

## 电学仪表读数问题浅议\*

曾秀花

(曲靖师范学院物理与电子工程学院 云南 曲靖 655011)

平贵生

(曲靖市民族中学 云南 曲靖 655331)

(收稿日期:2022-05-26)

**摘要:**电学仪表读数问题反映出中学物理课程、教学和评价在一定程度上存在不一致和不匹配。本文据于测量过程中偶然误差和系统误差的权重分析,对电学仪表读数的常用方法进行讨论,旨在促成中学物理课程、教学和评价的联动发展。

**关键词:**电学仪表;读数方法;误差

在中学阶段,电学仪表主要涉及电流表、电压表和欧姆表,电学仪表读数问题源自对电学仪表本身存在较大系统误差这一特殊性的认识,表现为对两种读数方法的理解和认同。

## 1 电学仪表的两种读数方法

## 1.1 十分之一估读法

十分之一估读法是指将表盘上最小刻度单位(1小格)10等分,据于人眼对表盘刻度的空间分辨能力,估读出指针所指位置的格数值,再用这个格数值与精度(每一格所代表的物理量数值)相乘,得到测量结果,测量结果的小数点位数等于格数值的小数点位数与精度的小数点位数之和,计算结果的小数点位数代表了测量结果的精确程度和测量仪器的精密程度,计算结果后面的“0”是有效数字,不能舍去。

十分之一估读法的测量误差唯一来源于格数读数的空间误差,是据于偶然误差确定测量结果有效数字的一种读数方法。

图1是2009年高考安徽卷试题,采用十分之一估读法,当选择开关置于“直流电流100 mA”时,精度为2 mA,指针a对应的读数结果为

$$I = 20 \text{ mA} + 1.5 \text{ div} \times 2 \text{ mA/div} = 20 \text{ mA} + 3.0 \text{ mA} = 23.0 \text{ mA}$$

当选择开关置于“直流电压2.5 V”时,精度为0.05 V,指针a对应的读数结果为

$$U = 0.5 \text{ V} + 1.5 \text{ div} \times 0.05 \text{ V/div} = 0.5 \text{ V} + 0.075 \text{ V} = 0.575 \text{ V}$$

当选择开关置于“电阻 $\times 100$ ”时,精度为100  $\Omega$ ,指针b对应的读数结果为

$$R = 3.2 \times 100 \Omega = 3.2 \times 10^2 \Omega$$

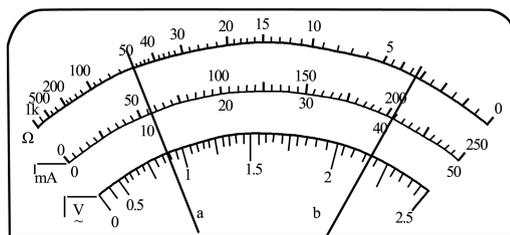


图1 2009年高考安徽卷第21题图

图2是2021年高考北京卷试题,当选择开关置于“电阻 $\times 1$ ”时,精度为1  $\Omega$ ,读数结果为

$$R = 6.0 \times 1 \Omega = 6.0 \Omega$$

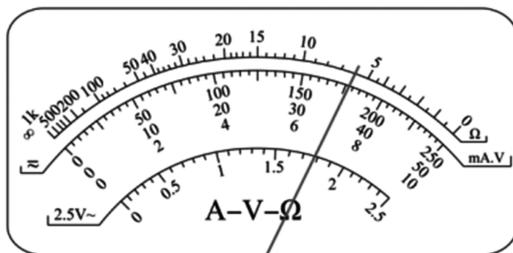


图2 2021年高考北京卷第16题图

图3是2021年高考浙江新高考试题,精度为0.02 A,读数结果为

$$I = 0.3 \text{ A} + 2.0 \text{ div} \times 0.02 \text{ A/div} = 0.3 \text{ A} + 0.040 \text{ A} = 0.340 \text{ A}$$

\* 云南省地方本科高校基础研究联合会专项资金项目,项目编号:202101BA070001-090。

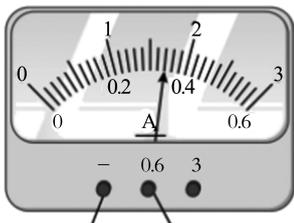


图3 2021年高考浙江卷第19题图

图4和图5是2020年浙江新高考试题,电流表量程为0.6 A时,精度为0.02 A,电压表量程为3 V时,精度为0.1 V,读数结果分别为

$$I = 0.4 \text{ A} + 0.0 \text{ div} \times 0.02 \text{ A/div} =$$

$$0.4 \text{ A} + 0.000 \text{ A} = 0.400 \text{ A}$$

$$U = 1 \text{ V} + 3.0 \text{ div} \times 0.1 \text{ V/div} =$$

$$1 \text{ V} + 0.30 \text{ V} = 1.30 \text{ V}$$

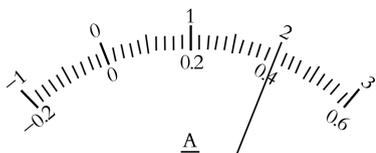


图4 2020年高考浙江卷第19题图

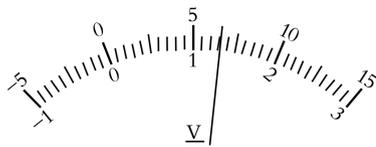


图5 2020年高考浙江卷第19题图

## 1.2 科学近似读数法

根据实际工程对测量结果的精度需求,综合考虑仪表表盘特点、测量方法、测量仪表准确度等级、测量环境条件等因素,通过比较偶然误差和系统误差权重,得到以下3种科学近似估读方法。

### 1.2.1 半刻度法(二分之一估读法)

适用于精度为“2”(20, 2, 0.2, 0.02, …)的仪器、仪表,估读格数值只有0.0格、0.5格、1.0格3种,相对于半格较小的读成0.0格,在半格线附近的读成0.5格,相对于半格较多的读成1.0格,估读值的尾数都是“0”(这个尾数“0”不是有效数字,舍去)。测量结果小数点位数与精度的小数点位数相同。

以常用的量程为0.6 A的电流表为例,精度(表盘上每一小格代表的物理量)为0.02 A,仪表准确度等级为2.5(允许最大误差 $\pm 2.5\%$ )。设待测电流为0.4 A,由电流表准确度等级产生的测量误差约为 $\pm 0.01$  A,误差幅度约为0.02 A,再考虑测量方法

和测量环境条件产生的系统误差,系统误差幅度约为0.03 A,由系统误差决定的有效数字在0.01 A量级,与电流表精度的小数点位数相同。若采用十分之一估读法,估读刻度值的变化单位为0.1格(div),估读值变化单位为0.002 A,由偶然误差决定的有效数字在0.001 A量级。因系统误差相对于偶然误差较大,可以忽略偶然误差对测量结果的影响,测量结果的有效数字由系统误差的有效数字决定,与电流表精度的小数点位数相同,半刻度法是一种科学近似方法。

采用半刻度法,图1中当选择开关置于“直流电流100 mA”时,读数结果为

$$I = 20 \text{ mA} + 1.5 \text{ div} \times 2 \text{ mA/div} =$$

$$20 \text{ mA} + 3.0 \text{ mA} = 23.0 \text{ mA} = 23 \text{ mA}$$

图3和图4对应的读数结果分别为

$$I = 0.3 \text{ A} + 2 \text{ div} \times 0.02 \text{ A/div} =$$

$$0.3 \text{ A} + 0.4 \text{ A} = 0.34 \text{ A}$$

$$I = 0.4 \text{ A} + 0 \text{ div} \times 0.02 \text{ A/div} =$$

$$0.4 \text{ A} + 0.00 \text{ A} = 0.40 \text{ A}$$

### 1.2.2 五分之一估读法

适用于精度为“5”(50, 5, 0.5, 0.05, …)的仪器、仪表,将表盘刻度1小格5等分,指针所指位置接近哪个等分点就读成该等分点对应的数值,相对于 $\frac{1}{5}$ 等分点较小的读成0.0格,在 $\frac{1}{5}$ 等分点附近的读成0.2格,在 $\frac{2}{5}$ 等分点附近的读成0.4格,在 $\frac{3}{5}$ 等分点附近的读成0.6格,在 $\frac{4}{5}$ 等分点附近的读成0.8格,相对于 $\frac{4}{5}$ 等分点较大的读成1.0格,估读值的尾数都是“0”(这个尾数“0”不是有效数字,舍去)。测量结果的小数点位数与精度的小数点位数相同。

以常用的量程为15 V的电压表为例,精度为0.5 V,仪表准确度等级为2.5。设待测电压为10 V,由电压表准确度等级产生的最大测量误差为 $\pm 0.25$  V,再考虑测量方法和测量环境条件产生的系统误差,系统误差幅度应为0.3 V左右,由系统误差决定的有效数字在0.1 V量级,与电压表精度的小数点位数相同。若采用十分之一估读法,估读刻度值的变化单位为0.1格(div),估读值变化单位为0.05 V,由偶然误差决定的有效数字在0.01 V量级。系统误差的量级高于偶然误差,测量结果的有效

数字由系统误差的有效数字决定,与电压表精度的小数点位数相同,五分之一估读法也是一种科学近似方法。

采用五分之一估读法,当选择开关置于“直流电压 2.5 V”时,图 1 中指针 a 对应的读数结果为

$$U = 0.5 \text{ V} + 1.4 \text{ div} \times 0.05 \text{ V/div} = 0.5 \text{ V} + 0.070 \text{ V} = 0.57 \text{ V}$$

或者

$$U = 0.5 \text{ V} + 1.6 \text{ div} \times 0.05 \text{ V/div} = 0.5 \text{ V} + 0.080 \text{ V} = 0.58 \text{ V}$$

### 1.2.3 近端取整估读法

适用于欧姆表读数,指针靠近哪条刻线就用那条刻线所对应的数值与倍率相乘做为测量结果,测量结果用整数表示(数值较大时用  $\text{k}\Omega$  为单位或用科学记数法记录测量结果)。

欧姆表表盘存在多种精度共存的特点,从右到左精度依次为 0.5(0~5)、1(5~20)、2(20~40)、5(40~50)、10(50~100)、50(100~200)、100(200~500)、500(500~1k),一般中值刻度为 15,中值刻度附近的精度为 1(常用的还有中值刻度为 6、中值刻度附近精度为 0.5、精度分布也不相同的欧姆表)。

欧姆表表盘具有非线性特点,当待测电阻等于中值电阻时,由测量原理决定的系统误差最小,由测量原理决定的系统误差的最小值等于  $\frac{4}{L} \Delta x \times 100\%$

(其中: $L$ 为表盘刻度总长度, $\Delta x$ 为人眼的空间视觉误差)<sup>[1]</sup>。若取  $\Delta x = 0.1 \text{ mm}$ , $L = 10 \text{ cm}$ ,则由测量原理决定的最小系统误差为  $\pm 0.4\%$ ,再加上准确度等级允许的误差值  $\pm 2.5\%$ ,欧姆表测量电阻时的系统误差约为  $\pm 3\%$ 。

对于中值刻度为 15 的欧姆表,倍率为  $\times 1$  时,中值刻度附近精度为  $1 \Omega$ 。假定待测电阻为  $15 \Omega$ ,系统误差约为  $\pm 0.45 \Omega$ ,误差幅度为  $0.9 \Omega$ ,测量结果的有效数字在  $1 \Omega$  量级,与精度的有效数字位数相同。若采用十分之一估读法,估读刻度值的变化单位为 0.1 格,估读值变化单位为  $0.1 \Omega$ ,由偶然误差决定的有效数字在  $0.1 \Omega$  量级。偶然误差相对于系统误差很小,测量结果的有效数字由系统误差决定,再考虑到还有半偏法、等效替代法等多种较为精确的测定电阻的方法, $\times 1$  又是最小倍率,欧姆表法只是电阻测定的一种粗略方法,无需考虑有效数字位数问

题,读数时只需按近端取整的方法将测量结果表达为整数即可。

采用近刻度估读法,图 1 中当选择开关置于“电阻  $\times 100$ ”时,指针 b 对应的读数结果为

$$R = 3 \times 100 \Omega = 300 \Omega \text{ 或 } R = 3.5 \times 100 \Omega = 350 \Omega$$

图 2 中当选择开关置于“电阻  $\times 1$ ”时,精度为  $1 \Omega$ ,读数结果为

$$R = 6 \times 1 \Omega = 6 \Omega$$

## 2 电学仪表读数的教学困惑

在电学仪表读数方面,存在教学课程、教学评价的不一致和不匹配,导致教学没有明确的目标和方向,主要体现在以下几个方面。

### 2.1 课程导向不明确

在高中物理教科书和教学参考书中没有明确阐述电学仪表的读数原理和方法,更没有对科学近似估读方法和系统误差的教学提出明确要求,在教师用书中还提供了不一致的读数结果。

图 6 和图 7 分别为人教版普通高中物理教科书必修第三册第 74 页第 1 题和第 75 页第 5 题的多用电表指针位置图。都用  $\times 1$  的倍率测电阻,图 6 中指针 b 在教师用书中提供的答案为  $4 \Omega$ ,图 7 中教师用书提供的答案为  $19.0 \Omega$ ,一个没有估读,一个有估读,教师应按哪个标准教学生呢?

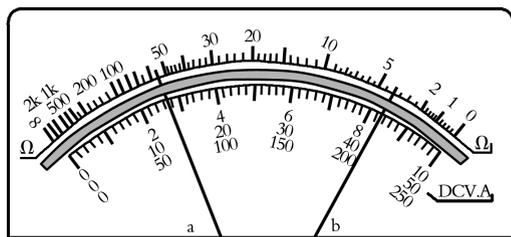


图 6 教科书第三册第 74 页第 1 题图

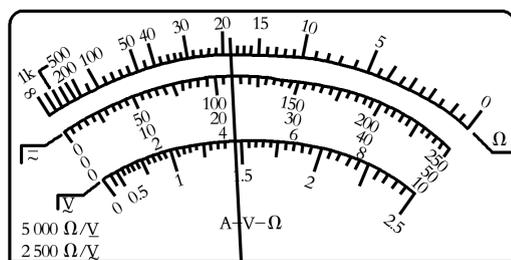


图 7 教科书第三册第 75 页第 5 题图

图 6 中用量程为  $10 \text{ mA}$  测直流电流时,指针 b 的读数为  $8.3 \text{ mA}$ ,采用的是半刻度法(若采用十分之一估读法应为  $8.30 \text{ mA}$ ),教科书中既然已经用了

半刻度估读法,但没有对半刻度法的教学提出明确要求。

## 2.2 评价导向不一致

2009年高考安徽卷电流挡精度为2 mA,参考答案是23.0 mA,采用十分之一估读法;2021年高考浙江卷电流表的精度为0.02 A,参考答案是0.33~0.34 A,采用的是二分之一估读法;2020年高考浙江卷电流表的精度为0.02 A,参考答案是0.39~0.41 A,采用的也是二分之一估读法。同样是精度为“2”的电学仪表,有采用十之一估读法(只考虑偶然误差)的,也有采用二分之一估读法(同时考虑系统误差)的。

2009年高考安徽卷欧姆挡读数参考答案为320  $\Omega$ ,是采用十分之一估读法的结果(但没有采用科学记数法记数),2021年高考北京卷提供的参考答案是6  $\Omega$ ,采用的是科学近似读数法。

2009年高考安徽卷电压挡精度为0.05 V,提供的参考答案是0.57 V,采用五分之一估读法。

高考对系统误差分析和科学近似估读法提出了要求,但没有统一的标准。

## 2.3 同一仪表 两种标准

若考虑准确度等级等系统误差因素,对于精度为“1”(10,1,0.1,0.01,…)的仪器、仪表(如电压表3 V量程时),采用十分之一估读法得到的读数结果的最后一位数字依然不是有效数字,为什么精度为“1”的电学仪表就只考虑偶然误差呢?而精度为“2”“5”的就要采用更科学近似的读数方法呢?

## 3 课程、教学和评价的联动发展

导致电学仪表读数出现问题的根本原因是中学教学、中学课程和中学教学评价在一定程度上还存在着不一致和不匹配,要解决电学仪表的读数问题,必须要实现课程、教学和评价的联动发展。

### 3.1 正确认识理解两种读数方法的关系

十分之一估读法是只针对偶然误差大小确定有效数字的读数方法,科学近似读数法是对比偶然误差和系统误差权重得到的确定有效数字的读数方法。因为电学仪表本身存在较大系统误差的特殊性,科学近似读数法才是正确的读数方法。

十分之一估读法是中学实验教学的重点和基本要求,教师应根据学生的学习能力,在确保正确理解并熟练掌握这一基本方法的条件下,适时介绍电学仪表的特殊性并通过偶然误差和系统误差的权重分析推出科学近似读数法,让学习能力强的学生吃饱喝足,为学生的后续发展奠定基础。

### 3.2 完善课程建设

做为教师教育重要课程的教师用书应针对偶然误差和系统误差系统介绍误差分析理论,明确提出误差教学要求、教学建议和评价标准,针对电学仪表读数的特殊性专题阐述电学仪表的读数原理及方法,明确提出系统误差教学要求。

对于教科书中出现的同类问题要给出一致的解析,即使不一致也要依据误差理论做出解释。

对于高考评价中出现的不一致现象也不能回避,教师用书和教科书要及时针对教师教学和高考评价的信息进行完善、补充,将物理学发展和应用的新成果、新信息及时收录,让教科书和教师用书真正成为助推教师、学生和学科共同发展的课程。

### 3.3 充分发挥高考评价的导航作用

高考既是人才选拔的过程,也是对中学教学和课程建设进行评价的过程,高考命题和高考评价对中学教学和中学课程建设具有重要的导向作用。

高考评价应依据中学教学的目标要求,充分考虑十分之一估读法是中学实验教学的重点,充分考虑课程标准对系统误差理论和电学仪表的特殊性没有提出明确教学要求的实际情况,对两种读数方法均给予认可,并在参考答案和评分标准中明确说明。

高考评价应依据命题意图将阅卷过程中发现的问题及时反馈给中学师生,并为中学教学和中学课程建设提出针对性建议,让中学师生知道问题出在哪里、应怎样改进,增强教学的针对性和有效性,助推中学物理教学改革和物理学科建设。

### 参考文献

- [1] 平贵生,曾秀花. 普通高中课程标准物理实验分析[M]. 昆明:云南大学出版社,2012.
- [2] 梁银生. 谈高中物理教学中测量仪器的估读[J]. 甘肃教育,2020(6):190.

(下转第95页)

师在课堂中的演示示范,学生不仅可以直观地观察到两原色等量混合以及三原色等量混合的实验现象,还可以根据实际的需要感受色光的非等量混合,加深学生对于色光合成规律的理解,激发学生想要继续学习探索的欲望.

### 参考文献

- [1] 彭前程,杜敏.义务教育教科书物理八年级上册[M].北京:人民教育出版社,2012:85.  
[2] 丁红,周新雅,周行,等.初中物理各版本教材“三原色”

内容分析[J].教学与管理,2019(9):90-93.

- [3] 沙育年.运用投影仪实现直接混色法合成白光实验[J].物理通报,2013(3):49-50.  
[4] 孔令宜.巧作“色光的混合”实验[J].物理教师,2010,31(8):36.  
[5] 胡旭辉,郭鹏.光的三原色合成演示仪[J].教学仪器与实验,2009,25(1):42-43.  
[6] 陈晓媚,彭力.光的合成与色散演示仪——LED光照明控制系统[J].大学物理实验,2017,30(5):26-30.

## Self-made “Three-primary Colours Light Synthesis” Demonstration Teaching Aids

YANG Jiahang PEI Xi CAI Shaoling LI Xiuyan

(College of Physics and Electronic Information Engineering, Minnan Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000)

**Abstract:** Using red, green and blue LED light strips, three sets of ship-type switches and brightness adjustment potentiometers, the demonstration teaching aid of “tri-color light synthesis” was made. This teaching aid can not only display monochromatic light, realize the mixing of two primary colors or three primary colors in equal proportion, but also realize the mixing of colored light in unequal proportion, so as to achieve good classroom demonstration effect.

**Key words:** self-made teaching aids; monochromatic light; three primary colors; color synthesis

(上接第91页)

## Discussion on Reading Issue of Electrical instruments

ZENG Xiuhua

(School of Physics and Electronic Engineering, Qujing Normal University, Qujing, Yunnan 655011)

PING Guisheng

(Qujing Nationality Middle School, Qujing, Yunnan 655331)

**Abstract:** The different dealing criterion of significant figure for electrical instruments shows partly that inconsistency and mismatch of physics course, teaching and evaluation in senior middle school. Based on the proportion analysis of accidental error and systematic error in the measurement process, this paper discusses the dealing criterion of significant figure for electrical instruments, aiming to promote the linkage development for the physics course, teaching and evaluation.

**Key words:** electrical instrument; the dealing criterion of significant figure; error