

全国高等中医药教育配套教材

供中药学等专业用

主编

吴巧凤
刘幸平

无机化学实验

第2版

中
藥



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

全国高等中医药教育配套教材

供中药学等专业用

无机化学实验

第2版

主 编 吴巧凤 刘幸平

副主编 王 萍 于智莘 卞金辉 邹淑君 张浩波 吴培云

编 委 (按姓氏笔画为序)

于智莘 (长春中医药大学)	张凤玲 (浙江中医药大学)
王 萍 (湖北中医药大学)	张浩波 (甘肃中医药大学)
卞金辉 (成都中医药大学)	张爱平 (山西医科大学)
支兴蕾 (南京中医药大学)	林 舒 (福建中医药大学)
史 锐 (辽宁中医药大学)	杨 婕 (江西中医药大学)
朱 鑫 (河南中医药大学)	庞维荣 (山西中医学院)
齐学洁 (天津中医药大学)	赵 平 (广东药科大学)
刘幸平 (南京中医药大学)	贾丽云 (黑龙江中医药大学佳木斯学院)
李 伟 (山东中医药大学)	徐 飞 (南京中医药大学)
吴巧凤 (浙江中医药大学)	黄 莺 (湖南中医药大学)
吴培云 (安徽中医药大学)	崔 波 (上海中医药大学)
邹淑君 (黑龙江中医药大学)	黎勇坤 (云南中医学院)
张 拴 (陕西中医药大学)	戴 航 (广西中医药大学)

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

无机化学实验/吴巧凤,刘幸平主编. —2版. —北京:
人民卫生出版社,2016

ISBN 978-7-117-23208-1

I. ①无… II. ①吴… ②刘… III. ①无机化学-
化学实验-中医学院-教材 IV. ①061-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第207098号

人卫智网	www.ipmph.com	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	www.pmph.com	人卫官方资讯发布平台

版权所有,侵权必究!

无机化学实验

第2版

主 编: 吴巧凤 刘幸平

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里19号

邮 编: 100021

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 三河市尚艺印装有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 8

字 数: 190千字

版 次: 2012年9月第1版 2016年9月第2版

2016年9月第2版第1次印刷(总第5次印刷)

标准书号: ISBN 978-7-117-23208-1/R·23209

定 价: 18.00元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

前 言

《无机化学实验》作为全国高等中医药教育国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材《无机化学》的配套教材,目的仍是通过实验巩固、验证和加深对无机化学基本理论和基本知识的理解,训练科学实验的方法和技能,使学生学会实验现象的观察、分析、判断、推理和归纳总结,提高学生的动手能力,培养学生严谨的科学态度和分析解决问题的能力,为后续课程的学习打下基础。

《无机化学实验》自第一版2012年出版以来,经过20多所中医药院校4年的教学使用,得到同行的认可及学生的好评,同时也提出了一些宝贵的修改建议。本教材在上版基础上,修正了书中错误及不妥之处,并增加了部分实验。

本配套教材分工如下:第一部分第一、二章及第二部分第四章由张浩波、崔波编写;第一部分第三章由徐飞、吴巧凤编写。第二部分第五章由戴航、卞金辉编写,第二部分第六章及附录由吴巧凤、张凤玲编写。第三部分实验一由卞金辉、于智莘编写;实验二由刘幸平、吴培云编写;实验三和实验九由庞维荣、邹淑君编写;实验四由贾丽云、王萍编写;实验五由刘幸平、戴航编写;实验六由李伟、吴培云编写;实验七由吴巧凤、林舒编写;实验八由黄莺、于智莘编写;实验十由徐飞、崔波编写;实验十一由朱鑫、齐学洁编写;实验十二由支兴蕾、杨婕编写;实验十三由于智莘、黎勇坤编写;实验十四由邹淑君、于智莘编写;实验十五由吴巧凤、赵平编写;实验十六由王萍、吴巧凤编写;实验十七由王萍、史锐编写;实验十八由朱鑫、王萍编写;实验十九由齐学洁、史锐编写;实验二十由张拴、张凤玲编写。

本教材在编写过程中,得到了各参编院校领导和专家的大力支持和帮助,在此深表感谢!感谢各位同仁及读者提出的宝贵意见。

鉴于编者水平所限,难免存在不妥之处,恳请各位同仁及读者在使用过程中及时提出宝贵意见,以便及时更正和进一步修订完善,十分感激。

编 者

2016年3月

目 录

第一部分 无机化学实验基本知识

第一章 实验室基本知识.....	1
第一节 实验规则	1
第二节 实验室安全规则	1
第三节 化学试剂使用规则	2
第二章 化学实验中的数据表达与处理.....	3
第一节 有效数字	3
一、有效数字	3
二、有效数字的修约规则	3
三、有效数字的运算规则	4
第二节 实验数据的记录	4
第三节 实验数据的处理	5
一、列表法	5
二、作图法	6
三、直线回归法	6
第三章 实验报告的书写.....	9
第一节 实验报告的要求	9
第二节 实验报告的基本格式	10
一、定性实验报告格式	10
二、定量实验报告格式	10
三、制备实验报告格式	11

第二部分 无机化学实验基本操作规范和技能

第四章 常用试剂的分类、管理和使用	13
第一节 常用试剂的分类和管理	13



一、化学试剂的分类与规格标准	13
二、常用试剂的管理	14
第二节 常用试剂与试纸的使用	14
一、固体试剂	14
二、液体试剂的取用	16
三、试纸的使用	17
第五章 常用仪器的使用	18
第一节 玻璃仪器	18
一、常用玻璃仪器介绍	18
二、常用玻璃仪器的洗涤与干燥	20
三、常用玻璃仪器的使用	21
第二节 其他仪器	25
一、仪器介绍	25
二、酒精灯和温度计的使用	28
三、台秤的使用	29
四、煤气灯的使用	30
五、酸度计的使用	31
六、离心机的使用	33
第六章 其他基本操作	35
第一节 蒸发	35
第二节 结晶	35
一、重结晶	35
二、溶液结晶	35
三、显微结晶反应	36
第三节 过滤	36
一、常压过滤	36
二、热过滤	37
三、减压过滤	37

第三部分 实验选编

实验一 基本操作训练	41
实验二 电解质溶液	43
实验三 碳酸钠溶液的配制和浓度标定的训练	48
实验四 药用氯化钠的制备	51



实验五 药用氯化钠的性质及杂质限量的检查	53
实验六 氢氧化钠溶液的配制和浓度标定的训练	57
实验七 醋酸的解离度和解离常数的测定	59
实验八 氧化还原反应与电极电势	62
实验九 配合物的生成、性质与应用	66
实验十 银氨配离子配位数的测定	70
实验十一 卤素、硫、磷、砷、硼	73
实验十二 铬、锰、铁、铜、银、汞	78
实验十三 氯化铅溶度积常数的测定	83
实验十四 矿物药的鉴别	86
实验十五 硫酸亚铁铵的制备及产品级别的确定	90
实验十六 电极电势的测定	93
实验十七 磺基水杨酸合铁(Ⅲ)配合物的组成及稳定常数的测定	96
实验十八 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的制备和提纯	100
实验十九 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的制备和性质	103
实验二十 食醋中总酸含量的测定	106
附录	110
附录一 实验室常用酸碱指示剂	110
附录二 实验室常用缓冲溶液	110
附录三 实验室常用酸碱的浓度	111
附录四 实验室常用试剂的配制	111
附录五 常见的离子和化合物的颜色	113
主要参考书目	115

第一部分 无机化学实验基本知识

第一章 实验室基本知识

第一节 实验规则

1. 实验前要认真预习实验内容,明确实验的目的和要求,对实验的方法、步骤做到心中有数,并写出实验预习报告。

2. 进入实验室须穿实验服,遵守实验室纪律和制度,听从教师和实验室工作人员的指导与安排。

3. 实验过程中保持良好秩序,保持肃静,严格按操作规范进行实验,注意安全,防止发生意外事故,能独立操作并能与小组同学相互配合。实验进行时,不得随便离开岗位。

4. 细心观察、分析、思考实验现象,如实记录实验现象和数据。

5. 爱护公共财物,小心使用仪器,注意节约试剂和水电。公用仪器和试剂使用后应归还原处。仪器设备若有损坏,应主动向老师报告。

6. 实验完毕后,应洗净仪器,整理好药品和实验台面,打扫卫生,关好水、电、门窗。实验室的一切物品不得带离实验室。

7. 实验记录经指导教师签字认可后,学生方可离开实验室;认真完成实验报告并按时上交。

第二节 实验室安全规则

1. 进入实验室,须了解周围环境,明确总电源、急救器材的位置及使用方法。

2. 实验室内禁止饮食、抽烟,严禁口尝任何药品。实验完成后要及时关闭电源、水、气源;使用易燃、易爆试剂要远离火源,并戴好防护眼镜和防护手套。

3. 保持实验室内的良好通风,有毒或有恶臭气体的实验需在通风橱内进行。

4. 绝对不允许任意混合各种化学药品。倾注药品或加热液体时,不要俯视容器,也不要将正在加热的容器口对准自己或他人。

5. 自拟实验或改变实验方案时,必须经教师批准方可进行,以免发生意外事故。

6. 实验过程中要小心,防止烫伤、割伤、中毒等意外发生;若不小心发生意外,切勿惊慌失措,应沉着冷静及时采取措施,避免事故扩大。

7. 试剂使用时切勿溅在衣服或皮肤上、尤其是眼睛上。若试剂溅入眼睛,应张开眼睛立刻用大量水冲洗;若发生烫伤,可用高锰酸钾或苦味酸溶液清洗伤处,再涂上烫伤药

膏,必要时送医院;若发生割伤,应立刻用药棉擦净伤口后按压止血,若出血量大,则抬高患处,送医院治疗;若发生起火,小火可用湿布或沙土扑灭,火势较大时使用灭火器扑灭,火势凶猛时立即报警,火警响起应立刻切断电源并离开实验室;若不小心吸入毒气,中毒轻者到室外呼吸新鲜空气,严重者立刻送医院;若不小心吞食毒物,应根据毒物性质服用解毒剂,并及时送往医院。若是非腐蚀性中毒可服1% CuSO_4 溶液催吐,并用手指伸进咽喉部,促使呕吐。

第三节 化学试剂使用规则

1. 不准用手直接取用试剂。固体试剂要用洁净的药匙或镊子取用,液体试剂用滴管或直接从瓶中倾倒入,取完试剂后要随即塞好瓶塞,不同试剂瓶上的滴管不得混用。
2. 不得品尝试剂和药品。
3. 按实验规定的用量取用试剂,未用完的试剂不可倒进原试剂瓶,应倾倒在指定的容器中。
4. 浓酸、浓碱等强腐蚀性试剂使用时要小心,切勿溅到衣服、皮肤上,尤其是眼睛上,若不小心溅上,应立即用抹布擦去,用大量水冲洗,强酸涂抹碳酸氢钠或凡士林,强碱用柠檬酸或硼酸饱和溶液洗涤,必要时到医院治疗,若进入眼睛,应立刻用大量水冲洗,并到医院治疗。
5. 使用有毒试剂(如汞盐、铬盐、四氯化碳、氰化物等)要特别谨慎小心,严格遵守操作规程和听从教师的指导。
6. 实验后需回收的试剂和药品请放入指定的回收瓶中集中处理,实验中的废液,除无毒、中性、无味的水溶性物质可直接倒入下水道,其他废液均需倒入指定的废液回收桶。

(张浩波 崔 波)

第二章 化学实验中的数据表达与处理

第一节 有效数字

一、有效数字

有效数字是指实际能测量到的有实际意义的数字。要得到准确的测量结果,除了准确地测定,还要正确地记录和计算。记录数据和计算结果时应当保留几位有效数字,需要根据测定方法的准确度和使用仪器的精确度来决定。有效数字只允许保留一位可疑数,即最后一位是不准确的(可疑的)。

有效数字不仅反映数值的大小,还反映了测量的精确度。有效数字若记为0.2000g,表示是用分析天平称量的,其可疑数字是最后一位0,而0.2g则表示是用台秤称量的;有效数字若记为10ml,则表明是用量筒量取的,若记为10.00ml则表明需要使用精密仪器移液管移取。可见,有效数字不能随意增加或减少,否则无法正确反映测量和结果的准确程度。

判断有效数字位数时需要注意:

1. 数字0可能是有效数字,也可能不是有效数字,只起定位作用,如滴定操作时消耗液体体积30.40ml,有效数字为4位,中间和后面的0均为有效数字,但若记作0.03040L,则有效数字仍为4位,前面的0只起定位作用,不作为有效数字,如果记为30400 μ l的话,有效数字的位数比较模糊,此时应记为 $3.040 \times 10^4 \mu\text{l}$,这样有效数字仍为四位。

2. 从相对误差角度考虑,如果首位数字 ≥ 8 ,其有效数字的位数可多计一位,如9.48m,可认为是4位有效数字。

3. 对于pH及 $\text{p}K_{\text{a}}$ 等对数值,有效数字取决于小数部分数字的位数,因为其整数部分只代表了数值的幂次,如 $\text{pH}=4.12$,有效数字为2位,即 $[\text{H}^+]=7.5 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 。

4. 只有涉及测量时才需要考虑有效数字,对于不需要测量的数字(如系数,倍数)以及理论计算所得的数值(如 e , π 等),不存在可疑数,其有效数字可以认为是无限的,取用时需要几位就保留几位。

二、有效数字的修约规则

有效数字进行运算时,需要按照一定的要求舍去多余的尾数,称为有效数字的修约。有效数字的修约规则是“四舍六入五成双”,即尾数小于5舍去,大于5则进位,等于“5”则看“5”前面的数是否为偶数,为偶数的则舍去尾数,为奇数时则进位,原则是使“5”前的数为偶数,需要指出的是若“5”后还有其他不为0的数字,则进位。

如将下列数字修约为3位有效数字: 18.728 $\rightarrow$ 18.7; 18.760 $\rightarrow$ 18.8; 18.755 $\rightarrow$ 18.8; 18.75 $\rightarrow$ 18.8;

18.85→18.8。

有效数字在修约时需要注意,应一次修约到所需位数,不能分次修约,如18.748修约为3位有效数字,应一次修约为18.7,不能先修约为18.75,再修约为18.8。对于偏差的修约,通常保留一到两位有效数字,标准偏差修约时应使其准确度降低,如标准偏差0.212,应修约为0.3或0.22。

三、有效数字的运算规则

1. 加减法运算 加减运算的误差是各个数值绝对误差的传递结果,有效数字的保留,应以小数点后位数最少(即绝对误差最大的)的数据为准。例如计算 $80.2+0.5501+0.12$,各数据中绝对误差最大的是80.2,因而修约后计算如下:

$$80.2+0.6+0.1=80.9$$

2. 乘除法运算 乘除运算的误差是各个数据相对误差传递的结果,有效数字的保留,应以数据中有效数字最少(相对误差最大的)的数据为准。例如计算 $0.0151 \times 24.84 \times 1.05782$,各数据中相对误差最大(有效数字位数最少)的是0.0151,因此结果的有效数字位数也是三位。修约后计算为:

$$0.0151 \times 24.8 \times 1.06=0.397$$

使用计算器计算时,不论计算前是否对各数据进行修约,一定要正确保留最后结果的有效数字位数。如计算 $2.50 \times 2.00 \times 1.42$,结果的有效数字应为三位,而计算器的计算结果显示为7.1,只有两位有效数字,则应写作 $2.50 \times 2.00 \times 1.42=7.10$ 。

第二节 实验数据的记录

在化学实验中,数据起着至关重要的作用,获得科学有效的数据是每个实验者应该具备的基本素质。

实验过程中的各种实验现象(也包括实验过程中出现的问题、异常现象及处理方法等)和测量数据,都应清晰、准确、完整地记录下来,避免夹杂个人主观因素,更不能随意拼凑和杜撰数据。实验数据应用钢笔或圆珠笔及时记录在专门的实验报告本或实验报告纸上,决不允许将数据随意记录在小纸片或其他地方。实验数据需要修改时,应在原数据上划一横线,再将正确数据写在其上方,不得涂擦或挖补,也不允许使用修正液修改。实验过程中的每一个数据都是测量的结果,因而在重复测量时,即使数据完全相同,也应当及时记录下来。实验记录如有修改,应在修改处签名。

实验过程中使用的各种特殊仪器以及标准溶液的浓度等,也应及时准确记录下来。对于带数据记录和处理功能的仪器,应将数据转抄在实验记录表格上,并需同时附上仪器记录纸。

在记录实验数据时,需要注意有效数字的位数。通常要根据计量仪器的精度以及对分析结果准确程度的要求来确定有效数字,如用分析天平称量时,记录至0.0001g;用滴定管或吸量管确定放出溶液体积时应记录至0.01ml;用分光光度计测量吸光度时,如果吸光度在0.6以上,要求记录至0.01,如果吸光度值在0.6以下,要求记录至0.001;标准溶液的浓度一般取四位有效数字,被测组分的质量百分数一般要求计算至0.01%。对于极差、平均



偏差、标准偏差的有效数字位数按所用分析方法的最低检出浓度来确定。相对平均偏差(RMD)、相对标准偏差(RSD)、检出率、超标率等用百分数表示,根据数值大小,保留至小数点后1~2位。

第三节 实验数据的处理

实验数据的处理指对从实验获得的数据用严格而简单的方法获得结果的加工过程,正确处理实验数据是一项基本实验能力。

在化学实验中,为了衡量分析结果的精密度,一般对单次测定的一组结果($x_1, x_2, \dots, x_n$),计算出算数平均值后,还应再用单次测量结果的偏差($d_i=x_i-\bar{x}$),相对偏差

($\frac{x_i-\bar{x}}{\bar{x}} \times 100\%$),平均偏差($\bar{d}=\frac{\sum_{i=1}^n |d_i|}{n}$),相对平均偏差($RMD=\frac{\bar{d}}{\bar{x}}$)等表示出来;如果测定

次数较多,可用标准偏差($s=\sqrt{\frac{\sum (x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$)和相对标准偏差($RSD=\frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$)等表示结果的精密度。其中相对标准偏差是化学实验中最常用的确定结果精密度的方法。

根据实验内容和实验要求的不同,可以采用不同的数据处理方法,无机化学实验中主要包括列表法和作图法。

一、列表法

列表法是表达实验数据最常用的一种方法,将各种实验数据设计在形式清晰明了的表格内,可以起到化繁为简的作用,能够简单反映出相关物理量之间的对应关系,清楚地表达出测量值的变化情况,有利于对获得的数据进行相互比较,得出某些实验结果的规律性。

在设计表格时应用直尺划线,力求工整,对应关系应清楚简洁,行列整齐,能够一目了然,表格应有序号和简明完整的名称,使人一看便知内容,对一些主要参数应予以说明(包括引用的常量,物理量的单位,环境参数等)。

如醋酸溶液的标定实验,其实验结果表格可设计如表2-1:

表2-1 HAc溶液浓度标定结果表($t=20^{\circ}\text{C}$)

实验编号	1	2	3
c_{NaOH} (mol/L)	0.1000		
V_{HAc} (ml)	25.00	25.00	25.00
V_{NaOH} (ml)	$V_{\text{始}}$ (ml)	0.01	0.02
	$V_{\text{终}}$ (ml)	24.99	25.02
	V_{NaOH} (ml)	24.98	25.00
c_{HAc} (mol/L)	0.09992	0.09996	0.1001
$\bar{c}_{\text{HAc}}$ (mol/L)	0.09999		
RSD%	0.1%		

一个好的数据处理表格,往往就是一份简明的实验报告,因此表格设计上要舍得下功夫。

二、作图法

作图法是将实验数据通过正确的作图方法画出合适的曲线,从而形象直观并准确地表现出数据的特点、相互关系、变化规律以及函数的极值、拐点、突变及周期性等,并能够进一步求解,获得斜率、截距、外推值或内插值等。

一种基本的数据处理方法,具有取平均值的效果,并有助于发现测量的个别错误数据。因为每个数据都存在测量的不确定性,曲线不可能通过每一个测量点,但对于曲线,靠近和均匀分布于测量点附近,从而具有多次测量取平均的效果,如果某个点明显远离曲线,则说明这个数据错了,需要分析错误原因,必要时需要重新测量。

作图法需要注意:①正确选用坐标纸和比例尺,常用坐标纸为直角坐标纸,对数坐标纸、三角坐标纸等有时也会用到,对于直角坐标纸,横坐标与纵坐标的读数不一定从0开始,根据具体情况而定。比例尺的选定也极为重要,应充分利用图纸的全部面积,使全图布局合理,如果选择不当,会使曲线的特点如极值、转折点等显示不清楚;②画坐标轴时应注明坐标轴所代表变数的名称及单位,横坐标读数一般从左到右,纵坐标读数一般从下到上;③应用铅笔将测得的各数据绘于图上,不同组的数据用不同的符号表示,以示区别;④将各点连成曲线,曲线应光滑均匀,不必强求通过所有点,但实验点应尽量均匀分布于曲线两侧,曲线与代表点之间的距离表示测量误差,应尽可能小;⑤应写清楚图的名称及坐标轴的比例尺,比例尺的选择应能够表示出全部有效数字,以便物理量的精确度与测量的精确度适应,图纸每小格所对应的数值应便于迅速简便地读出和计算。

要包括求内插值、求外推值、求转折点和极值、求经验方程等方法,无机化学实验中常用求经验方程的方法。如银氨配离子配位数的测定,由实验数据可绘出曲线 $\lg[\text{Ag}(\text{NH}_3)_n^+][\text{Br}^-]=n\lg[\text{NH}_3]+\lg K^\ominus$,以 $\lg[\text{Ag}(\text{NH}_3)_n^+][\text{Br}^-]$ 为纵坐标, $\lg[\text{NH}_3]$ 为横坐标作图,则截距为 $\lg K^\ominus$,求出直线斜率 n ,也可求出 $K^\ominus(K^\ominus=K_{\text{稳}}^\ominus \times K_{\text{sp}}^\ominus)$,并计算出配离子稳定常数 $K_{\text{稳}}^\ominus$ 。

三、直线回归法

某些化学实验的测定数据处理比较复杂,需要进行公式计算、数据分析,并加以作图,找出线性拟合关系,求得斜率或截距,才能得到实验的结果。 y 与 x 的关系是否为线性相关(各实验点是否全落在一条直线上),用数字统计方法找出各实验点误差最小的直线方法称为回归分析。

1. 相关分析 统计学中用相关系数来反映 x 、 y 两变量间相关的密切程度,并定量描述两变量间的相关性,其统计学定义如下:

若两变量 x 、 y 的 n 次测量值为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) …… (x_n, y_n) ,则相关系数为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$



当 $r=1$ 时,表示 $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \cdots$ 等对应的点处在一条直线上;
当 $r=0$ 时,表示 $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \cdots$ 等所对应的点杂乱无章或处在一曲线上。
 $r>0$ 正相关, $r<0$ 负相关。

相关系数的大小反映了 x 与 y 两个变量间相关的密切程度, r 越接近 ± 1 ,两个变量的相关性越好。

2. 回归分析 回归分析就是要找出 y 的平均值 $\bar{y}$ 与 x 之间的关系。通过相关系数 r 的计算,如果 $\bar{y}$ 与 x 之间呈线性函数关系,就可以简化为线性回归。用最小二乘法可解出回归系数 a (截距)与 b (斜率),即:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

将实验数据代入上两式,即可求出回归系数 a 与 b 。回归方程的模型为:

$$y=a+bx$$

3. 计算机软件处理法 由于手工作图和大量的数据计算费时费工,且结果误差较大。随着计算机的普及,采用相关软件来进行实验数据处理、作图分析,可使数据分析变得简便、准确又快捷。

目前常见的数据处理软件有Excel、Origin、Spss等。Spss集数据整理、分析功能于一体,具有强大的数据统计分析功能,广泛应用于较为复杂数据的科学分析。Excel、Origin两者在功能上较为相似,都具有强大的函数运算及图表绘制功能,如数据的排序、函数计算、统计分析、曲线拟合以及绘制直线图、散点图、向量图、柱状图、饼图、以及三维图标、统计图标等几十种二维和三维绘图。其中Excel操作简单、易学易用,普及面广,如应用其函数运算及图表绘制功能进行“银氨配离子的配位数测定实验”的结果处理(表2-2),可使复杂的运算及作图过程变得简单、快捷,而且更准确。

表2-2 银氨配离子配位数的测定结果表

滴定序号	1	2	3	4	5	6
V_{Br^-} (ml)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
V_{NH_3} (ml)	12.0	15.0	19.0	24.0	31.0	45.0
V_{Ag^+} (ml)	1.35	2.20	3.50	5.50	9.20	19.20
$V_{总}$ (ml)	38.35	42.20	47.50	54.50	65.20	89.20
$[Br^-](\text{ mol/L })$	6.52×10^{-3}	5.92×10^{-3}	5.26×10^{-3}	4.59×10^{-3}	3.83×10^{-3}	2.80×10^{-3}
$[NH_3](\text{ mol/L })$	0.6258	0.7109	0.8000	0.8807	0.9509	1.009
$[Ag(NH_3)_n]^+$ (mol/L)	3.52×10^{-4}	5.21×10^{-4}	7.37×10^{-4}	1.01×10^{-3}	1.41×10^{-3}	2.15×10^{-3}
$\lg[Ag(NH_3)_n]^+ [Br^-]$	-5.64	-5.51	-5.41	-5.33	-5.27	-5.22
$\lg[NH_3]$	-0.2036	-0.1482	-0.0969	-0.0552	-0.0219	0.0039

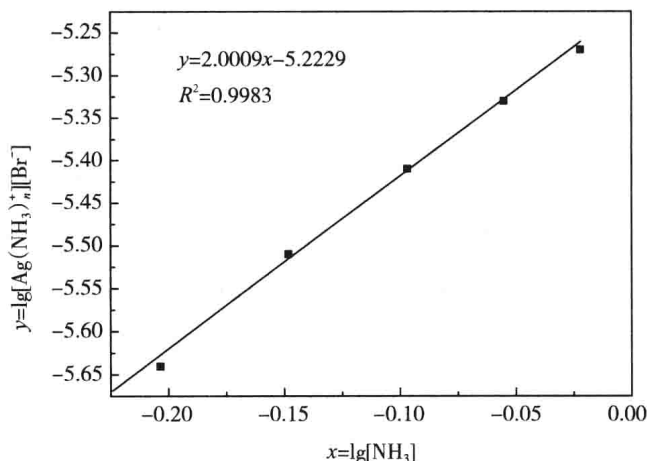


图2-1 银氨配离子配位数的测定结果线性拟合图

表2-2中,可将实验测得的数据(V_{Br^-} 、 V_{NH_3} 、 V_{Ag^+})输入Excel表中,然后利用“公式”选项中的“插入函数”功能进行其余变量的计算,同类计算可运用自动填充功能,大大简化了计算过程。Excel作图也极为方便,可选中欲作表的数据区域($\lg[\text{Ag}(\text{Ag}(\text{NH}_3)_n^+][\text{Br}^-]$ 及 $\lg[\text{NH}_3]$),然后选择Excel软件中“插入”—“图表”—“散点图”—“仅带数据标记的散点图”,可得到5个点在坐标轴上的散点图,进一步利用“添加趋势线”选项中的“线性”“显示公式”“显示R平方值”,可得到一条拟合回归曲线,并得到曲线方程及相关系数 R^2 (图2-1),也可用Origin软件作图,得方程斜率为2.0009,表明银氨配离子配位数为2;方程截距为-5.2229,表明 $\lg(K_{\text{稳}}^\ominus \times K_{\text{sp}}^\ominus) = -5.2229$,又已知 $K_{\text{sp}}^\ominus = 5.35 \times 10^{-13}$,可得 $K_{\text{稳}}^\ominus = 1.12 \times 10^7$ 。

(崔波 张浩波)

第三章 实验报告的书写

第一节 实验报告的要求

实验报告是实验工作的全面总结,要用简明的形式将实验结果完整和真实地表达出来,因此,实验报告的质量将体现学生对实验内容的理解掌握、动手能力水平及实验结果的正确性水平。

实验报告要求简明扼要,文理通顺,字迹端正,图表清晰,结论正确,分析合理,讨论力求深入。实验报告书写用纸要求格式正规化、标准化,绘制曲线的坐标纸切忌大小不一。为便于保存,最好用蓝黑墨水钢笔书写,避免用圆珠笔书写。实验曲线必须注明坐标、量纲、比例。数据计算单位必须用国际标准单位。

实验报告内容应包括以下7个部分:

(1) 实验目的: 简述实验的目的要求。

(2) 实验原理: 简要说明实验有关的基本原理、主要反应式及定量测定的方法原理等。

(3) 实验试剂和设备: 包括实验所需的试剂、药材及仪器等。

(4) 实验内容及步骤: 实验者可按实验指导书上的步骤编写,也可根据实验原理由实验者自行编写,但一定要按实际操作步骤详细如实地写出来。设计性、综合性实验要画出设计流程图,并附必要的设计说明。

(5) 实验数据及处理: 根据实验要求,实验时要一边测量,一边记录实验数据。先把实验测量数据记录在预习报告纸上,等到整理正式报告时再抄写到实验报告纸上,以免填错数据,造成修改。根据实验原始记录和实验数据处理要求,画出数据表格,整理实验数据。表中各项数据如是直接测得,要注意有效数字的表示;若是计算所得,报告中应列出所用公式,其他数据可直接填入表格,并注意有效数字。必要时需绘制曲线,曲线应该刻度、单位标注齐全,曲线比例合适、美观,并针对曲线作出相应的说明和分析。另外,实验原始数据要附在实验报告后,做到治学严谨和实事求是。

(6) 实验结果讨论: 实验报告不是简单的实验数据记录纸,还要有实验情况分析,要把通过实验所测量的数据与计算值加以比较,若误差很小(一般5%以下)就可以认为是基本吻合的;若实验测量数据与事先的计算数值不符,甚至相差过大,应找出原因,并作出分析。若是性质实验,每一项实验内容都应该有相应的实验结论。一般实验可通过具体实验内容和具体实验数据分析作出结论,但不能笼统地概括为验证了某某定理。

(7) 回答思考问题: 写报告时对实验后面的有关思考题进行解答。



第二节 实验报告的基本格式

实验报告的具体格式因实验类型而异,但大体应遵循一定的格式,常见的可分为定性实验报告、定量测定实验报告和制备实验报告三种类型,具体格式示例如下。

一、定性实验报告格式

实验二 电解质溶液

一、实验目的

.....

二、实验原理

.....

三、实验内容

1. 强弱电解质溶液的比较

步骤	现象	解释及反应方程式

结论:

2.

四、讨论

.....

五、思考题

.....

二、定量实验报告格式

实验七 醋酸解离度和解离平衡常数的测定

一、实验目的

.....

二、实验原理

.....

三、实验内容

1. HAc浓度的标定

.....

2. 不同浓度HAc的配制

.....

3. 不同浓度HAc的pH测定

.....

四、数据记录、处理及结果