

有关科技论文中数值有效位数的审读

王 调 霞

《原子能科学技术》编辑部,102413,北京

摘 要 在科技论文中,经常出现测量、记录、计算值的有效位数错误,这类错误将使论文的科学性和学术质量受到影响,对它的审读不应忽视。文章简要阐述分析测试中的直接测量量、间接测量量、随机测量量、统计量等4种主要数值类型的有效位数确定规则,并进行实例分析,以供科技期刊编辑进行相关审读时参考。

关键词 有效位数;经验规则;数据审读

Inspection of significant digits for numerical value of a quantity in sci-tech papers//WANG Tiaoxia

Abstract There are often some errors of significant digits for numerical values of measurement, record and calculation results in sci-tech papers. Inspection of them should not be neglected. This article outlines the rules of determining significant digits for four kinds of numerical values from direct measurement, indirect measurement, random measurement and statistical calculation, and analyzes them with actual examples.

Keywords significant digit; empiric rule; data inspection

Author's address Editorial Department of Atomic Energy Science and Technology, 102413, Beijing, China

DOI:10.16811/j.cnki.1001-4314.2016.02.009

在科学实验中,测量、记录、计算所获得的所有数值均须是有效数字,即该数值中的各位数字,除最末1位是可疑数字外,其余各位数字均应是准知数字。科技论文中若出现有效位数错误的数值,论文的科学性将受到影响,而在实际工作中,这类错误现象却常有出现;因此,对科技论文中数值的有效位数的审读不容忽视。

分析测试中获得的数据可粗略地分为直接测量数据和间接测量数据2大类。在直接测量数据中,有些测量量是随机量,它们服从某种随机-统计规律而与常规测量量有所不同;间接测量量又称作计算量,有些计算量是统计量,这些统计量具有独特的统计特性——因此,直接测量量中的随机测量量和计算量中的统计量的有效位数确定规则与常规测量量和常规计算量的确定规则截然不同。

本文简要阐述分析测试中以上4种常见数据类型,即常规测量量、随机测量量、间接测量量和统计量的有效位数的确定规则,并做实例分析。需要注意的是,本文中所涉及的测量量由数值和单位组成。

1 直接测量量的有效数字位数

1.1 常规测量量 在分析测试中,常用天平称量试样的质量,用滴定管等容量器皿测定溶液体积,还有其他许多测试参量的数值需由相应的仪器、仪表的示值来读取。质量、溶液体积由各种仪器、仪表示值读取的参量等均为直接测量量。我们把这些直接测量量称为常规测量量,它们的有效数字位数需按下列规则记取。

1.1.1 质量称量值 质量用天平称量,质量称量值的有效数字位数由所用天平的精度决定。

1/万天平的感量为0.1 mg。当用该天平称量试样质量时,称量值的末位应在“mg”的十分位;1/10万天平的感量为0.01 mg,该天平称量值的末位应在“mg”的百分位。

示例1 用1/万天平称量一试样质量,所称试样质量 $m = 4.2563\text{ g}$ 。

这是一个正确的称量记录。该称量值的末位数字“3”处于“mg”的十分位,测量值有5位有效数字,有效数字位数与所用1/万天平的精度一致。

1.1.2 溶液体积测量值 溶液体积测量值的有效数字位数由所用容量器皿的允许差决定。

示例2 使用5 mL A级滴定管进行滴定操作,测得滴定液体积 $V = 2.51\text{ mL}$ 。

根据GB/T 12805—2011《实验室玻璃仪器 滴定管》^[1]和JJG 196—2006《常用玻璃量器》^[2],5 mL A级滴定管的允许差 $\Delta = 0.01\text{ mL}$ 。上述滴定液体积数值的末位取在了“mL”的百分位,与该器皿的允许差一致,所测体积值为3位有效数字,记录是正确的。

1.1.3 由仪器、仪表示值读取的常规量测量值 由仪器、仪表示值直接读取的常规量测量值的有效数字位数须与仪器、仪表的示值误差相符。仪器、仪表的示值误差定义为量程 $0 \sim x_n$ 与精度等级 s 的乘积 $x_n \cdot s\%$ ^[3]。

示例3 用量程为10 mA的0.1级电流表测得靶上束流 $I = 3.17\text{ mA}$ 。

该仪表的示值误差为 $x_n \times s\% = 10\text{ mA} \times 0.1\% = 0.01\text{ mA}$, I 值的末位应取在“mA”的百分位。上述测量值取为3位有效数字,末位数字“7”处在“mA”的百分位,与该电流表的示值误差相符,所记录的数值的有效位数是正确的。

1.2 随机测量量 在核科技领域,各种谱仪和剂量仪表测量的放射性活度、计数和射线的剂量等是典型的随机测量量。由仪器示值直接读取的这些参数值则是随机涨落的,这归因于放射性衰变的随机性。测量值的随机涨落程度遵从某种统计规律,且与随机量值大小有关^[4]。随机测量量的有效位数须与随机测量值的涨落程度一致。

示例 4 用 β 谱仪测得 ^{90}Sr 放射源的 β 计数率 $n(^{90}\text{Sr}) = 1\,126\,873\text{ s}^{-1}$ 。

“1 126 873”是该谱仪显示的计数率值,但作为一个测量数据, $n(^{90}\text{Sr}) = 1\,126\,873\text{ s}^{-1}$ 是个错误的记录。 $n(^{90}\text{Sr})$ 是随机量,它的量值的统计涨落程度 $\Delta n(^{90}\text{Sr})/n(^{90}\text{Sr}) = 1/\sqrt{n(^{90}\text{Sr})} \approx 0.1\%$ 。这就是说,再行重复测量,上述 $n(^{90}\text{Sr})$ 值中的第 4 位及其后各位将随机变动,它们重复出现的概率是极其微小的;因此,以上数值只能根据量值的统计涨落程度取 4 位有效数字,以与 0.1% 相一致,并应以科学记写法记为 $1.127 \times 10^6\text{ s}^{-1}$,以清晰、明确显示该数值的有效位数为 4 位。

2 间接测量量的有效数字位数

在许多场合下,待测目标量并非直接测量量,而是由某个或几个直接测量量通过计算获得的;所以,间接测量量也可称为计算量。

常规计算量有效位数的确定需遵守有效数字运算规则。文献[5-6]较为详细地阐述了加减、乘除、乘方和开方、对数等的运算规则,并列举了相关算例。有效数字运算规则是对常规计算量有效位数进行审读的重要依据。概括说来,运算规则的实质是:计算值的有效位数由参与计算的诸数值中误差最大的那个数值决定,并在计算过程中采用“先修约(多保留 1 位),后计算,结果再修约的计算程序”。

示例 5 实验测得 ^{239}Pu 电沉积源的源斑直径 $d = 5.11\text{ mm}$, 沉积的 ^{239}Pu 质量 $m(^{239}\text{Pu}) = 1.2504\text{ mg}$, 计算该源的质量厚度 δ_m 。

$$\delta_m = m(^{239}\text{Pu}) / ((1/4)\pi d^2) =$$

$$1.2504\text{ mg} / ((1/4)\pi(5.11\text{ mm})^2) = 6.097\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}。$$

在该示例中,“4”为非测量的自然数,“ π ”为圆周率,是数学常数,按运算规则,这两者的有效位数任取;“ d ”和“ m ”为直接测量量,它们的相对误差分别为 0.01/5.11 和 0.000 1/1.250 4,即 0.2% 和 0.008%,前者明显大于后者。这样, δ_m 的有效位数将由相对误差大的 d 决定。在该例中,计算量 δ_m 的有效位数与 d 的有效位数不符;因此,应将上述计算结果按 d 的有效位

数修约为 3 位有效数字,并采用上述计算程序进行计算,即先将 $m(^{239}\text{Pu})$ 多取 1 位,为 1.250 mg,而后进行计算,最后按 d 的有效位数修约为 3 位有效数字,即 $\delta_m = 6.10\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

示例 6

表 1 ^{207}Bi 放射源能谱的 4 个峰对应的计数通道以及能量与计数通道的比值 R

能量/keV	计数通道数	能量/计数通道比 R	R 的相对偏差/%
481.6	93	5.178 5(5.18)	0.09(-0.1)
554	107	5.177 5(5.18)	0.11(-0.1)
975.4	188	5.188 3(5.19)	0.1(0.1)
1 048	202	5.188 1(5.19)	0.1(0.1)

对本例的 2 点辨析如下。

1) R 值的有效位数错误。按运算规则, R 值的有效位数由计数通道的道数决定,表中的 4 个道数为 3 位有效数(93 常视为 3 位数);因此, R 应为 3 位,即为括号中的数值。

2) R 的相对偏差值计算错误。 R 的相对偏差 = $(R - \bar{R}) / \bar{R}$, $(R - \bar{R}) / \bar{R}$ 值的有效位数由 $(R - \bar{R})$ 与 \bar{R} 中位数少者确定;计算 \bar{R} 时,可将 R 值多取 1 位,即取 4 位,分别取为 5.178、5.178、5.188、5.188,并算得 $\bar{R} = 5.183$,进而算得 $R - \bar{R}$ 值分别为 -0.005、-0.005、0.005、0.005,故 $(R - \bar{R}) / \bar{R}$ 值应分别为 -0.1%、-0.1%、0.1%、0.1%,即为括号内的数值。

3 统计量的有效数字位数

JJF 1059—1999^[7]和 JJF 1135—2005^[8]规定,在分析测试报告中,须对测定结果的不确定度做出评定。这时,经常涉及样本均值 \bar{X} 、样本标准差 S 、样本均值标准差 $S(\bar{X})$ 和测量结果的不确定度 U 等统计量;而这些统计量的有效位数确定规则与上述常规计算量的确定规则有所不同,也不再遵守“四舍六入五成双”的常规数值修约规则,而遵从以下经验规则^[9]:

1) S 、 $S(\bar{X})$ 、 U 的有效位数取 1~2 位,多于 2 位在统计学上无意义;

2) \bar{X} 的有效位数应将 $S(\bar{X})$ 影响到的那一位定为最末一位;

3) 多余数字的修约规则为“只入不舍”。

示例 7 在 ^{60}Co γ 辐射场中用硫酸亚铁剂量计测量水中吸收剂量率 \dot{D} , \dot{D} 的 5 个平行测定值分别为 799.8、802.2、803.1、799.0、801.5 $\text{Gy}\cdot\text{min}^{-1}$ 。计算样本均值 $\bar{\dot{D}}$ 、样本标准差 $S(\dot{D})$ 、样本均值标准差 $S(\bar{\dot{D}})$ 和总不确定度 U 。

它们的计算公式分别为:

$$\bar{\dot{D}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{D}_i,$$

$$S(\dot{D}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\dot{D}_i - \bar{\dot{D}})^2 / (n-1)},$$

$$S(\bar{\dot{D}}) = S(\dot{D}) / \sqrt{n},$$

$$U = t_p(\nu) S(\bar{\dot{D}}).$$

式中 $t_p(\nu)$ 是自由度为 ν 的 t 分布的 P 分位数。

计算结果如下:

$$\bar{\dot{D}} = \frac{1}{5} \times (799.8 + 802.2 + 803.1 + 799.0 +$$

$$801.5) \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1} = 801.12 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1},$$

$$S(\dot{D}) = 3.387 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1},$$

$$S(\bar{\dot{D}}) = 3.387 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1} / \sqrt{5} = 1.515 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}.$$

按以上经验规则 1) 和 3), $S(\bar{\dot{D}})$ 取 2 位有效数

字,且“只入不舍”,则将 $S(\bar{\dot{D}}) = 3.387 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ 修约为 $3.4 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$;

按经验规则 2) 的末位对齐原则,将 $\bar{\dot{D}} = 801.12$

$\text{Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ 修约为 $\bar{\dot{D}} = 801.1 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$;

$S(\bar{\dot{D}})$ 的有效位数同于 $S(\dot{D})$, 且“只入不舍”, 则

将 $S(\bar{\dot{D}}) = 1.515 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ 修约为 $1.6 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$;

取置信水平 $P = 0.90$, $n = 5$, 查 t 分布分位数表^[10], $t_p(\nu = n - 1) = t_{0.90}(4) = 2.13185$, 同理, U 的

有效位数同于 $S(\bar{\dot{D}})$, 且“只入不舍”, 则 $U =$

$t_{0.90}(4) \cdot S(\bar{\dot{D}})$, 其中, 先将 $S(\bar{\dot{D}})$ 值多取 1 位, 取为

$1.51 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$, 再按 $U = 2.13185 \times 1.51 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ 算

得 $U = 3.22 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$, 最后再按经验规则 1)、3) 修约为 $U = 3.3 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

最终, 水中吸收剂量率 \dot{D} 的测定结果为 $(801.1 \pm$

$3.3) \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1} (P = 0.9)$ 。

4 结束语

在科技论文中, 测量、记录、计算得到的数值的有效位数必须准确反映数值相对误差的大小, 既不能多取 1 位而将数值的可靠程度人为提高, 又不宜少记 1 位而使数值的可靠程度降低; 否则, 将影响论文的科学性和学术质量; 因此, 应重视对论文中数值有效位数的审读。不同的数据类型有着不尽相同的有效位数确定规则, 准确辨别数据类型是对数值有效位数进行正确审读的前提。科技期刊编辑需具备这方面的专业知识和审读能力, 并在实际工作中积累经验, 不断提高审读水平。

5 参考文献

- [1] 实验室玻璃仪器 滴定管: GB/T 12805—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011
- [2] 常用玻璃量器: JJG 196—2006[S]. 北京: 中国计量出版社, 2007
- [3] 沙定国. 实用误差理论与数据处理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993: 6
- [4] 复旦大学, 清华大学, 北京大学. 原子核物理实验方法: 上册[M]. 2 版. 北京: 原子能出版社, 1985: 11
- [5] 冯师颜. 误差理论与实验数据处理[M]. 北京: 科学出版社, 1964: 11-19
- [6] 张铁垣. 分析化学中的量和单位[M]. 2 版. 北京: 中国标准出版社, 2002: 227-232
- [7] 测量不确定度评定与表示: JJF 1059—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999
- [8] 化学分析测量不确定度评定: JJF 1135—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005
- [9] 曹宏燕. 分析测试中测量不确定度及评定 第 5 部分: 测量不确定度评定中要注意的一些问题[J]. 冶金分析, 2006, 26(4): 89
- [10] 统计方法应用国家标准汇编: 术语符号和统计用表卷[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 132-133

(2015-07-17 收稿; 2015-09-07 修回)

表头中不准使用斜线

在科技书刊中, 经常见到表格的左上角表头使用 1 条或多条斜线的情形, 有些编辑手册类书中还专门给出表头含有斜线的示例, 如中国标准出版社出版的《编辑作者实用手册》“表格”一节中, 就有左上角表头使用了 2 条斜线的表例。

表头中含有斜线的表格是不规范的。GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分: 标准的结构和编写规则》指出: “表头中不准使用斜线。”并给出了正确和错误对照的示例。GB/T 1.1—2009 的这一条款, 是我们都应遵守的“要求”型条款; 因此, 当编辑加工实践中遇到含有斜线的表格时, 应注意通过改变表头栏目设置、表题等设法将斜线消去。

(诸仁)