

高等学校教学用书

JICHU HUAXUE SHIYAN

基础化学实验

主 编 宗汉兴 毛红雷

副主编 沈 波 张胜建 应丽艳



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

高等学校教学用书

基础化学实验

浙江大学宁波理工学院

主 编 宗汉兴 毛红雷

副主编 沈 波 张胜建 应丽艳

浙江大學出版社

内容简介

本教材从化学一级学科角度出发,根据化学实验的内在规律和联系,将原来无机、分析、有机化学等实验去粗取精、重组融汇,整合成新体系的基础化学。全书共五章 47 只实验,包括基础知识和基本操作技术、基础训练、化合物的合成与检测和基础综合化学实验等内容。本书可作为各类大专院校,尤其是非化学类工科专业的教学教材,也可作为相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

基础化学实验 / 宗汉兴 毛红雷主编. —杭州:浙江大学出版社, 2007. 3

ISBN 978-7-308-05218-4

I. 基... II. ①宗... ②毛... III. 化学实验—高等学校—教材 N. 06—3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 036517 号

基础化学实验

宗汉兴 毛红雷 主编

责任编辑 王大根 张 真

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 杭州印校印务有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 14

字 数 260 千字

版 次 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-05218-4

定 价 20.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

前 言

化学实验是培养学生基本操作技术、创新意识、创新能力、创新精神和优良素养的有力手段,而且有它的不可替代性。因此,化学实验应强调培养学生以实验基本技术和技能为主、验证课堂理论为辅的原则。浙江大学从1985年起,开始系统、综合地考虑化学系学生在校期间应培养哪些实验基本技术和技能,熟悉哪些实验仪器和培养哪些优良素养等因素,重组了基础化学实验课程体系,并分三个阶段、多层次地进行实验教学,使学生的实验教学质量取得了明显的效果。我们认为这指导思想同样适合非化学系的工科类专业的化学实验教学。

通过长期的化学实验教学经验积累,我们深感化学实验同样完全可以从化学一级学科角度出发,根据化学实验自身的内在规律和联系,重组整合实验内容,会更有利于学生基本操作技术和技能的培养。为此,我们将原来无机、分析、有机、物化和仪器分析化学等实验内容去粗取精、重组融汇,按化学实验基本操作、一般仪器的操作使用、物质的分离提纯与定量测量、各类化合物的合成与物性测量、物质的成分分析与结构表征及各类化学实验技能在化学研究中的应用——综合化学实验等内容由浅入深、分层次、分阶段地进行实验教学,完全打破了过去按无机、分析、有机、物化等学科来安排化学实验的习惯。因此,我们在原教材基础上,经过几年在非化学类工科专业学生中的教学实践,并结合浙江大学宁波理工学院应用型创新人才的培养目标和学生的知识理论基础以及实验学时数相对偏少的特点,几经修改、筛选后整合成一套全新实验体系的化学实验教材。包括“基础化学实验”、“中级化学实验”和“综合化学实验”三部分。

本教材内容涉及无机化学、分析化学和有机化学实验等相关内容,包括化学实验基础知识、实验基本操作、无机和有机化合物的合成与检测、化学常数和物理量的测量分析和综合及设计性实验等。

本教材在选择实验内容时,完全跳出了无机和有机化学实验之间的界限,从化学实验基本操作到基本仪器的使用,从各种化合物的合成检测到综合设计实验,由浅入深,分阶段、分层次地组织实验,并适当增加一定比例的反映现代化学实验新进展、新技术(如微波合成技术、超声合成技术)在实验中的应用以及与日常生活密切相关的内容。体现了实用性、先进性和综合性的特点,便于实验教学内容的选择和学生教学实践。在相同的实验学时数情况下,学生可以得到更多的实际操作训练。

本教材是化学实验在非化学类工科专业进行实验教学改革的一种尝试。希望探索一条从化学一级学科角度出发,根据化学实验自身的内在规律和联系,组织实验教材进行学生实验教学的改革模式并做到真正意义上的融会贯通。

参加本书实验编写工作的有(以姓氏笔画为序):毛红雷、王永红、沈波、张胜建、应丽艳、陈珏、宗汉兴、武玉学、周赛春、周先波、钱文汉。全书由宗汉兴、毛红雷主编,宗汉兴统稿。

在编写过程中参考了不少国内外有关化学实验教材和化学文献资料,在此对相关作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正,不胜感激。

编 者

2006 年 6 月于浙大宁波理工学院

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 化学实验的目的和研究内容	1
1.2 化学实验的学习方法	1
1.3 化学实验注意事项	3
1.4 误差与有效数字	7
1.5 参考资料简介	11
第 2 章 化学实验基础知识及基本操作技术	17
2.1 化学实验室常用仪器介绍	17
2.2 有机化学实验常用装置	23
2.3 仪器的洗涤与干燥	28
2.4 基本度量仪器的使用方法	29
2.5 试剂及其取用	35
2.6 溶解与结晶	36
2.7 沉淀与过滤	38
2.8 干燥与干燥剂的使用	44
2.9 天平的使用	50
2.10 试纸的使用	53
2.11 蒸馏、水蒸气蒸馏、减压蒸馏	54
2.12 升 华	67
2.13 萃 取	68
2.14 色谱分离法	72
2.15 物质的熔点	78
2.16 物质的沸点	80
2.17 折光仪及折光率的测定	81
2.18 旋光度及旋光仪	84

第3章 化学基础训练实验	87
实验一 领洗化学实验仪器	87
实验二 简单玻璃管、棒加工	89
实验三 熔点的测定	90
实验四 沸点的测定	95
实验五 滴定操作与浓度标定	97
实验六 物质的纯化	100
实验七 醋酸电离常数的测定	104
实验八 化学平衡常数的测定	106
实验九 电镀铜	113
实验十 未知物的鉴定与鉴别	116
实验十一 植物中某些元素的分离与鉴定	118
实验十二 茶叶中咖啡因的提取	119
实验十三 绿色植物色素的提取及色谱分离	122
实验十四 氯化钠的提纯及碘盐的制备	125
实验十五 去离子水的制备与水质分析	129
实验十六 铵盐中铵态氮的测定	132
实验十七 EDTA 标准溶液的配制与标定	135
实验十八 水的总硬度的测定	136
实验十九 葡萄糖含量的测定	139
实验二十 铁的比色测定	140
第4章 化合物的合成与检测	143
实验二十一 甲酸铜的合成	143
实验二十二 硫酸亚铁铵的制备	144
实验二十三 铁氧体法处理含铬废水	145
实验二十四 环境友好产品——过氧化钙的合成及含量分析	148
实验二十五 微波合成磷酸锌	150
实验二十六 纳米氧化锌粉的制备	152
实验二十七 微波辐射合成肉桂酸	154
实验二十八 无水乙醇的制备	155
实验二十九 正溴丁烷的制备	157
实验三十 乙酸乙酯的制备	159

实验三十一	乙酰苯胺的制备·····	162
实验三十二	己二酸的制备·····	164
实验三十三	对氯甲苯的制备·····	167
实验三十四	苯乙酮的制备·····	169
实验三十五	甲基橙的制备·····	171
实验三十六	呋喃甲醇与呋喃甲酸的制备·····	173
实验三十七	超声波催化合成 3,5—二异丙基水杨酸 ·····	175
实验三十八	阿司匹林(aspirin)的合成及分析 ·····	177
第 5 章 综合及设计性实验·····		179
实验三十九	水泥熟料中 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 和 MgO 含量 的测定·····	179
实验四十	高锰酸钾的制备与测定·····	186
实验四十一	配合物的制备及其组成分析·····	191
实验四十二	硫酸铜的制备、提纯及产品质量鉴定 ·····	198
实验四十三	二茂铁及其衍生物的合成、分离与鉴定 ·····	199
实验四十四	多步骤合成 I :磺胺药物的合成 ·····	204
实验四十五	多步骤合成 II :局部麻醉剂利多卡因的合成 ·····	207
实验四十六	多步骤合成 III :对氨基苯乙酸的合成 ·····	209
实验四十七	红辣椒中红色素的提取及分离·····	212

第1章 绪 论

1.1 化学实验的目的和研究内容

化学是一门实验科学,实验是人类研究自然规律的一种基本方法。没有实验就没有化学,化学中一切定律、学说、原理都来源于化学实验,而且还要受化学实验的不断检验。化学实验是手段和工具,作为未来的化学家或化学工作者只有通过它才能到达成功的彼岸。化学实验也是化学知识的开端,可以了解化学的第一手知识,而化学实验室是训练操作技术、实验方法、结果处理等技能的唯一课堂。

实验教学是培养学生创新精神、创新意识、创新能力的重要途径之一。

通过实验,可以培养学生的科学能力。科学能力包括科学认识能力和科学研究能力。而科学研究能力又包括:独立准备和进行实验操作的能力;细致观察和记录现象的能力;归纳、综合和正确处理数据的能力;分析实验和用语言表达实验结果的能力等。

通过实验,也可以培养学生实事求是的科学态度,准确、细致、整洁等良好的实验素养以及科学的思维方法,从而逐步掌握科学研究的方法。

通过实验,还可以帮助学生加强对化学基本原理和基础知识的理解与掌握。

1.2 化学实验的学习方法

1.2.1 预习

为了使实验能够获得良好的效果,实验前必须进行预习。

- (1)阅读实验教材、理论书和参考资料中的有关内容;
- (2)明确本实验的目的;
- (3)了解实验的内容、步骤、操作过程和注意事项;
- (4)写好预习报告。

预习报告包括:目的、原理(反应式)、实验步骤和注意事项等。根据实验教材改写成简单明了的实验步骤(不是照抄实验内容),步骤中的文字可用符号简化,例如:试剂写成分子式,加热($\triangle$),加(+),沉淀($\downarrow$),气体逸出($\uparrow$)……在实验

初期,步骤可以写得详细些,以后逐步简化。这样,在实验前已形成了一个工作提纲,实验可按提纲进行,同时对本次实验时间有一个统筹的安排。

实验前由指导教师检查预习报告,若发现预习不够充分,应先停止实验,要求在掌握了实验内容之后再进行实验。

1.2.2 实验

学生在实验室里的学习,应该像化学研究人员或化学家在实验室里工作一样。他们做实验的目的主要是因为有一个化学问题需要解决,然后设计实验,进行观察和测试,由实验的结果得出结论,使问题得到解决。而学生是为了求知,为了获得第一手感性知识去探索化学的奥秘。因此,在思想上首先要重视实验,养成“我要做实验”的良好习惯。一般,应根据实验教材上所规定的方法、步骤和试剂用量进行操作,并做到:

(1)认真操作,细心观察,如实记录。

(2)保持肃静,遵守规则,注意安全,整洁节约。

设计实验和做规定以外的实验,应先经指导老师允许;实验完毕,洗净仪器,整理药品及实验台。

1.2.3 实验报告

实验结束后,应严格根据实验记录,对实验现象做出解释,写出有关反应方程式,或根据实验数据进行处理和计算,做出结论,并对实验中的问题进行讨论,独立完成实验报告,及时交指导教师审阅。

书写实验报告应字迹端正,简明扼要,整齐清洁。实验报告写得草率者,应重写。

实验报告应包括以下五部分内容:

(1)实验目的。

(2)实验步骤:尽量采用表格、框图、符号等形式,清晰明了地表示。

(3)实验现象和数据记录:实验现象要表达正确、全面,数据记录要完整。

(4)解释、结论或数据处理:根据现象做出简明解释,写出主要反应方程式,分题目做出小结或最后得出结论。若有数据计算,务必将所依据的公式和主要数据表达清楚。

(5)问题讨论:针对本实验中遇到的疑难问题,提出自己的见解或收获,分析实验误差的原因,也可以对实验方法、教学方法、实验内容等提出自己的意见或建议。

1.3 化学实验注意事项

1.3.1 实验守则

实验守则是人们长期从事实验室工作的经验归纳、总结出来的,它是防止意外事故发生、保证正常的实验环境和工作秩序、做好实验的前提。

(1)实验前必须认真写预习报告,进入实验室后应首先熟悉实验室的环境和布置,了解各种设施的位置并清点仪器。

(2)实验中应保持室内安静,集中思想,仔细观察,如实、及时地把实验现象和结果记录在报告本上。

(3)保持实验室和实验桌面的清洁,火柴、纸屑、废品等应丢入废物缸内,不得丢入水槽,以免造成水槽堵塞。

(4)使用仪器要小心谨慎,若有损坏应如实填写仪器损坏单;使用精密仪器时,必须严格按照操作规程,注意节约水电。

(5)使用试剂时应注意:

- ①按量取用,注意节约;
- ②取用固体试剂时,应注意勿使其落在实验容器外;
- ③公用试剂应放在指定位置,不得擅自拿走,用后即放回原处;
- ④试剂瓶的滴管、瓶塞是配套使用的,用后应立即放回原处,避免错混或玷污试剂;

⑤使用试剂时要遵守正确的操作方法。

(6)实验完毕,洗净仪器,放回原处,整理桌面,洗净双手,并经指导教师同意后方可离开。实验室内物品不得私自带出。

(7)若发生意外事故应保持镇静,不要惊慌失措。遇有烧伤、割伤时,应立即报告指导教师,及时急救和治疗。

(8)每次实验后由值日生负责整理药品,打扫卫生,并检查水、电和门窗,以保持实验室的整洁和安全。

1.3.2 实验室的安全及事故的预防与处理

在化学实验中,经常要使用易燃溶剂,如乙醚、乙醇、丙酮和苯等;易燃易爆的气体 and 药品,如氢气、乙炔和金属有机试剂等;有毒药品,如氰化钠、硝基苯、甲醇和某些有机磷化合物等;有腐蚀性的药品,如氯磺酸、浓硫酸、浓盐酸、烧碱及溴等。这些药品若使用不当,就有可能发生着火、爆炸、烧伤、中毒等事故。此外,

玻璃器皿、煤气、电器设备等使用或处理不当也会发生事故。但是,这些事故都是可以预防的。只要实验者树立安全第一的思想,认真预习和了解所做实验中用到的物品和仪器的性能、用途、可能出现的问题及预防措施,并严格执行操作规程,就能有效地维护人身和实验室的安全,确保实验的顺利进行。

下列事项应引起高度重视,并予以切实执行。

一、实验时的一般注意事项

(1)实验前须做好预习,了解实验所用药品的性能及危害和注意事项。

(2)实验开始前应检查仪器是否完整无损,装置是否正确稳妥。蒸馏、回流和加热用仪器,一定要和大气接通。

(3)实验进行时应该经常注意仪器有无漏气、破裂,反应进行是否正常等情况。

(4)易燃、易挥发物品,不得放在敞口容器中加热。

(5)有可能发生危险的实验,在操作时应加置防护屏或戴防护眼镜、面罩和手套等防护设备。

(6)实验中所用药品,不得随意散失、遗弃。对反应中产生有害气体的实验,应置于通风设备中进行,以免污染环境,影响身体健康。

(7)实验结束后要及时洗手,严禁在实验室内吸烟、喝水或吃食品。

(8)玻璃管(棒)或温度计插入塞中时,应先检查塞孔大小是否合适,然后将玻璃切口熔光,用布裹住并涂少许甘油等润滑剂后再缓缓旋转而入。握玻璃管(棒)的手应尽量靠近塞子,以防因玻璃管(棒)折断而割伤皮肤。

(9)要熟悉安全用具如灭火器、沙桶及急救箱的放置地点和使用方法,并妥加保管。安全用具及急救药品不准移作它用,或挪动存放位置。

二、火灾、爆炸、中毒及触电事故的预防

(1)实验中使用的有机溶剂大多是易燃的。因此,着火是有机实验中常见的事故。防火的基本原则是使火源与溶剂尽可能离得远些,避免用明火直接加热。盛有易燃有机溶剂的容器不得靠近火源。数量较多的易燃有机溶剂应放在危险药品橱内,而不存放在实验室内。

回流或蒸馏液体时应放沸石,以防溶液因过热暴沸而冲出。若在加热后发现未放沸石,则应停止加热,待稍冷后再放。否则在过热溶液中加入沸石会导致液体突然沸腾,冲出瓶外而引起火灾。不要用火焰直接加热烧瓶,而应根据液体沸点高低使用石棉网、油浴、水浴或电热帽(套)。冷凝水要保持畅通,若冷凝管忘记通水,大量蒸汽来不及冷凝而逸出,也易造成火灾。在反应中添加或转移易燃有机溶剂时,应暂时熄火或远离火源。切勿用敞口容器存放、加热或蒸除有机溶剂。

(2)易燃有机溶剂(特别是低沸点易燃溶剂)在室温时即具有较大的蒸气压。

空气中混杂易燃有机溶剂的蒸气达到某一极限时,遇有明火即发生燃烧爆炸。而且,有机溶剂蒸气都较空气的密度大,会沿着桌面或地面漂移至较远处,或沉积在低洼处。因此,切勿将易燃溶剂倒入废物缸中。量取易燃溶剂应远离火源,最好在通风橱中进行。蒸馏易燃溶剂(特别是低沸点易燃溶剂)的装置,要防止漏气,接受器支管应与橡皮管相连,使余气通往水槽或室外。

表 1.1 常用易燃溶剂蒸气爆炸极限

名 称	沸 点	闪点/℃	爆炸范围(体积/%)
甲醇	64.96	11	6.72~36.50
乙醇	78.50	12	3.28~18.95
乙醚	34.51	-45	1.85~36.50
丙酮	56.20	-17.5	2.55~12.80
苯	80.10	-11	1.41~7.10

(3)使用易燃、易爆气体,如氢气、乙炔等时要保持室内空气畅通,严禁明火,并应防止一切火星的发生,如由于敲击、鞋钉摩擦、静电摩擦、马达炭刷或电器开关等所产生的火花。

表 1.2 易燃气体爆炸极限

气 体	空气中的含量(体积/%)
氢气(H_2)	4~74
一氧化碳(CO)	12.50~74.20
氨(NH_3)	15~27
甲烷(CH_4)	4.5~13.1
乙炔($CH\equiv CH$)	2.5~80

(4)常压操作时,应使全套装置有一定的地方通向大气,切勿造成密闭体系。减压蒸馏时,要用圆底烧瓶或吸滤瓶做接受器,不可用锥形瓶,否则可能会发生炸裂。加压操作时(如高压釜、封管等),要有一定的防护措施,并应经常注意内压力有无超过安全负荷,选用封管的玻璃厚度是否适当、管壁是否均匀。

(5)有些有机化合物遇氧化剂时会发生猛烈爆炸或燃烧,操作时应特别小心。存放药品时,应将氯酸钾、过氧化物、浓硝酸等强氧化剂和有机药品分开存放。

(6)开启贮有挥发性液体的瓶塞和安瓿时,必须先充分冷却,然后开启(开启安瓿时需要用布包裹),开启时瓶口必须指向无人处,以免由于液体飞溅而遭致伤害。如遇瓶塞不易开启时,必须注意瓶内贮物的性质,切不可贸然用火加热或

乱敲瓶塞等。

(7)有些实验可能生成有危险性的化合物,操作时需特别小心。有些类型的化合物具有爆炸性,如叠氮化物、干燥的重氮盐、硝酸酯、多硝基化合物等,使用时须严格遵守操作规程,防止蒸干溶剂或震动。有些有机化合物如醚或共轭烯烃,久置后会生成易爆炸的过氧化物,须特殊处理后才能应用。

(8)当使用有毒药品时,应认真操作,妥为保管,不许乱放,做到用多少,领多少。实验中所用的剧毒物质应有专人负责收发,并向使用者提出必须遵守的操作规程。实验后的有毒残渣,必须作妥善而有效的处理,不准乱丢。

(9)有些有毒物质会渗入皮肤,因此在接触固体或液体有毒物质时,必须戴橡皮手套,操作后立即洗手。切勿让毒品沾及五官或伤口,例如氰化物沾及伤口后就会随血液循环全身,严重者会造成中毒死亡事故。

(10)在反应过程中可能生成有毒或有腐蚀性气体的实验,应在通风橱内进行。使用后的器皿应及时清洗。在使用通风橱时,当实验开始后,不要把头伸入橱内。

(11)使用电器时,应防止人体与电器导电部分直接接触,不能用湿的手或手握湿物接触电插头。为了防止触电,装置和设备的金属外壳等都应连接地线。实验完后先切断电源,再将连接电源的插头拔下。

三、事故的处理和急救

(一)火灾与爆炸事故的预防与处理

火灾与爆炸的发生是实验室事故中概率最大者,引发原因主要有:①缺乏基本知识。例如大多数可燃蒸气与空气的混合物都有可能具有一定的爆炸界限,若不了解这种性质,对介于此界限之内的混合气体,一旦遇热、遇明火即可能发生爆炸。②仪器装置安装不当。如蒸馏装置密闭、未与大气相通,明火加热使易挥发易燃物品等引发爆炸。③未掌握药品性能或操作不当。如使用未经硫酸亚铁处理过氧化物的乙醚,研磨、撞击不稳定化合物,碱金属遇水等。④实验不认真,操作马虎,无科学态度,如随意混合药品,乱倒实验废液、废料等。这些都有可能引发火灾或爆炸事故的发生。因此,此类灾害的预防,关键是在实验中要了解反应的性质和特点,科学规范地进行操作,才能消除事故于萌芽状态。

对于已发生的此类事故的急救处理,主要是迅速隔离(如关闭电源、火源、搬离周围物品),即时灭火。应根据发生火灾物质性质选用不同方式、不同器材进行灭火。

国际上根据可燃物质的性质把火灾分为四类,可以相应地采取不同的灭火方式,供大家参考。

A类,有机可燃固体。常用水、酸式泡沫灭火器灭火。

B类,可燃液体。常用泡沫灭火、 CO_2 、干粉以及1211灭火剂,抑制、阻断燃烧反应继续发生。

C类,可燃气体。常用干粉、1211灭火剂灭火,作用同B类。

D类,可燃性金属。常用干沙覆盖隔离或用7150灭火剂形成隔离保护膜灭火,切不可用水和能生成 CO_2 气类灭火剂。

若衣服着火,切勿奔跑,用厚的外衣包裹使其熄灭。较严重者应躺在地上(以免火焰烧向头部)用防火毯紧紧包住,直至火灭,或打开附近的自来水开关用水冲淋熄灭。烧伤严重者应急送医院治疗。

(二)割伤

取出伤口中的玻璃或固体物,用蒸馏水洗后涂上红药水,用绷带扎住或敷上创可贴药膏。大伤口则应先按紧主血管以防止大量出血,急送医院治疗。

(三)试剂灼伤

轻伤涂以玉树油或鞣酸油膏,重伤涂以烫伤油膏后送医院。

酸:立即用大量水洗,再以3%~5%碳酸氢钠溶液洗,最后用水洗。严重时要消毒,拭干后涂烫伤油膏。

碱:立即用大量水洗,再以1%~2%硼酸液洗,最后用水洗。严重时同上处理。

溴:立即用大量水洗,再用酒精擦至无溴液存在为止。然后涂上甘油或烫伤油膏。

钠:可见的小块用镊子移去,其余与碱灼伤处理相同。

(四)试剂或异物溅入眼内

任何情况下都要先洗涤,急救后送医院。

酸:用大量水洗,再用1%碳酸氢钠溶液洗。

碱:用大量水洗,再用1%硼酸溶液洗。

溴:用大量水洗,再用1%碳酸氢钠溶液洗。

玻璃:用镊子移去碎玻璃,或在盆中用水洗,切勿用手揉动。

1.4 误差与有效数字

1.4.1 测量中的误差

一、准确度和误差

(1)准确度:指测定值与真实值之间的偏离程度。

(2)误差:绝对误差指测定值与真实值之差;相对误差指绝对误差与真实值

之比(占百分之几)。即

绝对误差 = 测定值 - 真实值(单位与被测值相同)

相对误差 = 绝对误差 / 真实值(无单位)

例如:真实值为 0.1000g 的样品,称出的测定值为 0.1020g。

绝对误差 = $0.1020\text{g} - 0.1000\text{g} = 0.0020\text{g}$

相对误差 = $0.0020\text{g} / 0.1000\text{g} = 2.0\%$

绝对误差与被测量的样品的大小无关,而相对误差却与被测量的样品的大小有关。若被测的量越大,则相对误差越小。一般用相对误差来反映测定值与真实值之间的偏高程度(即准确度)比用绝对误差更为合理。

二、精密度和偏差

(1)精密度:指测量结果的再现性(重复性)。

(2)偏差:通常被测量的真实值很难准确知道,于是用多次重复测量结果的平均值代替真实值。这时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。

绝对偏差 = 单位测定值 - 平均值

相对偏差 = 绝对偏差 / 平均值

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。相对偏差小,则可视作再现性好,即精密度高。

三、产生误差的原因

产生误差的原因很多。一般可分为系统误差和偶然误差两大类。

(1)系统误差:在做多次重复测量时,由于某种固定因素的影响,使结果总是偏高或偏低。这些固定的因素通常为:实验方法不完善,所用的仪器准确度差,药品不纯等。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。有时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:在多次重复测定中,即使操作者技能再高,工作再细致,每次测定的数据也不可能完全一致。而是有时稍微高些,有时稍微低些。这种误差产生的原因常难以察觉,例如在滴定管读数时,最后一位数字要估计到 0.01mL,则难免会估计得有些不准确。这种误差是由于偶然因素引起的,误差的数值有时偏大、有时偏小,而且有时是正误差、有时是负误差。通常可采用“多次测定,取平均值”的方法来减小偶然误差。

(3)过失差错:除上述两类误差以外,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的数据有很大的误差。如果确知由于过失差错而引进了误差,则在计算平均值时应剔除该次测量的数据。通常只要我们加强责任感,对工作认真细致,过失差错是完全可以避免的。

1.4.2 化学计算中的有效数字

在化学实验中,经常要根据实验获得的数据进行计算,但是在测定实验数据时,应该采用几位数字?在化学计算时,计算的结果应该保留几位数字?这些都是需要首先解决的问题。为了解决这两个问题,需要了解有效数字的概念。

一、有效数字位数的确定

具有实际意义的有效数字位数,是根据测量仪器和观察的精确程度来决定的。现举例说明之。

例1 某物质在台秤上称量,得到的结果是5.5g。利用台秤称量物质的质量时,大约可以准确到0.1g,所以该物质的质量可以表示为 $5.5 \pm 0.1\text{g}$,它的有效数字是两位;如果在分析天平上称量该物质时,得到的结果是5.6115g,由于分析天平称量物质的质量时,可准确到0.0001g,该物质的质量可以表示为 $5.6115 \pm 0.0001\text{g}$,它的有效数字可到5位。

例2 如果在测量液体的体积时,在最小刻度为1mL的量筒中测得该液体的弯月面是在25.3mL的位置,如图1-1(a)所示,其中25是直接由量筒的刻度读出的,而0.3是由肉眼估计的,故该液体的液面在量筒中的准确读数可能是 $25.3 \pm 0.1\text{mL}$,它的有效数字是3位。如果该液体在最小刻度为1/10mL的滴定管中测量时,它的弯月面是在25.35mL,的位置,如图1-1(b)所示,其中25.3是直接从滴定管的刻度读出的,而0.05是肉眼估计的,故读液体的液面在滴定管中的准确读数可能是 $25.35 \pm 0.01\text{mL}$,它的有效数字是4位。

从上面的例子可以看到,实验数据的有效数字与仪器的精确程度有关。同时还可以看到,有效数字中的最后一位数字已经不是十分准确的。因此,任何超过或低于仪器精确程度的有效位数的数字都是不恰当的。例如:在台秤读出的5.6g,不能写作5.6000g;在分析天平上读出的数值恰巧是5.6000g,也不能写作5.6g。这是因为前者夸大了实验的精确度,后者缩小了实验的精确度。

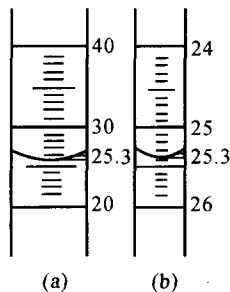


图1-1 体积的读数法

有效数字的位数可以从下面几个数字来说明:

有效数字	0.0045	0.0040	123	0.0123	3.005	3.500
位数	2位	2位	3位	3位	4位	4位

从上面这几个数字可以看到:“0”如果在数字的前面,只表示小数点的位置,所以不包括在有效数字的位数中;“0”如果在数字的中间或末端,则表示一定的数值,应该包括在有效数字的位数中。