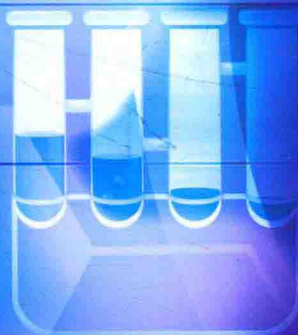


海 军 重 点 建 设 教 材
《化学原理与应用》配套实验教材

大学化学实验

魏 徵 李红霞 ◎主编



DAXUE
HUAXUE
SHIYAN

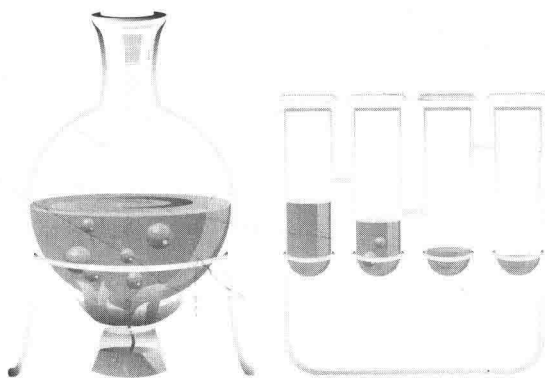


化学工业出版社

海 军 重 点 建 设 教 材
《化学原理与应用》配套实验教材

大学化学实验

魏 微 李红霞 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《大学化学实验》是海军重点建设教材《化学原理与应用》(余红伟主编,魏徵、晏欣副主编,化学工业出版社)的配套实验教材。本书共分为四章,第一章为大学化学实验的基础知识,介绍有关化学实验数据的记录、处理及误差分析,常用玻璃仪器的洗涤和干燥等化学实验的基础知识;第二章为基本实验,紧贴大学化学教学基本内容,突出化学实验的基本操作和基本技能;第三章为综合实验,围绕大学化学教学基本内容进行综合设计,培养学生综合运用所学知识分析和解决问题的能力;第四章为化学与舰船实验,反映了海军舰船装备中重要的化学问题,主要包括舰船用水和舰艇用油相关性质的测试,这是本书的特色。

《大学化学实验》适用于海军院校大学化学课程教学使用,也适于高等院校化学化工类专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学化学实验/魏徵,李红霞主编. —北京:化学工业出版社,2016.4
ISBN 978-7-122-26311-7

I. ①大… II. ①魏…②李… 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(2016)第031835号

责任编辑:杜进祥
责任校对:吴静

文字编辑:向东
装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装订:三河市宇新装订厂
710mm×1000mm 1/16 印张7¼ 字数134千字
2016年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:20.00元

版权所有 违者必究



根据大学化学教学改革的要求,结合大学化学教学内容,借鉴兄弟院校化学实验教学的实践,在我校大学化学实验讲义的基础上,突出我校教学的特色,我们编写了这本教材。本教材与余红伟主编的《化学原理与应用》教材配套使用。同时也具有相对的独立性。

在教材编写中,我们力求做到体系和内容的创新。全书共分为四章,即基础知识、基本实验、综合实验和化学与舰船实验。基本实验强调化学实验的基本操作和基本技能;综合实验在实验设计和知识内容上强调综合,同时也锻炼学员综合运用所学知识分析和解决问题的能力;化学与舰船实验反映了海军舰船装备中重要的化学问题,主要包括舰船用水和舰艇用油相关性质的测试,这是本教材的特色。

本教材由魏徵和李红霞主编,肖玲、王轩和余红伟为副主编。第一、二章由魏徵、李红霞、余红伟编写,第三章由魏徵、李红霞、肖玲编写,第四章由魏徵、王轩编写,附录由王轩编写,全书由魏徵统稿,本教材编写过程中,海军工程大学王源升教授提出了许多宝贵意见并审阅了书稿。同时,本教材得到了“海军院校和士兵训练机构教材重点建设项目”的支持和海军工程大学教育科研课题(NUE2015214)的资助,特别是得到了海军工程大学训练部装备处的支持,在此一并感谢。

本教材参考了许多已出版的教材和文献,在此向所有参考书和文献的作者们表示最诚挚的谢意。

由于编者水平的限制,书中不妥之处在所难免,敬请读者和专家批评指正。

编者

2015年10月于武汉



绪 论

1

一、大学化学实验的目的	1
二、大学化学实验的要求	1
三、大学化学实验的安全守则	2
四、意外事故的处理	3

第一章 大学化学实验的基础知识

4

第一节 实验数据的记录、处理及误差分析	4
一、实验数据的记录	4
二、有效数字	4
三、实验数据的处理方法	6
四、误差	8
第二节 常用玻璃仪器的洗涤和干燥	10
一、仪器的洗涤	10
二、仪器的干燥	11
第三节 试剂及其取用	12
第四节 滴定分析仪器	13
一、滴定管	13
二、容量瓶	16
三、移液管	18
四、锥形瓶	19
第五节 基本物理量的测定技术	20
一、温度的测定	20
二、压力的测定	24

第二章 基本实验

27

实验一 电子分析天平的使用	27
---------------------	----

实验二	酸碱滴定	30
实验三	化学反应焓变的测定	33
实验四	电导率法测定硫酸钡的溶度积常数	38
实验五	化学反应速率与活化能的测定	43
实验六	过氧化氢含量的测定	47
实验七	高分子化合物	50
实验八	电解和配合物	54
实验九	电解质溶液	56
实验十	金属摩尔质量的测定	60

第三章 综合实验

64

实验十一	质子转移平衡常数的测定	64
实验十二	原电池电动势的测定	67
实验十三	金属腐蚀与防护	71
实验十四	印刷电路板的制作	75
实验十五	常用塑料的鉴别	77

第四章 化学与舰船实验

80

实验十六	舰船锅炉水氯含量的测定	80
实验十七	舰船锅炉水磷酸盐值的测定	81
实验十八	舰艇用润滑油运动黏度的测定	84
实验十九	军用柴油馏程的测定	87
实验二十	喷气燃料热值的测定	92

附录

98

附录 1	元素的相对原子质量表	98
附录 2	化合物的相对分子质量表	99
附录 3	一些常见弱电解质在水溶液中的 $K_a^\ominus$ 或 $K_b^\ominus$ 值	102
附录 4	一些常见难溶物质的溶度积常数	103
附录 5	一些配离子的稳定常数	104
附录 6	一些电对的标准电极电势 (298.15K)	104
附录 7	不同温度时水的饱和蒸气压	106

参考文献

107

绪 论

化学是一门以实验为基础的学科。在大学化学教学中，实验教学是不可缺少的一个重要组成部分，是培养学员独立操作、观察记录、分析归纳、撰写报告等多方面能力的重要环节。因此，应当十分重视实验教学。

一、大学化学实验的目的

大学化学实验的主要目的可以归纳为以下几点：

① 使课堂中讲授的重要理论和概念得到验证、巩固和充实，并适当地扩大知识面。大学化学实验不仅能使理论知识形象化，还能说明这些理论和规律在应用时的条件、范围和方法，较全面地反映化学现象的复杂性和多样性。

② 培养学员正确地掌握一定的实验操作技能。有正确的操作，才能得出准确的数据和结果，而后者又是正确结论的主要依据。因此，化学实验中基本操作的训练具有极其重要的意义。

③ 培养学员独立思考和独立工作的能力。学员需要学会联系课堂讲授的知识仔细地观察和分析实验现象，认真地处理数据并概括现象，从中得出结论。

④ 培养学员的科学工作态度和习惯。科学工作态度是指实事求是的作风，忠实于所观察到的客观现象。如发现实验现象与理论不符时，应检查操作是否正确或所用的理论是否合适等。科学工作习惯是指操作正确、观察细致、安排合理等，这些都是做好实验的必要条件。

二、大学化学实验的要求

为达到大学化学实验的教学目标，学员需要认真做到以下几个要求：

1. 认真预习

充分预习实验教材是保证做好实验的一个准备环节，是做好实验的前提，为确保实验质量，学员必须完成以下内容：

① 通过认真学习实验教材的有关章节，参阅相关教科书和基本资料，了解该实验的目的，掌握实验原理和实验的内容，明确注意事项。

- ② 了解实验所涉及的基本操作方法。
- ③ 了解实验涉及的仪器设备的使用方法。

2. 实验

实验是培养学生独立工作能力和思考能力的重要环节,学员必须认真独立地完成实验规定的全部内容。

① 实验课上,教员会对实验内容进行讲解、操作示范或总结、讲评,学员必须认真听讲并领会,对一些重点和注意事项还应该做好笔记,对不理解的问题及时提问。

② 按照教材内容认真操作、细心观察,如实记录实验现象和原始数据。

③ 在实验中遇到疑难问题或者反常现象时,不要随意放弃,应该认真分析原因,在教员指导下重做或者补做实验内容。因为从疑惑问题或反常现象中会学到书本上没有的知识,也会增强解决问题的能力。

④ 实验中要自觉养成良好的科学习惯,始终保持整洁、有条不紊的工作作风,自觉遵守实验室规则,注意安全,节约水、电和药品,爱护仪器和设备。

3. 完成实验报告

实验报告是实验的总结,必须认真完成。写好实验报告是培养学生思维能力、书写能力和总结能力的有效方法。实验报告要求格式正确、报告完整、书写工整、作图和数据处理规范。实验报告的内容包括:实验目的、实验原理、实验操作步骤、实验记录(包括实验现象、原始记录)、实验结果(包括对实验现象进行分析和解释,写出相关反应的化学方程式、对原始数据进行处理)、问题和讨论(包括对实验中发现的问题提出自己的见解,对实验内容和方法的改进意见)等。

三、大学化学实验的安全守则

化学药品中有很多是易燃、易爆炸、有腐蚀性或有毒的,所以在实验室应充分了解安全注意事项。在实验时,应在思想上十分重视安全问题,集中注意力,遵守操作规程,以避免事故的发生。

① 加热试管时,不要将试管口指向自己或别人,不要俯视正在加热的液体,以免液体溅出而受到伤害。

② 嗅闻气体时,应用手轻拂气体,扇向自己后再嗅。

③ 使用酒精灯,应随用随点燃,不用时盖上灯罩。不要用已点燃的酒精灯去点燃别的酒精灯,以免酒精溢出而失火。

④ 浓酸、浓碱具有强腐蚀性,切勿溅在衣服、皮肤上,尤其勿溅到眼睛上。稀释浓硫酸时,应将浓硫酸慢慢倒入水中,而不能将水向浓硫酸中倒,以免迸溅。

⑤ 乙醚、乙醇、丙酮、苯等有机易燃物质，安放和使用时必须远离明火，取用完毕后应立即盖紧瓶塞和瓶盖。

⑥ 能产生有刺激性或有毒气体的实验，应在通风橱内（或通风处）进行。

⑦ 有毒药品（如重铬酸钾、钡盐、铅盐、砷的化合物、汞的化合物等，特别是氰化物）不得进入口内或接触伤口，也不能将有毒药品随便倒入下水道。

⑧ 实验室内严禁饮食和吸烟。实验完毕，应洗净双手后，才离开实验室。

四、意外事故的处理

① 若因酒精、苯或乙醚引起着火，应立即用湿布或砂土等扑灭。若遇电气设备着火，必须先切断电源，再用二氧化碳或四氯化碳灭火器灭火（实验室应备有灭火设备）。

② 遇有烫伤事故，可用高锰酸钾或苦味酸溶液揩洗灼伤处，再涂上凡士林或烫伤油膏。

③ 若在眼睛或皮肤上溅着强酸或强碱，应立即用大量水冲洗，然后相应地用碳酸氢钠溶液或硼酸溶液冲洗（若溅在皮肤上最后还可涂些凡士林）。

④ 若吸入氯、氯化氢气体，可立即吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气以解毒；若吸入硫化氢气体而感到不适或头晕时，应立即到室外呼吸新鲜空气。

⑤ 被玻璃割伤时，伤口内若有玻璃碎片，须先挑出，然后抹上红药水并包扎。

⑥ 遇有触电事故，首先应切断电源，然后在必要时，进行人工呼吸。

⑦ 对伤势较重者，应立即送医院医治，任何延误都可能使治疗变得复杂和困难。

第一章 大学化学实验的基础知识

第一节 实验数据的记录、处理及误差分析

化学实验要进行许多定量的测量，有些是直接测定的，有些是根据实验数据测算出来的。要得到正确的实验数据，就必须掌握误差和有效数字的问题。

一、实验数据的记录

实验数据记录包括实验名称、日期、实验条件（如室温、大气压力等）、仪器型号、试剂名称与级别、溶液的浓度以及直接测量的数据（包括数据的符号和单位）。

数据记录一定要做到准确完整、条理分明、实事求是，切忌带主观因素，绝对不能随意拼凑和伪造数据。如果在实验中发现数据错误而需要改动，则可以将该数据划去，将正确的数据写在旁边，切勿乱涂乱画。这样做的目的是为了保留原始数据，方便日后查找。

记录实验数据时，保留几位有效数字应和所用仪器的准确程度相适应。例如，用万分之一的分析天平称量时，数据应当记录至 0.0001g ，滴定管和移液管的读数应该记录至 0.01mL 。

实验记录上的每一个数据都是测量结果，所以重复测量时，即使数据完全相同，也应该记录下来。记录时，文字记录，应简明扼要；数据记录，应尽可能采用表格形式。实验过程中涉及的各种特殊仪器的型号和标准溶液浓度等，也应及时、准确地记录下来。

二、有效数字

在实验过程中，遇到的数字有以下两类：

一类是数目，如测定次数、倍数、系数等，这类数字为非测量所得，是足够精确的，不存在准确度的问题。如，化学反应中各物质的物质的量的变化关系是

按化学计量数进行的（如 H_2SO_4 与 NaOH 之间按 1 : 2 进行反应）， $1\text{g}=1000\text{mg}$ 等，这“2”“1000”是足够准确的。

另一类是测量值或计算值，数据的位数与测定准确度有关。记录的数字不仅表示数量的大小，而且要正确地反映测量的精确程度。

实验中经常需要对某些物理量（如质量、体积等）进行测量，从中获得一些数值。而数值表示得正确与否，直接关系到实验的最终结果是否合理。

1. 有效数字的意义和位数

从仪器上能直接读出（包括最后一位估计读数在内）的几位数字叫做有效数字（所谓有效数字，就是在一个数中，除最后一位是不确定的外，其余各数都是确定的。具体来说，有效数字就是实际上能测到的数字）。显然实验数值的有效数字与测量用的仪器的精密度有关。例如，某物体在台式天平上称量得 5.6g ，由于台式天平的精密密度为 0.1g ，因此物体的质量为 $5.6\text{g}\pm 0.1\text{g}$ ，它的有效数字是 2 位。如果该物体在分析天平上称量，得 5.6155g ，由于分析天平的精密密度为 0.0001g ，因此该物体的质量为 $5.6155\text{g}\pm 0.0001\text{g}$ ，它的有效数字是 5 位。又如，用滴定管量取液体，能估计到 0.01mL ，若其读数为 23.43mL ，它的有效数字是 4 位。

可见在有效数字中最后一位是估读数字。因此任何超过或低于仪器精密度的有效数字的数字都是不恰当的。例如，前述滴定管读数为 23.43mL ，不能当作 23.430mL ，也不应当作 23.4mL ，因为前者夸大了实验的准确度，而后者缩小了实验的准确度。

有效数字的位数可以用表 1-1 所列的几个数值来说明。

表 1-1 有效数字的位数

数值	23.00	23.0	23	0.2030	0.0203	0.0023
有效数字的位数	4 位	3 位	2 位	4 位	3 位	2 位

可以看出，数字 1~9 都是有效数字，而“0”是否为有效数字，应视具体情况而定。①如果“0”在数字的前面，它只表示数值中小数点的位置，而不是有效数字；②如果“0”在数字中间，则表示一定的数量，是有效数字；③如果“0”在数字后面，一般也是有效数字。但像数值 23000 中的 3 个“0”是否为有效数字，容易产生误解，应该按照测量所得的精密密度，采用科学表示法表示。若表示为 2.3×10^4 ，这时是 2 位有效数字；若表示为 2.300×10^4 ，则是 4 位有效数字。

对数中的有效数字： pH 、 $\text{p}c$ 、 $\lg K$ 等对数值，其有效数字的位数仅取决于小数部分数字的位数，因整数部分只说明该数的方次。例如溶液中氢离子浓度 $b(\text{H}^+)=6.8\times 10^{-3}\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，其 pH 值为

$$\text{pH} = -\lg[b(\text{H}^+)/b^\ominus] = -\lg(6.8 \times 10^{-3}) = 3 - 0.83 = 2.17$$

这是由于真数 6.8×10^{-3} 的有效数字位数为 2 位，其对数的尾数只能取 2 位有效数字 (0.83)，其首数 3 来自被认为是足够准确的负指数，所以 pH 值的有效数字实际的位数应是 2 位 (0.17)，而不是 3 位。

2. 有效数字的运算

在计算过程中，有效数字的取舍也很重要。计算结果必须遵循运算法则，并对有效数字按“四舍六入五留双”规则进行取舍。现就加减、乘除运算法则加以说明。

(1) 有效数字的加减法

计算结果的有效数字的位数应与各加减数值中绝对误差最大的或小数点后位数最少的相同。例如， $24.2 + 8.34 \times 10^3 + 1.362 \times 10^3 = 9726.2$ ，这 3 个相加的数值中， 8.34×10^3 的绝对误差最大（不可靠的数字“4”是十位数），它的有效数字是 3 位，所以这 3 个数值之和的有效数字只能是 3 位，上述计算结果中的个位和十分位（小数点后第一位）已是没有意义的，经舍弃后应表示为 9.73×10^3 。

又如： $0.0121 + 1.0568 + 25.64 = 26.71$ ，而不是 26.7089，显然，这三个数值之和只应保留到小数点后第二位，因为第三个数值 25.64 的“4”已经不准确，再保留小数点后第三位数字是没有意义的。在计算中，也可先采用四舍六入五留双的规则，弃去有效数字过多的数字，再进行计算。例如，上述三个数值之和可简单写为： $0.01 + 1.06 + 25.64 = 26.71$ 。

(2) 有效数字的乘除法

计算结果的有效数字的位数应与相对误差最大的或各数值中有效数字的位数最少的相同，而与小数点的位置无关。例如，0.0121、1.0568 和 25.64 这三个数值相乘时，其积应为 $0.0121 \times 1.06 \times 25.6 = 0.328$ 。各数值的有效数字都只要保留 3 位，因为第一个数值 (0.0121) 只有 3 位有效数字，是所有数值中有效数字位数最少的一个。

三、实验数据的处理方法

1. 列表法

列表法是将一组实验数据的自变量和因变量的各个数值按照一定的形式和顺序列出来，列表时要注意以下几点：

- ① 表头写出表的序号及表的名称；
- ② 表内各行或列写出数据的名称及量纲，数据的名称用符号表示，例如，压力 p/Pa ；
- ③ 表中的数值用最简单的形式表示，公共的乘方因子应放在栏头注明；

④ 每行数字要排列整齐，对齐小数点，并注意有效数字的位数。

2. 作图法

作图是将原始数据通过正确的作图方法画出合适的曲线（或直线），形象而且准确地表示出原始数据之间的关系，如极大、极小和转折点等；其次可以利用曲线（或直线），求外推值、内插值等。作图也存在着作图误差，所以作图技术的好坏也将影响实验结果的准确性。下面介绍作图的一般步骤及作图规则。作图法表示实验数据如图 1-1 所示。

(1) 坐标轴和比例的选择

作图必须在坐标纸上完成。一般以自变量为横坐标轴，因变量为纵坐标轴，横坐标轴与纵坐标轴的读数并不一定要从零开始，视具体情况而定。坐标轴上的比例尺的选择极为重要。由于曲线形状将随比例尺的改变而改变，若比例选择不当，可使曲线的某些相当于极大、极小或转折点的部分表达不清楚。比例尺的选择应遵循下列规则：

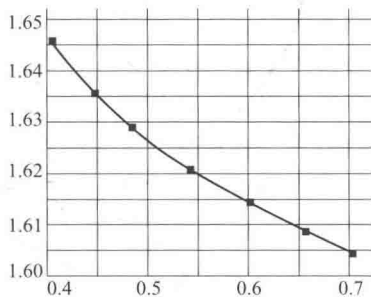


图 1-1 作图法表示实验数据

① 各坐标的比例和分度原则上应与原始数据的测量精密度一致。如温度纵坐标每小格（1mm）应为 0.1K，与实验用的温度计精密度一致；时间横坐标每 10 小格为 60s。不要过分夸大或缩小各坐标的作图精度。

② 坐标纸每小格所对应的数值应便于迅速、简便地读出和计算，一般多用 1、2 或 5 的倍数，因为这些数值易于描点和读出；而不采用 3、6、7 或 9 的倍数。

③ 在上述条件下，应尽量充分利用图纸的全部面积，使实验数据均匀分布于全图，而不要使各点过分集中或偏于一隅。若作出的图形是一直线时，则直线与横坐标的夹角应在 45° 左右为宜，角度过大或过小都会带来较大的作图误差。

(2) 坐标轴的绘画

选定比例尺后，画上坐标轴，在轴旁注明该坐标轴所代表变量的名称和单位。如测定反应焓变的实验中的纵坐标轴名称为温度 T ，单位为 K；横轴名称为时间 t ，单位为 s。在纵坐标轴的左面和横坐标轴的下面每隔一定距离标出该处变量对应的数值，以便作图及读数。

(3) 原始数据点的标出

原始数据点（又称为实验点）在坐标纸上应明显标出。在要求较高的作图中，可用 $\odot$ 、 $\triangle$ 、 $\diamond$ 等标记，标记的中心应与原始数据的坐标相重合，其面积之大小应代表测量的精密度。

(4) 曲线的绘制

用曲线板或曲线尺（有时也可用直尺）给出的曲线或直线，应尽可能接近（或贯穿）大多数的实验点（并非要求贯穿所有的点），并使处于曲线或直线两边的实验点的数目大致相等，这样描出的曲线或直线能较好地反映出实验测量的总体情况，且力求曲线光滑（一般情况不允许画成折线）。

四、误差

用实验方法去研究事物的客观规律，总是在一定的环境（温度、湿度等）和仪器条件下进行的，由于测量条件（环境、温度、湿度等）的变化以及仪器精度的不同，因而在任何测量中，测量结果与待测量客观存在的真值之间总存在着一定的差异。测量值与真值的差值叫作测量误差，简称误差。任何测量都不可避免地存在误差，所以，一个完整的测量结果应该包括测量值和误差两个部分。这就需要在记录和处理数据时对误差进行分析。

1. 准确度与精密度

在定量的分析测定中，对于实验结果的准确度都是有一定要求的。当然，绝对的准确是没有的。实验过程中，即使是实验技术很熟练的工作者，用最完美的分析方法和最精密的仪器，其结果也不会完全准确，客观上总是存在着难以避免的误差。所谓准确度就是指测量值与真值的偏离程度。衡量准确度高低的尺度是误差。误差越小，准确度越高；误差越大，准确度越低。在实验中，常在相同的条件下，对同一样品平行测定几次，如果几次测定值彼此比较接近，就说明实验结果的精密度高。精密度是指测定值与平均值的接近程度，衡量精密度高低的尺度是偏差。偏差越小，精密度越高；偏差越大，精密度越低。准确度和精密度是两个不同的概念。准确度高，要求精密度一定高；但精密度好，准确度不一定高。准确度反映了测量结果的正确性；精密度反映了测量结果的重现性。

例如，A、B、C 三人标定某 HCl 标准溶液的浓度，其准确浓度为 $0.1234\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，其测定结果如表 1-2 所示。

表 1-2 HCl 溶液浓度的测定结果 单位： $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$

项目	A 的数据 <i>b</i>	B 的数据 <i>b</i>	C 的数据 <i>b</i>
1	0.1210	0.1230	0.1231
2	0.1211	0.1261	0.1233
3	0.1212	0.1286	0.1232
平均值	0.1211	0.1259	0.1232
真实值	0.1234	0.1234	0.1234
差值	0.0023	0.0025	0.0002

A 的分析结果,精密度高,但准确度低;B 的分析结果,精密度和准确度都比较低,C 的分析结果,精密度与准确度都比较高。

一般的,精密度是准确度的必要条件,因此,在进行实验时,一定要严格控制实验条件,认真仔细地操作,以得到精密度较高的数据。

真实值一般是不可知的,通常以几种正确的测量方法和经过校正的仪器进行多次测量,然后算出算术平均值,以算术平均值和文献上的公认值作为真实值使用。

2. 误差的表示方法

误差可以用绝对误差和相对误差表示。

绝对误差表示测定值与真实值之差,即

$$\text{绝对误差 } E = \text{测得值 } X - \text{真实值 } \mu$$

相对误差表示绝对误差与真实值之比,即误差在真实值中占的百分数,为

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

在上例中,A、B、C 三人测定结果的误差在真实值中所占的百分数见表 1-3。

表 1-3 测定结果的误差在真实值中所占的百分数

项目	绝对误差	相对误差
A	$(0.1211 - 0.1234) \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = -0.0023 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$	$(-0.0023 / 0.1234) \times 100\% = -1.9\%$
B	$(0.1259 - 0.1234) \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = +0.0025 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$	$(+0.0025 / 0.1234) \times 100\% = +2.0\%$
C	$(0.1232 - 0.1234) \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = -0.0002 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$	$(-0.0002 / 0.1234) \times 100\% = -0.16\%$

3. 误差产生的原因及减少的方法

引起误差的原因很多。一般可将误差分为系统误差和偶然误差两类。

(1) 系统误差

在相同的条件下多次测量同一物理量时,测量误差的大小和符号保持恒定,或者在条件改变时,测量误差按照某一确定的规律而变,这种测量误差称为系统误差。系统误差的来源主要有如下 3 种。

① 仪器和试剂误差 这是由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器而造成的。如仪器的零点不准,仪器未调整好,外界环境(光线、温度、湿度、电磁场等)对测量仪器的影响等所产生的误差。

② 方法误差 这是由于测量所依据的理论公式本身的近似性,或实验条件不能达到理论公式所规定的要求,或者是实验方法本身不完善所带来的误差。例如热学实验中没有考虑散热所导致的热量损失,伏安法测电阻时没有考虑电表内阻对实验结果的影响等。

③ 个人误差 这是由于观测者个人感官和运动器官的反应或习惯不同而产生的误差，它因人而异，并与观测者当时的精神状态有关。

(2) 偶然误差

在相同的条件下多次测量同一物理量时，每次测量的结果都有些不同，它们围绕着某一个数值上下无规则的变动，其误差符号时正时负，其误差的绝对值时大时小，这种误差称之为偶然误差。造成偶然误差的原因主要有：

① 实验者对于仪器最小分度值以下的估读，很难做到严格相同。

② 测量仪器的某些活动部件所指示的测量结果，在重复测量时很难每次完全相同，这种现象在使用年久或质量较差的电学仪器时较为明显。

③ 暂时无法控制的某些实验条件的变化，也会引起测量结果不规则的变化，如许多物质的物理化学性质与温度有关，实验测定过程中，温度必须控制恒定，但温度恒定总是有一定限度，在这个限度内，温度仍然不规则变动，导致测量结果也发生不规则的变动。

可通过校正减少系统误差，通过多次平行测定减少偶然误差。

第二节 常用玻璃仪器的洗涤和干燥

一、仪器的洗涤

做化学实验时要经常使用玻璃仪器和瓷器。在进行实验时，为了得到准确的结果，各种器皿在实验前都要进行清洗。

为了提高洗涤效率，在洗涤器皿时应掌握“少量多次”的原则。即洗涤时，每次使用少量洗涤液，洗后倒尽，再多洗几次。

洗涤仪器的方法很多，应当根据实验的要求，污物的性质和沾污的程度来选择。一般说来，附着在仪器上的污物可能有可溶性物质、油污、尘土和其他不溶性物质，针对这些情况，可以分别用下列方法洗涤。

1. 用水刷洗

可以洗去可溶性物质，又可以使附着在仪器上的尘土和其他不溶性物质脱落下来。

2. 用去污粉或合成洗涤剂刷洗

由于去污粉中含有碳酸钠，它与合成洗涤剂一样，都能够除去仪器上的油污。去污粉中还含有白土和细砂，刷洗时起摩擦作用，使洗涤的效果更好。但是具有刻度的量器不能用去污粉洗涤。

