



科爱传播
KEAI COMMUNICATIONS
化学化工

· 导读版 ·

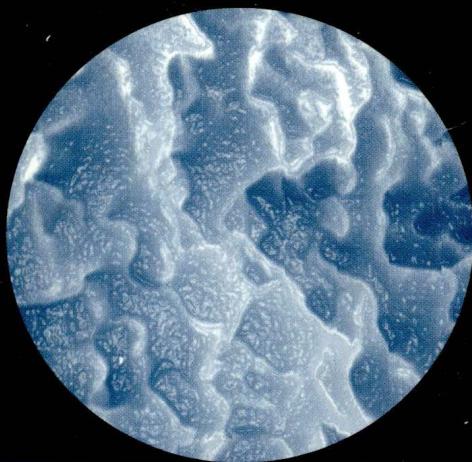
Liquid Membranes

Principles and Applications in Chemical Separations
and Wastewater Treatment

液膜

在化学分离和废水处理中的原理及应用

Vladimir S.Kislik



科学出版社
www.sciencep.com

Liquid Membranes

Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment

液 膜

在化学分离和废水处理中的原理及应用

Vladimir S. Kislik



科学出版社
北 京

图字:01-2010-2759 号

This is an annotated version of

Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment

by **Vladimir S. Kislik**

Copyright 2010 Elsevier Inc.

ISBN: 9780444532183

Authorized English language reprint edition published by the Propretor.

ISBN 13: 9789812727176

Copyright 2010 by Elsevier(Singapore)Pte Ltd. All rights reserved.

Elsevier(Singapore)Pte Ltd.

3 Killiney Road

08-01 Winsland House 1

Singapore 239519

Tel: (65)6349-0200

Fax: (65)6733-1817

First Published 2010

(2010)年初版

Printed in China by Science Press under special arrangement with Elsevier(Singapore)Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Maa SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书英文影印版由 Elsevier(Singapore)Pte Ltd. 授权科学出版社在中國大陸境内独家发行。本版权在中国境内(不包括香港和澳门特别行政区以及台湾)出版及标价销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

图书在版编目(CIP)数据

液膜:在化学分离和废水处理中的原理及应用=Liquid Membranes:Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment;英文/(以)基斯利克(Kislik, V. S.)编著. —北京:科学出版社,2010. 6

ISBN 978-7-03-027581-3

I. ①液… II. ①基… III. ①膜-分离-化工过程-英文②薄膜技术-应用-废水处理-英文 IV. ①TQ028. 8②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 088774 号

责任编辑:霍志国/责任印制:钱玉芬

封面设计:耕者设计工作室

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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 6 月第一次印刷 印张:29 3/4

印数:1—1 800 字数:597 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

导 读

混合物的分离是化工、石油化工、医药工业、生物化工等工业中的核心问题。随着现代科学技术的发展,对分离的要求越来越高,促进了分离技术的不断发展。膜分离作为一门新型的分离、浓缩、提纯及净化技术,在各工业领域和科学研究中得到了广泛的应用,已经成为解决当代能源、资源和环境污染问题的关键技术之一。其中,液膜(Liquid Membrane)是一种较为特殊的膜分离过程。

顾名思义,液膜就是一层很薄的液体,是通过在两液相间形成的液相膜界面,将两种组成不同但又互相混溶的溶液隔开,经选择性渗透,达到分离提纯的目的。当被隔开的两个溶液是水相时,液膜是有机溶液;当被隔开的两个溶液是有机相时,液膜是水溶液。

关于液膜的报道最早见于 20 世纪初生物学家的研究成果。20 世纪 60 年代,液膜作为一项分离技术在化学工程领域得到了快速的发展。1967 年, Bloch 首先阐述了溶剂萃取与液膜的关系,提出了“溶剂膜”(Solvent Membrane)的概念。1968 年,美国“埃克森研究工程公司”(Exxon Research & Engineering Co.)的黎念之博士(N. N. Li)发明了乳化液膜(Emulsion Liquid Membrane),这一里程碑式的工作开创了液膜技术研究的历史。1971—1974 年间,美国明尼苏达大学的 E. L. Cussler 报道了其在液膜促进传递(Facilitated Transport)方面的研究,成功制备了含流动载体(Mobile Carrier)的乳化液膜。流动载体的发明,使液膜技术具备了特定的选择性和浓缩效果,极大地扩展了液膜技术的应用领域,为多种混合物质的大规模分离提供了一种新方法。

液膜过程综合了溶剂萃取过程和固体膜分离过程的特点。建立在相平衡理论上的溶剂萃取技术,受传质平衡的限制,萃取或反萃过程的传质推动力不高,分离设备体积大,萃取、反萃需要在两个设备内分别进行。液膜过程中萃取与反萃发生在膜的两侧界面,有效地实现了萃取与反萃取的“内耦合”,打破了传统溶剂萃取技术所固有的热力学平衡限制。该方法也被称为同级萃取-反萃技术,通常认为其属于一种非平衡传质过程。液膜技术具有如下优势:(1)传质推动力大,所需分离级数少,特别是对于萃取分配系数较低的体系,液膜非平衡传质的优势更加显著;(2)流动载体作为传递溶质的桥梁(或渡船),耗量极少,使得一些昂贵的萃取剂也能得以应用;(3)“上坡”(up-hill)效应,或“逆浓度梯度”(against its concentration gradient)传递效应,液膜的这一特性使其在从稀溶液中提取与浓缩溶质方面具有显著优势。

与固体膜相比,液膜传质速率更快、选择性更高。溶质在液体中的分子扩散系数($10^{-10} \sim 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$)比在固体中($< 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)高几个数量级,即使是厚度为微米级的固体膜,其传质速率也低于液膜。固体膜往往只能对某一类离子或分子的

分离具有选择性,而液膜技术中由于流动载体的存在使其对某种特定的离子或分子具有高选择性。

液膜过程以其独特的技术优势,成为分离、纯化与浓缩溶质的有效手段,其潜在的应用领域包括:湿法冶金、废水处理、核化工、气体分离、有机物分离、生物化工、化学传感器与离子选择性电极等。从 20 世纪 80 年代开始,液膜作为一种极具工业化应用前景的新型分离技术,受到各国研究者的广泛关注,如今这一领域已成为传质与分离技术的一个研究热点。液膜技术的突出优点及其广阔的潜在市场吸引着越来越多的研究者。

本书由来自以色列、意大利、印度、波兰和南非 5 个国家的 8 位学者共同完成,主编是以色列耶路撒冷希伯来大学 Casali 应用化学研究院的 V. S. Kislik 教授。V. S. Kislik 教授在液膜领域具有多年的研究经验,特别是在组合液膜传质过程方面取得了一系列的研究成果。

本书主要分为四大部分。第一部分包括第 1 章和第 2 章,总体概述了液膜技术的基本概念和传质理论,如载体、促进传递、选择性和速率控制步骤等,介绍了液膜技术的分类、传质类型,并对液膜促进传递过程的各种影响因素和操作条件进行了汇总说明。第二部分由第 3,4,5,6 章组成,是本书的主体,用 4 章的篇幅分别对支撑液膜(Supported Liquid Membrane)、乳化液膜和大块液膜(Bulk Liquid Membrane)3 种基本液膜构型进行了详细阐述,重点讨论了这 3 种液膜构型的基本特征、传质机理和传质模型,介绍了在不同的基本液膜构型之上演变、发展形成的多种新型液膜过程,综述了各种液膜技术在化工、生化、环境和药物分离方面的应用研究进展,并进行了总结与展望。液膜过程促进传递和高选择性的特性,使其在气体分离和废水处理两大分离领域具有极为广阔的应用前景,因此,本书在第三部分着重介绍了液膜技术在气体分离(第 7 章)和废水处理(第 8 章)方面的研究进展,对各种液膜构型的稳定性问题、分离性能、分离体系、分离规模及工业化进程进行了深入讨论。本书第四部分(第 9 章)综述了液膜技术的最新研究进展,对近年来出现了多种新型液膜技术进行了总结,分析其技术原理及存在的问题,并对液膜技术的发展进行了展望,对后续研究工作的开展具有实际指导意义。

本书虽由多位来自不同国家、专业的学者共同完成,但全书条理清晰、结构紧凑、文字流畅,紧扣液膜技术的基本理论和研究历史,对液膜传质机理、数学模型、各种传统的液膜构型、液膜技术的发展演变、应用领域以及存在的问题进行了重点讨论,特色鲜明、针对性强。全书内容丰富,涵盖了多个学科的专业知识,既涉及化学工程的基本传质理论、流体力学理论、化学反应理论,也引入了结构化学、材料学中的热点和前沿课题研究,如离子液体合成、新型聚合物膜制备等。

液膜技术是一门涉及多学科的高新技术交叉学科。在过去的近 50 年中,液膜一直是一个十分活跃的研究课题。虽然目前世界各地有大量的学者致力于液膜技术的研究、开发,每年都有大量的相关研究成果见诸报道,但关于液膜技术的专业

书籍却十分匮乏。本书图文并茂、深入浅出,对基础性概念、原理一一讲解,各章节均提供了比较全面的参考文献,包括经典的综论性文献和最新的研究报告,本书的出版为研究生及相关的研究人员提供了一本难得的参考书,本书不仅适合于化学工程学科的研究人员阅读,也可供化学、材料学、工程等领域的研究生及相关科研人员阅读参考。

张卫东 刘君腾
北京化工大学化学工程学院

前 言

化学及工程界都非常关注科学技术的可持续发展性,其中,过程强化是过程工程师们非常感兴趣的一个课题。现代膜工程技术作为一种新兴技术,具有过程强化的特点,符合经济型化工的基本战略要求。该技术包括对设备、设计和过程开发方法的创新,具有生产成本低、设备尺寸小、能源消耗和废物产生少、提高了远程控制和过程的灵活性等优点,可望为化学和其他制造过程带来本质性的改变。膜技术的基本特征具有高效、操作简便、高选择性和渗透性、兼容性好、耗能低、具有良好的稳定性和环境相容性、易放大、操作弹性大等优点,这也凸显了当代化工生产的合理性。

膜分离技术在超分子化学学科中是相对较新且发展较快的领域,它不仅是生物系统中的重要过程,而且也正逐渐实现大规模工业化。工业应用领域已经开发了大量的人工合成膜。传统膜技术中,较重要的有微滤、超滤、电渗析、反渗透和气体分离。这些过程最主要的优点是在温和条件和低耗能条件下具有较高的分离因子。

不溶于原料相(料液)和接受相(产物)的液体也可用作膜材料,这就是液膜。最近几十年,液膜分离技术得到了长足的发展。本书主要介绍液膜分离技术的科学、工程和工业应用,包括分析化学、无机化学、有机化学、生物化学、生物技术、生物医药工程和气体分离等领域。

编写本书的主要目标有以下两点:

(1)提供各种液膜过程基本原理及应用的综合知识。本书包含了最新的、有价值的、系统的信息,对最近 15 年来的各种液膜技术进行了客观分析,指出本领域发展的新方向。本书为刚进入分离科学领域的学生和年轻研究者们提供了液膜分离技术的总览、分析以及相关的理论和应用情况介绍。

(2)本书为研究液膜分离技术的科学家和工程师们提供了详细、专业的知识,同时也可作为分离技术、液膜技术和膜反应器等专业领域学生的参考书。本书尝试在不同液膜过程之间建立联系,统一液膜分离过程的理论和认识。

一些群体可以从本书中受益。本书可以提供在关于分离技术这个快速成长的领域,许多科学家和工程师在做分离技术的调研和研究时需要的更多详细及专业的信息。对于学生研究分离过程、液膜分离技术以及膜反应堆而言,这是一本很好的教材,并且本书为液膜分离不同方法提供了统一的、理论上的准则。

Vladimir S. Kislik

(张卫东 译)

PREFACE

The chemical and engineering community is paying significant attention to the quest for technologies that would lead us to the goal of technological sustainability. A promising example with a lot of interest for process engineers is the strategy of process intensification. In this framework, an interesting and important case is the continuous growth of modern membrane engineering whose basic aspects satisfy the requirements of process intensification, which consists of innovative equipment, design, and process development methods that are expected to bring substantial improvements in chemical and any other manufacturing and processing, such as decreasing production costs, equipment size, energy consumption, waste generation, and improving remote control and process flexibility. Membrane operations, with their intrinsic characteristics of efficiency and operational simplicity, high selectivity and permeability for the transport of specific components, compatibility between different membrane operations in integrated systems, low energetic requirement, good stability under operating conditions and environment compatibility, easy control and scale-up, and large operational flexibility, represent an interesting answer for the rationalization of chemical productions.

Membrane separation is a relatively new and fast-growing field in supramolecular chemistry. It is not only an important process in biological systems, but becomes a large-scale industrial activity. For industrial applications, many synthetic membranes have been developed. Important conventional membrane technologies are microfiltration, ultrafiltration, electro- and hemodialysis, reverse osmosis, and gas separations. The main advantages are the high separation factors that can be achieved under mild conditions and the low energy requirements.

Liquids that are immiscible with the source (feed) and receiving (product) phases can also be used as membrane materials. They are defined as liquid membranes (LMs). This separation technology has grown very fast during the last decades. This book is dedicated to the science, engineering, and applications of the LM separation technologies in inorganic, organic, analytical chemistry, biochemical, biomedical engineering, and gas separations.

The book is written with two main objectives:

1. To provide comprehensive knowledge-based information on the principles and applications of a variety of LM separation processes. The book contains updated, useful, and systematized information. It contains a

critical analysis of new technologies published in the last 15 years. New directions of development in the field are presented.

2. To provide students and young researchers, new to separation science and technology, with a general overview of LM separations, critical analysis, classification, and grouping of many technologies, their theories and applications in different configurations of LM separations.

Several groups may benefit from this book. It can be used by scientists and engineers in the research and development of separation technologies who need more detailed and specialized information in this rapidly growing field. To students examining separation processes, LM separations, and membrane reactors, it will serve as a valuable textbook. The attempt to forge links between different methods and to unify general theoretical considerations of LM separations will bring some order in the understanding of the discipline.

Vladimir S. Kislik

LIST OF CONTRIBUTORS

Dr. Alberto Figoli, PhD

Research Institute on Membrane Technology, ITM-CNR
c/o University of Calabria, Via P. Bucci 17/C
87030 Rende (CS) - Italy
Ph.: +39 0984 492027/2014
Fax: +39 0984 402103
E-mail: a.figoli@itm.cnr.it

Dr. Mousumi Chakraborty

Assistant Professor, Dept of Chemical Engineering
S.V. National Institute of Technology
Ichhanath, Surat -395007, India
Telephone No: +912612201642(0)
+912612253306(R), +919427473685 (M)
E-mail: mousumi_chakra@yahoo.com, mch@ched.svnit.ac.in

Dr. Pawel Dzygiel

Institute of Chemistry
University of Opole
Oleska 48, 46-052
Opole, Poland
Telephone: (48 77) 454 5841
Fax: (48 77) 441 0740
E-mail: Pawel.Dzygiel@uni.opole.pl, dzygielp@uni.opole.pl

Dr. Chiranjib Bhattacharjee

Professor, Dept of Chemical Engineering
Jadavpur University
Kolkata - 700032
India
Fax: +91 33 2414 6378
Phone: +91 33 2414 6666 (Ext 2306) (Off)
Mobile: +91 92305 62975, +91 98364 02118
E-mail: cbhattacharyya@chemical.jdvu.ac.in, chiranjib_b@yahoo.com

Dr. Siddhartha Datta

Professor, Dept of Chemical Engineering
Jadavpur University
Kolkata - 700032
IndiaPhone: +91 33 2431 1251 (R), +91 33 2414
E-mail: sdatta_che@rediffmail.com

Dr. Vladimir S. Kislik

Professor, Casali Institute of Applied Chemistry
The Hebrew University of Jerusalem
Campus Givat Ram
Jerusalem 91904 Israel
Telephone: 972 2 658 6559
Fax: 972 2 652 5280
Tel. & fax: 972 2 997 4918
E-mail: vkislik@vms.huji.ac.il, vkislik@bezeqint.net

Dr. Roman Tandlich

Institute for Water Research
Old Geology Building
Artillery Road
Rhodes University
P.O. Box 94
Grahamstown 6140
South Africa
Tel: 00-27-73-851-3210
Fax: 00-27-46-622-9427
E-mail: r.tandlich@ru.ac.za, roman@iwr.ru.ac.za

Dr. Piotr Wieczorek

Professor, Institute of Chemistry,
University of Opole, Oleska 48, 46-052
Opole, Poland
Telephone: (48 77) 454 5841 ext. 2550
fax: (48 77) 441 0740;
E-mail: Piotr.Wieczorek@uni.opole.pl

目 录

前言	xiii
编者	xv
1. 简介、概述、定义及分类(综述)	1
<i>Vladimir S. Kislik</i>	
1. 简介	1
2. 液膜过程概述	2
3. 术语及分类	3
3.1 按膜器结构分类	3
3.1.1 大块液膜	3
3.1.2 支撑或固定液膜	5
3.1.3 乳化液膜	5
3.2 按传递机理分类	6
3.2.1 单纯迁移	6
3.2.2 载体迁移	7
3.2.3 耦合或共同迁移	7
3.2.4 主动迁移	7
3.3 按应用分类	8
3.4 按载体类型分类	8
3.5 按膜支撑体类型分类	8
4. 概述	8
2. 液膜过程中的载体促进迁移:理论及影响因素	17
<i>Vladimir S. Kislik</i>	
1. 简介	17
2. 液膜促进迁移机理及动力学研究	18
2.1 液膜传质模型	18
2.2 扩散传质	25
2.2.1 扩散传质数学模型	25
2.2.2 扩散系数的确定	28
2.3 化学反应动力学控制迁移	30
2.3.1 动力学控制传质数学模型	32
2.3.2 动力学参数的确定	34
2.4 扩散-动力学混合控制传递	37

2.4.1 传质速率控制步骤的确定	37
2.4.2 传质过程基本参数	40
2.4.3 传质参数的确定	40
3. 液膜促进迁移的推动力	45
4. 选择性	48
5. 分离系统膜接触器设计	50
6. 载体促进迁移的影响因素	56
6.1 载体性质	56
6.2 溶剂性质	59
6.3 膜支撑体的性质	61
6.4 耦合离子:阴离子类型	64
6.5 浓差极化及膜污染	65
6.6 温度	66
7. 小结	66
 3. 支撑液膜及其演变:定义、分类、理论、稳定性、应用及前景	73
<i>Pawel Dzygiel 和 Piotr P. Wieczorek</i>	
1. 简介	76
2. 支撑液膜分离技术-原理	77
3. 传递机理及动力学	78
3.1 推动力及传递机理	79
3.1.1 单纯渗透	81
3.1.2 载体-促进传递	82
3.2 产物回收及富集	85
4. 选择性	86
4.1 传质过程的选择性	86
4.1.1 单纯迁移过程的选择性	87
4.1.2 载体-促进传递的选择性	88
4.2 免疫诱捕	91
4.3 立体异构选择性	92
5. 过程及膜单元设计	95
5.1 常用支撑体	95
5.1.1 聚合物支撑体	96
5.1.2 无机支撑体	96
5.2 支撑液膜中的有机溶剂	98
5.3 离子液体为液膜相	99

5.4 膜组件(膜器设计)	101
6. 膜稳定性	103
6.1 膜稳定性的影响因素	105
6.2 劣化机理	106
6.3 增强支撑液膜稳定性	108
6.4 支撑液膜凝胶化	110
6.5 聚合物包容膜	111
6.6 支撑液膜与其他膜过程的集成	111
7. 支撑液膜的应用	114
7.1 化学分析	114
7.2 生物技术及环境科学	117
7.3 异构体分离	122
8. 前景	126
 4. 乳化液膜:定义、分类、原理、膜器设计、应用、新方向及前景	141
<i>Mousumi Chakraborty, Chiranjib Bhattacharya 和 Siddhartha Datta</i>	
1. 简介和定义	141
1.1 液膜	142
2. 乳化液膜传质机理	142
2.1 单纯渗透机理	142
2.2 促进迁移机理	143
3. 液膜模型	145
3.1 双膜模型	145
3.2 阻力分布模型	147
3.2.1 渐进前沿模型	147
3.2.2 可逆反应模型	156
3.3 萃取平衡关联式	159
3.4 渐进反萃模型	159
3.5 连续操作模型	160
3.5.1 多级混合澄清槽操作	160
3.5.2 塔类型	162
4. 乳化液膜设计	163
4.1 乳化液膜的操作条件	163
4.2 乳化液膜的制备	163
4.3 乳化及表面活性剂	164
4.4 反萃剂	165

4.5 萃取剂	165
4.6 破乳	165
4.7 影响萃取及渗透的因素	167
4.7.1 膜厚及组成	167
4.7.2 搅拌速率	169
4.7.3 料液相溶质浓度	170
4.7.4 料液相 pH 值	170
4.7.5 外水相与乳化体积比(处理比例)	173
4.7.6 内水相萃取剂的浓度及内水相体积分数	174
4.7.7 温度	175
4.8 液膜的流体力学	175
4.9 乳化液膜的泄漏及稳定性	177
4.10 液滴粒径分布	178
5. 乳化液膜技术的应用	180
5.1 金属离子萃取	180
5.2 弱酸/弱碱的去除	184
5.3 无机组分的分离	184
5.4 分离碳氢化合物	185
5.5 生物化学和生物医学应用	185
5.6 微细粒子制备	187
6. 液膜工业应用	188
6.1 锌的去除	188
6.2 苯酚的去除	188
6.3 腈的去除	188
7. 总结	189
7.1 优势	189
7.2 缺陷	190
8. 前景	190
 5. 应用非水溶性有机载体的大块组合液膜:在化学、生化、医药和气体分离方面的应用	201
<i>Vladimir S. Kislik</i>	
1. 简介及定义	202
2. 理论:传质机理和动力学	204
2.1 系统模型	204
2.1.1 传质机理及动力学	204

2.1.2 推动力	210
2.2 M^{2+}/H^{+} 的竞争逆向迁移数值模型	212
2.3 中空纤维液膜传递理论	220
3. 分离系统膜接触器设计	222
3.1 膜器的初步设计及优化	222
3.1.1 传递速率参数的确定及优化	222
3.1.2 选择性参数的确定	228
3.2 膜用作隔离两相的屏障	230
3.3 使用的载体类型	234
3.4 系统实例	245
3.4.1 分层大块液膜膜器	245
3.4.2 旋转盘膜器	246
3.4.3 爬流膜膜器	247
3.4.4 组合液膜膜器	247
3.4.5 多膜组合系统	248
3.4.6 流动液膜膜器	248
3.4.7 中空纤维液膜膜器	249
3.4.8 毛细管液膜系统	249
3.4.9 膜基或非分散溶剂萃取系统	251
4. 选择性分离的应用	252
4.1 金属分离及富集	252
4.2 生物技术产品回收及分离	253
4.3 医药产品回收及分离	253
4.4 有机化合物分离及有机污染物富集	253
4.5 发酵和酶的转化-回收-分离(生物反应器)	253
4.6 化学分析	253
5. 总结	255
 6. 水溶性载体组合液膜过程:在化学和生化分离方面的应用	277
<i>Vladimir S. Kislik</i>	
1. 简介及定义	277
2. 理论	279
2.1 背景	279
2.2 传质机理及动力学	279
3. 膜器设计相关	287
3.1 膜器设计	287

3.1.1 动力学参数的确定及优化	287
3.1.2 选择性评价标准	294
3.2 聚合物电解质为载体	299
3.3 离子交换膜为支撑体	303
3.4 特种渗透:离子交换膜、高分子电解质及渗透	303
3.5 BAHLM 系统的初级评价举例	305
4. 选择性分离的应用	307
4.1 金属离子及盐类的分离	307
4.1.1 板式离子交换膜分离	307
4.1.2 中空纤维组件分离	314
4.2 生物技术分离:羧酸	314
4.3 水溶性聚合物液膜的异构体分离	317
4.3.1 中空纤维包容液膜渗透器分离	317
4.3.2 支撑液膜分离	319
4.4 载体泄漏	320
4.5 膜寿命	320
5. 总结	320
 7. 液膜在气体分离过程的应用	327
A. Figoli	
1. 简介	328
2. 理论	330
3. 膜器及设计	332
4. 支撑液膜的稳定性及新构型	335
5. 气体分离方面的应用	338
5.1 富氧空气的制备	338
5.2 不同气体中的二氧化碳分离	345
5.3 石蜡的分离	348
5.4 不同气体中的二氧化硫分离	350
5.5 氢气分离	351
6. 结论及展望	351
 8. 液膜在废水处理领域的应用	357
Roman Tandlich	
1. 简介	357
2. 大块液膜	357