

高等学校教材

仪器分析实验

(第二版)

吴性良 朱万森 主编

33

 复旦大学出版社

高等学校教材

仪器分析实验

(第二版)

吴性良 朱万森 主编

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

仪器分析实验/吴性良,朱万森主编. —2版. —上海:
复旦大学出版社,2008.2
ISBN 978-7-309-05887-1

I. 仪… II. ①吴…②朱… III. 仪器分析-实验 IV. 0657-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第007814号

仪器分析实验

吴性良 朱万森 主编

出版发行	复旦大学出版社	上海市国权路579号	邮编200433
	86-21-65642857(门市零售)		
	86-21-65100562(团体订购)	86-21-65109143(外埠邮购)	
	fupnet@fudanpress.com	http://www.fudanpress.com	

责任编辑 秦金妹

总编辑 高若海

出品人 贺圣遂

印刷 上海浦东北联印刷厂

开本 787×1092 1/16

印张 17

字数 413千

版次 2008年2月第二版第一次印刷

印数 1—3 100

书号 ISBN 978-7-309-05887-1/O·407

定价 30.00元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书修订版曾获教育部优秀教材奖,这次第二版凝聚了自修订版以来 20 年间,复旦大学化学系仪器分析实验教学组在教学、科研和教材编著等方面的实践经验。

教材从课程内容的基础性、应用性及教学实践的操作性出发,整合更新了修订版内容,充实了修订版以来仪器分析方法发展的基础性内容。全书分 7 章,其中实验的一般指导和分析仪器基础知识两章为实验的基础知识介绍,其余 5 章为实验部分,有电化学分析法、分子光谱分析法、原子光谱分析法、色谱分析法和设计实验等,共 34 个实验。实验分为 3 个层次,其中基本实验 10 个,拓展实验 20 个。每个实验包括有实验目的、内容提要、仪器和试剂、实验步骤、数据处理、思考题、参考文献等项目,以及实验拓展、注意事项、附录等选项内容。设计实验 4 个,编写了一般指导和实验的背景材料,提出了设计内容,提供了部分参考文献。这一编排,既保证了教学的基础性,同时也为个性化教学提供了便利。

本书是基础性实验教材,供普通高等院校及师范院校理科化学类各专业本科学生使用,也可供高等院校有关专业师生和其他科技工作者参考。

本书编委会人员

主编	吴性良	朱万森					
编委	牛国兴	陈治江	袁双生	赵 滨	雷 杰		
	张晋芬	邓春晖	王 荔	华伟明	陈 刚		

第二版前言

《仪器分析实验》由复旦大学出版社(1986年初版、1988年修订版)出版以来,已过去了20年。它是国内综合性大学化学系仪器分析实验基础课的第一本教材,它的出版得到了国内分析化学教学同行的支持、前辈的赞誉,并于1992年获得中华人民共和国教育委员会颁发的第二届普通高等学校优秀教材二等奖。第二版将在总结过去的教学经验基础上,结合现今对人才培养的需要,以及学科发展和科技进步的现状,对仪器分析实验基础内容作了较大的修改。

在这20年中,高等教育的改革逐步深入,教育理念得到了更新,仪器分析实验课程的内容不断丰富,教学方法不断改进。特别是20世纪末21世纪初仪器分析实验课程的建设获得了教育部和复旦大学211工程及世界银行贷款项目的支持,为课程的改革和发展提供了强大的物质基础。第二版的基本内容是遵照教育部下发的“化学专业本科基本培养规格和基本教学要求”,以及“化学专业及应用化学专业化学教学基本内容”两个文件的精神,考虑到20年来,仪器分析方法和技术的迅速发展,遵照复旦大学化学系实验教学改革的总体方案,从2001年起,在我系使用的实验讲义基础上编写而成的。本版的编写在以下几个方面作出努力。

1. 精选初版内容,保留最基本、使用最普遍的实验内容及基础知识,充实近20年来被广泛应用的分析方法和手段。

教材中的具体实验,第二版中调整了初版实验的3/4左右,仅保留了典型的经典实验(也作了部分修改)。新调整的实验,内容更广泛、更贴近实际。从分析方法讲,涉及脉冲极谱法、核磁共振波谱法、质谱法、高效液相色谱法、离子色谱法、毛细管电泳法,以及化学计量学方法、流动注射技术、红外漫反射技术、差谱技术、等离子光谱分析技术等等。

近20年来的技术进步,有必要对仪器基础知识的内容作出重要调整。根据计算机技术的发展以及在分析化学中的广泛应用,更新了利用计算机处理仪器分析实验数据的内容,新增了计算机接口技术和一些新的仪器技术,如二维色散、阵列检测器等。比较专一的技术则在附录中反映。

2. 实验内容除了帮助理解分析化学的方法原理外,以实际样品为主要对象,加大了样品的取样、预处理在实验中的比重,以体现本实验课程的应用价值。

分析对象除部分纯样品外,大多为涉及食品、药物、环境、材料、生物医学等方面。这些样品包含了气态、液态、固态和生物样品等多种形态。它们的取样和预处理技术是多方面的,包括吸收法和吸附法的气体采样、样品的多种湿法消解、氧瓶燃烧消解、微波消解、萃取富集、水蒸气蒸馏提取、微波辅助蒸馏等等。这些训练对学生解决实际问题的能力是十分有益的。

3. 第二版的实验分基本实验、拓展实验及设计实验 3 类编写。它们的编写方式有所不同。基本实验是学生的入门实验,是学生学习本课程最基本的内容,重在方法原理和基本操作等方面,编写得较为细致详尽;拓展实验在新方法或应用方面为学生开阔视野,为进一步开展能力训练提供条件,编写得较广泛,原则一些,让学生有更多的思考;设计实验为学生的自主学习提供了更开阔的舞台,编写更为原则,仅提供实验内容的背景,完成实验的提示和部分文献资料,让学生自己查阅文献、设计实验方案和步骤,完成实验后按论文格式写出实验报告。对设计实验,教材单独编章,提供的实验内容仅是举例,内容可随时添加更新。这样的编写安排,为开展个性化教学提供了方便。

4. 在编排上,第二版与修订版有所不同,整合了修订版的分章及仪器基础知识介绍方式。保留了修订版的第一章实验的一般指导,删除了内容陈旧的第十二章实验数据的计算机处理。合并分布在各章中的分析仪器基础知识介绍,充实后独立设为第二章,将具体仪器的简要介绍和操作使用作为附录编入相关实验中,实验的参考文献则附于各实验之后,便于学习使用。重新调整实验设章,基本实验和拓展实验按分析方法的大类编章,分电化学分析法、分子光谱分析法、原子光谱分析法及色谱分析法 4 章,新增设计实验单独设章。

本书分 7 章共 34 个实验,其中基本实验 10 个(目录中“*”号实验),拓展实验 20 个,设计实验 4 个,在教学实施中可选做部分内容。教材中提及的试剂及水,除说明外,试剂均为分析纯,水均为去离子水或蒸馏水。

使用本教材进行实验教学,需要学生先期学习普通化学实验及化学分析实验。在本教材实验的教学安排上,可以有多种方式。一种是在基本实验、拓展实验中选择部分内容,进行大循环轮流实验,选择实验内容以基本实验为主体,同时考虑实验的多样性和设备的可能性;设计实验的训练对少数优秀学生在教学安排外进行。另一种安排是用 $3/4$ 或 $2/3$ 教学时间进行基本实验的训练,余下的教学时间可针对学生的不同情况,或重做基本实验,或选做拓展实验,或选做设计实验,在达到课程的基本要求后进行个性化教学。

参加本版编写工作的有牛国兴(第二章)、陈治江(实验 16、17、20、21、23)、袁双生(实验 14、19)、赵滨(实验 6)、雷杰(实验 15)、华伟明(实验 24)、邓春晖(实验 26)、张晋芬(实验

28)、王荔(实验 29)、陈刚(实验 30)、朱万森(实验 3、8、10、12、13、18、34)、吴性良(实验 5、9、11、27、31~33、第六章)。实验 1、2、4、7、22、25 在修订版的基础上由主编修改。

本书的第二版得到了教育部人才培养基地创名牌课程项目和复旦大学教材建设项目的支持,得到了复旦大学化学系及化学实验中心领导和老师们的鼓励和帮助。第二版吸收了修订版以来 20 年间,曾从事过或帮助过仪器分析实验课程建设和教学的师生们的意见和建议,他们为我们的教学和教材建设积累了经验。第二版的部分实验吸收了由汪乃兴、宋鸿铨、邱德仁等教授编写的电化学分析实验及光学分析实验讲义中的有关内容。杨芃原、孔继烈、张祥民等教授对本教材的编写,提供了宝贵资料或建议。在此对他们表示由衷的感谢。

编者还要感谢章慧琴、丁文兰、林志平、王爱琴、雷杰、王丛笑、张晋芬等为本教材的实验工作付出的辛勤劳动。

编写过程中,参考了有关资料,从中得到了许多启发和益教。对教材中所列的有关资料的作者,一并在表表示感谢。

本教材的编写是教学改革的一种尝试,有些问题有待于作进一步的推敲,也限于编者的学识水平,错漏和不当之处也难以避免,恳请读者批评指正。

吴性良、朱万森

于复旦园

2007 年 6 月

修订版说明

这次再版时,据近年来教学的需要和实验室条件的改善,增加了红外光谱法和实验数据的计算机处理两章。前者包括两个实验,由朱万森同志编写;后者包括 5 个实验,由吴性良同志编写。后两章由吴性良同志校阅。

编者

1987 年 10 月

初版编者说明

仪器分析是实验化学的重要内容。化学类专业的学生进行仪器分析实验的学习是必不可少的。设置该课程的目的是使学生理解各类仪器分析方法的原理,掌握它们的基本实验方法和操作技术,学会使用典型仪器,提高处理数据的能力。

从 1961 年起,我校化学系对分析化学基础课进行了改革,并把分析化学(二)(即仪器分析)实验课列为化学系学生必修的基础实验课。在总结过去教学实践的基础上,根据教学的需要,并考虑到目前国内的实验室条件,由吴性良、汪乃兴、邱德仁、周修龄、韩士良、俞文波等同志在 1980 年重新编写了实验讲义。经数届学生使用后,这次出版前由吴性良再次进行整理、定稿,对不少章节作了较大的增删、修改。参加修改实验工作的,还有周修龄、朱万森、吴雅卿、袁双生、宋立文等同志。朱世盛副教授、陈树乔副教授审阅了全书,提出了宝贵的意见。分析化学教研室其他教师也对本教材提出了不少宝贵意见。

本书分 10 章,共 28 个实验,由于学时数的限制,在教学实施时可选做部分内容。书中小字部分供作教学参考之用。教材中提及的试剂及水,除说明外,试剂均为分析纯试剂,水均指蒸馏水。

限于水平,谬误不足之处在所难免,希望读者,特别是使用本教材的师生给予指正。

编者
1984 年 3 月

目 录

第一章 实验的一般指导	1
1.1 学生实验须知	1
1.2 测量值的读数	1
1.3 测量值的计算	2
1.3.1 测量值的取舍	2
1.3.2 计算规则	3
1.4 实验数据及分析结果的处理	3
1.4.1 列表法	3
1.4.2 图解法	3
1.4.3 计算机处理实验数据	5
1.4.4 分析结果的数值表示	12
1.5 测量结果的可靠性	12
1.5.1 误差的类型	12
1.5.2 准确度与精密度	13
1.5.3 精密度的表达	13
1.5.4 置信区间	14
第二章 分析仪器基础知识	16
2.1 分析仪器的类型及性能	16
2.1.1 分析仪器的类型	16
2.1.2 分析仪器的基本结构及性能指标	17
2.2 分析仪器的基本电路	18
2.2.1 简单的测试电路	18
2.2.2 分析仪器中的放大电路	20
2.3 光学光谱仪器的基础知识	28
2.3.1 光学部件	29
2.3.2 光谱仪器的光学系统	40
2.4 测量信号的计算机处理	44
2.4.1 分析仪器与计算机的连接	45
2.4.2 信号处理	50
2.5 分析仪器的维护和保养	59
2.5.1 分析仪器日常维护保养的一些基本原则	59
2.5.2 光学光谱仪器的维护保养	60
2.5.3 色谱仪器的维护保养	61

第三章 电化学分析法	64
* 实验 1 离子选择性电极测定饮用水中氟	64
* 实验 2 电位法沉淀滴定测定水中氯	73
实验 3 电位法络合滴定测定铜及连续测定铜和锰	76
实验 4 库仑滴定法测定砷	79
* 实验 5 阳极溶出伏安法测定头发中锌	83
实验 6 微分脉冲极谱法测定秋水仙碱	88
第四章 分子光谱分析法	93
* 实验 7 吸光光度法测定铁	93
实验 8 分光光度法测定室内空气中甲醛	98
实验 9 双波长-三波长分光光度法测定复方盐酸苯丙醇胺片	104
实验 10 导数紫外光度法测定水中硝酸根离子	109
实验 11 吸光光度-化学计量学分析方法测定饮料中混合色素各组分	112
* 实验 12 红外光谱的测绘和定性分析	118
实验 13 漫反射红外光谱法定量测定苯甲酸中间硝基苯甲酸	128
* 实验 14 分子荧光分光光度法测定面粉中核黄素(维生素 B ₂)	131
实验 15 同步荧光分析法同时测定色氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸	141
实验 16 催化动力学光度分析法测定铅合金中痕量银	145
实验 17 流动注射光度分析法测定饮用水中氯化物	147
实验 18 核磁共振法定量测定酚氨咖敏药片中各组分	152
第五章 原子光谱分析法	157
* 实验 19 原子吸收分光光度法测定奶粉中钙	157
实验 20 萃取原子吸收分光光度法测定水样中铜	163
实验 21 冷原子吸收光谱法测定水样及人发中汞	166
* 实验 22 原子发射光谱摄谱法定性分析合金中的元素	170
实验 23 电感耦合等离子体光谱法测定铅酸电池极板中微量元素	184
第六章 色谱分析法	191
* 实验 24 气相色谱的保留值法定性及归一化法定量	191
实验 25 气相色谱法测定水中乙醛及丙烯腈	202
实验 26 毛细管气相色谱法测定野菊花挥发油中龙脑和樟脑的含量	206
实验 27 气相色谱-质谱法测定城市大气中汽车尾气的有机污染物	211
* 实验 28 高效液相色谱法测定食品中防腐剂和甜味剂	214
实验 29 离子色谱法测定水样中阴离子(Cl ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻)	221
实验 30 毛细管区带电泳测定复方芦丁片中芦丁和抗坏血酸含量	227

第七章 设计实验	231
7.1 设计实验的一般指导	231
7.1.1 尽可能多地了解与实验有关的基本信息	231
7.1.2 根据实验室条件自拟实验方案	232
7.1.3 拟定实验步骤	233
7.1.4 实验实施及结果报告	236
7.2 论文的写作格式	236
实验 31 氯离子选择性电极的制备、选择性测试及其应用	237
实验 32 复方阿司匹林片剂中各组分的定量测定	239
实验 33 新鲜绿叶蔬菜中叶绿素 a、b 的含量测定	241
实验 34 食品中添加剂和重金属污染物分析	243
参考书目	248
后记	249

第一章

实验的一般指导

学生开始实验前应阅读本章内容。了解实验前、实验过程中及实验完成后应做的事情。本章内容还包括测量值的读取及计算,实验数据的处理,分析结果的表示以及测量结果可靠性的评价方法。

1.1 学生实验须知

实验者应准备一本编有页码的实验记录本,不能使用单页纸或活页本。必须忠实地、完整地记录实验过程、测量数据及有关资料。记录的原始数据不得随意涂改。如果需废弃某些记录的数据,可在其上面画一道线,不应使用涂改液、橡皮等工具。

实验前,应充分预习实验的方法和原理、实验步骤、仪器使用、注意事项等内容。在实验记录本上,拟订好实验的安排,预先记录必要的常数及计算公式,还应事先画好记录数据的表格,以便有条理、不遗漏地记录数据及现象。

实验应紧张而有秩序地进行。实验过程中应认真观察思考,如实地记录数据和实验现象,既动手又动脑。还要始终保持实验场所的清洁、整齐和安静。每个学生都应遵守实验室规则,养成良好的实验习惯。药品、试剂、电、水、气体等都应节约使用,并要重视实验室安全。实验室中的仪器不要随意拨弄,以防损坏或发生其他事故。实验废弃物要分类放入废弃缸、筒内,有的要回收再利用。在离开实验室之前,必须把实验台面和仪器整理好。凡是从某一地方取来的物品,必须放回原来地方。凡是需要清洗的器皿,必须清洗洁净,并在仪器使用记录本上签名登记。

实验时,每个学生都必须十分重视仪器分析实验中的安全防护。注意高压气瓶的正确使用方法,预防紫外光、高频电磁波、高压电源等对人体组织造成伤害。特别是样品消解处理的化学操作,应在操作柜内进行,观察操作时要戴防护眼镜和防护手套。

实验完成后,应及时写出实验报告。实验报告应包括:①实验题目、完成日期、姓名、合作者;②实验目的、简要原理、仪器及主要实验步骤;③实验数据及计算结果,实验的讨论。实验报告中所列的实验数据和结论,应组织得有条理,合乎逻辑,还应表达得简明正确,并附上应有的图表。设计实验报告按论文格式写作,具体要求见第七章。

1.2 测量值的读数

在仪器分析中,仪器把物质的化学信息转换成易观测的形式而进行测量。一般的仪器

都将与化学信息有关的原始信号转换成电信号,经放大,在显示仪表的标尺或记录纸上以位移的方式显现出来,现在更多的是直接用数字显示,或用计算机即时采集在显示器屏幕上显示出来。具体方法将在第二章分析仪器基础知识及以后各个实验中介绍。本节讨论如何对显示出的信号进行正确读数。

指针式显示仪表,如电表,是通过指针的角位移显示读数的。读数时实验者应把眼睛的视线通过指针与刻度标尺盘垂直,读取指针对准的刻度值。有些电表在刻度标尺盘上附有镜面,读数时只要把指针与镜面内的指针像重合即可读数。现在指针式显示仪表已较少见。

记录式显示仪表如记录仪,则通过指针的线位移,由记录笔记下来。记录纸上的数值可以从记录纸上的印格读出,也可使用米尺测读。

数字显示仪表和计算机即时采集在显示器屏幕上显示,则直接可把显示的数据记录下来。

读数应读出所示的全部有效数字,它包括确定数和可疑数两部分。确定数是指仪表能被读出的最小分度值,可疑数是指最小分度值内的估计值。

1.3 测量值的计算

1.3.1 测量值的取舍

测量得到的一组数据,常发现某一个值明显地比其他测量值大得多或小得多,对这一可疑值必须找出原因。由于明确的理由,如操作过失等引起的,则可舍去。若不能找到确定的原因,说明它是由偶然因素引起的,这就要用统计的方法来决定数据的可靠性,在判明它出现的合理性之前,不能轻易舍去。

对于次数少的测量,如 3~10 次,可疑值对平均值的影响较大,国家计量标准(GB4883-85)推荐,检验一个可疑值以格鲁布斯(Grubbs)检验法为准;一个以上可疑值,以狄克逊(Dixon)检验法为准。常见的分析化学教科书上所介绍的 Q 检验,其实是与狄克逊检验基本相同的一种简单处理的方法。

Q 检验法:

- ① 求出包括可疑值在内的一组测量值极差 R , 见 1.5.3 节;
- ② 计算出可疑值与其紧邻值之差;
- ③ 将①去除②,得商 Q , 即

$$Q = |X_{\text{可疑}} - X_{\text{紧邻}}| / R$$

④ 查表 1-1, 若计算 Q 值大于表中查得 $Q_{0.90}$ (或 $Q_{0.95}$), 则可疑值舍去, 其置信度(见 1.5.4 节)是 90%(或 95%)。

表 1-1 取舍测量值的 Q 表

测量次数	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q_{0.90}$	0.94	0.76	0.64	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41
$Q_{0.95}$	1.53	1.05	0.86	0.76	0.69	0.64	0.60	0.58

1.3.2 计算规则

1. 加减法

和与差的有效数字位数应以各测量中最大可疑数为准。例:测量值 13.72 与 0.367 4 之和应以 13.72 为准,结果为 14.09。

2. 乘除法

积与商的有效数字位数,一般应与有效位数最少的那个值相同。例: 0.15×9.7876 的正确结果是 1.5,而不是 1.468 14。如果有效数字位数最少的测量值首位是“8”或“9”,则积与商的有效数字位数可比这个最少有效数字位数多取一位。例: $0.9 \times 1.2 \times 36.1 = 39$ 。但如果积与商的首位数也是“8”或“9”,则有效数字仍按以上法则保留,不应多取一位。例: $0.9 \times 9.0 = 8$ 。

3. 有效数字的修约

1) 一般按“四舍六入五成双”规则。在拟舍去的数字中,其最左面的数字小于等于 4 时舍去,等于或大于 6 时则进 1;当为 5 时,则前一位数字为奇数时进位,为偶数时舍去。

2) 当在拟舍去的数字中,并非单一数字时,不能进行连续修约。例: $15.4546 \rightarrow 15.455 \rightarrow 15.46 \rightarrow 15.5 \rightarrow 16$ 。应按拟舍去数左边的第一个数大小进行,上例中应为 $15.4546 \rightarrow 15$ 。

3) 取对数后的有效数字位数不应比原数多,例:12.7 取对数后应写为三位有效数字 1.104(小数点前的数值为该数的指数),不应为 1.103 8。

4) 当测量值的单位改变时,不应更改有效数字位数。例:1.50 g 变成以 mg 为单位时,不能写成 1 500 mg,应为 1.50×10^3 mg,使测量值仍为 3 位有效数字。

5) 运算过程中可多保留一位有效数字,最后才对计算结果进行修约。

6) 计算式中的常数如 π 、e 等,以及乘除因子如 2、1/2 等,它们的有效数字可认为是无限的。

1.4 实验数据及分析结果的处理

1.4.1 列表法

列表法表达数据,具有直观、简明的特点。实验的原始数据一般均以此方法记录。

列表需标明表名。表名应简明,但又要完整地表达表中数据的含义。此外,还应说明获得数据的有关条件。表格的纵列一般为试验号,而横列为测量因素。记录数据应符合有效数字的规定,并使数字的小数点对齐,便于数据的比较分析。

1.4.2 图解法

图解法可以使测量数据间的关系表达得更为直观。在许多测量仪器中使用记录仪获得测量图形,利用图形可以直接或间接求得分析结果。

1. 图解法的主要用途

(1) 利用变量间的定量关系图形直接求未知物含量

定量分析中的标准曲线校准方法,就是将自变量如浓度为横坐标,因变量即各测定方法相应的物理量为纵坐标,绘制标准曲线。对于欲求的未知物浓度,可以由它测得的相应物理量值从标准曲线上查得。

(2) 通过曲线外推法求值

分析化学的定量校准,常用增量法求未知物的含量。对未知试样可以通过连续加入标准溶液,测得相应方法的物理量变化,用外推作图法求得结果。如在氟离子选择电极测定饮用水中氟的实验中,使用了格氏图解法求得氟离子含量。

(3) 求函数的极值或转折点

实验常需要确定变量之间具有的极大、极小、转折等,通过图形表达后,可迅速求得其值。如光谱吸收曲线的峰值波长及它的摩尔吸光系数的求得,滴定分析中通过滴定曲线上的转折点求得滴定终点等。

(4) 图解微分法和图解积分法

如利用图解微分法来确定电位滴定的终点,在气相色谱法中利用图解积分法求色谱峰面积等。

2. 作图方法

计算机绘图方法如今已经非常普及,但在缺少条件的情况下,有时尚需要手工绘图。作图的方法和技术将影响图解结果,现将手工标绘时的要点介绍如下。

(1) 标绘工具及图纸

绘图工具主要有铅笔(1 H),透明直尺及曲尺、圆规等。一般情况下,均选用直角坐标纸。如果一个坐标是测量值的对数,则可用单对数坐标纸,如直接电位法中电位与浓度的曲线绘制。如果两个坐标都是测量值的对数,则要用双对数坐标纸。

(2) 坐标标度的选择

1) 以自变量为横坐标,因变量为纵坐标。

2) 选择合适的坐标标绘变量,使测量结果尽可能绘得一条直线,便于绘制和应用。

3) 绘出的直线或近乎直线的曲线,应使它安置在接近坐标的 45° 角。

4) 坐标的标度:① 应使测量值在坐标上的位置方便易读,如坐标轴上各线间距表示数量 1、2、4 或 5 是适宜的,但应避免使用 3、6、7 或 9 等数字;② 应能表达全部有效数字,图上读出各物理量的精密度应与测量的精密度一致;③ 坐标的起始点不一定是零,可用低于最低测量值的某一整数作起点,高于最高测量值的某一整数作终点,以充分利用坐标纸,但各测量值的坐标精密度不超过 1~2 个最小分度。

(3) 图纸的标绘

1) 各坐标轴应标明该轴的变量名称及单位,并在纵轴的左面及横轴的下面,每隔一定距离标明变量的数值,即分度值,但不要将实验数值写在轴旁。标记分度值的有效数字一般应与测量数据相同。

2) 标绘数据时,可用符号代表点,如用“ $\odot$ ”,其中心点代表测得的数据值,圆点的大小应与测量数据的不确定度相当。若在一张图纸上绘几条曲线,则每组数据应选用不同的符号代表,如+、 $\times$ 、 $\oplus$ 等,但在一张图纸上不宜标绘过多。

3) 绘线时,如果两个量成线性关系,按点的分布情况作一直线,所绘的直线应与各点接近,但不必通过所有点,因为直线表示代表点的平均变动情况。在绘制曲线时,也应按此原则。如果毫无理由地将个别点远离曲线,这样所绘的曲线是不正确的。一般讲,曲线上不应有突然弯曲和不连续的地方,但如果这种情况确实超出了测量值的误差范围,则不能忽视。如光谱吸收曲线上的突然弯曲显示了肩峰的存在。