

物 理 化 学 实 验

主 编 刘勇健 孙 康
副主编 庄 虹 高庆宇 刘家辉

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验/刘勇健,孙康主编. — 徐州:中国矿业大学出版社, 2005. 2

ISBN 7 - 81107 - 019 - 7

I. 物… II. ①刘…②孙… III. 物理化学—化学实验—高等学校—教材 IV. O64-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 005389 号

书 名 物理化学实验

主 编 刘勇健 孙 康

责任编辑 褚建萍

责任校对 孙 景

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮政编码 221008)

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 印张 13.25 字数 249 千字

版次印次 2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

印 数 1~3000 册

定 价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

根据教育部“高等教育面向二十一世纪教学内容和课程体系改革计划”的精神；并根据世界银行《高等教育发展》项目建设、物理化学学科的发展以及化学素质教育的需要，我们编写了《物理化学实验》教材。

本教材旨在通过实验培养学生发现和解决实际问题的能力，增强学生的创新意识和探索精神。教材中介绍的实验内容有热力学、电化学、动力学、表面现象和胶体化学、结构化学共五个方面 30 个实验，每个实验的编写均由目的、原理、仪器与试剂、实验步骤、数据处理及思考题等内容构成，并将一些基础知识、实验仪器使用方法、常用数据以附录形式给出，以便学生在教师的指导下能独立地进行实验。

参加本书编写的有刘勇健、孙康、庄虹、高庆宇、刘家辉等同志；全书由刘勇健、孙康统稿。

由于我们水平有限，书中疏漏、错误之处在所难免，敬请专家和广大师生批评指正。

编 者

2005 年 1 月

目 录

绪 论	1
-----	---

热力学实验

实验一 恒温槽的装配及其性能测试	13
实验二 燃烧热的测定	18
实验三 中和热的测定	26
实验四 化学平衡常数及分配系数的测定	29
实验五 液体饱和蒸气压的测定	32
实验六 色谱法测定无限稀释活度系数	35
实验七 凝固点降低法测定分子量	39
实验八 氨基甲酸铵的分解平衡	42
实验九 双液体系统沸点—成分图的绘制	46
实验十 二元合金相图	49
实验十一 三组分液—液体系相图	52

电化学实验

实验十二 电导法测定弱电解质的解离常数	56
实验十三 离子迁移数的测定	60
实验十四 电动势的测定及应用	63
实验十五 阳极极化曲线的测定	69
实验十六 有机电化学合成、修饰电极制备与电化学特性测定及应用	73

动力学实验

实验十七 蔗糖水解	75
实验十八 B-Z 振荡反应	78
实验十九 过氧化氢的催化分解	82
实验二十 乙酸乙酯皂化反应速度常数的测定	86
实验二十一 丙酮碘化反应动力学	89
实验二十二 脉冲式微型催化反应器与催化剂活性评价	94

表面现象和胶体化学实验

实验二十三	溶液表面张力的测定	98
实验二十四	固体比表面积的测定——溶液吸附法	102
实验二十五	固体比表面积的测定——色谱法	106
实验二十六	粘度法测高分子化合物的分子量	110
实验二十七	溶胶体系的制备及其性能测试	116
实验二十八	乳状液的制备及其性质	119

结构化学实验

实验二十九	偶极矩的测定	121
实验三十	磁化率的测定	126

附 录

附录 1	温度计	131
附录 2	气压计	141
附录 3	阿贝折光仪	143
附录 4	溶液吸收光谱及分光光度计	148
附录 5	真空技术	152
附录 6	电导率仪	166
附录 7	EM—2A 型数字式电子电位差计	175
附录 8	自动旋光仪	179
附录 9	气体钢瓶和减压阀	184
附录 10	数字贝克曼温度计	186
附录 11	DMP 型表面张力测定仪	188
附录 12	MB—1A 磁天平	191
附录 13	常用数据表	194

绪 论

一、物理化学实验的目的和要求

物理化学实验是化学教学中的重要环节,目的是通过实验的手段,研究物质的物理化学性质以及这些性质与化学反应之间的关系,从中形成规律性的认识,使学生掌握物理化学的有关理论、研究方法和实验技术,包括实验现象的记录、实验条件的选择、重要物理化学性能的测量、实验结果的分析和归纳等,从而增强解决实际化学问题的能力。

1. 实验前的预习

在进行实验之前,必须做好充分准备,明确实验中每一步如何进行,为什么要这样做。这样才能较好地完成实验课的任务,防止原理上、方法上的错误,因为这些错误有时可能导致整个实验失败。因此,实验前充分进行预习,对于做好物理化学实验尤为重要。

准备一个预习本,预习时一般应做到仔细阅读教材,学习实验方法、原理及如何使用仪器。要求了解实验目的,掌握实验原理,明确需要进行哪些测量,记录哪些原始数据,了解仪器的构造及操作,并写出预习报告。报告中应写出实验目的,列出原始数据表。

2. 实验过程

在整个实验过程中,都应严格按实验操作规程仔细地进行操作。注意利用实验时间,仔细观察现象、记录原始数据。若有可能,可在实验过程中对实验结果进行初步计算或画出草图,以了解实验的进展。

必须准备一个实验记录本(与预习报告同本),对所有的数据都应完整、如实地记录下来,对需要舍弃的数据,划线即可。

结束实验以前,应核对数据,并对最后结果进行估算,然后交教师查阅,如有必要,可补测数据。

实验室内应保持安静,不得高声喧哗及任意走动,应严格遵守实验室安全守则,以保证实验顺利进行。

实验中应注意爱护仪器,节约药品。实验后,清洗并整理好仪器,经教师检查签字后方可离开实验室。

3. 实验报告

实验完毕,学生必须将原始记录交教师签名,然后正确处理数据,写出实验

报告。写实验报告的目的有二：首先是向教师报告实验结果和对结果的分析；其次是锻炼总结和表达实验结果的能力。要求每个参加实验的学生都要写实验报告，以便及时总结和互相交流。

物理化学实验报告一般应包括：实验目的，简明的实验原理，实验仪器和实验条件，实验步骤，实验数据，结果处理，问题及讨论等。

实验目的应该用简单明了的话说明，并说明所用实验方法及研究对象。

实验仪器用简图表示，注明各部分的名称，若仪器很简单，这一项可以略去。

实验数据尽可能以表格形式表示，每一项应简单、准确，不要遗忘实验条件的记录，如室温、大气压力等。

在结果处理中应写出计算公式，注明公式中所需的已知常数的数值，注意各数值所用的单位。若计算结果较多时，最好也用表格形式表示。有时也可以将实验数据和结果处理合并为一项。

作图必须用坐标纸，图要端正地粘贴在实验报告上。

讨论的内容应包括实验中观察到的特殊现象，以及关于原理、操作、仪器设计和实验误差等问题的分析。

写实验报告可以有自己的风格，但必须清楚而简要。简要并不是排除必要的细节，而是用最简练的语言完整地表达所说明的问题。

书写实验报告时，要求开动脑筋，钻研问题，耐心计算，认真编写，不能字迹潦草。通过编写实验报告，达到加深理解实验内容、提高归纳总结能力和培养严谨科学态度的目的。

二、物理化学实验中的误差分析和应用

1. 误差的种类及产生的原因

在物理化学实验中，即使是同一实验者，使用同样的仪器，按照相同的实验方法进行实验，连续几次测定所得的数值往往或多或少地有些差异。一般取相近结果的平均值作为测定值，该测定值不一定是真实值。测定值与真实值之间的差值称为误差。误差的大小可以用来表示实验结果的可靠性。

误差一般分为三种：

(1) 系统误差

在同一条件下多次测量同一量时，误差的符号保持恒定（恒定偏大或恒定偏小），其数值按某一确定的规律变化，这种误差称为系统误差。

产生这种误差的原因，主要有以下几种情况：

① 测量所用方法的限制——如用固—液界面吸附法测定溶质分子的截面积，因实验原理中没有考虑溶剂的吸附，所以出现系统误差。

② 对实验理论探讨不够,或考虑影响因素不全面——如称量时未考虑空气的浮力,温度计的读数没有校正等。

③ 仪器药品带来的误差——如滴定管、移液管的刻度不准确、天平不灵敏、药品不纯净引起所配溶液的浓度不准确等。

④ 实验者本人习惯性误差——如滴定时,对溶液颜色的变化不敏感;读数时视线偏于一边;使用秒表时,总是卡得较快或较慢等。

由于系统误差恒偏于一方,所以增加实验次数并不能使之消除。消除系统误差一般可以采取下列措施:

① 仔细考察所用的实验方法、计算公式,并采取相应的措施,尽量减小由此产生的系统误差。

② 用标准样品或标准仪器校正由于仪器所产生的系统误差。

③ 用纯化的样品校正因样品不纯引起的系统误差。

④ 用标准样品校正由实验者本人操作习惯引起的系统误差。

(2) 偶然误差

在同一实验条件下测定某一量时,从单次测量值看,误差的绝对值时大时小,符号时正时负,呈现随机性,但是经多次测量,这些误差具有抵偿性,这类误差称为偶然误差。例如,同一实验者采用完善的仪器,选择恰当的方法,很细致地进行实验,但是在多次测量同一物理量时,仍然发现测量值之间存在着微小的差异,这就是偶然误差。

产生偶然误差的原因大致有下列几方面:

① 估计仪表所示的最小读数,有时偏大,有时偏小。

② 控制滴定终点时,对指示剂颜色的鉴别时深时浅。

③ 实验往往要多次重复测定,要求尽可能在同样的外界条件下进行,可是目前尚难以控制外界条件完全恒定不变,因此也会产生偶然误差。

从产生误差的原因来看,在任何测量中,偶然误差总是存在的。它不能通过校正的方法来消除,只能通过概率的计算,求得多次实验结果的最可能值。偶然误差的数值时正时负,存在正负相消的机会;测定的次数越多,偶然误差的平均值应该越小。多次测量的平均值的偶然误差,比单个测量的偶然误差小,这种性质称为抵偿性。所以增加测量次数是能够减少偶然误差的。

(3) 过失误差

这是由于实验中犯了某种不应犯的误差所引起的误差。例如,实验者读错了数据,写错了记录或看错了仪器刻度等等。显然在实验中是不允许出现这类误差的。只要专心致志、认真细心地进行实验,完全可以避免这类误差的产生。

2. 准确度和精密度

准确度是指测量值与真实值符合的程度。若实验的准确度高,说明测量值与真实值之间的差异小;若实验的准确度不高,说明测量值与真实值之间的差异大。精密度是指测量中所测数据重复性的好坏。假如所测数据重复性很好,那么此实验结果的精密度高;反之,精密度低。根据以上叙述,很显然,若一组测定值的准确度高,则此实验的系统误差小;若一组测定值的精密度高,其偶然误差必然小。

在多次测量同一物理量时,尽管精密度很高,但准确度不一定好。例如在 1 个大气压下,测量水的沸点 50 次,假如每次测量的数值都在 $98.2^{\circ}\text{C} \sim 98.3^{\circ}\text{C}$ 之间,如 98.25°C , 98.23°C , 98.28°C , $\dots$, 那么这些测量值的精密度很高,但是它们并不准确,因为大家公认,在 1 个大气压下,水的沸点应该是 100°C , 这个公认的真实值 100°C 与测量值之间的差异,是由系统误差产生的。在这种情况下,误差的来源可能是:温度计校正不当,压力读数不准确,温度计的测量位置不合适,测量用水不纯净等等。

3. 误差的表示方法

表示实验误差的方法很多。

测量值与真值之间的差异,称为绝对误差。绝对误差与真值之比称为相对误差。即

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

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真 值}}$$

一个量的真值,不可能通过实验求出,所以只好根据多次测定的结果求平均值,以此作为最可能值。测定的次数越多,最可能值越趋近于真值。

若在实验中对某量进行 k 次测量,各次测量结果的绝对误差分别为 ΔN_1 、 ΔN_2 、 $\dots$ 、 ΔN_k , 它们的算术平均值称为平均绝对误差,以 ΔN 表示,即

$$\Delta N = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \dots + \Delta N_k}{k}$$

将平均绝对误差 ΔN 与真值相比,其商即为平均相对误差,即

$$\text{平均相对误差} = \frac{\text{平均绝对误差}}{\text{真 值}}$$

实际上,在物理化学实验中,测定的次数总是有限的,因此不得不以较少的测量次数所得结果的平均值代替真值或最可能值,用来计算实验的误差。严格地说,以平均值代替真值计算得到的误差应称为偏差,因而分别有

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

$$\text{相对偏差} = \frac{\text{绝对偏差}}{\text{平均值}}$$

平均绝对偏差 = 各次绝对偏差的算术平均值

$$\text{平均相对偏差} = \frac{\text{平均绝对偏差}}{\text{平均值}}$$

除已给出真值的实验外,通常就以平均绝对偏差和平均相对偏差表示实验的误差。

4. 测量的精密度

对实验精密度的估计是根据偶然误差的计算确定的。偶然误差的表示方式最常见的有以下两种:

(1) 平均绝对偏差和平均相对偏差

假设在同一实验条件下,对某物理量进行 k 次测量,每次测量值分别为 N_1 、 N_2 、 $\cdots$ 、 N_k , k 次测量的平均值 N 为

$$N = \frac{N_1 + N_2 + \cdots + N_k}{k}$$

各次测量的绝对偏差分别为

$$\Delta N_1 = N_1 - N$$

$$\Delta N_2 = N_2 - N$$

$$\cdots \quad \cdots$$

$$\Delta N_k = N_k - N$$

各次测量的相对偏差为

$$\frac{\Delta N_1}{N}, \frac{\Delta N_2}{N}, \cdots, \frac{\Delta N_k}{N}$$

根据以上所述,平均绝对偏差 ΔN 为

$$\Delta N = \frac{|\Delta N_1| + |\Delta N_2| + \cdots + |\Delta N_k|}{k}$$

$$\text{平均相对偏差} = \frac{\Delta N}{N}$$

(2) 均方根偏差

根据对偶然误差的研究,发现它符合高斯分布曲线(见图 1),横坐标为偶然误差 δ ,纵坐标为偶然误差出现的次数 n 。这种曲线又称正态分布曲线,它的数学表达式为

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

式中, $\sigma = \sqrt{\frac{1}{k} \sum \delta_i^2}$, σ 为均方根误差, k 为测量次数。

从图 1 可以看出, σ 越小, 误差分布曲线越尖锐, 说明测量的精密度越高; σ 越大, 误差分布曲线越平缓, 测量的精密度越低。所以均方根误差可以表示测量的精密度, 可以作为评价精密度的标准, 又称为标准误差。

在实际运算中, 可以用绝对偏差代替偶然误差, 所以均方根偏差应为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta N_i^2}{k-1}}$$

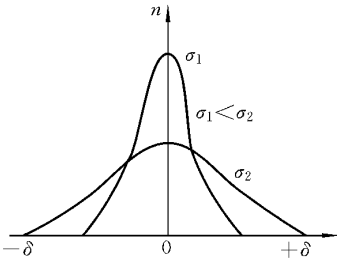


图 1 偶然误差正态分布曲线

表示误差时, 还必须与测定的量联系起来, 为此常用变异系数 CV 表示测量的精密度, 即

$$CV = \frac{\sigma}{N}$$

上述表示偶然误差的方法, 都可以用来衡量实验的精密度。根据误差理论, 用均方根偏差表示实验的精密度最好。但是, 这种方法计算繁琐, 而平均偏差的计算要简便得多。所以, 在一般的实验中, 用平均绝对偏差和平均相对偏差表示实验的精密度即可。

5. 间接测量结果的误差计算——误差的传递

在大多数物理化学实验中, 往往要测量几个物理量, 通过运算才能得到所需要的结果, 这称为间接测量。在间接测量中, 每次直接测量的准确度都会影响最后结果的准确性。下面讨论怎样通过直接测量的误差计算间接测量的误差。

设直接测量的数据为 x, y , 其绝对误差为 dx, dy , 最后结果为 N , x, y 与 N 的函数关系为

$$N = F(x, y)$$

对上式微分

$$dN = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right) dx + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right) dy$$

因此在运算过程中, 误差 dx 和 dy 就会影响最后结果 N , 使其产生 dN 的误差。各种运算过程所受影响的规律如表 1 所示。

举例说明:

用凝固点降低法测定分子量, 计算公式为

表 1

运算过程	绝对误差	相对误差
$N=x+y$	$\pm (\mathrm{d}x+\mathrm{d}y)$	$\pm \left(\frac{\mathrm{d}x+\mathrm{d}y}{x+y}\right)$
$N=x-y$	$\pm (\mathrm{d}x+\mathrm{d}y)$	$\pm \left(\frac{\mathrm{d}x+\mathrm{d}y}{x-y}\right)$
$N=xy$	$\pm (x\mathrm{d}y+y\mathrm{d}x)$	$\pm \left(\frac{\mathrm{d}x}{x}+\frac{\mathrm{d}y}{y}\right)$
$N=\frac{x}{y}$	$\pm \frac{x\mathrm{d}y+y\mathrm{d}x}{y^2}$	$\pm \left(\frac{\mathrm{d}x}{x}+\frac{\mathrm{d}y}{y}\right)$
$N=x^m$	$\pm (mx^{m-1}\mathrm{d}x)$	$\pm \left(m\frac{\mathrm{d}x}{x}\right)$
$N=\ln x$	$\pm \left(\frac{\mathrm{d}x}{x}\right)$	$\pm \left(\frac{\mathrm{d}x}{x\ln x}\right)$
$N=\sin x$	$\pm (\cos x \mathrm{d}x)$	$\pm (\cot x \mathrm{d}x)$
$N=\cos x$	$\pm (\sin x \mathrm{d}x)$	$\pm (\tan x \mathrm{d}x)$

$$M=K_f \cdot \frac{1\ 000m}{m_0(T_f^0-T_f)}$$

式中, M 为溶质的分子量; K_f 为溶剂的凝固点降低常数; m 为溶质的质量; m_0 为溶剂的质量; T_f^0 、 T_f 分别为溶剂与溶液的凝固点。直接测量的数值为 m 、 m_0 、 T_f^0 、 T_f , 试求 M 的误差应为多少?

令溶质质量 $m=0.3\text{ g}$, 在分析天平上称重, 其绝对误差 $\Delta m=0.000\ 2\text{ g}$; 溶剂质量 $m_0=20\text{ g}$, 在粗天平上称重, 其绝对误差 $\Delta m_0=0.05\text{ g}$ 。

测量凝固点用贝克曼温度计, 其准确度为 $0.002\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。测量溶剂凝固点 T_f^0 三次, 其数值分别为 $3.801\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $3.790\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $3.802\text{ }^{\circ}\text{C}$, 三次测量的平均值 $\overline{T_f^0}=3.797\text{ }^{\circ}\text{C}$, 各次测量的绝对偏差分别为

$$\begin{aligned} 3.797-3.801 &= -0.004(^{\circ}\text{C}) \\ 3.797-3.790 &= +0.007(^{\circ}\text{C}) \\ 3.797-3.802 &= -0.005(^{\circ}\text{C}) \end{aligned}$$

平均绝对偏差为:

$$\overline{\Delta T_f^0}=\pm \frac{0.004+0.007+0.005}{3}=\pm 0.005(^{\circ}\text{C})$$
$$T_f^0=\overline{T_f^0}+\overline{\Delta T_f^0}=(3.797\pm 0.005)\text{ }^{\circ}\text{C}$$

同样, 测量溶液凝固点 T_f 三次, 其数值分别为 $3.500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $3.504\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $3.495\text{ }^{\circ}\text{C}$, 仍按上述方法计算, 得出 $\overline{T_f}=3.500\text{ }^{\circ}\text{C}$, 则

$$\overline{\Delta T_f} = \pm 0.003 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_f = \overline{T_f} + \overline{\Delta T_f} = (3.500 \pm 0.003) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

所以凝固点降低值为

$$\begin{aligned} T_f^{\circ} - T_f &= (3.797 \pm 0.005) - (3.500 \pm 0.003) \\ &= (0.297 \pm 0.008) \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

令 $\Delta T = 0.297$, $\Delta(\Delta T) = 0.008$, 由此得出凝固点降低值的相对偏差为

$$\frac{\Delta(\Delta T)}{\Delta T} = \frac{0.008}{0.297} = 2.7 \times 10^{-2}$$

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0.0002}{0.3} = 6.6 \times 10^{-4}$$

$$\frac{\Delta m_0}{m_0} = \frac{0.05}{20} = 2.5 \times 10^{-3}$$

测定分子量的相对误差应为

$$\begin{aligned} \frac{\Delta M}{M} &= \frac{\Delta(\Delta T)}{\Delta T} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta m_0}{m_0} \\ &= \pm (2.7 \times 10^{-2} + 0.066 \times 10^{-2} + 0.25 \times 10^{-2}) \\ &= \pm 3.0 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

通过上述计算,了解到测量分子量的最大相对误差为3.0%,同时还了解到:

① 用凝固点降低法测定分子量,其相对误差主要决定于测量温度的准确性。若溶质较多, ΔT_f 可能较大,相对误差可以相应减少。但应注意,凝固点降低的公式只适用于稀溶液,若溶液浓度过大,不一定使分子量测定更准确。

② 精确称重并不能增加分子量测定的准确度,因此不必采取过分准确的称重。例如用分析天平称溶剂的质量就没有必要。

③ 温度读数是实验的关键,因此在实验中应采取措施保证准确的温度数据。

通过上例说明,在实验进行之前,计算各测定值的误差及其影响能帮助选择正确的实验方法,选用精密度相当的仪器,并抓住测量中的关键,可得到较准确的结果。

6. 有效数字

测量误差与正确记录测量结果密切相关。一般采用有效数字来正确记录测量结果。所谓有效数字,就是测量的准确度所达到的数字,它包括测量中可靠的几位和最后估计的一位。例如:若以分度为 $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的普通温度计测量水温为 $26.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 和 6 为可靠数字,而 5 是估计数字;若以分度为 $\frac{1}{10} \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的精密温度计测量此水的温度,读数为 $26.53 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 那么 2、6、5 都是可靠数字,而 3 则是估计数字。

关于有效数字的有关概念和规则,以及有效数字的运算法则,综述如下:

① 误差(指绝对误差和相对误差)的有效数字,一般只有一位,至多不超过两位。

② 任何一物理量的数据,其有效数字的最后一位,在位数上应与误差的最后一位一致。例如:用 $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$ 的温度计测量水温为 26.53°C ,正确表示应为 $(26.53 \pm 0.01)^{\circ}\text{C}$;若写成 $(26.531 \pm 0.01)^{\circ}\text{C}$,就夸大了测量的准确度;若写成 $(26.5 \pm 0.01)^{\circ}\text{C}$,就缩小了测量的准确度。

③ 有效数字的位数越多,数值的准确度也越大,相对误差越小。例如:测量某物体的长度为 1.35 cm ,误差 ± 0.01 ,有效数字是三位,相对误差为 0.7% ;若用螺旋测径器来测量,则为 $(1.3500 \pm 0.0001)\text{ cm}$,有效数字是五位,相对误差为 0.007% 。

④ 任何一次直接测量值,都应读到仪器刻度的最小估计读数。如滴定时,滴定管的最小估计读数为 0.01 mL ,读数的最后一位也要读到 0.01 mL 。例如:消耗的溶液为 18.44 mL ,不应记录为 18.4 mL 。

⑤ 若第一位数字大于 8,则有效数字的总位数可以多算一位,例如 9.68 ,有效数字是三位,但是在运算时,可以看做四位。

⑥ 确定有效数字的位数时,应注意“0”这个符号,紧接在小数点后面的“0”不算有效数字;而在数值中的“0”应包括在有效数字中,如 0.003065 ,这个数值有四位有效数字,至于 3065000 ,后面的四个“0”就很难说是不是有效数字。这种情况最好用指数表示法来表示有效数字。若是四位有效数字,可写为 3.065×10^7 ;若为五位有效数字,则可写为 3.0650×10^7 。

⑦ 运算中舍弃过多的不定数字时,应用“‘4’舍‘6’入、逢‘5’尾留双”的法则。例如:将两个数值 9.435 和 4.685 整化为三位数,根据上述法则,整化后的数值为 9.44 与 4.68 。

⑧ 在加减运算中,各数值小数点后所取的位数,以其中小数点后位数最少的为准。例如: 0.0121 、 25.64 和 1.0578 相加,其和应为

$$\begin{array}{r} 0.01 \\ 25.64 \\ + 1.06 \\ \hline 26.71 \end{array}$$

因为 25.64 只准确到小数点后第二位,第一个数值及第三个数值的准确度尽管比第二个数值高,但相加的结果的准确度不能超过小数点后的第二位。

⑨ 在乘除运算中,各数保留的有效数字,应以其中有效数字最低者为准。
例如: $1.436 \times 0.20568 \div 85$,其中 85 的有效数字最少,由于首位是 8,所以看成三位有效数字,其余两个数值,也应保留到三位,最后结果也只保留三位有效数字,即

$$\frac{1.44 \times 0.206}{85} = 3.49 \times 10^{-3}$$

10 用对数运算时,对数中首数不是有效数字,对数中尾数的位数与各值的有效数字相当或者多一位。

三、物理化学实验的安全知识

化学是一门实验科学,实验室的安全非常重要,化学实验室常常潜藏着诸如发生爆炸、着火、中毒、灼伤、割伤、触电等事故的危险性,如何来防止这些事故的发生以及万一发生又如何来急救,这都是每一个化学实验工作者必须具备的素质。着火、中毒、灼伤在先行的化学实验课中均已反复地作了介绍。这里主要结合物理化学实验的特点着重介绍安全用电知识。高压钢瓶的使用安全知识参阅附录 9。

在物理化学实验室里,经常使用电学仪表、仪器,应用交流电源进行实验,因而介绍交流电源的基本常识非常重要,以利于安全用电。

1. 保险丝

在实验室中,经常使用 220 V、50 Hz 的交流电,有时也用到三相电。任何导线或电器设备都有规定的额定电流值(即允许长期通过而不致过度发热的最大电流值),当负荷过大或发生短路时,通过电流超过了额定电流,则会发热过度,致使电器设备绝缘损坏和设备烧坏,甚至引起电着火。为了安全用电,从外电路引入电源时,必须先经过能耐一定电流的适当型号的保险丝。

保险丝是一种自动熔断器,串联在电路中,当通过电流过大时,则会发热过度而熔断,自动切断电路,达到保护电线、电器设备的目的。普通保险丝是指铅(25%)、锡(25%)合金丝,其额定电流值列于表 2。

表 2 常用保险丝

线型号	直径/mm	额定电流值/A
22	0.71	3.3
21	0.82	4.1
20	0.92	4.8
18	1.22	7.0
16	1.63	11.0

线型号	直径/mm	额定电流值/A
15	1.83	13.0
14	2.03	15.0
12	2.65	22.0
10	3.26	30.0

保险丝应接在相线引入处,在接保险丝时应把电闸拉开。更换保险丝时应换上同型号的,不能用型号比其小的代替(型号小的保险丝粗,额定电流值大),更不能用铜丝代替,否则就失去了保险丝的作用,容易造成严重事故。

2. 三相电源

三相发电机发生三相交流电,发电机三相绕组间有两种连接方式,即所谓星形接法(图 2)和三角形接法(图 3)。

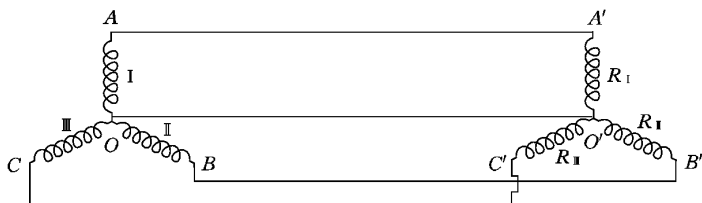


图 2 三相电路的星形接法(四线制)

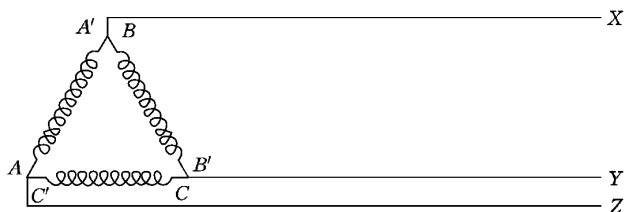


图 3 三相电路的三角形接法

图 2 中的 I、II、III 为三相交流发电机的三绕组,分别产生 220 V 的正弦波交流电(称为相电压),由于它们之间的相位差为 120° ,故 AB、BC 或 AC 间的电压(称为线电压)为 $220 \times \sqrt{3} = 380$ V。因此,星形接线法的三相电路能供给 220 V 的单相交流电和 380 V 的三相交流电。 OO' 称为中性线(中线),是各绕组的公共回路。 AA' 、 BB' 、 CC' 分别为三条相线,通过中性线回到发电机。电流应该等于三相电流相量的总和,故当负载平衡时($R_I = R_{II} = R_{III}$),在中性线上并没有电流通过。

有中性线的三相电路在我国最为常用,其优点是既可以供给 220 V 的单相电,也可以供给 380 V 的三相电。

实验室常用的单相电三孔电流插座上注明“相”、“中”和“地”等字样,分别表示该孔接相线(AA' 、 BB' 、 CC' 三者之一)、中性线(OO')和地线。相线和中性线之间接上所用仪器而构成一通路。若仪器有漏电现象,则将仪器外壳接上地线,仪器即可安全使用。但应注意,若仪器内部和外壳形成短路而造成严重漏电(可以用万用电表测量仪器外壳的对地电压),应立即检查修理。此时如果接上地线使用仪器,则会产生很大的电流而烧坏保险丝或出现更为严重的事故。

当应用三相电动机、三相电热器等时,由于负荷平衡,可以免去中性线。供给三相电的四孔电源插座中三个一样大小的孔分别为 AA' 、 BB' 和 CC' 三条相线,另外一个较大的孔接地线,以消除仪器外壳的漏电现象。三相电功率瞬时值的总和是一条平稳的直线,不随时间而发生起伏波动,对三相电动机可以发生平稳的转矩,与单相电动机中电功率瞬时值或转矩有起伏的情况相比,这显然是一个重要的优点。

3. 安全用电

人体若通过 50 Hz、25 mA 以上的交流电时会发生呼吸困难,100 mA 以上则会致死。因此,安全用电非常重要。在实验室用电过程中必须严格遵守以下的操作规程。

(1) 防止触电

- ① 不能用潮湿的手接触电器。
- ② 所有电源的裸露部分都应有绝缘装置。
- ③ 已损坏的接头、插座、插头或绝缘不良的电线应及时更换。
- ④ 必须先接好线路再插上电源,实验结束时,必须先切断电源再拆线路。
- ⑤ 如遇人触电,应切断电源后再行处理。

(2) 防止着火

- ① 保险丝型号与实验室允许的电流必须相配。
- ② 负荷大的电器应接较粗的电线。
- ③ 生锈的仪器或接触不良处,应及时处理,以免产生电火花。
- ④ 如遇电线走火,切勿用水或导电的酸碱泡沫灭火器灭火。应立即切断电源,用沙或二氧化碳灭火器灭火。

(3) 防止短路

电路中各接点要牢固,电路元件二端接头不能直接接触,以免烧坏仪器或产生触电、着火等事故。

- (4) 实验开始以前,应先由教师检查线路,经同意后,方可插上电源。