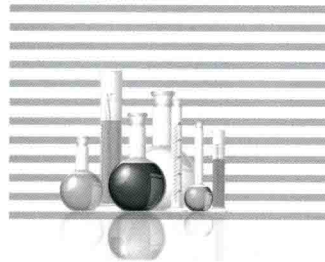




高等学校“十三五”规划教材



医用化学实验

YIYONG HUAXUE SHIYAN

申世立 侯超 朱焰 主编



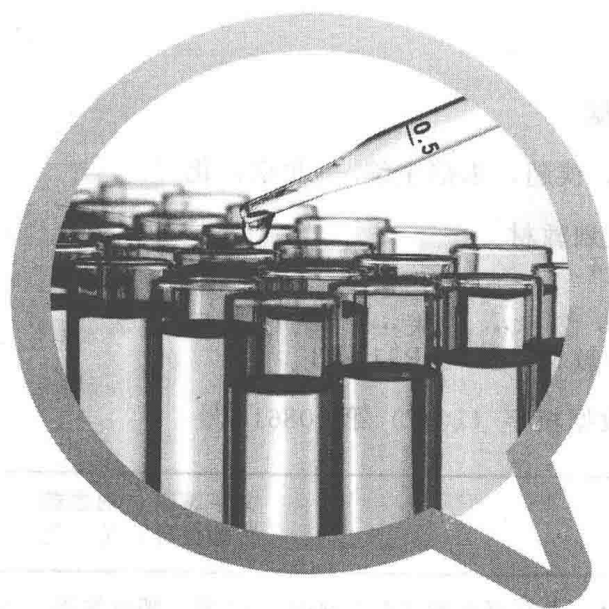
化学工业出版社



高等学校“十三五”规划教材

医用化学实验

申世立 侯超 朱焰 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《医用化学实验》将传统的无机化学、分析化学、有机化学、物理化学、结构化学等实验中与医药关系密切的部分有机整合而成,注意与医药及其相关专业的内在联系,突出创新性、系统性和适用性。本书共 33 个实验,其中基本操作实验 13 个、有机物性质及合成实验 8 个、综合性实验 6 个、设计性实验 6 个。

《医用化学实验》读者对象以本专科临床医学、护理、医学影像专业为主,兼顾康复医疗、应用物理、生物医学工程、检验、法医、卫生管理、医学信息等专业的需求,可供医学院校各专业师生及实验室人员使用和参考。

医用化学实验

主编 申世立 侯超 朱焰

图书在版编目(CIP)数据

医用化学实验/申世立,侯超,朱焰主编. —北京:化学工业出版社,2017.7
高等学校“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-29704-4

I. ①医… II. ①申… ②侯… ③朱… 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 (2017) 第 108613 号

责任编辑:宋林青
责任校对:王素芹

文字编辑:刘志茹
装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 9¼ 彩插 1 字数 209 千字 2017 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:22.00 元

版权所有 违者必究

《医用化学实验》编写组

主 编：申世立 侯 超 朱 焰

编写人员：（以姓氏笔画为序）

王玉民 申世立 朱 焰

陈 震 林晓辉 庞现红

侯 超 姜洪丽 葛燕青

前言

《医用化学实验》是全国高等医药院校基础医学实验教学系列教材之一，属于医药院校学生必修的基础实验课。本书紧密结合医药学科的发展和教学模式的转变，特别是近年来医学教育改革的实践，力求突出和贯彻执行教育部提出的“三基”、“五性”和注重实用性的特点。为了使學生建立一套完整的医用化学实验研究体系，本教材以理念创新和体系创新为原则，坚持以培养学生能力为核心，以學生知识、能力和素质协调发展为指导，建立经典性实验、综合性实验和设计性实验等多层次的实验教学体系，设计安排了常规知识、基本操作、性质及合成实验、综合性实验和设计性实验，以巩固学生的基础知识和基本理论，加强学生的基本操作技能训练，使理论教学与实验教学相结合，激发学生的学习兴趣，提高实验能力，启迪学生的科学思维和创新意识，为今后的学习和工作奠定基础。本教材在参阅国内外新近出版的相关实验教材、在调研兄弟院校实验教学建设情况的基础上，结合多年的医用化学实验教学经验编写而成。

本书将传统的无机化学、分析化学、有机化学、物理化学、结构化学等实验中与医药关系密切的部分有机整合而成，注意与医药及其相关专业的内在联系，加强与医药及其相关专业的联系点，突出创新性、系统性和适用性。本教材共 33 个实验，其中基本操作实验 13 个、有机物性质及合成实验 8 个、综合性实验 6 个、设计性实验 6 个。基本操作和性质实验，主要是使學生能理解医学各学科理论体系并能很好起辅助作用的基础性实验；综合性实验，主要是使學生在对各专科相关实验知识和方法有初步认识的基础上向多学科知识交叉融合、实验技术涉及面较广的综合性实验递进；设计性实验，主要是培养学生的创新思维以及动手能力。本教材内容包括溶液配制、药物合成、动植物有效成分的提取、分离和纯化、鉴定以及含量测定等实验，另有医用化学实验规则、基本操作等化学实验基本常识。希望通过实验培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力，以提高学生基本的医学科研能力、严谨的科研作风和创新思维能力。

本教材一律采用法定计量单位，有机化合物的名称也遵循我国有机化合物命名原则，在附录中摘编了常用的试剂配制、缓冲溶液、常见毒性危险性化学药品以及常见具有致癌性化学物质等数据资料，以供查阅。

本书读者对象以本专科临床医学、护理、医学影像专业为主，兼顾康复医疗、应用物

理、生物医学工程、检验、法医、卫生管理、医学信息等专业的需求。本书涵盖了医学学生的基础医学实验教学，通过对不同板块必选实验项目和自选实验项目相结合，可满足学生本专业的培养特点和要求。本书也可供医学院校各专业师生及实验室人员使用和参考。

本书编写工作由王玉民、庞现红（第一章），申世立（第二章），侯超（第三章），朱焰（第四章），陈震、林晓辉（第五章）、姜洪丽、葛燕青（附录）等完成。

由于水平有限，虽经反复修改，书中疏漏之处难免，希望读者多提宝贵意见，不胜感激。

编者

2017 年 4 月

目 录

第一章 医用化学实验基本知识	1
一、化学实验课的学习方法	1
二、化学实验室安全知识	2
三、实验室“三废”的处理	5
四、实验误差与数据处理	6
五、医用化学实验常用仪器及应用范围	10
六、医用化学实验基本操作	16
(一) 玻璃仪器的洗涤	16
(二) 干燥	16
(三) 试剂及其取用方法	18
(四) 加热方法	19
(五) 加热操作	20
(六) 固体的溶解、蒸发与结晶	21
(七) 固液分离和沉淀洗涤方法	22
第二章 基本操作实验	24
实验一 基本操作练习	24
实验二 溶液的配制	31
实验三 酸碱标准溶液的配制与标定	33
实验四 密度的测定	37
实验五 摩尔气体常数的测定	41
实验六 醋酸电离度和电离平衡常数的测定	43
实验七 缓冲溶液的配制与性质	47
实验八 熔点测定及温度计校正	50
实验九 常压蒸馏及沸点的测定	54
实验十 旋光度的测定	57
实验十一 折射率的测定	61
实验十二 薄层色谱	65

实验十三 分子模型作业	69
第三章 有机物性质及合成实验	72
实验十四 醇、酚、醛、酮的化学性质	72
实验十五 羧酸、羧酸衍生物及取代羧酸的化学性质	76
实验十六 糖的化学性质	79
实验十七 氨基酸、蛋白质的性质	82
实验十八 正溴丁烷的制备	85
实验十九 乙酸乙酯的制备	87
实验二十 乙酸正丁酯的合成	90
实验二十一 乙酰水杨酸的制备	92
第四章 综合性实验	95
实验二十二 粗食盐的提纯与检验	95
实验二十三 混合碱分析与测定	98
实验二十四 胃舒平药片中铝和镁的测定	101
实验二十五 从茶叶中提取咖啡因	103
实验二十六 从橙皮中提取柠檬烯	106
实验二十七 油脂的提取和油脂的性质	109
第五章 设计性实验	112
实验二十八 食醋中醋酸质量浓度的测定	112
实验二十九 从女贞子中提取齐墩果酸	114
实验三十 配位滴定法测定鸡蛋壳中钙镁总量	115
实验三十一 设计阳离子混合液和阴离子混合液的分离鉴定方法	116
实验三十二 纳米 TiO_2 材料的制备	118
实验三十三 植物中微量元素的分离与鉴定	120
附 录	122
附录一 常用酸碱指示剂	122
附录二 酸碱混合指示剂	122
附录三 298.2K 时各种酸的酸常数	123
附录四 298.2K 时各种碱的碱常数	124
附录五 实验室常用酸碱试剂的浓度和密度	124
附录六 常用缓冲溶液的配制	125

附录七	常见离子和化合物的颜色.....	126
附录八	一些物质或基团的分子量.....	128
附录九	不同温度下水的饱和蒸气压.....	128
附录十	常用无机试剂的配制.....	130
附录十一	常用有机试剂的配制.....	131
附录十二	常用有机化合物的物理常数.....	134
附录十三	常用有机试剂的纯化.....	135
参考文献		138

第一章

医用化学实验基本知识

医用化学实验是医学、护理、医学影像、生物工程等相关专业学生的一门必修实验课，其主要目的是为学生学习后继课程奠定必要的化学实验基础，也为学生毕业后从事专业工作及进行科学研究提供更多的分析问题和解决问题的思路和方法。

一、化学实验课的学习方法

医用化学实验是在教师的正确引导下由学生独立完成的，因此实验效果与正确的学习态度和学习方法密切相关。对于医用化学实验的学习方法，应抓住以下三个重要环节。

1. 预习

实验前预习是必要的准备工作，是做好实验的前提。这个环节必须引起学生足够重视，如果学生不预习，对实验的目的、要求和内容不清楚，是不允许进行实验的。实验前，任课教师要检查每个学生的预习情况。查看学生的预习笔记，对没有预习或预习不合格者，任课教师有权不让其参加本次实验。

实验预习要求学生认真阅读实验教材及相关参考资料，明确实验目的、理解实验原理、熟悉实验内容、掌握实验方法、切记实验中有关的注意事项，在此基础上简明、扼要地写出预习报告。预习报告包括以下内容：

- ① 目的、要求；
- ② 反应原理，可用反应式写出主反应及主要副反应，并简述反应机理；
- ③ 查阅并列出主要试剂和产物的物化常数及性质，试剂的规格、用量；
- ④ 画出主要反应装置图，简述实验步骤及操作原理；
- ⑤ 做合成实验时，应写出粗产物纯化的流程图；
- ⑥ 针对实验中可能出现的问题，特别是安全问题，要注意学习防范措施和解决方法，而且要给记录实验现象和测量数据留有充足的位置。

实验开始前按时到达实验室，专心听指导教师的讲解，迟到 15min 以上者禁止进行

实验。

2. 操作

实验操作是实验课的主要内容，必须认真、独立地完成。在实验操作过程中，必须做到以下几点。

①“看” 仔细观察实验现象，包括气体的产生，沉淀的生成，颜色的变化及温度、压力、流量等参数的变化。

②“想” 开动脑筋仔细研究实验中产生的现象，分析问题、解决问题，对感性认识作出理性分析，找出正确实验方法，逐步提高思维能力。

③“做” 带着思考的结果动手进行实验，从而学会实验基本方法与操作技能，培养动手能力。

④“记” 善于及时记录实验现象与数据，养成把数据规整、及时记录下来的良好实验习惯。

⑤“论” 善于对实验中产生的现象进行理性讨论，提倡学生之间或师生之间的讨论，提高每次实验的效率及认知的深度。

另外，实验中自觉养成良好的科学习惯，遵守实验室规则，实验过程中始终保持桌面布局合理，环境整洁。

3. 实验报告

实验结束后，认真概括和总结本次实验，写好实验报告。

一份合格的实验报告应包括以下几方面内容。

① 实验名称、日期。

② 实验目的：写明对本实验的要求。

③ 实验原理：简述实验的基本原理及反应方程式。

④ 实验内容：实验内容是学生实际操作的简述，尽量用表格、箭头、框图或符号等形式简洁明了地表达实验进行的过程，避免完全照抄书本。

⑤ 实验现象和数据记录：实验现象要表达正确，数据记录要完整，绝对不允许主观臆造、抄袭他人的数据。发现主观臆造或抄袭者应严加查处。

⑥ 解释结论或数据计算：对现象加以明确的解释，写出主要反应方程式，分标题小结或者最后得出结论，数据计算要表达清晰，有效数字要规范。

⑦ 问题讨论：针对实验中遇到的疑难问题提出自己的见解。定量实验应分析误差产生的原因。也可以对实验方法、实验内容提出意见或者建议。

每次实验报告应在下次实验前连同实验原始记录一起交给指导老师。

二、化学实验室安全知识

化学实验室是学习、研究化学的重要场所。在实验室中，经常接触到各种化学药品和各种仪器。实验室常常潜藏着诸如发生爆炸、着火、中毒、灼伤、割伤、触电等事故的危险，因此，实验者必须特别重视实验安全。

1. 医用化学实验守则

- ① 实验前认真预习,明确实验目的,了解实验原理,熟悉实验内容、方法和步骤。
- ② 严格遵守实验室的规章制度,听从教师的指导。实验中要保持安静,有条不紊。保持实验室的整洁。
- ③ 实验中要规范操作,仔细观察,认真思考,如实记录。
- ④ 爱护仪器,节约水、电、煤气和试剂药品。精密仪器使用后要在登记本上记录使用情况,并经教师检查认可。
- ⑤ 凡涉及有毒气体的实验,都应在通风橱中进行。
- ⑥ 废纸、火柴梗、碎玻璃和各种废液倒入废物瓶或其他规定的回收容器中。
- ⑦ 损坏仪器应填写仪器破损单,按规定进行赔偿。
- ⑧ 发生意外事故应保持镇静,立即报告教师,及时处理。
- ⑨ 实验完毕,整理好仪器、药品和台面,清扫实验室,关好水、电、煤气、门、窗。
- ⑩ 根据原始记录,独立完成实验报告。

2. 危险品的使用

- ① 浓酸和浓碱具有强腐蚀性,不要把它们洒在皮肤或衣物上。废液应倒入废液缸中,但不要再向里面倾倒其他废液,以免酸碱中和产生大量的热而发生危险。
- ② 强氧化剂(如高氯酸、氯酸钾等)及其混合物(氯酸钾与红磷、碳、硫等的混合物),不能研磨或撞击,否则易发生爆炸。
- ③ 银氨溶液放久后会变成氮化银而引起爆炸,因此用剩的银氨溶液,应及时处理。
- ④ 活泼金属钾、钠等不要与水接触或暴露在空气中,应将它们保存在煤油中,用镊子取用。
- ⑤ 白磷有剧毒,并能灼伤皮肤,切勿与人体接触。白磷在空气中易自燃,应保存在水中。取用时,应在水下进行切割,用镊子夹取。
- ⑥ 氢气与空气的混合物遇火会发生爆炸,因此产生氢气的装置要远离明火。点燃氢气前,必须先检查氢气的纯度。进行产生大量氢气的实验时,应把废气通至室外,并注意室内的通风。
- ⑦ 有机溶剂(乙醇、乙醚、苯、丙酮等)易燃,使用时一定要远离明火。用后要把瓶塞塞严,放在阴凉的地方,最好放入沙桶内。
- ⑧ 进行能产生有毒气体(如氟化氢、硫化氢、氯气、一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、溴等)的反应,及加热盐酸、硝酸和硫酸时,均应在通风橱中进行。
- ⑨ 汞易挥发,在人体内会积累起来,引起慢性中毒。可溶性汞盐、铬的化合物、氰化物、砷盐、铋盐都有毒,不得进入口中或接触伤口,其废液也不能倒入下水道,应统一回收处理。为了减少汞的蒸发,可在汞液面上覆盖化学液体:甘油的效果最好,5%Na₂S·9H₂O溶液次之,水的效果最差。对于溅落的汞应尽量用毛刷蘸水收集起来,直径大于1mm的汞颗粒可用吸气球或真空泵抽吸的捡汞器捡起来。撒落汞的地方可以撒上多硫化钙、硫黄粉或漂白粉,或喷洒药品使汞生成不挥发的难溶盐,并要扫除干净。

3. 化学中毒和化学灼伤事故的预防

① 保护好眼睛。防止眼睛受刺激性气体的熏染，防止任何化学药品，特别是强酸、强碱、玻璃屑等异物进入眼内。

② 禁止用手直接取用任何化学药品。使用有毒品时，除用药匙、量器外，必须佩戴橡皮手套，实验后马上清洗仪器用具，立即用肥皂洗手。

③ 尽量避免吸入任何药品和溶剂的蒸气。处理具有刺激性、恶臭和有毒的化学药品时，如 H_2S 、 NO_2 、 Cl_2 、 Br_2 、 CO 、 SO_2 、 HCl 、 HF 、浓硝酸、发烟硫酸、浓盐酸、乙酰氯等，必须在通风橱内进行。通风橱开启后，不要把头伸入橱内，并保持实验室通风良好。

④ 严禁在酸性介质中使用氰化物。

⑤ 用移液管、吸量管移取浓酸、浓碱、有毒液体时，禁止用口吸取，应该用洗耳球吸取。严禁品尝药品试剂，不得用鼻子直接嗅气体，而是用手向鼻孔扇入少量气体。

⑥ 实验室内禁止吸烟进食，禁止穿拖鞋。

4. 一般伤害的救护

① 割伤 可用消毒棉棒把伤口清理干净，若有玻璃碎片需小心挑出，然后涂以紫药水等抗菌药物消炎并包扎。

② 烫伤 一旦被火焰、蒸汽、红热的玻璃或铁器等烫伤，应立即将伤处用大量水冲洗，以迅速降温，避免深度烧伤。若起水泡，不宜挑破，用纱布包扎后送医院治疗；轻微烫伤，可用浓高锰酸钾溶液润湿伤口至皮肤变为棕色，然后涂上烫伤膏。

③ 受酸腐蚀 先用大量水冲洗，以免深度烧伤，再用饱和碳酸氢钠溶液或稀氨水冲洗，最后用水冲洗。如果酸溅入眼内也用此法，只是碳酸氢钠溶液改用1%的浓度，禁用稀氨水。

④ 受碱腐蚀 先用大量水冲洗，再用醋酸 ($20\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) 洗，最后用水冲洗。如果碱溅入眼内，可用硼酸溶液洗，再用水洗。

⑤ 受溴灼伤 这是很危险的。被溴灼伤后的伤口一般不宜愈合，必须严加防范。凡用溴时都必须预先配制好适量的 20% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液备用。一旦有溴沾到皮肤上，立即用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液冲洗，再用大量的水冲洗干净，包上消毒纱布后就医。

⑥ 白磷灼伤 用1%的硝酸银溶液、1%的硫酸铜溶液或浓高锰酸钾溶液洗后进行包扎。

⑦ 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。

⑧ 毒物进入口内 把 5~10mL 的稀硫酸铜溶液加入一杯温水中，内服后用手伸入喉部促使呕吐，吐出毒物，再送医院治疗。

5. 灭火常识

实验室内万一着火，不要慌张，要根据起火的原因和火场周围的情况，立即采取以下措施。

① 防止火势扩展 停止加热，停止通风，关闭电闸，移走一切可燃物。

② 扑灭火源 一般的小火可用湿布、石棉布或沙土掩盖在着火的物体上；能与水发生剧烈作用的化学药品（金属钠）或比水轻的有机溶剂着火，不能用水扑救，否则会引起更大的火灾，应使用合适的灭火器扑灭。

6. 实验室急救药箱

为了对实验室内意外事故进行紧急处理，每个实验室应配备一个急救药箱，药箱内可准备下列药品：

紫药水	（饱和）碳酸氢钠溶液	饱和硼酸溶液
獾油或烫伤膏	醋酸溶液（2%）	氨水（5%）
碘酒（3%）	硫酸铜溶液（5%）	高锰酸钾晶体（需要时再配成溶液）
消炎粉	氯化铁溶液（止血剂）	甘油
凡士林	消毒棉	氧化锌橡皮膏
绷带	棉签	剪刀
纱布	创可贴	

三、实验室“三废”的处理

根据绿色化学的基本原则，化学实验室应尽可能选择对环境无毒害的实验项目。对确实无法避免的实验项目，如排放出废气、废液和废渣（这些废弃物又称“三废”），如果对其不加处理而任意排放，不仅污染周围空气、水源和环境，造成公害，而且“三废”中的有用或贵重成分未能回收，在经济上也是个损失。因此化学实验室“三废”的处理是很重要且有意义的问题。

化学实验室的环境保护应该规范化、制度化，应对每次产生的废气、废液和废渣进行处理。应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、回收循环利用等方法进行处理。

1. 实验室的废气

实验室中凡可能产生有害废气的操作都应在有通风装置的条件下进行，如加热酸、碱溶液及产生少量有毒气体的实验等应在通风橱内进行。汞的操作室必须有良好的全室通风装置，其抽风口通常在墙的下部。实验室若排放毒性大且较多的气体，可参考工业上废气处理的办法，在排放废气之前，采用吸附、吸收、氧化、分解等方法进行预处理。

2. 实验室的废液

① 化学实验室产生的废弃物很多，但以废溶液为主。实验室产生的废溶液种类繁多而且组成变化大，应根据溶液的性质分别处理。废酸液可先用耐酸塑料网纱或玻璃纤维过滤、滤液加碱中和，调 pH 值至 6~8 后才可排出，少量滤渣可埋于地下。

② 废洗液可用高锰酸钾氧化法使其再生后使用。少量的废洗液可加废碱液或石灰使

其生成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀，将沉淀埋于地下。

③ 氰化物是剧毒物质，少量的含氰废液可先加 NaOH 调至 $\text{pH} > 10$ ，再加入高锰酸钾使 CN^- 氧化分解。

④ 含汞盐的废液先调 pH 值至 $8 \sim 10$ ，然后加入过量的 Na_2S ，使其生成 HgS 沉淀，并加 FeSO_4 与过量 S^{2-} 生成 FeS 沉淀，从而吸附 HgS 共沉淀下来并离心分离，清液含汞量降到 $0.02\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下可排放。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内进行。

⑤ 含重金属离子的废液，最有效和最经济的方法是加碱或加 Na_2S 把重金属离子变成难溶性的氢氧化物或硫化物而沉积下来，过滤后，残渣可埋于地下。

3. 实验室的废渣

实验室产生的有害固体废渣虽然不多，但绝不能将其与生活垃圾混倒。固体废弃物经回收、提取有用物质后，方可对其做最终的安全处理。

① 化学稳定 对于少量高危险性物质（如放射性废弃物等），可将其通过物理或化学的方法进行（玻璃、水泥、岩石的）固化，再进行深地填埋。

② 土地填埋 这是许多国家作为固体废弃物最终处置的主要方法。要求被填埋的废弃物应是惰性物质或经微生物分解可成为无害物质。填埋场地应远离水源，场地底土不透水，不能穿入地下水层。填埋场地可改建为公园或草地。因此，这是一项综合性的环境工程技术。

四、实验误差与数据处理

1. 误差

化学是一门实验科学，常常要进行许多定量测定，然后由实验测得的数据经过计算得到分析结果。结果的准确与否是一个很重要的问题。不准确的分析结果往往导致错误的结论。任何一种测量中，无论所用仪器多么精密，测量方法多么完善，测量过程多么精细，测量结果总是不可避免地带有误差。测量过程中，即使是技术非常娴熟的人，用同一种方法，对同一试样进行多次测量，也不可能得到完全一致的结果。这就是说，绝对准确是没有的，误差是客观存在的。实验时应根据实际情况正确测量、记录并处理实验数据，使分析结果达到一定的准确度。

在实验测定中，导致误差产生的原因有许多。根据其性质的不同，可以分为系统误差、偶然误差和过失误差三大类。

(1) 系统误差

系统误差是由分析时某些固定的原因造成的。在同一条件下重复测定时，它会重复出现，其大小和正负往往可以通过实验测定，从而对此加以校正，因此，系统误差又称可测误差。产生系统误差的原因主要有以下几种。

① 方法误差 由于分析方法本身不够完善而引起的误差。例如，滴定分析反应进行不完全、有干扰物质存在、滴定终点与化学计量点不一致以及有其他反应发生等，都会产

生方法误差。

② 仪器或试剂误差 由于测定时所用仪器不够准确而引起的误差称为仪器误差。例如，分析天平砝码生锈或质量不准确、容量器具和仪器刻度不准确等，都会产生此种误差。测定时，所用试剂或蒸馏水中含有微量杂质或干扰物质而引起的误差称为试剂误差。

③ 操作误差 在正常情况下由于主观因素造成的误差。例如滴定管的读数偏高或偏低，操作者对颜色的敏感程度不同造成辨别滴定终点颜色偏深或偏浅等。

(2) 偶然误差

偶然误差又称随机误差，是由一些难以预料的偶然外因引起的，如分析测定中环境的温度、湿度、气压的微小变动以及电压和仪器性能的微小改变等都会引起测定数据的波动而产生随机误差。它的数值的大小、正负都难以控制，但服从统计规律，即大随机误差出现的概率小，小随机误差出现的概率大，绝对值相同的正、负随机误差出现的概率大体相等，它们之间常能相互完全或部分抵消。所以随机误差不能通过校正的方法来减小或消除，但可通过增加平行测定次数来减小测量结果的随机误差。在消除系统误差的前提下，用多次测定结果的平均值代替真实值，就保证了结果的准确。

(3) 过失误差

过失误差是由于分析人员的粗心大意或不按操作规程操作而产生的误差。如看错砝码、读错刻度、加错试剂，以及记录和计算出错等。这类误差一般无规律可循，只有认真仔细、严谨工作、加强责任心、提高操作水平，才可避免过失误差。在分析工作中，遇到此类明显错误的测定数据，应坚决弃去。

2. 准确度与精密度

绝对准确的实验结果是无法得到的。准确度表示实验结果与真实值接近的程度。精密度表示在相同条件下，对同一样品平行测定几次，各次分析结果相互接近的程度。如果几次测定结果数值比较接近，说明测定结果的精密度高。

精密度高不一定准确度高。例如甲、乙、丙 3 人，同时分析测定一瓶盐酸溶液的浓度（应为 0.1108），测定 3 次的结果如下：

甲	$\begin{cases} 0.1122 \\ 0.1121 \\ 0.1123 \end{cases}$	乙	$\begin{cases} 0.1121 \\ 0.1100 \\ 0.1142 \end{cases}$	丙	$\begin{cases} 0.1106 \\ 0.1107 \\ 0.1105 \end{cases}$
平均值：	0.1122		0.1121		0.1106
真实值：	0.1108		0.1108		0.1108
差 值：	0.0014		0.0013		0.0002
	精密度好		精密度差		精密度好
	准确度差		准确度差		准确度好

从上例可以看出，精密度高不一定准确度高，而准确度高一定要精密度高，否则，测得的数据相差很多，根本不可信，这样的结果无法讨论准确度。

由于实际上真实值不知道，通常是进行多次平行分析，求得其算术平均值，以此作为

真实值，或者以公认的手册上的数据作为真实值。

准确度的高低用差（ E ）表示：

$$E = \text{测定值} - \text{真实值}$$

当测定值大于真实值，误差为正值，表示测定结果偏高；反之，为负值，表示测定结果偏低。

误差可用绝对误差和相对误差来表示。绝对误差表示测定值与真实值之差，相对误差是指误差在真实值中所占的百分率。例如，上述丙测定盐酸的误差为：

$$\text{绝对误差} = 0.1106 - 0.1108 = -0.0002$$

$$\text{相对误差} = \frac{-0.0002}{0.1108} = -0.2\%$$

偏差用来衡量所得分析结果的精密度。单次测定结果的偏差（ d ），用该测定值（ x ）与其算术平均值（ $\bar{x}$ ）之间的差来表示，也分为绝对偏差和相对偏差；

$$\text{绝对偏差 } d = x - \bar{x}$$

$$\text{相对偏差} = \frac{d}{x} \times 100\%$$

为了说明分析结果的精密度，可用平均偏差 $\bar{d}$ 和相对平均偏差表示，

$$\bar{d} = \frac{|d_1| + |d_2| + \cdots + |d_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

$$\text{相对平均偏差} = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\%$$

d_i 称 i 次测量值的偏差（ $d_i = x_i - \bar{x}$ ， $i = 1, 2, \cdots, n$ ）。

用数理统计方法处理数据时，常用标准偏差 S 和相对标准偏差 S_r 来衡量精密度。

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

$$S_r = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%$$

3. 有效数字

(1) 有效数字的概念

有效数字是指在科学实验中实际能测量到的数字，在这个数字中，最后一位数是“可疑数字”（也是有效的），其余各位都是准确的。

有效数字与数学上的数字含义不同。它不仅表示量的大小，还表示测量结果的可靠程度，反映所用仪器和实验方法的准确度。

例如，称取 $K_2Cr_2O_7$ 8.4g，有效数字为两位，这不仅说明 $K_2Cr_2O_7$ 的质量是 8.4g，而且表明用精密度为 0.1g 的台秤称量就可以了。若需称取 $K_2Cr_2O_7$ 8.4000g，则必须在