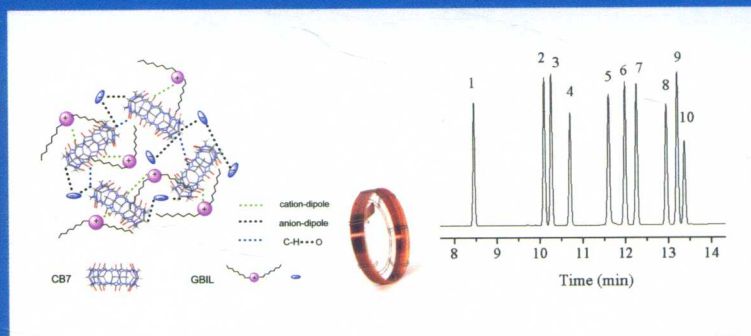


气相色谱分析及应用

(第二版)

齐美玲 编著



科学出版社

非外借

气相色谱分析及应用

(第二版)

齐美玲 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要对色谱发展简史、气相色谱仪、色谱分析基础理论、色谱定性和定量分析方法、气相色谱固定相、毛细管柱气相色谱法、新型气相色谱固定相及其分离性能、气相色谱-质谱联用技术及其应用、气相色谱分析常用的样品制备技术等作了介绍。本着兼顾基础、侧重实际应用的宗旨,本书力求深入浅出,书中各部分大多列举了相关方法在药物分析、化工分析、食品分析、环境监测分析、临床分析等领域的应用示例,以便读者理解相关内容并为实际应用提供参考。结合作者多年在气相色谱方面研究工作的积累,本书还介绍了一些新型气相色谱固定相和样品制备新技术等,希望能为读者的学习和研究提供参考。

本书可作为高等院校、科研院所的本科生、研究生及各行业从事气相色谱分析的科研人员的参考书,也可作为高等院校相关专业的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

气相色谱分析及应用/齐美玲编著. —2版. —北京:科学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-03-058728-2

I. ①气… II. ①齐… III. ①气相色谱 IV. ①O657.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第206951号

责任编辑:张 析 高 微/责任校对:樊雅琼

责任印制:肖 兴/封面设计:东方人华

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>

河北鹏润印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年3月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018年9月第 二 版 印张:17 1/4

2018年9月第三次印刷 字数:332 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 色谱发展简史	1
1.2 色谱法分类	4
1.2.1 按照色谱分离规模分类	4
1.2.2 按照流动相和固定相的形态分类	5
1.2.3 按照色谱分离载体的形状分类	5
1.2.4 按照色谱分离机理分类	6
1.3 色谱法的特点、应用领域和发展趋势	7
1.4 色谱相关的期刊和网上资源	7
1.4.1 色谱相关的期刊	7
1.4.2 色谱相关的网上资源	8
参考文献	8
第 2 章 气相色谱仪	10
2.1 气路系统	11
2.2 进样系统	13
2.2.1 分流进样	15
2.2.2 不分流进样	16
2.3 分离系统	18
2.4 检测系统	19
2.4.1 检测器的类型及性能评价	20
2.4.2 常用检测器	21
2.5 控制系统和数据处理系统	28
2.5.1 温度控制	28
2.5.2 气体压力控制	29
2.5.3 数据采集和处理	29
第 3 章 色谱分析基础理论	30
3.1 色谱分析基本概念	30
3.1.1 色谱术语和参数	30
3.1.2 色谱图提供的信息	33
3.2 分配系数与容量因子	34

3.2.1	分配系数	34
3.2.2	分配系数 K 与容量因子 k 的关系	35
3.3	吸附等温线与色谱峰的形状	36
3.4	色谱理论	37
3.4.1	塔板理论	38
3.4.2	速率理论	44
3.5	分离度和色谱分离基本关系式	49
3.5.1	分离度	49
3.5.2	色谱分离基本关系式	51
	参考文献	54
第 4 章	色谱定性和定量分析方法	55
4.1	色谱定性分析方法	55
4.1.1	标准品对照定性	55
4.1.2	保留指数定性	56
4.1.3	相对保留值定性	57
4.1.4	双柱或多柱定性	57
4.1.5	保留值经验规律定性	58
4.1.6	检测器选择性定性	58
4.1.7	联用技术定性	59
4.2	色谱定量分析方法	60
4.2.1	归一化法	60
4.2.2	外标法	63
4.2.3	内标法	64
4.2.4	标准加入法	64
4.3	色谱系统适用性检验	65
4.3.1	色谱柱的理论板数	65
4.3.2	分离度	65
4.3.3	仪器系统的重复性	65
4.3.4	对称因子或拖尾因子	66
4.4	分析方法的验证	66
4.4.1	准确度	66
4.4.2	精密度	67
4.4.3	选择性和专属性	68
4.4.4	线性范围	69
4.4.5	灵敏度	69
4.4.6	范围	70

4.4.7 耐用性	70
4.4.8 稳定性	70
4.4.9 质量控制	71
4.5 测定结果不确定度评定	71
4.5.1 有关概念	71
4.5.2 不确定度的可能来源	72
4.5.3 测量不确定度评定	73
4.6 应用示例	78
4.6.1 保留指数辅助质谱检索进行组分定性	78
4.6.2 双柱法同时定性、定量测定中药材农药残留	81
参考文献	82
第5章 气相色谱固定相	83
5.1 气-固色谱固定相	83
5.2 气-液色谱固定相	84
5.2.1 聚硅氧烷类	84
5.2.2 聚乙二醇类	87
5.2.3 环糊精类	87
5.2.4 离子液体类	92
5.3 气-液色谱填充柱的载体	110
5.4 固定相特性常数	111
5.4.1 相对极性	111
5.4.2 麦氏常数	112
5.4.3 Abraham 溶剂化作用参数	113
5.5 分子间作用与固定相的选择	116
5.5.1 分子间作用力	116
5.5.2 固定相的选择	122
参考文献	123
第6章 毛细管柱气相色谱法	125
6.1 毛细管色谱柱的发展和分类	125
6.1.1 毛细管色谱柱的发展	125
6.1.2 毛细管色谱柱的分类	127
6.1.3 戈雷方程	128
6.1.4 仪器结构特点	129
6.2 毛细管色谱柱的制备方法	130
6.2.1 毛细管柱内表面处理	131
6.2.2 固定相的涂渍方法	133

6.2.3 毛细管柱的老化	141
6.3 毛细管柱色谱性能的评价	141
6.3.1 柱效	142
6.3.2 分离性能	142
6.3.3 柱惰性	142
6.3.4 热稳定性	143
6.4 毛细管柱气相色谱条件的选择	145
6.4.1 色谱柱的选择	145
6.4.2 载气的选择	147
6.4.3 柱温的选择	148
6.4.4 其他操作条件	150
6.5 气相色谱分析注意事项	150
6.5.1 GC 日常分析注意事项	150
6.5.2 色谱柱安装使用注意事项	152
6.6 应用示例	154
6.6.1 药物中残留溶剂检测	154
6.6.2 血液中乙醇浓度检测	155
6.6.3 食品塑料包装中增塑剂检测	155
6.6.4 尿样中兴奋剂检测	156
6.6.5 蔬菜中农药残留检测	157
6.6.6 空气和废气中环境污染物检测	158
参考文献	158
第 7 章 新型气相色谱固定相及其分离性能	160
7.1 新型大环类 GC 固定相	160
7.1.1 葫芦脲	160
7.1.2 杯吡咯	163
7.1.3 环三藜芦烃	164
7.1.4 柱芳烃	165
7.2 石墨烯和氮化碳类 GC 固定相	169
7.2.1 石墨烯及其复合材料	169
7.2.2 石墨相氮化碳	174
7.3 三聚茛类 GC 固定相	176
7.4 聚己内酯类 GC 固定相	181
7.5 蝶烯类 GC 固定相	185
参考文献	187
第 8 章 气相色谱-质谱联用技术及其应用	189

8.1 GC-MS 的原理和方法	189
8.1.1 基本原理	189
8.1.2 分析方法	193
8.1.3 分析条件的选择	196
8.1.4 应用示例	197
8.2 GC-MS/MS 的原理和方法	201
8.2.1 基本原理	201
8.2.2 扫描模式和分析方法	202
8.2.3 应用示例	203
参考文献	205
第 9 章 气相色谱分析常用的样品制备技术	206
9.1 取样	207
9.1.1 固态样品	208
9.1.2 液态样品	209
9.1.3 气态样品	209
9.2 溶剂萃取	209
9.2.1 基本原理	209
9.2.2 影响因素	213
9.2.3 应用示例	214
9.3 水蒸气蒸馏	215
9.3.1 基本原理	216
9.3.2 挥发油提取方法	216
9.3.3 应用示例	217
9.4 固相萃取	217
9.4.1 基本原理和方法	218
9.4.2 SPE 填料	218
9.4.3 应用示例	219
9.5 固相微萃取	220
9.5.1 基本原理和方法	222
9.5.2 影响 SPME 萃取效率的主要因素	222
9.5.3 应用示例	225
9.6 单滴溶剂微萃取	228
9.6.1 基本原理和方法	228
9.6.2 影响因素	229
9.6.3 应用示例	230
9.7 闪蒸技术	236

9.7.1 裂解器及其分类	236
9.7.2 测定方法及其影响因素	237
9.7.3 应用示例	238
9.8 微波辅助萃取	241
9.8.1 基本原理	241
9.8.2 应用示例	241
9.9 加速溶剂萃取	242
9.9.1 基本原理	242
9.9.2 应用示例	242
9.10 顶空分析	243
9.10.1 HS-GC 分析方法	243
9.10.2 应用示例	244
9.11 样品衍生化	245
9.11.1 常用衍生化试剂	246
9.11.2 应用示例	247
9.12 样品制备注意事项	247
9.12.1 样品制备中可能引起待测组分损失的因素	247
9.12.2 样品制备中可能污染的来源	248
参考文献	248
附录	250
附录 1 本书中常用参数符号或缩写	250
附录 2 本书中常用计算公式或关系式	252
附录 3 常用气相色谱固定相的麦氏常数和使用温度	254
附录 4 常用有机溶剂的理化常数	256
附录 5 气相色谱分析中常见问题和解决方法	258
附录 6 常用气相色谱术语中英文对照	260

第1章 绪 论

1.1 色谱发展简史

按照国际纯粹与应用化学联合会 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) 的定义, 色谱法 (chromatography) 是指样品组分在固定相和流动相两相间进行分配的物理分离过程。

有人以蜜蜂和马蜂为例形象地描述色谱过程。色谱过程就好像是一群蜜蜂和马蜂在一定方向和速度的风的作用下同时通过一个开满鲜花的花坛, 在进行过程中蜜蜂不时地停落在鲜花上采蜜, 而与对鲜花不感兴趣的不停飞行的马蜂逐渐拉开距离而分开。在这个例子中, 花坛中的鲜花相当于色谱的固定相, 一定方向和速度的风相当于色谱的流动相, 蜜蜂采蜜过程相当于色谱过程中组分与固定相间的相互作用。

俄国植物学家茨维特 (Tswett, 1872—1919) 被公认为是色谱法的创始人^[1]。茨维特最先采用柱层析法对植物色素提取物进行了分离, 并首次提出了色谱的概念。1903 年 3 月, 茨维特在华沙自然科学学会生物学分会会议上做了题为 *On a new category of adsorption phenomena and their application to biochemical analysis* 的报告, 介绍了一种新型成功用于植物色素分离的吸附技术。此后, 茨维特又对这一方法作了进一步完善, 在 1906 年先后发表的两篇论文中详细介绍了植物色素的分离方法, 并首次使用了“色谱”一词^[2]。论文中有一段被广泛引用的叙述, 原文为 “Like light rays in the spectrum, the different components of a pigment mixture, obeying a law, are resolved on the calcium carbonate column and then can be qualitatively and quantitatively determined. I call such a preparation a chromatogram and the corresponding method the chromatographic method”。

图 1-1 是茨维特在 1906 年发表的论文中给出的色谱分离装置。先将吸附剂碳酸钙填装在一个玻璃管内, 然后将植物叶子的石油醚提取物加到柱上端吸附剂的表面, 再用石油醚洗脱。在洗脱过程中, 玻璃管内逐渐形成了不同颜色的色带。

遗憾的是, 茨维特的论文在发表后的 25 年中并没有引起化学界的关注。直到 1931 年, 奥地利化学家库恩 (Kuhn, 1900—1967) 等发现了茨维特的吸附色谱法 (adsorption chromatography) 的重要性, 并应用和发展了茨维特的色谱法。库恩利用茨维特的液-固色谱法, 用氧化铝和碳酸钙吸附剂首次分离出三种胡萝卜素异构体 (α -、 β -和 γ -胡萝卜素) 结晶。之后, 库恩又分离出 60 多种类

胡萝卜素并测定了分子式。后来,库恩及其合作者又将液-固吸附色谱法成功用于叶黄素、维生素等的研究,极大地促进了液-固吸附色谱法的应用和发展。鉴于其在研究胡萝卜素、核黄素和维生素等方面取得的显著成就,库恩在1938年被授予诺贝尔化学奖。

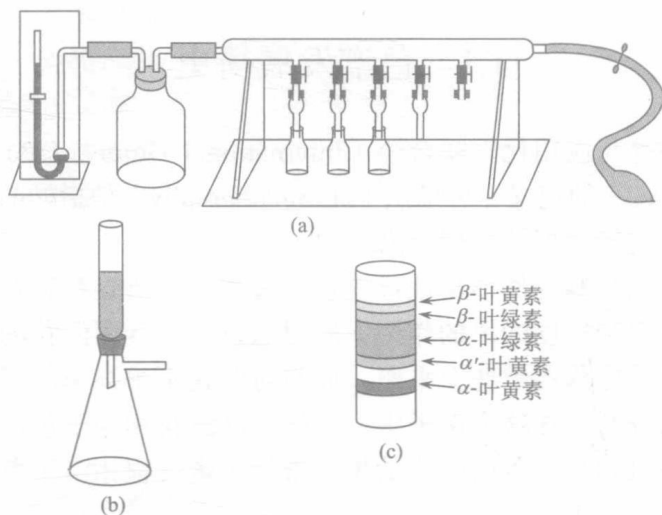


图 1-1 茨维特的色谱分离装置

(a) 可同时使用 5 根色谱柱的装置 (其中看似分液漏斗的下端为填充柱, 内径 2~3mm, 长度 20~30mm);
(b) 大样品量使用的装置 (内径 1~3cm, 填充长度 5~9cm); (c) 茨维特绘制的植物色素分离色谱图

20 世纪 40 年代, 色谱法得到了快速发展。1941 年 6 月在伦敦召开的第 214 次英国生物化学会会议上, 英国两位青年化学家马丁 (Martin, 1910—2002) 和辛格 (Synge, 1914—1994) 报告了一种新型液-液分配色谱法^[3]。他们用硅胶吸附的水作固定相, 以氯仿作流动相, 成功地分离了羊毛中的氨基酸。该报告及其随后发表在《生物化学杂志》上的论文^[4]标志着分配色谱 (partition chromatography) 的诞生。1952 年, 他们因在分配色谱法方面的突出贡献获得了诺贝尔化学奖。马丁和辛格提出了色谱塔板理论并预言气体可代替液体作为流动相。1977 年 3 月 2 日, 英国邮政在皇家化学会百年之际, 出版了四枚纪念英国在化学领域取得成绩的邮票, 其中一枚是为纪念马丁和辛格在 1952 年获得诺贝尔化学奖^[5]。

1952 年, 马丁与另一位青年科学家詹姆斯 (James) 发表了一篇在分配色谱方面取得重要突破的论文, 将用气体作为流动相的气-液分配色谱 (gas-liquid partition chromatography, GLPC) 用于分离挥发性脂肪酸^[6]。文中以硅藻土 (celite) 为载体, 硅油为固定相, 气体为流动相。该研究标志着气-液分配色谱的诞生。在随后的几个月里, 他们又连续发表了两篇论文, 在分析化学领域产生了极大的影响。1952 年 9 月, 在牛津大学召开了第一次国际分析化学会议, 有来自 26 个国家的 700 多人参会。马丁介绍了气相色谱 (gas chromatography,

GC)这一新技术,引起了与会者的极大兴趣。此次会议极大地推动了气相色谱的发展和应⤵。

1956年,荷兰学者范第姆特(van Deemter)等发展了另一重要的色谱理论,即速率理论(rate theory)^[7]。该理论从动力学角度描述了填充柱气相色谱法的色谱过程,阐明了气-液色谱法(gas-liquid chromatography, GLC)中溶质扩散和传质过程。

1957年,戈雷(Golay)在由美国仪器学会在密歇根大学举行的第一届气相色谱会议上,发表了第一篇有关开管柱气相色谱法[open-tubular column gas chromatography, 现常称为毛细管气相色谱法(capillary gas chromatography)]的报告。该报告标志着毛细管气相色谱研究的开端。在此后的一段时间里,戈雷等研究了毛细管柱的制备方法,并进一步完善了毛细管柱色谱理论。1958年,在阿姆斯特丹的国际气相色谱会议上,戈雷提出了著名的戈雷方程,阐述了各种参数对色谱柱分离性能的影响,奠定了毛细管色谱发展的基础,并极大地促进了毛细管柱制柱技术和相关仪器的发展和应用。

毛细管色谱柱的材料也逐渐由最初的不锈钢柱发展到玻璃柱,最后发展到目前广泛采用的弹性熔融石英毛细管柱(flexible fused silica capillary column)。熔融石英毛细管柱的出现是气相色谱的又一次革命。1979年春,在第三次毛细管色谱国际会议上,Dandeneau和Zerenger首次报告了对熔融二氧化硅毛细管柱的研究,开始了熔融石英毛细管柱的时代。

随着气相色谱法的发展,人们开始研究将类似的条件用于液相色谱(liquid chromatography, LC),其中Giddings等作出了重要贡献。1963年,Giddings发表的题为“类似GC操作条件的LC法”的论文^[8]引发了液相色谱法的一场革命。与之前的依靠低压或重力分离(如茨维特的柱层析法)的液相色谱法不同的是,该新型液相色谱法需使用高压泵,因此称为高压液相色谱法(high-pressure liquid chromatography, HPLC)。但随着相关技术的快速发展,后来又称为高效液相色谱法(high-performance liquid chromatography, HPLC)。在之后的几年里,Giddings对相关的色谱理论进行了总结和扩展,并于1965年出版了《色谱动力学》(Dynamics of Chromatography)专著^[9]。此后,速率理论成为色谱理论的一个重要组成部分。色谱发展中的一些标志性的进展见表1-1。

表 1-1 色谱法发展简史

年份	发明者	色谱重要进展或应用
1906	Tswett	用碳酸钙作吸附剂分离植物色素,提出色谱概念
1931	Kuhn 等	用氧化铝和碳酸钙分离 α -、 β -和 γ -胡萝卜素。此后用此法分离了 60 多种该类色素
1940	Tiselius	发明了吸附分析和电泳,1948年获诺贝尔化学奖

续表

年份	发明者	色谱重要进展或应用
1940	Wilson	发表第一篇有关色谱理论的论文；假设完全平衡和线性吸附等温线；定性地定义了扩散、吸附速率和非线性等温线
1941	Tiselius	发明了液相色谱并提出迎头（前沿）分析、洗脱分析和顶替展开法
1941	Martin、Synge	提出色谱塔板理论模型（用于评价柱效）；发明了液-液分配色谱；预言了气体可代替液体作为流动相。1952年获诺贝尔化学奖
1944	Consden 等	发明了纸色谱
1946	Claesson	发明了具有迎头（前沿）分析和顶替展开分析的液-固色谱法（合作者 A. Tiselius）
1949	Martin	确定了保留值与热动力学平衡常数间的关系
1951	Cremer	引入了气-固色谱
1952	Phillips	发明了具有迎头分析的液-液色谱
1952	James、Martin	从理论和实践方面完善了气-液分配色谱法
1955	Glueckauf	首次给出全面评价理论塔板数与固定相粒度、颗粒扩散和膜扩散离子交换之间的关系方程
1956	van Deemter 等	提出了色谱速率理论，并应用于气相色谱
1957	Golay	发明了开管柱气相色谱法
1959	Porath、Flodin	发表了凝胶过滤色谱的报告
1964	Moore	发明了凝胶渗透色谱
1965	Giddings	总结和发展了早期的色谱理论，为色谱学的发展奠定了理论基础
1975	Small	发明了以离子交换剂为固定相、强电解质为流动相，采用抑制型电导检测的新型离子色谱法
1981	Jorgenson 等	创立了毛细管电泳法

1.2 色谱法分类

色谱法的种类和名称各异。基于色谱分离规模、流动相和固定相的形态、色谱分离载体的形状、色谱分离机理等，色谱法主要分为以下各类方法^[10-12]。

1.2.1 按照色谱分离规模分类

按照色谱分离规模，色谱法分为分析型和制备型。分析型色谱主要用于样品组分的定性和定量分析；而制备型色谱主要用于样品中目标组分的分离和纯化，以获得纯样品为目的。根据制备样品量的大小，制备型色谱又分为实验室制备型色谱、中试制备型色谱、生产型色谱等。各种色谱规模的组分质量和所需色谱柱内径的大致范围见表 1-2。本书内容只涉及分析型色谱。

表 1-2 色谱法按照色谱分离规模分类

色谱法	质量范围	色谱柱内径/mm
分析型色谱	$\mu\text{g} \sim \text{mg}$	4~10
实验室制备型色谱	$\text{mg} \sim \text{g}$	11~25
中试制备型色谱	$\text{g} \sim \text{kg}$	26~80
生产型色谱	$\text{kg} \sim \text{t}$	81~1500

1.2.2 按照流动相和固定相的形态分类

按照流动相的形态, 色谱法分为气相色谱法和液相色谱法, 前者的流动相为气体 (常称为载气), 后者的流动相为液体。此外, 还可以超临界流体作为流动相, 称为超临界流体色谱 (supercritical fluid chromatography, SFC)。超临界流体是指物质在高于临界温度和临界压力时的一种状态, 它既不是气体也不是液体, 但兼具气体和液体的某些性质, 如气体的低黏度、液体的高密度和介于气、液之间较高的扩散系数等。这种流体因其密度不同, 对各种物质具有不同的溶解能力。目前 SFC 常用的超临界流体是二氧化碳和一氧化亚氮, 常用的固定相是固体吸附剂 (如硅胶) 或键合到载体 (或毛细管壁) 上的高聚物。SFC 是 GC 和 LC 的补充, SFC 可以分析不挥发性组分, 同时具有比液相色谱更高的分析效率。

按照固定相的形态, 色谱法分为吸附色谱法和分配色谱法, 前者的固定相为固态 (常称为吸附剂), 后者的固定相为液态 (常称为固定液)。色谱法按照流动相和固定相的形态分类见表 1-3。

表 1-3 色谱法按照流动相和固定相的形态分类

色谱法	流动相	固定相	类别
气相色谱法 (GC)	气体	液态	气-液色谱 (GLC)
		固态	气-固色谱 (GSC)
液相色谱法 (LC)	液体	液态	液-液色谱 (LLC)
		固态	液-固色谱 (LSC)
超临界流体色谱 (SFC)	超临界流体	类似 LC	

1.2.3 按照色谱分离载体的形状分类

按照色谱分离载体的形状, 色谱法分为平面色谱和柱色谱。前者的载体为玻璃板或滤纸 (如薄层色谱、纸色谱等), 后者的载体可为玻璃柱、不锈钢柱、毛细管柱等 (如柱层析、气相色谱、液相色谱、毛细管电泳等)。

1.2.4 按照色谱分离机理分类

按照色谱分离机理或分子间作用，色谱法分为分配色谱、吸附色谱、离子交换色谱、尺寸排阻色谱等（图 1-2），此外，还有亲和色谱等。被分离组分与固定相间分子作用不同，色谱分离机理则不同。

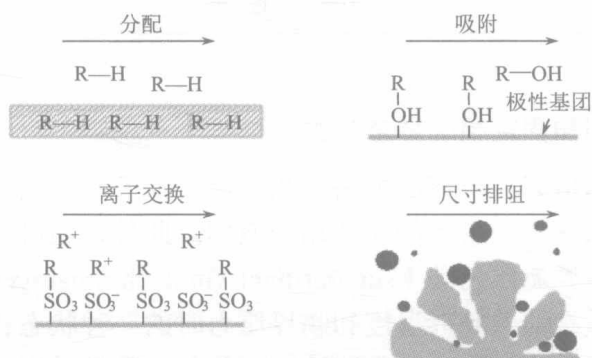


图 1-2 不同分离机理的色谱法示意图

图中箭头为流动相流动方向

分配色谱的分离是基于样品组分在固定相和流动相间的分配系数的差异。当组分在固定相中的溶解度大于其在流动相中的溶解度时，其保留时间较长；反之保留时间较短。在一定色谱条件下，不同组分因分配系数的差异而具有不同的保留时间，使各组分得到分离。

在液相色谱中，当固定相极性大于流动相极性时，称为正相色谱（normal-phase chromatography）；当固定相的极性小于流动相的极性时，称为反相色谱（reversed-phase chromatography）。例如，当固定相为硅胶，流动相为己烷/甲醇（90：10）时，固定相极性大于流动相极性，为正相色谱；当固定相为十八烷基键合硅胶，流动相为水/乙腈（90：10）时，固定相极性小于流动相极性，为反相色谱。

吸附色谱的分离是基于组分在固态吸附剂表面吸附系数的差异。被固定相吸附强的组分，其色谱保留时间长。

离子交换色谱主要用于无机和有机离子的分离。离子交换分离与所用固定相的离子类型有关。

尺寸排阻色谱的分离是基于组分分子的大小和形状。分子较大的组分不能进入固定相孔隙结构内部，很快随流动相流出，保留时间短；而分子较小的组分因可进入孔隙结构内，保留时间较长。因此，通过尺寸排阻色谱可将大小和形状不同的分子分开。本法常用于测定聚合物的相对分子质量分布；也可作为一种样品制备的方法，去除样品基质中的大分子，如食品、蔬菜、水果中的纤维、色素等。

1.3 色谱法的特点、应用领域和发展趋势

色谱法具有以下特点:

(1) 具有强大的组分分离、定性和定量功能,是目前复杂样品组分分离分析不可或缺的有力手段。

(2) 具有高选择性。可根据被测组分的性质,通过改变色谱固定相或流动相的种类提高色谱选择性。

(3) 高灵敏度。色谱分析所需样品量少,可用于微量组分的定性或定量分析。

(4) 高准确度和高精密度。色谱分析的准确度高、重复性和重现性好,应用广泛。

(5) 可以收集色谱分离的组分,有利于制备高纯度、高附加值的产物。

(6) 色谱分离过程易于放大,便于推广至大规模生产。

(7) 仪器自动化程度高,分析过程简便、快速。

色谱分析目前在生命领域、化学、化工、环境、材料、石油化工、临床医学、药学、刑侦、体育等领域都具有广泛的应用。随着科技的不断发展以及生产和生活标准的不断提高,为适应社会发展对分析测定的要求,色谱分析的发展趋势一直是向着更高灵敏度、更高选择性、更高效率(样品高通量)、仪器自动化和智能化、仪器联用技术(coupling/hyphenated techniques)等方向发展。

1.4 色谱相关的期刊和网上资源

1.4.1 色谱相关的期刊

常刊载色谱分析研究和应用相关论文的国内外学术期刊主要有:

- (1) *Analytical Chemistry*
- (2) *Journal of Chromatography A*
- (3) *Journal of Chromatography B*
- (4) *Analytica Chimica Acta*
- (5) *Trends in Analytical Chemistry*
- (6) *Analytical and Bioanalytical Chemistry*
- (7) *Journal of Separation Science*
- (8) *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*
- (9) *Chromatographia*
- (10) 《分析化学》
- (11) 《色谱》

- (12) 《中国化学快报》
- (13) 《高等学校化学学报》
- (14) 《分析测试通报》
- (15) 《分析科学学报》
- (16) 《药物分析杂志》

1.4.2 色谱相关的网上资源

随着互联网的普及和期刊论文的数字化的普及, 研究人员获取相关资料的途径更为方便、快捷。常用的期刊数据库和部分色谱相关网址见表 1-4。此外, 国内外一些大型色谱仪器公司的网站也提供一些色谱相关的知识和材料可供学习或参考。

表 1-4 主要期刊数据库和部分相关网址

期刊数据库或相关网站	网址
John Wiley 期刊全文库	http://www.interscience.wiley.com
Elsevier 期刊全文库	http://www.elsevier.com
Springer Link 期刊全文库	http://www.springerlink.com
LCGC 杂志网站	http://www.lcgmag.com
英国皇家化学会 (RSC) 期刊全文库	http://www.rcs.org
美国化学会 (ACS) 期刊全文库	http://pubs.acs.org
色谱论坛	http://www.chromatographyforum.com
色谱在线	http://www.chromatography-online.org
中国知网	http://www.cnki.net
仪器信息网	http://www.instrument.com.cn
中国色谱网	http://www.sepu.net

参 考 文 献

- [1] Ettre L S. M. S. Tswett and the invention of chromatography. LC GC North America, 2003, 21: 458.
- [2] Berezkom V G. Chromatographic Adsorption Analysis: Selected Works of M. S. Tswett. New York: Ellis Horwood, 1990.
- [3] Martin A J P, Synge R L M. Separation of the higher monoamino-acids by counter-current liquid-liquid extraction: the amino-acid composition of wool. Biochem J, 1941, 35: 91.
- [4] Martin A J P, Synge R L M. A new form of chromatogram employing two liquid phases. Biochem J, 1941, 35: 1358.
- [5] Ettre L S. The birth of partition chromatography. LC GC, 2001, 19: 506.
- [6] James A T, Martin A J P. Gas-liquid partition chromatography: The separation and micro-estimation of volatile fatty acids from formic acid to dodecanoic acid. Biochem J, 1952, 50: 679.
- [7] van Deemter J J, Zuiderweg F J, Klinkenberg A. Longitudinal diffusion and resistance to mass transfer