



中国科学院教材建设专家委员会规划教材
全国高等院校医学实验教学规划教材

无机化学实验

主 编 陆家政



科学出版社

中国科学院教材建设专家委员会规划教材
全国高等院校医学实验教学规划教材

无机化学实验

主 编 陆家政

副主编 李雪华 赵 平

编 委 (按姓氏笔画排序)

石松利	包头医学院	苟宝迪	北京大学医学部
叶建涛	中山大学	范荣华	沈阳医学院
由丽梅	牡丹江医学院	周昊霏	内蒙古医科大学
李 容	右江民族医学院	赵 平	广东药科大学
李君君	广东药科大学	赵力民	广东药科大学
李雪华	广西医科大学	施伟梅	赣南医学院
李福森	广西医科大学	姚华刚	广东药科大学
杨小丽	长治医学院	姚秀琼	广东药科大学
何 娟	广东药科大学	徐恒瑰	大连医科大学
何丽新	广东药科大学	黄 静	广西医科大学
张丽萍	山西医科大学	蒋 京	广东药科大学
陆家政	广东药科大学	曾宪栋	广东药科大学
陈 菲	广东药科大学	曾琦华	广东药科大学
陈志琼	重庆医科大学	管小艳	广东药科大学
陈思羽	石河子大学		

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书为《无机化学》(案例版)的配套实验教材,主要作为高等院校无机化学实验课程教材使用。本书内容包括三个部分:第一部分(第一章)为无机化学实验基础知识,主要介绍无机化学实验的目的,化学实验室规则、安全守则和意外事故的处理,实验室“三废”物质的处理,实验数据处理,化学实验常用仪器和基本操作;第二部分(第二至第五章)选编了基础无机化学实验、重要元素及其化合物性质验证性实验、无机化合物制备实验和综合及设计型实验共29个实验;第三部分为附录,主要收录了国际单位制的基本单位、常见酸碱溶液的相对密度和浓度、我国化学试剂的等级和常用酸碱指示剂等。

本书可供高等院校的化学、医药、检验、化工、生物工程、食品、环保、材料等专业的教师和学生使用,也可供从事无机化学实验的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学实验 / 陆家政主编. —北京: 科学出版社, 2016.6
中国科学院教材建设专家委员会规划教材·全国高等院校医学实验教学规划教材
ISBN 978-7-03-048861-9
I. ①无… II. ①陆… III. ①无机化学—化学实验—高等学校—教材
IV. ①O61-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 134122 号

责任编辑: 杨鹏远 胡治国 / 责任校对: 王晓茜

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 陈 敬

版权所有, 违者必究。未经本社许可, 数字图书馆不得使用

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>

大厂书文印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016年6月第 一 次印刷 印张: 9 1/4

字数: 178 000

定价: 29.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

无机化学实验是医药类、化学化工、农林、食品和生命科学(本科)院校无机化学课程的重要组成部分,对加强学生无机化学基础知识和基本理论的认识和理解,培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力以及培养学生良好的实验习惯和独立动手能力等方面具有重要的意义。编者在多年教学实践的基础上,为适应无机化学实验教学内容和教学改革的需要,组织了(排名按教材编写出现先后顺序)广东药科大学、广西医科大学、重庆医科大学、长治医学院、内蒙古医学院、沈阳医学院、牡丹江医学院、大连医科大学、赣南医学院、右江民族医学院、内蒙古医科大学、山西医科大学、北京大学医学部、石河子大学和中山大学等众多院校教学第一线的中、青年教师共同编写完成本书。

本书根据目前很多高校相关专业“无机化学”教学学时数的实际情况,进一步精选实验内容,削减验证性实验,增加综合性、设计性、研究性实验和微型化学实验内容。在内容编写上遵循由基础、验证、制备到综合及设计型实验的原则,注重学生分析解决问题和创新能力的培养。另外,删去了部分危险性较大或者可能与后续其他化学课程重复的化学原理实验,努力做到实验原理简明扼要,实验内容反映不同学科无机化学实验课的特点。每个实验设有“思考题与讨论”帮助学生在实验前更好地理解实验原理,把握实验重点,抓住实验关键,在实验后分析实验现象和实验结果,深入思考并进一步扩展知识。本书可与主教材配套使用,也可单独作为无机化学实验教材使用;既体现新的实验教学改革的成果,又可根据本校各专业的特点灵活调整教学内容,更利于学生的学习与教师的课堂教学,不断提高无机化学实验的教学水平。

本书内容共分为三部分:第一部分即第一章无机化学实验基础知识,主要介绍无机化学实验的目的、要求和常见事故处理,以及无机化学实验室基本常识、无机化学基本实验仪器和基本操作;第二部分包括第二章到第五章,选编了基本操作、验证性实验、常数测定与物质组成测定实验、无机化合物制备实验和综合性与设计型实验共 29 个实验;第三部分为附录,主要收录了常用试剂、指示剂和缓冲溶液等的配制方

法。其中第一章的第一至第四节、实验十九由赵平编写；第五节由李雪华和黄静共同编写；实验一、二十七由陆家政编写；实验二由李福森编写；实验三由姚秀琼编写；实验四由曾琦华编写；实验五由何娟编写；实验六由陈志琼编写；实验七由杨小丽编写；实验八由曾宪栋编写；实验九由石松利编写；实验十由陈菲编写；实验十一由范荣华编写；实验十二由由丽梅编写；实验十三由徐恒瑰编写；实验十四由李君君编写；实验十五由管小艳编写；实验十六由施伟梅编写；实验十七由何丽新编写；实验十八由蒋京编写；实验二十由赵力民编写；实验二十一由李容编写；实验二十二由周昊霏编写；实验二十三由张丽萍编写；实验二十四由姚华刚编写；实验二十五由黄静编写；实验二十六由苟宝迪编写；实验二十八由陈思羽编写；实验二十九由叶建涛编写。

全书由陆家政统稿；李雪华、赵平审稿；陈菲、曾宪栋校对。本书的编写还得到了广东药科大学教务处的支持和帮助，在此一并表示感谢。

本书编写参考了部分国内外正式出版的高等院校有关的实验教材和著作，并吸收了其中一些优秀的实验内容，在此，特向有关教材的作者以及出版社表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请同行和读者们批评指正。

编 者

2016年4月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 无机化学实验的目的和学习要求	1
第二节 实验室基本知识	2
第三节 实验数据处理	6
第四节 实验结果的表达及化学实验报告的书写方法	9
第五节 实验基本操作	12
第二章 基础无机化学实验	46
实验一 基本操作训练	46
实验二 常见溶液的配制	47
实验三 弱电解质解离和沉淀溶解平衡	50
实验四 氧化还原反应	53
实验五 分光光度法测定碘化铅溶度积常数	56
实验六 银氨配离子配位数及稳定常数的测定	59
实验七 乙酸解离度和解离常数的测定	62
实验八 配位化合物的制备和性质	66
第三章 重要元素及其化合物的性质	70
实验九 碱金属、碱土金属	70
实验十 卤素	75
实验十一 氧、硫	79
实验十二 氮、磷	80
实验十三 铬、锰、铁、钴、镍	84
实验十四 铜、银、锌、镉、汞	90
第四章 无机化合物的制备	94
实验十五 粗食盐的提纯和检验	94
实验十六 微型实验 I (硫酸铜的提纯)	97
实验十七 微型实验 II (硫酸亚铁铵的制备)	99
实验十八 硝酸钾的制备、提纯和溶解度测定	101

实验十九 氯化铵的制备及药检	104
实验二十 由锌焙砂制备硫酸锌及其含量的测定	107
实验二十一 利用废铁屑制备三氯化铁	109
第五章 综合及设计型实验	111
实验二十二 尿液中常见无机离子的检测(pH、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_2^- 等)	111
实验二十三 矿物药鉴别(定性鉴别 3 种)	113
实验二十四 磺基水杨酸铁(III)配合物的制备及稳定常数的测定	115
实验二十五 高锰酸钾的制备和含量测定	118
实验二十六 药用植物体中某些元素的鉴定(Ca、Mg、Al、Fe 等)	122
实验二十七 四苯基卟啉及其锌、铜配合物的合成	124
实验二十八 水的纯化及其纯度检测	126
实验二十九 二氯化一氯·五氨合钴(III)的制备、水合反应速率常数和活化能的测定	129
参考文献	133
附录	134



第一章 绪 论

第一节 无机化学实验的目的和学习要求

无机化学是一门以实验科学为主的基础课程，而实验又是化学研究的基础，它除了对化学理论进行验证外，还通过实验中的新发现、新问题，不断地充实化学理论，促进化学理论的发展。对于化学化工专业的学生来说，无机化学实验则是所有化学课程中最基础的课程之一，因为这门课程与无机化学理论课程对其他化学基础及专业课，甚至以后参与实际工作和科学研究都发挥着极其重要的作用。因此，开展无机化学实验课无疑是培养学生独立操作、观察记录、分析归纳、撰写报告等多方面能力的重要环节。

一、无机化学实验的目的

1. 通过亲自动手做实验，培养学生对实验现象的观察和分析能力，加深其对化学元素及其化合物的认识和掌握，进一步理解物理性质和物理结构的关系、化学反应速率和化学热力学原理，以及酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡和配位平衡对化学反应的影响。

2. 掌握物质变化的感性知识，掌握重要化合物的制备、分离和分析方法，加深对基本原理和基本知识的理解，培养用实验方法获取新知识的能力；并了解实验室工作的有关知识，如实验室试剂与仪器的管理、实验可能发生的一般事故及对实验室废液的处理等。

3. 使学生通过系统的学习、实践，正确地掌握化学实验的基本操作技能，正确使用常规仪器，获得准确的实验数据，并学会科学地整理、分析和归纳实验结果。

4. 让学生通过科学、规范的实验操作，培养他们认真、严谨的工作作风；通过对实验现象的细致观察和对实验数据的准确记录，培养学生实事求是的科学工作态度和习惯，更可以让学生通过分析、处理实验结果，以及解决一些实际问题(如疑难问题、异常现象、实验失败等)，训练他们发现问题、独立思考、独立分析和解决问题的能力；通过进行综合性、研究性、设计性实验来独立获取知识、运用知识解决问题。

二、无机化学实验的学习方法

要学好无机化学实验并达到实验的目的，必须有正确的学习态度和良好的学

习方法，并且做到：

1. 实验前认真预习，查阅有关原料和产物的物理常数，明确实验目的要求，了解实验步骤、方法、注意事项和基本原理，做到心中有数，有条不紊地做好实验。

2. 预习时，根据实验内容，先写好实验报告的部分内容，划好表格，绘好实验装置图，以便实验时及时、准确地记录实验现象和有关数据，并进行数据处理。

3. 实验开始前先清点仪器设备，如发现缺损，应立即报告教师(或实验室工作人员)，并按规定手续向实验员补领。实验中如有仪器破损，应及时报告并按规定手续向实验员换取新仪器。

4. 实验时应保持肃静，集中精力，认真操作，仔细观察实验现象，如实记录实验结果，积极思考问题，并运用所学理论解释实验现象，研究实验中的问题。

5. 实验时应保持实验室和桌面的整洁。实验中的废弃物应倒入废液缸中并分类处理，严禁投入或倒入水槽内，以防水槽和下水管堵塞或腐蚀。

6. 实验时要爱护国家财产，注意节约水、电、试剂。按照化学实验基本操作规定的方法取用试剂。必须严格按照操作规程使用精密仪器，如发现仪器有故障，应立即停止使用，并及时报告指导教师。

7. 实验室内的一切物品(仪器、试剂和产品)均不得带出实验室。

8. 实验完毕，将玻璃仪器洗涤干净放回原处，整理桌面，打扫水槽和地面卫生。

9. 实验结束后，认真地写好实验报告，对于实验中出现的现象和问题进行认真讨论。

第二节 实验室基本知识

一、化学实验室规则

进行化学实验会接触许多化学试剂和仪器，其中包括一些有毒、易燃、易爆、有腐蚀性的试剂以及玻璃器皿、电气设备、加压和真空器具等。若不按照使用规则进行操作就可能发生中毒、火灾、爆炸、触电或仪器设备损坏等危险事故。为了实现预期的教学目标而又不造成国家财产的损失和人身健康的损害，进行化学实验必须要严格遵守必要的安全规则。

1. 实验前应认真做好预习，明确实验目的，了解实验内容及注意事项，写出预习报告。

2. 实验前做好准备工作，清点仪器(缺损时报告教师，按规定手续补领)。实验过程中若仪器损坏也应按规定向实验室准备室换领，并按规定适当赔偿。

3. 实验时保持肃静，思想集中，认真操作；仔细观察实验现象，如实地记录并积极思考问题。

4. 水、电、煤气一经使用完毕就应立即关闭, 严禁在实验室内吸烟、饮食、大声喧哗、打闹。
5. 一切涉及有毒或有刺激性的气体的实验都应在通风橱内进行, 嗅闻气体时, 应用手轻拂气体, 把少量气体扇向自己再闻, 不能直嗅瓶口。
6. 保持实验室和台面清洁、整齐, 不能随意乱扔物品, 更不能倒入水槽中, 应倒在指定的地方, 以免水槽或下水道堵塞、腐蚀或发生意外事故。
7. 绝对不允许任意混合各种化学药品, 以免发生意外事故。浓酸、浓碱具有强腐蚀性, 切勿溅在皮肤或衣服上, 眼睛更应密切注意。稀释它们时(特别是浓硫酸), 应将它们慢慢倒入水中, 并不断搅拌, 而不能相反进行, 以避免迸溅。
8. 有毒药品(如重铬酸钾、钡盐、铅盐、砷的化合物、汞的化合物, 特别是氰化物)不得进入口内或接触伤口, 剩余的废液也不能随便倒入下水道, 应倒入废液缸中。
9. 加热试管时, 不要将管口对着自己或别人, 更不能俯视正在加热的液体, 以免液体溅出而烫伤。
10. 将玻璃管、温度计、漏斗等插入橡皮塞(或软木塞)时, 应涂以水或甘油等润滑剂, 并用布垫好, 以防玻璃管破碎而被刺伤。操作时应手持塞子的侧面, 切勿将塞子握在手掌中。
11. 实验结束后将玻璃仪器洗净并放回原处, 整理好桌面, 经指导教师批准后方可离开。
12. 每次实验后应安排学生轮流值日, 负责整理公用物品、仪器, 打扫卫生, 清洁实验后的废物; 检查水电气开关是否已关闭, 门窗关好。
13. 不得携带实验室一切物品(包括仪器、药品、产物等)至室外, 应将用剩的药品交还给教师。

二、安全守则及意外事故处理

(一)安全守则

1. 熟悉实验室环境, 了解煤气总阀、电源、急救箱和消防器的位置及使用方法。
2. 所有易燃物、易爆品的操作应远离火源; 严禁用火焰或电炉等明火直接加热易燃液体; 严禁用手直接接触化学用品, 特别是有强腐蚀性的试剂, 如强酸、强碱、强氧化剂等。
3. 遇有烫伤事故, 可用高锰酸钾或苦味酸溶液擦洗烫伤处, 再涂上凡士林或烫伤膏; 若遇酒精、苯或乙醚等着火时, 应立即用湿布或砂土等灭火, 火势大时可用泡沫灭火器。
4. 若眼睛或皮肤溅上强酸或强碱, 应立即用大量水冲洗, 然后再用碳酸氢钠或硼酸溶液冲洗。

5. 若吸入氯气、氯化氢等有毒气体, 可立即吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气解毒; 若吸入硫化氢而感到不适或头晕时, 应立即到室外呼吸新鲜空气。

6. 加热试管时, 切勿将管口对着自己或别人, 不能俯视正在加热的液体, 以防被意外溅出的液体灼伤。

7. 遇触电事故时, 应首先切断电源, 然后进行人工呼吸。

8. 对伤势较重者, 应立即送医院医治。

9. 完成实验后, 清洁台面, 洗净双手, 关闭水电气等阀口后离开实验室。

(二)意外事故的处理

1. 化学灼伤

(1) 受强酸的腐蚀: 先用大量水冲洗, 然后用 3%~5%碳酸氢钠溶液(或稀氨水、肥皂水)冲洗, 再用水冲洗, 最后涂上医用凡士林。如受氢氟酸腐蚀受伤, 应迅速用水冲洗, 再用稀苏打溶液(碳酸氢钠饱和溶液或 1%~2%乙酸溶液)冲洗, 然后浸泡在冰冷的饱和硫酸镁溶液中半小时, 最后涂敷氧化锌软膏(或硼酸软膏)。伤势严重时, 应立即送医院急救。当酸溅入眼睛时, 首先用大量水冲洗眼睛, 然后用稀的碳酸氢钠溶液冲洗, 最后再用清水洗眼。

(2) 受强碱腐蚀: 立即用大量水冲洗, 然后用 1%柠檬酸或 3%硼酸溶液冲洗。当碱液溅入眼睛时, 先用水冲洗, 依次用 3%硼酸溶液(或 2%乙酸溶液)、水冲洗, 最后涂上医用凡士林。

(3) 碱金属氰化物、氢氰酸灼伤皮肤: 用高锰酸钾溶液冲洗, 再用硫化铵溶液漂洗, 然后用水冲洗。

(4) 溴灼伤皮肤时, 立即用乙醇洗涤, 然后用水冲净, 涂上甘油或烫伤油膏。

(5) 苯酚灼伤皮肤: 先用大量水冲洗, 然后用 4:1 的乙醇(70%)-氯化铁(1mol/L)的混合液进行洗涤。

2. 割伤(玻璃或铁器刺伤等) 若伤口内有异物, 应先取出异物, 伤口不能用水洗, 应立即用药棉擦净, 涂上紫药水(或红药水、碘酒, 但红药水与碘酒不能同时使用), 必要时撒些消炎粉, 并用消毒纱布包扎, 或贴创可贴; 伤势较重时, 则先用酒精在伤口周围清洗消毒, 再用纱布按住伤口压迫止血, 并立即送往医院。

3. 烫伤 立即涂上烫伤膏(可用 10%的 KMnO_4 溶液擦洗灼伤处); 若伤势较重, 撒上消炎粉或烫伤膏(或医用凡士林), 用油纱绷带包扎。切勿用冷水冲洗, 更不能把烫起的水泡戳破!

4. 毒物与毒气误入口、鼻内

(1) 毒物误入口: 立即内服 5~10 mL 稀 CuSO_4 温水溶液, 再用手伸入咽喉促使呕吐毒物。

(2) 刺激性、有毒气体吸入: 误吸入溴蒸气、氯气等有毒气体时, 立即吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气, 以便解毒, 同时应到室外呼吸新鲜空气; 若是吸入煤气或硫化氢气体而感到头晕等不适时, 应立即到室外呼吸新鲜空气。

5. 触电 触电后应立即拉下电闸, 尽快用绝缘物(干燥的木棒、竹竿)将触电者与电源隔离, 必要时进行人工呼吸; 当发生的事故较严重时, 在实施上述急救后速送医院治疗。

6. 起火 发生着火, 要沉着快速处理。首先要立即切断热源、电源, 把附近的可燃物品移走, 再针对燃烧物的性质采取适当的灭火措施。火较小时可用湿布或沙子覆盖燃烧物, 火较大时用泡沫灭火器; 油类、有机物引起的燃烧, 万不能用水灭火; 电器设备着火时, 应立即关闭电源, 再用防火布、砂土、干粉等灭火, 不能用水和泡沫灭火器, 以免触电; 若衣服着火, 千万不要慌乱跑动, 否则会加强气流流动, 使燃烧加剧, 而应尽快脱下衣服, 或在地面上打滚或跳入水池。

三、实验室“三废”物质的处理

化学实验室经常会产生某些有毒的气体、液体或废渣需要处理, 特别是某些剧毒物质, 为防止污染环境, 保障实验人员的健康安全, 一方面应节约使用化学用品, 从源头减少污染物的生成, 另一方面, “三废”物质应经过适当的处理。

1. 废气 化学实验室常见的废气有 Cl_2 、 HCl 、 H_2S 、 NH_3 、 SO_2 、 NO_x 、酸雾和一些如苯、甲醇、酚等有机物质的蒸气, 处理方法如下:

(1) 溶液吸收法: 用合适的液体吸收处理废气, 如用酸性液体吸收碱性气体, 用碱性液体吸收酸性气体。另外水、有机溶液也可作为吸收剂吸收废气。

(2) 固体吸附法: 用固体吸附剂吸收废气, 使气体吸附在固体表面而被分离, 常用的有活性炭、硅胶、分子筛、活性氧化铝等。

除此之外, 氧化、分解等方法也能对废气进行处理。

2. 废液

(1) 废酸溶液收集于塑料桶内, 用过量碳酸钠或石灰乳溶液中和, 或用废碱液中和, 然后用大量水稀释, 过滤废渣后排放。

(2) 废碱溶液可用废酸液中和, 然后用大量水稀释, 清出废渣后排放。

(3) 万不可将含氰废液倒入酸性液体中, 因氰化物与酸会产生剧毒氰化氢气体, 危害人的生命安全。正确的处理方法是氢氧化钠调节 $\text{pH} > 10$, 再加入过量 3% 高锰酸钾溶液, 使 CN^- 被氧化分解, 并进一步分解为 CO_2 和 N_2 。而且, 氰化物在碱性介质中与亚铁盐作用可生成亚铁氰酸盐而被破坏。

(4) 含氟废液加入石灰可生成氟化钙沉淀而以废渣形式处理。

(5) 含铬废液采用还原剂(如铁粉、锌粉、亚硫酸钠、硫酸亚铁、二氧化硫或水合肼等), 在酸性条件下将 Cr^{6+} 还原为 Cr^{3+} , 然后加入碱(如氢氧化钠、氢氧化钙、碳酸钠、碳酸钙等), 调节废液 pH , 生成低毒的 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀, 分离沉淀, 清液可排放。沉淀经脱水干燥后或综合利用, 或用焙烧法处理, 使其与煤渣和煤粉一起焙烧, 处理后的铬渣可填埋。一般认为, 将废水中的铬离子形成铁氧体(使铬镶嵌在铁氧体中), 不会有二次污染。

(6) 含砷、汞、铜、铋和重金属离子的废液，加碱或硫化钠将其转化为难溶氢氧化物或硫化物沉淀，过滤分离，清液经处理后排放，残渣若有回收价值则收集起来，若无价值，则以废渣形式送固废处理中心深埋处理。

3. 废渣 化学实验室产生的废渣通常集中到一定量后，分类送到固废处理中心采用掩埋的方法进行处理。

第三节 实验数据处理

一、有效数字

化学实验中，经常用仪器来测量某些物理量，而不同的仪器所能达到的精度，即从仪器上能直接读出(包括最后的一位估计读数在内)的几位有效数字是不同的。只要是超越或低于仪器精确度的有效数字位数的数字都是错误的。因此，有效数字是由实验的实际情况得出的，而非由计算得出。例如，最大负载为 500 克的台秤的精度是 0.1 克，即能称到 0.1 克。千分之一的分析天平的精度可达到 0.001 克(1 毫克)。万分之一的分析天平的精度达 0.0001 克(0.1 毫克)。又如，测量体积的 10 毫升量筒可读到 0.1 毫升，而 50 毫升滴定管的精度可达 0.01 毫升，等等。仪器可达到的精度决定了用它所得结果的精度。例如，用千分之一的天平称得一物的质量为 5.650 克时，不应记录为 5.65 克或 5.6500 克。

有效数字是指实际能测量到的数字，它包括所有的准确数字和最后一位可疑数字。可从下面几个数值来说明：

数值	0.203	0.0403	0.1208	1.320	5000	4200
有效数字位数	3	3	4	4	不确定	不确定

以上“0”只有在数字中间或在小数点的数字后面时，才是有效数字。这时的“0”表示一定的精确度，如 1.320 是四位有效数字，不能最后的“0”随意增减，否则相当于降低了测量的精确度。当“0”在数字前面时，只起定位作用，表示小数点的位置，并不能算有效数字。小数点的位置与测量的单位有关，与测量的精确度无关，如 13.24 mL 用“升”作单位时则为 0.01324 L，两者都是四位有效数字，可表示为 1.324×10^{-5} L。而像 5600、2000 中均以“0”结尾的正整数，“0”的意义不明确，其有效数字只能按照实际测量的精确度来确定，若它们有两位有效数字，分别可表示为 5.6×10^3 、 2.0×10^3 ；若为三位有效数字，则为 5.60×10^3 、 2.00×10^3 。

二、有效数字的运算规则

各个数据运算得出后应统一有效数字的位数，确定有效数字所保留的位数后，按“四舍五入”的原则修约，即当测量值中被修约的数字小于或等于 4 时，该数字舍去；大于或等于 6 时，则进位；等于 5 时，要看 5 前面的数字，若是奇数则

进位,若是偶数则将5舍掉,即修约后末位数字都成为偶数;若5后面还有不是“0”的任何数,则此时无论5的前面是奇数还是偶数,均应进位。例如, $0.32474 \rightarrow 0.3247$; $0.32475 \rightarrow 0.3248$; $0.32476 \rightarrow 0.3248$; $0.32485 \rightarrow 0.3248$; $0.324851 \rightarrow 0.3249$ 。

1. 加减法 几个数据相加或相减时,应以小数点后位数最少的数为准。例如, 19.2354、3.741、5.42、2.003 相加,其中 5.42 小数点后位数最少,只有两位,所以以它为标准,其余几个数按“四舍五入”法则保留小数后两位再加减,即: $19.24+3.74+5.42+2.00=30.40$ 。

2. 乘法 几个数据相乘除时,有效数字的位数应以几个数中有效数字位数最少的那几个数据为准。

如 $24.54 \times 2.0146 \times 1.05786$, 其中, 24.54 是有效数字最少的一个数,所以应该先将其余几个数四舍五入简化成四位有效数字后方可进行计算,即 $24.54 \times 2.015 \times 1.058=52.32$ 。

3. 对数运算 进行对数运算,真数的有效数字位数与对数的尾数(小数部分)位数相同,与对数的首数(整数部分)无关。例如,大气压 $P=1.013 \times 10^5$, 是四位有效数字,其对数应为 $\lg P=5.0056$, 其中对数的整数部分 5 只是 10 的方次,而不是有效数字;又如, $\text{pH}=4.80$, 其有效数字为两位,则 $c(\text{H}^+)=10^{4.80}=1.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 。

在用计算器计算时,也要注意,虽然不需要对每一计算过程的有效数字进行整理,但要在确定最后计算结果时,必须保留正确的有效数字的位数。因为测量结果的数值、计算的精确度均不能超过测量的精确度。

三、误 差

1. 准确度与误差 测定值与真实值之间相差的程度称为准确度,用“误差”来表示,误差小,测量值与真实值就相近,准确度就高,反之,准确度就低。误差又分绝对误差和相对误差,表示如下:

$$\text{绝对误差}(E)=\text{测量值}(x)-\text{真实值}(T)$$

$$\text{相对误差}(E\%)=[\text{测量值}(x)-\text{真实值}(T)]/\text{真实值}(T)$$

误差有正有负,正表示测量结果偏高,负表示测量结果偏低,如下表所示。

样品	样品 1	样品 2
测量值	1.2430	0.2451
真实值	1.2431	0.2452
绝对误差	-0.0001	-0.0001
相对误差	-0.008%	0.04%

两次称量的结果都偏低,且绝对误差一样,但相对误差不同。绝对误差与被测量值的大小无关,而相对误差因为表示误差在测量结果中所占的百分率,所以与被测量值的大小有关,且被测量值越大,相对误差越小。因此,相对误差更具

实际意义，测量结果的准确度常用相对误差来表示。

2. 精密度与偏差 精密度表示相同条件下多次测量结果之间的相互接近程度，用偏差表示，偏差越小说明精密度越高。偏差分绝对偏差和相对偏差，表示如下：

绝对偏差(D)=单次测量值(x_i)-测量平均值(\bar{x})

相对偏差($D\%$)=绝对偏差/平均值，即： $D\%=(D/\bar{x})\times 100\%=[(x_i-\bar{x})/\bar{x}]\times 100\%$

绝对偏差是单次测量值与平均值的差值，相对偏差是绝对偏差在平均值中所占的百分比，它们都只是表示单次测量值结果对平均值的偏离程度。为更好说明精密度，实验工作中常用平均偏差和相对平均偏差来衡量总测量结果的精密度，分别表示为

平均偏差 $d=(|d_1|+|d_2|+|d_3|+\cdots+|d_n|)/n$

相对平均偏差 $d\%=(d/\bar{x})\times 100\%$

式中， n 为测定次数； $|d_n|$ 表示第 n 次测定结果的绝对偏差的绝对值。平均偏差和相对平均偏差不计正负。

3. 误差分类

(1) 系统误差——可定误差

1) 方法误差：测定方法本身不十分完善所引起的，如反应不能定量完成；有副反应发生；滴定终点与化学计量点不一致；存在干扰组分等。

2) 仪器误差：主要是仪器本身不够准确或未经校准引起的，如量器(容量瓶、滴定管等)和仪表刻度不准。

3) 试剂误差：由于试剂不纯和蒸馏水中含有微量杂质所引起。

4) 操作误差：主要指在正常操作情况下，由于分析工作者掌握操作规程与控制条件不当所引起的，如滴定管读数总是偏高或偏低。

系统误差特性：重复出现、恒定不变(一定条件下)、单向性、大小可测出并校正，故又称为可定误差。系统误差可以用对照试验、空白试验、校正仪器等办法加以校正。

(2) 偶然误差(又称随机误差)——不可定误差：偶然误差产生原因与系统误差不同，它是由于某些偶然的因素所引起的。如测定时环境的温度、湿度和气压的微小波动，以及其性能的微小变化等。

偶然误差特性：有时正、有时负，有时大、有时小，难控制(方向大小不固定，似无规律)，但在消除系统误差后，在同样条件下进行越多次测定，测量结果的平均值越接近真实值。

除了以上两类误差外，还有因工作疏忽、操作马虎而引起的过失误差，试剂用错、砝码认错、刻度读错、计算错误等因素，都会引发很大的误差，这些都应该尽量避免。

4. 准确度与精密度的关系 系统误差是测量中误差的主要来源，它影响着测定结果的准确度。偶然误差则影响着结果的精密度。测量结果的准确度高，必须

精密度也要好，这样才能表明每次测量结果的再现性好；若精密度很差，说明测量结果不可靠，已失去衡量准确度的前提。

但有时，测定结果的精密度很好，说明它的偶然误差很小，但不能说明准确度很高。可由下面三位同学同时滴定的一瓶 HCl 溶液的浓度为例，真实值是 0.1034 mol/L，滴定结果如下：

学生	A	B	C
实验编号			
C1/(mol/L)	0.1010	0.1030	0.1031
C2/(mol/L)	0.1011	0.1061	0.1033
C3/(mol/L)	0.1012	0.1086	0.1032
平均值/(mol/L)	0.1011	0.1059	0.1032
真实值/(mol/L)	0.1034	0.1034	0.1034
差值/(mol/L)	0.0023	0.0025	0.0002

A 的滴定结果精密度很高，但是准确度低，平均值与真实值相差较大；B 的滴定结果的精密度和准确度都低；C 的滴定结果精密度和准确度都比较高。可见精密度高的其准确度不一定高。只有在消除了系统误差之后，才能做到精密度既好，准确度又高。因此进行评估测量结果时，要综合系统误差和偶然误差的影响，才能提高测定结果的准确性。

第四节 实验结果的表达及化学实验报告的书写方法

一、实验结果的表达

实验结果有三种表达方式：列表法、图解法、数学方程式法，下面对列表法和作图法加以简单介绍。

1. 列表法 将实验数据(包括原始数据与运算数值)用合适的表格记录下来就是列表法。实验数据既可以是同一个物理量的多次测量值及结果，也可以是相关几个量按一定格式有序排列的对应的数值。

数据列表本身就能直接反映有关量之间的函数关系。此外，列表法还有一些明显的优点：便于检查测量结果和运算结果是否合理；若列出了计算的中间结果，可以及时发现运算是否有错；便于日后对原始数据与运算进行核查，数据列表时要求如下：

- (1) 表格力求简单明了，分类清楚，便于显示有关量之间的关系。
- (2) 表中各量应写明单位，单位写在标题栏内，一般不要写在每个数字的后面。

(3) 表格中的数据要正确地表示出被测量的有效数字。

2. 作图法 作图法就是在坐标纸上描绘出所测物理量的一系列数据间关系

的图线。该方法简便直观，易于揭示出物理量之间的变化规律，粗略显示出对应的函数关系，是寻求经验公式最常用的方法之一。作图规则如下：

(1) 选用合适的坐标纸与坐标分度值：一般常用毫米方格坐标纸，再认真选取坐标分度值。坐标分度值的选取要符合测量值的准确度，即应能反映出测量值的有效数字位数。一般以一小格(1mm)或两小格对应于测量仪表的最小分度值或对应于测量值的次末位数，即倒数第二位数，以保证图上读数的有效数字不少于测量数据的有效数位，即不降低数据的精度，当然也不应夸大精度。分度时应使各个点的坐标值都能迅速方便地从图中读出，一般一大格(10 mm)代表1, 2, 5, 10个单位较好，而不采用一大格代表3、6、7、9个单位。也不应该用3, 6, 7, 9个小格(1mm)代表一个单位。否则，不仅标实验点和读数不方便，也容易出错。两轴的比例可以不同。坐标范围应恰好包括全部测量值，并略有富余，一般图面不要小于(10×10) cm²。最小坐标值不必都从零开始，以便作出的图线大体上能充满全图，布局美观合理。原点处的坐标值，一般可选取略小于数据最小值的整数开始。

(2) 标明坐标轴：以横轴代表自变量(一般为实验中可以准确控制的量，如温度、时间等)，以纵轴代表因变量，用粗实线在坐标纸上描出坐标轴，在轴端注明物理量名称、符号、单位，并按顺序标出轴线整分格上的量值。

(3) 标实验点：实验点可用+、×、⊙、△等符号中的一种标明，不要仅用“·”标实验点。同一条图线上的数据用同一种符号，若图上有两条图线，应用两种不同符号以便于区分。

(4) 连成图线：使用直尺、曲线板等工具，按实验点的总趋势连成光滑的曲线。由于存在测量误差，且各点误差不同，不可强求曲线通过每一个实验点，但应尽量使曲线两侧的实验点靠近图线，且分布大体均匀。

描绘仪器仪表的校正曲线时，相邻两点一律用直线连接，呈折线形式，这是因为在校正点处已经检测了明确的对应关系，而相邻两个校正点之间的对应关系却是未知的，因而用线性插入法予以近似。

(5) 写出图线名称：在图纸下方或空白位置写出图线的名称，必要时还可写出某些说明。

二、化学实验报告的书写方法

为达到实验目的，我们不仅要树立正确的学习态度和学习方法，做到预习和完成实验任务，正确地书写实验报告也是实验教学的主要内容之一。一份合格的实验报告不仅要准确、完整地报告实验目的、实验原理、实验内容、实验结果和注意事项，还应对实验现象的成败原因进行分析、归纳及总结等，且实验报告要科学、严谨、诚实、简洁、明确。

1. 无机化学测定实验报告(样例)

实验名称：_____ 日期：_____ 成绩：_____