

欧姆表倍率原理探究中的数理思维

陈海亮

(广西师范大学附属外国语学校, 广西 桂林 541004)

摘要: 欧姆表的设计原理, 本质是利用函数进行物理测量量的转化, 一直是中学教学的一个难点, 对学生来说, 欧姆表的倍率(换挡)原理就更加难以从数理角度进行理解了, 背后的核心逻辑还是利用数学函数将可测量量(电流)与不可测量量(电阻)关联起来。本文将从三个部分探索欧姆表设计的数理原理、换挡的数理原理和欧姆表的本质, 充分体现数学物理思维。

关键词: 欧姆表; 倍率; 闭合电路; 数理思维; 函数

一、欧姆表的数理原理

机械指针式电表的核心还是磁式电流表, 而决定磁式电流表指针偏角的物理量是流过电流表的电流 I , 那么要想利用磁式电流表的刻度盘来显示某电阻值 R_x , 就得利用函数 R_x 将与电流 I 关联起来, 要获得电流那就得提供闭合电路, 即提供电源。

组成图 1 所示的闭合电路, 由闭合电路欧姆定律得出, 通过

表头的电流 $I = \frac{E}{R_x + R_{\text{内}}}$, 将欧姆表内部电阻用一个值来代替, 即

$R_{\text{内}} = R + R_g + r$, 则 $I = \frac{E}{R_x + R_{\text{内}}}$, 可知总电阻 R 总与 I 成反比例

关系。如图 2 所示, 若电流盘的刻度均匀分布, 则电阻的刻度非均匀分布。不同的 R_x 值对应不同的电流值 I , 在刻度盘上直接标出与 I 值所对应的 R_x 值(制作电阻刻度盘时 R_x 用电阻箱), 就可以从刻度盘上直接读出被测电阻的阻值了。为了充分利用电流表表盘的刻度值, 电阻为零(红、黑表笔短接)时应该对应满偏

电流, 即 $I_g = \frac{E}{R_{\text{内}}}$; 电阻无穷大时对应电流为零; 当 $I = \frac{I_g}{2}$, 即

中值处, 此时外电阻刚好等于内阻, 即 $R_x = R_{\text{内}} = R$, 即中值电阻等于内阻, 其表盘特点如图 3 所示, 电流盘刻度均匀, 量程为 $0 \sim I_g$, 对应电阻的刻度不均匀, 越往左端越密集, 量程为 $0 \sim \infty$ 。

由此可见欧姆表是利用闭合电路中外电阻和电流的数理关系, 通过电流表来间接显示电阻值, 核心是函数转化思想。

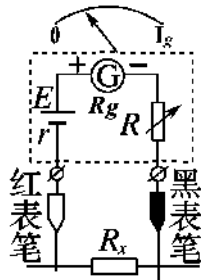


图 1

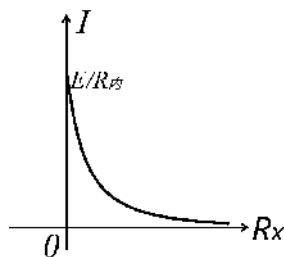


图 2

图 2

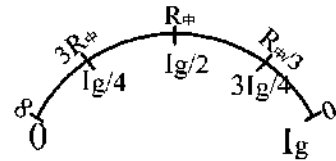


图 3

二、欧姆表换挡的数理原理

由上可知欧姆表的量程为 $0 \sim \infty$, 看似非常完美, 但是当指针靠近电阻无穷大时, 由于刻度线非常密集会导致读数误差极大。表盘刻度的不均匀, 导致表盘中某些部分读数的精度很低。我们希望指针指在中央附近, 读数较为精确。如图 4 所示情景, 只能粗略地读数为 330Ω , 一千欧以上的电阻值根本无法读数。

为了提高读数的精确度, 可以让指针指到 33 或者 3.3 左右, 这样读完后在乘相应的的倍率即可, 即, 即利用不同挡位对应不同倍率来解决这个问题, 物理人教版本节内容给出了如图 5 的多倍率欧姆表电路图(接 3 和 4 时倍率不同)。

换倍率的实质: 改变倍率就是改变中值 R 中。

由闭合电路的欧姆定律有, $R_{\text{中}} = R_{\text{内}} = \frac{E}{I_g}$ 。由表达式, 很容易知道, 扩大中值电阻的途径有: 一、改变电源电动势 E , 二、改变满偏电流 I_g 。

由于干路电流 $I_{\text{干}} = \frac{E}{R_x + R_{\text{内}}}$ 得 $R_x = \frac{E}{I_{\text{干}}} - R_{\text{内}}$ 。按照图 5, 在不同挡位下指针指在同一位置, 即流过 G 表的电流相同(即干路电流相同), 但是外电阻相差 10 倍, 即 $10R_x = \frac{10E}{I_{\text{干}}} - 10R_{\text{内}} = R'_x = \frac{E'}{I} - R'$ 。在欧姆调零时内阻增加 10 倍是可以实现的, 但是万用表内部电源为干电池, 10 倍率挡意味着成 10 倍增加电池数量, 这样显然不切实际。

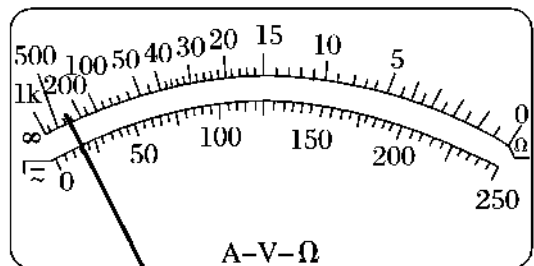


图 4

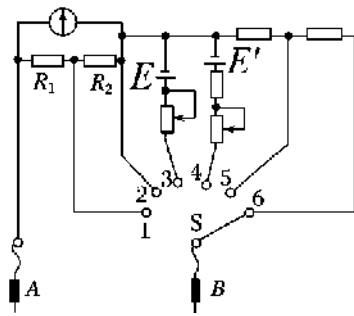


图 5

由于欧姆表内部一般为两节干电池供电，即电路中电动势 E 不

变，这样 $I_{\text{干}}$ 就是变量，上式改为 $10R_x = \frac{E}{\frac{I_{\text{干}}}{10}} - 10R_{\text{内}} = R_x' = \frac{E}{I_{\text{干}}} - R'$ ，

则干路电流变为原来的 1/10，则可以满足在不同挡位下指针指在同一位置时外电阻相差 10 倍，因为指针的位置不变，即流过 G 表的电流不变，但是干路电流 $I_{\text{干}}$ 却是变量，在一个确定电动势的电路里如何实现呢？我们可以利用将电流表改装为大量程电流表时分流思路，即给 G 表并联电阻来实现。

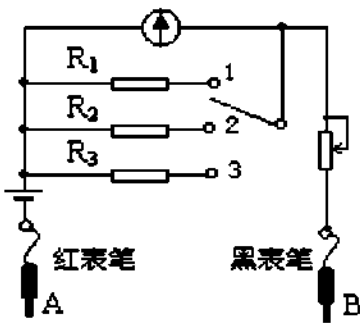


图 6

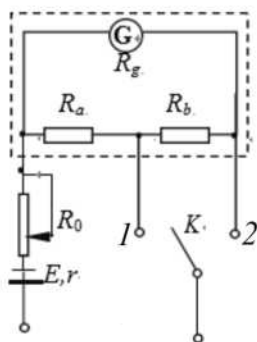


图 7

如图 6 所示，当接 1 挡位时， $\frac{I_G R_g}{R_1 R_g} = \frac{E}{R_{x1} + R_{\text{内}}}$ ，则

$$R_{x1} = \frac{E}{I_G (R_1 + R_g)} - R_{\text{内}}; \text{ 1、2、3 都断开时， } R_x = \frac{E}{I_G} - R_{\text{内}}$$

由以上两关系式发现接 1 挡位时干路电流大于全部断开时，则断开时

是高倍率挡位，接 1 挡位时只要满足 $\frac{R_1 + R_g}{R_1} = 10$ ，则可实现将倍率降为原来的 1/10，反之则增加 10 倍。

我们可以换一种更简单的方式来理解。由外电阻为零时，则 $R_x = \frac{E}{I} - R_{\text{内}} = R(\frac{I_g}{I} - 1)$ ，则可得当 $I = \frac{1}{4} I_g$ 时， $I = \frac{1}{4} I_g$ ，当 $I = \frac{1}{2} I_g$ 时， $R_x = R_{\text{内}}(\frac{I_g}{I} - 1) = R$ ；当 $I = \frac{3}{4} I_g$ 时，外电阻刻度其实都是按照内阻的比例关系确定的，若内阻成 10 倍变化，外阻也会成 10 倍变化。内阻是在欧姆调零时确定下来的，由于 E 不变，由 $R_{\text{内}} = \frac{E}{I_g}$ ，则可以通过改变干路的满偏电流来实现。如图 5 所示，若并联接入电阻 R_1 可以使干路的满偏电流增加 10 倍，这样欧姆调零后内阻会减少为原来的 1/10，则对应的外电阻刻度都相应地减少为原来的 1/10，即实现了 10 倍率变化。

图 7 所示的电路 K 分别接 1、2 时也可以实现倍率的变化，只要满足干路的满偏电流成 10 倍或者 100 倍变化即可。

综上所述，欧姆表的换挡原理是：通过在给 G 表串联或者并联不同的电阻从而改变干路电流来实现电阻测量的倍率变化，其核心依据还是闭合电路中的数理关系 $R_x = \frac{E}{I_{\text{干}}} - R_{\text{内}}$ 。通过以上分析可以得出，干路的满偏电流增加 10 倍或 100 倍，电阻的测量倍率则降低为原来的 1/10 或 1/100。

三、欧姆表的本质

由上我们可以全面地认识欧姆表的设计、工作原理和改进换挡，简化来看欧姆表可以等效为一个电源，这个电源带有一个刻度盘可以显示出外电阻的大小，同时还能通过中间刻度值显示出该电源的总内阻，这样我们就可以对欧姆表参与的电路理解得更加透彻。

参考文献：

[1] 张凤英, 朱晓安. 多用电表欧姆档倍率切换原理 [J]. 物理教学探讨, 2018, 36 (08): 50-52.
 [2] 江秀梅, 刘大明. 欧姆表内部电路结构和换挡原理的分析 [J]. 物理教学探讨, 2013, 31 (08): 62-63.
 [3] 陈吕寿, 李艳军. 多用电表欧姆调零原理分析 [J]. 物理教师, 2007 (02): 24-25.
 [4] 江秀梅, 刘大明. 欧姆表内部电路结构和换挡原理的分析 [J]. 物理教学探讨, 2013, 31 (08): 62-63.

本文系桂林市教育科学“十四五”规划 2021 年度教师个人课题，项目名称：高中物理数理方法教学实践研究，（课题批准号 2021G-054）的成果论文。