

物理实验中的名词、术语和概念

刘智敏

(中国计量科学研究院)

李化平

(北京钢铁学院)

1. (量的)真值

对真值的定义表述有多种,现摘引几种如下。

(1)“被测量本身所具有的真实大小称为真值。”^[1]

(2)“如果实验已消除系统误差,只存在偶然误差,……,无穷多个观测值的平均值,就是被测物理量的真值。”^[2]

(3)“表征在研究某量时所处的条件下严格地确定的量值。”^[3]量值是指用数和适宜的单位表示的值。

比较上述对真值的几种定义,我们认为:(1)是理想化的、理论上的定义;(2)的定义物理图象不清晰,侧重于从数学上来定义真值。(3)的定义是客观的、科学的,也很确切。它体现了真值的客观存在,又排除了真值的宏观取值的不确定性。例如,钢丝的直径就不是一个严格确定的量值,存在不可避免的由于加工不完美而造成的直径取值的固有不确定性。因而,在肯定真值的客观性的同时,又应注意到它取值可能存在的宏观不确定性。

所以,真值尽管是客观存在的,但也还是一个理想的概念,通常是不可能确切地知道的,若再考虑到微观的量子效应,就更应排除唯一的真值的存在了。

2. (量的)约定真值

即为了某种目的,可以替代真值的量值。

一般说来,约定真值被认为是非常接近真值的,它们之间的差别可忽略不计。

无系统误差条件下的算术平均值、标称值、校准值、理论值、公认值等均可作为约定真值来使用。

3. 测量结果

物理

即是通过测量得到的被测量的值。

当使用“测量结果”这个术语时,应当明确,它是示值、未修正结果或是已修正结果,以及是否已对几次观测值进行了平均。

完整的测量结果说明,应包含有关于测量不确定度的信息和关于适宜的影响量值的信息。

4. (测量仪器的)示值

即测量仪器所提供的被测量的值。

应作如下说明:

(1)示值用被测量的单位表示,而不管注在标尺上的单位。出现在标尺上的值(直接示值)须乘以仪器常数以得到示值。

(2)实物量具的示值就是它的标称值。

(3)术语“示值”的含义有时可以扩展,包括记录式仪器所记录的量值,或测量系统中的测量信号。

5. 测量的重复性和重复性误差

即在下述条件下,对同一被测的量进行多次连续测量所得结果之间的符合程度。

这些条件是:测量方法、观测人员、测量仪器、测量地点和使用条件都相同,并且是在短时间内的重复。

重复性误差是指,将同一输入多次重复加于某一测量仪器,会得到一些不同的输出,这个偏差称为重复性误差,它可以表示为绝对单位,也可以是全刻度的百分数。

6. 测量的准确度和仪器的准确度

被测量的测量结果与(约定)真值之间的符合程度,称为测量的准确度。

仪器的准确度可定义为:测量仪器给出接近被测量真值的示值的能力。

测量准确度和仪器准确度常以相对误差

(有时也用绝对误差)形式来表示。仪器准确度限定了测量时的相对误差,即限定了测量的准确度。如果借助标准对仪器或仪表进行校正引入修正值后,就能保证测量准确度高于用准确度级别标出的仪器准确度^[4]。

7. 测量的复现性

表示当各次测量是在改变如下条件进行时,同一被测的量的测量结果之间的符合程度。

这些条件是:测量方法、观测人员、测量仪器、地点、使用条件和时间。

复现性同样可以用结果的分散来定量地表示。

8. 实验标准差(或称实验标准偏差)

即同一被测量的几次测量中,表征结果的分散的参数 s 。

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

其中 x_i 为第 i 次测量结果, \bar{x} 为所考虑的几个结果的算术平均值。

应注意:

(1) 实验标准差不应与总体标准差混淆。个数为 N 、平均值为 m 的总体标准差 σ 由下式算出:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}$$

(2) 如将一系列 n 次测量认作为总体的一个样本,则 s 是总体标准差 σ 的一个评定。

(3) s/\sqrt{n} 是平均值 \bar{x} 对整个总体平均值 m 的标准差的评定。 s/\sqrt{n} 称为平均值的实验标准差。

9. 测量的不确定度

即测量值附近的一个范围,这个范围可能(以相当于标准差的概率)包含被测量的真值。

测量不确定度一般包含若干个分量,其中一些分量(A类)可用统计方法(如贝塞耳法、最大误差法、最大残差法、极差法和最小二乘法等)评定^[5],并可用实验标准差 s_i 表征;其它分量(B类)只能基于经验或其它信息作评定,可由假设分布的置信因子 k_i 及估计的误差限 $\pm \Delta_i$ 按下式求得近似标准差 u_i ,

$$u_i = \Delta_i / k_i$$

对归于B类的某一误差分量,如果知道它所服从的分布规律,或根据实验分析法或估计法确定它可能近似服从的误差分布,例如指零仪表判断平衡的视差,仪器度盘或齿轮回差引起的误差,电子计数器的量化误差即 ± 1 误差,数据截尾所引起的舍入误差,李萨如图形不稳定引起的频率测量误差,游标尺的仪器误差,级别高的仪器和仪表的误差等^[6],可认为或近似地认为它们服从均匀分布,则很容易知道 $k_i \approx 1.7$ 。对多数B类误差因素,若其值比较小时,则可认为正态分布是其较好的近似,因而 $k_i \approx 3$ 。

A类分量和B类分量的合成仍应按方差合成原理进行,即

$$\sigma = \sqrt{\sum s_i^2 + \sum u_i^2 + \text{协方差项}}$$

如果任意两个不确定度分量都是彼此独立的,上式便可简化为

$$\sigma = \sqrt{\sum s_i^2 + \sum u_i^2}$$

σ 为测量结果的合成不确定度,它也是以“标准差”形式表示出的^[7]。

10. 偶然误差

即测量误差的分量,在同一被测量的多次测量过程中,它以随机方式变化并具有抵偿性的误差。

偶然误差多数是由对测量值影响较微小的、相互独立的多种因素的综合影响所造成的,亦即测量中的偶然误差是多种因素造成的许多微小误差的总和,因而它和受它影响的许多测量数据分布大多接近于正态分布。

从本质上说,偶然误差也是一种随机性的误差,但是它和随机误差也存在细微的差别,亦即前面定义中所强调的“具有抵偿性的误差”。因而我们可以说:均值为零的随机误差就是偶然误差,或谓服从正态分布 $N(0, \sigma)$ 的随机误差就是偶然误差。考虑到绝大多数的测量误差都遵从正态分布,对不确定系统误差,若其值比较小时,也认为正态分布是其最佳近似^[8]。因而,无论从历史上的习惯,或是从科学性和实用性考虑,都没有理由必须要用随机误差来取代

偶然误差这一为人们所习惯用的名词。

偶然误差也是不可修正的。

11. 系统误差

即测量误差的分量。在同一被测量的多次测量过程中，它保持常数或以可预定的方式变化着。

作些说明：

(1) 系统误差的原因可以知道，也可以不知道。

(2) 对于测量仪器，它是测量误差的系统分量。

(3) 测量或实验中存在的系统误差，要尽可能加以修正，并计入测量或实验结果中。可能遗漏的应认为具有随机的特征而可以属于A类或B类。

12. 修正值

即用代数方法加于未修正测量结果的一个值，用来补偿系统误差。

修正值等于系统误差，但是符号相反。又因系统误差不能准确知道，故修正值含有不确定度。考虑到修正值通常都比测量值小很多，按微小误差准则，一般情况可以不考虑修正值的不确定度以简化计算。

13. 稳定度和漂移

稳定度可定义为：测量仪器保持其计量特性恒定的能力。

通常稳定度考虑为对时间的，当考虑对别的量的稳定度时，应该明确说明。

漂移是表征仪器特性的一个重要指标，它是指仪器的输出特性随时间变化。动态仪器比静态仪器的漂移更突出。造成漂移的原因主要是温度随时间的变化。为了消除或减小漂移的影响，许多动态仪器均要求仪器在通电20至30分钟后才使用。

14. 测量仪器的(示值)误差

即为测量仪器的示值减去被测量的(约定)真值。

例如：经检定合格的游标读数值为0.02 mm的游标卡尺，在测量深度及外测量尺寸范围为0—300mm时的示值误差均不超过 ± 0.02

mm，亦即测量示值误差不超过游标读数值。1级千分尺的示值误差为 ± 0.004 mm，分度值为 0.1°C ，量限为 $0—+50^{\circ}\text{C}$ 和 $+50^{\circ}—+100^{\circ}\text{C}$ 的水银温度计的示值误差为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ；分度值为 1°C ，量限为 $0—+50^{\circ}\text{C}$ 和 $0—+100^{\circ}\text{C}$ 的有机液体(如酒精)温度计的示值误差不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

15. (测量仪器的)引用误差

即测量仪器误差除以仪器规定值。

这一规定值常称为引用值，例如它可以是测量仪器的量程或标称范围上限。因引用误差是以相对误差的形式表示，故它又称为引用相对误差。电磁仪表和热工仪表，常用引用误差来表示其误差大小。例如，标志仪表误差范围的准确度等级就是用引用误差来表示的，0.5级电表的引用误差即为0.5%。应该注意的是，仪表的引用误差和绝对误差在同一量程的不同刻度点上都是相等的，而标称值和测量值的相对误差却是不同的，且随着它们取值的增大而减小。当标称值和测量值为上述规定值时，引用误差、标称值的相对误差和实际测量值的相对误差就完全相等。

16. 视差

人眼相对于指针(线)变动位置时，读数也发生变化，这些读数与正确读数之差叫视差。

视差可能给测量结果带来较大的影响。例如在光学实验中，经常有测量像的大小和确定成像的位置的问题，通常必须将测量用的标尺与被测物(或者像)调节在一个平面上，才能准确测出。如果标尺远离物(或像)，则读出的数据将随眼睛的位置而异。所以，在测量中要注意视差的减小和消除。方法是：(1)使标尺平面和读数准线所在平面尽可能重合。例如，高灵敏度仪表采用光标指示线读数，游标尺的游标面、千分尺的测微分度面和木制米尺的刻度面均做成斜面等。(2)读数时要使视线垂直标尺平面和指针(线)。例如，一些电测仪表采用刀型指针，在标度盘平面上装置一块面反射镜等，以保证读数时视差得到消除或减小到人眼的分辨力。对毫米分度的标尺，可取其值为 ± 0.1 mm

(或 $\pm 0.2\text{mm}$), 由于它小于或接近仪器标尺(示值)误差的 $1/3$, 按微小误差准则可忽略不计。这也表明, 在用量仪或量具作测量时, 一般情况均不需要再考虑读数时的视差(对应于分辨力)。

17. 灵敏度

它是指仪器指示器的微小变化与造成该变化所需的待测量的变化之比。灵敏度高就意味着该仪器对待测量的极微小变化的响应能力高。它和精密度一样均可用仪器本身来测定。通常, 仪器或测量装置的精密度和灵敏度可认为是平行的两种特性^[9]。

对一般成品仪器, 在符合仪器所要求的工作条件下使用, 就能保证由灵敏度引起的误差只占测量误差的 $\frac{1}{3} - \frac{1}{5}$ 以下, 因而可以不予考虑。但是, 在许多自行组装的实验装置中, 由于测量方法或所用仪器的性能参数选择不甚合理, 常常会造成实验装置的灵敏度很低, 从而给测量结果引入较大的误差, 因此在对测量结果做精度评定时, 必须考虑灵敏度的影响。

18. 鉴别力阈与灵敏阈

鉴别力阈是指能引起输出量发生可测变化的最小输入增量。

对测量仪器, 鉴别力阈是指相应仪器能够检测出的被测量的最小值。例如, 分析天平能检测出的最小重量一般为 10^{-4}g , 故鉴别力阈为 10^{-4}g ; 游标分度值为 0.02mm 的游标卡尺, 鉴别力阈可认为是 0.02mm 。光学系统的鉴别力阈是指它区分很细小和位置非常靠近的物像细节的能力, 并以通过该系统观察所能区分的两个点或两条线间的最小距离来表征。例如, 放大镜的鉴别力阈为^[10]

$$r = \frac{r_c}{m},$$

式中 r_c 为正常眼睛的鉴别力阈, 约为 $1'$, m 为

放大镜的放大倍数。

灵敏阈(或称阈值), 一般是指在起始位置能引起输出量发生可测变化的最小输入量。灵敏阈是衡量起始位置不灵敏程度的指标。

在实用上, 有时对这两个概念又不加区别而混同使用。

19. 精度与等精度测量

精度是一个有概括含义的词, 其意义可以这样来理解, 如果测量结果的相对误差为 0.1% , 则可笼统地说其精度为 10^{-3} 。为了语法表述与量值大小的一致, 常规定精度的数值指标为测量相对误差的倒数, 即此例中的精度为 10^3 。如果测量误差纯由偶然误差引起, 则精度就是指精密度; 如果误差是由系统误差引起, 则精度就是指准确度; 如果误差是由偶然误差与系统误差共同引起(如未经校准的 0.5 级或 1 级电表), 则精度泛指二者。

等精度测量通常是指测量的精密度相等, 即要求测量的实验标准差相同。测量的精密度取决于测量的条件、测量的仪器设备、测量方法、测量人员的技术熟练程度和细心程度、周围温度、湿度和干扰情况等, 这些条件完全相同, 则测量结果为等精度测量。

- [1] 金麟孙, 仪器计量误差理论, 上海科学技术出版社, (1983), 8.
- [2] 李惕碚, 实验的数学处理, 科学出版社, (1981), 64.
- [3] BIPM-IEC-ISO-OIML, International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, BIPM-IEC-ISO-OIML, (1984).
- [4] 李化平, 物理, 12-1(1983), 27.
- [5] 刘智敏, 误差与数据处理, 原子能出版社, (1981), 22—28.
- [6] 李化平, 物理, 12-2(1983), 80.
- [7] 国际计量局, 计量学报, 3-2(1982), 158.
- [8] 刘智敏、李化平, 物理实验, 4-3(1984), 143.
- [9] J. P. Kohn, 计量技术译丛, No.6(1964), 2.
- [10] B. A. Афанасьев, 光学量度, 中国工业出版社, (1965)199.