

5-1.87
571
C.3

誤差理论与实验数据处理

馮 师 顏 編

科 学 出 版 社

內 容 簡 介

在实验科学中,进行实验测量既需要误差理论方面的基础知识,也需要处理数据的基本技术。本书主要是根据误差理论介绍有关实验数据处理的基本技术问题的。

本书共分十章,前五章主要讲基本概念、有效数字与算法以及误差理论基础,后五章着重讲实验数据的处理。

本书可供从事实验工作的同志参考之用。

誤差理論与实验数据处理

馮 師 顏 編

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝陽門大街 117 号

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国人民大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

*

1964 年 6 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1964 年 11 月第二次印刷 印张: 4 13/16

印数: 33,501—82,000 字数: 123,000

统一书号: 13031·1914

本社书号: 2953·13-1

定价: [科六] 0.75 元

序

在实验科学中,当我们测量物质的某一性质,或对物质的某些性质作一系列测量的时候,一方面,必须对所测对象进行分析研究,选择适当的测量方法,估计所测结果的可靠程度,并对所测数据给予合理的解释;另一方面,还必须将所得数据加以整理归纳,用一定的方式表示出各数值之间的相互关系。前者需要误差理论方面的基础知识,如高斯误差定律、最小二乘法原理、误差传递定律以及各种平均值的算法与误差的表示法等;后者则需要处理数据的基本技术,如数据的列表法、分度法、作图法、内插法和外推法、微分法、积分法以及经验公式的求法等。这两方面的知识,国外都有专著论述,国内则不多见。因此,对刚开始从事研究工作或缺乏这方面基础知识的同志,在实验工作中获得大量数据后,常感无法正确处理这些数据。作者根据附录 I 所列各书以及近年来工作经验编成此集,供实验工作者参考。为便于读者掌握这方面的知识,凡属基本概念和基本定律部分的内容,均特别着重阐述其物理意义,并以具体实例说明其应用。

有效数字与算法一章的内容,大多数实验课本内都有叙述。但因有些叙述过于简略,有些叙述含混不清,致使在实际工作中究竟该用几位数字来表示所测量数值和计算结果,仍不够清楚;在计算式中,遇到有因子 $1/2$, $\sqrt{2}$, π , e 等时,这些因子的有效数字是几位,式中各个测量数值该取几位有效数字,往往亦不能肯定。因此,不避重复,特地编入这一章。作者经验不足,水平有限,错误在所难免,欢迎读者提出批评和指正。

編写本书时,承西北大学化学系讲师侯文理同志,助教郭蔚,鍾广学,王琮玉,张泉珍同志反复閱讀,帮助抄写,并提出宝贵意見,特此致謝。

馮師顏

1963年4月于西北大学化学系热化学实验室

目 录

第一章 基本概念	1
1.1. 基本单位	1
1.2. 1960年第十一次国际度量衡会议新规定的几个基本量	3
1.3. 真值与平均值	4
1.4. 误差与误差的分类	6
1.5. 误差的表示法	8
1.6. 精确度与准确度	10
第二章 有效数字与计算法则	11
2.1. 有效数字	11
2.2. 计算法则	13
2.3. 算术平均值的简便算法	15
2.4. 标准误差的简便算法	17
第三章 误差理论基础	21
3.1. 误差的正态分布	21
3.2. 高斯误差定律	24
3.3. 精确度指数 h 的物理意义	25
3.4. 最小二乘法原理与算术平均值	26
3.5. 精确度指数 h 与标准误差 σ	28
3.6. 有限测定次数中标准误差 σ 的计算	28
3.7. 或然率积分	30
3.8. 或然误差	32
3.9. 统计上允许的合理误差范围	33
3.10. 可疑观测值的舍弃	36
3.11. 定间距的最佳代表值	38
3.12. 有限观测次数中高斯定律的应用	40
第四章 间接测量中误差的传递	43
4.1. 误差传递的一般公式	43

4.2.	誤差传递公式在基本运算中的应用	44
4.3.	誤差传递中标准誤差同或然誤差的一般公式	46
4.4.	或然誤差公式在基本运算中的应用	48
4.5.	誤差传递公式在間接測量中的应用	49
第五章	不等权平均值的計算与实验数据处理	56
5.1.	单次測量誤差与算术平均值的誤差	56
5.2.	算术平均值的或然誤差	56
5.3.	不等权观测值的平均值	57
5.4.	不等权观测值的权数与誤差大小的关系	59
5.5.	不等权观测中权数为 1 的单次观测誤差	61
5.6.	等权观测值平均值的誤差与不等权观测值平均值的誤差	63
5.7.	总平均值的計算及其誤差	65
5.8.	平均值間符合程度的檢驗	66
5.9.	不一致平均值的合并	67
5.10.	平均值的誤差与观测次数的关系	68
5.11.	实验結果精确度的表示法	69
5.12.	精确度的精确度(或誤差的誤差)	70
第六章	实验数据列表表示法	74
6.1.	列表表示法的优点	74
6.2.	列表时应注意的一些事項	75
6.3.	数据的分度	76
第七章	实验数据图形表示法	82
7.1.	图紙的选择	82
7.2.	坐标的分度	83
7.3.	坐标分度值的标记	85
7.4.	根据数据描点	86
7.5.	根据各点作曲綫	87
7.6.	注解說明	88
7.7.	数据的来源	89
第八章	实验数据方程表示法	90
(一)	經驗公式的选择	90
8.1.	图解試驗法	92

8.2. 表差法	93
(二) 經驗公式中常数的求法	96
8.3. 图解法	96
8.4. 选点法	98
8.5. 平均法	99
8.6. 最小二乘法	100
8.7. 各种方法可靠程度的比較	104
第九章 插值法	110
(一) 內插法	110
9.1. 比例法	110
9.2. 图解法	111
9.3. 多項式与差分	112
9.4. 牛頓內插公式	114
9.5. 方程法	117
9.6. 拉格朗日內插公式	118
(二) 外推法	120
9.7. 图解外推法	120
9.8. 应用內插公式計算外推值	120
9.9. 其他法	121
第十章 列表及图解的微分法与积分法	123
10.1. 用切綫法求 $\frac{dy}{dx}$	123
10.2. 用列表法求 $\frac{dy}{dx}$	124
10.3. 用列表法求 $\int ydx$	126
附录 I 主要参考书表	131
附录 II 高斯定律的推导	132
附录 III 或然率积分表	135
附录 IV 对数表	136
附录 V 平方根表	139
附录 VI 习题答案	145

第一章 基本概念

1.1. 基本单位

通常测量一个物理量的大小，就是将这一物理量与规定的标准单位或标准量相比较，因此，在讨论测量数据的处理之前，需要将一些基本单位或标准单位简单地介绍一下。

1. 长度. 国际上规定长度以米为单位，1米等于保存在巴黎附近色弗尔国际度量衡标准局内铂铱合金棒上两细线间的距离。凡1884年参加国际米制条约的国家，都有准确的复制品。当初规定1米等于赤道至北极距离的一千万(10,000,000)分之一。以后经精确测定，发现赤道至北极的距离为10,002,100米，而非一千万米。但为保持原定1米大小不变起见，仍定原铂铱合金两细线间的距离为1米。故今日使用的米，已不再与地球赤道至北极的距离有关了。

2. 质量. 国际上规定质量以克为单位，此单位与米同时建立，用铂铱合金圆柱体作成。当初规定1克等于摄氏3.98°C时1000立方厘米水的质量，以后发现当时水中溶解的空气未去掉，经重新测定，得1000立方厘米(10^3cm^3)不含溶解空气的纯水在真空中的重量为0.999974克，而非1克。

3. 时间. 时间以平均太阳日为单位，一个平均太阳日等于地球绕地轴平均旋转一周所需的时间。时间的实用单位为秒，1秒等于1/86400平均太阳日。时间的单位非十进制，而以12或60的倍数与分数倍数为进位单位。

4. 温度. 温度为分子平均动能的度量。温度的单位用水在一个大气压力下的冰点与沸点作基点来规定。在摄氏温标中，将水的冰点与沸点间的温度间隔分为100份，每一份叫做1°C。摄氏

温标与热力学温标的关系为

$$T = 273.15 + t,$$

式中 t 代表摄氏温标温度, T 代表热力学温标温度.

由于任何物质的长度均与温度有关,故温度可用物体的长度,面积或体积来度量.

5. 体积. 体积以立方米为单位,实用单位为 cc. 在建立质量单位时,原定 3.98°C 时 1000 cc 水的质量为 1 尅, 1 尅水在 3.98°C 时的体积为 1 公升,以公升作为液体的体积单位. 当时规定 1 公升等于 1000 cc, 以后发现当水内溶解的空气全部去掉后, 1000 cc 的水等于 0.999974 尅,故 1 克水的体积不等于 1 cc,亦即 1 毫升不等于 1 cc. 毫升 (ml) 与立方厘米 (cc) 的关系如下:

$$1 \text{ 毫升 (ml)} = 1.000027 \text{ 立方厘米 (cc)}.$$

6. 密度. 密度为物质在一定温度下 1cc 的重量. 水在 3.98°C 时 1 cc 重 0.999974 克,故水在 3.98°C 时的绝对密度为 0.999974. 设规定密度为 1 毫升水重,则水在 3.98°C 时的密度为 1.000,000. 密度用符号 d_t 来表示, t 代表温度.

7. 比重. 比重为物质在一定温度时的密度与水在 4°C 时的密度之比,用符号 D_t^t 表示,下脚注表示水的温度,上脚注表示物质的温度.

8. 能量. 能量的绝对单位为尔格,实用单位为焦耳. 在量热学中,过去规定的热量单位为卡, 1 卡等于 1 克的水温度升高 1°C 所需的热量. 因卡与水的比热有关,应用起来很不方便,故在 1948 年第九次国际度量衡会议上废除了卡与水的比热的联系,而以电能焦耳规定卡,称为规定卡或热化学卡, 1948 年国际度量衡会议上规定

$$1 \text{ 规定卡} = 4.1840 \text{ 绝对焦耳}.$$

9. 压力. 压力是指单位面积上所受的力,其绝对单位为达因/厘米²,实用单位为大气压. 1 大气压 = 760 mm 汞柱高 = 1,013,250 达因/厘米².

1.2. 1960年第十一次国际度量衡會議新規定的 几个基本量^[1,2]

1960年第十一次国际會議上通过以长度, 质量, 時間, 温度, 电流强度和光強为六个基本量(原以长度, 质量, 時間为三个基本量), 并对这六个基本量的公制单位重新作出規定, 其中尤以米和秒的定义变化最大.

許多年来, 物理学家就试图用最基本的或原子的基准来代替基本物理量的实物基准, 因为任何大块物质都不可能保持本身的物理性质永久不变, 而单个原子的性质却是可以合理的假定为不随時間而改变. 现将六个基本量的新定义介紹如下:

1. 米. 长度单位. 1米等于真空中当氩 86 在 $2P_{10}$ 和 $5d_5$ 能級間跃迁时輻射的波长的 $1,650,763.73$ 倍. 这样做并非单纯为了哲学上的原因, 而是新基准可以保持 1×10^{-8} 的准确度, 而旧基准只有 2.5×10^{-7} 的准确度.

2. 公斤. 质量单位仍以保存在巴黎附近色佛尔国际度量衡标准局内的国际公斤原器铂铱合金圆柱体为标准. 自 1889 年定公斤原器以来, 各国的副原器和原器进行了周期比較, 表明质量单位可保持在 $1-2 \times 10^{-8}$ 的准确度. 下表是英国副原器(18号)由国际度量衡局檢驗所得的結果:

年度	1889	1924	1933	1948	1961
質量(1公斤+微克)	70	51	58	71	59

目前 1 公斤精密天平 (Gould 1949) 在公斤比較时可达到 ± 1 微克的精密度, 但质量的实际值能否稳定在此程度上, 是值得怀疑的. 至今还没有人設計出用原子基准代替大块物质基准的方法.

3. 秒. 時間单位, 1 秒規定为从历书的 1900 年 1 月 0 日 12 时算起的回归年的 $1/31,556,925.9747$. 在这定义中回归年的基点的选定, 是天文学家采用的方法, 通常了解为格林威治 1899 年 12 月 31 日正午. 历书时是根据月球的运动計算的, 如果它的位置在

任何时候都能测定到 $0.05''$ ，那么，为了从天文观测推得 1×10^{-9} 准确度的频率基准，就必须测定四年为一个周期。Essen 和 Parry 在英国国家物理研究所 (NPL) 建立的铯原子频率基准，可在几秒钟内测得 2×10^{-10} 的准确度。

频率和时间计量的准确度要这么高有什么用呢？在实用方面是为满足地球上及宇宙空间的准确导航系统的需要。在科学方面，用此测量太阳系的周期性并验证相对论和宇宙论。已经发现地球的自转速度年复一年地在变化，这种缓慢的变化，可能是周期性的或非周期性的。

4. 安培。 电流强度单位，即在两根相距一米、无限长、圆横截面极小的平行直导线中通以恒定电流，导线之间在每米长度上产生的力，恰等于公制单位力的 2×10^{-7} 倍时所需要的电流强度。

5. 开氏温标。 根据热力学温标度量温度，水的三相点的温度定为 273.16°K 。

6. 烛光。 光强单位，在纯铂凝固的温度下，完全辐射体（绝对黑体）在一平方厘米上放射的光强为 60 烛光。

1.3. 真值与平均值

通常一个物理量的真值是不知道的，我们需要去测定它。但严格来讲，由于测量仪器，测量方法，环境，人的观察力，测量的程序等，都不能做到完美无缺，故真值是无法测得的。为了使真值这一名词不致太玄虚，我们这样来定义实验科学中的真值：设在测量中观察的次数为无限多，则根据误差分布定律正负误差出现的机率相等，故将各观察值相加，加以平均时，在无系统误差情况下，可能获得极近于真值的数值。故真值是指观察次数无限多时，求得的平均值。平常我们观察的次数都是有限的，故用有限观察次数求出的平均值，只能是近似真值，或称为最佳值。我们称这一最佳值为平均值。常用的平均值有下列几种：(1)算术平均值；(2)均方根平均值；(3)加权平均值；(4)中位值；(5)几何平均值等。

1. 算术平均值。 算术平均值是最常用的一种平均值。设观

測值的分布為正態分布，用最小二乘法原理可以證明：在一組等精密度測量中，算術平均值為最佳值或最可信賴值（證明見第三章）。

設 x_1, x_2, \dots, x_n 代表各次的觀測值， n 代表觀測的次數，則算術平均值為

$$a = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

由此得

$$\sum x_i - na = 0.$$

2. 均方根平均值。 均方根平均值常用於計算分子的平均動能中，其定義為

$$u = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \quad (2)$$

3. 加權平均值。 設對同一物理量用不同方法去測定，或對同一物理量由不同人去測定。計算平均值時，常對比較可靠的數值予以加重平均，稱為加權平均。加權平均值的定義為

$$W = \frac{W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n} = \frac{\sum W_i X_i}{\sum W_i} \quad (3)$$

式中 X_1, X_2, \dots, X_n 代表各個觀測值， W_1, W_2, \dots, W_n 代表各觀測值的對應權。各觀測值的權數可以任意給定，但也不是毫無理由，必須經驗豐富、技術熟練的人，才能處理得合適。

4. 中位值。 中位值是指將一組觀測值按一定大小次序排列時的中間值。若觀測次數為偶數，則中位值為正中兩個值的平均值。中位值的最大優點是求法簡單，而與兩端的變化無關。中位值在統計上屬於一種次序統計，只有在觀測值的分布為正常分布時，它才能代表一組觀測值的中心趨向或最佳值。

5. 幾何平均值。 幾何平均值是將一組 n 個觀測值連乘並開 n 次方求得的值，公式如下：

$$\bar{X}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n} \quad (4)$$

或以對數表之，如

$$\log \bar{X}_g = \frac{\sum \log x_i}{n},$$

式中 x_i 代表觀測值， \bar{X}_g 代表幾何平均值。當對一組觀測值取對數，所得圖形的分布曲線更為對稱時，常用幾何平均值。

以上所講的各種平均值，都是想從一組觀測值中找出最接近於真值的那個值，也就是說，它最能代表這一組觀測值的中心趨向。如果所選平均值真正代表了一組觀測值的中心趨向，則當一組觀測值中各個觀測值均相同時，每個觀測值均應等於平均值。平均值的選擇主要決定於一組觀測值的分布類型，本書所討論的概指正態分布類型。故今後討論中所用的平均值，將以算術平均值為主。

1.4. 誤差與誤差的分類

正如前面所講的，在任何一種測量中，無論所用儀器多么精密，方法多么完善，實驗者多么細心，所得結果常不能完全一致，而有一定的誤差或偏差。嚴格來講，誤差指觀測值與真值之差，偏差指觀測值與平均值之差。但習慣上常將兩者混用而不加區別。

根據誤差的性質及其產生的原因，可將誤差分為：1) 系統誤差或恆定誤差；2) 偶然誤差或或然誤差；3) 過失誤差三種。

1. 系統誤差或恆定誤差。 恆定誤差是指在測定中未發覺或未確認的因子所引起的誤差。這些因子影響結果永遠朝一個方向偏向，其大小及符號在同一實驗中完全相同。檢查或改正的方法是擴大實驗範圍，即採取不同方法選取樣品，用不同方法分離、提純樣品等。例如，雷萊 (Rayleigh) 在測定 N_2 的密度時，從大氣中分離的氮，測得密度均為 1.2978 克/公升，且與前人所測數值相符合。但當測定用化學方法製取的 N_2 時，所得結果與前相差 1/20000。後來証實，二者所以不同，主要是由於大氣中分離的氮內還含有惰性氣體的緣故。

系統誤差是指因為 1) 儀器不良，如刻度不准，砝碼未校正等；2) 周圍環境的改變，如外界溫度，壓力，濕度的變化等；3) 個人的

习惯与偏向，如讀数常偏高或偏低等所引起的誤差。此种誤差在同一物理量的測定中为一定。根据仪器的缺点，外界条件变化影响的大小，个人的偏向，分別加以校正后，可以清除掉。

2. 偶然誤差。 在測量中，如果已經消除引起系統誤差的一切因素，而所測数据仍在末一位或末二位数字上有差別，我們就称这类誤差为偶然誤差。

偶然誤差有时大，有时小，有时正，有时負，方向不一定。偶然誤差产生的原因一般不詳，因而也就无法控制。但用同一精密仪器，在同样条件下，对同一物理量作多次測量，若測量次数足够多，則可发现偶然誤差完全服从統計定律。誤差的大小以及正負誤差的出現，完全由机率决定，我們沒有理由认为誤差偏向一方比偏向另一方更为可能。因此，誤差与測量的次数有关。随着測量次数的增加，偶然誤差的算术平均值将逐漸接近于零。因而，多次測量結果的算术平均值将更接近于真值。

偶然誤差的存在，主要是由于事物是互相制約、互相作用的。平常我們所注意的，只是我們认为影响較大的一些因子，其他还有一些小的影响，不是我們尚未发现，就是我們无法控制。而这些影响，正是造成偶然誤差的原因。例如，称一鉑坩堝，在我們认为相同的情况下，得下列克数：

19.5437,

19.5434,

19.5436,

19.5438.

为什么在四次測量中不能得到同一数值呢？当然，可能由于天平指針的刻度过細，估計不准确。但此类誤差，末位只可能相差 ± 1 ，而上列数据末位相差則达四个单位，因此必有其他原因存在。比如：1)水蒸汽在坩堝和砝碼上的凝結作用无法控制；2)天平內温度的微量变化无法控制；3)坩堝或砝碼上电荷的改变；4)空气中灰尘降落速度的不恆定；5)使用碎砝碼(砝碼当然校正过，但不那么完善)以及其他我們未发现的影响。这些作用的影响，有

时大,有时小,有时正,有时负,其发生完全出于偶然,受或然率所支配。因此,偶然误差可以用或然率理论来处理。

3. 过失误差。 过失误差是一种显然与事实不符的误差,它主要是由于粗枝大叶,过度疲劳或操作不正确等引起。例如,读错刻度值,反读游标尺,记录错误,计算错误等。此类误差无规则可寻,只要多方警惕,细心操作,过失误差就可以避免。

1.5. 误差的表示法

误差的表示法通常有下列四种:

1. 范围误差。 范围误差是指一组测量中的最高值与最低值之差,以此作为误差变化的范围。例如,在上节所举称坩埚的例子中,最高值为 19.5438,最低值为 19.5434,则

$$\text{范围误差} = 19.5438 - 19.5434 = 0.0004.$$

表示误差时,仅写出误差为多大,是不够的,它必须与所测量物理量相联系。因此,有误差系数的规定。令 K 为最大误差系数, a 为算术平均值, l 为范围误差,则

$$K_l = \frac{l}{a} = \frac{0.0004}{19.5436} = 2 \times 10^{-5}.$$

范围误差的最大缺点是使 K_l 只取决于两极端值,而与测量次数无关。例如,在上例中,两次测量与多次测量所得的 K_l 可能完全相同,但不能将偶然误差与测量次数有关这一事实显明地表示出来。

2. 算术平均误差。 算术平均误差是表示误差的较好的方法,其定义为

$$\delta = \frac{\sum |d_i|}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

式中 n 为观测次数, d_i 为观测值与平均值的偏差。在一组测量中,观测值与平均值之差 d_i 的代数和为零。令 a 为一组观测值的平均值,则有

$$d_1 = x_1 - a, \quad d_2 = x_2 - a, \quad \dots, \quad d_n = x_n - a.$$

相加則为

$$\sum d_i = \sum x_i - na.$$

根据(1)式, $\sum x_i - na = 0$, 故

$$\sum d_i = 0. \quad (6)$$

算术平均誤差的缺点是无法表示出各次測量間彼此符合的情况。因为在一組測量中偏差彼此接近的情况下与另一組測量中偏差有大中小三种的情况下, 所得平均值可能相同。

3. 标准誤差. 标准誤差也称均方根誤差, 其定义为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}}. \quad (7)$$

在有限觀測次数中, 标准誤差常用下式表示:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}} \quad (8)$$

(証明見第三章第 6 节。在第三章以前的习题中, 求 σ 时均用(7)式)。

标准誤差不仅是一組測量中各个觀測值的函数, 而且对一組測量中的較大誤差或較小誤差感觉比較灵敏, 故标准誤差为表示精确度的較好方法。近代物理化学中, 特別在量热学中, 已广为采用。标准誤差系数为

$$K_a = \frac{\sigma}{a}.$$

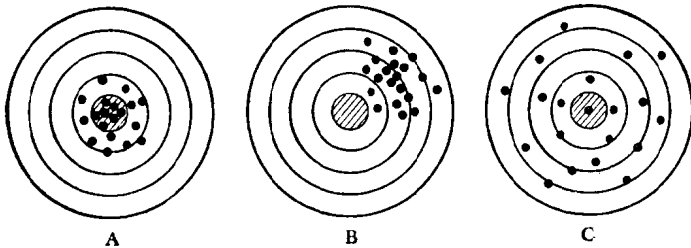
4. 或然誤差. 或然誤差常用符号 γ 表示, 它的意义为: 在一組測量中若不計正負号, 誤差大于 γ 的觀測值与誤差小于 γ 的觀測值将各占觀測次数的 50%。更具体点讲, 在一組測量中, 具有正誤差的觀測值, 其誤差落在 0 与 $+\gamma$ 之間的数目将占有正誤差的觀測数目的一半。具有負誤差的觀測值, 其誤差落在 0 与 $-\gamma$ 之間的次数将占有負誤差的觀測次数的一半。亦即在一組測量中, 誤差落在 $+\gamma$ 与 $-\gamma$ 之間的觀測次数占觀測值总次数的一半。从或然率积分, 可导出(参考第三章第 8 节):

$$\gamma = 0.6745\sigma \quad (9)$$

过去经常采用或然误差,近年来已逐渐为标准误差所代替。

1.6. 精确度与准确度

精确度指在测量中所测数值重复性的大小;准确度指所测数值与真值符合的程度。在一组测量中,尽管精确度很高,但准确度不一定很好;反之,若准确度好,则精确度一定高。精确度与准确度的区别,可用下述打靶例子来说明。



图中 A, B, C 表示三个射击手的射击成绩。网纹处表示靶眼,是每个射击者的射击目标。由图可见,图 A 表示精确度与准确度都很好;图 B 只射中一边,表示精确度很好,但准确度不高;图 C 则各点分散,表示准确度与精确度都不好。在科学测量中,没有靶眼,只有设想的真值。平时进行测量,就是想测得此真值。

参 考 文 献

- [1] 英国国家物理研究所最近的一些发展,国家科委计量局综合技术处情报科译印,1962年11月。
- [2] 包国庆,物理通报,3(1962),145。