

恒定电流 电学实验

一、难点形成的原因

- 1、对电流表、电压表的读数规则认识模糊，导致读数的有效数字错误
- 2、对滑动变阻器的限流、分压两种控制电路的原理把握不准，导致控制电路选用不当
- 3、对实验测量电路、电学仪器的选用原则把握不准，导致电路、仪器选用错误
- 4、对电学实验的重点内容“电阻的测量”方法无明确的归类，导致思路混乱
- 5、对于创新型实验设计平时缺乏对实验思想方法（如模拟法，转换法，放大法，比较法，替代法等）进行归纳，在全新的实验情景下，找不到实验设计的原理，无法设计合理可行的方案。受思维定势影响，缺乏对已掌握的实验原理，仪器的使用进行新情境下的迁移利用，缺乏创新意识。

二、难点突破

1、电流表、电压表的读数规则：

电流表量程一般有两种——0.1~0.6A，0~3A；电压表量程一般有两种——0~3V，0~15V。如图 10-1 所示：

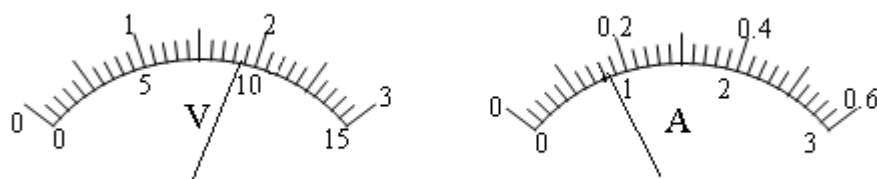


图 10-1

因为同一个电流表、电压表有不同的量程，因此，对应不同的量程，每个小格所代表的电流、电压值不相同，所以电流表、电压表的读数比较复杂，测量值的有效数字位数比较容易出错。下面是不同表，不同量程下的读数规则：

电压表、电流表若用 0~3V、0~3A 量程，其最小刻度（精确度）分别为 0.1V、0.1A，为 10 分度仪表读数，读数规则较为简单，只需在精确度后加一估读数即可。

如图所示，电压表读数为 1.88V，电流表读数为 0.83A。若指针恰好指在 2 上，则读数为 2.00V（或 A）。

电压表若用 0~15V 量程，则其最小刻度为 0.5V，为 2 分度仪表读数，所读数值小数点后只能有一位小数，也必须有一位小数。

如图所示，若指针指在整刻度线上，如指在 10 上应读做 10.0V，指在紧靠 10 刻度线右侧的刻度线上（即表盘上的第 21 条小刻度线）读数为 10.5V，若指在这两条刻度线间的中间某个位置，则可根据指针靠近两刻度线的程度，分别读做 10.1V，或 10.2V，或 10.3V，或 10.4V，即使是指在正中央，也不能读做 10.25V，若这样，则会出现两位不准确的数，即小数点后的 2 和 5，不符合读数规则，如上图所示，读数应为 9.3V。

电流表若用 0~0.6A 量程，则其最小刻度为 0.02A，为 5 分度仪表读数，其读数规则与 0—15V 电压表相似，所读数值小数点后只能有两位小数，也必须要有两位小数。

如上图所示，电流表读数为 0.17A，若指针指在第 11 条刻度线上，则读数为 0.22A，指在第 10 条刻度线上，读数为 0.20A，指在第 12 条刻度线上，读数为 0.24A。

2、滑动变阻器应用分析

滑动变阻器是电学实验中常用的仪器，近几年高考电学设计性实验命题对其应用多次直接或渗透考查。如何选择滑动变阻器的接法设计控制电路仍是历届考生应考的难点。

滑动变阻器的限流接法与分压接法的特点：如图 10-2 所示的两种电路中，滑动变阻器（最大阻值为 R_0 ）对负载 R_L 的电压、电流强度都起控制调节作用，通常把图（a）电路称为限流接法，图（b）电路称为分压接法。

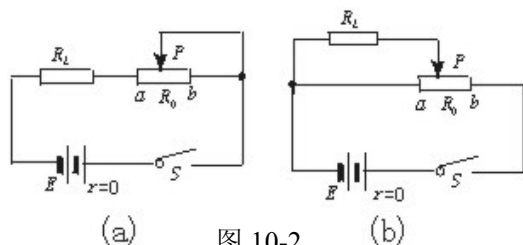


图 10-2

	负载 R_L 上电压调节范围(忽略电源内阻)	负载 R_L 上电流调节范围(忽略电源内阻)	相同条件下电路消耗的总功率
限流接法	$\frac{R_L}{R_L + R_0} E \leq U_L \leq E$	$\frac{E}{R_L + R_0} \leq I_L \leq \frac{E}{R_L}$	$E I_L$
分压接法	$0 \leq U_L \leq E$	$0 \leq I_L \leq \frac{E}{R_L}$	$E (I_L + I_{ap})$
比较	分压电路调节范围较大	分压电路调节范围较大	限流电路能耗较小

①限流法. 如图 (a) 所示, 待测电阻上电压调节范围为 $\frac{R_L E}{R_L + R_0} \sim E$. 显然, 当 $R_0 \ll R_L$ 时, 在移动滑

动触头的过程中, 电流的变化范围很小, 总电流几乎不变, U_L 也几乎不变, 无法读取数据; 当 $R_0 \gg R_L$ 时, 滑动触头在从 b 向 a 滑动的过程中, 先是电流表、电压表的示数变化不大, 后来在很小的电阻变化范围内, 电流表、电压表的读数变化很快, 也不方便读数, 只有当 R_L 与 R_0 差不多大小时, 才能对电流、电压有明显的调控作用. 在同样能达到目的的前提下, 限流法较为省电, 电路连接也较为简单.

②分压法. 如图 (b) 所示, 待测电阻上电压调节范围为 $0 \sim E$, 且 R_0 相对于 R_L 越小, R 上的电压变化的线性就越好. 当 $R_0 \gg R_L$ 时, 尽管 U_L 变化范围仍是 $0 \sim E$, 但数据几乎没有可记录性, 因为在这种情况下, 滑片从左端滑起, 要一直快到右端时, 电压表上示数一直几乎为零, 然后突然上升到 E , 对测量几乎没有用处. 因此, 分压接法要用全阻值较小的滑动变阻器.

滑动变阻器的限流接法与分压接法: 两种电路均可调节负载电阻电压和电流的大小, 但在不同条件下, 调节效果大不一样, 滑动变阻器以何种接法接入电路, 应遵循安全性、精确性、节能性、方便性原则综合考虑, 灵活选取.

1. 下列三种情况必须选用分压式接法

(1) 要求回路中某部分电路电流或电压实现从零开始可连续调节时 (如: 测定导体的伏安特性、校对改装后的电表等电路), 即大范围内测量时, 必须采用分压接法.

(2) 当用电器的电阻 R_L 远大于滑动变阻器的最大值 R_0 时, 必须采用分压接法. 因为按图 (b) 连接时,

因 $R_L \gg R_0 > R_{ap}$, 所以 R_L 与 R_{ap} 的并联值 $R_{并} \approx R_{ap}$, 而整个电路的总阻值约为 R_0 , 那么 R_L 两端电压 $U_L = IR_{并} = \frac{U}{R_0} \cdot$

R_{ap} , 显然 $U_L \propto R_{ap}$, 且 R_{ap} 越小, 这种线性关系越好, 电表的变化越平稳均匀, 越便于观察和操作.

(3) 若采用限流接法, 电路中实际电压 (或电流) 的最小值仍超过 R_L 的额定值时, 只能采用分压接法.

2. 下列情况可选用限流式接法

(1) 测量时对电路中的电流或电压没有要求从零开始连续调节, 只是小范围内测量, 且 R_L 与 R_0 相差不大或 R_L 略小于 R_0 , 采用限流式接法.

(2) 电源的放电电流或滑动变阻器的额定电流太小, 不能满足分压式接法的要求时, 采用限流式接法.

(3) 没有很高的要求, 仅从安全性和精确性角度分析两者均可采用时, 可考虑安装简便和节能因素优先采用限流式接法.

例 1: 如图 10-3 所示, 滑动变阻器电阻最大值为 R , 负载电阻 $R_1=R$, 电源电动势为 E , 内阻不计.

- (1) 当 K 断开, 滑动头 c 移动时, R_1 两端的电压范围是多少?
- (2) 当 K 闭合, 滑动头 c 移动时, R_1 两端的电压范围是多少?
- (3) 设 R 的长度 $ab=L$, R 上单位长度的电阻各处相同, a 、 c 间长度为 x , 当 K 接通后, 加在 R_1 上的电压 U_1 与 x 的关系如何?

【审题】 电键断开或闭合导致电路出现两种截然不同的控制电路: 限流和分压, 把握限流和分压电路的原理是关键

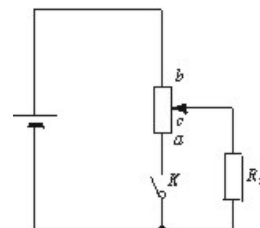


图 10-3

【解析】 (1) 若 K 断开, 则该控制电路为滑动变阻器的限流接法, 故 $\frac{E}{2} \leq U_1 \leq E$

(2) 若 K 闭合, 则该控制电路为滑动变阻器的分压接法, 故 $0 \leq U_1 \leq E$

$$(3) U_1 = IR_{\text{并}}, R_{\text{并}} = \frac{x \frac{R}{L} \cdot R}{x \frac{R}{L} + R}, I = \frac{E}{R_{\text{并}} + (L-x) \frac{R}{L}} \quad \text{得: } U_1 = \frac{ELx}{L^2 - x^2 + Lx}$$

【总结】 该题考察两种控制电路的原理即两者获取的控制电压范围不同

例 2: 用伏安法测量某一电阻 R_x 阻值, 现有实验器材如下: 待测电阻 R_x (阻值约 5Ω , 额定功率为 1 W); 电流表 A_1 (量程 $0 \sim 0.6 \text{ A}$, 内阻 0.2Ω); 电流表 A_2 (量程 $0 \sim 3 \text{ A}$, 内阻 0.05Ω); 电压表 V_1 (量程 $0 \sim 3 \text{ V}$, 内阻 $3 \text{ k}\Omega$); 电压表 V_2 (量程 $0 \sim 15 \text{ V}$, 内阻 $15 \text{ k}\Omega$); 滑动变阻器 R_0 ($0 \sim 50 \Omega$), 蓄电池 (电动势为 6 V), 开关、导线. 为了较准确测量 R_x 阻值, 电压表、电流表应选_____, 并画出实验电路图.

【审题】 该题要求选择实验仪器、测量电路及控制电路, 因为滑动变阻器的全阻值大于被测电阻 R_x , 故首先考虑滑动变阻器的限流接法

【解析】 由待测电阻 R_x 额定功率和阻值的大约值, 可以计算待测电阻 R_x 的额定电压、额定电流的值约为

$$U = \sqrt{PR} \approx \sqrt{1 \times 5} \text{ V} \approx 2.2 \text{ V}, I = \sqrt{P/R} \approx \sqrt{1/5} \text{ A} = 0.45 \text{ A}.$$

则电流表应选 A_1 , 电压表应选 V_1 .

又因 $\sqrt{R_A \times R_V} = \sqrt{0.2 \times 3000} = 24.5 \Omega > R_x$, 则电流表必须外接.

因为滑动变阻器的全阻值大于被测电阻 R_x , 故首先考虑滑动变阻器的限流接法

法, 若用限流接法, 则被测电阻 R_x 上的最小电流为 $I_{\min} = \frac{E}{E_x + R} = \frac{6}{5 + 50} = 0.11 \text{ A}$

$< I_{\text{额}}$, 因该实验没有对电流、电压的调节范围未作特殊要求, 故用限流电路. 电路如图 10-4 所示.

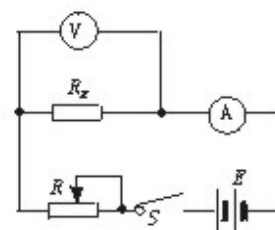


图 10-4

【总结】 滑动变阻器全阻值相对待测电阻较大, 用分压接法不便于调节, 故限流接法是首选, 只要能保证安全且有一定的调节范围即可.

例 3: 用伏安法测量一个定值电阻的器材规格如下: 待测电阻 R_x (约 100Ω); 直流电流表 (量程 $0 \sim 10 \text{ mA}$, 内阻 50Ω); 直流电压表 (量程 $0 \sim 3 \text{ V}$ 、内阻 $5 \text{ k}\Omega$); 直流电源 (输出电压 4 V 、内阻不计); 滑动变阻器 ($0 \sim 15 \Omega$ 、允许最大电流 1 A); 开关 1 个, 导线若干. 根据器材的规格和实验要求画出实验电路图.

【审题】 本题只需要判断测量电路、控制电路的接法, 各仪器的量程和电阻都已经给出, 只需计算两种接法哪种合适.

【解析】 用伏安法测量电阻有两种连接方式, 即电流表的内接法和外接法, 由于 $R_x < \sqrt{R_A R_V}$, 故电流表应采用外接法. 在控制电路中, 若采用变阻器的限流接法, 当

滑动变阻器阻值调至最大, 通过负载的电流最小, $I_{\min} = \frac{E}{R + R_A + R_x} = 24 \text{ mA} > 10 \text{ mA}$,

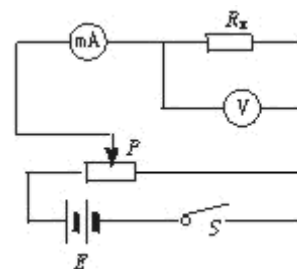


图 10-5

此时电流仍超过电流表的量程，故滑动变阻器必须采用分压接法. 如图 10-5 所示.

【总结】任一种控制电路必须能保证电路的安全，这是电学实验的首要原则，限流接法虽然简洁方便，但必须要能够控制电路不超过电流的额定值，同时，能够保证可获取一定的电压、电流范围，该题中，即便控制电流最小值不超过电流表的量程，因滑动变阻器全阻值相对电路其它电阻过小，电流、电压变化范围太小，仍不能用限流接法。

3、实验电路和电学仪器的选择

(1) 电路的选择

①安培表内、外接电路的选择

由于电压表的分流作用和电流表的分压作用，造成表的示数与通过负载的电压或电流真实值之间产生误差，为减小此系统误差，应慎重选择电流表的内外接法，选择方法如下：

1、直接比较法：

当待测电阻阻值 $R_x \ll R_V$ 时，伏特表分流很小，选择安培表外接电路；

当待测电阻阻值 $R_x \gg R_A$ 时，安培表分压很小，选择安培表内接电路。

2、临界值计算比较法：

当待测电阻阻值与电压表、电流表的阻值相差不多时，如何确定被测电阻 R 是较大还是较小呢？我们

要计算两种接法的相对误差，可用 $\frac{R_V}{R}$ 与 $\frac{R}{R_A}$ 相比较。

当 $\frac{R_V}{R} > \frac{R}{R_A}$ 即 $R < \sqrt{R_V R_A}$ 时，宜采用电流表外接法；

当 $\frac{R_V}{R} < \frac{R}{R_A}$ 即 $R > \sqrt{R_V R_A}$ 时，宜采用电流表内接法；

而 $R = \sqrt{R_V R_A}$ 时，电流表内外接法效果是一样的. 此时的被测电阻值 R 我们称为临界电阻。

3、测试判断法（试触法）

若 R_x 、 R_A 、 R_V 的大小关系事先没有给定，可借助试触法确定内、外接法. 具体做法是：

如图 10-6 所示组成电路，其中电流表事先已经接好，拿电压表的一个接线柱去分别试触 M、N 两点，观察先后两次试触时两电表的示数变化情况。

如果电流表的示数变化比电压表示数变化明显(即 $\frac{\Delta I}{I} > \frac{\Delta U}{U}$)，说明接 M 点时电压表分流作用引起的误差大于接 N 点时电流表分压作用引起的误差，这时应采用内接法(即电压表接 N 点)。

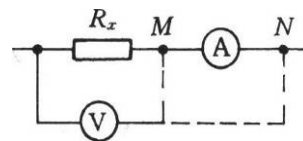


图 10-6

如果电压表的示数变化比电流表示数变化明显(即 $\frac{\Delta I}{I} < \frac{\Delta U}{U}$)，说明接 N 点时电流表分压作用引起的误差大于接 M 点时电压表分流作用引起的误差，这时应采用外接法(即电压表接 M 点)。

(口诀：“内字中间有个大，大内偏大，小外偏小”，即内接法适合测大电阻且系统误差偏大，即测量值大于真实值，外接法适合测小电阻且系统误差偏小，即测量值小于真实值，)

②控制电路（即滑动变阻器的接法）的选择，见难点 2

(2) 电路实验器材和量程的选择，应考虑以下几点：

①电路工作的安全性，即不会出现电表和其它实验器材因过载毁坏现象。

②能否满足实验要求（常常要考虑便于多次测量求平均值）。

③选择器材的一般思路是：首先确定实验条件，然后按电源—电压表—电流表—变阻器顺序依次选择。根据不使电表受损和尽量减少误差的原则选择电表。首先保证流过电流表的电流和加在电压表上的电压均不超过使用量程，然后合理选择量程，务必使指针有较大偏转（一般取满偏度的 $\frac{2}{3}$ 左右），以减少测读误差。根据电路中可能出现的电流或电压范围需选择滑动变阻器，注意流过滑动变阻器的电流不超过它的额定值，对大阻值的变阻器，如果是滑动头稍有移动，使电流、电压有很大变化的，不宜采用。应根据实验的基本要求来选择仪器，对于这种情况，只有熟悉实验原理，才能作出恰当的选择。总之，最优选择的原理是：

- 方法误差尽可能小。
 - 实现较大范围的灵敏调节。
 - 在大功率装置（电路）中尽可能节省能量；在小功率电路里，在不超过用电器额定值的前提下，适当提高电流、电压值，以提高测试的准确度。
- 根据以上原则，电学仪器的选择有如下建议：

1、电源的选择：选择直流电源，应根据用电器的需要来确定，一般考虑用电器所需的电压、电路中的电流、电源电动势和允许电流等。在不超过待测器材所允许的最大电压值的情况下，选择电动势较大的电源（以获得更多的测量数据）。在相同电动势情况下，通常选择内电阻较小的电源（以获得较稳定的路端电压），测电源内阻除外。

2、电表的选择：在不超过电表量程的条件下，选择量程较小的电表（以便测量时示数能在满刻度的 $\frac{2}{3}$ 左右）。

3、滑动变阻器的选择：要由电路中所要求或可能出现的电流、电压的范围来选定变阻器，实际流过变阻器的电流不得超过其额定值；如要通过变阻器的电阻改变来读取不同的电流、电压值时，要注意避免变阻器滑片稍有移动电流或电压就会有很大变化的出现，也要避免出现滑片从一头滑到另一头，电流或电压几乎没有变化的情况。

若控制电路确定为限流接法，则滑动变阻器应选用与实验电路中其它电阻的总阻值相差不大的；若控制电路确定为分压接法，则应选用在额定电流允许的条件下阻值较小的滑动变阻器。

例 4：图 10-7 为用伏安法测量一个定值电阻阻值的实验所需器材实物图，器材规格如下：

- 待测电阻 R_x （约 $100\ \Omega$ ）
- 直流电源（输出电压 4V，内阻可不计）
- 直流毫安表（量程 $0\sim 10\text{mA}$ ，内阻 $50\ \Omega$ ）
- 直流电压表（量程 $0\sim 3\text{V}$ ，内阻 $5\text{K}\ \Omega$ ）
- 滑动变阻器（阻值范围 $0\sim 15\ \Omega$ ，允许最大电流 1A）
- 电键一个，导线若干条



图 10-7

根据器材的规格和实验要求，在实物图上连线。并用“↓”标出在闭合电键前，变阻器的滑动触点应处的正确位置。

【审题】本题不要求选择仪器，只是对已有的仪器进行电路的选择合成，从一定程度上降低了难度，由已知条件，待测电阻与电压表阻值相差较多，滑动变阻器阻值相对较小。

【解析】因滑动变阻器阻值小于待测电阻 R_x 的阻值，所以滑动变阻器应选用分压接法；待测电阻与电表相比， R_x 的阻值和电压表的阻值相差较多，所以应选用安培表外接电路，实物连接如图 10-8 所示。滑动变阻器分压接法时，在闭合电键前，变阻器的滑动触点应置于使负载电压为零处，如图箭头所示。

【总结】（1）设计测量电阻的电路必须考虑两个方面，首先要确定滑动变阻器是分压电路还是限流电路，再考虑是安培表外接电路还是安培表内接电路。

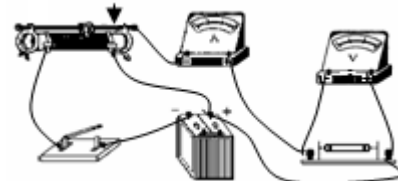


图 10-8

例 5: 某电压表的内阻在 $20\sim 50\text{k}\Omega$ 之间, 现要测量其内阻, 实验室提供下列可选用的器材:

待测电压表 V (量程 3V), 电流表 A_1 (量程 $200\mu\text{A}$), 电流表 A_2 (量程 5mA), 电流表 A_3 (量程 0.6A), 滑动变阻器 R (最大阻值 $1\text{k}\Omega$), 电源 E (电源电压为 4V), 开关 S .

(1) 所提供的电流表中应选用_____ (填字母代号).

(2) 为了尽量减小误差, 要求多测几组数据, 试在图 10-9 方框中画出符合要求的实验电路 (其中电源和开关及连线已画出).

【审题】 测量电压表的内阻, 从已知条件看, 需测量通过电压表的电流, 因此, 需估算通过电压表的最大电流来判断所用电流表的量程. 同时, 滑动变阻器的全阻值远小于电压表内阻, 控制电路应采用分压接法.

【解析】 电压表的示数等于通过电压表的电流与本身内阻的乘积, 估算电路中的最大电流为

$$I_m = \frac{U}{R_V} = \frac{3}{20 \times 10^3} \text{A} = 150\mu\text{A}$$

所以应选电流表 A_1 , 与电压表串联在电路中.

滑动变阻器的电阻远小于电压表内阻. 如果用滑动变阻器连成限流电路, 一则它对电路的调控作用很不明显, 二则是待测电压表分得的最小电压约为

$$U' = \frac{R_V}{R + R_V} U = \frac{20 \times 10^3}{10^3 + 20 \times 10^3} \times 4\text{V} = 3.8\text{V}$$

大于电压表的量程, 变阻器明显不能组成限流电路, 这样变阻器应作为分压器接在电路中, 就不会出现上述问题, 电路如图 10-10 所示.

【总结】 对于电表的选择, 必须先根据已知条件估算电路中的最大电压或电流值, 以此确定选用略大于且量程最小的电表.

例 6: 有一改装的电流表 A_1 需要与一标准电流表 A_2 进行校对, 采用如图所示 10-11 的电路, 其中 E 为电源, R_0 为一限流电阻, R 为一可变电阻, S 为电键, 限流电阻能够限制电路中的最大电流, 使之不超出电流表的量程过多, 从而对电流表起保护作用. 实验中已有的器材及其规格如下:

蓄电池 E (电动势 6V , 内阻约为 0.3Ω),

改装电流表 A_1 (量程 $0\sim 0.6\text{A}$, 内阻约为 0.1Ω)

标准电流表 A_2 (量程 $0\sim 0.6\text{A}\sim 3\text{A}$, 内阻不超过 0.04Ω)

实验中备有的电阻器规格如下:

A. 固定电阻 (阻值 8Ω , 额定电流 2A)

B. 固定电阻 (阻值 15Ω , 额定电流 2A)

C. 滑动变阻器 (阻值范围 $0\sim 20\Omega$, 额定电流 2A)

D. 滑动变阻器 (阻值范围 $0\sim 200\Omega$, 额定电流 2A)

已知两个表的刻度盘上都将量程均匀分为 6 大格, 要求从 0.1A 起对每条刻线一一进行核对, 为此, 从备用的电阻器中, R_0 应选用_____, R 应选用_____. (用字母代号填写)

【审题】 本题中给出了固定限流电阻的选择, 首先要明确其作用, 实验要求电流范围在 $0.1\sim 0.6\text{A}$ 之间, 即电路中仅有限流电阻时的电流要略大于 0.6A , 同时要配合滑动变阻器, 保证电路中的最小电流不超过 0.1A .

【解析】 已知改装表量程为 $0\sim 0.6\text{A}$, 要求从 0.1A 起对每条刻线进行核对, 所以, 电路中最大电流不能小于 0.6A , 最小电流不能大于 0.1A . 电源电动势为 6V , 根据欧姆定律 $R_{\text{总}} = \frac{\mathcal{E}}{I}$, 电路中最小总电阻不能大于 10Ω , 电路中除固定电阻和滑动变阻器外, 其它电阻总阻值等于 0.44Ω , 所以固定电阻 R_0 应选用 A (8Ω); 又因最大总电阻不能小于 60Ω , 滑动变阻器应选用 D (200Ω).

【总结】 (1) 要正确理解限流电阻的限流作用——使电路中的电流不超过电流表的量程过多, 应理解为:

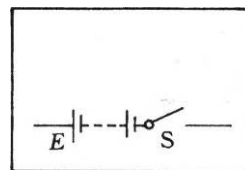


图 10-9

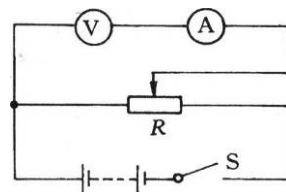


图 10-10

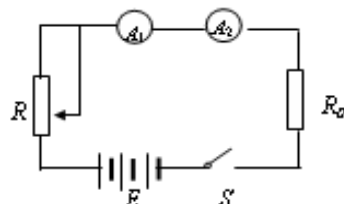


图 10-11

在保证电流表能达到满量程的条件下，通过电流表的电流不过大。所以限流电阻的阻值不能大于使电流表达到满偏时的阻值。

(2) 注意区分限流电阻与滑动变阻器的作用，限流电阻的作用是使电路中的电流不要过小（不小于 0.6A），而滑动变阻器的作用是使电路中的电流要达到足够小（不大于 0.1A）。

例 7：用伏安法测量某一电阻 R_x 的阻值，现有实验器材如下：

- | | |
|---|--|
| A、待测电阻 R_x （阻值大约为 5Ω ，额定功率为 $1W$ ） | B、电流表 A_1 （ $0\sim 0.6A$ ，内阻 0.2Ω ） |
| C、电流表 A_2 （ $0\sim 3A$ ，内阻 0.05Ω ） | D、电压表 V_1 （ $0\sim 3V$ ，内阻 $3K\Omega$ ） |
| E、电压表 V_2 （ $0\sim 15V$ ，内阻 $15K\Omega$ ） | F、滑动变阻器 R_0 （ $0\sim 50\Omega$ ） |
| G、蓄电池（电动势为 $6V$ ） | H、电键、导线 |

为了较准确测量 R_x 的阻值，保证器材的安全，以便操作方便，电压表、电流表应选择_____，并画出实验电路图。

【审题】本题中待测电阻的额定功率、电阻估计值已知，可估算通过电阻的电流及其两端电压，是选择电流表、电压表量程的关键，另外，电流表的内外接法及滑动变阻器的接法也需要计算确定。

【解析】1、确定电流表、电压表的量程。被测电阻 R_x 的额定电压、额定电流分别为

$$U_{\text{额}} = \sqrt{PR_x} = \sqrt{1 \times 5V} = \sqrt{5V} = 2.2V$$

$$I_{\text{额}} = \sqrt{\frac{P}{R_x}} = \sqrt{\frac{1}{5}}A = 0.45A$$

则电流表选用 A_1 ，电压表选用 V_1

2、确定电流表的内、外接法

计算临界电阻 $R = \sqrt{R_A \cdot R_V} = \sqrt{0.2 \times 3000\Omega} = 24.5\Omega$ ， $R_x < R$ ，则

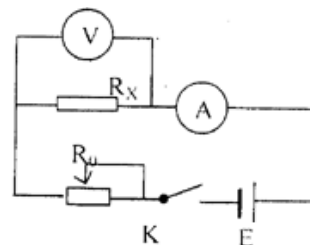


图 10-12

安培表必须外接。

3、确定控制电路

因滑动变阻器的全阻值 R_0 大于被测电阻 R_x ，故首先考虑变阻器的限流接法。

限流接法： R_x 上流取值范围为：

$$\text{最小：} I_{\text{min}} = \frac{\varepsilon}{R_x + R_0} = \frac{6}{5 + 50}A = 0.11A$$

最大： $I_{\text{额}} = 0.45A$

$$R_0 = \frac{\varepsilon}{I_{\text{min}}} - R_x = 8.3\Omega$$

那么，滑动变阻器的阻值（滑动头移动时）不得小于 8.3Ω 。 R_x 的电压变化范围为 $0.55V \sim 2.25V$ ，安全可行。

若采用变阻器的分压接法，因 $R_0 > R_x$ ，会操作不方便，因此应选择变阻器的限流接法。电路如图 10-12 所示。

【总结】本题需要选择电流表、电压表量程以及测量电路和控制电路，解题时为避免混乱，可分步选择，将题目分解，既明确，又不易遗漏。

4、电阻测量的方法归类

在高中电学实验中，涉及最多的问题就是电阻的测量，电阻的测量方法也比较多，最常用的有：

(1) **欧姆表测量：**最直接测电阻的仪表。但是一般用欧姆表测量只能进行粗测，为下一步的测量提供一个参考依据。用欧姆表可以测量白炽灯泡的冷电阻。

(2) **替代法：**替代法的测量思路是等效的思想，可以是利用电流等效、也可以是利用电压等效。替代法测量电阻精度高，不需要计算，方法简单，但必须有可调的标准电阻（一般给定的仪器中要有电阻箱）。

替代法是用与被测量的某一物理性质等效，从而加以替代的方法。

如图 10-13 所示。先把双刀双掷开关 S_2 扳到 1，闭合 S_1 ，调整滑动变阻器，使电流表指针指到某一位置，记下此时的示数 I （最好为一整数）。再把开关 S_2 扳到 2，调整电阻箱 R_0 ，使得电流表指针仍指到示数 I 。读出此时电阻箱的阻值 r ，则未知电阻 R_x 的阻值等于 r 。

说明：①在此实验中的等效性表现在开关换位后电流表的示数相同，即当电阻箱的阻值为 r 时，对电路的阻碍作用与未知电阻等效，所以未知电阻 R_x 的阻值等于 r 。

②替代法是一种简捷而准确度很高的测量电阻的方法，此方法没有系统误差，只要电阻箱和电流表的精度足够高，测量误差就可以忽略。

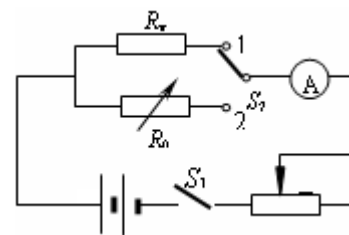


图 10-13

(3) 伏安法：伏安法的测量依据是欧姆定律（包括部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律），需要的基本测量仪器是电压表和电流表，当只有一个电表时，可以用标准电阻（电阻箱或给一个定值电阻）代替；当电表的内阻已知时，根据欧姆定律 $I=U/R_V$ ，电压表同时可以当电流表使用，同样根据 $U=IR_A$ ，电流表也可以当电压表用。

(4) 比例法：如果有可以作为标准的已知电阻的电表，可以采用比例法测电表的电阻。用比例法测电表内阻时，两个电流表一般是并联（据并联分流原理），两个电压表一般是串联（据串联分压原理）。

所谓“比例法”是：要测量某一物体的某一物理量，可以把它与已知准确数值的标准物体进行比较。例如，使用天平称量物体的质量，就是把被测物体与砝码进行比较，砝码就是质量数准确的标准物体。天平的结构是等臂杠杆，因此当天平平衡时，被测物体的质量与标准物体的质量是相等的，这就省去了进一步的计算。

有很多情况下，被测物体与标准物体的同一物理量间的关系并不是相等，而是在满足一定条件下成某种比例的关系，这种方法又称为“比例法”。

例如，测电流表和电压表的内阻，如果有可以作为标准的已知电阻的电表，都可以使用比例法。采用比例法测电阻的依据是：串联电路电压与电阻成正比，并联电路电流与电阻成反比。电压表可显示电阻两端的电压值，电流表可显示电阻中通过的电流，所以测电流表内阻应把两电流表并联，测电压表内阻应把两电压表串联，电路图分别如图 10-14（甲）、（乙）所示。

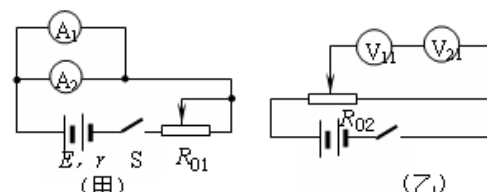


图 10-14

测电流表内阻时，应调节滑动变阻器 R_{01} ，使两电流表的指针都有较大偏转，记录下两电表的示数 I_1 和 I_2 ，根据并联电路分流原理，若已知电流表 A_1 的内阻为 r_1 ，则电流表 A_2 的内阻 $r_2 = \frac{I_1}{I_2} r_1$ 。

测电压表内阻时，应调节滑动变阻器 R_{02} ，使两电压表的指针都有较大偏转，记录下两电表的示数 U_1 和 U_2 ，根据串联电路分压原理，若已知电压表 V_1 的内阻 r_1 ，则电压表 V_2 的内阻 $r_2 = \frac{U_2}{U_1} r_1$ 。

以上例子中，甲图采用限流电路而乙图采用分压电路，这是由于电流表内阻都较小，若采用分压电路，则滑动变阻器的阻值必须更小，这时电路近似于短路，是不允许的；而电压表内阻都很大，若采用限流电路，则滑动变阻器的电阻必须更大，这在实际上行不通。

(5) 半值法（半偏法）。

半值法是上面比例法的一个特例，测电流表内阻和测电压表内阻都可以用半值法，电路图如图 10-15 所示。

甲图实验时先断开开关 S' ，闭合 S ，调整滑动变阻器 R_{01} （限流法连接），使电流表 A 满度（即指针指满刻度处）；再闭合 S' ，调整电阻箱 R_1 ，使电流表 A 的指针恰好指到半满度处，读出此时电阻箱的阻值 R ，则电流表 A 的电阻 $r_A = R$ 。（测量结果偏小）

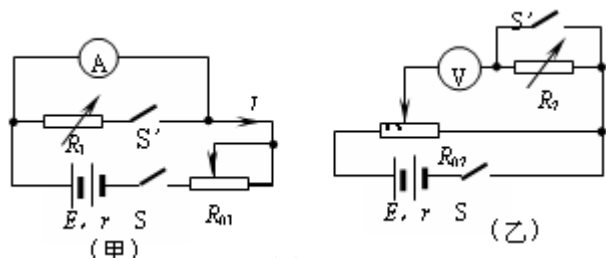


图 10-15

乙图实验时先闭合开关 S' 及 S ，调整滑动变阻器 R_{02} （分压法连接），使电压表 V 满度；再断开 S' ，

调整电阻箱 R_2 ，使电压表 V 的指针恰好指到半满度处，读出此时电阻箱的阻值 R ，则电压表 V 的电阻 $r_V = R$ 。（测量结果偏大）

例 8： 测量某电阻 R_x 的阻值. 已知 R_x 约为 $5\ \Omega$ 左右. 下表给出可供选择器材. 请画出你所设计的实验原理图（至少 3 种），并标明所选器材的规格或代号.

备注：另有导线若干，各器材数目均只一个

【审题】该题要求至少应用 3 种设计方案，需要熟练掌握测电阻的原理和方法，列出所有的测电阻的基本方法，看题目中给出的仪器是否适合，灵活利用、变通，充分发挥题目中所给仪器的作用。

【解析】

方案一：应用伏-安法测电阻，见图 10-16.

选 R_2 ，还是选 R_1 ，就是出于对实验安全方面的考虑. R_2 与 G 表，可改装成 $3V$ 左右的电压表； R_1 与 G 表，只能改装成 $0.3V$ 左右电压表，这样小的电压表既不能安全实验，也不能进行精确测量.

电流表外接而不内接，是出于对实验结果精确程度的考虑. 因为改装后的电压表内阻远大于 R_x ，这样测量系统误差较小. 选 A_1 表，而不选 A_2 表是出于精确读数的考虑. A_1 、 A_2 诚然都能满足安全的要求，但小量程表读数相对误差要小得多，显然这是精确原则的应用.

R_3 作为控制线路的主元件，其控制电压方便与否，与 R_3 、 R_x 值相对大小有关. 当两电阻相近时，为了线路简单、经济，控制电路适宜用限流接法，这主要是出于实验操作是否方便的考虑.

方案二：应用全电路欧姆定律测电阻. 见图 10-17.

原理：令 R_x 短路，调 R_1 ，测得 I_1 后，由全电路欧姆定律得 $E = I_1(r + R_1 + 0 + R_A)$ 接着去掉短路线，可得 I_2 ，同理得 $E = I_2(r + R_1 + R_x + R_A)$ 可求 R_x .

讨论：用 R_1 为何不用 R_2 ？显然是考虑了测量方便问题，是方便原则的应用. 因为 R_1 调节时能用 $0.1\ \Omega$ 变化，对电流调整是有利的. 图 2 设计较图 1，主要是考虑了节省器材原则，这也可以说是经济原则的应用.

方案三：欧姆表原理测电阻，见图 10-18.

原理：先让 ab 短路，调 R_1 使 A_1 满偏，此时内阻为 $5\ \Omega$. 去掉短路线，接通 S ，测得 I ，则依据欧姆表原理， R_x 值为 $(E/I - 5)\ \Omega$

讨论：用 A_1 不用 A_2 或 G ，主要是考虑了测量结果的精确问题. 若用 A_2 改装为欧姆表，其中值电阻为 $1\ \Omega$ ；若用 G 改装为欧姆表，其中值电阻为 $10k\ \Omega$ ，与待测电阻比较，测量误差太大. 欧姆表特点是当测量值在其中值电阻附近时，其读数（或测量结果）比较准确. 这是精确原则的应用. 且整个方案三操作上是很方便的.

【总结】 本题处理过程相对复杂，但只要遵循前面所提出的各种选择方法，题目也就迎刃而解了，因此说，基础知识是关键，复杂题目只是基础知识的合成。

代号	器材名称	规格
a	检流计 G	$300\ \mu$ ， $100\ \Omega$
b	电流表 A_1	$0.6A$ ， $0.1\ \Omega$
c	电流表 A_2	$3A$ ， $0.02\ \Omega$
d	电阻箱 R_1	$0 \sim 999.9\ \Omega$
e	电阻箱 R_2	$0 \sim 9999\ \Omega$
f	滑动变阻器 R_3	全电阻 $5\ \Omega$ ， $2A$
g	电源	$3V$ ， $0.01\ \Omega$
h	开关 S	单刀单掷

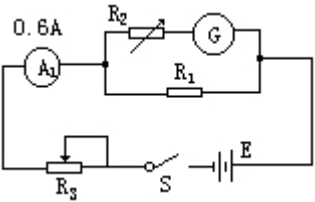


图 10-16

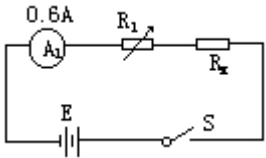


图 10-17

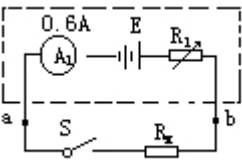


图 10-18

例 9: 一电阻额定功率为 0.01 W, 阻值不详. 用欧姆表粗测其阻值约为 40 kΩ. 现有下列仪表元件, 试设计适当的电路, 选择合适的元件, 较精确地测定其阻值.

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| ① 电流表, 量程 0~300 μA, 内阻 150 Ω; | ② 电流表, 量程 0~1000 μA, 内阻 45 Ω; |
| ③ 电压表, 量程 0~3 V, 内阻 6 kΩ; | ④ 电压表, 量程 0~15 V, 内阻 30 kΩ; |
| ⑤ 电压表, 量程 0~50 V, 内阻 100 kΩ; | ⑥ 干电池两节, 每节电动势为 1.5 V; |
| ⑦ 直流稳压电源, 输出电压 6 V, 额定电流 3 A; | ⑧ 直流电源, 输出电压 24 V, 额定电流 0.5 A; |
| ⑨ 直流电源, 输出电压 100 V, 额定电流 0.1 A; | ⑩ 滑动变阻器, 0~50 Ω, 3 W; |
| ⑪ 滑动变阻器, 0~2 kΩ, 1 W; | ⑫ 电键一只, 连接导线足量. |

【审题】 考查综合分析能力、推理能力及实验设计的创新能力, 审题过程见解析.

【解析】 由于现有器材中有电流表和电压表, 故初步确定用伏安法测定此电阻的阻值. 又因待测电阻为一大电阻, 其估计阻值比现有电压表的内阻大或相近, 故应该采用电流表内接法. 由于现有滑动变阻器最大阻值比待测电阻小得多, 因此, 若用滑动变阻器调节待测电阻的电流和电压, 只能采用分压接法, 如图 10-19 (否则变阻器不能实现灵敏调节). 为了确定各仪表、元件的量程和规格, 首先对待测电

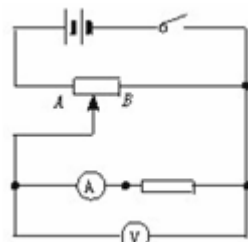


图 10-19

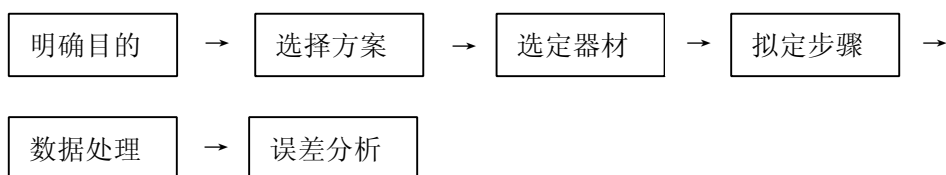
阻的额定电压和电流作出估算: 最大电流为 $I_m = \sqrt{P/R} = \sqrt{\frac{0.01}{4000}} \text{ A} = 5 \times 10^{-4} \text{ A}$

$= 500 \mu\text{A}$; 最大电压 $U_m = 20 \text{ V}$. 由于实验中的电流和电压可以小于而不能超过待测电阻的额定电流和额定电压, 现有两个电流表内阻相近, 由内阻所引起的系统误差相近, 而量程 0~1000 μA 接入电路时, 只能在指针半偏转以下读数, 引起的偶然误差较大, 故选用量程为 0~300 μA 的电流表. 这样选用电流表后, 待测电阻上的最大实际电压约为 $3 \times 10^{-4} \times 40 \times 10^3 \text{ V} = 12 \text{ V}$, 故应选用量程为 15 V 的电压表, 由于在如图所示的电路中, 要实现变阻器在较大范围内灵敏调节, 电源电压应比待测电阻的最大实际电压高, 故电源应选输出电压为 24 V 一种 (其额定电流也远大于电路中的最大实际电流, 故可用).

关于变阻器的选择, 由于采用分压接法, 全部电源电压加在变阻器上. 若是把 0~50 Ω 的变阻器接入电路, 通过它的最小电流 (对应于待测电路断开) 约为 $24 / 50 \text{ A} = 0.5 \text{ A}$, 最小功率约为 $0.25 \times 50 \text{ W} = 12.5 \text{ W}$, 远大于其额定功率; 而 0~2 kΩ 的变阻器接入电路, 其最大电流 (对应于滑动键靠近图 13-4 中变阻器 A 端) 约为并联电路总电流 0.0136 A, 小于其额定电流 0.2024 A. 故应选 0~2 kΩ 的变阻器.

【总结】 本题处理过程相对复杂, 但只要按照“仪器选择-测量电路选择-控制电路选择”这样的顺序逐个突破, 将复杂的过程逐一分解, 遵循前面所提出的各种选择方法, 题目也就迎刃而解了, 因此说, 基础知识是关键, 复杂题目只是基础知识的合成.

实验设计的基本思路



附: 对电学实验中几个点的强调说明:

一、关于多用电表

1. 使用多用表时要注意什么?

(1) 使用多用表的电压、电流挡. 使用多用表测量电压、电流的方法, 与单独使用电压表、电流表的方法基本上是一样的, 只不过在使用多用表前要根据待测量的情况 (是电流还是电压? 是交流还是直流?) 调整好选择开关, 并调整到合适的量程上, 其他如正负接线柱的选用, 串联还是并联到电路中去等, 就和单独使用电压表、电流表时没什么两样了.

(2) 使用多用表的欧姆挡.

① 机械调零: 使用前先查看指针是否指在左端电阻为无穷大的位置, 如不是, 则要用螺钉旋具慢慢地调节定位螺钉使指针正确定位.

② 量程选择: 扳动选择开关到合适的量程上, 尽可能使正式测量时指针停留在中间位置附近, 也就是

要尽可能利用 $\frac{R_{\text{中}}}{4} \sim 4R_{\text{中}}$ 中这一范围内, 以减少测量误差.

③欧姆调零: 短接两表笔, 调整欧姆档的调零旋钮, 使指针指在零欧姆处, 注意每改变一次量程, 就要重新调零一次.

④数据读取: 数据读取时, 一要注意到欧姆刻度不是均匀的, 不然估读会不正确; 二要注意读得的数据还应乘以量程的倍率; 三是测量电路中的某一电阻阻值时, 应该先把电源切断, 再把待测电阻和其他元件断开, 之后再行测量; 四是要注意手不要碰到表笔的金属杆, 以免人体电阻与待测电阻并联造成误差.

⑤结束工作: 测量完毕后, 一定要把选择开关切换到交流高压挡或切换到“OFF”挡上, 以避免漏电或误操作.

2. 欧姆表上的刻度为什么是不均匀的? 刻度时有什么规律吗?

对于磁电式的电流计, 其指针偏转的角度和电流成正比, 改装成电流表或电压表时, 表盘刻度是均匀的; 但用磁电式电流计做欧姆表的表头后, 由欧姆表内部电路构造及全电路欧姆定律可知, 当两表短接和接上待测电阻 R_x 后, 分别有

$$I_g = \frac{E}{R_g + r + R_0} = \frac{E}{R_{\text{内}}} \quad ①$$

$$I_x = \frac{E}{R_g + r + R_0 + R_x} = \frac{E}{R_{\text{内}} + R_x} \quad ②$$

由②式可知, 待测电阻 R_x 与通过表头的电流 I_x 不成线性关系, 这就是造成表盘刻度不均匀的原因. 那么, 怎样对欧姆表的表盘进行刻度呢?

设指针偏转满刻度的 $\frac{n}{m}$ ($m \geq n$) 时, 指针所指的电阻值为 R_x , 则应有

$$\frac{n}{m} I_g = I_x \quad ③$$

把①②式代入③式, 整理, 得 $R_x = \frac{m-n}{n} R_{\text{内}}$, ④

④式便是把表盘改为欧姆刻度的依据了.

这里顺便指出, 当 $R_x = R_{\text{内}}$ 时, $\frac{n}{m} = \frac{1}{2}$, 此时指针指中, 称此值为中值电阻, 显然, 中值电阻恰好等于此时的欧姆表内阻.

3. 测量时怎样正确选择欧姆表的倍率?

在实际测量时, 可以通过改变倍率使指针指在 $\frac{R_{\text{中}}}{4} \sim 4R_{\text{中}}$ 的范围内, 例如, 开始时, 如发现指针向右

偏得过多, 说明原倍率选得太大, 可改选倍率小一些的再试试, 直到指针落在 $\frac{R_{\text{中}}}{4} \sim 4R_{\text{中}}$ 的范围内为止.

也可先估测出应该选用的倍率用来选挡, 换挡时, 可利用公式 $R_x = nR_{\text{指}}$ 进行, 关系式中 R_x 为待测电阻的阻值, n 为所选的倍率挡 (如选 $\times 100$, 则 $n=100$), $R_{\text{指}}$ 则表示从表盘上直接读得的数字.

例如欧姆表中值电阻值为 15Ω , 待测电阻约为 1800Ω , 要较准确地测定该电阻应选用哪一个倍率, 可题设条件知 $R_x = 1800\Omega$, 而 $R_{\text{中}} = 15\Omega$, 为使测量较准确, $R_{\text{指}}$ 宜取 18, $1800 = n \times 18$, $n=100$, 所以应选 $\times 100$ 挡.

再如用欧姆表的 $\times 100$ 挡测一电阻, 发现指针偏角太小, 偏角太小, 即 $R_{\text{指}}$ 太大, 为使指针指示在 $R_{\text{中}}$ 附近, 应增大偏角, 即使 $R_{\text{指}}$ 变小, 由 $R_x = nR_{\text{指}}$ 可知, n 必增大, 故应选 $\times 1k$ 挡.

4. 用欧姆表测量电阻前和换挡后, 为什么一定要先进行欧姆调零?

欧姆表的表盘刻度是按照标准电动势和内阻进行设计和刻度的，实际应用时，内装电池与标准总有差异，同时，电池用久了， E 和 r 都可能变化，这就会影响指针的偏转转角，可能指不到指定刻度处而造成误差，所以使用前必须进行欧姆调零。

在倍率改变后，欧姆表的内阻电路就发生了相应变化，这时只有通过欧姆调零，才有可能使测量示数与电阻值相符，故每改变一次倍率，都应重新进行调零。

二、关于用 $U-I$ 线修正法定性分析测电源电动势和内阻的测量误差

用伏安法测量电源电动势、内电阻的学生实验中，有两种可供选择的实验电路。在两种电路中，由于伏特表的分流和安培表的分压引起的误差是不同的，我们可以用图线修正法简洁明快的分析两种电路引起的测量误差。

第一种测量电路：如图 10-20 和 10-21 中的 a 线，分别为测量电路和由此电路测出的数值画出的路端电压与电流强度的关系图线。误差分析方法如下：

①根据测量电路分析误差原因：本测量电路产生误差的原因是由于伏特表的分流使得安培表的读数 I 小于干路总电流所致。考虑伏特表的内阻 R_V ，全电路的欧姆定律的方程

$$\varepsilon = U + Ir \text{ 应修正为 } \varepsilon' = U + \left(I + \frac{U}{R_V}\right)r' \cdots \cdots ①$$

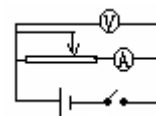


图 10-20

②根据①式寻找图线的准确点：因电流的修正值为 $\Delta I = \frac{U}{R_V}$ ，可见当 $U=0$ 时，电

流误差为零。因此，图线与横轴的交点 P 为准确点，不须修正。

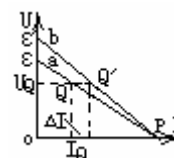


图 10-21

③在图线上任选一点 Q 进行修正：如图 1—2， Q 点的纵坐标 U_Q 不变，把 $(I_Q + \frac{U_Q}{R_V})$

做为 Q 点修正后的 Q' 点的横坐标，连接 P 和 Q' 得修正后的 $U-I$ 图线为 b 线。

④比较两条图线的纵截距和斜率：因图线的纵截距等于电源电动势，图线斜率的绝对值等于电源内阻。

所以， $\varepsilon < \varepsilon'$ ， $r < r'$ 。可见电动势和内阻的测量值均小于真实值。

第二种测量电路：如图 10-22 和 10-23 中的 a 线，分别为测量电路和由此测量电路画出的路端电压与电流强度的关系图线，误差分析方法如下：

①根据测量电路分析误差原因：本测量电路产生误差的原因是由于安培表的分压使得伏特表的读数小于电源的路端电压所致。考虑安培表的内阻 R_A ，全电路的欧姆定律的方程 $\varepsilon = U + Ir$ 应修正为 $\varepsilon' = U + I(r' + R_A) \cdots \cdots ②$

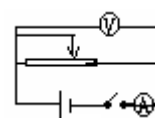


图 10-22

②根据②式寻找图线的准确点：因电压的修正值为 $\Delta U = IR_A$ ，可

见当 $I=0$ 时，电压修正值为零。所以，图线与纵轴的交点 P 准确。

③在图线上任选一点 Q 进行修正：如图 2—2， Q 点的横坐标 I_Q 不变，做为修正后 Q' 点的纵坐标，连接 P 和 Q' 得修正后的 $U-I$ 图线为 b 线。

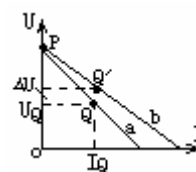


图 10-23

$(U_Q + I_Q R_A)$

④比较两条图线的纵截距和斜率：得 $\varepsilon = \varepsilon'$ ， $r > r'$ 。可见，电动

势的测量

值与真实值相等，而内阻的测量值大于真值。

三、关于电路实物连线的几个易错点：

1、电键必须控制全电路

2、电表的量程和正负极

3、滑动变阻器的“两端限流、三端分压”接法，且要求在闭合电键前，必须保证限流接法中滑动变阻器以最大电阻接入电路，分压接法中滑动变阻器输出电压端电压为零。

4、注意检查安培表的内外接法是否正确

5、导线不能接在滑动变阻器的支架或滑动头上，不能穿越用电器，不能有交叉线。