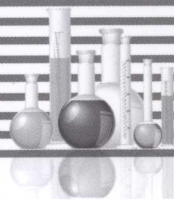




高等学校“十三五”规划教材



基础化学实验

JICHU HUAXUE SHIYAN

孙立平 李保庆 主 编
董 建 陈红余 副主编



化学工业出版社

高等学校“十三五”规划教材

基础化学实验

孙立平 李保庆 主 编
董 建 陈红余 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《基础化学实验》从化学学科的内在规律出发,以化学实验的基本原理、基本方法与基本技能为主线,按照“基本实验—综合性实验—设计性实验”三个层次编写,突出基础性、系统性和整体性。为更加契合医学院校的特点,本书选编实验时注意与医药学专业的联系。本书共 32 个实验项目,可满足医学类学生的实验需求。

本书可作为医学类专业本科生的教材,也可供其它非化学类专业参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

基础化学实验/孙立平,李保庆主编. —北京:化学工业出版社,2016.8

高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-27186-0

I. ①基… II. ①孙…②李… 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(2016)第 120596 号

责任编辑:宋林青

装帧设计:史利平

责任校对:王 静

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:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 9½ 彩插 1 字数 218 千字 2016 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:20.00 元

版权所有 违者必究

《基础化学实验》编写人员

主 编 孙立平 李保庆

副主编 董 建 陈红余

编 者 (以汉语拼音为序)

陈红余 崔建华 董 建 董丽花

江 栋 李保庆 刘晶静 刘振亮

庞现红 孙 红 孙立平 王 腾

王晓鹏 张 倩 朱晓慧

前言

为了适应 21 世纪我国高等医学教育事业的发展和基础化学实验改革的需要,进一步提高高等医学院校基础化学实验的教学水平,我们在总结多年实验教学经验的基础上编写了这本教材。本书可供高等医学院校的临床、口腔、预防、护理等医学类专业的学生使用,也可供从事基础化学实验教学的教师参考。

基础化学是一门实践性很强的学科。通过基础化学实验教学,有利于培养和发展学生对科学知识的学习兴趣和能力;由于实验中手脑并用,感知与思维相结合,理论与实践相结合,可以使学生熟练掌握化学实验的基本操作技能,加深对基础化学基本理论的理解,为学生参加医学科学研究工作打下良好基础。

本教材在编写过程中借鉴当前基础化学实验教学研究的最新成果,结合自身教学实践,以培养学生具有严格严谨、实事求是的科学态度,耐心细致、精益求精的工作作风为基本要求,对教学内容体系进行优化整合。本书从化学学科的内在规律出发,以化学实验的基本原理、基本方法与基本技能为主线,按照“基本实验—综合性实验—设计性实验”三个层次编写,突出基础化学实验教学体系的基础性、系统性和整体性。同时,根据高等医学院校的特点,选编实验时注重与医药学专业的联系。全书分为化学实验基础知识、基本操作实验、基本原理实验、综合性实验和设计性实验等几部分。本书在实验内容的选择上突出基础性,并对一些实验项目进行了微型化探索。

本书由泰山医学院孙立平老师和李保庆老师主编,参编人员有泰山医学院基础化学全体任课老师、基础化学实验室的部分老师、山东师范学院的董丽花老师和泰山学院的刘晶静老师。在编写过程中,参阅了部分已出版的教材和有关著作,从中借鉴了一些有益的内容,在此对有关著作责任者表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,敬请大家提出宝贵意见。

编者

2016 年 4 月

目 录

第一部分 化学实验基础知识	1
一、基础化学实验的教学目的	2
二、基础化学实验的学习方法	2
三、化学实验室安全知识	3
四、实验室“三废”的处理	6
五、实验误差与数据处理	7
六、基础化学实验常用仪器及应用范围	10
七、基础化学实验基本操作	18
八、滴定分析基本操作	32
九、电子天平的使用	35
十、酸度计的使用	37
十一、分光光度计的使用	40
第二部分 基本操作实验	45
实验1 强酸、强碱溶液的配制和相互滴定	46
实验2 酸、碱标准溶液的标定	49
实验3 粗食盐的提纯与检验	52
实验4 硝酸钾的制备与提纯	54
实验5 密度的测定	56
实验6 摩尔气体常数的测定	60
第三部分 基本原理实验	63
实验7 醋酸电离度和电离平衡常数的测定	64
实验8 缓冲溶液的配制与性质	66
实验9 胶体与吸附	69
实验10 化学反应速率和活化能的测定	72
实验11 配位化合物	76
实验12 沉淀溶解平衡	79
实验13 沉淀滴定法测定可溶性氯化物中的氯含量	81

实验 14	氧化还原反应	84
实验 15	分光光度法测 $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 的分裂能	88
实验 16	分光光度法测定铁含量	90
实验 17	EDTA 标准溶液的配制、标定及水的总硬度测定	94
实验 18	$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 中钡含量的测定	97
实验 19	自来水中氯离子含量的测定	99
实验 20	高锰酸钾法测定过氧化氢的含量	101
第四部分 综合性实验		103
实验 21	以铁为原料制备感光液	104
实验 22	混合碱的分析与测定	107
实验 23	胃舒平药片中铝和镁含量的测定	110
实验 24	硫代硫酸钠的标定和维生素 C 片中维生素 C 含量的测定	112
实验 25	漂白粉中有效氯含量的测定	114
实验 26	化学实验中含铬废液的处理	117
第五部分 设计性实验		119
实验 27	三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的组成分析	120
实验 28	鸡蛋壳中钙、镁含量的测定	124
实验 29	茶叶中微量元素的鉴定与定量测定	126
实验 30	阳离子混合液和阴离子混合液的分离鉴定	127
实验 31	TiO_2 纳米材料的制备与表征	129
实验 32	植物中某些元素含量的测定	131
附录		133
附录 1	298.15K 时各种酸的酸常数	134
附录 2	298.15K 时各种碱的碱常数	134
附录 3	一些难溶化合物的溶度积 (298.15K)	135
附录 4	一些还原半反应的标准电极电势 $\varphi^\ominus$ (298.15K)	136
附录 5	金属配合物的稳定常数	137
附录 6	实验室常用酸碱试剂的浓度和相对密度	139
附录 7	常用缓冲溶液的配制	140
附录 8	常见离子和化合物的颜色	140

附录 9 一些物质或基团的相对分子质量	141
附录 10 某些试剂溶液的配制	142
附录 11 酸碱混合指示剂	143
附录 12 常用酸碱指示剂	143
参考文献	144

化学实验是化学学科的重要组成部分，也是化学专业必修的一门基础课程。通过化学实验，可以加深对化学理论知识的理解，培养实验技能和科学思维。化学实验是化学学科的重要组成部分，也是化学专业必修的一门基础课程。通过化学实验，可以加深对化学理论知识的理解，培养实验技能和科学思维。

化学实验是化学学科的重要组成部分，也是化学专业必修的一门基础课程。通过化学实验，可以加深对化学理论知识的理解，培养实验技能和科学思维。化学实验是化学学科的重要组成部分，也是化学专业必修的一门基础课程。通过化学实验，可以加深对化学理论知识的理解，培养实验技能和科学思维。

化学实验是化学学科的重要组成部分，也是化学专业必修的一门基础课程。通过化学实验，可以加深对化学理论知识的理解，培养实验技能和科学思维。化学实验是化学学科的重要组成部分，也是化学专业必修的一门基础课程。通过化学实验，可以加深对化学理论知识的理解，培养实验技能和科学思维。

第一部分

化学实验基础知识

一、基础化学实验的教学目的

基础化学实验是一门实践性基础课程,是医学、药学、生物、化学等相关专业大学生的第一门实验必修课。本课程的主要任务是加强学生化学基础理论、基本知识和基本技能的训练,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。

基础化学实验的研究对象可概括为:以实验为手段来了解基础化学中的重要原理、元素及其化合物的性质、无机化合物的制备、分离纯化及分析鉴定等。通过基础化学实验课,学生应受到以下训练。

① 使课堂中讲授的重要理论和概念得到验证、巩固和充实,并适当地扩大知识面。化学实验不仅能使理论知识具体化、形象化,并且能说明这些理论和规律在应用时的条件、范围和方法,较全面地反映化学研究的复杂性和多样性。

② 培养学生掌握正确的实验操作技能。具有正确规范的操作,才能保证获得准确的数据和结果,从而才能得出正确的结论。因此,化学实验中的基本操作训练具有极其重要的意义。

③ 培养学生独立思考和独立工作的能力。学生通过实验培养灵活运用化学理论知识和方法的能力,提高细致观察和分析实验现象、认真处理实验数据、善于概括归纳总结内在规律的研究素质。学生能够正确运用基础理论知识,指导和处理实验中发现的具体问题。

④ 培养学生科学的工作态度和习惯。科学的工作态度是指实事求是的作风,忠实于所观察到的客观现象。当发现实验现象与理论不符时,应及时检查操作是否正确或所涉及的理论运用是否合适等。科学的工作习惯是指操作正确、观察细致、安排合理等,这些都是做好实验研究工作必备的重要素质。

二、基础化学实验的学习方法

基础化学实验是在教师的正确引导下由学生独立完成的,因此实验效果的优劣与学习态度和学习方法密切相关。对于基础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。这个环节必须足够重视,如果不预习,对实验目的、要求和内容不清楚,不允许进行实验。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、牢记实验中有关注意事项,在此基础上简明、扼要地写出预习报告;预习报告应包括简要的实验目的、实验原理、实验步骤与操作、测量数据记录的表格、定量实验的计算公式等,而且要留有记录实验现象和测量数据的充足位置。

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 以上者禁止进行此

次实验。

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、解决问题，对感性认识作出理性分析，找出正确的实验方法，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，养成把数据准确、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，若发现主观臆造或抄袭者严加查处。

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带教老师。

三、化学实验室安全知识

化学实验室是学习、研究化学问题的重要场所。在实验室中，经常接触到各种化学药品和仪器。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室安全。

1. 基础化学实验守则

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。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桶或其它规定的回收容器中。

⑦ 损坏仪器应填写仪器破损单，并按规定进行赔偿。

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，注意不要洒在皮肤或衣物上，废液应倒入废液缸中，但酸碱不要混合，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能发生爆炸，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。用后要把瓶塞塞紧，放在阴凉的地方，最好放入砂桶内。

⑧ 进行能产生有害气体（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。为了减少汞液面的蒸发，可在汞液面上覆盖化学液体：甘油的效果最好，5% Na_2S 溶液次之，水的效果最差。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收集起来。撒落过汞的地方可以撒上多硫化钙、硫黄粉、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。可溶性汞盐、铬的化合物、氰化物、砷盐、铋盐、镉盐和钡盐都有毒，不得进入口内或接触伤口，其废液也不能倒入下水道，应统一回收处理。

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、强碱以及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。使用有毒化学药品时，除用药匙、量器外，必须戴橡胶手套，实验后马上清洗仪器用具，并立即用肥皂洗手。

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，必须在通风橱中进行。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、吸量管移取液体时，严禁用口吸取，应该用洗耳球吸取。严禁冒险品尝药品试剂，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时，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；对轻微烫伤，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，最后再用水冲洗。如果酸溅入眼内也用此法，只是将碳酸氢钠溶液改用 1% 的浓度，禁用稀氨水。

④ 受碱腐蚀 先用大量水冲洗，再用乙酸 ($20\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) 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易愈合，必须严加防范。凡用溴时都必须预先配制好适量的 20% 的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 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，内服后用手伸入咽喉促使呕吐，吐出毒物，再送医院治疗。

5. 灭火常识

实验室内万一着火，要根据起火原因和火场周围的情况来处理，不要慌张，一般应立即采取以下措施。

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、石棉布或砂土掩盖在着火的物体上；能与水发生剧烈作用的化学药品（如金属钠）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

为了对实验室的意外事故进行紧急处理，每个实验室应配备一个急救药箱，药箱内可准备如表 1-1 所列药品和工具。

表 1-1 急救药箱中药品和工具

紫药水	碳酸氢钠溶液(饱和)	饱和硼酸溶液
獾油或烫伤膏	乙酸溶液(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	

四、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开设对环境无毒害的实验项目。对确实无法避免的实验项目如果排放出废气、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”中的有用或贵重的成分未能回收，在经济上也是个损失。因此化学实验室“三废”的处理问题是很重要而又有意义的问题。

化学实验室的环境保护应该规范化、制度化，应对每次实验产生的废气、废渣和废液进行处理。要求教师和学生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，分别采取中和、吸收、燃烧、回收循环利用等方法来进行处理。

1. 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中进行。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. 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 至 6~8 后就可排出，少量滤渣可埋于地下。

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

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

④ 含汞盐的废液先调 pH 至 8~10，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-} 反应生成 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中进行。

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. 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能经微生物分解成为无害物质。填埋场地应远离水场，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保工程技术。

五、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。在任何一种测量中，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。系统误差产生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它反应发生等，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、严谨地工作和加强责任心、提高操作水平，才可避免过失误差。在分析工作中，遇到这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。

精密度高准确度不一定高。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。

准确度的高低用误差(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：

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

$$\text{相对误差} = \frac{-0.0002}{0.1108} \times 100\% = -0.2\%$$

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；

$$\text{绝对偏差 } d = x - \bar{x}$$

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

为了说明分析结果的精密度，可用平均偏差和相对平均偏差表示：

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

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

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

用数理统计方法处理数据时，常用样本的标准偏差 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，需称取 $K_2Cr_2O_7$ 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 的台秤称量即可。若需称取 $K_2Cr_2O_7$ 8.4000g，则必须在精密度为 0.0001 的分析天平上称量。

所以，记录数据时不能随便写。任何超越或低于仪器准确限度的有效数字的数值都是不恰当的。

“0”在数字中的位置不同，其含义是不同的，有时算作有效数字，有时则不算。

① “0”在第一个非零数字前，仅起定位作用，本身不算有效数字。如 0.0124，数字“1”前面的两个“0”都不算有效数字，该数是三位有效数字。

② “0”在非零数字中间，算有效数字。如 4.006 中的两个“0”都是有效数字，该数是四位有效数字。

③ “0”在非零数字后，也算有效数字。如 0.0350 中，“5”后面的“0”是有效数字，该数是三位有效数字。

④ 以“0”结尾的正整数，有效数字位数不定。如 2500，其有效数字位数可能是两位、三位甚至是四位。这种情况应根据实际改写成科学记数法，如 2.5×10^3 （两位有效数字），或 2.50×10^3 （三位有效数字）等。

⑤ 对数尾数的有效数字与其真数的有效数字位数相同。如 $pH = 10.20$ ，其有效数字位数为两位，这是因为由 $[H^+] = 6.3 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 得来。