

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 分 析 化 学

孙毓庆 主 编  
胡育筑 李章万 副主编

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书为“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”之一。

本书是基础分析化学部分,含两篇:第一篇为化学定量分析(含误差与分析数据处理),包括滴定分析法概论、酸碱滴定法、络合滴定法、氧化还原滴定法、沉淀滴定法和重量分析法等内容,共7章;第二篇为仪器分析,包括电位分析法、光学分析法概论、紫外-可见分光光度法、荧光分析法、红外分光光度法、核磁共振波谱法、质谱法、色谱分析法等内容,共11章。

本书贯彻“三基”、“五性”的精神,符合分析化学的教学需要,系统性强,内容全面、新颖、简洁明了。

本书配套有《仪器分析选论》、《分析化学简明教程》、《分析化学习题集》、《分析化学实验》及《分析化学多媒体教学软件》,其内容与《分析化学》密切相关。

本书可作为高等院校药学、化学、化工等专业本科生教材,也可供相关专业教学、科研人员阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

分析化学/孙毓庆主编. —北京:科学出版社,2003.8  
(普通高等教育“十五”国家级规划教材)

ISBN 7-03-011879-0

. 分... . 孙... . 分析化学-高等学校-教材 . O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 065800 号

责任编辑:杨向萍 刘俊来 / 责任校对:包志虹  
责任印制:安春生 / 封面设计:黄华斌 陈 敬

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2003年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年5月第二次印刷 印张:37 1/4

印数:3 001—6 000 字数:730 000

定价:39.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换 环伟)

(O-1818 0102)

(O-1818 0102)

## 《分 析 化 学》编委会

主 编 孙毓庆

副主编 胡育筑 李章万

编 委 (以姓氏笔画为序)

孙毓庆(沈阳药科大学)

李章万(四川大学)

吴玉田(第二军医大学)

杜迎翔(中国药科大学)

郑斯成(北京大学)

胡育筑(中国药科大学)

赵怀清(沈阳药科大学)

# 前 言

“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”《分析化学》为系列教材,配套有《仪器分析选论》、《分析化学简明教程》、《分析化学习题集》、《分析化学实验》及《分析化学多媒体教学软件》等教学参考书及电子课件。本书是在《分析化学》(第4版)的基础上,重新修订而成。

自《分析化学》(第3版)及《分析化学》(第4版)出版以来,10年上、下册共印刷十余万册。两次修订和10年的教学实践说明,该书已取得了较好的效果。《分析化学》(第3版),1996年获“卫生部全国优秀教材二等奖”、“国家医药管理局优秀图书三等奖”;《分析化学》(第4版)与《分析化学习题集》,获“教育部2002年全国普通高等学校优秀教材二等奖”。

根据分析化学的发展、教学改革和扩大本教材使用范围的需要,遵循国家教委1991年颁发的《全国普通高等学校药学专业(四年制)分析化学课程基本要求》的精神,并参考普通化学专业的教学要求,修订本教材。

在修订中,本教材认真贯彻了“教育必须为现代化建设服务”;“为培养目标服务,以提高教材质量为目标”;强调“三基”(基本内容、基本理论与基本技能)、“五性”(思想性、科学性、先进性、启发性与适用性);减轻学生过重负担和把教材分为“掌握、熟悉与了解”三个层次及向生命科学倾斜等原则。

遵循上述原则,我们将第4版教材的内容重新安排,分为三篇。本书含第一、二两篇,为基础分析化学的内容,包括《分析化学》(第4版)上、下册的化学定量分析及仪器分析的基本内容,并在原有基础上对章节安排和主要内容做了一定的改动。第三篇为仪器分析选论,面向已学完基础分析化学的学生,重点介绍分析化学学科前沿领域的新技术和新方法,以及某些院校或专业涉及的一些分析方法,以使本教材能适用于不同专业、不同院校的本科教学及选修课教学的需要,和学有余力学生的自学需要。第三篇将作为《分析化学》系列教材的一册单独出版。

近年来,分析化学飞速发展,新方法层出不穷,考虑本教材是“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”,应具有一定的先进性和较广泛的适用性,因此《仪器分析选论》主要收载了一些与复杂体系分析、化学结构分析及生命科学研究相关的常用新方法、新技术。包括:计算分光光度法、近红外分光光度法、拉曼光谱法、碳核磁共振波谱法、综合光谱解析法、液相色谱溶剂系统优化法、毛细管电泳法、微流控芯片分析系统、免疫分析及色谱联用技术等,还包括一些在本书未涉及的常用仪器分析方法(如伏安法、毛细管气相色谱法、热分析法、X射线衍射分析法、流动注射分

析法、原子吸收分光光度法等)及复杂物质的分离分析技术等。

修订后,新版《分析化学》共含 18 章。第一篇为化学定量分析法,共 7 章(含绪论、误差和分析数据处理);第二篇为仪器分析法,共 11 章。

本书由孙毓庆(主编)、胡育筑(副主编)、李章万(副主编)、吴玉田、郑斯成、赵怀清、杜迎翔等同志共同编写而成。在编写中得到沈阳药科大学、中国药科大学及科学出版社的刘俊来、杨向萍等诸多同志的大力支持,一并致谢。

本书主要供高等院校药学、化学、化工等专业的本科教学使用,可作为分析化学基础课教材。

《分析化学习题集》、《分析化学实验》及《分析化学多媒体教学软件》是为配合《分析化学》教材的教学需要而编写,有关这些书籍的编写内容将在各书中介绍。

书中的错误与不当之处,恳请读者批评指正。

孙毓庆

2003 年 5 月

# 目 录

## 前言

## 第一篇 化学定量分析

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 绪论.....               | 3  |
| 1 1 分析化学的任务与作用 .....        | 3  |
| 1 2 分析化学方法的分类 .....         | 4  |
| 1 2 1 结构分析、定性分析与定量分析 .....  | 4  |
| 1 2 2 无机分析与有机分析 .....       | 4  |
| 1 2 3 化学分析与仪器分析 .....       | 4  |
| 1 2 4 常量、半微量、微量与超微量分析 ..... | 5  |
| 1 2 5 例行分析与仲裁分析 .....       | 6  |
| 1 3 分析化学的发展与趋势 .....        | 6  |
| 1 4 分析化学文献 .....            | 9  |
| 1 4 1 丛书、手册 .....           | 9  |
| 1 4 2 杂志 .....              | 10 |
| 参考文献 .....                  | 12 |
| 第 2 章 误差和分析数据处理 .....       | 13 |
| 2 1 概述.....                 | 13 |
| 2 2 测量误差.....               | 13 |
| 2 2 1 绝对误差和相对误差 .....       | 13 |
| 2 2 2 系统误差和偶然误差 .....       | 15 |
| 2 2 3 准确度和精密度 .....         | 16 |
| 2 2 4 误差的传递 .....           | 19 |
| 2 2 5 提高分析准确度的方法 .....      | 22 |
| 2 3 有效数字及运算法则.....          | 23 |
| 2 3 1 有效数字 .....            | 23 |
| 2 3 2 运算法则 .....            | 24 |
| 2 3 3 数字修约规则 .....          | 25 |
| 2 4 有限量实验数据的统计处理.....       | 26 |
| 2 4 1 $t$ 分布 .....          | 26 |

|            |                    |    |
|------------|--------------------|----|
| 2 4 2      | 平均值的精密度和置信区间 ..... | 28 |
| 2 4 3      | 显著性检验 .....        | 30 |
| 2 4 4      | 可疑数据的取舍 .....      | 35 |
| 2 4 5      | 相关与回归简介 .....      | 37 |
| 思考题 .....  |                    | 39 |
| 习题 .....   |                    | 39 |
| 参考文献 ..... |                    | 40 |
| 第 3 章      | 滴定分析法概论 .....      | 41 |
| 3 1        | 概述 .....           | 41 |
| 3 1 1      | 滴定分析法及有关术语 .....   | 41 |
| 3 1 2      | 滴定方式 .....         | 42 |
| 3 2        | 标准溶液 .....         | 42 |
| 3 2 1      | 标准溶液与基准物质 .....    | 42 |
| 3 2 2      | 标准溶液浓度的表示方法 .....  | 43 |
| 3 2 3      | 滴定度 .....          | 45 |
| 3 3        | 滴定分析的计算 .....      | 45 |
| 3 3 1      | 滴定分析计算的依据 .....    | 45 |
| 3 3 2      | 滴定分析计算实例 .....     | 46 |
| 3 3 3      | 被测物质量分数的计算 .....   | 47 |
| 3 4        | 滴定分析中的化学平衡 .....   | 48 |
| 3 4 1      | 分布系数和副反应系数 .....   | 48 |
| 3 4 2      | 电荷平衡和质量平衡 .....    | 49 |
| 3 4 3      | 化学平衡的系统处理方法 .....  | 50 |
| 思考题 .....  |                    | 51 |
| 习题 .....   |                    | 51 |
| 参考文献 ..... |                    | 52 |
| 第 4 章      | 酸碱滴定法 .....        | 53 |
| 4 1        | 概述 .....           | 53 |
| 4 2        | 水溶液中的酸碱平衡 .....    | 53 |
| 4 2 1      | 质子论的酸碱概念 .....     | 53 |
| 4 2 2      | 溶液中酸碱组分的分布 .....   | 56 |
| 4 2 3      | 酸碱溶液的 pH 计算 .....  | 58 |
| 4 3        | 酸碱指示剂 .....        | 62 |
| 4 3 1      | 指示剂的变色原理 .....     | 62 |
| 4 3 2      | 指示剂的变色范围 .....     | 63 |

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 4 3 3 | 影响指示剂变色范围的因素 ..... | 66  |
| 4 3 4 | 混合指示剂 .....        | 66  |
| 4 4   | 酸碱滴定法的基本原理 .....   | 67  |
| 4 4 1 | 强酸(强碱)的滴定 .....    | 67  |
| 4 4 2 | 一元弱酸(碱)的滴定 .....   | 70  |
| 4 4 3 | 多元酸(碱)的滴定 .....    | 74  |
| 4 5   | 滴定终点误差 .....       | 76  |
| 4 5 1 | 强酸(碱)的滴定终点误差 ..... | 76  |
| 4 5 2 | 弱酸(碱)的滴定终点误差 ..... | 77  |
| 4 6   | 应用与示例 .....        | 78  |
| 4 6 1 | 酸碱标准溶液的配制与标定 ..... | 78  |
| 4 6 2 | 应用与示例 .....        | 79  |
| 4 7   | 非水溶液中的酸碱滴定 .....   | 81  |
| 4 7 1 | 基本原理 .....         | 81  |
| 4 7 2 | 碱的滴定 .....         | 87  |
| 4 7 3 | 酸的滴定 .....         | 91  |
| 思考题   | .....              | 94  |
| 习题    | .....              | 95  |
| 参考文献  | .....              | 98  |
| 第 5 章 | 络合滴定法 .....        | 99  |
| 5 1   | 概述 .....           | 99  |
| 5 2   | 基本原理 .....         | 100 |
| 5 2 1 | 络合平衡 .....         | 100 |
| 5 2 2 | 络合滴定曲线 .....       | 106 |
| 5 2 3 | 金属指示剂 .....        | 108 |
| 5 2 4 | 滴定终点误差 .....       | 110 |
| 5 3   | 滴定条件的选择 .....      | 112 |
| 5 3 1 | 酸度的选择 .....        | 112 |
| 5 3 2 | 掩蔽剂的选择 .....       | 114 |
| 5 4   | 应用与示例 .....        | 117 |
| 5 4 1 | 标准溶液的配制和标定 .....   | 117 |
| 5 4 2 | 滴定方式及其应用 .....     | 119 |
| 思考题   | .....              | 121 |
| 习题    | .....              | 121 |
| 参考文献  | .....              | 122 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 第 6 章 氧化还原滴定法     | 123 |
| 6 1 概述            | 123 |
| 6 2 氧化还原反应        | 123 |
| 6 2 1 电极电位方程式     | 123 |
| 6 2 2 条件电位        | 124 |
| 6 2 3 影响条件电位的因素   | 125 |
| 6 2 4 氧化还原反应的进行程度 | 129 |
| 6 2 5 氧化还原反应的速率   | 131 |
| 6 3 氧化还原滴定        | 132 |
| 6 3 1 滴定曲线        | 132 |
| 6 3 2 指示剂         | 135 |
| 6 3 3 滴定前的预处理     | 137 |
| 6 4 常用氧化还原滴定方法    | 138 |
| 6 4 1 碘量法         | 138 |
| 6 4 2 高锰酸钾法       | 144 |
| 6 4 3 其他氧化还原滴定法   | 146 |
| 思考题               | 151 |
| 习题                | 151 |
| 参考文献              | 153 |
| 第 7 章 沉淀滴定法和重量分析法 | 154 |
| 7 1 概述            | 154 |
| 7 2 沉淀滴定法         | 154 |
| 7 2 1 银量法的基本原理    | 155 |
| 7 2 2 银量法终点的指示方法  | 157 |
| 7 2 3 应用示例        | 162 |
| 7 3 重量分析法         | 164 |
| 7 3 1 沉淀重量分析法     | 165 |
| 7 3 2 挥发重量法       | 178 |
| 思考题               | 180 |
| 习题                | 181 |
| 参考文献              | 182 |

## 第二篇 仪 器 分 析

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 第 8 章 电位分析法及永停滴定法 | 185 |
| 8 1 概述            | 185 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 8 2   | 电化学分析法的基本原理 .....        | 186 |
| 8 2 1 | 相界电位、(金属)电极电位、液接电位 ..... | 186 |
| 8 2 2 | 化学电池和电池电动势 .....         | 187 |
| 8 2 3 | 电极的分类 .....              | 188 |
| 8 2 4 | 可逆电极和可逆电池 .....          | 190 |
| 8 2 5 | 电极电位的测量 .....            | 191 |
| 8 3   | 直接电位法 .....              | 191 |
| 8 3 1 | 氢离子活度的测定 .....           | 192 |
| 8 3 2 | 其他离子浓度的测定 .....          | 197 |
| 8 4   | 电位滴定法 .....              | 204 |
| 8 4 1 | 仪器装置和方法原理 .....          | 204 |
| 8 4 2 | 确定电位滴定终点的方法 .....        | 205 |
| 8 4 3 | 应用与示例 .....              | 206 |
| 8 5   | 永停滴定法 .....              | 209 |
| 8 5 1 | 基本原理 .....               | 210 |
| 8 5 2 | 仪器与实验方法 .....            | 212 |
| 8 5 3 | 应用与示例 .....              | 212 |
|       | 思考题 .....                | 213 |
|       | 习题 .....                 | 213 |
|       | 参考文献 .....               | 215 |
| 第 9 章 | 光学分析法概论 .....            | 216 |
| 9 1   | 光学分析法的定义和分类 .....        | 216 |
| 9 2   | 电磁辐射及其与物质的相互作用 .....     | 217 |
| 9 2 1 | 电磁辐射和电磁波谱 .....          | 217 |
| 9 2 2 | 电磁辐射与物质的相互作用 .....       | 219 |
| 9 3   | 光谱分析法 .....              | 219 |
| 9 3 1 | 各电磁波谱区域及其相应的光谱分析法 .....  | 220 |
| 9 3 2 | 光谱分析法的类型与作用机理 .....      | 222 |
| 9 4   | 非光谱分析法 .....             | 225 |
| 9 4 1 | 折射法 .....                | 225 |
| 9 4 2 | 旋光和圆二色性法 .....           | 227 |
| 9 4 3 | X 射线衍射法 .....            | 229 |
| 9 5   | 光学分析仪器的基本组成 .....        | 231 |
| 9 5 1 | 辐射源 .....                | 231 |
| 9 5 2 | 分光系统 .....               | 232 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 9 5 3 辐射的检测 .....            | 232 |
| 9 6 光谱分析法发展概况 .....          | 232 |
| 参考文献.....                    | 233 |
| 第 10 章 紫外-可见分光光度法 .....      | 234 |
| 10 1 紫外-可见吸收光谱的基本概念 .....    | 234 |
| 10 1 1 跃迁类型 .....            | 234 |
| 10 1 2 紫外-可见吸收光谱中的常用术语 ..... | 236 |
| 10 1 3 吸收带及其与分子结构的关系 .....   | 237 |
| 10 1 4 影响吸收带的因素 .....        | 240 |
| 10 2 基本原理 .....              | 242 |
| 10 2 1 Lambert-Beer 定律 ..... | 242 |
| 10 2 2 偏离 Beer 定律的因素 .....   | 244 |
| 10 3 紫外-可见分光光度计 .....        | 248 |
| 10 3 1 主要部件 .....            | 249 |
| 10 3 2 分光光度计的光学性能与类型 .....   | 252 |
| 10 3 3 分光光度计的校正 .....        | 254 |
| 10 4 紫外-可见吸收光谱常规分析方法 .....   | 256 |
| 10 4 1 定性鉴别 .....            | 256 |
| 10 4 2 纯度检测 .....            | 258 |
| 10 4 3 单组分样品的定量方法 .....      | 259 |
| 10 4 4 多组分样品的定量方法 .....      | 261 |
| 10 4 5 光电比色法 .....           | 264 |
| 10 5 有机化合物分子结构研究简介 .....     | 267 |
| 10 5 1 有机化合物的紫外吸收光谱 .....    | 267 |
| 10 5 2 有机化合物结构的研究 .....      | 270 |
| 10 6 应用示例 .....              | 271 |
| 思考题 .....                    | 272 |
| 习题 .....                     | 273 |
| 参考文献 .....                   | 273 |
| 第 11 章 荧光分析法 .....           | 275 |
| 11 1 概述 .....                | 275 |
| 11 2 基本原理 .....              | 275 |
| 11 2 1 分子荧光光谱的产生 .....       | 275 |
| 11 2 2 激发光谱与发射光谱 .....       | 278 |
| 11 2 3 分子结构与荧光的关系 .....      | 280 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 11 2 4 影响荧光强度的外部因素 .....          | 284 |
| 11 3 定量分析方法 .....                 | 286 |
| 11 3 1 荧光强度与荧光物质浓度的关系 .....       | 286 |
| 11 3 2 定量分析方法 .....               | 288 |
| 11 4 荧光分析技术及应用 .....              | 289 |
| 11 4 1 荧光仪器简介 .....               | 289 |
| 11 4 2 应用与示例 .....                | 290 |
| 11 4 3 药物制剂的应用实例 .....            | 293 |
| 11 4 4 荧光分析新技术 .....              | 293 |
| 思考题 .....                         | 296 |
| 习题 .....                          | 296 |
| 参考文献 .....                        | 296 |
| 第 12 章 红外分光光度法 .....              | 298 |
| 12 1 概述 .....                     | 298 |
| 12 1 1 红外线的区划 .....               | 298 |
| 12 1 2 红外吸收光谱的表示方法 .....          | 298 |
| 12 1 3 红外吸收光谱与紫外吸收光谱的区别 .....     | 300 |
| 12 1 4 用途 .....                   | 301 |
| 12 2 基本原理 .....                   | 302 |
| 12 2 1 振动能级与振动光谱 .....            | 302 |
| 12 2 2 振动形式 .....                 | 303 |
| 12 2 3 基频峰与泛频峰 .....              | 307 |
| 12 2 4 特征峰与相关峰 .....              | 308 |
| 12 2 5 吸收峰的位置 .....               | 310 |
| 12 2 6 吸收峰的强度 .....               | 316 |
| 12 3 典型光谱 .....                   | 317 |
| 12 3 1 脂肪烃类 .....                 | 317 |
| 12 3 2 芳香烃类 .....                 | 319 |
| 12 3 3 醚、醇与酚类 .....               | 320 |
| 12 3 4 羰基化合物 .....                | 322 |
| 12 3 5 含氮化合物 .....                | 326 |
| 12 4 红外分光光度计及制样 .....             | 327 |
| 12 4 1 光栅红外分光光度计 .....            | 328 |
| 12 4 2 干涉分光型红外分光光度计 (FT-IR) ..... | 330 |
| 12 4 3 仪器性能 .....                 | 331 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 12 4 4 制样 .....           | 333 |
| 12 5 光谱解析法与示例 .....       | 334 |
| 12 5 1 光谱解析方法 .....       | 334 |
| 12 5 2 光谱解析示例 .....       | 337 |
| 思考题 .....                 | 339 |
| 习题 .....                  | 340 |
| 参考文献 .....                | 342 |
| 第 13 章 核磁共振波谱法 .....      | 343 |
| 13 1 概述 .....             | 343 |
| 13 2 基本原理 .....           | 345 |
| 13 2 1 原子核的自旋与磁矩 .....    | 345 |
| 13 2 2 核磁共振 .....         | 347 |
| 13 3 化学位移 .....           | 351 |
| 13 3 1 化学位移及其表示 .....     | 351 |
| 13 3 2 化学位移的影响因素 .....    | 353 |
| 13 3 3 质子化学位移的计算 .....    | 357 |
| 13 4 自旋偶合和自旋系统 .....      | 360 |
| 13 4 1 自旋偶合与自旋分裂 .....    | 360 |
| 13 4 2 自旋系统 .....         | 365 |
| 13 5 核磁共振氢谱的解析方法与示例 ..... | 368 |
| 13 5 1 送样要求 .....         | 369 |
| 13 5 2 解析顺序 .....         | 369 |
| 13 5 3 解析示例 .....         | 370 |
| 思考题 .....                 | 372 |
| 习题 .....                  | 372 |
| 参考文献 .....                | 375 |
| 第 14 章 质谱法 .....          | 376 |
| 14 1 概述 .....             | 376 |
| 14 2 质谱仪及工作原理 .....       | 377 |
| 14 2 1 样品的导入与离子源 .....    | 377 |
| 14 2 2 质量分析器 .....        | 380 |
| 14 2 3 离子检测器和质谱 .....     | 382 |
| 14 2 4 质谱仪的主要性能指标 .....   | 384 |
| 14 3 质谱中的离子与分裂类型 .....    | 385 |
| 14 3 1 离子类型 .....         | 385 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 14 3 2 阳离子的裂解类型 .....     | 388 |
| 14 4 质谱法测定分子结构原理 .....    | 390 |
| 14 4 1 相对分子质量的测定 .....    | 390 |
| 14 4 2 元素组成的确定 .....      | 391 |
| 14 4 3 推测官能团和化合物类型 .....  | 392 |
| 14 5 几类化合物质谱的裂解特征 .....   | 392 |
| 14 5 1 烃类 .....           | 392 |
| 14 5 2 羟基化合物 .....        | 395 |
| 14 5 3 醛与酮类 .....         | 396 |
| 14 5 4 酸与酯类 .....         | 397 |
| 14 6 应用与示例 .....          | 398 |
| 14 6 1 解析顺序 .....         | 398 |
| 14 6 2 解析示例 .....         | 399 |
| 思考题 .....                 | 400 |
| 习题 .....                  | 401 |
| 参考文献 .....                | 402 |
| 第 15 章 色谱分析法概论 .....      | 403 |
| 15 1 概述 .....             | 403 |
| 15 1 1 色谱法的起源和发展 .....    | 403 |
| 15 1 2 色谱法的分类 .....       | 404 |
| 15 2 色谱过程与术语 .....        | 405 |
| 15 2 1 色谱过程 .....         | 405 |
| 15 2 2 基本术语 .....         | 406 |
| 15 3 色谱分离的基本理论 .....      | 412 |
| 15 3 1 分配系数与保留行为的关系 ..... | 412 |
| 15 3 2 等温线 .....          | 412 |
| 15 3 3 塔板理论 .....         | 413 |
| 15 3 4 速率理论 .....         | 415 |
| 15 3 5 影响分离度的因素 .....     | 418 |
| 15 4 基本类型色谱法的分离机制 .....   | 419 |
| 15 4 1 吸附色谱法 .....        | 419 |
| 15 4 2 分配色谱法 .....        | 419 |
| 15 4 3 离子交换色谱法 .....      | 420 |
| 15 4 4 空间排阻色谱法 .....      | 421 |
| 15 5 色谱法的发展趋势 .....       | 422 |

|        |                    |     |
|--------|--------------------|-----|
| 15 5 1 | 新型固定相和检测器的研究 ..... | 422 |
| 15 5 2 | 色谱新技术的研究 .....     | 422 |
| 15 5 3 | 联用技术 .....         | 423 |
| 思考题    | .....              | 423 |
| 习题     | .....              | 424 |
| 参考文献   | .....              | 425 |
| 第 16 章 | 经典液相柱色谱法 .....     | 426 |
| 16 1   | 概述 .....           | 426 |
| 16 2   | 液-固吸附柱色谱法 .....    | 426 |
| 16 2 1 | 分离原理 .....         | 426 |
| 16 2 2 | 吸附剂 .....          | 427 |
| 16 2 3 | 色谱条件的选择 .....      | 428 |
| 16 3   | 离子交换柱色谱法 .....     | 429 |
| 16 3 1 | 离子交换树脂 .....       | 430 |
| 16 3 2 | 离子交换树脂的性能 .....    | 431 |
| 16 3 3 | 离子交换色谱法的分离原理 ..... | 431 |
| 16 4   | 平面色谱参数 .....       | 432 |
| 16 4 1 | 定性参数 .....         | 432 |
| 16 4 2 | 相平衡参数 .....        | 433 |
| 16 4 3 | 分离参数 .....         | 434 |
| 16 5   | 薄层色谱法 .....        | 435 |
| 16 5 1 | 分离原理 .....         | 435 |
| 16 5 2 | 固定相的选择 .....       | 436 |
| 16 5 3 | 展开剂的选择 .....       | 436 |
| 16 5 4 | 操作方法 .....         | 438 |
| 16 5 5 | 定性和定量分析 .....      | 440 |
| 16 5 6 | 高效薄层色谱法 .....      | 441 |
| 16 5 7 | 薄层扫描法简介 .....      | 443 |
| 16 6   | 纸色谱法 .....         | 447 |
| 16 6 1 | 基本原理 .....         | 447 |
| 16 6 2 | 实验方法 .....         | 447 |
| 16 7   | 应用与示例 .....        | 449 |
| 16 7 1 | 薄层色谱法应用示例 .....    | 449 |
| 16 7 2 | 经典柱色谱法应用示例 .....   | 450 |
| 思考题    | .....              | 451 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 习题.....                 | 451 |
| 参考文献.....               | 451 |
| 第 17 章 气相色谱法 .....      | 453 |
| 17.1 概述.....            | 453 |
| 17.1.1 气相色谱法的分类 .....   | 453 |
| 17.1.2 气相色谱仪的一般流程 ..... | 453 |
| 17.1.3 气相色谱法的特点 .....   | 454 |
| 17.1.4 气相色谱法的应用 .....   | 454 |
| 17.2 色谱柱.....           | 454 |
| 17.2.1 固定液.....         | 455 |
| 17.2.2 载体 .....         | 459 |
| 17.2.3 固体固定相 .....      | 460 |
| 17.3 仪器原理.....          | 461 |
| 17.3.1 气路 .....         | 461 |
| 17.3.2 进样器.....         | 462 |
| 17.3.3 柱温箱.....         | 462 |
| 17.3.4 检测器.....         | 463 |
| 17.3.5 数据处理 .....       | 470 |
| 17.3.6 实验条件的选择 .....    | 471 |
| 17.4 衍生化气相色谱法.....      | 473 |
| 17.4.1 硅烷化反应法 .....     | 474 |
| 17.4.2 酰化反应法 .....      | 474 |
| 17.4.3 酯化反应法 .....      | 474 |
| 17.4.4 烷基化反应 .....      | 475 |
| 17.5 定性与定量分析方法.....     | 475 |
| 17.5.1 定性分析法 .....      | 475 |
| 17.5.2 定量分析法 .....      | 476 |
| 17.6 应用与示例.....         | 481 |
| 17.6.1 合成药物分析 .....     | 481 |
| 17.6.2 中药成分分析 .....     | 482 |
| 17.6.3 复方制剂分析 .....     | 482 |
| 17.6.4 体内药物分析 .....     | 483 |
| 思考题.....                | 484 |
| 习题.....                 | 484 |
| 参考文献.....               | 485 |

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| 第 18 章 高效液相色谱法 .....                            | 486 |
| 18 1 概述 .....                                   | 486 |
| 18 2 高效液相色谱法的分类与基本原理 .....                      | 487 |
| 18 2 1 高效液相色谱法的分类 .....                         | 487 |
| 18 2 2 基本原理 .....                               | 488 |
| 18 3 各类高效液相色谱法 .....                            | 492 |
| 18 3 1 液-固吸附色谱法 .....                           | 492 |
| 18 3 2 液-液分配色谱法 .....                           | 493 |
| 18 3 3 化学键合相色谱法 .....                           | 494 |
| 18 3 4 其他色谱法 .....                              | 499 |
| 18 4 固定相 .....                                  | 500 |
| 18 4 1 液-固色谱固定相 .....                           | 500 |
| 18 4 2 化学键合相 .....                              | 501 |
| 18 4 3 其他固定相 .....                              | 503 |
| 18 5 流动相(溶剂系统) .....                            | 505 |
| 18 5 1 分离方程式 .....                              | 505 |
| 18 5 2 Snyder 溶剂分类 .....                        | 506 |
| 18 5 3 正相洗脱与反相洗脱 .....                          | 508 |
| 18 5 4 洗脱方式 .....                               | 509 |
| 18 5 5 溶剂系统选择的一般原则与简要步骤 .....                   | 510 |
| 18 6 高效液相色谱仪 .....                              | 511 |
| 18 6 1 输液泵 .....                                | 511 |
| 18 6 2 色谱柱与进样器 .....                            | 513 |
| 18 6 3 检测器 .....                                | 515 |
| 18 7 定性、定量分析方法 .....                            | 520 |
| 18 7 1 定性分析方法 .....                             | 520 |
| 18 7 2 定量分析方法 .....                             | 521 |
| 18 8 应用与示例 .....                                | 524 |
| 思考题 .....                                       | 530 |
| 习题 .....                                        | 531 |
| 参考文献 .....                                      | 531 |
| 附录 .....                                        | 533 |
| 附录 中华人民共和国法定计量单位 .....                          | 533 |
| 附录 国际制(SI)单位与厘米克秒制(cgs)单位换算及常用物理、<br>化学常数 ..... | 535 |