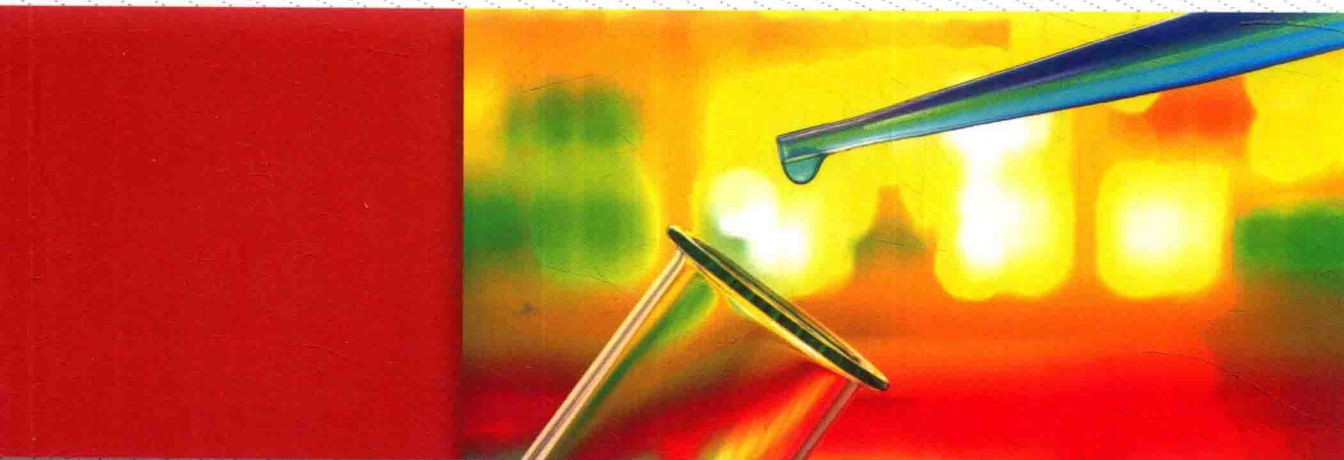




# 基础化学实验

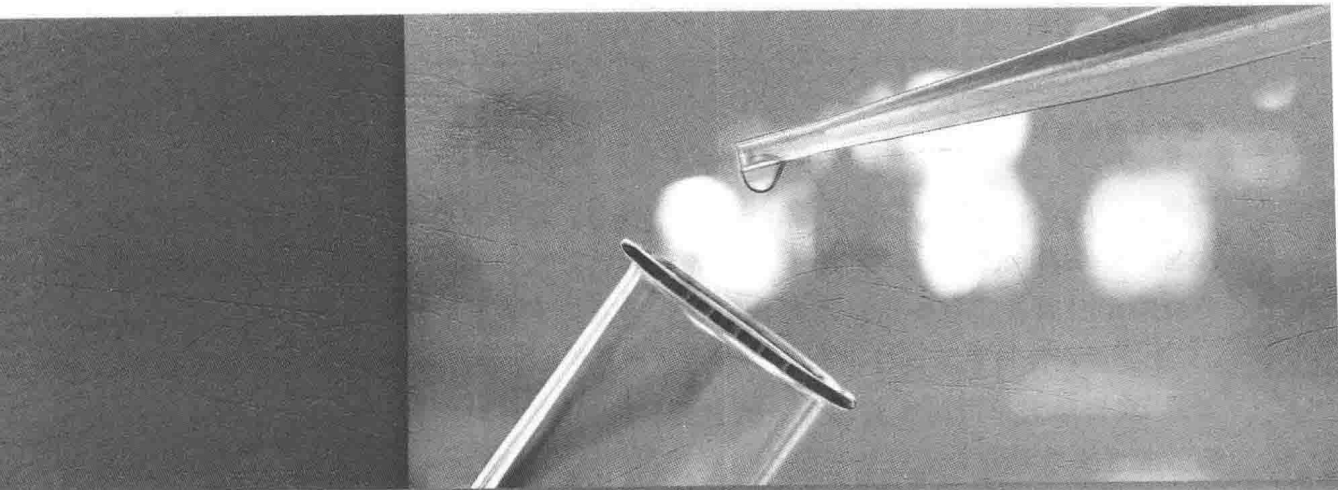
---

董红兵 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



# 基础化学实验

常州大学图书馆

主 编

藏红书章

副主编

曹 习 汪师帅

肖 迎



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

## 内 容 提 要

本书为烹饪与营养教育、食品质量与安全、食品科学与工程等专业的基础课程基础化学、有机化学的实验配套教材。本书分为化学实验基础知识、化学实验基本操作和基本技能、无机化学实验、有机化学实验、综合设计性实验五章。本书编写体现了系统性、简洁性、实用性和创新性等特点。

### 图书在版编目(CIP)数据

基础化学实验/董红兵主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5680-2654-3

I. ①基… II. ①董… III. ①化学实验-高等学校-教材 IV. ①O6-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 061585 号

### 基础化学实验

董红兵 主编

Jichu Huaxue Shiyān

策划编辑: 周 琳

责任编辑: 孙基寿

封面设计: 刘 婷

责任校对: 张会军

责任监印: 周治超

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话: (027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编: 430223

录 排: 华中科技大学惠友文印中心

印 刷: 武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 11.5

字 数: 241 千字

版 次: 2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 29.00 元



本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

武汉商学院是湖北省首批试点应用技术型本科院校,以此为契机,学校深化教学改革,积极推行应用技术型人才培养;烹饪与营养教育等专业先后获批“湖北省战略性新兴产业(支柱)产业人才培养计划”“湖北省本科高校专业综合改革试点项目”,基础化学课程获批校级精品资源共享课程,在此背景下,编写基础化学课程配套实验教材具有重要意义,同时该教材也是市级教学研究项目“烹饪与营养教育专业实验实训项目改革研究”和校级教学研究项目“应用型本科院校实验教学改革与综合创新开放型实验教学平台建设研究”的重要研究成果之一。

本书为烹饪与营养教育、食品质量与安全、食品科学与工程等专业的基础课程基础化学、有机化学的实验配套教材。本书分为化学实验基础知识、化学实验基本操作和基本技能、无机化学实验、有机化学实验、综合设计性实验五章。

本书编写体现了系统性、简洁性、实用性和创新性等特点。实验项目与专业密切结合。前两章侧重于让学生了解基础化学实验操作知识,掌握基本实验技能,树立严谨的科学态度,同时为后续的“生物化学”、“烹饪化学”、“分析化学”等课程打基础。第三章、第四章主要培养学生理论联系实际的能力、实验原理的利用与把握能力。第五章综合设计性实验注重开阔学生研究视野,培养创新思维 and 创新能力。

与国内同类教材比较,本书具有以下特点。

第一,知识系统性强、结构简明。本书对课程知识体系进行了重新构建,将传统基础化学实验教材中无机化学和有机化学部分的基本知识、基本操作和基本技能进行了整合,避免重复和杂糅。与同类教材相比增加了“综合设计性实验”,从基础知识到基本操作、基本技能,再到无机化学、有机化学单项实验,最后是综合设计性实验,系统性强、条理清晰、结构简明。

第二,教学内容体现特色性,突出技能型。本书的编写始终秉持学以致用理念,将化学基本知识和基本原理与烹饪实践和日常生活实践紧密结合,突出化学知识的应用性和对实践的指导性。

传统的基础化学实验是以化学专业或医学专业为基础编写的,实验内容基本上没有烹饪相关专业的内容,在使用中教学效果不好,更谈不上特色。本书依据人才培养方案,

在无机化学实验中增加了“果蔬中维生素 C 的测定”“鱼香肉丝酸度的测定”等实验内容,在有机化学实验中增加了“爆炒红辣椒色素的提取”等实验,综合设计性实验部分,全部是烹饪相关专业的实验内容,如“肉制品中亚硝酸盐含量的测定”、“绿色果蔬叶绿素含量的测定”等。

第三,注重创新思维和能力的培养,彰显“烹饪”生命力。第五章为综合设计性实验,为传统的“烹饪”嫁接了食品科学技术,为传统食品的工业化、标准化提供技术支持,为彰显烹饪特色、延续烹饪的生命力做好铺垫,如“鱼香肉丝的标准化研究”。

本书由董红兵任主编,曾习、汪师帅、肖迎任副主编,在编写过程中,参考了已出版的相关教材,得到了武汉商学院、华中科技大学出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢。限于编者水平,书中难免有不足之处,恳请专家、教师和读者批评指正。

董红兵

---

# Contents 目 录

---

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第一章 化学实验基础知识 .....            | 1  |
| 第一节 基础化学实验的目的和工作要求 .....      | 1  |
| 第二节 化学实验安全知识 .....            | 3  |
| 第三节 数据处理和实验报告 .....           | 7  |
| 第二章 化学实验基本操作和基本技能 .....       | 12 |
| 第一节 实验常用玻璃仪器和辅助器材 .....       | 12 |
| 第二节 化学试剂的规格、存放和取用 .....       | 18 |
| 第三节 玻璃仪器的洗涤和干燥 .....          | 21 |
| 第四节 加热和冷却方法 .....             | 23 |
| 第五节 容量仪器及其操作 .....            | 26 |
| 第六节 称量仪器及其操作 .....            | 31 |
| 第七节 浓缩和结晶 .....               | 33 |
| 第八节 实验室常用测量仪器的使用 .....        | 36 |
| 第三章 无机化学实验 .....              | 40 |
| 实验一 缓冲溶液的配制和性质 .....          | 40 |
| 实验二 鱼香肉丝酸度的测定 .....           | 44 |
| 实验三 泡菜用水的总硬度测定(重点) .....      | 46 |
| 实验四 由粗盐制备纯度为实验级的氯化钠(重点) ..... | 49 |
| 实验五 果蔬中维生素 C 的测定(重点) .....    | 50 |
| 实验六 腊鱼(腊肉)中氯化钠的含量测定(重点) ..... | 53 |
| 实验七 酸碱标准溶液的配制及标定 .....        | 56 |
| 实验八 待测溶液中葡萄糖含量的测定 .....       | 59 |
| 实验九 电解质溶液的性质 .....            | 60 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 实验十 纸层析法分离氨基酸 .....          | 64  |
| 第四章 有机化学实验 .....             | 68  |
| 实验十一 熔点的测定 .....             | 68  |
| 实验十二 动物油脂熔点及烟点的测定 .....      | 71  |
| 实验十三 蒸馏及沸点的测定 .....          | 72  |
| 实验十四 绍兴花雕酒酒精含量的测定 .....      | 76  |
| 实验十五 乙酰苯胺的重结晶 .....          | 77  |
| 实验十六 从恩施富硒茶中提取咖啡因 .....      | 81  |
| 实验十七 分层鸡尾酒的调制与萃取 .....       | 84  |
| 实验十八 东坡肉脂肪含量的测定 .....        | 87  |
| 实验十九 干煸土豆丝酸价及过氧化值的测定 .....   | 89  |
| 实验二十 泰国香米与东北大米总糖的测定与比较 ..... | 92  |
| 实验二十一 乳粉中乳糖及蔗糖的测定 .....      | 95  |
| 实验二十二 爆炒红辣椒色素的提取 .....       | 97  |
| 实验二十三 茴香醚的合成 .....           | 99  |
| 第五章 综合设计性实验 .....            | 102 |
| 实验二十五 肉制品中亚硝酸盐含量的测定 .....    | 102 |
| 实验二十六 蔬菜烫漂后过氧化物酶活性的测定 .....  | 111 |
| 实验二十七 绿色果蔬叶绿素含量的测定 .....     | 114 |
| 实验二十八 茶叶中茶多酚的提取与含量测定 .....   | 118 |
| 实验二十九 鱼香肉丝的标准化的研究 .....      | 122 |

## 附 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 附录1 国家法定计量单位及符号一览表 .....   | 129 |
| 附录2 元素的相对原子质量 .....        | 130 |
| 附录3 常用化合物的相对分子质量 .....     | 131 |
| 附录4 金属-无机配位体配合物的稳定常数 ..... | 132 |
| 附录5 金属-有机配位体配合物的稳定常数 ..... | 138 |
| 附录6 标准电极电势 .....           | 144 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 附录 7 弱电解质的电离常数 .....              | 152 |
| 附录 8 难溶化合物的溶度积常数 .....            | 153 |
| 附录 9 常见物质溶解性表 .....               | 159 |
| 附录 10 水的饱和蒸气压 .....               | 159 |
| 附录 11 水的表面张力 .....                | 161 |
| 附录 12 水的绝对黏度 .....                | 162 |
| 附录 13 水的密度 .....                  | 163 |
| 附录 14 常见离子和化合物的颜色 .....           | 164 |
| 附录 15 常用有机溶剂的物理常数 .....           | 168 |
| 附录 16 实验室常用溶液及试剂(未含缓冲溶液)的配制 ..... | 169 |
| 附录 17 实验室常用缓冲溶液的配制 .....          | 172 |
| 参考文献 .....                        | 174 |

# 第一章 化学实验基础知识

## 第一节 基础化学实验的目的和工作要求

### 一、基础化学实验的目的

基础化学实验是高等学校相关专业,包括食品科学、化学、医学、生物技术等专业的重要基础课,以化学实验原理、实验方法、实验手段以及实验操作技术为主要内容。

基础化学实验课程的教学目的是适应食品科学(烹饪)等专业对本科生的科学素质、知识能力和创新精神的要求,使学生获得相关化学实验的基础知识、基础操作技术和从事科学研究的规范训练。通过基础化学实验的教学过程要达到以下目的。

(1) 通过基础实验的严格训练,使学生正确掌握化学实验的基本原理、基本操作和基本技能以及正确使用基本实验仪器,培养学生独立工作的能力。

(2) 通过综合实验,培养学生对典型实验方法、基本原理、基本操作、基本技能的综合运用能力。

(3) 培养学生勇于探索的科学精神,以及善于观察、勤于思考、敢于存疑的创新思想和创新能力。

(4) 培养学生分析问题和解决问题的能力,以及团队协作的精神。

### 二、基础化学实验的工作要求

要想达到上述实验目标,必须遵守相应的工作要求。

1. 预习的要求 实验前充分预习是做好实验的前提。预习的内容如下。

(1) 阅读实验教材和教科书中的有关内容,必要时参阅有关资料。

(2) 明确实验目的和要求,透彻理解实验的基本原理。

(3) 明确实验内容、操作过程和实验时应当注意的事项。

(4) 认真思考实验前应准备的问题,并从理论上加以解决。

(5) 查阅有关教材、参考书、手册,获得该实验所需的有关化学反应方程式、常数等。

(6) 通过自己对本实验的理解,在记录本上简要地写好实验预习报告,其中实验步骤尽可能用方框图、箭头等简明表示。写出预习笔记(实验前未进行预习者不准进行实验)。

2. 实验过程的工作要求 实验是培养独立工作和思维能力的重要环节,必须认真、独立地完成。根据实验教材上所规定的方法、步骤、试剂用量和实验操作规程进行操作,实验中应该做到下列几点。

(1) 认真操作,细心观察。对每一步操作的目的、作用以及可能出现的问题进行认真探究,并把观察到的现象、实验数据及时如实地详细记录下来,不得涂改,也不得记录在纸片上。

(2) 深入思考。如果发现观察到的实验现象与理论不符,先要尊重实验事实,然后加以分析,认真检查其原因,并细心地重做实验。必要时可做对照实验、空白实验或自行设计的实验来核对,直到从中得出正确的结论。

(3) 实验中遇到疑难问题和异常现象而自己难以解释时,可提请实验指导老师解答。

(4) 实验过程中要勤于思考,注意培养自己严谨的科学态度和实事求是的科学作风,决不能弄虚作假,随意修改数据。若定量实验失败或产生的误差较大,应努力寻找原因,并经实验指导老师同意,重做实验。

(5) 在实验过程中应保持严谨的态度,严格遵守实验室规则。实验后做好结束工作,包括清洗、整理好仪器、药品,清理实验台面,清扫实验室,检查电源开关,关好门窗。

3. 化学实验室的规则要求 遵守实验室规则可以保证正常的实验环境和工作秩序,防止意外事故发生,是做好实验的前提和保障。

(1) 实验前必须认真预习,明确实验目的和要求,弄清实验基本原理、实验操作技术和基本仪器的使用方法,熟悉实验内容及注意事项,写好预习报告。

(2) 遵守纪律,不迟到,不早退。进入实验室时,先熟悉实验室及其周围环境,尤其是水、电、燃气等各种阀门所在位置。严格遵守实验室的各项规章制度。检查实验所需的物品、仪器、试剂等是否齐全,若有缺少和破损,及时向教师提出进行补充更换。

(3) 实验过程中保持安静,严禁饮食、吸烟、听音乐,集中精力,正确操作。爱护公共财物,小心使用仪器和实验设备,节约药品、水、电和煤气。

(4) 严格按照实验指导规定的操作步骤、试剂用量进行实验,若要更改,必须征得指导教师的同意才可进行。仔细观察各种现象,并如实详细地记录在预习报告中,严禁弄虚作假。

#### 4. 使用药品时的工作要求

(1) 药品应按实验内容中的规定量取用,如果书中未规定用量,应注意节约,尽量少用。

(2) 取用固体药品时,注意勿使其撒落在实验台上。

(3) 药品自瓶中取出后,不应倒回原瓶中,以免带入杂质而引起瓶中药品污染变质。

(4) 试剂瓶用过后,应立即盖上塞子,并放回原处,以免不同试剂瓶的塞子搞错,混入杂质。

(5) 滴管在未洗净时,不应在另外的试剂瓶中吸取溶液。

(6) 实验完成后要求回收的药品,都应倒入回收瓶中。

5. 实验卫生等要求 保持实验台面整齐清洁,共用药品和仪器应在原位置取用,不得随意挪动。废纸、火柴梗和废液等应倒入废物缸内,严禁倒入水槽内,以防水槽堵塞和腐蚀下水管道。实验完毕清洗所用器皿,按原顺序摆放整齐。实验过程中损坏或丢失的仪器要及时登记补充,并按实验室的有关规定进行赔偿。值日生负责打扫和整理实验室,关好水、电、气等阀门,检查无误后报告老师,经教师允许方可离开。

6. 实验分析 实验后需对实验现象认真分析和总结,对原始数据进行处理,以及对实验结果进行讨论。根据不同的实验要求写出不同格式的实验报告,交给指导教师批阅。

## 第二节 化学实验安全知识

化学实验用到的药品中,有的易燃、易爆,有的具有腐蚀性和毒性。为确保实验能顺利进行,保障实验人员安全,所有进入实验室的操作人员都必须了解并遵守实验室的安全守则,了解实验室救护的基础知识,懂得常见事故的简单处理方法,养成良好的环保意识和习惯。

### 一、化学实验室安全规则

(1) 使用电器设备时,不能用湿手操作,以防触电。工作完毕后,应立即拔去电源插头。

(2) 进行有毒、有刺激性或有恶臭物质的实验,都应在通风橱中进行。

(3) 进行易挥发或易燃物质的实验,都应在离火较远的地方进行,并尽可能在通风橱中进行,试剂使用完毕后立即盖紧盖子。

(4) 强氧化剂,如氯酸钾、高氯酸及其混合物,如氯酸钾与红磷、碳、硫等的混合物,不能研磨,否则易发生爆炸。

(5) 使用浓酸、浓碱等强腐蚀性试剂时要小心,以免溅在皮肤、衣服和鞋袜上,眼睛的安全更重要,一旦溅上应立即用水冲洗,擦净后请医务人员处理。

(6) 加热试管时,不要将试管口指向自己或别人,也不要俯视正在加热的液体,以免被溅出的液体烫伤。在嗅闻瓶中气体的气味时,鼻子不能直接对着瓶口或管口,而应用手把少量气体轻轻扇向自己。

(7) 稀释浓硫酸时,应将浓硫酸慢慢地注入水中,并不断搅动。切勿将水注入浓硫酸中,以免局部过热,使得浓硫酸溅出引起烧伤。

(8) 使用酒精灯,应随用随点,不用时盖上灯罩。不要用已点燃的酒精灯去点燃别的酒精灯,以免酒精流出而失火。

(9) 有毒药品,如重铬酸钾、钡盐、铅盐、砷的化合物、汞的化合物等,特别是氰化物不能随便倒入下水道,要回收或进行特殊处理。

(10) 实验室内严禁饮食、吸烟,切勿以实验用容器代替水杯、餐具使用,防止化学试剂入口。每次实验后,应把手洗净。

## 二、化学实验意外事故的处理

如果在实验过程中发生了意外事故,可以采取以下救护措施。

(1) 割伤,立即用消毒棉棒揩净伤口。若伤口内有玻璃碎片应小心挑出,然后涂上红药水或紫药水,撒上消炎粉或敷上消炎膏并用绷带包扎。若伤口过大,应立即送医院救治。

(2) 烫伤,可用高锰酸钾或苦味酸溶液揩洗伤处,再擦上凡士林或烫伤膏。

(3) 强酸烧伤,应立即用大量水冲洗,然后擦上碳酸氢钠油膏或凡士林。如果酸溅入眼中,先用大量水冲洗,再用 1% 碳酸氢钠溶液冲洗,最后用去离子水冲洗。

(4) 浓碱烧伤,应立即用大量水冲洗,然后用柠檬酸或硼酸饱和溶液洗涤,再擦上凡士林。如果溅入眼中,可用 3% 硼酸溶液洗,再用去离子水冲洗。

(5) 烧伤,用乙醇或 10%  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液洗涤伤口,再用水冲洗干净,并涂敷甘油。

(6) 磷烧伤,用 5%  $\text{CuSO}_4$  溶液或  $\text{KMnO}_4$  溶液洗涤伤口,并用浸过  $\text{CuSO}_4$  溶液的绷带包扎。

(7) 触电,立即切断电源,必要时进行人工呼吸。

(8) 吸入刺激性气体,可吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气,然后到室外呼吸新鲜空气。

(9) 毒物进入口内,把 5~10 mL 1%~5% 硫酸铜溶液加入一杯温水中,搅匀后喝下,然后用手指伸入喉部,促使呕吐再送医院治疗。

(10) 使用汞时,应避免泼洒在实验台或地面上,使用后的汞应收集在专用的回收容器中,切不可倒入下水道或污物箱内。万一发生少量汞洒落,应尽量收集干净,然后在可能洒落的地方洒一些硫黄粉,最后清扫干净,并集中做固体废物处理。

(11) 实验过程中着火,不要惊慌,应尽快切断电源或燃气源,移走易燃药品,防止火势蔓延。当身上衣服着火时,切勿惊慌乱跑,应赶快脱下衣服,或就地卧倒翻滚,或用防火布覆盖着火处。如因酒精、苯或醚等引起着火,应立即用湿布或沙土等扑灭,如火势较大,应选择合适的灭火器扑灭,并根据火情决定是否要报告消防部门。常用灭火器的范围见表 1-2-1。

表 1-2-1 实验室常用灭火器及其适用范围

| 灭火器类型    | 药液成分                                            | 使用范围                                         |
|----------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 酸碱式      | $\text{H}_2\text{SO}_4$ 和 $\text{NaHCO}_3$      | 非油类和电器起火的一般初期火灾                              |
| 泡沫灭火器    | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 和 $\text{NaHCO}_3$ | 油类起火                                         |
| 二氧化碳灭火器  | 液态 $\text{CO}_2$                                | 电器设备、小范围油类及忌水化学物品的失火                         |
| 四氯化碳灭火器  | 液态 $\text{CCl}_4$                               | 电器设备、小范围汽油、丙酮等失火,不能用于活泼金属钾、钠的失火,否则会因强烈分解发生爆炸 |
| 干粉灭火器    | $\text{NaHCO}_3$ 、硬脂酸铝                          | 油类、可燃性气体、电器设备、精密仪器、图书等遇水易燃物品的初起火灾            |
| 1211 灭火器 | $\text{CF}_2\text{ClBr}$ 液化气体                   | 特别适用于油类、有机溶剂、精密仪器、高压设备的失火                    |

三、实验室“三废”处理

在化学实验中会产生各种有毒的废气、废液和废渣。“三废”不仅污染环境,造成公害,而且其中的贵重和有用的成分未能回收,在经济上也是损失。在崇尚“绿色”的 21 世纪我们必须重视、关注废弃物的处理,树立环境保护和绿色化学实验观念。因此,化学实验室“三废”的处理是很重要而又有意义的问题。

教师和学生要按照国家要求的排放标准进行处理,把用过的酸类、碱类、盐类等各种废液、废渣分别倒入各自的回收容器内,再根据各类废弃物的特性,采取中和、吸收、燃烧、回收利用等方法进行处理。

(一) 废气的处理

对于产生少量有毒气体的实验,可在通风橱内进行,通过排风设备将少量有毒气体

排到室外,以免污染室内空气。而对于产生大量有毒气体的实验,必须备有吸收和处理装置。有害气体可采用液体或固体吸收法处理,其中溶液吸收法成本最低,操作也简便,如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{HF}$  等可用碱液吸收。固体吸收法是用固体吸附剂将污染物分离,常用的吸附剂有活性炭、硅胶、分子筛等。

## (二) 废液的处理

实验室产生的废液种类繁多,组成变化大,应根据溶液的性质分别处理。

(1) 废酸和废碱溶液经过中和处理,使 pH 值在 6~8 范围,并用大量水稀释后方可排放。

(2) 废洗液可用高锰酸钾氧化法使其再生后使用。少量的废洗液可用废碱液或石灰使其生成  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  沉淀(可将沉淀埋于地下)。

(3) 含铬废液可加入消石灰等碱性试剂,使所含的金属离子形成氢氧化物沉淀而除去。

(4) 氰化物是剧毒物质,对于含氰化物的废液,可用氯碱法,即将废液调节成碱性后,通入  $\text{Cl}_2$  或  $\text{NaClO}$  使氰化物分解成  $\text{CO}_2$  或  $\text{N}_2$  而除去或用铁蓝法在含有氰化物的废液中加入  $\text{FeSO}_4$ ,使其变成氰化亚铁沉淀除去。

(5) 在铬酸废液(含  $\text{Cr}(\text{VI})$ )中,加入  $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,使其变成  $\text{Cr}(\text{III})$ ,再加入  $\text{NaOH}$  或  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  等碱性试剂,调 pH 值在 6~8 时,形成  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  沉淀而除去。

(6) 处理少量含汞废液时,常采用化学沉淀法,先调 pH 值至 8~10,加入过量的  $\text{Na}_2\text{S}$ ,使其生成难溶的  $\text{HgS}$  沉淀而除去。少量残渣可埋于地下,大量残渣可用焙烧法回收汞,但注意一定要在通风橱中进行。

(7) 含铅及重金属的废液中,加入  $\text{Na}_2\text{S}$  或  $\text{NaOH}$ ,使铅盐及重金属离子生成难溶性的硫化物或氢氧化物而除去。

(8) 含砷及其化合物的废液 在用鼓风机加入空气的同时加入  $\text{FeSO}_4$ ,然后用  $\text{NaOH}$  调 pH 值至 9,这时砷化合物就和  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  及难溶性的亚砷酸钠或亚砷酸钠共沉淀,然后过滤除去。

## (三) 废渣的处理

固体废弃物一般采用土地填埋的方法。要求被填埋的废弃物应是惰性物质或可被微生物分解的物质。放射性废弃物等属高危险性物质,可用适当的方法处理,再深地填埋。填埋场地应远离水源,场地底土不透水,不能使其流入地下水层。

### 第三节 数据处理和实验报告

#### 一、实验结果的数据处理

化学实验现象及其本质反映在实验数据上,因此不仅需要准确地测量物理量,而且还应正确地记录测得的数据及对数据进行计算分析。

##### (一) 有效数字及其运算规则

1. 有效数字 有效数字是由全部准确的数字和最后一位可疑数字构成的。在测试工作中,有效数字就是实际能测量到的数字,它不仅表示一个数据的大小,还能说明测量的准确程度。如从滴定管刻度读的数为 25.00 mL,前三位数字都很准确,而第四位数为估计值,若记录为 25.0 mL,虽然数值相同,但精密度相差 10 倍,不符合仪器计量的精度。

因此,在记录测量数据时,不但要根据所用仪器的准确度使所保留的数字中只有最后一位是可疑的,而且还要能够规范表示有效数字的位数。

(1) 对实验数据进行计算时,涉及的各测量值的有效位数可能不同。因此,需要按照一定的规则对有效数字进行修约。目前大多采用“四舍六入五成双”的修约原则:当尾数 $\leq 4$ 时舍弃,当尾数 $\geq 6$ 时进入,当尾数=5时,若进位后末位数为偶数则进位,进位后末位数为奇数则舍去,若 5 后面不为零,则进位。

(2) 应注意数字中“0”的作用。如在 0.0680 中,前两个“0”仅起定位的作用,而后面的“0”是有效数字。

(3) 若某数字的首位数字等于或大于 8,则该有效数字的位数可多计算一位。如 8.58 可看作四位有效数字。

(4) 对数中有效数字的位数由小数部分决定,其整数部分代表该数的方次。如  $\text{pH} = 2.50$ ,其有效数字为两位。

(5) 常数、分数或倍数等不是测量所得的,则视为无限多位有效数字。如  $2/3, \pi$  等。

(6) 使用计算机做连续运算时,运算过程中不必对每一步的计算结果进行修约,但最后结果的有效数字位数必须按照以上规则正确地取舍。

2. 运算规则 进行加减运算时,计算结果的有效数字是以小数点后位数最少的数据来决定。进行乘除运算时,计算结果的有效数字则以有效数字最少的数据来决定。在

运算过程中,为提高计算结果的可靠性,可以暂时多保留一位有效数字,但最后结果必须保留应有的位数。

## (二) 实验数据的采集

实验数据的采集一般有人工采集和自动采集两种方式。在以化学反应手段为主的化学实验中,以人工采集为主,即通过测定,记录相应的实验数据。自动采集一般是用联网的计算机进行实时采集。记录实验数据要真实、客观和完整。

(1) 原始实验数据应及时记录在实验报告本上,不要只记录演算结果。如在滴定实验中,应同时记录滴定剂的初读数和终读数,再计算出消耗的滴定剂体积。例如,有如下数据,不能只记录  $V=24.25\text{ mL}$ 。

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 初读数 $V_{\text{初}}/\text{mL}$ | 0.02  |
| 终读数 $V_{\text{终}}/\text{mL}$ | 24.27 |
| 滴定剂体积 $V/\text{mL}$          | 24.25 |

(2) 应准确、清晰地记录实验数据,不得随意涂改。当看错刻度或读错数据,需要修正时,应在原数据旁写上正确数据并加以注明,保留原始数据备查。

(3) 有些实验与实验条件有关,如温度、大气压、湿度、仪器、校正值等,要在实验记录本上记录清楚。记录实验数据时还应注明其实验内容(标题)及所用单位,对一些重要实验现象也要及时记录。

## (三) 实验数据的分析

从实验得到的数据,包含了许多信息,需要对这些数据用科学的方法进行归纳、处理,才能提取有用的信息,合理表达结果,这是化学实验的主要目的。对实验数据进行处理,首先要剔除不可靠的数据,然后用列表法、图解法等方法对测定结果进行分析和评价。

1. 列表法 列表法是把实验数据按自变量与因变量一一对应列表,把相应计算结果填入表格中。列表法在一般化学实验中应用最为普遍,特别是原始数据的记录。列表法的优点是简单清楚、形式紧凑,同一个表内可以同时表示几个变量间的变化关系而不混乱,易于参考比较,数据表达直接,不引入处理误差。列表要求如下。

(1) 表格必须写清名称(在表上方注明表头),应简明扼要,一看即知内容。若表的名称过于简单不足以说明其原意时,则在名称下面或表的下面附以说明,并标出数据来源。

(2) 自变量与因变量应一一对应列表,应包括变量名称及其单位,在不加说明即可理解其含义的情况下,应尽量用符号表示。

(3) 表格中记录数据应符合有效数字规则,写法应整齐统一。数值为零时记为0,数值空缺时记为“—”。同一竖列的数值,小数点应上下对齐。数值过大或过小,应以科学

记数法表示,如 0.000 005 687 应写成  $5.687 \times 10^{-6}$ 。

(4) 表格亦可表达实验方法、现象与反应方程式,如元素化学实验。

2. 图解法 图解法是根据解析几何原理,用几何图形如线的长度、图面的面积、立体图的体积等将实验数据表示出来。有些实验数据具有连续变化的规律,将这些实验数据用作图的方式表达出来,更加形象、直观,并可以从图中求得最大或最小值、转折点、斜率、截距、内插值、外推值等。作图可以用坐标纸,也可以用计算机作图软件。

1) 坐标纸绘图要求如下

(1) 坐标纸的选择 根据变量间的关系合理选择图纸类型。如直角毫米坐标纸、对数坐标纸、双对数坐标纸、三角坐标纸和极坐标纸等。

(2) 坐标标度的选择 在作图时,一般以自变量作为横坐标,因变量作为纵坐标,且在相应坐标轴旁标明所代表的变量的名称及其量纲。坐标标度应取得适当,便于从图上读出任一点的坐标值,通常应使最小分度所代表的变量值为简单整数(可选用 1、2、5)不宜选用 3、7、9。坐标起点不一定为零,若无特殊需要,如由直线外推法求截距,也不必以坐标原点作为标度的起点,应以略低于最小测量值的整数作为标度起点。这样得到的图形紧凑,并且充分利用坐标纸,读数精度也能得到提高。

(3) 曲线绘制 首先根据测得的数据在坐标纸上绘制代表点(即测得的各数据在图上的点),数据点以  $\cdot$ 、 $\otimes$ 、 $\blacklozenge$ 、 $\blacktriangle$ 、 $\blacksquare$ 、 $\square$ 、 $\circ$  等符号标注于图中,各符号中心点应处于数据代表的位置,符号面积大小应与测量误差相适应。若在同一幅图上作多条曲线,应采用不同的符号区分开来,并在图上注明。依据代表点描画曲线(或直线),在描画曲线时应尽可能接近大多数代表点,使各代表点均匀分布在曲线(或直线)两侧,所有代表点离曲线距离的平方和为最小,符合最小二乘法原理。画曲线时,先用铅笔轻轻地循各代表点的变化趋势手绘一条曲线,然后用曲线尺逐段吻合手描线,作出光滑的曲线。曲线作好后应在图上注图名,标明坐标轴代表的物理量。

2) 计算机软件绘图及数据处理 在化学实验数据处理中,计算机的使用越来越频繁,一些数据处理软件,如 Microsoft Excel 电子表格和 Origin 软件等已广泛地应用到实验数据处理过程中,Microsoft Excel 是常用的办公软件,Origin 软件是多文档界面应用程序,两者均可以简单、方便地完成对曲线的非线性拟合,而替代复杂的应用程序,达到非线性曲线拟合的目的。化学实验数据处理过程:一般对实验数据作图或对数据经过计算后作图或作数据点的拟合线。

(1) Microsoft Excel 电子表格。

Excel 是办公自动化软件 Microsoft Office 中的重要成员之一,是 Windows 操作平台上著名的电子表格软件,具有强大的制作表格、数据处理、分析数据、创建图表等功能。

例如,在邻二氮菲分光光度法测量铁的实验中,在波长 440~560 nm 范围,每隔 10~20 nm 分别测定铁标准系列溶液的吸光度  $A$ ,数据见表 1-3-1,要求以测量波长为横坐标,以  $A$  为纵坐标,绘制吸收曲线。