的品质因数、损耗角、电导等参数的测量,是电气测量的重要组成部分。特别是电阻的测量,在电气测量中占有十分重要的地位。工程中所测量的电阻值,一般在 $1\mu\Omega \sim 1\text{M}\Omega$ 的范围内。通常将电阻按其阻值大小分成三类: 1Ω 以下为小电阻; $1\Omega \sim 100\text{k}\Omega$ 为中电阻; $100\text{k}\Omega$ 以上为大电阻。

任务 3.1 用单臂电桥测量电阻值

任务分析

电桥是一种测量电参数的比较仪器,在电工测量中的应用极为广泛。在本次任务中,一是通过观察,熟悉直流单臂电桥的结构并理解其工作原理;二是根据要求,对直流单臂电桥进行正确接线;三是在测量过程中,正确选择直流单臂电桥的比例臂,并对其正确读数。

图 3-1-1 和图 3-1-2 所示为模拟式和数字式直流单臂电桥。



图 3-1-1 模拟式直流单臂电桥



图 3-1-2 数字式直流单臂电桥

相关知识

直流单臂电桥是一种测量中电阻的精密测量仪器,测量值一般可以精确到4位有效数字,测量范围为 $1\sim 10^5\Omega$ 。

1. 直流单臂电桥的结构和原理

直流单臂电桥又称惠斯登电桥,其原理如图3-1-3所示, R_x 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别组成电桥的四个臂。其中, R_x 是被测臂, R_2 、 R_3 构成比例臂, R_4 叫做比较臂。

当接通按钮开关S后,调节标准电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 ,使检流计P的指示值为零,即 $I_P=0$,这种状态叫做电桥的平衡状态。

电桥平衡时, $I_P=0$,表明电桥两端c、d的电位相等,故有 $U_{ac}=U_{ad}$, $U_{cb}=U_{db}$,即 $I_1R_x=I_4R_4$, $I_2R_2=I_3R_3$ 。

由于电桥平衡时, $I_P=0$,则有 $I_1=I_2$, $I_3=I_4$,代入以上两式,并将两式相除,可得

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

即

$$R_2R_4 = R_xR_3 \quad (3-1)$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_3}R_4 \quad (3-2)$$

式(3-1)称为电桥的平衡条件。它说明,电桥相对臂电阻的乘积相等时,电桥处于平衡状态,检流计中的电流 $I_P=0$ 。式(3-2)表示:电桥平衡时,被测电阻 R_x =比例臂倍率 $\times$ 比例臂读数。

很显然,提高电桥准确度的条件是:标准电阻 R_2 、 R_3 和 R_4 的准确度要高,检流计的灵敏度也要高,以确保电桥真正处于平衡状态。

2. QJ-23型直流单臂电桥介绍

QJ-23型直流单臂电桥的电路图及面板图如图3-1-4所示。它的比例臂 $\frac{R_2}{R_3}$ 由8个标准电阻组成,共分为7挡,由转换开关C换接。比例臂的读数盘设在面板左上方。比较臂 R_4 由4个可调标准电阻组成,分别由面板上的4个读数盘控制,可得到 $0\sim 9999\Omega$ 范围内的任意电阻值,最小步值为 1Ω 。

面板上标有“ R_x ”的两个端钮用来连接被测电阻。当使用外接电源时,可从面板左上角标有“B”的两个端钮接入。如需使用外附检流计时,应用连接片将内附检流计短路,再将外附检流计接在面板左下角标有“外接”的两个端钮上。

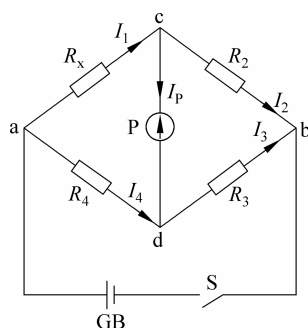


图 3-1-3 直流单臂电桥原理

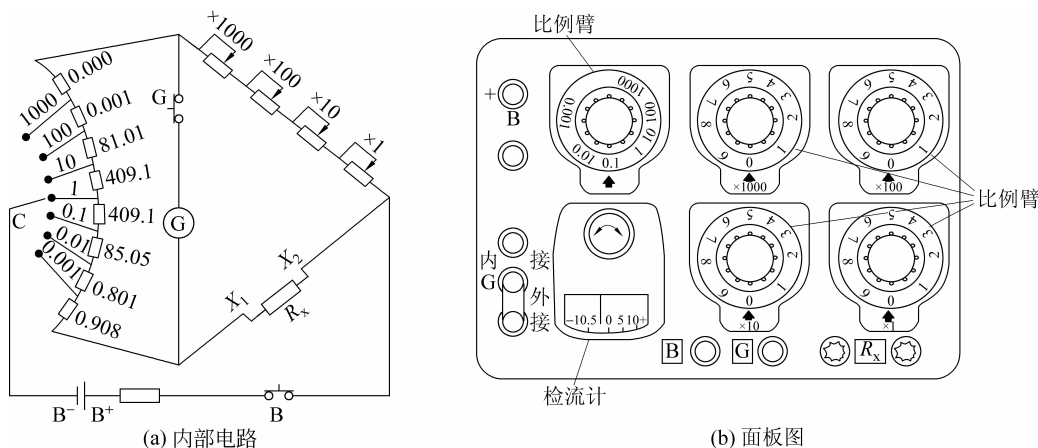


图 3-1-4 QJ-23 型直流单臂电桥内部电路图与面板图

3. QJ-23 型直流单臂电桥的使用

下面以 QJ-23 型直流单臂电桥为例,说明直流单臂电桥的使用。QJ-23 型直流单臂电桥的面板图如图 3-1-4(b)所示。

(1) 使用前,先将检流计的锁扣打开(由内到外),调节调零器,使指针指在零位。

(2) 把被测电阻接在“ R_x ”的位置上。要求用较粗、较短的连接导线,并将接线端的氧化膜刮净,接头拧紧,避免使用线夹。这是因为接头接触不良将使电桥的平衡不稳定,严重时可能损坏检流计。

(3) 估计被测电阻的大小,选择适当的比例臂,使比较臂的四挡电阻都能被充分利用,且比较臂的第一盘($\times 1000$)上的读数不为“0”,才能保证测量的准确度。例如,被测电阻 R_x 约为几欧时,应选用 $R \times 0.001$ 的比例臂。这样,当电桥平衡时,若比较臂读数为“5331”,则 $R_1 = 0.001 \times 5331 = 5.331(\Omega)$ 。此时如果比例臂选择在 $R \times 1$ 挡,则电桥平衡时, $R_x = 1 \times 5 = 5(\Omega)$ 。显然,比例臂选择不正确会产生很大的测量误差,从而失去电桥精确测量的意义。

同理,被测电阻为几十欧时,比例臂应选 $R \times 0.01$ 挡。其余以此类推。

(4) 当测量电感线圈(如电机或变压器绕组)的直流电阻时,应先按下电源按钮 B,再按下检流计按钮 G;测量完毕,应先松开检流计按钮 G,再松开电源按钮 B,以免被测线圈产生的自感电动势损坏检流计。

(5) 将被测电阻 R_x 接入标有“ R_x ”的两个端钮,先按下电源按钮 B,再按检流计按钮 G。若检流计指针摆向“+”端,需增大比较臂电阻;若指针摆向“-”端,需减小比较臂电阻。反复调节,直到指针指到零位为止,被测电阻 $R_x = \text{比例臂倍率} \times \text{比较臂读数}$ 。

(6) 电桥使用完毕,应先断开 G 钮,再断开 B 钮切断电源,然后拆除被测电阻,最后将检流计锁扣锁上,以防搬动过程中振坏检流计。对于没有锁扣的检流计,应将按钮 G 断开,它的常闭触点会自动将检流计短路,使可动部分受到保护。

(7) 发现电池电压不足时,应及时更换,否则将影响电桥的灵敏度。当采用外接电源

时,必须注意电源的极性。将电源的正、负极分别接到“+”、“-”端钮,且不要使外接电源电压超过电桥说明书上的规定值,否则有可能烧坏桥臂电阻。

任务实施

1. 工作准备

准备 QJ-23 型单臂电桥 1 块, MF-47 万用表 1 块, 导线若干及电阻 5 个。

2. 任务步骤

1) 连线

任意找出一个电阻, 用两段导线引出后按图 3-1-5 所示接线。同时, 打开检流计锁扣, 使检流计处于接通状态。

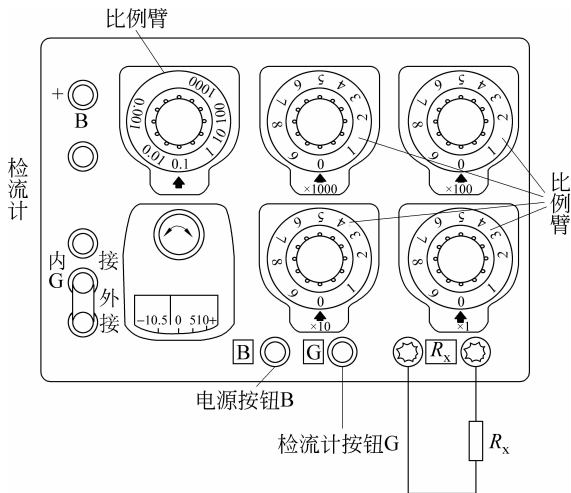


图 3-1-5 QJ-23 直流单臂电桥测电阻的接线方式

2) 调零和选挡

转换检流计连接片, 利用检流计的机械调零旋钮调零。先用万用表粗测被测电阻, 再根据测量值选择合适的比例臂挡位。

3) 测量

测量时先按下电源按钮 B, 再按下检流计按钮 G。若检流计指针摆向“+”端, 需增大比较臂电阻; 若指针摆向“-”端, 需减小比较臂电阻。反复调节, 直到指针指到零位为止。读出比较臂的电阻值, 再乘以比例臂倍率, 求出被测电阻阻值, 将结果填入表 3-1-1。

表 3-1-1 测量电阻值

被测电阻	比例臂倍率	比较臂电阻	电阻值
R_1			
R_2			

续表

被测电阻	比例臂倍率	比较臂电阻	电阻值
R_3			
R_4			
R_4			

4) 注意事项

测量完毕,应先松开检流计按钮 G,再松开电源按钮 B,以免被测线圈产生的自感电动势损坏检流计。

3. 检测评价

评分标准如表 3-1-2 所示。

表 3-1-2 评分标准

序号	项目内容	配分	评分标准	扣分	得分
1	选择电桥倍率	20	选择不正确,每次扣 10 分		
2	接线	20	接线不正确,扣 20 分		
3	调节电桥平衡	30	操作不正确,每项扣 5 分		
4	读数	20	不正确,每次扣 2 分		
5	安全操作	10	违反安全操作规程,每项扣 1 分,扣完为止		
时间: 1 小时			成绩:		



知识拓展

1. 电桥测量法

电桥测量法是常用的测量电阻的方法之一。它采用比较法测电阻,即在平衡条件下,将待测电阻与标准电阻进行比较,以便确定其阻值。电气测量中的仅用电桥分为直流电桥和万用电桥两类。直流电桥又分为单臂电桥和双臂电桥,前者称为惠斯登电桥,主要用于精确测量中电阻;后者称为凯尔文电桥,适用于测量小电阻。万用电桥可以测量电阻、电容、电感、频率、温度、压力等许多物理量。电桥测量法具有测试灵敏、精确、方便等特点,被广泛应用在工业生产、自动控制和自动化仪器中。

2. 数字直流单臂电桥介绍

QJ-83A 数字式直流单臂电桥外形如图 3-1-6 所示,共有 $0\sim 20\text{M}\Omega$ 7 挡量程。它是以电桥线路为基础,用精密合金绕线电阻作为基准电阻的数字电桥,具有与数字万用表同样简便、快速、醒目的特点,还保持了惠斯登电桥准确、稳定、可靠的优点。它使用方便,不需要调零,测试快捷,适用于各类直流电阻的精密测量,优于同等级直流电阻电桥外接检流计才能达到的准确度;只要接上被测电阻并选好量程,测试过程不再用手工操作;采样



图 3-1-6 QJ-83A 数字式直流单臂电桥外形图

时间为 0.4s,一般在数秒内即可显示稳定数据;采用 200mm 大数显示,字迹清晰,一目了然。

便携式数字直流单臂电桥基本参数与 QJ-83 型相同。



思考与练习

1. 简述直流单臂电桥的使用过程。
2. 用 QJ-23 型单臂电桥测量阻值为 250Ω 左右的电阻时,比较臂如何选择? 为什么?

任务 3.2 用双臂电桥测量电阻值



任务分析

利用直流双臂电桥测小电阻时,必须根据被测电阻的大小、性质正确接线,合理选择倍率,并且准确读数。要熟练、规范、安全地使用电桥,才能达到精确测量的目的。

图 3-2-1 和图 3-2-2 所示为模拟式和数字式直流双臂电桥。本任务利用 QJ-42 型直流双臂电桥测量金属棒的小电阻。



相关知识

1. 直流双臂电桥的结构与原理

当被测电阻较小(1Ω 以下)时,测量电路中的接线电阻和各接线端钮的接触电阻的影响不能忽略。凯尔文电桥的设计克服了附加电阻对结果的影响,能够测量 $10^{-5} \sim 100\Omega$ 的低值电阻。



图 3-2-1 QJ-42 型模拟式直流双臂电桥



图 3-2-2 QJ-42 型数字式直流双臂电桥

直流双臂电桥原理图如图 3-2-3 所示。在使用电桥时,调节电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和 R_b 的值,使检流计中没有电流通过 ($I_g=0$),则 F 和 C 两点的电位相等。于是通过 R_1 、 R_2 的电流均为 I_1 ,通过 R_3 、 R_4 的电流均为 I_2 ,通过 R_x 、 R_b 的电流均为 I_3 ,通过 r 的电流为 $I_3 - I_2$ 。

依据欧姆定律,得到下列方程:

$$I_2 R_3 + I_3 R_x = I_1 R_1$$

$$I_2 R_4 + I_3 R_b = I_1 R_2$$

$$I_2 (R_3 + R_4) = (I_3 - I_2) r$$

解此方程,得

$$R_x = \frac{R_1 R_b}{R_2} + \frac{R_4 r}{R_3 + R_4 + r} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$$

适当选择四个桥臂电阻,使得 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$, 则

$$R_x = \frac{R_1 R_b}{R_2}$$

或

$$\frac{R_x}{R_b} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

从上面的推导看出,被测电阻 R_x 只取决于比例臂电阻 R_1 、 R_2 的比值和比较臂标准电阻 R_b 的阻值,与 r 、 R_3 和 R_4 无关。正因为这样,它可以用来测量小电阻。

2. QJ-42 型便携式直流双臂电桥介绍

QJ-42 型便携式直流双臂电桥面板如图 3-2-4 所示。

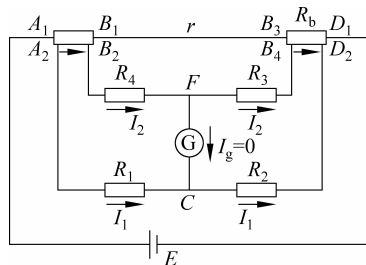


图 3-2-3 直流双臂电桥原理图

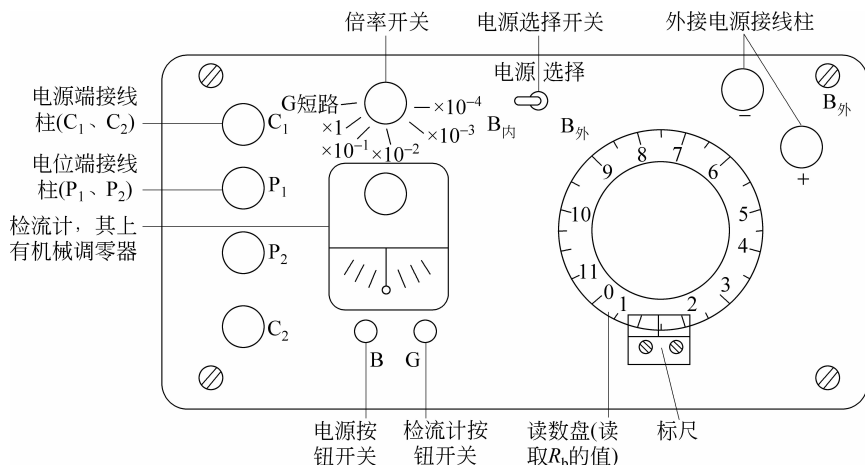


图 3-2-4 QJ-42 型携带式直流双臂电桥面板图

3. 使用方法

(1) 在仪器底部的电池盒中装上 3~6 节 1 号干电池,或在外接电源接线柱“B_外”上接入电压为 1.5~2V、容量大于 10A·h 的直流电源,并将“电源选择”开关拨向相应的位置。

(2) 将检流计指针调到“0”位置。

(3) 将被测电阻 R_x 的 4 端接到双臂电桥相应的 4 个接线柱上。被测电阻有电流端钮(C_1 、 C_2)和电位端钮(P_1 、 P_2)时,要与电桥上相应的端钮相连接。注意,电位端钮总是在电流端钮的内侧,且两个电位端钮之间的电阻就是被测电阻。如果被测电阻没有电流端钮和电位端钮,应自行引出电流和电位端钮。

(4) 估计被测电阻值,将倍率开关旋到相应的位置。

(5) 当测量电阻时,应先按 B 按钮,后按 G 按钮,并调节读数盘 R_b ,使电流计重新回到 0 位。断开时,应先放 G 按钮,后放 B 按钮。

注意: 一般情况下,B 按钮应间歇使用,此时电桥已平衡,被测电阻 $R_x = K(\text{倍率开关的示值}) \times R_b(\text{读数盘的示值})$ 。

(6) 使用完毕,应把倍率开关旋到“G 短路”位置上。

(7) 图 3-2-5 所示为测量金属棒电阻的示意图。注意,应尽量用短粗的导线接线,接线间不得绞合,并且要接牢。

任务实施

1. 准备设备和仪器

QJ-42 型携带式直流双臂电桥 1 台,0.0001~1Ω 待测金属棒(铜或铝)1 根,固定金属棒的支架 1 台,导线若干。

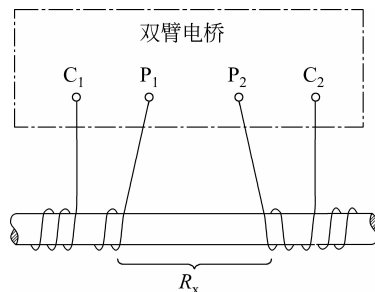


图 3-2-5 直流双臂电桥测电阻的接线方式

2. 任务步骤

1) 测量过程

(1) 准备工作：在仪器底部的电池盒中装上 3~6 节 1 号干电池，或在外接电源接线柱 $B_{\text{外}}$ 上接入 1.5~2V 直流电源，并将“电源选择”开关拨向相应的位置，将检流计指针调到 0 位置。

(2) 连接导线：将金属棒两端用细砂纸打磨干净，然后用短粗的导线从金属棒的两端引出 4 根接线接到双臂电桥相应的 4 个接线柱上。接线间不得绞合，并且要接牢，如图 3-2-6 所示。

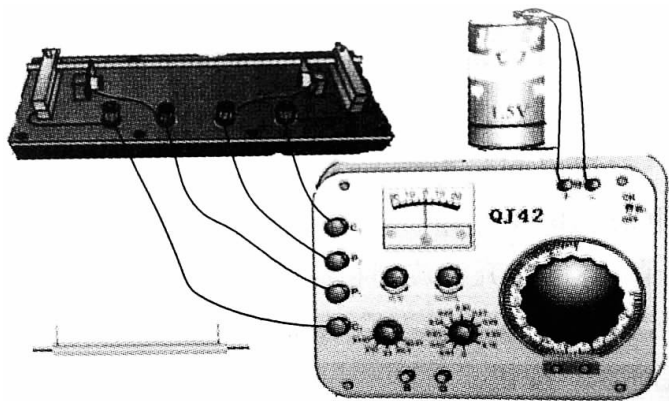


图 3-2-6 QJ-42 型直流双臂电桥测金属棒电阻的接线图

(3) 闭合电源开关，然后将检流计开关 G 调至接通位置，等待 5min 后调零。

(4) 调整检流计灵敏度旋钮，并选择合适的倍率调整检流计灵敏度。将灵敏度调至最低，根据估测值选择合适的倍率。

(5) 测量电阻：先按下 B 按钮，依据指针偏转情况调节读数盘，使检流计指针指在零位上；指针指零稳定后，读取数值；先松开 G 按钮，再松开 B 按钮，结束测量。

(6) 读数：读取数值倍率开关的示值和读数盘的示值，则被测金属棒的电阻为

$$R_x = K(\text{倍率开关的示值}) \times R_b(\text{读数盘的示值})$$

将测量和计算结果填入表 3-2-1。

表 3-2-1 数据记录

测量次数	倍率开关的示值 K	读数盘的示值 R_b	金属棒电阻 R_x	备注
1				
2				
3				
R_x 的平均值				

2) 注意事项

(1) 按照操作步骤接好线路，检查无误后方可通电实验。

(2) 在实验过程中,使用仪器时要轻拿轻放。

3. 检测评价

评分标准如表 3-2-2 所示。

表 3-2-2 评分标准

序号	项目内容	配分	评分标准	扣分	得分
1	选择电桥倍率	20	选择不正确,每次扣 10 分		
2	接线	20	选择不正确,扣 20 分		
3	调节电桥平衡	30	操作不正确,每项扣 5 分		
4	读数	20	不正确,每次扣 2 分		
5	安全操作	10	违反安全操作规程,每项扣 1 分,扣完为止		
时间: 1 小时			成绩:		



知识拓展

常用直流电桥的技术特性

使用直流电桥测量电阻时可以获得很高的准确度,其原因是它将被测电阻与已知的标准电阻直接比较。目前生产的电桥多做成单、双臂两用的,这种电桥的测量范围很大,携带方便,应用广泛。常用直流电桥的技术特性如表 3-2-3 所示。

表 3-2-3 常用直流电桥的技术特性

型 号	名 称	测量范围/ Ω	准确度等级
QJ-17	单、双两用电桥	$10^{-6} \sim 10^6$	0.02
QJ-19	单、双两用电桥	$10^{-5} \sim 10^6$	0.05
QJ-23	携带式直流单电桥	1~999900	0.2
QJ-26	携带式直流双电桥	0.0001~11	1.0
QJ-28	携带式直流双电桥	$10^{-5} \sim 11.05$	0.5
QJ-32	直流单、双电桥	$10^{-5} \sim 10^6$	0.005
QJ-36	直流单、双电桥	$10^{-6} \sim 10^6$	0.02
QJ-44	携带式直流双电桥	$10^{-5} \sim 11$	0.2
QJ-49	携带式直流单电桥	1~1.11110M Ω	0.05
QJ-103	直流双电桥	$10^{-4} \sim 11$	2



思考与练习

1. 与直流单臂电桥相比,直流双臂电桥有什么特点?
2. 如何消除直流双臂电桥接触电阻与接线电阻的影响?