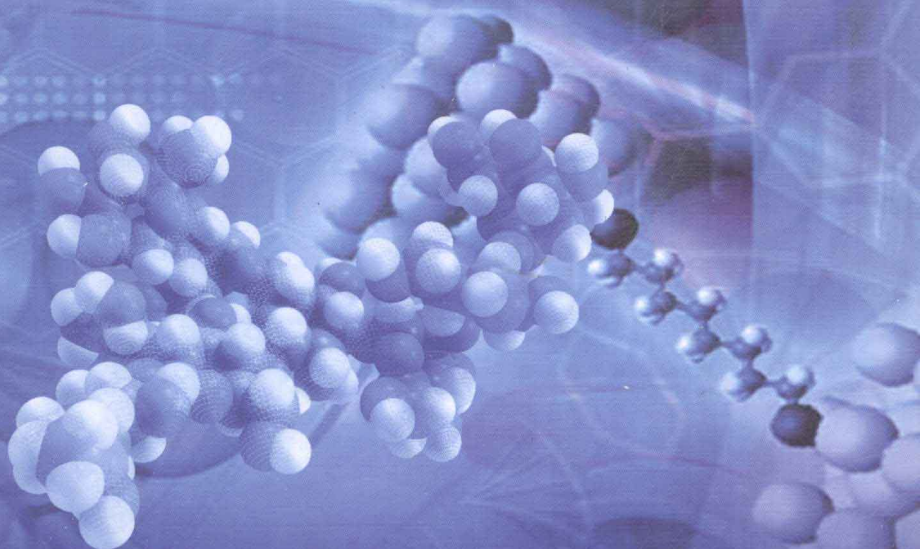


Wuli Huaxue Shiyan

物理化学

实验

■ 张秀芳 贺文英 主编



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

物理化学实验

张秀芳 贺文英 主编

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本教材共分物理化学实验基础知识、物理化学实验和附录三大部分。第一部分为实验基础知识,主要介绍了物理化学实验的安全防护、实验的测量误差和数据处理方法等;第二部分为实验部分,共编入 17 个实验,其中 14 个基础实验、3 个综合实验,涉及热力学、电化学、动力学、表面化学及胶体、结构化学等内容;第三部分为附录,附有实验仪器设备的使用及各类物理化学实验参考数据。

图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验/张秀芳,贺文英主编. —北京:中国农业大学出版社,2011.4
ISBN 978-7-5655-0256-9

I. ①物… II. ①张…②贺… III. ①物理化学-化学实验-高等学校-教材
IV. ①064-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 054229 号

书 名 物理化学实验
作 者 张秀芳 贺文英 主编

策划编辑 赵 中

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62731190,2620

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

规 格 787×980 16 开本 7.75 印张 138 千字

印 数 1~3 000

定 价 12.00 元

责任编辑 李 楠

责任校对 王晓凤 陈 莹

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

前 言

物理化学实验是物理化学课程的重要组成部分,它与物理化学理论课相互依存,相辅相成。物理化学实验教学对于加深学生对理论课知识的理解、训练实验技能、掌握实验测试技术、培养解决实际问题能力有着重要作用,同时可以培养学生严肃认真、实事求是和一丝不苟的科学态度及作风。为此,我们结合多年的实验教学经验,参考国内同类兄弟院校物理化学实验课程的教材内容,精心编写了本实验教材。编写时十分重视实验测试技术的强化及应用潜力的开发。

本教材共分物理化学实验基础知识、物理化学实验和附录三大部分。第一部分为实验基础知识,主要介绍了物理化学实验的安全防护、实验的测量误差和数据处理方法等;第二部分为实验部分,共编入 17 个实验,其中 14 个基础实验、3 个综合实验,涉及热力学、电化学、动力学、表面化学及胶体、结构化学等内容;第三部分为附录,附有实验仪器设备的使用及各类物理化学实验参考数据。

参加本书编写的有张秀芳、贺文英、施和平和高学艺。全书由张秀芳、贺文英审编定稿。

在本教材的编写和出版过程中,受到内蒙古农业大学理学院各级领导和化学教研室各位教师及中国农业大学出版社的大力支持,在此表示深深的谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在不足和错误之处,敬请广大师生批评指正,以便改进和提高。

编 者

2010 年 11 月

目 录

第一部分 物理化学实验基础知识

一、物理化学实验的目的和要求	3
二、物理化学实验的安全防护	4
三、误差分析和数据处理	6

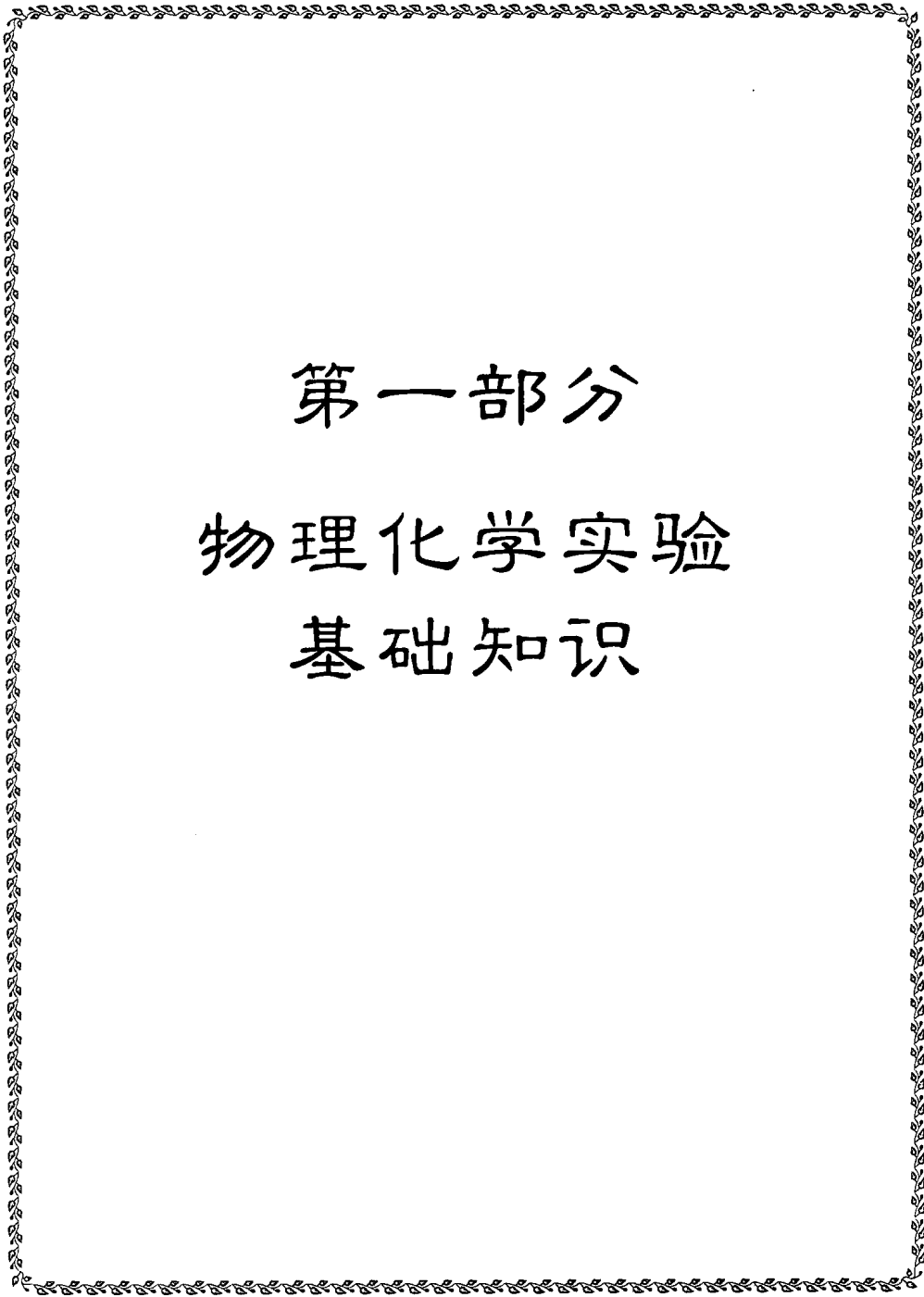
第二部分 物理化学实验

基础实验	17
实验一 燃烧热的测定	17
实验二 液体饱和蒸气压的测定	22
实验三 凝固点降低法测定化合物的相对分子质量	26
实验四 双液系气-液平衡相图	31
实验五 简单低共熔点混合物相图	35
实验六 电导法测定弱电解质的解离平衡常数	39
实验七 离子迁移数的测定(界面移动法)	42
实验八 原电池电动势的测定	46
实验九 旋光度法测定蔗糖转化反应的速率常数	50
实验十 乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定	54
实验十一 溶液表面张力的测定	58
实验十二 溶胶的制备及电泳	63
实验十三 物质磁化率的测定	68
实验十四 偶极矩的测定	74
综合实验	81
实验十五 离子选择性电极法测定水样中氟离子的含量	81
实验十六 固体在溶液中吸附能力的测定	85

实验十七 黏度法测定水溶性高聚物的相对分子质量	88
-------------------------------	----

第三部分 附 录

附录 1 缓冲储气罐	95
附录 2 DP-A 精密数字压力计	96
附录 3 阿贝折光仪	98
附录 4 DDS-II A 型电导率仪	102
附录 5 SDC 数字电位差综合测试仪	104
附录 6 旋光仪	105
附录 7 pHs-2 型酸度计	110
附录 8 贝克曼温度计	111
附录 9 常用数据表	113
参考文献	118



第一部分

物理化学实验 基础知识

物理化学实验是化学实验的一个重要分支。它是借助于物理学的原理、技术和仪器,运用数学工具来研究物系的物理、化学性质和化学反应规律的一门科学,综合了化学领域中各学科的基本实验工具和方法,其中的研究方法和实验技能是化学工作者必须具有的基本功。化学与物理学之间有着非常紧密的联系。化学过程常伴有物理过程的发生,如化学反应时常伴有体积的变化、压力的变化、热效应、电效应、光效应等,同时系统的温度、压力、浓度的变化,光的照射、电磁场等物理因素的作用也都可能引起化学变化,或影响化学变化的进行。物理化学就是从物质的物理现象和化学现象的联系入手,来探求化学变化基本规律的一门科学,因而物理化学实验主要是应用物理学的原理和技术,使用一种仪器或若干仪器结合在一起构成一个测量系统,对系统的某一物理化学性质进行测量,进而研究化学问题。物理化学实验具有以下特点:

(1)利用物理方法研究化学物系的性质和变化规律,涉及多种物理测量仪器和实验技术,综合性强。

(2)物理化学实验测量的数据往往需要利用数学的方法加以综合运算和整理才能得到所需的结果。

(3)在数据处理中涉及“测量误差”和“有效数字”等概念。

一、物理化学实验的目的和要求

(一)物理化学实验的目的

物理化学实验是物理化学课程的重要组成部分,是继普通物理、无机化学、分析化学和有机化学等实验课后的基础实验课。物理化学实验课的主要目的是:

(1)巩固并加深对物理化学课程中相关理论和概念的理解,提高学生对物理化学知识的灵活运用能力。

(2)使学生了解物理化学的实验方法,掌握物理化学的基本实验技术和技能,学会测定物质特性的基本方法,熟悉物理化学实验现象的观察与记录、实验条件的判断与选择、实验数据的测量与处理、实验结果的分析与归纳等一套严谨的实验方法。

(3)培养学生的动手能力、观察能力、创新思维能力、表达能力、查阅文献能力和处理实验结果的能力等。

(4)培养学生严肃认真、实事求是的科学态度和作风。

(二)物理化学实验的要求

为了达到上述目的,做好每一次物理化学实验,提高物理化学实验的教学效果,应做到以下几点:

(1)实验预习:学生在做实验之前,要充分预习。预习的目的就是要对整个实验内容和方法做到心中有数,这是做好物理化学实验的关键步骤之一。通过充分预习,掌握实验原理,看懂实验方法,了解所用仪器的使用方法及操作步骤,这样在实验的过程中不犯或少犯错误,避免事故的发生。必要时可写预习实验报告。

(2)实验操作:进入实验室后,教师首先对学生进行提问和考查,检查学生的预习情况。而后,学生检查测量仪器和试剂是否符合要求,并做好实验的各项准备工作,记录实验进行的条件。在实验过程中,要严格按操作规程进行,不得随意改动。要认真仔细观察实验现象,详细记录原始数据。遇有异常现象,应立即找教师,一起分析,查出原因。另外,在实验中要注意勤俭节约,反对大手大脚,铺张浪费。实验完毕后,要整理和清洁实验所用的仪器、试剂和其他用品,放回原处,关好水、电、门、窗,得到教师同意后,方可离开实验室。

(3)实验报告:实验报告是整个物理化学实验中的一个重要环节,是每次实验的概括和总结,它能使学生在数据处理、作图、误差分析、逻辑思维等方面得到训练,能使学生更好地理解 and 掌握实验的内容和方法,是培养和提高学生写作能力的重要环节。实验报告应包括实验目的、实验原理、实验步骤、数据记录与处理、实验结果与讨论等部分。

二、物理化学实验的安全防护

在化学实验室里,安全是非常重要的。实验室中有各种实验所必需的试剂与仪器,所以常常潜藏着诸如着火、爆炸、中毒、灼伤、触电等安全隐患,这就要求实验者具备必要的安全防护知识,懂得应采取的预防措施以及一旦发生事故应及时采取的处理方法。这里主要结合物理化学实验的特点从安全用电、使用化学药品的安全和防止环境污染三个方面作如下介绍。

(一)安全用电常识

违章用电常常可能造成人身伤亡、火灾、仪器损坏等严重事故。在物理化学实验室中,实验者要接触和使用各类电器设备,因此要了解使用电器设备的安全防护知识。为了保障人身安全,一定要遵守以下安全用电规则:

(1)使用仪器要正确选用电源,接线要正确、牢固。物理化学实验室总电闸一般允许最大电流为 30~50 A,超过时会使保险丝熔断。一般实验台上最大允许电流为 15 A。使用功率很大的仪器时应事先计算电流量。应严格按照规定的电流值接保险,否则长期使用超过规定负荷的电流时,容易引起火灾或其他严重事故。不能用试电笔去试高压电,使用高压电源应有专门的防护措施。

(2)尽可能不使电线、电器受到水淋或浸在导电的液体中。操作仪器时手要保

持干燥,切记不要用手摸电源。

(3)实验时,应先连接好电路,再接通电源。实验结束时,应先切断电源,再拆线路。

(4)在电器仪表使用过程中,如发现有不正常声响,局部升温或有绝缘漆过热产生的焦糊味,应立即切断电源,并报告教师进行检查。

(5)如果有人不慎发生触电事故,应立即切断电源开关,并请医生救治。

(二)使用化学药品的安全防护

(1)防毒:许多化学药品都有毒性,其毒性可通过呼吸道、消化道、皮肤等进入人体,防毒的关键是杜绝或尽量减少毒物进入人体,因此实验前应了解所用药品的毒性、性能和保护措施。操作有毒气体应在通风橱内进行,剧毒药品应妥善保管并小心使用。不要在实验室喝水、饮食,离开实验室要洗手。

(2)防爆:可燃性气体与空气混合比例达到爆炸极限时,只要有适当的热源诱发,就会引起爆炸。所以防止爆炸要从两个方面进行。一方面,应尽量防止可燃性气体散失到空气中,并保持室内通风良好,不使其形成可能发生爆炸的混合气体。另一方面,在操作大量可燃性气体时,要尽量避免明火,严禁用可能产生电火花的电器并防止铁器撞击产生火花等。

有些固体试剂如高氧化物、过氧化物等受热或受到震动时易引起爆炸,使用时应按要求进行操作。应特别注意防止强氧化剂与强还原剂存放在一起。在操作可能发生爆炸的实验时,应有防爆措施。

(3)防火:许多有机溶剂如乙醚、丙酮等非常容易燃烧,使用时室内不能有明火、电火花等。用后要及时回收处理,不可倒入下水道,以免聚集,引起火灾。实验室内不可存放过多这类药品。另外,有些物质如磷、金属钠及比表面很大的金属粉末(如铁、铝等)易氧化自燃,在存放和使用时要特别小心。实验室一旦起火,要立即灭火,同时防止火势蔓延(如采取切断电源、移走易燃品等措施)。灭火时要针对起火原因选用合适的灭火方法,科学灭火。一般的小火可用湿布、石棉布或沙子覆盖燃烧物,火即可被扑灭。火势大时可用泡沫灭火器。但电器设备所引起的火灾只能使用二氧化碳或四氯化碳灭火器,不能使用泡沫灭火器;也不能用水浇,以免触电。

(4)防灼伤:强酸、强碱、强氧化剂等都会腐蚀皮肤,尤其要防止进入眼内,使用时除了要有防护措施外,实验者一定要按照规定操作。实验室还有高温灼伤(如电炉、高温炉)和低温冻伤(如干冰、液氨)等危险。在进行这些操作时都应按规定操作。一旦受伤要及时治疗。

(三) 环境安全

环境受到化学公害的危害是目前人们日益关心和认识到的问题。无论在化学实验室或其他地方,实际上都不可能不受到化学公害或是没有受到化学公害的危险,化学工作者的职责之一是认识了解化学公害并推断需要采取哪些预防措施来消除或限制这些化学公害。化学药品大都有一定的毒性,随意排放会造成污染。在实验操作结束后,废弃的药品能回收的最好回收,不能回收的一定要按照要求进行处理后才能排放。实验废弃的药品排放时一定要符合环保要求。

三、误差分析和数据处理

物理化学实验通常是在一定条件下测定系统的一种或几种物理量的大小,然后用计算或作图的方法得到所需的实验结果。在测定过程中,即使采用最可靠的测量方法,使用最精密的仪器,由技术很熟练的人员进行操作,也不可能得到绝对准确的结果。因为在任何测量过程中,误差是客观存在的。因此我们应该了解实验过程中误差产生的原因及出现的规律,以便采取相应措施减少误差。另一方面,需要对测试数据进行正确处理,以获得最可靠的数据信息。在物理化学实验课中,要求学生能根据误差理论来科学地分析和处理实验数据,并能正确地表达实验结果。这也是衡量学生掌握实验技能的一项重要指标。下面仅对误差的基本概念、偶然误差与正态分布、有效数字的运算和实验数据的表示方法等作简要介绍。

(一) 误差的基本概念

1. 误差的定义

对一切物理量进行测量后,测量结果与该物理量的真值之差称为误差。即

$$\text{误差} = \text{测量值} - \text{真值} \quad (1-1)$$

通常来说,真值是未知的,因此误差也是未知的。有些情况下,真值是可行的。

式(1-1)表示的误差反映了测量值偏离真值的大小,因此又称绝对误差。为了描述测量的准确度,经常使用误差的另一种表达方式——相对误差。误差与真值之比称为相对误差,即

$$\text{相对误差} = \frac{\text{误差}}{\text{真值}} \quad (1-2)$$

2. 误差的分类

根据误差的性质和来源,可以把误差分为3类:系统误差、偶然误差和过失误差。

(1)系统误差:系统误差又称恒定误差,它是由于某种特殊原因造成的误差。这种误差使实验结果永远朝一个方向偏离,或者全部偏大,或者全部偏小。

产生系统误差的主要原因有:

①仪器误差:它是由于仪器构造不够完善或校正与调节不适当所引起的。这种误差可以通过一定的检定方法发现,并可以进行校正。

②试剂误差:在化学实验中,由于所用试剂纯度不够而引起的误差。

③方法误差:测量方法所依据的理论不完善或使用近似公式造成的误差。只有用多种方法测得的同一数据相一致时,才可认为方法误差已基本消除,结果是可取的。

④环境误差:这是由于实验过程中外界温度、压力、湿度等变化引起的误差。

⑤个人误差:个人误差是由进行测量的操作人员的习惯和特点引起的误差。主要是因为测量人员感觉器官的分辨能力、反应滞后、习惯感觉等因素而引起的观测误差。

系统误差影响了测量结果的准确程度,必须消除系统误差的影响,才能有效地提高测量的精确度。对于系统误差,只要找出原因是可以设法消除的。但靠增加测量次数减少不了系统误差,这是因为在相同条件下,系统误差相同。通常采用几种不同的实验技术,或采用不同的实验方法,或改变实验条件、更换仪器、提高试剂纯度等,以确定是否存在系统误差,设法使之消除或减至最小。因此,单凭一种方法所得结果往往不是十分可靠的,只有由不同实验者、用不同的方法、不同的仪器得到相符的数据,才能认为系统误差基本消除。

(2)偶然误差:偶然误差也称随机误差。它是由某些难以控制的偶然因素造成的。在实验测定时,气压、电压的微小变化,环境温度和湿度的变化,仪器性能的微小变化都可能引起误差。偶然误差是不可避免的,其特点是误差值围绕着某一数值上、下有规律地变动。偶然误差的出现表面上看没有确定的规律,即前一误差出现后,不能料想下一个测量误差的大小和方向,但就其总体而言,具有统计规律性,符合正态分布规律。实践经验证明,在相同条件下,多次测量同一物理量,当测量次数足够多时,出现偶然误差数值相等、符号相反的数值的几率近乎相等。因此,通过增加测量次数可使偶然误差减小到某种程度。

(3)过失误差:过失误差是由于实验者的过失或错误引起的误差,如读错数据、记录错误、加错试剂等。实验中发现过失误差,只能放弃实验结果,重新进行实验。过失误差无规律可循,只要实验者操作认真仔细,加强责任心就可以避免。

(二)误差的表示方法

为了评价某物理量测量的质量,需要对一组平行测量的误差作出计算。测量误差通常用平均偏差、相对平均偏差、标准偏差和相对标准偏差等来表示。

1. 算术平均值 $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n}$$

式中: $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$ 为各测量值, n 为测量次数。

2. 平均偏差与相对平均偏差

平均偏差:
$$\bar{d} = \frac{\sum |d_i|}{n}$$

式中: d_i 为各次测量值与算术平均值的偏差, 即 $d_1 = x_1 - \bar{x}, d_2 = x_2 - \bar{x}, \cdots, d_n = x_n - \bar{x}$ 。

相对平均偏差:
$$\bar{d}_r = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\%$$

3. 标准偏差与相对标准偏差

标准偏差:
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

相对标准偏差(又称变异系数):

$$s_r = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

(三) 准确度与精密度

准确度是指实验结果与真值的符合程度。它表示测定结果的可靠性, 用误差值的大小来衡量准确度的高低。误差越小, 准确度就越高。在实际测定工作中, 人们在同一条件下平行测定几次, 几次测定值之间相互接近的程度就是精密度(或称精确度)。精密度是指测量数值重复性的大小。它揭示了偶然误差的影响, 偶然误差越小, 测量值彼此越符合, 精密度越高。准确度与精密度两者既有区别又有联系。测定结果的精密度高, 不一定其准确度也高; 高的准确度必须以其精密度高为前提; 对精密度低的数据, 虽然由于测定的次数多可能使正负偏差相互抵消, 但已失去衡量准确度的前提, 衡量其准确度没有意义。

(四) 实验数据处理

1. 有效数字

有效数字就是实际能测量到的有实际意义的数字。它不但反映了测量的“量”的多少, 而且也反映了测量的准确程度。有效数字包括测量中全部准确数字和一位估计数字。有效数字的位数反映了测量的准确程度, 它与测量中所用仪器有关。例如, 我们量取某液体的体积, 用最小分度为 0.1 mL 的滴定管量取 5.12 mL, 用最小分度为 1 mL 的小量筒量取为 5.1 mL, 前者是 3 位有效数字, 5 和 1 是准确数

字,2 是估计数字;后者是 2 位有效数字,5 是准确数字,1 是估计数字。可见,用滴定管量取比小量筒准确。

有关有效数字的表示方法及其运算规则综述如下:

①误差一般只有 1 位有效数字,至多不超过 2 位。

②任何一个物理量的数据,其有效数字的最后一位,在位数上应与误差的最后一位划齐。例如,记成 1.35 ± 0.01 是正确的,若记成 1.351 ± 0.01 就夸大了结果的精密度,记成 1.3 ± 0.01 则缩小了结果的精密度。

③确定有效数字位数时,应注意“0”这个符号。紧接小数点后的 0 仅用来确定小数点的位置,并不作为有效数字。例如,0.0026 中小数点后的两个 0 不作为有效数字。但小数点前的位数不为 0 时,则其后的 0 应为有效数字,例如,1.0000 中小数点后 4 个 0 均为有效数字。对于尾部有 0 如 48 000 这样的数,末位的 0 可以是有效数字,也可以是定位的非有效数字,为了避免混淆,应根据实际情况用 10 的指数来表示。48 000 写成 4.8×10^4 为 2 位有效数字,写成 4.80×10^4 为 3 位有效数字。

④任何一次测量,都应记录到仪器刻度的最小估计读数。

⑤在运算中舍去多余的数字时,采用“4 舍 6 入逢 5 尾留双”的法则。

⑥当几个数据相加或相减时,运算结果的绝对误差应与各数绝对误差最大的相对应,有效数字的保留,应以小数点后位数最少的数字为依据。例如,13.65、0.0082、1.632 三个数相加,其和为:

$$13.65 + 0.01 + 1.63 = 15.29$$

⑦几个数据相乘除时,积或商的有效数据的保留,应以其中相对误差最大的那个数,即有效数字最少的那个为依据。若第一位有效数字大于或等于 8,其有效数字可多取一位。例如, $1.436 \times 0.020568 \div 85$ 为:

$$\frac{1.44 \times 0.0206}{85} = 3.49 \times 10^{-4}$$

⑧当进行对数运算时,对数中的首数不是有效数字,对数的尾数的位数应与各数据的有效数字相当。例如, $c(\text{H}^+) = 7.6 \times 10^{-4}$ 为两位有效数字, $\text{pH} = 3.12$ 。

⑨在所有计算式中,常数 π 、 e 及乘子如 $\sqrt{2}$ 、 $1/3$ 等的有效数字的位数,可认为无限制,即在计算中需要几位就可以写几位。

2. 实验数据的表达

实验数据是表达实验结果的重要方式,因此,要求实验者将测量的数据正确地记录下来,加以整理、归纳、处理,并正确表达实验结果所获得的规律。实验数据的表示法主要有 3 种方式:列表法、作图法和数学方程式法。这 3 种方法各有优缺

点,具体采用哪种方法表示取决于数据表示的目的。现将这3种方法的应用及表达时的注意事项分别叙述如下。

A. 列表法。在物理化学实验中,经常将实验数据及计算结果整齐而有规律地用表格的形式表达出来。其优点是能使全部数据一目了然,便于分析和讨论。

利用列表法表达实验数据和计算结果时,通常将自变量 x 和因变量 y 一一对应排列起来,纵项和横项分别表示自变量和因变量,数值按大小次序编排。作表格时应注意以下几点:

①表格名称:每一表格均有一完全而简明的名称。

②行名与量纲:由于在表中列出的常常是一些纯数(数值),根据物理量=数值 $\times$ 单位这一关系,因此位于这些纯数之前或之首的表示式也应该是一纯数,即量的符号除以单位,数值(纯数)=物理量/单位,如 $t/^{\circ}\text{C}$ 或 p/Pa ,或是表示这些纯数的数学函数式如 $\ln(p/\text{Pa})$ 等。这样将表格分成若干行,每一变量应占表格中的一行。每一行的每一格应详细地写上该行变量的名称、量纲和因次。

③有效数字:每一行所记数据,应注意其有效数字的位数,并将小数点对齐。为简便起见可将表示数据中小数点位置的指数放在行名旁,但须注意此指数的正负号应相应易号。例如,醋酸的解离常数 $K_a^{\ominus}=1.76\times 10^{-5}$,则该行的行名可写成 $K_a^{\ominus}\times 10^5$ 。

④自变量的选择:自变量的选择有时有一定的伸缩性,通常选择较简单的,例如温度、时间、距离等。自变量最好是均匀的、等间隔地增加。若实际测定情况不是这样,可先将直接测定数据作图,由图上读出自变量是均匀的、等间隔增加的一套新数据,再作表。

⑤原始数据可与处理结果并列在一张表中,而把处理的方法和运算公式在表下注明。实验条件和环境条件应在表中或表外注明,如室温、大气压、测定日期和时间等。

列表法虽然简单,但却表示不出各数值间连续变化的规律和取得实验数据范围的任意的自变量和因变量的对应值,故常用作图法。

B. 作图法。利用实验数据作图,可使各数据间的相互关系表现得更好、更直观。利用图形表达实验结果有许多好处,它既能直接显示出数据的特点,如极大、极小、转折点等,又能利用图形对数据作进一步处理,如求内插值、外推值、曲线某点切线斜率、极值点及直线的斜率、截距等等。

由于作图法的广泛应用,因此作图技术也应认真掌握,下面列出作图的一般步骤及作图规则。

(1)坐标纸及比例尺选择:坐标纸有直角坐标纸、对数坐标纸、半对数坐标纸、

三角坐标纸和极坐标纸。最常用的是直角坐标纸,作图时以横轴表示自变量,纵轴表示因变量。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。比例尺的选择非常重要,需遵守以下各点:

①坐标刻度要能表示出全部有效数字。使图中得出的精密度与测量的精密度相当。

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 最方便,切忌采用 3、6、7、9。

③充分利用图纸全部面积,使全图分布均匀、合理。

④若作直线求斜率,则比例尺选择应使直线布置在图纸的对角线附近,这样斜率测得误差最小。

⑤若作曲线求特殊点,则比例尺的选择应以特殊点反映明显为度。

(2)坐标轴:选定比例尺画上坐标轴,在轴旁注明该轴所代表的变量名称及单位。应注意与列表法道理相同,曲线图坐标上的标注也应该是一纯数的式子。如 $\ln(p/P_a)$ 与 T/K 的关系,而不应写成“ $\ln p/P_a$ ”或“ $\ln p(P_a)$ ”与“ $T \cdot K$ ”或“ $T(K)$ ”的关系。在纵轴的左边及横轴的下面,每隔一定距离写出该处变量应有的值,以便作图及读数,但不应将实验值写于坐标轴旁或代表点旁。读数时横轴自左至右,纵轴自下而上。

(3)代表点:代表点是指测得的各数据在图上的点。将相当于测得数值的各点绘于图上,在点的周围画圆圈、方块、三角或其他符号。同一图纸上有数组不同的测量值时,各测量值的代表点应当用不同的符号表示,以便区别,并在图上予以说明。

(4)连曲线:作出各代表点后,用曲线板或曲线尺作出尽可能接近于各实验点的曲线,曲线应平滑均匀,细而清晰。曲线不必通过所有点,但各点分布在曲线两旁,在数量上应近似相等。测量点和曲线间距离表示测量误差,要求曲线与各点间的距离尽可能小,并且曲线两侧各点与曲线距离之和近似相等。

(5)写图名:曲线作好后,最后还应在图上写出清楚完备的图名及坐标轴的比例尺,图上除图名、比例尺、曲线、坐标轴及读数外,一般不写其他内容及作辅助线,以免影响主要部分。数据不要写在图上,但在实验报告上要有完整的数据。

C. 数学方程式法。数学方程式法就是将实验中各变量的依赖关系用数学方程式或经验方程式的形式表达出来,作为客观规律的一种近似描述的方法。数学方程式是理论探讨的线索和根据,它简明清晰,便于微分、积分及求内插值等。在实验拟合方程中,一旦确定了实验参数,因变量与自变量已有明晰的关系,很方便由自变量计算因变量,非常实用。因此,数学方程式法处理实验数据的任务就是采