

⑩

电阻箱电阻值有效数字的确定^①

43-45

曾毓敏
(物理系)

04-33

摘要 本文通过对电阻箱电阻值的误差分析,给出了确定电阻箱电阻值有效数字的方法。

关键词 电阻箱, 误差, 有效数字。

电阻值

0 引言

在日常测量与实验工作中,常常将电阻箱作为阻值已知的标准电阻来使用,而在测量结果的数据处理中,则将电阻箱电阻值作为一个参量直接参与运算。因此,如何确定它的有效数字,对测量结果的误差和有效数字有着很大影响。但在这一问题上往往存在一些容易被忽略的问题,如将电阻箱的示值直接作为有效数字,或当作数学上的纯数来处理,而忽略电阻箱的等级、精度和误差。本文通过对电阻箱电阻值的误差分析,给出确定电阻箱电阻值有效数字的方法。

1 电阻箱作为固定电阻使用时有效数字的确定

将电阻箱作为标准电阻使用一般有两种情况,一是作为固定电阻使用,即将电阻箱指示盘拨至某一示值后,测量过程中不再调节、变化;二是作为调节电阻使用,即使用中需不断调节电阻箱阻值,使仪器或电路达到平衡或某一要求的状态。

电阻箱作为固定电阻使用时,其阻值的误差和有效数字通常是根椐电阻箱等级来确定的,电阻箱通常在其铭牌上所标明的准确度等级,表示的是电阻箱示值在比较大时的相对误差的百分数。例如0.1级电阻箱表示它的电阻示值较大时,其误差为0.1%,根椐电阻箱等级可以确定电阻值的绝对误差,进而确定电阻值的有效数字。以实验室和一般测量中常用的ZX21型电阻箱为例,它为0.1级的六旋钮电阻箱,总电阻为99999.9Ω。当其示数为28678.1时,其绝对误差为(通常取一位):

$$\Delta R_1 = 28678.1 \times 0.1\% = 28.6781 \approx 3 \times 10 \text{ (}\Omega\text{)}$$

根椐有效数字由绝对误差决定的原则,有效数字一般只保留一位可疑数字,即有效数字的末位和绝对误差所示位对齐,因此这一电阻值的有效数字应为:

$$R_1 = 2.868 \times 10^4 \text{ (}\Omega\text{)}$$

又如当电阻箱示值为78.6时,其绝对误差

$$\Delta R_2 = 78.6 \times 0.1\% = 0.0786 \approx 0.08 \text{ (}\Omega\text{)}$$

因此有效数字为 $R_2 = 78.60\Omega$

以上两例中决不能将电阻箱的示数当作有效数字而写作 $R_1 = 28678.1\Omega$ 和 $R_2 = 78.6\Omega$,因为这样写表示的是 R_1 、 R_2 的绝对误差都为零点几欧姆左右,显然是不正确的。另外也不能将其阻值当作数学上的纯数处理,例如当示值为00300.0时,根椐规则,绝对误差 $\Delta R_3 = 0.3\Omega$,

① 本文于1991年6月20日收到。

有效数字 $R_3 = 300.0\Omega$. 把它当作纯数写成 $R_3 = 0.3K\Omega$ 、 $3 \times 10^2\Omega$ 或 300Ω 等都是错误的。

需要特别强调的是, 以上所述由电阻箱等级计算电阻值绝对误差, 确定电阻值有效数字的方法, 只在电阻箱示值比较大的情况下适用, 而在电阻箱示值比较小的情况下(如几欧姆甚至零点几欧姆)又得另当别论。原因是电阻箱的等级, 仅仅表示较大阻值的误差百分数。而由于电阻箱中各分立电阻在生产制造上的问题, 较小阻值的分立电阻通常其精度等级达不到一般阻值的分立电阻的精度等级, 也就是说较小电阻的阻值相对误差通常比电阻箱等级所表示的要大, 在计算处理时必须正确地考虑这一实际情况。对于电阻箱低阻值情况, 可按以下方法加以考虑(仍以 ZX21 型电阻箱为例)

(1) 根据电阻箱基本误差的经验公式来确定

0.1 级电阻箱电阻值基本误差有一经验公式

$$\Delta R/R = (0.1 + 0.2m/R)\%$$

式中 m 为电阻箱接入电路的指示不为零的旋钮个数, R 为接入电路的电阻值(单位为欧姆)。根据这一经验公式, 当使用电阻值 R 较大时, (几十欧姆以上) 由于式中 $m \leq 6$, 则有 $\Delta R/R \approx 0.1\%$, 即基本误差可按电阻箱的等级来考虑。当电阻箱示值较小时(几欧姆以下) $\Delta R/R > 0.1\%$, 电阻值基本误差明显大于由电阻箱等级所表示的基本误差, 这时应按这一实际情况来考虑。

例如当电阻箱示值为 0.5 时, $m=1$, 那么按经验公式就有 $\Delta R_1/R_1 = 0.5\%$, 其绝对误差 $\Delta R_1 = 0.0025 \approx 0.003\Omega$, 故其有效数字应为 $R_1 = 0.500\Omega$ 。但如按电阻箱级别确定, 则 $\Delta R_1 = 0.0005\Omega$, $R_1 = 0.5000\Omega$, 显然夸大了 R_1 的准确度。

(2) 根据电阻箱各档具体标定准确度来确定

近期生产的电阻箱, 有些按国家标准标出各档具体的准确度。如长城电工仪器厂生产的 ZX21 型电阻箱, 按国家 ZBY162-83 标准, 标出各档准确度为:

档位:	$\times 0.1$	$\times 1$	$\times 10$	$\times 100$	$\times 1000$	$\times 10000$
准确度 (ppm):	50000	5000	2000	1000	1000	1000

ppm 表示百万分之一。由此可见 100Ω 以上各分立电阻达到了 0.1 级, 其余均未达到其等级所规定的精度。

如果仍以电阻箱示值 0.5 为例, 根据以上实际情况, 其绝对误差为 $\Delta R_5 = 0.5 \times 50000/10^6 = 0.025 \approx 0.03(\Omega)$ 。所以其有效数字应为 $R_5 = 0.50\Omega$ 。

为简单起见, 以上只是以电阻箱一位示数为例来说明的, 如果有几位示数, 只需将各位示数的绝对误差相加即得总绝对误差, 并由此确定电阻值的有效数字(事实上, 总绝对误差主要由最高位的误差决定)。另外, 在很低电阻情况下, 还应考虑接触电阻甚至接线电阻的影响。

2 电阻箱作为调节电阻使用时的有效数字确定

测量或实验中, 有时电阻箱需作为调节电阻使用。例如在惠斯通电桥中, 两比例臂电阻, 其电阻箱是作为固定电阻使用的, 而比较臂电阻, 其电阻箱就是作为平衡调节电阻使用的, 其中比例臂电阻的误差对测量结果的影响, 可通过互换两臂位置而消除, 这样测量结果的误差及有效数字主要由比较臂电阻来确定。这种情况下, 电阻箱电阻值的有效数字应根据仪器在具体调节中的灵敏度来确定, 而不能盲目根据电阻箱的精度来确定。在用惠斯通电桥测量电

阻时，电桥调节到完全平衡后，比较臂电阻的示数为 3280.0Ω ，但若在调节过程中发现，当调节电阻箱的 $\times 1$ 档和 $\times 0.1$ 档，指示数在 $0\sim 9$ 之间任意变化时，都观察不到平衡指示仪有偏转，这时比较臂电阻的有效数字应确定为 $3.28 \times 10^4\Omega$ ；而不是按电阻箱精度所确定的 $3.280 \times 10^4\Omega$ 。这里测量结果的有效数字相对于按电阻箱精度所得结果的减少是由于整个仪器的灵敏度较低而引起的。如果按电阻箱精度确定，将人为夸大仪器灵敏度及精度。同样，如果在调节过程中发现调 $\times 0.1$ 档时仍可观察到平衡指示仪有偏转，那么，比较臂电阻有效数字应为 3280.0Ω ，尽管其实际阻值误差可能达几欧姆，但由于 $\times 0.1$ 示值有很大的参考价值，所以记录计算时应采用上述数据，否则仪器灵敏度得不到正确反映。此时实验结果的误差应用两位数字来表示。当然，要消除这一矛盾，测量中可采用更高等级的电阻箱。

参考文献

- 1 林舒，龚振雄编. 普通物理实验. 人民教育出版社
- 2 刘庆余，李继纲编. 电学计量. 计量出版社
- 3 龚振雄编. 普通物理实验中的数据处理的. 西北电讯工程学院出版社，1985

Determination of the Significant Figures of an Indicated Value of a Resistance Box

Zeng Yumin

(Department of Physics)

Abstract Analyzing the error of an indicated value of a resistance box, the paper shows the method to determine the significant figures of that indicated value.

Key words Resistance box, Error, Significant figure.