

第八章 电路及其应用

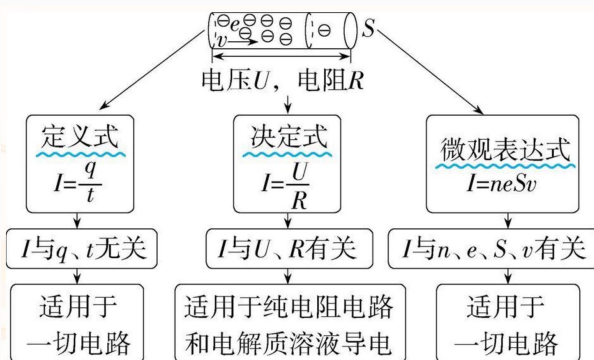
目录

1 第 1 节 电路的基本概念及规律	2
1.1 考点 1 电流的概念及表达式	2
1.2 考点 2 欧姆定律和电阻定律的理解及应用	3
1.2.1 提分关键·规律总结	4
1.3 考点 3 串联电路和并联电路电表改装原理	4
1.4 考点 4 电功、电功率、电热、热功率	6
2 第 2 节 闭合电路欧姆定律及其应用	7
2.1 考点 1 闭合电路欧姆定律	7
2.1.1 高考变式	8
2.2 考点 2 闭合电路的功率及效率问题	8
2.2.1 提分关键·规律总结	9
2.3 考点 3 两类 $U - I$ 图像的比较与应用	10
2.3.1 提分关键·规律总结	11
3 微专题 19 电路的动态分析和故障判断	11
3.1 题型 1 电路的动态分析	11
3.1.1 提分关键知识整合	12
3.1.2 提分关键 - 方法提升	13
3.2 题型 2 电路故障的判断	14
4 第 3 节 电学实验基础	15
4.1 常用仪器的使用及读数	15
4.2 测量电路和控制电路的选择	16
4.3 电学实验设计及仪器选择的 " 三原则 "	17
5 实验 11 导体电阻率的测量	17
6 实验 12 测量电阻的几种方法	19
7 实验 13 测量电源电动势和内阻	23
8 实验 14 用多用电表测量电学中的物理量	27

1 第1节 电路的基本概念及规律

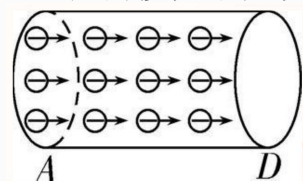
1.1 考点1 电流的概念及表达式

1. 产生：自由电荷定向移动形成电流。
2. 定义：通过导体横截面的电荷量跟通过这些电荷量所用时间的比值叫电流，即 $I = \frac{q}{t}$ 。
3. 电流的三种表达式及其比较



点拨提醒 电流的微观表达式的推导

(1) 建立微观模型：如图所示，粗细均匀的一段导体，横截面积为 S ，导体单位体积内的自由电子数为 n ，电子的电荷量为 e ，当导体两端加上一定的电压时，导体中的自由电子定向移动的平均速率为 v 。



- (2) 在时间 t 内通过横截面的总电荷量 $q = nvtSe$ 。
- (3) 电流的表达式： $I = \frac{q}{t} = neSv$ 。

(典例 1) 安培提出了著名的分子电流假说，根据这一假说，电子绕核运动可等效为一环形电流。设电荷量为 e 的电子以速率 v 绕原子核沿顺时针方向做半径为 r 的匀速圆周运动，关于该环形电流的说法，正确的是 ()

- A. 电流大小为 $\frac{ve}{2\pi r}$ ，电流方向为顺时针
- B. 电流大小为 $\frac{ve}{r}$ ，电流方向为顺时针
- C. 电流大小为 $\frac{ve}{2\pi r}$ ，电流方向为逆时针
- D. 电流大小为 $\frac{ve}{r}$ ，电流方向为逆时针

1.2 考点 2 欧姆定律和电阻定律的理解及应用

1. 欧姆定律

(1) 内容：导体中的电流跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻成反比。

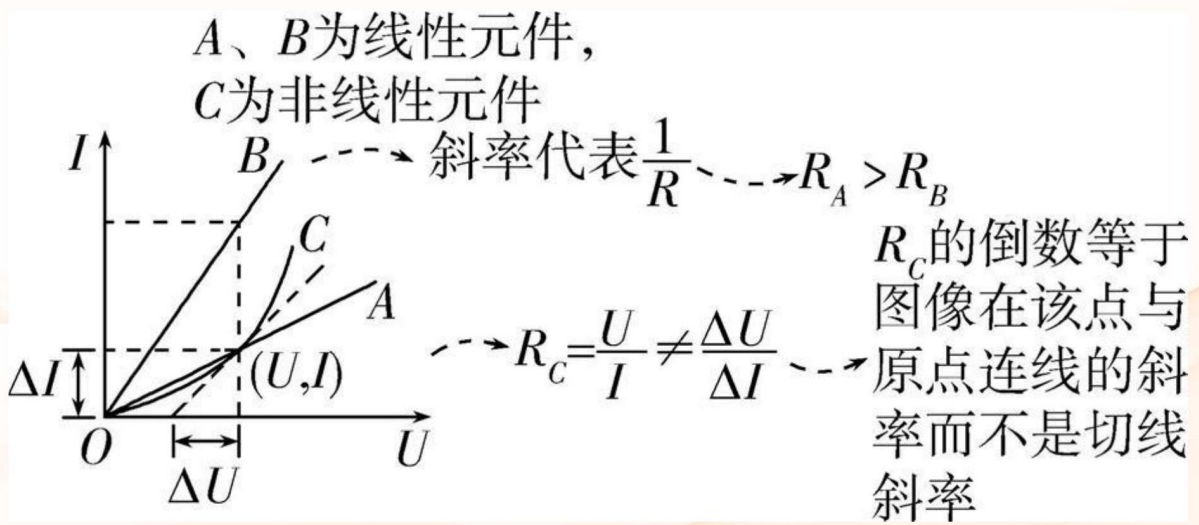
(2) 表达式： $I = \frac{U}{R}$ 。

2. 电阻定律

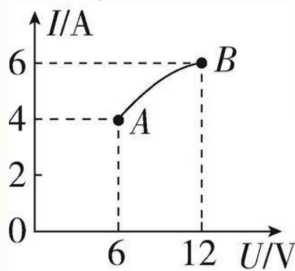
(1) 内容：同种材料的导体，其电阻 R 与它的长度 l 成正比，与它的横截面积 S 成反比；导体电阻还与构成它的材料有关。

(2) 公式： $R = \rho \frac{l}{S}$ 。（ ρ 是导体的电阻率，在国际单位制中，电阻率的单位是欧米，符号为 $\Omega \cdot \text{m}$ ）

3. 伏安特性曲线



(典例 2) (2024 届陕西西安阶段练习) 如图所示为某一导体的伏安特性曲线 (图中 AB 段曲线), 由图像可知 ()



- A. 该导体的电阻随电压的升高而减小
- B. 导体两端电压为 6 V 时, 电阻为 1.5Ω
- C. 导体两端电压为 12 V 时, 电阻为 6Ω
- D. 由 A 到 B 过程中, 导体的电阻因温度的影响改变了 9Ω

1.2.1 提分关键·规律总结

电阻的定义式和决定式的比较

定义式: $R = \frac{U}{I}$	决定式: $R = \rho \frac{l}{S}$
提供了一种测电阻的方法——伏安法, R 与 $U I$ 均无关	说明了导体电阻的决定因素, R 由 $\rho l S$ 共同决定
适用于纯电阻电路	适用于粗细均匀的金属导体和浓度均匀的电解质溶液

1.3 考点 3 串联电路和并联电路电表改装原理

1. 串、并联电路的特点

	串联电路	并联电路
电流	$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$, 其中 $I_1 : I_2 : I_3 : \cdots = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \cdots$
电压	$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$, 其中 $U_1 : U_2 : U_3 : \cdots = R_1 : R_2 : R_3 : \cdots$	$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n$
电阻	$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$
功率	$P_1 : P_2 : P_3 : \cdots = R_1 : R_2 : R_3 : \cdots$...	$P_1 : P_2 : P_3 : \cdots = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \cdots$
总功率	$P = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$	$P = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$

2. 电表改装

	改装成电压表	改装成电流表
内部电路		
改装原理	串联大电阻分压	并联小电阻分流
改装后的量程	$U = I_g (R_g + R)$	$I = \frac{R + R_g}{R} I_g$
量程倍数关系	$n = 1 + \frac{R}{R_g}$	$n = 1 + \frac{R_g}{R}$
接入电阻的阻值	$R = (n - 1)R_g$	$R = \frac{R_g}{n - 1}$
改装后的总内阻	$R_V = nR_g$	$R_A = \frac{R_g}{n}$
校准电路		

(典例 3) (2024 届江苏苏州南航附中二模) 如图所示, 甲、乙两个电路都是由一个灵敏电流计 G 和一个可变电阻 R 组成, 已知灵敏电流计的满偏电流 $I_g = 2 \text{ mA}$, 内电阻 $R_g = 300 \Omega$ 。下列说法正确的是 ()

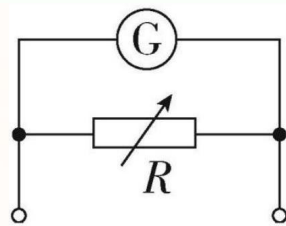


图 1: 甲

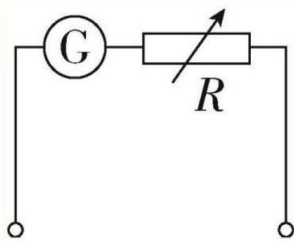


图 2: 乙

- A. 甲图为改装成的电流表, R 减小时量程增大
 B. 乙图为改装成的电压表, R 减小时量程增大
 C. 在甲图中, 若改装成的电流表量程为 0.6 A , 则 $R = 0.5\Omega$
 D. 在乙图中, 若改装成的电压表量程为 3 V , 则 $R = 1500\Omega$

1.4 考点 4 电功、电功率、电热、热功率

1. 电功与电热、电功率与热功率的比较

	纯电阻电路	非纯电阻电路
实例	白炽灯、电炉、电饭锅、电热毯、电熨斗及转子被卡住的电动机等	正常工作的电动机、电解槽、日光灯等
电功与电热	$W = Q = UIt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$	$W = UIt = E_{\text{其他}} + Q$, 其中 $Q = I^2Rt$
电功率与热功率	$P_{\text{电}} = P_{\text{热}} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$	$P_{\text{电}} = UI > P_{\text{热}}$, 且 $P_{\text{热}} = I^2R$

2. 电动机的三个功率及效率

输入功率	电动机的总功率。由电动机电路中的电流和电压决定, 即 $P_{\text{总}} = P_{\text{入}} = UI$
输出功率	电动机做有用功的功率, 也叫机械功率
热功率	电动机的线圈有电阻, 电流通过线圈时会发热, 热功率 $P_{\text{热}} = I^2r$
三者关系	$P_{\text{总}} = P_{\text{出}} + P_{\text{热}}$
效率	$\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{入}}} \times 100\% = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{总}}} \times 100\%$ (补充等号, 修正格式)
说明	(1) 正常工作的电动机是非纯电阻元件, 可等效为一个无电阻的转动元件和电阻串联 (2) 电动机因故障或其他原因不转动时, 相当于一个纯电阻元件

(典例 4) (粤教版必修三 P₁₂₆, T₉ 改编) 某辆以蓄电池为驱动能源的电动汽车的总质量 $m = 3 \times 10^3 \text{ kg}$ 。当它在水平路面上以 $v = 36 \text{ km/h}$ 的速度匀速行驶时, 驱动电机的输入电流 $I = 50 \text{ A}$, 电压 $U = 300 \text{ V}$ 。在此行驶状态下:

- (1) (回归教材) (1) 求驱动电机的输入功率 $P_{\text{电}}$;
- (2) 若驱动电机能够将输入功率的 90% 转化为用于牵引汽车前进的机械功率 $P_{\text{机}}$, 求汽车所受阻力与汽车重力之比 (g 取 10 m/s^2)。
- (2) (拓展变式) 已知汽车所受阻力是汽车重力的 0.03 倍, 驱动电机能够将输入功率的 90% 转化为用于牵引汽车前进的机械功率 $P_{\text{机}}$, g 取 10 m/s^2 , 求:
 - (1) 牵引汽车前进的机械功率 $P_{\text{机}}$ 和线圈内阻;
 - (2) 此状态下汽车保持恒定功率从静止启动后能够达到的最大速度。

2 第 2 节 闭合电路欧姆定律及其应用

2.1 考点 1 闭合电路欧姆定律

1. 闭合电路欧姆定律

(1) 内容: 闭合电路的电流跟电源的电动势成正比, 跟内、外电路的电阻之和成反比。

(2) 公式

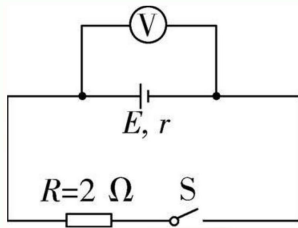
(1) $I = \frac{E}{R+r}$ (只适用于纯电阻电路)。

(2) $E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$ 或 $E = U_{\text{外}} + Ir$ (适用于任意电路)。

2. 路端电压与负载的关系

输入功率	电动机的总功率。由电动机电路中的电流和电压决定, 即 $P_{\text{总}} = P_{\text{入}} = UI$
输出功率	电动机做有用功的功率, 也叫机械功率
热功率	电动机的线圈有电阻, 电流通过线圈时会发热, 热功率 $P_{\text{热}} = I^2 r$
三者关系	$P_{\text{总}} = P_{\text{出}} + P_{\text{热}}$
效率	$\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{入}}} \times 100\% = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{总}}} \times 100\%$
说明	(1) 正常工作的电动机是非纯电阻元件, 可等效为一个无电阻的转动元件和电阻串联 (2) 电动机因故障或其他原因不转动时, 相当于一个纯电阻元件

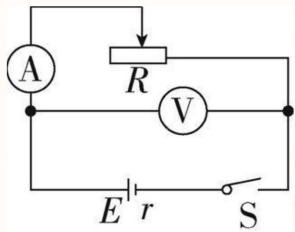
(典例 1) (2019 江苏, 3,3 分) 如图所示的电路中, 电阻 $R = 2\Omega$ 。断开 S 后, 电压表的读数为 3 V; 闭合 S 后, 电压表的读数为 2 V, 则电源的内阻 r 为 ()



- A. 1Ω
 B. 2Ω
 C. 3Ω
 D. 4Ω

2.1.1 高考变式

(情境变化) 将定值电阻更换为滑动变阻器并添加电流表调整电路后, 如图所示, 闭合开关 S , 将滑动变阻器的滑片向右移动的过程中电流表和电压表的示数分别如何变化, 且画出路端电压 U 与电流 I 的关系图像。

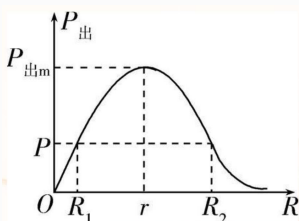


2.2 考点 2 闭合电路的功率及效率问题

1. 电源的功率及效率

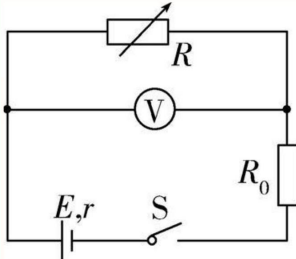
电源总功率	任意电路: $P_{\text{总}} = EI = IU + IU_r = P_{\text{出}} + P_{\text{内}}$
	纯电阻电路: $P_{\text{总}} = I^2(R + r) = \frac{E^2}{R+r}$
电源内部消耗的功率	$P_{\text{内}} = I^2r = P_{\text{总}} - P_{\text{出}}$
电源的输出功率	任意电路: $P_{\text{出}} = UI = IE - I^2r = P_{\text{总}} - P_{\text{内}}$
	纯电阻电路: $P_{\text{出}} = I^2R = \frac{E^2R}{(R+r)^2}$
电源的效率	任意电路: $\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{U}{E} \times 100\%$
	纯电阻电路: $\eta = \frac{R}{R+r} \times 100\%$

2. 电源的输出功率 $P_{\text{出}} = IU = I^2R = \frac{E^2}{(R+r)^2}R = \frac{E^2R}{(R-r)^2+4Rr} = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$, 当 $R = r$ 时, 输出功率最大, $P_{\text{出}} = \frac{E^2}{4r}$, $P_{\text{出}}$ 随外电阻 R 的变化关系如图所示。



在 R 接近 r 的过程中, P 出增大; 反之, 则 P 出减小。当 $P_{\text{出}} < P_{\text{出m}}$ 时, 每个输出功率对应两个可能的的外电阻阻值 R_1 和 R_2 , 且 $R_1 R_2 = r^2$ 。

(典例 2) 如图所示, 电源电动势 $E = 6 \text{ V}$, 内阻 $r = 1 \Omega$, $R_0 = 0.5 \Omega$, $R_1 = 7.5 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, 电容器的电容 $C = 2 \mu \text{ F}$ 。开始时开关 S 处于闭合状态, 则下列说法正确的是 ()



- (1) 求当电阻箱 R 阻值为多少时, 保护电阻 R_0 消耗的电功率 P_0 最大, 并求 P_0 的最大值;
- (2) 求当电阻箱 R 阻值为多少时, 电阻箱 R 消耗的功率 P_R 最大, 并求 P_R 的最大值;
- (3) 求电源的最大输出功率;
- (4) 若电阻箱 R 的最大阻值为 3Ω , $R_0 = 5 \Omega$, 当电阻箱 R 阻值为多少时, 电阻箱 R 的功率 P'_R 最大, 并求这个最大值。

2.2.1 提分关键·规律总结

"等效电源"与"等效内阻"

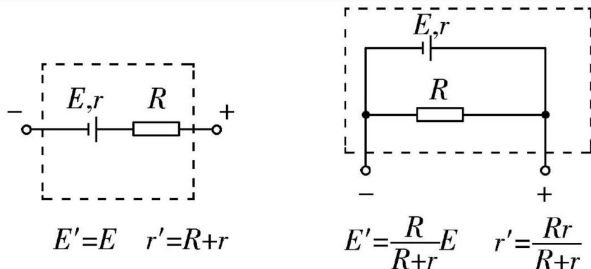
本题中将 R_0 当作电源的一部分, 用到了等效电源的方法, 所谓等效电源, 是把含有电源、

电阻的部分电路等效为新的"电源", 其"电动势"和"内阻"如下。

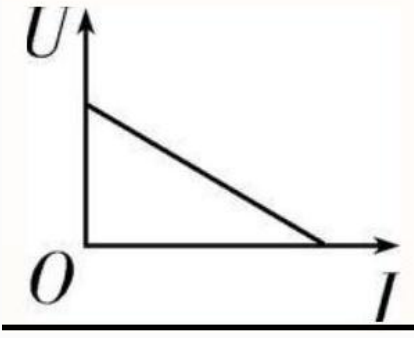
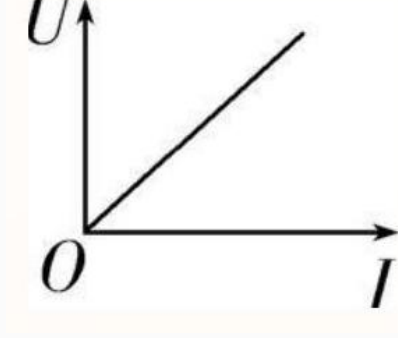
(1) 两点间断路时的电压为等效电动势 E' 。(2) 两点短路时的电流为等效短路电流 $I_{\text{短}}$, 等

效内阻 $r' = \frac{E'}{I_{\text{短}}}$ 。

常见电路等效电源如下。



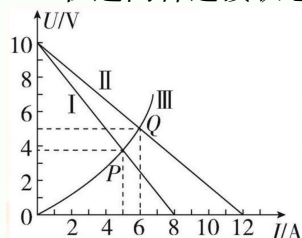
2.3 考点 3 两类 $U - I$ 图像的比较与应用

	电源 $U - I$ 图像	定值电阻 $U - I$ 图像
图像		
表达式	$U = E - Ir$	$U = IR$
图线与坐标轴交点	与纵轴交点的纵坐标表示电源电动势 E ，与横轴交点的横坐标表示电源短路时的电流 $I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$	过坐标轴原点，表示没有电压时电流为零
图线上每一点坐标的乘积 UI	表示电源的输出功率	表示电阻消耗的功率
图线上每一点对应的 U 与 I 的比值	表示外电阻的大小，不同点对应的外电阻大小不同	每一点对应的比值均相等，表示该电阻的阻值
图线的斜率的绝对值	等于电源内阻 r	等于电阻的阻值 R

(典例 3) (多选) 如图所示，直线 I、II 分别是电源 1 与电源 2 的路端电压随输出电流变化的图线，曲线 III 是一个小灯泡的 $U - I$ 图线。曲线 III 与直线 I、II 交点的坐标分别为 $P(5 \text{ A}, 3.75 \text{ V})$ $Q(6 \text{ A}, 5 \text{ V})$ 。如果把该小灯泡分别与电源 1、电源 2 单独连接，则下列说法

正确的是 ()

- A. 电源 1 与电源 2 的内阻之比是 3 : 2
 B. 电源 1 与电源 2 的电动势之比是 1 : 1
 C. 在这两种连接状态下，小灯泡的电阻之比是 5 : 6



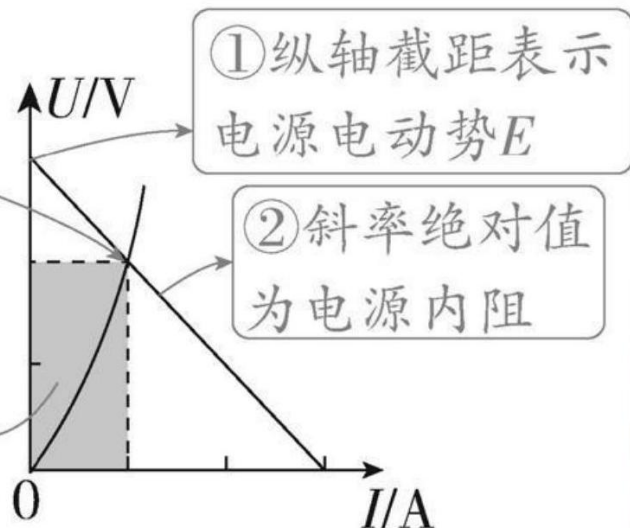
- D. 在这两种连接状态下，小灯泡消耗的功率之比是 9 : 10

2.3.1 提分关键·规律总结

两种图线的综合应用

③ 交点横、纵坐标分别表示该用电器与电源形成闭合回路时，电路中的电流以及路端电压，交点与原点连线斜率为该用电器此时的电阻

④ 阴影面积表示功率



分析电源 $U - I$ 图像时，要注意两坐标轴的坐标原点是否都是从零开始，若纵坐标上的取值不是从零开始，则横轴截距不表示短路电流，但斜率的绝对值仍然等于电源内阻。

3 微专题 19 电路的动态分析和故障判断

3.1 题型 1 电路的动态分析

1. 电路动态分析的几种方法

程序法	串联电路注意分析各部分的电压关系，并联电路注意分析各支路的电流关系
-----	-----------------------------------

"串反"：指某一电阻增大（减小）时，与它串联或间接串联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将减小（增大）

"并同"：指某一电阻增大（减小）时，与它并联或间接并联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将增大（减小）

$$\left. \begin{array}{l} U_{\text{串}} \downarrow \\ I_{\text{串}} \downarrow \\ P_{\text{串}} \downarrow \end{array} \right\} \leftarrow R \uparrow \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} U_{\text{并}} \uparrow \\ I_{\text{并}} \uparrow \\ P_{\text{并}} \uparrow \end{array} \right.$$

适用条件：电源内阻不为 0 且不变

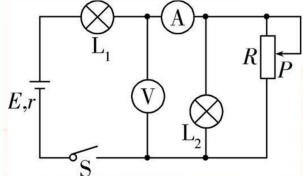
极限法	当电路中元件的阻值增大时，可将其阻值增大到无穷大，按断路状态来讨论；当电路中元件的阻值减小时，可将其阻值减小到零，按短路状态来讨论。 因滑动变阻器滑片滑动引起电路变化的问题，可将滑动变阻器的滑片分别滑至两端去讨论
-----	---

2. 含电容器电路的分析

- (1) 在分析电路结构时，可以先把电容器拆去，明确电路结构后，再把电容器接上。
- (2) 在电路稳定的情况下，含电容器的支路上无电流，该支路中其他电阻两端不存在电势差，其作用只相当于一根导线，此时电容器相当于断路，电容器上的电压等于与之并联电阻两端的电压，从而可以应用 $Q = CU$ 计算稳定状态时电容器所带的电荷量。
- (3) 电路结构发生改变时，引起电压变化，使电容器所带电荷量变化，电路中形成充、放电电流。此过程要特别注意电压是升高还是降低，电荷量是增加还是减少，极板电性是否变化，并由此推断出电路中的电流方向，同时计算出两稳定态时电容器电荷量的变化量 $\Delta Q = C\Delta U$ 。

(典例 1) (多选) 在如图所示的电路中，当闭合开关 S 后，若将滑动变阻器的滑片 P 向下调节，不考虑灯泡电阻的变化，电流表和电压表均为理想电表，电流表、电压表示数变化量分别为 ΔI ΔU ，则下列说法正确的是 ()

- A. 电流表示数变小
- B. $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 不变
- C. 灯 L_1 变亮，灯 L_2 变暗
- D. 电源效率减小，电源输出功率变大

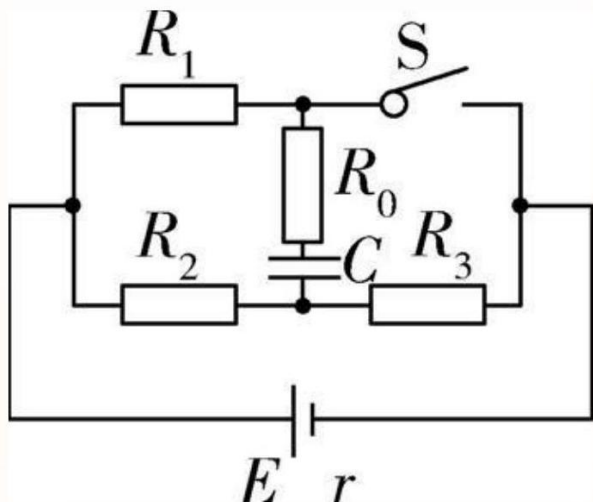


3.1.1 提分关键知识整合

对 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 的理解

- (1) 若 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 内的 U 对应的电阻是定值电阻， I 对应的是流经该定值电阻的电流，则 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 的绝对值表示的是该定值电阻的阻值；
- (2) 若 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 内的 U 对应的电阻是会改变阻值的电阻， I 对应的是流经该变化电阻的电流，则 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 的绝对值表示的是除该变化电阻以外的其他部分的总电阻。

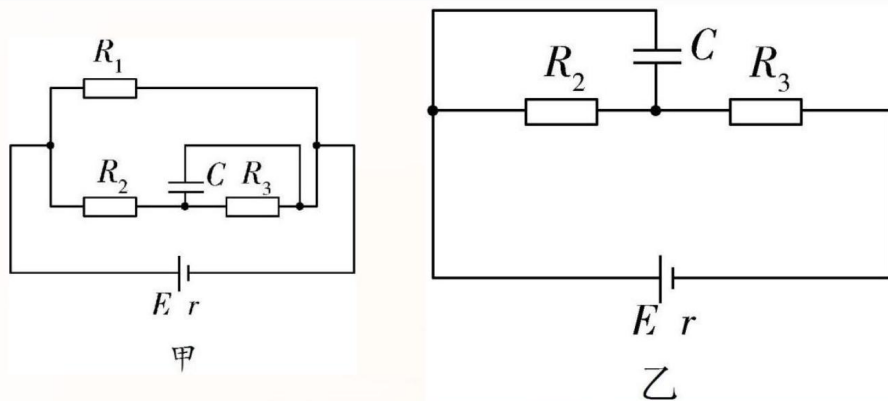
(典例 2) 如图所示, 电源电动势 $E = 6\text{ V}$, 内阻 $r = 1\Omega$, $R_0 = 3\Omega$, $R_1 = 7.5\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 2\Omega$, 电容器的电容 $C = 2\mu\text{ F}$ 。开始时开关 S 处于闭合状态, 则下列说法正确的是 ()



- A. 开关 S 闭合时, 电容器上极板带正电
- B. 开关 S 闭合时, 电容器两极板间电势差是 3 V
- C. 将开关 S 断开, 稳定后电容器极板所带的电荷量是 $3.6 \times 10^{-6}\text{ C}$
- D. 将开关 S 断开至电路稳定的过程中通过 R_0 的电荷量是 $9.6 \times 10^{-6}\text{ C}$

3.1.2 提分关键 - 方法提升

1. 开关 S 闭合时的等效电路图如图甲, 开关 S 断开时的等效电路图如图乙。



2. 计算电容器所带电荷量及其改变量的一般思路

- (1) 利用 $Q = CU$ 计算电容器初、末状态所带的电荷量 Q_1 和 Q_2 。
- (2) 如果变化前后极板所带电荷的电性相同, 通过所连导线的电荷量为 $|Q_1 - Q_2|$ 。
- (3) 如果变化前后极板所带电荷的电性相反, 通过所连导线的电荷量为 $Q_1 + Q_2$ 。

3.2 题型 2 电路故障的判断

1. 电路故障一般是短路或断路，其特点如下

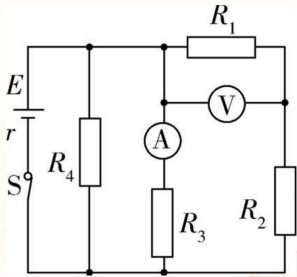
- (1) 断路特点：电路中发生断路，表现为电压不为零而电流为零。
- (2) 短路特点：电路中发生短路，表现为有电流通过电路而电压为零。

2. 利用电流表、电压表判断电路故障的方法

常见情况	故障解读	原因分析
(A) 正常 (V) 无示数	" 电流表示数正常 " 表明电流表所在电路为通路， " 电压表无示数 " 表明无电流通过电压表	可能的故障原因 (1) 电压表损坏 (2) 电压表接触不良 (3) 与电压表并联的部分短路
(V) 正常 (A) 无示数	" 电压表有示数 " 表明电压表有电流通过， " 电流表无示数 " 说明没有或几乎没有电流流过电流表	可能的故障原因 (1) 电流表短路 (2) 和电压表并联的部分断路
(A) (V) 均无示数	" 两表均无示数 " 表明无电流通过两表	除了两表同时被短路外，可能是干路断路导致无电流

(典例 3) (多选) 如图，电源内阻不能忽略，电流表和电压表均为理想电表， $R_1 = R_2 < R_3 < R_4$ ，下列说法中正确的是 ()

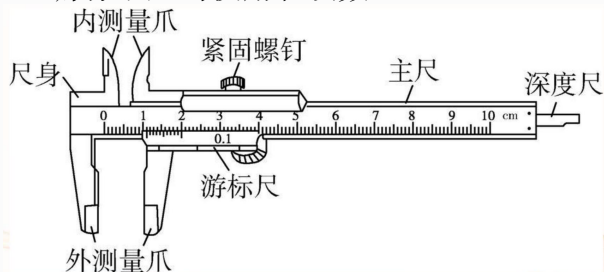
- A. 若 R_2 短路，电流表示数变小，电压表示数变小
- B. 若 R_2 断路，电流表示数变大，电压表示数为零
- C. 若 R_1 短路，电流表示数变小，电压表示数为零
- D. 若 R_4 断路，电流表示数变小，电压表示数变大



4 第3节 电学实验基础

4.1 常用仪器的使用及读数

1. 游标卡尺的使用和读数

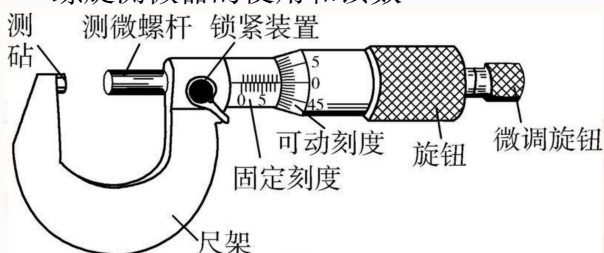


(1) 原理：利用主尺的单位刻度（1 mm）与游标尺的单位刻度之间固定的微量差值制成。不管游标尺上有多少个小等分刻度，它的总长度比主尺上同样多数目的小等分刻度的总长度小 1 mm。

(2) 精度：10 分度对应 0.1 mm, 20 分度对应 0.05 mm, 50 分度对应 0.02 mm。

(3) 读数：若用 x 表示由主尺上读出的整毫米数， K 表示游标尺上与主尺上某一刻度线对齐的格数，则记录结果为 $(x + K \times \text{精度})$ (mm)。

2. 螺旋测微器的使用和读数



(1) 原理：固定刻度的螺距为 0.5 mm，即旋钮每旋转一周，测微螺杆前进或后退 0.5 mm，而可动刻度上有 50 个等分刻度，每转动一小格，测微螺杆前进或后退 0.01 mm。读数时估读到毫米的千分位上，因此，螺旋测微器又称为千分尺。

(2) 读数：测量值 (mm) = 固定刻度数 (mm)（注意判断半毫米刻度线是否露出）+ 可动刻度数（估读一位） $\times 0.01$ (mm)。

3. 电流表、电压表的读数

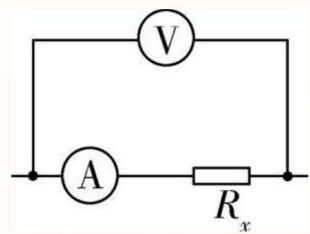
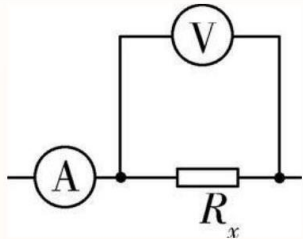
(1) 量程为 0 ~ 3 V 的电压表和量程为 0 ~ 3 A 的电流表读数方法相同，此量程下的精度分别是 0.1 V 和 0.1 A，需估读，看清楚指针的实际位置，读到小数点后面两位。

(2) 对于 0 ~ 15 V 量程的电压表，精度是 0.5 V，在读数时只要求读到小数点后面一位。

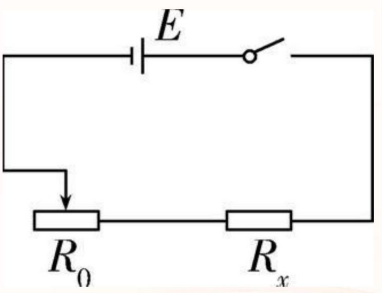
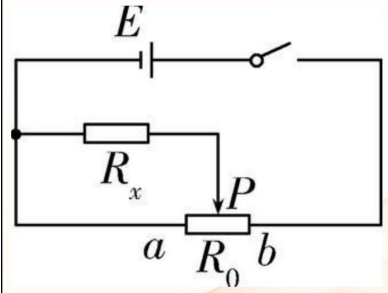
(3) 对于 0 ~ 0.6 A 量程的电流表，精度是 0.02 A，在读数时只要求读到小数点后面两位。

4.2 测量电路和控制电路的选择

1. 电流表的内接法和外接法

	内接法	外接法
电路图		
选择条件	$R_x \gg R_A$ 或 $R_x > \sqrt{R_V R_A}$	$R_x \ll R_V$ 或 $R_x < \sqrt{R_V R_A}$
误差原因	电流表分压, $U_{\text{测}} = U_x + U_A$	电压表分流, $I_{\text{测}} = I_x + I_V$
电阻测量值	$R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} = R_x + R_A > R_x$, 测量值大于真实值 (“大内偏大”)	$R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} < R_x$, 测量值小于真实值 (“小外偏小”)
修正方法	$R_{\text{真}} = \frac{U - IR_A}{I} = \frac{U}{I} - R_A$	$R_{\text{真}} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}$

2. 滑动变阻器的两种接法

	限流式接法	分压式接法
电路图		
理解	R_0 连入电路的部分与 R_x 串联	R_0 全部连入电路中, R_x 与 R_0 的 aP 部分并联
滑动变阻器的接法	“一上一下”接法, 滑片初始位置置于连入电路阻值最大处	“一上两下”接法, 滑片初始位置置于 R_x 支路短路处 (即 a 端) (修正笔误 “R” 为 R_x)
R_x 两端电压调节范围 (忽略电源内阻)	$\frac{R_x}{R_x + R_{0\text{max}}} E \leq U_x \leq E$	$0 \leq U_x \leq E$
R_x 中电流调节范围 (忽略电源内阻)	$\frac{E}{R_x + R_{0\text{max}}} \leq I_x \leq \frac{E}{R_x}$	$0 \leq I_x \leq \frac{E}{R_x}$
特点	电路能耗小, 接线简单	调压范围大, 能从 0 开始

3. 滑动变阻器两种接法的选择

(1) 采用限流式接法，电路结构简单、耗能少，优先使用限流式。

(2) 滑动变阻器必须采用分压式接法的几种情况：

(1) 要求电压表能从零开始读数，或要求电压（电流）测量范围尽可能大时；

(2) 当待测电阻 $R_x \gg R_{0\max}$ 时（限流式接法滑动变阻器几乎不起作用）；

(3) 采用限流式接法，电路中的最小电流仍超过电路中电表、电阻允许的最大电流时。

4.3 电学实验设计及仪器选择的 " 三原则 "

1. 安全性：确保电源、电阻和电表都不会过载，例如电流表或电压表量程一定要大于被测电流或电压的最大值。

2. 精确性：判断选用多大量程的电表时，应考虑尽可能减小测量误差，对于电压表或电流

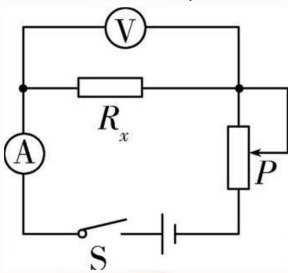
表，应使指针偏转到满刻度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 范围内，多用电表选用电阻挡时，应尽可能使指针指在中间刻度附近。

3. 可调性：选用滑动变阻器时，应考虑对外供电电压的变化范围既能满足实验要求，又能实现调节时电表的示数变化明显。

5 实验 11 导体电阻率的测量

实验原理

电路图如图所示。由 $R = \rho \frac{l}{S}$ 得 $\rho = \frac{RS}{l}$ ，只要测出金属丝长度 l 、横截面积 S 和电阻 R ，即可求得 ρ 。



操作要领及注意事项

1. 如何测金属丝直径和长度：测量直径时应用螺旋测微器在不同位置测量三次，取平均值；测金属丝长度时应将金属丝拉直，多次测量金属丝接入电路中的有效长度，求其平均值。

2. 如何连接电路：按电路图连接；金属丝电阻小，用电流表外接法；闭合开关前，将滑动变阻器的滑片调到接入电路的阻值最大处。

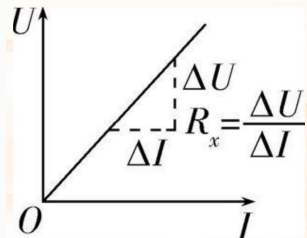
3. 如何测量电压、电流：改变滑动变阻器接入电路的阻值，测得多组 U 、 I 数据。

数据处理

1. 计算 R_x 的两种方法

(1) 平均值法：用 $R_x = \frac{U}{I}$ 分别算出各次的阻值，再取平均值。

(2) 图像法：作出 $U - I$ 图像，利用斜率求出 R_x ，如图所示。



点拨提醒用图像法求电阻时，要尽量使所描相邻点间的距离大一些，直线要尽可能地通过较多的点，不在直线上的点均匀分布在直线两侧，个别偏离较远的点应舍去。

2. 计算电阻率：将记录的数据 l d 及 R_x 的值代入电阻率计算式，得 $\rho = \frac{R_x S}{l} = \frac{\pi R_x d^2}{4l}$ 。

误差分析

1. 金属丝直径和长度的测量、读数等人为因素带来误差。

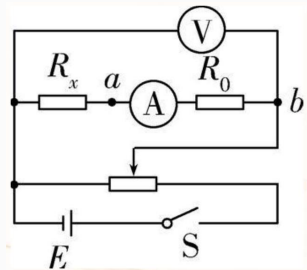
2. 测量电路中电流表与电压表对电阻测量的影响。因为电流表外接，所以 $R_{\text{测}} < R_{\text{真}}$ ，由 $R = \rho \frac{l}{S}$ 知 $\rho_{\text{测}} < \rho_{\text{真}}$ 。

3. 通电电流过大，时间过长，使金属丝发热，电阻率随之变化带来误差。每次读完电表示数后要快速断开电源，调好滑片位置再闭合开关读下一组数据。

改进方案

如图所示，将电路图进行更改，这样消去了电流表对电阻测量的影响，消除了系统误差。

根据 $\frac{U_1}{I_1} = R_x + R_A + R_0$ ，将电压表改接在 a b 两端有 $\frac{U_2}{I_2} = R_A + R_0$ ，得出 $R_x = \frac{U_1}{I_1} - \frac{U_2}{I_2}$ 。

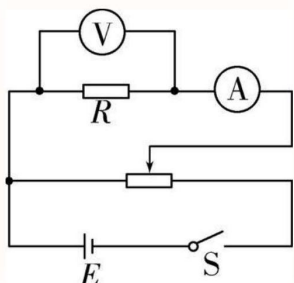


6 实验 12 测量电阻的几种方法

伏安法测电阻

1. 实验原理

根据 $R = \frac{U}{I}$ ，用如图所示的电路测出电压 U 与电流 I ，即可得出电阻的阻值 R 。



2. 操作要领及注意事项

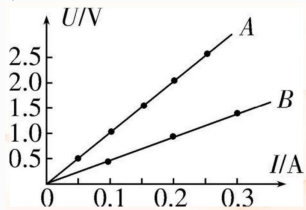
(1) 如何连接电路：确定电流表、电压表的量程，多采用电流表外接法，滑动变阻器多采用分压式接法，同时把滑动变阻器的滑片调节到最左端（电路参考实验原理），使闭合开关后 R 两端电压最小，接线经检查无误后，闭合开关 S 。

(2) 如何测量与记录数据：移动滑动变阻器的滑片，测出 12 组左右不同的电压值 U 和对应电流值 I ，并将测量数据填入表格中。

3. 数据处理

建立 $U - I$ 坐标系，描点，用平滑的曲线连接起来，如图所示，就得到电阻的伏安特性曲线。

（坐标系纵轴和横轴的标度要适中，以使所描图线充分占据整个坐标纸为宜）

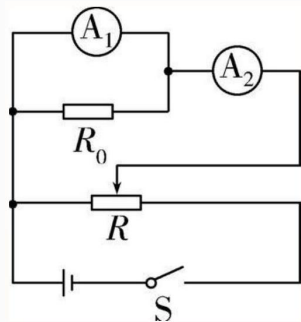


4. 误差分析

由于电压表、电流表不是理想电表，电表内阻对电路的影响会带来系统误差。

差值法测电阻

1. 电流表差值法（如图所示）

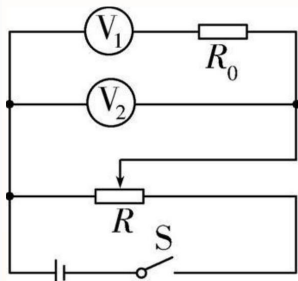


(1) 基本原理: 通过定值电阻 R_0 的电流 $I_0 = I_2 - I_1$, 电流表 A_1 两端的电压 $U_1 = I_0 R_0$ 。本质是将其中一个电流表当作或者改作电压表进行使用。

(2) 可测物理量

若已知 R_0 , 可求得电流表 A_1 的内阻 $r_1 = \frac{(I_2 - I_1)R_0}{I_1}$; 若已知 r_1 , 可求得 $R_0 = \frac{I_1 r_1}{I_2 - I_1}$ 。

2. 电压表差值法 (如图所示)



(1) 基本原理: 定值电阻 R_0 (阻值较大) 两端的电压 $U_0 = U_2 - U_1$, 流过电压表 V_1 的电流 $I_1 = \frac{U_2 - U_1}{R_0}$ 。本质是将其中一个电压表当作或改作电流表使用。

(2) 可测物理量

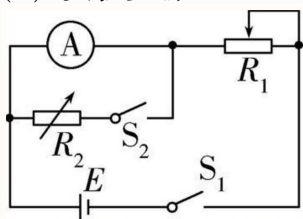
若已知 R_0 , 可求得电压表 V_1 的内阻 $r_1 = \frac{U_1}{U_2 - U_1} R_0$; 若已知 r_1 , 可求得 $R_0 = \frac{U_2 - U_1}{U_1} r_1$ 。

半偏法测电表内阻

1. 半偏法测电流表内阻

(1) 实验电路图

(2) 实验步骤



(1) 按如图所示的电路图连接实物电路。

(2) 断开 S_2 , 闭合 S_1 , 调节 R_1 接入电路的阻值, 使电流表满偏。

(3) 保持 R_1 接入电路的阻值不变, 闭合 S_2 , 调节 R_2 , 使电流表半偏, 然后读出 R_2 的阻值。

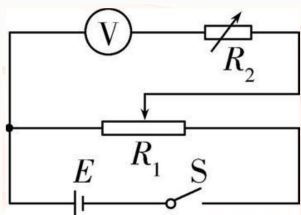
(3) 实验条件: $R_1 \gg R_A$ 。

(4) 测量结果: $R_{A \text{ 测}} = R_2 < R_A$ 。

(5) 误差分析: 当闭合 S_2 时, 总电阻减小, 总电流增大 (大于电流表满偏值), 此时电流表半偏, 所以流经 R_2 的电流比电流表所在支路的电流大, $R_2 < R_A$, 故 $R_{A \text{ 测}} < R_A$ 。

2. 半偏法测电压表内阻

(1) 实验电路图



(2) 实验步骤

(1) 按如图所示的电路图连接实物电路。

(2) 将 R_2 的阻值调为 0，闭合 S，调节 R_1 滑片位置，使电压表满偏。

(3) 保持 R_1 滑片位置不变，调节 R_2 ，使电压表半偏，然后读出 R_2 的阻值。

(3) 实验条件： $R_1 \ll R_V$ 。

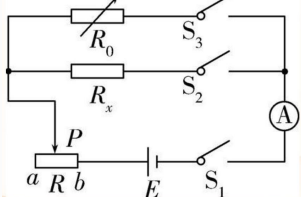
(4) 测量结果： $R_{V\text{测}} = R_2 > R_V$ 。

(5) 误差分析：当 R_2 的阻值由 0 逐渐增大时， R_2 与电压表两端的电压也将增大，当电压表半偏时， R_2 两端电压大于电压表两端电压， $R_2 > R_V$ ，故 $R_{V\text{测}} > R_V$ 。

等效替代法测电阻

1. 电流的 " 等效替代 "

(1) 按如图所示的电路图连接好电路，并将电阻箱 R_0 的阻值调至最大，滑动变阻器的滑片 P 置于 a 端。



(2) 闭合开关 S_1 S_2 ，调节滑片 P 的位置，使电流表指针指在适当的位置，记下此时电流表的示数 I 。

(3) 断开开关 S_2 ，再闭合开关 S_3 ，保持滑动变阻器滑片 P 的位置不变，调节电阻箱，使电流表的示数仍为 I 。

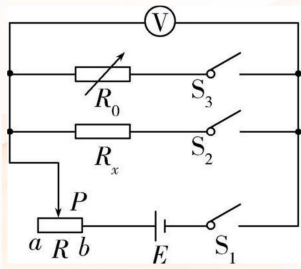
(4) 此时电阻箱连入电路的阻值 R_0 与 R_x 相等。

2. 电压的 " 等效替代 "

(1) 按如图所示的电路图连好电路，并将电阻箱 R_0 的阻值调至最大，滑动变阻器的滑片 P 置于 a 端。

(2) 闭合开关 S_1 、 S_2 ，调节滑片 P 的位置，使电压表指针指在适当的位置，记下此时电压表的示数 U 。

(3) 断开开关 S_2 ，再闭合开关 S_3 ，保持滑动变阻器滑片 P 的位置不变，调节电阻箱，使电压表的示数仍为 U 。



(4) 此时电阻箱连入电路的阻值 R_0 与 R_x 相等。

电桥法测电阻

1. 操作：如图甲所示，实验中调节电阻箱 R_3 ，使灵敏电流计 G 的示数为 0。
2. 原理：当 $I_G = 0$ 时，有 $U_{AB} = 0$ ，则 $U_{R_1} = U_{R_3}$, $U_{R_2} = U_{R_x}$ ；电路可以等效为图乙所示电路。根据欧姆

定律有 $\frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{U_{R_2}}{R_2}$, $\frac{U_{R_1}}{R_3} = \frac{U_{R_2}}{R_x}$ ，由以上两式解得 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$ ，这就是电桥平衡的条件，由该

平衡条件可求出被测电阻 R_x 的阻值。

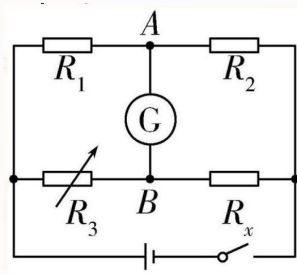


图 3: 甲

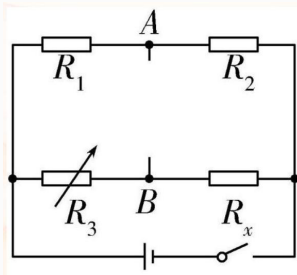


图 4: 乙

7 实验 13 测量电源电动势和内阻

实验原理及装置图

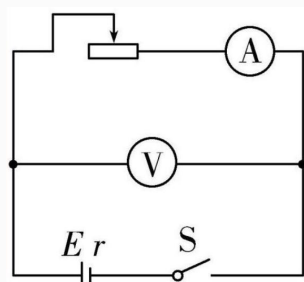


图 5: 甲

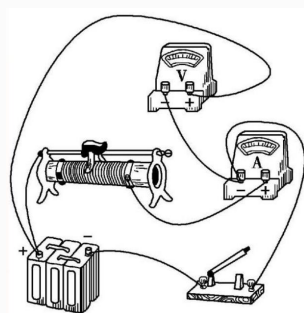


图 6: 乙

改变滑动变阻器接入电路的阻值，测多组 U 、 I 值，根据闭合电路欧姆定律 $E = U + Ir$ 计算 $E r$ 。

操作要领及注意事项

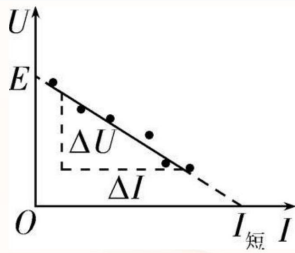
1. 如何选电池：为使路端电压变化明显，应选内阻较大的旧电池。
2. 如何连电路：按原理图连接电路，注意电流表、电压表的接线柱的正负及量程。
3. 测量前滑动变阻器滑片应调到什么位置：闭合开关前，滑动变阻器滑片位于连入电路阻值最大的位置。
4. 如何测量数据：调节滑动变阻器的滑片，电流不要过大，读数要快；要测出不少于 6 组 (I, U) 数据，变化范围要大些。

数据处理

1. 计算法：测出路端电压和干路电流，列方程组
$$\begin{cases} E = U_1 + I_1 r \\ E = U_2 + I_2 r \end{cases}$$
，解得 $E r$ 。可以列多个方程

组，分别求出 E 、 r ，再取其平均值。

2. 作图法：由测出的多组 I 、 U 值，描点作图处理数据，如图所示。



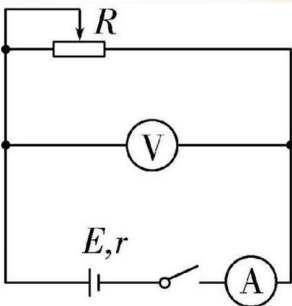
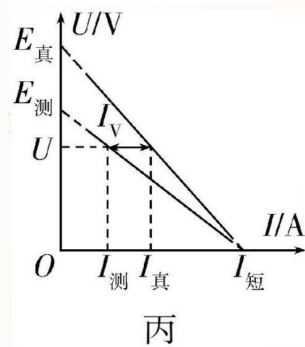
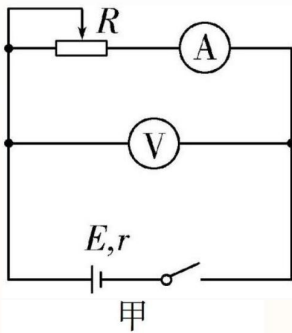
(1) 图线与纵轴交点的纵坐标为电源电动势 E 。

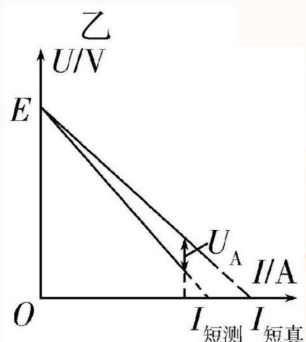
(2) 图线斜率的绝对值为内阻 r 。

误差分析及改进措施

1. 若采用图甲电路，由于电压表的分流作用造成误差，电压值越大，电压表的分流越多，对

应的 $I_{\text{真}}$ 、 $I_{\text{测}}$ 的差值越大，其 $U-I$ 图像如图丙所示。结论： $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}$ ， $r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$ 。





丁

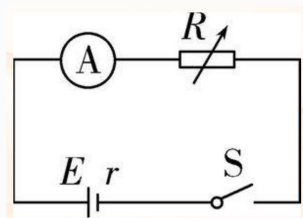
2. 若采用图乙电路，由于电流表的分压作用造成误差，电流值越大，电流表的分压越多，对应的 $U_{\text{真}}$ 与 $U_{\text{测}}$ 的差值越大，其 $U-I$ 图像如图丁所示。结论： $E_{\text{测}}=E_{\text{真}}$ ， $r_{\text{测}}>r_{\text{真}}$ 。

3. 因为通常情况下电源内阻较小，则图乙所测电源内阻误差较大，所以为了减小系统误差，我们实验时用图甲电路，电压表内阻越大，分流越小，其系统误差也越小，所以选用内阻较大的电压表。

拓展方案

方案一安阻法测电动势和内阻

1. 实验原理及装置图



闭合电路欧姆定律 $E = IR + Ir$ ，电路图如图所示。

2. 数据处理

(1) 计算法：由
$$\begin{cases} E = I_1 R_1 + I_1 r \\ E = I_2 R_2 + I_2 r \end{cases}$$
 解方程组求得 E r 。

(2) 图像法：由 $E = I(R + r)$ 可得

(1) $\frac{1}{I} = \frac{1}{E}R + \frac{r}{E}$ ，可作 $\frac{1}{I} - R$ 图像（如图甲）， $\frac{1}{I} - R$ 图像的图线斜率 $k = \frac{1}{E}$ ，纵轴截距为 $\frac{r}{E}$ 。

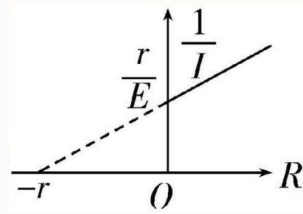


图 7: 甲

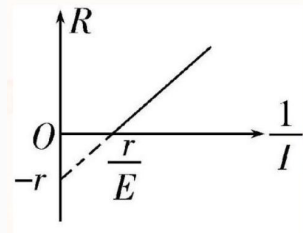


图 8: 乙

(2) $R = E \cdot \frac{1}{I} - r$, 可作 $R - \frac{1}{I}$ 图像 (如图乙), $R - \frac{1}{I}$ 图像的图线斜率 $k = E$, 纵轴截距为 $-r_0$ 。

3. 误差分析

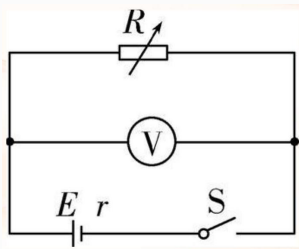
(1) 误差来源: 电流表有内阻, 导致电源内阻测量不准确。

(2) 结论: $E_{\text{测}} = E_{\text{真}}, r_{\text{测}} > r_{\text{真}} (r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + r_A)$ 。

方案二伏阻法测电动势和内阻

1. 实验原理及装置图

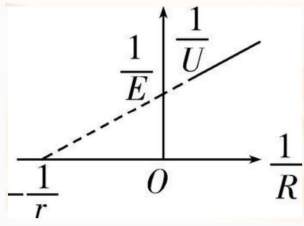
闭合电路欧姆定律 $E = U + \frac{U}{R}r$, 电路图如图所示。



2. 数据处理

(1) 计算法: 由 $\begin{cases} E = U_1 + \frac{U_1}{R_1}r \\ E = U_2 + \frac{U_2}{R_2}r \end{cases}$ 解方程组求得 E 和 r 。

(2) 图像法: 由 $E = U + \frac{U}{R}r$ 得 $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R}$, $\frac{1}{U} - \frac{1}{R}$ 图像的图线斜率 $k = \frac{r}{E}$, 纵轴截距为 $\frac{1}{E}$, 如图。



3. 误差分析

(1) 误差来源：未考虑电压表的内阻，干路电流表达式不准确，导致电动势、内阻测量不准确。

(2) 结论： $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}, r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$ 。

8 实验 14 用多用电表测量电学中的物理量

实验原理

1. 多用电表的工作原理：闭合电路欧姆定律、电路的串联与并联。如图甲为电阻挡电路。

(1) 当红、黑表笔短接时， $I_g = \frac{E}{R_g + R + r}$ 。

(2) 当被测电阻 R_x 接在红、黑表笔之间时， $I = \frac{E}{R_g + R + r + R_x}$ 。

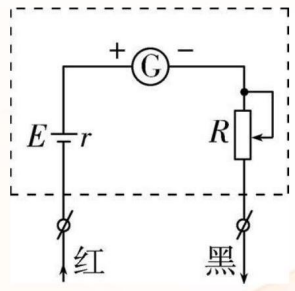


图 9: 甲

2. 二极管具有单向导电性：当给二极管加正向电压时，它的电阻很小，电路导通，如图乙，灯亮；当给二极管加反向电压时，它的电阻很大，电路断路，如图丙，灯不亮。

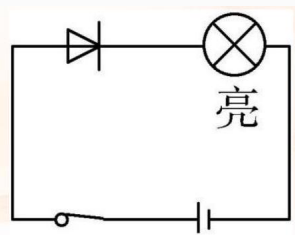


图 10: 乙

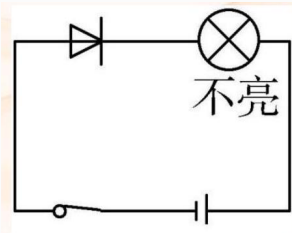
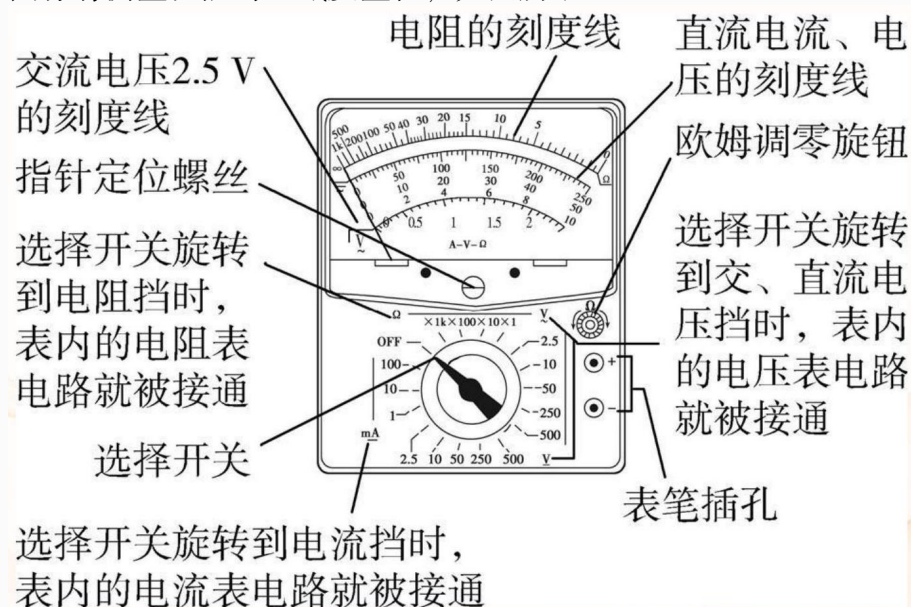


图 11: 丙

操作要领及注意事项

1. 认识多用电表的表面：多用电表的上半部分为表盘，下半部分是选择开关，开关周围标有测量功能的区域及量程，如图所示。



2. 如何进行机械调零：检查多用电表的指针是否停在表盘刻度左端的零位置。若不指零，则可调节指针定位螺丝进行机械调零。

3. 如何测量小灯泡的电压和电流：将红、黑表笔分别插入“+”“-”插孔，保证电流总是“红进黑出”。测电压时，多用电表应与被测元件并联；测电流时，多用电表应与被测元件串联。

4. 测量定值电阻

(1) 测量电阻时待测电阻要与其他元件和电源断开，根据被测电阻的估计阻值，选择合适的挡位，把两表笔短接，进行欧姆调零。

(2) 将被测电阻接在两表笔之间，待指针稳定后看指针是否指在中值附近，否则换挡，每换一次挡必须重新欧姆调零。

(3) 读出指针在刻度盘上所指的数值，用读数乘所选挡位的倍率，即得测量结果。

5. 用多用电表测二极管的正、反向电阻

将多用电表电阻挡欧姆调零后，将二极管接在两表笔之间，若指针偏角很大（读数很小），

则黑表笔接触的是二极管的正极，红表笔接触的是二极管的负极（如图甲）；若指针偏角很小（读数很大），则黑表笔接触的是二极管的负极，红表笔接触的是二极管的正极（如图乙）。

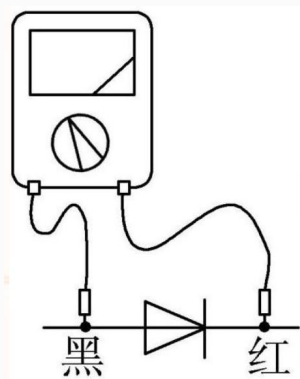


图 12: 甲

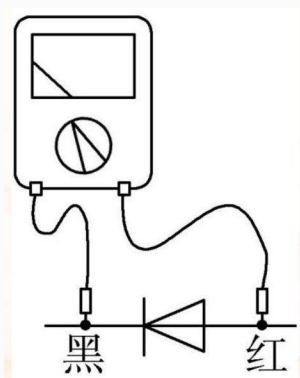


图 13: 乙

6. 多用电表使用完毕后应怎样做：选择开关应置于 " OFF " 挡，长期不用应取出电池。

数据处理

1. 测电阻时电阻值等于指针的示数与倍率的乘积。
2. 测电压和电流时，如果所读表盘的最小刻度为 1 0.1 0.01 等，读数时需往后估读一位；若表盘的最小刻度为 0.2 0.02 0.5 0.05 等，读数时估读到本位。

误差分析及改进措施

1. 多用电表内部电池用旧后，电动势会减小，内阻会变大，使电阻测量值偏大，要及时更换新电池。

2. 电阻挡表盘的刻度线不均匀，估读时易带来误差，要注意其左密右疏的特点，表头指针偏转过大或过小都会使误差增大，因此要选用恰当挡位，使指针落在表盘的中间区域。
3. 读数时的观测易产生偶然误差，视线要垂直表盘正对指针读数。