

工程化学实验

杨桂荣 蔡训织 程佩珞 主编

浙江大学出版社

(浙)新登字 10 号

工程化学实验

杨桂荣 蔡训织 程佩珞 主编

责任编辑 陈晓嘉

* * *

浙江大学出版社出版

浙江大学出版社计算机中心电脑排版

杭州富阳何云印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

* * *

850×1168 32 开 4.75 印张 132 千字

1993 年 8 月第 1 版 1995 年 4 月第 3 次印刷

印数: 4001—9000

ISBN 7-308-01466-5/O · 167 定价: 5.00 元

如发现书中有缺页、倒页和破页,请持此证到杭州富阳何云印刷厂调换
地址:富阳何云 邮编:311404 电话:0571-3201054

前 言

本书是与浙江大学陈林根编著的《工程化学》配套的实验教材。共编入十二个实验,每个实验用二学时完成,使用时可根据总课时多少加以取舍。

化学是一门实验科学。化学实验教学对培养学生科学实验技能、树立运用化学的观点来观察和处理实际问题等,有着十分重要的作用。工程化学课程是对工科院校普通化学教学作了改革的课程。它以立足化学、面向实际、强调应用为基本特点,是联系工程实际应用的现代化学导论。本书编者力图在选题和取材上尽可能反映工程化学的这一特点,所编写的每个实验都有一定的理论性、可行性和适用性,同时考虑了一些常用仪器设备的使用和化学基本操作的练习。这些实验都是一般院校普通化学实验室稍加努力便可开出的。考虑到一般的工科专业都与材料特别是金属材料密切相关,故实验中涉及材料方面的内容略为偏重。此外,在部分实验中引入了微型实验技术,有一个实验设计了计算机的应用。

本书实验的取材,除吸取了普通化学和其他相关学科的较好的内容外,还包含了使用过《工程化学》教材的院校在改革普通化学实验、摸索开设工程化学实验的教学实践中所积累的经验和资料。各校给编者寄来了不少稿件和实验讲义。编者尽可能在取材时吸收了各校有特色的好的内容。因此可以说本书实际上是采用《工程化学》教材的各院校教师的集体作品。

给编写本书提供素材的学校有：浙江大学、上海工业大学、衡阳工学院、重庆工业管理学院、南京林业大学、南京航空学院、湖北汽车工业学院、山东工程学院、天津理工学院、中国计量学院、郑州航空工业管理学院、杭州师范学院等。初稿经天津理工学院进行了试用评审，并在1992年8月召开的第二届工程化学教材教学研讨会上进行了讨论，几所试用的学校都反映较好，大家认为《工程化学实验》既包含化学基本理论应用和基本技能训练，又与工程实际相结合，有一定新意。之后，衡阳工学院又试用了一届。此间编者对某些实验反复进行了试做和改进。1993年4月下旬在衡阳工学院召开了有浙江大学、上海工业大学、天津理工学院、郑州航空工业管理学院、衡阳工学院的八名教师参加的《工程化学实验》审稿定稿会。与会教师本着加强基础、体现工程特点、引进实验新技术的精神，对实验的选题和取材作了适当调整，增编了两个实验，并对初稿逐字逐句进行推敲，统一了计量标准和符号。

在本书编写过程中，陈林根先生作了大量组织和指导工作，并最后和陈金龙同志一起负责主审。

编写的“分工”是杨桂荣（衡阳工学院）编写前言、学生实验规则、实验室安全守则、有效数字及数据处理、实验六、七、八及附录，并负责统稿、定稿；蔡训织（浙江大学）编写实验一、二、三；程佩珞（上海工业大学）编写实验四、五、九；李首代（天津理工学院）编写实验十；刘军坛（郑州航空工业管理学院）编写实验十一；陈嘉华（重庆工业管理学院）编写实验十二；计算机应用程序由方天齐（浙江大学）编制。由于编者水平有限，缺点甚至错误在所难免，恳请同行和读者批评赐教。

编 者

1993年5月

目 录

学生实验规则.....	1
实验室安全守则.....	3
有效数字及数据处理.....	4
实验一 物质的精确称量	11
实验二 物体的热容和化学反应焓变的测定	19
实验三 水溶液中的离子平衡	31
实验四 水质及水的净化	42
实验五 氧化还原反应与电化学	52
实验六 金属的电化腐蚀及其防止	62
实验七 含铬废水的处理	70
实验八 表面活性剂及其应用	80
实验九 金属表面的化学处理	89
实验十 设计性实验——硫代硫酸钠的制备和性质试验.....	102
实验十一 反应级数、速率常数和活化能的测定	105
实验十二 有机高聚物的简易鉴别及粘接.....	113
附录 I 常见元素原子量表.....	120
附录 II 化学试剂的规格.....	122
附录 III 不同温度下水的饱和蒸气压.....	123
附录 IV 一些常见弱电解质在水溶液中的离解常数.....	125
附录 V 一些常见物质的溶度积.....	127

附录 VI	一些配离子的稳定常数·····	129
附录 VII	标准电极电势·····	131
附录 VIII	常见离子的主要鉴定反应·····	139

学生实验规则

1. 按实验的预习要求充分做好预习工作,搞清实验的目的要求、内容、基本原理、操作步骤及注意事项,写出必要的预习报告(包括实验工作安排、必要的计算、实验的预期结果、数据记录和整理表格等),准备回答思考题的提问。

2. 实验前应先清点仪器,若有短缺和破损,应报告教师并补领,实验中仪器若有损坏,应报告教师,按规定办理手续并换取新仪器。未经教师同意,不得挪用他组的仪器。

3. 实验必须严格按指导书的操作方法进行,废物、废液不得乱丢乱倒,应投入废物篓或倒入废液缸。注意安全,保持台面、地面的整齐清洁。

4. 实验时应保持肃静,集中思想,积极思考问题,认真操作,细心观察现象,如实记录结果。

5. 要爱护公物,谨慎使用仪器和实验设备,注意节约水、电、药品,使用精密仪器应严格按操作规程进行,若发生故障,应立即停止使用并报告教师。

药品应按需用量取用,自药品瓶中取出的药品,不应倒回原瓶中,以免带入杂质;取用药品后应立即盖上瓶塞,以免搞错瓶塞,沾污药品,并及时将药品放回原处。

6. 实验完毕,应切断仪器电源,将玻璃器皿洗涤干净,放回原处,整理好台面,打扫干净水槽和地面,洗净双手。

实验室内的一切物品不得带离实验室。

7. 实验结束后,应抓紧做好实验报告。实验报告要求格式合理、记载清楚、文字简练、结论明确、书写整齐清晰;报告的格式可根据不

同实验自行设计,一般应包括以下几部分:实验题目、实验目的、简要操作步骤和数据记录、反应方程式、数据处理(计算、作图、误差等)、结论和讨论、问题回答。

实验室安全守则

化学实验常用到很多易燃、易爆、有腐蚀性和有毒的药品,所以要十分注意安全问题,既不能有惧怕思想,又不能麻痹大意,要了解有关安全注意事项,严格按规程操作,集中注意力,以避免事故的发生。

1. 不要用火焰直接加热烧杯、烧瓶,应间隔石棉网;加热装有反应物的试管时,不要将管口指向别人或自己;不要俯视正在加热的液体,以免液体溅出伤害面部。

2. 酒精灯应随用随点,不用时盖上灯罩;不得在已点燃的酒精灯上去点燃酒精灯,以免酒精溢出而失火。

3. 浓酸、浓碱有很强腐蚀性,切勿溅在衣服、皮肤,尤其是眼睛上;稀释浓硫酸时,一定要将酸慢慢倒入水中,不能将水往酸里倒,以免迸溅。

4. 易燃、易爆药品,应尽可能远离火源,取用完毕应立即盖紧瓶塞。

5. 涉及有毒或有刺激性气体产生的实验,应在通风橱内(或通风处)进行。

6. 有毒药品(氰化物、砷、汞化合物、高价铬盐、钡盐、铅盐等)不得进入口内或接触伤口,也不能随便倒入下水道。

7. 实验过程中严禁饮食、吸烟,实验完毕应关好电源、水龙头、气源,洗净双手,方可离开。

有效数字及数据处理

一、有效数字

实验中经常要测量某些物理量,如质量、浓度、容积等,从测量仪器上能直接读出(包括最后一位估计数在内)的几位数字称为有效数字,有效数字的位数与测量用的仪器的精度有关,如在台天平上称得某物体重为 5.6g,由于台天平的精度(包括估计值能准确称出的重量)为 0.1g,因此该物体的质量为 $(5.6 \pm 0.1)\text{g}$,其有效数字是 2 位;如该物体在分析天平上称重为 5.6155g,因分析天平的精度为 0.0001g,因此该物体的质量为 $(5.6155 \pm 0.0001)\text{g}$,有效数字是 5 位。再如用滴定管量取液体时,由于滴定管总容积一般不超过 50mL,能估计测量的最小容积为 0.01mL,故所得有效数字一般是 4 位,有效数字的最后一位数不是十分准确的,如滴定管读数为 23.43mL,不能写作 23.430mL,也不能写作 23.4mL,前者夸大了测量的精确度,后者则缩小了精确度。有效数字的位数可用下面的数值说明:

数 值	23.00	23.0	23	0.2030	0.0203	0.0023
有效数字位数	4 位	3 位	2 位	4 位	3 位	2 位

可见“0”可以是也可以不是有效数字,当“0”在其它数字前面时,它只表示小数点的位置,不是有效数字,在数字中间或后面则是有效数字。

在计算中,有效数字的取舍和运算应符合下列规则:

1. 记录数据时只保留一位可疑数字,其后的数四舍五入。

2. 若干数相加减时, 计算结果的小数点后的位数应与各数中小数点后的位数最少的数相同, 如 $21.32 + 0.0083 + 1.532$ 应表示为: $21.32 + 0.01 + 1.53 = 22.86$ 。

3. 乘除时有效数字的位数应以各数中有效数字位数最少的数为准, 与小数点的位置无关, 如 0.00121 、 1.0568 、 25.64 三个数相乘时, 应写为: $0.00121 \times 1.06 \times 25.6 = 0.0328$, 因为第一个数 (0.00121) 只有三位有效数字, 所以各数中均只保留三位有效数字。

4. 四个以上的数相加求平均值时, 平均值的有效数字可增加一位。

5. 某一数的第一位有效数字是 8 或 9 时, 该数的有效数字可多算一位, 如 8.15 可视为四位有效数字。

6. 对数运算时, 所取对数的位数与其真数的有效数字位数相同。如 $\lg 3.25 = 0.512$ 。

二、实验误差

1. 准确度、精密度和灵敏度

(1) 准确度 表示测量值与“真实值”之间的偏离程度, 用绝对误差或相对误差表示, 主要由系统误差所决定。“真实值”是指用校正过的仪器多次测量所得的算术平均值或载于文献的公认值。

(2) 精密度 表示各次测量值之间的符合程度, 即测量结果的重现性, 用绝对偏差或相对偏差表示, 主要由偶然误差所决定。

高的精密度不一定能保证高的准确度, 但高的准确度必须由高的精密度来保证。

(3) 灵敏度 表示测量方法所能测得的被测成分的最低限量, 一般用最小检出量或最低浓度来表示。最小检出量以绝对量表示, 如灵敏度为 $0.1 \mu\text{g}$, 表示某方法可测出的最低量为 $0.1 \mu\text{g}$; 最低浓度表示某方法可以测出的最低浓度, 如灵敏度为 $0.05 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 表示每升溶液中可以测出的某成分的量 0.05mg 。

2. 误差的表示方法

绝对误差 = 测量值 - 真实值

相对误差 = $\frac{\text{绝对误差}}{\text{真实值}} \times 100\%$

绝对偏差 = 个别测定值 - 多次测量的平均值

相对偏差 = $\frac{\text{绝对偏差}}{\text{多次测量的平均值}} \times 100\%$

因为“真实值”也是经多次反复测量得到的平均值，所以通常并不太强调误差与偏差在概念上的区别，而统称为误差。绝对误差、相对误差都有正负之分，正值表示测量结果比真实值大，负值则表示测量结果偏低。比较各种测量的精度或评定测量结果的质量，采用相对误差更为合理。

3. 误差的来源和种类

误差是测量值与真实值之间的差值，根据其产生的原因分以下三类：

(1) 系统误差 由测量过程中某些经常发生的、恒定不变的原因造成，如仪器不准、未加校正；试剂不纯；方法自身的缺陷；环境条件（温度、压力、湿度等）变化的影响；测量人员的固有习惯或感官的差异等所导致的误差，这种误差的数值是恒定不变的，即在相同条件下，重复测量时会重复出现，误差的正负符号相同，故又称为固定误差、定值误差或恒差。系统误差的大小可以估计，并能设法减小或加以校正，如通过对照试验、空白试验、校正仪器等措施来消除或减小。

(2) 偶然误差 又称随机误差、无规误差、来源于某些难以控制的偶然因素，如实验条件（温度、压力等）的涨落，读数时估计仪器上最小分度的分数时偏大或偏小等等，偶然误差正负不定，故不能从实验中消除，但是，在相同条件下对同一物理量进行多次测量时，偶然误差的大小符合某种统计规律。随着测量次数的增加，偏大和偏小的几率几乎相等，偶然误差的算术平均值将逐渐趋近于零，测量次数越

多,偶然误差越小,一般测定次数超过10次,偶然误差便减小到足够小了,所以一般测定中,测量10次也就足够了。

(3)过失误差 又称不正当误差或疏失误差,由于操作不正确或错误、误记,读数或计算错误等原因造成,只要严格遵守操作规程,谨慎细心便可减少过失误差,进行平行试样的测量,反复实验和核算,可以发现过失误差从而加以纠正。

三、实验数据的表示和作图

实验的最终目的,不仅仅是测定数据,而且还要通过对实验数据进行整理、归纳和处理,从中分析和找出某些客观规律。

常用的数据表示和处理方法有下列几种:

1. 列表法

实验数据的初步整理就是列表,即将实验或研究结果以实验数据表的形式载于实验报告上。此法简单,被广泛采用,但制表不是随意的,要使人易从表中看出所研究的变量的关系,能作直观分析以及使用方便,为此,制表时应注意以下几点:

(1)每一表格应有完整、简明而又能恰当地说明问题的标题。

(2)表中每一行(或列)的开始,应标明该行(或列)变量的名称及量纲,切忌与数字写在一起,否则易引起混乱。习惯上,常将量纲用“/”与数字隔开。

(3)每行所记数据,应注意有效数字,即记录的数字应与测量的精度一致,位数过多或过少皆不正确。此外,小数点应对齐。

(4)自变量的排列一般要有规律地递增或递减。

2. 作图法

作图法是根据实验数据作出因变量随自变量变化的关系曲线图,其优点是能直接显示出因变量与自变量的依从关系,并可直接从曲线图求实验内插值、外推值、曲线某点的切线斜率、极值点、拐点及

直线的斜率与截距等,要作出与实验数据点位置偏差最小而又光滑的曲线图形,必须遵循下述作图规则:

(1)坐标纸及比例尺的选择 首先需选用适宜的坐标纸,最常用的为分度值相同的直角坐标纸(每 cm 分成10小格),当需将非线性关系变换为线性关系或某种特殊要求时,可用半对数坐标纸或双对数坐标纸,有时也用三角坐标纸。坐标比例选择也很重要,若选择不当,不仅会使曲线变形,甚至还能导致错误的结果,因此应注意:

①一般以横轴表示自变量,纵轴表示因变量,坐标分度要能表示出测量或计算结果的全部有效数字。

②图纸中每小格所对应的数值应便于读数,一般采用1、2、5及其倍数最方便,切忌采用3、7等奇数及其倍数。

③若作直线求斜率,则比例尺的选择应使直线倾角接近 45° ,这样求得的斜率误差最小。

④纵、横轴不一定由“0”开始,应视实验具体要求的数值范围而定,要充分利用图纸全部面积,使全图分布均匀合理。

(2)画坐标轴 选定比例后,应画上坐标轴,在轴旁说明该轴所代表变量的名称及单位,根据规定,坐标轴的标记应以纯数形式表达。如 T/K 、 $\ln(p/Pa)$,不要标成 $T(K)$ 、 $\ln P(Pa)$,纵、横坐标每隔一定距离应标出该处变量应有的数值,以便作图和读数;不应将实验值写于坐标轴旁或代表点旁。

(3)作代表点 将相当于测得数值的各点用 $\odot$ 、 $\square$ 、或 $\triangle$ 绘于图上,“ $\cdot$ ”表示测得数据的正确值、圆半径或方形边长表示精密度。

(4)作平滑曲线 画曲线最好通过尽可能多的实验点,但不必通过所有的点,只是应使曲线以外的实验点尽可能均匀、对称地分布于曲线两侧。

(5)写上图名

3. 图解法

图解法是对已得图形或曲线进一步进行计算与处理,以获得所

需结果的技术方法,其重要性不亚于作图法,图解术有内插、外延、求直线斜率与截距、曲线的直线化、图解微分、图解积分等,现举两例如下:

(1) 求直线的斜率与截距 一定条件下某实验测定自变量 x 与因变量 y 的数值如下:

x :	1.00	3.00	5.00	8.00	10.00	15.00	20.00
y :	5.4	10.5	15.3	23.2	28.1	40.4	52.8

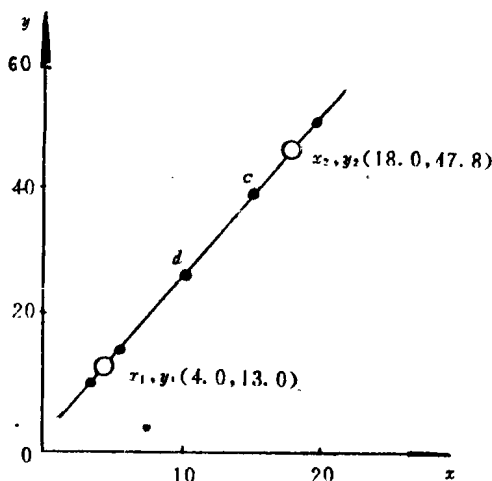


图 0-1

试用作图法建立 x, y 的数字关系式。

首先根据上述实测数据绘图如图 0-1。由图可见,数据点的排列为一直线,设用下列直线方程表示:

$$y = mx + b$$

式中的系数 m 与 b ,可由图中直线上取两点的坐标值来计算:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{47.8 - 13.0}{18.0 - 4.0} = 2.49$$

$$b = y_1 - mx_1 = 3.04$$

$$b = y_2 - mx_2 = 2.98$$

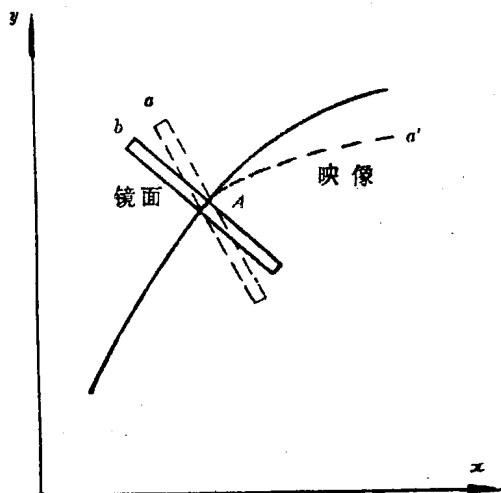


图 0-2 镜面微分法

$$b = \frac{1}{2}(b' + b'') = 3.01$$

b 值也可直接从直线与纵轴的交点读出。将 m 与 b 代入直线方程式中,得:

$$y = 2.49x + 3.01$$

在图上取点求斜率时,应注意取的两点不能过近,如果取图上 c 、 d 两点,将会带来较大的误差。

(2) 求曲线上某点的斜率(图解微分)—— 镜面微分法 如某实验得 x 、 y 的关系曲线如图 0-2 所示,在曲线需要确定斜率的某点(如 A 点)上,用一平面镜垂直和曲线相交,如图中 a 的位置,此时在镜中看见该曲线的映像为 a' ;当将镜面顺、反时针方向调节,直至镜前曲线的映像平滑不折地连着曲线本身为止,如图中 b 的位置,这时沿镜面所作的直线就是曲线上 A 点的法线,而后作通过 A 点的该法线的垂线,即为曲线上 A 点的切线。

实验一 物质的精确称量

一、目的要求

1. 了解电光天平的构造和使用方法；
2. 学习用直接法和减量法进行物质的精确称量。

二、提 要

精确测定一定物质的质量(准确到 0.0001g 或更小),是科技工作者经常碰到的问题。物质的精确称量一般使用分析天平。分析天平按其结构来说,有摇摆天平、阻尼天平、半机械电光天平、全机械电光天平、电子天平、微量天平等等。目前最通用的是半机械电光天平,它能称量的最大质量为 200g,一般称量精确度为 0.0001g,结构及使用请参见附录。

通常根据所称量物质的性质采用直接法或减量法进行称量。

对不易吸湿、在空气中性质稳定的固体物质或试样,常采用直接法称量,即直接称量或将试样置于蜡光纸或表面皿上直接称量。

对易吸湿或在空气中不稳定的试样,则要用减量法进行称量。该试样一般盛放在称量瓶中,称量瓶置于干燥器中。称量时,从干燥器中取出称量瓶,先在台天平上粗称,再置于电光天平上精确称出其质量 m_2 ,然后小心倾倒试样直至所需质量的试样为止。称出该称量瓶的最终质量为 m_1 ,则 $(m_2 - m_1)$ 即为所需要称量的试样质量。