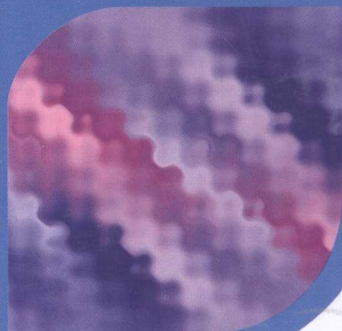


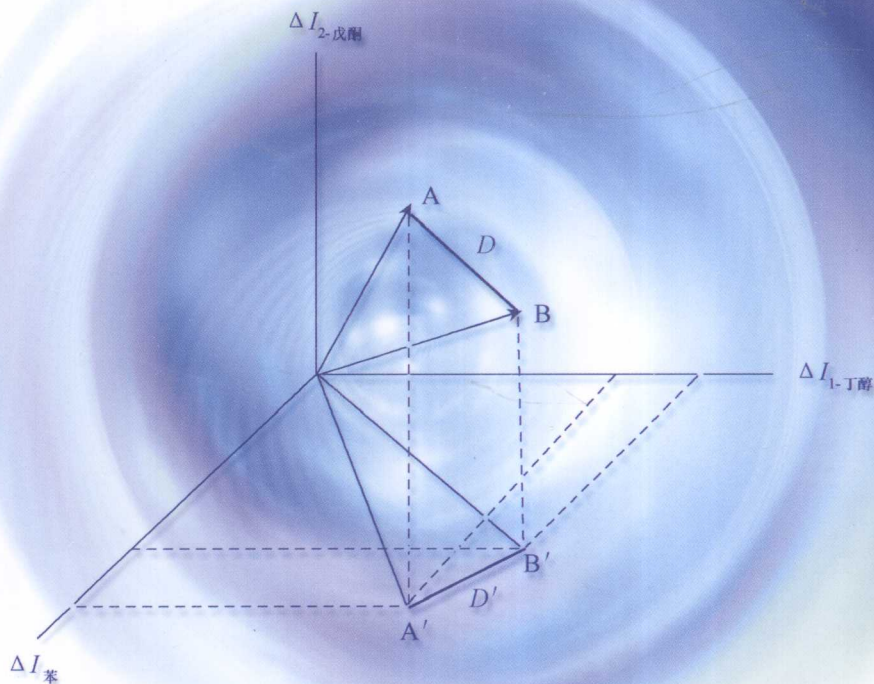
图解版 分析技术与实例丛书

图解

气相色谱 技术与应用



于世林 著



图解版分析技术与实例丛书

图解气相色谱 技术与应用

于世林 著

科学出版社

北京

0657.7-64

Y724-2

内 容 简 介

《图解气相色谱技术与应用》是《图解版分析技术与实例丛书》之一。

全书对气相色谱法的特点、仪器组成、测定中使用的固定相、流动相、检测器、定性分析和定量分析方法、程序升温气相色谱、毛细管柱气相色谱做了重点介绍。对气相色谱法的基本理论,扼要地介绍了塔板理论和速率理论以及影响气相色谱分离效果的各种因素。为扩展读者对基本理论的深入理解,简要地介绍了新型双指数程序涂渍填充柱、微型填充柱和细内径毛细管柱的快速气相色谱分析。对气相色谱法在永久性气体分析、石油炼制分析、石油化工分析、化工分析、食品分析、药物分析、环境监测分析中的应用,提供了大量有参考价值的实例。

本书可供中专和大专以上读者和工程技术人员以及化学专业、化工专业研究生作为学习气相色谱分析技术的参考书,也可作为高等院校分析化学专业的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

图解气相色谱技术与应用/于世林著. —北京:科学出版社,2010

(图解版分析技术与实例丛书)

ISBN 978-7-03-026276-9

I. 图… II. 于… III. 气相色谱-图解 IV. O657.7-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 236645 号

责任编辑:杨 震 黄 海 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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>

丽源印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010 年 1 月第一次印刷 印张: 28

印数: 1—3 000 字数: 565 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

《图解气相色谱技术与应用》是应用图示方法来演绎气相色谱方法全貌的一种尝试,希望读者能在一种比较轻松的气氛中,用感官直觉去帮助大脑思维,以便在较短时间的阅读中获取尽可能多的分析信息。

气相色谱(gas chromatography)分析方法是当前能够和高效液相色谱分析方法相媲美,并用于有机定量分析的重要方法,它已在石油炼制、石油化工、精细化工、环境监测、永久性气体分析、食品工业、医药工业、临床诊断等多个领域获得广泛应用,是分析测试工作人员解决实际分析问题的有力工具。

本书从阐述气相色谱分析方法的入门知识着手,使读者逐步、全面、深入了解气相色谱技术的关键所在,并适当介绍了气相色谱领域的新知识、新技术的进展,扩展了气相色谱的应用范围,使读者可在分析实践中,应用获取的知识去解决实际分析问题。

本书共分十章,分别介绍如下:

第一章绪论,介绍了色谱分析法的分离原理及特点;气相色谱法的应用范围和气相色谱流出曲线的特征。

第二章气相色谱仪,全面介绍了气相色谱仪的组成,典型的气路流程,气相色谱仪的使用和维护,并对国内、外生产的气相色谱仪进行了简介。

第三章固定相,介绍了气-固色谱、气-液色谱固定相的组成,固定液的分类,固定液极性评价方法,特别介绍了麦克雷诺常数和固定液的优选方法,提供选择固定液的一般原则,气相色谱填充柱的制备方法及其国标中常用的填充柱。

第四章流动相,介绍了载气和检测器使用的燃气、助燃气的物性、净化方法,特别介绍了对载气流速进行水蒸气、温度和柱压梯度的校正方法。

第五章检测器,比较详细介绍了气相色谱分析中常用的热导池检测器(TCD)、氢火焰离子化检测器(FID)、热离子化检测器(TID)、电子捕获检测器(ECD)、氦离子化检测器(HID)、火焰光度检测器(FPD)、光离子化检测器(PID)、硫化学发光检测器(SCD)的检测原理、结构和操作条件。

第六章定性分析和定量分析,首先介绍了定性分析中各种保留参数的定义,死时间的计算方法,各种用于定性分析的方法;其次介绍了色谱峰的峰高、峰面积的测量方法、定量校正因子和用于定量分析结果计算的各种方法。

第七章气相色谱法的基本理论,首先介绍了色谱分析理论的分类;重点阐述气液相色谱分析中的塔板理论和速率理论以及影响色谱分离度的各种因素;最后作为

知识的扩展介绍了新型双指数程序涂渍填充柱和微型填充柱。

第八章程序升温气相色谱法,介绍了本法在组成复杂样品分析中的重要性;程序升温气相色谱法的基本原理,影响分离结果的因素;程序升温气相色谱中对柱效的评价;操作条件;对气相色谱仪的特殊要求和它的应用范围。

第九章毛细管柱气相色谱法,介绍了本法的基本理论;操作条件;柱制备方法;评价方法;进样技术;毛细管柱的安装,保护方法;最后介绍了细内径毛细管柱的快速气相色谱方法。

第十章气相色谱法的分析应用,介绍了气相色谱法在永久性气体分析、石油炼制、石油化工、精细化工、环境监测、食品工业、医药工业等领域应用的 100 多个实例,为读者提供了可供借鉴的依据,并可进一步深化对气相色谱分析原理和测定方法的理解。

本书每章提供的每一个小标题,都是一个独立的知识点,每个知识点都把图示或表格排在最前面,以加强对读者感官的冲击,其后紧跟文字说明,以加深读者对知识点内容的准确理解。

每个知识点用三个数字编号,第一个数字表示章号,第二个数字表示知识点群的编号,第三个数字表示知识点的顺序编号,它们的总和就构成了气相色谱技术与应用的全貌。

本书所有知识点中的图示和表格,可以组成 ppt 课件,并用于课堂教学。

作者相信,通过认真的学习,本书一定会对读者掌握气相色谱方法有切实的帮助。

由于应用图解方法演绎气相色谱方法的全貌是首次尝试,在图解内容表述与阐述气相色谱方法系统性的有机结合上仍有不足,此外,作者采用图例的主观意图与读者对图例的理解也会有一定差异,加上作者水平所限,本书难免存在不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

于世林

2009 年 8 月

于北京化工大学北方学院

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1.1 茨维特的经典实验	2
1.1.2 色谱分析法的分类	4
1.1.3 色谱分析法的分离原理及特点	5
1.1.4 色谱分离过程的平衡常数	6
1.2.1 气相色谱的方法特点	7
1.2.2 气相色谱法的应用范围	8
1.2.3 气相色谱流出曲线的特征	9
1.2.4 色谱峰的位置	10
1.2.5 色谱峰的峰高和峰面积	11
1.2.6 色谱峰的宽窄	12
1.2.7 色谱峰间的距离	13
第二章 气相色谱仪	14
2.1.1 气相色谱仪	15
2.1.2 使用填充柱的气相色谱仪的气路流程	16
2.1.3 使用双柱(填充柱和毛细管柱)的气相色谱仪的气路流程	17
2.2.1 载气流速控制及测量装置:载气的来源	18
2.2.2 SPB-3 型全自动空气发生器	19
2.2.3 无油气体压缩机的工作原理	20
2.2.4 GCN-1300 型氮气发生器	21
2.2.5 GCD-300B 型氢气发生器	22
2.2.6 载气的净化及纯度要求	23
2.2.7 在气相色谱分析中高纯气体的应用	24
2.2.8 载气流速的控制:1.减压阀	25
2.2.9 载气流速的控制:2.稳压阀	26
2.2.10 载气流速的控制:3.针形阀	27
2.2.11 载气流速的控制:4.稳流阀	28

2.2.12	载气流速的测量:1. 转子流量计	30
2.2.13	载气流速的测量:2. 皂膜流速计	31
2.2.14	载气流速的测量:3. 电子气路控制(EPC)系统	32
2.3.1	进样器:1. 气体样品进样:(1)医用注射器进样	33
2.3.2	进样器:1. 气体样品进样:(2)气体定量管平面六通阀进样	34
2.3.3	进样器:1. 气体样品进样:(3)气体定量管拉杆六通阀进样	35
2.3.4	进样器:2. 液体样品进样	36
2.3.5	进样器:3. 固体样品进样	37
2.3.6	气化室:1. 气化室的作用和结构	38
2.3.7	气化室:2. 气化室的温度分布	39
2.3.8	气化室:3. 开口管柱的分流进样	40
2.4.1	色谱柱及柱温控制:1. 色谱柱的分类及特征	41
2.4.2	色谱柱及柱温控制:2. 色谱柱的材料、形状及连接方法	42
2.4.3	色谱柱及柱温控制:3. 柱温控制	43
2.5.1	检测器	44
2.6.1	数据处理系统:1. 微处理机	45
2.6.2	数据处理系统:2. 色谱数据工作站	46
2.7.1	气相色谱仪的性能指标	47
2.7.2	气相色谱仪的使用规则	48
2.7.3	气相色谱仪的维护	49
2.8.1	国产气相色谱仪简介	50
2.8.2	外国厂商生产的气相色谱仪简介	51
第三章	固定相	52
3.1.1	气固色谱的固定相	53
3.1.2	活性炭和石墨化炭黑	55
3.1.3	氧化铝	56
3.1.4	硅胶	57
3.1.5	分子筛	58
3.1.6	高分子多孔小球	59
3.1.7	国产高分子多孔小球(GDX)的型号	60
3.1.8	碳分子筛(碳多孔小球, TDX)	62
3.1.9	聚苯醚高分子固定相(Tenax)	63
3.1.10	气固色谱法选择固体吸附剂的原则	64

3.2.1	气液色谱的固定相	65
3.2.2	常用载体的性质:1. 硅藻土型载体	66
3.2.3	常用载体的性质:2. 非硅藻土型载体	67
3.2.4	载体表面的惰化改性处理方法	68
3.2.5	气液固定相载体的选择	70
3.3.1	固定液的分类	71
3.3.2	对固定液相对极性评价的方法:1. 罗什那德的相对极性法	72
3.3.3	对固定液相对极性的评价方法:2. 麦克雷诺兹相特征常数法 (1) 麦克雷诺兹试验探针物质和相特征常数	73
3.3.4	对固定液相对极性的评价方法:2. 麦克雷诺兹相特征常数法 (2) 常用固定液的麦克雷诺兹常数	74
3.3.5	固定液的优选法——“最相邻技术”	75
3.3.6	李尔提供的 12 种最佳固定液	76
3.3.7	依据固定液与样品分子氢键作用力强弱的官能团分组	78
3.3.8	选择固定液的一般原则	79
3.3.9	混合固定液的使用	80
3.4.1	气相色谱填充柱的制备	82
3.4.2	国家标准中常用的气相色谱填充柱	84
第四章	流动相	85
4.1.1	气相色谱使用的流动相——载气	86
4.1.2	气相色谱检测器使用的燃气和助燃气	87
4.2.1	载气含有的杂质对气相色谱分析的影响	88
4.2.2	载气的净化要求	89
4.2.3	载气的净化方法	90
4.3.1	载气流速的校正	91
4.3.2	水蒸气压力校正	92
4.3.3	温度校正	93
4.3.4	色谱柱压力梯度校正	94
第五章	检测器	97
5.1.1	检测器的响应特性	98
5.1.2	检测器的性能指标:1. 噪声和漂移	99
5.1.3	检测器的性能指标:2. 灵敏度(绝对响应值)	100
5.1.4	检测器的性能指标:3. 敏感度(或称检测限)	101

5.1.5	检测器的性能指标:4. 响应时间(或称应答时间).....	102
5.1.6	检测器的性能指标:5. 线性范围.....	103
5.1.7	常用气相色谱检测器的性能比较	104
5.2.1	热导池检测器的检测原理	105
5.2.2	热导池的结构	106
5.2.3	热导池的测量电路	107
5.2.4	单一热敏元件热导池	108
5.2.5	影响热导池灵敏度的因素及使用注意事项	109
5.3.1	氢火焰离子化检测器的检测原理	110
5.3.2	氢火焰离子化检测器的结构及影响灵敏度的因素	112
5.3.3	氢火焰离子化检测器的测量电路和使用注意事项	113
5.4.1	热离子化检测器的检测原理	114
5.4.2	热离子化检测器的结构	115
5.4.3	热离子化检测器的测量电路及最佳操作条件	116
5.5.1	电子捕获检测器的检测原理	117
5.5.2	电子捕获检测器的结构及所用放射源的性质	118
5.5.3	电子捕获检测器的操作条件	119
5.5.4	一些电负性化合物的 ECD/FID 相对质量灵敏度的比值	120
5.6.1	氮离子化检测器的检测原理	121
5.6.2	氮离子化检测器的结构	122
5.6.3	氮离子化检测器的操作条件:1. 载气纯度.....	123
5.6.4	氮离子化检测器的操作条件:2. 载气的流速.....	124
5.6.5	氮离子化检测器的操作条件:3. 极化电压.....	125
5.6.6	氮离子化检测器的操作条件:4. 色谱柱的流失.....	126
5.6.7	脉冲放电氮离子化检测器	127
5.6.8	永久性气体在 HID 和 PDHID 的相对摩尔响应值	128
5.7.1	火焰光度检测器的检测原理	129
5.7.2	单火焰光度检测器的结构	131
5.7.3	双火焰光度检测器的结构	132
5.7.4	火焰光度检测器的操作条件	133
5.8.1	光离子化检测器的检测原理	134
5.8.2	光离子化检测器的结构	135
5.8.3	光离子化检测器样品池的结构	136

5.8.4	光离子化检测器的操作条件:1. 激发光源的性能、灯窗材料和响应性能	137
5.8.5	光离子化检测器的操作条件:2. 检测池体积与峰高响应的关系	138
5.8.6	光离子化检测器的操作条件:3. 检测器的温度	138
5.8.7	光离子化检测器的操作条件:4. 载气的种类、纯度和流速	139
5.8.8	硫化学发光检测器的工作原理	140
5.8.9	硫化学发光检测器的燃烧器结构及使用注意事项	141
第六章 定性分析和定量分析		142
6.1.1	气相色谱的定性分析和定量分析	143
6.1.2	定性分析中常用保留值的计算公式	144
6.1.3	定性分析:1. 保留时间和调整保留时间	145
6.1.4	定性分析:2. 保留体积和调整保留体积	146
6.1.5	定性分析:3. 相对保留值	146
6.1.6	定性分析:4. 比保留体积	147
6.1.7	定性分析:5. 科瓦茨保留指数	148
6.1.8	计算柱温 60℃, 在 10%角鲨烷上试 101 色谱柱上, 苯的保留指数	149
6.1.9	死时间的测量和计算方法	150
6.1.10	由三个碳数相连的正构烷烃同系物的保留时间计算死时间	151
6.1.11	由三个任意碳数正构烷烃同系物的保留时间计算死时间	152
6.1.12	利用纯物质对照进行定性分析	153
6.1.13	双色谱柱的定性分析	154
6.1.14	利用同系物的碳数规律进行定性分析	155
6.1.15	利用相同碳原子数异构体的沸点规律进行定性分析	156
6.1.16	利用化学反应方法进行未知组分的定性分析	157
6.1.17	测定化学官能团的有关试剂	158
6.1.18	利用化学减除反应进行定性分析:1. 无机减除试剂	160
6.1.19	利用化学减除反应进行定性分析:2. 有机减除试剂	162
6.1.20	利用针筒内进行化学减除反应	164
6.1.21	利用选择性检测器进行定性分析:1. ECD 和 AFID	165
6.1.22	利用选择性检测器进行定性分析:2. FID 和 FPD	166
6.1.23	利用气相色谱(GC)-质谱(MS)联用进行定性分析	167

6.1.24 利用气相色谱(GC)-傅里叶变换红外吸收光谱(FTIR)联用进行定性分析·····	168
6.2.1 峰高、峰面积定量法——检量线法(工作曲线法)·····	169
6.2.2 不对称峰和大色谱峰尾部小峰面积的测量·····	170
6.2.3 基线漂移时色谱峰面积的测量·····	171
6.2.4 重合峰的峰面积测量·····	172
6.2.5 定量校正因子:1.绝对校正因子及其测定方法·····	173
6.2.6 定量校正因子:2.相对校正因子·····	175
6.2.7 定量校正因子:3.相对校正因子的测定方法及相互换算·····	176
6.2.8 定量校正因子:4.相对质量校正因子测定实例·····	177
6.2.9 定量校正因子:5.改变标准物时,相对质量校正因子的换算·····	178
6.2.10 定量校正因子:6.定量校正因子与检测器相对响应值的关系·····	179
6.2.11 定量分析方法:1.内标法·····	180
6.2.12 定量分析方法:2.外标法·····	181
6.2.13 定量分析方法:3.归一化法·····	182
6.3.1 气相色谱定性分析和定量分析总结·····	183
第七章 气相色谱法的基本理论 ·····	184
7.1.1 气相色谱理论研究的主要内容·····	185
7.1.2 气相色谱理论分类:吸附或分配等温线·····	186
7.1.3 气液色谱理论基础:线性非理想色谱·····	187
7.1.4 气固色谱理论基础:非线性非理想色谱(1)·····	188
7.1.5 气固色谱理论基础:非线性非理想色谱(2)·····	189
7.2.1 气液色谱的塔板理论·····	190
7.2.2 气液色谱塔板理论的讨论·····	191
7.2.3 理论塔板数 n 、有效理论塔板数 N_{eff} 和实际塔板数 n_{real} ·····	192
7.3.1 气液色谱的速率理论·····	193
7.3.2 速率理论的涡流扩散项(A)·····	194
7.3.3 速率理论的分子扩散项(B/u)·····	195
7.3.4 速率理论的传质阻力项(Cu)·····	196
7.3.5 范第姆特方程·····	198
7.4.1 气相色谱分离操作条件的选择:分离度 R ·····	199
7.4.2 影响气相色谱分离度的各种因素:1.载气种类及流速的选择·····	200
7.4.3 影响气相色谱分离度的各种因素:2.柱温的选择·····	201

7.4.4	影响气相色谱分离度的各种因素:3. 载体种类和粒度的选择	202
7.4.5	影响气相色谱分离度的各种因素:4. 固定液用量的选择	203
7.4.6	影响气相色谱分离度的各种因素:5. 色谱柱压力降的选择	204
7.4.7	影响气相色谱分离度的各种因素:6. 进样速度、气化温度和进样量的选择	205
7.4.8	影响气相色谱分离度的各种因素:7. 色谱柱柱形、柱内径及柱长的选择	207
7.5.1	新型双指数程序涂渍填充柱的制备技术	208
7.5.2	新型双指数程序涂渍填充柱的范第姆特曲线	209
7.5.3	微型填充柱	211
第八章	程序升温气相色谱法	212
8.1.1	程序升温气相色谱法简介	213
8.1.2	程序升温方式	215
8.1.3	程序升温与恒温气相色谱法的比较	216
8.2.1	程序升温气相色谱法的基本原理:1. 保留温度 T_R	217
8.2.2	程序升温气相色谱法的基本原理:2. 初期冻结	219
8.2.3	程序升温气相色谱法的基本原理:3. 有效柱温 T'	221
8.2.4	程序升温气相色谱法的基本原理:4. 程序升温操作参数的关联 (1)升温速率(r)/载气流速(F)比值与保留温度(T_R)的关联	222
8.2.5	程序升温气相色谱法的基本原理:4. 程序升温操作参数的关联 (2)升温速率(r)/载气流速(F)比值与真正分离度(R_i)的关联	223
8.3.1	程序升温气相色谱柱效的评价方法	224
8.3.2	程序升温气相色谱的操作条件	225
8.3.3	对程序升温气相色谱系统的特殊要求	227
8.3.4	程序升温气相色谱法的应用范围	229
第九章	毛细管柱气相色谱法	230
9.1.1	毛细管气相色谱柱简介	231
9.1.2	毛细管气相色谱柱的速率方程式:1. 气液色谱	232
9.1.3	毛细管气相色谱柱的速率方程式:2. 气固色谱	233
9.1.4	气相色谱填充柱与毛细管柱范第姆特曲线的比较	234
9.1.5	不同柱内径、不同液膜厚度毛细管柱的范第姆特-高莱曲线图 (HETP- $\bar{u}$)	235

9.1.6	不同柱内径、不同液膜厚度毛细管柱的理论塔板数(n)与进样量(m)的关系	237
9.2.1	毛细管柱气相色谱的操作条件:1. 柱内半径的选择	239
9.2.2	毛细管柱气相色谱的操作条件:2. 固定液液膜厚度的选择	240
9.2.3	毛细管柱气相色谱的操作条件:3. 载气种类及流速的选择	241
9.2.4	毛细管柱气相色谱的操作条件:4. 进样量的选择	242
9.2.5	毛细管柱气相色谱的操作条件:5. 柱相比和样品容量的关联	243
9.2.6	毛细管柱气相色谱的操作条件:6. 色谱柱柱温的选择	244
9.2.7	毛细管柱与填充柱的性能比较	245
9.3.1	毛细管色谱柱的制备:1. 毛细管柱的分类	247
9.3.2	毛细管色谱柱的制备:2. 毛细管柱内壁的粗糙化	248
9.3.3	毛细管色谱柱的制备:3. 毛细管柱内壁的可润湿性	249
9.3.4	毛细管色谱柱的制备:4. 毛细管柱内壁的惰化方法(1)	250
9.3.5	毛细管色谱柱的制备:5. 毛细管柱内壁的惰化方法(2)	251
9.3.6	毛细管色谱柱的制备:6. 毛细管柱内壁的惰化方法(3)	252
9.3.7	毛细管色谱柱的制备:7. 毛细管柱内壁的惰化方法(4)	253
9.3.8	毛细管色谱柱的制备:8. 惰化后毛细管柱内壁的可润湿性	254
9.3.9	毛细管色谱柱的制备:9. 毛细管柱涂渍固定液的表面张力	255
9.3.10	毛细管色谱柱的制备:10. 毛细管柱涂渍固定液的方法	256
9.3.11	毛细管色谱柱的制备:11. 用化学键合、交联固定化的方法 (1)固定液在硅烷偶联剂存在下与柱内壁硅醇基进行交联缩合 固定化反应	257
9.3.12	毛细管色谱柱的制备:12. 用化学键合、交联固定化的方法 (2)用自由基引发剂引发固定液的交联反应	258
9.3.13	毛细管色谱柱的制备:13. 用化学键合、交联固定化的方法 (3)用端羟基聚硅氧烷进行缩合交联	260
9.3.14	毛细管色谱柱的制备:14. 吸附型多孔层开管柱	261
9.4.1	毛细管柱性能的评价:1. 固定液液膜厚度的测定	262
9.4.2	毛细管柱性能的评价:2. 柱分离能力的测定(1)	263
9.4.3	毛细管柱性能的评价:3. 柱分离能力的测定(2)	264
9.4.4	毛细管柱性能的评价:4. 柱吸附活性的测定	266
9.4.5	毛细管柱性能的评价:5. 测定柱吸附特性的 Grob 试剂混合物	267

9.4.6 毛细管柱性能的评价:6. 用 Grob 试剂测定毛细管柱的吸附活性	268
9.4.7 毛细管柱性能的评价:7. 用 Grob 试剂评价不同极性固定液的选择性	270
9.4.8 毛细管柱性能的评价:8. 柱的热稳定性测定	271
9.5.1 常用毛细管柱简介:1. 毛细管气相色谱分析常用的固定液	272
9.5.2 常用毛细管柱简介:2. 填充柱转换到大口径(0.53mm)毛细管柱	274
9.5.3 常用毛细管柱简介:3. 最常用的键合石英毛细管柱的型号及性能	277
9.5.4 常用毛细管柱简介:4. 毛细管柱的操作参数及分析应用	278
9.5.5 常用毛细管柱简介:5. 毛细管柱的选择指南及固定相的优选	279
9.5.6 常用毛细管柱简介:6. 多孔层柱(PLOT)的种类及应用范围	281
9.6.1 毛细管气相色谱的进样技术:1. 大口径毛细管柱的直接进样	282
9.6.2 毛细管气相色谱的进样技术:2. 分流进样	283
9.6.3 毛细管气相色谱的进样技术:3. 不分流进样(1)	285
9.6.4 毛细管气相色谱的进样技术:4. 不分流进样(2)	287
9.6.5 毛细管气相色谱的进样技术:5. 不分流进样(3)	288
9.6.6 毛细管气相色谱的进样技术:6. 冷柱头进样(1)	289
9.6.7 毛细管气相色谱的进样技术:7. 冷柱头进样(2)	290
9.6.8 毛细管气相色谱的进样技术:8. 程序升温气化进样(PTV)	291
9.7.1 毛细管气相色谱中的补充气	293
9.7.2 毛细管柱的保护柱	294
9.7.3 细内径毛细管柱的快速气相色谱分析	296
9.8.1 毛细管柱的检查、安装和老化	298
9.8.2 毛细管柱的保护方法	300
第十章 气相色谱法的分析应用	301
一、在永久性气体分析中的应用	302
10.1.1 用填充柱分析永久性气体(1)	302
10.1.2 用填充柱分析永久性气体(2)	303
10.1.3 用填充柱分析永久性气体(3)	304
10.1.4 用填充柱分析永久性气体(4)	305
10.1.5 天然(煤)气分析	306

10.1.6	用 5A 分子筛的多孔层柱分析痕量永久性气体	307
10.1.7	用脉冲放电氦离子化检测器(PDHID)分析痕量永久性气体 ...	308
二、	在石油炼制分析中的应用	309
10.2.1	炼油厂尾气分析	309
10.2.2	用专用毛细管柱分析汽油的族组成(PONA 值)	310
10.2.3	铂重整汽油的 PONA 分析谱图	312
10.2.4	优质无铅汽油的 PONA 分析谱图	314
10.2.5	石油产品的模拟蒸馏	316
10.2.6	石油产品的高温模拟蒸馏(1)	317
10.2.7	石油产品的高温模拟蒸馏(2)	318
10.2.8	能耐 480℃ 高温的毛细管色谱柱 HT-5	320
10.2.9	用高温气相色谱分析直链烃石蜡	321
10.2.10	用大孔毛细管柱分析石油中的含氧化合物	322
10.2.11	用大口径毛细管柱分析含硫化合物	323
10.2.12	用微型填充柱分析烃类和含硫化合物	324
10.2.13	炼油厂气体中不饱和轻烃的分析	325
10.2.14	用气相色谱分析阿拉伯轻原油	326
10.2.15	用大口径毛细管柱分析海湾原油	327
三、	在石油化工分析中的应用	328
10.3.1	用填充柱分析 C_4 烃类	328
10.3.2	$C_1 \sim C_4$ 低级烃的全分析	330
10.3.3	用填充柱分析 $C_1 \sim C_5$ 烃类	331
10.3.4	用填充柱分析 C_5 烃	333
10.3.5	用 TCEP 填充柱分析脂肪烃和芳烃	335
10.3.6	用填充柱分析异丙苯中二甲苯异构体	336
10.3.7	用填充柱和毛细管柱分析 $C_6 \sim C_8$ 芳烃	337
10.3.8	低级烃在多孔层毛细管柱(PLOT)的全分析	339
10.3.9	用多孔层聚合物毛细管柱分析 $C_1 \sim C_6$ 烃类	340
10.3.10	用 TCEP 毛细管柱分析芳烃	341
10.3.11	用大口径多孔层 Al_2O_3 毛细管柱分析丙烯纯度	342
10.3.12	用填充柱分析丙烯和 1,3-丁二烯中的杂质	343
10.3.13	用大口径毛细管柱分析苯乙烯的纯度	344
四、	在化工分析中的应用	345

10.4.1	有机溶剂甲醇中微量水的分析	345
10.4.2	用填充柱分析卤代烷	346
10.4.3	用填充柱分析有机胺	348
10.4.4	用大孔毛细管柱分析醇类化合物	349
10.4.5	用毛细管柱分析醇类化合物	350
10.4.6	用毛细管柱分析正己烷溶剂中的醇类化合物	352
10.4.7	用大口径毛细管柱分析多元醇	353
10.4.8	用大口径毛细管柱分析甲基叔丁基醚	355
10.4.9	用 FFAP 毛细管柱分析游离脂肪酸	356
10.4.10	用大口径毛细管柱分析硝基芳烃化合物	358
10.4.11	用毛细管柱分析邻苯二甲酸酯和丙烯酸酯	359
10.4.12	用毛细管柱分析爆炸物	361
10.4.13	用毛细管柱分析硅烷和有机锡	362
五、	在食品分析中的应用	364
10.5.1	用填充柱气相色谱分析脂肪酸甲酯	3645
10.5.2	用毛细管柱气相色谱分析脂肪酸甲酯	366
10.5.3	用填充柱分析鱼油中脂肪酸甲酯	368
10.5.4	用 PAG 毛细管柱气相色谱分析脂肪酸甲酯	370
10.5.5	用色谱分析白酒中主要成分	371
10.5.6	用毛细管柱分析浓香型白酒	372
10.5.7	用 DM-Wax 毛细管柱分析挥发性风味物质	373
10.5.8	用 DM-1 毛细管柱分析挥发性风味物质	374
10.5.9	用 DM-2330 毛细管柱分析糖类物质(糖醇乙酸酯)	375
10.5.10	用 DM-1 毛细管柱分析精油类物质(柠檬油)	376
10.5.11	用 DM-Wax 毛细管柱分析精油类物质(薄荷油)	377
六、	在药物分析中的应用	378
10.6.1	用于药物生产的一般性溶剂分析	378
10.6.2	用大孔毛细管柱分析酸性/中性药物	379
10.6.3	用毛细管柱分析碱性药物	380
10.6.4	用 DM-200 毛细管柱分析碱性药物	382
10.6.5	用 DM-5 毛细管柱分析拟交感神经药物	383
10.6.6	用 DM-35 毛细管柱分析拟交感神经药物	384
10.6.7	用 DM-5 毛细管柱分析甾类化合物	385

10.6.8	用 DM-35 毛细管柱分析感冒药物	386
七、	在环境监测分析中的应用	387
10.7.1	用毛细管柱分析水中挥发性有机物	387
10.7.2	用毛细管柱分析半挥发有机物	388
10.7.3	用毛细管柱分析水中酚类污染物	390
10.7.4	室内环境空气中总挥发有机物含量分析	391
10.7.5	吸附-热解吸法测定空气中总挥发有机物(TVOC)(1)	393
10.7.6	吸附-热解吸法测定空气中总挥发有机物(TVOC)(2)	394
10.7.7	用填充柱色谱分析有机氯农药	395
10.7.8	用填充柱色谱分析有机磷农药	396
10.7.9	用低流失色谱柱检测有机氯农药	397
10.7.10	用大口径毛细管柱分析有机氯农药	398
10.7.11	用毛细管柱分析有机氯农药	400
10.7.12	用毛细管柱色谱分析牛奶中残留有机氯农药	402
10.7.13	用毛细管柱色谱分析葱头中残留的有机磷农药	403
10.7.14	用毛细管柱分析有机磷农药	405
10.7.15	用大口径毛细管柱分析含氮除草剂	406
10.7.16	用大口径毛细管柱分析有机氮农药	407
10.7.17	用大口径毛细管柱分析三嗪类农药和氯苯氧基农药	409
10.7.18	用毛细管柱分析多环芳烃	411
参考书目		412
附录		414
附录一	气相色谱法常用载体	414
附录二	气相色谱法常用固定液(按 CP 值大小排列)	417
附录三	美国药典(USP)方法使用的填充柱载体	421
附录四	美国药典(USP)方法使用的填充柱固定液	422
附录五	各公司生产的国际通用毛细管柱产品的品牌对照表	423
附录六	各公司生产的多孔层开管柱的品牌对照表	425
附录七	按应用领域和测定方法国际通用毛细管柱品牌对照表	426
附录八	气相色谱仪的故障分析与排除	428