

物理化学实验研究方法

李元高摇主编

中南大学出版社

物理化学实验研究方法

内容简介

《物理化学实验研究方法》一书内容包括：实验数据的测量与处理、热化学实验方法、平衡实验方法、化学动力学实验方法、电化学实验方法、表面化学及胶体化学实验方法、量子化学计算方法实验等七章共 100 个实验项目。每章在介绍具体的实验内容之前，先介绍实验的目的意义、基本原理和基本研究方法，再提供相关的可供选择的数个实验项目。每个实验项目包括仪器与试剂、实验步骤、注意事项、数据处理、思考题等五个方面。书末附有常用物理化学数据表。本书可作为综合性大学理工科各专业的物理化学实验方法教材，也可供高校教师、实验室技术人员、研究生以及有关科技人员参考。

前摇摇言

化学实验与研究是创新能力培养的必由之路，其作用是理论教学所无法取代的。化学实验有其自身的系统性与教学规律，也不同于理论教学。如何保持化学实验自身的独立性和系统性，更大程度地发挥它在人才培养中应起的作用，是目前化学实验课程改革的方向。教学改革的新形势，呼吁具有鲜明特色的化学实验新教材的问世。

为了适应新世纪人才培养的需要，强调现代工程技术人才化学素质教育与创新能力培养，我们将传统的《无机化学实验》、《有机化学实验》、《分析化学实验》和《物理化学实验》四门实验课融合为一门新的实验课程——《工科大学化学实验》。该课程以物质制备（含无机合成和有机合成）为龙头，将化学基本操作、物理化学实验研究方法和现代分析手段有机融合，呈现给学生一个完整的工科化学实验知识体系。

全书分三册出版，包括：《化学基本操作与物质制备实验》分册、《物理化学实验研究方法》分册和《现代分析化学实验》分册。三个分册既前后呼应又相对独立，体现了化学实验体系的网络性与模块性，不仅满足于“四大化学实验融合”的教学改革的需求，也适用于“四大化学分别设课”的传统教学的需求，并能兼顾不同专业学生对化学实验课程的不同需求。

在编写方法上，改变了传统的以实验项目为线索的编写方法，而采用了以实验基本方法和手段为线索的编写方法，每一章先介绍有关的基本原理、基本手段和基本仪器，再配上可供选择的多个实验项目，增加了综合性、设计性实验内容。在实验手段的介绍上，强调了知识的完整性。而在实验项目的安排上，强调了内容的可选性。学生可以在完成基本要求的前提下，根据自己的能力和兴趣选做不同的实验内容，有助于提高学生学习的主动性，有利于学生能力和素质的培养。

《物理化学实验研究方法》分册包括：实验数据的测量与处理、热

化学实验方法、平衡实验方法、化学动力学实验方法、电化学实验方法、表面及胶体化学实验方法和量子化学计算方法实验等七章共 106 个实验项目。本书编写特点如下：

(员) 在介绍各类具体实验内容之前，集中介绍了相应的实验原理、实验方法和实验手段，有助于学生全面掌握实验理论、实验技术技能和研究方法，触类旁通，培养创新意识。

(圆) 突破学时的限制，提供了较为丰富的实验内容，为开放实验室提供条件，有助于培养学生学习的主动性。书中未附仪器使用说明，要求学生在使用仪器前仔细阅读实验室已准备的仪器说明书，有助于提高自学能力，也提高了教材的通用性。

(猿) 将科研成果转化为教学实验内容，将经典实验与现代仪器实验相结合，并对传统实验仪器进行仪表化、数字化和智能化改造，提高了实验的技术水平，改善了实验环境，有助于学生理论联系实际，提高学习的积极性。

(源) 本书全面贯彻我国法定计量单位的名称和符号。

本书由李元高主编。参加本书编写工作的有：李元高（第一、二、五、六、七章）；唐爱东（第三、四章）。

全套书由关鲁雄负责组织编写。全书在构思过程中得到了张平民教授的大力帮助、指导，在编写过程中还得到了中南大学化学化工学院领导和教职工的大力支持，在此深表谢意。

目摇摇录

第一章摇物理化学实验数据的测量与数据处理 (员)

摇摇科学测量与误差 (员)

摇摇科学测量 (员)

摇摇误差的分类及特点 (圆)

摇摇测量的准确度与测量精密度的表示 (猿)

摇摇最小读数精密度(或最小分度)和相对精密度 (缘)

摇摇可靠程度的估计 (缘)

摇摇有效数字 (苑)

摇摇间接测量中的误差传递 (愿)

摇摇物理化学实验原始数据的测量 (员园)

摇摇原始数据 (员园)

摇摇原始数据测量的要求 (员园)

摇摇影响原始数据测量精密度的因素 (员园)

摇摇可疑原始数据的舍弃 (员园)

摇摇自动化仪器测量和人工测量 (员源)

摇摇实验方法设计的思想模式 (员源)

摇摇设计的任务与内容 (员源)

摇摇设计原则和程序 (员缘)

摇摇教学实验设计举例 (员远)

摇摇实验数据处理 (员愿)

摇摇数据处理的意义 (员愿)

摇摇数据处理的方法和基本原则 (员愿)

摇摇图解法应注意的事项 (员怨)

摇摇最小二乘法及其应用 (圆)

摇摇回归分析法 (圆猿)

物理化学实验最终结果的评价	(105)
---------------------	---------

第二章 热化学实验方法

热化学实验基础	(106)
---------------	---------

热化学实验的意义及目的	(106)
-------------------	---------

热化学实验原理	(106)
---------------	---------

量热计温度变化与量热反应温度的测量	(107)
-------------------------	---------

量热计能当量的标定	(107)
-----------------	---------

量热方法分类和量热计类型	(107)
--------------------	---------

几种量热计简介	(107)
---------------	---------

绝热型量热计	(107)
--------------	---------

热导式量热计	(108)
--------------	---------

示差扫描量热计	(108)
---------------	---------

溶液的偏摩尔性质实验方法	(108)
--------------------	---------

量热实验	(108)
------------	---------

实验一 燃烧热的测定	(108)
------------------	---------

实验二 溶解热的测定	(109)
------------------	---------

实验三 表观摩尔体积和偏摩尔体积的测定	(109)
---------------------------	---------

第三章 平衡实验方法

平衡实验的目的与意义	(109)
------------------	---------

相变平衡实验方法	(109)
----------------	---------

相变平衡实验的范畴	(109)
-----------------	---------

相变平衡实验方法	(109)
----------------	---------

相变平衡实验的基本测量量与误差来源	(110)
-------------------------	---------

化学反应平衡实验方法	(110)
------------------	---------

化学反应平衡的研究范畴	(110)
-------------------	---------

化学反应平衡确证的方法	(111)
-------------------	---------

化学反应平衡实验方法	(111)
------------------	---------

平衡实验中的混合气体配置	(111)
--------------------	---------

实验一 平衡实验	(100)
实验四 液体饱和蒸气压和平均汽化热的测定	(100)
实验五 双液系气液平衡沸点 组成相图	(100)
实验六 差热分析 (100)	(100)
实验七 合金相图 (设计性实验)	(100)
实验八 热分解压与分解热测定	(100)
第四章 化学动力学实验方法	(100)
一、化学动力学实验的意义、范畴及技术前提	(100)
(一) 化学动力学实验的意义	(100)
(二) 化学动力学实验的研究范畴	(100)
(三) 化学反应动力学实验的技术要求	(100)
二、恒温化学反应动力学实验方法	(100)
(一) 方法分类	(100)
(二) 化学法	(100)
(三) 物理法	(100)
(四) 流动法	(100)
(五) 流动法反应器	(100)
(六) 恒温化学反应动力学实验的基本测量量与误差来源	(100)
三、非恒温化学反应动力学实验方法	(100)
(一) 热重分析的反应动力学	(100)
(二) 差热分析的反应动力学	(100)
四、快速反应动力学研究的弛豫法	(100)
五、化学振荡反应的实验方法	(100)
六、化学动力学实验	(100)
实验九 一级反应——过氧化氢分解反应速率测定	(100)
实验十 二级反应——乙酸乙酯皂化反应动力学	(100)
实验十一 金属氧化速率的测定	(100)
实验十二 热分解反应动力学参数的测定	(100)
(非等温热重法)	(100)

实验十三摇月原在化学振荡反应动力学	(员怨怨)
-------------------------	--------

第五章摇电化学实验方法

(员圆)

摇电化学实验的意义及其研究范畴	(员圆)
-----------------------	-------

摇电化学实验的意义及目的	(员圆)
--------------------	-------

摇电化学实验的研究范畴	(员圆)
-------------------	-------

摇电解质溶液电导和迁移数的测量方法	(员猿)
-------------------------	-------

摇电导池的等效电路原理	(员猿)
-------------------	-------

摇溶液电导的测量方法	(员源)
------------------	-------

摇电导池	(员缘)
------------	-------

摇迁移数的测量原理	(员远)
-----------------	-------

摇迁移数的测量方法	(员愿)
-----------------	-------

摇电动势与电极电势的测量方法	(员圆)
----------------------	-------

摇电动势测量原理及设备	(员圆)
-------------------	-------

摇电极电势的测量及参比电极	(员圆)
---------------------	-------

摇热力学平衡电极电势的条件	(员圆)
---------------------	-------

摇电极过程动力学实验方法	(员源)
--------------------	-------

摇恒电流极化曲线法测量电极过程动力学参数的原理	(员缘)
----------------------------------	-------

摇旋转圆盘电极动力学测量方法	(员愿)
----------------------	-------

摇计时电势法	(员怨)
--------------	-------

摇恒电势极化曲线测量	(员源)
------------------	-------

摇计时电流法	(员猿)
--------------	-------

摇交流阻抗法	(员源)
--------------	-------

摇电池及其材料的电化学容量充放电测量方法	(员苑)
----------------------------	-------

摇电化学实验	(员圆)
--------------	-------

实验十四摇电导法测定弱电解质的电离常数	(员圆)
---------------------------	-------

实验十五摇迁移数的测定	(员猿)
-------------------	-------

实验十六摇用电位差计测定电动势和 责 _阅 值	(员远)
---	-------

实验十七摇分解电压的测定	(员圆)
--------------------	-------

实验十八摇阴极极化曲线的测定	(员猿)
----------------------	-------

实验十九摇电池制作及其电化学容量充放电曲线的测定

(设计性实验) (员源)

第六章摇表面化学及胶体化学实验方法 (员苑)

摇表面化学及胶体化学实验研究的意义、范畴及特点 (员苑)

摇表面化学及胶体化学实验的意义 (员苑)

摇表面化学及胶体化学实验的研究范畴 (员苑)

摇表面化学及胶体化学实验的特点 (员愿)

摇固 原气表面体系的实验方法 (员愿)

摇固 原气表面体系吸附量的测量方法 (员愿)

摇固 原气吸附常数及固体表面积的求法 (员猿)

摇固 原气吸附热的测量 (员缘)

摇液 原气表面体系的实验方法 (员远)

摇液 原气表面张力的测量 (员苑)

摇液 原气表面体系表面张力数据的应用 (员园)

摇凝聚相间界面体系的实验方法 (员源)

摇接触角的测量 (员源)

摇固 原液界面体系吸附量的化学法测量 (员远)

摇用电化学法研究固 原液界面、液 原液界面的吸附.....

..... (员苑)

摇固 原液界面体系的动电电位的测量 (圆员)

摇一些重要的分散体系的实验方法 (圆源)

摇表面化学及胶体化学实验 (圆苑)

实验二十摇溶液表面张力测定——最大气泡压力法 (圆苑)

实验二十一摇云藻韵匀₂溶胶的制备及聚沉值的测定 (圆远)

实验二十二摇电泳实验 (圆猿)

实验二十三摇沉降分析 (圆远)

实验二十四摇接触角测定 (圆愿)

实验二十五摇固体比表面积测定 (圆园)

第七章摇量子化学计算方法实验	(圆原)
苑圆应用量子化学计算方法进行计算的意义	(圆原)
苑圆应用量子化学计算方法进行计算的目的	(圆原)
苑圆量子化学计算实验的原理	(圆原)
实验二十六摇量子化学计算软件的使用——构建分子结构模型	(圆原)
实验二十七摇量子化学计算实验	(圆原)
附录一摇国际单位制(杂) 及其他常用单位换算	(圆原)
附录二摇重要的物理化学常数表	(圆原)
附录三摇我国常用热电偶分度表	(圆原)
参考文献	(圆原)

第一章摇物理化学实验数据 摇摇摇摇的测量与数据处理

摇摇

1 摇摇科学测量与误差

1 摇摇科学测量

在科学实验和生产过程中,为了掌握事物的发展规律,总要通过各种方法对某些物理量进行科学测量,得到许多数据。但由于外界的随机扰动,这些数据实际上是带有随机误差的近似数据,对这些数据必须根据需要进行合适的处理。一方面要估计观测数据的可靠程度,并给以合理的解释;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,或者对带有误差的数据进行分析处理,把干扰“过滤”掉,得出真正需要的量。前者需要误差理论的基础知识,如高斯误差定律、各种平均值的计算法、误差的表示法、误差传递和近似计算法等;后者则需要处理数据的基本技术,如插值法、曲线拟合法、实验数据的光滑法和滤波方法等,此外还需有合适的数据表达方式,如列表法、数学方程式表示法和图解法等。

物理化学实验对某一体系的物理化学性质与其化学反应间的关系进行研究,就是以测量体系的某些物理量为基本内容,然后对所测出的数据加以处理,从而得到某些重要的规律。

测量一个物理量,通常是将这一物理量与规定的标准单位或标准量相比较。标准单位均有国际标准,由各个国家统一管理和执行。实验者用于进行科学测量的仪器,在生产厂家制造它时,都必须以标准单位为准,进行检验或校正。

一切物理量的测量可分为直接测量和间接测量两种。测量结果直接

用测量所得的数据表示的,称为直接测量。例如用天平称量物质的量,用温度计测量物体的温度等,均属于直接测量。测量结果若要由若干直接测量的数据,应用某种公式通过计算才能得到的称为间接测量。例如某种物质的燃烧热、某化学反应的平衡常数等,均属于间接测量。

1. 测量误差的分类及特点

误差理论的提出,是因为处理实验结果之前,首先应考虑所用测试的方法及其所得结果是否可靠、准确。这就需要有一个估价的准则。由于所使用的仪器、方法和人的感觉器官及环境条件的限制,实验测得的数据只能达到一定程度的准确性。因此了解在一定条件下所能达到的准确限度,对实验的分析、处理和评价才有可靠的客观基础。要知道,单个基本测量完全等于真值是一种无法达到的奢求。无论如何,一个严格、精确的测量也只能在一定的数量级范围内达到或接近真值。

在任何一种测量中,无论所用的测量仪器多么精密,实验者多么细心,所得结果常常不能完全一致,总有一定的误差或偏差。严格地说,误差是测量值与真值之间的差值,偏差是测量值与平均值之间的差值。根据误差的性质和来源,可以将误差分为系统误差和偶然误差,此外还有所谓过失误差。过失误差是一种不应该有的人为错误。

系统误差是测量过程中,由某种未发觉或未确认的影响因素在一起作用而产生的误差。系统误差的来源有:

(一) 仪器误差 它是由于仪器不良,或校正与调节不当所引起的。这种误差可以通过一定的检定方法发觉出来,并可以进行校正。

(二) 试剂误差 试剂中存在的杂质常会给测量结果带来极其严重的影响,使测量结果不准确。因此试剂的纯制是科学测量的一件十分重要的工作。

(三) 环境误差 由于仪器使用环境不适当,或外界条件(温度、大气压、湿度及电磁场等)发生恒向变化,引起的误差。

(四) 方法误差 测量方法所依据的理论不完善所产生的误差称为方法误差,它可以通过不同测量方法的对比实验来进行检核。

(五) 人身误差 由测量者的感觉器官的不完善,或个人的不恰当视读习惯所造成的误差。

偶然误差是某些无法发觉,无法确认和无法控制的影响因素所引起

[摇表]

的。偶然误差有时大,有时小,有时正,有时负,方向不一定。偶然误差完全服从统计规律,误差大小以及正、负误差出现的情况由几率决定。偶然误差的正态分布曲线如图 1-1 所示。它的解析式可定义为

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{n}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}$$

式中 y 是 n 次测量中偶然误差 δ 出现的几率,即

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}$$

σ 称为均方根误差, σ 愈小,误差分布曲线愈尖锐,即较小的偶然误差出现的几率大。这就表明测量的精密度愈高, σ 愈大,否则情况相反。因此均方根误差完全表征着测量精密度,故一般采用它作为评价精密度的标准。由于这个原因,所以又称它为标准误差。

对于偶然误差,其算术平均值 $\bar{\delta}$ 随测量次数 n 的无限增加而趋于零,即

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \rightarrow 0$$

因此,为了减小偶然误差的影响,在实际的测量中常常对被测量的物理量进行多次测量,以提高测量的精密度或重现性。

1.1 测量的准确度与测量精密度的表示

前已介绍测量误差与测量偏差是有区别的,但它们均可以用绝对误差(偏差)或相对误差(偏差)表示,即

$$\text{绝对误差 } \delta = \text{测量值} - \text{原真值}$$

$$\text{绝对偏差 } d = \text{测量值} - \text{原平均值}$$

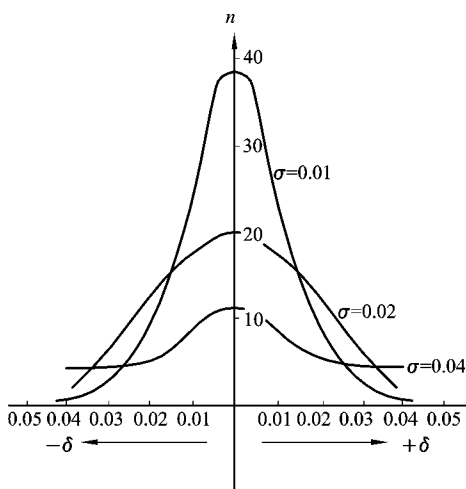


图 1-1 偶然误差正态分布曲线

[摇原]

绝对误差 $\delta_{\text{重}}$ 伊 圆 像
摇摇摇摇相对误差 越 $\frac{\text{绝对误差 } \delta_{\text{重}}}{\text{真值 曾}}$

绝对偏差 $\Delta_{\text{重}}$ 伊 圆 像
摇摇摇摇相对偏差 越 $\frac{\text{绝对偏差 } \Delta_{\text{重}}}{\text{平均值 曾}}$

实际运算中总是用 $\Delta_{\text{重}}$ 代替 $\delta_{\text{重}}$, 因此在使用绝对误差(偏差)表示时, 一般多采用以下各式, 即

平均误差(偏差) 摇 $\bar{\epsilon}$ 越 $\frac{\sum_{\text{重}} \Delta_{\text{重}}}{\text{灶}}$

标准误差(偏差) 摇 σ 越 $\sqrt{\frac{\sum_{\text{重}} \Delta_{\text{重}}^2}{\text{灶}}}$ (观测次数 灶无限时)

σ 越 $\sqrt{\frac{\sum_{\text{重}} \Delta_{\text{重}}^2}{\text{灶}-1}}$ (观测次数 灶有限时)

或然误差(偏差) 摇 $\Delta_{\text{重}}$ 伊 圆 像

在定义上, 测量的准确度与测量的精密度也有区别。准确度是指测量值偏离真值的程度, 表示测量结果的准确性大小; 而精密度是测量值偏离平均值的程度, 可表示测量结果的重现性大小。对于准确度和精密度的理解, 也可用打靶的例子来说明。图 员原圆中(葬)(遭)和(糟)表示三个射手的成绩, 斜纹圈处表示靶眼, 是射击的目标。由该图可见, 图(葬)表示准确度和精密度都很高, 图(遭)因能够密集射中一个区域, 就精密度而言是很高的, 但准确度不够高; 至于图(糟)则准确度和精密度都很不高。在实际的测量中, 尽管其精密度很高, 但它的准确度不一定很高。因此高精密度不能保证有高准确度, 但高准确度就必须有高精密度来保障。在没有系统误差时, 准确度和精密度才是一致的。

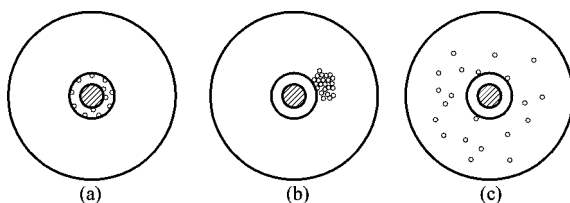


图 员原圆 准确度与精密度示意图

[摘要]

在实验中,测量准确度的表示通常取测量误差的表示法,而测量精密度的表示也就取测量偏差的表示法。

1. 测量最小读数精密度(或最小分度)和相对精密度

如果一个温度的测量值为(25.00°C)^①,此(0.01°C)^②也是精密度的一个量度,可以把这个值叫做最小数精密度。它是用与测量值相同的单位表示的。也可用相对精密度来表示测量的精密度,它定义为测量值的相对不确定性,由最小读数精密度除以测量值而得到,其结果可以表示为百分之几或千分之几。例如有两个测量值(25.00°C)^③和(25.0°C)^④的最小读数精密度都是(0.01°C)^⑤,但它们的相对精密度则分别为(0.01%)^⑥和(0.04%)^⑦。由此可见,最小读数精密度依赖于测量仪器,而相对精密度依赖于测量仪器,也依赖于测定值的大小。最小读数精密度有单位,而相对精密度则是量纲为一的。

1. 测量可靠程度的估计

虽然平均误差(偏差) ϵ 或标准误差(偏差) δ 的计算不繁难,但须测量次数 $n \geq 10$ 始能得到测量值的可靠程度。而大部分物理化学实验,多数只测一两个数值便可以,否则需要增大几倍工作量。若使用有等级的仪器,从仪器规格可估计出测量值的可靠程度。但这种测量存在按仪器规格所列的最大的绝对误差 Δ (或为最大相对误差 δ)。

对于称量天平,多数已用“级”来表征其精密度。采用的是该天平最大载重量的 $\frac{1}{10^4}$ ^①之值为其灵敏度或最小分度值,并以此值的可靠程度来分等级,有一级直至七级的天平。在有等级的天平中,同是感量为万分之一克的天平,其实际准确度还要看天平标出的级数。例如四级光学读数分析天平,它的光标最小分度为(0.01mg)^②(即光标上的每一小格),且读数可估计到(0.005mg)^③或更小,但由于结构上的不等臂性及其他不稳定性^④的值较大,其误差范围的最大值是(0.01mg)^⑤或(0.02mg)^⑥。实际测定时,其零点漂移常有(0.01mg)^⑦格,因此,光学读数主要方便于读数的判别,减少人为误差。在条件变化不大时,短期的相对称量中可较好地提高精密度,但对提高称量的绝对准确度用处不大。同样,天平梁上的重心调节锤,可调节灵敏度,增大游码的感量,但不能克服天平零点的漂移和超过某一准确

度。

除天平本身外,砝码的质量是否接近标称的真值尤为重要。砝码也分等级,例如二级砝码中的 100g 砝码,允许误差范围是 ± 0.0005 g,10g 砝码则是 ± 0.0002 g,而三级砝码的允许误差范围则规定得大一些。这些都是指最大允许误差。

如果采用单盘天平,由于样品称量和砝码加减均同在一臂进行,因此它消除了不等臂性带来的影响,砝码的组合误差也比双臂天平要小。

电表也是物理化学实验中常用的仪器,它也分等级,所指级数即准确度的级别,用电表面板满量程刻度的百分数标出。若为一级电表,当满量程为 10V 时,则最大平均误差为 ± 0.02 V;若为 0.5 级电表则为 ± 0.01 V。如果是多档电表,有 10V、1V 和 0.1V 等三个量程。对 10V 档而言,一级电表的准确度只能是 ± 0.02 V。倘若用这一档去测量 1V 以下的电压,如电表上指示为 0.8V,则读数的最大误差范围可达 $(\pm 0.02 \times 10) \pm 0.02$ V。若用 1V 档去测量时,其读数的最大误差范围则为 $(\pm 0.02 \times 1) \pm 0.02$ V。其准确度当然比用 10V 档量程好得多。因此在使用这类电表时,应充分利用某一电表所能达到的最佳准确度这一性能。

较复杂的仪器,如电位差计,亦是分级别的,与电表的分级定义大致相同。但由于其内部接点较多,接触电阻较大,各元件电阻的阻值质量也难保证一致,因此另有计算公式计算其准确度(附在仪器的出厂说明书中)。

温度计在物理化学实验中最常用,各种类型的温度计或测温仪器亦有等级以示其准确度。物理化学实验中常用的各种容积测量量具,如移液管、容量瓶和滴定管等亦有等级。如一等品中的 10mL 移液管,它的允许误差范围是 ± 0.02 mL,二等品则为 ± 0.04 mL。

上述所介绍的一些仪器,都是比较精密的,有可靠的厂家生产。如果是较新的或证明是可靠的仪器,使用时便可以按其级别估计其准确度,并计算实验的最大误差。但要注意这些精密仪器,如果使用不当,便会迅速降级,故需常常进行调整和校正,检核仪器的级别是否名副其实。

对于一些光学仪器和电子仪器,由于各有其技术条件,往往比较复杂,性能指标较多,因此可靠程度的估计比较难。

1.1 有效数字

在前面介绍的绝对误差和相对误差中,实验测定的物理量真值 曾的结果应表示为 曾,即 曾有一个不确定范围 葬。因此在具体记录和运算数据时,没有必要将 曾的位数记得超过 葬所限定的范围。例如某一称量,所得结果为(圆缘猿依圆用猿)早,其中 圆缘猿都是完全确定的,末位数字缘则不确定,它只告诉出一个范围是 圆~ 愿。通常将完全确定的数字和最末位有疑问的数字一起称为有效数字。记录和运算时,仅需记有效数字,多余的数字都不必记。若某数据的原始范围不能确定,则该数据最后一位数字的不确定范围习惯上取为 依员。然而在物理化学实验中,除了可靠并有等级的仪器能按其所规定的误差填写外,一般仪器的精密度或重现性大都难于优良到不确定范围为 依员的情况,故这个数字可取用到 依猿,甚至 依缘。

为了使观测数据、所记录的数据有一个科学的约定,根据上述讨论及某些定义和要求,在记录数据时应遵守记数法则,即

(员)记录数据时只保留一位可疑数字,可疑数字表示末位有 依员个单位(或 依缘个单位)的误差。

(圆)表示准确度时大多数情况下只取一位有效数字,最多取两位有效数字。

(猿)在数据运算中,有效数字的位数确定之后,其余数字一律按四舍五入法舍去。

(源)为了方便表示和乘除等运算、明确地表明有效数字,一般常用指数表示法。如下列数据 员圆源、圆缘猿和 圆缘猿都是四位有效数字;但遇到 员圆源时,就很难讲后面三个“圆”是否为有效数字。为了避免这种困难,上列数据通常以如下指数形式表示,即取 员圆源伊员园^猿、圆缘猿伊员园^猿和 圆缘猿伊员园^猿。这就清楚地表明了它们都是四位有效数字。

(缘)使用运算工具,要注意它能否满足原始数据的测量精密度的要求。一般而言,计算尺只能保障三位有效数字,多位数学用表(四位、五位或六位)能保障多位有效数字。现在广泛使用的函数计算器、可编程程序计算器及微型电子计算机则可能提供更多位数的数据运算。但使用它们也要注意避免出现凑整误差。