


全国高等学校药学专业实验配套教材

Wuli Huaxue
Shiyan Zhidao

物理化学

实验指导

安锋利 编

 黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

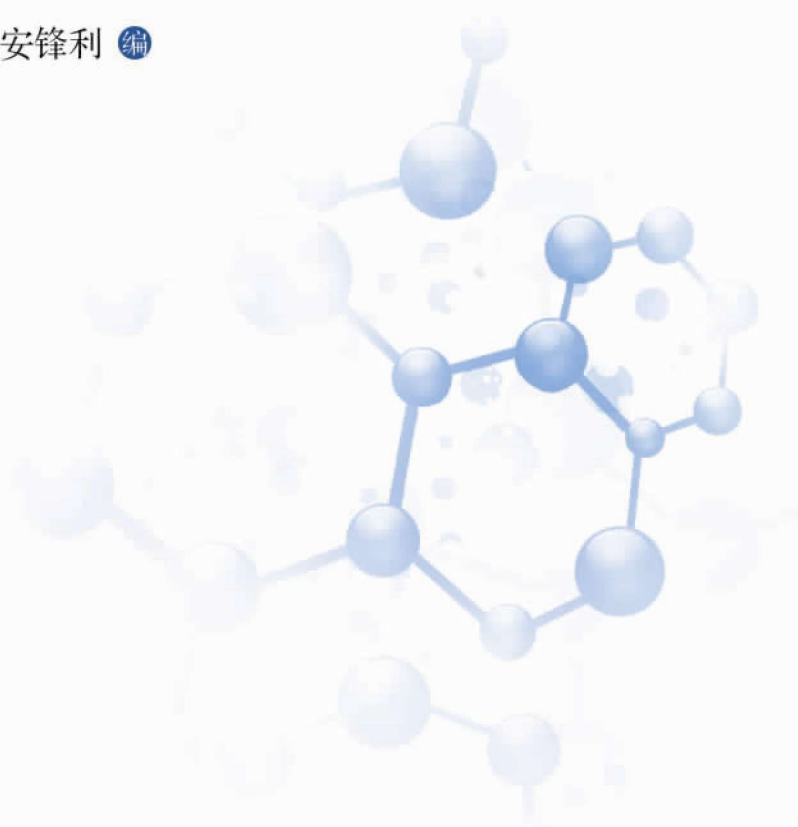
全国高等学校药学专业实验配套教材

Wuli Huaxue
Shiyan Zhidao

物理化学

实验指导

安锋利 编



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验指导 / 安锋利编. —银川:宁夏人民教育出版社, 2016.12

ISBN 978-7-5544-1825-3

I. ①物… II. ①安… III. ①物理化学—化学实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①064-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 321742 号

物理化学实验指导

安锋利 编

责任编辑 孔 畅

装帧设计 小 勉

责任印制 殷 戈



黄河出版传媒集团 出版发行
宁夏人民教育出版社

地 址 宁夏银川市北京东路 139 号出版大厦(750001)

网 址 www.yrpubm.com

网上书店 www.hh-book.com

电子邮箱 jiaoyushe@yrpubm.com

邮购电话 0951-5014284

印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司

印刷委托书号 (宁)0004687

开本 787 mm × 1092 mm 1/16

印张 8

字数 188 千字

版次 2016 年 12 月第 1 版

印次 2016 年 12 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5544-1825-3

定价 15.80 元

版权所有 侵权必究

作者简介

安锋利 女,1981年3月生,陕西渭南人,先后就读于陕西师范大学、兰州大学,2013年获理学博士学位。现为兰州大学药学院实验师,目前主要从事神经生物、遗传基因研究,负责药学本科专业物理化学实验教学管理,近年来先后完成自然科学研究项目6项,在国内外期刊发表各类论文10余篇。

前 言

随着高等院校教学改革的深入推进和素质教育理念的创新发展,实验教学得到越来越多的重视和关注。作为高等院校药学专业本科教学的重要分支,物理化学实验是研究化学基本理论和问题的重要手段和方法,对学生从事科学研究、职业发展具有基础性作用和长远性影响。《物理化学实验指导》是全国高等院校药学专业《物理化学》第七版教材的配套教材之一,可作为医学院校本科生物理化学的实验教材,也可供其他从事物理化学实验工作的有关人员参考学习。

本书包括四个部分:①绪论,主要介绍物理化学实验课程的目的和要求、实验室安全知识、误差理论与有效数字、实验数据的表示与处理以及物理化学实验的常用程序。②实验部分,在汲取其他院校长期实验教学经验基础上,选编了热力学、电化学、动力学、相平衡、胶体化学等物理化学分支中有代表性且较为成熟的实验操作。此外,还编写了部分综合、设计性实验,在强化基础知识、基本技能训练的基础上,培养学生动手能力、创新思维能力和科学素养,提升学生分析问题和解决问题的能力。③附录部分,收录了本书实验相关仪器的操作规范以及一些常用数据表以便查阅。④参考文献部分,列出了本书编写过程中的参考文献。

为了适应更多院校的实验条件及满足不同专业的教学要求,在实验内容中缩减了仪器介绍及使用,使全书内容简明扼要,也便于各院校根据自身实际情况自行选用。为了响应环保绿色教学的目的,在本套教材中对部分实验的试剂进行了改动,如在完全互溶双液体体系的相图实验中,一直选择的是苯-乙醇体系,在本教材中换为环己烷-乙醇体系,毒性大大降低,实验结果依然清晰可见。

本书在编写过程中得到了兰州大学药学院物理化学研究所各位领导和同志的关心与支持,在此表示深深的谢意。由于作者水平有限,书中难免存在问题和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2016年9月

目 录

绪 论	1
第一节 物理化学实验的目的与要求	1
第二节 物理化学实验的安全知识	3
第三节 误差理论与有效数字	5
第四节 实验数据的表示与处理	8
第五节 物理化学实验常用程序	13
实验操作	20
实验一 温度的测量与控制	20
实验二 燃烧热的测定	26
实验三 溶解热的测定	30
实验四 水溶液中氢氧化镍溶度积的测定	33
实验五 液体饱和蒸气压的测定	36
实验六 凝固点降低法测定物质的摩尔质量	39
实验七 完全互溶双液系平衡相图的绘制	43
实验八 酯化反应平衡常数的测定	47
实验九 电导法测定弱电解质的电离常数	51
实验十 电导滴定	55
实验十一 电池电动势的测定及其应用	57
实验十二 最大气泡压力法测定溶液的表面张力	61
实验十三 蔗糖水解反应速率常数的测定	64
实验十四 乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定	67
实验十五 H_2O_2 催化分解速率常数的测定	70
实验十六 胶体的制备与电泳	74
实验十七 黏度法测定水溶性高聚物相对分子质量	77

实验十八 偶极矩的测定	82
实验十九 丙酮碘化反应速率常数的测定	86
实验二十 磁化率的测定	91
实验二十一 乳状液的制备和性质	96
实验二十二 冬绿油-吐温 80-异丙醇-水体系微乳的制备和性能	99
附录一 物理化学实验常用数据表	102
附录二 物理化学实验常用仪器操作规范	105
参考文献	117

绪 论

第一节 物理化学实验的目的与要求

一、实验目的

物理化学实验是在无机化学、分析化学、有机化学等实验基础上发展起来的一门独立的基础实验课程,是化学实验的重要分支,也是研究化学基本理论和问题的重要手段和方法。物理化学实验的特点是利用物理方法研究化学系统变化规律,通过实验的手段,研究物质的物理化学性质及这些性质与化学反应之间的关系,从而得出有益的结论。物理化学实验教学的主要目的是:

(1)使学生初步了解物理化学的研究方法,掌握物理化学实验中常见的物理量(如温度、压力、电性质、光学性质等)的测量原理和方法;熟悉物理化学实验常用仪器和设备的操作与使用、实验现象的观察和记录、实验条件的判断和选择、实验数据的处理和实验结果的分析等,培养其形成能够根据所需合理选择并正确使用仪器,独立设计实验方案,为后续课程的学习打下必要的实验知识和技能基础。

(2)通过实验加深学生对物理化学原理的认识和理解;培养学生观察实验现象,能够正确记录和处理数据,并具备实验结果的分析和归纳,以及书写规范、完整的实验报告等能力。养成严谨细致、实事求是的科学态度和学习作风。

(3)验证所学的有关基础理论,巩固和加深对物理化学的基本概念、基本原理的理解,培养学生理论联系实际的能力,使学生受到初步的实验研究训练,提高学生的实验操作技能和培养学生初步进行科学研究的能力。

二、实验要求

进行每个实验都包括实验预习、实验操作和实验报告三个步骤,它们之间是相互关联的,任何一步做不好,都会严重影响实验教学质量。

(1) 实验预习

阅读实验讲义的有关内容,查阅相关资料,了解实验的目的和要求、原理和仪器、设备的正确使用方法,结合实验讲义和参考资料写出预习报告。预习报告的内容包括:①实验目的、②实验原理、③操作步骤和注意事项、④原始数据记录。要求学生能用自己的语言简明扼要的写出预习报告。实验前,教师要检查每个学生的预习报告,必要时进行随机提问,并解答疑难问题。对未预习和未达到预习要求的学生,必须先预习,经代课教师同意后方可进行实验操作。

(2) 实验操作

学生要严格遵守实验室的规章制度,注意安全,爱护仪器设备,节约实验用品,保持实验室的清洁和安静,尊重教师的指导。实验不准无故迟到、早退、旷课,病假要持医院证明申请补做,否则该实验记零分。

学生进入实验室后,应做好实验前的准备工作。首先检查测量仪器和试剂是否齐全,仪器设备安装完毕或连接好线路后,须经教师检查合格才能接通电源开始实验。实验操作时,要严格控制实验条件,仔细观察实验现象,详细记录原始数据,积极思考,善于发现问题和解决实验中出现的各种问题。未经教师允许不得擅自改变操作方法或开始实验。实验中仪器出现故障要及时报告,在教师指导下进行处理,仪器损坏要立即报告,进行登记,按有关规定处理,实验数据必须达到要求,经教师检查合格后才能拆实验装置。

实验要严肃认真、一丝不苟,不串位、不喧哗、不穿拖鞋背心等,不将不文明行为带进实验室。实验完毕后,要将用过的玻璃仪器清洗干净,仪器和药品要整理好,实验台和地面清理干净。经教师检查后,方可离开实验室。

(3) 实验报告

实验后,每个学生必须把自己的测量数据进行独立和正确处理,写出实验报告,按时交给教师。实验报告内容除了预习报告中的四条内容外,还包括:⑤数据处理、⑥结果分析讨论、⑦回答思考题、⑧参考文献等,这些内容既是实验报告的重点,也是提升学生综合素质的重要途径。其中结果分析讨论主要是对实验结果进行误差分析,实验现象的解释,实验的体会,提出改进意见。实验报告是教师评定实验成绩的重要依据之一。

三、实验讲座

物理化学实验讲座是本实验课程的一个重要环节。讲座包括物理化学实验的基本要求、实验及技术等方面的内容。系统讲授物理化学实验方法及技术,可以使学生在具体实验训练的基础上,对物理化学研究方法有更全面的了解。按照物理化学实验的学习方法、安全保护、数据处理、文献查阅、实验设计思想等基本要求,分成若干次讲座,使学生结合

每个实验反复练习、严格要求,将真正有助于提高学生的动手能力。

四、实验考核

物理化学实验考核是本实验课程一个必不可少的环节。本课程考核由平时每个实验的考核和学期总考核两部分组成。平时的实验考核主要侧重对学生实验基本技能的训练和实验素质的培养,学期总考核主要侧重对学生综合能力的考察。

第二节 物理化学实验的安全知识

在化学实验室里,安全是非常重要的,它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。如何防止这些事故的发生,以及万一发生事故如何急救,都是每一个化学实验工作者必须具备的素质。本节主要结合物理化学实验的特点介绍安全用电常识及使用化学药品的安全防护等知识。

一、安全用电常识

物理化学实验使用电器较多,特别要注意安全用电。违章用电可能造成仪器设备损坏、火灾,甚至人身伤亡等严重事故。为了保障人身安全,一定要遵守以下安全用电规则。

(1)防止触电

不用潮湿的手接触电器,实验开始时,应先连接好电路再接通电源;修理或安装电器时,应先切断电源;实验结束时,先切断电源再拆线路。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。如果有人触电,首先应迅速切断电源然后进行抢救。

(2)防止发生火灾及短路

电线的安全通电量应大于用电功率;使用的保险丝要与实验室允许的用电量相符。室内若有氢气、煤气等易燃易爆气体,应避免产生电火花。继电器工作时、电器接触点接触不良及开关电闸时均易产生电火花,要特别小心。如遇电线起火,立即切断电源,用沙或二氧化碳、四氯化碳灭火器灭火,禁止用水或泡沫灭火器等导电液体灭火。电线、电器不能被水浸湿或浸在导电液体中;线路中各接点应牢固,电路元件两端接头不要互相接触,以防短路。

(3)电器仪表的安全使用

使用前首先要了解电器仪表要求使用的电源是交流电还是直流电,是三相电还是单相电,以及电压的大小(如 380V、220V)。须弄清电器功率是否符合要求及直流电器仪表的正、负极。仪表量程应大于待测量,待测量大小不明时,应从最大量程开始测量。实

验前要检查线路连接是否正确,经教师检查同意后方可接通电源。在使用过程中如发现异常,如不正常声响、局部温度升高或嗅到焦味,应立即切断电源,并报告教师进行检查。

二、使用一般化学药品的安全防护

化学药品大多具有不同程度的毒性,毒物可以通过呼吸道、消化道和皮肤等途径进入体内,因此,为了尽量减少和杜绝毒物对实验者造成危害,应该做到以下几点:

(1) 防毒

实验前,了解所用药品的毒性及防护措施。操作有毒性化学药品应在通风橱内进行,避免与皮肤接触;剧毒药品应妥善保管并小心使用。不要在实验室内喝水、吃东西;离开实验室要洗净双手。

(2) 防爆

可燃气体与空气的混合物在比例处于爆炸极限时,受到热源(如电火花)诱发将会引起爆炸。因此使用时要尽量防止可燃性气体逸出,保持室内通风良好;操作大量可燃性气体时,严禁使用明火和可能产生电火花的电器,并防止其他物品撞击产生火花。

另外,有些药品如乙炔银、过氧化物等受震或受热易引起爆炸,使用时要特别小心。严禁将强氧化剂和强还原剂放在一起;久藏的乙醚使用前应除去其中可能产生的过氧化物;进行易发生爆炸的实验,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、金属钠及一些金属粉末(如铁、铝等)易氧化自燃,在保存和使用时要特别小心。

实验室一旦着火不要惊慌,应根据情况选择不同的灭火剂进行灭火。以下几种情况不能用水灭火:金属钠、钾、镁、铝粉、电石、过氧化钠等着火时,应用干沙等灭火;密度比水小的易燃液体着火,应采用泡沫灭火器;有灼烧的金属或熔融物的地方着火时,应用干沙或干粉灭火器;电器设备或带电系统着火,应用二氧化碳或四氯化碳灭火器。

(4) 防灼伤

强酸、强碱、强氧化剂、溴、磷、钠、钾、苯酚、冰醋酸等都会腐蚀皮肤,特别要防止溅入眼内。液氧、液氮等低温也会严重灼伤皮肤,使用时要小心。万一灼伤应及时治疗。

三、汞的安全使用

汞中毒分急性和慢性两种。急性中毒多为高汞盐入口所致,0.1~0.3 g 即可致人死亡。吸入汞蒸气会引起慢性中毒,症状为食欲缺乏、恶心、便秘、贫血、骨骼和关节疼痛、精神衰弱等。汞蒸气的最大安全浓度为 0.1 mg/m^3 ,而 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 时汞的饱和蒸气压约为 0.16 Pa ,超过安全浓度 130 倍。所以使用汞必须严格遵守下列操作规定:

(1) 储汞的容器要用厚壁玻璃器皿或瓷器,在汞面上加盖一层水,避免直接暴露于空气中,同时应放置在远离热源的地方。一切转移汞的操作,应在装有水的浅瓷盘内进行。

(2) 装汞的仪器下面一律放置浅瓷盘,防止汞滴落到桌面或地面上。万一有汞掉落,要先用吸汞管尽可能将汞珠收集起来,然后把硫黄粉撒在汞溅落的地方,并摩擦使之生成 HgS ,也可用 KMnO_4 溶液使其氧化。擦过汞的滤纸等必须放在有水的瓷缸内。

(3) 使用汞的实验室应有良好的通风设备;手上若有伤口,勿接触汞。

第三节 误差理论与有效数字

在物理化学实验中,通常是在一定的条件下测量某系统的一个或几个物理量,然后用计算或作图的方法求得另一些物理化学物理量的数值或验证规律。如何选择适当的测量方法? 准确估计所测得结果的可靠程度? 如何对所得数据进行合理的处理? 这是实验中经常遇到的问题。因此,要做好物理化学实验,必须进行正确的测量以及对数据进行合适的处理。

一、系统误差、偶然误差和过失误差

在任何一类测试中,都存在一定误差,即测量值与真实值之间存在一定的差值。根据误差的性质和来源,可以把测量误差分为系统误差、偶然误差和过失误差。

(1) 系统误差

在指定的测量条件下,多次测量同一量时,如果测量误差的绝对值和符号总是保持恒定,使测量结果永远偏向一个方向,这种测量误差称为系统误差。系统误差产生的原因有以下几个因素。

① 仪器误差:例如仪器零位未调好;温度计、移液管、滴定管的刻度不准确;仪器系统本身的问题等等。

② 测量方法的影响:采用了近似的测量方法或近似公式,例如根据理想气体状态方程计算被测蒸气的摩尔质量时,由于真实气体对理想气体的偏差,不用外推法求得摩尔

质量总比实际的摩尔质量大。

③环境因素的影响:由测量环境的温度、湿度、压力等对测量数据的影响。

④测量者个人的习惯性误差:例如有人对颜色不敏感,滴定时等当点总是偏高或偏低;读数时眼睛的位置总是偏高或偏低等等。

系统误差不能通过增加测量次数加以消除。通常用几种不同的实验技术或实验方法、改变实验条件、调换仪器、提高试剂的纯度等以确定有无系统误差的存在,确定其性质,然后设法减小误差,以提高测量的准确度。

(2)偶然误差

偶然误差是指在相同的实验条件下多次测量同一物理量时,其绝对值和符号都以不可预料的方式变化着的误差。偶然误差在实验中总是存在,无法完全避免。偶然误差服从概率分布,如在同一实验条件下对同一物理量测量时,实验数据的分布符合一般统计规律,即误差的正态分布。误差的正态分布具有以下特性:

①对称性:绝对值相等的正误差和负误差出现的概率几乎相等。

②单峰性:绝对值小的误差出现的概率大,而绝对值大的误差出现的概率小。

③有界性:在一定的实验条件下的有限次测量中,误差的绝对值不会超过某一界限。

由此可见,在一定的实验条件下,实验偶然误差的算术平均值随着测量次数无限增加而趋近于零。因此,为了减少偶然误差的影响,在实际测量过程中,常常对一个物理量进行多次重复测量以提高测量的精密度和再现性。

(3)过失误差

由于实验者的粗心,如标度看错、记录写错、计算错误所引起的误差,称为过失误差。

这类误差无规则可寻,必须要求实验者细心操作,过失误差是可以完全避免的。

二、平均误差、标准误差和或然误差

在一定条件下对某一个物理量进行 n 次测量,所得的结果为 x_1, x_2, \dots, x_n 。其算术平均值为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-3-1)$$

那么单次测量值 x_i 与算术平均值 \bar{x} 的偏差程度就称为测量的精密度。精密度表示各测量值之间的相近程度。精密度的表示方法一般有三种,平均误差、标准误差和或然误差。

(1)平均误差 a

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| \quad (1-3-2)$$

(2) 标准误差 δ

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-3-3)$$

(3) 或然误差 p

$$p = 0.6745 \delta \quad (1-3-4)$$

或然误差的意义是：在一组测量中若不计正负号，误差大于 p 的测量值与误差小于 p 的测量值，各占测量次数的一半。

以上三种误差之间的关系为：

$$p:a:\delta = 0.675:0.794:1.00$$

平均误差的优点是计算比较简便，但可能把质量不高的测量掩盖掉。标准误差对一组测量中的较大误差或较小误差比较灵敏，因此它是表示精密度的较好方法，在近代科学中经常采用标准误差。

测量结果的精密度常用 $(\bar{x} \pm s)$ 或 $(\bar{x} \pm a)$ 来表示， s 或 a 值越小表示测量精密度越高。

三、精密度和准确度

在定义上，测量准确度与测量精密度是有区别的。准确度是指测量偏离真值的程度，而精密度是指测量偏离平均值的程度。偶然误差小，数据重复性好，测量的精密度就高。系统误差和偶然误差都小，测量值的准确度就高。在一组测量中，尽管精密度很高，但准确度并不一定很好；相反，准确度好的测量值，精密度一定很高。

四、实验的测量误差

在物理化学实验中，有些物理量是能够直接测量的，但大多数的物理量是不能直接测量的，而是通过对另一些可直接测得的物理量的数值，按照一定的公式加以运算才能得到，这称为间接测量。在间接测量中每个直接测量的误差都会影响最后结果的误差。

设间接测量的数据为 x 和 y ，其绝对误差为 dx 和 dy ，而最后结果为 u ，绝对误差为 du ，其函数表达式为：

$$U = F(x, y) \quad (1-3-5)$$

$$du = \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_x dy \quad (1-3-6)$$

因此测量误差 dx 、 dy 都会影响最后结果 u ，使函数具有误差 du 。设各自变量的平均误差 Δx 、 Δy 足够小，可代替它们的微分 dx 、 dy ，并考虑到在最不利的情况下，直接测量的

正负误差不能对消而引起误差积累,所以取其绝对值,则:

$$\Delta u = \left| \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_y \Delta x \right| + \left| \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_x \Delta y \right| \quad (1-3-7)$$

(1-3-7)式就是间接测量中计算最终结果绝对误差的基本公式。

如果将(1-3-7)式两边取对数,再求微分,同理可得间接测量中计算最终结果相对误差的基本公式:

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{1}{F(x,y)} \left[\left| \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_y \Delta x \right| + \left| \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_x \Delta y \right| \right] \quad (1-3-8)$$

不同函数关系计算绝对误差和相对误差的公式列于下表:

表 1-3-1 不同函数关系的绝对误差和相对误差计算公式表

函数式	绝对误差	相对误差
$u=x+y$	$\Delta u = \pm (\Delta x + \Delta y)$	$\frac{\Delta u}{u} = \pm \frac{ \Delta x + \Delta y }{x+y}$
$u=x-y$	$\Delta u = \pm (\Delta x + \Delta y)$	$\frac{\Delta u}{u} = \pm \frac{ \Delta x + \Delta y }{x-y}$
$u=x \cdot y$	$\Delta u = \pm (y \Delta x + x \Delta y)$	$\frac{\Delta u}{u} = \pm \left(\left \frac{\Delta x}{x} \right + \left \frac{\Delta y}{y} \right \right)$
$u=x/y$	$\Delta u = \pm \frac{y \Delta x + x \Delta y }{y^2}$	$\frac{\Delta u}{u} = \pm \left(\left \frac{\Delta x}{x} \right + \left \frac{\Delta y}{y} \right \right)$
$u=x^n$	$\Delta u = \pm (nx^{n-1} \Delta x)$	$\frac{\Delta u}{u} = \pm n \frac{\Delta x}{x}$

如果知道直接测量的误差对最后结果产生的影响,就可以了解哪一方面的测量是实验结果误差的主要来源,如果事先预定了最后结果的误差限度,则各直接测定值可允许的最大误差也可断定,据此就可以决定应该如何选择合适的精密度的测量工具与之配合。但是,如果盲目地使用精密仪器,不考虑相对误差,不考虑仪器的相互配合,则不能提高测量结果的准确度,而且枉费精力,浪费仪器、药品。

第四节 实验数据的表示与处理

实验数据的表示主要有三种方式:列表法、作图法和数学方程式法。

一、列表法

列表法是将实验数据用表格形式表达出来,优点是一目了然,它常是其他数据处理方法的前期工作。列表时应注意以下几点:

- (1) 表格名称。每一表格应有简明、完整的名称。
- (2) 行(或列)名与单位。表格分为若干行和若干列,每一变量应占表格一行(或一

列)。每一行(或列)的第一列(或行)写上该行(或列)变量的名称及单位。

(3)有效数字。实验所获得的数值,不仅表示某个量的大小,还应反映测量这个量的准确程度。记录和计算测量结果都应与测量的误差相适应,不应超过测量的精确程度,即测量和计算所表示的数字位数,除末位数字为可疑者外,其余各位数从仪器上可直接测得,通常将所有确定的数字和末位不确定的数字一起称为有效数字。

二、作图法

图解法可使实验所测得各数据间的相互关系表现得更为直观,如:极大、极小、转折点、周期性、变化速率等都一目了然。利用图形还可对数据作进一步分析和处理,如:求得内插值、外推值、函数的微商、确定经验方程式中的常数等。

作图法的基本要点如下:

(1)坐标纸。在实验中选用最多的是直角坐标纸,有时也用半对数或全对数坐标纸,在表示三组分系统相图时,常用三角坐标纸。

(2)坐标轴。用直角坐标纸作图时,多以主变量为横轴,因变量为纵轴。坐标轴标尺不一定从零开始。

比例尺选择在作图法中至关重要。比例尺改变,曲线形状也随之改变,若选择不当,有时能使曲线上的极大、极小或转折点不明显,甚至得出错误的结论。比例尺选择应遵守下列规则:

①能表示出测量值的测量精度。使图上读出的各物理量的有效数字与测量时的有效数字相互一致。

②坐标轴上每小格的数值,应便于读数和计算。一般取 1、2、5 或者 1、2、5 的 10^n 倍 (n 为正或负整数),而不取难于读数的 3、4、6、7、8、9 或其倍数。

③在满足上述二个条件下,要充分考虑利用图纸,使图形布局合理、整体美观。若图形为直线或近乎直线,则应将其安置在图的对角线邻近位置。

比例尺选好后,画上坐标轴,在轴旁注明该轴的变量名称及单位。在纵轴左面和横轴下面每隔一定距离标出该变量的应有值,以便作图及读数。

(3)绘制测量点。将测得的各数据绘于图上,用比较细的“x”记号或“⊙”记号表示,符号中心表示测得数据的正确值,圆的半径等表示精密度值。若在同一张图上有数组不同的测量值,可用不同的符号以示区别,并应加以说明。

(4)作曲线。绘好测量点后,按其分布情况,用曲线尺或曲线板作尽可能接近各点的曲线,曲线应光滑清晰。曲线不必通过所有的点,但分布在曲线两旁的点数应近似相等,测量点与曲线距离应尽可能小。

(5)写图名。曲线作好后,应写上完整的图名、比例尺以及主要的测量条件,如:温度、压力等;写上实验人员姓名及实验日期。

三、数学方程式法

物理化学实验的数据处理往往是先把数据列成表格,然后将表格中的数据绘制成图,再将图中 x - y 之间的关系用数学方程式表示出来,由方程式解出实验结果。显然需要寻求拟合实验的数据,首先要选择一个适当的函数关系式,其次确定函数关系式中各参数的最佳值。

当不能确定实验数据的函数关系式时,通常首先需要利用实验数据作图,根据图形判断函数关系式。如果事先已知或者通过作图方式得到函数关系式,就可以利用根据实验数据,根据函数关系式进行数学拟合,得到函数关系式中各参数的最佳值。

在所有的函数关系式中,把实验数据拟合成二元一次线性方程要比其他函数关系式来得容易和简单。这不仅因为线性方程易于进行数学处理,而且还易于作图,并且可以直接从图上确定直线方程式中的各参数。例如二元一次线性方程:

$$y=mx+b \quad (1-4-1)$$

式中的参数 m (斜率)和 b (截距)。

在许多情况下,将所列数据作图时,并非都是直线。但是,有时通过某些数学处理,可以将其转化成二元一次线性方程,此过程称为曲线的直线化。表 1-4-1 为某些函数关系式的直线化处理方法。

表 1-4-1 某些函数关系式的直线化处理方法

函数关系式	线性方程式	纵坐标	横坐标	斜率	截距
$y=ae^{bx}$	$\ln y=bx+\ln a$	$\ln y$	x	b	$\ln a$
$y=ab^x$	$\ln y=x\ln b+\ln a$	$\ln y$	x	$\ln b$	$\ln a$
$y=ax^b$	$\ln y=b\ln x+\ln a$	$\ln y$	$\ln x$	b	$\ln a$
$y=a+bx^2$	$y=a+bx^2$	y	x^2	b	a
$y=a\ln x+b$	$y=a\ln x+b$	y	$\ln x$	a	b
$y=\frac{a}{b+x}$	$\frac{1}{y}=\frac{x}{a}+\frac{b}{a}$	$\frac{1}{y}$	x	$\frac{1}{a}$	$\frac{b}{a}$
$y=\frac{ax}{1+bx}$	$\frac{1}{y}=\frac{1}{ax}+\frac{b}{a}$	$\frac{1}{y}$	$\frac{1}{x}$	$\frac{1}{a}$	$\frac{b}{a}$

二元一次线性方程参数的确定常采用以下两种方法。

(1)图解法

在 x - y 直角坐标图上,将实验测得的数据作图得一直线,在直线两端选两点 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) ,则: