



科爱传播
KE AI COMMUNICATIONS

· 导读版 ·

膜科学与工程大全

Chemical and Biochemical Transformations
in Membrane Systems

膜系统中的化学和 生物化学转化

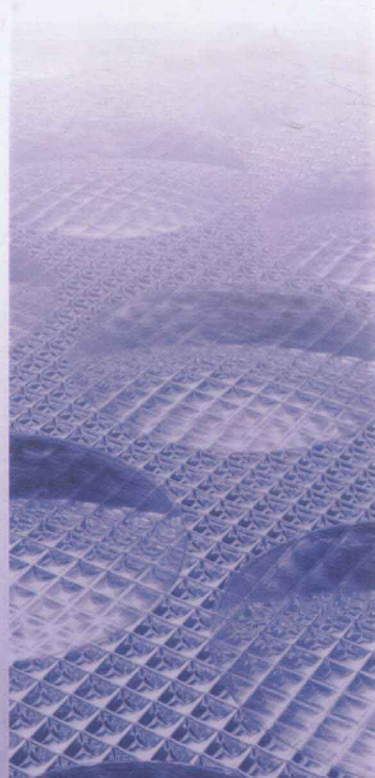
Enrico Drioli , Lidietta Giorno



原版引进



科学出版社



膜科学与工程大全

Chemical and Biochemical Transformations in Membrane Systems

膜系统中的化学和生物化学转化

Enrico Drioli, Lidietta Giorno



科学出版社

北京

图字：01-2011-4502 号

Comprehensive Membrane Science and Engineering: Book3
Chemical and Biochemical Transformations in Membrane Systems

Enrico Drioli, Lidiatta Giorno

ISBN-13: 9780444532046

Copyright © 2010 by Elsevier Inc. All rights reserved.

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 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.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 与科学出版社在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区）发行与销售。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

膜系统中的化学与生物化学转化=Chemical and Biochemical Transformations in Membrane Systems: 英文/(意) 德里奥利等主编. —北京: 科学出版社, 2012

(膜科学与工程大全)

ISBN 978-7-03-035279-8

I. ①膜… II. ①德… III. ①膜—化学—转化—英文 ②膜—生物化学—转化—英文 IV. ①TQ028.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 187221 号

责任编辑: 霍志国 田慎鹏

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 8 月第一次印刷 印张: 20

字数: 474 000

定价: 135.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

导 读

膜反应器基础

3.01 膜反应器基础

膜反应器分为提取式膜反应器和分布式/接触式膜反应器,前者主要用于受热力学平衡控制的反应过程,通过分离副产物,提高反应转化率;后者主要用于受动力学控制的反应过程,通过选择性加入反应物,提高选择性。提取式膜反应器的主要应用举例:(1)正丁烷脱氢反应生成正丁烯过程,即通过脱除副产物氢提高直链烷烃反应转化率;(2)酯化反应过程,通过沸石膜脱除副产物水提高产率,同时能减少催化剂失活及动力学抑制作用;(3)微反应器催化乙基-2-氰基-3-丙烯酸苯酯合成反应,用LTA膜脱除副产物水,提高反应转化率,消除了动力学限制;(4)钙钛矿型膜反应器高温水裂解反应过程,通过选择性透过氧气提高氢气产率,同时透过膜的氧气可以部分氧化甲烷,生成合成气(CO和H₂)。分布式/接触式膜反应器的主要应用举例:(1)通过管式多孔膜反应器分布式供氧实现烃的部分氧化反应;(2)甲烷部分氧化(POM)反应生成合成气,膜反应器用膜从钙钛矿型平板膜、管式膜最后发展到中空纤维膜反应器;(3)用选择性提供氧来实现烃类部分氧化;(4)通过选择双功能膜制作的膜反应器将对二甲苯氧化成对二苯甲酸;(5)在孔流膜反应器中实现环辛二烯部分氢化为环辛烯。本章最后介绍了提取式膜反应器的一个成功应用范例,即运用提取式膜反应器去除对反应有抑制作用的氧气,提高N₂O等氮氧化物的分解反应转化率。

3.02 计算机辅助模型设计和膜反应—分离耦合体系分析

计算机性能的飞速提升使得其应用领域不断扩展,化工领域中计算机可用于多种操作单元耦合体系的模型设计与分析。耦合过程被认为是联合多种单元操作(比如分离和反应)通过优化实现特定设计目标并使这一过程具有可持续性。针对耦合过程和膜分离过程,本章介绍了两种基于模型的计算机辅助设计框架,并详细介绍了框架中的设计方法、建模工具等。膜分离过程的同步设计框架包括建模、模型验证以及模型应用,其中建模过程包括使用数据库、文献、基团贡献、原子模拟等方法获得物性参数,并基于守恒定律及传递现象建立模型。求解方法主要包括正向求解和反向求解算法。正向算法本质是根据结构物质的选择进行试差迭代过程,这一过程由于需要进行大量的迭代工作导致计算速率较慢。与之相反,反向算法将求解过程分为两步进行,过程更加简单,效率更高。耦合过程(例如反应与分离、分离与分离)的设计框架包括确定设计目标、确定溶剂作用、选择分离技术、确立过程条件、实验设计与调节参数以及验证等过程,涉及的计算机辅助模型工具包括ICAS-MoT、Pro-Pred、TML、LAMMPS、ICAS-PDS、MemData、ICAS-Sim等。最后针对膜分离过程的同步设计和丙酸丙酯合成过程进行了实例分析。

3.03 催化膜反应器模型与模拟

膜反应器能够实现反应与分离的同时进行,通过选择性移除反应产物或加入反应物,

有效提高反应转化率、选择性和产率等。膜反应器的数学模型包含一系列常微分、偏微分及代数方程组，描述了反应及透过体积的动量、质量和能量平衡，能够模拟温度、压力、组成、流速、转化率等变量的变化。方程组根据膜反应器形式和操作模式，其变量可能呈一定的径向/轴向分布，也可能呈均匀分布。根据膜所发挥的作用，膜反应器可分为两类：第一类膜反应器中膜仅具有分离作用，第二类膜反应器中膜不仅具有分离作用而且起到催化剂载体的作用，针对两类膜反应器分别有相应的模型与模拟方法。

3.04 多相膜反应器

膜反应器是膜分离与反应集成的单元。传统多相反应器基于分散相界面实现催化反应。膜反应器具有反应面积可控，防止液泛、乳化的作用，效率高并易放大等特点。无催化剂的管式膜反应器中，膜管外部反应具有反应容量大、效率高的特点，膜管内部反应则可通过调节流速控制反应进程。膜催化是膜反应器的重要功能。催化剂填充膜内部时，可以选择性脱除反应产物，提高转化率，并能避免过热和反应失控；催化剂沉积在表面时，可以提高接触面积且催化剂数次再生，达到经济节约的目的。催化剂在膜结构（酶催化反应器）中时，可以同时实现固定酶和相接触器的双重作用。

膜反应器传质模型依据反应与传质速率确定控制步骤。对于慢速反应，膜反应器简化为膜接触器，浸润式膜接触器以停滞膜模型确定膜传质系数，非浸润式膜接触器以努森扩散过程确定膜传质系数，通过各相传质阻力表达两相传质系数。对于快速反应，引入反应强化无因次量表达反应强化界面传质系数，建立三相膜反应器传质模型。当催化膜表面具有明确传质路径时，利用菲克定律引入扩散控制反应因子，建立了扩散控制的膜内产物浓度分布；当膜外部存在扩散时，利用搅拌改变界面处反应物浓度可以强化传质效果。

催化膜和膜反应器

3.05 催化膜和膜反应器

膜反应器是结合化学反应与膜分离的多功能反应器，具有清洁、低能耗、高品质等特点。膜反应器从传质的角度分为膜萃取、膜分配及膜接触功能，部分膜还具有催化功能。膜萃取通过分离特定产物或易发生副反应的中间产物，提升反应选择性，用于渗透汽化辅助催化酯化以及苯光催化氧化制备苯酚等过程。膜分配促使反应物按比例参与反应，减少副反应并防止过热，用于通过偏氟聚电解质、共聚物电解质或有机无机杂化膜的质子交换反应等过程。膜接触实现了互不相溶两相中反应物相互接触反应，通过膜接触氧化可以降低污水化学需氧量及总有机碳含量。膜催化具有对流及多重驱动力作用的强化传质与分离效果，适用于一些传热与传质耦合过程。膜反应器中传统无机膜用于高温高压及强氧化过程，有机膜用于精细化工和生物催化过程，还有有机-无机杂化膜、功能化膜、耐有机溶剂膜、分子印迹膜等发展迅速。膜反应器的重要应用包括膜生物反应器和生物酶反应器，分别用于废水处理和生物医药领域。

3.06 渗透汽化膜反应器

渗透汽化膜反应器将渗透汽化与反应相耦合，不但节约了能耗，还提高了反应效率。渗透汽化膜反应器主要有 R1 型（渗透汽化单元对反应产物的分离）和 R2 型（渗透汽化单元对反应过程中副产物的分离）两类。R1 型渗透汽化膜反应器主要应用于生物技术领域，比如通过渗透汽化膜从发酵液中提取产物乙醇；R2 型渗透汽化膜反应器主要用于酯

化反应过程以及可逆反应过程，通过渗透汽化膜脱除副产物水。

3.07 膜反应器中的光催化过程

光催化膜反应器是可以有效降低反应中有毒副产物产生的前瞻性绿色技术，在净化和合成过程中具有重要的应用前景。光催化反应器中的异质光催化，是指光催化剂和底层不在同一相内。光催化剂是在光催化反应器中起到把光能转变为化学能的一种半导体材料，常用的是钛氧化物。目前的光催化技术主要应用于诸如去除有机离子等的净化过程和以选择性氧化为代表的合成路径中。为了提高光催化过程的效率，人们提出了光催化膜反应器，主要包括增压型和减压型。异质光催化膜反应器的动力学模型包括吸收动力学、光催化动力学等，研究光催化反应过程量子产量以及相对光子效率等随催化剂量、底物浓度、溶液 pH、波长和光密度等变化规律。

3.08 生物催化膜和膜生物反应器

膜生物反应器将生物化学反应单元与膜分离单元紧密结合起来，目前主流的膜生物反应器中生化反应在反应器主体中进行，膜分离单元完成分离过程，可分为浸没式膜生物反应器和外置式膜生物反应器。生物催化膜反应器是一种强化的膜生物反应系统，通过交联、成键等方式，酶被固定在膜表面或内部，使膜具有生物催化活性，生化反应和分离过程都在同一个膜单元里进行。本章主要讨论了浸没式膜生物反应器和生物催化膜反应器的结构形式、工作原理以及实际应用。

生物化学转化和再生医学

3.09 用于组织工程和干细胞移植的中空纤维膜反应器

中空纤维膜生物反应器（HFMB）具有比表面积高、营养液供应均一、选择渗透性良好等优点，近年来被广泛用于疫苗、干扰素、生长因子、病毒、单克隆抗体等昂贵生物药物的生产和人造器官的制造领域。将 HFMB 用于包括 3D 组织工程培养和干细胞增殖在内的可再生药物的生产越来越受到人们的关注。用中空纤维膜生物反应器模拟毛细血管血液流动系统，不仅可以使培养液选择性渗透到膜外部向细胞提供营养，而且可以使细胞代谢产物选择性渗透到膜内部被及时运走，实现了 3D 组织工程的培养。培养环境决定了干细胞的增殖与分化，HFMB 可以有效控制培养环境，提高干细胞的增殖效率。HFMB 在人造肝脏、肾脏、胰腺等人造生物功能器官的制造过程中也发挥着重要的作用。制造人造组织和器官的终极目的是移植，采用可生物降解材料制备的中空纤维膜及其膜生物反应器使其成为可能，介绍了常见的可生物降解材料（聚丙交酯乙交酯：PLGA）制备中空纤维膜过程中溶剂的选择、操作条件优化等最新研究进展。

3.10 用于肝脏和神经组织工程的膜技术

21 世纪破损组织的修复和替换技术发展迅速，其中修复时遇到的问题可以通过人造组织工程来解决，即通过体外培养或把细胞连接到某种材料上形成特定组织。膜技术和生物培养技术的进展使得人造组织工程成为可能，组织工程尤其是肝脏和神经组织工程中的膜生物人工系统近年来受到人们的高度关注，其中材料的选择是一个十分关键的步骤。生物杂交人工肝可包括种子细胞、培养系统和生物反应器，在生物杂交人工肝的应用研究中需要进行潜伏期、临床和体外的评价。目前治疗神经损伤的临床方法尚不能使得神经功能完全修复，而生物工程技术可以使得神经组织再生以及在 CNS 和 PNS 之间创造一个无缝

接口。随着膜系统内生物材料的不断进步，功能化人造组织工程显现出十分重要的应用前景。

3.11 基于多孔聚合物膜的干细胞和血液细胞的分离和纯化

细胞分离技术在生物医学等领域至关重要，尤其是组织中细胞的隔离和血细胞或间质干细胞（MSCs）的移植。细胞分离技术包括离心、荧光激活细胞分选（FACS）、磁细胞选择（MACS）、亲和层析和膜过滤等。离心技术不适用于分离具有相同特性的细胞，并且由于噪音大以及体积大不能应用于床旁临床应用。FACS 需要联合作为细胞表面标记的十分昂贵的荧光标记抗体，不能直接用于组织或器官样本以及临床应用。MACS 是一种熟练的细胞分离方法，但是需要使用昂贵的磁珠共轭抗体。在目标细胞表面没有完成抗体标记时，不能采用 FACS 和 MACS。膜过滤具有操作简单和成本低廉等优点，近年来用于细胞分离过程的研究进展迅速。本章分别以血液和组织细胞样本作为不同细胞分离源，综述了膜分离法进行血液细胞分离和干细胞分离的最新进展，即采用包细胞过滤器（LCAP）进行白细胞去除过滤和血液过滤的临床治疗，采用膜过滤器进行造血干细胞（HSCs）和间质干细胞（MSCs）的纯化和隔离。

王晓琳

清华大学化学工程系

引言

20 世纪被描绘成一个众多资源密集型工业迅猛发展的时期，尤其是在一些亚洲国家，其特征还表现在全球人口增长、寿命延长以及生活质量水准的全面提高。伴随近代史的上述正面评价指标的还有水危机、环境污染和大气中 CO_2 排放量增加等负面评价指标。描述我们最新进展的改革的这些负面评价指标很大程度上取决于改革自身或针对改革的推动力是否缺少创新和既能控制又能减小世界范围工业发展中相对明显的负面指标的新策略。废水处理策略就是一个明确的例子，如图 1 所示，自 1556 年至今，相同理念基本上出现在各种废水处理系统中。

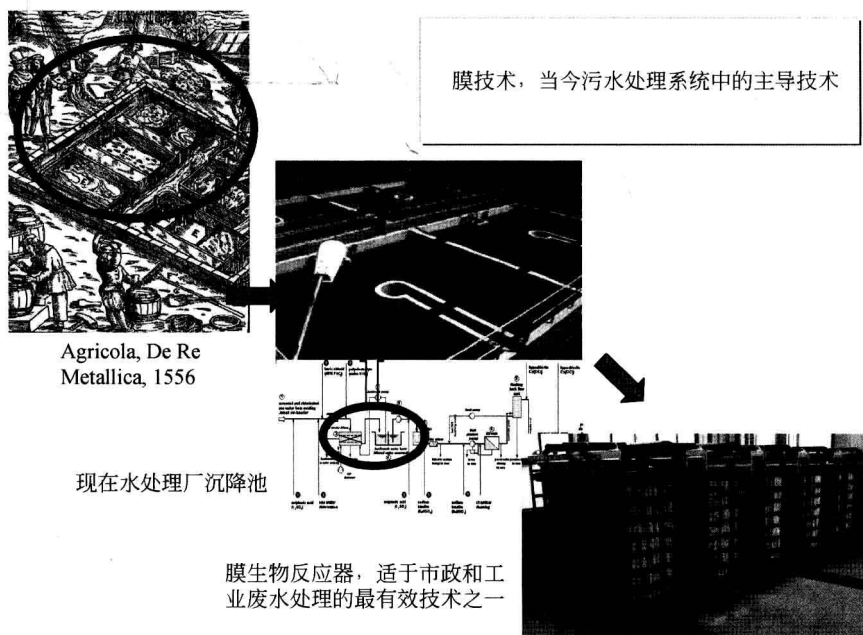


图 1 废水处理技术途径的前生今世

今天人们都意识到需要致力于知识密集型工业技术的发展，这将使得工业系统实现从基于数量基准向基于质量基准的转变成为可能。人类资本正在逐步成为这种社会经济改革的推动力，可持续发展的机遇来自于先进技术的应用。膜技术已在许多领域被认为是能致力于实现可持续发展的最有效技术之一（图 2）。

过程工程是解决当今及未来世界所面临的新问题的技术创新中最密切的学科之一。最近，从逻辑学上过程强化已被认为是上述问题的最好的过程工程答案。过程强化包括装置、设计以及过程开发方法的创新等，这些创新可望在化学和任何其他制造及加工过程中

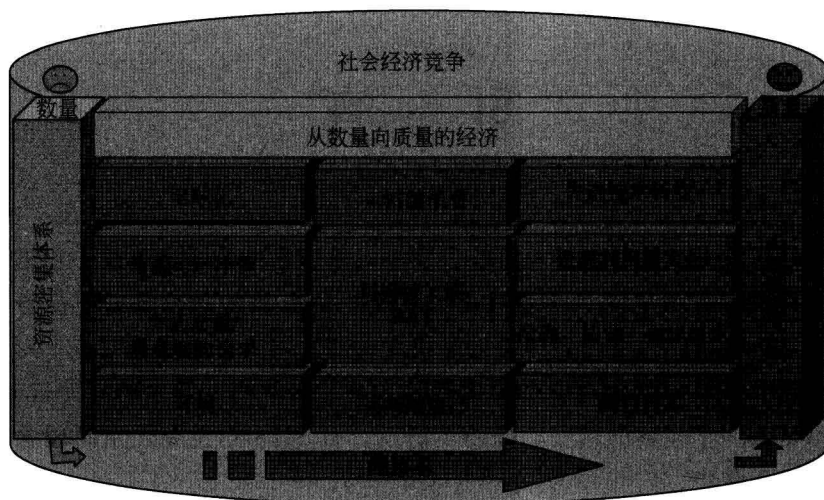


图2 现行社会经济和技术竞争正在促进向知识密集型系统的转变从而保持可持续发展

诸如生产成本、装置尺寸、能量消耗及废物产生的降低与遥控、信息流及过程灵活性的改进等方面获得实质性进展（图3）。

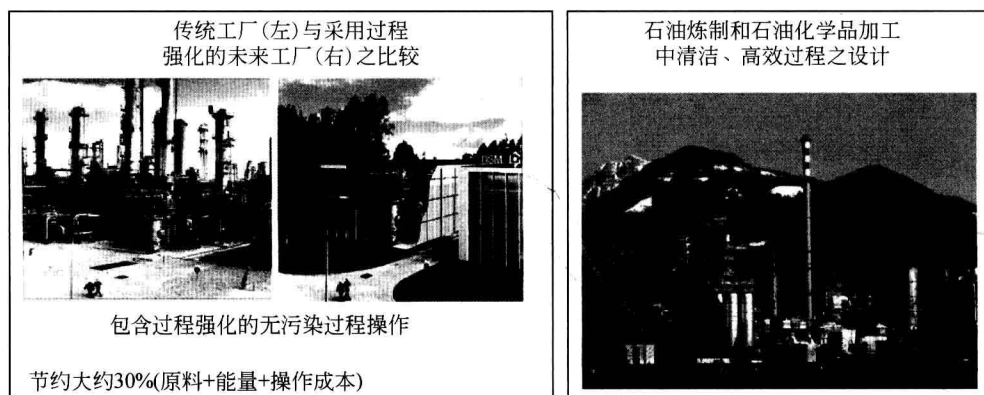


图3 过程强化策略。引自 Jean-Claude Charpentier, 全球化、可持续化与技术创新构架下的现代化学工程学, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 46, No. 11, 2007

然而如何有效实现上述策略并非显而易见。一个有趣和重要的情形是现代膜工程的持续发展，它的基本特征满足了过程强化的需要。膜操作的固有特性包括高效和操作简便、特定组分传递过程的高选择性和渗透性、集成系统中不同膜操作的相互兼容性、低能耗需求、操作过程中的良好稳定性和环境协同性、易于控制和放大以及大的操作弹性等，因此成为使得化学和其他工业生产过程合理化的令人关注的手段。许多膜操作实际上基于相同硬件（膜材料）区分于不同软件（方法）。传统的膜分离操作（反渗透（RO）、微滤（MF）、超滤（UF）、纳滤（NF）、电渗析、渗透汽化等）已经大量用于许多不同用途，并由此引导出一些诸如催化膜反应器和膜接触器等新的膜系统。由于膜所具有的协同性，

基于各种膜技术相适宜的分离和转化单元之特性，可以重新设计重要的工业生产循环从而实现高度集成的膜过程，我们正在面临这样的一个令人心旷神怡的大好时机。

膜技术已经在许多领域发挥着主导作用，列举几个引人注目的例子，如海水淡化（图 4）、废水处理与回用（图 5）、人造器官（图 6）。十分有趣的是，人们认识到今天得以工业规模运行的大多膜操作原本就存在于生命进化至今的生物系统和自然界中。实际上，大多生物系统可以看作为由具有分子分离、化学转变、分子识别、能量、质量及信息传递等性能的一系列膜组成（图 7）。

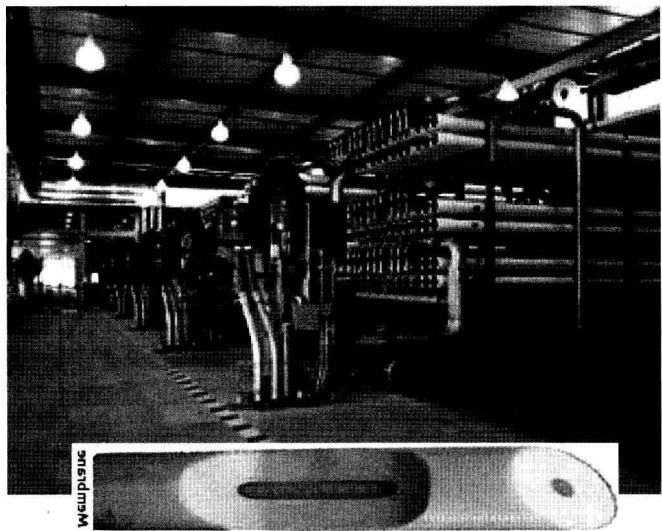


图 4 膜法海水淡化装置。美国得克萨斯州厄尔巴索市反渗透膜法淡化装置：世界最大的内陆淡化水厂（ $104\,000\text{m}^3\text{d}^{-1}$ ）。制水成本小于 $0.36\text{ \$ m}^{-3}$ 。源自 <http://www.epwu.org/167080115>

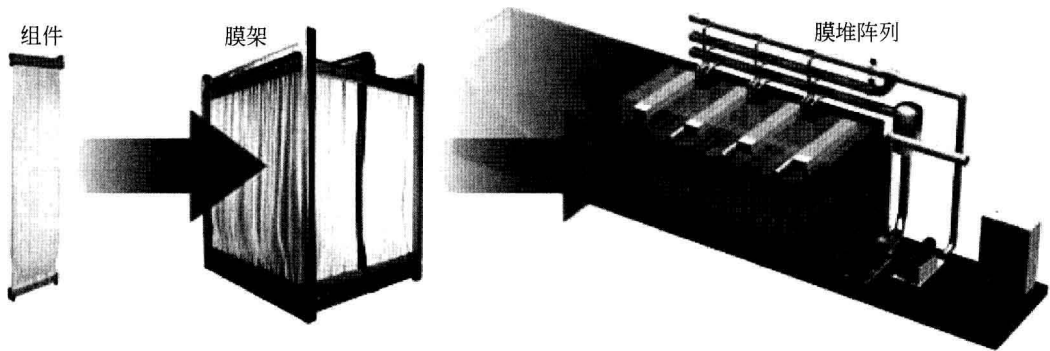


图 5 用于废水处理的浸没式膜组件。源自 ZeeWeed[®] 浸没式膜系统，<http://www.gewater.com>

如上所述的某些性能的膜操作已成功地在工业规模上得以实现。然而，我们目前还远远不能重现生物膜的复杂性和高效率，如集成各种功能、修复损伤能力、维持长期特殊作用、避免污染和各种功能衰退以及保持系统活力等。因此，新一代膜学家和工程师们必须致力于认识和重现我们十分熟悉赖以生存的神奇自然系统。

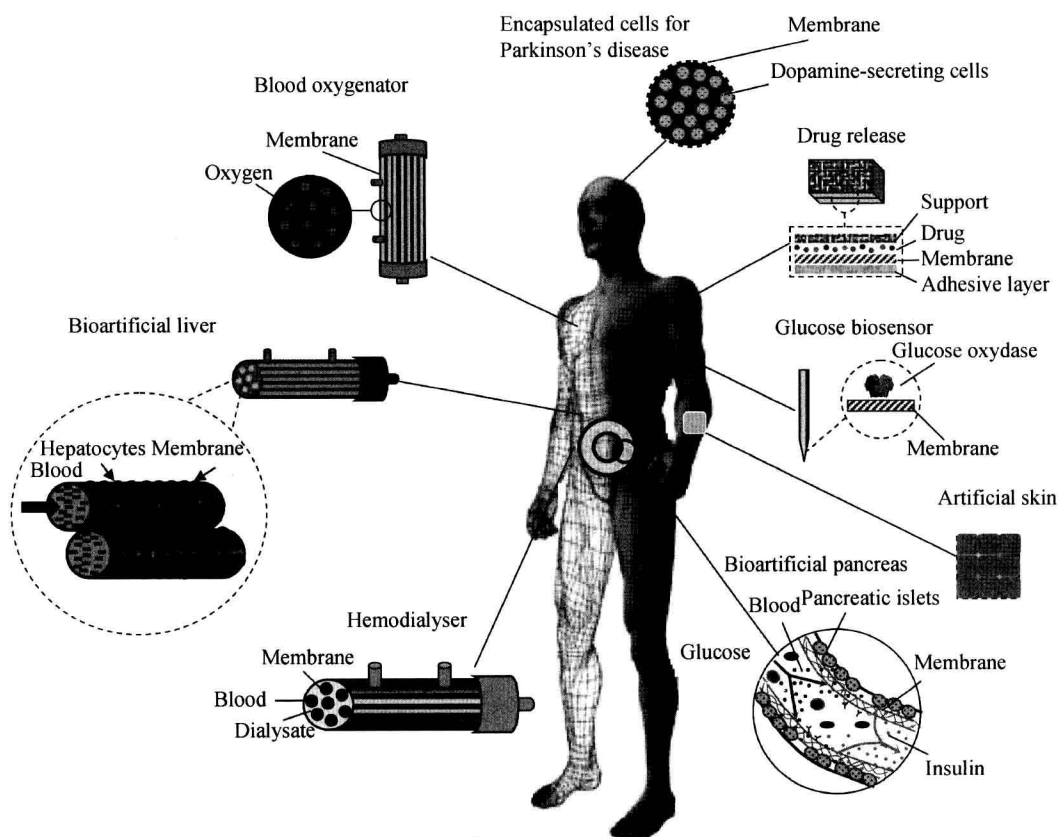


图 6 用于生物医学领域的膜与膜组件

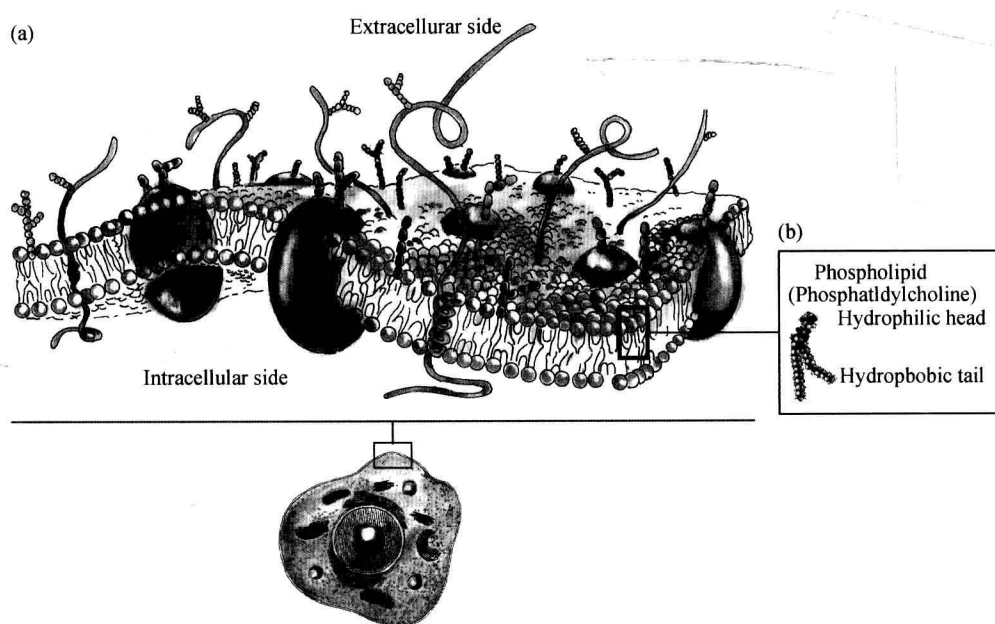


图 7 生物膜功能。源自 <http://www.mcgraw-hill.it/>

在《膜科学与工程大全》中，我们试图展示和讨论近年来膜科学与工程方面已取得的一些最具有重大作用的成果。

大全分四卷，作者是来自世界各地的资深科学家和博士生，内容覆盖了膜制备与表征的基础方面及其在各种单元操作中的应用，从分子分离到膜反应器中的化学转变和膜接触器中的物质和能量传递的优化。从战略层面划分应用，着重于膜技术在包括能源、环境、生物医学、生物技术、农副产品和化学制造等领域的应用。

今天，人们越来越关注具有重要应用前景的一些膜过程的重新设计，探究其用于工业生产的可行性。然而尚需付出强有力的努力向公众传播膜工程的有用知识，培养越来越多的年青一代熟悉这些有创造性、有活力、非常重要的学科的基础与应用。我们试图以这本大全做出我们力所能及的贡献。

第1卷，论述了膜科学与工程的传递现象基础，包括基于高分子、无机及混合基质膜材料表征分子分离过程中渗透性和选择性，以及基于这些材料制备各种可能的形态（板式、管式、微胶囊式等）的膜的基本原理，还论述了用于表征的常见的一些基本方法。

第2卷，阐述和讨论了最具重大作用的膜操作的基本原理及其应用，包括液相（MF、UF、NF 和 RO）和气相（气体分离和蒸汽渗透）压力驱动系统以及其他分离过程，如渗析、渗透汽化、电化学膜系统等。

第3卷，综述了大多发生在生物系统中的分子分离与化学转化相结合的最新进展。有一点很重要，就是切记膜反应器和催化膜系统的工业规模发展还没有达到众所周知的压力驱动膜过程的水平。然而，对膜反应器与膜生物反应器能够突飞猛进发展的期许是一件非常意味深长的事情。事实上，对浸没式膜反应器作为 BAT（最有效技术）在市政污水处理与再利用方面的认可已经被证明获得了引人关注的成功。上述系统在生物工程和生物医学方面应用的潜力同样备受关注，这里诸如人造肾脏和胰腺等人造生物器官在某种程度上已经达到临床试验水平。

第4卷，涉及一些相对较新的膜操作的描述，这些操作中并不要求膜具有选择性。就像膜接触器一样，膜的作用旨在优化不同相态之间的最佳质量与能量传递行为。膜蒸馏、膜结晶、膜乳化、膜汽提以及膜洗涤等都是现代过程工程中新的膜单元操作的典型案例。为了这些系统的进一步应用，尚需开发具有高度疏水、纳米结构及新型复合构造的新材料。

如果将书中所述的所有不同膜操作相结合并应用于某个工业生产循环，可能设计出完全创新的工业转化和集成膜操作，这里过程工程师可以根据过程强化策略逻辑学利用人造膜系统潜能实现工业可持续发展。

同样应该引起人们关注的是，不仅工业部门将从上述途径中获益，而且复合人造器官的设计和通常意义上的再生医学的发展亦有可能从上述相同策略中获益。

致谢

在过去的2年里，编著这4卷《膜科学与工程大全》实在是一件十分有趣而快乐的工作。

作。为了实现我们的目标一直与许多同仁们相互沟通和讨论，在此感谢为我们提供有效合作的所有同仁们。

我们特别感谢我们的年轻同事 Enrica Fontananova 博士，她从一开始就帮助协调我们的工作，与所有稿件作者保持联系，她在膜科学与膜工程方面的卓越知识和经验对她顺利开展上述工作是十分必要且富有成效的。

我们希望这 4 卷大全能有助于研究员、工程师以及技术人员增长膜科学知识和兴趣。

Enrico Drioli and Lidieta Giorno

(王晓琳 译)

Contributors to Volume 3

G. Barbieri

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria Rende (CS), Italy

B Van der Bruggen

Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium

A. Brunetti

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria Rende (CS), Italy

C. Campana

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria, Rende (CS), Italy

G. Capannelli

University of Genoa, Genoa, Italy

J. Caro

Leibniz Universität Hannover, Hanover, Germany

A. Caruso

University of Calabria, Arcavacata di Rende (CS), Italy

A. Comite

University of Genoa, Genoa, Italy

Z. F. Cui

University of Oxford, Oxford, UK

L. De Bartolo

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria, Rende (CS), Italy

E. Drioli

Institute of Membrane Technology, ITM-CNR, University of Calabria, Rende (CS), Italy

M. J. Ellis

University of Bath, Bath, UK

R. Di Felice

University of Genoa, Genoa, Italy

E. Fontananova

Institute of Membrane Technology, ITM-CNR, University of Calabria, Rende (CS), Cosenza, Italy

R. Gani

Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark

L. Giorno

Institute of Membrane Technology, ITM-CNR, University of Calabria, Rende (CS), Italy

A. Higuchi

National Central University, Taoyuan, Taiwan (R.O.C.)

H. Macedo

Imperial College London, London, UK

A. Mantalaris

Imperial College London, London, UK

R. Mazzei

Institute of Membrane Technology, ITM-CNR, University of Calabria, Rende (CS), Italy

P. T. Mitkowski

Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark

R. Molinari

University of Calabria, Arcavacata di Rende (CS), Italy

S. Morelli

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria, Rende (CS), Italy

L. Palmisano

University of Palermo, Palermo, Italy

A. Piscioneri

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria, Rende (CS), Italy

M. Rende

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria, Rende (CS), Italy

S. Salerno

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria, Rende (CS), Italy

F. Scura

Institute on Membrane Technology, ITM-CNR, at University of Calabria, Rende (CS), Italy

V. Soni

BASF SE, Ludwigshafen, Germany

H. Ye

University of Oxford, Oxford, UK

Contents of All Volumes

Volume 1 Basic Aspects of Membrane Science and Engineering

Role and Function of Biological and Artificial Membranes

- 1.01 Biological Membranes and Biomimetic Artificial Membranes
- 1.02 Functionalized Membranes for Sorption, Separation, and Reaction: An Overview

Fundamentals of Transport Phenomena in Membranes

- 1.03 Modeling and Simulation of Membrane Structure and Transport Properties
- 1.04 Fundamentals of Transport Phenomena in Polymer Membranes

Basic Aspects of Polymeric and Inorganic Membrane Preparation

- 1.05 Basic Aspects in Polymeric Membrane Preparation
- 1.06 Advanced Polymeric and Organic–Inorganic Membranes for Pressure-Driven Processes
- 1.07 Norbornene Polymers as Materials for Membrane Gas Separation
- 1.08 Amorphous Perfluoropolymer Membranes
- 1.09 Plasma Membranes
- 1.10 Preparation of Membranes Using Supercritical Fluids
- 1.11 Basic Aspects in Inorganic Membrane Preparation
- 1.12 Ceramic Hollow Fiber Membranes and Their Applications
- 1.13 Preparation of Carbon Membranes for Gas Separation
- 1.14 Carbon Nanotube Membranes: A New Frontier in Membrane Science

Membrane Characterization

- 1.15 Characterization of Filtration Membranes
- 1.16 The Use of Atomic Force Microscopy in Membrane Characterization

Index to Volume 1

Volume 2 Membrane Operations in Molecular Separations

Reverse Osmosis and Nanofiltration

- 2.01 Fundamentals in Reverse Osmosis
- 2.02 Preparation of Industrial RO, NF Membranes, and Their Membrane Modules and Applications
- 2.03 Current and Emerging Developments in Desalination with Reverse Osmosis Membrane Systems
- 2.04 Transport Phenomena in Nanofiltration Membranes
- 2.05 Nanofiltration Operations in Nonaqueous Systems

Ultrafiltration and Microfiltration

- 2.06 Ultrafiltration: Fundamentals and Engineering
- 2.07 Fundamentals of Cross-Flow Microfiltration

Gas Separation

- 2.08 Polymeric Membranes for Gas Separation
- 2.09 Membranes for Recovery of Volatile Organic Compounds

Pervaporation

- 2.10 Fundamentals and Perspectives for Pervaporation
- 2.11 Selective Membranes for Purification and Separation of Organic Liquid Mixtures
- 2.12 Supported Liquid Membranes for Pervaporation Processes

Dialysis

- 2.13 Progress in the Development of Membranes for Kidney-Replacement Therapy

Electromembrane Processes

- 2.14 Electromembrane Processes: Basic Aspects and Applications
- 2.15 Basic Aspects in Proton-Conducting Membranes for Fuel Cells

Index to Volume 2

Volume 3 Chemical and Biochemical Transformations in Membrane Systems

Basic Aspects of Membrane Reactors

- 3.01 Basic Aspects of Membrane Reactors
- 3.02 Computer-Aided Model-Based Design and Analysis of Hybrid Membrane Reaction-Separation Systems
- 3.03 Modelling and Simulation of Catalytic Membrane Reactors
- 3.04 Multiphase Membrane Reactors

Catalytic Membranes and Membrane Reactors

- 3.05 Catalytic Membranes and Membrane Reactors
- 3.06 Pervaporation Membrane Reactors
- 3.07 Photocatalytic Processes in Membrane Reactors
- 3.08 Biocatalytic Membranes and Membrane Bioreactors

Biochemical Transformations and Regenerative Medicine

- 3.09 Hollow Fiber Membrane Bioreactor Technology for Tissue Engineering and Stem Cell Therapy
- 3.10 Membrane Approaches for Liver and Neuronal Tissue Engineering
- 3.11 Separation and Purification of Stem and Blood Cells by Porous Polymeric Membranes

Index to Volume 3

Volume 4 Membrane Contactors and Integrated Membrane Operations

Basic Principles of Membrane Contactors

- 4.01 Membrane Distillation and Osmotic Distillation
- 4.02 Membrane Crystallization Technology
- 4.03 Membrane Emulsification
- 4.04 Liquid Membranes

Integrated Membrane Operations in Various Industrial Sectors: Case Studies

- 4.05 Integrated Membrane Operations in Various Industrial Sectors
- 4.06 Membranes in Agro-Food and Bulk Biotech Industries
- 4.07 Membrane Bioreactor in Water Treatment
- 4.08 Membrane Technology: Latest Applications in the Refinery and Petrochemical Field
- 4.09 Membrane Systems for Seawater and Brackish Water Desalination

Cumulative Index