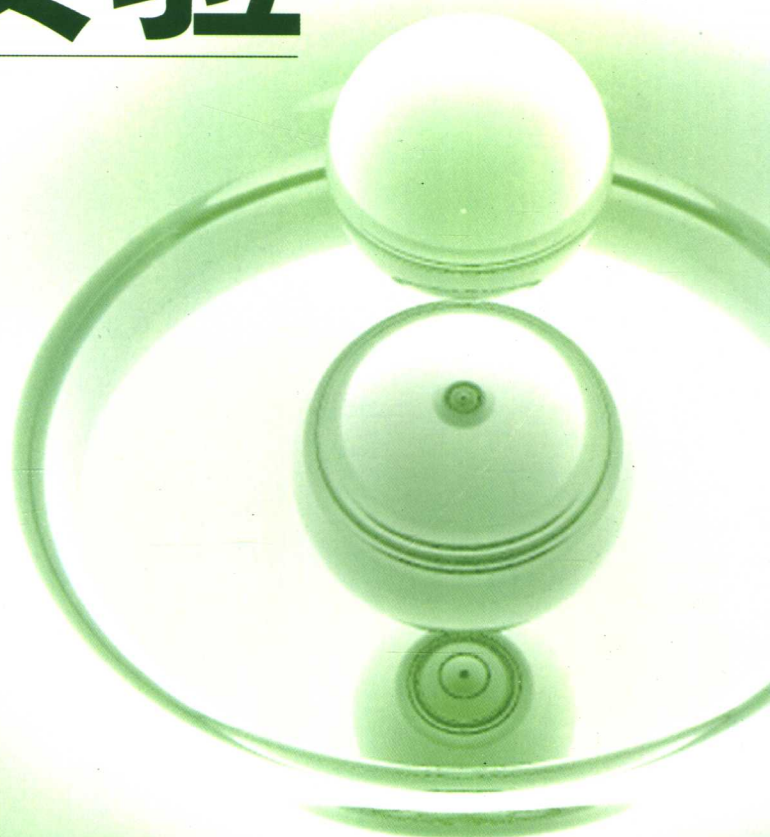


# 工科 化学实验

谢 川 鲁厚芳 主编



邮政编码 8008699865 或  
02588831865 或 83319 或 83319 或 83319  
ISBN 7-309-04319-9



四川大学出版社

四川大学国家工科基础课程化学教学基地

# 工 科 化 学 实 验

谢川 鲁厚芳 主编

四川大学出版社

责任编辑:马 娜  
责任校对:骆 鑫 廖庆扬  
封面设计:吴 强  
责任印制:杨丽贤

#### 图书在版编目(CIP)数据

工科化学实验 / 谢川, 鲁厚芳主编. —成都: 四川大学出版社, 2006.9

ISBN 7-5614-3550-9

I. 工... II. ①谢... ②鲁... III. 化学实验 - 高等学校 - 教材 IV. O6-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 118623 号

#### 书名 工科化学实验

---

|      |                         |
|------|-------------------------|
| 主 编  | 谢 川 鲁厚芳                 |
| 出 版  | 四川大学出版社                 |
| 地 址  | 成都市一环路南一段 24 号 (610065) |
| 发 行  | 四川大学出版社                 |
| 印 刷  | 郫县犀浦印刷厂                 |
| 成品尺寸 | 185 mm×260 mm           |
| 印 张  | 15.25                   |
| 字 数  | 365 千字                  |
| 版 次  | 2006 年 10 月第 1 版        |
| 印 次  | 2006 年 10 月第 1 次印刷      |
| 印 数  | 0 001~3 000 册           |
| 定 价  | 22.00 元                 |

---

版权所有◆侵权必究  
此书无本社防伪标识一律不准销售

◆读者邮购本书,请与本社发行科  
联系。电 话:85408408/85401670/  
85408023 邮政编码:610065  
◆本社图书如有印装质量问题,请  
寄回出版社调换。

◆网址:www.scupress.com.cn

# 前 言

本教材是“世行贷款‘中国高等教育发展’项目（四川大学基础化学实验中心建设）”、“世行贷款‘新世纪高等教育教改工程’——工科基础化学课程新体系的实践与完善（含实验教学改革）”、“国家工科基础课程化学教学基地建设”和“四川省高等教育教学改革工程人才培养质量和教学改革项目‘工科基础化学实验教学新体系的建立和完善’”等课题的研究成果。这也是四川大学国家工科基础课程化学教学基地在近十年的教学改革实践中，在改革工科基础化学课程体系的同时，进行工科化学实验改革探索的阶段性总结。

21 世纪的高素质人才应该是开拓型、复合型和创造型的人才。在化工类人才综合素质的培养中，化学实验教学占有不可替代的地位。成功的化学实验教学能培养学生坚韧不拔的毅力、认真求实的科学作风、勤于思考的习惯和迎接挑战的创新意识。我们以“加强基本技能训练，注重全面素质培养，促进创新意识养成”为实验教学改革的指导思想，着力探讨在总学时减少的大前提下如何保证学生的培养质量，在实验教学内容、教学方法和教学手段上进行了长期的、反复的探索实践。以一级学科“化学”为出发点，全面考虑学生必须具备的化学实验基础知识、基本技能和技能，按照“基本训练—提高实验—综合设计实验”的思路，优化、整合原四大化学实验，调整、理顺各系列课程的关系和内涵，建立了独具特色的工科化学实验新体系，实现了实验单独设课，建立了板块式基础化学实验教学平台：“工科化学实验（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）”、“仪器分析实验”、“物理化学实验”和“无机或有机开放实验”，在大一、大二的 4 个学期内完成。本教材就是供“工科化学实验（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）”（第 1~3 学期）和“无机或有机开放实验”（第 4 学期）使用的，主要包含了化学实验的基本操作训练、化学分析、无机物和有机物的制备、分离、纯化等。尤其以提高学生综合素质和独立工作能力为目的，把教师的科研成果转化成学生实验，加强了综合性、设计性和探索性实验，激发了学生的学习积极性，提高了基础实验的质量。

编者在总结多年实验教学改革经验的基础上，精心选择了一批成熟的实验和近年开设的新实验，以化学实验基本知识、化学实验基本技术、化学实验基础训练、物质的制备和分离分析、设计性探索性实验和附录六部分组成了本教材。本教材力求做到适应工科化学实验教学的需求，既有较为传统的经典实验，又有反映化学发展较前沿的内容；既注意加

强基础训练，又能激发学生的学习积极性。

本教材的主要特点：

一、本教材主要适用于一、二年级大化工类和非化学化工类专业本科生使用，教学内容尽量与课堂教学内容吻合，主要包括化学实验基本操作训练，常用测试仪器的使用，无机物及有机物的制备、分离和纯化，以及化学分析的基本练习。

二、第四部分“物质的制备和分离分析”既有使学生掌握物质制备的基本技能的内容，又在后面加入了一些主要来源于教师的科研成果的难度较大、综合性较强的实验。这些实验一般在规定的4~8学时内难以完成，主要提供给前面基础部分完成较好、学习积极性较高的学生利用课余时间进行开放实验，使他们能够得到更高水平的训练。

三、第五部分“设计及探索性实验”的实验内容主要来源于教师的科研和文献中一些有关化学发展前沿的课题，经改造后作为无机或有机开放实验开出。这些实验有的是成熟的成果，有的尚处于研究阶段，提供给学生的主要目的不在于得出理想的实验结果，而是让学生较早体验科学研究的过程和思维方法，激发他们献身科学的积极性。

四、本教材的编写是根据四川大学国家工科化学教学基地广大教师和化学实验中心技术人员在长期实验教学实践中的要求，经反复的总结、讨论和修改完成的。即使是一些经典实验，其中也加入了广大教师的实际体会，有的实验提供的“执行教学建议”是我们在教学中试行的一些新想法，仅供参考。

本教材第一章由高峻、章洁编写，第二章由张鑫、张荣生、黄焕利、李万舜编写，第三章由鲁厚芳、黄焕利、章洁、张荣生、杨宗懿、郑志明、曾慧编写，第四章由李万舜、黄焕利、章洁、郑志明、曾慧、杨宗懿编写，第五章由王世华、鲁厚芳、谢克难、李万舜、黄焕利、王茹、龙沁编写，附录部分由鲁厚芳、谢川、李万舜、张荣生、郑志明、曾慧编写。全书统稿由谢川、鲁厚芳担任。

本教材的编写得到了四川大学出版社的大力支持和悉心指导，四川大学设备处、教务处在实验教改立项、新实验开发等方面长期给予了大力支持，四川大学工科化学教学基地的领导和广大教师也为本教材的编写提供了积极的建议和支持，正是他们多年来辛勤的教学实践为本教材积累了丰富的素材，在此一并表示衷心的感谢。

由于编写者的水平所限，本书难免存在不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编者

2006年7月

# 目 录

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| <b>第一章 化学实验基本知识</b> .....  | ( 1 )  |
| <b>一、化学实验的重要性</b> .....    | ( 1 )  |
| <b>二、化学实验的要求</b> .....     | ( 1 )  |
| (一)实验前的准备工作.....           | ( 1 )  |
| (二)实验记录.....               | ( 2 )  |
| (三)实验报告.....               | ( 2 )  |
| <b>三、误差与有效数字</b> .....     | ( 2 )  |
| (一)误差.....                 | ( 3 )  |
| (二)有效数字.....               | ( 4 )  |
| <b>四、化学实验室规则</b> .....     | ( 5 )  |
| <b>五、化学实验室的安全</b> .....    | ( 6 )  |
| (一)化学实验室的安全规则.....         | ( 6 )  |
| (二)使用压缩气体钢瓶的注意事项.....      | ( 7 )  |
| (三)事故的处理和急救.....           | ( 8 )  |
| (四)化学试剂.....               | ( 9 )  |
| (五)废物的处理与排放.....           | ( 10 ) |
| <b>六、化学实验常用的玻璃仪器</b> ..... | ( 12 ) |
| (一)普通玻璃仪器.....             | ( 12 ) |
| (二)标准磨口玻璃仪器.....           | ( 12 ) |
| (三)玻璃仪器的洗涤.....            | ( 14 ) |
| (四)玻璃仪器的干燥.....            | ( 14 ) |
| (五)使用玻璃仪器的注意事项.....        | ( 15 ) |
| <b>第二章 化学实验基本技术</b> .....  | ( 17 ) |
| <b>一、称量技术</b> .....        | ( 17 ) |
| (一)电光天平的使用方法.....          | ( 17 ) |
| (二)电子天平使用方法.....           | ( 18 ) |
| (三)称量方法.....               | ( 18 ) |
| <b>二、溶液的配制和标定</b> .....    | ( 19 ) |
| (一)溶液浓度的表示方法.....          | ( 19 ) |

|                                                                                                                     |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| (二)标准溶液的配制和标定                                                                                                       | (20)  |
| 三、分离和纯化技术                                                                                                           | (22)  |
| (一)液-固分离                                                                                                            | (22)  |
| (二)液-液分离                                                                                                            | (25)  |
| (三)色谱分离                                                                                                             | (36)  |
| (四)重结晶                                                                                                              | (40)  |
| (五)升华                                                                                                               | (42)  |
| 四、加热与冷却                                                                                                             | (43)  |
| (一)加热                                                                                                               | (43)  |
| (二)冷却                                                                                                               | (45)  |
| 五、干燥技术                                                                                                              | (46)  |
| (一)固体的干燥                                                                                                            | (46)  |
| (二)液体的干燥                                                                                                            | (46)  |
| (三)气体的干燥                                                                                                            | (48)  |
| 六、有机物熔点和沸点的测定                                                                                                       | (48)  |
| (一)熔点的测定                                                                                                            | (48)  |
| (二)沸点的测定                                                                                                            | (51)  |
| 七、常用测量仪器的操作技术                                                                                                       | (52)  |
| (一)酸度计的使用                                                                                                           | (52)  |
| (二)分光光度计的使用                                                                                                         | (55)  |
| (三)电导率仪的使用                                                                                                          | (59)  |
| (四)阿贝(Abbe)折射仪的使用                                                                                                   | (60)  |
| (五)旋光仪的使用                                                                                                           | (62)  |
| 第三章 基本操作训练                                                                                                          | (64)  |
| 实验1 简单的玻璃加工训练                                                                                                       | (64)  |
| 实验2 酸碱溶液的配制和浓度比较                                                                                                    | (65)  |
| 实验3 蒸馏                                                                                                              | (68)  |
| 实验4 常见阳离子的分离与鉴定                                                                                                     | (70)  |
| 实验5 常见阴离子的分离与鉴定                                                                                                     | (76)  |
| 实验6 去离子水的制备与水质分析                                                                                                    | (82)  |
| 实验7 水中化学需氧量的测定(酸性高锰酸钾法)                                                                                             | (85)  |
| 实验8 水泥熟料中 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 和<br>$\text{MgO}$ 含量的测定 | (88)  |
| 实验9 乙酸解离度和解离常数的测定(pH法)                                                                                              | (92)  |
| 实验10 配合物稳定常数的测定                                                                                                     | (94)  |
| 实验11 碘酸铜溶度积的测定(电动势法)                                                                                                | (97)  |
| 实验12 化学反应速率和反应级数测定                                                                                                  | (99)  |
| 实验13 氧化还原反应与电化学                                                                                                     | (103) |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| 第四章 物质的制备与分离分析                       | (108) |
| 实验 14 硫酸亚铁铵的制备及质量鉴定                  | (108) |
| 实验 15 七水硫酸镁的制备                       | (111) |
| 实验 16 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的合成、配离子组成和<br>电荷数的测定 | (113) |
| 实验 17 环己烯的制备                         | (120) |
| 实验 18 正溴丁烷的制备                        | (122) |
| 实验 19 乙酸正丁酯的制备                       | (125) |
| 实验 20 苯甲酸乙酯的制备                       | (127) |
| 实验 21 乙酰苯胺的制备                        | (129) |
| 实验 22 己二酸的制备                         | (131) |
| 实验 23 肉桂酸的制备                         | (133) |
| 实验 24 安息香异丙醚的制备                      | (136) |
| 实验 25 安息香正丁醚的制备                      | (137) |
| 实验 26 苯甲醇和苯甲酸的制备                     | (138) |
| 实验 27 呋喃甲醇和呋喃甲酸的制备                   | (141) |
| 实验 28 格氏试剂法制备 2-甲基-2-己醇              | (143) |
| 实验 29 己二酸二乙酯的制备                      | (145) |
| 实验 30 天然有机物的提取                       | (147) |
| 第五章 设计及探索性实验                         | (149) |
| 实验 31 用含锌矿物原料制备锌系列化合物                | (149) |
| 实验 32 钢铁部件的表面处理(磷化)                  | (153) |
| 实验 33 纳米级铜粉的制备                       | (156) |
| 实验 34 纳米氧化铁颜料的制备                     | (159) |
| 实验 35 无机耐高温涂料的制备                     | (162) |
| 实验 36 水性环保型丙烯酸内墙涂料的制备                | (165) |
| 实验 37 染料敏化二氧化钛纳米晶太阳能电池的研制            | (167) |
| 实验 38 硝酸钙氨合物低温制备及组成结构测定              | (170) |
| 实验 39 3-甲基-3-庚醇的制备                   | (173) |
| 实验 40 碘苯的制备                          | (174) |
| 实验 41 由环己醇制备环己酮肟                     | (176) |
| 实验 42 奶粉中乳糖的分离及旋光度测定                 | (177) |
| 实验 43 由对甲苯胺合成对氨基苯甲酸                  | (178) |
| 实验 44 苯氧乙酸的制备                        | (179) |
| 附 录                                  | (181) |
| 附录 1 化学实验略字表                         | (181) |

|       |                                           |       |
|-------|-------------------------------------------|-------|
| 附录 2  | 常用酸碱溶液的相对密度及浓度 .....                      | (183) |
| 附录 3  | 常见有机化合物的溶解度(/100g 水) .....                | (189) |
| 附录 4  | 常见有机共沸物的组成和共沸点 .....                      | (191) |
| 附录 6  | 常见有机基团的红外吸收特征频率 .....                     | (204) |
| 附录 7  | 弱酸在水中的解离常数(25℃) .....                     | (205) |
| 附录 8  | 微溶化合物的溶度积(18℃~25℃) .....                  | (207) |
| 附录 9  | 配合物的稳定常数(18℃~25℃) .....                   | (210) |
| 附录 10 | 标准电极电位(18℃~25℃) .....                     | (215) |
| 附录 13 | 常用缓冲溶液及 $pK_a$ .....                      | (224) |
| 附录 14 | 常用酸碱指示剂及配制(291K~298K) .....               | (225) |
| 附录 15 | 常用氧化还原指示剂及配制 .....                        | (226) |
| 附录 16 | EDTA 的酸效应系数 $\alpha_{Y(H)}$ .....         | (227) |
| 附录 17 | 常用金属离子指示剂及配制 .....                        | (228) |
| 附录 18 | 国际相对原子质量表[Ar( $^{12}\text{C}$ )=12] ..... | (229) |
| 附录 19 | 与化学有关的重要 Internet 网址 .....                | (231) |
| 参考文献  | .....                                     | (232) |

# 第一章 化学实验基本知识

## 一、化学实验的重要性

化学实验是化学学科的重要组成部分。虽然随着现代科学技术的飞速发展，化学已从经验科学走向理论与实践并重的科学，但它仍是以实验为基础的，特别是新的实验手段的普遍应用，极大地推动了化学学科的发展。因此，实验始终是化学学习的重要环节。通过实验课程的开设，可以达到以下目的：

(1) 巩固、扩大和加深学生对所学的相关理论知识的掌握，训练其理论联系实际及发现问题、分析问题和解决问题的能力。

(2) 使学生在化学实验的基本知识、基本操作和基本技能方面获得较全面的训练，培养独立操作能力。

(3) 培养学生正确选择化合物的合成、提纯和鉴定方法的能力，提高分析和解决实验中所遇到问题的能力。

(4) 通过实验前预习、实验现象的观察和分析、测试数据的处理和撰写报告，培养学生严谨认真、实事求是的科学态度和科学思维。

(5) 通过自拟实验方案的综合设计实验的训练，进一步培养学生独立思考、独立工作的科学实验能力和创新意识。

## 二、化学实验的要求

### (一) 实验前的准备工作

预习实验指导书，复习理论教材中有关的章节，明确实验目的和基本原理，了解实验内容及实验时应注意的问题，查阅有关数据，如：主要反应物、主产物、副产物、溶剂等的物理常数及仪器装置的性能等等，写好实验预习报告。通过预习对实验各环节做到心中有数。

实验预习报告对于指导实验操作，有效利用实验时间是极为重要的，撰写实验预习报告时可参考以下内容：

(1) 写出实验名称、实验目的、实验原理以及反应方程式（包括正反应和主要副反应）。

(2) 查阅试剂及产物的物理常数(相对分子质量、性状、折射率、相对密度、熔点、沸点及溶解度等)

(3) 按照反应方程式中反应物和生成物的质量计算出理论产量并写出所用仪器的种类、使用原理,画出实验装置图。

(4) 简单明了地画出实验流程图,其中的文字可用符号替代。例如化合物用分子式表示,加热用“ $\Delta$ ”,加入用“+”,气体逸出用“ $\uparrow$ ”,沉淀用“ $\downarrow$ ”等。画实验流程图有利于实验前就对整个实验有个清晰的思路,为实验的顺利进行做好准备。

(5) 写出粗产物纯化过程及原理。

(6) 做好实验记录表格。

(7) 对于将要做的实验中可能会出现的问题(包括安全问题和实验结果)要写出防范措施和解决办法。

## (二) 实验记录

实验时应认真操作,仔细观察,积极思考,并且及时地将操作过程、条件和观察到的实验现象及测得的各种数据如实地记录在记录本或报告本上。例如试剂用量,反应温度的变化,反应是否放热,颜色是否变化,是否有结晶或沉淀产生等。尤其是对于与预习报告中涉及内容相悖的现象应给予特别注意,这对解释实验结果将会有很大帮助。切记不要写“回忆录”。

做好实验记录对于深刻理解实验内容、分析实验结果、培养分析和解决问题的能力是十分重要的。实验完毕后,将实验记录及产物交教师审查。

## (三) 实验报告

实验报告的书写内容大致分为以下几项:

- (1) 实验目的及要求。
- (2) 反应原理。
- (3) 主要试剂及产物的物理常数。
- (4) 主要试剂用量及规格。
- (5) 仪器装置。
- (6) 实验步骤、工艺流程及现象。
- (7) 数据处理及产率计算。
- (8) 实验结果与讨论。

# 三、误差与有效数字

化学实验的目的是通过一系列的操作步骤来获得可靠的实验结果或获得被测定组分的准确含量。但是在实验过程中,分析测试的结果不可能绝对准确,误差是客观存在的。为了提高分析结果的准确度,我们应该了解实验过程中产生误差的原因及误差出现的规律,正确测定、记录实验数据,掌握分析和处理实验数据的科学方法。

## (一) 误差

### 1. 误差的来源

根据误差的性质和产生的原因,可将误差分为系统误差、随机误差、过失误差三类。

(1) 系统误差。系统误差由某些固定原因造成,对实验结果的影响比较恒定,在同一条件下的多次测定中重复地显示出来,所有的测定结果都偏高或者都偏低,即系统误差具有重复性和单向性。根据来源,系统误差可分为:

①方法误差,如反应不完全,试剂不稳定,指示剂选择不当,采用近似计算公式等引起的误差。

②仪器、试剂误差,如仪器未经校正,所用试剂不纯等引起的误差。

③个人误差,如测量人员的习惯和偏向或动态测量时的滞后现象等使读数偏高或偏低引起的误差。

系统误差可用对照实验、回收实验、空白实验、仪器校正、标准加入法等检验或消除。

(2) 随机误差。随机误差又称偶然误差,由一些不可控制的客观的偶然因素引起。如判断滴定终点时,由于个人对颜色的敏感度不同而造成的终点判断误差;观测时温度、气压、湿度的微小波动引起实验值波动。随机误差在实验中无法避免,可偏低或偏高,但多次测量的数值符合正态分布的统计规律。

(3) 过失误差。过失误差指由于操作者工作疏忽,不按操作规程办事、操作马虎引起的误差。如测量中器皿不洁净、丢损试液、加错试剂、看错砝码、记录及计算错误等,这些都属于不应有的过失,必须注意避免。如已发现过失误差,应及时纠正或删除这些数据,不能用于计算平均值。

### 2. 误差的表示

(1) 真值与平均值。真值( $\mu$ )客观存在,但真值不可能通过测量得到,因为任何测量都不可避免地存在着误差。测量次数无限多时,根据正负误差出现的概率相等的误差分布定律,在不存在系统误差的情况下,它们的平均值极为接近真值。故在实验科学中将真值定义为无限多次观测值的平均值。

但实际测定的次数总是有限的,由有限次测量求出的平均值,只能近似地接近于真值。

最常用的平均值为算术平均值 $\bar{x}$ ,即

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

(2) 准确度与误差。准确度指测量结果的正确性,用误差表示,值越小表明测量准确度越高。

绝对误差( $E$ )指测量值与真值之差,即

$$E = \bar{x} - \mu \quad (1-2)$$

相对误差( $E_r$ )指绝对误差与真值之比,即

$$Er = \frac{\bar{x} - \mu}{\mu} \times 100\% \quad (1-3)$$

(3) 精密度与偏差。精密度指相同条件下测量 ( $n$  次) 的重现性, 测量结果的重现性用偏差表示。偏差 ( $d$ ) 指单次测量结果与多次重复测量结果的平均值的偏离, 值越小表明测定结果的精密度越高, 即

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad (1-4)$$

平均偏差:

$$\bar{d} = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{\sum |d_i|}{n} \quad (1-5)$$

相对平均偏差:

$$\bar{dr} = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1-6)$$

标准偏差:

$$S = \left[ \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-7)$$

相对标准偏差:

$$RSD = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1-8)$$

## (二) 有效数字

要获得准确的分析结果, 不仅要求测量准确, 而且要求正确记录与计算, 即要求掌握实验中有有效数字的正确表示与运算。

### 1. 有效数字的规定

有效数字指从仪器上直接读出的数字, 其保留的位数应根据分析方法和仪器的精度确定, 除最后一位数为估计值外, 其余各位数均是准确的。

如: 在台秤上称量物质质量为 0.35g, 表示称量误差为  $\pm 0.02\text{g}$ , 在分析天平上称量物质质量为 0.3500g 表示称量误差为  $\pm 0.0002\text{g}$ 。

有效数字的位数可通过表 1.1 说明。

表 1.1 有效数字的位数

|      |        |        |     |    |      |       |       |         |                    |
|------|--------|--------|-----|----|------|-------|-------|---------|--------------------|
| 有效数字 | 0.0035 | 0.0030 | 305 | 35 | 35.0 | 35.00 | 35000 | pH=4.74 | $1.80 \times 10^5$ |
| 位数   | 两位     | 两位     | 三位  | 两位 | 三位   | 四位    | 不确定   | 两位      | 三位                 |

有效位数确定中“0”的特殊性:

- (1) “0”在数字前只起定位作用, 不是有效数字。
- (2) “0”在数字中间或小数点后面, 则是有效数字。
- (3) 尾数为“0”的整数, 有效位数不确定。

## 2. 有效数字的修约

有效数字的位数反映了测量（及结果）的准确度，不可随意增加或减少。如果结果是经过一系列测量，再按一定的公式计算出来的，根据误差传递规律，大的误差环节对结果准确度的影响有举足轻重的作用。因此，对于有效数字位数较多（误差较小）的测量值，应将多余的数字舍弃，进行有效数字的修约。

（1）修约规则——“四舍六入五成双”。

拟舍去的第一位数为 0~4，则被保留的末尾数不变，如 14.2442→14.24。

拟舍去的第一位数为 6~9，则被保留的末尾数加 1，如 24.4863→24.49。

拟舍去的第一位数为 5，其右边的数字皆为 0，则被保留的末尾数为偶数，如 15.0250→15.02，15.0150→15.02。

拟舍去的第一位数为 5，其右边的数字不为 0，则被保留的末尾数加 1，如 15.0251→15.03。

（2）加减运算。加减运算时，和或差的有效数字的保留位数取决于这些数值中小数点后位数最少的数字。运算时，首先以小数点后位数最少的数为标准，将其余各数修约到比标准多一位有效位数，然后做加减运算，最后修约到要求的位数。

（3）乘除运算。乘除运算时，积或商的有效数字的保留位数由其中有效数字数值的相对误差最大者决定，而与小数点的位置无关。运算时，首先以有效数字数值的相对误差最大者为标准，将其余各数修约到比标准多一位有效位数，然后做乘除运算，最后修约到要求的有效位数。

## 四、化学实验室规则

为了保证实验的正常进行和培养良好的实验习惯，学生必须遵守下列实验室规则：

（1）上实验课不得迟到、早退，在指定位置进行实验。

（2）进入实验室后，遵守实验室工作规则。严格遵守实验室的安全规则和每个具体实验操作中的安全注意事项。熟悉实验室及其周围的环境，了解灭火器材、电源总开关、急救药品的使用方法和放置地点。

（3）严格按照实验指导书规定或教师指导的步骤、试剂的规格和用量进行实验。若有新的见解或建议，或要改变实验步骤和试剂规格及用量时，须征得教师同意方可进行。

（4）实验过程中应集中精力、认真操作、仔细观察、积极思考，并如实、及时做好实验记录，保持安静环境和良好秩序。

（5）实验台面、水槽和地面要保持整洁。废液要倒入指定的废液缸，严禁倒入水槽。污物、残渣、火柴梗、废纸、废沸石等杂物可先放入烧杯，实验结束后倒入垃圾箱内。

（6）要爱护公物，节约药品、水、电及消耗性物品。公用仪器、药品、器材应在指定地点使用，或用后及时整理好并放回原处。

（7）实验完毕，及时做好实验后处理工作，清洗、整理仪器并按要求归还，检查水电是否关闭，待教师检查后方可离开。

## 五、化学实验室的安全

### (一) 化学实验室的安全规则

实验前应充分考虑防止事故的发生及事故发生后所采取的安全措施。特别是进行有机化学实验,经常要使用易燃有机溶剂,如乙醚、乙醇、丙酮、苯、石油醚、乙酸乙酯、二硫化碳等,尤其是低沸点易燃物质,室温时即具有较大的蒸气压,使用时需严格遵守操作规程。表 1.2 列出了常用易燃溶剂蒸气爆炸极限,表 1.3 列出了常用易燃气体爆炸极限。

表 1.2 常用易燃溶剂蒸气爆炸极限

| 名称 | 沸点/℃  | 闪点(闪燃点)/℃ | 爆炸范围(体积百分数)/% |
|----|-------|-----------|---------------|
| 甲醇 | 69.96 | 11        | 6.72~36.50    |
| 乙醇 | 78.5  | 12        | 3.28~18.95    |
| 乙醚 | 34.51 | -45       | 1.85~36.5     |
| 丙酮 | 56.2  | -17.5     | 2.55~12.80    |
| 苯  | 80.1  | -11       | 1.41~7.10     |

表 1.3 常用易燃气体爆炸极限

| 名称   | 空气中的含量(体积百分数)/% | 名称 | 空气中的含量(体积百分数)/% |
|------|-----------------|----|-----------------|
| 氢气   | 4~74            | 甲烷 | 4.5~13.1        |
| 一氧化碳 | 12.5~74.2       | 乙炔 | 2.5~80          |
| 氨气   | 15~27           |    |                 |

一些有机化合物如醚或共轭烯烃,久置后会生成易爆炸的过氧化物,须特殊处理后才能应用。有毒的溶剂和试剂(如氰化钠、氟化氢、硝基苯和某些有机磷化合物等),以及有腐蚀性的药品(如氯磺酸、浓硫酸、浓硝酸等)应妥善保管,小心使用。有些有机化合物遇氧化剂时会发生猛烈爆炸或燃烧,操作时应特别小心。此外,玻璃器皿、煤气、电器设备等使用不当,也会导致事故。

当然,这些事故都是可以预防的。只要在实验前做好充分的准备,在实验时严格执行操作规则,集中注意力,加强安全防护意识,遵守实验室安全规则和实验室守则,就能有效地维护实验室的安全,正常地进行实验。进行化学实验必须遵守以下安全规则:

(1) 使用易燃溶剂时,切勿将易燃溶剂倒入废液缸中。有机溶剂蒸气都比空气的密度大,会沿着桌面或地面飘移至较远处,或沉积在低洼处。倾倒易燃溶剂应远离火源,最好在通风橱中进行。不能用开口容器盛放易燃溶剂。蒸馏易燃溶剂(特别是低沸点易燃溶剂)时,整套装置切勿漏气,接引管支管应与橡皮管相连,使余气通往水槽或室外。

(2) 使用易燃、易爆气体时,要保持室内空气流通,严禁明火,并防止一切火星的发生,如由于敲击、电器开关等所产生的火花。

(3) 开启存有挥发性试剂的试剂瓶的瓶塞时,必须预先充分冷却。如遇瓶塞不易开启时,必须注意瓶内贮物的性质,切不可贸然用火加热或敲打瓶塞。开启时瓶口须朝向无人处,以免液体喷溅而导致伤害。

(4) 使用有毒试剂(如苯、硝基苯、联苯胺、亚硝基化合物等)和有腐蚀性试剂时,要戴胶皮手套和防护眼镜。使用挥发性有毒试剂时,一定要在通风橱内操作。

(5) 实验前应检查仪器设备是否存在破损、漏气、漏电等不安全因素。实验中如发现异常情况,应立即中断实验,必要时请求指导教师的帮助,排除故障后,方可继续实验。

(6) 回流或蒸馏液体时,应预先放入数粒沸石,防止过热暴沸;若加热后发现忘记放入沸石时,必须停止加热,待液体冷却后再补加,以免导致液体迅速沸腾,冲出瓶外而引起火灾;冷凝水要保持畅通,若冷凝管没有通水,大量蒸气来不及冷凝而逸出,也易造成火灾。

(7) 蒸馏装置必须正确安装,防止阻塞。减压蒸馏时,不得使用平底烧瓶或薄壁烧瓶,以防负压过大,引起烧瓶破裂而发生爆炸;所用胶塞不能过小,否则易被吸入瓶内。

(8) 将玻璃管(棒)或温度计插入瓶塞中时,应先检查塞孔是否合适,玻璃是否平、光,并用布裹住或涂抹甘油等润滑剂后旋转而入。握玻璃管(棒)的手应靠近塞子,防止因玻璃管(棒)折断而割伤手。

(9) 实验中所用试剂,不得随意抛洒、遗弃。对产生有毒气体的试剂应按规定处理,以免污染环境,影响身体健康。

(10) 金属钠等易燃物不应久置空气中,实验中剩余的金属钠或含有金属钠的残渣一定要及时销毁,严禁将其倒入水槽或废液缸内。

(11) 不能用湿手触摸电器或手握湿物安装插头。为了防止触电,电器设备的金属外壳应接地线。实验完毕应先切断电源,再拆卸仪器。

(12) 严禁在实验室内吸烟、饮食,实验结束后要洗净双手。

## (二) 使用压缩气体钢瓶的注意事项

在化学实验中,常常会用气体作反应物(如氢气、氧气等),或者用气体作为保护气(如氮气、氩气等),也有用气体作燃料(如煤气、液化气)等。这些气体一般都是压缩装在特制的钢瓶容器中,既便于运输又便于在一般实验室里随时可用。由于钢瓶里装的是高压的压缩气体或液化气,要特别注意安全,使用时必须注意下列事项:

(1) 所有的压缩气体钢瓶都会依据一定的标准,根据所装的气体不同,被涂成不同的颜色。在使用钢瓶前,要正确识别钢瓶内气体种类,如氧气瓶外表颜色为天蓝色,标注黑色字样“氧”;氮气瓶外表为黑色,标注黄色字样“氮”,涂刷棕色横条。切勿误用而造成事故。

(2) 钢瓶应定期检查,如进行水压实验、气密性实验和壁厚实验等。

(3) 常用压缩气体的压强一般接近 200 个大气压。整个钢瓶的瓶体非常坚实,最易损坏的是安装在钢瓶出气口的排气阀,一旦排气阀被损坏,后果不堪设想。因此为安全起见,要在排气阀上安装防护罩。

(4) 实验室常用的压缩气体钢瓶,一般高度约 160cm,重为 70kg~80kg,应将钢瓶固定在确定位置,最好在钢瓶外面装上橡胶防震圈。严禁将装有两种气体接触后可能引起

燃烧或爆炸的钢瓶放置在一起。一般用特制的推车转移钢瓶。

(5) 压缩气体钢瓶应远离火源和腐蚀性的物质, 如酸、碱等。严禁油脂等有机物污染钢瓶, 若已有油脂污染, 则应用四氯化碳洗净, 否则油脂遇到逸出的氧气会燃烧。

(6) 使用时为了降低压力并保持压力稳定, 必须安装减压阀。各种气体减压阀不能混用。使用时应缓慢打开阀门, 切勿猛开阀门。不能将瓶内气体全部用完, 应保持一定的残余压力。

### (三) 事故的处理和急救

若遇事故, 要保持冷静, 不能惊慌失措, 报告教师并立即采取措施。

#### 1. 实验室发生失火事故

首先应立即切断电源, 关闭热源, 迅速移去着火现场周围的易燃物。同时, 根据不同的起火原因采取不同的灭火措施。油浴和有机溶剂着火时, 绝对不能用水灭火, 最好用大块石棉布将火盖熄, 严禁用沙土救火, 以免打破玻璃仪器, 造成火势更大范围蔓延。实验人员衣服着火时, 切勿惊慌乱跑, 以免因空气流动而使火焰扩大和转移, 而应立即用麻布袋或大衣包裹扑熄, 必要时可卧地打滚, 或赶快把着火的衣服脱下, 或打开附近的自来水开关用水冲淋熄灭。烧伤严重者应立即送医院。如实验室着火面积大, 应根据具体情况选择灭火器材。无论使用哪一种灭火器材, 都应从火的四周向中心扑灭火焰, 以下是常用的几种灭火器材:

(1) 泡沫灭火器: 此种灭火器内装发泡剂碳酸氢钠和硫酸铝溶液, 使用时将灭火筒倒转, 即从喷嘴自动喷出大量二氧化碳泡沫。这种灭火器适用于一般有机物引发的火灾, 但不可用于电器引发的火灾。

(2) 二氧化碳灭火器: 此种灭火器用以扑灭有机物及电器设备的着火。钢筒内装有压缩的液态二氧化碳, 使用时打开开关, 二氧化碳气体即会喷出。使用时正确操作的方法是: 一手提灭火器, 另一手应握在喷二氧化碳喇叭筒的把手上。不可将手握在喇叭筒上, 因随着二氧化碳的喷出, 压力和温度均会骤然降低, 手握在喇叭筒上会被冻伤。

(3) 四氯化碳灭火器: 此种灭火器用以扑灭电器内或电器附近着火。由于四氯化碳火灾在高温时会产生剧毒的光气因而不宜在狭小和通风不良的实验室中应用; 有金属钠存在时, 由于四氯化碳与金属钠反应会引起爆炸, 而不宜用。使用该灭火器时只需连续抽动唧筒, 四氯化碳即会由喷嘴喷出。

(4) 1211 灭火器: 此种灭火器是一种新型的高效灭火器, 适用于易燃液体、气体、固体和电器引起的火灾, 内装二氟一氯一溴甲烷。其主要优点是灭火效能高, 毒性低, 绝缘性好, 对金属无腐蚀作用, 久贮不变质, 但价格高。

#### 2. 实验人员受伤

(1) 玻璃切割伤。玻璃切割伤是最常见的事故, 伤口内若有玻璃碎片, 须先取出, 挤出污血, 用碘酒涂抹, 然后用纱布包扎。受伤严重者, 应先止血, 并立即送医院处理。玻璃碎屑溅入眼内切勿用手揉动; 大伤口则应先按紧主血管, 以防止大量出血。

(2) 烫伤。轻伤者在伤处涂红花油或苦味酸溶液; 重伤者立即送医院处理。

(3) 被试剂灼伤。

①酸: 立即用软布或卫生纸轻轻沾掉, 然后用大量水洗, 再用 3%~5% 碳酸氢钠溶