

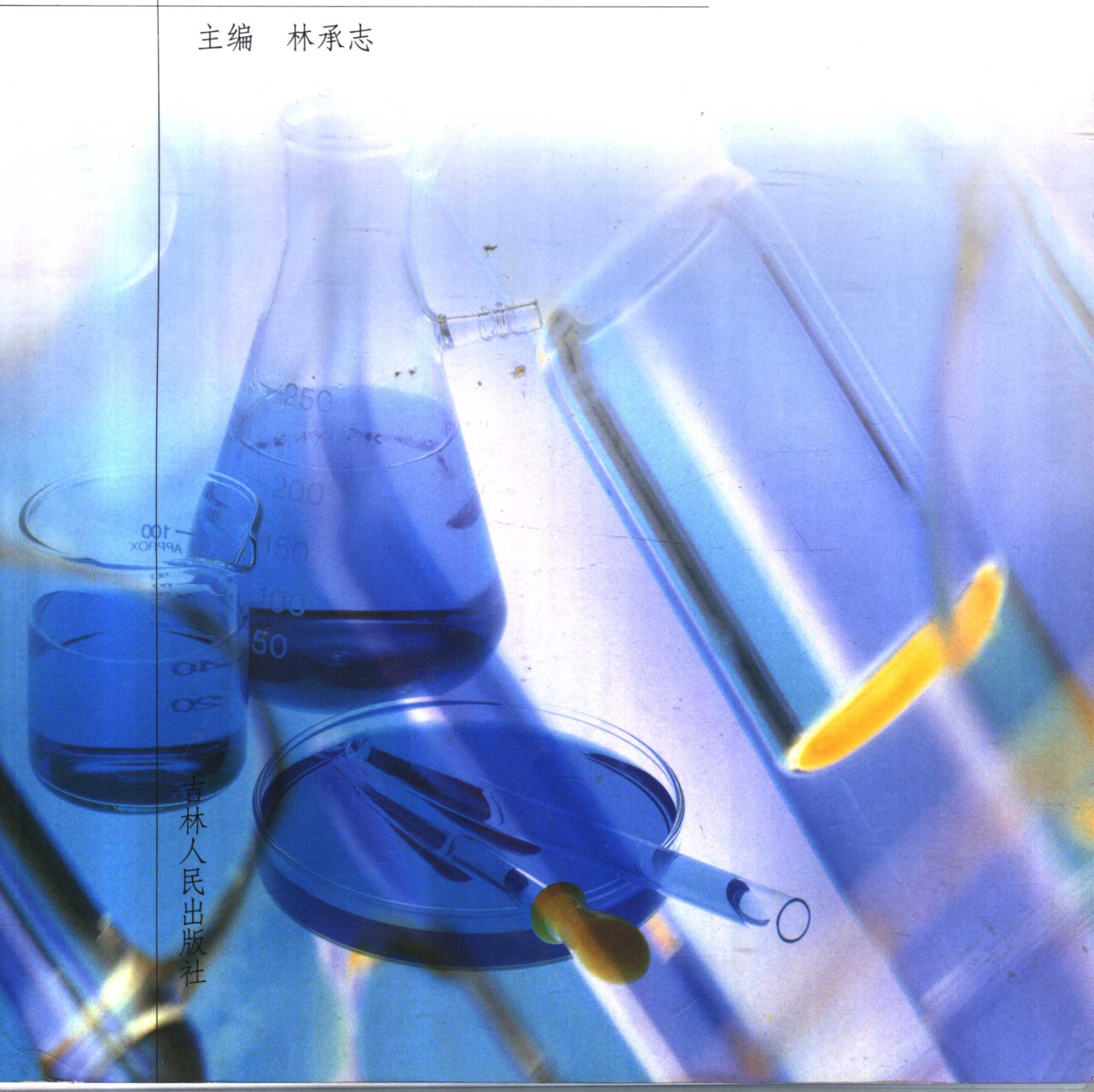


·高等学校试用教材·

# 化学基础实验教程

HUAXUEJICHU  
SHIYANJIAOCHENG

主编 林承志



吉林人民出版社

# 化学基础实验教程

(上)

主编 林承志

编委 (以姓氏笔画为序)

尹红生 田 鹏 辛士刚

苏桂田 陈庆阳 赵桂贞

徐 强 曹中秋



吉林人民出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

化学基础实验教程.上册/林承志主编. — 长春:吉林人民出版社,2006.8  
ISBN 7-206-04989-3

I.化… II.林… III.化学实验—师范大学—教材  
IV.06-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 093797 号

吉林人民出版社  
长春市人民大街7548号

## 化学基础实验教程

主 编:林承志

责任编辑:吴兰萍 封面设计: 

吉林人民出版社出版 发行(长春市人民大街7548号 邮政编码:130022)

印 刷:沈阳航空发动机研究所印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12 字数:307千字

标准书号:ISBN 7-206-04989-3

版 次:2006年8月第1版 印 次:2006年8月第1次印刷

印 数:1-1 000册 定 价:21.00元

如发现印装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

## 前 言

根据化学学科发展既高度综合又高度分化的特点,鉴于化学基础实验教学在培养学生的实践能力、科学思维与方法、创新意识与能力等方面都有重要作用,对化学基础实验教学体系和教学内容进行整体设计和优化,构建分层递进的实验教学模式,将传统的依附于理论课的无机化学实验、有机化学实验、分析化学实验、仪器分析实验和物理化学实验整合为一门课程——化学基础实验,分四个阶段在六个学期内完成:

第一阶段为“化学基本操作技能实验”,在第一学期开设,共 12 个实验,38 学时,重点培养与强化学生的实验操作技能。内容包括化学基础实验中常用的最基本的操作性实验,克服传统上,按四大化学开设实验造成的由于基本操作分散在各个实验中,导致学生忽视操作技能训练以及某些实验技能内容(如天平使用操作等)重复讲授的弊端。

第二阶段为“化学基础实验”,在第二、三学期开设,共 24 个实验,重点培养学生有关化学原理、性质、合成、表征和分析等方面的实验技能,使之较为系统地掌握基础的化学实验方法,初步具有分析问题的能力,奠定学生化学实验技术的“基石”;

第三阶段为“化学综合实验”,在第四、五学期开设,共 26 个实验;第四阶段为“化学研究实验”,在第六学期开设,共 10 个实验。这两个阶段重点培养学生综合思维能力,设计化学实验研究方案、解决应用性、研究性化学实验问题以及创新的能力,克服以往实验单一性和只注重验证性的弊端。

为配合上述改革方案的实施,我们组织编写了配套教材——《基础化学实验教程》,分上下两册。本书为上册,包括化学基本操作技能实验和化学基础实验两编八章共三十四四个实验。其中绪论由林承志编写,第 1 章由林承志和尹红生编写,第 2 章由尹红生、辛士刚、曹中秋和徐强编写,第 3 章和第 4 章由陈庆阳编写,第 5 章由田鹏编写,第 6 章由赵桂贞和苏桂田编写,第 7 章由曹中秋编写,最后由林承志整理统稿。

本书编写过程中,参考了一些相关的实验教材,选用了其中部分插图,列于主要参考书目并致诚挚谢意!

感谢沈阳师范大学教务处、化学与生命科学学院和沈阳师范大学教材建设资金对本书编写给以的大力支持,同时也感谢吉林人民出版社吴兰萍编辑的热情帮助!

《基础化学实验教程》编写组

2006 年 6 月

## 目 录

## 第 1 编 化学基本操作技能实验

绪 论 .....	(1)
§ 0.1 化学基础实验课程的目的 .....	(1)
§ 0.2 化学基础实验课程的学习方法 .....	(2)
第 1 章 化学实验基础知识 .....	(3)
§ 1.1 化学实验的基本常识 .....	(3)
1.1.1 化学实验的基本程序 .....	(3)
1.1.2 化学实验的安全知识 .....	(4)
1.1.3 化学实验测量中的误差 .....	(7)
1.1.4 化学实验的数据处理与表达方法 .....	(12)
§ 1.2 化学实验常用仪器与化学试剂及其使用 .....	(19)
1.2.1 化学实验常用仪器介绍 .....	(19)
1.2.2 玻璃仪器的洗涤与干燥 .....	(26)
1.2.3 化学试剂的分类、规格、存放及使用 .....	(31)
实验 1 仪器的认领、洗涤、干燥和铬酸洗液的配制 .....	(36)
第 2 章 化学实验基本操作技能 .....	(39)
§ 2.1 加热器的使用与简单玻璃加工 .....	(39)
2.1.1 加热器及其使用方法 .....	(39)
2.1.2 加热方法 .....	(44)
2.1.3 玻璃管加工与塞子钻孔 .....	(46)
实验 2 玻璃管加工与塞子钻孔 .....	(49)
§ 2.2 称量仪器的使用与维护 .....	(51)
2.2.1 托盘天平的使用 .....	(51)
2.2.2 分析天平的使用 .....	(52)
2.2.3 称量方法 .....	(58)

实验 3 称量练习 .....	(59)
§ 2.3 基本容量器皿的使用 .....	(61)
2.3.1 常用容量器皿介绍 .....	(61)
2.3.2 常用容量器皿使用 .....	(61)
实验 4 标准溶液的配制与标定 .....	(65)
§ 2.4 温度计的使用与温度的测量 .....	(67)
2.4.1 普通水银温度计的使用与误差校正 .....	(67)
2.4.2 贝克曼温度计的使用 .....	(68)
2.4.3 恒温的控制方法与超级恒温槽的使用 .....	(70)
§ 2.5 物质分离和提纯操作 .....	(72)
2.5.1 固体物质的分离 .....	(72)
实验 6 乙酰苯胺的提纯 .....	(76)
2.5.2 萃取和蒸馏分离 .....	(77)
实验 7 工业乙醇的纯化 .....	(84)
2.5.3 固体的升华和分离 .....	(85)
实验 8 从茶叶中提取咖啡因(索氏提取器提取) .....	(88)
2.5.4 层析法 .....	(89)
实验 9 菠菜叶绿素的提取 .....	(93)
§ 2.6 气体的制备、收集 .....	(94)
2.6.1 实验装置的选用、装配及气密性检查 .....	(94)
2.6.2 气体的发生、收集、净化和干燥 .....	(96)
实验 10 二氧化碳相对分子量的测定 .....	(102)
§ 2.7 常用基本测量仪器的使用 .....	(104)
2.7.1 酸度计的使用 .....	(104)
2.7.2 电导率仪的使用 .....	(108)
实验 11 醋酸解离度和解离常数的测定 .....	(110)
2.7.3 721 型分光光度计的使用 .....	(113)
实验 12 磺基水杨酸铁(Ⅲ)配合物的组成及其稳定常数的测定 .....	(115)

## 第 2 编 化学基础实验

第 3 章 化学原理实验 .....	(119)
实验 13 化学反应速率与活化能的测定 .....	(119)
实验 14 $I_3^- = I^- + I_2$ 平衡常数的测定 .....	(123)
实验 15 氧化还原反应和氧化还原平衡 .....	(126)

第4章 元素化学实验 .....	(129)
实验 16 p 区非金属元素(一)(卤素、氧、硫) .....	(129)
实验 17 p 区非金属元素(二)(氮族、硅、硼) .....	(133)
实验 18 主族金属元素(碱金属、碱土金属、铝、锡、铅、铋、铊) .....	(136)
实验 19 ds 区金属(铜、银、锌、镉、汞) .....	(139)
实验 20 第一过渡系元素(一)(钛、钒、铬、锰) .....	(142)
实验 21 第一过渡系元素(二)(铁、钴、镍) .....	(146)
第5章 定量分析实验 .....	(149)
实验 22 混合碱的分析(双指示剂法) .....	(149)
实验 23 铵盐中氮含量的测定(甲醛法) .....	(151)
实验 24 水的总硬度的测定 .....	(152)
实验 25 铅、铋混合液中铅、铋含量的连续测定 .....	(154)
实验 26 高锰酸钾法测定过氧化氢的含量 .....	(155)
第6章 有机化合物制备实验 .....	(157)
实验 27 环己烯的制备 .....	(157)
实验 28 溴乙烷的制备 .....	(159)
实验 29 1-溴丁烷的制备 .....	(160)
实验 30 正丁醚的制备 .....	(163)
实验 31 2-甲基-2-己醇的制备 .....	(164)
第7章 基本物理和化学参数测定实验 .....	(168)
实验 32 燃烧热的测定——用氧弹量热计测定萘的燃烧热 .....	(168)
实验 33 凝固点降低法测相对分子质量 .....	(172)
实验 34 液体饱和蒸汽压的测定 .....	(175)
实验 35 电极制备及电池电动势的测定 .....	(178)
实验 36 乙酸乙酯皂化反应速度常数的测定 .....	(181)
主要参考书目 .....	(184)

# 第1编 化学基本操作技能实验

## 绪 论

同学们:

化学是一门以实验为基础的学科。在中学阶段,你们已经学习了一些化学理论知识并亲手做了一些化学实验。进入大学后,为了完成你们所学习的专业的课程计划,还必须进一步学习更多的化学理论知识,更深入地探索化学世界的奥秘。在这一过程中,进一步掌握和提高化学实验技能是十分必要的。本门课程——《化学基础实验》就是帮助大家实现这一目标。

### § 0.1 化学基础实验课程的目的

实验是人类研究自然界运动变化规律最基本的方法。德国杰出的物理学家、量子论的创始人普朗克(M. Planck),在他的《从近代物理学来看宇宙》一书中指出,物理定律“不可能单纯依靠思维来获得;惟一可能的途径就是致力于对自然的观察,尽可能搜集大量的各种经验事实,并把这些事实加以比较,然后以最简单最全面的命题总结出来。”

物理学是这样,其他学科也是如此。研究任何科学都必须先搜集事实,而后才能总结出规律,建立假说和理论。化学作为一门自然科学分支,实验也必然是其重要“基石”和“试金石”。也就是说,从根本上讲,一切化学定律、原理、学说都来源于化学实验,同时又受化学实验的检验。

化学实验课是传授化学知识和技能,验证化学定律和原理、学说,训练科学思维和方法,培养科学精神和科学素质的重要途径之一。它不仅涉及到化学实验操作基础训练内容,还涉及到化学产品的制备合成方法内容;不仅涉及到对化学理论的验证内容,还涉及到解决实际化学问题的探索内容;不仅涉及到经典的化学实验方法内容,还涉及到现代化学研究前沿的先进技术内容。鉴于此,化学基础实验课程的目的可以概括为以下诸项:

第一,使学生掌握常用的化学基本操作技能;理解化学实验的基本原理;熟悉常用的化学合成方法和分析表征方法;逐步形成能科学合理设计实验方案,细致观察实验现象,详实记录实验数据,系统研究实验过程的能力;以及正确有效地处理实验数据,科学无误地表达实验结果的能力。



第二,培养实事求是、严肃认真、一丝不苟的科学态度;养成精确测量、细致观察、正确操作、注意整洁的科学习惯;逐步掌握严谨、批判性的思维方式和科学缜密的研究方法,不断提高分析问题和解决问题的能力。

第三,加深对化学基础知识和基本原理的理解和掌握,不断提高化学认识能力和研究能力。

## § 0.2 化学基础实验课程的学习方法

要实现上述学习目标,除必须树立端正的学习态度外,还应掌握正确的学习方法:

首先,实验前应认真做好实验预习,弄清实验要做什么,怎么做,为什么这样做,不这样做是否可行,有没有其他更好的方法能达到同样的目的。了解实验中要使用哪些重要仪器,熟悉其工作原理和操作方法。清楚实验的基本原理。

其次,实验过程中要积极思考,认真操作,仔细观察,详实记录,注意安全。对实验过程中出现的异常现象要及时向指导教师报告。

再次,实验结束后,要及时做好数据整理处理工作,总结实验成功的经验,分析造成失误乃至失败的原因,积极思考改进实验的方法和方案。对实验结果进行归纳和讨论。

第四,坚持理论联系实际结合相关的化学理论知识,对实验原理进行分析讨论,对实验现象做出合理的解释,进而深化对化学理论知识的理解和掌握。

# 第1章 化学实验基础知识

## §1.1 化学实验的基本常识

### 1.1.1 化学实验的基本程序

#### 1. 实验预习

化学实验的首要程序是认真做好实验预习,以杜绝“照方抓药”的不良现象。实验预习的主要内容有:

- ① 认真阅读实验教材、参考教材和辅助资料的有关内容,对整个实验方案真正做到心中有数。
- ② 明确实验目的,理解实验原理,认真复习实验的预备知识。
- ③ 熟悉实验内容、步骤和操作规程,把握实验的关键环节。
- ④ 了解实验所用的仪器设备的工作原理和正确的操作方法。
- ⑤ 按要求写好简明扼要的预习报告。

#### 2. 实验操作

实验操作过程是化学实验的核心内容,它关系着实验能否成功。因此在进行化学实验操作时,应做到以下几点:

- ① 检查实验所需备品是否齐备,仪器设备状态是否良好。
- ② 严格按事先设计的方案步骤实验,不得擅自随意改变实验操作程序和步骤。
- ③ 认真操作,注意相互配合,细心观察,详实记录。
- ④ 保持肃静,遵守规则,注意安全,整洁节约。
- ⑤ 勤于思考,善于分析,勇于克服困难,力争自己解决问题,遇到难以解决的问题,应主动向指导教师请教。
- ⑥ 实验完毕后,应洗净仪器,整理好实验台面,将仪器设备恢复到起始状态。

#### 3. 实验记录

详细真实的实验记录是一个高质量的实验成果的重要组成部分。实践表明,即使是对于十分简单的实验现象,如果不在实验的当时及时记录,事后要准确无误地回忆描述,也是

十分困难的。同时,详尽的实验记录更是进行重复实验的必备依据。因此,从某种意义上讲,在科学实验过程中,养成良好的观察记录习惯比拥有大量的学术知识更为重要。在做实验记录时,应注意以下几点:

① 记录本必须专用,不能记录在零纸碎片上。如果实验规模大或周期长,应准备多个记录本,并编上顺序号和页码。

② 记录的形式和内容等虽然因实验的种类和实验者本人的兴趣习惯而异,但必须做到完整、真实、清晰和简洁,以便日后查阅。

③ 实验记录中,首先要记录实验的日期(必要时要记录时刻)、天候(包括晴雨、室温、湿度和气压等)和实验条件。如果实验使用的同型号仪器设备不止一台(套),还应记录仪器设备的编号。

④ 为了记录简便迅速,可以采用缩写或略语记录,但应记下其确切含义。要尽可能使用通用的缩写和略语,并且要前后一致,以免日后产生疑义或歧义。记录最好使用油性笔,不能用铅笔。

⑤ 记录必须是原始即时的,靠回忆、转记或为了记录书面整洁漂亮而重新誊清等都是必须杜绝的。不能只记录符合事先设想的实验现象和数据,而随便放弃与预料相反的内容。

⑥ 对于实验数据的记录最好采用表格,记录的必须是原始数据,并且要注意核对单位。

⑦ 一旦发现记录书写错误应在旁边及时更正,不能撕页。更正应用横线将错误内容划去,不要涂抹,也不能只改正个别数字或文字,应尽可能把有差错的整个数据或句子全部重写。如果可能,最好记上更正理由。

#### 4. 实验报告的撰写

实验结束后,应及时独立写出实验报告。实验报告应字迹端正整齐,内容简洁明了,层次清晰规范,结论明确。通常实验报告包括如下内容:

一、实验目的 要准确明晰。

二、实验原理 要简单扼要。

三、实验步骤 应层次分明,可采用表格、框图、符号等形式明了表示。

四、实验现象和数据记录 要全面详实表述实验现象,准确规范记录实验数据。

五、数据处理 要严格按照数据处理的规则处理,具体见 1.1.4 节。

六、实验结果 依照实验原理对实验结果的可靠程度与合理性进行评价,科学准确地解释所观察到的实验现象,实事求是地分析实验的成败原因。

七、问题讨论 对实验当中遇到的疑难问题、异常现象提出自己的观点见解;对实验的关键环节和影响条件进行分析讨论;对实验方案(包括操作方法、检测手段、合成路线、实验内容等)提出自己的改进意见和建议。

### 1.1.2 化学实验的安全知识

#### 1. 化学实验室学生守则

(1) 学生在实验室从事实验活动,必须严格遵守实验室的各项规章制度。

(2) 实验前必须认真做好预习,明确实验的目的、内容和步骤,未经预习或无故迟到15分钟以上者,指导人员有权取消其实验资格。

(3) 进入实验室后必须听从指导教师和实验室工作人员的安排,未经允许,不得擅自联接电源。

(4) 实验过程中,应保持实验室的严肃、安静、卫生、整洁,严禁在实验室内进食、吸烟和乱吐乱丢杂物,不得在实验室内大声喧哗、嬉闹,不准在实验室内做与实验内容无关的事情。

(5) 要爱护仪器设备,节约实验材料,遵守操作规程,认真记录实验数据。室内应保持整洁,实验中的废物或废液要按指定地点倾倒。

(6) 实验时,仪器设备如有损坏,应及时报告登记。发现异常情况,要及时报告实验教师或实验技术人员,并采取相应的措施,减少事故造成的损失。一旦发生事故,要及时采取措施,迅速如实地向有关部门报告,并保护好现场。

(7) 必须以实事求是的科学态度进行实验,严格遵守操作规程,服从实验教师或实验技术人员的指导(对有特殊要求的实验,必须按要求穿戴安全防护用具后方可进行实验),如未按操作规程或不听从指导而造成安全事故或仪器设备损坏等事故者,由学生本人负责,学校按有关规定进行处理。

(8) 学生应备有专用实验记录本,实验记录是原始性记录,是撰写实验报告的主要依据,内容要求真实、客观地反映实际情况,实验结果、实验记录必须经实验教师或实验技术人员审阅认可。

(9) 实验完成后,须经教师检查实验中仪器设备无损坏后,方可整理实验场地,清理、归还仪器、工具等,关闭电源、水源、气源和门窗,经实验教师或实验技术人员同意后,方可离开实验室。

(10) 实验报告是实验完成后的全面总结,必须独立完成,按时交给实验教师,不得抄袭或臆造。实验报告一律用钢笔书写,统一采用国家标准所规定的单位与符号,要求文字书写工整,不得潦草;作图规范,不得随手勾画。

(11) 对违反本守则和有关规章制度所造成的事故和损失,要追究当事人的责任,并视情节给以严肃处理。

## 2. 化学实验安全与防护

化学实验安全防护内容包括:

① 避免腐蚀性试剂(如浓酸、浓碱、强氧化剂等)溅到皮肤、衣服或鞋袜上。

② 产生有毒或腐蚀性气体的实验,应在通风橱内进行。操作时头部应在通风橱外,以免中毒。

③ 使用有毒试剂时,应事先熟悉操作注意事项,小心操作。实验完毕后,要及时妥善处理残液。

④ 使用易燃易爆物品时,附近不能有明火或热源。易燃易爆或有毒的挥发性物质用后要收集于指定的密闭容器中,要严防煤气、氢气等实验室常用可燃性气体泄露。

⑤ 使用性质不明的物质时,不能直接接触(如嗅闻、触摸等)。应先用最小剂量预试,以免发生意外危险。

⑥ 普通玻璃器皿不可加热,也不可倒入热溶液,以免引起器皿破裂或容量误差。

⑦ 灼热的器皿不可直接放在实验台面上或接触冷物体,应放在石棉网(板)上,不能用手直接接触,更不能立即放入柜内。

⑧ 加热试管时,管口不能对着自己或他人,不要俯视正在加热的液体。

⑨ 特殊仪器设备应在使用前了解熟悉其性能及使用方法和操作规程,严格按照说明书要求操作。当发生不明情况时,不得随便接近仪器设备或扳动旋钮。

### 3. 实验室意外事故处理

#### (1) 化学灼烧处理

① 酸(或碱)灼伤皮肤时,应立即先用大量清水冲洗,然后再用碳酸氢钠饱和溶液(或1% - 2% 乙酸溶液)冲洗,最后再用清水冲洗,涂敷氧化锌软膏(或硼酸软膏)。

② 酸(或碱)灼伤眼睛时,千万不要揉搓眼睛,应立即用大量清水冲洗,再用3% 硫酸氢钠溶液(或3% 硼酸溶液)淋洗,然后用蒸馏水冲洗。

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

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 苯酚灼伤皮肤时,先用大量清水冲洗,然后用4:1的乙醇(70%) + 氯化铁(1mol · L<sup>-1</sup>)的混合液洗涤。

#### (2) 毒物误入口、鼻内感到不适时的处理

① 毒物误入口时,立即口服5 ~ 10mL 稀 CuSO<sub>4</sub> 温水溶液,用手指抠喉咙促使呕吐毒物。

② 有煤气等毒气体吸入时,应立即到室外呼吸新鲜空气;吸入溴蒸气或氯气时,应立即吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气,以便解毒。

#### (3) 着火处理

① 一般火焰较小时可以用湿布、石棉布或沙子等覆盖;火焰较大应根据着火的情况选择使用不同的灭火器,必要时拨打火警电话报警。

② 油类、有机溶剂着火,切勿用水灭火,火小时应用沙子或干粉覆盖;大火时应使用二氧化碳灭火器或干粉灭火器灭火。

③ 活泼金属着火可用干燥的细沙覆盖灭火。

④ 电器设备着火,应立即切断电源,小火可用石棉布或湿布覆盖灭火;大火则应用四氯化碳灭火器或干粉灭火器灭火。

### 4. 化学实验室“三废”处理

化学实验室的“三废”指实验过程产生的废气、废液和废渣,其种类繁多,绝大多数是对人类有害的,排放到环境中将对环境造成污染,威胁人们的健康,对动植物也会产生伤害。因此,决不能简单地将其排放出实验室,必须集中收集进行必要的处理,常用的处理方法有:

#### (1) 废气的处理方法

用适当的液体吸收剂或固体吸收剂处理气体混合物,除去其中的有害气体。常见的吸收剂及其功能见表1—1。

#### (2) 废液的处理方法

① 中和法 对于酸含量小于3 ~ 5% 的酸性废水或碱含量小于1 ~ 3% 的碱性废水可采

用此法。若酸性废水中不含硫化物,可用浓度相当的碱性废水中和;对含重金属离子较多的酸性废水可通过直接加入碱性试剂进行中和。

②萃取法 采用与水不互溶但能良好溶解污染物的萃取剂将污染物提取出来。

③沉淀法 在废液中加入某种化学试剂使其中的污染物发生化学反应,生成沉淀,然后分离常用的沉淀剂见表1—2。

此外还有氧化还原法、离子交换法、活性炭吸附法、电化学净化法等。

表1—1 常用吸附剂及其功能

吸附剂		吸附处理物质
固 体 吸 附 剂	活性炭	苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、甲醛、乙醇、乙醚、乙酸乙酯、丙酮、汽油、氯乙烯、恶臭物、 $H_2S$ 、 $Cl_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $SO_2$ 、 $NO_x$ 、 $CS_2$ 、 $CCl_4$ 、 $HCl$ 、 $H_2CCl_2$ 等
	浸渍活性炭	烯烃、胺、硫醇、酸雾、 $H_2S$ 、 $Cl_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $SO_2$ 、 $NH_3$ 、 $HF$ 、 $HCl$ 、 $HCHO$ 、 $Hg$ 等
	活性氧化铝	$H_2O$ 、 $H_2S$ 、 $SO_2$ 、 $HF$ 等
	浸渍活性氧化铝	酸雾、 $Hg$ 、 $HCl$ 、 $HCHO$ 等
	硅胶	$H_2O$ 、 $SO_2$ 、 $NO_x$ 、 $C_2H_2$ 等
	分子筛	$H_2O$ 、 $H_2S$ 、 $CO_2$ 、 $SO_2$ 、 $NO_x$ 、 $CS_2$ 、 $CCl_4$ 、 $NH_3$ 、 $C_mH_n$ 等
	焦炭粉粒	沥青烟
	白云石粉	沥青烟
液 体 吸 附 剂	蚯蚓类	恶臭类物质
	碱性溶液	$SO_2$ 、 $HF$ 、 $HCl$ 、 $CO_2$ 、 $NO_x$ 、酸雾等
	酸性溶液	$NH_3$
	氧化剂溶液	$NO_x$ 、汞蒸气
	有机溶液	$SiF_4$ 、 $Cl_2$ 、沥青烟

表1—2 常用沉淀剂及其功能

沉淀剂	沉淀处理物质
$NaOH$	汞、铬、镉、铜、铅、锌、镍等
$NaS$ 、 $H_2S$ 、 $(NH_4)_2S$ 、 $CaS$ 、	汞、砷等
$BaCO_3$ 、 $BaCl_2$	$CrO$ 等
$(FeSO_4 + NaOH)$ pH = 6 ~ 8	$Cr^{+6}$
$FeSO_4$	氰化物

### (3) 废渣的处理方法

主要采用掩埋法,但含溶于水毒物的废渣必须经过处理后才能掩埋,掩埋的地点应记录备查。

#### 1.1.3 化学实验测量中的误差

##### 1. 化学实验中的测量

在化学实验中常常需要测量试样或环境的各种物理量,常用的测量方法有:

### (1) 直接测量

即用某种仪器设备直接测量出某物理量的结果。它可以分为直接读数法和比较读数法。当被测量直接由测量仪器刻度显示时称为直接读数法,如用温度计测温度、用秒表记时间、用压力表测气压等;若被测量是通过与一已知量比较而得出的,称为比较读数法,如用光电天平称质量、用电桥测量电阻等。

### (2) 间接称量

在化学实验中,许多物理量是不能直接利用仪器测量的,需要根据其他物理量通过应用一些原理公式计算得到,这就是间接测量。在化学实验中,许多物理量的间接测量就是一个小的实验项目。

## 2. 测量中误差的概念及种类

在各种测量过程中,由于受仪器设备、试剂纯度、测量条件和测量者本身等诸多因素的影响,使得测量值与真实值之间总会存在一定的差距,称之为误差。实践表明,即使是同一个人在相同的条件下,对同一样本进行多次测量,所得结果也不完全相同,这表明误差是客观存在的。为了使测量结果尽量接近客观真实值,操作者必须对误差产生的原因进行分析,掌握减少乃至避免误差的措施。这就需要对误差的种类加以分析。

根据产生误差的原因及特点误差可以分成三类:

### (1) 系统误差(systematic errors)

系统误差又称恒定误差。其特点是使测量结果总是恒偏大或恒偏小。系统误差的来源有以下几方面:

① 仪器误差 是由于仪器设备本身的精确度有限或未经校正或调节不当而产生的。虽然仪器设备不可能绝对准确,经过使用也会因磨损使精确度降低,但这种误差完全可以通过细心调整,精心维护和改用其他仪器设备来减免。

② 环境误差 指测量中环境因素(如温度、湿度、气压、电磁场以及震动等)的变化对仪器设备的影响带来的误差。当各种环境条件与测量要求的标准状况不一致时产生的误差也在此列。这类误差可以通过改变环境因素来发现,并通过控制环境条件来减免。

③ 个人误差 由测量者个人的不良习惯或偏向引起的误差称为个人误差。实验中常发现,在相同条件下,使用同一仪器,测量结果却不一样,就是由于个人误差造成的。常见的个人误差如读取数据时视线总是偏高或偏低;记录某一信号时间总是滞后;对某一种颜色反应迟钝,以及操作水平低,控制条件能力差等。个人误差可以通过加强训练纠正不良习惯加以减免。

④ 方法误差 因使用的实验方法的理论根据有缺陷或前提假设有误或使用了近似公式等原因都会产生方法误差。此类误差可以通过“对照实验”来减免或消除。所谓“对照实验”就是使用公认的标准方法与所采取的方法对同一试样进行测量,找出校正值,然后从测量结果中扣除。

### (2) 随机误差(random errors)

随机误差又称偶然误差。是由于环境条件(如温度、湿度、气压、电磁场等)的瞬时波动而引起的。虽然每次的随机误差的大小正负不确定,但若多次测量,则有规律性,即符合正

态分布规律,表现为:

- ① 对称性 绝对值相等的正负误差出现的机会大致相等。
- ② 有界性 小误差出现的概率大,大误差出现的概率小,在一定的测量条件下的有限次测量值中,误差的绝对值不会超过某一界限值。
- ③ 抵消性 在相同条件下,对同一测量进行多次测量时,正负误差可相互抵消,这是对对称性的必然结果。

上述特性表明随机误差的产生是有规律的,就这一点来讲,称其为偶然误差并不确切,因为就其整体而言,并不具有“偶然”含义。

### (3) 过失误差

由于操作者的失误(如读错数据、加错试剂、计算错误、操作错误等)带来的误差称为过失误差。严格讲,过失误差已超出误差的概念范畴,准确地说是错误。只要加强责任心,认真仔细地工作,过失误差是完全可以避免的。

## 3. 误差的表示法

误差的表示法通常有以下几种:

### (1) 绝对误差

测量值与真实值之差称为绝对误差。设测量值为  $x_i$ , 真实值为  $x_i$ , 则, 其数学表达式为:

$$E(x) = x_i - x_i \quad (1-1)$$

由上式可知,该式所表达的误差是与测量值同量纲同单位的,它反映了测量值偏离真实值的大小。

一般说来,真实值常常是未知的,因此,  $E(x)$  也就无法求得。从这个意义上讲,上式只具有理论意义。但如果我们能够估计出  $|x_i - x_i| \leq \delta$ ,  $\delta$  称为绝对误差限。则可以确定真实值  $x_i$  的范围为

$$x_i - \delta \leq x \leq x_i + \delta \quad (1-2)$$

即该量的真实值落在区间  $[x_i - \delta, \delta + x_i]$  内。在实际应用中,通常用下式来表示:

$$x = x_i \pm \delta \quad (1-3)$$

### (2) 相对误差

只用绝对误差并不能充分说明测量值的近似(准确)程度,还应考虑量值本身的大小。为此引出了相对误差的概念:相对误差是绝对误差与真实值之比,即

$$E_r(x) = (x_i - x_i) / x_i \quad (1-4)$$

但由于真实值往往是不知道的,故定义

$$E_n(x) = (x_i - x_i) / x_i \quad (1-5)$$

当误差较小时,  $x_i \approx x_i$ , 于是有  $E_r(x) \approx E_n(x)$

由上述定义不难看出,相对误差更能反映出误差的特性。同时,相对误差是一个无量纲量,它与绝对误差有下列简单关系:

$$E(x) = x_i E_n(x) \quad (1-6)$$

### (3) 测量结果的精密度和精确度

① 精密度(precision)反映随机误差的大小程度。即在对同一量进行多次测量时,测量值相互接近、密集的程度。



② 正确度(certainty)反映系统误差大小的程度。即在对同一量进行多次测量时,测量值的算术平均值与真实值接近的程度。

③ 精确度(accuracy)反映系统误差和随机误差总和大小的程度。即在对同一量进行多次测量时,测量值相互接近、密集的程度和测量值的算术平均值与真实值接近的程度的综合程度。

#### 4. 减少测量误差的方法

通过分析测量误差的产生原因,我们不难归纳总结出测量过程中减少测量误差的方法和途径:

① 正确选择实验仪器设备。用于实验的仪器设备的精确度不能劣于实验的精确度要求,但过分优于也没必要。

② 采取校准仪器设备、纯化试剂药品、熟练操作技术等措施,最大限度地消除可能引进的系统误差。

③ 通过稳定实验条件,连续重复多次测量尽可能消除实验测量的随机误差。

④ 改善实验测量方法。如果可能,在实验测量中应尽可能采用零位测量。所谓零位测量又称零值法,就是使被测量的量值对于仪器的作用被同一类的已知量的作用抵消为零的方法。这种技术在化学、物理实验中应用极为广泛,例如天平称量技术和滴定技术等。这种测量技术可以消除仪器自身存在的非线性、漂移和零位误差。

#### 5. 间接测量中误差的传递

在实验中,常常有许多量不能直接测量,必须通过将一些直接测量的量代入一定的数学关系式,计算求得。由于从严格意义上讲,任何直接测量的量都存在一定的误差,因此,这些误差必然带入计算结果,所以,讨论实验测量中误差传递问题是十分必要的。

##### (1) 误差传递的一般公式

设  $\Phi$  是若干变量  $x, y, z, \dots, u$  的函数,即

$$\Phi = f(x, y, z, \dots, u) \quad (1-7)$$

若各变量测量时的误差分别为  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \dots, \Delta u$ ,则依照微分理论,各变量的测量误差给最后计算结果带来的误差  $\Delta \Phi$  为

$$\begin{aligned} \Delta \Phi &= |\Delta \Phi_x| + |\Delta \Phi_y| + |\Delta \Phi_z| + \dots + |\Delta \Phi_u| \\ &= |\Delta x| + |\Delta y| + |\Delta z| + \dots + |\Delta u| \end{aligned} \quad (1-8)$$

于是,计算结果的相对误差  $E_r$  为

$$\begin{aligned} E_r = \Delta \Phi / \Phi &= |\Delta x / \Phi| + |\Delta y / \Phi| + |\Delta z / \Phi| + \dots + |\Delta u / \Phi| \\ &= |E_x| + |E_y| + |E_z| + \dots + |E_u| \end{aligned} \quad (1-9)$$

##### (2) 误差传递公式在基本运算中的应用

###### ① 加法与减法

设

$$\Phi = x \pm y \pm z \pm \dots \pm u \quad (1-10)$$

根据(1-8)式,得最大误差为

$$\Delta \Phi = \Delta x + \Delta y + \Delta z + \dots + \Delta u \quad (1-11)$$

根据(1-9)式,得最大相对误差为