

新型分离 技术基础

刘茉娥 陈欢林 编著

第二版

1.8

浙江大学出版社

465547

新型分离技术基础

(第二版)

刘茉娥 陈欢林 编著



00465547

浙江大学出版社

内 容 简 介

本书较系统地介绍了近十几年来得到迅速发展和应用的一些新型分离技术的基本原理、数学模型、过程、设备及工业应用情况。

本书共分10章。第1章为绪论；第2章为基础理论，简要介绍了分离过程的热力学基础和动力学基础；第3~5章介绍固膜及其分离过程；第6~10章依次对液膜分离、泡沫分离、超临界流体萃取、色谱分离、双水相萃取作了较系统的论述。

本书可作为化学工程与工业化学学科类本科高年级学生和研究生教材，也可作为从事化工、化学、生化、环保、医药、食品等专业技术人员的参考书。

DL 19 / 29 + 19

新型分离技术基础

(第二版)

刘莱娥 陈欢林 编著

责任编辑 李玲如

* * *

浙江大学出版社出版

(杭州玉古路20号 邮政编码310027)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

浙江大学出版社电脑排版中心排版

余杭供销印刷有限公司印刷

浙江省新华书店发行

* * *

787mm×1092mm 16开 15.75印张 403千字

1993年8月第1版 1999年5月第2版 1999年5月第2次印刷

印数 2001—3000

ISBN 7-308-02085-1/TQ·020 定价: 17.00元

前 言

分离过程系指将某混合物通过物理、化学或物理化学等手段分离成两个或多个组成彼此不同的产物的过程。这种被分离的混合物可以是原料、反应产物、中间产品或废物料。由于混合过程是一个自发过程,所以要将混合物分离,必须采用一定的手段。在工业规模上,通过适当的技术手段与装备,耗费一定的能量来实现混合物分离的过程称为分离工程。通常,分离过程贯穿在整个工艺过程中,是获得最终产品必须的一个重要手段。

在石油、化工、医药、食品、冶金及原子能等许多工业技术领域,分离过程的应用非常普遍,在这些工业企业中,分离过程的装备和能量消耗都占有主要地位。在化工生产中,分离过程的基建投资通常占总投资的 50%~90%,所消耗的能量也往往占总能耗的绝大部分。例如,在聚乙烯生产过程中,精制所消耗的能量占总能耗的 94%;在醋酸生产中,精制所消耗的能量更高,为总能耗的 98%。

随着现代生产和科学技术的飞速发展,人民生活水平的逐渐提高,对分离技术提出了越来越高的要求。

首先,对产品的质量及物质纯度的要求提高了,有时甚至很苛刻。例如,在原子能和半导体工业中所需的高纯气体氦、氮及半导体材料硅和锗等,其纯度都要求在 99.99%,有的甚至超过 99.9999%;对电子工业中的超纯水、核反应堆的冷却水,其用量之大、纯度要求之高,无法用二次蒸发等传统工艺制取。

其次,随着现代工业趋向大型化生产,产生的大量废气、废水、废渣排放更加集中,对这些三废的处理不但涉及物料的综合利用,还关系到环境污染和生态平衡。航天技术的发展也带来了许多急待解决的问题,如载人空间飞行器及空间站舱内 CO_2 气体的去除、饮用水的制备及生活废水的再生利用等。

再次,石油危机及由此引起的能源紧张,促使人们开始寻找新的能源,利用核电能、太阳能、水能及风能等自然界取之不尽的能源;利用生物可再生资源生产能源产品,例如,农副产品纤维素分解发酵生产酒精、玉米芯生产木糖醇等;能源的危机促使人们对工业过程中的耗能技术进行改造等。

据环保部门有关资料表明,我国大部分城市的年均径流量与污水排放量之比接近于极限水平,实际用水量已达到必须综合利用的程度,京、津、沪三大城市水资源的综合利用已列入议事日程。回收废水中的有用物质,既降低了污水处理负荷,又能取得较大的经济效益,现已受到环保部门及工矿企业的重视。

上述种种原因,不但促使一些常规分离技术,如蒸馏、吸收、萃取、吸附、结晶等过程不断地改进和发展,更促使一些各具特色的新颖分离过程,如膜分离、泡沫分离、超临界气体萃取等得到重视、研究和发展。这些新颖的分离技术,有的已在生产上得到一定规模的应用,但大多数还处于实验研究和工厂中试规模的开发阶段,但是这些方法都很有发展前途,而且各具特色。

我国在新型分离方法的研究和利用上与国外目前的水平相比,有不少差距,这些差距不但

表现在对这些方法的基础理论研究较为欠缺,而且在对这些方法的利用上差距也极为突出,因此,也尚未有比较系统的资料对这方面的研究工作加以介绍。

本教材对近二三十年来研究进展迅速并开始广泛得到应用的新型分离过程——膜分离、泡沫分离、超临界萃取、色谱分离及高梯度磁分离技术作了较为全面的论述。内容包括:基本原理、数学模型、过程及设备、工业应用及发展动向等,每章后附有习题。教材内容安排的目的在于使读者了解分离科学和技术发展的新动向,掌握这些新技术的基本知识和应用对象,拓宽分离技术的知识面。

本书第1~2章由陈欢林编著,第3~7章由刘荣娥编著。最后由刘荣娥对全稿进行审阅和统一。本书的初稿经潘祖仁教授、陈维教授初审并推荐,在此表示感谢。由于编者的水平有限,书中难免有误漏,敬请读者不吝批评指正。

作者 1992年3月

再版前言

本教材自从 1993 年出版后,得到不少院校师生的关心与支持,来函提出了许多建设性的意见与建议。在此,我们向关心和支持本教材再版的专家及同仁致以诚挚的谢意。

结合五年来的课堂教学使用情况,以及近几年来新型分离技术的进展,再根据有关专家的意见与建议,在再版中,我们增写了绪论,并将原来第 2 章的内容分为第 3 章的膜的特性及传递模型和第 4 章的膜分离过程原理,增加了第五章,简要地介绍了膜蒸馏、膜基吸收、膜基萃取、亲和膜等新型膜分离技术。限于篇幅,我们略去了原第 7 章的高梯度磁分离技术的内容,新编双水相萃取为第 10 章内容,同时,对其他各章的内容也进行了修改和补充。此外,根据教学与科研需要,我们在各章中增加了适量的例题,在每章后增添了习题,以供读者练习。

本教材多年来一直作为化学工程与工业化学学科的本科学生和研究生教材与参考书,选修学生与研究生的专业涉及化学工程、生物化工、环境化工、高分子化工等,因此,教师可根据选修学生的专业选讲有关内容,并布置与专业有关的习题。

本教材除绪论及第 2 章基础理论外,其余 8 章内容相互独立。因此,可单章阅读或作读者参考书。

编著者恳切希望继续得到关心和支持本教材的专家、学者的赐教。

刘莱娥、陈欢林
1998 年春节
于浙江大学求是园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 新型分离技术发展基础	1
1.2 分离过程的分类	2
1.3 膜分离技术	4
1.4 基于传统分离方法的新型分离技术	6
主要参考文献	8
习题 1	8
第 2 章 基础理论	9
2.1 分离过程的热力学基础	9
2.2 分离过程中的动力学基础	17
2.3 分离过程中的物理力	21
2.4 分离因子	29
主要参考文献	32
习题 2	32
第 3 章 膜的特性及传递模型	33
3.1 概述	33
3.2 膜的制备及特性	34
3.3 膜的传递模型	46
主要参考文献	58
习题 3	58
第 4 章 膜分离过程原理	59
4.1 概述	59
4.2 以压力差为推动力的膜分离过程	59
4.3 以浓度差为推动力的膜分离过程	80
4.4 以电位差为推动力的膜分离过程	85
4.5 浓差极化对膜分离过程的影响	100
4.6 膜分离级联操作的形式和级数计算	105
4.7 膜组件	114
主要参考文献	125

习题 4	126
第 5 章 新型膜分离技术	128
5.1 膜蒸馏	128
5.2 膜基吸收	130
5.3 膜基萃取	132
5.4 亲和膜分离	133
主要参考文献	136
习题 5	136
第 6 章 液膜分离过程	137
6.1 概述	137
6.2 液膜的形状和分类	138
6.3 液膜分离机理	139
6.4 液膜制备及其分离操作过程	142
6.5 液膜传质模型及分离级数的计算	146
6.6 液膜分离技术的应用	147
主要参考文献	156
习题 6	157
第 7 章 泡沫分离技术	159
7.1 概述	159
7.2 基本原理	160
7.3 泡沫分离的设备及流程	164
7.4 影响泡沫分离的因素	168
7.5 泡沫分离过程的设计计算和理想泡沫模型	170
7.6 泡沫分离过程的应用及研究情况	176
主要参考文献	179
习题 7	180
第 8 章 超临界流体萃取	182
8.1 概述	182
8.2 超临界流体的性质	183
8.3 超临界萃取的热力学基础	185
8.4 超临界流体萃取法的分类	190
8.5 超临界流体萃取的典型流程	191
8.6 超临界流体填料萃取塔的传质模型	193
8.7 超临界流体技术的应用及发展趋势	195
主要参考文献	201
习题 8	202

第 9 章 色谱分离技术	203
9.1 概述	203
9.2 色谱过程的基本性质	204
9.3 色谱分离理论	206
9.4 色谱分离柱的放大和计算	208
9.5 生产规模气液色谱及其应用	210
9.6 大规模固液吸附色谱及其应用	213
主要参考文献	219
习题 9	219
第 10 章 双水相萃取	220
10.1 概述	220
10.2 双水相的形成及其制备	221
10.3 分配系数及影响分配的因素	222
10.4 双水相萃取过程及设备	224
10.5 双水相萃取的应用	225
主要参考文献	229
附表 A 电解质水溶液的渗透压系数 ϕ_i	230
附表 B 水溶液的渗透压、摩尔浓度、粘度和扩散系数	234
附表 C 海水及 NaCl 溶液在不同温度下的渗透压	238
附表 D 聚合物膜材料的溶解度参数	239

第1章 绪 论

1.1 新型分离技术发展基础

新型分离技术是相对于传统分离技术而言的。如图 1-1 所示,若以各种分离技术的发展成熟度和工业应用度来定位,假定蒸馏技术的技术成熟度及工业应用度接近于极限状态,那么,新型分离技术指的是技术成熟度和工业应用度处于图内左下方位置的那些分离技术^[1]。

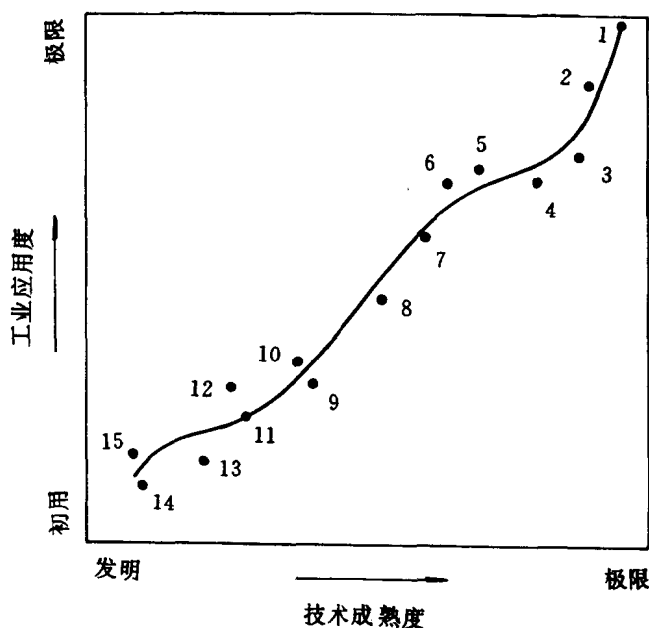


图 1-1 分离技术发展现状

1. 蒸馏, 2. 吸收, 3. 萃取/共沸蒸馏, 4. 溶剂萃取, 5. 结晶, 6. 离子交换, 7. 吸附(气相), 8. 吸附(液相), 9. 膜(液体), 10. 膜(气体), 11. 色谱分离, 12. 超临界萃取, 13. 场致分离, 14. 亲和分离, 15. 液膜

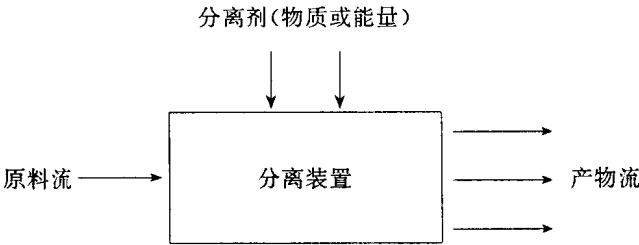
新型分离技术大致可分为三大类:第一类为对传统分离过程或方法加以变革后的分离技术,如基于萃取分离的超临界萃取、液膜萃取、双水相萃取,基于吸附分离的色谱分离技术等;第二类为基于材料科学的发展形成的分离技术,如反渗透、超过滤、气体分离以及渗透蒸发等膜分离技术;再一类为膜过程与传统分离技术相结合形成的新型分离技术,如膜蒸馏、膜基吸收、膜基萃取、膜亲和超滤以及膜反应器等。

新型分离技术的发展与科学技术的研究水平、人类对自然界的探索及生活需求密切相关,如生物技术的迅速发展,大大地促进了新型分离技术的开发和应用研究。众所周知,生物产品分离具有对象复杂、产物浓度低、产品易变性等特点,迫切需要更合适的分离技术,以提高产品质量,降低成本。这就使膜技术、超临界萃取、色谱分离等技术在生物大分子物质的提取与纯化方面备受关注。又如航天载人空间飞行器及空间实验室中的生命保障系统是宇航员生活与工作的前提,该系统中的 CO₂ 收集与浓缩、水电解产氧、卫生保健用水的再生处理、微重力下气液两相分离以及空间高等植物栽培过程中营养物的供给、温度与湿度的调节等方面均需攻克来自分离方面的技术难关。已有探索研究结果表明,膜基吸收与气提、促进传递等新型分离技术有可能在以上某些应用中获得成功。

另一方面,环保和节能日益成为全世界关注的焦点,更促使某些具有低能耗、无污染特点的新型分离技术的发展和运用。

1.2 分离过程的分类^[2]

分离过程可用图 1-2 简单示意,一个过程通常由原料、产物、分离剂及分离装置组成。原料是待分离的混合物,它可以是单相或多相体系,但至少含有两个组分;产物为分离所得的产品,它可以是一股,也可以有多股,其组分彼此不同;分离剂为加到分离装置中使过程得以实现的能量或物质,或两者并用,如蒸气、冷却水、吸收剂、萃取剂、机械功、电能等;分离装置是分离过程得以实施的必要物质设备,它可以是某个特定的装置,也可指从原料到产品之间的整个流程。



工业上常用的分离方法不下三四十种,装置的结构和型式五花八门,但若按分离过程原理来分,可分为机械分离和传质分离两大类。

在分离装置中,利用机械力简单地将两相混合物相互分离的过程称为机械分离过程,两相混合物被分离时相间无物质传递发生。表 1-1 列出了几种典型的机械分离过程。

表 1-1 几种典型的机械分离过程

名 称	原 料	分 离 剂	产 品	原 理	应用实例
过 滤	液—固	压 力	液+固	颗粒尺寸>过滤介质孔	浆状催化剂回收
沉 降	液—固	重 力	液+固	密度差	酸雾澄清
离心分离	液—固	离 心 力	液+固	粒子尺寸	蔗糖生产
旋风分离	气—固(液)	流动惯性	气+固(液)	密 度 差	催化剂细粒收集
电 除 尘	气—细粒	电 场 力	气+固	粒子带电性	合成氨气除尘

传质分离过程可以在均相或非均相混合物中进行,在均相中有梯度引起的传质现象发生。传质分离过程又可以分为平衡分离过程和速率控制分离过程两大类。平衡分离过程是依据被分离组分在两相平衡分配组成不等的原理进行分离的过程,常采用平衡级概念作为设计基础,如表 1-2 的精馏、吸收、萃取、吸附等几种典型平衡分离过程。速率控制分离过程是依据被分离组分在均相中的传递速率差异而进行分离的,例如利用溶液中分子、离子等粒子的迁移或扩散速度等的不同来进行分离。

表 1-2 几种典型的平衡分离过程

名 称	原 料	分 离 剂	产 品	原 理	应用实例
蒸 发	液	热	液+汽	挥 发 度	果汁浓缩
闪 蒸	液	减压	液+汽	挥 发 度	海水脱盐
蒸 馏	液或汽	热	液+汽	挥 发 度	酒精提纯
热 泵	气或液	热或压力	二气或二液	吸 附 平 衡	CO ₂ /He 分离
吸 收	气体	液体吸收剂	液+气	溶 解 度	碱液吸收 CO ₂
萃 取	液体	不互溶萃取剂	两液相	溶 解 度	芳烃抽提
附	气或液	固体吸收剂	液或气	吸 附 平 衡	活性炭吸附苯
离子交换	液体	交换树脂	液	吸 附 平 衡	水软化
萃取蒸馏	液	热或萃取剂	汽+液	挥发度、溶解度	恒沸产品分离

表 1-3 中所示的典型速率控制过程,其分离剂大多为压力或温度梯度,膜分离技术是近十几年来研究较多、发展较快的一种速率控制分离过程。此外还有用场作为分离剂的速率控制过程,例如,超速离心分离、电沉降、高梯度磁分离以及质谱分离等。

本书将要介绍的一些新型分离技术大都属于传质分离过程。这些分离过程是以平衡过程(热力学)及速率过程(动力学)为研究基础,因此在介绍各种新型分离技术之前,先在下一章中简要介绍与这些分离过程有关的热力学和动力学基础,为以后各章的讨论提供参考。

表 1-3 几种典型的速率控制分离过程

名 称	原 料	分 离 剂	产 品	原 理	应用实例
加压扩散	气	压力	气	压 力 差	同位素分离
气体扩散	气	多孔隔板	气	浓 度 差	铀同位素分离
反 渗 透	液	膜、压力	液	克服渗透压	水脱盐
渗 析	液	膜	液	扩散速度差	废水中苛性钠回收
渗透蒸发	液	膜、真空	液	溶解、扩散	异丙醇脱水
泡沫分离	液	泡沫界面	液	界面浓差	酶和染料分离
色谱分离	气或液	固相载体	气或液	吸附浓度差	混合溶剂蒸气回收
区域熔融	固	温度	固	温 度 差	锗的提纯
热 扩 散	气或液	温度	气或液	温度引起浓度差	气态同位素分离
电 解	液	电场、膜	液或气	电 位 差	氢和氟的分离
电 渗 析	液	电场、膜	液	电 位 差	水脱盐

1.3 膜分离技术^[3]

随着科学技术的发展,人们模仿生物膜的某些功能,制备出各种合成膜,并开拓出相应的膜技术应用于日常生活与生产过程中。由于膜与膜技术的应用范围的不断扩大,因此,它的应用价值与重要性也逐渐被人们所认识。

膜及其装置的销售与开发研究现状可用图 1-3 表示,各种膜及装置的销售状况可分为价格趋于稳定性的低速增长区与使用趋于可靠性的高速增长区;研究发展状况可分为基础研究、过程开发和过程优化三个阶段。由图 1-3 可知,膜与膜技术的应用潜力是非常明显的。在当代世界高技术竞争中,膜与膜技术占有极其重要的位置,受到发达国家和发展中国家的关注。80 年代初,各发达国家先后将膜材料及膜技术开发项目列入国家计划。日本政府在膜分离的研究和发展上拨款已达数千万美元,10 年内用于膜与膜技术新应用开发项目的投资将达 4.5 亿美元;欧共体自 1985 年开始选择膜技术作为欧洲工业发展的九个优先课题之一;美国在过去的 20 年中,在膜材料的基础研究和应用开发方面的投入则更多;此外,加拿大、意大利等国在膜的基础研究和开发应用上也做了大量的工作。

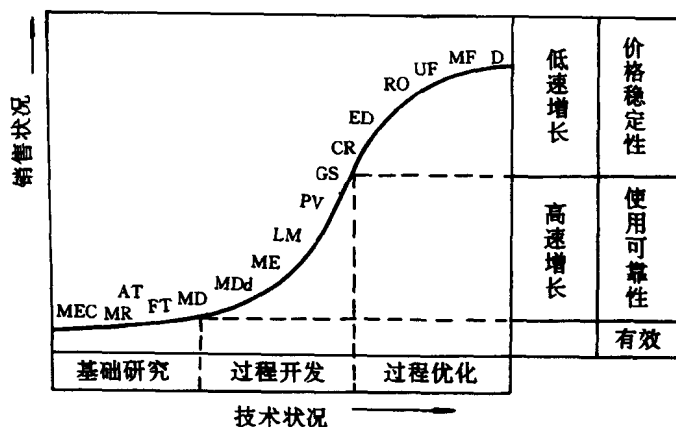


图 1-3 膜销售状况与膜研究发展状况的关系

D. 渗析(包括血的渗析),MF. 微孔过滤,UF. 超过滤,RO. 反渗透,ED. 电渗析,CR. 控制释放,
GS. 气体分离,PV. 渗透蒸发,LM. 液膜,ME. 膜电解,MEd. 双极性膜,MD. 膜医用装置,
FT. 促进传递,AT. 主动传递,MR. 膜反应器,MEC. 膜能量转换系统

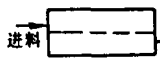
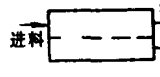
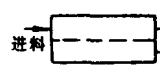
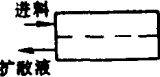
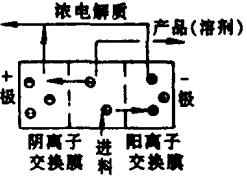
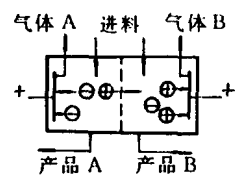
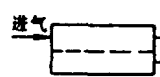
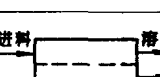
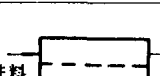
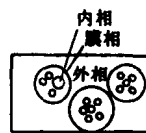
膜分离技术是利用膜对混合物各组份选择渗透性能的差异,来实现分离、提纯或浓缩的新型分离技术。组份通过膜的渗透能力取决于分子本身的大小与形状,分子的物理、化学性质,分离膜的物理化学性质以及渗透组份与分离膜的相互作用关系。由于渗透速率取决于体系的许多性质,这就使膜分离与只决定于较少物性差别的其他分离方法相比,具有极好的分离能力。

膜分离技术可以和常规的分或反应方法相耦合,组成集成技术。如膜过程分别与蒸馏、吸收、萃取等常规化工分离技术相结合,以使各种分离过程在最佳条件下进行;膜分离与化学反应相结合,能在反应的同时不断移去过程中的生成物,使反应不受平衡的限制,以提高反应转化率。采用这种集成技术比单独应用膜分离技术更有效、更经济。

膜分离技术具有过程简单、操作方便、分离效率高、节能、无污染等优点,因而在海水和苦

盐水淡化、工业和生活废水的处理、气体分离以及生物物质的分离与提纯等方面应用正在日益增加。作为一种化工单元操作,它可替代某些蒸馏、萃取、蒸发、吸附、盐析、气体分离等化工单元操作。膜分离技术特别适用于常规分离方法难以分离的体系,如化学或物理性质相似的混合物、结构或光学异构体、生物大分子物质及酶制剂等。

表 1-4 几种主要的膜分离过程^[4]

过 程	简 图	膜类型	推动力	传递机理	透过物	截留物
1. 微滤 (0.02~10 μm)		均相膜、非对称膜	压力差 ~0.1 MPa	微孔粒大小 筛分 形状	水、溶剂 溶解物	悬浮物 微粒、细菌
2. 超滤 (0.001~0.02 μm)		非对称膜 复合膜	压力差 0.1~1.0 MPa	分子特性、 微孔筛分 大小、形状	溶剂、离子 及胶体分 子	生物大分子
3. 反渗透 (0.0001~0.001 μm)		非对称膜 复合膜	压力差 0.1~10 MPa	扩散 渗透	水	溶剂、溶质大 分子、离子
4. 渗析		非对称膜、 离子交换膜	浓度差	扩散	低分子量 物质、离子	溶剂分子量 >1 000
5. 电渗析		离子交换膜	电位差	离子选择	离子	非电解质及 大分子物质
6. 膜电解		离子交换膜	电位差 电化学反应	电解质离 子选择传递 电极反应	电解质离子	非电解质 离子
7. 气体分离		均相膜、复 合膜、非对 称膜	压力差 1.0~10 MPa 浓度差	扩散渗透	气体或蒸汽	难渗气体 或蒸汽
8. 渗透蒸发		均相膜、复 合膜、非对 称膜	压力差	溶解扩散	蒸汽	难渗液体
9. 膜蒸馏		疏水均相 微孔膜	温度差	蒸气扩散 渗透	蒸汽	大分子、离 子等溶质
10. 液膜 (促进传递)		液膜	化学反应 和浓度差	反应促进 和扩散传递	杂质 (电解质离子)	溶剂 非电解质

膜分离技术的主体是膜,而膜涉及多个学科,因此在膜的分类上也不统一,但概括起来大致可按膜的性质、结构、材料、功能及作用机理等分为五大类。在化工过程中,通常为具有分离或反应功能的合成膜,这类膜可按作用机理、推动力及膜组件结构细分。按作用机理可分为有孔膜的筛分机理、无孔膜的溶解扩散机理、活性基团的反应或亲和吸附机理等;按推动力可分为压力差、浓度差、电位差、温度差等;按膜组件结构可分为板框(盒)式、螺旋卷式、中空纤维式、管式等四大类。由于膜的种类很多,除了用于分离的膜外,还有用于分子识别、能量转换、电光转换等功能膜。本书只讨论分离膜及其过程,几种主要膜分离过程及其传递机理和功能示于表 1-4。

1.4 基于传统分离方法的新型分离技术

科学技术的发展也为传统分离技术的发展、更新提供了可能的途径和应用的天地,促使其从实践到理论,再从理论到实践,不断地提高和完善。如溶剂萃取是应用很广也很早的一种分离技术,从核燃料的提取、分离、纯化到有色金属的分离提纯、生物质的分离提纯都有应用。但任何一种分离技术在应用上都有它的局限性,不可能有适用于任何体系的分离方法,有机溶剂萃取常会使某些生物物质失活,而且残留在药物及食品中的有机溶剂往往难以脱除,形成产品的污染。60 年代后开始进入系统研究的超临界萃取和双水相萃取等新型萃取过程,因有萃取剂无毒性,易脱除,且容易保持生物物质活性等优点,很快在迅猛发展的生化、制药、食品等领域得到应用,并在应用中加深对其基础理论、设计、优化的研究。理论研究的深入又进一步广大了这些技术的应用范围。又如随着工业发展,废水、废气对环境的污染日益严重,这些排放量极大,浓度又低的物料,很难用常规分离方法进行处理。若用有机溶剂萃取含重金属离子的废水,溶剂与废水的比例高达 1 : 1,且萃取后的分相和溶剂再生都很困难,液膜萃取集萃取和再生于一体,传质比表面积大,且可利用化学反应和载体促进传质,具有非常高的选择性和传质速度。例如以 NaOH 为内相的乳化液膜进行含酚废水的脱酚,几分钟内即可将废水内酚含量降低到排放标准以下。因此在 60 年代液膜技术提出后,即在废水处理、湿法冶金、石油化工等领域得到重视和研究,这些新型萃取过程与溶剂萃取相比,主要差别是萃取剂改变了,但其基本原理、所用萃取设备及过程的计算、设计方法等基本与溶剂萃取相似。从原理上说,都是利用组分在两相的分配差进行分离。从分离用设备看,都可以用填料塔、筛板塔等塔式传质设备,也都可以用简单的混合、澄清槽进行萃取和分相,设备高度也可通过传质单元数、传质单元高度或理论板的计算得到,但由于所用萃取剂及被萃取组分的物理化学性质上的差异,因此塔内的流体力学和传质性能各有其独特处,而对这些新型萃取过程传质设备内流体力学和传质性能的研究,目前多处于实验数据测定和定性分析上,还缺少能描述这些设备内流体力学及传质性能的数学模型。而一种新技术能否用于实际生产,除与该技术对目的产物的分离、提纯能力有关外,还决定于分离的速度,后者决定了过程的经济性和实际可行性。分离速度当然决定于设备的传质性能,因此对这些新型萃取过程传质及流体力学性能的研究,是当前这些新型萃取技术从实验研究走向工业生产的关键之一。而这些模型的建立,需要密度、粘度、界面张力、扩散系数、分配系数等物理量及其关联式,因此必须同时加强对这些新体系基础数据测定和关联的研究工作。超临界过程多用于天然产物的萃取分离,双水相系统多用于生物质的分离,对这些复杂体系相平衡和数学模型的建立,虽然已做了不少工作,但目前这些模型大多是在统计力学基础上发展

起来的经验和半经验模型,尚缺乏普遍意义。

此外,超临界萃取大多需在高压(10~100 MPa)下进行。高压设备的费用常占工厂总投资一半以上,如何提高超临界萃取剂的溶解度和选择性,降低设备费用,也是超临界萃取走向工业应用过程中应研究解决的重要内容。有关这方面内容在本书中不作进一步介绍。

色谱是利用组分在固定相和流动相具有不同的吸附平衡或分配平衡的原理进行的分离。因此吸附色谱的分离原理与吸附分离相似,而分配色谱的原理则与精馏相似。色谱之所以比吸收及精馏有高得多的分离效率是由于流动相和固定相之间不断的接触平衡所造成的。装填好的色谱柱1米有几百到上千的平衡级,特别适用于精馏等过程难以分离体系的分离。

目前工业规模色谱主要应用于三方面。一是以模拟移动床形式进行分离操作的固液吸附色谱,通称 Sorbex 过程,所用柱填料多为合成沸石分子筛,分离对象是二甲苯异构体,油品脱蜡,果糖/葡萄糖分离等六个体系;二是生化产品分离的吸附色谱及凝胶色谱;三是用于香料等提取的气液分配色谱。

对色谱分离的研究和传质模型的建立,以前大多是对线性色谱进行的,而用于工业规模分离的色谱多为非线性色谱,对非线性色谱虽也提出过许多传质模型,但到目前为止尚无法对建立的模型求得一般的数学解,因此难以指导过程的优化和放大,这也是色谱技术迟迟难以从分析规模进入工业规模分离应用的原因之一。目前常用从化学工程的角度出发,对影响放大的各因素进行定性分析,以指导色谱过程的优化和放大。就目前的状况看,要通过传质模型,进行非线性色谱的优化、放大,还有很大差距,对非线性色谱还必须加强理论的研究。

泡沫分离技术早就在选矿中应用,只是 70~80 年代该技术在理论研究和应用开发上都有了新的进展,其分离范围从不溶性固体扩展到可溶解性组分,从分离单纯的表面活性物质,扩大到金属离子等非表面活性物质。因其设备简单,处理容量大,又特别适合溶液中低浓度组分的分离、回收,非常适合某些工业废水中重金属离子的脱除。如萃取冶金工业废水及原子能工业废水的处理,其最有经济价值的应用是从照相、电镀和宝石生产废水中回收有价值的组分。

泡沫分馏的操作及所用设备与精馏过程很相似,但泡沫分离是利用组分在气液界面——气泡上的选择吸附进行分离的过程,是表面化学的一种成功应用。泡沫是一多相非均匀体系,影响泡沫分离的因素极其复杂,早期的研究多为定性分析,随着电子计算机的应用,过程的动力学及数学模型的研究有了很大进展。

上述这些由传统分离技术发展起来的新型分离过程,目前尚处于由实验研究走向工业应用的开发阶段,还需加强基础研究,完善设计方法。

主要参考文献

- [1]袁权. 浙江大学 100 周年校庆报告会资料. 杭州,1997
- [2]King C J. Separation Processes(2nd). New York; McGraw-Hill Inc. 1980
- [3]Winston W S, Sirkar K K(ed). Membrane Handbook. New York; Van Nostrand Reinhold, 1992
- [4]朱长乐, 刘茉娥, 朱才铨编. 化学工程手册(第 18 篇), 薄膜过程. 北京: 化学工业出版社, 1987

习题 1

1. 请列出膜过程与传统分离技术相结合形成的新型分离技术, 并指出这些技术的特征及优越性。
2. 以精馏过程为例, 说明何为平衡级分离?
3. 膜分离为什么是速率控制的分离过程?
4. 何为集成技术, 请举例。
5. 溶剂萃取的原理是什么? 请举一个应用实例, 你认为其中主要的关键是什么?
6. 超临界萃取、双水相萃取、液膜萃取与常规溶剂萃取比较, 有何异同处?