



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

分析化学原理

第二版

吴性良 孔继烈 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

分析化学原理

第二版

吴性良 孔继烈 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容充实,以测定各类物质从常量组分至痕量组分,建立起系统的“量”的相关概念,内容涵盖了化学分析法、电分析化学法、光学分析法、分离分析法、质谱及其他分析法和化学计量学初步及分析过程六部分 33 章内容。本书对经典分析方法的内容进行了提炼压缩,对近年来分析化学的新进展新方法,如生物电化学传感器、毛细管电泳、测量的不确定度、生物质谱技术、微流控分析及成像分析方法等进行了阐述。

本书可作为高等院校理科化学专业学生教材,也可供大中专院校相关专业师生及广大分析科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

分析化学原理/吴性良,孔继烈主编. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2010.7
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-122-08569-6

I. 分… II. ①吴…②孔… III. 分析化学-高等学
校-教材 IV. O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 088202 号

责任编辑:杜进祥 向 东
责任校对:蒋 宇

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 46 字数 1375 千字 2010 年 9 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:90.00 元

版权所有 违者必究



第二版前言

《分析化学原理》初版以来,受到了学界同行的关注,于2007年获得上海市优秀教材奖,次年被列入“十一五”国家教材规划。为此,复旦大学分析化学学科全体人员就教材编写与学科发展等问题进行了三次系统讨论,对第二版教材的修订编写取得以下共识。

1. 大体沿用初版教材编写的结构框架及取材原则。

2. 分析化学教学中的教材、教学大纲、讲授提纲是既有联系又有区别的三个层面,它们的着眼点不同。第二版《分析化学原理》不应局限于课程设置的因素,在内容上要较全面地反映分析化学学科的现状,反映21世纪以来分析化学前沿发展的特点。选取的内容虽不能面面俱到,但要包含最基础、最重要的内容,并要便于引导学习思考。

3. 教学活动是一个集体项目,教材不仅是长期教学实践积累的成果,也是分析化学学科整个团队研究成果支撑的结果。第二版的教材内容应加强与学科前沿研究的沟通。

根据上述精神,第二版对初版内容进行了增删、重组。主要改动方面有:环绕修改或增添结构分析的基础内容,新增与生物物质为对象的分析内容,以及其他一些重要的分析方法,共计33章分6篇。新增有核磁共振波谱法、X射线荧光光谱法(以上插入第3篇)、热分析法、光学成像分析法四章,重组成章的有质谱分析法、质谱的联用技术、流动注射分析和微流控分析三章(以上各章组成第5篇,原第5篇改为第6篇)。

《分析化学原理》第二版是在初版的基础上修订、编写而成的,由吴性良、孔继烈、杨芃原策划,吴性良、孔继烈主编。参加修改和编写的人员有:马林(修改第1篇),刘宝红(修改第2篇),张祥民(修改第4篇),朱万森(修改第6篇,编写第13章中13.2.3一些重要有机化合物的紫外吸收带、13.6.2紫外可见吸收光谱在有机化合物研究中的应用,第14章中14.6.1若干红外光谱技术、14.7激光拉曼光谱法简介,附录二矩阵的基本运算),余绍宁(编写第14章中14.6.2红外光谱蛋白质二级结构分析),樊惠芝(修改第15章中15.4磷光分析法、15.5化学发光分析法),孙尧俊(编写第16章核磁共振波谱法),牛国兴(编写第19章X射线荧光光谱法),陆豪杰(编写第25章质谱分析法、第26章质谱的联用技术),魏勋斌(编写第27章光学与其他成像分析法),朱源龙、裴燕(编写第28章热分析),刘宝红、刘芸(编写第29章中29.2微流控分析技术),孔继烈(修改第1章),吴性良(修改第2章、第3篇及第5篇的其余各章节)。马林、包慧敏、高明霞、雷杰、方彩云、陈惠、许雪姣等阅改了教材的全部例题、习题与问题,以及附录。同济大学化学系李通化教授仔细审阅了化学计量学的有关章节。全书由吴性良统稿。

本书的编写得到了复旦大学教材建设项目的支持,化学系主管领导徐华龙教授多次参加教材编写讨论会,并提出了中肯的意见。同时得到了历年参与分析化学教学全体任课教师的支持和帮助。这次再版也吸纳了初版以来使用本教材师生的意见和建议。在此一并致以感谢。

致谢本教材所列国内外有关著作、文献的作者,他们的工作为本教材的编写提供了撰写的基础和参考。

致谢化工出版社为本教材出版所付出的辛勤劳动。

即便再版,仍可能存在疏漏和不当之处,恳请读者批评指正。

吴性良 孔继烈

2010年4月于复旦大学



第一版前言

分析化学是大学化学类各专业的基础课程之一。在过去的 50 年中,复旦大学化学系对分析化学基础课程进行了多次重大的改革。1961 年对分析化学课程进行了两项改革,其一是定性分析部分并入一年级的无机化学课程,其二是在传统的“分析化学(一)”(定量化学分析)之后,增加以仪器分析为内容的“分析化学(二)”。实践表明,这两项改革,方向正确,教学效果很好。20 世纪 80 年代初,又对教材内容进行重新编写,更名为《定量分析》和《仪器分析》(复旦版)出版,构成了完整的分析化学基础课教材。这一成果对推动我国化学专业的分析化学基础课程改革起了积极作用。

20 世纪后半叶分析化学的飞速发展表明,有必要对分析化学的基础内容作出调整和充实。1994 年我们尝试把原来的定量分析课程与仪器分析课程合并,根据分析化学的知识结构特点,把课程的目标定格在所需要解决的问题上,兼顾测试方法与手段,重新组合课程内容,设立以定量分析为主线的分析化学课程及以结构分析为主线的谱学导论课程。复旦大学化学系把这一改革纳入复旦大学化学类专业课程体系改革的总方案(此方案在 2002 年获上海市优秀教学成果奖)中,并在实践的基础上编写相应的基础课教材《分析化学原理》及《谱学导论》(高教版,2001 年)。

分析化学是化学测量和表征的科学,它所涉及的范围极其广泛。从方法和手段上讲,它涉及现代科学技术的各个领域,包括化学、物理学、生物学、数学、计算机科学等;从研究的物质对象上讲,可以是无机物、有机物和生物物质;从测量的信息特征上讲,它是在分子、原子水平上认知物质,即进行定性、定量或结构的测定,测量对象的认知区位可以是整体的、表面的、微区的,获得信息的测量环境可以是离线的、在线的或是原位的。显然,由这“三维坐标”组成的立体空间表明,分析化学拥有庞大的知识容量。如何取舍本教材的编写内容,我们遵循着以下几个原则。

① 其内容应满足教育部颁发的“化学专业本科基本培养规格和基本教学要求”以及“化学专业和应用化学专业化学教学基本内容”的要求。

② 围绕课程的主要教学目标,针对测定各类物质从常量组分至痕量组分,建立起系统的“量”的相关概念。以此,提炼基本概念、基本理论,取舍基础内容,在提供科学研究的基础和实际应用间寻求平衡点。

③ 从有利于科学思维和方法的训练出发,注意适当的理论深度,同时引入必要的学科前沿知识,介绍学科发展的轨迹,以启迪创新意识。

根据以上原则,作者在近 20 年的教学实践中逐渐形成了本教材的编写体系。在第 1, 2 章对分析化学和定量分析的概念作简要介绍之后,按化学分析法、电化学分析法、光学分析法、分离分析法和化学计量学初步及分析过程五部分编写。与 20 世纪 80 年代两本复旦版的分析化学教材相比,提炼压缩了经典化学分析方法的内容,在电化学分析法中引入了生物电化学传感器、微电极及化学修饰电极等内容;光学分析法主要讨论以定量分析为主的光学光谱区域的各种分析方法,加强了现代光谱分析方法的内容;在分离分析方法中以色谱分析法为重点,加强了高效液相色谱的内容,新增了毛细管电泳分析及分析化学中的联用技术。化学计量学的发展已使它成为分析化学基础理论的组成部分,教材中以单独立篇的方式加以介绍,以示这一内容在基础教材中的应有地位,在第五篇中同时介绍数据的统计处理、分析测量的质量控制、测量的不确定度、分析试验设计、多元校准方法等内容。最后一章分析过程向读者介绍如何开展分析工作,作为本教材

的总结，并对流动注射技术及过程分析化学作简要介绍。本书主要讨论上述内容的基本原理及概念，因此取名为《分析化学原理》。但要真正理解和掌握所学的分析方法，还要与实验课程相结合，才能收到较好的效果。

分析化学中涉及的内容很多，我们仅选择一些重要的方法加以介绍，使学生掌握有关方法和测量的基本原理，了解它的应用特点，以便在今后的工作和学习中开拓思路，为深入学习提供基础。由于具体的分析方法众多，又涉及多种学科的基础知识，在教学实践中我们始终把握住以物质量的测量为主线索，把不同的方法串联起来，教学中仅讲授教材中的主要内容。我们尝试过108学时，90学时，甚至于72学时（辅以多媒体教学手段）实施教学。许多内容，特别是叙述性内容可由学生自学，通过比较、归纳等学习方法掌握知识，同时训练学生归纳思维的能力。近年来的讲授表明，这样做可收到较好的教学效果。

本教材在编写过程中，尽量注意其易读性，以便于学生自学。每章后给出基本的问题与习题，在“※”号之后的则是一些进一步思考的问题和习题；在每篇后还推荐了一批阅读材料，引导学生进一步深入学习，拓宽知识面，加深对教材内容的理解。

本书的编写得到了教育部人才培养基地创名牌课程项目和“十五”复旦大学教材建设项目的支持，并始终得到了化学系领导的大力支持；得到了陶增宁教授、朱世盛教授、杨芑原教授的热情鼓励；孔继烈、张祥民、陈治江、袁双生、邱德仁、汪乃兴、邓家祺等教授对教材原稿的部分章节的审阅，或对编写提供宝贵的资料或建议，在此由衷地向他们表示深深的感谢。

作者还要感谢章慧琴、董芳女士，她们为本教材打字绘图，付出了辛勤劳动。

在本教材编写过程中，参考了本教材所列的国内外有关著作，从中得到了许多启发和收益，在此一并表示感谢。

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，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 马林

2004年3月



目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 分析化学的任务与作用	1
1.2 分析化学的变革与发展	1
1.3 分析化学的分类	2
1.3.1 分析化学方法的类型	2
1.3.2 化学分析法与仪器分析法	4
1.4 分析过程是获取物质化学信息的过程	4
1.4.1 获取物质信息的过程	5
1.4.2 分析过程的实际步骤	5
1.4.3 分析仪器的一般概念	6
1.5 分析化学的机遇与挑战	7
参考书目	9
第 2 章 定量分析引论	10
2.1 定量分析的基本方法	10
2.2 分析测量中的误差理论	11
2.2.1 测量误差	11
2.2.2 系统误差和随机误差	11
2.2.3 测量结果的分散性	13
2.2.4 有效数字	15
2.3 测量数据的表示和处理	16
2.3.1 测量数据的分布	16
2.3.2 测量数据的表示	17
2.3.3 异常值的判断和处理	18
2.4 定量分析的校准	21
2.4.1 物质的量与信号的函数关系	21
2.4.2 定量分析校准模式	23
2.5 定量分析方法的评价	25
2.5.1 准确度和精密度	25
2.5.2 灵敏度、检出限和测定限	25
2.5.3 选择性	26
问题与习题	27
参考书目	28

第 1 篇 化学分析法

第 3 章 化学分析法导论	30
3.1 溶液的浓度	30

3.1.1	活度与浓度	30
3.1.2	总浓度与平衡浓度	31
3.1.3	溶液浓度的表示	32
3.2	溶液体系中的化学平衡	33
3.2.1	溶液体系中的化学反应	33
3.2.2	化学平衡与平衡常数	35
3.3	化学分析中平衡处理及浓度计算的一般方法	35
3.3.1	分布系数	36
3.3.2	酸碱平衡与质子条件	39
3.3.3	副反应系数	42
3.4	滴定分析法	45
3.4.1	概述	45
3.4.2	标准溶液与基准物质	46
3.4.3	滴定方法的分类	46
3.5	滴定分析法的计算	47
3.5.1	计算的基本关系式	47
3.5.2	等物质的量反应规则	48
3.5.3	计算示例	49
3.6	化学反应的速率及动力学分析	50
3.6.1	化学反应速率	50
3.6.2	动力学分析法	51
	问题与习题	52
第4章	酸碱滴定法	55
4.1	酸碱平衡中氢离子浓度的计算	55
4.1.1	强酸或强碱溶液	55
4.1.2	一元弱酸或弱碱溶液	56
4.1.3	多元酸或碱溶液	58
4.1.4	混合酸溶液	59
4.1.5	两性物质的溶液	60
4.1.6	弱酸及其共轭碱的溶液	63
4.2	酸碱滴定曲线及滴定终点的检测	64
4.2.1	酸碱指示剂	64
4.2.2	典型酸碱体系的滴定曲线	67
4.2.3	终点误差	75
4.3	酸碱滴定法的应用	77
4.3.1	酸碱标准溶液	77
4.3.2	应用示例	78
4.4	非水溶液中的酸碱滴定	81
4.4.1	溶剂的分类	81
4.4.2	溶剂的性质	81
4.4.3	非水滴定条件的选择	83
	问题与习题	84
第5章	络合滴定法	86
5.1	氨羧络合剂	86

5.2 络合滴定的基本原理	87
5.2.1 络合滴定曲线及终点误差	87
5.2.2 酸效应曲线和滴定的最高酸度	92
5.2.3 络合滴定的终点检测	93
5.3 络合滴定的选择性	97
5.3.1 问题的提出	97
5.3.2 提高络合滴定选择性的方法	98
5.3.3 常用掩蔽剂	100
5.4 络合滴定的应用	101
5.4.1 直接滴定法的应用	101
5.4.2 返滴定法的应用	102
5.4.3 置换滴定法的应用	102
5.4.4 间接滴定法的应用	103
问题与习题	103
第6章 氧化还原滴定法	106
6.1 氧化还原反应	106
6.1.1 氧化还原反应与电极电位	106
6.1.2 氧化还原反应的完全程度	110
6.1.3 氧化还原反应速度及其影响因素	111
6.2 氧化还原滴定	113
6.2.1 滴定曲线	113
6.2.2 滴定的终点检测	115
6.2.3 滴定前的预处理	116
6.3 几种重要的氧化还原滴定方法	118
6.3.1 高锰酸钾法	118
6.3.2 重铬酸钾法	120
6.3.3 碘法	121
问题与习题	124
第7章 重量分析和沉淀滴定法	126
7.1 沉淀物的溶解度及其影响因素	126
7.1.1 溶解度与溶度积	126
7.1.2 影响沉淀溶解度的因素	127
7.2 沉淀的形成及纯度	130
7.2.1 沉淀的类型	130
7.2.2 沉淀的形成	131
7.2.3 沉淀的沾污	133
7.3 重量分析法	134
7.3.1 概述	134
7.3.2 沉淀的条件及方法	135
7.3.3 沉淀的洗涤和灼烧	137
7.3.4 有机沉淀剂	138
7.4 沉淀滴定法	139
7.4.1 滴定曲线	139
7.4.2 采用不同指示剂的银量法	140

问题与习题·····	142
第1篇参考书目·····	144

第2篇 电分析化学法

第8章 电分析化学导论 ·····	146
8.1 电分析化学方法及分类·····	146
8.2 电化学电池·····	147
8.2.1 概念、术语·····	147
8.2.2 电池电动势与能斯特方程式·····	150
8.2.3 从电极电位计算电池电动势·····	152
8.3 电化学过程中的几个问题·····	154
8.3.1 电极反应的电子转移过程·····	154
8.3.2 电极反应速率·····	155
8.3.3 电极与溶液的界面·····	157
8.3.4 传质过程·····	158
8.4 电化学电池的重要部件·····	158
8.4.1 液接界电位与盐桥·····	158
8.4.2 电极的类型·····	159
问题与习题·····	162
第9章 电位分析法及离子选择性电极 ·····	164
9.1 电位分析法基本原理及实验装置·····	164
9.1.1 基本原理及测量装置·····	164
9.1.2 电位测量用的仪器·····	164
9.2 离子选择性电极·····	166
9.2.1 分类·····	166
9.2.2 晶体膜电极·····	166
9.2.3 刚性基质电极·····	169
9.2.4 流动载体电极·····	171
9.2.5 气敏电极·····	172
9.2.6 生物选择性电极·····	173
9.2.7 离子敏感场效应晶体管·····	174
9.3 离子选择性电极的性能参数·····	175
9.3.1 能斯特响应、线性范围、检出限·····	175
9.3.2 选择性系数·····	176
9.3.3 响应时间及内阻·····	176
9.4 直接电位法·····	177
9.4.1 直接电位法的测量·····	177
9.4.2 定量校准方法·····	178
9.4.3 直接电位法的准确度·····	180
9.4.4 直读法测量溶液的pH值·····	180
9.5 电位滴定法·····	181
问题与习题·····	184
第10章 电解分析与库仑分析法 ·····	186
10.1 电解基本原理·····	186

10.1.1	电解	186
10.1.2	电解方程式	187
10.1.3	超电位	188
10.2	电解分析法	189
10.2.1	控制电流电解分析法	189
10.2.2	控制电位电解分析法	190
10.2.3	汞阴极电解法	192
10.3	库仑分析法	192
10.3.1	基本原理	192
10.3.2	恒电位库仑分析法	193
10.3.3	库仑滴定法	194
10.3.4	微库仑分析法	197
	问题与习题	198
第 11 章	极谱分析法和伏安分析法	200
11.1	直流极谱法的基本原理	200
11.1.1	极谱仪器	200
11.1.2	极谱波	202
11.2	极谱电流与极谱定量分析	202
11.2.1	扩散电流方程式	202
11.2.2	影响扩散电流的主要因素	203
11.2.3	极谱的干扰电流	204
11.2.4	极谱定量的基本方法	207
11.3	直流极谱波方程式	208
11.3.1	极谱波的类型	208
11.3.2	简单金属离子的可逆极谱波方程	208
11.3.3	络合离子的可逆极谱波方程	210
11.4	极谱及伏安分析的其他方法	211
11.4.1	单扫描极谱法和循环伏安法	212
11.4.2	脉冲极谱法	214
11.4.3	极谱催化波	215
11.4.4	溶出伏安法	217
11.5	伏安法的电极进展	218
11.5.1	超微电极	218
11.5.2	化学修饰电极	218
11.5.3	基于氧电极的生物传感器	220
	问题与习题	222
第 2 篇	参考书目	223

第 3 篇 光学分析法

第 12 章	光学分析法导论	227
12.1	电磁辐射的基本特征	227
12.1.1	电磁辐射的两重性	227
12.1.2	电磁波谱	228
12.2	辐射与物质的相互作用及其意义	229

12.2.1	折射与反射	229
12.2.2	干涉与衍射	230
12.2.3	散射	231
12.2.4	吸收与发射	232
12.3	光学分析法的分类	232
12.3.1	类型	232
12.3.2	各电磁波谱区的光谱方法	232
12.4	光学光谱法的仪器	234
12.4.1	光学光谱仪的总体结构	234
12.4.2	光源	236
12.4.3	波长选择器	236
12.4.4	试样装置	241
12.4.5	检测器及读出装置	241
	问题与习题	244
第 13 章	紫外-可见分光光度法	246
13.1	选择吸收及吸收光谱的获得	246
13.1.1	选择吸收	246
13.1.2	吸收光谱	247
13.1.3	分光光度计	248
13.2	紫外可见吸收光谱	249
13.2.1	基本概念	249
13.2.2	紫外可见吸收光谱的类型	250
13.2.3	一些重要有机化合物的紫外吸收带	252
13.3	光的吸收定律及定量分析方法	255
13.3.1	吸收定律	255
13.3.2	偏离吸收定律的因素	257
13.3.3	定量分析方法	260
13.4	显色反应与光度测量	262
13.4.1	显色反应及其影响因素	262
13.4.2	光度测量	264
13.4.3	分光光度法的灵敏度和选择性	264
13.5	分光光度法的其他分析技术	266
13.5.1	光度滴定法	266
13.5.2	示差分光光度法	267
13.5.3	双波长分光光度法	269
13.5.4	导数分光光度法	271
13.6	分光光度法在化学研究中的应用	272
13.6.1	离子平衡研究	272
13.6.2	紫外可见吸收光谱在有机化合物研究中的应用	274
13.6.3	吸收光谱电化学	276
	问题与习题	277
第 14 章	红外光谱法	280
14.1	分子吸收红外辐射的必要条件	280
14.2	分子的转动光谱及振动光谱	281

14.2.1	分子转动光谱	281
14.2.2	分子振动方程式及其位能曲线	282
14.2.3	分子的振动模式及其类型	283
14.3	红外光谱的特征性及其影响因素	284
14.3.1	红外光谱的基团频率	284
14.3.2	影响基团频率和吸收带形状的因素	286
14.4	红外分光光度计	288
14.4.1	色散型红外分光光度计	288
14.4.2	傅里叶变换红外光谱仪	289
14.5	红外光谱分析	291
14.5.1	定性分析	291
14.5.2	定量分析方法	293
14.6	红外光谱分析的其他技术简介	294
14.6.1	若干红外光谱技术	294
14.6.2	红外光谱蛋白质二级结构分析	296
14.7	激光拉曼光谱法简介	298
14.7.1	方法及仪器	299
14.7.2	特点和应用	300
	问题与习题	301
第 15 章	分子发光分析法	303
15.1	光致发光及其测量	303
15.1.1	激发态及去活化过程	303
15.1.2	激发光谱与荧光光谱	305
15.1.3	荧光的测量	307
15.1.4	磷光的测量	310
15.2	荧光发射及其影响因素	310
15.2.1	荧光发射与分子结构	310
15.2.2	溶液荧光的强度及影响因素	312
15.2.3	溶液荧光的猝灭	313
15.3	荧光分析法	315
15.3.1	荧光的定量分析方法	315
15.3.2	荧光测定的近代技术	316
15.3.3	应用	318
15.4	磷光分析法	319
15.4.1	磷光的定量分析方法	319
15.4.2	室温磷光法	320
15.4.3	应用	321
15.5	化学发光分析法	321
15.5.1	基本原理	321
15.5.2	化学发光反应及应用	322
15.6	光化学传感器	324
15.6.1	基本结构	324
15.6.2	类型、原理及应用	326
	问题与习题	328

第 16 章 核磁共振波谱法	330
16.1 核磁共振的基础	330
16.1.1 核磁共振的产生	330
16.1.2 核磁共振谱	333
16.2 核磁共振谱仪	335
16.2.1 连续波核磁共振谱仪	335
16.2.2 脉冲傅里叶变换核磁共振谱仪	336
16.3 化学位移及积分值	336
16.3.1 化学位移及其影响因素	336
16.3.2 氢核磁共振谱中的化学位移值	340
16.3.3 吸收峰的积分值	340
16.4 自旋耦合及自旋裂分	341
16.4.1 自旋-自旋偶合作用	341
16.4.2 化学等价与磁等价	341
16.4.3 自旋裂分	342
16.4.4 几类常见的偶合及其偶合常数	344
16.5 ^1H 核磁共振的辅助手段及谱图的解析	345
16.5.1 ^1H 核磁共振的辅助技术	345
16.5.2 ^1H 核磁共振谱图的解析举例	346
16.6 核磁共振碳谱	349
16.6.1 ^{13}C 核磁共振的化学位移	349
16.6.2 ^{13}C 核磁共振的偶合作用	350
16.6.3 ^{13}C 核磁共振谱图的解析举例	352
16.7 其他核磁共振技术	353
16.7.1 二维核磁共振	353
16.7.2 固体核磁共振	355
16.7.3 核磁共振成像	357
问题与习题	357
第 17 章 原子发射光谱法	360
17.1 原子光谱	360
17.1.1 原子的结构与光谱线	360
17.1.2 原子的激发与电离	362
17.2 光谱仪器	363
17.2.1 激发光源	363
17.2.2 光谱仪	366
17.3 光谱定性分析及半定量分析	370
17.3.1 光谱定性分析	370
17.3.2 半定量分析法	371
17.4 原子发射谱线的强度与试样浓度的关系	371
17.4.1 谱线的强度及影响因素	371
17.4.2 谱线强度与元素浓度的关系式	373
17.5 光谱定量分析	374
17.5.1 内标法原理	374
17.5.2 定量分析校准方法	375

17.5.3 谱线测量中的背景问题	376
问题与习题	376
第 18 章 原子吸收光谱法	378
18.1 基本原理	378
18.1.1 辐射的原子吸收	378
18.1.2 原子吸收谱线的轮廓	379
18.1.3 原子吸收值与原子浓度关系	380
18.2 原子吸收分光光度计	382
18.2.1 光路结构	382
18.2.2 锐线光源	383
18.2.3 原子化器	384
18.3 原子吸收分析方法	387
18.3.1 定量分析	387
18.3.2 原子吸收分析的其他技术	389
18.4 干扰及其消除方法	390
18.4.1 光谱干扰	390
18.4.2 物理干扰	392
18.4.3 化学干扰	393
18.4.4 电离干扰	393
18.5 原子荧光光谱法	393
18.5.1 原子荧光的产生及类型	394
18.5.2 原子荧光的测量	395
18.5.3 定量分析及其应用	395
问题与习题	396
第 19 章 X 射线荧光光谱法	398
19.1 X 射线荧光光谱的基本概念	398
19.1.1 X 射线的本质和定义	398
19.1.2 X 射线与物质的相互作用	399
19.1.3 特征荧光 X 射线及俄歇效应	401
19.2 X 射线荧光光谱仪	403
19.2.1 主要部件及其性能	403
19.2.2 色散型 X 射线荧光光谱仪及其结构特征	407
19.3 X 射线荧光分析的样品制备	408
19.3.1 固体样品的制备	408
19.3.2 液体样品的制备	409
19.4 X 射线荧光光谱分析法	409
19.4.1 定性分析	409
19.4.2 半定量分析	411
19.4.3 定量分析	412
19.5 X 射线荧光光谱分析的其他技术及应用	414
19.5.1 X 射线荧光光谱分析的其他技术	414
19.5.2 特点及应用举例	417
问题与习题	418
第 3 篇参考书目	418

第4篇 分离分析法

第20章 分离方法	422
20.1 分离方法中的一些概念	422
20.2 沉淀分离法	423
20.2.1 用无机沉淀剂进行分离	423
20.2.2 用有机沉淀剂进行分离	425
20.2.3 共沉淀分离法	426
20.3 溶剂萃取分离法	427
20.3.1 分配系数、分配比和萃取百分率	428
20.3.2 溶剂萃取的主要类型	430
20.4 离子交换分离法	433
20.4.1 离子交换树脂及其性能	433
20.4.2 离子的交换分离	435
20.5 其他分离方法	437
20.5.1 挥发和蒸馏分离法	437
20.5.2 膜分离法	437
20.5.3 浮选分离法	438
问题与习题	438
第21章 色谱分析法导论	440
21.1 色谱分离	440
21.1.1 色谱分离的定义及分类	440
21.1.2 平板色谱分离	441
21.1.3 柱色谱分离	442
21.2 色谱过程热力学	444
21.2.1 分配平衡	445
21.2.2 保留值	445
21.2.3 保留值的热力学性质	447
21.3 色谱过程动力学	448
21.3.1 塔板理论	448
21.3.2 速率理论	451
21.4 柱色谱的总分离效能指标	452
21.4.1 分离度	452
21.4.2 有效塔板数与分离度的关系	453
21.4.3 基本分离方程	453
21.5 色谱定性及定量分析	454
21.5.1 色谱定性分析	454
21.5.2 色谱定量关系式及色谱峰的测量	455
21.5.3 色谱定量的校准方法	456
问题与习题	459
第22章 气相色谱法	461
22.1 气相色谱仪	461
22.2 气相色谱的固定相	462

22.2.1	载体	462
22.2.2	气液色谱固定液	463
22.2.3	气固色谱固定相	465
22.3	气相色谱峰展宽的因素	466
22.3.1	气相色谱的速率方程	466
22.3.2	速率方程的讨论	467
22.4	色谱分离条件	468
22.4.1	填充色谱柱与固定相	469
22.4.2	色谱分离的温度及程序升温	469
22.4.3	流动相及其流速	471
22.4.4	进样及裂解技术	471
22.5	气相色谱的检测器	472
22.5.1	浓度型检测器	472
22.5.2	质量型检测器	474
22.5.3	检测器的主要性能指标	476
22.6	气相色谱的其他技术	478
22.6.1	毛细管柱气相色谱法	478
22.6.2	气相色谱与红外光谱的联用技术	480
22.7	气相色谱法的应用举例	482
	问题与习题	484
第 23 章	高效液相色谱法	486
23.1	高效液相色谱仪	486
23.1.1	基本结构	486
23.1.2	主要部件	486
23.2	固定相和流动相	488
23.2.1	固定相	488
23.2.2	流动相	489
23.3	色谱峰扩展及其影响因素	489
23.3.1	液相色谱速率理论方程	489
23.3.2	柱外效应	491
23.4	高效液相色谱法的主要分离类型	491
23.4.1	液液分配色谱	491
23.4.2	液固吸附色谱	492
23.4.3	键合相色谱法	493
23.4.4	离子交换色谱法	494
23.4.5	离子对色谱法	497
23.4.6	凝胶渗透色谱法	497
23.4.7	液相色谱法分离类型的选择	498
23.5	超临界流体色谱	498
23.5.1	基本概念	498
23.5.2	仪器	499
23.5.3	流动相与固定相	500
23.5.4	应用	501
	问题与习题	502