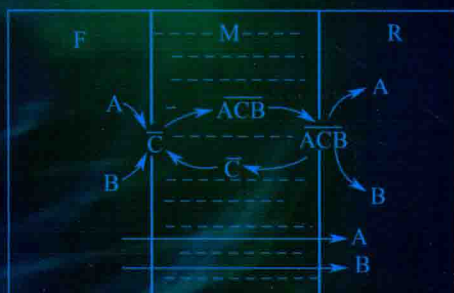


OUHE JISHU YU CUIQU GUOCHENG QIANGHUA

耦合技术与 萃取过程强化

第二版

戴猷元 秦 炜 张 瑾 编著



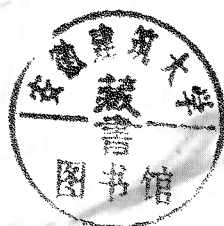
化学工业出版社

OUHE JISHU YU CUIQU GUOCHENG QIANGHUA

耦合技术● 萃取过程强化

第二版

戴猷元 秦 炜 张 瑾 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

随着现代过程工业的发展,对分离技术提出了越来越高的要求,发展耦合技术,实现萃取过程强化,已经成为分离科学与技术领域研究开发的重要方向。本书主要介绍了“场”、“流”分析的基本概念,有机物稀溶液络合萃取过程,外场强化萃取过程,萃取反萃取交替过程,膜萃取过程,同级萃取反萃膜过程,萃取与发酵耦合过程,酶膜反应过程及亲和膜过程及其他萃取强化过程。系统阐述了耦合技术及新型萃取过程的基本原理、过程特征、各类体系的分离工艺和应用实例。本次修订,对近几年“耦合技术”、“过程强化”的新应用进行了补充。

本书可作为高等院校化工、生物化工、环境、制药等专业师生的参考书,也可供上述专业从事分离过程研究开发、设计和运行的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

耦合技术与萃取过程强化/戴猷元,秦炜,张瑾编著.

—2版.—北京:化学工业出版社,2015.8

ISBN 978-7-122-24080-4

I. ①耦… II. ①戴…②秦…③张… III. ①耦合-应用-萃取-化工过程 IV. ①TQ028

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第111269号

责任编辑:张艳 陈丽

装帧设计:王晓宇

责任校对:宋玮

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张21 字数415千字 2015年10月北京第2版第1次印刷

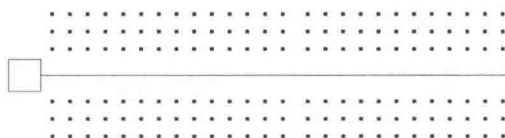
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:88.00元

版权所有 违者必究



前言

20 世纪 90 年代以来,在传统萃取单元操作的基础上,萃取分离与其他单元操作过程的耦合、萃取分离与反应过程的耦合,已经成为分离科学与技术领域研究开发的重要方向,发展形成了一系列新型的萃取分离过程,展现出广阔的应用前景。

2009 年,《耦合技术与萃取过程强化》一书出版以来,得到了许多读者的反馈,增进了读者与作者之间的交流,对耦合技术与萃取过程强化的工业应用起到了推动作用。近年来,随着一些萃取分离新技术的发展,实现过程耦合的途径在不断更新,过程强化的机理分析和研究工作也不断深入。发展耦合技术,实现萃取过程强化,涉及多个领域的应用研究成果在不断更新。

最近,由戴猷元主笔,对《耦合技术与萃取过程强化》全书进行了修订,除了保留对“耦合技术”、“过程强化”等内容及新型分离技术的基础性阐述之外,重点补充了应用研究工作的内容。特别是对第 2 章中实现过程强化的讨论、第 3 章络合萃取技术的应用研究以及第 8 章萃取分离与生物反应耦合过程等做了新的补充,形成《耦合技术与萃取过程强化》(第二版),以期满足读者的需求。

编著者
2015 年 3 月

第一版前言

液液萃取过程具有分离效率高、能耗低、生产能力大、设备投资少、运行安全、便于规模化连续操作等优点，一直受到工业界和研究者的重视。随着现代过程工业的发展，人们对分离技术提出了越来越高的要求，多样化产品的分离、高纯物质的提取、产品的深加工及资源的综合利用、环境治理严格标准的执行，大大促进了分离科学和技术的发展。面对新的分离要求，作为“成熟”的单元操作——萃取分离也面临着新的挑战 and 机遇。在传统的萃取单元操作的基础上，萃取分离与其他单元操作过程的耦合、萃取分离与反应过程的耦合、利用化学作用或附加外场强化萃取分离过程，发展形成了一系列新型的萃取分离过程。发展耦合技术，实现萃取过程强化，已经成为分离科学与技术领域研究开发的重要方向，展现了广阔的应用前景。

本书分绪论、“场”、“流”分析的基本概念、有机物稀溶液络合萃取过程、外场强化萃取过程、萃取反萃取交替过程、膜萃取过程、同级萃取反萃膜过程、萃取与发酵耦合过程、酶膜反应过程及亲和膜过程、其他萃取强化过程十章。系统阐述了耦合技术及新型萃取过程的基本原理、过程特征、各类体系的分离工艺和应用实例等内容。本书可作为高等院校化工、生物化工、环境、制药等专业师生的参考书，也可供上述专业从事分离过程研究开发、设计及运行的工程技术人员使用。

本书的一般性参考文献为汪家鼎、陈家镛主编的《溶剂萃取手册》(化学工业出版社, 2001), 本书还引用了大量文献资料。对于作者们的工作成果, 编著者在此一并表示感谢。此外, 书中的许多内容是编著者和编著者指导的博士研究生及硕士研究生多年从事的研究工作及公开发表的研究成果。这些研究工作一直受到国家自然科学基金重点项目和一般项目的支持。另外, 感谢骆广生教授、王玉军副教授在第四章、第六章编写中的工作。

目前, 耦合技术与萃取过程强化的研究工作正在不断深入, 研究成果也不断出现和完善。本书力求对耦合技术与萃取过程强化进行系统的阐述, 希望推进更广泛、更深入的交流和切磋。由于编著者自身的学术水平和研究实践的限制, 书中难免有不全面乃至错误之处, 希望得到专家、同行和广大读者的赐教和斧正。

编著者
2009年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
参考文献	5
第 2 章 “场”“流”分析的基本概念	6
2.1 单元操作和单元过程	6
2.2 “场”“流”分析	7
2.2.1 “流”和“场”的定义及特征	7
2.2.2 “场”“流”分析的基本概念	8
2.3 常用分离过程的“场”“流”分析	13
2.4 耦合技术及过程强化	14
2.4.1 过程耦合技术	14
2.4.2 化学作用对分离过程的强化	16
2.4.3 附加外场对分离过程的强化	17
2.4.4 实现过程强化的几点讨论	18
参考文献	19
第 3 章 有机物稀溶液络合萃取过程	21
3.1 有机物的溶解特性及萃取过程影响因素	21
3.1.1 物质溶解过程的一般描述	21
3.1.2 有机物在溶剂中的溶解特性	22
3.1.3 有机物萃取的影响因素	24
3.2 络合萃取过程的特征	27
3.2.1 分离对象的特性	29
3.2.2 络合剂的特性	29
3.2.3 稀释剂的选择	30
3.2.4 络合萃取过程的高效性和高选择性	31
3.3 络合萃取过程的相平衡及机理分析	32
3.3.1 络合萃取过程的相平衡描述	32
3.3.2 络合萃取的作用机制分析	34
3.3.3 络合萃取的两种历程	35
3.4 常用的络合萃取剂	37
3.5 络合萃取剂的再生方法	40
3.5.1 温度摆动效应	41

3.5.2	pH 值摆动效应	41
3.5.3	稀释剂组成摆动效应	42
3.5.4	挥发性有机碱的 pH 摆动效应	43
3.6	有机羧酸稀溶液的络合萃取	44
3.6.1	磷氧类萃取剂对有机羧酸稀溶液的络合萃取	45
3.6.2	胺类萃取剂对有机羧酸稀溶液的络合萃取	48
3.7	酚类稀溶液的络合萃取	57
3.7.1	中性磷氧类络合萃取剂萃取酚类稀溶液	59
3.7.2	胺类络合萃取剂萃取酚类稀溶液	62
3.7.3	影响酚类稀溶液络合萃取的两个重要因素	66
3.8	有机胺类稀溶液的络合萃取	67
3.8.1	苯胺类稀溶液的络合萃取	68
3.8.2	脂肪胺类稀溶液的络合萃取	71
3.9	醇类稀溶液的络合萃取	74
3.9.1	羧酸、磷酸酯对醇类稀溶液的络合萃取	75
3.9.2	酚类有机物对醇类稀溶液的络合萃取	77
3.9.3	金属有机盐对醇类稀溶液的络合萃取	78
3.9.4	醇类稀溶液络合萃取的盐效应	79
3.10	两性官能团有机物稀溶液的络合萃取	80
3.10.1	氨基酸稀溶液的络合萃取	81
3.10.2	对氨基酚稀溶液的络合萃取	85
3.10.3	氨基苯甲酸稀溶液的络合萃取	86
3.10.4	氨基苯磺酸稀溶液的络合萃取	87
3.11	络合萃取技术在分离纯化中的应用	89
3.11.1	络合萃取分离双组分有机酸的基本原理	89
3.11.2	乳酸-乙酸双组分体系的络合萃取分离	91
3.11.3	丙酸-乙酸双组分体系的络合萃取分离	93
3.11.4	乙醛酸-草酸双组分体系的络合萃取分离	94
3.11.5	乙醛酸-乙醇酸双组分体系的络合萃取分离	95
3.11.6	双组分体系的络合萃取分离工艺的选择	96
3.12	络合萃取技术在有机废水处理中的应用	97
3.12.1	乙酸废水的络合萃取处理	98
3.12.2	取代羧酸废水的络合萃取处理	102
3.12.3	苯甲酸废水的络合萃取处理	103
3.12.4	H 酸、DSD 酸废水的络合萃取处理	106
3.12.5	含酚废水的络合萃取处理	110

3.12.6 苯胺废水的络合萃取处理.....	116
3.12.7 硝基苯废水的络合萃取处理.....	117
3.12.8 其他有机物废水的络合萃取处理.....	117
符号说明.....	118
参考文献.....	119
第4章 外场强化萃取过程.....	124
4.1 概述	124
4.2 萃取过程中附加外场的几种形式	124
4.3 电萃取过程	125
4.3.1 电萃取过程的强化机理研究	126
4.3.2 电萃取设备的研究	128
4.4 电萃取设备内的流动及传质性能	130
4.4.1 电萃取设备内的两相流动特性研究	130
4.4.2 电萃取设备内的传质特性及设计	132
4.5 电泳萃取过程	133
4.5.1 电泳萃取分离的机理	135
4.5.2 电泳萃取设备	136
4.6 超声场强化萃取过程	137
4.6.1 功率超声和超声空化	137
4.6.2 超声强化分离过程的四个效应	138
4.6.3 超声强化萃取分离过程的研究实例	142
4.7 微波辅助萃取过程	144
4.7.1 微波辅助萃取过程的特点	144
4.7.2 微波辅助萃取过程的应用	146
4.8 外场强化萃取过程的发展前景	150
符号说明.....	151
参考文献.....	152
第5章 萃取反萃取交替过程.....	156
5.1 概述	156
5.2 多级逆流萃取过程和多级逆流反萃取过程	157
5.3 萃取反萃取交替过程	159
5.4 两种萃取反萃取交替过程的比较	161
5.5 萃取反萃取交替过程的应用	163
符号说明.....	165
参考文献.....	166
第6章 膜萃取过程.....	167

6.1	概述	167
6.2	膜萃取过程的研究方法及数学模型	168
6.2.1	膜萃取过程的研究方法	168
6.2.2	膜萃取过程的传质模型	169
6.3	膜萃取过程的影响因素	171
6.3.1	两相压差 Δp 的影响	171
6.3.2	两相流量的影响	171
6.3.3	相平衡分配系数与膜材料的浸润性能的影响	172
6.3.4	体系界面张力和穿透压	173
6.4	中空纤维膜萃取的过程设计	173
6.4.1	各分传质系数关联式	174
6.4.2	中空纤维膜器中流动的非理想性	175
6.4.3	中空纤维膜萃取过程强化的途径	180
6.4.4	螺旋管式中空纤维膜器的传质特性	181
6.4.5	中空纤维膜萃取器的串联和并联	182
6.5	膜萃取过程的应用前景	183
6.5.1	膜萃取过程防止溶剂污染的优势	183
6.5.2	有机物萃取	184
6.5.3	金属萃取	185
6.5.4	膜萃取过程付诸实施的关键	187
	符号说明	187
	参考文献	188
第7章	同级萃取反萃膜过程	190
7.1	概述	190
7.2	同级萃取反萃取过程的优势	190
7.3	同级萃取反萃取过程的实现形式	192
7.3.1	液膜技术概述	192
7.3.2	乳状液膜过程	195
7.3.3	支撑液膜过程	196
7.3.4	封闭液膜过程	198
7.4	同级萃取反萃膜过程的传质机理及促进传递	199
7.4.1	同级萃取反萃膜过程传质机理的类型	199
7.4.2	液膜分离过程的传质推动力	200
7.4.3	两种促进迁移	204
7.5	乳状液膜体系	207
7.5.1	乳状液膜体系的组成	207

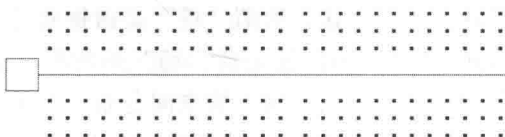
7.5.2 乳状液膜分离工艺及影响因素	212
7.6 支撑液膜体系	220
7.6.1 支撑液膜的载体	221
7.6.2 支撑液膜体系的稳定性问题	222
7.7 封闭液膜体系	224
7.7.1 封闭液膜过程的特点	224
7.7.2 封闭液膜的传质模型	224
7.7.3 中空纤维封闭液膜的强化	225
7.8 同级萃取反萃膜过程的应用研究	226
7.8.1 乳状液膜对烃类混合物的分离及其他气体分离	226
7.8.2 乳状液膜对含酚废水的处理	226
7.8.3 乳状液膜对含氨废水的处理	227
7.8.4 乳状液膜对含氰废水的处理	228
7.8.5 乳状液膜对含重金属离子废水的处理	228
7.8.6 乳状液膜对湿法冶金中浸出液的分离	229
7.8.7 乳状液膜在其他领域的应用研究	230
7.8.8 支撑液膜技术的应用研究	232
7.9 液膜技术的新进展	234
7.9.1 液体薄膜渗透萃取技术	234
7.9.2 静电式准液膜技术	234
符号说明	236
参考文献	237
第8章 萃取与发酵耦合过程	242
8.1 发酵反应过程中的产物抑制	243
8.2 萃取发酵耦合过程的特点	243
8.3 $\text{pH} > \text{pK}_a$ 条件下的萃取	244
8.4 萃取剂的生物相容性	245
8.5 萃取发酵过程中操作条件的影响	247
8.5.1 萃取发酵过程的模拟计算	247
8.5.2 pH 值和循环流率的影响	249
8.5.3 不同操作条件下萃取发酵耦合过程的工况比较	250
8.6 发酵-膜萃取耦合过程	252
8.7 萃取置换与生物处理联合过程	253
8.7.1 有机废水萃取置换概念的提出	253
8.7.2 常用萃取剂的生物降解性能	258
8.7.3 萃取置换-生物降解耦合技术的应用	262

符号说明	269
参考文献	269
第9章 酶膜反应过程及亲和膜过程	271
9.1 酶膜反应过程及酶膜反应器概述	271
9.1.1 酶促反应及酶膜反应器	271
9.1.2 酶膜反应器的分类	272
9.1.3 酶膜反应器的特点	274
9.2 酶膜反应器的设计及操作的影响因素	275
9.2.1 酶膜反应器设计中膜材料的选择	275
9.2.2 酶膜反应器设计中酶固定方法的选择	275
9.2.3 酶膜反应器设计中有有机溶剂的选择	277
9.2.4 酶膜反应器操作中的影响因素	277
9.2.5 酶膜反应器操作中的浓差极化和膜污染	278
9.3 酶膜反应过程的应用	278
9.3.1 生物大分子的水解	278
9.3.2 油水多相水解	279
9.3.3 酶在反胶团中的催化	280
9.3.4 辅酶或辅助因子再生	280
9.3.5 低聚肽的合成	281
9.3.6 手性化合物的合成与拆分	281
9.3.7 污水治理研究	282
9.4 酶膜反应过程和酶膜反应器的发展前景	282
9.5 亲和膜过程概述	283
9.6 亲和膜的制备	285
9.6.1 膜材料的选择	286
9.6.2 亲和配基和间隔臂	287
9.6.3 亲和膜的成膜、活化及偶联	289
9.7 亲和膜过程的应用	290
参考文献	291
第10章 其他萃取强化过程	294
10.1 解离萃取过程	294
10.1.1 解离萃取过程的特点	295
10.1.2 化学计量和萃取剂的酸碱性	296
10.1.3 解离萃取的分离因子	301
10.1.4 多级逆流解离萃取过程	306
10.1.5 解离萃取的萃取剂类型及再生	309

10.1.6	有机溶剂的选择.....	309
10.1.7	解离萃取过程的应用.....	310
10.2	控制 pH 值萃取过程.....	315
10.2.1	控制 pH 值萃取过程的特点.....	316
10.2.2	控制 pH 值萃取过程的分离因子.....	317
10.2.3	控制 pH 值萃取过程的应用.....	318
	符号说明.....	319
	参考文献.....	320

第1章

绪论



分离科学与技术是化学工程学科的重要分支之一。一大批分离技术在化学工业、石油炼制、矿物资源的综合利用、核燃料的加工和后处理、海洋资源利用和医药工业、食品工业、生物化工以及环境工程中得到了广泛的应用。随着现代工业的发展,人们对分离技术提出了越来越高的要求。高纯物质的制备、各类产品的深加工、资源的综合利用、环境治理严格标准的执行,大大地促进了分离科学和技术的发展。面对新的分离要求,作为“成熟”的单元操作——萃取分离也面临着新的挑战。在传统的萃取单元操作的基础上,萃取分离与其他单元操作过程的耦合、萃取分离与反应过程的耦合、利用化学作用或附加外场强化萃取分离过程,发展形成了一系列新型的萃取分离技术。发展耦合技术,实现萃取过程强化,已经成为分离科学与技术领域研究开发的重要方向,展现了广阔的应用前景。

广义地讲,过程耦合是将两个或两个以上的单元操作或单元过程有机结合成一个完整的操作单元,进行联合操作的过程,如反应萃取、加盐萃取精馏、萃取发酵、膜萃取、膜蒸馏、膜吸收、膜生物反应等。过程耦合不是单元操作或单元过程的简单的先后组合,而是有机结合在同一操作中完成的。合理设计耦合过程,对于提高过程的效率和经济性,开发环境友好过程都十分有效,有可能获得单元操作或单元过程简单加和而无法得到的效果。因此,过程耦合技术的研究已经成为化工分离工程和化学反应工程学科领域中的最为活跃的应用基础研究和应用技术研究的热点。

20世纪后期,Giddings教授曾试图从“场”“流”分析的观点出发,对丰富多样的分离技术进行系统分析,以期得到同一性的结论^[1]。此后,袁乃驹教授等^[2]拓展了“流”和“场”的概念,并将其应用于描述和分析分离过程和反应过程。

袁乃驹教授等提出的“场”“流”分析的一般性概念的主要内容包括:①“流”和“场”的存在是构成分离过程或反应过程的必要条件;②“流”和“场”按不同方式组合可以构成不同的过程;③利用化学作用或附加外场以增强“场”的作用,或改变“流”和“场”的组合方式可以实现过程强化;④多种“流”和多种“场”的组合可以产生新的过程。

袁乃驹教授等认为,所谓“流”是指在系统中物质的整个体相处于运动(移动)状态。“流”的特征包括物料种类、移动方式、物料流的数量、物料相态、物

料流动方向、接触方式及流速。所谓“场”是指物质各组分受“场力”的作用发生“迁移”，实现传递。“场”的特征包括“场”的类型（如电场、磁场、力场、浓度场、温度场、化学位差异等）、“场”的空间分布（一维或多维）、“场”的数量（单个场或复合场）。分离过程或反应过程的有效性与“场”和“流”的结合方式、“场”的相对强度密切相关。

按照“场”“流”分析的观点，现有的分离过程或反应过程均可以表示为若干类“流”“场”的组合，可以用形式类似的数学模型描述。例如，对于一般的液液萃取过程应包括料液相及萃取相两个液相“流”，其移动方式可以是连续的，也可以是分批的；其流动方向可以是逆流、并流或错流；其接触方式可以是有机相为分散相的直接接触式或水相为分散相的直接接触式。对分离过程或反应过程进行“场”“流”分析，利用化学因素或附加外场适当调控“场”的相对强度，优化设计多种“场”和多种“流”的叠加或耦合，可以实现过程强化。“耦合技术”及“过程强化”是提高分离过程或反应过程效率的重要方式。

多样化产品分离、高纯物质提取的任务中有许多属于极性有机物（包括稀溶液体系、难分离体系和热敏性物质体系）分离的范畴。通常使用的物理萃取方法，其平衡过程服从“相似相溶”原理，溶质与溶剂间的相互作用基本上属于范德华力的范畴。如果利用化学作用适当调控“场”的相对强度，形成“化学萃取”机制，可以强化萃取分离过程。络合萃取分离技术就是这样一种化学反应萃取技术，它对极性有机物稀溶液的分离具有高效性和高选择性。络合萃取过程中，萃取相中的络合剂与待分离溶质发生反应形成络合物，并使其转移到萃取相内，达到分离的目的。然后，再利用络合萃取的摆动效应使反应逆向进行，使萃取溶剂再生、循环使用，溶质则得以回收。近年来，络合萃取分离技术日益受到国内外研究者的关注，它已成为化工分离工程研究领域的一个重要的研究方向。

按照“场”“流”分析的观点，利用附加外场调控“场”的相对强度或增加新的“场”作用，可以实现过程的强化。将传统的分离技术与外场结合，可以形成一些适应现代分离要求的新型分离技术。例如，在传统分离过程中使用机械能或热能来强化传质。随着科学技术的发展，人们对电场、光、超声场、磁场、微波等外场性质的认识不断深入，将这些外场应用到化工分离过程中已经成为可能。萃取过程的传质强化有两种途径：一种是通过某种外力的作用，产生较大的传质比表面积，提高传质速率；另一种则是利用外力在液滴内部或液滴周围产生高强度的湍动，从而增大滴内或滴外的传质系数。研究表明，外场的加入对于这两种途径的实现都有相当的推动作用。外场强化萃取技术，其附加外场有许多种，如离心力场、电场、超声场、磁场、微波等，其中研究最多的是离心力场、电场和超声场。离心萃取设备是借助于离心机产生的离心力场实现液液两相的接触传质和相分离的，这一强化技术已经广泛应用。强化萃取过程的电场主要有静电场、交变电场和直流电场三种，将电能加到液液萃取体系中，能提高扩散速率，强化两相分散及澄清过程，

从而达到提高分离效率的目的。超声场强化萃取过程则是利用超声场的“超声空化”等特殊性质来促进传质,提高传质速率,也受到众多研究者的关注,开始展现出其应用前景。

改变“流”和“场”的组合方式可以实现过程强化。萃取反萃交替过程与萃取过程或反萃过程相比较,操作中均包括料液相及萃取相或萃取相及反萃相两个液相“流”,其流动方式也都是有机相分散的直接接触或水相分散的直接接触。然而,萃取反萃交替过程中,萃取和反萃的组合方式发生变化,萃取操作和反萃操作交替进行,提高了过程传质推动力,加快了传质速率,实现了过程的强化。

在设计多“流”的耦合过程时,不同体相的流在过程中必须是可以分隔开的。例如,一个萃取过程的萃取相(油相)与料液相(水相)是可以分隔开的。然而,设计萃取与反萃耦合的多“流”过程,萃取和反萃同时进行而不是先后完成时,就必须考虑料液相(水相)与反萃相(水相)之间的分隔。这在一般的操作条件下是难以做到的。膜技术的出现,使萃取-反萃耦合过程的设计成为可能。从这一简单事例可以看出,膜及膜技术的研究促进了过程耦合技术的发展。近年来,将膜过程与传统的分离方法或反应过程结合起来,形成新的耦合膜过程,如膜萃取过程、同级萃取反萃膜过程、膜萃取发酵过程、酶膜反应过程及亲和膜过程等,已经成为过程耦合技术的发展方向。

膜萃取技术是膜过程和液液萃取过程相结合的新的分离技术。从“场”“流”分析的观点出发,膜萃取耦合过程只是增加了“膜”这一分隔介质。与通常的液液萃取过程相比较,同样是两个“流”(萃取相流动及料液相流动),一个“场”(待分离溶质在两相间的分配差异,即化学位差异)。然而,即便没有改变“流”和“场”的数量,膜萃取过程却改变了两个“流”的流动方式,即在膜两侧分别流动,不存在液滴的分散和聚并。膜萃取的传质过程是在分隔料液相和萃取相的微孔膜表面进行的。膜萃取过程不存在通常萃取过程中的分散相,可以减少萃取剂在料液相中的夹带损失,使过程免受“返混”的影响和“液泛”条件的限制。中空纤维膜器的使用又为膜萃取过程的传质提供了巨大的传质表面积,提高了过程的传质效率。膜萃取技术提供了从过程耦合出发强化分离的新途径。

以液膜分离技术为代表的同级萃取反萃膜过程,其重要特点在于萃取过程与反萃过程同时进行、一步完成。与通常的萃取过程不同,由两个“场”、三个“流”组合完成同级萃取反萃过程,并利用化学作用实现“促进迁移”。液膜分离过程的传质速率明显提高,分离产物所需级数明显减少,而且大大节省萃取试剂的消耗量,甚至可以实现溶质从低浓度向高浓度的传递。液膜分离技术是快速、高效和节能的新型分离方法,液膜中物质传递的机理与生物膜的分离机理有相似之处。液膜分离技术在湿法冶金、石油化工、环境保护、气体分离、生物医学等领域中,显示

出了广阔的应用前景。

反应与分离的耦合过程可以解决反应过程中因产物抑制而引起的产率和转化率低的问题。萃取发酵耦合是典型的反应与分离耦合过程,是用于减少产物抑制的有效技术。将萃取分离过程与反应过程连接,利用萃取分离过程将反应所得的产物不断地移出反应的环境,使反应过程向生成产物的方向进行,从而提高转化率和产率。

萃取发酵耦合中膜萃取过程与发酵反应过程的耦合更具有代表性。膜萃取发酵耦合过程包含着两方面的强化作用。一方面在萃取分离中引入络合萃取剂,利用化学因素强化萃取过程的推动力;另一方面,利用膜作为分隔介质,改变萃取溶剂与菌株溶液的接触方式,削弱萃取剂毒性对发酵过程的影响。近年来,膜萃取发酵过程已用于有机酸类、醇类的发酵过程中,并先后进行了萃取剂的选择、萃取剂的毒性对细胞生长的影响和操作条件的优化等方面的研究工作,指导着膜萃取发酵过程的应用。

随着生物工程及生物化工的迅速发展,一些具有生物活性又极具价值的生物物质的分离提纯显得十分关键。利用常规的萃取技术来分离生物活性物质,往往会存在流程长、易失活、收率低和成本高等缺陷。酶膜反应过程是将酶的高效、专一的催化特性与膜分离(或膜萃取)技术有效结合的反应-分离耦合过程。这一过程借助膜的介质特性和传递特性,根据不同的方法来实现反应和分离的同步强化和优化。酶膜反应器综合了固定化酶膜反应器和膜分离装置的优点,将酶促反应的高效性与膜分离的选择性有机结合,集反应、分离、纯化和回收等过程于一体,显示出明显的优势。另外,随着生命科学和生物工程的迅速发展,带有特异性征并能与生物体相容的膜的开发备受关注。亲和膜过程就是将膜分离技术与亲和色谱技术有机结合而产生的。选择和制备合适的膜,并对膜表面进行化学改性,将亲和配基偶联到膜的表面及孔壁上,可以制造出亲和膜分离装置。在亲和膜过程中,生物大分子待分离物与膜上固载的亲和配基产生特异性相互作用,被保留在膜上,其他底物、细胞等杂物透过膜被分离。然后,通过洗脱将保留在膜上的目标产物解离下来,达到分离纯化的目的。亲和膜经再生后重复使用。亲和膜过程不仅利用了生物分子的识别功能,可以分离低浓度的生物制品,而且充分发挥了膜渗透通量大、纯化的同时实现浓缩、便于实现大规模连续操作等特点,在生物制品的分离纯化领域有很大的应用前景。

此外,以解离萃取过程和控制 pH 值萃取过程为代表的其他萃取新技术的研究工作也十分活跃,充分显示了新型萃取分离技术的针对性、高效性和良好的应用前景。

国民经济的持续发展,高新技术的推动及影响,都为萃取过程的耦合技术及过程强化提供了良好的发展机遇。萃取分离过程与其他单元操作过程的耦合,可以实现

萃取分离过程的强化,并开发出新型的萃取分离技术。可以相信,随着相关研究工作的不断深入,耦合技术的发展,萃取过程的强化,将有力地促进各类有价值物质的分离、提纯及浓缩,并广泛应用于实践。

参 考 文 献

- [1] Giddings J C. Unified separation science. New York: John Wiley & Sons Inc, 1991.
- [2] 袁乃驹,丁富新. 分离和反应工程的“场”“流”分析. 北京: 中国石化出版社, 1996.