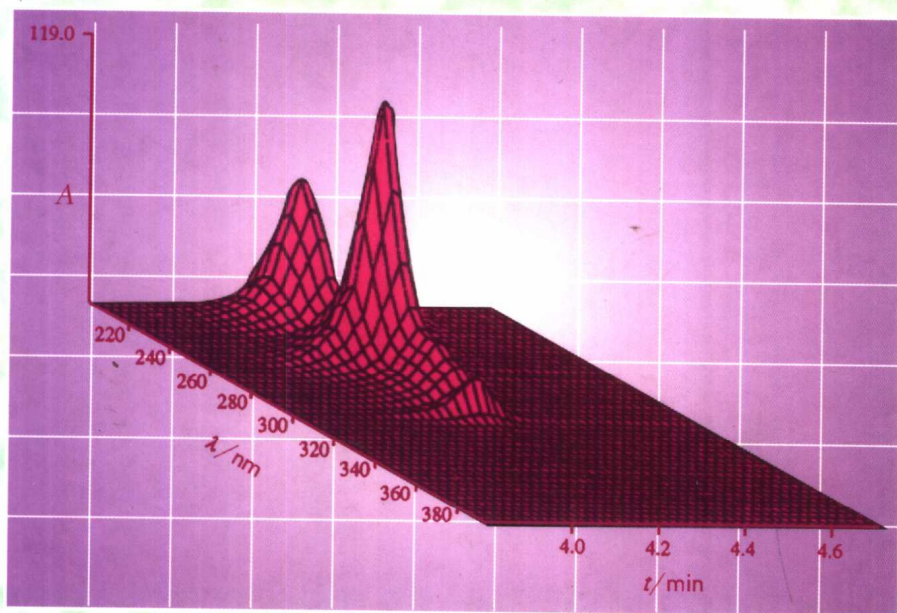


高等医药院校教材

# 实用仪器分析

(第3版)

杨根元 主编



北京大学出版社

高等医药院校教材

# 实用仪器分析

(第3版)

杨根元 主编

北京大学出版社  
北 京

**图书在版编目(CIP)数据**

实用仪器分析/杨根元等主编. —3版. —北京:北京大学出版社,2001.5

高等医药院校教材

ISBN 7-301-03073-8

I. 实… II. 杨… III. 仪器分析-高等学校:医药院校-教材 IV. 0657

**书 名: 实用仪器分析(第3版)**

著作责任者: 杨根元 等

责任编辑: 赵学范

标准书号: ISBN 7-301-03073-8/R·22

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电 话: 出版部 62752015 发行部 62754140 编辑部 62752021

电子信箱: [zpup@pup.pku.edu.cn](mailto:zpup@pup.pku.edu.cn)

排版者: 兴盛达打字服务社 (62549189)

印刷者: 中国科学院印刷厂

发行者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 21印张 550千字

2001年5月第3版 2001年5月第1次印刷

定 价: 32.00元

## 第3版编委会

主 编 杨根元

副主编 张克凌 赵志伟 于铁力 丁世家

主 审 徐葆筠 (青岛大学医学院 教授)

编 委 (按姓氏笔划排序)

丁世家 (重庆医科大学 副教授)

于铁力 (北华大学医学院 副教授)

刘有训 (大连医科大学 副教授)

刘 坤 (青岛大学医学院 副教授)

李红梅 (齐齐哈尔医学院 讲师)

李蕙芬 (天津医科大学 教授)

张克凌 (青岛大学医学院 教授)

杨根元 (镇江医学院 教授)

赵志伟 (天津医科大学 副教授)

徐德选 (镇江医学院 讲师)

黄亚励 (贵阳医学院 副教授)

彭 茵 (大连医科大学 副教授)

## 内 容 提 要

本书根据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 55 万字,共 19 章,分成光谱分析、电化学分析、色谱法及其他有关技术选介 4 篇。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 3 版的修订除广泛汲取全国 18 余所医药院校使用第 2 版后反馈的意见和要求外,还增补了一些新内容。修订后的第 3 版更具备专业特色,实用性更强,文字流畅、易读易懂,在质量和水平上较第 2 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。有关专业的科技人员及分析工作者也可用做参考书。

## 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

## 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。鉴于第一版印刷的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

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	(1)
1.1 仪器分析方法分类 .....	(1)
1.2 仪器分析的特点 .....	(2)
1.3 仪器分析的发展 .....	(2)
1.4 现代分析化学——分析科学 .....	(4)
1.5 现代分析化学中的仪器分析和化学分析 .....	(5)
1.6 仪器分析在医学检验中的应用 .....	(7)

## 第一篇 光谱分析

<b>第 2 章 光谱分析基础</b> .....	(9)
2.1 电磁辐射和电磁波谱 .....	(9)
2.2 原子光谱和分子光谱 .....	(10)
2.3 吸收光谱和发射光谱 .....	(14)
2.4 光谱分析的分类 .....	(15)
习题 .....	(15)
<b>第 3 章 紫外-可见分光光度法</b> .....	(16)
3.1 紫外-可见吸收光谱 .....	(16)
3.2 朗伯-比尔定律 .....	(22)
3.3 紫外-可见分光光度计 .....	(26)
3.4 分析条件的选择 .....	(31)
3.5 测定方法 .....	(34)
3.6 紫外-可见分光光度法在医学检验中的应用 .....	(40)
习题 .....	(41)
<b>第 4 章 原子发射光谱分析</b> .....	(42)
4.1 概述 .....	(42)
4.2 原子发射光谱分析的基本原理 .....	(42)
4.3 激发光源和试样的引入方法 .....	(43)
4.4 光谱仪分类及其作用 .....	(46)
4.5 原子发射光谱定性和半定量分析 .....	(49)
4.6 原子发射光谱定量分析 .....	(50)
4.7 原子发射光谱分析的干扰及其抑制 .....	(52)
4.8 火焰光谱分析 .....	(52)
4.9 原子发射光谱分析在医学检验中的应用 .....	(53)

习题 .....	(54)
<b>第 5 章 原子吸收分光光度法</b> .....	(55)
5.1 概述 .....	(55)
5.2 原子吸收分光光度法的基础理论 .....	(56)
5.3 原子吸收分光光度计 .....	(60)
5.4 干扰及其抑制 .....	(68)
5.5 定量分析方法 .....	(72)
5.6 测量条件的选择 .....	(73)
5.7 原子吸收分光光度法在医学检验中的应用 .....	(75)
习题 .....	(76)
<b>第 6 章 发光分析法</b> .....	(77)
6.1 概述 .....	(77)
6.2 分子荧光分析理论基础 .....	(77)
6.3 定量分析方法 .....	(84)
6.4 荧光计和荧光分光光度计 .....	(86)
6.5 分子荧光分析法在医学检验中的应用 .....	(89)
6.6 磷光分析 .....	(92)
6.7 原子荧光分光光度法 .....	(93)
6.8 其他发光分析法 .....	(97)
习题 .....	(102)
<b>第 7 章 红外光谱法</b> .....	(104)
7.1 概述 .....	(104)
7.2 红外光谱法的基本原理 .....	(105)
7.3 红外分光光度计和傅里叶变换红外光谱计 .....	(115)
7.4 实验技术和应用 .....	(117)
习题 .....	(120)

## 第二篇 电化学分析

<b>第 8 章 电化学分析基础</b> .....	(123)
8.1 电化学分析方法分类 .....	(123)
8.2 电化学电池 .....	(123)
8.3 电极电位 .....	(125)
8.4 电极类型 .....	(128)
习题 .....	(131)
<b>第 9 章 电位分析法</b> .....	(132)
9.1 概述 .....	(132)
9.2 电位法测量溶液的 pH .....	(132)

9.3	离子选择性电极的响应机理	(136)
9.4	离子选择性电极的主要类型	(137)
9.5	离子选择性微电极	(141)
9.6	离子选择性电极的性能	(144)
9.7	定量分析及测量误差	(145)
9.8	电位滴定法	(148)
9.9	电位分析法在医学检验中的应用	(150)
	习题	(152)
<b>第 10 章</b>	<b>极谱法</b>	(154)
10.1	概述	(154)
10.2	极谱法的基本原理	(155)
10.3	近代极谱法	(161)
10.4	极谱法在医学检验中的应用	(167)
	习题	(168)
<b>第 11 章</b>	<b>溶出伏安法</b>	(170)
11.1	概述	(170)
11.2	阳极溶出伏安法	(170)
11.3	阴极溶出伏安法和变价离子溶出伏安法	(174)
11.4	溶出伏安法的电极体系	(176)
11.5	溶出伏安法在医学检验中的应用	(178)
	习题	(180)
<b>第三篇 色 谱 法</b>		
<b>第 12 章</b>	<b>色谱法基础</b>	(182)
12.1	概述	(182)
12.2	色谱法分类	(183)
12.3	色谱分离过程和色谱图	(184)
12.4	色谱法的理论基础	(187)
12.5	分离度	(192)
	习题	(194)
<b>第 13 章</b>	<b>气相色谱法</b>	(196)
13.1	概述	(196)
13.2	气相色谱仪	(196)
13.3	检测器	(199)
13.4	气相色谱柱和固定相	(204)
13.5	气相色谱法分离条件的选择	(210)
13.6	柱色谱法的定性分析方法	(212)

13.7	柱色谱法的定量分析方法 .....	(214)
13.8	气相色谱法在医学检验中的应用 .....	(217)
	习题 .....	(218)
<b>第 14 章</b>	<b>高效液相色谱法 .....</b>	<b>(220)</b>
14.1	概述 .....	(220)
14.2	高效液相色谱法的主要类型 .....	(221)
14.3	高效液相色谱仪 .....	(235)
14.4	高效液相色谱法在医学检验中的应用 .....	(238)
	习题 .....	(239)
<b>第 15 章</b>	<b>薄层色谱法 .....</b>	<b>(241)</b>
15.1	概述 .....	(241)
15.2	薄层色谱法的原理 .....	(241)
15.3	薄层色谱法的操作技术 .....	(245)
15.4	高效薄层色谱法 .....	(248)
15.5	薄层扫描定量方法 .....	(250)
15.6	薄层色谱法在医学检验中的应用 .....	(252)
	习题 .....	(253)
<b>第四篇 其他有关技术选介</b>		
<b>第 16 章</b>	<b>核磁共振波谱法和质谱分析法 .....</b>	<b>(255)</b>
16.1	核磁共振波谱法 .....	(255)
16.2	质谱分析法 .....	(262)
	习题 .....	(266)
<b>第 17 章</b>	<b>电泳法 .....</b>	<b>(267)</b>
17.1	电泳法的基本原理 .....	(267)
17.2	电泳技术及其应用 .....	(269)
	习题 .....	(281)
<b>第 18 章</b>	<b>自动分析技术 .....</b>	<b>(282)</b>
18.1	程序分析仪 .....	(282)
18.2	连续流动法 .....	(285)
18.3	流动注射分析 .....	(287)
18.4	各种自动分析仪的特点 .....	(293)
18.5	自动分析技术在医学检验中的应用 .....	(294)
	习题 .....	(294)
<b>第 19 章</b>	<b>生物试样的前处理 .....</b>	<b>(295)</b>
19.1	生物试样的制备和储存 .....	(295)

## 目 录

---

19.2 蛋白质的去除 .....	(297)
19.3 痕量组分的萃取 .....	(298)
19.4 生物试样的消化 .....	(302)
19.5 净化 .....	(306)
19.6 应用实例 .....	(307)

## 附 录

附录 I 主要物理量符号和单位 .....	(308)
附录 II 关键词英汉对照 .....	(312)
附录 III 主要参考资料 .....	(316)
附录 IV 核心期刊摘录 .....	(317)
<b>元素周期表</b> .....	<b>(319)</b>

# 第 1 章 绪 论

在生产和科研中,人们发展了各种各样的分析方法,总起来可以分为两大类,即化学分析(chemical analysis)和仪器分析(instrumental analysis)。前者是利用化学反应及其计量关系进行分析的方法,它发展较早,是经典的分析方法;后者则是用精密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、含量及化学结构的一类分析方法,因此又有人称之为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 仪器分析方法分类

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以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	辐射的发射
	分子发光分析法,放射分析法	
	紫外可见分光光度法,原子吸收分光光度法	辐射的吸收
	红外光谱法,核磁共振波谱法	
	比浊法,拉曼光谱法	辐射的散射
	折射法,干涉法	辐射的折射
	X 射线衍射法,电子衍射法	辐射的衍射
电化学分析	偏振法	辐射的旋转
	电位法	电极电位
	电导法	电导
	极谱法,溶出伏安法	电流、电位
色谱法	库仑法	电量
	气相色谱法,液相色谱法,薄层色谱法	两相间的分配
	热分析	热性质
	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。根据混合物各组分在互不相溶的两相(固定相与流动相)中吸附、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。

仪器分析方法种类繁多,本书不可能一一介绍,只能根据医学检验专业的需要,在光学分析、电化学分析和色谱法中有选择地介绍一些最常用的重要方法,此外,书中也介绍了一些与仪器分析有关的技术,如电泳、自动分析和生物试样的前处理等。

## 1.2 仪器分析的特点

化学分析和仪器分析都是从生产实践和科学研究中发展起来的,它们各有所长,各有特点。仪器分析的主要特点如下:

(1) 灵敏度高。仪器分析方法的灵敏度远高于化学分析。故可以测定含量极低(如  $10^{-6}$ 、 $10^{-9}$ , 甚至  $10^{-12}$  级<sup>①</sup>)的组分,也可以测定微量试样中的组分。因此仪器分析应用广泛,特别适用于超纯物质中杂质的测定、环境监测中痕量物质的测定和生命物质等的测定。

(2) 选择性好,适于复杂组分试样的分析。仪器分析的选择性比化学分析好得多,所以仪器分析方法可进行多组分的同时测定。在单组分测定时,只要把仪器调整到适宜条件,其他组分的干扰,通常可以避免。

(3) 分析迅速,适于批量试样分析。用精密分析仪器测量时速度很快,加上计算机技术的应用,分析操作的自动化,结果的自动记录、数据的自动处理、数字的显示,使分析更为迅速。试样经预处理后直接上机测定,仅需数十秒至数分钟即可得出分析结果。有些仪器分析方法,如原子发射光谱法、极谱法、色谱法等,可一次测定多种组分。采用自动化系统,还可在很短时间内分析批量同种试样。

(4) 适于痕量组分的测定。仪器分析相对误差较大,但测定痕量组分时,绝对误差则较小,因此仪器分析虽不适于测定常量组分,但适于测定痕量组分。

(5) 适应性强,应用广泛。仪器分析方法有数十种之多,方法功能各不相同。所以仪器分析的适应性很强,不但可以定性和定量,还可以用于结构状态、空间分布、微观分布等有关特征分析;还可以进行微区分析、遥测分析等。仪器分析灵敏度极高,所需试样量很少,有时只需数微克,甚至可以在不损坏试样的情况下进行无损分析。这对活组织分析、考古分析、产品仿制等具有重要意义。此外,仪器分析还可用于化学基础理论研究和物理化学参数的测定,如络合物的组成和不稳定常数的测定等。

(6) 易于自动化。仪器分析使用复杂的精密仪器测量,被测组分的理化性质经检测器可转化为电信号而记录下来,特别是将微机与分析仪器相联结,很多操作过程都可实现自动化。不但可以处理数据,运算分析结果,而且可以由仪器准确无误地进行全部操作,包括分析条件控制、工作曲线校准、分析程序控制等。如设计出自动化体系,则可实现全部自动化,将大大提高例行分析速度。

## 1.3 仪器分析的发展

分析化学的孕育和发展经历了一个漫长的历程。20 世纪头 25 年分析化学已经确立为一门科学,那时建立起来的是经典的化学分析。从 20 世纪 40 年代开始,由于生产和科研的需要,加之物理学和电子学的发展和渗透,仪器分析开始发展起来。特别在第二次世界大战以后一段时间,工业生产和新兴科学领域对分析化学提出了新要求、新课题——对试样中痕量组分进行测定;对食品中痕量农药残留量的测定;蛋白质分子中 20 几种氨基酸的测定及其排列顺序的

<sup>①</sup>  $10^{-6}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-12}$  过去曾表示成 ppm, ppb, ppt, 它们在分析化学界沿用已久,现已废除。其中:ppm 为 parts per million 的缩写,即百万分之一;ppb 为 parts per billion 的缩写,即十亿分之一;ppt 为 parts per trillion 的缩写,即万亿分之一。



推断等等。这样,经典的化学分析已不再能适应新的要求,需要寻求新方法。分析化学家为了解决一系列新课题,广泛地吸收了各学科的新成就;工业和其他科学技术发展,也为发展新方法提供了客观条件。于是,各种类型的仪器分析方法便迅速发展起来,它和19世纪发展起来的化学分析一道,共同奠定了现代分析化学的基础。

从20世纪70年代末分析化学进入第三次大变革时期,生产和科学技术的发展,要求分析化学提供更多更全面的信息。近一时期分析化学吸取了当代科学技术的新成就,如电子计算机、激光等,结合生物学和数学建立了许多仪器分析的新方法、新技术;仪器分析已成为近代分析化学中的主要组成部分,当代仪器分析正展现出极大的活力。

以上极为概括地介绍了仪器分析的发展情况,现就各种仪器分析方法的发展,再做进一步的简略介绍。

### 1. 光谱分析

光谱分析发展较早,建立于19世纪60年代,20世纪30年代得到迅速发展。其中最早发展起来的是原子发射光谱分析(AES),它已有160年的历史,在20世纪的50年代以前几乎是惟一的原子光谱法,40年代中期由于电子学中光电倍增管的出现,促进了原子发射光谱分析、红外光谱法、紫外-可见分光光度法、X射线荧光光谱法的发展,50年代原子物理学的发展促进了原子吸收分光光度法、原子荧光分光光度法的兴起,60年代等离子体、傅里叶变换和激光技术的出现,促进了光谱分析的深入发展,70年代出现了等离子体-原子发射光谱分析,傅里叶变换红外光谱法、激光光谱法等一系列分析技术。值得一提的是70年代发展起来的激光共振电离光谱法,它的灵敏度达到了极限,可以检测单个原子。等离子体发射光谱法经20年的发展,现在已被公认为最有前途的常规分析技术之一。紫外-可见分光光度法50年代后期,发展势头减弱。红外光谱法50年代问世,70年代推出了傅里叶变换红外光谱仪,现已日渐完善。

### 2. 电化学分析

电化学分析具有悠久的发展历史,作为分析手段,早在19世纪末就有了电解分析,也称电重法。20世纪初迅速发展了电位滴定法,20年代制成了玻璃电极,不但可简捷地测pH,也为电位分析中的酸碱滴定创造了条件。电导滴定始于20世纪初,40年代出现了高频电导滴定。30年代已发展了各类电滴定法。1922年海洛夫斯基(J. Heyrovsk'y)首创了极谱分析,并发展为极谱学,标志着电化学分析已迈进了新的历史阶段。60年代离子选择电极和固定化制作的酶电极相继问世,促进了电位法的发展,70年代又推出了化学修饰电极,发展了多种生物传感器和微电极伏安法,适应了生物分析和生命科学研究的需要。80年代在研究开发化学修饰电极、超微电极、纳米电极、光学纤维化学传感器等方面,在技术上和应用上都得到了很大进展。综观电化学的发展,目前正呈现出蓬勃上升的趋势。

### 3. 色谱法

色谱法为应用广泛的分离分析技术,也是分离提纯的重要制备手段。色谱法发展较晚,但发展极为迅速。20世纪40年代首创了液-液分配色谱法,继之又推出气相色谱法和纸色谱法,50年代出现了薄层色谱法。由于色谱法的分离性能优越,而质谱法对单一化合物能有效地进行结构鉴定,因此60年代出现了联用技术,如气相色谱-质谱联用,液相色谱-质谱联用等。后来又发展了色谱和核磁共振的联用等。因为联用后仪器的优越性能大大发挥,所以发展迅速,已成为色谱法的重要组成部分。70年代研究并提高了输液高压泵和柱填料的性能,在此基础上崛起了高效液相色谱法,克服了经典液相色谱法的缺陷,为生物分析和生命科学研究提供了