

伏安法测电阻实验的数据处理

姚展,任惠娟

(咸阳师范学院物理系,陕西咸阳712000)

摘要:对伏安法测电阻实验的数据处理进行了系统研究,分析了采用非等精度数据处理方法进行数据处理的依据,介绍了使用该方法的基本步骤,并举例说明。

关键词:伏安法;不确定度;非等精度测量

中图分类号:O4-34 **文献标识码:**A

0 引言

在大学物理实验教学中,伏安法测电阻实验是各理工院校均开设的一个基础性实验。该实验的原理及实验方法一般教材都论述得很详尽,也都能够被学生很好地接受和掌握,但在实验数据处理这一块,大部分教材要么根本不提及,要么提得很模糊,没有可操作性,个别教材提出用等精度测量量的数据处理方法处理该实验数据。该实验的数据处理到底该怎么进行?能否使用非等精度测量量的数据处理方法?本论文将对这些问题展开讨论。

1 不确定度简介

不确定度是表征测量结果具有分散性的一个参量,它是被测物理量的真值在某个量值范围内的一个评定,它表示由于测量误差的存在而对被测量值不能确定的程度。不确定度常以估计标准偏差来表示大小,这时称其为标准不确定度^[1-3]。

1.1 直接测量量的标准不确定度

直接测量量的标准不确定度一般包含多个分量,根据测量误差来源的不同,其标准不确定度可以归并为以下两类^[4,5]。

a. 标准不确定度的A类评定:这是针对偶然误差对测量结果的影响而引入的一类评定方法。A类评定的标准不确定度一般取为平均值的标准偏差,即

$$u_{A(x)} = s_{(\bar{x})} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

b. 标准不确定度的B类评定:这是针对系统误差对测量结果的影响而引入的一类评定方法。先获得测量仪器的极限误差 Δ ,按照误差均匀分布理论,其标准差为 $\frac{\Delta}{\sqrt{3}}$,则B类评定的标准不确定度为

$$u_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$$

直接测量量 x 的标准不确定度为A类评定各分量和B类评定各分量的合成,即

$$u_{(x)} = \sqrt{\sum u_A^2 + \sum u_B^2}$$

1.2 间接测量量的标准不确定度

对于间接测量量,设被测量 y 是由 m 个被测量量 x_1, x_2, \dots, x_m 算出, $y = y(x_1, x_2, \dots, x_m)$,各直接测量量 x_i 的标准不确定度为 $u(x_i)$,则间接测量量 y 的合成标准不确定度 $u(y)$ 为

$$u_{(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_i}\right)^2 u_{(x_i)}^2}$$

2 非等精度测量量的标准不确定度

非等精度测量量是指用不同的方法或不同准确度的仪器对同一测量对象进行多次测量所得到的直接测量值^[1]。例如,用准确度不同的游标卡尺多次测量圆柱体的高度所得的测量值。这是传统意义上的非等精度测量量的概念,其实质内涵是各个单次测量的不确定度反应了各个单次测量结果具有不同的可置信度,这种不同的可置信度来自于不同准确度的测量仪器。

还有一种非传统意义上的非等精度测量概念,即在同一实验中,通过对不同的测量对象(或是不同的测量点)进行测量所得的多个间接测量

值.例如,伏安法测电阻中每改变一次滑线变阻器滑动头的位置,读取相应的 U_i 和 I_i ,所得到的间接测量值 R_i .之所以将这种测量值也归入非等精度测量值中主要是由于其多次的测量结果及其不确定度符合非等精度测量的实质,即每个单次测量结果的不确定度均反映了本次测量结果的可置信程度,而单次测量结果的可置信度来自于对电流或电压的测量点选取的不同,因此这种间接测量也属于非等精度测量值.所以,对伏安法测电阻的实验数据应采用非等精度测量量的处理方法.

2.1 非等精度测量量的最佳估计值

从非等精度测量值求最佳估计值要用加权平均的方法^[1,6].设测量值 x_1, x_2, \dots, x_n 的不确定度分别为 $u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_n)$,则其最佳估计值为

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

其中 p_i 为第 i 次测量的权,一般与该次测量的标准不确定度的平方成反比,即

$$p_i = \frac{1}{u_i^2}$$

2.2 非等精度测量量的标准不确定度

非等精度测量量的标准不确定度为^[1,6]

$$u(x) = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u_i^2}}}$$

3 伏安法测电阻的数据处理方法

以外接法为例,设每改变滑线变阻器滑动头的位置,电压表、电流表的读数分别为 U_i 和 I_i ,假设经过了 n 次测量.数据处理方法如下.

a. 计算单次测量的电阻阻值: $R_{xi} = \frac{U_i}{I_i}$

b. 计算单次测量的不确定度:由于每单次测量时,直接测量量为 U_i 和 I_i , R_{xi} 为间接测量量,故单次测量量 R_{xi} 的不确定度应按照间接测量量的不确定度计算公式进行.

$$u_{(R_{xi})} = \sqrt{\left[\frac{\partial R}{\partial U} u_{(U)}\right]^2 + \left[\frac{\partial R}{\partial I} u_{(I)}\right]^2} = R_{xi} \sqrt{\frac{u_{(U)}^2}{U_i^2} + \frac{u_{(I)}^2}{I_i^2}}$$

式中 $u_{(U)}$ 是直接测量量 U_i 的不确定度, $u_{(I)}$ 是直接测量量 I_i 的不确定度.由于每组 R_{xi} 都是单次测量的,故评定该单次测量量的不确定度时仅考虑B类评定,即

$$u_{(U)} = \frac{\Delta U}{\sqrt{3}}, u_{(I)} = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}}$$

其中 $\Delta U, \Delta I$ 分别为所使用的电压表、电流表的极限误差,并假设两仪表误差均匀分布.若电压表的准确度等级为 α ,量程为 U_{\max} ,电流表准确度等级为 β ,量程为 I_{\max} ,则

$$\Delta U = \alpha/100 \times U_{\max}, \Delta I = \beta/100 \times I_{\max}$$

c. 将每单次的测量结果表示成: $R_i = R_{xi} \mid u_{(R_{xi})}$,并对该结果按照非等精度测量量的数据处理方法进行加权处理.

第 i 次测量量 R_{xi} 的权 p_i 为 $p_i = \frac{1}{u_{(R_{xi})}^2}$.

测量量的最佳估计值为 $\bar{R}_x = \frac{\sum_{i=1}^n p_i R_{xi}}{\sum_{i=1}^n p_i}$.

最佳估计值的标准不确定度为

$$U_{(\bar{R}_x)} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u_{(R_{xi})}^2}}}$$

测量结果表示为 $R = \bar{R}_x \mid U_{(\bar{R}_x)}$.

4 算例

用外接法测量一粗测值为 3Ω 的电阻阻值.主要实验仪器为:电压表,准确度等级0.5级,量程1V;电流表,准确度等级0.5级,量程300mA.

测量数据及数据处理结果见表1.

表1 实验数据及数据处理结果

Table 1 The measured data and the data processing result

次数	1	2	3	4	5	6
U_i/V	0.662	0.712	0.782	0.841	0.913	0.988
I_i/mA	172.0	184.6	202.4	218.2	236.4	256.0
R_{xi}/Ω	3.849	3.857	3.864	3.854	3.862	3.859
$U_{(R_{xi})}/\Omega$	0.026	0.024	0.022	0.020	0.019	0.017
p_i	1.522×10^3	1.748×10^3	2.098×10^3	2.445×10^3	2.863×10^3	3.360×10^3
\bar{R}_x/Ω	3.858					
$U_{(\bar{R}_x)}$	0.008					

测量结果表示为:

$$R = 3.858 \pm 0.008 (\Omega)$$

参考文献:

- [1] 杨述武.普通物理实验(电磁学部分)[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [2] 杨韧.大学物理实验[M].北京:北京理工大学出版社,2005.
- [3] 吴俊林,刘志存.大学物理实验[M].西安:陕西师范大学出版社,2007.
- [4] 马淑新,赵建东,阿尔达克.物理实验中不确定度的教法探讨与实践[J].伊犁师范学院学报(自然科学版),2008,(57):4.

- [5] 岳香梅,王纪龙.测量标准不确定度的 A 类与 B 类评定[J].山西大同大学学报(自然学科版),2007,23(1):28-30.
- [6] 招惠玲.误差分析与数据处理方法[J].机电工程技术,2003,32(2):54-56.

Data processing method in the experiment of measuring resistance by the volt-ampere method

YAO Zhan¹, REN Hui-juan²

(Xianyang Normal University, Xianyang, Shanxi 712000, China)

Abstract: Data processing method is studied in the experiment of measuring resistance by the Volt-ampere method. This kind of method is based on the unequal precision measurement. The basal process of the method is introduced in this paper, and an example is shown to explain it.

Key words: volt ampere method; uncertainty; measurement of unequal precision

本文编辑:萧 宁



(上接第 91 页)

Prediction of the consumption structure of the rural residents based on the optimum grey model

ZHAN Jin-hua

(College of Economy, Yang-en University, Quanzhou 361024, China)

Abstract: Based on the new development coefficient logarithm optimization grey model, the data of the consumption structure of the rural residents during the year 2002 to 2007 was analyzed, and its variation tendency in range of 2008 ~ 2015 was predicted, and this paper put forward the corresponding countermeasures about how to raise the income and improve the consumption structure of the rural residents.

Key words: rural resident in China; consumption structure; the new development coefficient logarithm optimization grey model

本文编辑:萧 宁