

测量仪器的读数

徐 红

(延安大学信息学院 陕西 西安 710100;延安大学西安创新学院实验教学中心 陕西 西安 710100)

刘宇波 乔 锐

(延安大学西安创新学院实验教学中心 陕西 西安 710100)

(收稿日期:2018-07-04)

摘 要:通过举例介绍各类仪器读数方法,掌握仪器读数规则,理解仪器仪表读数的末位即读数误差位,它将直接关系到对测量结果不确定度的评定.

关键词:测量值 分度值 仪器允许误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 读数

1 测量值的读数

直接测量的读数应该反映出有效数字.有效数字是带有一位不可靠数字的近似数字.只能带一位不可靠数字,不是位数越多越好.这样既能保证测量结果的准确度不因位数取舍而受到影响,又可避免因位数多而做无用功.所以,在直接测量的读数时要遵循一定的原则:读取的测量数据,其最后一位数字恰为误差所在位(可疑位)——仪器误差限 $\Delta_{\text{仪}}$.读数一般要求在读出仪器最小刻度所在位的数值(可靠数字)后,再向下估读一位(不可靠数字).

读数前了解仪器的精度,精度是仪器分辨能力的标志,通常用仪器的分度值表示;了解仪器误差限 $\Delta_{\text{仪}}$ 的大小, $\Delta_{\text{仪}}$ 是测量仪器的最大允许误差.

1.1 仪器的分度值与分辨力

分度值就是测量仪器所能测量的最小值.对于指针式仪表是指两个相邻的刻线之间所代表的量值之差.分辨力是用来描述测量仪器的计量特性的.分度值是测量仪器的组成部分,分辨力是测量仪器的计量特性.即使是相同规格型号的同一种测量仪器的分辨力也未必完全相同,因此分辨力常常是某些测量设备的计量检定或校准对象之一.分辨力是指设备响应输入的一种能力,也就是说,要使设备变化一个单位时的最小输入量.换言之也就是操作人员可察觉的最小示值的变化.

模拟式指示装置与数字式显示装置的主要区别在于:模拟式指示装置的示值变化是连续的,而数字式显示装置的变化是非连续的.对于模拟式指示装置来说,人可察觉的最小示值变化与指示度盘刻线的宽度、相邻两刻线的间距、指针的宽度、指针宽度与相邻两刻线间距之比都有关.对于数字式显示装置来说,由于示值的变化是非连续的,一般在输入量恒定、示值能稳定显示的情况下,它不存在人员读数的误差.

1.2 测量仪器的最大允许误差

任何测量都需借助一定的仪器或装置进行,任何仪器在制造或装配过程中都难免有一些缺陷,如轴承摩擦、游丝不匀、检测标准本身的误差等,即使在正确使用的前提下,这种缺陷也会带来误差,仪器误差或允许误差限就是在正确使用条件下,测量所得结果和被测量的真值之间可能产生的最大误差,它包含了在规定条件下可定系统误差、未定系统误差和随机误差的总效果.

因此,最大允许误差是生产厂家为一批仪器规定的技术指标(过去常用的仪器误差、示值误差或准确度,实际上都是最大允许误差).在物理实验课的教学,测量仪器的最大允许误差通常用 $\Delta_{\text{仪}}$ 表示.测量仪器的最大允许误差是一个范围,表明凡是合格的该种仪器,其误差必定在 $-\Delta_{\text{仪}} \sim +\Delta_{\text{仪}}$ 范围之内.

对照通用的国际标准,按允许出现的误差大小,国家计量局将仪器分级称为准确度等级.使用时根据仪器的量程和准确度级别,有些只根据级别就可计算出该仪器的仪器误差.仪器误差通常的给出方式有如下两种.

(1) 绝对误差形式给出

如读数显微镜:测量范围 $0 \sim 50 \text{ mm}$;分度值 0.01 mm ;仪器允许误差 $\Delta_{\text{仪}} = 0.005 \text{ mm}$.

(2) 以引用误差形式给出

如指针式电表,可给出准确度等级 α ;量程档位.计算出:分度值 = $\frac{\text{所接量程}}{\text{仪表满刻度}}$;仪器允许误差

$$\Delta_{\text{仪}} = \text{量程} \times \frac{\alpha}{100}$$

箱式直流电位差计可给出准确度等级 α ;最大量程 U_n ;仪器示值 x .计算出:仪器允许误差

$$\Delta_{\text{仪}} = \frac{\alpha}{100} \left(\frac{U_n}{10} + x \right)$$

2 不同仪器测量值的读法

2.1 一般线性刻度的仪器仪表(连续式)需估读

2.1.1 最小分度是10的(包括0.1,0.01等)仪器仪表

读数时采用 $\frac{1}{10}$ 估读,即读到最小刻度后再往下估读一位.这类仪器在生产时,所允许实现的最小分度值应略大于仪器的允许误差,一般为 $1 \sim 2$ 倍.这种规定也容易为正常人眼的分辨力所接受.若有困难(如刻度线间距小、指针粗),可估读到最小刻度的 $\frac{1}{5}$ 和 $\frac{1}{2}$.如刻度尺、螺旋测微器、读数显微镜、电流表、电压表.

如实验室常用的刻度尺是木直尺、铁卷尺和钢板尺,量程不等;最小分度值一般为 1 mm ,可精确到毫米量级,读数到 $\frac{1}{10} \text{ mm}$ (如图1). B 的长度读数 34.0 mm .34是可靠数字,由仪器精度决定;0为可疑数字由 $\Delta_{\text{仪}}$ 小数点后的位数确定.

量程为 $0 \sim 300 \text{ mm}$;分度值为 1 mm ; $\Delta_{\text{仪}} = 0.5 \text{ mm}$;测量值

$$L = (34.0 \pm 0.5) \text{ mm}$$

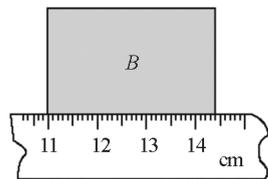


图1 刻度尺读数

螺旋测微器,固定刻度的最小刻度为 0.5 mm (中线上侧);螺距(可动刻度每旋转一圈前进或后退的距离)为 0.5 mm ;可动刻度的一周上平均有 50 条刻线,所以相邻两条刻线间代表(最小刻度、精度) 0.01 mm .读数时,固定刻度上读取整、半毫米以上的长度,然后找出可动刻度上的第几条刻度线与固定刻度上的水平横线重合,读出半毫米以下的刻度并估读一位(千分位上,既保留 3 位小数).把两部分读数相加,得到测量值,如图 2 所示.

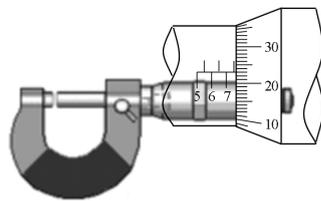


图2 螺旋测微器读数

即固定刻度示数 + (格数 \times 精度) + 估读值 = $7.5 + (22 \times 0.01) + 0.009$

量程为 $0 \sim 25 \text{ mm}$;分度值为 0.01 mm ; $\Delta_{\text{仪}} = 0.004 \text{ mm}$;测量值 $d = (7.729 \pm 0.004) \text{ mm}$

2.1.2 有些仪表估读位就在最小分度值位

(1) 最小分度是 2 的(包括 0.2,0.02 等)仪器仪表,采用 $\frac{1}{2}$ 估读,如仪器的最小分度值为 0.2,则 0.1, 0.3,0.5,0.7,0.9 都是估读的,即读到最小刻度所在的这一位.

如 WT-02 型物理天平,测量读数由右盘中的砝码和游码共同读出,横梁上的刻度最小单位是毫克(mg),最小刻度为 0.02 g (不是 10 分度,只读到 0.02 g 这一位).为 2 分度仪表读数,读数数值小数点后只能有且必须有一位小数.

若指针指在整刻度线上,如图 3 指在 0.4 上应读做 0.40 g ;指在紧靠 0.4 刻度线右侧的刻度线上读数为 0.42 g ;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,读做 0.41 g ,即使是指正在正中央,也不能读做 0.405 g ,若这样,则

会出现两位不准确的数,不符合读数规则.

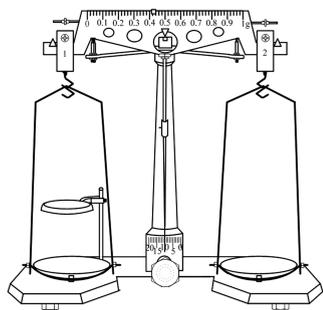


图3 WT-02型物理天平读数示意图

分度值(精度)为 0.02 g ; $\Delta_{\text{仪}} = 0.02\text{ g}$; 测量值

$$m = (66.41 \pm 0.02)\text{ g}$$

(2) 最小分度是5的(包括0.5,0.05等)仪器仪表,

采用 $\frac{1}{5}$ 估读,如仪器的最小分度值为0.05,则0.01, 0.02,0.03, ..., 0.09 等都是估读的,即读到最小刻度所在的这一位. 这类情况都不必再估读到下一位.

如 WL-1 型物理天平,横梁上的刻度最小单位是毫克(mg),最小刻度为 0.05 g (不是10分度,只读到 0.05 g 这一位). 为5分度仪表读数,读数数值小数点后只能有且必须有一位小数.

如图4所示,若指在0.40与0.45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 0.41 g ,或 0.42 g ,或 0.43 g ,或 0.44 g .

分度值(精度)为 0.05 g ; $\Delta_{\text{仪}} = 0.05\text{ g}$; 测量值

$$(66.43 \pm 0.05)\text{ g}$$

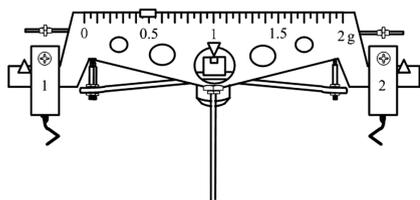


图4 WT-1型物理天平读数示意图

再比如电流表、电压表,设有一直流毫安表,它的读数刻度共有150个小分格,它有 1.5 mA 和 7.5 mA 两个量程. 先后用这两个量程去测量同一个稳定的电流值,测量时其指针偏转如图5所示.

(1) 当用 1.5 mA 档时,其每小格为 0.01 mA , 其指针偏在 $1.00 \sim 1.01\text{ mA}$ 的分格内,如图5(a)

所示,且估计处在该格的 $\frac{4}{5}$ 的位置,因此电表读数为

$$I = 1.00 + \frac{1.5}{150} \times \frac{4}{5} = 1.008\text{ mA}$$

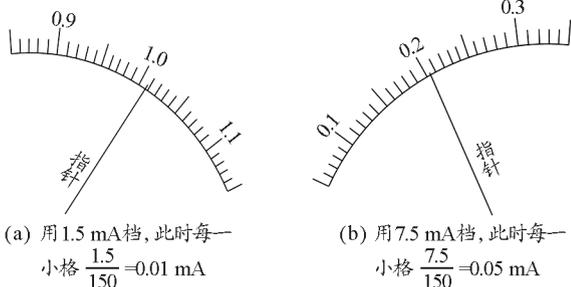


图5 电表读数示意图

(2) 当用 7.5 mA 档时,其指针偏在 $0.2 \sim 0.21$ 间 (0.2×5) 的分格内,其值 $1.00 \sim 1.01\text{ mA}$ 为如图5(b)所示,且估计处在该格的 $\frac{1}{5}$ 的位置,因此电表读数为

$$I = 1.00 + \frac{7.5}{150} \times \frac{1}{5} = 1.010\text{ mA}$$

若上例所用毫安计为0.5级,则测得的 I 值的不确定度为

$$\Delta_{\text{仪},I} = I_{\text{max}} \times \alpha\%$$

(1) 对 1.5 mA 档,不确定度为

$$\Delta_{\text{仪},I} = 1.5 \times 0.5\% = 0.0075\text{ mA}$$

(2) 对 7.5 mA 档,不确定度为

$$\Delta_{\text{仪},I} = 7.5 \times 0.5\% = 0.0375\text{ mA}$$

1.5 档分度值 0.01 mA ; 准确度等级 0.5; $\Delta_{\text{仪},I} = 0.008\text{ mA}$; 测量值 $I = (1.008 \pm 0.008)\text{ mA}$

7.5 档分度值 0.05 mA ; 准确度等级 0.5; $\Delta_{\text{仪},I} = 0.05\text{ mA}$; 测量值 $I = (1.01 \pm 0.05)\text{ mA}$

可见,电表的误差范围由它的准确度等级与量程的乘积来决定,进而才能确定小数点后位数. 读数时可按 $\frac{1}{10}$ 读法,读得仪器示值,再由仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 确定其小数点后位数;也可先求得 $\Delta_{\text{仪}}$ 确定最小分度值,再读数.

2.2 游标类量具不必估读

对于游标类量具的读数,一般应读到游标分度值的整数倍. 仪器允许误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 与仪器分度值位非常接近,不必估读. 如游标卡尺、分光计方位角的游标度盘、水银大气压力计.

(1) 游标卡尺

如图6所示,一个游标为50分度卡尺,主尺的

分格是 1 mm, 则游标的 1 分格的宽度为 $\frac{50-1}{50} \times 1$ mm = 0.98 mm, 两者的差值是 $\Delta x = 0.02$ mm, 该尺叫精度为 0.02 mm 的游标卡尺. 测量时, 首先从游标零线读出主尺上的整的毫米数为 42 mm, 然后根据游标与主尺对齐的刻线读出不足 1 mm 的小数, 游标的第 6 条线与主尺的某一刻度线对齐, 则所对应的 $\Delta L = 6 \times 0.02$ mm = 0.12 mm, 所以

$$L_{\text{测}} = L_{\text{主}} + \Delta L = (42 + 0.12) \text{ mm} = 42.12 \text{ mm}$$

量程为 0 ~ 150 mm; 分度值(精度)为 0.02 mm; $\Delta_{\text{仪}} = 0.02$ mm; 测量值

$$L = (42.12 \pm 0.02) \text{ mm}$$

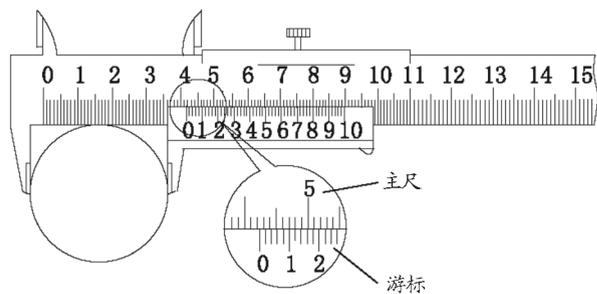


图6 游标卡尺读数示意图

(2) 分光计

分光计读数装置由圆环刻度盘和与之同心的游标盘组成, 如图7所示. 沿游标盘相距 180° 对称安置了两个角游标. 望远镜对载物台的转角可借助两个角游标读出. 刻度盘分度值为 0.5°, 小于 0.5° 的角度可由角游标读出. 角游标共有 30 个分度, 因此读数值为 1'. 角游标原理及读数方法与直游标(卡尺)类似.

分度值(精度)为 1'; $\Delta_{\text{仪}} = 1'$; 测量值 $\theta = 95^\circ 15' \pm 1'$

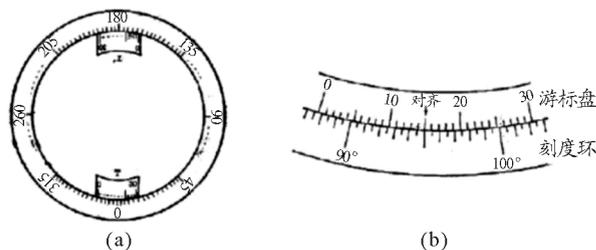


图7 分光计读数装置示意图

2.3 刻度不均匀(非线性刻度)可不估读

常用欧姆表、热电偶真空计的显示压力刻度不均匀(非线性刻度)可不估读或按半刻度估读.

如多用电表测量电阻, 用 500 型万用表电阻档测电阻, 如估计值为 200 Ω , 电阻档准确度等级 $\alpha = 2.5$.

根据被测物理量将选择开关旋到电阻档 $\times 10$ 的倍率档位. (测量时指针偏转角度 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 之间), 机械调零、欧姆调零后, 将红、黑表笔接被测电阻两端进行测量; 指针示数乘以倍率, 仪器示值 125 Ω , 如图8所示.

仪器误差: 电阻档的量程选择与测量误差, 电阻档的每一个量程都可以测量 0 ~ ∞ 的电阻值. 欧姆表的标尺刻度是非线性、不均匀的倒刻度. 而且各量程的内阻等于标尺弧长的中心刻度数乘倍率, 称作“中心电阻”. 也就是说, 被测电阻等于所选档量程的中心电阻时, 电路中流过的电流是满度电流的一半. 指针指示在刻度的中央. 此时测量误差最小. 其准确度用下式表示

$$\alpha \% = \frac{\Delta_{\text{仪}, R}}{\text{中心电阻}} \times 100 \%$$

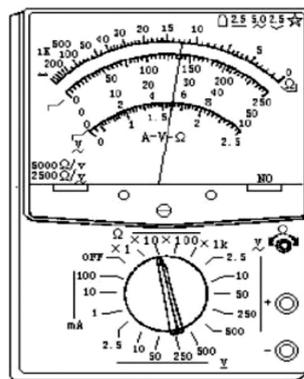


图8 多用电表测电阻示意图

500 型万用表, 其 $R \times 10$ 档的中心电阻为 150 Ω , 准确度等级为 2.5 级. 则此电阻档最大绝对允许误差 $\Delta_{\text{仪}, R} (10) = \text{中心电阻} \times \alpha \% = 150 \Omega \times (\pm 2.5) \% = \pm 4.25 \Omega$.

仪器示值 125 Ω ; 准确度 α 为 2.5; $\Delta_{\text{仪}, R} = 4 \Omega$; 测量值

$$R = (125 \pm 4) \Omega$$

2.4 对于示值不是连续变化而是以最小步长跳跃变化的仪器不能估读

这些仪器的读数只能按数字进位, 而不能在两数字之间估读. 一般应直接读取仪表示值. 如电阻

箱、数字电压表、电桥等。仪器误差通过引用误差和测量值求得,对数字式仪表在粗略测量时,它们的仪器误差一般是最后位数的一个最小单位。

(1) 机械秒表

机械秒表大圈内的长针是秒针,每转一周是 30 s,最小分度为 0.1 s(机械表采用的齿轮传动,指针不可能停留在两小格之间;所以不能估读出比 0.1 s 更短的时间);位于秒表上部中间的小圆圈里面的短针是分针,每转一周是 15 min,最小分度是 0.5 min。当分针在前 0.5 min 内时,秒针在 0 ~ 30 s 内读数;当分针在后 0.5 min 内时,秒针在 30 ~ 60 s 内读数。读数如图 9 所示: $t = \text{短针读数}(t_1) + \text{长针读数}(t_2)$

分度值(精度)为 0.1 s; $\Delta_{\text{仪}} = 0.1 \text{ s}$; 测量值

$$t = (99.8 \pm 0.1) \text{ s}$$

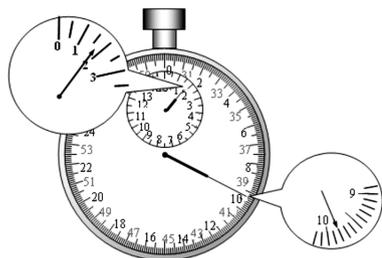


图 9 机械秒表

表 1 电阻箱在室温 20 °C 的等级指数

步进值(Ω) $9 \times$	10 000	1 000	100	10	1	0.1	
等级指数	$\alpha\%$	0.1%	0.1%	0.5%	1%	2%	5%

其基本误差为 $\Delta_{\text{仪},R} = 80\,000 \times 0.1\% + 7\,000 \times 0.1\% + 600 \times 0.5\% + 50 \times 1\% + 4 \times 2\% + 0.3 \times 5\% = 90.595 \Omega$ (取一位有效数字)

最小单位 0.1 Ω ; $\Delta_{\text{仪},R} = 9 \Omega$; 仪器示值 87 654.3 Ω ; 测量值

$$R = (8.765 \pm 0.009) \times 10^3 \Omega$$

从测量值看出:仪器示值有两位估读值,最后一位无意义,仪器最小值是为不同量程档位设置的。

(3) 用 VC9801A + 数字万用表测电阻

如图 11 所示,根据被测物理量将选择开关旋到适当电阻档位。欧姆调零后,将红、黑表笔接被测电阻两端进行测量;仪表显示数值乘以倍率即为仪器示值,如表 2 所示。

(2) 电阻箱

如图 10 电阻箱接入 0,99 999.9 端,电阻箱如图 10 所示。各旋钮下方的字样为倍率,倍率乘以旋钮上的数字相加,即为实际使用电阻。

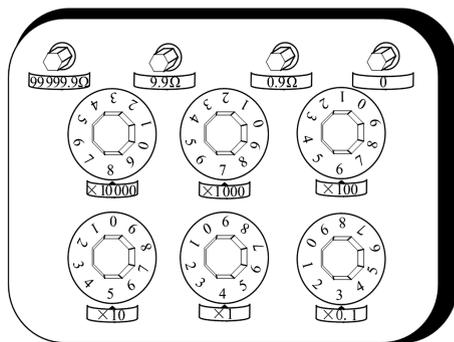


图 10 电阻箱

仪器示值 $R = 8 \times 10\,000 + 7 \times 1\,000 + 6 \times 100 + 5 \times 10 + 4 \times 1 + 3 \times 0.1 = 87\,654.3 \Omega$

新国标(GB1788—76)规定一个电阻箱各档可以有不同等级指数,如表 1 所示。

可用下式估算示值误差限

$$\Delta_{\text{仪},R} = \sum \alpha_i \% R_i + 0.005m$$

式中 α_i, R_i 分别表示第 i 个进盘的等级指数和示值; m 为所使用的步进盘的个数。使用“0”和“99 999.9 Ω ”两个接线柱时, $m = 6$ 。

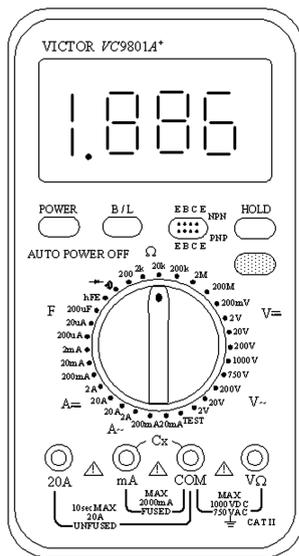


图 11 数字万用表

表2 电阻测量的相关量

电阻测量档 / Ω	最小单位 / Ω	仪器显示值 / Ω	$\Delta_{\text{仪}, R}$ 的计算公式 / Ω	$\Delta_{\text{仪}, R} / \Omega$	测量值 / Ω
200	0.1	99.8	读数 $\times 0.8\% + 5 \times 0.1$	1	100 ± 1
2k	1	1.504k	读数 $\times 0.8\% + 3 \times 1$	0.02k	$(1.50 \pm 0.02)\text{k}$
20k	10	5.99k	读数 $\times 0.8\% + 3 \times 10$	0.08k	$(5.99 \pm 0.08)\text{k}$

数字仪表的仪器误差限有以下两种表示形式(以数字万用表电压测量为例)

$$\Delta_{\text{仪}} = \alpha\%U_x + b\%U_m$$

$$\Delta_{\text{仪}} = \alpha\%U_x + n$$

式中, α 是误差的相对项系数, 即数字仪表的准确度等级; b 是误差的绝对项系数 (α, b, n 由仪器说明书给出); U_x 是测量指示值; U_m 是满刻度值; n 代表仪器固定项误差, 是最小量化单位的整数倍, 只取数字 1, 2, \dots .

数字式仪表显示值位数多于测量值, 示值末位不一定为误差位, 仪器经计算后的常高于最小量化单位. 这与指针式仪表不同.

3 结束语

对于刻度连续变化仪表测量值的读数要准确读到分度值, 估读位由 $\Delta_{\text{仪}}$ 决定, $\Delta_{\text{仪}} \leq$ 仪器分度值; 对于非连续变化仪表测量值, 仪器示值无法估读, 估读位由经计算后 $\Delta_{\text{仪}}$ 决定, $\Delta_{\text{仪}} \geq$ 最小量化单位. 即仪器示值与测量值有区别.

这是由仪器的灵敏阈引起的. 仪器的灵敏阈是指足以引起仪器示值可察觉到变化的被测量的最小

(上接第 111 页)

4 结束语

“先行组织者”之组织者可以分为陈述性组织者和比较性组织者两种. 陈述性组织者的作用在于为新知识的学习提供适当的、起固定作用的旧知识, 提高有关旧知识的可利用性, 比如前述的“游戏策略”“故事策略”“实验策略”“体验策略”“生活实例策略”等. 比较性组织者的作用在于比较新旧知识的区别与联系, 增强似是而非的新旧知识间的可辨别性, 比如前述的“史料策略”“类比策略”“设问策略”“认知冲突策略”等. 不管哪种策略, 只要“先行组织者”设置合理、使用适切, 都能有利于保持学习

变化量值. 被侧量改变小于这个阈值, 仪器没有反映, 一般说来数字仪表最末一位数所代表的量, 就是仪表的灵敏阈. 对于指针式仪表, 一般认为人能感觉到的最小改变量是 0.2 分度值, 所以把 0.2 分度值所代表的量作为指针式仪器的灵敏阈. 灵敏阈越小, 说明仪器的灵敏度越高. 仪器的灵敏阈与仪器的示值误差有一定关系, 一般说来, 仪器的灵敏阈小于示值误差, 而示值误差限应小于仪器的最小分度值.

所以读数时, 先搞清仪器类型, 准确记录仪器级别、仪器误差和仪器误差计算公式, 准确读数, 有利于测量结果的计算和不确定度的评定.

参考文献

- 1 杨述武. 普通物理实验. 北京: 高等教育出版社, 2000
- 2 江美福, 方建兴. 大学物理实验教程. 北京: 科学教育出版社, 2009
- 3 周殿清. 基础物理实验. 北京: 科学教育出版社, 2009
- 4 张书敏. 普通物理实验. 北京: 科学出版社, 2011
- 5 刘惠莲. 大学物理实验. 北京: 科学出版社, 2013
- 6 王青狮. 大学物理实验学. 北京: 科学出版社, 2011
- 7 施家添. 万用表电阻档测量误差分析. 广西物理, 2002, 23(4): 42 ~ 44
- 8 孔繁荣. 万用表电阻的误差估计. 工业计量, 1994(4): 37 ~ 38

的迁移, 达到举一反三的效果, 为提高物理教学的有效性, 突破教学疑难点提供很好的保障.

参考文献

- 1 宋文评. 运用先行组织者化解化学教学难点. 中学化学教学参考, 2004(4): 19 ~ 20
- 2 马亚鹏. “司南版”《物理 3-1》中的“先行组织者”设计研究. 中学物理教学参考, 2014(5): 12 ~ 15
- 3 黄文俊. “先行组织者”教学策略下的高中物理教学案例研究. 物理教师, 2016(4): 13 ~ 17
- 4 冯忠良, 伍新春, 姚梅林, 等. 教育心理学. 北京: 人民教育出版社, 2010. 120
- 5 汤家合. 一节匀变速直线运动课的探究式教学设计. 物理通报, 2011(05): 52 ~ 54, 69