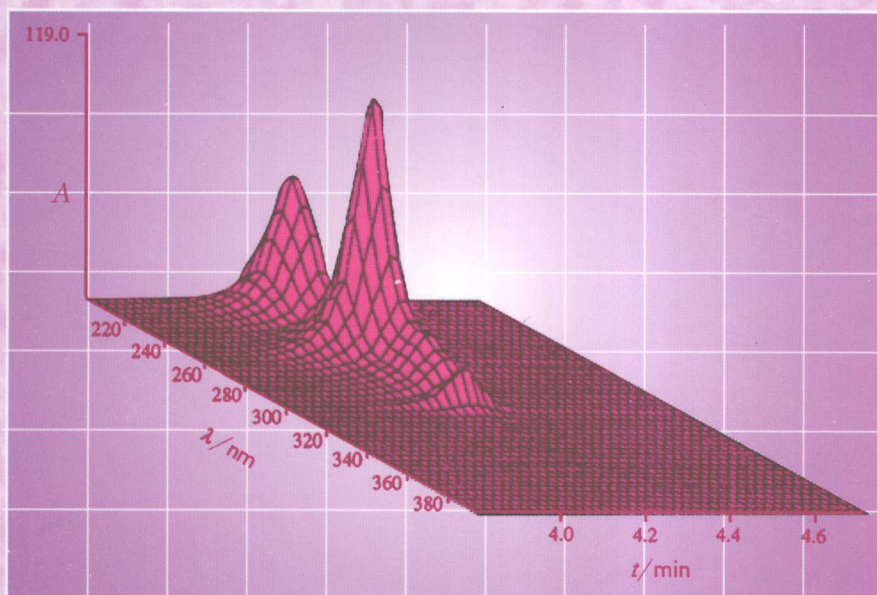


高等医药院校教材

实用仪器分析

(第 4 版)

杨根元 主编



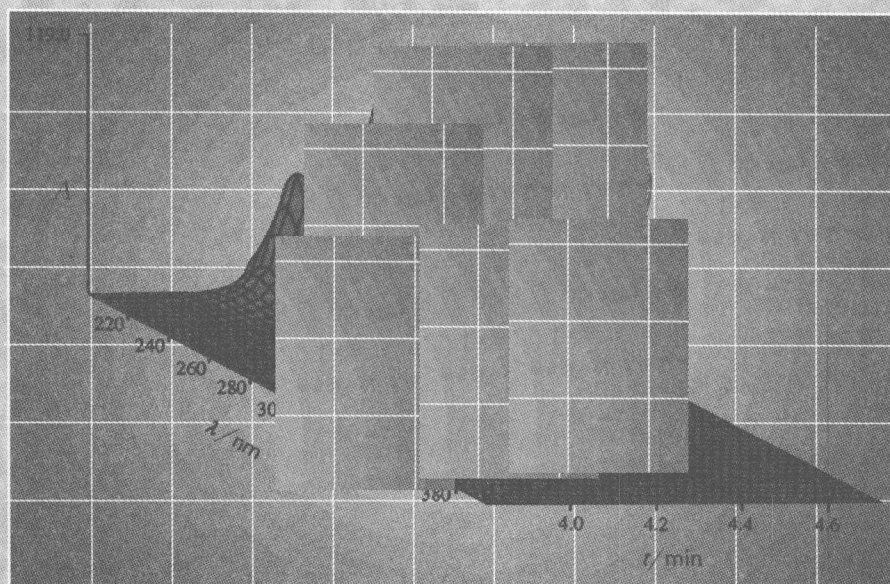
北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

高等医药院校教材

实用仪器分析

(第 4 版)

杨根元 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

实用仪器分析/杨根元主编.—4版.—北京:北京大学出版社,2010.2
(高等医药院校教材)

ISBN 978-7-301-05596-0

I. 实… II. 杨… III. 仪器分析 IV. 0657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 009107 号

书 名:实用仪器分析(第4版)

著作责任者:杨根元 主编

责任编辑:赵学范

封面设计:张虹

标准书号:ISBN 978-7-301-05596-0/O·0545

出版发行:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址:<http://www.pup.cn>

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752038 出版部 62754962

电子信箱:zpup@pup.pku.edu.cn

印 刷 者:北京大学印刷厂

经 销 者:新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 26 印张 680 千字

2010 年 2 月第 4 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数:0001~4000 册

定 价:42.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:(010)62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

第4版编委会

主 编 杨根元

副主编 张克凌 于铁力

主 审 徐葆筠（青岛大学医学院 教授）

编 委 （按姓氏笔划排序）

于铁力（北华大学医学院 教授）

刘 坤（青岛大学医学院 教授）

张克凌（青岛大学医学院 教授）

杨根元（江苏大学化学化工学院 教授）

徐德选（江苏大学化学化工学院 讲师）

黄亚励（贵阳医学院 副教授）

内 容 提 要

本书结合医药界实际应用的需要,介绍了光谱分析、电化学分析、色谱分析等常用仪器分析方法的原理和应用,还介绍了发展中的新方法和技术以及高效毛细管电泳、自动分析技术、生物试样前处理等内容。

全书约 68 万字,共 23 章,分成 4 篇:光谱分析、电化学分析、色谱法及其他分析技术选读。综观全书,其内容简明扼要,图文并茂;选材适当,紧密结合专业,符合教学大纲要求;书中融入了编者丰富的教学经验,具有启发性和实用性。此外,本书第 4 版的修订除广泛汲取全国 18 余所医药院校使用第 3 版后反馈的意见和要求外,还增补了一些新内容,如联用技术、计算机与仪器分析自动化、核磁共振波谱法、质谱法等。修订后的第 4 版更具备专业特色,实用性更强,文字流畅,易读易懂,全书的质量和水平较之第 3 版有明显提高。

本书可作为医学检验专业和药学专业本科教材,也可供学习和从事卫生检验、营养学、法医学、生物工程、分子生物学、化学化工、环境分析等专业的师生使用。此外,相关专业的科技人员及分析工作者还可用做参考书。

第 4 版前言

仪器分析是医学检验专业和药学专业的重要专业基础课。通过本课程学习,使学生能掌握仪器分析的基本原理、基本方法、基本知识和常用仪器的基本操作技能,并培养学生分析问题和解决问题的能力,为学习后续专业课程和今后的工作打下必要的基础。为了提高医学院校仪器分析课的教学质量,需有一本适用的好教材。本书第 3 版自 2001 年问世以来,经全国近 20 所医学院校多年使用,学生学、教师讲都得心应手,是一本比较理想的教材:其选材适当、深浅适宜、符合教学大纲要求;内容安排紧凑、简明扼要、针对性、实用性强;文字流畅、易读易懂;专业名词及计量单位的使用比较规范;紧密结合专业,并且书中融入了编者的教学经验。鉴于第 3 版的使用已近 10 年,为满足教学需要,现修订出第 4 版。

在修订新版时,编者既虚心接受了各院校在使用中的意见和建议,也考虑到仪器分析发展迅速的现实,对各章内容作了不同程度的修改,有的作了精简,有的适当增补了一些新内容,有的进行了重写,还新增加了毛细管电泳、联用技术、计算机与自动化分析、原子荧光分光光度法等内容。总之,本版篇幅有所增加,内容比前一版更加丰富。在修订中我们始终贯彻“实用”两字,力求使修订后全书质量和水平在原有基础上有明显提高,使其更具专业特色,针对性、实用性更强。

全书(以编写章次为顺序)由杨根元(前言、第 1、11、14、16、17 章)、徐葆筠(第 1、18、19、21、22 章)、于铁力(第 2、5、10 章)、黄亚励(第 3、4 章)、徐德选(第 6、7、8 章)、刘坤(第 9、12、20 章)、张克凌(第 13、15、23 章)等 7 人参加编写。本书初稿经主编、副主编、主审进行审阅,编者修改后,再由主编统稿。全书文字的润饰、统一由主编和主审共同完成。

本教材供医学检验专业、药学专业本科教学使用,也可供卫生检验、营养学、法医学、生物工程、分子生物学、化学化工、环境分析等专业使用。有关专业科技人员及分析工作者也可作参考。

本教材采用了国家法定计量单位,书中化学名词遵照 1991 年全国自然科学名词审定委员会审定公布的《化学名词》统一使用。

本教材在编写过程中,参考了国内外出版的优秀教材和专著,引用了其中某些数据和图表等,在此向有关作者表示衷心感谢。

编委会特请青岛大学医学院徐葆筠教授担任主审。期望他以深厚的学术造诣、丰富的教学经验,把好质量关,使本教材编写得精辟出新。

本书编写过程中得到了许多院校领导和专家的支持和鼓励,在此表示衷心感谢。虽然我们尽了最大努力,但由于编者水平所限,书中可能还有不少缺点甚或错误,殷切希望读者能为我们指出,以便下一版时修正。

编 者

2008年12月

第 3 版前言

仪器分析方法是化学、物理学、电子学等多种学科相互渗透的产物。因它在确定物质组成、状态和结构的测试中具有高灵敏度和快速等优点,因此,科研、生产及社会生活等诸多领域已广泛应用。

仪器分析是医学检验专业的重要专业基础课之一。通过本课程的学习,学生可掌握仪器分析的基本原理、基本方法、基本知识和常用仪器的基本操作技能,培养学生分析问题和解决问题的能力,为学习后续专业课程和今后的工作打下必要的基础。为了提高医学院校仪器分析课的教学质量,必须有一本好教材,为此目的我们编写了《实用仪器分析》,现已出了两版。《实用仪器分析》第 2 版自 1997 年 9 月出版以来,历时三年多,经镇江医学院、青岛大学医学院、天津医科大学、重庆医科大学、大连医科大学、上海第二医科大学、北华大学医学院、蚌埠医学院、温州医学院、齐齐哈尔医学院、山西医科大学汾阳学院、第三军医大学等共 18 所医学院校使用,一致认为本教材选材适当、深浅适宜、符合教学大纲要求;内容安排紧凑、简明扼要;针对性、实用性强;文字流畅、易读易懂;专业名词及计量单位的使用比较规范;紧密结合专业,并且其中融合了编者的丰富教学经验;学生学、教师讲都很得心应手,是一本较为理想的教材。鉴于第 2 版印刷的书即将用完,为满足教学需要,现修订出版第 3 版。

本教材第 3 版,除光谱分析部分章次顺序有较大变动外,其余仍维持第 2 版的章次顺序,同时也考虑各院校在使用中的意见和建议,对各章内容作了不同的修改,有的作了精简,有的适当增补了一些新内容,有的进行了重写。如光谱分析部分的光谱分析基础和原子吸收分光光度法进行了重写,分子发光分析和原子荧光分光光度法合并写成发光分析法,紫外-可见分光光度法增写了紫外-可见分光光度法在医学检验中的应用,原子发射光谱分析增加了 ICP-MS 联用分析法;色谱分析部分,为了更好地适应教学的需要,将色谱法基础、气相色谱法和高效液相色谱法进行了统一协调和分工,将色谱法基本理论和分离度划归色谱法基础,将色谱法定性、定量分析方法划归气相色谱,根据分工将此三章分别进行了重写,在重写中增加了一些反映学科前沿的新内容;薄层色谱法进行了重写,并增加了高效薄层色谱法;其他有关技术选编部分增写了核磁共振波谱法和质谱分析法一章,电泳法增写了生命科学及其他学科实验室中一种常见的分析手段——毛细管电泳法,自动分析技术一章进行了适当扩写,生物试样的前处理进行了较大的修改,增加了一些消化新方法和固相提取法等。在修订中我们始终贯彻“实用”两字。力求使修订后的全书(第 3 版)质量和水平在原有基础上有明显提高,使之更

具专业特色,针对性、实用性更强。考虑到有些医学院校也将此书用作药学专业教材,为此,我们编写了红外光谱法、核磁共振波谱法和质谱法,以适应它们的教学需要。对医学检验专业的学生该两章可不作要求,或可取可舍。

为便于集思广益,第3版适当吸收了新编者,以便充分发挥第一线主讲教师的聪明才智,把本书编写得更好。全书(以编写章次为顺序)由杨根元(前言、第1章、第10章、第11章、第17章)、彭茵(第2章)、曾成鸣(第3章)、刘有训(第4章)、徐德选(第5章)、黄亚励(第6章)、赵志伟(第7章)、刘坤(第8章)、于铁力(第9章)、张克凌(第12章、第13章、第19章)、徐葆筠(第1章、第13章、第18章)、李蕙芬(第14章)、李红梅(第10章、第11章、第15章)、丁世家(第3章、第16章)、倪蕾(第11章)等15人参加编写。全书由主编统稿,文字的润饰、笔调的统一由主编和主审携手完成。

徐葆筠教授是本教材编写主要创始人之一,虽年事已高,但精力充沛,学术造诣较高,故仍请他担任本教材主审。

本教材第3版编写过程中得到了许多院校领导和专家的支持和鼓励。北京大学出版社的赵学范编审对本书的编写给予热忱关注,并提出了一些有价值的建议;她对本书的手稿进行了极为细致和全面的加工,还对一些内容的修改提出了看法。北京大学化学学院的叶宪曾教授认真细致地审校了全书,并补充修改了某些段落。在此一并表示感谢。虽然我们在编写中尽了最大努力,以求把第3版编写得更好,但由于编者水平有限,不足之处在所难免,敬请读者批评指正,以便在第4版时修正。

编 者

2000年12月

第 2 版前言

本教材自 1993 年 8 月出版以来,历时 3 年多。经 10 余所医学院校使用后,一致认为本教材选材适当,份量合宜,符合教学大纲要求,紧密结合专业,其中融合了编者丰富的教学经验,学生学、教师讲都很得心应手,是一本比较理想的教材。此外,也提出了一些宝贵的意见和建议,一致要求修订再版。鉴于第 1 版印刷的 6000 册书即将用完,为满足教学需要,现修订再版。

本教材第 2 版仍维持原来章次顺序,各章内容有若干修订和补充,特别是增补了一些新的内容。如:光学分析部分增加了原子荧光光度法;电化学分析部分增加了离子选择性微电极的内容,并对电化学分析基础与电位分析法进行了重写;气相色谱法中适当扩写了毛细管色谱柱,并介绍了液晶固定相、裂解色谱和顶空色谱技术;高效液相色谱法中增加了三角形优化法选择溶剂系统,对亲和色谱法也进行了补充。这些修订将使本教材更具有专业特色,质量和水平在原有的基础上有明显的提高。

原主编徐葆筠教授因年事已高,现不再参加教学工作,故不继续担任主编。但鉴于徐葆筠教授学术造诣较高,教学经验丰富,对编写本教材贡献较大,编委会特请他担任本教材的主审。

为便于集思广益,第 2 版适当增加了编者。全书由杨根元(第 1 章,第 10~11 章,第 16 章),金瑞祥(第 4 章,第 14 章,附录),应武林(第 7 章,第 18 章),孙发山、刘有训(第 2 章,第 6 章),曾成鸣、丁世家(第 3 章),刘海卫、张棘(第 5 章),刘坤(第 8 章,第 17 章),于铁力、倪蕾(第 9 章),周汝驹(第 12~13 章),何亚楠(第 15 章),徐德选(第 11 章),徐葆筠(第 1 章,第 17 章)等 15 人参加编写。

在本书第 2 版的修订过程中,我们得到许多院校领导和专家的支持和鼓励,在此表示衷心感谢。此外,虽然我们尽了最大努力,以求把本教材修订得更好,但由于编者业务水平有限,加之时间仓促,缺点和错误在所难免。殷切希望专家、读者给予批评斧正。

编 者

1996 年 12 月

第 1 版前言

仪器分析近年来发展非常迅速,新方法、新技术、新仪器不断出现,它在生产和科学技术各领域,都发挥着重要作用。各种学科的相互渗透促进了科学的发展,仪器分析向医学的渗透是相当广泛和深入的,特别在医学检验、药物监测、卫生分析等方面都大量使用了仪器分析方法;在临床医学中,仪器分析对疾病的诊断、治疗和预后起着重要作用;近些年兴起的生命科学的研究,也离不开仪器分析,它能为之提供大量的有用信息。仪器分析对医学的重要性,促使医学院校各有关专业都纷纷开设了仪器分析课程。因为各种专业要求不同,所设学时差别也不少,目前还没有一本能适应这种情况的仪器分析教材,所以我们合编了这本书,定名为实用仪器分析。本书既包括应用广泛的仪器分析方法,也编写了实用分析技术,兼顾基础理论、技术和应用。我们把各种仪器分析方法分别编写成章,以便不同专业根据教学需要灵活选用。

全书分为光谱分析、电化学分析、色谱分析、有关技术四篇,包括绪论,共十八章。在选材上紧密结合医学检验实际,对那些很少应用的方法(如电解法、库仑法)和那些仪器昂贵的方法(如质谱法)则不纳入本书。光谱分析应用很多,故作重点叙述;溶出伏安法、薄层色谱法应用也较多,故也各成一章。

本教材供医学检验专业本科教学使用,也可供卫生检验、营养学、药学、法医学、分子生物学等专业使用。环境监测、化验人员及其他分析工作者可作为参考。

本书执行了我国计量法,全书采用了国家法定计量单位。书中化学名词遵照1991年全国自然科学名词审定委员会审定公布的《化学名词》统一使用。

本书初稿经主、副编进行审阅,编者修改后,于今年12月初由编委会讨论定稿。

在编写过程中,得到许多院校领导和专家的支持和鼓励,在此一并表示谢意。

由于编者学识水平和教学经验有限,缺点和错误在所难免,恳请专家、读者给予批评指正,以便再版时修正。

编 者

1992年12月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 仪器分析方法	(1)
1.2 仪器分析的特点	(2)
1.3 仪器分析的发展	(3)
1.4 现代分析化学——分析科学	(4)
1.5 仪器分析与化学分析	(5)
1.6 仪器分析在医药卫生领域中的应用	(6)
第一篇 光谱分析	
第2章 光学分析基础	(8)
2.1 概述	(8)
2.2 电磁辐射和电磁波谱	(8)
2.3 原子光谱和分子光谱	(10)
2.4 吸收光谱和发射光谱	(12)
2.5 光谱分析仪器	(13)
第3章 紫外-可见分光光度法	(15)
3.1 概述	(15)
3.2 紫外-可见吸收光谱	(15)
3.3 朗伯-比尔(Lambert-Beer)定律	(23)
3.4 紫外-可见分光光度计	(26)
3.5 分析条件的选择	(32)
3.6 测定方法	(35)
3.7 紫外-可见分光光度法在医药卫生领域中的应用	(41)
第4章 红外光谱法	(44)
4.1 概述	(44)
4.2 红外光谱法的基本原理	(45)
4.3 红外光谱仪和傅里叶变换红外光谱仪	(55)
4.4 实验技术和应用	(58)
第5章 分子发光分析法	(66)
5.1 概述	(66)
5.2 分子荧光分析法理论基础	(66)
5.3 环境对荧光测定的影响	(71)
5.4 荧光分析的定量方法	(74)
5.5 荧光分光光度计	(75)

5.6	磷光分析	(77)
5.7	化学发光和生物发光分析	(79)
5.8	发光分析法在医药卫生领域中的应用	(83)
第6章	原子发射光谱法	(86)
6.1	概述	(86)
6.2	原子发射光谱法的基本原理	(87)
6.3	原子发射光谱仪	(88)
6.4	原子发射光谱的分析方法	(94)
6.5	原子发射光谱法的干扰及其抑制	(98)
6.6	原子发射光谱分析法在医药卫生领域中的应用	(98)
第7章	原子吸收光谱法	(100)
7.1	概述	(100)
7.2	原子吸收光谱法的基本理论	(100)
7.3	原子吸收光谱仪	(105)
7.4	干扰及其抑制	(112)
7.5	分析方法	(116)
7.6	原子吸收光谱法在医药卫生领域中的应用	(119)
第8章	原子荧光分光光度法	(122)
8.1	概述	(122)
8.2	原子荧光分光光度法基本原理	(123)
8.3	原子荧光分光光度计	(126)
8.4	原子荧光分光光度定量方法及干扰	(129)
8.5	原子荧光分光光度法在医药卫生领域中的应用	(131)

第二篇 电化学分析

第9章	电化学分析基础	(134)
9.1	电化学分析方法分类	(134)
9.2	电化学电池	(134)
9.3	电极电位	(137)
9.4	电极类型	(140)
第10章	电位分析法——离子选择性电极	(144)
10.1	概述	(144)
10.2	直接电位分析法基本原理	(144)
10.3	离子选择性电极的主要类型	(149)
10.4	离子选择性微电极	(154)
10.5	离子选择性电极的性能及其影响测定的因素	(157)
10.6	定量分析方法	(160)

10.7	电位分析法在医药卫生领域中的应用	(161)
第11章	极谱分析法	(164)
11.1	极谱分析法概述	(164)
11.2	极谱分析法的基本原理	(166)
11.3	干扰电流及其消除办法	(170)
11.4	定量分析法	(172)
11.5	现代极谱法	(173)
11.6	极谱分析法在医药卫生领域中的应用	(179)
第12章	溶出伏安法	(183)
12.1	概述	(183)
12.2	阳极溶出伏安法	(184)
12.3	阴极溶出伏安法和变价离子溶出伏安法	(187)
12.4	溶出伏安法的电极体系	(190)
12.5	溶出伏安法在医药卫生领域中的应用	(191)

第三篇 色 谱 法

第13章	色谱法基础	(196)
13.1	概述	(196)
13.2	色谱流出曲线和常用色谱参数	(198)
13.3	色谱理论	(203)
13.4	色谱法的定性分析方法	(211)
13.5	柱色谱法的定量分析方法	(213)
第14章	气相色谱法	(220)
14.1	概述	(220)
14.2	气相色谱仪	(220)
14.3	检测器	(223)
14.4	气相色谱柱和固定相	(229)
14.5	气相色谱分离条件的选择	(234)
14.6	毛细管气相色谱法	(236)
14.7	气相色谱法在医药卫生领域中的应用	(241)
第15章	高效液相色谱法	(245)
15.1	概述	(245)
15.2	液固吸附色谱法	(247)
15.3	化学键合相色谱法	(250)
15.4	离子色谱法	(254)
15.5	尺寸排阻色谱法	(258)
15.6	亲和色谱法	(260)
15.7	其他 HPLC 方法及分离方式的选择	(262)
15.8	高效液相色谱仪	(263)

15.9	超临界流体色谱法	(268)
15.10	高效液相色谱法在医药卫生领域中的应用	(270)
第16章	高效薄层色谱法	(272)
16.1	概述	(272)
16.2	薄层色谱法的原理	(274)
16.3	TLC的固定相和流动相	(276)
16.4	薄层色谱法的实验技术	(278)
16.5	高效薄层色谱法	(281)
16.6	薄层扫描定量方法	(283)
16.7	高效薄层色谱法在医药卫生领域中的应用	(285)

第四篇 其他分析技术选读

第17章	毛细管电泳	(290)
17.1	概述	(290)
17.2	毛细管电泳的基本原理	(292)
17.3	毛细管电泳的检测器	(296)
17.4	毛细管电泳柱技术	(298)
17.5	毛细管电泳的分离类型	(299)
17.6	毛细管电泳的应用	(303)
第18章	溶液自动分析方法	(306)
18.1	概述	(306)
18.2	程序分析仪	(307)
18.3	连续流动分析	(308)
18.4	流动注射分析	(311)
18.5	三种自动分析的特点	(321)
18.6	自动分析技术在医药卫生领域中的应用	(322)
第19章	核磁共振波谱法	(324)
19.1	概述	(324)
19.2	核磁共振波谱法的理论基础	(324)
19.3	核磁共振波谱仪	(332)
19.4	核磁共振波谱法的应用	(333)
第20章	质谱法	(336)
20.1	概述	(336)
20.2	质谱仪	(337)
20.3	质谱图及其应用	(341)
20.4	生物质谱分析及质谱联用技术	(344)
20.5	质谱法在医药卫生领域中的应用	(345)
第21章	联用技术	(347)
21.1	概述	(347)

21.2	气相色谱联用系统	(348)
21.3	液相色谱联用系统	(353)
21.4	色谱-色谱联用系统	(358)
第22章	计算机与仪器分析的自动化	(362)
22.1	概述	(362)
22.2	计算机与分析仪器的自动化	(363)
22.3	计算机与仪器分析的自动化	(369)
22.4	计算机与分析实验室的自动化	(372)
第23章	生物试样的制备	(375)
23.1	概述	(375)
23.2	生物试样的制备和储存	(375)
23.3	蛋白质的去除	(377)
23.4	痕量组分的萃取	(378)
23.5	生物试样的消化	(382)
23.6	净化	(386)
23.7	应用实例	(386)

附 录

附录 I	主要物理量符号和单位	(388)
附录 II	主要参考资料	(392)
附录 III	核心期刊摘录	(394)
附录 IV	关键词英汉对照	(395)

元素周期表

第 1 章 绪 论

分析化学是化学学科的一个分支,它包括化学分析(chemical analysis)以及仪器分析(instrumental analysis)两大类。前者是利用化学反应及其计量关系进行分析的方法,发展较早,是经典的分析方法;后者则是用精密分析仪器测量表征物质的某些物理或物理化学性质的参数,以确定其化学组成、含量 lg 及化学结构的一类分析方法,因此过去又称物理和物理化学分析法。仪器分析是近几十年发展起来的,当今发展迅速,方法门类众多,能够适应各个领域所提出的新任务,已成为现代分析化学的主要组成部分。

1.1 仪器分析方法

物质的物理或物理化学性质很多,如光学性质、电化学性质、放射性质等,它们大都可用于仪器分析,从而发展了相应的仪器分析方法,故仪器分析通常根据用于测量的物质性质来分类(表 1.1)。

表 1-1 仪器分析方法分类

方法分类	主要分析方法	被测物理性质
光谱分析	原子发射光谱分析,火焰光度分析 分子发光分析法,放射化学分析法 紫外-可见分光光度法,原子吸收分光光度法 红外光谱法,核磁共振波谱法 比浊法,拉曼光谱法	辐射的发射 辐射的吸收
非光谱法	折射法,干涉法 X 射线衍射法,电子衍射法 偏振法	辐射的散射 辐射的折射 辐射的衍射 辐射的旋转
电化学分析	电位法 电导法 极谱法,伏安法,溶出伏安法 库仑法	电极电位 电导 电流、电位 电量
色谱法	气相色谱法,液相色谱法,薄层色谱法,超临界流体 色谱法,毛细管电泳法	两相间的分配
热分析	热重分析,差热分析	热性质
其他方法	质谱法,……	质荷比,……

(1) 光谱分析——根据物质发射的辐射能或辐射能与物质相互作用而建立起来的分析方法。

(2) 电化学分析——以电化学理论和被测物质在溶液中的各种电化学性质(电极电位、电流、电量、电导或电阻等)为基础建立起来的分析方法。

(3) 色谱法——根据混合物各组分以在互不相溶的两相(固定相与流动相)中的吸附、分配或其他亲和作用等性能的差异作为分离依据的分析方法。