

基础物理实验

直流电桥



物理国家级实验教学示范中心（复旦大学）



欢迎大家修读本课程，请注意以下事项：

1. 课程有班级群，请注意加群，以便跟老师联系；
2. 本课程为必修课，若没通过，没有补考，只有重修；
3. 课程评分由平时成绩和期末成绩组成，请出席每一次实验课并提交报告，如特殊原因无法出席，请务必请假并联系老师申请补做；
4. 实验前认真预习并完成预习报告，没有预习报告，不允许做实验；
5. 诚实守信，不允许篡改、伪造或抄袭别人的数据，不允许带着别人的实验报告来实验室做实验，一经发现，该实验为 0 分。

直流电桥

电桥测电阻是应用比较法进行精确测量电阻的方法之一，具有测试灵敏、准确度高的特点。电桥分为直流电桥和交流电桥两大类，直流电桥又分为单臂电桥和双臂电桥，单臂电桥称为惠斯通（Wheatstone）电桥，主要用于精确测量中值电阻（几十欧姆到几千欧姆）；双臂电桥又称为开尔文电桥，适用于测低值电阻。电桥不仅可以用于测量电阻，搭建不同的电桥电路还可用于测量电容、电感、温度、压力、真空度等许多物理量，在各种传感器及测量仪器中还经常会用到非平衡电桥电路，因此被广泛应用于电工技术、非电量测量以及自动控制等诸多领域。

实验目的

1. 通过用直流电桥测量电阻，学习应用比较法测量物理量；
2. 理解直流电桥的原理和特点以及调节电桥平衡的方法；
3. 理解影响电桥灵敏度的相关因素，学会如何正确选择元件以达到实验的测量要求；
4. 练习基本电路的连接，学习基本电学仪器的使用。

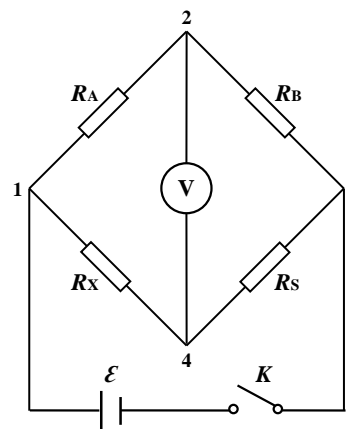


图1 直流电桥电路

实验原理

1. 直流电桥的原理

直流电桥电路如图1所示。 R_A 、 R_B 、 R_S 、 R_X 为四个电阻（其阻值分别为 R_A 、 R_B 、 R_S 、 R_X ），联成四边形，每一边称为电桥的一个桥臂；对角1和3与直流电源相连，2和4之间连接一个电压表，用来检验其间的电压是否相等。显然，当2和4的电位相等时，电压表示数为零，此时称为电桥平衡。由欧姆定律可知，当电桥平衡时，有 $U_{12}=U_{14}$ 、 $U_{23}=U_{43}$ ，故有：

$I_A R_A = I_X R_X$ 、 $I_B R_B = I_S R_S$ 、 $I_A = I_B$ 、 $I_X = I_S$ ，可以得到：

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{R_X}{R_S} \quad (1)$$

上式即为直流电桥的平衡方程。

若已知 R_A 、 R_B 、 R_S ，即可根据此方程求出待测电阻 R_X 。

2. 直流电桥的灵敏度

在实际测量时，需要知道当电桥有微小的不平衡时，电压表会如何反应。设各电阻的阻值为 R_A 、 R_B 、 R_S 、 R_X 时电桥达到平衡，则当改变电阻 R_S 使它有一个微小变化量 δR_S 时，电压表的示数变化 δV 。定义电压表-电桥的组合灵敏度（简称电桥灵敏度）为：

$$M = \frac{\delta V / S_V}{\delta R_S / R_S} \quad (2)$$

其中 S_V 是电压表的最小显示分度。 M 在数值上等于电桥桥臂有单位相对不平衡值 $\delta R_S/R_S$ 时所引起的电压表相应改变量（改变几个最小分度）。显然， M 值越大，能检测到的电桥不平衡值越小，因而电桥越灵敏。可以推导出：

$$M = \frac{\varepsilon}{S_V} \cdot \frac{R_A/R_B}{(1+R_A/R_B)^2} \quad (3)$$

由上式可知，电桥的灵敏度 M 与桥臂比 R_A/R_B 、电源电压 ε 及电压表的最小显示分度 S_V 等均有关。因此，要提高电桥的灵敏度，可采取的措施有①选择合适的桥臂比例 R_A/R_B ；②增大电源电压 ε （须考虑仪器的允许功率）；③选择灵敏度更高的电压表等。

3. 电桥的测量不确定度

当电桥的不平衡情况不能被检测到时，测量结果将有一相应的不确定度。例如：用最小显示分度为 0.1mV 的电压表检测电桥是否平衡，对应于一定的 R_A 、 R_B 、 R_X ，调节 $R_S=5000\Omega$ 时电桥达到平衡；而调节 $R_S=5010\Omega$ 时，电压表示数为 1.0mV 。因此，当 R_S 改变 1Ω 时电压表示数为 0.1mV ，即恰好能分辨出电桥处于不平衡状态。由此可以认为测量结果 R_S 的测量不确定度为 1Ω 。即

$$u_{B1}(R_S) = S_V \cdot \frac{\delta R_S}{\delta V} \quad (4)$$

电阻箱的不确定度限值等于示值乘以等级再加上零值电阻，由于电阻箱各档的等级是不同的（如表 1 所示），因此在计算时应分别计算，例如 ZX21A 型电阻箱，若其示值为 360.5Ω ，零值电阻为 0.02Ω ，则其不确定度限值 $a=(300 \times 0.1\% + 60 \times 0.1\% + 0 \times 0.5\% + 0.5 \times 2\% + 0.02)\Omega = 0.39\Omega$ 。

表 1

档位/ Ω	10000	1000	100	10	1	0.1
等级/%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	2

实验仪器（仪器型号、规格，到实验室后记录）

直流稳压电源，旋转式电阻箱，数字式万用电表，待测电阻，单刀双置开关，导线。

实验内容

一. 必做内容

- 按直流电桥的电路图接线（注意连线顺序，避免导线交叉）。
- 检验 R_A/R_B 取不同值对于电桥灵敏度的影响：
在电桥桥臂比 R_A/R_B 取不同值的情况下，调节 R_S ，使电桥达到平衡，记录 R_S 值；
增大 R_S 使电压表示数变化 1.0mV ，用公式（2）计算电桥灵敏度 M 。
- 检验电源电压变化对于电桥灵敏度的影响。
- 在直流电桥已调至平衡的状态下，改变桥臂 R_S 的电阻值，观测电阻 R_S 的改变量与桥臂间检测电压之间的关系。
- 选取灵敏度最高的一组数据计算 R_X 的不确定度。
- 对实验内容 2、3、4 的数据进行分析。

二. 选做内容

1. 作电桥灵敏度 M 随电桥桥臂比 R_A/R_B 变化的关系图；
2. 作电桥灵敏度 M 随电源电压变化的关系图；
3. 作桥臂间检测电压与电阻 R_S 的改变量之间的关系曲线图。

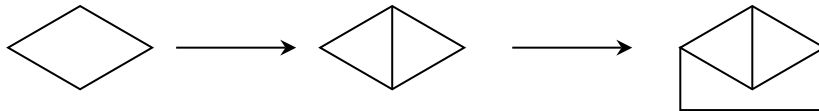
参考文献

1. 沈元华, 陆申龙, 基础物理实验, 高等教育出版社, 2003, 189-193。
2. 贾玉润等, 大学物理实验, 上海复旦大学出版社, 1987。
3. 陆申龙、孙大征, 物理实验, 第 12 卷第三期, 1992.6: 140-142。

直流电桥操作指南

接线：（注意连线顺序，避免导线交叉）

1. 按照电路图合理摆放实验器材；
2. 接线前注意将单刀双置开关断开，电阻箱的示值不能为零；
3. 按回路接线次序为：



直流稳压电源：

将“POWER”键按下，打开仪器，预热一段时间；
将红色（+）和黑色（-）接口接入电路，注意：电源输出不能短路；
调节“C.C”旋钮，顺时针调至最大；
调节“C.V”旋钮，调至需要的电压值；
实验完毕后，“C.V”旋钮左旋到底，关闭仪器电源。

电阻箱：

使用前应先旋转一下各个转盘，使盘内弹簧触点的接触性能稳定可靠；
电阻箱的各档初始阻值不要设为零，以免接通电路后短路受损；
使用时的工作电流不应超过最大允许值（额定功率值）；

待测电阻：

本实验采用固定电阻，其阻值可由万用电表电阻档大致测出。

万用电表：

将两表笔插入“V”和“COM”插孔；
将功能选择盘旋至直流电压的相应档位；
建议在2V档设置 R_S 初始值（根据桥臂比、待测电阻的参考值，用平衡方程计算 R_S 初始值），再切换为200mV档，细调 R_S ；
实验结束，将万用表功能选择盘置于OFF档。

单刀双置开关：

设置桥臂比之前请断开开关，2V档设置 R_S 初始值使得电桥初步达到平衡状态后再闭合开关。

直流电桥数据记录参考表格

1. 检验 R_A/R_B 的值对电桥灵敏度的影响。

条件: $\varepsilon = \underline{3.00}$ V, $\delta V = \underline{1.0}$ mV

R_A/Ω	R_A/R_B	R_B/Ω	R_S/Ω	R_S'/Ω	$\delta R_S/\Omega$	R_X/Ω	$M/\text{分度}$
2000	10 : 1						
2000	5 : 1						
2000	2 : 1						
2000	1 : 1						
2000	1 : 2						
2000	1 : 5						
2000	1 : 10						



2. 检验电源电压对电桥灵敏度的影响。

条件: $R_A = R_B = \underline{2000}$ Ω , $\delta V = \underline{1.0}$ mV

ε/V	R_S/Ω	R_S'/Ω	$\delta R_S/\Omega$	R_X/Ω	$M/\text{分度}$
≈ 1.00					
≈ 3.00					
≈ 5.00					
≈ 7.00					
≈ 9.00					



3. 检验桥臂 R_S 的改变量与桥臂间检测电压之间的关系。

条件: $\varepsilon = \underline{3.00}$ V, $R_A = R_B = \underline{2000}$ Ω ,

$\delta R_S/\Omega$	R_S/Ω	$\delta V/\text{mV}$
0.0		0.0
5.0		
10.0		
15.0		
20.0		
25.0		
30.0		
35.0		

