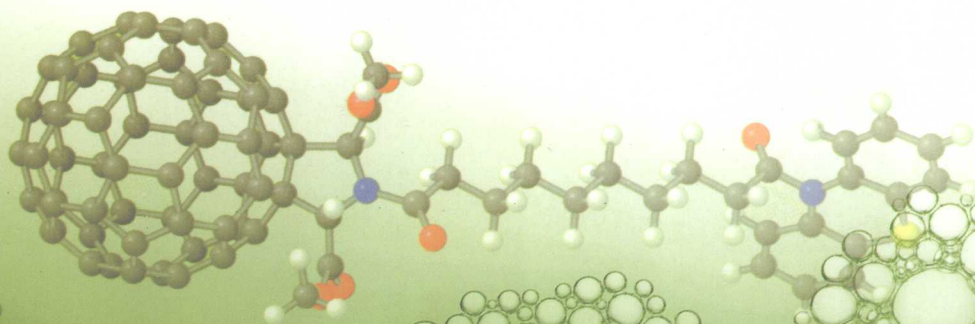


21世纪高等院校化学实验教学改革示范教材

普通化学实验

总主编 孙尔康 张剑荣

主 编 王 玲 刘勇健



南京大学出版社

21世纪高等院校化学实验教学改革示范教材

普通化学实验



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通化学实验 / 王玲, 刘勇健主编. —南京: 南京大学出版社, 2009. 7

21 世纪高等院校化学实验教学改革示范教材

ISBN 978 - 7 - 305 - 06167 - 7

I. 普… II. ①王…②刘… III. 化学实验—高等学校—教材 IV. 06 - 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 086824 号

出版者 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://www.NjupCo.com>
出版人 左 健
丛 书 名 21 世纪高等院校化学实验教学改革示范教材
书 名 普通化学实验
总 主 编 孙尔康 张剑荣
主 编 王 玲 刘勇健
责任编辑 蔡文彬 编辑热线 025 - 83686531

照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 南京新洲印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 9 字数 222 千
版 次 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷
印 数 1—4000
ISBN 978 - 7 - 305 - 06167 - 7
定 价 17.00 元

发行热线 025 - 83594756
电子邮箱 Press@NjupCo.com
Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

编 委 会

总 主 编 孙尔康(南京大学)

张剑荣(南京大学)

副总主编 (按姓氏笔画排序)

朱秀林(苏州大学)

朱红军(南京工业大学)

孙岳明(东南大学)

刘勇健(苏州科技学院)

何建平(南京航空航天大学)

金叶玲(淮阴工学院)

周亚红(江苏警官学院)

柳闽生(南京晓庄学院)

倪 良(江苏大学)

徐继明(淮阴师范学院)

徐建强(南京信息工程大学)

袁容鑫(常熟理工学院)

曹 健(盐城师范学院)

编 委 (按姓氏笔画排序)

马全红

卞国庆

王 玲

王松君

王秀玲

白同春

史达清

汤莉莉

李巧云

何婷婷

陈国松

陈昌云

沈 彬

邱凤仙

张强华

张文莉

吴 莹

郎建平

周建峰

周少红

赵登山

陶建清

郭玲香

黄志斌

彭秉成

程晓春

路建美

薛蒙伟

序

化学是一门实验性很强的科学,在高等学校化学专业和应用化学专业的教学中,实验教学占有十分重要的地位。就学时而言,教育部化学专业指导委员会提出的参考学时数为每门实验课的学时与相对应的理论课学时之比为(1.1~1.2):1,并要求化学实验课独立设课。已故著名化学教育家戴安邦教授生前曾指出:“全面的化学教育要求化学教学不仅传授化学知识和技术,更训练科学方法和思维,还培养科学品德和精神。”化学实验室是实施全面化学教育最有效的场所,因为化学实验教学不仅可以培养学生的动手能力,而且也是培养学生严谨的科学态度、严密科学的逻辑思维方法和实事求是的优良品德的最有效形式;同时也是培养学生创新意识、创新精神和创新能力的重要环节。

为推动高等学校加强学生实践能力和创新能力的培养,加快实验教学改革和实验室建设,促进优质资源整合和共享,提升办学水平和教育质量,教育部已于2005年在高等学校实验教学中心建设的基础上启动建设一批国家实验教学示范中心。通过建设实验教学示范中心,达到的建设目标是:树立以学生为本,知识、能力、素质全面协调发展的教育理念和以能力培养为核心的实验教学观念,建立有利于培养学生实践能力和创新能力的实验教学体系,建设满足现代实验教学需要的高素质实验教学队伍,建设仪器设备先进、资源共享、开放服务的实验教学环境,建立现代化的高效运行的管理机制,全面提高实验教学水平。为全国高等学校实验教学改革提供示范经验,带动高等学校实验室的建设和发展。

在国家级实验教学示范中心建设的带动下,江苏省于2006年成立了“江苏省高等院校化学实验教学示范中心主任联席会”,成员单位达三十多个,并在2006~2008年三年时间内,召开了三次示范中心建设研讨会。通过这三次会议的交流,大家一致认为要提高江苏省高校的实验教学质量,关键之一是要有一个符合江苏省高校特点的实验教学体系以及与之相适应的一套先进的教材。在南京大学出版社的大力支持下,在第三次江苏省高等院校化学实验教学示范中心主任联席会上,经过充分酝酿和协商,决定由南京大学牵头,成立江苏省高等院校化学实验教学改革系列教材编委会,组织东南大学、南京航空航天大学、

苏州大学、南京工业大学、江苏大学、南京信息工程大学、盐城师范学院、淮阴师范学院、淮阴工学院、苏州科技学院、常熟理工学院、江苏警官学院、南京晓庄学院等十四所高校实验教学的一线教师,编写《无机化学实验》、《有机化学实验》、《物理化学实验》、《分析化学实验》、《仪器分析实验》、《无机及分析化学实验》、《普通化学实验》和至少跨两门二级学科(或一级学科)实验内容或实验方法的《综合化学实验》系列教材。

该套教材在教学体系和各门课程内容结构上按照“基础—综合—研究”三层次进行建设。体现出夯实基础、加强综合、引入研究和经典实验与学科前沿实验内容相结合、常规实验技术与现代实验技术相结合等编写特点。在实验内容选择上,尽量反映贴近生活、贴近社会,与健康、环境密切相关,能够激发学生兴趣,并且具有恰当的难易梯度供选取;在实验内容的安排上符合本科生的认知规律,由浅入深、由简单到综合,每门实验教材均有本门实验内容或实验方法的小综合,并且在实验的最后增加了该实验的背景知识讨论和相关延展实验,让学有余力的学生可以充分发挥其潜力和兴趣,在课后进行学习或研究;在教学方法上,希望以启发式、互动式为主,实现以学生为主体,教师为主导的转变,加强学生的个性化培养;在实验设计上,力争做到使用无毒或少毒的药品或试剂,体现绿色化学的教学理念。这套化学实验系列教材充分体现了各参编学校近年来化学实验改革的成果,同时也是江苏省省级化学示范中心创建的成果。

本套化学实验系列教材的编写和出版是我们工作的一项尝试,在教材中难免会出现一些疏漏或者错误,敬请读者和专家提出批评意见,以便我们今后修改和订正。

编委会

2008年8月

前言

根据教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的精神,按照江苏省实验教学示范中心建设的总体要求,结合非化学化工类学科的发展需要和多年来的实验教学经验,编写了这本《普通化学实验》教材,作为 21 世纪高等学校化学实验教学改革示范教材丛书之一,为非化学化工类专业本科生提供了一套适用性强的实验教材。

《普通化学实验》是非化学化工专业大学普通化学及相近课程的重要组成部分,旨在为大学生提供宝贵的实践机会和创新的空间。当前,培养“厚基础、宽口径、高素质”的创新型、应用型人才已成为高等院校人才培养的共同目标。“普通化学实验”尤其注重培养学生独立思考、综合实验等实验技能和科学素养,使学生得到全面的化学素质教育。本书分四个部分。第一章为绪言,介绍普通化学实验的目的和方法,实验中的数据表达与处理,实验室规则及安全常识;介绍普通化学实验的基础知识和化学实验基本操作;第二章为普通化学实验中常用的玻璃仪器的洗涤与干燥、基本实验操作、化学试剂使用常识以及精密仪器的使用,如分析天平、酸度计、电导率仪、分光光度计等;第三、四、五章介绍实验内容,包括 8 个基础性实验、10 个综合性实验和 8 个开放性实验。每个实验包括实验目的、实验原理、仪器和试剂、实验步骤、注意事项、数据记录和处理、思考题等部分;最后为附录部分及参考文献。

《普通化学实验》的特点:

1. 编者结合本校教学特色,在原实验教材的基础上,进一步精选实验内容,同时借鉴和汲取了其他实验教材中的一些经典内容。

2. 在注重基础实验和技能训练的基础上,优选生活化学和趣味为特点的开放性实验,以增强教材的实用性。《普通化学实验》的编写宗旨是使学生加深对化学基本理论的理解、掌握化学实验的基本操作技能,养成严格、认真和实事求是的科学态度,提高观察、分析和解决问题的能力。

3. 力图克服繁琐、突出重点。引导学生通过对比和鉴别掌握化学基础知识,以利于调动学生学习的积极性和主动性。

4. 《普通化学实验》是非化学化工类大学一年级的基础实验课。由于普通

化学课程涉及面广,不同专业对实验内容及实验学时的要求也随之不同,在编写实验过程中尽量做到兼顾各专业的不同要求,同时又有一定的针对性,重点在于知识性、实践性和趣味性。

5. 适用范围广。可作为综合性大学和高等师范院校类的非化学专业学生学习普通化学的实验教材,同时适合于高职、高专院校相关专业使用,也可供从事化学科学研究的人员、化学专业技术人员以及与化学密切相关的交叉学科的研究人员参考,有广泛的适用性。

本教材由王玲、刘勇健任主编,负责《普通化学实验》的内容筹划、审核、统稿和定稿。参与编写的有:南京航空航天大学:王玲、何娉婷、陈田(第一章、第二章、实验1~2、实验5、实验7~8、实验11~12、实验14、实验16~18、实验21~26、附录),苏州科技学院:刘勇健、王秀玲、娄帅、王松君(实验3~4、实验6、实验9~10、实验13、实验15、实验19~20)。

本教材由南京大学徐培珍老师主审,并提出了宝贵意见;同时编写工作得到了各位领导和普通化学课程团队老师的大力支持,编者在此一并致以衷心的感谢。最后还要感谢书中所列参考文献的作者,以及由于疏漏等原因未列出的文献作者。

由于编者水平所限,书中难免还有疏漏和不当之处,恳请同行专家和师生批评指正。

编者

2009年6月

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1.1 实验目的、学习方法和成绩评定	1
§ 1.2 实验结果的表示方法	3
§ 1.3 实验室安全常识	7
第二章 实验仪器的使用方法	11
§ 2.1 玻璃仪器的洗涤与干燥	11
§ 2.2 容量器皿的使用	12
§ 2.3 加热与冷却操作	17
§ 2.4 固液分离	19
§ 2.5 实验用水	22
§ 2.6 化学试剂	23
§ 2.7 称量仪器	26
§ 2.8 pH S-3C 型酸度计	31
§ 2.9 DDS-307 型电导率仪	32
§ 2.10 721 型分光光度计	34
§ 2.11 AQ4500 浊度计	36
§ 2.12 NDJ-1 旋转式粘度计	38
第三章 基础实验	40
实验 1 分析天平的使用及摩尔气体常数 R 的测定	40
实验 2 化学反应摩尔焓变的测定	44
实验 3 化学反应速率和反应级数的测定	46
实验 4 醋酸解离度与解离常数的测定	50
实验 5 电解质溶液	53
实验 6 二氯化铅溶度积的测定	58
实验 7 电化学与金属腐蚀	61
实验 8 常见金属离子的性质	66
第四章 综合实验	69
实验 9 硫酸亚铁铵的制备	69
实验 10 铁的吸氧腐蚀	72

实验 11	钢铁件表面光亮镀锌	75
实验 12	铝合金表面处理——阳极氧化	77
实验 13	含铬废水的处理	80
实验 14	印刷线路板的化学加工	83
实验 15	聚乙烯醇缩甲醛胶水的合成	86
实验 16	废干电池的综合利用	88
实验 17	离子交换法制备实验室用纯水及其检验	91
实验 18	聚合三氯化铝的制备及絮凝性能测试	94
第五章	开放实验	96
实验 19	日用化学品——洗洁精的配制	96
实验 20	瓜果、蔬菜中维生素 C 含量的测定	98
实验 21	茶叶中微量元素的鉴定与定量分析	100
实验 22	印刷电路腐蚀废液的回收和利用	104
实验 23	叶脉书签的制备及表面装饰	107
实验 24	蔬果中有机磷农药残留速测	110
实验 25	固体酒精的制备	112
实验 26	食品添加剂羧甲基纤维素钠的制备	114
附 录		117
附录 1	常用化学危险品的分类和性质	117
附录 2	常用化合物相对分子量表	118
附录 3	不同温度下水的饱和蒸汽压	119
附录 4	实验室常用酸、碱溶液的密度和浓度	120
附录 5	常用酸、碱的解离常数	121
附录 6	常用缓冲溶液的配制	122
附录 7	常用指示剂	123
附录 8	难溶电解质的溶度积常数(25℃)	125
附录 9	标准电极电势(298.15 K)	126
附录 10	常见阳离子的鉴定方法	129
参考文献		133

第一章 绪 论

§ 1.1 实验目的、学习方法和成绩评定

一、实验目的

化学实验是化学学科的重要组成部分。随着现代科学技术的飞速发展,化学已从经验科学走向理论与实践并重的科学,但它仍是以实验为基础,特别是新的实验手段的普遍应用极大地推动了化学学科的发展。因此基础实验始终是化学学习的重要环节。

普通化学实验是学习普通化学课程的主要环节,通过化学实验课程的开设,可以达到以下目的:

- (1) 巩固、深化和扩大课堂中所学相关理论知识,为理论联系实际打下基础。
- (2) 培养学生正确掌握一些实验的基本技能,学会正确使用常用仪器,获得准确的实验数据和结果。
- (3) 培养学生独立工作与思考的能力,在独立准备和完成实验的过程中,细致观察和记录分析实验现象、合理处理实验数据,从中得出结论,并撰写实验报告。
- (4) 培养学生实事求是的科学态度和准确、细致、整洁、有条不紊的良好实验习惯,科学的思维方法以及处理实验中一般事故的能力。

二、学习方法

实验效果与正确的学习态度和学习方法密切相关,普通化学实验的学习方法主要体现在下列三个环节:

1. 预习

充分预习实验是实验前必须完成的准备工作,是做好实验的前提。但是,预习环节往往不能引起学生足够的重视,甚至不预习就进实验室,对实验的目的、要求和内容全然不知,严重地影响实验效果。为了确保实验质量,实验前任课教师要检查每个学生的预习情况。对没有预习或预习不合格者,任课教师有权不让其参加本次实验,学生应严格服从教师的安排。

实验预习一般应达到下列要求:

- (1) 阅读实验教材,明确实验的目的,知晓实验原理(若有电视录像或 CAI,应在指定时间、指定地点去观看,不可缺席)。
- (2) 了解本次实验的主要内容,阅读实验中有关的实验操作技术及注意事项。
- (3) 写出实验预习报告,预习报告是进行实验的依据,因此预习报告应包括简要的实验步骤与操作、定量实验的计算公式等。

2. 实验

实验是培养独立工作能力和思维能力的重要环节,必须认真地、独立地完成。

(1) 按照实验内容,认真操作,细心观察,一丝不苟,如实将实验现象和数据记录在预习报告中。

(2) 对于设计性实验,审题要确切,方案要合理,现象要清晰。实验中发现设计方案存在问题时,应找出原因,及时修改方案,直到达到满意的结果。

(3) 在实验中遇到疑难问题或者有反常现象时,应认真分析操作过程,思考其原因。为了正确说明问题,可在教师指导下,重做或补做某些实验。自觉养成动脑筋分析问题的习惯。

(4) 遵守实验工作规则。实验过程中应始终保持台面布局合理、环境整洁卫生。

3. 实验报告格式和要求

实验报告是每次实验的总结,反映学生的实验水平和总结归纳能力,必须认真完成。

一份合格的实验报告应包括以下五部分内容:

(1) 实验目的。通过实验,了解或掌握实验方法、操作规范及所用仪器的名称;定量测定实验还应简述实验有关基本原理和主要反应方程式。

(2) 实验原理。用简洁的语言对有关基本原理和主要反应进行全面概述。

(3) 实验内容。尽量采用表格、框图、符号等形式,清晰、明了地表示实验内容。切忌抄袭书本。

(4) 实验现象和数据记录。实验现象要正确,数据记录要完整,绝不允许主观臆造,抄袭别人实验结果,否则,本次实验按不及格处理。对现象加以简明的解释,写出主要反应方程式,分标题小结或者最后得出结论。数据计算要准确。

(5) 实验结果讨论。对本次实验成功与失败的原因和经验教训进行分析讨论,提出自己的见解或写出收获,并完成实验教材中规定的思考题。

三、实验课学生守则

(1) 实验前一定要做好预习实验准备工作,以便心中有数,科学安排时间。如要更改实验步骤或做规定以外的实验,应先征得教师同意。实验前清点所用仪器,如发现有破损或缺少,应立即报告实验指导教师。

(2) 严格遵守安全守则。学生进实验室要了解水、电、煤气开关,通风设备,灭火器材,救护用品的配备情况和安放地点,并能正确使用。使用易燃、易爆和剧毒药品时,要严格遵守操作规程,防止意外事故发生。

(3) 实验时必须认真按照实验方法或步骤进行,勤于思考,仔细分析,力争自己解决问题。做好原始数据的记录,原始数据要用钢笔或圆珠笔书写,并经老师签字。要保持肃静,集中注意力认真操作,不得擅自离开实验室去做与实验无关的工作。

(4) 爱护实验室各种仪器、设备,注意节约水、电和煤气,实验室的仪器、药品、材料不得携出室外他用。临时公用的仪器,用后要洗净,送回原处。使用精密仪器时要严格按照操作规程,避免粗枝大叶而损坏仪器。如发现仪器有故障,应立即停止使用,报告实验指导教师,及时排除故障。

(5) 按规定的量取用药品和材料。放在指定地方的药品不得擅自拿走。取用药品后,

及时盖好瓶盖,以免搞错而污染药品。

(6) 实验时应保持实验室和桌面清洁。待用仪器、药品要摆得井然有序。装置要求规范、美观;废纸、火柴梗、碎玻璃等固体物应丢入废物箱,不得随地乱扔或丢入水槽。实验完毕,应将仪器洗净,放入柜内,擦净桌面,洗净双手,关闭水、电、煤气闸门后方可离开实验室。

(7) 值日生负责整理好公用仪器和药品,擦净地面,清理水槽和废物桶。检查电源、煤气、水龙头、玻璃窗是否关闭,以保持实验室的整洁安全。

§ 1.2 实验结果的表示方法

化学是一门实验的科学,要进行许多定量的测量,如常数的测定、物质组分的分析、溶液浓度的分析等等。这些测定有些是直接进行的,有些则是根据实验数据推算得出的。这些测定与计算结果的准确性如何,实验的数据如何处理,在研究这些问题时,都会遇到误差等有关问题。所以掌握测量仪器读法,树立正确的误差及有效数字的概念,掌握分析和处理实验数据的科学方法是十分必要的。

一、误差

1. 准确度、精密度与误差的概念

在定量分析的测定中,对于实验结果的准确度都有一定的要求。可是,绝对准确是没有的。在实验过程中,即使是技术很熟练的人,用最好的测定方法和仪器,对同一试样进行多次测定,也不可能得到完全一样的结果,在实验测定值与真实值之间总会产生一定的差值,这种差值越小,实验结果的准确度就越高;差值越大,实验结果的准确度就越低。所以,准确度表示实验结果与真实值接近的程度。此外,在实验中,常在相同条件下对同一样品平行测定几次,如果几次实验测定值彼此比较接近,就说明测定结果的精密度高;如果实验测定值彼此相差很多,则测定结果的精密度就低。所以精密度表示各次测定结果相互接近程度。精密度与准确度是两个不同的概念,是实验结果好坏的主要标志。精密度高不一定准确度高而准确度高一定要精密度高。精密度是保证准确度的先决条件,因为精密度低时,测得的几个数据彼此相差很多,根本不可信,也就谈不上准确度了。所以,初学者进行实验时,一定要严格控制条件,认真仔细地操作,得出精密度的数据。

准确度的高低常用误差来表示,误差即实验测定值与真实值之间的差值。误差越小,表示测定值与真实值越接近,准确度越高。当测定值大于真实值时,误差为正值,表示测定结果偏高;若测定值小于真实值,则误差为负值,表示测定结果偏低。

误差的表示方法有两种,即绝对误差与相对误差。绝对误差表示测定值与真实值之差。相对误差表示绝对误差与真实值之比,即绝对误差在真实值中所占的百分率。

在实验工作中,由于真实值不知道,通常是进行多次平行分析,求得其算术平均值,以此作为真实值,或者以公认的手册上的数据作为真实值。

单次测定的结果与平均值之间的偏离就称为偏差。偏差与误差一样,也有绝对偏差和相对偏差之分。

$$\text{绝对偏差} = \text{单次测定值} - \text{平均值}$$

$$\text{相对偏差} = (\text{绝对偏差} / \text{平均值}) \times 100\%$$

从相对偏差的大小可以反映出测量结果再现性的好坏,即测量的精密度的高低,则可视作再现性好,精密度高。

2. 误差产生的原因

引起误差的原因很多,主要有两类:系统误差与偶然误差。

(1) 系统误差

系统误差是由某种固定的原因造成的。它使测定结果偏高或偏低。系统误差包括:方法误差(测定方法本身引起),仪器和试剂误差(仪器不够精确,试剂不够纯),操作误差(操作者本人的原因)。系统误差可以用改善方法、校正仪器、提纯药品等措施来减少或消除。有的也可以在找出误差原因后,算出误差的大小而加以修正。

(2) 偶然误差

这是由一些难以控制的偶然因素造成的。如仪器性能的微小变化,操作人员对备份试样处理时的微小差别等。由于引起的原因具有偶然性,所以造成的误差是可变的,有时大,有时小;有时正,有时负。通常可采用“多次测定”、“取平均值”的方法来减少偶然误差。

除了上述两类误差以外,还有由于工作粗枝大叶,不遵守操作规程等原因而造成测量误差。如果确知由于过失差错而引起的误差,则在计算平均值时应剔除该次测量的数据。

二、有效数字及运算法则

在讨论了测量误差的大小问题后,随之而来的就是如何将测量的实验结果,如实地反映出误差的大小。这就要求树立正确有效数字的概念。

1. 有效数字概念

在实验中,我们使用刻度仪器所测得数据的精确程度总是有限的。例如,50 mL 量筒,最小刻度为 1 mL,在两刻度间可估计一位,所以实际测量时读数能读至 0.1 mL,如 27.6 mL 等。又如,50 mL 滴定管,最小刻度为 0.1 mL,再估计一位,可读至 0.01 mL,如 18.65 mL 等。总之,在 27.6 mL 与 18.65 mL 这两个数字中,最后一位是估计出来,是不准确的。通常把只保留最后一位不准确数字,而其余数字均为准确数字的这种数字称为有效数字。也就是说,有效数字是实际能测出的数字。

由上述可知,有效数字与数学上的数有着不同的含义。数学上的数只表示大小,有效数字则不仅表示量的大小而且能反映所用仪器的准确程度。例如,“称取 NaCl 6.5 g,这不仅说明 NaCl 的质量 6.5 g,而且表示可用感量为 0.1 g(或 0.5 g)的电子天平称取就可以了。若是“称取 NaCl 6.500 0 g,则表明一定要在分析天平(感量为 0.000 1 g)上称取。这样的有效数字还表示了称量误差。对感量 0.1 g 的台秤称 6.5 g NaCl,绝对误差为 0.1 g,相对误差为: $\frac{0.1}{6.5} \times 100\% = 2\%$ 。

对感量为 0.000 1 g 的分析天平称 6.500 0 g NaCl,绝对误差为 0.000 1 g,相对误差为: $\frac{0.000 1}{6.500 0} \times 100\% = 0.002\%$ 。

所以,记录测量数据时,不能随便乱写。不然就会夸大或缩小了准确度,例如用分析天平称 6.500 0 g NaCl 后,若记成 6.50 g,则相对误差由 0.002% 夸大到 $\frac{0.01}{6.500 0} \times 100\% = 0.2\%$ 。

由上述可以看出,“0”在数字中起的作用是不同的。有时是有效数字,有时不是,这与“0”在数字中的位置有关。

(1) “0”在数字前,仅起定位作用,“0”本身不是有效数字。如 0.027 5 中数字“2”前面的两个 0 都不是有效数字,这个数字的有效数字只有三位。

(2) “0”在数字中,则是有效数字。如 2.006 5 中的两个 0 都是有效数字,2.006 5 是五位有效数字。

(3) “0”在小数的数字后,也是有效数字。如 6.500 0 中的三个 0 都是有效数字;0.003 0 中“3”前面的三个 0 不是有效数字,“3”后面的 0 是有效数字。所以,6.500 0 是五位有效数字,0.003 0 是二位有效数字。

(4) 以“0”结尾的正整数,有效数字的位数不定。如 54 000,可能是二位、三位、四位甚至五位有效数字。这种数字根据有效数字情况改写为指数形式。如为二位,则写成 5.4×10^4 ;如为三位,则写为 5.40×10^4 等等。

此外,在化学计算中还有表示倍数或分数这样的数字。如:

H_2SO_4 溶液中质子的浓度为 $c(\text{H}^+) = 2 \times c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

式中的“2”是个自然数,不是测量所得,所以不能看作只有一位有效数字,而应认为是无限多位的有效数字。总之,要能正确判别与书写有效数字。

2. 数字修约规则

我国科学技术委员会正式颁布的《数字修约规则》,通常称为“四舍六入五成双”法则。即当尾数 ≤ 4 时舍去,尾数为 6 时进位。当尾数为 5 时,则应考虑末位数是奇数还是偶数,5 前为偶数应将 5 舍去,5 前为奇数应将 5 进位。这一法则的具体运用如下:

(1) 将 26.175 和 26.165 处理成 4 位有效数字,则分别为 26.18 和 26.16。

(2) 若被舍弃的第一位数字大于 5,则其前一位数字加 1,例如 26.264 5 处理成 3 位有效数字时,其被舍去的第一位数字为 6,大于 5,则有效数字应为 26.3。

(3) 若被舍弃的第一位数字等于 5,而其后续数字全部为零时,则是被保留末位数字为奇数或偶数(零视为偶),而定进或舍,末位数是奇数时进 1,末位数为偶数时还进 1,例如 26.350、26.250、26.050 处理成 3 位有效数字时,分别为 26.4、26.2、26.0。

(4) 若被舍弃的第一位数字为 5,而其后的数字并非全部为零时,则进 1,例如 26.250 1,只取 3 位有效数字时,成为 26.3。

(5) 若被舍弃的数字包括几位数字时,不得对该数字进行连续修约,而应根据以上各条做一次处理。如 2.154 546,只取 3 位有效数字时,应为 2.15,而不得按下法连续修约为 2.16: $2.154\ 546 \rightarrow 2.154\ 55 \rightarrow 2.154\ 6 \rightarrow 2.155 \rightarrow 2.16$ 。

3. 有效数字的运算规则

(1) 加法和减法

在加减时,必须注意到同类、同单位的数值才能进行加、减,同时还要注意有效数字的问题。和或差的有效数字保留位数,取决于这些数值中小数点后位数最少的数字。运算时,首先确定有效数字保留的位数,弃去不必要的数字,然后再进行加减运算。例如: $13.05\text{ mL} + 5.3\text{ mL} + 14.48\text{ mL} = ?$ 在这三个数字中,5.3 的小数点仅有 1 位数,其位数最少,故应以它为标准,取舍后是 13.0,5.3,14.5 相加,和是 32.8。

按算术的方法,得数是 32.83 mL。由于 5.3 中的 0.3 是可疑的,所以和的准确数只有

两位,即 32。小数点以下第一位是可疑的。如果把得数写成 32.83 mL,实际上把精密度夸大了。所以和的正确得数的有效数字应为三位,即 32.8 mL,这个得数表明 32 是可靠的,0.8 是可疑的。

(2) 乘法和除法

几个数字相乘或相除时,积或商的有效数字的保留位数,由其中有效数字位数最少的数值的相对误差所决定,而与小数点的位置无关。具体计算时,也是先确定有效数字的保留位数,然后再计算。

(a) 乘法

例如 $25.62 \times 3.12 = ?$

按算术方法,得数是 79.9344。

根据有效数字只允许一个可疑数字的原则,上面结果是不合理的,夸大了精密度。这样表示:

$$\begin{array}{r}
 \times \\
 \hline
 5? 1? 2? 4? \\
 25.62 \times \\
 \hline
 +) 7 6 8 6? \\
 \hline
 79.9?3?4?4?
 \end{array}$$

由此可见最后得数只能得到三个有效数字,所以,正确的得数应是 79.9。

又例如 $25.63 \times 3.1 = ?$ 得数只有两个有效数字,正确的得数是 79。

从上面两例可看出,得数的有效数字的个数与乘式中那个有效数字最少的数值相同。

再举一例: 29×81 ,若用算术方法可得到 2349,根据有效数字取位数应该是两位。但是如何写法? 写成 2300 不行,有效数字是四位,在这样的情况下,它应写成 2.3×10^3 。

如有几个相乘数据中一个位数最少(即有效数字最少)的数据,其有效数字的首数超过 7,得数可以多留一位。例如 $1.259 \times 0.0123 \times 0.093$,照理得数的有效数字只能取两位。也是考虑到位数最少的 0.093 的有效数字中首数 9 超过 7,在得数中可以多留一位。所以写成: $1.26 \times 0.0123 \times 0.093 = 0.00144$ (或 1.44×10^{-3})。

如果某一数据乘上一准确数,得数的有效数字的个数与原数据相同,不受准确数的影响,3.156 的 2 倍,2 是准确的,得 $3.156 \times 2 = 6.312$,得数的有效数字仍是四位。

如果碰到一个数据乘以一个准确数,其数据中的有效数字的第一位数超过 7 则多取一位。例如: 7.56×3 ,得数可以取四位,即 $7.56 \times 3 = 22.68$

(b) 除法

除法是乘法的反面,所以乘法的一些原则完全可以适用于除法,即有效数字的个数,应与相除数据中的位数最少的个数相同。

例如: $12.5 \div 3.012 = ?$

设得数为 x ,则 $12.5 \div 3.012 = x$,可写为 $12.5 = 3.012x$ 。按照上述原则, x 应该取三位有效数字。

$12.5 \div 3.012 = 4.15$,得数为 4.15。

如果相除数中的一个位数最少的数据,其有效数字的首数超过 7,同样可以采取乘法的

原则,得数多取一位。

例如: $1\,780 \div 85$, 可写成 $1.78 \times 10^3 \div 85 = 20.9$

总之,不论乘(或除),得数的有效数字的个数应和乘(除)式中有有效数字最少的数据的有效数字相同,若碰到位数最少数据的有效数字的首数超过 7,在得数中可以多留一位。

(3) 对数运算

进行对数运算时,对数值的有效数字只由尾数部分的位数决定。首数部分为 10 的幂数,不是有效数字。如: 2 345 为四位有效数字,其对数 $\lg 2\,345 = 3.370\,1$,尾数部分仍保留四位,首数“3”不是有效数字,不能记成 $\lg 2\,345 = 3.370$,这只有三位有效数字,就与原数 2 345 的有效数字位数不一致了。在化学中对数运算很多。如 pH 的计算,若 $[\text{H}^+] = 4.9 \times 10^{-11}$,这是两位有效数字,所以 $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = 10.31$,有效数字仍只有二位。反过来,由 $\text{pH} = 10.31$ 计算 $[\text{H}^+]$ 时,也只能记作 $[\text{H}^+] = 4.9 \times 10^{-11}$,而不能记成 4.89×10^{-11} 。

在较复杂的计算过程中,中间各步可暂时保留一位不定值数字,以免多次舍弃造成误差的积累。待到最后结果时,再弃去多余的数字。

目前,电子计算器应用相当普遍。由于计算器上显示的数值位数较多,虽然在运算过程中不必对每一步计算结果进行位数确定,但应注意正确保留最后计算结果的有效数字位数。

§ 1.3 实验室安全常识

一、实验室安全

(1) 实验室内禁止吸烟、进食和打闹;禁止穿拖鞋、背心进入实验室,树立良好的风气和实验秩序。

(2) 对于性质不明的化学试剂严禁任意混合,以免发生意外事故。

(3) 使用易燃的有机溶剂(酒精、乙醚、丙酮、苯等)时,应远离火源。

(4) 使用浓酸、浓碱、溴、洗液等具有强腐蚀性试剂时,应避免溅在皮肤和衣服上,以免灼伤。

(5) 产生有毒和有刺激性气体的实验,应在有通风设备的地方进行。

(6) 加热试管中的液体时,不能将试管口对着别人和自己,也不能俯视正在加热的液体,以免溅出的液体伤害眼、脸。

(7) 嗅闻气体时,不要用鼻直接对准气体逸出的瓶口或试管口,应该用手将少量气体轻轻扇向自己。

(8) 使用有毒试剂(汞盐、铅盐、砷盐、氰化物、氟化物和铬酸盐等)时,不要接触皮肤和洒落在桌面上,用后的废液不能随意倾入水槽,应回收统一处理。

(9) 实验后的残渣、金属片、滤纸等不能倒入水槽,以防管道堵塞和腐蚀,应由值日生最后统一清理。

(10) 使用电器设备,不能用湿手操作,以防触电。

(11) 实验室所有仪器和药品,不得带出室外,用毕应整理好放回原处。

(12) 实验完毕,应将实验台整理干净,洗净双手,并关闭水、煤气阀门,拉下电闸,关好门窗。