



全国高等院校药学类专业“十三五”规划实验教材
(校企合作示范教材)

物理化学实验教程

(供药学、中药学、制药技术、制药工程及相关专业使用)

主 编 ○ 李 森 高 静

书网融合教材



中国健康传媒集团
中国医药科技出版社

主要内容

全国高等院校药学类专业“十三五”规划实验教材
(校企合作示范教材)

物理化学实验教程

(供药学、中药学、制药技术、制药工程及相关专业使用)

主 编 李 森 高 静
副主编 蔡 峰 由丽梅 钱 坤 卫 涛
编 者 (以姓氏笔画为序)
卫 涛(温州医科大学)
王 霞(河南中医药大学)
由丽梅(牡丹江医学院)
吕 翔(南京中医药大学)
吕保樱(广西科技大学)
孙 革(齐齐哈尔医学院)
杨德强(黑龙江中医药大学)
李 森(哈尔滨医科大学)
林 珊(哈尔滨医科大学)
钱 坤(江西中医药大学)
高 静(牡丹江医学院)
蔡 峰(哈尔滨医科大学)



中国健康传媒集团
中国医药科技出版社

内 容 提 要

本教材是“全国高等院校药学类专业‘十三五’规划实验教材（校企合作示范教材）”之一，根据物理化学教学大纲基本要求和课程特点编写而成。内容上紧紧围绕全国高等院校药学类专业本科教育和人才培养目标要求，突出药学特色、对接行业用人需求，在继承和巩固“三基”“五性”的基础上，开展了案例教学、基础实验、设计性实验、数字教材和创新型教学内容的编写。本教材具有“理实结合”“校企对接”“纸数同步”的特点，使其更加符合高等学校本科药学类人才的培养模式和药学类专业人才培养的目标和要求。本书为书网融合教材，即纸质教材与在线学习平台、数字化教学资源（PPT、题库、规范化实验操作视频等）相融合，具有适用范围广、可操作性强、可重复性好及与实践紧密结合等特点。

本教材适合药学、中药学、制药技术、制药工程及相关专业本科生使用。

图书在版编目（CIP）数据

物理化学实验教程 / 李森, 高静主编. —北京: 中国医药科技出版社, 2019. 7

全国高等院校药学类专业“十三五”规划实验教材（校企合作示范教材）

ISBN 978 - 7 - 5214 - 0938 - 3

I. ①物… II. ①李… ②高… 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（2019）第 112264 号

美术编辑 陈君杞

版式设计 诚达誉高

出版 中国健康传媒集团 | 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲 22 号

邮编 100082

电话 发行: 010 - 62227427 邮购: 010 - 62236938

网址 www.cmstp.com

规格 889 × 1194mm $\frac{1}{16}$

印张 6 $\frac{3}{4}$

字数 139 千字

版次 2019 年 7 月第 1 版

印次 2019 年 7 月第 1 次印刷

印刷 三河市百盛印刷有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978 - 7 - 5214 - 0938 - 3

定价 22.00 元

版权所有 盗版必究

举报电话: 010 - 62228771

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

获取新书信息、投稿、
为图书纠错，请扫码
联系我们。



出版说明

为深入贯彻落实教育部高等教育改革系列文件精神，坚持“加强实践教学、校内外实习基地、课程教材等基本建设”“创立高校与科研院所、行业、企业联合培养人才的新机制”等教育教学改革举措，同时为了更好地贯彻落实《国家中长期教育改革发展规划纲要（2010—2020年）》等文件精神，以专业人才培养目标为统领，以岗位需求为导向，以增强学生职业综合能力为核心，培养具备行业优质服务意识、创新型高等医药院校药学类专业人才。在教育部、国家药品监督管理局的领导下，中国医药科技出版社科学统筹，准确定位，精心策划，组织编写了《“十三五”规划高等教材（校企合作示范教材）》。

数字化教材编委会

本套教材编写旨在适应学科发展的新要求，提升教材质量，更好地满足教学需求，体现了教学理念的新进展、新方法和新标准；构建高校与科研院所、行业、企业联合培养人才的教材建设模式，最终打造高等医药院校药学类专业精品实训教材。

全套教材共15门，主要编写如下。

主 编 李 森 高 静

副主编 蔡 峰 由丽梅 钱 坤 卫 涛

编 者 （以姓氏笔画为序）

卫 涛（温州医科大学）

王 霞（河南中医药大学）

由丽梅（牡丹江医学院）

吕 翔（南京中医药大学）

吕保樱（广西科技大学）

孙 革（齐齐哈尔医学院）

杨德强（黑龙江中医药大学）

李 森（哈尔滨医科大学）

李佳昊（哈尔滨医科大学）

林 珊（哈尔滨医科大学）

钱 坤（江西中医药大学）

高 静（牡丹江医学院）

黄祖胜（温州医科大学）

蔡 峰（哈尔滨医科大学）

五、校企合作工学结合，满足岗位需要

本套教材的编写团队不仅吸收了具有丰富教学经验的骨干教师、实验指导教师，同时还从医院、药晶生产研发企业吸纳具有丰富岗位实践经验的大师作为编写参加教材的编写，确保了实训教材的内容密切结合应

全国高等院校药学类专业“十三五”规划实验教材（校企合作示范教材）

出版说明

为深入贯彻教育部高等教育改革系列文件精神，坚持“加强实验室、校内外实习基地、课程教材等基本建设”“创立高校与科研院所、行业、企业联合培养人才的新机制”等教育教学改革方向，同时为了更好地贯彻落实《国家中长期教育改革发展规划纲要（2010—2020年）》等文件精神，以专业人才培养目标为依据，以岗位需求为导向，以增强学生就业创业能力为核心，培养具备行业优势的复合型、创新型高等医药院校药学专业人才，在教育部、国家药品监督管理局的领导下，中国医药科技出版社科学规划、准确定位课程及教材，组织编写了“全国高等院校药学类专业‘十三五’规划实验教材（校企合作示范教材）”。

本套教材建设旨在适应学科发展的新要求，提升教材质量，更好地满足教学需求，体现了药学专业的新进展、新方法和新标准；构建高校与科研院所、行业、企业联合培养人才的教材建设模式，最终打造高等医药院校药学类专业精品实验教材。

全套教材包含15门，主要特点如下。

一、体现行业准入要求，注重学生持续发展

本套教材以《中华人民共和国职业分类大典（2015版）》规定的医药卫生、食品药品行业从业人员职业资格准入为指导，按照行业用人要求，体现培养目标与用人要求紧密结合。体现教考结合，紧密对接医药卫生、食品药品行业从业人员职业资格准入要求，教材内容和实验项目的选取结合药学专业职业（药士、药师）资格考试和执业药师资格考试的要求。注重培养学生独立思考能力、实验设计能力、实践操作能力和可持续发展能力，满足培养应用型和复合型人才的要求，为学生全面成才、持续发展奠定扎实基础。

二、遵循教材编写规律，强化实践技能训练

本套教材编写遵循“三基、五性、三特定”的教材编写规律，以“必需、够用”为度；内容坚持与时俱进，吸收了新技术和新方法，并适当拓展知识面，为学生后续发展奠定必要的基础；密切结合主干教材内容，注重实践技能训练，体现理实一体。

三、结合实情依据大纲，精心设计实验内容

每门教材内容设计紧紧围绕为专业培养目标服务，教材前后章节顺序安排符合教学规律、体现循序渐进的原则，由浅入深、由易到难，满足学生专业知识结构要求；实验教学内容与其相应理论教材内容相呼应。根据“严格遵从教材内容、依据实验教学大纲、节约实验材料消耗、充分利用教学时间、最大限度满足学习”的原则，对药学实验教学内容进行了优选。

四、建立新型教学理念，兼顾培养应用型与科研型人才

在编写验证性实验，培养学生基本实验操作能力的同时，本套教材增加了设计性实验和综合性实验部分，以现实问题作为驱动力来培养学生自主获取和应用新知识的能力，从而帮助学生培养自主学习能力、创新能力、科研能力以及与人合作的能力。

五、校企合作工学结合，满足岗位需要

本套教材的编写团队不仅吸收了具有丰富教学经验的骨干教师、实验教学教师，同时还从医院、药品生产经营企业吸纳具有丰富岗位实践经验的人员作为编者参加教材的编写，确保了实验教材的内容密切结合应

用,满足岗位需要。

六、书网融合,使教与学更便捷、更轻松

本套教材为书网融合教材,即纸质教材与数字教材、配套教学资源、题库系统、数字化教学服务有机融合。通过“一书一码”的强关联,为老师和学生提供全免费增值服务。可通过PC、手机登陆中国医药科技出版社“医药大学堂”平台,阅读电子教材和配套课程资源(如PPT、视频等),并可在线进行同步练习,实时反馈答案和解析。同时,读者也可以直接扫描书中二维码,阅读与教材内容关联的课程资源(“扫码学一学”,轻松学习PPT课件;“扫码练一练”,随时做题检测学习效果;“扫码看一看”,直观体验实验操作),从而丰富学习体验,使学习更便捷。教师可通过电脑在线创建课程,与学生互动,开展布置和批改作业、在线组织考试、讨论与答疑等教学活动,学生通过电脑、手机均可实现在线作业、在线考试,提升学习效率,使教与学更轻松。

本套教材的编写修订,得到了全国知名专家的精心指导和各有关院校领导与编者的大力支持,在此一并表示衷心感谢!希望以教材建设为核心,为高等医药院校搭建长期的教学交流平台,对医药人才培养和教育教学改革产生积极的推动作用。同时,教材的建设工作漫长而艰巨,希望各院校师生在教学过程中,及时提出宝贵的意见和建议,以便不断修订完善,更好地为中国医药教育事业的发展服务!

中国医药科技出版社

2019年3月

建设指导委员会

主任委员 姚文兵（中国药科大学）

副主任委员（以姓氏笔画为序）

王鹏程 [山东第一医科大学（山东省医学科学院）]

吴宜艳（牡丹江医学院）

何 涛（西南医科大学）

宋印利（哈尔滨医科大学）

郑兰荣（皖南医学院）

赵宝江（佳木斯大学）

崔 文（济宁医学院）

委 员（以姓氏笔画为序）

丁 林（济宁医学院）

马宇衡（内蒙古医科大学）

王存琴（皖南医学院）

王丽红（佳木斯大学）

王金英（牡丹江医学院）

韦国兵（江西中医药大学）

孔凡栋（济宁医学院）

石秀梅（牡丹江医学院）

包淑云（皖南医学院）

李 森（哈尔滨医科大学）

李秋萍（佳木斯大学）

李福荣 [山东第一医科大学（山东省医学科学院）]

沈广志（牡丹江医学院）

张开莲（西南医科大学）

张羽男（河北民族师范学院）

邹纯才（皖南医学院）

赵全芹（山东大学）

栾 芳（佳木斯大学）

高 静（牡丹江医学院）

唐 灿（西南医科大学）

黄丽萍（江西中医药大学）

彭海生（哈尔滨医科大学）

韩 军（皖南医学院）

税丕先（西南医科大学）

鄢海燕（皖南医学院）

前 言

QIANYAN

物理化学实验是医药院校药学及相关专业的一门重要的实验课程，该课程对于帮助学生理解物理化学理论具有重要的作用。物理化学实验是一门综合性很强的实验课程，实验中应用了较多的仪器设备、较深的实验理论及较复杂的实验数据处理方法。因此，通过物理化学实验的学习，学生不仅能增长实验技能，而且能在实验中提高分析问题和解决问题的能力，为后续专业课学习及科研创新奠定重要基础。

本教材分为上、下两篇，上篇为基础知识和技能，包括绪论及物理化学常用物理量的测量及仪器两章；下篇为实验操作，包括基础实验和设计性实验两章。上篇绪论中介绍了物理化学实验的目的和基本要求，并从如何上好一门物理化学实验课的角度建议学生通过开展“团队任务法”进行主动的预习、统筹分工、协同操作，共同分析、处理、解决问题，让学生变被动的接受式学习为主动的探究式学习，变“照方抓药”为科研思维引导下的研究式学习。在教材的编写过程中力求引发学生从科研思维的角度去思考：①为什么做？即从每个案例编写中引导学生去思考这个实验将来会如何应用。②要做什么？即从实验原理和仪器试剂编写中让学生知道做这个实验要准备什么仪器、试剂，要具备什么样的知识基础。③怎么做？即在实验中掌握哪些基本操作，实验中遇到问题如何分析解决，以及如何做好数据的后期处理。教材上篇第二章常用物理量的测量及仪器中精选了实验中常用的物理量，从测量原理、测量方法和测量仪器的使用三方面进行了系统的介绍，同时引入相关新型实验仪器的介绍，有助于学生提高对现代实验仪器与技术的认知。下篇基础实验和设计性实验中编写了“案例”，从案例导入教学，让学生知道“为什么做”，引发实验兴趣，同时明确该实验操作相关的理论知识在实际中是如何应用的；在设计性实验编写中，编者给定一个实验假设，带领学生从一个实验假设出发，从“为什么做、要做什么、怎么做”的思路，去查找实验路线、准备实验仪器和试剂、团队分工合作、获得实验数据、进行实验数据处理、最终得到实验预期结果。总之，本教材在基础实验和设计性实验的编写过程中力求改变以往照方抓药的被动学习和根据教材内容的简单验证性学习，转变为在教师引导下和团队合作下的主动学习，并力求利用好物理化学实验特有的综合性特点，培养学生查询资料、主动设计、动手操作、处理数据和解决问题等综合能力。

本教材增设了配套的数字化教材，数字化教材由课件、微课、知识点体系和习题四部分组成，对指导学生提前预习和课后复习提供了有益的补充材料。

本教材适合药学、中药学、制药技术、制药工程及相关专业本科生使用。

由于编写时间仓促和编者水平有限，存在不足之处在所难免，恳请同行和读者批评指正。

编 者
2019年4月

目 录

MULU

上篇 基础知识和技能

第一章 绪论	2
第一节 物理化学实验的目的和要求	2
第二节 实验安全	4
第三节 物理化学实验中的误差分析与处理	5
第二章 物理化学常用物理量的测量及仪器	9
第一节 旋光度的测量及仪器	9
第二节 热效应的测量及仪器	12
第三节 折光率的测量及仪器	15
第四节 电导、电导率的测量及仪器	19
第五节 电泳的测量及仪器	21

下篇 实验操作

第三章 基础实验	24
实验 1 燃烧热的测定	24
实验 2 溶解热的测定	27
实验 3 液体饱和蒸气压的测定	30
实验 4 凝固点降低法测定葡萄糖相对分子质量	33
实验 5 化学平衡常数及分配系数的测定	36
实验 6 双液系相图的绘制	39
实验 7 三组体系相图	45
实验 8 电导法测定弱电解质的电离平衡常数及难溶盐的溶解度	48
实验 9 蔗糖水解速率常数的测定	51
实验 10 乙酸乙酯的皂化反应	55
实验 11 最大气泡法测定溶液表面张力	58
实验 12 固体自溶液中的吸附	62

实验 13 乳状液的制备及性质	65
实验 14 胶体的制备、净化和性质	68
实验 15 黏度法测定高聚物的相对分子质量	73
第四章 设计性实验	77
实验 16 硫酸链霉素水解反应速率方程的构建	77
实验 17 中药离子透析	80
实验 18 药物有效期测定	83
实验 19 蛋白质的盐析与变性	86
附录 物理化学实验常用数据表	90
参考文献	96



上篇 基本知识和技能



第一章 绪 论

第一节 物理化学实验的目的和要求

一、物理化学实验的目的

物理化学是一门理论性较强的学科，学生在学习其理论知识时，往往难以理解在生产实践中如何加以应用。通过物理化学实验课的学习，可以达到以下实验目的：

1. 帮助学生加深对理论知识的理解和应用的认识。物理化学实验的原理与实验内容之间具有一一对应关系，能够帮助学生通过系统的实验方法和实践操作，加深对基本原理的理解和应用的认识，为后续专业知识的学习打下坚实的基础。

2. 系统地培养学生综合实验能力。物理化学实验具有综合性较强的特点，大多数物理化学实验不能直接观察到实验的结果，而是需要通过仔细地观察现象、认真地记录数据和科学地分析结果才能够得到合理的结论。因此，学生经过物理化学实验课的训练，能够系统地掌握思考问题、观察问题、分析问题和解决问题的综合实验技能。

3. 培养学生扎实的实践操作能力和仪器驾驭能力。物理化学实验中应用较多的实验仪器，对实验仪器原理做到认真理解才能更好地操作实验仪器，对实验仪器准确标准操作才能利用好实验仪器得到预期的实验结果。因此，通过实验仪器原理的学习和仪器标准操作的训练能够培养学生较强的动手能力和实践操作能力。

4. 培养学生的科学思维和创新能力。物理化学实验是一门不断创新的学科，它在医药领域的应用被不断开发出来，结合专业知识的设计性实验，让学生从提出实验假设、建立实验方法、验证方法可行性、进行实验结果分析等经历一个实验设计创新的过程，有利于培养严谨的科学思维习惯，对于进行学生创新精神的培养具有重要的作用。

二、物理化学实验的要求

物理化学实验是一门综合性较强的实验课程，每一个实验都与实际的应用息息相关，学生每完成一个实验任务就是完成一项实际应用工作。因此，教师要转变单纯的“教学生怎么做”的思路为“引导学生探索性完成实验任务”的教学思路和方法。即通过课前的引导和课中的指导，使学生能独立地完成实验任务，从中获得系统的实验方法。因此，要做好每个物理化学实验学生应完成两部分要求，即实验前的预习要求和实验过程要求。

物理化学实验通常由两个以上学生组成的小团队共同完成，教师可以安排团队在组长带领下，从接到一个实验任务出发，组织团队成员完成以下要求。

(一) 预习准备要求

1. 预习内容

(1) 查询相关资料，了解实验的实际应用。即通过广泛的资料阅读，知道为什么要做



扫码“学一学”



这个实验，做了这个实验将为今后的专业应用打下什么基础。如蔗糖水解速率常数及乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定实验为药物有效期预测奠定了基础。

(2) 预习实验原理相关知识，在实验理论与物理化学课程理论之间架起知识桥梁。即通过预习，明确实验的理论所对应的课程理论，如对胶体的电泳现象与胶体的胶团结构、 ζ 电位等之间的关系的理解，能达到实验教学促进基础理论理解的目的。

(3) 预习仪器使用原理，为仪器的标准操作奠定基础。预习好仪器的使用原理，有利于建立仪器可测的物理参数与实验待测物理量之间的联系，对于实验的标准操作具有重要意义。如旋光仪的仪器测量原理的预习理解，能帮助学生认识旋光物质对偏振光的作用，也能进一步理解旋光度与浓度的关系。

(4) 预习实验步骤，避免盲目操作。实验前通过预习，明确每个步骤要完成哪一项实验目的、需要具备哪项技能及如何实施操作等，可避免在实验课操作过程中的手忙脚乱及盲目性。

(5) 撰写实验预习报告，对实验形成整体认识。在预习基础上完成的预习报告，应该是团队实施实验整体计划的指南，具有指导性，让学生在头脑中形成对实验的整体认识，根据实验预习报告，即可在教师指导下达到实验的目标。

2. 准备内容 帮助老师准备实验所需仪器设备和试剂。目前大多数学校都是由实验员老师完成这部分工作，如果学生能参与实验前的准备工作，非常有利于培养学生完成一个实验任务目标的整体思维的训练，并有助于了解仪器维护保养及巩固试剂配制、玻璃仪器清洗等基本实验技能。

(二) 实验过程要求

1. 遵守实验室规章制度。学生进入实验室，按照要求遵守实验室安全制度。

2. 做好实验前的检查工作。实验前根据实验预习报告，检查实验物品是否齐全、仪器试剂是否符合实验要求以及摆放的位置，做好开展实验的准备。

3. 认真开展实验。在教师讲解相关内容后，在组长带领下，分工合作开展实验操作。实验过程中严格按实验操作规程进行，认真仔细观察实验现象，准确地记录实验数据。实验数据记录按教材中引导性表格或内容填写，如发现实验数据与周围其他组实验数据出现不同的规律，应立即查找原因，找到解决办法，甚至重新开始实验，如遇到个别数据异常，不得随意更改，要实事求是地记录，并用笔做出记号，在数据处理时异常数据或忽略或查找误差原因。

4. 规范操作仪器，养成良好实验习惯。实验中要注意仪器保护，严格按照操作规程使用仪器，实验结束登记仪器使用情况；学生在教师的提醒下要特别注意加热、带压力装置及玻璃器皿操作，避免误操作对仪器物品损坏和伤及自身。实验过程中和实验结束时，保持实验台面整洁有序，用过的试剂和仪器要归回原位，防止不小心碰落造成损失。

5. 做好实验收尾工作。实验完毕后，由组长向老师汇报实验记录情况，并在实验物品齐全、实验桌面卫生合格后，方可离开实验室。

(三) 撰写实验报告要求

完成实验报告是物理化学实验的一个重要的组成部分。实验结束后，实验团队成员在组长的带领下，对实验数据进行分析、讨论并通过计算等得出实验结论。实验数据处理过程中如遇到与预期的结果有较大的误差，要对误差的原因进行分析。最后，撰写一个完整的实验报告。实验报告应包括如下内容：实验的目的及简明的原理、实验仪器和试剂、实



验步骤、数据记录及处理、结果和讨论等。结果和讨论可包括实验时遇到的问题、实验过程中的心得体会、做好实验的关键、实验结果、实验现象与预期结果之间的差异及原因,如何才能避免实验误差等。

(李 森)

第二节 实验安全

一、用电安全

1. 接通电源前检查导线是否完好无损,避免漏电事故。
2. 正确接通仪器电源,实验室桌面往往有多个仪器,不要错接电源。
3. 操作仪器时,手要保持干燥,切记不要用手直接摸电源。
4. 在安装和拆除接线时,遇到电源导线接触不良时,要在断电的状态下进行操作。
5. 电炉子等高温电器要放置在安全的位置,导线连接位置要避开人员穿行和拿放试剂的路线。
6. 实验中遇到突然停电或跳闸等现象,要关闭仪器自身电源开关,或把插头从桌面或墙面电源上拔下来,再对电闸等进行检查,确定为跳闸时,报告老师进行恢复处置。学生也应注意跳闸处置注意事项,即尽可能先断掉与此电闸有关的所有电器,再进行送电,防止因电闸突然过载而引起的爆燃事故。
7. 实验结束后,关闭仪器开关,拔掉与电源连接的插头,并同时检查桌面上其他未使用仪器电源,是否有接错、没拔掉的现象,确认桌面电源安全后,再在老师的带领下,检查实验室总开关,暂时不使用的实验室,最好关闭动力电源总开关。

二、化学试剂的使用安全

1. 轻拿轻放试剂瓶,使用完毕放回原来位置,避免因碰倒或打碎试剂瓶造成的大量试剂挥发,从而引起全实验室同学大量吸入挥发试剂而造成身体损害。
2. 量取试剂后要迅速盖好试剂瓶盖,尽量减少试剂的挥发和污染;挥发性的试剂在量取后迅速转入测量瓶中,盖好瓶塞或封好测量瓶。
3. 适量量取试剂,用后试剂要先倒入桌面上的临时废液瓶中,实验结束后,倒入统一的废液桶中,严禁倒入实验室水槽冲入下水道中。

三、气体钢瓶的使用安全

在物理化学实验中,常用到一些气体,例如燃烧热的测定中要使用氧气。气体通常以压缩或液化气体形式灌入耐压钢瓶内。当钢瓶受到撞击或高温时,就有发生爆炸的危险。因而在实验中,要正确安全地使用各种压缩气体或液化气体钢瓶。

使用钢瓶时,注意下列事项:

1. 要按钢瓶外表油漆颜色、字样等正确识别气体种类,切不可误用,以免引发事故。
2. 严禁油脂等有机物沾污氧气钢瓶,因为油脂遇到逸出的氧气就可能燃烧;如不小心沾上油脂,应立即用四氯化碳洗净。氢气、氧气或可燃气体钢瓶严禁靠近明火。



扫码“练一练”



扫码“学一学”



3. 存放氢气钢瓶或其他可燃性气体钢瓶的房间要注意通风, 以免漏出的可燃性气体与空气混合遇到火种爆燃。室内的照明灯、电器及通风设施均应防爆。

4. 气瓶要放置在阴凉处, 远离电源、热源, 并加以固定, 防止滚动或跌倒。液化气体钢瓶要直立放置, 禁止倒置使用。若两种钢瓶中的气体接触后可能引起燃烧或爆炸, 则这两种气体钢瓶不能存放在同一个气瓶柜中。

5. 高压的钢瓶必须要安装好减压阀后方可使用。各种减压阀绝不能混用。开关气阀时, 操作人员要避开瓶口方向, 并缓慢操作, 不能突然打开阀门。

6. 钢瓶内气体不能完全用尽, 应保持表压在 0.05MPa 以上的残留压力, 防止外界气体进入钢瓶, 在重新灌气时发生危险。

四、环境安全

化学实验室一般具有挥发性试剂气味。化学药品大多具有一定的毒性, 实验前要进行实验室通风, 并严禁学生在实验室内进食各种食品。

(李 森)

第三节 物理化学实验中的误差分析与处理

一、测量值

测量物理量的结果称为测量值。通常分为直接测量值和间接测量值。直接测量值一般可直接读数得到, 如用天平测量物质的质量、用压力计测量气体的压力, 均可直接读数得出。间接测量值一般要经过某个公式计算转化而得到, 如化学反应的平衡常数要测定平衡时的压力或浓度, 进而通过平衡常数公式计算得到; 再如一些物质的浓度可通过测定其旋光度或折光率, 再代入某个关系式得到。

二、误差及分类

实验中数据测量值与真实值之间的差值, 称为实验误差。实验误差是不可避免的, 其产生的原因包括仪器的误差、方法误差、观察误差等, 实验中尽量采用精密的仪器或对仪器校准、采用完善的方法、选用适合的仪器量程等来适当降低误差。

根据误差的性质和来源, 可分为系统误差、偶然误差和过失误差。

1. 系统误差 系统误差是指在测量过程中, 由于某种特殊原因所造成的误差, 具有方向性和可测性。一般是由固定原因引起的实验结果永远朝一个方向偏移, 测得的数据偏高或偏低, 当重复测量时, 这种误差会重复出现, 多次测量也不会相互抵消。

系统误差产生的原因有:

(1) 仪器误差 由于仪器本身不够精确或校正调节不适当引起的, 如温度计、移液管等刻度不够精确。这种误差可以通过一定的检定方法发觉, 并进行改正。

(2) 试剂误差 化学试剂纯度不够, 如试剂和蒸馏水含有被测物质或干扰物质。因此, 科学测量中要对试剂进行纯制。

(3) 方法误差 测量方法不完善, 如滴定分析中反应进行不完全、干扰离子的影响、



扫码“练一练”



扫码“学一学”



副反应的发生及指示剂选择不当等。

(4) 个人误差 由于个人习惯性引入的主观误差,如测量者的感觉器官不同或个人的不恰当的习惯等。

2. 偶然误差 偶然误差是由一些随机的偶然因素引起的、客观存在的、不以人的意志为转移的误差。如测量时环境温度、湿度及气压的微小波动、仪器的微小变化、观察者在估计仪器最小的分数时都会产生这种误差。具有不可测性和不可避免性,测得的值时大时小,时正时负,方向不一定。偶然误差大小和正负一般服从正态分布规律,误差分布具有对称性,可采取多次测量取平均值的办法来消除,而且测量次数越多,其算术平均值就越接近真值。

3. 过失误差 所谓过失误差是指由于实验者粗心大意、操作不正确所导致的误差。如记录写错,称取试样时未注意防止试样吸湿或挥发,过分或不充分洗涤沉淀等。此类误差无规则可循,只要细心、正确操作就可避免。

三、准确度与精密度

准确度是指测量值与真值的符合程度,即 $E = X - X_T$,一般说 E 值小即误差小,分析结果的准确度高。真正的“真值”是得不到的,一般用权威机构所公布的结果或有经验人员多次测定的平均值来代替,实际是一种约定的真实值。

精密度是指各测量值相互接近的程度,表示测量值的重复性大小。重复性好,测量值的精密度就越高。用偏差表示,即 $d = X - \bar{X}$ (\bar{X} 为平均值)。偏差 d 越小,精密度越高。

准确度高,精密度一定高,但精密度高,准确度不一定高。精密度的高低是谈论准确度的前提和必要条件,只有精密度高,才能谈及准确度的高低。

准确度和精密度的区别可用事例加以说明。如 3 人同时测定某溶液折光率,各测量 3 次,其测定结果如下。A 的数据为: 1.423、1.423、1.424,平均值为 1.423; B 的数据为: 1.421、1.464、1.454,平均值为 1.446; C 的数据为: 1.425、1.426、1.427,平均值为 1.426。已知此溶液折光率的真值为 1.427。A 测定的结果精密度高,但准确度较低; B 测定的结果精密度与准确度都较低; C 测定的结果精密度和准确度都较高。

四、误差的表示法

严格说,误差是指测量值与真值之差,偏差是指测量值与平均值之差,但习惯上两者常混用而不加区别。真值无法得到。不过,由于偶然误差的对称性,在没有系统误差时,无限多次测量的算术平均值就是真值,而我们只能做有限次测量,故只能把有限次测量的算术平均值作为可靠值。误差的表示方法通常有以下几种。

1. 绝对误差与相对误差 绝对误差是观测值与真值之差。相对误差是绝对误差与真值的百分比。即:

$$\text{绝对误差} = \text{观测值} - \text{真值}$$

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

绝对误差的单位与观测值相同,而相对误差无单位。不同物理量之间的相对误差是可以比较的。因此,比较各种测量的精密度或准确度,采用相对误差更为方便。

2. 平均误差与标准误差 设在相同的实验条件下, 对某物理量 x 进行了等精密度的 n 次独立测量, 测得值分别为 $x_1, x_2 \cdots x_n$, 则测量的算术平均值为:

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

每次测量值与算术平均值的偏差为:

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad i = 1, 2, 3, \cdots, n$$

所测量结果的精密度, 常用两种不同方式来表示。

(1) 平均误差, 即:

$$\bar{d} = \frac{|d_1| + |d_2| + \cdots + |d_n|}{n} \quad (1-2)$$

式中, $d_1, d_2 \cdots d_n$ 为第 1、2、 \cdots n 次测量结果的绝对误差。

各次测量结果的相对平均误差为:

$$\text{相对平均误差} = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中, \bar{x} 为算术平均值。

(2) 标准误差 (又称均方根误差), 其计算公式为:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1}} \quad (1-4)$$

平均误差的优点是计算简便, 但用这种误差表示时, 可能会把质量不高的测量误差掩盖住。用标准误差表示时, 因单次测量的误差平方之后, 较大的误差更显著地反映出来, 更能说明数据的分散程度, 因此得到的结果更可靠, 在精密度计算实验误差时最为常用, 测量结果可表示为: $\bar{x} \pm S_{\text{相对}}$ 或 $\bar{x} \pm \bar{d}_{\text{相对}}$ 。

五、间接测量结果的误差计算

大多数实验结果都不是直接测量得到的, 而是对多个物理量测量后, 通过某种函数关系运算才能得到所需要的结果, 这就是间接测量。在间接测量中, 每个直接测量的物理量的误差都会包含在结果中, 可从直接测量的误差来计算间接测量的误差。

关于间接测量结果的平均误差和相对平均误差之间的关系可见如下所述。

若计算的函数关系为 $u = f(x, y, z)$, 则所求的实验结果 u 是 3 个直接测量的物理量 x 、 y 、 z 的函数, 直接测量时 x 、 y 、 z 的误差分别为 Δx 、 Δy 、 Δz , 它们引起最终测量结果 u 的误差为 Δu , 当 Δu 、 Δx 、 Δy 、 Δz 与 u 、 x 、 y 、 z 比较是很小时, 可用微分式来表达它们的关系:

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{y,z} dx + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{x,z} dy + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)_{x,y} dz \quad (1-5)$$

把误差看成是微小的变化, 则误差间有如下关系:

$$\Delta u = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{y,z} \Delta x + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{x,z} \Delta y + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)_{x,y} \Delta z \quad (1-6)$$

若相对误差为:

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{y,z} \Delta x}{f(x, y, z)} + \frac{\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{x,z} \Delta y}{f(x, y, z)} + \frac{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)_{x,y} \Delta z}{f(x, y, z)} \quad (1-7)$$

经过推导可得到间接测量的标准误差为:

