

清华大学教材

大学化学实验

第二版

徐功骅 蔡作乾 主编

DAXUE HUAXUE SHIYAN



清华大学出版社

大学化学实验

第二版

徐功骅 蔡作乾 主编

清华大学

6-3
21:2

社

大学化学实验

(第二版)

徐功骅 主编
蔡作乾

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

《大学化学实验》自 1986 年出版以来,受到清华大学校内外师生的欢迎,印数达数万册。为了适应教学改革的需要,反映化学的飞速进展,总结教学和科研的成果,在本书的第二版中增加了 10 个新的实验,对保留的 19 个实验也进行了部分修改,全书的结构和体例也有相当大的调整。

全书共分 5 部分,包括基本实验 17 个、工业应用实验 7 个、近代化学实验 5 个、仪器及其操作的说明和附录等内容。

读者对象:大专院校师生。

书 名:大学化学实验(第二版)

作 者:徐功骅 蔡作乾

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者:中国科学院印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:10.5 字数:249 千字

版 次:1997 年 2 月第 2 版 1997 年 2 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-02386-7/O·175

印 数:0001—5000

定 价:9.80 元

序

20 世纪 50 年代以来,化学有了飞速的发展。一方面由于它着重于研究物质的组成、结构和性质的关系,物质的反应规律及应用,理所当然地成为现代科学技术与工程技术的基础;另一方面也和它广泛地吸收其它学科的新思想和工程技术所提供的新技术有关。化学在现代工程技术人材培养中的重要性已经超过过去,这点已为发达国家的实践所证实,并得到我国科技与工程界有识之士的认同。

但是化学至今仍然是一门实验科学。不仅因为它的绝大部分概念和理论要通过实验来检验和逐步深化,同时也因为学科本身的特点和不够成熟。因此,人们常说的“化学是一门实验科学”就同时含有这两重意思。

大学化学实验作为基础化学教学的一个重要组成部分,早有共识。随着学科的发展与教学的改革,化学实验的内容、方法以及教学方法也一直在充实和改革之中。但是考虑到科学技术和工程技术的飞速进步,以及 21 世纪对人材的素质和培养方法的更高要求,化学教学、特别是化学教学实验的改革更加迫切。纯粹验证简单原理的实验、仅以培养某种经典化学基本操作为目的的实验、以及只为增加学生感性知识或提高兴趣而设计的实验,都应当不同程度地加以改革,这是未来 10 年内化学教师们不可推卸的责任。

清华大学无机普化教研组集近十几年实验改革的经验和体会,重新编写了《大学化学实验》(第二版),并得到清华大学出版社的支持与出版发行,这是一件值得庆贺的事情。本书的改编,体现了该组教师们对形势和任务的认识,在实验内容安排和组织上都有较大的改进。它的主要特点是:更加自觉地将师生们在科学研究及开发工作中的经验与体会,赋予大学化学教学的内涵,反馈到实验教学中来,它代表了教学改革的一个重要方向。

化学实验教学的改革,任重而道远,不可能毕其功于一役。希望在本书第三版问世时,能够有更大的改进。

宋心琦

1996 年 3 月 19 日于清华园

第二版编写说明

《大学化学实验》第一版自 1986 年至今已经 11 年,受到广大学生、教师及同行的欢迎,据调查清华大学学生对普化实验的评价,每年优、良率均在 85%—90%,达到普化实验的教学目标。目前普通化学课程改革又面临新的阶段,面对 21 世纪高质量人才的需求,国内外正在进行教学研究。为总结改革成果、广泛交流教改情况、我们编写了《大学化学实验》第二版。本教材反映了近几年来清华大学在普化实验教学中进行探索的情况。

第二版中保留了第一版中的 19 个实验,以继承前阶段教学的经验,保证化学基本理论、基本知识和实验技能训练的要求,以及科学作风,科学习惯的训练。新增添 10 个实验内容,其主要特征为:

1. 反映化学是科学技术的中心学科,反映近代化学的新进展、新技术以及化学与工业实际、日常生活密切相关的典型事例。

2. 采用现代电化教学手段及微型实验技术。计算机技术在新教材中的三个环节中得到了应用。第一,实验预习采用电视教学与计算机教学辅助软件(CAI)并用,像实验 18“钢中锰含量测定”配合出版了电视教学片和 CAI 软件,提高了实验预习的质量。第二,计算机与其它仪器设备联用作为自动测量的手段,如实验 21“微机与自动电位滴定联用”介绍了发达国家工业分析的自动化技术。第三,用来评定定量实验数据的准确性。设计了计算机评分软件,这样,增加了教学评分的科学性、杜绝了弄虚作假、伪造数据的坏作风,有助于培养实事求是的科学作风。

3. 新增几个较高级的实验,以满足对化学有较高兴趣和专业对化学要求较高的学生的需要。通过这些实验开发这些学生的创造能力和扩大知识面。在选材上,注意内容新颖性、趣味性,以提高学生求知的兴趣;在编排上,赋予更多的灵活性。通过任选部分给学生更多研究的机会;在实验条件上,更多采用近代实验新技术,尽量将教学与科研、生产接轨。

本教材由清华大学普通化学教研组集体编写,徐功骅、蔡作乾主编,董小梅、谢新佑参加编写、普通化学实验室给予了大力协助。宋心琦教授曾多次给予指导并为本书撰写了序,特此表示感谢。并对本教材第一版主编余文华老师所作的贡献表示感谢。

本教材反映工科大学化学实验改革的尝试,希望与同行讨论和交流。本教材肯定存在不少问题,许多内容值得推敲,请读者批评指正。

编者

1996 年 4 月于清华大学

• V •

第一版编写说明

《大学化学实验》一书是在原来清华大学普通化学实验讲义基础上,经本校 1978—1984 年 6 届学生使用后,改编而成。

本书由本校普通化学实验教材组集体编写,由余文华、徐功骅主编,由张翠宝主审。参加编写的还有史佃文、石鸿昌、来月英、周锦文、赵慧敏、胡霞芬、董小梅、廖松生、管元美、蔡作乾等同志。化学系普通化学实验室全体同志给予了大力的协助,特此表示感谢。

本书共有 32 个实验,内容可分为 6 个方面:

一、化学基本操作,如天平的使用、溶液配制、滴定操作、熔点测定以及常用测试仪器如 pH 计、分光光度计等的使用。

二、各类化学反应,如氧化还原反应、沉淀反应、络合反应、缩聚反应等。

三、元素化合物的具体知识,着重过渡元素及其化合物的化学性质。关于主族元素的性质主要在实际应用中加以巩固、提高。

四、某些化学常数及物理化学量的测定。本书包括阿佛加德罗常数、摩尔气体常数、电极电位、反应热、活化能、溶度积、电离常数、配位离子的不稳定常数的测定。使用时可按教学要求和学时数选择不同的内容。

五、专题实验,如钢中含锰量测定、烟气中 SO_2 的测定、铝的阳极氧化处理、印刷电路板的制作等供不同专业、不同水平的学生选用。

六、综合训练和实验讨论课。

编写本书时,着重注意了以下几点:

一、加强实验能力的培养

1. 注意循序渐进地培养独立实验能力。实验编写中力图避免学生不加思索就完成实验,要求既动手又动脑。并进一步要求根据实验所涉及的原理和化学知识自行设计某些实验方案,最后安排两次综合训练和实验讨论课进行总结检查。

2. 培养观察能力。本书编写中力求使学生通过自己观察得出结果。对于现象和结论,书中一般不给予描述。

3. 注意培养分析、比较、概括、综合的能力。本书编入了实验讨论课,讨论题目是综合性的并具有一定难度,使学生通过讨论对实验中所学的知识贯穿为一整体。

4. 培养自学能力。本书安排了过渡元素方面的实验,学生必须先自学有关过渡元素知识,并通过实验熟悉其性质,然后才能完成这一部分的实验。这样,通过自学、实践和总结使所学知识系统化。

二、实验内容的选择力图做到既加强化学基础理论、基本知识和实验技能的训练,又尽量联系工科院校的特点,以提高学生的兴趣。

由于我们水平有限和编写时间仓促,本教材一定有不少缺点和错误,希读者批评指正。

编 者

1985 年 2 月于清华大学

化学实验室安全守则

化学实验室中许多试剂易燃、易爆,具有腐蚀性和毒性,存在着不安全因素,所以进行化学实验时,必须重视安全问题,绝不可麻痹大意。初次进行化学实验的学生,应接受必要的安全教育。每次实验前应掌握本实验的安全注意事项。在实验过程中要严格遵守安全守则,避免事故的发生。

化学实验室安全守则如下:

1. 实验室内严禁吸烟、饮食、打闹。
2. 水、电、气使用完毕立即关闭。
3. 洗液、浓酸、浓碱具有强腐蚀性,应避免溅落在皮肤、衣服、书本上,更应防止溅入眼睛里。
4. 注意安全操作,具体要求如下:
 - (1) 能产生有刺激性或有毒气体的实验,都应在通风橱内进行。
 - (2) 具有易挥发和易燃物质的实验,都应在远离火源的地方进行,最好在通风橱内进行。
 - (3) 加热试管时,不要将试管口对着自己或别人,也不要俯视正在加热的液体,以免液体溅出受到伤害。
 - (4) 嗅闻气体时,应用手轻拂气体,把少量气体煽向自己再闻。
 - (5) 有毒试剂(如氰化物、汞盐、铅盐、钡盐、重铬酸钾等)不得进入口内或接触伤口,也不能随便倒入下水道,应回收统一处理。
 - (6) 稀释浓硫酸时,应将浓硫酸慢慢注入水中,并不断搅动。切勿将水倒入浓硫酸中,以免迸溅,造成灼伤。
 - (7) 禁止任意混合各种试剂药品,以免发生意外事故。
5. 实验室所有药品、仪器不得带出室外。
6. 实验完毕,应将实验桌整理干净,洗净双手,关闭水、电、煤气等阀门后才能离开实验室。

普通化学实验室

学生实验守则

1. 实验前必须认真预习,写出预习报告。进入实验室后首先熟悉实验室环境、布置、和各种设施的位置,清点仪器。

2. 实验过程中保持安静,集中思想,仔细观察,如实记录,积极思考,独立地完成各项实验任务。

3. 实验仪器是国家财物,务必爱护,小心使用。

(1) 使用玻璃仪器要小心谨慎,若有损坏必须报告教师。根据情况给予适当赔偿。

(2) 使用精密仪器时,必须严格按照操作规程,遵守注意事项。若发现异常情况或出现故障,应立即停止使用,报告教师,找出原因,排除故障。

4. 使用试剂时应注意下列几点:

(1) 试剂应按书中规定的规格、浓度和用量取用,以免浪费。如果书中未规定用量或自行设计的实验,应尽量少用试剂,注意节省。

(2) 取用固体试剂时,注意勿使其撒落在实验容器外。

(3) 每张桌上的试剂是公用的,使用试剂时一般不要将试剂瓶从架上取下。若取下了,用过后立即放回原处。

(4) 试剂瓶的滴管和瓶塞是配套使用的,用后立即放回原处,避免混错,沾污试剂。

(5) 使用试剂时要遵守正确的操作方法,避免沾污试剂。

5. 注意安全操作,遵守安全守则。

化学实验室有毒品以及易燃、易爆和易腐蚀等多种隐患,是事故易发生的地点,必须注意安全操作,遵从教师的指导。

6. 完成实验后将仪器洗刷干净,放回原来位置。整理桌面,保持地面和桌面的清洁。值日生要负责督促和检查每个同学的科学作风。同学们应该听从值日生的意见。

普通化学实验室

大学化学实验的学习方法

实验主要由学生独立完成,因此实验效果与正确的学习态度和学习方法密切相关。关于大学化学实验的学习方法,应抓住下述三个环节。

1. 预 习

预习是实验前必须完成的准备工作,是做好实验的前提。但是,这个环节往往没有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、要求和内容全不清楚,结果是浪费了时间和药品。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,任课教师有权不让他参加本次实验,学生应听从教师的安排。

实验预习一般应达到下列要求:

- (1) 阅读实验教材,明确本次实验的目的及全部内容(若有电视录象或CAI应在指定时间、指定地点去观看,不可缺席)。
- (2) 掌握本次实验主要内容,阅读实验中有关实验操作技术及注意事项。
- (3) 按教材规定设计实验方案。回答实验教材中“本实验前应准备的问题”。
- (4) 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、需要记录的实验现象、记录测量数据的表格以及定量实验的计算公式等。

2. 实 验

实验是培养独立工作和思维能力的重要环节,必须认真、独立地完成。

- (1) 按照教材内容,认真操作,细心观察,一丝不苟,如实将实验现象、数据记录填写在预习报告中,这是养成良好科学学习习惯必需的训练。
- (2) 对于设计性实验,审题要确切,方案要合理,现象要清晰。在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,直至达到满意的结果。
- (3) 在实验中遇到疑难问题或者“反常现象”,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,重做或补充进行某些实验。自觉养成研究问题的习惯。
- (4) 实验中自觉养成良好的科学习惯,遵守实验工作规则。实验过程中应始终保持桌面布局合理、环境整齐和清洁。

3. 实验报告

实验报告是每次实验的总结,它反映学生的实验水平,必须严肃认真如实填写。一份合格报告应包括以下5部分内容:

(1) 实验目的

简述实验目的。定量测定实验还应简介实验有关基本原理和主要反应方程式。

(2) 实验内容

尽量采用表格、框图、符号等形式,清晰、明瞭地表示实验内容。避免照抄书本。

(3) 实验现象和数据记录

实验现象要表达正确,数据记录要完整。绝不允许主观臆造,抄袭别人的作业,若经发现,本次实验按不及格处理。

(4) 解释、结论或数据计算

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。数据计算要表达清晰。

完成实验教材中规定的作业。

(5) 问题讨论

针对实验中遇到的疑难问题提出自己的见解或收获。定量实验应分析实验误差原因。对实验方法、教学方法和实验内容等提出意见。此项内容的评分作为实验附加分,对确有见解者作为因材施教生依据之一。

目 录

序	IV
第二版编写说明	V
第一版编写说明	VI
化学实验室安全守则	VII
学生实验守则	VIII
大学化学实验的学习方法	IX
第1部分 基本实验	1
实验1 电光天平称量练习	1
有效数字的概念	4
实验2 氧化还原滴定	6
实验3 硫酸亚铁铵的制备	10
实验4 去离子水的制备与检验	12
实验5 无机纸上色谱法	17
实验6 沉淀反应	21
试管烤干方法	23
实验7 配位化合物	24
实验8 氧化还原反应	27
实验9 过渡元素	30
实验10 第四周期过渡元素混合离子的鉴定	34
第2部分 化学物理量的测定	37
实验11 溶液的pH值	37
实验12 电极电位的测量	41
实验13 化学反应热效应的测定	45
实验14 温度对反应速度的影响与活化能的测定	48
作图技术简介	50
实验15 熔点测定	52
实验16 阿佛加德罗常数的测定	55
实验17 综合练习(I)	59
第3部分 工业应用化学	63
实验18 钢中锰含量的测定	63
实验19 金属铝的表面处理——阳极氧化法	67
实验20 印刷电路版的制作	70
实验21 微机与自动电位滴定联用	73

实验 22 碘盐的制备与检验	78
实验 23 日常生活中的化学	82
实验 24 综合练习(Ⅰ)	89
第 4 部分 近代化学	93
实验 25 $\text{Co}[(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ 和 $\text{Co}[(\text{NH}_3)_5(\text{H}_2\text{O})]\text{Cl}_3$ 的制备及其配离子 分裂能 Δ_o 的测定	93
实验 26 B-Z 振荡反应	96
实验 27 化学发光	100
实验 28 温致变色	103
实验 29 液晶相变测试	105
第 5 部分 仪器及其操作	109
1. 称量仪器	109
(1) GT2A 型精密天平	109
(2) DT-100A 型单盘天平	113
(3) 电子分析天平	116
(4) 称量瓶	117
2. 滴定分析仪器	117
(1) 滴定管	117
(2) 容量瓶	119
(3) 移液管	120
(4) 锥形瓶	121
3. pH 计(酸度计)	122
(1) pH-25 型酸度计	122
(2) pHXB-302K 型酸度计	124
(3) 甘汞电极	125
(4) 玻璃电极	125
4. 分光光度计	126
(1) 72 型分光光度计	127
(2) 721 型分光光度计	130
5. 电导仪	132
6. 气压计	134
7. 密度计	136
8. 电动离心机	137
9. 干燥箱	137
10. 恒温箱	139
11. 抽滤泵和减压过滤	140
12. 显微熔点测定仪	140
13. 稳压电源	141

(1) QZ-Ⅱ型直流稳压稳流电源	141
(2) WYJ型晶体管稳压电源	142
第6部分 附录	144
1. 常见阴、阳离子鉴定方法	144
2. 硫酸溶液浓度和密度	145
3. 饱和水蒸气压	147
4. 弱酸弱碱的离解常数	148
5. 配位离子不稳定常数的负对数值($pK_{\text{不稳}}^{\ominus} = -\lg K_{\text{不稳}}^{\ominus}$)	150
6. 溶度积常数($K_{sp}^{\ominus}$)	151
7. 标准电极电位($\varphi^{\ominus}$)	153

第 1 部分 基本实验

实验 1 电光天平称量练习

物质质量的准确测定是化学实验中基本操作之一,各种不同实验对物质质量称量的准确度要求也不同,因此进行实验时,要选用不同精确度的称量仪器。例如,我们常用的台秤只能准确称出 0.1g,而许多化学分析实验对物质质量称量要求准确到 0.1mg,这就需要选用精确度高的、能够准确称量出 0.1mg 的精密天平(电光天平)。通过本实验称量练习,要求了解精密天平的基本结构,学会精密天平的正确使用方法以及注意事项,并完成准确称量物体的质量。

实验提要

在精密天平上称量物体准确质量的方法,一般分为直接称量法和减量法。

1. 直接称量法

这是最常用、最普遍、最简单的称量物体质量的方法。通常把要称量的物体直接放在天平左盘上,右盘试加砝码后,一下子测出物体的质量。有时为了方便,选用适当的称量纸、表玻璃和小烧杯等盛放试样,直接在天平左盘中称量,然后扣除盛放容器(或纸张)的质量,即得所称试样的质量。不过,这时从称量纸、表玻璃或小烧杯中转移试样到实验容器中时,务必将全部试样转移完全,否则容易引起较大的误差。一般直接称量法适用于那些在空气中性质比较稳定,不易吸潮,不易氧化,也不易吸收 CO_2 的物质,如金属、矿石等。

2. 减量法

它是把要称量的物体(通常为固体粉末),先装入一称量瓶中,在天平上称出全部试样和称量瓶的总质量 m_1 ,然后从称量瓶中仔细倒出所需一定量的试样(初学者操作不熟练,可以分几次倒出,以达到所需量的要求),再在同一台天平上称出剩余试样和称量瓶的总质量 m_2 ,前后两次称出的总质量之差($m_1 - m_2$),即为倒出试样的准确质量。如果同一种试样,同时需要平行称出几份,就可以连续接下去倒出几份试样,并分别测出每倒完一次后,剩余试样和称量瓶的总质量,相邻两次总质量之差,就是那次倒出试样的质量,所以这种方法特别适用于需要同时称量几份同一种试样的情况。

精密天平的结构、操作和使用规则参见第 5 部分(1) GT2A 型精密天平。

实 验 内 容

1. 称量练习

在电光天平上称出大铝片及小铝片的质量。计算出称量的结果,并运用计算机评分系统核对数据,记录计算机给出的成绩。

2. 用直接法称量 62~78mg 的钢样

称完后,计算钢样质量,用纸包好,写上姓名、班号、质量、交给实验室保存,以便在“钢中锰含量测定”实验中使用。

3. 用减量法称 0.2~0.3g 的固体粉末试样 1 份

实验前应准备的问题

1. 在放置待称物体或加减砝码和环码时,应特别注意哪些事项?
2. 在加减砝码和环码过程中,标尺往负方向偏移时天平指针偏向_____方向,此时放置在左盘中的物体比右盘的砝码和环码的质量要_____,需要_____砝码或环码才能使天平平衡。若标尺往正方向偏移,需_____砝码或环码。
3. 称某物体时,测得天平零点 $\bar{e}_0 = -0.2$,停点 $\bar{e}_1 = -1.2$,砝码重 1g,环码重 100mg。该物体质量应为多少克? 下列数值中哪些是错误的。

1.1014g 1.1010g 1.101g 1.099g 1.0990g 1.0986g

4. 检查本次实验前下列各项预习内容是否已完成。若已进行可在括号中打“√”;若尚未进行,务必在实验前完成。

- | | |
|-------------------|-----|
| (1) 观看“电光天平”教学电视片 | () |
| (2) 阅读“电光天平使用方法” | () |
| “电光天平使用规则” | () |
| “有效数字的概念” | () |
| (3) 完成本次实验的预习报告 | () |

计算机评分系统

1. 先将天平室房间号(3 位数)、天平号码(2 位数)、班级代号(4 位数)、学号(6 位数)输入计算机。
2. 将称出的大铝片和小铝片的质量,以克为单位输入计算机。注意数据的正确表示方法,特别是有效数字的表示。

3. 计算机根据输入数据与标准值之间的误差、给出成绩: Excellent, Good, Pass, Fail。若数据表示方法错误或者误差过大,计算机将要求重做;若你对成绩不满意也可以重做实验,修改实验数据,重新输入计算机评分,前一次的成绩不再保留。每次实验必须认真总结经验教训,防止盲目地重复实验。

实验预习报告要求

在实验预习报告中简明扼要地表述如下内容:

1. 本实验的主要目的
2. 实验中需要记录的数据表格(或者实验现象)
3. 回答教材中“实验前应准备的问题”
4. 你认为本实验应特别注意的环节

仪器、试剂和材料

仪器: 电光天平、台秤、称量瓶。

其它: 铝片(大小各一)、钢样、粉末状固体。

有效数字的概念

在科学实验中,为了得到准确的结果,不仅要准确地选用实验仪器测定各种量的数值,还要正确地记录和运算。实验所获得的数值,不仅表示某个量的大小,还应反映测量这个量的准确程度。因此实验中各种量应采用几位数字,运算结果应保留几位数字,是很严格的,不能随意增减和书写。例如:在测量液体的体积时,在最小刻度为 1mL 的量筒中测得 20.7mL,其中 20 是由量筒的刻度读出来的,而 0.7 是估计的。它的有效数字是 3 位。如果该液体用最小刻度为 0.1mL 的滴定管来测量,测得 20.75mL,其中 20.7 是直接从滴定管的刻度读出的,而 0.05 是估计的。它的有效数字是 4 位。所以有效数字是指在科学实验中实际能测量到的数字。在这个数中,除最后一位数是“可疑数字”,其余各位数都是准确的。

有效数字的位数是根据测量仪器和观察的精确程度来决定的,任何超过仪器精确程度的数字都是不正确的。例如:某物在台秤上称量为 4.8g,表示准确到 0.1g,所以该物质量的范围为 $(4.8 \pm 0.1)\text{g}$,有效数字是 2 位,不能表示为 4.80g 或 4.8000g,因为台秤只能准确称量到 0.1g,小数点后一位数已经是可疑数,小数点后第二位、第三位数就没有意义了。有效数字的位数还反映了测量的误差,若某铝片在分析天平上称量得 0.6100g,表示铝片的实际质量在 $(0.6100 \pm 0.0001)\text{g}$ 范围内。测量的相对误差为 0.02%。若少表示一位数(0.610g)则表示铝片的测量质量在 $(0.610 \pm 0.001)\text{g}$ 范围内,其测量相对误差为 0.2%。准确度比前者低一个数量级。这样由于表示不恰当而降低了测量准确度也是不正确的。

有效数字的位数可以通过下面几个数字来说明:

0.0045 0.0030 42.3 0.0423 5.008 0.5000 5000

有效数字位数: 2 位 2 位 3 位 3 位 4 位 4 位 有效数字位数不确定

从上面这几个数可以看到,“0”如果在数字的前面,只起定位作用,不是有效数字。因为“0”与所取的单位有关,例如体积 0.0045L 和 4.5mL,准确度完全相同。“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。另外,像 5000 这样的数字,有效数字不好确定,应该根据实际的有效数字位数写成 5×10^3 , 5.0×10^3 , 5.00×10^3 等。

在 pH, lgK 等对数值中,其有效数字的位数仅取决于小数部分数字的位数,整数部分决定数字的方次,只起定位作用。

化学运算中保留有效数字的规则:

(1) 加减法:

在加减法中,所得结果的小数点位数,应该与各加减数中,小数点后的位数最少者相同。例如将 0.126, 1.05030 及 25.23 三个数相加:

$$\frac{0.0001}{0.6100} \times 100\% = 0.02\%$$