

全国高等医药院校教材

QUANGUO GAODENG YIYAO YUANXIAO JIAOCAI

大学实验化学

DAXUE SHIYANHUAXUE

(供基础医学、预防医学、临床医学、
医学检验、药学及相关专业使用)

主编 沈雪松 仇佩虹



 中国医药科技出版社

全国高等医药院校教材

大学实验化学

(供基础医学、预防医学、临床医学、医学检验、药学及相关专业使用)

主 编	沈雪松	仇佩虹		
副主编	秦雪莲	秦秀英	顾生玖	王金英
编 者	(以姓氏笔画为序)			
	马献力	王金英	仇佩虹	白先群
	刘汉甫	李寿芬	李 燕	李芳耀
	吴文娟	陈素一	辛 懋	沈雪松
	林家逊	罗朝晖	秦雪莲	秦秀英
	桂劲松	顾生玖	黄丽芳	黄 晓
	黄耀峰	黄锁义	蒋东丽	蒋彩娜
	谢文娟			



中国医药科技出版社

内 容 提 要

《大学实验化学》共10章,前2章介绍了化学实验的常规知识、基本操作与技术,后8章是化学基础实验、制备实验、化学平衡实验、物质与性质鉴定实验、物质含量测定实验、物理与化学参数测定实验、综合性实验、设计性实验、具体包括77个实验。本教材将“四大化学”实验的实验内容和实验方法,密切结合医药专业的应用需要,科学整合,根据各学科的内在规律和联系,独立成一门新体系的课程。

本教材可作为高等院校医药专业及化学、化工、材料、轻工、食品、冶金、生物工程等专业的化学实验教材,也可供从事化学实验室工作或化学研究工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学实验化学/沈雪松,仇佩虹主编. —北京:中国医药科技出版社,2010.9

全国高等医药院校教材

ISBN 978 - 7 - 5067 - 4726 - 4

I. ①大… II. ①沈… ②仇… III. ①化学实验 - 医院学校 - 教材 IV. ①06 - 3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第157590号

美术编辑 陈君杞

版式设计 郭小平

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲22号

邮编 100082

电话 发行:010-62227427 邮购:010-62236938

网址 [www: cmstp. com](http://www.cmstp.com)

规格 787 × 1092mm ¹/₁₆

印张 21

字数 478千字

版次 2010年9月第1版

印次 2010年9月第1次印刷

印刷 廊坊市华北石油华星印务有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978 - 7 - 5067 - 4726 - 4

定价 39.00元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

前言

化学作为医药专业人才培养的先行学科、基础学科，化学实验教学在创新人才培养方面占有十分重要的地位，本教材根据应用型医药人才培养目标以及对化学知识的基本要求，调整实验课程结构，重点加强学生基本操作和基本技能的训练，加强动手、动脑的能力训练。

本教材将“四大化学”实验的基本操作技能训练、合成制备、性质鉴定与含量测定等实验内容和各种实验方法密切结合医药专业的应用需要，科学整合，优化教学资源，精选、整合为一个整体。内含四个层次：化学基本技能实验、化学基本方法实验、综合性实验、设计性实验。根据各学科的内在规律和联系，独立形成一门新体系的大学实验化学课程。

该教材具有先进性、科学性和教育教学的适用性。可作为高等院校医药专业及化学、化工、材料、轻工、食品、冶金、生物工程等专业的化学实验教材，也可供从事化学实验室工作或化学研究工作的人员参考。

本教材主要包括如下内容。

1. 化学实验基础知识与基本操作、常用测量仪器的使用及实验结果的表示与处理等内容的介绍。
2. 基本操作实验。着重对学生进行简单的玻璃加工、称量、试剂的取用、溶液的配制、固体的溶解、固液分离、蒸发、结晶的基本实验技能的训练。
3. 基本化学原理实验。旨在通过实验加深学生对化学基本理论（化学热力学、化学动力学及酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡、配位平衡等）的理解、掌握和运用。
4. 重要元素及化合物性质实验。对主要化合物的性质和变化规律进行学习、巩固和验证。
5. 综合性实验。注重理论与实际的结合，将化学理论和化学实验的基本原理和操作技术在实验的过程中加以综合应用。
6. 设计性实验。具有以下几方面的特色。
 - (1) 加强基础知识、基本操作和基本技能的训练，为进一步学习打下坚实的基础。
 - (2) 实验内容由浅入深、由基础到综合，循序渐进，符合学生认知学习规律。
 - (3) 给出设计提示，引导学生在给定的药品和仪器规格、数量基础上，自行设计方案。促使学生由被动学习到主动求知，既有效地利用了实验室现有的条件，考虑到学生对化学专业知识掌握的程度，又使学生的综合实践能力得到了强化训练。

2 大学实验化学

Da Xue Shi Yan Hua Xue

(4) 利用化学教研室的科研项目,编写相关的研究性实验,有些可作为开放实验,便于学生了解科学研究的方法,扩大知识面,有助于其科学思维的培养和创新能力的训练。

本教材由沈雪松教授、仇佩虹教授担任主编,负责全书的策划、编排和审定,秦雪莲、秦秀英、顾生玖、王金英参与主编,全书的统稿、复核由秦雪莲负责。参与教材编写工作的有秦雪莲、秦秀英、李寿芬、顾生玖、黄耀峰、黄丽芳、黄晓、黄锁义、吴文娟、李芳耀、刘汉甫、蒋东丽、李燕、罗朝晖、白先群、陈素一、辛懋、马献力、林家逊、谢文娟等。编者以桂林医学院药学院化学教研室的教师为主体,其中外校编者有:仇佩虹教授(温州医学院)、吴文娟教授(广东药学院)、王金英教授(牡丹江医学院)、黄锁义教授(右江医学院)。桂林医学院药学院化学教研室同仁为《大学实验化学》编写提供大量的帮助,中国医药科技出版社为《大学实验化学》的编辑出版做了大量的工作,在此谨向他们致以诚挚的谢意。

《大学实验化学》编写时也参考了兄弟院校的教材和公开出版的书刊及互联网上的相关内容,在此对相关的作者和出版社表示衷心的感谢。

《大学实验化学》是广西高校“十一五”优秀教材立项项目,同时吸收借鉴了多年来各级教学与改革研究成果。在此对资助方的大力支持表示衷心的感谢。

由于时间紧迫、水平有限,书中难免有不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编者

2010年7月

目 录

第一章 化学实验的常规知识	(1)
第一节 实验室规则	(1)
第二节 实验室的安全知识	(1)
第三节 实验的预习、记录和实验报告	(4)
第四节 误差分析与实验数据处理	(6)
第五节 化学实验常用仪器	(13)
第二章 基本操作与技术	(33)
第一节 玻璃仪器的洗涤与干燥	(33)
第二节 试剂及其取用	(34)
第三节 称 量	(40)
第四节 基本技术	(43)
第三章 化学基础实验	(100)
实验一 化学实验基本操作训练	(100)
实验二 分析天平的称量练习与溶液配制	(114)
实验三 滴定分析操作练习	(120)
实验四 简单玻璃工操作及塞子的配置和钻孔	(122)
第四章 制备实验	(128)
实验五 盐类的制备	(128)
实验六 无水乙醇的制备	(131)
实验七 1-溴丁烷的制备	(132)
实验八 正丁醚的制备	(134)
实验九 苯乙酮的制备	(135)
实验十 乙酰苯胺的制备	(137)
实验十一 乙酸乙酯的制备	(139)
实验十二 乙酰水杨酸的制备	(140)
实验十三 有机物的提取与纯化	(142)

第五章 化学平衡实验	(147)
实验十四 沉淀溶解平衡	(147)
实验十五 酸碱平衡	(149)
实验十六 氧化还原平衡	(151)
第六章 物质与性质鉴定实验	(154)
实验十七 元素性质实验	(154)
实验十八 过渡金属实验	(159)
实验十九 烯、炔的鉴定	(170)
实验二十 卤代烃的鉴定	(171)
实验二十一 醇的鉴定	(172)
实验二十二 酚的鉴定	(173)
实验二十三 醛和酮的鉴定	(174)
实验二十四 胺的鉴定	(177)
第七章 物质含量测定实验	(180)
实验二十五 酸碱滴定实验	(180)
实验二十六 配位滴定实验	(186)
实验二十七 氧化还原滴定实验	(190)
实验二十八 沉淀滴定实验	(197)
实验二十九 电位法实验	(200)
实验三十 永停滴定法实验	(205)
实验三十一 紫外-可见分光光度法实验	(207)
实验三十二 荧光分光光度法实验	(210)
实验三十三 原子吸收分光光度法实验	(212)
实验三十四 红外分光光度法实验	(215)
实验三十五 核磁共振波谱法实验	(216)
实验三十六 色谱法实验	(217)
第八章 物理与化学参数测定实验	(227)
实验三十七 熔点的测定	(227)
实验三十八 微量法测定沸点	(229)
实验三十九 醋酸电离常数的测定	(230)
实验四十 溶度积常数的测定	(231)
实验四十一 银氨配离子配位数及稳定常数的测定	(233)
实验四十二 凝固点降低法测定葡萄糖相对分子质量	(235)
实验四十三 燃烧热的测定	(237)
实验四十四 溶解热曲线的测定	(240)

实验四十五	反应平衡常数的测定	(244)
实验四十六	液体饱和蒸气压的测定	(246)
实验四十七	环己烷-乙醇双液体系相图的绘制	(249)
实验四十八	三元液-液体系相图的绘制	(251)
实验四十九	电导法测定弱电解质的解离常数和难溶盐的溶解度	(253)
实验五十	电动势法测定化学反应的热力学函数	(256)
实验五十一	一级反应速率常数的测定	(258)
实验五十二	乙酸乙酯皂化反应速率常数及活化能的测定	(264)
实验五十三	最大泡压法测定溶液的表面张力	(267)
实验五十四	电导法测定临界胶团浓度	(270)
实验五十五	固体在溶液中的吸附	(272)
实验五十六	溶胶的制备及性质实验	(274)
实验五十七	黏度法测定大分子的平均相对分子质量	(277)
第九章 综合性实验		(281)
实验五十八	药用氯化钠的制备和药检	(281)
实验五十九	葡萄糖酸锌的制备及含量测定	(285)
实验六十	六水合三氯化六氨合钴(Ⅲ)的制备及组成测定	(287)
实验六十一	硫代硫酸钠的制备及检验	(289)
实验六十二	水质分析中常规指标的测定	(291)
实验六十三	纳米氧化锌的制备及抗菌性能	(293)
实验六十四	纳米羟基磷灰石的制备及表征	(296)
第十章 设计性实验		(298)
实验六十五	硫酸亚铁铵的制备	(298)
实验六十六	由废铁屑制备三氯化铁	(299)
实验六十七	有机酸的相对分子质量测定	(300)
实验六十八	鸡蛋壳中 Ca、Mg 总量的测定	(301)
实验六十九	药物稳定性及有效期测定	(301)
实验七十	二组分合金体系相图的绘制	(302)
实验七十一	差热分析	(303)
实验七十二	电池电动势的测定	(304)
实验七十三	凝固点法测定尿素的相对分子质量	(305)
实验七十四	左布比卡因	(305)
实验七十五	固体药物常规理化常数的测定	(306)
实验七十六	三草酸根合铁(Ⅲ)酸钾的制备及其 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 含量测定	(307)
实验七十七	氨基酸的纸层析	(308)

4 大学实验化学

Da Xue Shi Yan Hua Xue

附 录	(310)
附录一 元素相对原子质量表	(310)
附录二 常用试剂的配制	(313)
附录三 常用指示剂及其配制	(315)
附录四 常用的缓冲溶液及洗涤剂	(318)
附录五 常用的物理和化学数据表	(319)

第一章 化学实验的常规知识

第一节 实验室规则

(1) 实验前应认真预习实验内容，了解实验目的、基本原理、实验操作步骤、实验装置和所用试剂的属性，并写出预习报告。

(2) 实验室严禁吸烟、进餐，不得穿背心、拖鞋进实验室，保持实验室的安静，不准大声喧哗。

(3) 实验过程中要遵从老师的指导，严格遵守操作规程，仔细观察实验现象，如实记录、认真思考和分析问题。不得擅自离开实验室。

(4) 公用仪器、试剂在指定地方使用，用完立即放回原处。节约使用试剂和物品。损坏仪器应及时报告和补充，并按规定补偿。

(5) 熟悉实验室的安全设备，掌握灭火器的使用方法以及试剂中毒急救的相关知识。

(6) 保持实验室整洁卫生，实验仪器摆放整齐有序，以免碰撞损坏。废纸、火柴棒、沸石、玻璃等固体物质投入废物桶中，不得倒入水槽，以免堵塞。废酸、废碱倒入废液桶中，实验产生的废液倒入指定的回收瓶统一处理。

(7) 实验结束，将仪器洗净放好，做好实验桌的清洁卫生，严禁将实验室的任何物品带出实验室。

(8) 值日生负责做好实验室的清洁卫生，离开实验室前要关水、关电、关窗。

第二节 实验室的安全知识

一、实验室安全守则

在化学实验中，常常会遇到一些易燃、易爆、有腐蚀性和有毒性的化学药品，所以必须十分重视安全问题，绝不能麻痹大意。在实验前应充分了解每次实验中的安全问题和注意事项，实验过程中要集中精力、严格遵守操作规程和安全守则，这样，才

能避免事故的发生；万一发生了事故，要立即紧急处理。实验室安全守则如下。

(1) 绝对禁止在实验室内饮食、吸烟、打闹。

(2) 一切易燃、易爆物质的操作都要在远离火源的地方进行。

(3) 有毒、有刺激性的气体的操作都要在通风橱内进行。当需要借助于嗅觉判别少量的气体时，绝不能用鼻子直接对着瓶口或试管口嗅闻气体，而应当用手轻轻煽动少量气体进行嗅闻。不允许用手直接取固体药品。

(4) 加热、浓缩液体的操作要十分小心，不能俯视正在加热的液体；加热试管时，不能将试管口对着自己或别人。浓缩液体时，特别是有晶体出现之后，要不停地搅拌，不能离开，应尽可能戴上防护眼镜。

(5) 有毒的药品（如铬盐、钡盐、铅盐、砷的化合物、汞及汞的化合物、氰化物等）严格防止进入口内和接触伤口。剩余的药品或废液不许倒入下水道，应回收集中处理。

(6) 使用具有强腐蚀性的浓酸、浓碱、洗液时，应避免接触皮肤和溅在衣服上，更要注意保护眼睛，必要时可戴上防护眼镜。

(7) 禁止任意混合各种试剂和药品。

(8) 实验室所有仪器、药品不得带出室外。

(9) 水、电、煤气使用完毕应立即关闭。

(10) 实验结束后，应洗净双手才能离开实验室。

二、防火、防爆与急救

如果在实验过程中发生意外事故，可以采取如下救护措施。

涉及有机物的实验，使用的溶剂大多是易燃易挥发的，有些药品甚至是有爆炸性的，因而着火是有机实验室常见的事故之一，此外，当空气中混杂的易燃溶剂蒸气的浓度在它的爆炸体积范围之内，一有明火或火星就会立即爆炸。预防的基本原则如下。

(1) 勿将易燃易挥发溶剂放在敞开容器（如烧杯）中，盛放易燃有机溶剂的容器要妥善保管，不得靠近火源。数量较大的易燃有机溶剂应放在危险药品柜内。

(2) 加热易燃溶剂时不能采用明火加热，应采用间接的加热方法，如水浴、油浴或沙浴等。为避免蒸汽的挥发，还应根据情况选用空气冷凝管或水冷凝管，冷凝水应保持畅通，否则大量有机溶剂来不及冷凝而逸出会造成火灾。

(3) 不得把易燃有机溶剂倒入废物缸中，要专门回收，以免引起下水道着火。

(4) 使用易燃、易爆气体（如氢气）时要保持空气通畅，严禁明火，并防止一切火星的产生，如敲击、摩擦、电器开关等。

(5) 常压操作时，要使实验装置和大气有相通之处，切忌组成密闭体系。减压蒸馏时，应使用圆底烧瓶或吸滤瓶作接受器，不可用锥形瓶或平底烧瓶，否则会发生炸裂。

(6) 某些类型的有机化合物如金属炔化物、过氧化物、干燥的重氮盐、硝酸酯、多硝基化合物等，具有爆炸性，须严格按照操作规程进行实验，防止蒸干或碰撞。

(7) 防止煤气泄露。要经常检查煤气管道和阀门是否漏气。

若不小心发生火灾,切勿惊慌失措,要沉着应对,立即关闭煤气和电源,并采取各种相应措施,把损失降低到最小程度。

如地面或桌面着火,且火势较小时,用湿抹布或沙子扑灭,火势大时用灭火器。如反应瓶着火,可用石棉板或湿布盖住瓶口,火即刻熄灭。如油类着火,要用沙子或灭火器灭火。如电器着火,应切断电源,然后用四氯化碳灭火器灭火。如衣服着火,切勿奔跑,用厚外衣或防火毯裹紧使之熄灭;较严重者应躺在地上打滚并用防火毯紧紧裹住使之熄灭,或用水扑灭。

常用的灭火器有二氧化碳、四氯化碳和泡沫灭火器。

二氧化碳灭火器:是实验室中最常见的一种灭火器。钢瓶内贮放压缩的二氧化碳。使用时要一手提灭火器,另一手握在喷二氧化碳的喇叭筒的把手上(不能手握喇叭筒,因二氧化碳喷出时压力骤降,温度随之骤降,手若握在喇叭筒上易被冻伤),打开开关,二氧化碳气体即会喷出。

泡沫灭火器:其内部分别装有含发泡剂的碳酸氢钠溶液和硫酸铝溶液。使用时将筒身颠倒,大量二氧化碳泡沫喷出。这种灭火器一经使用,就要将筒内容物喷完才能放正,非大火一般不用泡沫灭火器。因泡沫能导电,不能用于电器的灭火。

四氯化碳灭火器:用于扑灭电器着火,四氯化碳有毒,使用时要保持通风,以防中毒。

水不能用于扑灭油浴和有机溶剂着火,泼水后火势更易蔓延。

三、防毒与中毒处理

化学试剂大多数具有不同程度的毒性,产生中毒的根本原因是接触或吸入有毒试剂。要避免中毒,在使用有毒化学试剂时应做到以下几点。

(1) 有毒试剂的存放要专人负责,妥善保管,不准乱放。使用有毒试剂者必须遵守操作规程,实验后的有毒残渣必须做妥善有效的处理,不准乱丢,使用过的器皿应及时清洗。

(2) 勿让有毒试剂接触五官或伤口。有些有毒物会通过皮肤渗入体内,因此在使用这类物质时应戴橡皮手套,操作后立即洗手。

(3) 使用有毒试剂或在反应过程中可能产生有毒或有腐蚀气体的实验,应在通风柜中进行。避免过多吸入有毒蒸气。

万一发生中毒事故,应根据情况作如下处理。

(1) 一般试剂溅到皮肤上,用大量的水冲洗。

(2) 有毒试剂溅入口中而未吞咽的,用大量的水冲洗口腔;若吞服,用大量水冲洗口腔,然后根据有毒物品的性质服用解毒剂,严重者应立即送往医院。

(3) 对于腐蚀性物品中毒的,若为强酸,先饮用大量的水,然后再服用氢氧化铝、鸡蛋白、牛奶;若为强碱,先饮用大量的水,然后服用醋、鸡蛋白、牛奶。

(4) 对于刺激性或神经性中毒的,先服用牛奶或鸡蛋白使之冲淡缓和,再服硫酸镁催吐,有时也可用手指伸入喉部促使呕吐,然后立即送往医院。

(5) 对于气体中毒的,应立即将中毒者移至室外,解开衣领及钮扣,必要时做

人工呼吸并急送医院。

四、其他事故的预防与急救

(1) 实验室中应防止触电事故的发生,使用者必须检查插头接线是否完好,电线有否磨损,负荷是否恰当,不能用湿手或手握湿物接触电插头。

触电急救:立即关闭电源或用不导电物使触电者脱离电源,然后对触电者进行人工呼吸并急送医院抢救。

(2) 玻璃割伤是化学实验室中常见事故之一。防止打碎玻璃器皿和折断温度计,因为在处理碎玻璃时最易被割伤。在切割玻管玻棒时,若未锉好即行折断也易被割伤,断面锋利,要烧熔平光。

割伤处理:小心取出伤口中的玻璃碎屑,挤出污血,用蒸馏水洗伤口后涂上碘酒和红药水,用消毒绷带扎好。大伤口则应先按紧主血管以防止大量出血,并急送医院。

(3) 试剂灼伤的处理视情况而定。

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,轻轻拭干后涂烫伤油膏。

碱:立即用大量水洗,再以2%醋酸洗,最后用水洗;严重时也要消毒,轻轻拭干后涂烫伤油膏。

钠:可见小块用镊子移去,其余与碱灼伤处理相同。

溴:立即用大量水洗,再用乙醇擦至无溴液存在为止,然后涂上甘油或烫伤油膏。

(4) 烫伤:皮肤接触热的火焰或物体,极易烫伤,在实验过程中应避免接触。若发生烫伤,轻者涂烫伤膏,严重者立即送往医院救治。

第三节 实验的预习、记录和实验报告

一、实验预习

(1) 实验前,应认真阅读实验教材及相关的参考书目和文献资料,明确实验目的和要求,掌握实验原理和方法。

(2) 了解仪器的结构和操作规程,明确实验的内容和操作步骤。

(3) 根据对实验的理解,用简明扼要的方式写出预习报告,重点表述对实验原理和实验方法的理解,特别是实验操作步骤及操作过程中要注意的问题,并设计好记录原始数据的图表。

二、实验与记录

1. 严格、规范操作

(1) 进入实验室后,首先检查仪器和试剂是否符合要求,并做好实验的各项准

备工作。

(2) 在不了解仪器使用方法之前,不得擅自使用和拆卸仪器。仪器和线路安装或连接好后,须经教师检查无误后方能接通电源开始实验。

(3) 在教师指导下,严格按操作规程进行操作,不得随意更改。

2. 仔细观察实验现象,如实、准确地记录实验数据。要善于发现和解决实验中出现的问题。

3. 实验结束后,应将实验数据交指导教师审阅通过后,方能拆除实验装置。若不合格,则需重做或补做。

4. 严格遵守实验室各项规则,保持实验室安静和整洁,尊重教师的指导。

三、实验报告

1. 实验后必须及时、认真地完成实验报告。实验报告必须独立完成,同一小组成员不得合写一份报告。实验报告要格式规范、内容完整、文字简练、表达清晰、结论明确。

2. 实验报告不仅是概括实验过程和总结实验结果的重要的文献性资料,也是提高学生思维能力、专业能力和初步科研能力的重要的训练环节,希望能高度重视。

3. 实验报告案例

(1) 案例 1

实验名称_____			
姓名_____	学号_____	班级_____	日期_____ 室温_____ 大气压_____
实验目的			
实验原理			
实验内容	实验步骤与现象		实验现象解析
实验总结			
备注			

(2) 案例 2

实验名称_____			
姓名_____	学号_____	班级_____	日期_____
一、实验目的			
二、实验原理			
三、主要试剂及产物的物理常数			
四、实验装置图			
五、实验步骤			
六、数据或现象的记录及处理			
七、讨论			

同学应对观察到的现象与结果进行讨论,分析自己在实验中存在的问题或对实验提出改进意见。

(3) 案例 3

实验名称 _____

姓名 _____ 学号 _____ 班级 _____ 日期 _____

一、实验目的

二、实验原理（简述）

三、实验内容

选用最简明扼要的方式表达每一项实验内容的操作步骤。

四、实验现象或实验数据

五、实验结论、解释或实验数据处理、计算结果

六、实验讨论

包括对实验中遇到的异常现象或问题的说明，分析误差的原因，并对该实验提出进一步的修改建议或意见。

七、思考题

第四节 误差分析与实验数据处理

一、误差理论和有效数字

在测量实验中，测量值和真实值不可能完全一致，其差值称为误差。分析测量结果的准确性和产生误差的主要原因，寻找减少误差的有效措施，可以提高测量结果的准确性。

（一）误差的分类

1. 系统误差 在同一条件下对同一量进行多次测量时，误差的符号保持恒定（即多次测量中均出现正误差或负误差，具有单一方向性），其数值按某一确定的规律变化，这种误差称为系统误差。

系统误差不能依靠增加实验的次数使之消除，但可以通过改进实验方法、校正仪器、提高试剂纯度等，有针对性地使之减少到最小程度。

2. 偶然误差 偶然误差通常由一些不确定的因素所引起。从单次测量值看，误差的绝对值和符号的变化时大时小、时正时负，呈现随机性，但是其多次测量的结果服从概率统计规律，可采用多次测量取算术平均值的方法来减小偶然误差对测量结果的影响，使测得结果接近真实值。

3. 过失误差 过失误差是一种与事实不符的误差，是由于工作粗心大意、操作不正确引起的。例如读错刻度值，看错砝码，加错试剂，记录错误，计算错误等。此种误差只要加强责任心，工作认真细致即可避免。

（二）准确度与精密度

准确度是指测量值与真实值符合的程度。若实验的准确度高，说明测量值与真实值之间的差值小。精密度是指测量中所测数据重复性的好坏。若所测数据重复性好，说明此实验结果的精密度高。

在分析测定过程中, 由于存在误差且误差会传递, 因而直接影响分析结果的精密度和准确度。系统误差仅影响分析结果的准确度, 而偶然误差既影响精密度, 也影响准确度。

评价分析结果应先看精密度再看准确度。但是, 精密度高, 准确度不一定高; 而高准确度的数据却要足够的精密度来保证。因此, 只有精密度、准确度都高的数值, 才是可取的。

(三) 实验误差的表示

表示实验误差的方法很多, 下面介绍常用的几种。

1. 算术平均值与平均误差 在任何测量中, 偶然误差总是存在, 所以我们不能以任何一次的观察值作为测量结果。为了使测量结果有较大的可靠性, 常取多次测量的算术平均值。设物理量 A 的每次测量值为 $x_1, x_2, x_3 \cdots x_n$, 共测量 n 次, 其算术平均值 $\bar{x}$ 为:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n} \quad (1-1)$$

测定值与平均值之差称为偏差, 用以衡量精密度的高低。

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x} \quad (1-2)$$

Δx_i 值越小, 测量的精度越高。又因为各次测量误差的数值可正可负, 故需引入平均偏差的概念:

$$\overline{\Delta x} = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3| + \cdots + |\Delta x_n|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (1-3)$$

而相对平均偏差则为:

$$\frac{\overline{\Delta x}}{\bar{x}} = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3| + \cdots + |\Delta x_n|}{n \bar{x}} \times 100\% \quad (1-4)$$

2. 标准偏差 若物理量 A 的个别测量值为 x_i , n 次测量的算术平均值为 $\bar{x}$, 则标准偏差 S 为:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-5)$$

3. 间接测量的误差传递 有些物理量不能直接测量 (如物质的相对分子质量等), 但可通过其他可以测量的数据, 经过数学运算间接得到所需的结果, 称为间接测量。下面讨论间接测量的误差传递。

设直接测量的数据为 x 及 y , 测量误差为 dx 和 dy , 当误差和测量值相比很小时, 可以把它们看作微分 dx 、 dy 。已知物理量 U 是由直接测量的 x 、 y 经过计算而得, 即 U 是 x 、 y 的函数, 写作:

$$U = f(x, y)$$

微分之

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)_x dy \quad (1-6)$$

因此，在运算中，误差 dx 和 dy 将影响最后结果 U ，使其产生 dU 的误差。对于各种运算过程所受影响的规律归纳于表 1-1 中。

表 1-1 各种运算过程所受影响的规律

函数式	绝对误差	相对误差
$U = x + y$	$\pm (dx + dy)$	$\pm \left(\frac{dx}{x} + \frac{dy}{y} \right)$
$U = \frac{x}{y}$	$\pm \left(\frac{xdy + ydx}{y^2} \right)$	$\pm \left(\frac{dx}{x} + \frac{dy}{y} \right)$

例如，用冰点降低法测定相对分子质量时，所用计算公式为：

$$M = \frac{1000k_f \cdot m}{m_0(t_0 - t)} = \frac{1000k_f \cdot m}{m_0 \cdot \theta}$$

式中： k_f 为冰点下降常数； m 为溶质质量； m_0 为溶剂质量； θ 为冰点下降度数； t_0 为溶剂冰点； t 为溶液冰点。由实验测出： $m = (0.3000 \pm 0.0002) \text{ g}$ ， $m_0 = (20.00 \pm 0.02) \text{ g}$ ， $\theta = (0.300 \pm 0.008) ^\circ\text{C}$ ，求相对分子质量的相对误差。

解：根据表 1-1 中误差传递的计算方法，相对分子质量的相对误差为：

$$\begin{aligned} \frac{\Delta M}{M} &= \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta m_0}{m_0} + \frac{\Delta \theta}{\theta} = \frac{0.0002}{0.3000} + \frac{0.02}{20.00} + \frac{0.008}{0.300} \\ &= 7 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-3} + 2.6 \times 10^{-2} \\ &= 0.028 = 2.8\% \end{aligned}$$

从以上计算可知，测量物质的相对分子质量最大相对误差为 2.8%，因此，其误差主要来源于温度的测量，称重并不能增加测量的准确度，所以不必采取过分准确的称量。要想提高测量的准确度，应寻找更精密的测温仪器或选用其他更好的实验方法。

(四) 有效数字

实验所获得的数值，不仅表示某个量的大小，还应反映测量这个量的准确程度。记录和计算测量结果都应与测量的误差相适应，不应超过测量的精确程度，即测量和计算所表示的数字位数，除末位数字为可疑者外，其余各位数从仪器上可直接测得。通常将所有确定的数字和最后不确定数字一起称为有效数字。常用仪器的精度见表 1-2。

表 1-2 常用仪器的精度

仪器名称	仪器的精度	举例	有效数字位数
托盘天平	0.1 g	15.6 g	3 位
1/100 天平	0.01 g	15.61 g	4 位
电光天平	0.0001 g	15.6068 g	6 位
10ml 量筒	0.1 ml	8.5 ml	2 位
100ml 量筒	1 ml	96 ml	2 位
移液管	0.01 ml	25.00 ml	4 位
滴定管	0.01 ml	50.00 ml	4 位
容量瓶	0.01 ml	100.00 ml	5 位