

高等学校教材

# 大学基础化学实验

DAXUE JICHU HUAXUE SHIYAN

姚卡玲 编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

# 大学基础化学实验

姚卡玲 编

中国计量出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

大学基础化学实验/姚卡玲编. —北京:中国计量出版社,2008.7

高等学校教材

ISBN 978-7-5026-2862-8

I. 大… II. 姚… III. 大学实验—高等学校—教材 IV. 06—3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 087854 号

## 内 容 提 要

本教材是根据大学基础化学实验教学的特点及要求编写的,内容包括基础化学实验中的基本知识、基本操作、仪器的使用及无机化学、分析化学、有机化学实验内容。在实验内容的选择和编排上,力图将化学基础知识和操作贯穿于实验中,减少验证性实验,增加仪器的使用,优化实验教学内容;并增加了综合及设计性实验。

本书不仅适用于大中专院校化学专业的基础化学实验课程,也可作为高等院校中生物、医学、环境、农林等非化学类专业的大学基础化学实验教材。

---

## 中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号(邮编 100013)  
电 话 (010)64275360  
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>  
发 行 新华书店北京发行所  
印 刷 北京市媛明印刷厂  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 13.5  
字 数 312 千字  
版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷  
印 数 1—3 000  
定 价 24.00 元

---

如有印装质量问题,请与本社联系调换  
版权所有 侵权必究

# 前 言

化学实验教学是化学教育过程中的重要环节,在培养学生动手能力和科学素质方面起着非常重要的作用。化学实验不仅能使学生的自然科学基础更扎实,巩固课堂教学中学到的知识,扩大知识面。而且通过实验使学生掌握基本的实验技能、实验技术,培养学生分析问题、解决问题的能力 and 严谨的科学态度。

本教材是根据大学基础化学实验教学的特点及要求进行编写的,内容包括基础化学实验中的基本知识、基本操作、仪器的使用及无机化学、分析化学、有机化学实验内容。本书不仅适用于大中专院校化学专业的基础化学实验课程,也可作为高等院校中生物、医学、环境、农林等非化学专业的大学基础化学实验教材。所以编者在实验内容的选择和编排上,既保留了体现教学基本要求的经典实验,又加入了针对不同专业特点的一些实验,并力图将化学实验的基本知识和基本操作贯穿于实验内容中。本教材中减少了验证性实验,增加了仪器的使用,并尽量减少不必要的重复,缩短实验时数,并将一些无机、分析、有机实验进行有机的融合,增加了一些综合及设计性实验,使之更加简明实用。

在本教材的编写过程中,得到了兰州大学化学化工学院的大力支持和大学化学实验中心同仁的鼎力帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者学识和水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请专家和读者批评指正。

编者

2008年5月

# 目 录

绪论	(1)
化学实验的目的和意义	(1)
化学实验的学习方法	(1)
实验室规则	(2)
实验室的安全	(2)
第 1 章 化学实验基础知识	(5)
1.1 测量误差和数据处理	(5)
1.1.1 有效数字	(5)
1.1.2 测量误差	(7)
1.1.3 数据表达与处理	(8)
1.2 试剂(试纸)的取用和保管	(10)
1.2.1 试剂及试纸的种类	(10)
1.2.2 试剂及试纸的取用	(11)
1.2.3 试剂的保管	(13)
1.3 溶液的配制	(13)
1.3.1 一般溶液的配制	(13)
1.3.2 基准溶液的配制	(14)
1.3.3 标准溶液的配制	(14)
1.3.4 饱和溶液的配制	(14)
1.4 常用玻璃仪器及器皿	(14)

<b>第2章 化学实验基本操作</b> .....	(21)
2.1 仪器的洗涤和干燥 .....	(21)
2.1.1 仪器的洗涤 .....	(21)
2.1.2 仪器的干燥 .....	(23)
2.2 玻璃管(棒)和塞子的加工 .....	(24)
2.2.1 玻璃管(棒)的加工 .....	(24)
2.2.2 塞子的加工 .....	(26)
2.3 物质的称量 .....	(27)
2.3.1 直接称量法 .....	(28)
2.3.2 固定质量称量法(增量法) .....	(28)
2.3.3 减量法 .....	(28)
2.4 气体的制备、纯化与收集 .....	(29)
2.4.1 制备少量气体的实验装置 .....	(29)
2.4.2 气体的纯化 .....	(30)
2.4.3 气体的收集 .....	(30)
2.5 加热 .....	(31)
2.5.1 加热用仪器 .....	(31)
2.5.2 加热方法 .....	(33)
2.6 化学反应装置 .....	(34)
2.6.1 仪器的组合与安装 .....	(34)
2.6.2 反应用仪器 .....	(34)
2.6.3 常见反应装置 .....	(35)
2.7 固体物质的纯化 .....	(37)
2.7.1 溶解、蒸发(浓缩)和结晶 .....	(37)
2.7.2 固液分离 .....	(38)
2.7.3 重结晶 .....	(40)
2.7.4 升华 .....	(44)
2.8 干燥及干燥剂 .....	(46)
2.8.1 干燥用仪器 .....	(46)
2.8.2 干燥剂 .....	(47)
2.8.3 干燥方法 .....	(49)
2.9 容量器皿的使用和校正 .....	(51)

2.9.1 吸管的使用	(51)
2.9.2 容量瓶的使用	(52)
2.9.3 滴定管的使用	(53)
2.9.4 容量器皿的校正	(57)
2.10 蒸馏	(59)
2.10.1 简单蒸馏	(59)
2.10.2 分馏	(61)
2.10.3 水蒸气蒸馏	(63)
2.10.4 减压蒸馏	(65)
2.11 色谱分离技术	(67)
2.11.1 薄层色谱	(67)
2.11.2 柱色谱	(70)
2.11.3 纸色谱	(72)
2.11.4 离子交换色谱	(73)
2.12 萃取	(75)
2.12.1 萃取原理	(75)
2.12.2 液-液萃取	(75)
<b>第3章 常用仪器</b>	<b>(77)</b>
3.1 电子天平	(77)
3.1.1 测定原理	(77)
3.1.2 使用方法	(77)
3.2 酸度计	(78)
3.2.1 测定原理	(78)
3.2.2 使用方法	(79)
3.3 电导率仪	(81)
3.3.1 测定原理	(81)
3.3.2 使用方法	(82)
3.4 熔点仪	(85)
3.4.1 测定原理	(85)
3.4.2 测定方法	(85)
3.5 折光仪	(88)
3.5.1 测定原理	(88)

3.5.2 测定方法	(89)
3.6 分光光度计	(89)
3.6.1 测定原理	(89)
3.6.2 使用方法	(90)
3.7 循环水泵	(92)
3.7.1 原理	(92)
3.7.2 使用方法	(92)
<b>第4章 实验内容</b>	<b>(94)</b>
4.1 基本操作练习	(94)
实验 4.1.1 仪器的认领、洗涤和干燥	(94)
实验 4.1.2 天平称量练习	(94)
实验 4.1.3 溶液的配制和滴定操作练习	(96)
实验 4.1.4 玻璃工操作和塞子钻孔	(99)
实验 4.1.5 氯化钠的提纯	(101)
4.2 无机化学实验	(102)
实验 4.2.1 硝酸钾的制备及其溶解度的测定	(102)
实验 4.2.2 硫酸铜的提纯及结晶水的测定	(105)
实验 4.2.3 摩尔气体常数的测定	(107)
实验 4.2.4 化学反应速度常数和活化能的测定	(109)
实验 4.2.5 醋酸离解常数和离解度的测定	(111)
实验 4.2.6 镁和盐酸反应热的测定	(115)
实验 4.2.7 溶液中的离解平衡	(117)
实验 4.2.8 氧化还原反应与电化学	(121)
实验 4.2.9 磺基水杨酸铁配位数和稳定常数的测定	(124)
实验 4.2.10 常见阳离子的鉴定	(127)
实验 4.2.11 常见阴离子的鉴定	(131)
4.3 分析化学实验	(135)
实验 4.3.1 容量器皿的校正	(135)
实验 4.3.2 有机酸相对分子质量的测定	(138)
实验 4.3.3 混合碱的测定	(139)
实验 4.3.4 天然水硬度的测定	(141)
实验 4.3.5 天然水高锰酸盐指数的测定	(143)



实验 4.3.6	铁矿石中铁含量的测定	(145)
实验 4.3.7	葡萄糖含量的测定(碘量法)	(146)
实验 4.3.8	氯化物中氯含量的测定(莫尔法)	(148)
实验 4.3.9	土壤中有效磷的光度测定	(149)
实验 4.3.10	钴、铁的分离与测定	(151)
4.4	有机化学实验	(153)
实验 4.4.1	乙醇的蒸馏	(153)
实验 4.4.2	甲醇与水的分馏	(155)
实验 4.4.3	减压蒸馏	(156)
实验 4.4.4	重结晶	(157)
实验 4.4.5	薄层色谱和柱色谱	(159)
实验 4.4.6	环己烯	(162)
实验 4.4.7	1-溴丁烷	(163)
实验 4.4.8	乙酰乙酸乙酯	(165)
实验 4.4.9	乙酰苯胺	(167)
实验 4.4.10	肉桂酸	(168)
实验 4.4.11	己二酸	(169)
实验 4.4.12	苯甲醇和苯甲酸	(170)
实验 4.4.13	苯甲酸乙酯	(171)
实验 4.4.14	从茶叶中提取咖啡因	(173)
实验 4.4.15	阿司匹林的制备	(174)
实验 4.4.16	有机官能团的检验	(176)
4.5	综合及设计实验	(185)
实验 4.5.1	碳酸钠的制备及总碱度的测定	(185)
实验 4.5.2	硫酸亚铁铵的制备及纯度测定	(187)
实验 4.5.3	铁氧体法处理含铬废水	(189)
实验 4.5.4	水的净化及水质检验	(191)
实验 4.5.5	植物中某些元素的分离与鉴定	(194)
实验 4.5.6	由废铁屑制备三氯化铁	(196)
实验 4.5.7	废干电池的综合利用	(197)
实验 4.5.8	苯甲酸的制备	(198)
附表		(200)
附表 1	常用酸、碱的浓度	(200)

附表 2	弱电解质的解离常数 .....	(200)
附表 3	难溶电解质的溶度积常数(298 K) .....	(201)
附表 4	配离子的稳定常数 .....	(201)
附表 5	标准电极电势(298 K) .....	(202)
附表 6	常见有机溶剂物理常数 .....	(203)
附表 7	不同温度下水的蒸气压 .....	(203)
附表 8	国际相对原子质量表(1995 年).....	(204)
参考文献	.....	(205)

# 绪 论

## 化学实验的目的和意义

化学是一门实践性很强的学科。

通过实验,可以加深对化学基本理论和基础知识的理解和掌握。

通过实验,可以训练学生正确、熟练地掌握化学实验的基本操作方法、技能和技巧。

通过实验,可以培养学生独立工作和独立思考的能力,如独立准备和进行实验的能力;细致地观察和记录现象,正确地归纳、综合处理数据的能力;分析和用语言表达实验结果的能力以及一定的组织实验、研究实验的能力。

通过实验,还可以培养学生实事求是的科学态度,认真、准确、细致、整洁等良好科学学习习惯及科学的思维方法,从而逐步使学生掌握科学研究的方法。

化学实验的任务就是要通过这一教学环节,逐步地达到上述各项目的,为培养高素质的科学研究和应用型技术开发人才打好基础。

## 化学实验的学习方法

### 1. 预习

实验前要认真阅读实验教材、教科书和参考资料中的有关内容。通过预习,明确实验目的,领会实验原理,了解实验步骤、操作过程和注意事项,并在此基础上写好预习报告。

### 2. 实验

遵守操作规程,进行规范操作;仔细观察实验现象,并及时、如实地做好详细记录。

### 3. 实验报告

实验结束后,应完成实验报告,即解释实验现象,对数据进行处理,对实验结果进行归纳、总结。实验报告要求整洁、条理清晰、简明扼要。

实验报告应包括以下内容:

- (1)实验题目、日期;
- (2)实验的目的、原理;
- (3)原料及产物的物理化学数据和主要试剂及浓度;
- (4)实验装置图;
- (5)实验步骤;
- (6)实验数据及结果;
- (7)实验讨论:分析实验结果的误差来源,提出建议,总结经验教训或心得体会等。

上述几项内容的繁简、取舍,应根据各个实验的具体情况而定。

## 实验室规则

(1)遵守纪律,不迟到早退,保持室内安静,不要大声喧哗,不能做与实验无关的事。

(2)要节约使用药品、水、电和煤气,要爱护仪器和实验室设备。

(3)实验台上的仪器应整齐地放在一定的位置上,并随时注意保持工作区域的整洁。每人应准备一个废液杯,火柴、纸屑、废品等只能丢入废液杯内,实验结束后再倒入实验室的废液桶中。

(4)按规定取用药品。称取药品后,应及时盖好原瓶盖,放在指定位置,不能擅自拿走。

(5)使用精密仪器时,必须填写仪器使用登记卡,严格按照操作规程进行操作,细心谨慎。如发现仪器有故障,应立即停止使用,报告教师,及时排除故障。

(6)认真做好实验记录,所有数据均应用钢笔或圆珠笔准确及时地记在记录本上,禁止用铅笔或纸片做记录,决不允许伪造数据。

(7)实验完毕后,应把实验桌、仪器和药品整理干净,关好水、电和煤气开关,并将记录本交指导教师批阅、签字。

(8)每次实验后由学生轮流值日,负责打扫实验室卫生,检查水龙头、煤气开关、门窗是否关好,电闸是否拉掉,以保证实验室的整洁和安全。

## 实验室的安全

实验室安全包括人身安全及实验室、仪器、设备的安全。化学实验室主要应预防化学药品中毒,操作过程中的烫伤、割伤、腐蚀等人身安全和燃气、高压气体、高压电源、易燃易爆化学品可能产生的火灾、爆炸事故及跑水等事故。

### 1. 实验室安全常识

(1)了解实验室水、煤气管道及阀门的位置及开关方法,电闸的位置及电路的走向。

(2)实验室内禁止饮食、吸烟,切勿以实验用容器代替水杯、餐具使用,防止化学品入口,实验结束后要洗手。

(3)使用氰化钾、氧化砷、氯化汞等剧毒品时要特别小心,用过的废物、废液不可乱扔、乱倒,要回收或加以特殊处理。使用汞时应避免泼洒在实验台或地面上,使用后的汞应收集在专用的回收容器中。万一发生少量汞洒落,应尽量收集干净,然后在可能撒落的地方洒一些硫磺粉,最后清扫干净,并集中作固体废物处理。

(4)使用浓酸、浓碱及其他具有腐蚀性的试剂时,操作要小心,防止溅伤和腐蚀皮肤、衣物等。使用易挥发的有毒或有强烈腐蚀性的液体和气体,要在通风柜中操作(尤其是用它们热分解试样时)。浓酸、浓碱如果溅到实验台上时要用水稀释后擦掉。

(5)要特别注意煤气(或天然气)的正确使用,严防泄露。在使用煤气(或天然气)灯加热过程中,火源要与其他物品保持适当距离,人不得长时间离开,防止熄火漏气。用后要及时关闭燃气管道上的小阀门。

(6)使用可燃性有机试剂时,要远离火焰及其他热源,敞口操作并有挥发时应在通风柜

中进行,用后盖紧瓶塞,置阴凉处存放。低沸点,低闪点的有机溶剂不得在明火或电炉上直接加热,而应在水浴或电热套中加热。

(7)使用自来水后要及时关闭阀门,遇停水时要立即关闭阀门,以防来水后发生跑水,离开实验室之前应再检查自来水阀门是否完全关闭。

## 2. 实验室一般伤害的救护

(1)割伤。先取出伤口内的异物,用蒸馏水洗净伤口,然后贴上“创可贴”,也可涂以红药水或紫药水。

(2)烫伤。不要用水冲洗,也不要弄破水泡。在烫伤处涂以烫伤膏或万花油,也可用风油精涂抹。

(3)酸、碱灼伤。先用干净的干布或吸水纸揩干,再用大量水冲洗。对于受酸腐蚀致伤可用3%NaHCO<sub>3</sub>溶液或稀氨水冲洗;对于碱腐蚀致伤可用约为2%的HAc溶液或3%的H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>溶液冲洗,最后再用水冲洗,必要时送医院治疗。

(4)如果酸(或碱)液溅入眼内,立即用大量水长时间冲洗,再用3%~5%的碳酸氢钠溶液(或2%的硼砂溶液)冲洗。

(5)受溴腐蚀致伤。用苯或甘油洗濯伤口,再用水洗。

(6)受磷灼伤。用1%硝酸银,5%硫酸铜或浓高锰酸钾洗濯伤口,然后包扎。

(7)吸入Br<sub>2</sub>蒸气、Cl<sub>2</sub>、HCl等气体时,可吸入少量乙醇和乙醚混合蒸气来解毒。如吸入H<sub>2</sub>S气体而感到不适时,应立即到室外呼吸新鲜空气。但应注意:氯、溴中毒不可进行人工呼吸;一氧化碳中毒不可施用兴奋剂。

(8)遇毒物进入口时,可将5~10 mL稀硫酸铜溶液加入一杯温水中,内服后,用手伸入咽喉部,促使呕吐,吐出毒物,然后送医院治疗。

(9)触电。首先切断电源,然后在必要时进行人工呼吸。

## 3. 灭火常识

有效的防范才是对待事故较积极的态度。为预防火灾,应切实遵守以下各点:

(1)严禁在开口容器或密闭体系中用明火加热有机溶剂,当用明火加热易燃有机溶剂时,必须要有蒸气冷凝装置或合适的尾气排放装置。

(2)废溶剂严禁倒入污物桶,应倒入回收瓶内再集中处理。燃着的或阴燃的火柴梗不得乱丢,应放在表面皿中,实验结束后一并投入废物桶。

(3)金属钠严禁与水接触,废钠通常用乙醇销毁。

(4)不得在烘箱内存放、干燥、烘焙有机物。

实验过程中万一不慎起火,切不要惊慌,应立即采取如下灭火措施:

(1)防止火势蔓延。关闭煤气龙头,切断电源,移走一切可燃物质(特别是有机溶剂和易燃易爆物质)。

(2)灭火。物质燃烧需要空气,要有一定的温度,所以灭火的方法一是降温,二是使燃烧物质与空气隔绝。

灭火最常用的物质是水,它使燃烧区的温度降低而灭火。但在化学实验室里常常不能用水灭火。例如,水能和某些化学药品(如金属钠)发生剧烈反应,会引起更大的火灾。又如,当有的有机溶剂(如苯、汽油)着火时,因水与它们互不相混溶,有机溶剂比水轻而浮在水

面上,不仅不能灭火,反而使火场扩大。化学实验室常用的灭火方法有:

①一般的小火可用湿布、石棉布或砂土覆盖在着火的物体上。

②火势较大时要用灭火器灭火。实验室常备的灭火器主要有:

泡沫灭火器:药液成分为  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,它们相互作用产生  $\text{Al}(\text{OH})_3$  和  $\text{CO}_2$  泡沫。泡沫把燃烧物包住与空气隔绝而灭火。泡沫灭火器可用于一般的起火,但不适用于电器和有机溶剂起火。

二氧化碳灭火器:内装液态  $\text{CO}_2$ ,是实验室最常用的灭火器。适用于油类、电器及忌水化学物质的起火,但不适用于一些轻金属(如  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Al}$  等)起火。

活泼金属如  $\text{K}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Mg}$  等引起的着火,不能用水、泡沫灭火器、二氧化碳灭火器灭火,通常用干燥的细沙覆盖。

③当身上衣服着火时,切勿惊慌乱跑,以免风助火势。化纤织物最好立即脱除。一般小火可用湿抹布、灭火毯等包裹使火熄灭。若火势较大,可就近用水龙头浇灭。必要时可就地卧倒打滚,一方面防止火焰烧向头部,另外在地上压住着火处,使其熄灭。

# 第 1 章 化学实验基础知识

## 1.1 测量误差和数据处理

### 1.1.1 有效数字

有效数字是指在具体工作中实际能测量的数字。

#### 1. 有效数字位数的确定

有效数字的位数表达了与测量精度相一致的测量结果,即测量和计算所表示的数字位数,除末位数字为可疑者外,其余各位数都应是准确可靠的。

从仪器上直接测得的数字位数(包括最后一位可疑数字),叫做有效数字。实验数据的有效数字与测量的精度有关。例如在分析化学中,常用仪器的精度见表 1.1。

表 1.1 常用仪器的精度

仪器名称	测量的物理量	仪器的精度	例子	有效数字位数
托盘天平	质量	0.1 g	15.6 g	3 位
1/100 天平	质量	0.01 g	15.61 g	4 位
分析天平	质量	0.0001 g	15.6068 g	6 位
10 mL 量筒	体积	0.1 mL	5.5 mL	2 位
100 mL 量筒	体积	1 mL	61 mL	2 位
移液管	体积	0.01 mL	25.00 mL	4 位
滴定管	体积	0.01 mL	50.00 mL	4 位
容量瓶	体积	0.01 mL	100.00 mL	5 位

确定有效数字位数时,需要注意以下几点。

(1)“0”在数字中是否包括在有效数字的位数中,与“0”在数字中的位置有关。当“0”在数字前面,只表示小数点的位置(仅起定位作用),不包括在有效数字中;如果“0”在数字的中间或末端,则表示一定的数值,应包括在有效数字的位数中。例如:

数值	0.68	$6.80 \times 10^{-5}$	0.02350	6.08
有效数字位数	2 位	3 位	4 位	3 位

(2)采用指数表示法,“10”不包括在有效数字中。对于很小或很大的数字,采用指数表

示法更为简便合理。例如,像 3600 这样的数字,有效数字位数比较模糊,一般看成是四位有效数字,但它可能是二位或三位有效数字。对于这样的情况,应该根据实际的有效数字位数,分别写成  $3.6 \times 10^3$ ,  $3.60 \times 10^3$  或  $3.600 \times 10^3$  较好。

(3)对数值有效数字位数,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。因此对数运算时,对数小数部分的有效数字位数应与相应的真数的有效数字位数相同,例如:pH = 7.68 有效数字为二位,而不是三位,相当于  $c(\text{H}^+) = 2.1 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(4)记录和计算结果所得的数值,均只能保留一位可疑数字。几个重要物理量的测量误差一般为:质量,  $\pm 0.000x \text{ g}$ ; 容积,  $\pm 0.0x \text{ mL}$ ; pH,  $\pm 0.0x$ ; 电位,  $\pm 0.000x \text{ V}$ ; 吸光度,  $\pm x0.00$ 等。由于测量仪器不同,测量误差可能不同,因此,应根据具体实验情况,正确记录测量数据。

(5)若某一数的第一位有效数字大于或等于 8 时,有效数字的位数可多取一位。例如 8.46 虽然只有三位有效数字,但可看做是四位有效数字。

(6)大多数情况下,表示误差时,有一位有效数字已足够,最多取两位。

## 2. 有效数字的运算规则

在处理数据时,有效数字的取舍很重要,它有助于避免因计算过繁而引起的错误,确保运算结果的正确,同时也节省时间。有效数字的基本运算原则是:

(1)在加减法运算中,计算结果保留的小数点后的位数,应与各个加减数值中的小数点后位数最少者相同。例如将 0.0121, 1.0568, 25.64 三个数相加,结果应为 26.71,而不是 26.7089,因为第三个数值 25.64 中的“4”已经是可疑数字,保留小数后的第三位甚至第四位数字是没有意义的。

(2)在乘除运算中,计算结果的有效数字位数应与各数值中最少的有效数字的位数相同,与小数点的位数无关。例如,5.44 与 0.48 相乘,结果应为 2.6,而不是 2.6112。

(3)在进行一连串数值运算时,为了既简便计算又能确保运算的准确性,可按“四舍五入”原则暂时多保留一位有效数字。但是,在得到最后结果时,一定要注意弃去多余的数字。

当有效数字的位数确定后,其余的尾数应根据“四舍五入”或“四舍六入五留双”(即当尾数  $\leq 4$  时舍去;尾数  $\geq 6$  时进位;当尾数 = 5 时,则要看尾数前一位数是奇数还是偶数,如为奇数则进位,如为偶数则舍去)的规则处理。

必须强调,只有在涉及直接或间接测定的物理量时,才考虑有效数字,对那些不需测量的数字如  $\sqrt{2}$ ,  $1/2$  等不连续物理量和化学量的数值(如化学式  $\text{H}_2\text{SO}_4$  中“2”,“4”等),以及从理论计算出的数值(如  $\pi$ ,  $e$  等),没有可疑数字。其有效数字位数可以认为是无限的,所以取用时可以根据需要保留,需要几位就保留几位。其他如原子量、气体常数  $R$  等基本数值,如需要有效数字少于公布的数值,可以根据需要保留有效数字的位数。单位换算因数则需要根据原单位的有效数字位数决定,如:  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ ,有效数字位数无限制。

掌握好有效数字的测量和运算有助于正确记录和表示测量结果,避免运算错误,而且能正确地选用物料量和测量仪器。

例如,配制  $0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{CuSO}_4$  溶液 0.1 L,可称取  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  晶体 12.5 g,而不必准确称取 12.4840 g。选用天平和容量仪器时,只需选用台称和量筒,而不必选用分析天平(1/10000 天平)和容量瓶。



## 1.1.2 测量误差

在测量实践中,取同一试样进行多次重复的测试,其测定结果常常不会完全一致,即使采用最先进的测定方法,用最精密的仪器,由技术最熟练的人员进行测定,也难以得到与真实值完全一致的结果。这说明测量误差是普遍存在的。因此,人们在各项测试工作中,不仅要掌握各种测定方法,还必须对测量结果进行评价,分析测量结果的准确性、误差的大小及产生误差的主要原因,寻找减小误差的有效措施,提高测量结果的准确性。

### 1. 误差的种类

测量结果与真实数值之间的偏离称为误差。根据误差性质的不同,误差可分为系统误差、偶然误差和过失误差 3 类。

#### (1) 系统误差(可测误差)

系统误差是由某些比较确定的原因引起的,它对测定结果的影响比较固定,其大小有一定规律性,在重复测量时,它会重复出现。产生系统误差的主要原因有下列几种。

①方法误差:这种误差是由于实验方法不够完善所造成。

②仪器不准和试剂不纯引起的误差。

③操作误差:由操作人员掌握操作规程与正确的实验条件稍有出入而引起的误差。如人们对滴定终点的颜色判断往往不同,有人偏深,有人偏浅。

系统误差是可以估计的,能采取适当措施减小。一般用改进实验方法、校正仪器、提高试剂纯度、制订标准操作规程,做空白试验、对照试验等措施减免其发生。

#### (2) 偶然误差(难测误差或随机误差)

偶然误差由某些难以预料的偶然因素引起,它对实验结果的影响不固定。但经过多次测量,可以发现偶然误差服从概率统计规律。即:大小相等的正误差和负误差出现的几率相等;小误差出现次数多,大误差出现次数少。

因此,在消除引起系统误差的一切因素后,通过多次测量取算术平均值的方法可减小偶然误差对测量结果的影响,使测得结果接近真实值。

#### (3) 过失误差

过失误差是一种与事实不符的误差。它是由于工作粗枝大叶,操作不正确引起的。例如读错刻度值,看错砝码,加错试剂,记录错误,计算错误等。此种误差只要加强责任心,工作认真细致即可避免。

## 2. 准确度与误差

准确度是指测定值与真实值之间的偏离程度,可以用误差来量度。误差越小,说明测定结果的准确度越高。误差的表示方法可分为绝对误差和相对误差。

(1)绝对误差 是指测得的数值与真实数值之间的差值。

$$\text{绝对误差} = \text{测定值} - \text{真实值}$$

测定值大于真实值时的误差是正的,测定值小于真实值时的误差是负的。绝对误差只能显示出误差变化的范围,不能确切地表示测量精度,因此一般用相对误差的形式表示测量误差。

(2)相对误差 相对误差是绝对误差在真实值中所占的百分率。