



- 普通高等教育“十三五”规划教材
- 普通高等院校化学精品教材



# 化学实验教程

▶▶ 张开诚 主编



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

普通高等教育“十三五”规划教材  
普通高等院校化学精品教材

# 化学实验教程

主 编 张开诚  
副主编 关金涛 未本美  
编 委 秦振华 闫俊涛

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 提 要

本教材是根据“湖北省普通高等学校化学实验教学示范中心”建设的总体要求编写而成的。

本教材在化学一级学科层面上对传统的无机化学实验、有机化学实验、分析化学实验、物理化学实验、仪器分析实验等化学分支学科的实验内容进行了有机融合,精心编入了130个实验。将实验内容划分为基础型、综合型、研究创新型三个层次,以实验操作技能的系统训练为主线,注重探索意识与创新能力的培养。在内容编排上,由浅入深、逐层提高,并注意与相关理论课的衔接,具有简明、实用、以学生为中心的特点。

本教材可作为一般工科院校应用化学、化工、材料、制药、食品、生物、环境及水产等专业的化学实验课教材,也可作为高等职业培训的教材及相关化学实验人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

化学实验教程/张开诚主编. —武汉:华中科技大学出版社,2018.2  
ISBN 978-7-5680-1848-7

I. ①化… II. ①张… 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(2018)第 020693 号

### 化学实验教程

Huaxue Shiyān Jiāochéng

张开诚 主编

策划编辑:周芬娜

责任编辑:周芬娜

封面设计:原色设计

责任校对:张会军

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:29

字 数:760千字

版 次:2018年2月第1版第1次印刷

定 价:66.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 前 言

本教材是按照“湖北省普通高等学校化学实验教学示范中心”建设的要求,在《实验化学》(周锦兰、张开诚主编)的基础上,集编者多年化学实验教学改革经验和成果编写而成的。

化学实验是化学的基本原理和操作技术的集成,是培养应用型、创新型人才的基础。本教材有机地融合了无机化学实验、有机化学实验、分析化学实验、物理化学实验、仪器分析实验等化学分支学科的实验内容,在实验技术上更注重通用性、操作规范性,在教学理念上更注重实践性和综合性,并以操作技能的系统训练为主线,进行大学化学实验体系的构建,以凸显如下特色。

## 1. 系统性

本教材根据“一体化、多层次、开放式”的实验教学体系,内容编写由浅入深、由简到繁、循序渐进、逐步提高,明确地把实验划分为基础型、综合型、研究创新型三个层次。

本教材分为化学实验的基础知识、基本技术、基本技能操作实验、物质的基本性质与分析、物质的制备及表征、基本物理量和化学参数的测定、研究创新型实验、附录八个部分,精心编入130个实验,以达到既“夯实基础、规范操作”,又“提升素质、培养能力”的总体教学目标。

## 2. 先进性

为了提高学生的科研和创新能力,在实验的设计中引进了新技术、新反应、新理念,如膜分离技术、酶催化反应、相转移催化反应、光化学合成、微波合成、超声合成、配合物制备、纳米材料制备实验等。为了与科技发展相适应,并尽可能照顾更广的读者层面,书中优先选择了一些较为典型、实用且不失先进性的主流仪器作了介绍。

## 3. 实用性

全书内容丰富、信息量大,所选内容紧贴后续课程及社会经济发展的需要,教师和学生的选择空间大。综合型和研究创新型实验选择部分与工业生产、人类生活、环境保护、食品科学、材料科学、制药工程等密切相关的内容,加强了轻工类院校各相关学科专业的结合,突出了轻工特色,体现了工程应用性。

本书由武汉轻工大学张开诚担任主编,关金涛、未本美担任副主编,参加编写的有秦振华、闫俊涛。本教材第1章、第2章、第3章、第4章、第5章实验51~实验57及附录和主要参考文献由张开诚撰写;第5章实验58~实验75由关金涛撰写;第5章实验76~实验87由未本美撰写;第6章实验88~实验113由秦振华撰写;第6章实验114~实验122、第7章由闫俊涛撰写。李建芬教授和张智勇教授对本教材进行了严格的审阅,提出了许多宝贵的修改意见,编者深表感谢!在本教材的编写过程中,编者参阅了大量兄弟院校已出版的优秀教材及国内外一些研究性文献,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请有关专家同行和读者批评指正。

编 者

2018年1月

# 目 录

第 1 章 大学化学实验基础知识	(1)
1.1 大学化学实验课程的目的和要求	(1)
1.2 大学化学实验的学习方法	(1)
1.3 实验数据处理	(2)
1.4 化学实验室规则和事故处理	(5)
1.5 实验室用水的规格、制备及检验方法	(8)
1.6 化学实验室常用玻璃仪器	(10)
1.7 化学试剂与试纸的相关知识	(13)
1.8 气体的制备净化及气体钢瓶的使用	(15)
第 2 章 化学实验基本技术	(19)
2.1 物质性质、制备与分析技术	(19)
2.1.1 试剂的取用和溶液的配制	(19)
2.1.2 加热与冷却方法	(21)
2.1.3 干燥技术	(25)
2.1.4 容量仪器的使用	(29)
2.1.5 重量分析技术	(36)
2.1.6 基本称量仪器的使用方法	(41)
2.1.7 有机合成的特殊技术	(44)
2.2 物质的分离和提纯	(49)
2.2.1 重结晶	(49)
2.2.2 升华	(53)
2.2.3 蒸馏	(54)
2.2.4 萃取	(63)
2.2.5 色谱分离技术	(66)
2.2.6 离子交换分离法	(82)
2.2.7 膜分离技术	(84)
2.3 谱学分析技术	(87)
2.3.1 紫外及可见吸收光谱	(87)
2.3.2 红外光谱	(89)
2.3.3 核磁共振	(92)
第 3 章 基本技能操作实验	(94)
实验 1 简单玻璃工操作和塞子钻孔	(94)
实验 2 容量仪器的校准	(99)

实验 3	缓冲溶液的配制及酸度计的使用	(101)
实验 4	熔点的测定及温度计校正	(103)
实验 5	无机物的提纯	(107)
I	粗硫酸铜的提纯	(107)
II	粗食盐的提纯	(108)
III	硝酸钾的重结晶	(109)
实验 6	有机物重结晶	(110)
I	乙酰苯胺的重结晶	(110)
II	荼的精制	(111)
实验 7	蒸馏与分馏	(112)
I	工业乙醇的蒸馏	(112)
II	工业乙醇的分馏	(113)
III	乙酰乙酸乙酯的减压蒸馏	(113)
IV	从桉树叶中提取桉叶油——水蒸气蒸馏	(114)
实验 8	薄层色谱分析	(115)
I	邻硝基苯胺与间硝基苯胺的分离	(115)
II	邻硝基苯酚与对硝基苯酚的分离	(116)
III	有机磷农药的分离	(116)
IV	镇痛药片 APC 组分的分离	(116)
实验 9	柱色谱分析	(117)
I	柱层析分离甲基橙与亚甲基蓝染料	(118)
II	番茄红素的提取与分离	(118)
实验 10	纸色谱分析	(120)
I	金属离子纸层析法分离和鉴定	(120)
II	纸色谱分离氨基酸	(121)
实验 11	茶叶中咖啡因的提取和红外、紫外光谱分析	(122)
I	从茶叶中提取咖啡因	(123)
II	咖啡因的红外光谱测定	(124)
III	紫外光谱法测定茶叶中咖啡因的含量	(125)
<b>第 4 章</b>	<b>物质的基本性质及分析</b>	(127)
<b>基本性实验</b>		(127)
实验 12	p 区元素(1)的基本性质及分析	(127)
实验 13	p 区元素(2)的基本性质及分析	(130)
实验 14	d 区元素的基本性质及分析	(133)
实验 15	ds 区元素的基本性质及分析	(136)
实验 16	常见非金属阴离子的分离与鉴定	(139)
实验 17	常见阳离子的分离与鉴定	(143)
实验 18	混合碱的测定	(151)
实验 19	酸碱滴定法测定食品添加剂中硼酸的含量	(153)
实验 20	氯化物中氯含量的测定——莫尔法	(154)

实验 21	可溶性硫酸盐中硫的测定——重量法	(155)
实验 22	自来水硬度的测定——配位滴定法	(157)
实验 23	铅、铋混合液中 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Bi}^{3+}$ 的连续测定	(158)
实验 24	$\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的测定—— $\text{KMnO}_4$ 法	(160)
实验 25	水体中化学需氧量(COD)的测定	(161)
实验 26	碘量法测定水中溶解氧	(164)
实验 27	铁含量的测定	(166)
I	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 法测定亚铁盐中铁的含量	(167)
II	邻二氮菲分光光度法测定微量铁的含量	(168)
实验 28	食品中维生素 C 和维生素 E 含量的测定	(170)
I	直接碘量法测定水果中维生素 C 的含量	(171)
II	紫外分光光度法同时测定食品中维生素 C 和维生素 E 的含量	(172)
实验 29	分子荧光法测定水杨酸和乙酰水杨酸	(173)
实验 30	红外光谱法测定苯甲酸、苯甲酸乙酯、山梨酸和未知物	(175)
实验 31	气相色谱法测定苯系物的含量	(178)
实验 32	内标法分析低度大曲酒中的杂质	(180)
实验 33	高效液相色谱测定大米中可糖化葡萄糖	(181)
实验 34	固相微萃取——气相色谱-质谱测定大蒜头中的大蒜素	(182)
实验 35	水中微量氟的测定	(183)
实验 36	溶出伏安法测定水中微量铅和镉	(185)
实验 37	饲料中微量金属元素的光谱半定量分析(垂直电极法)	(187)
实验 38	石墨炉原子吸收光谱法测定奶粉中的铬	(190)
实验 39	火焰原子吸收光谱法测定人发中的锌	(191)
实验 40	X 射线粉末衍射法物相定性分析	(193)
实验 41	用扫描电子显微镜观察铜网和镍网的表面形貌	(195)
综合性实验		(196)
实验 42	金属表面处理技术	(196)
实验 43	废旧干电池的综合利用及产品分析	(199)
实验 44	水泥熟料中 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 和 $\text{MgO}$ 含量的测定	(201)
实验 45	磷矿石中五氧化二磷含量的测定——磷钼酸喹啉容量法	(205)
实验 46	盐酸水解 DNS 分光光度法测定甘薯中的淀粉含量	(208)
设计性实验		(210)
实验 47	从化学废液中回收 $\text{Ag}$ 和 $\text{CCl}_4$	(210)
实验 48	$\text{Cr(VI)}$ 废液的处理	(211)
实验 49	饲料中钙和磷含量的测定	(213)
实验 50	平衡原理综合实验	(214)
第 5 章 物质的制备及表征		(215)
基本性实验		(215)
实验 51	硫酸亚铁铵的制备及纯度检验	(215)
实验 52	聚合硫酸铁的制备及净水效果实验	(218)

实验 53	纳米氧化锌粉的制备及质量分析	(220)
实验 54	氯化亚铜的制备与性质	(221)
实验 55	磷酸锌的微波合成	(223)
实验 56	三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的合成及配离子组成测定	(224)
I	三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的合成	(225)
II	三草酸合铁(Ⅲ)酸钾配离子组成的测定	(226)
实验 57	三氯化六氨合钴(Ⅲ)的制备及其化学式的确定	(226)
实验 58	卤代烃的制备	(228)
I	正溴丁烷的合成	(229)
II	2-氯丁烷的合成	(231)
III	溴苯的制备(普通合成和超声合成)	(232)
实验 59	醚的合成	(234)
I	甲基叔丁基醚(无铅汽油抗震剂)的合成	(235)
II	苯乙醚的合成	(237)
III	正丁醚的合成	(238)
实验 60	格氏反应	(239)
I	2-甲基-2-己醇的合成	(240)
II	2-甲基丁酸的合成	(242)
实验 61	坎尼扎罗反应	(244)
I	呋喃甲酸与呋喃甲醇的合成	(244)
II	苯甲酸与苯甲醇的合成	(246)
实验 62	傅氏反应	(248)
I	苯乙酮的合成	(249)
II	对二叔丁基苯的制备	(250)
III	食品中抗氧化剂 TBHQ 的制备	(251)
实验 63	酯化反应	(253)
I	苯甲酸乙酯的合成	(253)
II	增塑剂——邻苯二甲酸二丁酯的合成	(255)
实验 64	局部麻醉剂的制备	(256)
实验 65	乙酰水杨酸的合成(酰化反应)	(260)
实验 66	肉桂酸的制备(Perkin 反应)	(262)
实验 67	乙酰乙酸乙酯的合成(Claisen 酯缩合)	(264)
实验 68	环己酮的合成(氧化反应)	(265)
实验 69	甲基橙的制备(重氮化反应)	(268)
实验 70	喹啉的制备(Skraup 反应)	(270)
实验 71	Diels-Alder 环加成反应	(272)
实验 72	苯频那醇的光化学制备及重排反应	(273)
实验 73	微波制备苯甲酸	(275)
实验 74	苯胺的绿色合成	(277)
实验 75	超声合成苯氧乙酸	(278)



综合性实验	(280)
实验 76 从印刷电路烂板液制备硫酸铜及间接滴定法测定产品中铜的含量	(280)
I 硫酸铜的制备	(281)
II 硫酸铜中铜含量的测定	(282)
实验 77 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 和 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ 的制备、电导及其配离子分裂能 $\Delta_0$ 的测定	(283)
实验 78 纳米 $\text{TiO}_2$ 的制备、表征及光催化性能测试	(285)
实验 79 107 胶的制备及性能测定	(287)
实验 80 三乙酸甘油酯的合成及薄层色谱分析	(289)
实验 81 绿色能源——生物柴油的制备	(290)
实验 82 固体超强酸的制备及乙酸正丁酯的合成与表征	(293)
实验 83 $\alpha$ -苯乙胺的制备与拆分	(294)
实验 84 二茂铁及乙酰二茂铁的合成	(297)
实验 85 离子液体催化合成食品防腐剂——对羟基苯甲酸乙酯	(300)
设计性实验	(301)
实验 86 磷系列化合物的制备	(301)
实验 87 丙交酯的制备研究	(303)
第 6 章 基本物理量和化学参数的测定	(305)
基本性实验	(305)
实验 88 恒温槽装配和性能测试	(305)
实验 89 燃烧热的测定	(307)
实验 90 溶解热的测定	(311)
实验 91 差热分析法研究 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的热稳定性	(314)
实验 92 乙醇-乙酸乙酯双液系相图	(316)
实验 93 凝固点降低法测定萘的摩尔质量	(318)
实验 94 易挥发物质摩尔质量的测定	(320)
实验 95 化学反应速率与活化能的测定	(322)
实验 96 旋光度法测定蔗糖水解反应的速率常数	(326)
实验 97 电导法测定乙酸乙酯皂化反应的速率常数	(328)
实验 98 量气法测定一级分解反应的速率常数	(330)
实验 99 pH 法、电导率法、滴定曲线法测定醋酸的电离平衡常数	(333)
I pH 法测定醋酸的电离平衡常数	(334)
II 电导率法测定醋酸的电离平衡常数	(335)
III 滴定曲线法测定醋酸的电离平衡常数	(336)
实验 100 甲基红的酸电解平衡常数的测定——分光光度法	(337)
实验 101 铈(IV)-乙醇配合物组成及生成常数的测定	(339)
实验 102 硫酸钙溶度积常数的测定	(341)
实验 103 电解质溶液电导的测定	(342)
实验 104 电极制备及电池电动势的测定	(345)
实验 105 氢阴极析出极化曲线的测定	(347)

实验 106	金属钝化曲线的测定 .....	(349)
实验 107	表面张力的测定 .....	(352)
实验 108	溶液吸附法测定固体比表面 .....	(354)
实验 109	黏度法测定高聚物的相对分子质量 .....	(356)
实验 110	液体饱和蒸气压的测定 .....	(358)
实验 111	偶极矩和介电常数的测定 .....	(361)
实验 112	磁化率的测定 .....	(364)
实验 113	联机测定 B-Z 化学振荡反应 .....	(367)
<b>综合性实验</b>	.....	(370)
实验 114	乳液聚合法合成聚丙烯酸酯乳液 .....	(370)
实验 115	悬浮聚合法合成聚苯乙烯粒子 .....	(372)
实验 116	4-烷基溴苯的合成 .....	(373)
实验 117	酪氨酸酶的提取及其催化活性研究 .....	(375)
实验 118	硅铝酸钠沸石分子筛的制备及其物性测定 .....	(378)
实验 119	碳酸钠的制备及产品纯度的测定 .....	(380)
实验 120	硫铁矿烧渣制备七水硫酸亚铁及质量检验 .....	(382)
实验 121	稻壳多孔炭的制备及对孔雀石绿的吸附性能研究 .....	(383)
实验 122	槐花米中芦丁的提取、分离与鉴定 .....	(386)
<b>第 7 章 研究创新型实验</b>	.....	(389)
实验 123	蔬菜、食品中铁和钙的测定 .....	(389)
实验 124	芦荟多糖的含量测定 .....	(391)
实验 125	环氧树脂的制备及其水性改性的研究 .....	(392)
实验 126	天然药物大黄游离蒽醌的提取与鉴定 .....	(394)
实验 127	天然高分子改性絮凝剂研究 .....	(396)
实验 128	聚丙烯酰胺衍生物的合成与表征 .....	(398)
实验 129	氧化电解水的制备和杀菌效果试验 .....	(401)
实验 130	电催化氧化处理废水 .....	(404)
<b>附录</b>	.....	(408)
附录 A	常用仪器操作技术 .....	(408)
附录 B	常用数据表 .....	(423)
<b>主要参考文献</b>	.....	(453)

# 第1章 大学化学实验基础知识

## 1.1 大学化学实验课程的目的和要求

### 1. 大学化学实验课程的目的

化学是一门以实验为基础的学科。大学化学实验是化学课程的重要组成部分,是学习化学的一个必需的重要环节,是高等院校应用化学、化学工程与工艺、材料化学、制药工程、生物工程、环境工程、轻工、食品等专业学生必修的重要的专业或专业基础课程。

为了更好地实现创新人才的培养目标,大学化学实验突破了原四大化学实验(即无机化学实验、分析化学实验、有机化学实验、物理化学实验)分科设课的界限,使之融合为一体。按照制备、结构、性能的基本关系和化学实验技能培养的需要重新组织实验课教学。本课程以内含基本原理、基本方法和基本技术的化学实验作为素质教育的媒体,通过实验教学过程达到以下目的。

- (1) 以基本实验—综合性实验—设计性实验三个层次的实验教学,模拟化学知识的产生与发展,培养学生以化学实验为工具获取新知识的能力。
- (2) 培养学生的科学精神、创新思维意识和创新能力。
- (3) 经过严格的实验训练后,使学生具有一定的分析和解决较复杂问题的能力,收集和處理化学信息的能力,用文字表达实验结果的能力以及团结协作精神。

### 2. 大学化学实验课程的要求

为了达到以上的教学目的,提出如下具体要求。

- (1) 实验前必须做好预习,认真阅读实验教材和教科书,弄清实验的目的和要求、基本原理、实验内容、操作步骤以及注意事项。
- (2) 认真独立完成实验,要做到认真操作、细心观察、积极思考、如实记录。对于设计性实验,审题要准确,仔细查阅文献资料,实验方案要合理可靠,以达到预期目的。
- (3) 认真及时写好实验报告。完成实验报告是对所学知识进行归纳和提高的过程,也是培养严谨的科学态度、实事求是精神的重要措施。实验报告要求书写整洁,结论明确,文字简练。

## 1.2 大学化学实验的学习方法

要达到化学实验课的目的和要求,不仅要有正确的学习态度,还要有正确的学习方法。

### 1. 预习

实验课要求学生既要动手做实验,又要动脑筋思考问题,因此实验前必须做好预习。对实验的各个环节心中有数,才能使实验顺利进行,达到预期的效果。预习时应做到:认真阅读实

验教材、参考教材、资料中的有关内容；明确本实验的目的和基本原理；掌握本实验的预备知识、实验关键点，了解实验内容、步骤、操作过程和注意事项；写出简明扼要的预习报告。

## 2. 认真实验

我们现在虽然不是化学家，但应学习他们那种为解决一个化学问题而进行实验研究时的科学、严谨的态度，养成做化学实验的良好习惯。实验时应做到以下几点。

(1) 认真操作，细心观察实验现象，并及时地、如实地做好详细的记录。

(2) 如果发现实验现象和理论不符合，应首先尊重实验事实，并认真分析和检查其原因，还可以做对照实验、空白实验或自行设计实验来核对，必要时应多次重复进行验证，从中得到有益的结论。

(3) 实验过程中应勤于思考，仔细分析，力争自己解决问题，遇到难以解决的疑难问题时，可请教师指点。

(4) 在实验过程中保持肃静，遵守规则，注意安全，整洁节约。

设计新实验和做规定以外的实验时，应先经指导教师允许。实验完毕后洗净仪器，整理药品及实验台。

## 3. 独立撰写实验报告

实验报告是总结实验进行的情况、分析实验中出现的问题和整理归纳实验结果必不可少的基本环节，是把直接和感性认识提高到理性思维阶段的必要一步。通过实验报告也反映出每个学生的实验水平，是实验评分的重要依据。实验者必须严肃、认真、如实地写好实验报告。

实验报告的内容应包括实验项目、实验目的、实验原理、实验步骤(尽量用表格、框图、符号等形式，清晰、明了地表示)、实验现象和数据记录(表达实验现象要正确、全面，数据记录要规范、完整，决不允许主观臆造，弄虚作假)、实验结果(对实验结果的可靠程度与合理性进行评价，并解释所观察到的实验现象；若有数据计算，务必将所依据的公式和主要数据表达清楚)、问题与讨论(针对本实验中遇到的疑难问题，提出自己的见解或体会；也可以对实验方法、检测手段、合成路线、实验内容等提出自己的意见，从而训练创新思维和创新能力)。

# 1.3 实验数据处理

## 1. 测量误差与表示方法

化学实验中经常使用仪器对一些物理量进行测量，常见的测量方法可归纳为直接测量(如用温度计测定反应温度，用量筒量出某液体体积等)和间接测量(如平衡常数测定、滴定分析等)两类。实验证明，由于实验方法、实验仪器、实验条件和操作人员之间的差异，任何测量都无法得到绝对准确的结果，或者说存在某种程度上的不可靠性。这种测量结果与“真实值”之间的差距就是误差。

在实验过程中，一方面要有目的地拟定实验方案，选择一定准确度的仪器和适当的方法；另一方面在处理实验数据时，必须了解误差产生的原因，科学地分析并寻求被研究变量间的规律，以获得可靠的测量结果。为了减少误差，评价实验结果的准确性，需了解准确度与精密度的概念。

(1) 准确度和误差。

准确度是指某一测量值或一组测量值的平均值与“真实值”接近的程度，一般以误差来表征。误差越小，说明测量结果的准确度越高。

严格说来,“真实值”是无法测知的。在实际工作中,常用专门机构提供的数据,如公认的手册上的数据作为真实值。

误差又分为绝对误差和相对误差。绝对误差是实验测量值与真实值的差值,一般用 $E$ 表示。

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

绝对误差只能显示误差变化的范围,不能确切地表示测量的准确度。

相对误差是绝对误差与真实值的比值,表示绝对误差在真实值中所占的比例,常用百分数表示。

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真实值}} \times 100\%$$

### (2) 精密度和偏差。

精密度是指在相同条件下,几次平行测量结果相互接近的程度。精密度的高低一般用偏差来衡量,有绝对偏差和相对偏差之分。单次测量结果与多次测量结果平均值之间的差值称为绝对偏差,即

$$\text{绝对偏差} = \text{单次测量值} - \text{多次测量结果的平均值}$$

绝对偏差与多次测量结果的平均值之比为相对偏差,即

$$\text{相对偏差} = \frac{\text{绝对偏差}}{\text{多次测量结果的平均值}} \times 100\%$$

精密度是在无法求得准确度时,从重现性角度来表达实验结果的量。偏差越大,表示测量结果的精密度越低。显然,测量结果的精密度高,准确度不一定高;测量结果的精密度低,其准确度也不会高。因此,要求准确度高,精密度也一定要高,精密度是保证准确度的先决条件。

### (3) 误差的分类。

误差按其产生的原因可分为系统误差(可测误差)和偶然误差(随机误差)。

系统误差是由某种固定原因造成的,如测定方法不够完善,仪器不够精确,试剂不够纯或操作者本人的因素等。这种误差的大小、正负有一定规律,重复测量时会重复出现,无法相互抵消,但可被认知并设法进行校正。

偶然误差是一些难以控制的偶然因素造成的,产生的直接原因往往难于发现和控制,例如,测量过程中压力、温度及仪器中某些活动部件的微小变化,机械振动及磁场的干扰等。因此,产生的偶然误差时大时小,时正时负,但其完全服从统计规律,可以采取多次测量,取平均值的办法来减小和消除。

## 2. 有效数字与计算规则

记录实验结果时,如何做到既合理又能反映实验误差的大小,这就需要了解有效数字的概念。

### (1) 有效数字。

有效数字是指在科学实验中实际能测量到的数字。在有效数字中,除最后一位数是“可疑数字”(也是有效的)外,其余各位数字都是准确的。

有效数字与数学上的数字含义不同,它不仅表示数量的大小,还表示测量结果的可靠程度,以及所用仪器的精密度。例如,某物质在只可称量至 $0.1\text{ g}$ 的托盘天平上称得质量为 $3.6\text{ g}$ ,有效数字为两位,称量的绝对误差为 $\pm 0.1\text{ g}$ ,相对误差为 $\pm 3\%$ ;若用可称量至 $0.0001\text{ g}$ 的

天平称量,称得质量为 3.6015 g,此时,其有效数字为 5 位,绝对误差为  $\pm 0.0001$  g,相对误差为  $\pm 0.003\%$ 。说明所用天平的精密度差别很大。

所以,记录数据时有效数字的位数必须与测量方法和仪器的精密度相一致,不得随意增加或减少。否则,就会夸大了误差,降低了精密度。例如,将称得的质量 3.6015 g 记为 3.61 g,则相对误差扩大为 0.3%。

有效数字的位数,举例说明如下:0.03、 $3 \times 10^4$  为 1 位;36、0.0060 为 2 位;0.0382、 $1.98 \times 10^{-12}$  为 3 位;0.1000、10.89% 为 4 位;1.0008、32537 为 5 位。

可以看出,“0”在数字中间或末位是有效数字,而在数字前仅起定位作用,不是有效数字。对于很小或很大的数字,采用指数法表示更为合理,而“10”不包括在有效数字中。

对数值有效数字的位数仅由小数部分的位数决定,首数(整数部分)只起定位作用,不是有效数字。运算时,对数小数部分的有效数字位数应与相应真数的有效数字位数相同。

### (2) 运算规则。

① 加减运算。进行加减运算时,先以小数点后位数最少的数据为基准,将其他数据按“四舍六入五留双”的原则修约多余数字后,再相加减。如:

$$\begin{array}{r} 0.0124 \\ 13.65 \\ \hline +) 27.0879 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{c} \xrightarrow{\text{以 } 13.65 \text{ 为基准}} \\ \text{进行修约} \end{array} \quad \begin{array}{r} 0.01 \\ 13.65 \\ \hline +) 27.09 \\ \hline 40.75 \end{array}$$

② 乘除运算。进行乘除运算时,同样先以有效数字位数最少的数据为基准进行修约,再乘除。注意 10 的方次不影响有效数字的位数。如:

$$0.07826 \times 12.0 \div 6.782$$

以 12.0 为基准修约后为

$$0.0783 \times 12.0 \div 6.78 = 0.138$$

运算过程中,若遇到常数(如  $\pi$ 、 $e$ 、 $R$  及手册上查到的常数等)可按需要取适当的位数;一些乘除因子(如  $\frac{1}{2}$ 、 $\sqrt{2}$  等)应视为有足够多的有效数字,不必修约,直接进行计算即可。

## 3. 实验数据的处理

取得实验数据后,应进行整理、归纳,并以简明的方法表达实验结果,通常有列表法、图解法和解析法(方程式法)三种,可根据具体情况选择使用。以下只介绍前两种方法。

### (1) 列表法。

将一组实验数据中的自变量和因变量的数值,按一定形式和顺序一一对应列成表格,这种表达方式称为列表法。此法简单、直观,不引入处理误差。实验的原始数据一般采用列表法记录。列表时应注意以下事项。

① 数据表应包括表的序号、名称、实验条件说明及数据来源。

② 表格中每一变量占一行。每一横行或纵行应标明名称和单位,并尽可能用符号表示,如  $V(\text{mL})$ 、 $p(\text{kPa})$ 、 $t(^{\circ}\text{C})$  等。每行中的数据应尽量化为最简单的形式,一般为纯数。

③ 数据应以规律地递增或递减的顺序排列,最好等间隔。数据的有效数字位数应取舍适当,位数和小数点一一对齐,数值为零时应记为“0”,空缺时应记作“—”。

### (2) 图解法。

作图法可以形象、直观地显示各个数据连续变化的规律性,以及如极大、极小、转折点等特征,进而求得内插值、外推值、切线的斜率以及掌握周期性变化等。

为了能将实验数据正确地用图形表示出来,需注意以下作图要点。

① 图纸和坐标。坐标纸常用的是直角坐标纸,有时也用半对数坐标纸或全对数坐标纸。习惯以横坐标表示自变量,纵坐标表示因变量,坐标轴应注明该轴代表的变量的名称及单位,如  $T(K)$ 、 $c(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$  等。选择合理的比例尺,使各数值的准确度与实验测量的准确度相当。坐标分度应便于从图上读出任一点的坐标值,且能表示测量的有效数字,每格所代替的值以 1、2、5、10 等为好,切忌采用 3、7、9 或小数,坐标起点可以不为 0。

② 点和线的绘制。将实验测得的数据绘于图上成为点,可用  $\circ$ 、 $\times$ 、 $\triangle$ 、 $\square$  等符号表示,一张图上若有数组不同的测量值,应以不同符号表示,并加以注明。用直尺或曲线尺将各点连成光滑的线,一般不要求通过图上所有的点,应力求使各点均匀地分布在线的两侧,确切地说,应使各点与曲线距离的平方和为最小。

每图应有简明的标题,并注明取得数据的主要实验条件及实验日期。

随着计算机应用的普及,可利用各种绘图软件作图,作图时也应遵循上述原则。

## 1.4 化学实验室规则和事故处理

为确保实验顺利进行和实验室安全,进入实验室的操作人员必须遵守实验室工作规则和安全守则,懂得常见事故的简单处理方法。

### 1. 实验室工作规则

(1) 在实验室操作的人员必须遵守纪律,保持肃静,集中思想,认真操作,仔细观察,积极思考,如实记录。

(2) 爱护国家财物,正确使用实验仪器、设备。若损坏了仪器、设备,要向教师报告,填写报损单后按规定手续到实验室换取新仪器。

(3) 精密仪器应严格按照操作规程操作、使用,发现仪器有故障应立即停止使用,并及时向教师报告。

(4) 药品应按规定的量取用,已取出的试剂不能再放回原试剂瓶中,以免带入杂质。取用药品的用具应保持清洁、干燥,以保证试剂的纯度和浓度。取用药品后应立即盖上瓶盖,以免放错瓶塞,污染药品。

(5) 实验前要检查所需仪器是否齐全,有无破损,以便及时补齐、更换。实验中要保证器皿清洁,保持实验台面清洁整齐,实验后仪器、药品要放回原处。

(6) 废弃的固体、纸、玻璃碴、火柴梗等应倒入废品篮内;废液倒入指定的废液回收桶,不得倒入水槽后流入下水道,剧毒废液要统一处理;未反应完的金属洗净后可回收。

(7) 实验完后由学生轮流打扫实验室,检查水、电、气安全,关好门窗。

(8) 实验室一切物品不得私自带出室外。

### 2. 实验室安全守则

化学实验中使用水、电、气和易燃、易爆、有毒或腐蚀性的药品,存在着不安全因素,如果使用不当会给国家财产和个人造成危害。凡在实验室操作的人员必须重视安全问题,遵守操作规程,努力提高安全操作的自觉性,绝不可以麻痹大意,要严格遵守实验室安全守则,以免发生事故。

(1) 易燃的试剂如乙醚、乙醇、丙酮、苯等,使用时应远离火源,用完后立即塞紧瓶塞。

(2) 酒精灯要用火柴点燃,添加酒精时要先熄灭火焰,待稍冷后再加,熄灭酒精灯应用灯

帽罩住。加热、浓缩液体时试管口要朝向无人处并防止液体冲出容器。

(3) 产生有刺激性气味和有毒气体的实验要在通风橱中进行,嗅气体的气味时只能用手轻轻地扇动空气,使少量气体进入鼻孔。

(4) 使用有毒试剂如铬盐、钡盐、砷化物、汞及其化合物、氰化物等,要严格防止其进入口内和伤口内,废液严禁排入下水道。

(5) 浓酸、碱液不能溅在皮肤或衣物上,尤其是不能溅入眼里。稀释它们的溶液时应将浓溶液倒入稀释剂中,并不断搅拌,尤其是浓硫酸的稀释,绝不可将水倒入浓硫酸中。

(6) 湿手不要接触电器插头,人体不能与导电物体直接接触。实验完毕要拔下电器插头。

(7) 禁止随意混合各种化学试剂,以免发生意外事故。

(8) 严禁在实验室内饮食、吸烟,不得把食物或餐饮具带进实验室,实验后要洗净双手。

### 3. 常见事故的简单处理

因各种原因而发生事故后,千万不要慌张,应冷静沉着,立即采取有效措施处理事故。

#### (1) 起火处理。

小火用湿布、石棉布或砂子覆盖;大火应使用灭火器,而且需根据不同的着火情况,选用不同的灭火器,必要时应报火警(119)。常用的处理方法如下。

① 油类、有机溶剂着火:切勿用水灭火。小火用砂子或干粉覆盖灭火,大火用二氧化碳灭火器灭火,亦可以用干粉灭火器或 1211 灭火器灭火。

② 精密仪器、电器设备着火:切断电源,小火可用石棉布或湿布覆盖灭火,大火用四氯化碳灭火器灭火,亦可以用干粉灭火器或 1211 灭火器灭火。

③ 活泼金属着火:可用干燥的细砂覆盖灭火。

④ 纤维材质着火:小火用水降温灭火,大火用泡沫灭火器灭火。

⑤ 衣服着火:应迅速脱下衣服或用石棉覆盖着火处或卧地打滚。

#### (2) 触电处理。

首先拉下电闸,切断电源,或尽快用绝缘物(干燥的木棒、竹竿等)将触电者与电源隔开,必要时再进行人工呼吸。

#### (3) 割伤处理。

先将伤口中的异物取出,不要用水洗伤口,伤势较轻者可涂以紫药水(或红汞、碘酒);伤势较重时先用酒精清洗消毒,再用纱布按住伤口,压迫止血,立即送医院治疗。

#### (4) 烫伤处理。

被火、高温物体或开水烫伤后,不要用冷水冲洗或浸泡,若伤处皮肤未破可以用 10% 的高锰酸钾溶液或者苦味酸溶液洗灼伤处,再涂上凡士林或烫伤膏。

#### (5) 酸、碱腐蚀处理。

首先用大量的水冲洗,然后,酸腐蚀用饱和  $\text{NaHCO}_3$  溶液(或稀氨水、肥皂水)冲洗,碱腐蚀用 1% 柠檬酸或硼酸溶液冲洗,再用清水冲洗,涂上凡士林。若手被氢氟酸腐蚀,应用水冲洗后再以稀苏打溶液冲洗,然后浸泡在冰冷的饱和硫酸镁溶液中半小时,最后再敷以 20% 硫酸镁、18% 甘油、1.2% 盐酸普鲁卡因和水配成的药膏。若酸、碱溅入眼内,应立即用大量水冲洗(可用自来水),然后再分别用稀  $\text{NaHCO}_3$  溶液或硼酸饱和溶液冲洗,最后滴入蓖麻油。

#### (6) 吸入刺激性或有毒气体处理。

吸入  $\text{Br}_2$ 、 $\text{Cl}_2$  或  $\text{HCl}$  气体时,可吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气,使之解毒。吸入  $\text{H}_2\text{S}$  或  $\text{CO}$  气体而感到不适者,应立即到室外呼吸新鲜空气。



(7) 毒物进入口内处理。

将 5~10 mL 稀硫酸铜溶液加入一杯温开水中,内服,然后用手指伸入咽喉部,促使呕吐,再立即送医院治疗,伤势严重者立即送医院诊治。

#### 4. 化学实验室“三废”处理

化学实验是化学工业的一个缩影,在化学实验教学过程中经常要使用或制备一些有毒有害的化学品。由此产生的废液、废气及固体废物,虽然每次量不多,但若处置不当,日积月累将影响师生的身体健康,也会对周边环境产生污染。因此,倡导绿色化学思想与可持续发展观念,并渗透和落实到每一个实验中,是实现化学实验绿色化的重要保证。在实验教学过程中,应按绿色化学的要求,尽可能不用剧毒化学品,若涉及危险性大和对环境有污染的实验,可用仿真实验取代。要大力推广微型化学实验,对实验所得产物和副产物要回收,提倡用前一个实验的产物作为后面实验的反应物,合理利用产物。

本教材是按一级学科安排的实验体系,这为材料选择、综合利用、循环利用提供了更大的空间,因而更有利于实验教学“绿色化”的实施。

(1) 有害废气的处理。

有毒气产生的实验,应在封闭的通风橱内进行,并配备吸收装置。实验完毕后吸收液倒入专用的废液收集桶内。常用的废气吸收方法有如下两种。

① 溶液吸收法。溶液吸收法是用适当的液体吸收剂处理气体混合物,除去其中有害气体的方法。常用的液体吸收剂有水、碱性溶液、酸性溶液、氧化剂溶液和有机溶液,它们可用于净化含有  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{SiF}_4$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{NH}_3$ 、汞蒸气、酸雾、沥青烟和各种组分有机物蒸气的废气。

② 固体吸收法。固体吸收法是使废气与固体吸收剂接触,使废气中的污染物吸附在固体表面从而被分离出来的方法。此法主要用于净化废气中低浓度的污染物质,常用的吸附剂及其用途见表 1-1。

表 1-1 常用吸附剂及其用途

固体吸附剂	处理物质
活性炭	苯、甲苯、二甲苯、丙酮、乙醇、乙醚、乙醛、汽油、乙酸乙酯、苯乙烯、氯乙烯、恶臭物、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CS}_2$ 、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{CHCl}_3$ 、 $\text{CH}_2\text{Cl}_2$
浸渍活性炭	烯烃、胺、酸雾、硫醇、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{Hg}$ 、 $\text{HCHO}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$
活性氧化铝	$\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{HF}$
浸渍活性氧化铝	酸雾、 $\text{Hg}$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HCHO}$
硅胶	$\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$
分子筛	$\text{NO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CS}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{C}_m\text{H}_n$ 、 $\text{CCl}_4$
焦炭粉粒	沥青烟
白云石粉	沥青烟

(2) 废液的处理。

化学实验产生的废液种类繁多,成分复杂,应根据其性质,加以回收利用。如有机类实验废液应尽量回收溶剂。回收的溶剂在对实验结果没有影响的情况下可反复使用。对无机类废液及含有重金属离子的废液可采取中和法、萃取法、化学沉淀法、氧化还原法等方法处理。有机废液与无机废液应分别装入指定的废液桶内,集中由有资质的专业环保公司处理。

(3) 固体废物的处理。

实验过程中产生的各种固体废物和空试剂瓶应分类收集,有毒有害的废物不得混入生活垃圾中倒掉,应交由有资质的专业环保公司处理。