



高等学校教材

# 医用化学实验

(第二版)

天津医科大学 曹海燕 姜炜 主编

高等教育出版社

高等学校教材

# 医用化学实验

YIYONG HUAXUE SHIYAN

(第二版)

天津医科大学 曹海燕 姜炜 主编

高等教育出版社·北京

## 内容简介

本书是根据高等教育改革发展的方向,结合教学实践,吸收借鉴近年来科研与教学成果,在第一版基础上修订而成的。全书分为七部分,包括基础知识、仪器简介、实验技术与基本操作、微型化学实验简介、基本实验、综合应用性实验及设计研究性实验。

本书可供高等医学院校基础、临床、麻醉、预防、口腔、医学影像、眼视光学、生物医学等专业教学使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

医用化学实验 / 曹海燕, 姜炜主编. --2版. --北

京: 高等教育出版社, 2015.8

ISBN 978-7-04-043217-6

I. ①医… II. ①曹… ②姜… III. ①医用化学-化

学实验-高等学校-教材 IV. ①R313-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第148731号

策划编辑 郭新华  
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 郭新华  
责任校对 吕红颖

封面设计 张 志  
责任印制 尤 静

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印 刷 北京京科印刷有限公司  
开 本 787mm×960mm 1/16  
印 张 10.75  
字 数 190千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2006年5月第1版  
2015年8月第2版  
印 次 2015年8月第1次印刷  
定 价 15.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物 料 号 43217-00

## 第二版前言

本书第一版是全国高等学校教学研究中心“21 世纪中国高等学校医药类专业化学基础课程的创新与实践”课题的研究成果。为了使本书更好地适应教学改革的发展和新时期学生培养目标的需求,编者结合使用本书进行教学实践的体会,在吸收借鉴近年来科研与教学成果的基础上,对第一版教材进行了修订。

修订后的教材,保持了原版的特色与编排风格,并根据学科发展和专业要求,针对性地增加了部分实验。对不适应现在教学体系的内容进行了删改,增补了火灾预防与处理的部分知识;注重传统实验与现代实验技术的结合,增补波谱分析技术、化学实验数据分析,将现代仪器分析方法如红外、紫外技术用于合成、提取产物的结构表征与鉴定;渗透研究型教学思想,增加了设计研究性实验内容,既有实验方法的研究,也有与教师自身科研相关的研究性、拓展性实验。本书共编排 40 个实验,具有较强的通用性。在注重培养学生实验基本能力的基础上,兼顾先进仪器与方法的应用,开展综合性、研究性实验,培养学生的科学思维、创新意识和研究能力。各院校可以根据相关专业不同的层次、培养目标、教学时数和实验室具体情况选择实验内容,灵活组合。

本教材共分七部分,第一部分为化学实验的基础知识,第二部分为实验室常用仪器简介,第三部分为化学实验技术与基本操作,第四部分为微型化学实验简介,第五部分为基本实验,第六部分为综合性、应用性实验,第七部分为设计性、研究性实验。每个实验都附有思考题和附注,书后附录可供相关实验人员参考和查阅。

参加编写的院校有天津医科大学、山西医科大学、哈尔滨医科大学、首都医科大学、内蒙古医科大学、重庆医科大学、福建医科大学。参加编写和实验验证的教师(按姓名拼音排序)有巴俊杰、卞伟、曹海燕、陈双玲、陈正华、刁海鹏、高虹、胡密霞、黄静、黄双路、姜炜、蒋智清、刘景英、刘睿、罗素琴、吕伟、马世坤、齐炜、尚京川、沈万秋、石博杰、孙丽范、孙体健、孙燕华、田禾、王英骥、卫建琮、薛春兰、叶玲、云学英、张毅、张振涛、张竹、周昊霏。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏或错误之处,恳请读者和同行批评指正,编者谨致谢意。

编 者

2015 年 3 月

# 第一版前言

为了适应我国高等医学教育事业的发展和提高,遵照全国高等学校教学研究中心“21世纪中国高等学校医药类专业化学基础课程的创新与实践”课题的精神,我们编写了《医用化学实验》教材,旨在创建以加强基本能力的训练、培养科学实验的基本素养、提高综合创造能力为目标的医用化学实验课程。

这次编写工作,是参编院校结合多年实验教学的丰富经验,针对医用化学实验学时较少、应用性强的特点,将“基础化学”和“有机化学”两门实验课有机地结合在一起,从教材的结构到内容都进行了改革,删去了重复和陈旧的内容,适当增设了综合性、设计性、应用性实验及微型实验。本教材选编35个实验,在强化培养实验基本能力的基础上,注意学生主观能动性和创造性的发挥,具有合理性、实用性和创新性,并反映了绿色化学的思想。本实验教材可供五年制临床医学、卫生、口腔、护理、影像和生物医学等专业使用,也适合高职医学及其相关专业学生选择使用。

本书共分六部分,第一部分介绍化学实验的基础知识,第二部分是实验室常用仪器简介,第三部分介绍化学实验基本操作,第四部分是微型化学实验简介,第五部分介绍基本实验,第六部分介绍综合性、应用性及设计性实验。每个实验都附有思考题和附注,书后附录可供相关实验人员参考和查阅。

参加编写的院校有天津医科大学、山西医科大学、哈尔滨医科大学、首都医科大学、内蒙古医学院。参加编写和实验验证的教师有(按姓名拼音排序)巴俊杰、卞伟、曹海燕、曹晓峰、陈其秀、陈双玲、陈正华、刁海鹏、高虹、郭世颖、黄静、姜炜、李纪红、梁坚、刘景英、刘乐乐、刘睿、罗素琴、吕伟、马世坤、苗靖、齐炜、孙关中、孙体健、孙燕华、王英骧、卫建琮、薛春兰、叶玲、云学英、张桂英、张振涛、张竹、周宝宽。

化学实验教学的改革是一项十分艰巨的任务,这方面的工作一直没有间断过,需要在长期教学实践中不断探索、总结和提高。本书是对医用化学实验教材改革的初步尝试。由于我们的水平有限,不当甚至错误之处,希望读者和同行不吝指正。

编 者

2005年8月

# 目 录

|      |                     |    |
|------|---------------------|----|
| 第一部分 | 化学实验的基础知识           | 1  |
| 1.1  | 实验室规则               | 1  |
| 1.2  | 化学实验安全守则            | 1  |
| 1.3  | 实验室中意外事故的处理         | 2  |
| 1.4  | 火灾的预防及处理            | 3  |
| 1.5  | 化学试剂的一般知识           | 4  |
| 1.6  | 实验记录中有效数字的使用规则      | 5  |
| 1.7  | 实验数据的图表处理           | 6  |
| 1.8  | 预习报告、实验记录及实验报告范例    | 9  |
| 第二部分 | 实验室常用仪器简介           | 12 |
| 2.1  | 基本仪器                | 12 |
| 2.2  | 电子天平                | 18 |
| 2.3  | 自动平衡离心机             | 20 |
| 2.4  | 酸度计                 | 21 |
| 2.5  | 分光光度计               | 25 |
| 2.6  | 紫外-可见分光光度计          | 28 |
| 2.7  | 傅里叶变换红外光谱仪          | 31 |
| 第三部分 | 化学实验技术与基本操作         | 35 |
| 3.1  | 玻璃仪器的洗涤             | 35 |
| 3.2  | 试剂的取用               | 35 |
| 3.3  | 量器的使用               | 38 |
| 3.4  | 酒精灯的使用              | 45 |
| 3.5  | 萃取技术                | 46 |
| 3.6  | 过滤                  | 49 |
| 3.7  | 蒸馏(常压蒸馏、水蒸气蒸馏、减压蒸馏) | 52 |
| 3.8  | 干燥                  | 60 |
| 3.9  | 重结晶                 | 61 |
| 第四部分 | 微型化学实验简介            | 64 |
| 4.1  | 微型化学实验的特点           | 64 |

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| 4.2 微型化学实验的仪器 .....                                     | 64  |
| 第五部分 基本实验 .....                                         | 67  |
| 实验一 基本操作训练(一) .....                                     | 67  |
| 实验二 基本操作训练(二) .....                                     | 69  |
| 实验三 氯化钠的精制 .....                                        | 71  |
| 实验四 电子天平称量练习 .....                                      | 73  |
| 实验五 凝固点降低法测定尿素相对分子质量 .....                              | 75  |
| 实验六 酸碱滴定分析——草酸含量的测定 .....                               | 78  |
| 实验七 缓冲溶液 .....                                          | 80  |
| 实验八 过二硫酸铵与碘化钾反应速率及活化能的测定 .....                          | 82  |
| 实验九 硫代硫酸钠的制备及鉴定 .....                                   | 85  |
| 实验十 配合物的生成和性质 .....                                     | 87  |
| 实验十一 药片中抗坏血酸含量的测定 .....                                 | 89  |
| 实验十二 商品双氧水中过氧化氢含量的测定 .....                              | 91  |
| 实验十三 水中 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 含量的测定 ..... | 92  |
| 实验十四 高锰酸钾的吸收光谱 .....                                    | 94  |
| 实验十五 邻二氮菲分光光度法测定铁的含量 .....                              | 96  |
| 实验十六 熔点的测定 .....                                        | 98  |
| 实验十七 微型有机化学实验——微量法测沸点 .....                             | 100 |
| 实验十八 折射率的测定 .....                                       | 102 |
| 实验十九 葡萄糖的变旋光现象及糖的性质 .....                               | 105 |
| 实验二十 苯甲酸红外吸收光谱的测绘 .....                                 | 108 |
| 实验二十一 乙酰苯胺的制备 .....                                     | 111 |
| 实验二十二 乙酸乙酯的制备 .....                                     | 112 |
| 实验二十三 微型化学实验——乙酸异戊酯的制备 .....                            | 114 |
| 实验二十四 有机分子模型作业 .....                                    | 116 |
| 实验二十五 氨基酸纸上电泳 .....                                     | 118 |
| 实验二十六 色谱法(一)——柱色谱 .....                                 | 121 |
| 实验二十七 色谱法(二)——薄层色谱 .....                                | 124 |
| 实验二十八 色谱法(三)——纸色谱 .....                                 | 126 |
| 第六部分 综合性、应用性实验 .....                                    | 129 |
| 实验二十九 水蒸气蒸馏的应用 .....                                    | 129 |
| 实验三十 小苏打片及食醋中主要成分的测定 .....                              | 131 |
| 实验三十一 碘的萃取、芦丁的提取及萃取剂的回收 .....                           | 134 |
| 实验三十二 阿司匹林的制备及光谱分析 .....                                | 135 |

|        |                            |     |
|--------|----------------------------|-----|
| 实验三十三  | 从茶叶中提取咖啡因 .....            | 139 |
| 实验三十四  | 离子交换法测定输血用枸橼酸钠注射液的浓度 ..... | 142 |
| 实验三十五  | 天然色素的提取、分离与表征 .....        | 145 |
| 第七部分   | 设计性、研究性实验 .....            | 149 |
| 实验三十六  | 未知有机化合物的定性分析 .....         | 149 |
| 实验三十七  | 蛋壳中钙镁含量的测定 .....           | 150 |
| 实验三十八  | 西芹或洋葱皮中总黄酮含量的分析 .....      | 151 |
| 实验三十九  | DNA 修饰的银纳米颗粒的制备研究 .....    | 151 |
| 实验四十   | 乙酸丁酯的制备实验条件的研究 .....       | 153 |
| 附录     | .....                      | 155 |
| 附录 1   | 常见酸碱的密度和浓度 .....           | 155 |
| 附录 2   | 常用酸碱指示剂 .....              | 155 |
| 附录 3   | 常用缓冲溶液 .....               | 156 |
| 附录 4   | 常用基准物质的干燥条件和应用 .....       | 156 |
| 附录 5   | 液体化合物的沸点和折射率 .....         | 157 |
| 附录 6   | 固体化合物的熔点 .....             | 158 |
| 附录 7   | 化合物的比旋光度 .....             | 158 |
| 附录 8   | 常用元素的相对原子质量(2009) .....    | 159 |
| 附录 9   | 一些特殊试剂的配制 .....            | 160 |
| 主要参考文献 | .....                      | 162 |

# 第一部分

## 化学实验的基础知识

### 1.1 实验室规则

为了确保化学实验安全、正确、顺利地进行,为了培养学生良好的实验习惯和严谨的科学态度,学生进入实验室必须遵守以下规则:

一、每次实验课前必须预习实验指导教材,熟悉实验目的、要求、原理及实验步骤,写出预习笔记。实验前教师要对学生的预习情况进行检查,学生达到预习要求后,方可进行实验。

二、按时进入实验室,遵守纪律并保持肃静。检查所需仪器药品是否齐全,如有缺损,应及时报告并填写报损单,经指导教师签字后补齐。

三、实验过程中爱护仪器设备,贵重精密仪器勿随便搬动。使用仪器时严格按照操作规程进行,弄清使用方法前,禁止操作;如有故障或损坏,应及时报告教师处理或赔偿。

四、注意保持实验台面和环境的整洁,不随地乱扔火柴梗、废纸屑等弃物,更不能将弃物丢入水池内,以防堵塞下水道。

五、使用药品时,应按实验教材的规定定量取用,如无明确用量,则尽可能取用少量,以节省试剂和实验时间;若取过量,不得倒回原瓶。取用药品应注意用毕随时放回原处。

六、实验完毕,公用仪器清洗后留在实验台面,个人使用的仪器放回原处。同时,将实验台、试剂架整理干净,检查水、电、开关是否关闭。

七、认真及时记录实验条件、现象和结果等,并根据原始记录数据,认真完成实验报告,按时交给指导教师。

### 1.2 化学实验安全守则

一、必须熟悉实验室环境,了解与安全有关的一切设施(如电闸、水管阀门、消防用品等)的位置和使用方法。

二、产生有毒、有刺激性气体的实验(如  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$  等),应在通风橱内进行。

三、对于性质不明的化学试剂,严禁任意混合,更不能尝试化学试剂的味道,以免发生意外事故。

四、使用易燃的有机溶剂(酒精、乙醚、丙酮、苯等)时,要远离火源,用毕应及时盖紧瓶塞。钾、钠和白磷等在空气中易燃的物质应隔绝空气存放(如钾、钠保存在煤油中,白磷保存在水中),取用时必须使用镊子。

五、使用浓酸、浓碱、溴等具有强腐蚀性试剂时,切勿溅在皮肤和衣服上。为了保护眼睛,应佩戴防护眼镜。

六、加热试管中的液体时,不要将试管口朝向他人或自己;也不要俯视正在加热的液体,以免溅出的液体把脸、眼灼伤。闻气体的气味时,不能用鼻直接对准瓶口或试管口,应用手把少量气体轻轻地扇向自己。

七、实验后的废弃物如滤纸、碎玻璃等必须投入簸箕中,绝不能倒入水池内,以防管道堵塞和腐蚀。

八、使用电器设备,不能用湿手操作,以防触电。工作完毕应拔下电源插头。

九、每次实验完毕,应整理好实验用品,把手洗净,方可离开实验室。值日的学生检查水管阀门是否关好,拉下电闸,关好门窗。

## 1.3 实验室中意外事故的处理

一、划伤:轻微的划伤,可在伤口处涂上红药水。伤口内若有玻璃碎片,应先取出,然后涂上红药水、洒上消炎粉并用纱布包扎。如果伤口被污染,可先用 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液洗涤伤口。若伤口较深、出血过多时,应立即送医院救治。

二、酸液腐蚀致伤:如遇酸液洒到皮肤上,先用大量水冲洗,然后用饱和  $\text{NaHCO}_3$  溶液(肥皂水也可以)冲洗,再用水冲洗,然后外敷  $\text{ZnO}$  软膏。酸液溅入眼中时,应先用大量水冲洗,再用 2%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  溶液洗眼,最后用蒸馏水冲洗。

三、碱液腐蚀致伤:当碱液洒到皮肤上时,先用大量水冲洗,再用 2%  $\text{HAc}$  溶液冲洗,最后用水冲洗干净,并涂敷硼酸软膏。碱液溅入眼内时,先用大量水冲洗,再用 3%  $\text{H}_3\text{BO}_3$  溶液冲洗,最后用蒸馏水冲洗。

四、不慎触电:立即切断电源,再进行救治。

五、急救药箱:为了对实验室意外事故进行紧急处理,实验室应备有急救药箱,箱内常用物品列举如下。

1. 药棉、创可贴、纱布、绷带、医用镊子、剪刀等。

2. 医用酒精、碘伏、 $\text{ZnO}$  软膏、甘油、烫伤膏或红花油、3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液、饱和  $\text{NaHCO}_3$  溶液、2%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  溶液、2%  $\text{HAc}$  溶液、3%  $\text{H}_3\text{BO}_3$  溶液。

## 1.4 火灾的预防及处理

一、在使用易燃液体(乙醚、苯、丙酮、石油醚、乙酸乙酯、酒精等)时,必须注意:

1. 应远离火源,严禁在明火下加热或进行任何操作。
2. 蒸馏易燃的有机物时,装置不能漏气,如发现漏气时,应立即停止加热,检查原因并及时处理。蒸馏装置接受瓶尾气出口应远离火源。
3. 易挥发、易燃废液倒入水池中,立即用水冲洗。
4. 使用酒精灯时,酒精的添加量不应超过灯具容量的  $2/3$ ,且不少于  $1/4$ 。应用火柴点燃,不得用另一正在燃的酒精灯来点,以免失火。若不慎将酒精加入过满,应立即倒出部分酒精方可使用,若酒精外溢,应立即用干净的抹布擦干外溢的酒精并保持室内通风,使酒精尽快挥发散尽后方可使用酒精灯。如出现意外引燃桌面上的酒精,应立即用湿布、石棉布或消防沙将火焰盖灭。

二、在使用电热烘箱时,必须注意:

1. 定期请专业人员检查烘箱运行是否正常,发现问题,及时修复。
2. 用电热烘箱烘烤试剂及玻璃仪器时,应根据待烘试剂的物理、化学性质,严格控制烘烤温度与时间。如普通玻璃仪器,通常在  $80\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘干即可。变色硅胶通常在低于  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  下烘烤  $1\sim 2\text{ h}$ 。
3. 易燃易爆物严禁放入烘箱烘烤。
4. 工作结束或意外停电时,应切断电源,电热烘箱避免长时间运行,以免温度升高,引燃物料。

三、在实验过程中不慎着火时,应沉着、镇静及时采取下列措施:

### 1. 防止火势蔓延

一旦着火,立即停止加热,熄灭火源,拉下电闸,把一切可燃物质和易燃易爆物质移至远处。

### 2. 灭火

一般物质燃烧要有空气并达到一定温度,所以灭火一般均采用降温 and 使燃烧物质与空气隔绝的方法。化学实验室常用的灭火方法有:

(1) 小面积着火可用湿布、石棉布或消防沙覆盖燃烧物来灭火。火势较大时,应根据着火物质性质选用相应的灭火器材进行灭火。对油类、有机物的燃烧,切勿用水灭火。因为大多数有机物不溶于水,相对密度又小于水,因此用水不仅不能灭火,反而会扩大燃烧面积,使火势蔓延。

(2) 精密仪器或电线着火应当用二氧化碳灭火器或四氯化碳灭火器( $\text{CCl}_4$  沸点低,相对密度大,不会被引燃),把  $\text{CCl}_4$  喷射于燃烧物的表面,  $\text{CCl}_4$  液体迅

速汽化,覆盖于燃烧物上,使燃烧物与空气隔绝而灭火。 $\text{CCl}_4$  毒性大,使用者要站在上风处。不能使用泡沫式灭火器,以免触电。

(3) 金属或有机溶剂燃烧时,可用沙子或石棉布灭火。

(4) 衣服着火时应立即用石棉布、湿毯子、湿麻袋之类蒙盖在着火处或赶快脱下衣服,就地卧倒打滚(速度不要太快)也可起到灭火作用。切不要慌张跑动,否则气流流动加强,使燃烧加剧。

(5) 必要时报火警。若遇火情较大,使用实验室消防设备无法控制火势,应迅速关闭总电闸,及时通知楼内人员有序撤离事故现场,并立即拨打 119 报警电话,说明起火地址、具体位置、起火原因、燃烧物料及周边危险设施的情况。

#### 四、实验室常备消防设备及消防设施的日常维护

##### 1. 常备消防设备

(1) 手提二氧化碳式灭火器 适用于扑救油类、可燃液体、可燃气体、电气设备、文物档案的初起火灾。扑救电气设备火灾前应首先切断电源。

(2) 手提式水基灭火器 适用于扑救固体材料、可燃液体、可燃气体的初起火灾。

(3) 消防沙箱 适用于扑救油类等地面流淌火的初起火灾,用消防铲把沙子覆盖在油面上即可。

##### 2. 消防设施的日常维护

(1) 灭火器位置应按学校统一位置进行摆放,不要上锁,不得随意挪作他用,摆放稳固,没有埋压,避免日光曝晒和强辐射热。

(2) 以 MSWZ/3 型手提式水基型灭火器为例,定期检查铅封及插销是否完好无损未曾动用,定期检查灭火器压力表的外表面是否变形、损伤,压力表指针应指向绿区或红、绿区之间,灭火器是否在有效期内。

(3) 定期更换灭火器,一旦发现灭火器失效或曾动用过,应马上通知学校设备处相关部门更换。

#### 五、灭火器的使用方法

在实验室发生火情时应根据起火物质选择适当的灭火器进行扑救。操作人员应站在上风处,距火源 5 m 左右进行操作,使用前先拔掉保险栓,将喷嘴对准火焰根部进行喷射。

## 1.5 化学试剂的一般知识

我国国家标准根据化学试剂的纯度和杂质的含量,将试剂分为四个等级。

不同的实验对试剂纯度的要求是不同的。化学试剂的纯度对实验结果影响很大,并且不同等级的同一试剂的价格相差也很大。因此,应该熟悉化学试剂的

等级标准,根据实际需要,既好又省地选择所用的化学试剂。

除了表 1-1 中的四种等级的试剂外,还有“工业纯”“光谱纯”“色谱纯”“生化试剂”的各种特殊等级的试剂。

表 1-1 化学试剂的等级和应用范围

| 级别 | 名称  | 符号                      | 标签色别    | 应用范围      |
|----|-----|-------------------------|---------|-----------|
| 一级 | 优级纯 | GR (Guaranteed Reagent) | 绿       | 精密分析研究    |
| 二级 | 分析纯 | AR (Analytical Reagent) | 红       | 精密定性、定量分析 |
| 三级 | 化学纯 | CP (Chemical Pure)      | 蓝       | 一般分析、教学   |
| 四级 | 实验纯 | LR (Laboratory Reagent) | 棕色或其他颜色 | 一般化学制备    |

## 1.6 实验记录中有效数字的使用规则

化学是以实验为基础的学科,常常要进行许多定量的测定,然后对所得的数据进行处理计算,得到测定的准确结果。实验所获得的数据,不仅表示某个量的大小,还应反映测量这个量的准确程度。因此实验中各种量应采用几位数字,运算结果应保留几位数字,都是很严格的,不能随意书写和增减。例如,在测量液体的体积时,在最小刻度为 1 mL 的量筒中测得结果为 20.7 mL,其中 20 是由量筒的刻度准确读出来的,而 0.7 是估计的,它的有效数字是三位。如果该液体用最小刻度为 0.1 mL 的滴定管来测量,测得结果为 20.75 mL,其中 20.7 是直接由滴定管读出来的,而 0.05 是估计的,它的有效数字是四位。不难看出,有效数字是指在科学实验中实际测量到的数字,除了最后一位是“可疑数字”外,其余各位都是准确的。

有效数字的位数是根据所用的测量仪器和观察的精确程度来决定的,任何超过仪器精度的数字都是不正确的。例如,某固体药品在托盘天平上称量为 4.800 g,这个数据就不正确。因为托盘天平只能精确到 $\pm 0.1$  g,小数点后第二位已经是可疑数字了,那么再后边的数字就没有意义了。又如,在酸碱滴定中,无论是酸式滴定管还是碱式滴定管,都能精确到 $\pm 0.1$  mL,小数点后第二位是可疑数字。那么操作中涉及的其他仪器的精度最低不能小于 0.1,所以我们选择的其他仪器有移液管(精度 0.1 mL)和容量瓶(精度 0.1 mL),这样仪器才匹配。

化学实验的数据运算中保留有效数字的规则:

### 一、加减法

在加减法运算中,所得结果的小数点后位数,应与各个数字中小数点后位数最少者相同。例如,0.137,1.872 50 及 25.48 三个数相加:

$$\begin{array}{r}
 \text{加法(一)} \quad 0.137 \\
 1.872\ 50 \\
 25.48 \\
 \hline
 27.489\ 50
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{加法(二)} \quad 0.14 \\
 1.87 \\
 25.48 \\
 \hline
 27.49
 \end{array}$$

在上述三个数中,小数点后位数最少者是 25.48,其中 8 是可疑数字,该数有 $\pm 0.01$ 的误差,因此三个数之和的结果最多保留到小数点后第二位。第一种加法计算保留到小数点后第五位是没有意义的。正确的加法如第二种所示,以小数点后第二位为界,其他数据中处于小数点后第二位以后的数字按四舍五入的原则舍取。

## 二、乘除法

在乘除法运算中,所得结果的有效数字的位数应与各数值中有效数字位数最少的相同,而与小数点后的位数或小数点的位置无关。例如,在“凝固点降低法测定尿素相对分子质量”实验中,有四个数值 1.678 0,1.04,1.86 及 50.00,进行如下计算:

$$\frac{1.86 \times 1.678\ 0 \times 1\ 000}{1.04 \times 50.00} = 60.0$$

60.0 是正确的计算结果。因为在上述四个数值中有效数字位数最少的是三位。

# 1.7 实验数据的图表处理

数据处理是指从获得数据开始到得出最后结论的整个加工过程。根据实验内容和实验要求的不同,可以采用不同的数据处理方法,医用化学实验中处理数据的主要方法有列表法和作图法。

## 一、列表法

将实验数据按照顺序,尽可能有规律的用合适的表格记录出来就是列表法,它是表达实验数据最常用的一种方法,能清楚地表达出测量值的变化情况,既便于数据的处理、运算,也便于检查数据是否合理。

在设计表格时要有名称,要注明各变量的名称和单位,整齐排列数据,处理方法和计算公式要在表下注明。一个好的数据处理表格,也是一份简明的实验报告。

## 二、作图法

作图法是利用实验数据作出图形,直观准确地表现出数据的特点以及数据变化的规律。正确的作图方法必须用坐标纸,在化学实验中多选用毫米方格纸作图,横轴代表自变量,纵轴代表因变量,确定合适的坐标分度,坐标分度要保证

图上观测点的坐标读数的有效数字位数与实验数据的有效数字位数一致。根据实验数据在图上描点,可用“○”“◇”“△”等符号表示,连线时要纵观所有数据点的变化趋势,连出光滑而细的直线或曲线,连线不能通过的偏差较大的数据点,应均匀地分布于图线的两侧。

### 三、Excel 表格绘图

利用计算机进行实验数据的处理、画图,具有手动作图无法替代的快速准确的特点,如 Excel 软件和 Origin 软件,可以进行表格处理、画图和数据分析,在实验室常用来制作吸收光谱图、标准曲线及查询测定等,结果准确、实用。

现以表 1-2 的实验数据为例,应用 Microsoft Excel 表格绘制高锰酸钾的吸收光谱图。

表 1-2 吸光度  $A$  与波长  $\lambda$  的关系

|                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\lambda/\text{nm}$ | 460   | 470   | 480   | 490   | 500   | 510   | 520   | 524   | 528   | 532   |
| $A$                 | 0.068 | 0.086 | 0.106 | 0.133 | 0.169 | 0.190 | 0.224 | 0.242 | 0.234 | 0.213 |
| $\lambda/\text{nm}$ | 536   | 540   | 544   | 548   | 552   | 556   | 560   | 570   | 580   | 590   |
| $A$                 | 0.208 | 0.220 | 0.235 | 0.227 | 0.195 | 0.163 | 0.147 | 0.138 | 0.082 | 0.054 |

#### 1. 作初始曲线图

(1) 打开 Excel 文件,在 Excel 表格中按“列”分别输入波长和吸光度数值,即波长  $\lambda$  输入 A 列,吸光度  $A$  输入 B 列,一般默认 A 列为 X 轴数据,B 列为 Y 轴数据。

(2) 用鼠标选中所输数据,点击“插入”菜单选择“图表”,或直接点击“图表向导”按钮,出现“图表向导-4 步骤之 1-图表类型”对话框,选择“XY 散点图”,再在子图表类型菜单中选择需要的子图表类型,如“无数据点平滑线散点图”。

(3) 连续点击两次下一步,在“图表向导-4 步骤之 3-图表源数据”对话框中填入图表名称,X 轴和 Y 轴名称。

(4) 点击“完成”,即得到一个初始曲线图。

#### 2. 调整曲线图

对图表上的任何区域单击右键,均会出现与其格式相关的菜单选项,可对其图案、刻度、字体、数字等格式逐一进行修改、调整。

(1) 如要改变坐标轴格式,可右键单击坐标轴,再点击“坐标轴格式”,即弹出“格式修改”对话框,选择“刻度”项,修改数据,即可得到吸收光谱曲线图。

(2) 如要清除图例,右键单击图表右边的“系列 1”,选择“清除”。

(3) 如要清除水平网格线或灰色背景,右键分别单击相应区域,依次选择“清除”,单击;选择“绘图区格式”,单击选项“无”,即可消除。

(4) 将鼠标移到图外的图标区,单击右键出现“图表区格式”,在“边框”与“区域”栏分别选择“无”,除去图表中的边框,即得到理想曲线图,如图 1-1 所示。

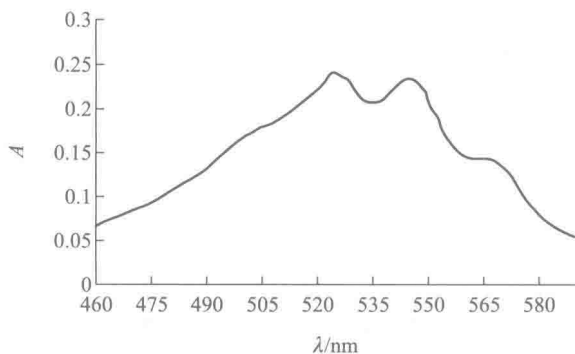


图 1-1 吸收光谱

如需把图复制到其他文件,则选中该图,利用菜单栏复制命令,然后到其他文件中粘贴即可。

### 3. 用 Excel 作直线拟合回归

用上述同样的方法,也可绘制出直线图。如紫外吸收光谱法测定苯的含量,用 Excel 图表菜单可将表 1-3 的数据转化为图 1-2。

表 1-3 吸光度  $A$  与浓度  $c$  的关系

| 浓度 $c/(\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1})$ | 0.01  | 0.02  | 0.03  | 0.04  | 0.05  |
|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 吸光度 $A$                                  | 0.177 | 0.354 | 0.474 | 0.676 | 0.825 |

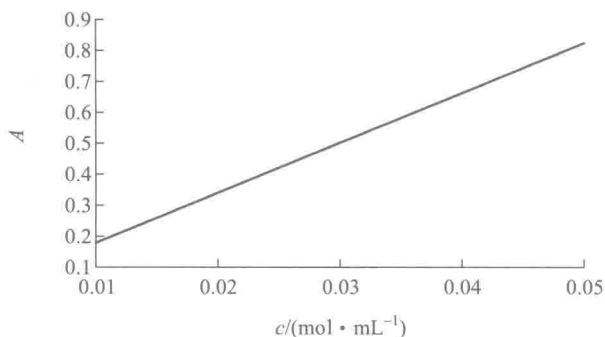


图 1-2 标准曲线

右键单击绘图区中的任一数据点,会出现一个右键菜单,选择“添加趋势线”,在趋势线类型栏,选择“线性”,然后在“选项”菜单下把“显示公式”和“显

示  $R$  平方值”两个方框选中,单击“确定”按钮,可得到回归方程,  $y = 16.18x + 0.0198, R^2 = 0.9986$ 。

最后,保存文件,该文件中的数据和图形可以随时编辑、处理,所绘制的图形也可以直接打印或拷贝粘贴到其他文件中。

## 1.8 预习报告、实验记录及实验报告范例

对于每一个实验的记录要从预习笔记开始。预习笔记要力图实效,学生要根据实验目的、实验原理和实验内容用自己的理解方式写出实验的流程。实验的流程没有固定的模式,只要个人按照此流程能脱离实验讲义把实验正确、顺利完成即可。

实验记录应该遵循六个字:真实、详细、及时。“真实”是要求记录应该反映实验的真实情况,不抄书,也不抄袭他人的数据或内容,而是根据自己的实验事实如实、科学地记叙,绝不可做不符合实际的虚假叙述。“详细”是要求对实验中的任何数据、现象等做详细记录,甚至包括自己当时认为无用的内容都要不厌其烦地记录下来。有些数据、内容,宁可在整理总结实验报告时舍去,也不要因为缺少数据而浪费大量时间重复。再有,记录应该清楚和明白,不仅自己当时能看懂,而且多年后自己或他人也能看懂。“及时”是指实验时要边做边记,不要在实验结束后补做“回忆录”。回忆容易造成漏记、误记,影响实验结果的准确性和可靠程度。

实验操作完成后,必须根据自己的实验记录进行归纳总结,分析讨论,整理成文。实验报告的书写文字和格式方面要有较严格的要求。应该做到:叙述简明扼要,文字通顺,条理清楚;字迹工整,图表清晰。为了使学生了解科研论文的书写形式,我们特别强调,在实验报告中,增加“实验结果讨论”。在实验结果讨论中,应该对实验原理、操作方法、反应现象给予解释说明,对操作中的经验教训和实验中存在的问题提出改进建议。通过讨论,可以达到从感性认识上升到理性认识的目的。

下面是一份实验报告的范例:

### 实验题目:缓冲溶液

实验者:××(××××级××班) 日期:××××年××月××日

温度:20℃ 湿度:45%

#### 一、实验目的

1. 掌握缓冲溶液的配制原则和方法。
2. 理解缓冲溶液的性质和缓冲容量的概念。