



中国轻工业“十三五”规划教材

基础物理化学 实验

JICHU WULI HUAXUE SHIYAN

崔玉红 赵占芬 梁山 陈京 赵妍◎主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

中国轻工业“十三五”规划教材

基础物理化学实验

崔玉红 赵占芬 梁山 陈京 赵妍 主编

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是根据教育部化学化工类基础化学实验课程的教学基本要求,并融合多年的物理化学实验教学改革成果编写而成的基础物理化学实验教材。

全书共分六部分,包括物理化学实验基本知识、基础物理化学实验常用仪器设备、基础物理化学实验、物理化学实验常用数据表、基础物理化学实验报告和基础物理化学实验视频。

本书可作为普通高等学校化学、化工、生物、海洋、环境、材料、制药、食品等专业的基础物理化学实验教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

基础物理化学实验 / 崔玉红等主编. — 天津: 天津大学出版社, 2018. 12

中国轻工业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5618-6165-3

I. ①基… II. ①崔… III. ①物理化学 - 化学实验 - 高等学校 - 教材 IV. ①O64 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 142552 号

出版发行 天津大学出版社
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.cn
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 6.5
字 数 162 千
版 次 2018 年 12 月第 1 版
印 次 2018 年 12 月第 1 次
定 价 22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

近年来,随着我国高等教育的不断发展,提高人才培养质量已成为高等教育工作者面临的重要课题。大学化学实验教学改革的核⼼是提高实验教学质量,培养实践能力强的创新型人才。物理化学实验是大学基础化学实验的重要组成部分,也是化学、化工、生物、制药、食品科学、环境科学及海洋科学等多个学科的必修基础课。物理化学实验的目的是使学生掌握物理化学的研究方法,学会测定物质的重要物理化学性能,加深对物理化学基本理论的理解,培养学生科学的实验素养。本书的编写是在近年来面向多专业学生所进行的实验教学改革与实践的基础上完成的。基于以上宗旨,本书的编写突出以下特色。

全书结构简练,重点突出,从培养学生的基本实验素养,使其掌握基本操作的角度出发,系统设计教材内容。第一部分为物理化学实验基本知识,除常规的化学实验基础知识外,重点介绍了物理化学实验数据的处理和计算机图形处理软件的应用。第二部分为基础物理化学实验常用仪器设备,涵盖了基础物理化学实验常用的仪器设备,重点融入了近年来出现的物理化学实验的新仪器和新设备。第三部分为基础物理化学实验,涵盖了化学热力学、电化学、化学动力学、胶体与表面化学的共 24 个实验。该部分在编写过程中,对部分实验内容进行了改进,充实了电化学实验。针对某些高校实验设备不完备的情况,对部分实验给出了替代实验方法。附录 1 给出了物理化学实验常用数据表。附录 2 为基础物理化学实验报告,为实验报告的正确书写提供了参考模板。

本书中的使用计算机处理实验数据、基础物理化学实验报告及基础物理化学实验视频内容均以二维码电子版的形式提供给读者。

参加本书编写的有:崔玉红、赵占芬、梁山、赵妍、陈京、汤红梅、孙冬兰、宋振兴、王绪美。具体分工是:崔玉红编写第二部分及第三部分实验 3-1、3-2、3-3、3-5、3-8、3-9、3-12、3-16、3-17、3-19、3-20、3-21,赵占芬编写第三部分实验 3-6、3-10、3-18、3-22、3-23、3-24 及附录 1,梁山编写第三部分实验 3-7 及附录 2,赵妍编写第三部分实验 3-11,陈京编写第一部分的四~五及第三部分实验 3-4,汤红梅编写第三部分实验 3-13,孙冬兰编写第三部分实验 3-14,宋振兴编写第三部分实验 3-15,王绪美编写第一部分的一~三。实验视频由崔玉红、赵妍、梁山、陈京制作。全书

由崔玉红负责统稿,赵占芬、梁山、赵妍、陈京负责校对。

本书在编写过程中得到了郭庆华、陈琴等老师的大力支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。由于编者水平有限,本书难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2018年3月

目 录

第一部分 物理化学实验基本知识	(1)
一、物理化学实验的目的	(1)
二、物理化学实验要求及实验室规则	(1)
三、物理化学实验室安全常识	(2)
1. 个人安全防护	(2)
2. 安全用电	(2)
3. 安全使用玻璃器皿	(3)
4. 安全使用危险化学品	(4)
5. 安全使用气体钢瓶	(5)
6. 已发生事故的处理	(5)
四、实验数据的正确记录与处理	(7)
1. 测量数据的正确记录与有效数字	(7)
2. 有效数字的运算规则	(8)
3. 实验数据的表达——列表法	(8)
4. 实验数据的处理——图解法	(9)
五、使用计算机处理实验数据	(10)
第二部分 基础物理化学实验常用仪器设备	(11)
1. DP-A 系列精密数字压力计	(11)
2. SWJ 数字温度计	(11)
3. 数字电导率仪	(12)
4. 数字电位差综合测定仪	(14)
5. 旋光仪	(15)
6. 阿贝折光仪	(18)
7. 723 型分光光度计	(18)
8. 玻璃恒温水浴	(21)
9. 高压钢瓶和氧气减压阀	(22)
第三部分 基础物理化学实验	(24)
一、化学热力学部分	(24)
实验 3-1 燃烧热的测定	(24)
实验 3-2 盐类溶解热的测定	(28)
实验 3-3 二组分真实液态混合物的气液平衡相图的绘制	(32)
实验 3-4 二元合金相图的绘制	(35)
实验 3-5 动态法测定液体的饱和蒸气压	(38)
实验 3-6 水的饱和蒸气压的简易测定	(41)

实验 3-7 凝固点降低法测定冰醋酸的摩尔质量	(42)
实验 3-8 液体黏度的测定	(45)
实验 3-9 黏度法测定水溶性高聚物的平均摩尔质量	(47)
二、电化学部分	(50)
实验 3-10 原电池电动势的测定及应用	(50)
实验 3-11 电导法测定强电解质的极限摩尔电导率	(54)
实验 3-12 电导滴定	(58)
实验 3-13 原电池电动势及温度系数的测定	(61)
实验 3-14 铁氰化钾-亚铁氰化钾循环伏安曲线的测定	(63)
实验 3-15 阳极极化法测定金属的耐腐蚀性能	(65)
三、化学动力学部分	(67)
实验 3-16 旋光法测定蔗糖水解反应的速率常数	(67)
实验 3-17 乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定	(70)
实验 3-18 过氧化氢催化分解反应速率常数的测定	(73)
四、胶体与表面化学部分	(76)
实验 3-19 最大气泡压力法测定溶液的表面张力	(76)
实验 3-20 电导法测定表面活性剂的临界胶束浓度(CMC)	(79)
实验 3-21 胶体的制备与性质	(81)
实验 3-22 液体在固体表面接触角的测定	(84)
实验 3-23 高分子化合物对胶体的絮凝与保护作用	(86)
实验 3-24 固体在溶液中的吸附	(87)
附录 1 物理化学实验常用数据表	(90)
附表 1 1 mol 溶质溶于 200 mol 水中的溶解热	(90)
附表 2 不同温度下水和乙醇的折射率	(90)
附表 3 几种液体的折射率(25 °C, 钠光 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$)	(90)
附表 4 凝固点降低常数	(91)
附表 5 不同温度下水的蒸气压	(91)
附表 6 不同温度下部分液体的密度 $\rho / (10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$	(92)
附表 7 不同温度下水的黏度 $\eta / (\text{mPa} \cdot \text{s})$ 和表面张力 $\sigma / (10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1})$	(92)
附表 8 几种液体在不同温度下的黏度 $\eta / (\text{mPa} \cdot \text{s})$	(93)
附表 9 一些离子在水溶液中的极限摩尔电导率(25 °C)	(93)
附表 10 不同温度下 KCl 溶液的电导率 $\kappa / (10^2 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1})$	(94)
附表 11 一些强电解质的离子平均活度因子 $\gamma_{\pm} (25^\circ)$	(94)
附表 12 不同温度下饱和甘汞电极(SCE)的电极电势	(95)
附表 13 甘汞电极的电极电势与温度的关系	(95)
附录 2 基础物理化学实验报告	(96)
附录 3 基础物理化学实验视频	(96)
参考文献	(97)

第一部分 物理化学实验基本知识

一、物理化学实验的目的

物理化学实验是在无机化学实验、有机化学实验和分析化学实验的基础上,独立开设的又一门重要的基础化学实验课。物理化学实验是利用物理学的原理、技术、仪器和方法,借助数学处理工具,研究化学反应系统中物理性质和化学性质的变化规律的一门基础实验学科。

通过物理化学实验,使学生掌握物理化学实验的基本原理、基本实验方法和技术;培养仔细观察实验现象,正确记录实验数据,学会借助数学工具分析、处理和归纳总结实验数据的能力;巩固、加深在物理化学理论课中所学的概念、公式和理论,提高对物理化学知识灵活运用能力。物理化学实验都需要借助物理仪器来完成,故开设物理化学实验课程的目的之一,就是培养学生对物理仪器的操作能力,了解常用仪器设备的工作原理和方法。开设物理化学实验课程更深层次的目的是通过物理化学实验,使学生初步受到科学研究的启蒙训练,逐步形成实事求是的科学态度、一丝不苟的科学作风和正确的科研思维,为今后从事科研工作打下必要的基础。

二、物理化学实验要求及实验室规则

物理化学实验经常会用到一些易燃易爆的化学药品以及多种仪器,若使用不当很可能发生意外事故。为了保证物理化学实验教学正常、安全、有序地进行,要求学生遵守如下规则。

(1)每次实验前都必须做好充分的预习工作。提前打印好实验报告,根据实验轮换表确定自己的实验项目,仔细认真地研读实验讲义和相关参考资料(有实验录像的,观看实验录像),了解实验的目的、原理、步骤、需测定的数据、所用仪器的原理及操作流程、注意事项等,并在此基础上完成预习报告。上实验课时,应带上所做的预习报告;不进行预习,不允许进入实验室操作实验。

(2)进入实验室后,应保持安静,不得随意走动,禁止饮食。

(3)应提前 10 min 进入实验室,提交上次实验的实验报告,换上实验服,按照实验分组到指定的实验台对号就位。根据实验教师的讲解和预习报告,核对仪器和药品,确定实验设备完好无损后,方可进行实验。如有实验设备缺损应及时报告,由实验教师补充和更换。

(4)实验中应遵守纪律,认真听讲,听从指导。同组实验人员要分工明确、密切配合,严格控制实验条件,规范操作实验仪器,仔细观察实验现象,认真规范记录实验数据,不允许用铅笔记录,且注意记录的数据整洁、清楚,不得任意涂改,如记录错误,可在原数据上画一杠,再在旁边记下正确值。

(5)要爱惜仪器和药品,复杂的仪器装置和电路应在安装好后请实验教师检查,无误后方可接通电源。实验中遇到不能独立解决的问题或异常现象应及时请教实验教师帮助分析

处理。

(6) 不得随意变更公共仪器及试剂瓶原有位置,用完要随即放回原处。

(7) 应将实验废液倒入指定的回收容器,严禁将废液、废弃固体物弃入水槽。

(8) 实验时,注意人身安全和实验安全。熟悉水、电、气和灭火器的正确使用方法与摆放位置,掌握灭火、防护和急救的相关知识。

(9) 实验结束后,先将数据交给教师审查,合格者方可整理仪器、药品,清洗玻璃仪器,待收拾好自己的实验台后,举手示意,实验教师签字后方可离开实验室。

(10) 班级负责人填写实验记录本,并安排4~6名值日生值日。值日生应对整个实验室进行清扫,关好水、电、门、窗,并经实验教师检查后方可离开。

(11) 认真完成实验报告,实验报告必须由本人独立完成。实验报告要字迹工整、叙述清楚、语言简练、条理分明、计算准确、作图规范、结果正确、讨论深入,要如实反映实验结果,不得拼凑或伪造实验数据。

三、物理化学实验室安全常识

物理化学实验室会使用涉及高温、辐射、高压、磁场及强(激)光等危险因素的电气设备,也会经常用到易碎、易裂以及容易引发伤害的玻璃仪器和易燃、有毒、有腐蚀性的危险化学品。这些极易引起安全事故,若掉以轻心,甚至会导致连锁式反应的灾难。因此进行物理化学实验的所有人员必须牢固树立“以人为本,安全为天”的思想,充分认识到实验室安全的重要性,并且要具备一定的安全知识和应变技能,严格遵守实验规则,维护人身和实验室的安全,确保实验安全、顺利地完成。进入物理化学实验室做实验前,要做好以下工作:掌握一定的关于危险化学品、割伤、安全用电、防火防爆等等一系列安全常识知识;了解即将开展的实验关于安全方面的注意事项;了解并熟知实验室周围环境和安全设施(灭火器、报警器、楼道电闸)位置以及安全出口和逃生通道的走向。进入实验室后,了解并熟知室内安全设施及水、电、气总开关的位置;熟悉防护眼镜、紧急喷淋器和洗眼器的位置及使用方法;爱护所有实验设备和公共物品,保持好环境卫生。

1. 个人安全防护

防范胜于救灾。在实验过程中,个人的人身防护工作非常重要。进入实验室,就要严格遵守实验室各项规章制度,严禁饮食。实验过程中,必须穿防护服,以防止皮肤受到各种伤害。不得在实验室穿拖鞋、短裤,应穿不露脚面的鞋和长裤;实验过程中应束起长发。必须佩戴防护眼镜,以防飞溅的液体、颗粒物及碎屑等对眼部的冲击和刺激,防止有毒、有刺激性气体对眼睛的伤害。手部是最易受到伤害的部位,故必须按照实验要求佩戴不同种类的防护手套。实验过程中,涉及挥发性有毒有害物质(含刺激性物质)或毒性不明的化学物质的实验操作,必须在通风橱中进行,而且实验过程中不可将头伸进通风橱中。为了保持足够的风速并将有毒有害气体及时排走,应尽量将通风橱门拉低。实验室应配备紧急洗眼器、紧急喷淋器和急救药箱。

2. 安全用电

违章用电常常会造成人身伤亡、火灾以及仪器设备损坏等严重事故。物理化学实验室使用的电器较多,尤其要注意安全用电。

1) 防止触电

- (1) 进入实验室,首先要熟悉电源总闸的位置,一旦发生危险,立即切断总闸。
- (2) 所有电源裸露部分都应有绝缘装置,所有电器的金属外壳都应保护接地。
- (3) 实验前先检查用电设备,再接通电源;实验结束后,先关闭仪器设备,再关闭电源。
- (4) 操作电器时,手必须干燥。
- (5) 离开实验室或遇突然断电时,应关闭电源,尤其要关闭加热电器的电源。
- (6) 修理或安装电器时,应先切断电源。
- (7) 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。
- (8) 发现已损坏的接头或绝缘不良的电线应报告实验教师或实验员,及时进行更换。
- (9) 如有人触电,应迅速切断电源,然后进行抢救。

2) 防止短路或引起火灾

- (1) 线路中各接点应牢固,电路元件两端接头不要互相接触,应避免导线间的摩擦,以防短路。
- (2) 电线、电器不要被水淋湿或浸在导电液体中。例如,实验室加热用的灯泡接口不要浸在水中。
- (3) 使用的保险丝要与实验室允许的用电量相符。
- (4) 电线的安全通电量应大于用电功率。
- (5) 若实验室内有氢气、煤气等易燃易爆气体,应避免产生电火花。继电器工作和开关电闸时易产生电火花,要特别小心。若电器接触点(如电插头)接触不良,应及时修理或更换。
- (6) 如遇电线起火,应立即切断电源,用沙土或二氧化碳、四氯化碳灭火器灭火,禁止用水等导电液体或泡沫灭火器灭火。

3) 电气仪表的安全使用

- (1) 在仪器设备安装、使用前,熟悉仪器设备的各项性能指标,包括主要额定参数(如额定电压、额定电流、额定功率)以及工作环境允许的温度和湿度范围等。
- (2) 清楚仪器设备的使用方法和测量范围,待测量必须与仪器仪表的量程相匹配。若待测量大小不清楚,必须从仪器仪表的最大量程开始测量。
- (3) 仪器设备电源不能接错,使用陌生仪器时,一定要看准使用哪种电源,并正确连接。
- (4) 在使用仪器设备的过程中,要严格按照说明书的要求正确操作仪器设备。使用者不能离开现场,仪器设备不能长时间处于无人照看状态。如发现有不正常声响、局部温度升高或嗅到绝缘漆过热产生的焦味,应立即切断电源,并报告实验教师进行检查。
- (5) 需要水冷的仪器设备在停水时不能使用。
- (6) 仪器设备使用完毕后,一定要关好电源,做好清理工作,使各项指标、参数恢复到原始状态。

3. 安全使用玻璃器皿

化学实验室经常用到玻璃器皿,若操作不当,就会造成意外伤害。由于有张力的玻璃器皿在加热时会破碎,因此安全使用玻璃器皿的最基本原则是勿对玻璃仪器的任何部分施加过大的压力或张力。例如,当玻璃部件插入橡胶或软木塞时,首先检查孔径大小是否合适,务必将手握在玻璃部件靠近橡胶或软木塞的部位缓缓旋进。在使用玻璃器皿时,仔细检查是否有破损或裂纹。若有,及时更换。使用时,轻拿轻放。量筒、试剂瓶、培养皿等玻璃器皿不可在火上

或电炉上加热。试管进行加热时,试管口不要朝向人。不在试剂瓶或量筒中溶解固体试剂或稀释浓硫酸。操作真空或密封玻璃器皿时,要格外小心。挪动玻璃干燥器时,应双手操作;当把灼热的器皿放入玻璃干燥器时,应暂留小缝隙,适当放气。

4. 安全使用危险化学品

1) 防火、防爆

化学实验室经常使用易燃的试剂,当可燃气体或蒸气与空气混合形成爆炸性混合物并达到爆炸极限时,遇到火源立即发生爆炸。故防火、防爆对于化学实验室来说非常重要。预防火灾的基本措施是:控制可燃物;隔绝空气;清除火源;阻止火势或爆炸波的蔓延。而防爆的基本措施是阻止爆炸的三个条件(存在可燃物,可燃物与空气混合达到一定浓度和具有足够的引爆能量)同时存在和相互作用。具体注意事项如下。

(1) 实验室常见的易燃试剂有乙醚、二硫化碳、烃类(乙烷、苯、甲苯等)、醇类、酮类(丙酮、丁酮)以及酯类(乙酸乙酯)等。实验室应控制这些易燃试剂的存量且分类存放。在使用易燃试剂时,要注意通风排风,且远离明火。例如,实验开始前,应先打开室内通风扇;实验装置的安装应远离火源;在移取或添加易燃试剂时,务必远离或熄灭火源。加热易燃试剂时,不要直接用明火,可以用水浴、空气浴等。蒸馏时接引管的出口应远离火源。

(2) 绝不可以加热密封的实验装置(即使装有冷凝管)。需要冷凝水的装置,加热前应将冷凝水接通。用油浴加热,应避免溅入水。当使用加热套加热时,应有足够的活动空间,以便在加热剧烈时能迅速拆卸。当进行放热反应时,应准备冷水或冷水浴,一旦发现反应失去控制,立即将其浸在冷水中。

(3) 减压蒸馏时应选用圆底烧瓶作接收器,不可用平底烧瓶蒸馏或用锥形瓶接收,以免炸裂。进行真空操作时,应严防空气突然进入热的装置,引起爆炸。

(4) 不得把燃着或带有火星的火柴梗或纸条放入废物缸或乱抛乱丢,否则会发生危险。

(5) 切勿将有机溶剂倒入废物缸中,而应将其倒入指定的回收瓶中。

(6) 易氧化自燃的物质(磷,金属钠、钾,电石及金属氢化物等)要隔绝空气保存,使用时要特别小心。

(7) 有些药品如叠氮铝、乙炔银、乙炔酮、高氯酸盐、过氧化物等受震和受热都易发生爆炸,使用时要特别小心。

(8) 严禁将强氧化剂和强还原剂放在一起。

(9) 久藏的乙醚使用前应除去其中可能产生的过氧化物。

2) 防毒、防灼伤

大多数化学药品均有不同程度的毒性。每次实验前,都应了解实验所用药品的毒性,并采取相应的防护措施。有毒有害试剂主要通过呼吸道、消化道或皮肤接触三种途径进入人体,对人体造成伤害,故防毒的关键就是尽量避免或减少毒品侵入人体。应在通风橱或手套箱内操作有毒试剂(如 H_2S 、 Cl_2 、 Br_2 、 NO_2 、浓 HCl 和 HF),且尽量拉低通风橱的玻璃窗,佩戴防护手套,在通风良好的情况下使用诸如苯、乙醚等有特殊气味的试剂。在使用如汞、苯等可通过皮肤进入人体的药品时,应避免与皮肤接触。剧毒性药品要妥善保管,使用时要特别小心。在操作有毒试剂时,尽量不要用手去触碰与实验无关的位置,例如门把手等,防止毒物污染扩散。禁止将食物及餐具带入实验室,禁止在实验室内喝水、吃东西。离开实验室时,一定要洗净双手。

人体皮肤直接与强腐蚀性物质、强还原剂、强氧化剂接触,会造成灼伤。盐酸、硝酸、羧酸、磺酸等酸类以及氢氧化钠、氢氧化钾、硫酸钠、三乙胺、吡啶等碱类都具有腐蚀性,在处理或使用腐蚀性试剂时,一定要佩戴防护手套。若腐蚀性试剂溅到皮肤上,应立即用大量的水冲洗干净。液体溴能导致皮肤、眼睛灼伤,是一种非常危险的药品,因此一定要在通风橱中使用。由于其密度较大,在用滴管转移时,即使不挤乳胶头,都可能因重力作用滴下来,因此要特别小心。实验中还要格外注意那些与水反应产生有毒、有刺激性气体的药品,例如氯化亚砷、酰氯、无水三氯化铝等。

5. 安全使用气体钢瓶

物理化学实验室会经常用到各类气体钢瓶等压力容器,它们好像一颗颗炸弹,在使用时一旦出现问题,就可能爆炸,造成人员伤亡。使用气体钢瓶应注意以下事项。

(1) 在使用气体钢瓶时,要学会按照钢瓶外表油漆颜色和字样正确识别气体种类,不能误用,以免造成事故。

(2) 气体钢瓶在运输、贮藏和使用过程中,应避免与坚硬物体发生碰撞、撞击;禁止曝晒,远离火源(一般规定距离明火 10 m 以上)或其他高温热源。

(3) 气体钢瓶存放或使用,一定要直立固定好,防止滚动或倾倒,最好在钢瓶外面装上橡胶防震圈。

(4) 有毒气体钢瓶要单独存放在通风良好的室内,且安装毒气报警装置。可燃气体与助燃气体钢瓶应分开存放,室内的照明灯具及电器必须采用防爆型的,并保持室内具有良好的通风条件。使用可燃气体时,一定要有防止回火的装置。

(5) 开阀时要慢慢开启。放气时,人应该站在出气口的侧面。开阀后观察减压阀高压端压力表指针的动作,待至适当压力后再缓缓开启减压阀,直到低压端压力表指针指到需要的压力时为止。

(6) 气体钢瓶用完应关阀,应用手旋紧,不得用工具硬扳,以防损坏瓶阀。

(7) 严禁油脂等有机物质沾污氧气钢瓶。若有油脂,立即用四氯化碳洗净。开启氧气瓶的扳手必须专用,以保证扳手上没有油脂。

(8) 气体钢瓶必须专瓶专用,不得擅自改装,应保持气瓶漆色完整、清晰。

(9) 瓶内气体不得完全用尽,应保持在 0.05 MPa(表压)以上的残留压力,以备充气单位检验取样和防止其他气体倒灌,发生危险。

(10) 应每三年检查一次使用中的气体钢瓶,每两年检查一次装腐蚀性气体的钢瓶。检查不合格的气体钢瓶不可继续使用。

(11) 一旦气体钢瓶漏气,应找专业人员进行维修,不得擅自检修。

6. 已发生事故的处理

在实验室里,一旦发生事故,要知道如何处理。无论发生什么事故,一定要反应迅速,第一时间报告实验教师,如果自己不能离开,要让其他人报告,然后由实验教师采取必要的措施。

下面介绍实验室常见事故的应急处理方法。

1) 触电事故的应急处理

触电是最常见的电气事故。触电事故的发生往往是一瞬间的事情,无法预计,且危险性大,致死率高。故要掌握一些有关触电方面的应急处理知识,一旦发生触电事故,内心要沉着冷静,动作要迅速,方法要得当。

人体触电后,应急处理的第一步是以最快的速度让触电者脱离电源,应立即拉下电闸,断开电源。若事故现场离电闸较远,应立即用不导电的竹竿、木棍等使导电体脱离触电者。在触电者没有脱离电源前,千万不可触碰触电者,避免因救人心切而忘了自身安全。在施救过程中,应注意不能用金属或潮湿的物品作为救护工具。触电者脱离电源后,立即将其就近转移至通风干燥的地方,检查其受伤情况。若发现触电者呼吸停止而仍有心跳,应立即对其进行口对口人工呼吸;若发现其心跳停止而尚有呼吸,应立即作心脏按压,尽力使其恢复心跳。在施救过程中,要尽快拨打急救电话,请求医护人员帮助。

2) 危险化学品伤害的应急处理

化学实验室所使用的危险化学品种类繁多,毒性各不相同,应急处理时要小心谨慎。急救前了解毒物的物理、化学及毒理性质,并咨询专业救护人员。

在实验室中,若化学药品溅入或误入口中,应用大量的水进行反复冲洗。若已进入胃中,应查明毒物的毒性。有特殊解毒剂的,可服用解毒剂进行解毒,例如氰化物中毒应吸入亚硝酸异戊酯。吸入非腐蚀药品或非烃类液体的中毒者,一般可采取催吐的方法。催吐需反复数次,直至呕吐物纯为饮入的清水为止。若食入强酸、强碱或烃类液体等,则不适宜催吐,而应服用牛奶、蛋清、豆浆等保护剂。若误吞强酸,先饮用大量的水,再服用氢氧化铝膏、鸡蛋白;若误服强碱,同样先饮用大量的水,再服醋、酸果汁、鸡蛋白。如果发生刺激性及神经性中毒,先服牛奶或鸡蛋白冲淡和缓解,再服用硫酸镁溶液(约 10 g 溶于 100 mL 水中)催吐,并送往医院。

若中毒者吸入有毒气体,应让其迅速脱离现场,转移至空气新鲜处,松开中毒者的衣领和腰带,保持呼吸道畅通,对呼吸困难和面部出现紫色者应让其立即吸氧,在这个过程中,注意保暖。若危险化学药品接触到皮肤,应立即脱去被污染的衣服,用大量流动的清水(使用紧急喷淋器或自来水管)或肥皂水彻底冲洗,冲洗时间不得少于 15 min,若有轻微的灼伤,应敷以灼伤药膏,伤势严重者应去医院作进一步的治疗。如溴引起的灼伤特别严重,应立即用水冲洗,然后以 10% 的硫代硫酸钠浸渍,敷上烫伤药膏,包扎并就医。若危险化学品能与水发生作用,先用干布或毛巾擦去药品,再用水冲洗。冲洗时,不要用热水,以免增加吸收。若危险化学品接触到眼睛,立即提起眼睑,用大量流动的清水(如使用洗眼器)彻底冲洗,冲洗时应将眼睑翻起,将结膜囊内的化学物质全部冲出,边洗边转动眼球。如果是酸溅入眼睛,应擦去眼睛外面的酸,立即用水冲洗或用稀碳酸氢钠溶液洗涤,最后滴入少许蓖麻油;若碱溅入眼睛,应擦去眼睛外面的碱,立即用水冲洗,再用饱和硼酸溶液洗涤,最后滴入少许蓖麻油。若眼睛受到溴蒸气刺激暂不能睁开,可使眼睛靠近盛放酒精的容器上方,以加速溴的挥发,从而减少对眼睛的刺激。

3) 火灾的处理

实验室发生火灾等紧急事故时,首先应设法保护人身安全,在确保人身安全的前提下,尽可能保护财产、实验记录,并控制事故蔓延。

若发现自己所在实验室起火,应立即熄灭附近所有的火源,切断电源,移开附近所有的易燃物质。如果仅仅是一些小容器(如烧杯)着火,通常用大一点的抹布或烧杯扣在上面即可熄灭火焰。沙子也能起到同样的作用。一般地,有机溶剂着火,千万不要用水灭火。对于一些大的着火点,要用灭火器。实验室最常用的灭火器就是干粉灭火器,最好由实验教师或有经验的人使用灭火器。若火势太大,或已危及生命,应尽快撤离,立即报警,并通知有关人员迅速撤离。若发现其他实验室起火,应协助施救和报警。

身上着火时切勿奔跑。如果现场有灭火毯,用灭火毯裹住身体把火熄灭。若附近有水源(紧急喷淋器、紧急洗眼器、水龙头等),向身上淋水灭火。无外物借助时,应就地卧倒滚动身体,以压灭火焰。

4) 割伤的应急处理

在化学实验室中,经常使用各类玻璃器皿,很容易被碎玻璃割伤。被割伤时,需用清水冲洗伤口 10 min 以上,充分清洗残留的化学药品和玻璃碴儿。用创可贴或纱布裹好伤口以达到止血的目的。止血后,最好去医院接受进一步的医治。如果伤势特别严重,应该让伤者躺下,受伤部位略抬高,并保持安静,切记用止血带或压脉器止血,同时迅速拨打急救电话请求医生的帮助。

四、实验数据的正确记录与处理

1. 测量数据的正确记录与有效数字

根据误差理论,实验直接测量的物理量 x 的结果应表示为 $\bar{x} \pm \Delta x$ (Δx 是实验误差或者仪器的精度),间接测量的结果也可以表示为 $\bar{x} \pm \Delta x$,因此正确记录的物理量能够反映被测量的大小、数据的可靠程度,还能反映测量仪器的精密度。如称量得某样品的质量为 $(1.3268 \pm 0.0001) \text{g}$,其中 1.326 是完全确定的,最后一位数 8 是不确定的, $\pm 0.0001 \text{g}$ 表示仪器的精密度,反映出该样品是用万分之一的天平称量的。若称量的结果记为 $(1.327 \pm 0.001) \text{g}$,其中 1.32 是完全确定的,最后一位数 7 是不确定的, $\pm 0.001 \text{g}$ 表示仪器的精密度,反映出该样品是用千分之一的天平称量的。因此物理量的每一位都有实际意义,不可任意添加或删除,把测量结果中可靠的几位数字加上可疑的一位数字,统称为测量结果的有效数字。

1) 用有效数字表示测量结果的基本方法

(1) 仪器正确测读的原则。在读出数据的有效数字中,可靠数字由被测量的大小与所用仪器的最小分度决定;可疑数字由介于两个最小分度之间的数值估读,估读数取一位(这一位是有误差的)。数字式仪表及步进计数器不需要估读,仪器所显示的末位数字就是可疑数字。

(2) 对于标明误差的仪器,应根据仪器的精密度来确定测量值中可疑数的位置,如 1/10 温度计的 $\Delta x = \pm 0.02 \text{ } ^\circ\text{C}$,贝克曼温度计的 $\Delta x = \pm 0.002 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

(3) 测量结果的有效数字由误差确定。不论是直接测量还是间接测量,其结果的误差一般只取一位有效数字,最多不超过两位。测量结果的有效数字的最后一位与误差所在的一位对齐。例如: $L = (23.87 \pm 0.02) \text{ cm}$ 是正确的,而 $L = (23.868 \pm 0.02) \text{ cm}$ 和 $L = (23.9 \pm 0.02) \text{ cm}$ 都是错误的。

2) 关于“0”的问题

有效数字的位数与十进制的单位变换无关,末位的“0”和数字中间的“0”均属于有效数字,如 23.20 cm,10.2 V 等,其中出现的“0”都是有效数字。

第一个不是“0”的数字前的所有“0”均不是有效数字。如 0.23 cm 和 0.012 kg 中的“0”都不是有效数字,这两个数值都只有两位有效数字。

3) 数值表示的标准形式

数值表示的标准形式是用 10 的幂来表示数量级,前面的数字是测得的有效数字。对 7 200 g,若实际测量的有效数字是两位,应写作 $7.2 \times 10^3 \text{ g}$,若实际测量量可至第四位,则应表

示为 $7.200 \times 10^3 \text{ g}$ 。

4) 单位变换

对于十进制单位变换,只涉及小数点位置改变,而不允许有效位数改变。例如 1.3 m 为 2 位有效数字,在换算成 km 或 mm 作单位时应写为

$$1.3 \text{ m} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ km} = 1.3 \times 10^3 \text{ mm}$$

而 $1.3 \text{ m} = 1\ 300 \text{ mm}$ 的写法是错误的。

2. 有效数字的运算规则

1) 加减运算

各数值先修约,再运算。按照四舍五入的原则,使各数值所取的位数与绝对误差最大的数的位数相同。例如: $3.5986 + 114.\underline{5} + 0.23 = 3.\underline{6} + 114.\underline{5} + 0.\underline{2} = 118.\underline{3}$ 。

2) 乘除运算

几个数相乘除,计算结果的有效数字位数与各数值中有效数字位数最少的一个相同(或再多保留一位)。例如: $2.752 \times 14.\underline{6} = 40.\underline{2}$ 。

3) 乘方和开方运算

有效数字在乘方和开方时,运算结果的有效数字位数与其底的有效数字的位数相同。例如: $\sqrt{36.85} = 6.070$ 。

4) 对数函数、指数函数和三角函数运算

对数函数运算时,尾数的有效数字位数与真数的有效数字位数相同。例如: $\lg 86.\underline{74} = 1.\underline{938\ 2}$ 。

指数函数运算时,结果的有效数字位数与指数小数点后的有效数字位数相同。例如: $10^{1.085} = 12$ 。

三角函数的有效数字位数与角度的有效数字位数相同。例如: $\sin 30^\circ = 0.\underline{50}$ 。

3. 实验数据的表达——列表法

由实验获得的大量数据经初步处理后,应该尽可能列表,整齐而有规律地表达出来,使得全部数据一目了然,以便于进一步处理运算与检查。

列表法是将一组实验数据中的自变量和因变量按一一对应关系用表格形式表达出来。列表时应注意以下几点。

(1) 写出表格名称。表格应有简明、完整的名称。

(2) 行名与量纲。在表格的每一行或每一列的第一格要详细写出名称与单位。

(3) 有效数字。每一行所记的数据应注意其有效数字,并将小数点对齐。表格中列出的数据应是纯数,因此表的栏头也应表示成纯数,应当是量的符号 G 除以量纲的符号 $[G]$,即 $G/[G]$,如: p/Pa , T/K ;或者是纯数的数学函数,例如: $\ln(p/\text{Pa})$ 。若表中数据有公共乘方因子,将指数放在行名旁,但注意指数上的正负号应异号。例如某组数据有公共乘方因子 10^{-4} ,则行名栏写成行名 $\times 10^4$,若表格内的数据为 2.13,则表示实验数据为 2.13×10^{-4} 。

(4) 主变量的选择。一般选择较简单的量作为主变量,如:温度、时间、距离等。主变量最好是均匀、等间隔地增大(或减小)。若实测结果并非如此,可将测定数据绘成图,由图读出主变量均匀、等间隔地递变的一套新数据,然后再列成表。

(5) 原始数据可与处理结果列在一张表格中,在表格下注明处理方法和计算公式。

4. 实验数据的处理——图解法

利用图解法来表达实验数据具有许多优点。首先,它能清楚地显示出变化的规律与特点,如极大点、极小点、转折点、周期性、变化速率等重要性质。其次,能够利用足够光滑的曲线作图解微分和积分,有时还可通过作图外推法求得实验难以获得的量。

作图要用铅笔,铅笔要削尖,这样才能使画出的线条明晰清楚,不要用圆珠笔或签字笔画图。常用的作图工具有直尺、曲线板或曲线尺。

作图法的一般步骤及原则如下。

1) 坐标纸的选择与纵横坐标的确定

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,在表示三组分系统的相图时,常用三角坐标纸。

用直角坐标纸作图时,多以自变量为横轴,因变量为纵轴。横轴与纵轴的读数不一定从零开始,可视具体情况而定。例如:测定不同组成样品的折光率时,得到如下数据。

$w_B/\%$	0	20	40	60	80	100
折光率	1.361 7	1.372 2	1.390 2	1.404 5	1.417 8	1.427 0

折光率随组成而变,因此取组成为横坐标,折光率为纵坐标。

2) 坐标的范围

坐标的范围应包括全部测量数据且稍有余地。

上例中,组成的变化范围是 0 ~ 100%,横坐标的范围是 0 ~ 100%。

折光率的变化范围是 1.361 7 ~ 1.427 0,纵坐标的范围是 1.360 0 ~ 1.430 0。

3) 比例尺的选择

比例尺改变,曲线形状也随之改变,若选择不当,会使曲线上的极大点、极小点、转折点不明显,甚至得出错误的结论。比例尺的选择应遵守下列规则。

(1)能表示出测量值的测量精度,即能使从图上读出的各物理量的有效数字与测量时的有效数字一致。

(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)在满足上述两个条件的情况下,要充分考虑到利用图纸,使图形布置合理。若图形为直线或近似的直线,则比例尺的选择应使其直线与横轴的交角尽可能接近 45° 。

4) 画坐标轴

比例尺选好后,画上坐标轴,在轴旁注明该轴的变量名称及量纲。在纵轴左面和横轴下面每隔一定距离标出该变量的对应值,以便作图及读数。但不应将实验数据的值写在坐标轴旁或图形中,横轴读数自左至右,纵轴读数自下至上。

5) 描点

将测得的各数据绘于图上,用比较细的“+”“○”或“⊗”等记号表示,符号中心表示测得数据的值,圆的半径表示精密度。若在同一张图上有数组不同的测量值,需要用不同的符号表示以示区别,并应在图上加以说明。

6) 连曲线

绘好测量点后,按其分布情况用曲线尺或曲线板画出曲线,曲线应光滑清晰。曲线应尽可

能通过所有点,当曲线不能通过全部实验点时,分布在曲线两旁的点的个数应近似相等,测量点与曲线的距离应尽可能小。个别偏离曲线较远的点,应检查标点是否错误。若无误,表明该点可能是错误数据,在连线时舍去不予考虑。对出现错误数据的原因应在实验报告中予以讨论。

7) 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)。写上姓名及实验日期。若所作图形为直线并欲求其斜率时,应在靠近直线的两端取两点,并标出两点的坐标。若图形中有极值或拐点,在极值和拐点处标出坐标。

五、使用计算机处理实验数据

基础物理化学实验中很多实验的数据处理非常烦琐,通常要先进行数据的计算处理,然后制表、作图,根据曲线的斜率和截距进一步得到实验结果,处理过程费时费力而且容易出错。随着科学技术的进步和计算机的普及,计算机处理数据软件越来越多,如电子表格软件Excel、专业制图软件 Origin 等。

