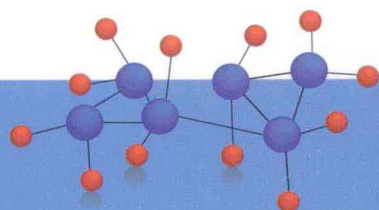


高等学校“十二五”规划教材



无机及 分析化学实验

贾佩云 陈春霞 主 编

周志强 曹晶晶 副主编

胡忠勤 主审

WUJI JI
FENXI
HUAXUE
SHIYAN



化学工业出版社

高等学校“十二五”规划教材

无机及分析化学实验

贾佩云	陈春霞	主 编
周志强	曹晶晶	副主编
	胡忠勤	主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书将无机化学实验和分析化学实验融合起来,内容主要包括化学实验基本知识,无机化学实验,分析化学实验以及综合性、设计性实验四部分内容。其中主要安排无机化学实验 38 个,分析化学实验 18 个,综合性、设计性实验 24 个,总计安排实验项目 80 个。本书在介绍化学实验基础知识、基本操作和基本技能的基础上,增加综合性、设计性实验,以培养学生实事求是的科学态度,提高学生的创新能力和综合素质。

本书可作为综合性大学化学、化工、食品、环境、材料、生物、植物学、动物学等专业无机化学实验和分析化学实验的教材,也可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学实验/贾佩云,陈春霞主编. —北京:化学工业出版社,2013.8
高等学校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-17835-0

I. ①无… II. ①贾…②陈… III. ①无机化学-化学实验-高等学校-教材②分析化学-化学实验-高等学校-教材 IV. ①O61-33②O65-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 146056 号

责任编辑:宋林青 马 波
责任校对:蒋 宇

文字编辑:张春娥
装帧设计:史利平

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 16 彩插 1 字数 398 千字 2013 年 9 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:30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

“无机及分析化学实验”是“无机及分析化学”理论课的配套实验教材。“无机及分析化学实验”是一门独立课程，它与“无机及分析化学”理论课尽管在某些方面存在着紧密的联系，但在教学目的方面却有着显著的差别。“无机及分析化学实验”课程的教学目标是在“无机及分析化学”理论知识的指导下，培养学生的基本操作和基本技能，努力提高学生解决实际问题的能力，培养学生的创新意识与创新能力。为了达到这一教学目标，本实验教材根据对学生实验技能的要求标准，将实验课划分为三个阶段，即基本技能训练阶段、应用技能训练阶段和综合技能训练阶段。三个阶段的实验由浅入深，由简到繁，由单一技能训练到综合技能训练，最后跨入综合设计实验，以全面提高学生的实验技能，提高学生理论联系实际的能力。

本实验教材中，我们在保持原有无机及分析化学经典实验的基础上，结合“无机及分析化学”教学对象的专业特点，适当增加了部分与学生专业相关的实验内容，设计了部分综合性实验和设计性实验。在实验选材方面，我们在兼顾基础时，更加注重实验的应用性、综合性、设计性，希望通过这些实验内容的系统学习，在提高学生基本实验技能的基础上，能够在培养学生解决实际问题的能力、独立思考能力、创新能力等方面获得一些有益的经验。

本教材主要包括绪论，化学实验数据处理，常用仪器及其基本操作等共十章及附录。其中第1章至第4章以及第10章由贾佩云撰写，第5章、第6章由陈春霞撰写，第7章和第8章由周志强撰写，第9章由曹晶晶撰写，第10章及附录由胡忠勤撰写，此外，参与编写工作的还有张志民、陈英海老师等。

由于编者水平有限，难免有疏漏之处，敬请广大读者不吝赐教、批评指正。

编者
2013年5月于哈尔滨

目 录

1 绪论	1
1.1 无机及分析化学实验目的	1
1.2 无机及分析化学实验学习方法	1
1.3 化学实验室规则及安全守则	2
1.4 实验室事故处理	4
1.5 实验室三废处理	5
2 实验数据处理	7
2.1 测量误差	7
2.2 有效数字及其运算规则	9
2.3 无机及分析化学实验中的数据处理	11
3 常用仪器及其基本操作	13
3.1 无机及分析化学实验中常用的仪器	13
3.2 电子分析天平及其使用方法	17
3.3 pH 计及其使用方法	18
3.4 722 型光栅分光光度计的使用	20
3.5 DDS-11 A 型电导率仪	23
4 无机及分析化学实验基本操作	26
4.1 玻璃仪器的洗涤	26
4.2 玻璃仪器的干燥	27
4.3 加热方法	27
4.4 冷却方法	31
4.5 固体物质的溶解、固液分离、蒸发(浓缩)和结晶	31
4.6 蒸发、浓缩	35
4.7 结晶与重结晶	36
4.8 化学试剂的取用	36
4.9 量筒、移液管、容量瓶、滴定管的使用	38
4.10 试纸的使用	43
5 无机化合物的提纯或制备	46
实验 1 仪器的认领和洗涤	46
实验 2 各种灯的使用、简单玻璃加工技术和塞子的钻孔	47
实验 3 粗食盐的提纯	49
实验 4 硫酸铜晶体的制备	52
实验 5 硫代硫酸钠晶体的制备	54
实验 6 硫酸亚铁铵晶体的制备	56
实验 7 转化法制备硝酸钾	58
实验 8 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的制备和性质	61
实验 9 由铬铁矿制备重铬酸钾晶体	64
实验 10 由软锰矿制备高锰酸钾晶体	66
6 化学反应基本原理	69

实验 11	电解质溶液	69
实验 12	酸碱反应与缓冲溶液	73
实验 13	氧化还原反应和氧化还原平衡	76
实验 14	配合物的性质	79
7	一些物理常数的测定	83
实验 15	阿伏加德罗常数的测定	83
实验 16	摩尔气体常数的测定	84
实验 17	化学反应平衡常数的测定(光电比色法)	87
实验 18	化学反应速率和活化能的测定	89
实验 19	pH 法测定醋酸解离度和解离常数	93
实验 20	电导率法测定醋酸解离度和解离常数	94
实验 21	碘化铅溶度积常数的测定	96
实验 22	银氨配离子配位数及稳定常数的测定	100
实验 23	凝固点降低法测定分子量	102
实验 24	过氧化氢分解热的测定	105
实验 25	二氧化碳相对分子质量的测定	108
实验 26	原子结构和分子的性质	110
实验 27	分光光度法测定配合物 $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 的分裂能	113
实验 28	邻二氮菲亚铁配合物的组成和稳定常数的测定	115
8	元素化合物的性质	117
实验 29	p 区非金属元素——卤素、氧、硫	117
实验 30	p 区非金属元素——氮、磷、硅、硼	121
实验 31	碱金属和碱土金属	125
实验 32	p 区元素铝、锡、铅、铋、铊及其化合物的性质	128
实验 33	第一过渡系元素——钛、钒、铬、锰	131
实验 34	第一过渡系元素——铁、钴、镍	136
实验 35	ds 区金属——铜、银、锌、镉、汞	138
实验 36	常见非金属阴离子的鉴定与分离	141
实验 37	常见阳离子的分离与鉴定(一)	146
实验 38	常见阳离子的分离与鉴定(二)	152
9	分析化学实验	155
实验 39	称量练习	155
实验 40	酸碱标准溶液的配制及比较滴定	156
实验 41	酸碱标准溶液浓度的标定	158
实验 42	氨水中氨含量的测定	161
实验 43	铵盐中含氮量的测定	162
实验 44	混合碱的测定(双指示剂法)	166
实验 45	食醋中总酸量的测定	169
实验 46	重铬酸钾法测定亚铁盐中铁的含量	170
实验 47	高锰酸钾标准溶液的配制和标定	171
实验 48	高锰酸钾法测钙	173
实验 49	高锰酸钾法测定双氧水	175
实验 50	胆矾中铜的测定	176
实验 51	自来水总硬度的测定	178
实验 52	铅-铋混合液中铅、铋含量的连续测定	181

实验 53	碘盐中含碘量的测定	183
实验 54	氯化物中氯含量的测定 (莫尔法)	184
实验 55	氯化钡样品中钡含量的测定	186
实验 56	磷钼蓝分光光度法测定磷	189
实验 57	可见分光光度法测定铁	191
实验 58	酱油中总酸量 (度) 和氨基氮的测定	194
10	综合实验和设计实验	197
实验 59	四氧化三铅组成的测定	197
实验 60	十二钨磷酸和十二钨硅酸的制备——乙醚萃取法制备多酸	198
实验 61	铬(Ⅲ)配合物的制备和分裂能的测定	200
实验 62	三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的制备、组成测定及表征	202
实验 63	三氯化六氨合钴(Ⅲ)的制备及其实验式的确定	206
实验 64	从锌焙砂制备七水硫酸锌及锌含量的测定	208
实验 65	配合物键合异构体的红外光谱测定	210
实验 66	石灰石中钙的测定——高锰酸钾间接滴定法	212
实验 67	铁矿中铁含量的测定	214
实验 68	水中化学需氧量 (COD) 的测定——重铬酸钾法	215
实验 69	水中溶解氧的浓度测定	217
实验 70	烟气中 SO_2 含量的测定	219
实验 71	维生素 C 片剂中维生素 C 含量的测定——碘量法	220
实验 72	紫菜中碘的提取及其含量测定	221
实验 73	大豆中钙、镁、铁含量的测定	222
实验 74	从铬盐生产的废渣中提取无水硫酸钠	224
实验 75	硝酸钾溶解度的测定与提纯	225
实验 76	氯化铵的制备及氮含量的测定	225
实验 77	由废铝箔制备硫酸铝钾大晶体	226
实验 78	印刷电路腐蚀废液回收铜和氯化亚铁	226
实验 79	微波辐射法制备磷酸锌纳米材料	227
实验 80	无氰镀锌液的成分分析	227
实验 81	水泥中铁、铝、钙和镁的测定	228
实验 82	硫酸亚铁铵的制备	230
附录		232
附录 1	气体在水中的溶解度	232
附录 2	常用酸、碱的浓度	232
附录 3	弱电解质的解离常数 (离子强度等于零的稀溶液)	232
附录 4	溶度积	234
附录 5	常见沉淀物的 pH	235
附录 6	标准电极电势	236
附录 7	常见离子的稳定常数	241
附录 8	某些试剂溶液的配制	242
附录 9	危险药品的分类、性质和管理	243
附录 10	几种常见的化学手册	245
附录 11	国际相对原子质量表	246
参考文献		248

1 绪 论

1.1 无机及分析化学实验目的

无机及分析化学是农学、林学、生命科学、环境科学、材料科学等专业重要的专业基础课；无机及分析化学实验是与其配套的实验课程，是无机及分析化学的重要补充，是学好无机及分析化学的一个重要环节，也是高等院校农、林、生命、环境、材料等专业一年级学生必修的基础课程之一。该课程的主要目的是：通过无机及分析化学实验，巩固并加深对无机及分析化学基本概念和基本理论的理解；掌握无机及分析化学实验的基本操作和基本技能；学会正确记录、分析、处理实验数据，表达实验结果；培养学生独立思考的能力、分析和解决问题的能力以及创新能力；培养学生实事求是、严谨认真的科学态度和整洁卫生的良好习惯，为学生学好后继课程如有机化学、物理化学及其实验，各类专业课程及其实验，以及今后参加实际工作和开展科学研究打下良好的基础。

1.2 无机及分析化学实验学习方法

要学好无机及分析化学实验这门课程，首先要有明确的学习目的、端正的学习态度、扎实的无机及分析化学理论知识，还要有良好的学习方法。无机及分析化学实验的学习方法大致包括以下三方面。

1.2.1 认真预习并完成预习报告

- ① 认真钻研无机及分析化学教材及实验教材中的有关内容；
- ② 明确实验目的及要求，并理解实验原理；
- ③ 熟悉实验内容、基本操作、操作步骤、仪器使用方法和实验注意事项；
- ④ 写好预习报告，主要包括：实验目的、实验原理、仪器及药品、操作步骤、注意事项及有关的实验安全问题等。

1.2.2 认真做好实验并如实记录实验现象及数据

① 按照实验教材规定的实验方法、操作步骤、试剂用量及操作规程进行实验，要做到：认真操作，仔细观察并如实记录实验现象、实验数据；遇到问题要善于思考，力求自己解决问题，确实有困难可请教指导老师；如果发现实验现象与理论不一致，应认真查明原因，经指导教师同意后重做实验，直到得出正确的结果。

② 要严格遵守实验室规则和实验室安全守则（见 1.3）。要做到：严守纪律，保持肃静；爱护国家财产，小心使用仪器和设备，节约药品、水、电和煤气；保持实验室整洁、卫生和安全。

③ 实验完成后要认真清扫地面，检查台面是否整洁，关闭水、电、煤气、门窗，经指导教师签字允许后方可离开实验室。

1.2.3 写好实验报告

实验报告是用来记录实验现象和数据、概括和总结实验内容及原理的文字材料，写好实验报告是对实验者综合能力的考核。每个学生在做完实验后都必须在实验预习及原始数据记录报告的基础上，及时、独立、认真地完成实验报告，并及时交指导教师批阅。一份合格的报告应包括以下内容：

① 实验名称以及完成该实验的时间、地点，实验者的姓名、班级等信息，通常将其填入实验报告单的相应位置。

② 实验目的和要求，简要阐述该实验所要达到的目的。

③ 实验所用的仪器、药品及装置，要写明所用仪器的型号、数量，药品的名称、规格，以及装置示意图等。

④ 实验原理，简要介绍实验的基本原理并写出主要化学反应方程式。

⑤ 实验内容及操作步骤，要用表格、框图、符号及简明扼要的语言叙述实验内容及操作步骤，切忌抄书。

⑥ 实验现象和数据的记录，在仔细观察的基础上如实记录实验现象，依据所用仪器的精密度，正确记录实验数据。

⑦ 解释、结论和数据处理。化学现象的解释最好用化学反应方程式，如还不能完全说明问题，可用文字简要叙述；结论要精炼、完整、正确；数据处理要根据有效数字的修约规则、运算规则以及可疑数据的取舍规则进行。

⑧ 问题与讨论。主要针对实验中遇到的疑难问题提出自己的见解，分析误差产生的主要原因，也可以对实验方法、教学方法、实验内容、实验装置等提出意见或建议。

实验报告的书写要做到文字工整、图表清晰、形式规范。

1.3 化学实验室规则及安全守则

化学实验室是学生学习化学知识、研究化学问题的重要场所。在化学实验室中工作或学习，总要接触各类化学试剂、各种玻璃仪器、各种电器设备及水、电、煤气等。化学试剂中，有的有毒，有的有刺激性气味，有的有腐蚀性，有的易燃易爆；玻璃仪器破碎容易造成划伤；各种电器使用不当可能造成触电等意外事故；煤气使用不当可能造成爆炸等严重后果；因此，在化学实验室工作或学习时必须高度重视实验安全问题，要像重视实验一样重视实验安全。实践证明，只要实验者思想上高度重视，具备必要的安全知识，严格遵守实验室操作规程，事故是可以避免的。即使万一发生了事故，只要事先掌握了一般的防护方法和措施，也能够及时妥善地加以处理，不致酿成严重后果。为了防患于未然，确保实验安全顺利进行，每个化学实验室都制定了严格的化学实验室规章制度、安全防范措施、操作细则及各项完善安全设施。学生首次进入化学实验室必须进行化学实验室规则和化学实验室安全守则教育。

1.3.1 实验室规则

① 实验前要认真预习，明确实验目的和要求，弄懂实验原理，了解实验方法，熟悉实验步骤，写出预习报告。

② 严格遵守实验室各项规章制度。

③ 实验前要认真清点仪器和药品, 如有破损或缺少, 应立即报告指导教师, 按规定手续向实验室补领。实验时如有仪器损坏, 应立即主动报告指导教师, 进行登记, 按规定进行赔偿, 再换取新仪器, 不得擅自拿别的位置上的仪器。

④ 实验室要保持肃静, 不得大声喧哗。实验应在规定的位置上进行, 未经允许, 不得擅自挪动。

⑤ 实验时要认真观察, 如实记录实验现象, 使用仪器时, 应严格按照操作规程进行, 药品应按规定量取用, 无规定量的, 应本着节约的原则, 尽量少用。

⑥ 爱护公物, 节约药品、水、电、煤气。

⑦ 保持实验室整洁、卫生和安全。实验后应将仪器洗刷干净, 将药品放回原处, 摆放整齐, 用洗净的湿抹布擦净实验台。实验过程中的废纸、火柴梗等固体废物, 要放入废物桶(或箱)内, 不要丢在水池中或地面上, 以免堵塞水池或弄脏地面。规定回收的废液要倒入废液缸(或瓶)内, 以便统一处理。严禁将实验仪器、化学药品擅自带出实验室。

⑧ 实验结束后, 由同学轮流值日, 清扫地面和整理实验室, 检查水龙头、煤气, 以及门、窗是否关好, 电源是否切断。得到指导教师许可后方可离开实验室。

1.3.2 化学实验室安全守则

在化学实验室工作, 首先在思想上必须高度重视安全问题, 以防任何事故的发生。要做到这一点, 除在实验前必须充分了解所做实验中应该注意的事项和可能出现的问题及在实验过程中要认真操作, 集中注意力外, 还应遵守如下规则。

① 学生进实验室前, 必须进行安全、环保意识的教育和培训。

② 熟悉实验室环境, 了解与安全有关的设施(如水、电、煤气的总开关, 消防用品、急救箱等)的位置和使用方法。

③ 容易产生有毒气体, 挥发性、刺激性毒物的实验应在通风橱内进行。

④ 一切易燃、易爆物质的操作应在远离火源的地方进行, 用后把瓶塞塞紧, 放在阴凉处, 并尽可能在通风橱内进行。

⑤ 金属钾、钠应保存在煤油或石蜡油中, 白磷(或黄磷)应保存在水中, 取用时必须用镊子, 绝不能用手拿。

⑥ 使用强腐蚀性试剂(如浓 H_2SO_4 、浓 HNO_3 、浓碱、液溴、浓 H_2O_2 、浓 HF 等)时, 切勿溅在衣服和皮肤上、眼睛里, 取用时要戴胶皮手套和防护眼镜。

⑦ 使用有毒试剂应严防进入口内或伤口, 实验后废液应回收, 集中统一处理。

⑧ 用试管加热液体时, 试管口不准对着自己或他人; 不能俯视正在加热的液体, 以免溅出的液体烫伤眼、脸; 闻气体的气味时, 鼻子不能直接对着瓶(管)口, 而应用手把少量的气体扇向鼻孔。

⑨ 绝不允许将各种化学药品随意混合, 以防发生意外; 自行设计的实验, 需和老师讨论后方可进行。

⑩ 不准用湿手操作电器设备, 以防触电。

⑪ 加热器不能直接放在木质台面或地板上, 应放在石棉板、绝缘砖或水泥地板上, 加热期间要有人看管。大型贵重仪器应有安全保护装置。加热后的坩埚、蒸发皿应放在石棉网或石棉板上, 不能直接放在木质台面上, 以防烫坏台面, 引起火灾, 更不能与湿物接触, 以防炸裂。

- ⑫ 实验室内严禁饮食、吸烟、游戏打闹、大声喧哗。实验完毕应洗净双手。
 - ⑬ 实验后的废弃物，如废纸、火柴梗、碎试管等固体物应放入废物桶（箱）内，不要丢入水池内，以防堵塞。
 - ⑭ 贵重仪器室、化学药品库应安装防盗门，剧毒药品、贵重物品应贮存在专门的保险柜中，发放时应严加控制，剩余回收。有机化学药品库应安装防爆灯。
 - ⑮ 每次实验完毕，应将玻璃仪器清洗干净，按原位摆放整齐，台面、水池、地面打扫干净，药品按序摆好。检查水、电、煤气、门、窗是否关好。
- 化学实验室规则和安全守则是人们长期从事化学实验工作的经验总结，是保持良好的工作秩序和工作秩序，防止意外事故发生，保证实验安全顺利完成的前提，人人都应严格遵守。

1.4 实验室事故处理

1.4.1 实验室常备药品及医用工具

实验室应配备医药箱，以便在发生意外事故时临时处置之用。医药箱应配备如下药品和工具。

- ① 药品 碘酒、红药水、紫药水、创可贴、止血粉、消炎粉、烫伤膏、鱼肝油、甘油、无水乙醇、硼酸溶液（1%~3%或者饱和）、2%醋酸溶液、1%~5%碳酸氢钠溶液、20%硫代硫酸钠溶液、10%高锰酸钾溶液、20%硫酸镁溶液、1%柠檬酸溶液、5%硫酸铜溶液、1%硝酸银溶液、由20%硫酸镁溶液+18%甘油+水+12%盐酸普鲁卡因配成的药膏、可的松软膏、紫草油软膏及硫酸镁糊剂、蓖麻油等。
- ② 工具 医用镊子、剪刀、纱布、药棉、棉签、绷带、医用胶布、担架等。医用药箱供实验室急救用，不允许随便挪动或借用。

1.4.2 实验室事故处理

(1) 中毒急救

在实验过程中，若感到咽喉灼痛，嘴唇脱色或发绀，胃部痉挛，或出现恶心呕吐，心悸，头晕等症状时，则可能是中毒所致，经以下方法急救后，立即送医院抢救。

如果是固体或液体毒物中毒，嘴里若还有毒物者，应立即吐掉，并用大量水漱口；碱中毒应先饮用大量水，再喝牛奶适量；误饮酸者应先饮用大量水，再服氢氧化镁乳剂，最后饮用适量牛奶。重金属中毒应喝一杯含几克硫酸镁的溶液后立即就医。汞及汞化合物中毒，立即就医。

如果是气体或蒸气中毒，如不慎吸入煤气、溴蒸气、氯气、氯化氢、硫化氢等气体时，应立即到室外呼吸新鲜空气，必要时做人工呼吸（但不要口对口）或送医院治疗。

用作金属解毒剂的药物如表 1-1 所示。

表 1-1 常用金属解毒剂

有害金属元素	解 毒 剂	有害金属元素	解 毒 剂
铅、铊、钴、锌等	乙二胺四乙酸钙酸钠	铊、锌	二苯硫脲
汞、镉、砷等	2, 3-二巯基丙醇	镍	二乙氨基二硫代甲酸钠
铜	R-青霉胺	铍	金黄素三羧酸

(2) 酸或碱灼伤

酸灼伤先用大量水冲洗，再用饱和碳酸氢钠溶液或稀氨水冲洗，然后浸泡在冰冷的饱和

硫酸镁溶液中半小时，最后敷以 20% 硫酸镁-18% 甘油-水-12% 盐酸普鲁卡因的药膏。伤势严重者，应立即送医院急救。酸溅入眼睛时，先用大量水冲洗，再用 1% 碳酸氢钠溶液洗，最后用蒸馏水或去离子水洗。氢氟酸能腐烂指甲、骨头，溅在皮肤上会造成痛苦的难以治愈的烧伤。皮肤若被烧伤，应用大量水冲洗 20min 以上，再用冰冷的饱和硫酸镁溶液或 70% 酒精清洗半小时以上；或用大量水冲洗后，再用肥皂水或 2%~5% 碳酸氢钠溶液冲洗，用 5% 碳酸氢钠溶液湿敷局部，再用可的松软膏或紫草油软膏及硫酸镁糊剂涂抹。

碱灼伤后先用大量水冲洗，再用 1% 柠檬酸或 1% 硼酸，或 2% 醋酸溶液浸洗，最后用水洗，再用饱和硼酸溶液洗，最后滴入蓖麻油。

(3) 溴灼伤

溴灼伤一般不易愈合，必须严加防范。凡用溴时应预先配制好适量 20% 硫代硫酸钠溶液备用。一旦被溴灼伤，应立即用乙醇或硫代硫酸钠溶液冲洗伤口，再用水冲洗干净，并敷以甘油。若起泡，则不宜把水泡挑破。

(4) 磷烧伤

用 5% 硫酸铜溶液、1% 硝酸银溶液或 10% 高锰酸钾溶液冲洗伤口，并用浸过硫酸铜溶液的绷带包扎，或送医院治疗。

(5) 划伤

化学实验中要用到各种玻璃仪器，如不小心容易被碎玻璃划伤或刺伤。若伤口内有碎玻璃渣或其他异物，应先取出。轻伤可用生理盐水或硼酸溶液擦洗伤处，并用 3% 的 H_2O_2 溶液消毒，然后涂上红药水，撒上消炎粉，并用纱布包扎。伤口较深、出血过多时，可用云南白药或扎止血带，并立即送医院救治。玻璃溅进眼里，千万不要揉擦，不要转眼球，任其流泪，并迅速送医院处理。

(6) 烫伤

一旦被火焰、蒸汽、红热玻璃、陶器、铁器等烫伤，轻者可用 10% 高锰酸钾溶液擦洗伤处，撒上消炎粉，或在伤处涂烫伤药膏（如氧化锌药膏、獾油或鱼肝油药膏等），重者需及时送医院救治。

(7) 触电

人体若通以 50Hz、25mA 交流电时，会感到呼吸困难，100mA 以上则会致死。因此，使用电器必须制定严格的操作规程，以防触电。要注意：已损坏的插头、插座、电线接头、绝缘不良的电线，必须及时更换；电线的裸露部分必须绝缘；不要用湿手接触或操作电器；接好线路后再通电，用后先切断电源再拆线路；一旦遇到有人触电，应立即切断电源，尽快用绝缘物（如竹竿、干木棒、绝缘塑料管棒等）将触电者与电源隔开，切不可用手去拉触电者。

1.5 实验室三废处理

在化学实验室中会遇到各种有毒的废渣、废液和废气（简称三废），如不加处理随意排放，就会对周围的空气、水、土壤等造成污染，影响环境。三废中的某些有用成分应予以回收，通过回收处理，减少污染，综合利用，也是实验室工作的重要组成部分。

1.5.1 废渣处理

有回收价值的废渣应收集起来统一处理，回收利用，少量无回收价值的有毒废渣也应集中起来分别进行处理或深埋于离水源远的指定地点。

钠、钾，碱金属、碱土金属氢化物、氨化物，将其悬浮于四氢呋喃中，在搅拌下慢慢滴加乙醇或异丙醇至不再放出氢气为止，再慢慢加水澄清后冲入下水道。

硼氢化钠或者硼氢化钾应该用甲醇溶解后，用水充分稀释，再加酸并放置，此时有剧毒硼烷产生，所以应在通风橱内进行，其废液用水稀释后冲入下水道。

酰氯、酸酐、三氯化磷、五氯化磷、氯化亚砷，在搅拌下加入大量水后冲走，五氧化二磷加水，用碱中和后冲走。

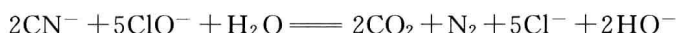
沾有铁、钴、镍、铜催化剂的废纸、废塑料，变干后易燃，不能随便丢入废纸篓内，应趁未干时，深埋于地下。

重金属及其难溶盐，能回收的尽量回收，不能回收的集中起来深埋于远离水源的地下。

1.5.2 废液处理

废酸或者废碱液处理时应将废酸液与废碱液中和至 $\text{pH}=6\sim 8$ 并过滤掉沉淀后排放。

少量含氰废液可加入硫酸亚铁使之转变为毒性较小的亚铁氰化物冲走，也可用碱将废液调到 $\text{pH}>10$ 后，用适量高锰酸钾将氢氰酸根离子氧化后排放。大量含氰废液则需将废液用碱调至 $\text{pH}>10$ 后加入足量的次氯酸盐，充分搅拌，放置过夜，使氢氰酸根离子分解为二氧化碳和氮气后，再将溶液 pH 调到 $6\sim 8$ 排放。



含砷废水可以通过三种方法处理后排放：其一是石灰法，其二是硫化法，还有一种是镁盐脱砷法。石灰法是将石灰投入到含砷废液中，使其生成难溶性的砷酸盐和亚砷酸盐。



硫化法用 H_2S 或 Na_2S 作硫化剂，使含砷废液生成难溶硫化物沉淀，沉降分离后，调溶液 $\text{pH}=6\sim 8$ 后排放。镁盐脱砷法是在含砷废水中加入足够的镁盐，调节镁砷比为 $8\sim 12$ ，然后利用石灰或其他碱性物质将废水中和至弱碱性，控制 pH 在 $9.5\sim 10.5$ ，利用新生的氢氧化镁与砷化合物共沉积和吸附作用，将废水中的砷除去。沉降后，将溶液 pH 调到 $6\sim 8$ 之间后排放。

含汞废水处理也包括三种方法：一种是化学沉淀法，一种是还原法，还有一种是离子交换法。化学沉淀法是在含 Hg^{2+} 的废液中通入 H_2S 或 Na_2S ，使 Hg^{2+} 形成 HgS 沉淀。为防止形成 HgS_2^{2-} 可加入少量 FeSO_4 使过量的 S^{2-} 与 Fe^{2+} 作用生成 FeS 沉淀。过滤后残渣可回收或深埋，溶液调 $\text{pH}=6\sim 8$ 排放。还原法是利用镁粉、铝粉、铁粉、锌粉等还原性金属，将 Hg^{2+} 、 HgS_2^{2-} 还原为单质 Hg （此法并不十分理想）后回收。离子交换法是利用阳离子交换树脂把 Hg^{2+} 、 Hg_2^{2+} 交换于树脂上，然后再回收利用（此法较为理想，但成本较高）。

含铬废水的处理包括铁氧体法和离子交换法。铁氧体法是在含 $\text{Cr}(\text{VI})$ 的酸性溶液中加入硫酸亚铁，使 $\text{Cr}(\text{VI})$ 还原为 $\text{Cr}(\text{III})$ ，使用 NaOH 调 pH 至 $6\sim 8$ ，并通入适量空气，控制 $\text{Cr}(\text{VI})$ 与 FeSO_4 的比例，使生成难溶于水的组成类似于 Fe_3O_4 （铁氧体）的氧化物（此氧化物有磁性），借助于磁铁或电磁铁可使其沉淀分离出来，达到排放标准（ $0.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ）。含铬废水中，除含有 $\text{Cr}(\text{VI})$ 外，还含有多种阳离子。离子交换法通常是将废液在酸性条件下（ $\text{pH} 2\sim 3$ ）通过强酸性 H 型阳离子交换树脂，除去金属阳离子，再通过大孔弱碱性 OH 型阴离子交换树脂，除去 SO_4^{2-} 等阴离子。流出液为中性，可作为纯水循环再用。阳离子树脂用盐酸再生，阴离子树脂用氢氧化钠再生，再生可回收铬酸钠。

2 实验数据处理

2.1 测量误差

为了加深学生对无机及分析化学基本概念和基本理论的理解,培养学生严肃认真、实事求是的科学态度,使学生熟悉常用仪器的使用方法以及实验数据的记录、处理和结果分析,在无机及分析化学实验中安排有一定数量的物理常数测定实验、定量分析实验。由于这些实验测得的数据需要经过分析、取舍、计算、处理才能最后获得实验结果,因而对实验结果的准确度通常有一定的要求。所以在实验过程中,除要选用合适的仪器和正确的操作方法外,还要学会科学地处理实验数据,以使实验结果与理论值尽可能地接近。为此,需要掌握误差和有效数字的概念,正确的列表法、作图法,计算机数据处理方法,并把它们应用于实验数据的分析和处理中。

2.1.1 误差

测定值与真实值之间的差值称为误差。误差在测量工作中是普遍存在的,即使采用最先进的测量方法,使用最先进的精密仪器,由最熟练的工作人员来测量,测定值与真实值也不可能完全符合。测量的误差越小,测定结果的准确度就越高。根据误差性质的不同,可把误差分为系统误差、随机误差两类。

(1) 系统误差

又称可测误差,主要包括仪器误差、人员误差、方法误差等。系统误差是由某些比较确定的因素引起的,它对测定结果的准确度影响比较固定,重复测量时,它会重复出现。系统误差是由实验方法的不完善、仪器不准、试剂不纯、操作不当以及条件不具备等原因引起的,可以通过改进实验方法、校正仪器、提高试剂纯度、严格操作规程和实验条件等手段来减小这种误差。

(2) 随机误差

又称偶然误差。随机误差是由某些难以预料的偶然因素,如环境温度、湿度、振动、气压、测量者心理和生理状态变化等引起的。它对实验结果的影响无规律可循,一般只有通过多次测量取其算术平均值来减小这种误差。

误差的大小可以通过绝对误差或者相对误差来表示。绝对误差是用实验测量值与真实值之间的差值来表示。当测定值大于真实值时,绝对误差是正的;测定值小于真实值时,绝对误差是负的。绝对误差只能显示出误差变化的范围,而不能确切地表示测量结果的准确度,所以一般用相对误差来表示测量的误差,相对误差用绝对误差在真值中所占的百分数来表示:

$$\text{相对误差 } E_r = \frac{E_a}{T} \times 100\% \quad (2-1)$$

相对误差不仅与测量值的绝对误差有关,还与真值的大小有关,可以更好地表示实验结果的准确度。例如,醋酸的解离常数真实值为 1.76×10^{-5} ,两次实验测得的醋酸解离常数

分别为 1.80×10^{-5} 和 1.75×10^{-5} ，则测量的绝对误差分别为

$$1.80 \times 10^{-5} - 1.76 \times 10^{-5} = 4 \times 10^{-7}$$

$$1.76 \times 10^{-5} - 1.75 \times 10^{-5} = 1 \times 10^{-7}$$

测量的相对误差分别为：

$$\frac{4 \times 10^{-7}}{1.76 \times 10^{-5}} \times 100\% = 2.27\%$$

$$\frac{1 \times 10^{-7}}{1.76 \times 10^{-5}} \times 100\% = 0.57\%$$

显然，后一数值准确度较高。

2.1.2 偏差

每次测量结果与平均值之差，称为偏差。偏差包括绝对偏差和相对偏差，绝对偏差等于每次测量值与平均值的差值；相对偏差通常用绝对偏差在平均值中所占百分数来表示。绝对偏差或者相对偏差越小，表示测量结果的重现性越好，即精密度高。实验中我们通常以测量结果的平均偏差或者标准偏差来表示测量结果的精密性。

$$\text{平均偏差 } d = \frac{|d_1| + \dots + |d_n|}{n} \quad (2-2)$$

或

$$\text{标准偏差 } s = \sqrt{\frac{d_1^2 + \dots + d_n^2}{n-1}}$$

式中， n 表示测量次数； d_1 表示第一次测量的绝对偏差； d_n 表示第 n 次测量的绝对偏差。其中用标准偏差比用平均偏差更好，因为将每次测量的绝对偏差平方之后，较大的绝对偏差会更显著地显示出来，这就可以更好地反映测量数据的波动性及数据的分散程度。绝对偏差 (d_i) 和标准偏差 (s) 都是指个别测定值与算术平均值之间的关系。若要用测量的平均值来表示真实值，还必须了解真实值与算术平均值之间的偏差 $s_{\bar{x}}$ 以及算术平均值的极限误差 $\delta_{\bar{x}}$ ，这两个值可分别由以下两个公式求出：

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \Delta_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2-3)$$

$$\delta_{\bar{x}} = 3s_{\bar{x}} \quad (2-4)$$

这样，准确测量的结果（真实值）就可以近似地表示为 $x = \bar{x} \pm \delta_{\bar{x}}$

2.1.3 准确度与精密度

准确度是指测定值与真实值之间的偏离程度，通常用误差来量度。误差越小说明测量结果的准确度越高。精密度是指测量结果的相互接近程度，通常以偏差来表示，偏差越小说明测量结果的精密性越高。可以看出，误差和偏差、准确度与精密度的含义是不同的。误差是以真实值为基准，而偏差则是以多次测量结果的平均值为标准。精密度高不一定准确度就好，但准确度高一定要求精密度高。精密性是保证准确度的先决条件。由于通常真实值无法知道，因此往往以多次测量结果的平均值来近似代替真实值。评价某一测量结果时，必须将系统误差和随机误差的影响结合起来考虑，把准确度与精密度统一起来要求，才能确保测定结果的可靠性。

2.1.4 减小误差的主要措施

要提高测量结果的准确度，必须尽可能地减小系统误差、随机误差。通过多次实验，取

其算术平均值作为测量结果，严格按照操作规程认真进行测量，就可以减小随机误差和消除过失误差。在测量过程中，提高准确度的关键就在于减小系统误差。减小系统误差，通常采取如下三种措施：

① 校正测量方法和测量仪器 可用国家标准方法与所选用的方法分别进行测量，将结果进行比较，校正测量方法带来的误差。对准确度要求高的测量，可对所用仪器进行校正，求出校正值，以校正测定值，提高测量结果的准确度。

② 进行对照试验 用已知准确成分或含量的标准样品代替试验样品，在相同实验条件下，用同样方法进行测定，来检验所用的方法是否正确、仪器是否正常、试剂是否有效。

③ 进行空白试验 空白试验是在相同测定条件下，用蒸馏水（或去离子水）代替样品，用同样的方法、同样的仪器进行实验，以消除由水质不纯所造成的系统误差。

2.2 有效数字及其运算规则

2.2.1 有效数字位数的确定

有效数字是由准确数字与一位可疑数字组成的测量值。它除最后一位数字是不准确的外，其他各数都是确定的。有效数字的有效位数反映了测量结果的精密度。有效位是从有效数字最左边起第一个不为零的数字起到最后一个数字止的数字个数。例如，用精密度为千分之一的天平称一块锌片其质量为 0.321g，这里 0.321 就是一个三位有效数字，其中最后一个数字 1 是不甚确定的。用某一测量仪器测定物质的某一物理量，其准确度都是有一定限度的。测量值的准确度取决于仪器的可靠性，也与测量者的判断力有关。测量的准确度是由仪器刻度标尺的最小刻度决定的。如上面这台天平的绝对误差为 0.001g，称量这块锌片的相对误差为：

$$\frac{0.001}{0.321} \times 100\% = 0.31\%$$

在记录测量数据时，不能随意乱写，不然就会增大或缩小测量的准确度。如把上面的称量数字写成 0.3210，这样就把可疑数字 1 变成了确定数字 1，从而夸大了测量的准确度，这是和实际情况不相符的。

有的人可能认为：测量时，小数点后的位数愈多，精密度愈高，或在计算中保留的位数越多，准确度就越高。其实小数点后面位数的多少与实验结果的准确度之间并无必然联系。小数点的位置只与单位有关，如 135mg，也可以写成 0.135g，也可以写成 1.35×10^{-4} kg，三者的精密度完全相同，都是 3 位有效数字。注意：首位数字 ≥ 8 的数据其有效数字的位数在计算过程中可多算 1 位，如 9.25 可算作 4 位有效数字。常数、系数等有效数字的位数没有限制。

记录和计算测量结果都应与测量的精确度相一致，任何超出或低于仪器精确度的数字都是错误的。常见仪器的精确度见表 2-1。

表 2-1 常见仪器的精确度

仪器名称	仪器精确度	例子	有效数字位数
台天平	0.1g	6.5g	2 位
电子分析天平	0.0001g	1.2458g	5 位
100mL 量筒	1mL	75mL	2 位

续表

仪器名称	仪器精确度	例子	有效数字位数
移液管	0.01mL	25.00mL	4 位
容量瓶	0.01mL	100.00mL	5 位
滴定管	0.01mL	25.34mL	4 位
酸度计	0.01	4.56	2 位

对于有效数字的确定，还有几点需要指出：

第一，“0”在数字中是否是有效数字，与“0”在数字中的位置有关。“0”在数字后或在数字中间，都表示一定的数值，都算是有效数字，“0”在数字之前，只表示小数点的位置（仅起定位作用）。如 3.0005 是五位有效数字，2.5000 也是五位有效数字，而 0.0025 则是两位有效数字。

第二，对于很大或很小的数字，如 260000 和 0.0000025 采用科学计数法表示更简便合理，写成 2.6×10^5 和 2.5×10^{-6} 。“10”不包含在有效数字中。

第三，对化学中经常遇到的 pH、lgK 等对数数值，有效数字仅由对数的小数部分数字位数来决定，首数（整数部分）只起定位作用，不是有效数字。如 pH=4.76 的有效数字为两位，而不是三位。4 是“10”的整数方次，即 10^4 中的 4。

第四，在化学计算中，有时还遇到表示倍数或分数的数字，如 $n(\text{KMnO}_4)/5$ ，式中的 5 是个固定数，不是测量所得，不应当看作一位有效数字，而应看作无限多位有效数字。

2.2.2 有效数字的运算规则

(1) 有效数字取舍规则

记录和计算结果所得的数值，均只保留 1 位可疑数字。当有效数字的位数确定后，其余的数应按照“四舍六入五成双，奇进偶不进”的原则进行修约。“四舍六入五成双，奇进偶不进”的原则是：当尾数 ≤ 4 时舍去；尾数 ≥ 6 时进位；当尾数为 5 时，则要看尾数前一位数是奇数还是偶数，若为奇数则进位，若为偶数则舍去。

(2) 有效数字的四则运算规则

① 加减法运算规则 进行加法或减法运算时，所得的和或差的有效数字的位数，应与各个加、减数中的小数点后位数最少者相同。例如： $23.456 + 0.000124 + 3.12 + 1.6874 = 28.263524$ ，应取 28.26。

以上是先运算后取舍，也可以先取舍后运算，取舍时也是以小数点后位数最少的数为准。

② 乘除法运算规则 进行乘除运算时，其积或商的有效数字的位数应与各数中有效数字位数最少的数相同，而与小数点后的位数无关。例如： $2.35 \times 3.642 \times 3.3576 = 28.73669112$ ，应取 28.7。

同加减法一样，也可以先以小数点后位数最少的数为准四舍五入后再进行运算。当有效数字为 8 或 9 时，在乘除法运算中也可运用“四舍六入五成双，奇进偶不进”的原则，将此有效数字的位数多加 1 位。

(3) 对数字进行其乘方或开方运算时，幂或根的有效数字的位数与原数相同。若乘方或开方后还要继续进行数学运算，则幂或根的有效数字的位数可多保留 1 位。

(4) 在对数运算中，所取对数的尾数应与真数有效数字位数相同。反之，尾数有几位，则真数就取几位。例如：溶液 pH=4.74，其 $c(\text{H}^+) = 1.8 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，而不是 $1.82 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。