

研究生教学用书

教育部学位管理与研究生教育司推荐

现代色谱法 (第二版)

主 编 孙毓庆

副主编 邸 欣



科学出版社

研究生教学用书

现代色谱法

(第二版)

主 编 孙毓庆

副主编 邸 欣

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是中国科学院出版基金资助的图书和教育部学位管理与研究生教育司推荐的研究生教学用书,也是现代色谱技术的专著。

本书共 15 章,可分为 4 部分:①绪论与色谱基础理论两章;②色谱方法七章:气相色谱法、高效液相色谱法、薄层色谱法、毛细管电泳法及微流控分析法,新增加了超临界流体色谱法与制备色谱法;③色谱联用技术四章:气相色谱联用技术、液相色谱-质谱联用技术、毛细管电泳-质谱联用技术及多维指纹图谱技术;④其他相关方法两章:溶剂系统和运行电解质的选择与优化、样品预处理方法。

本书理论与实践并重,基础理论与应用实例配合,既有常用的色谱方法,又有大多数的色谱新技术。根据 16 年的研究生教学经验与使用情况,力求内容与叙述方法符合认识规律与启发性,以利于教学与色谱工作的需求。

本书可作为高等学校药学、化学及化工等专业研究生的色谱法教材及色谱工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代色谱法/孙毓庆主编. —2版. —北京:科学出版社,2015.6

研究生教学用书

ISBN 978-7-03-045017-3

I. ①现… II. ①孙… III. ①色谱法-研究生-教材 IV. ①O657.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 130849 号

责任编辑:赵晓霞/责任校对:张小霞

责任印制:徐晓晨/封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 6 月第 二 版 印张:37

2015 年 6 月第三次印刷 字数:915 000

定价:95.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《现代色谱法》编写委员会

主 编 孙毓庆

副主编 邱 欣

编 委(以姓名汉语拼音为序)

班允东 (沈阳药科大学)

陈 蓉 (中国药科大学)

邱 欣 (沈阳药科大学)

方 群 (浙江大学)

郭怀忠 (河北大学)

金 郁 (华东理工大学)

刘袁媛 (沈阳药科大学)

马 欣 (安捷伦科技[中国]有限公司)

彭 纓 (沈阳药科大学)

阮婧华 (贵州省中国科学院天然产物化学重点实验室)

孙国祥 (沈阳药科大学)

孙 璐 (沈阳药科大学)

孙秀燕 (烟台大学)

孙毓庆 (沈阳药科大学)

王祝伟 (安捷伦科技[中国]有限公司)

肖珊珊 (辽宁出入境检验检疫局)

赵怀清 (沈阳药科大学)

第二版前言

色谱分析法具有高分离效率、高选择性、高灵敏度及分析速度快(三高、一快)的特点,应用广泛、发展迅猛。它已成为复杂成分混合物首选的分离分析方法,已广泛用于天然产物、药物、化工产品、食品和环境分析,以及生物工程、临床诊断、生命科学研究及法医鉴定等诸多领域。

《现代色谱法及其在药物分析中的应用》(科学出版社,2005)是中国科学院出版基金资助和教育部学位管理与研究生教育司推荐的研究生教学用书。因此,该书具有研究生教材与参考书的双层功能。故在改编中,既要照顾教学的需要,又要考虑色谱工作者的需求。该书经过16年的研究生色谱法教学的使用,获得了较好的效果。

本书是在《现代色谱法及其在药物分析中的应用》(科学出版社,2005)的基础上,补充了一些新方法、新内容,改编而成。

本书共15章,相比《现代色谱法及其在药物分析中的应用》增加了超临界流体色谱法、制备色谱法、多维指纹图谱法,并根据色谱法的发展与应用的需要,将色谱联用技术扩充为3章。本书的组成可分为四部分:一是绪论与色谱基础理论;二是色谱方法七章:气相色谱法、高效液相色谱法、薄层色谱法、超临界流体色谱法、制备色谱法、毛细管电泳法及微流控分析法等;三是色谱联用技术四章:气相色谱联用技术、液相色谱-质谱联用技术、毛细管电泳-质谱联用技术及多维指纹图谱技术(用于鉴定和评价中药等复杂成分的混合物);四是其他相关方法:溶剂系统和运行电解质的选择与优化、样品预处理方法。

本书在第一版的基础上,由孙毓庆(第1、4及8章)、邸欣(第2章;第4、5、10及14章部分)、郭怀忠(第3章)、彭纓(第5章主要部分)、金郁(第6及7章)、方群(第9章)、孙秀燕(第10章大部分)、孙璐(第11章大部分)、马欣(第11章部分)、陈蓉(第12章)、孙国祥(第13章及14章大部分)、赵怀清(第15章)、刘袁媛(附录及缩写与符号),以及班允东、王祝伟、阮婧华及肖珊珊等同志通力合作改写而成。

在本书出版过程中,中国科学院大连化学物理研究所张玉奎院士为第一版作序,并与梁鑫淼教授审阅了第一版的书稿。在本书改编的过程中,还得到了第一版原副主编王延琮教授、中国药科大学胡育筑教授及沈阳药科大学袁波教授、周密高级工程师、洪福山和王鑫工程师等的帮助与支持。安捷伦科技[中国]有限公司汪江山博士与Waters公司王峰博士等提供了最新的有关资料,在此一并表示衷心感谢!

由于水平有限,编者较多,书中难免有不妥之处,恳请广大读者不吝赐教,给予指正。

耄耋翁 孙毓庆

2014年11月

第一版序言

随着科学技术的不断发展,色谱分析法已成为现代分析方法中最重要的分析手段之一。由于它具有分离效率高、选择性强、分离分析速度快、灵敏度高等特点,现已广泛地应用于石油化工、医药生产、生命科学、生物工程和环境监测等各个领域,并发挥着重要作用。

进入 21 世纪以来,色谱分析又有了飞速的发展,新方法层出不穷,并形成了气相色谱、液相色谱、薄层色谱、离子色谱、超临界流体色谱、微流控芯片分析技术、毛细管电泳和电色谱等许多分支。特别是色谱-光谱联用技术的飞速发展,和以此技术为基础而出现的液相色谱-质谱联用仪、毛细管电泳-质谱联用仪及液相色谱-质谱-核磁共振波谱仪等,已成为令世人瞩目的高科技产品,在分析领域里占有重要地位。

《现代色谱分析法及其在药物分析中的应用》一书,是孙毓庆教授与王延琮教授等人积多年的教学经验与科研成果,在原《现代色谱分析法及其在医药中的应用》基础上,补充大量新内容,重新编写而成。书中除介绍色谱方面的基本理论与基本方法之外,增加了全二维气相色谱法、微流控分析法、毛细管电色谱法、毛细管电泳-质谱联用法等新内容。书中很多章节都是采用了最新资料和最新研究成果编写而成,内容丰富、材料新颖、实用性强。我相信该书的出版,将对色谱学的发展,特别是对药物分析学的发展具有重要意义。

中国科学院院士

中国色谱学会理事长

中国科学院大连化学物理研究所生物技术部



2005 年 7 月于大连

第一版前言

色谱分析法因其具有高分离能力、高灵敏度、高分析速度等独特的优点,近年来得到了迅猛发展,它已成为药物分析领域中最重要分析手段之一,并得到广泛应用。

在色谱分析法发展的不同阶段,国内外相继出版了数十本有关的专著,但在药物分析领域里,全面阐述色谱分析的基础理论、现代色谱技术与方法及其应用的专著还较少。为了满足药物分析工作者对色谱新技术与新方法的需求,我们在原《现代色谱法及其在医药中的应用》基础上,补充了大量新内容、新成果,重新编写成本书。

本书共 10 章,主要介绍四个部分的内容:一是色谱的基本概念与基础理论,包括色谱参数、塔板理论及速率理论等;二是常用的色谱方法,包括气相色谱法、高效液相色谱法及薄层色谱法;三是近年来发展起来的色谱新技术与新方法,如全二维气相色谱法、液相色谱溶剂系统优化方法、超高效液相色谱仪(简介)、毛细管电泳法、液相色谱-质谱联用法、毛细管电泳-质谱联用法及微流控芯片分析系统等;四是样品预处理方法等。

本书由孙毓庆、王延琮、赵怀清、孙秀燕、邸欣、方群及孙璐等同志通力合作,精心编写而成。具体分工如下:第 1、4、7 章和第 9 章的 CE-MS 由孙毓庆执笔;第 2、3、5 章由王延琮执笔;第 6 章由邸欣执笔;第 8 章由方群执笔;第 9 章的 GC-MS 及 LC-MS 分别由孙秀燕及孙璐执笔;第 10 章由赵怀清执笔。全书由孙毓庆任主编,王延琮任副主编。

在本书出版过程中,得到了中国科学院科学出版基金资助、科学出版社的全力帮助以及 Waters 公司与 Agilent 公司的大力支持,在此深表谢意。

在本书编写过程中,得到了浙江大学方肇伦院士,中国科学院大连化学物理研究所张玉奎院士,中国药科大学胡育筑教授,《现代色谱法及其在医药中的应用》原编写组成员林乐明研究员、李发美教授、班允东教授,沈阳药科大学孙国祥副教授、赵新峰博士、郭怀忠博士、王祝伟博士、阮婧华硕士、马欣硕士、金郁博士生、肖珊珊博士生、陈蓉博士生、洪福山高工及周密高工等的大力支持,在此一并致谢。

由于水平有限,书中疏漏和错误在所难免,恳请广大读者不吝赐教,给予指正。

孙毓庆

2005 年 5 月

目 录

第二版前言

第一版序言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 色谱法的分类	1
1.2 色谱法的发展概况与应用	5
1.2.1 色谱法发展简史	5
1.2.2 色谱法的进展	7
1.2.3 色谱法在国内外的应用概况	10
1.3 色谱法的实验结果评价	11
1.3.1 系统适用性试验	11
1.3.2 建立色谱分析方法需考查的内容	11
参考文献	14
第 2 章 色谱基础理论	16
2.1 色谱参数	16
2.1.1 色谱流出曲线与色谱峰	16
2.1.2 相平衡参数	18
2.1.3 定性参数	18
2.1.4 柱效参数	24
2.1.5 分离参数	26
2.2 塔板理论	30
2.2.1 差速迁移	30
2.2.2 塔板理论的基本假设	31
2.2.3 二项式分布	31
2.2.4 色谱流出曲线方程的连续函数形式	34
2.2.5 正态分布方程式	35
2.2.6 理论塔板数与理论塔板高度的计算	38
2.2.7 塔板理论的局限性	39
2.3 速率理论	40
2.3.1 塔板高度的统计学意义	40
2.3.2 气相色谱速率理论方程式	41
2.3.3 液相色谱速率理论方程式	45
2.3.4 速率理论方程式的讨论	47
2.3.5 柱外峰展宽	48

参考文献	50
第3章 气相色谱法	51
3.1 概述	51
3.1.1 分类	51
3.1.2 气相色谱法的特点	51
3.1.3 气相色谱法的一般流程	52
3.2 填充柱气相色谱法	53
3.2.1 气-液填充柱	53
3.2.2 气-固填充柱	61
3.3 毛细管柱气相色谱法	62
3.3.1 毛细管柱速率理论	62
3.3.2 毛细管柱的特点与分类	63
3.3.3 影响分离度的因素	65
3.3.4 毛细管柱与填充柱的比较	66
3.3.5 毛细管柱的性能指标	68
3.3.6 毛细管柱气相色谱系统	70
3.4 程序升温气相色谱法	72
3.4.1 概述	72
3.4.2 程序升温的基本原理	74
3.4.3 程序升温色谱系统	75
3.4.4 程序升温色谱条件的选择	76
3.5 顶空气相色谱法	76
3.5.1 概述	76
3.5.2 基本原理	77
3.5.3 顶空气相色谱分析装置	77
3.6 气相色谱仪	79
3.6.1 基本单元	79
3.6.2 进样器	79
3.6.3 检测器	80
3.6.4 实验操作要点及维护注意事项	89
3.7 分离条件的选择	90
3.7.1 影响分离度的因素	90
3.7.2 实验条件的选择	92
3.8 定性分析方法	99
3.8.1 利用保留值定性	99
3.8.2 利用选择性检测器定性	99
3.8.3 利用化学反应定性	100
3.8.4 利用两谱联用定性	100
3.9 定量分析方法	100

3.9.1 定量校正因子	101
3.9.2 定量分析方法	102
3.10 应用与示例	104
参考文献	108
第4章 高效液相色谱法	110
4.1 概述	110
4.1.1 高效液相色谱法与气相色谱法应用范围对比	110
4.1.2 高效液相色谱法的分类	111
4.2 基本原理	112
4.2.1 各类液相色谱的保留值	112
4.2.2 速率理论	113
4.3 各类高效液相色谱法的分离机制	115
4.3.1 液-固吸附色谱法	116
4.3.2 液-液分配色谱法	117
4.3.3 化学键合相色谱法	118
4.3.4 离子对色谱法	121
4.3.5 离子抑制色谱法	124
4.3.6 离子交换色谱法	125
4.3.7 离子色谱法	128
4.3.8 分子排阻色谱法	130
4.3.9 胶束色谱法	135
4.3.10 手性色谱法	137
4.3.11 环糊精色谱法	140
4.3.12 亲和色谱法	142
4.4 固定相	146
4.4.1 液-固色谱固定相	146
4.4.2 化学键合相	149
4.4.3 离子交换剂	153
4.4.4 凝胶	154
4.4.5 手性固定相	155
4.4.6 亲和色谱固定相	158
4.5 流动相	160
4.5.1 对流动相的基本要求	160
4.5.2 分离方程式	161
4.5.3 液-固吸附色谱法的流动相	161
4.5.4 化学键合相色谱法的流动相	162
4.5.5 反相离子对色谱法的流动相	167
4.5.6 离子交换色谱法的流动相	168
4.5.7 凝胶色谱法的流动相	169

4.5.8 手性色谱法的流动相	170
4.5.9 亲和色谱法的流动相	171
4.6 高效液相色谱仪	172
4.6.1 输液泵	172
4.6.2 色谱柱系统	175
4.6.3 检测器概述	179
4.6.4 紫外检测器	179
4.6.5 荧光检测器	185
4.6.6 蒸发光散射检测器	186
4.6.7 化学发光检测器	188
4.6.8 电化学检测器	190
4.6.9 其他检测器	191
4.6.10 超高效液相色谱仪	192
4.6.11 仪器性能测试	197
4.7 定性分析方法与定量分析方法	199
4.7.1 定性分析方法	199
4.7.2 定量分析方法	200
4.8 应用与示例	204
参考文献	211
第5章 薄层色谱法	214
5.1 概述	214
5.2 薄层色谱法分类与分离机制	214
5.2.1 吸附薄层色谱法	214
5.2.2 分配薄层色谱法	215
5.2.3 胶束薄层色谱法	216
5.3 薄层色谱系统简介	216
5.3.1 薄层板	216
5.3.2 点样	220
5.3.3 展开	222
5.3.4 检测	224
5.4 薄层色谱参数	225
5.4.1 定性参数	225
5.4.2 相平衡参数	227
5.4.3 分离参数	227
5.4.4 板效参数	228
5.5 薄层色谱展开剂	229
5.5.1 溶质与溶剂的性质	229
5.5.2 溶剂强度与溶剂强度参数	230
5.5.3 展开剂的选择	232

5.6 薄层色谱新技术简介	234
5.7 薄层色谱扫描法	236
5.7.1 薄层色谱扫描法原理	236
5.7.2 薄层扫描光学系统	241
5.7.3 薄层扫描方式	242
5.7.4 薄层扫描波长选择	243
5.7.5 薄层扫描测量方式	244
5.7.6 定性与定量分析方法	245
5.8 常用薄层色谱扫描仪	252
5.8.1 CS 系列薄层扫描仪	253
5.8.2 CAMAG 系列薄层扫描仪	257
5.8.3 CD 系列薄层扫描仪	260
5.9 薄层色谱法的应用	260
5.9.1 药材鉴别	260
5.9.2 指纹图谱分析	262
5.9.3 半定量分析	264
5.9.4 定量分析	264
参考文献	267
第 6 章 超临界流体色谱法	268
6.1 概述	268
6.2 超临界流体及其特性	268
6.3 超临界流体色谱理论	269
6.3.1 流动相线速度对塔板高度的影响	270
6.3.2 填料粒度对塔板高度的影响	270
6.3.3 流动相密度对塔板高度和最佳线速度的影响	271
6.4 超临界流体色谱的流动相	272
6.4.1 常用的 SFC 流动相	272
6.4.2 SFC 流动相的溶解性能	272
6.4.3 SFC 流动相的改性剂	273
6.5 超临界流体色谱的色谱柱	273
6.5.1 毛细管柱	273
6.5.2 填充柱	274
6.6 超临界流体色谱仪	274
6.6.1 流体输送系统	275
6.6.2 柱温箱	276
6.6.3 进样系统	276
6.6.4 检测器	276
6.6.5 阻力器	277
6.7 超临界流体色谱的条件优化	277

6.7.1 流动相的流速	277
6.7.2 色谱柱温度	277
6.7.3 压力	277
6.7.4 改性剂	279
6.8 超临界流体色谱法的联用技术	279
6.8.1 SFC-MS 联用技术	279
6.8.2 SFC-FTIR 联用技术	280
6.8.3 SFC-NMR 联用技术	281
6.9 应用与示例	281
6.9.1 在手性拆分中的应用	281
6.9.2 在药物分析中的应用	282
6.9.3 在生物分子、食品和天然产物中的应用	283
6.9.4 在其他方面的应用	286
参考文献	287
第7章 制备色谱法	289
7.1 概述	289
7.2 制备色谱理论与实验方法	289
7.2.1 制备色谱非线性色谱理论	289
7.2.2 制备色谱的目标	292
7.2.3 制备条件的优化	292
7.3 中低压制备色谱法	293
7.3.1 恒流泵	293
7.3.2 色谱柱	293
7.3.3 检测器	295
7.3.4 自动馏分收集器	295
7.4 高效制备液相色谱法	295
7.4.1 高效制备液相色谱设备	295
7.4.2 制备方法的建立	299
7.5 应用与示例	302
参考文献	305
第8章 毛细管电泳法	306
8.1 概述	306
8.1.1 电泳与毛细管电泳	306
8.1.2 毛细管电泳法的流路	306
8.1.3 毛细管电分离分析法的分类	307
8.1.4 毛细管电泳法与高效液相色谱法对比	307
8.1.5 毛细管电泳法的应用范围	307
8.2 基本原理	308
8.2.1 毛细管电泳柱效高的原因	308

8.2.2 双电层理论与基本概念	309
8.3 毛细管电泳法的分离模式	311
8.3.1 毛细管区带电泳法	311
8.3.2 胶束电动毛细管色谱法	314
8.3.3 环糊精电动毛细管色谱法	320
8.3.4 毛细管凝胶电泳法	321
8.3.5 毛细管等电聚焦电泳法	325
8.3.6 非水毛细管电泳法	329
8.3.7 其他毛细管电泳法	331
8.3.8 毛细管电色谱法	333
8.4 毛细管电泳装置	337
8.4.1 毛细管电泳仪简介	337
8.4.2 毛细管电泳法的进样方式	338
8.4.3 毛细管电泳仪的柱系统	341
8.4.4 毛细管电泳检测方法简介	344
8.4.5 紫外检测器	345
8.4.6 激光诱导荧光检测器	346
8.5 定性分析方法与定量分析方法	346
8.5.1 实验条件选择	346
8.5.2 定性分析方法	347
8.5.3 定量分析方法	347
8.5.4 定性与定量分析结果的重复性	348
8.6 毛细管电泳法的应用	350
参考文献	360
第9章 微流控分析法	363
9.1 概述	363
9.2 微流控分析中的基本技术	364
9.2.1 微流控芯片加工技术	364
9.2.2 微流体驱动技术	364
9.2.3 微流体控制技术	365
9.3 微流控芯片分析系统	366
9.3.1 微流控芯片进样系统	366
9.3.2 微流控试样预处理系统	367
9.3.3 高分辨分离系统	369
9.3.4 微流控芯片检测系统	371
9.4 应用与示例	373
参考文献	378
第10章 气相色谱联用技术	380
10.1 概述	380

10.1.1 气相色谱-气相色谱联用技术	380
10.1.2 气相色谱-光谱联用技术	380
10.2 全二维气相色谱法	380
10.2.1 全二维气相色谱法的基本原理	382
10.2.2 全二维气相色谱仪器	383
10.2.3 全二维气相色谱法的应用	386
10.3 气相色谱-质谱联用技术	387
10.3.1 质谱单元	389
10.3.2 接口技术	394
10.3.3 气相色谱单元	395
10.3.4 计算机系统	397
10.3.5 气相色谱-高分辨质谱仪	398
10.3.6 应用与示例	399
参考文献	406
第 11 章 液相色谱-质谱联用技术	408
11.1 概述	408
11.2 仪器简介和工作原理	408
11.2.1 液相色谱系统	409
11.2.2 进样方式	409
11.2.3 接口和离子化方式	409
11.2.4 质量分析器	412
11.2.5 仪器的基本功能	413
11.2.6 LC-MS 技术的应用	415
11.3 液相色谱-离子阱质谱联用技术	417
11.4 液相色谱-四极杆质谱联用技术	425
11.5 LC-QTOF 联用技术 ^[20]	433
11.5.1 基本原理	434
11.5.2 LC-QTOF 的应用示例	435
参考文献	440
第 12 章 毛细管电泳-质谱联用技术	441
12.1 概述	441
12.2 毛细管电泳-质谱联用接口简介	442
12.3 毛细管电泳-离子阱质谱联用技术	444
12.3.1 联用仪接口	444
12.3.2 CE-ESI-Ion Trap-MS 应用示例	444
12.4 CE-TOF 联用技术	450
12.4.1 工作原理与特点	450
12.4.2 应用与示例	450
12.4.3 总结和展望	454

12.5 毛细管电泳-质谱联用技术	455
12.5.1 工作原理与特点	455
12.5.2 应用与示例	455
12.6 微流控芯片-质谱联用技术	456
12.6.1 工作原理与特点	456
12.6.2 应用与示例	457
参考文献	461
第13章 多维指纹图谱技术	463
13.1 中药多波长 HPLC 指纹图谱	463
13.1.1 系统指纹定量法原理	463
13.1.2 平行多波长 HPLC 指纹图谱	464
13.1.3 多波长融合指纹图谱	468
13.1.4 多波长切换指纹图谱	468
13.2 多元指纹图谱技术	469
13.2.1 HPLC 联用指纹图谱	469
13.2.2 GC-MS 联用指纹图谱	470
13.2.3 三谱联用指纹图谱	471
13.3 中药 IR-UV 联用指纹图谱	471
13.3.1 化学全成分指纹图谱	472
13.3.2 不同部位化学指纹图谱	472
参考文献	472
第14章 溶剂系统和运行电解质的选择与优化	474
14.1 概述	474
14.1.1 液相色谱溶剂系统的选择与优化	474
14.1.2 毛细管电泳运行电解质的选择与优化	474
14.2 液相色谱的优化策略	474
14.2.1 优化参数及其范围的选择	474
14.2.2 优化指标的确定	475
14.2.3 优化方法的建立	476
14.3 高效液相色谱溶剂系统的选择与优化方法	476
14.3.1 溶剂系统的选择	476
14.3.2 四面体法	477
14.3.3 单纯形法	479
14.4 薄层色谱溶剂系统的选择与优化方法	481
14.4.1 溶剂系统组分的选择	481
14.4.2 溶剂系统配比的选择	484
14.5 毛细管电泳运行电解质的选择与优化	487
14.5.1 毛细管电泳分离因素相关图	487
14.5.2 色谱指纹图谱指数(F)和相对指数(F_r)的应用	487

14.5.3 运行电解质的三角形优化法	488
14.5.4 运行电解质的正方形优化法	493
14.5.5 运行电解质的三棱柱优化法	496
参考文献	498
第 15 章 样品预处理方法	499
15.1 概述	499
15.2 固相萃取技术	499
15.2.1 固相萃取剂的种类	499
15.2.2 固相萃取的一般装置和操作	501
15.2.3 萃取方法的建立	502
15.2.4 自动化 SPE 技术	502
15.3 固相微萃取技术	503
15.3.1 固相微萃取技术的装置及操作	503
15.3.2 固相微萃取技术的萃取模式	505
15.3.3 影响萃取效率的因素	506
15.4 化学衍生化技术	507
15.4.1 用于高效液相色谱的衍生化试剂	507
15.4.2 用于气相色谱的衍生化反应	512
15.4.3 柱前衍生化和柱后衍生化技术	515
15.5 应用与示例	517
参考文献	519
附录	520
附录 I 热导检测器的相对响应值和校正因子	520
附录 II 氢火焰离子化检测器的相对响应值和校正因子	523
附录 III 电子捕获检测器的相对摩尔响应值	526
附录 IV 气相色谱固定液[按 CP 值(极性)大小排列]	526
附录 V 常用商品气相色谱毛细管柱	531
附录 VI 常用微粒型吸附剂或载体	534
附录 VII HPLC 化学键合相(按生产厂家顺序)	536
附录 VIII 常用离子交换剂	541
附录 IX 分子排阻色谱固定相	542
附录 X 常用高效液相色谱柱	544
附录 XI 高效液相色谱分离模式选择及固定相与流动相的搭配	554
附录 XII 薄层色谱固定相	556
附录 XIII 常用溶剂的截止波长(按截止波长顺序排列)	557
附录 XIV 81 种溶剂的溶剂参数	558
附录 XV 药品质量标准分析方法验证指导原则	560
缩写与符号	563
色谱期刊与网站	571