

——高等医药院校教材
供基础、临床、预防、检验、药学等专业使用

医学化学实验

IXUE HUAXUE SHIYAN

刘毅敏 主编

高等医药院校教材
供基础、临床、预防、检验、药学等专业使用

医学化学实验

刘毅敏 主 编
赵华文 赵先英 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书由五个章节和附录组成:第一章为化学实验基本知识;第二章为化学实验常用仪器;第三章为化学实验基本操作;第四章为基础性、综合性实验,选编了45个实验;第五章为设计性实验,选编了12个设计性实验;最后为附录部分。教材中的部分实验编入了英文阅读资料。

本书打破化学二级学科的界限,将以往分割的无机化学、分析化学、物理化学和有机化学等二级学科的实验内容优化整合,按基础、综合、设计三个层次编排。在内容上力求体现“三基”(基础理论、基本知识、基本技能)和“五性”(思想性、科学性、先进性、启发性、实用性),同时注重教材体系的合理科学,旨在通过化学实验,训练学生的基本操作和基本技能,培养学生综合运用化学知识分析问题和解决问题的能力,充分激发学生的创新意识和探索精神。

本书适合高等医药院校基础临床、预防、检验等医学类和药学专业的学生使用,也可作为相关专业工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医学化学实验 / 刘毅敏主编. —北京: 科学出版社, 2010. 8

高等医药院校教材

ISBN 978-7-03-028688-8

I. ①医… II. ①刘… III. ①医用化学—化学实验—医学院校—教材 IV. ①R313-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 161559 号

责任编辑: 谭宏宇 / 责任校对: 刘珊珊

责任印制: 刘 学 / 封面设计: 殷 靓

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

上海出版印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2010年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2010年9月第一次印刷 印张: 16 1/4

印数: 1—3 300

字数: 367 000

定价: 33.00 元

医学化学实验

编 委 会

主 编 刘毅敏

副主编 赵华文 赵先英

编 委 (以姓氏笔画为序)

刘 欢	刘海红	刘毅敏	杨 旭
李兰兰	李明春	张定林	肖 湘
武丽萍	季卫刚	周小霞	周 勉
赵先英	赵华文	贺 建	

前 言

为适应我国高等医学教育事业发展的趋势,培养适应军队国防建设发展和社会需要的高层次医学人才,力求修编一本体系结构合理、内容科学新颖的优秀医学化学实验教材,我们参考和借鉴了国内许多先进化学实验教材并结合多年的教学经验,对《医学化学实验教程》第一版(2005年出版)的体系和内容做了较大的修改和更新。本教材可作为医学、药学和生命科学等专业学生的化学实验教材或教学参考书。

本教材共五章:第一章为化学实验基本知识,较系统地介绍了化学实验的目的要求、化学实验规则及安全知识、化学实验的误差及数据处理;第二章为化学实验常用仪器,介绍了化学实验常用的玻璃仪器、精密仪器和小型机电仪器或设备;第三章为化学实验基本操作,介绍了17种(类)化学实验基本操作;第四章为基础性、综合性实验,选编了45个基础性、综合性实验;第五章为设计性实验,选编了12个设计性实验;最后为附录,收录了一些化学实验常用数据表。教材中的部分实验编入了英文阅读资料。

本教材主要有以下特点:

1) 整合、精选实验内容。打破化学二级学科的界限,将无机化学、有机化学、分析化学和物理化学等二级学科的实验内容优化整合,按基础性、综合性和设计性实验编排,更有利于培养学生化学实验的基本操作、基本技能和综合实验能力。

2) 突出医学化学实验特色。在实验内容的选编上注重与基础医学、生命科学的联系和结合,为后续课程的学习和今后的发展打好基础。

3) 体现个性化学习和教学的需要。设计性实验选题广泛,在难度上也体现出较大的区分度,以满足不同兴趣和不同程度的学生需求,充分调动和激发学生的创新潜能。

4) 适用性强。整个实验选题包括了医学类和药学类的实验内容,有较大的选择性,各院校可以根据专业和教学时数,对实验内容进行取舍,以满足其教学需求。

本教材的整个修编过程都得到科学出版社和第三军医大学的大力支持和帮助,在此谨致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010年5月

目 录

前 言

第 1 章 化学实验规则及基本知识	1
一、化学实验目的和要求	1
二、化学实验室规则	2
三、化学实验安全知识	3
四、化学实验意外事故的预防及处理	4
五、化学实验的误差及数据处理	6
第 2 章 化学实验常用仪器	10
一、化学实验常用仪器	10
二、化学实验常用精密仪器	16
三、实验中常用的小型机电设备	52
第 3 章 化学实验基本操作	55
一、常用玻璃仪器的洗涤与干燥	55
二、常用容量仪器的洗涤与使用	57
三、试剂及其取用	60
四、称量	62
五、加热和冷却	63
六、溶解与结晶	66
七、重结晶及过滤	68
八、干燥和干燥剂的使用	73
九、简单玻璃工操作	79

十、熔点的测定及温度计校正	82
十一、蒸馏	86
十二、水蒸气蒸馏	89
十三、减压蒸馏	92
十四、简单分馏	97
十五、萃取	101
十六、升华	105
十七、色谱法简介	107
 第 4 章 基础性、综合性实验	 119
实验一 分析天平的使用	119
实验二 凝固点降低法测定摩尔质量	120
实验三 pH 的测定及缓冲溶液的缓冲作用	123
实验四 醋酸解离度和解离平衡常数的测定	125
实验五 水的净化与检验	127
实验六 酸、碱标准溶液的配制与标定	129
实验七 维生素 C 药片中维生素 C 含量的测定	131
实验八 葡萄糖酸钙的含量测定	133
实验九 碘量法测定葡萄糖	134
实验十 天然水总硬度的测定	136
实验十一 分光光度法测定水溶液中铁离子的含量	138
实验十二 分光光度法测定配合物的组成和稳定常数	140
实验十三 血清中葡萄糖含量的测定	142
实验十四 肉制品中亚硝酸盐含量的测定	146
实验十五 电位滴定法测定铜(Ⅱ)-磺基水杨酸配合物的稳定常数	150
实验十六 复方阿司匹林成分分析	152
实验十七 荧光分析法测定血清中的镁	155
实验十八 硫酸亚铁铵的制备	156
实验十九 溶胶的制备和性质	158
实验二十 化学反应速率和活化能的测定	160
实验二十一 二组分气-液平衡体系	166
实验二十二 分配系数的测定	169
实验二十三 旋光法测定蔗糖水解反应的速率常数	171
实验二十四 元素性质	174

实验二十五	简单玻璃工操作	178
实验二十六	熔点的测定	179
实验二十七	蒸馏及沸点的测定	181
实验二十八	旋光度、折光率的测定	183
实验二十九	色谱法分离菠菜叶绿素	186
实验三十	柱色谱法分离荧光黄和亚甲基蓝	189
实验三十一	乙酰苯胺的重结晶	191
实验三十二	乙酰水杨酸(阿司匹林)的制备	193
实验三十三	乙酸乙酯的制备	195
实验三十四	甲基橙的制备	198
实验三十五	环己烯的制备	200
实验三十六	丁二酸酐的制备	202
实验三十七	五乙酸 α -葡萄糖酯的制备	203
实验三十八	磺胺(对-氨基苯磺酰胺)的合成	204
实验三十九	对乙酰氨基苯酚(扑热息痛)的制备	206
实验四十	维生素 K ₃ 的制备	207
实验四十一	盐酸普鲁卡因的制备	209
实验四十二	从橙皮中提取柠檬烯	211
实验四十三	从茶叶中提取咖啡因	213
实验四十四	红辣椒色素的分离	215
实验四十五	从烟叶中提取烟碱	217
第 5 章	设计性实验	219
实验四十六	氯化钠的精制及杂质检验	219
实验四十七	药用醋酸中总酸度的测定	220
实验四十八	蛋壳中钙、镁总量的测定	221
实验四十九	血清总胆固醇的测定	222
实验五十	饮料中山梨酸和苯甲酸的测定	223
实验五十一	牛奶中酪蛋白和乳糖的分离及纯度测定	224
实验五十二	尿样中苯酚含量的测定	225
实验五十三	未知阴离子混合液的分析	226
实验五十四	从黄连中提取黄连素	229
实验五十五	微波法从果皮中提取果胶	230
实验五十六	止痛药物的制备	231

实验五十七 乙酸戊酯的制备	232
附录	233
附录一 弱酸(弱碱)在水中的解离常数	233
附录二 一些难溶化合物的溶度积(298 K)	235
附录三 一些电对的标准电极电位(298.15 K)	235
附录四 不同温度下 KCl 溶液的电导率 $L_0/(10^2 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1})$	237
附录五 常用酸、碱	238
附录六 常用酸碱溶液密度及组成	238
附录七 常用缓冲溶液	241
附录八 滴定分析中常用的指示剂	244
附录九 水的蒸气压(0~100℃)	247
附录十 常用有机溶剂沸点、密度表(0.101 MPa)	247
附录十一 共沸物的组成(0.101 MPa)	247
附录十二 不同温度下水的折光率	248

第1章

化学实验规则及基本知识

一、化学实验目的和要求

(一) 实验目的

化学是一门以实验为基础的自然科学。化学与医学有着十分密切的联系,医学化学是医科学生必修的基础课程,实验是医学化学课程中不可缺少的组成部分。通过实验:

- 1) 巩固和加深对化学基本概念、基本理论和基本知识的理解。
- 2) 学习和掌握化学实验的基本操作、基本技能和基本方法。学会独立进行化学实验、细致观察和如实记录实验现象、正确处理数据和表达实验结果的方法,并逐步提高对实验现象及实验结果进行分析判断、逻辑推理和做出正确结论的能力。
- 3) 学习科学研究的基本方法,培养实验综合能力,为逐步掌握科学研究方法和优良的实验综合素质打下基础。
- 4) 培养实事求是、认真严谨的科学态度,一丝不苟、勤奋不懈的科学品质,不断探索、勇于创新的科学精神,准确细致、整洁有序的良好习惯以及互助协作的团队精神。

(二) 要求

医学化学实验是在教师的正确引导下由学生独立完成的,因此,为了达到实验目的,提出以下基本要求:

1. 课前充分预习,写好预习报告
 - 1) 认真阅读实验教材,查阅相关文献资料。
 - 2) 明确实验目的,理解实验原理,熟悉实验内容、方法和步骤,记住实验注意事项,预测实验现象和结果,思考影响实验成败的关键因素。
 - 3) 了解实验所涉及的基本操作和实验技术,有关仪器的使用方法。
 - 4) 简明扼要地写出预习报告。重点表述简要的实验原理、实验步骤、操作要点、实验条件和实验中的注意事项,设计好记录实验现象或原始数据的表格。
 - 5) 观看实验基本操作或仪器使用的多媒体课件。
2. 认真倾听讲解,仔细观看示教,积极参与讨论
 - 1) 实验开始前,注意倾听实验指导教师对实验重点、要点、注意事项和成败关键的讲解。

2) 仔细观看指导教师的示范操作,仪器实用示教等。

3) 对教师组织的实验课堂讨论,应积极思考,踊跃发言。

3. 认真实验,规范操作

1) 依据实验内容和操作步骤认真实验,操作时要胆大、心细、准确和规范。

2) 集中精力,仔细观察实验现象和认真测定实验数据,并及时、详细、如实地记录。

3) 实验过程中应积极思考,手脑并用,特别是遇到疑难问题或出现异常现象,要认真分析和查找原因,提出解决的办法。

4) 注意安全、节约、环保以及实验台面整洁、有序。

4. 独立完成实验报告

1) 及时、认真、独立完成实验报告。

2) 一份满意的实验报告必须具备准确、客观、简洁、明了四个特点。

实验报告的格式一般包括以下几个方面:

(1) 实验目的和原理

简单扼要地说明进行实验的目的和原理。对实验中所采用的技术和方法,作简单扼要的表述,并阐明运用该方法和技术与完成本实验项目之间的关系。

(2) 主要仪器与试剂

(3) 实验内容或实验步骤

在充分理解操作步骤和原理的基础上,对整个实验操作过程进行概括性的描述,尽量简洁、清晰、明了,避免长篇抄录书本。如成分的分离、提取和制备,可以流程图形式加以表达。

(4) 实验记录和数据处理

实验记录包括对实验过程中所出现的种种现象的仔细观察、对各种数据的客观记录。利用所获得的数据进行数据处理,列出公式和得出的结果。对有些项目,应根据实验目的、要求,利用获得的数据正确制作图表。

(5) 结果与讨论

结果与讨论是实验报告中最重要的一部分。首先应对实验结果的准确性进行分析确认,对实验中的误差或错误加以分析,然后综合所观察到的各种现象和数据,做出结论。在此基础上,应运用相关的理论知识及参考文献,结合实验目的和要求进行讨论。对实验中出现的新问题可提出自己的看法,并对自己的实验质量做出评价。

(刘毅敏)

二、化学实验室规则

为了保证化学实验教学安全、有序、顺利地进行,学生应遵守下列实验室规则:

1) 进入实验室前应认真预习,明确实验目的与意义,理解基本原理,了解仪器与试剂、内容和方法、注意事项等,做好预习报告。

2) 遵守实验课纪律。学生进入实验室做实验应着实验服,不得迟到、外出或早退;实验过程中保持实验室安静,不大声喧哗或嬉笑;严禁将实验室的物品带出实验室。

3) 禁止将食物带入实验室,勿在实验室进食。

4) 实验前清点仪器、试剂,如有缺损,应立即报告,由实验教师补充和更换,未经教师同意,不得拿用其他实验台上的仪器和试剂。

5) 实验中要集中精力,认真操作,仔细观察现象,积极思考问题,如实记录结果。

6) 实验过程中应保持实验室整洁,做到仪器、桌面、地面和水槽四净,废纸和火柴梗等固体废物应丢入废物缸,切不可扔在地上或水槽中;待用仪器、试剂应摆得井然有序。

7) 增强环保意识,遵守环保规定,废液应小心倒入废液桶内,有毒物质应严格放入特定容器中,需回收的物品、试剂应放入指定的回收瓶中。

8) 要有良好的实验室工作道德,爱护公物,关心他人,注意安全。公用试剂、仪器和器材应在指定地点使用,用完后及时放还原处并保持其整洁。防止试剂的浪费和相互污染,试剂应按规定量取用,取用后,应立即盖上瓶塞。实验时要爱护仪器设备,使用精密仪器时,必须严格按照操作规程进行,要谨慎细致。如发现仪器有故障,应立即停止使用,及时报告指导教师。

9) 实验完毕,将实验数据和实验记录,交教师审核,经教师允许后方可整理仪器、试剂和实验台面。

10) 学生轮流值日。值日生应负责整理公用仪器、试剂和器材,打扫实验室,清理公共实验桌面、水槽和废物缸,倒清废物,检查水、电、火源,关好门窗,最后经指导教师检查后方可离开。

(刘毅敏)

三、化学实验安全知识

安全永远是化学实验最基本的要素。化学实验中,经常会接触到易燃、易爆、有毒、有腐蚀性的化学试剂,有的化学反应还具有危险性,且经常使用水、电、燃气等,因此,必须高度重视安全问题。实验前充分了解有关安全注意事项,实验过程中严格遵守操作规程,以避免事故发生。同时,还必须学会一些自救和自护方法,若发生意外事故,应立即进行紧急处置。

1) 凡产生刺激性的、恶臭的、有毒的气体(如 Cl_2 、 Br_2 、 HF 、 H_2S 、 SO_2 、 NO_2 等)的实验,应在通风橱内(或通风处)进行。

2) 浓酸、浓碱具有强腐蚀性,使用时要小心,切勿溅在衣服、皮肤及眼睛上。稀释浓硫酸时,应将浓硫酸慢慢倒入水中并搅拌,而不能将水倒入浓硫酸中。

3) 有毒药品(如重铬酸钾、铅盐、砷的化合物、汞的化合物,特别是氰化物)不能进入口内或接触伤口。也不能将其随便倒入下水道,应按要求倒入指定容器内。

4) 加热试管时,不能将管口朝向自己或别人,也不能俯视正在加热的液体,以防液体溅出伤人。

5) 不允许用手直接取用固体药品。嗅闻气体时,鼻子不能直接对着瓶口或试管口,而应用手轻轻将少量气体扇向自己的鼻孔。

6) 使用酒精灯,应随用随点,不用时盖上灯罩。严禁用燃着的酒精灯点燃其他酒精灯,以免酒精流出而失火。

7) 使用易燃、易爆药品,应严格遵守操作规程,远离明火。绝对不允许擅自随意混合

各种化学药品,以免发生意外事故。

8) 不可用湿手操作电器设备,以防触电。

9) 实验室内严禁吸烟、饮食。实验结束,应立即关闭水、电,洗净双手,方可离开实验室。

(刘毅敏)

四、化学实验意外事故的预防及处理

(一) 实验事故的预防

1. 防火

1) 电、气使用完毕后应立即关闭。

2) 使用酒精灯时,应随用随点,不用时盖上灯罩。不能用酒精灯倾倒点燃其他酒精灯,避免酒精溢出而发生火灾。

3) 操作或处理易挥发、易燃烧的溶剂时,应远离火源,用后将瓶盖盖紧,放在阴凉处。需加热时不能直接用明火加热,而应用回流装置并在适当的热浴中进行,切不可将易燃溶剂放在烧杯等广口容器中加热。

4) 易燃、易挥发物不得倒入废液缸内,应按要求倒入指定的回收瓶中,由有关人员专门处理。

5) 不得将燃着或带有火星的火柴梗、纸条等乱扔,也不能丢入废物缸中,以免发生危险。

2. 防爆炸

1) 常压操作时,切勿在封闭系统内进行加热或反应,并应防止仪器装置出现堵塞,否则使系统压力增加,导致爆炸。

2) 减压蒸馏时要用圆底烧瓶或吸滤瓶作接受器,不得使用一般的锥形瓶、平底烧瓶等机械强度不大的仪器,否则可能发生炸裂。

3) 切勿将易燃、易爆气体接近火源,如氢气、乙炔等气体,或乙醚、汽油等易挥发性有机溶剂,要保持室内空气畅通,防止明火和电火花而引起爆炸。

4) 小心使用易爆物质,如有机过氧化物、芳香族多硝基化合物和硝酸酯等。例如含过氧化物的乙醚蒸馏时必须先用硫酸亚铁处理以除去过氧化物,而且不能蒸干,要在通风较好的地方或通风橱内进行;干燥的重金属乙炔化物受到撞击时极易爆炸,要及时用浓盐酸或浓硝酸使其分解。

5) 对过于猛烈的反应,如卤代烷与金属钠的反应,要根据不同情况采取冷冻降温或控制加料速度等。

3. 防中毒

1) 切勿让化学品沾在皮肤上,尤其是剧毒的试剂。称量任何化学品都应使用工具,不得用手直接接触,并应特别注意防止毒品溅入口、眼、鼻等敏感部位或接触伤口。取用有腐蚀性化学品时可戴橡皮手套和防护眼镜,实验完毕要及时、认真洗手。

2) 实验室应通风良好,尽量避免吸入化学品的烟雾和蒸气。如需体会物质的气味,应用手轻拂气体,拂向自己后再嗅。处理有毒或有腐蚀性、刺激性物质时,应在通风橱中进行,防止有毒气体在实验室内扩散。

3) 汞易挥发,吸入后会积累于体内引起慢性中毒。不能将温度计当作玻璃棒使用;液汞应保持在水中,一旦把汞洒落,应尽可能回收,或者用硫磺粉覆盖,使其反应生成不挥发的硫化汞。

4) 不得用口尝试任何化学品,严禁在实验室内进食。

5) 沾染过有毒物质的器皿应及时清洗,并采取适当方法处理以破坏或消除其毒性。

6) 剧毒化学品应由专人负责收发,使用者必须遵守操作规程。有毒废液、残渣不能倒入下水道,应统一回收后由专人处理。

4. 防割伤

1) 玻璃管(棒)切割后,断面应在火上烧熔以消除棱角。

2) 装配仪器时,应首先选定主要仪器的位置,然后按一定顺序装配仪器。仪器之间的连接必须做到位置和松紧适当,切忌使玻璃仪器的任何部分承受过度的压力或张力。

3) 将玻璃管(或温度计)插入橡皮管、橡皮塞或软木塞时,应先用水或甘油润湿玻璃管插入的一端,然后一手持橡皮管、橡皮塞或软木塞,一手捏着玻璃管,用力均匀逐渐旋转插入。插入或拔出玻璃管时,手指捏住玻璃管的位置与塞子或橡皮管的距离一般为 2~3 cm,不可太远。

(二) 实验事故的处理

1. 着火

1) 一旦发生着火事故,首先应立即关闭附近所有火源,切断电源,迅速移去着火现场周围的易燃物。

2) 用石棉布、干沙或适当的灭火器材灭火。桌面或地面液体着火,若火势不大,可用淋湿的抹布、石棉布盖熄或用干沙扑灭。仪器内溶剂着火时,最好用大块石棉布盖熄,而不要用沙子,以免打碎玻璃仪器。有机溶剂着火时,在大多数情况下,严禁用水灭火。因为一般有机溶剂比水轻,若用水浇,燃着的液体将在水面上蔓延开来,反使燃烧面积更加扩大。若火势较大,应使用泡沫灭火器和二氧化碳灭火器。

3) 若电器设备着火,用二氧化碳或四氯化碳灭火器灭火。切记在带电情况下不能用水和泡沫灭火器灭火,因为水能导电,易使人触电。

4) 若实验者衣服着火,切勿惊慌乱跑,以免因空气的扰动而使火焰扩大。可迅速脱下衣服或用石棉布、厚外套覆盖着火处。情况危急时应就地卧倒打滚,以免火焰烧向头部。

5) 若着火面积较大,在尽力扑救的同时,应及时拨打火警电话。

2. 烫伤

轻度烫伤可立即用冷水冲洗或浸泡伤处,然后在烫伤处搽上苦味酸或 KMnO_4 溶液,再涂上烫伤药膏等;重伤者应涂以烫伤药膏后立即送医院治疗,不要把水泡挑破。

3. 玻璃割伤

如果为一般轻伤,应立即挤出污血,用消毒过的镊子取出玻璃碎片,用洁净水洗净伤口,涂上碘酒或红汞药水,再用无菌纱布包扎,也可贴上“创可贴”。若伤口较大、较深或流血不止时,应用无菌纱布压迫包扎,然后立即送医院治疗。

4. 试剂灼伤

酸:立即用大量水洗,再以 3%~5% 碳酸氢钠溶液洗,最后用水洗。严重时要消毒,

拭干后涂烫伤药膏。

碱：立即用大量水洗，再以1%~2%硼酸液洗，最后用水洗。严重时同上处理。

溴：立即用大量水洗，再用酒精擦至无溴液存在为止，然后涂上甘油或烫伤药膏。

钠：可见的小块用镊子移去，其余与碱灼伤处理相同。

眼睛被试剂灼伤：应立即用大量水冲洗，快速送医院治疗，不允许用其他试剂进行中和。

5. 中毒

1) 溅入口中尚未咽下者应立即吐出，再用大量水冲洗口腔；若已吞下，应根据毒性物质性质给予解毒剂，并立即送医院。

2) 腐蚀性毒物。对于强酸，先饮大量水，然后服用氢氧化铝膏、鸡蛋白；对于强碱，也应先饮大量水，然后服用醋、酸果汁、鸡蛋白。不论酸或碱中毒皆要再灌注牛奶，不要服呕吐剂。

3) 刺激剂及神经性毒物。先给牛奶或鸡蛋白使之立即冲淡和缓解，再用一大匙硫酸镁(约30 g)溶于一杯水中催吐。有时也可用手指伸入喉部促使呕吐，然后立即送医院。

4) 吸入气体中毒。将中毒者移至室外有新鲜空气的地方，解开衣服纽扣并使其嗅闻解毒剂蒸气。若吸入少量氯气或溴者，可用碳酸氢钠溶液漱口。

6. 触电

立即切断电源，并尽快用绝缘物将触电者与电器隔离，必要时再进行人工呼吸并迅速送医院救治。

(刘毅敏)

五、化学实验的误差及数据处理

(一) 误差产生的原因与减免

物理量的测量值不可能与真实值绝对一致，二者之间的差值称为误差。在定量分析中产生误差的原因很多，根据其性质和来源的不同，误差可分为三类，即系统误差、偶然误差和过失误差。

1. 系统误差

系统误差也称可测误差，是由于分析测量过程中某些固定的因素造成的，它对测量结果的影响比较固定，其大小有一定规律性，在重复测量时，会重复出现。产生系统误差的主要原因有：实验方法不完善；所用的仪器准确度差；试剂不纯以及操作不当等。系统误差可以通过改进实验方法、校正仪器、提高试剂纯度、做空白实验和对照试验等方法加以校正，使之尽可能减小。

2. 偶然误差

偶然误差也称随机误差，是由于分析测量过程某些难以预料的偶然因素引起的，如测量时环境温度、湿度、气压的微小波动和仪器性能的微小改变等。由于偶然误差的原因难以确定，似乎无规律性可寻，但如果多次测量，可以发现偶然误差遵从正态分布，即大小相近的正负误差出现的机会相等，小误差出现的概率大，大误差出现的概率很小。因此，增

加测量次数可使偶然误差的算数平均值趋于零。

一般,在消除了系统误差的前提下,可用多次测量结果的平均值代替真实值。

3. 过失误差

过失误差是一种与事实明显不符的误差。它是由于工作粗心大意引起的,如加错试剂、用错样品、试样损失、读错数据、计算错误等。过失误差无规律可循,但只要加强责任心,工作认真细致即可避免。

(二) 准确度与精密度

1. 准确度与误差

准确度是指测量值与真实值之间偏离的程度,常用误差的大小来衡量。误差越小,测量结果的准确度越高。

误差分为绝对误差和相对误差。绝对误差是指测量值与真实值之间的差值;相对误差指绝对误差与真实值的百分比。即

$$\text{绝对误差} = \text{测量值} - \text{真实值}$$

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

绝对误差与被测量的大小无关,而相对误差却与被测量的大小有关。一般来说,若被测的量越大,相对误差越小。一般用相对误差来反映测定值与真实值之间的偏离程度比用绝对误差更为合理。

2. 精密度与偏差

精密度是指多次平行测量结果的相互接近的程度,是保证准确度的前提,常用偏差的大小来衡量。偏差越小,测量结果的精密度越高,重现性越好。

通常被测量结果的真实值很难准确知道,因此,一般用多次重复测量结果的平均值代替真实值。某单次测量结果与平均值之差称为绝对偏差,即

$$\text{绝对偏差} = \text{某单次测定值} - \text{平均值}$$

在实际工作中,还可用绝对平均偏差($\bar{d}$)和相对平均偏差($\bar{d}_r$)来表示分析结果的精密度。

$$\bar{d} = \frac{|d_1| + |d_2| + \cdots + |d_n|}{n}$$

$$\bar{d}_r = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\%$$

(三) 有效数字

1. 有效数字位数的确定

分析测试中,在记录测定数据时,测定值所表示的准确程度应与测试时所用的测量仪器的精度相一致。通常测定时,一般可估计到测量仪器最小刻度的十分位,在记录测定数据时,只应保留一位不确定数字,其余数字都应是准确的,此时所记录的数字为有效数字。

记录和报告的测定结果只应包含有效数字,对有效数字的位数不能任意增删。

化学实验中常用仪器的精度与实测数据有效数字位数的关系列于表 1-1 中。

表 1-1 常用仪器的精度与实测值有效数字位数

仪器名称	仪器精度	测量值	有效数字位数	错误记录
托盘天平	0.1 g	12.3 g	3	12.30 g
电光天平	0.000 1 g	12.345 6 g	6	12.345 g
10 mL 量筒	0.1 mL	7.2 mL	2	7 mL
100 mL 量筒	1 mL	72 mL	2	72.5 mL
滴定管	0.01 mL	23.00 mL	4	23.0 mL
移液管	0.01 mL	25.00 mL	4	25 mL
容量瓶	0.01 mL	50.00 mL	4	50 mL

任意超出或低于仪器精度的数字都是不恰当的。例如上述电光天平的读数为 12.345 6 g,既不能读作 12.345 g,也不能读作 12.345 67 g,因为前者降低了实验的精确度,后者则夸大了实验的精确度。

关于有效数字位数的确定,还应注意以下几点:

1) 数字“0”在数据中具有双重意义。若作为普通数字使用,它就是有效数字;若它只起定位作用,就不是有效数字。例如在分析天平上称得重铬酸钾的质量为 0.075 8 g,此数据具有三位有效数字,数字前面的“0”只起定位作用,不是有效数字。又如某盐酸溶液的浓度($0.210\ 0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)准确到小数点第三位,第四位可能有 ± 1 的误差,所以这两个“0”是有效数字,数据 0.210 0 具有四位有效数字。

2) 改变单位并不改变有效数字的位数,如滴定管读数 12.34 mL,若该读数改用升为单位,则是 0.012 34 L,这时前面的两个零只起定位作用,不是有效数字,0.012 34 L 与 12.34 mL 一样都是四位有效数字。当需要在数的末尾加“0”作定位作用时,最好采用指数形式表示,否则有效数字的位数含混不清。例如,质量为 25.08 g 若以毫克为单位,则可表示为 $2.508 \times 10^4\ \text{mg}$;若表示为 25 080 mg,就易误解为五位有效数字。

3) 对数的有效数字位数,仅由小数部分的位数决定,首数(整数部分)只起定位作用,不是有效数字。例如 $\text{pH}=2.38$ 的有效数字为二位,而不是三位。

2. 有效数字的运算规则

在分析测定过程中,往往要经过几个不同的测量环节,例如先用差减法称取试样,经过处理后进行滴定。在此过程中最少要取四次数据,但这四个数据的有效数字位数不一定完全相等,在进行运算时,应按照下列计算规则,合理地取舍各数字的有效数字的位数,确保运算结果的正确。

1) 记录数据时,只保留一位有效数字。当拟舍弃的数字大于等于 6 时进位,而当尾数恰为 5 时,则看保留的末位数是奇数还是偶数,是奇数时就将 5 进位,是偶数时,则将 5 舍弃。总之,使保留下来的末位数是偶数,即“四舍六入五留双”。根据此原则,如将 4.175 和 4.165 修约成 3 位有效数字,则分别为 4.18 和 4.16。同时,对原始数据只能做一次修约。如将 3.746 9 修约为 2 位有效数字,只能一次修约为 3.7,而不能先修约为 3.75 再进而修约为 3.8。对于需要进行计算才能得出的结果应该先计算后修约。