



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



全国高等医药院校药学类专业第二轮实验双语教材

# 无机化学 实验与指导

Experiment and Guidance for  
Inorganic Chemistry

(第3版)

主编 王 越

书网融合教材



中国健康传媒集团  
中国医药科技出版社

十五

普通高等教育“十一五”国家级规划教材



全国高等医药院校药学类专业第二轮实验双语教材

# 无机化学实验与指导

(第3版)

主 编 王 越

副主编 洪 瑾 熊晔蓉



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“全国高等医药院校药学类专业第二轮实验双语教材”之一，是根据无机化学的教学大纲及要求，结合专业培养目标配套编写的实验与指导。全书分为绪论、化学实验基础知识、基础性实验、综合性实验、设计性实验等五个章节，内容包含了有机化学的23项实验。同时本教材为书网融合教材，即纸质教材有机融合电子教材、教学配套资源（PPT、微课、视频、图片等）、题库系统、数字化教学服务（在线教学、在线作业、在线考试），使教学资源更加多样化、立体化。

本教材主要供药学及相关专业使用。

### 图书在版编目（CIP）数据

无机化学实验与指导 / 王越主编. —3 版. —北京：中国医药科技出版社，2019. 12

全国高等医药院校药学类专业第二轮实验双语教材

ISBN 978 - 7 - 5214 - 1409 - 7

I. ①无… II. ①王… III. ①无机化学 - 化学实验 - 双语教学 - 医学院校 - 教学参考资料  
IV. ①O61 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2020）第 000774 号

美术编辑 陈君杞  
版式设计 南博文化

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  $1/_{16}$   
印张 15  
字数 324 千字  
初版 2003 年 7 月第 1 版  
版次 2019 年 12 月第 3 版  
印次 2019 年 12 月第 1 次印刷  
印刷 三河市万龙印装有限公司  
经销 全国各地新华书店  
书号 ISBN 978 - 7 - 5214 - 1409 - 7  
定价 38.00 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。



教学是学校人才培养的中心环节，实验教学是这一环节的重要组成部分。“全国高等医药院校药学类专业实验双语教材”是中国药科大学坚持药学实践教学改革，突出提高学生动手能力、创新思维，通过承担教育部“世行贷款 21 世纪初高等教育教学改革项目”等多项教改课题，逐步建设完善的一套与药学各专业学科理论课程紧密结合的高水平双语实验教材。

本轮修订，适逢“全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材”及《中国药典》（2020 年版）、新版《国家执业药师资格考试大纲》出版，整套教材的修订强调了与新版理论教材知识的结合，与《中国药典》（2020 年版）等新颁布的法典法规结合。为更好地服务于新时期高等院校药学教育与人才培养的需要，在上一版的基础上，进一步体现了各门实验课程自身独立性、系统性和科学性，又充分考虑到各门实验课程之间的联系与衔接，主要突出了以下特点。

1. 适应医药行业对人才的要求，体现行业特色，契合新时期药学人才需求的变化，使修订后的教材符合《中国药典》（2020 年版）等国家标准及新版《国家执业药师资格考试大纲》等行业最新要求。

2. 更新完善内容，打造教材精品。在上版教材基础上进一步优化、精炼和充实内容。紧密结合“全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材”，强调与实际需求相结合，进一步提高教材质量。

3. 为适应信息化教学的需要，本轮教材全部打造成为书网融合教材，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，为读者提供全免费增值服务。

4. 坚持双语体系，强调素质培养教材以实践教学为突破口，采用双语体系编写有利于加快药学教育国际接轨，提高学生的科技英语水平，进一步提升学生整体素质。

“全国高等医药院校药学类专业第二轮实验双语教材”历经 15 年 4 次建设，在各个时期广大编者的努力下，在广大使用教材师生的支持下日臻完善。本轮教材的出版，必将对推动新时期我国高等药学教育的发展产生积极而深远的影响。希望广大师生在教学实践中对本套教材提出宝贵意见，以便今后进一步修订完善，共同打造精品教材。

吴晓明

全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材常务编委会主任委员

2019 年 10 月

## 第三版前言

3rd edition Preface

《无机化学实验与指导》实验双语教材自2006年由中国医药科技出版社出版以来，被国内众多医药院校采用。期间，我们不断收集一线教师和学生的反馈，并在多次的教研活动中反复交流以达到共识，在此基础上，丰富了第三版修订教材的素材。在此，编者对给本教材提出各类宝贵意见和分享教学体验的专家及师生们表示衷心的感谢！

化学实验教学在巩固学生的基础知识、培养实践能力和提升科学素质等各方面起着不可替代的作用。根据高等医药院校对化学基础实验教学发展的新要求，在本版修订中，我们在保证全书内容和编排体系基本不变的基础上，增加了相关的数字化资源，包括每个实验项目的PPT、同步习题及解答，还针对个别实验的关键技术或实验步骤制作了微视频，融入优质教学资源，势必会有助于提升教学效果。同时也对前两版教材中不妥之处进行了修正。

在教学实践过程中，有关书中具体实验项目的选用可根据实际的教学计划，配合《无机化学》理论课程的进度和安排，但不完全依附于理论课教学的框架，由教师灵活决定实验内容和顺序。

尽管在修订过程中我们力求做到选材更恰当，翻译更准确，但由于编者学识水平有限，教材中仍有欠妥之处，恳请同行专家及读者批评指正。

编者

2019年8月

<b>第一部分 无机化学实验的基本原理、基本方法与基本操作</b> .....	1
<b>第一章 绪论</b> .....	1
一、化学实验的目的与任务 .....	1
二、化学实验的学习方法与要求 .....	1
三、实验误差及有效数字 .....	2
四、化学实验室规则与事故处理 .....	7
<b>第二章 化学实验基础知识</b> .....	10
一、常用玻璃仪器 .....	10
二、水及化学试剂的规格 .....	12
三、玻璃仪器的洗涤和干燥 .....	16
四、干燥器的使用 .....	19
五、加热 .....	20
六、化学试剂的取用 .....	24
七、容量瓶、滴定管、移液管的操作方法 .....	25
八、试纸和滤纸 .....	29
九、溶解、蒸发与结晶 .....	30
十、固液分离 .....	30
十一、天平的使用 .....	33
十二、酸度计的使用 .....	34
<b>第二部分 实验内容</b> .....	37
<b>第三章 基础性实验</b> .....	37
实验一 冰点降低法测定葡萄糖的摩尔质量 .....	37
Experiment 1 The Usage of Depression of Freezing Point to Determine the Glucose's Molecular Weight .....	40
实验二 化学反应速率和化学平衡 .....	43
Experiment 2 Chemical Reaction Rate and Chemical Equilibrium .....	47
实验三 酸碱滴定 .....	51
Experiment 3 Acid-Base Titration .....	54
实验四 弱酸电离常数的测定 .....	58
Experiment 4 Determining the Ionization Constant of a Weak Acid .....	61
实验五 电解质溶液 .....	63
Experiment 5 Electrolyte Solution .....	67
实验六 沉淀平衡 .....	71
Experiment 6 Precipitation Equilibrium .....	74
实验七 溶度积常数的测定 .....	79

Experiment 7	Determination of Solubility Product	81
实验八	氧化还原	84
Experiment 8	Redox Reaction	87
实验九	银氨配离子配位数的测定	92
Experiment 9	Determining the Coordination Number of $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_n]^+$ Complexion	94
实验十	配合物	98
Experiment 10	Coordination Compounds	102
实验十一	卤素	107
Experiment 11	Halogen	111
实验十二	氧、硫	117
Experiment 12	Oxygen and Sulphur	122
实验十三	氮、磷、砷、锑、铋	127
Experiment 13	Nitrogen, Phosphorus, Arsenic, Antimony and Bismuth	132
实验十四	碱金属、碱土金属	136
Experiment 14	Alkali Metals, Alkali Earth Metals	141
实验十五	铬、锰、铁、钴、镍	147
Experiment 15	Chromium, Manganese, Iron, Cobalt and Nickel	153
实验十六	铜、银、锌、镉、汞	162
Experiment 16	Copper, Silver, Zinc, Cadmium and Mercury	168
<b>第四章</b>	<b>综合性实验</b>	174
实验十七	药用氯化钠的制备、性质及杂质限度检查	174
Experiment 17	Preparation of Medicinal Sodium Chloride and Examination of Impurities' Limitation	179
实验十八	硫酸亚铁铵的制备	185
Experiment 18	Preparation of Ferrous Ammonium Sulphate Hexahydrate (FAS)	187
实验十九	葡萄糖酸锌 $\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_7)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的制备	189
Experiment 19	Preparation and Content Assay of Zinc Gluconate	191
实验二十	五水合硫酸铜的制备	193
Experiment 20	Synthesis of Copper Sulfate Pentahydrate	195
实验二十一	四碘化锡的制备	197
Experiment 21	Synthesis of Tin Tetraiodide	199
<b>第五章</b>	<b>设计性实验</b>	201
实验二十二	高锰酸钾的制备	201
Experiment 22	Synthesis of Potassium Permanganate	202
实验二十三	三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的制备、组成测定及表征	203
Experiment 23	Synthesis, Composition Analysis and Characterization of Potassium Trioxalatoferrate (Ⅲ)	203
<b>附录</b>		205
附表一	元素的相对原子质量	205

附表二	一些物质的摩尔质量 .....	207
附表三	实验室常用酸、碱溶液的浓度 .....	211
附表四	实验室中一些试剂的配制方法 .....	212
附表五	常见阳离子、阴离子的主要鉴定反应 .....	214
附表六	常见阳离子与常用试剂的反应 .....	220
附表七	常见阴离子与常用试剂的反应 .....	222
附表八	常见离子和化合物的颜色 .....	224
附表九	微溶化合物的溶度积 .....	228
附表十	弱酸、弱碱在水中的解离常数 .....	230

# 第一部分 无机化学实验的基本原理、 基本方法与基本操作

## 第一章 绪 论

### 一、化学实验的目的与任务

化学是一门实验性科学，化学实验是化学教学不可缺少的重要组成部分。通过实验，既能发现和发展理论，又能检验和评价理论。化学实验的目的是开拓学生智能，培养学生严肃、严密、严格的科学态度和良好的科学素养，提高学生的动手能力和独立工作能力，并为将来从事科学研究奠定坚实的基础。因而，化学实验的作用不是验证学生所学的化学理论知识，而是要通过实验，训练学生进行科学实验的方法和技能，进而使学生进一步学会对实验现象进行观察、分析、归纳、总结，培养学生独立工作、分析问题和解决问题的能力。

### 二、化学实验的学习方法与要求

要很好地完成实验的各个环节，除具有坚实的理论基础外，还要有正确的学习方法。

**1. 认真预习** 实验前应认真阅读实验教材，明确实验的目的；了解实验内容、原理和方法；清楚所用药品或试剂的等级、物化性质（熔点、沸点、密度、毒性与安全等数据）；熟悉所用仪器；设计实验装置、实验步骤；估计实验中可能发生的现象和预期结果；明确实验数据处理方法和有关计算公式。在此基础上写好实验预习报告。

**2. 认真实验** 依据实验的内容、方法、步骤及要求进行实验，做到遵守实验操作规程，仔细观察实验现象，结合理论认真分析实验结果，如实而详细地记录实验现象和数据。

**3. 认真书写实验报告** 实验报告不仅是概括和总结实验过程的文献性质资料，而且是学生通过实验获取化学知识实验过程的一个方面。

因而，书写实验报告同样是化学实验课程的基本训练内容。实验报告能从一定的角度反映科学工作者的科学态度、实际水平与能力。实验报告的格式与要求基本包括：实验名称；实验目的；实验原理；实验仪器（厂家、型号、测量精度等）；药品与试剂（纯度等级）；实验装置（流程图或表格等）；实验现象及观测数据；实验结果（包括数据处理）；讨论。

实验结果的讨论是实验报告的重要组成部分，它包括实验工作者学术性的体会（并非感性的表达），实验结果的可靠性与合理性评价，分析并解释观察到的实验现象。

无机化学实验大致分为三种类型，一是验证性实验；二是测定性实验；三是无机制备实验。验证性实验主要是物质性质的验证，可加深对反应原理和物质性质的理解。测定性实验主要是测定数据及数据处理过程。制备实验要写出物质制备原理、流程、原料量、产量、产率、产品质量与性质等。



扫码“学一学”

### 三、实验误差及有效数字

化学实验过程中经常使用仪器对一些物理量进行测量，从而对体系中的一些化学性质和物理性质作出定量描述，揭示事物的客观规律。但事实上，任何测量的结果（数据）只能是相对准确，或者说是存在某种程度上的不确定（不可靠）性，这种不确定（不可靠）被称为实验误差。产生这种误差的原因，是因为测量仪器、方法、实验条件以及实验工作者本人不可避免地存在一定局限性。

对于不可避免的实验误差，实验者须了解其产生的原因、性质及有关规律，从而在实验中设法控制和减少误差，并对测量的结果进行适当处理，以达到可信的程度。

**1. 绝对误差与相对误差** 测量中的误差，主要有两种表示方法：绝对误差与相对误差。

(1) 绝对误差 测量值与真值（真实值）之差称为绝对误差。若以  $\chi$  代表测量值，以  $\mu$  代表真值，则绝对误差  $\delta$

$$\delta = \chi - \mu$$

绝对误差是以测量值的单位为单位，可以是正值，也可以是负值，即测量值可能大于或小于其真值。测量值越接近真值，绝对误差越小；反之，越大。

实际上绝对准确的实验结果是无法得到的。化学研究中所谓真值是指有经验的研究人员用可靠（相对而言）的测定方法多次平行测定得到的平均值。可知的真值，一般有三类：理论真值、约定真值及相对真值。

(a) 理论真值 如三角形的内角和为  $180^\circ$  等。

(b) 约定真值 由国际计量大会定义的单位（国际单位）及我国的法定计量单位是约定真值。

(c) 相对真值 对科技工作者而言，由于没有绝对纯的化学试剂，因而常用标准参考物质的证书上所给示的含量作为相对真值。

(2) 相对误差 绝对误差与真值的比值称为相对误差。

$$\frac{\delta}{\mu} = \frac{\chi - \mu}{\mu}$$

相对误差反映测量误差在测量结果中所占的比例，它没有单位，通常以 %、‰ 表示。

例如，若测定纯 NaCl 中 Cl 的百分含量为 60.52%，而其真值应为 60.66%，则

$$\text{绝对误差} = 60.52\% - 60.66\% = -0.14\%$$

$$\text{相对误差} = \frac{60.52\% - 60.66\%}{60.66\%} \times 1000\text{‰} = -2.3\text{‰}$$

**2. 准确度与精密度** 准确度表示测定结果与真值接近程度。测量值与真值越接近，就越准确。准确度的大小用绝对误差或相对误差表示。误差越大，准确度越低；反之，准确度越高。例如一物体的真实质量是 10.000g，某人测量得到 10.001g，另一个测量得到 10.008g。前者的绝对误差是 0.001g，后者的绝对误差是 0.008g。10.001g 比 10.008g 的绝对误差小，所以前者比后者测量得更准确，或者说前一结果比后一结果的准确度高。

精密度表示平行测量的各测量值（实验值）之间相互接近的程度。各测量值间越接近，精密度就越高；反之，精密度低。精密度可用偏差、相对平均偏差、标准偏差与相对标准偏差表示。

(1) 偏差 测量值与平均值之差称为偏差。偏差越大, 精密度越低。若令  $\bar{x}$  代表一组平行测定的平均值, 则单个测量值  $x_i$  的偏差  $d$  为

$$d = x_i - \bar{x}$$

因此,  $d$  有 +、- 之分。各个偏差绝对值的平均值称为平均偏差

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}$$

式中  $n$  表示测量次数。

(2) 相对平均偏差, 定义如下

$$\frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| / n}{\bar{x}} \times 100\%$$

(3) 标准偏差或标准差, 定义如下:

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

使用标准偏差是为了突出较大偏差的影响。

(4) 相对标准差 (变异系数), 定义如下:

$$\text{RSD} = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \times 100\%$$

实际工作中, 往往用 RSD 表示测定结果的精密度。

例如, 四次测定某溶液的浓度, 结果为 0.2041、0.2049、0.2039 和 0.2043 mol/L。则平均值 ( $\bar{x}$ ), 平均偏差 ( $\bar{d}$ ), 相对平均偏差 ( $\frac{\bar{d}}{\bar{x}}$ ), 标准偏差 ( $S$ ) 及相对标准偏差 (RSD) 为:

$$\text{平均值 } (\bar{x}) = (0.2041 + 0.2049 + 0.2039 + 0.2043) / 4 = 0.2043 \text{ mol/L}$$

$$\text{平均偏差 } (\bar{d}) = (0.0002 + 0.0006 + 0.0001 + 0.0000) / 4 = 0.0003 \text{ mol/L}$$

$$\text{相对平均偏差 } \left(\frac{\bar{d}}{\bar{x}}\right) = \frac{0.0003}{0.2043} \times 1000\text{‰} = 1.5\text{‰}$$

$$\text{标准偏差 } (S) = \sqrt{\frac{0.0002^2 + 0.0006^2 + 0.0004^2 + 0.0000^2}{4-1}} = 0.0004 \text{ mol/L}$$

$$\text{相对标准偏差 } \text{RSD} = \frac{0.0004}{0.2043} \times 100\% = 0.2\%$$

精密度是保证准确度的前提条件, 没有好的精密度就不可能有好的准确度。因为事实上, 准确度是在一定的精密度下, 多次测量的平均值与真值相等的程度。测量值的准确度表示测量结果的正确性, 测量值的精密度表示测量结果的重复性或再现性。

**3. 系统误差和随机误差** 依据误差产生的原因及性质, 误差可分为系统误差与随机误差。

(1) 系统误差 系统误差是由某些固定的原因造成的, 使得测量结果总是偏高或偏低。实验方法不够完善、仪器不够精确、试剂不够纯以及测量者本人的习惯、仪器使用的理想

环境达不到要求等因素都有可能产生系统误差。系统误差的特征是：①单向性，即误差的符号及大小恒定或按一定规律变化；②系统性，即在相同条件下重复测量时，误差会再现，因此系统误差可用校正等方法予以消除。常见的系统误差大致分为：

(a) 仪器误差 所有的测量仪器都可能产生系统误差。例如天平失于校准（如不等臂性或灵敏度欠佳）；磨损或腐蚀的砝码；移液管、滴定管、容量瓶等玻璃仪器的实际容积和标示容积不符；电池电压下降，接触不良造成电路电阻增加等影响都会造成系统误差。

(b) 方法误差 这是由于测试方法不完善造成的。其中有化学和物理化学方面的原因，常常难以发现。因此，这是一种影响最为严重的系统误差。例如某些反应速率很慢或未定量地完成，干扰离子的影响，沉淀溶解、共沉淀和后沉淀等都会系统地导致测定结果偏高或偏低。

(c) 个人误差 是一种由操作者本身的一些主观因素造成的误差。例如在读取刻度值时，总是偏高或总是偏低。

(2) 偶然误差 偶然误差又称随机误差。它指同一操作者在同一条件下对同一量进行多次测定，而结果不尽相对，以一种不可预测的方式变化着的误差。它产生的直接原因往往难于发现和控制。偶然误差有时正、有时负，数值有时大、有时小，因而具有一定的不确定性。在各种测量中，随机误差总是不可避免地存在，并且不可能加以消除，它构成了测量的最终限制。偶然误差对测定结果的影响通常服从统一规律，因而，可以采用在相同条件下多次测定同一量。再求其算术平均值的方法来克服。

(3) 过失误差 由于操作者的疏忽大意，没有完全按照操作规程实验等原因造成的误差称为过失误差，这种误差使测量结果与事实明显不合，有较大的偏离且无规律可循。含有过失误差的测量值，不能作为一次实验值引入数据处理。这种过失误差，需要通过加强责任心，仔细工作来避免。判断是否发生过失误差必须慎重，应有充分的依据，最好重复这个实验来检查，如果经过细致实验后仍然出现这个数，要依据已有的科学知识判断是否有新的问题，甚至有新的发现，这在实践中是常有的事。

#### 4. 有效数字及运算法测

(1) 有效数字 在科学研究过程中，各种物理量的测量值（观测值）的记录必须与测试仪器的精度相一致。通常情况下，任何一种仪器标尺读数的最低一位应该用内插法估计到两条刻度线间距的 $1/10$ 。因而，任何一个测量值的最后一位数字应是有一定误差的。这种误差来自于估计的不可靠性，有时称为不确定度，一般为 $\pm 0.1$ 分度。最后这位数字是可疑的，但决非臆造，应该是可信的，因而是“有效”的。记录时应保留这位数字才能正确地反映出测量的精确程度。这种在不丧失测量准确度的情况下，表示某个测量值所需要的最小位数的数目称为有效数字。也就是说，有效数字就是实际能够测量到的数字，它总是和测量或测定联系在一起。有效数字的构成包括若干位确定的数字和一位不确定的数字。例253.8这个数有4位有效数字，用科学表示法写成 $2.538 \times 10^2$ 。若写成 $2.5380 \times 10^2$ ，就意味着它有5位有效数字。“0”是一个特殊的数字。当它出现在两个非零数字之间或小数点右方的非零数字之后时都是有效的。如10.0500g，其中每个0都是有效的，它有6位有效数字。而0.0290中，2之前的两个0都是无效的，因这两个0只是用来决定小数点的位置，取决于所用的单位，当用毫克计量时，可写成28.0mg。最后一个0仍是有效的。

但是,像 83600 这类数字的有效数字却含混不清,可能意味着下列情况之一:

$8.36 \times 10^4$       3 位有效数

$8.360 \times 10^4$       4 位有效数

$8.3600 \times 10^4$       5 位有效数

因此,像 83600 这类数值最好用上述科学表示法之一书写,以便准确地表示出它究竟有几位有效数字。

(2) 数的修约 当计算涉及到几个测量值,而它们的有效数字的位数不相同,便要舍去多余的数字,称之为数的修约 (rounding)。过去通常采用“四舍五入”或“四舍六入五成双”规则。现介绍国家标准新的修约规则。

(a) 在数据处理中,常遇到一些准确度不相等的数值,此时如果按一定规则对数值进行修约,即可节省计算时间,又可减少错误。

(b) 修约的含义是用一称做修约数代替一已知数,修约数来自选定的修约区间的整数倍。

例:

修约区间: 0.1

整数倍: 12.1, 12.2, 12.4 等。

修约区间: 10

整数倍: 1 210, 1 220, 1 230, 1 240 等。

(c) 如果只有一个整数倍最接近已知数,则此整数倍就认为是修约数。

例:

修约区间: 0.1

已知数	修约数
12.223	12.2
12.251	12.3
12.275	12.3

(d) 如果有两个连续的整数倍同等地接近已知数,则有两种不同的规则可选用。

规则 A: 选取偶数整数倍作为修约数。此规则广泛应用于处理测量数据。

例:

修约区间: 0.1

已知数	修约数
12.25	12.2
12.35	12.4

规则 B: 选取较大的整数倍作为修约后的数。此规则广泛应用于计算机。

例:

修约区间: 0.1

已知数	修约数
12.25	12.3
12.35	12.4

(e) 用上述规则作多次修约时, 可能会产生误差。因此推荐一次完成修约。

例: 12. 251 应修约成 12. 3, 而不是第一次修约成 12. 25, 然后修约为 12. 2。

(f) 上述规则只用在在选择修约数没有特别规定的情况。

### (3) 运算规则

(a) 加减法 和或差的有效位数按照各原始数据中小数点后位数最少的数据确定。用科学表示法表示的数据, 如指数不同, 应先化成相同的指数, 然后才能加减。

例如, 将下列  $\text{Cl}^-$  浓度相加减:  $3.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 、 $5.55 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  和  $1.00 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 。可用两种方法计算: (a) 将各个加数直接相加, 然后修约结果; (b) 先修约各个加数, 然后再相加。

先加后修约

$$\begin{array}{r} 3.00 \times 10^{-2} \\ 0.555 \times 10^{-2} \\ +) 0.001 \times 10^{-2} \\ \hline \end{array}$$

$$3.556 \times 10^{-2} \text{ (mol/L)}$$

↓

$$3.56 \times 10^{-2} \text{ (mol/L)}$$

先修约再相加

$$\begin{array}{r} 3.00 \times 10^{-2} \\ 0.56 \times 10^{-2} \\ +) 0.00 \times 10^{-2} \text{ (可忽略不计)} \\ \hline \end{array}$$

$$3.56 \times 10^{-2} \text{ (mol/L)}$$

为减小舍入误差的累积, 有时在修约各个加数时, 比小数位数最小的数多保留一位有效位数。例如:

先加后对  
结果修约

$$\begin{array}{r} 2.25 \\ 3.4375 \\ +) 4.27502 \\ \hline \end{array}$$

$$9.96252$$

↓

$$9.96$$

修约成小数点后  
2位再相加

$$\begin{array}{r} 2.25 \\ 3.44 \\ +) 4.28 \\ \hline \end{array}$$

$$9.97$$

修约成小数点后  
3位再相加

$$\begin{array}{r} 2.25 \\ 3.438 \\ +) 4.275 \\ \hline \end{array}$$

$$9.963$$

↓

$$9.96$$

(b) 乘除法 积与商的有效位数按照原始数据中有效数字位数最少的数确定。例如:

$$\begin{array}{r} 1.262 \times 10^{-5} \\ \times) 4.78 \\ \hline \end{array}$$

$$6.03236 \times 10^{-5}$$

↓

$$6.03 \times 10^{-5}$$

在计算过程中,为防止修约造成误差的累积,可多保留一位有效数字进行计算,最后将计算结果按修约规则修约。例如:

$$\begin{array}{r} 5.3179 \times 10^{12} \\ \times) 3.6 \times 10^{-19} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{r} 5.32 \times 10^{12} \\ \times) 3.6 \times 10^{-19} \\ \hline \end{array}$$

$$1.9152 \times 10^{-6} \longrightarrow 1.9 \times 10^{-6}$$

(c) 对数与反对数 对数尾数的有效位数应与真数的有效位数相同。例如:

$$\lg \underset{\text{真数}}{345} = \underset{\text{首数}}{2} . \underset{\text{尾数}}{538}$$

因此 345 可写成  $3.45 \times 10^2$ , 它的对数的首数相应于  $3.39 \times 10^2$  中 10 的幂, 起决定小数点位置的作用。

再进一步看一下对数尾数最后一位有效数字 (第 3 位) 与真数的关系:

$$\begin{array}{l} 10^{2.671} = 469 \quad (468.8) \\ 10^{2.670} = 468 \quad (467.7) \\ 10^{2.669} = 467 \quad (466.6) \end{array} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{括号中的数值} \\ \text{为修约成 3 位} \\ \text{数以前的结果} \end{array} \right]$$

可见指数的小数点第 3 位改变  $\pm 1$  时, 结果 468 (即对数的真数) 的最后一位数字改变  $\pm 1$ 。

将对数转换成反对数时, 有效位数则应与尾数的位数相同, 例如  $\lg 10^{-3.42}$  的反对数为

$$10^{-3.42} = 3.8 \times 10^{-4}$$

又如,  $[\text{H}^+] = 6.6 \times 10^{-10} \text{ mol/L}$  的溶液, pH 应为 9.18, 不是 9 或 9.2。

#### 四、化学实验室规则与事故处理

为了保证实验的顺利进行及实验室安全, 进入实验室的所有工作人员必须遵守实验室规则和安全守则, 懂得常见事故的处理方法。

##### 1. 化学实验室规则

(1) 在实验室工作的人员必须遵守纪律, 保持肃静, 集中思想, 认真操作, 仔细观察, 积极思考, 真实记录。

(2) 正确使用实验仪器、设备。

(3) 药品应按规定的量取用, 已取出的试剂不能再放回原试剂瓶中以免污染试剂。取用药品的用具应保持清洁、干燥, 以保持试剂不被污染及浓度一定。取用药品后应立即盖上瓶盖, 以免放错瓶塞, 污染药品。

(4) 实验前要检查所需仪器是否齐全, 是否破损, 以便及时补齐、更换。实验过程中应保持器皿清洁, 保持实验台面清洁整齐, 实验结束后仪器、药品放回原处。

(5) 废的固体、纸、玻璃渣、火柴梗等应倒入废品篮内; 废液应倒入指定的废液回收桶, 不得倒入水槽流入下水道, 剧毒废液由实验室统一处理。

(6) 实验完成后应保持实验室清洁, 检查水、电、气安全, 关好门窗。

(7) 实验室一切物品不得私自带出室外。

2. 化学实验室安全规则 化学实验室中有易燃、易爆、有毒或腐蚀性的药品, 化学实

验过程中使用水、电、气，如果使用不当，则存在不安全因素。凡进入实验室的人员必须重视安全问题，遵守操作规程，绝不可麻痹大意，严格遵守实验室安全守则，以免事故的发生。

- (1) 易燃的试剂如乙醇、丙酮、乙醚等，使用时应远离火源，用完后立即塞紧瓶塞。
- (2) 加热、浓缩液体时要防止液体冲击容器，试管口要朝向无人处。
- (3) 产生有刺激性气味、有毒气体的实验要在通风橱中进行，嗅气体的气味时，只能用手轻轻地煽动空气，使少量气体进入鼻孔。
- (4) 使用有毒试剂如砷化物、铬盐、氰化物、汞及其化合物等，要严格防止进入口内和伤口内，废液严禁排入下水道。
- (5) 防止浓酸、浓碱液溅在皮肤或衣物上，尤其不能溅入眼内。
- (6) 湿手不要接触电器插头，人体不能与导电物体接触。实验结束后应切断电源。
- (7) 严禁随意混合各种化学试剂，以避免发生意外事故。
- (8) 严禁在实验室内饮食、吸烟、不得将食物或餐饮具带入实验室，实验后要清洗双手。

**3. 常见事故的简单处理** 实验室发生事故后，应冷静沉着，立刻采取有效处理措施。

- (1) 触电 不慎触电时，立即切断电源，或尽快地用绝缘物（干燥的木棒、竹竿等）将电源与触电者隔开，必要时进行人工呼吸。
- (2) 烫伤 被火、高温物体烫伤后，切勿用水冲洗，更不要将烫起的水泡挑破，可在烫伤处涂上烫伤药膏。必要时送医院治疗。
- (3) 割伤 先将伤口中的异物取出，不要用水冲洗伤口，涂上红药水或创可贴，必要时送医院救治。
- (4) 酸（或碱）伤 酸（或碱）溅入眼内，应立即用水冲洗，再用2%的 $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7$ 溶液（或3%的硼酸溶液）冲洗眼睛，然后用蒸馏水冲洗。酸（或碱）洒到皮肤上时，先应用大量水冲洗，再用饱和碳酸氢钠（或2%醋酸溶液）冲洗，最后再用水冲洗，涂敷氧化锌软膏（或硼酸软膏）。
- (5) 毒物误入口内 将5~10ml稀硫酸铜溶液加入一杯温水中，内服后再用手指伸入咽喉部，促使呕吐，然后立即送医院治疗。
- (6) 吸入刺激性或有毒气体 吸入如溴蒸气、氯化氢时，可吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气解毒；因不慎吸入煤气、硫化氢气体时，应立刻到室外呼吸新鲜空气。
- (7) 伤势严重者，应立即送医院诊治。

**4. 消防** 实验室不慎起火后，不应惊慌失措，而应根据不同的着火情况，采用不同的灭火措施。由于物质燃烧需要一定的氧气（空气）和达到着火点（一定的温度），所以灭火的原则是降温或将燃烧的物质与空气隔绝。化学实验中常用的灭火措施如下。

- (1) 小火用湿布、石棉布覆盖燃烧物即可灭火，大火应用泡沫灭火器灭火。对Na、K、Mg、Al等活泼金属等引起的着火，应用干燥的细沙覆盖灭火。有机溶剂着火，切勿用水灭火，而应用二氧化碳灭火器、沙子或干粉等灭火（表1-1）。

表 1-1 常用灭火器种类及其适用范围

名 称	适 用 范 围
泡沫灭火器	用于一般失火及油类着火。此种灭火器是由 $Al_2(SO_4)_3$ 和 $NaHCO_3$ 溶液作用产生大量的 $Al(OH)_3$ 及 $CO_2$ 泡沫, 泡沫把燃烧物质覆盖与空气隔绝而灭火。因为泡沫能导电, 所以不能用于扑灭电器设备着火
四氯化碳灭火器	用于电器设备及汽油、丙酮等着火。此种灭火器内装液态 $CCl_4$ 。 $CCl_4$ 沸点低, 相对密度大, 不会被引燃, 所以把 $CCl_4$ 喷射到燃烧物的表面, $CCl_4$ 液体迅速气化, 覆盖在燃烧物上而灭火
1211 灭火器	用于油类、有机溶剂、精密仪器、高压电气设备。此种灭火器内装 $CF_2ClBr$ 液化气, 灭火效果好
二氧化碳灭火器	用于电器设备失火及忌水的物质着火。内装液态 $CO_2$
干粉灭火器	用于油类、电器设备、可燃气体及遇水燃烧等物质的着火。内装 $NaHCO_3$ 等物质和适量的润滑剂和防潮剂。此种灭火器喷出的粉末能覆盖在燃烧物上, 组成阻止燃烧的隔离层, 同时它受热分解出 $CO_2$ , 能起中断燃烧的作用, 因此灭火速度快

(2) 在加热时着火, 应立即停止加热, 关闭煤气总阀, 切断电源, 将一切易燃易爆物品移至远处。

(3) 电器设备着火, 先切断电源, 再用四氯化碳灭火器灭火, 也可用干粉灭火器灭火。

(4) 当衣服着火时, 切勿慌张跑动, 应赶快脱下衣服或用石棉布覆盖着火处, 或在地上卧倒打滚, 起到灭火的作用。

(5) 必要时报火警。



扫码“练一练”