



科爱传播  
KE'AI COMMUNICATIONS

中文版

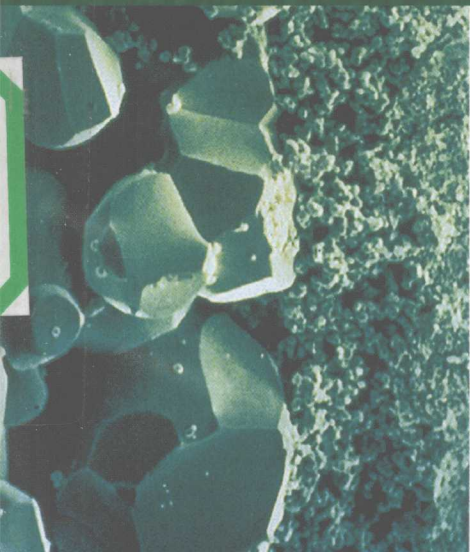
# 膜生物反应器

## 水和污水处理的原理与应用

### The MBR Book

Principles and Applications of Membrane  
Bioreactors in Water and Wastewater Treatment

[英] Simon Judd, Claire Judd 著  
陈福泰 黄霞 译



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)



ELSEVIER  
原版引进

图字：01-2008-1077号

# The MBR Book Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment

## 膜生物反应器 水和污水处理的原理与应用

作者	作者	作者	作者
译者	译者	译者	译者
编者	编者	编者	编者
校订	校订	校订	校订
插图	插图	插图	插图
封面	封面	封面	封面
封底	封底	封底	封底
书脊	书脊	书脊	书脊
扉页	扉页	扉页	扉页
目录	目录	目录	目录
前言	前言	前言	前言
第一章	第一章	第一章	第一章
第二章	第二章	第二章	第二章
第三章	第三章	第三章	第三章
第四章	第四章	第四章	第四章
第五章	第五章	第五章	第五章
第六章	第六章	第六章	第六章
第七章	第七章	第七章	第七章
第八章	第八章	第八章	第八章
第九章	第九章	第九章	第九章
第十章	第十章	第十章	第十章
参考文献	参考文献	参考文献	参考文献
附录	附录	附录	附录
索引	索引	索引	索引
后记	后记	后记	后记
附录A	附录A	附录A	附录A
附录B	附录B	附录B	附录B
附录C	附录C	附录C	附录C
附录D	附录D	附录D	附录D
附录E	附录E	附录E	附录E
附录F	附录F	附录F	附录F
附录G	附录G	附录G	附录G
附录H	附录H	附录H	附录H
附录I	附录I	附录I	附录I
附录J	附录J	附录J	附录J
附录K	附录K	附录K	附录K
附录L	附录L	附录L	附录L
附录M	附录M	附录M	附录M
附录N	附录N	附录N	附录N
附录O	附录O	附录O	附录O
附录P	附录P	附录P	附录P
附录Q	附录Q	附录Q	附录Q
附录R	附录R	附录R	附录R
附录S	附录S	附录S	附录S
附录T	附录T	附录T	附录T
附录U	附录U	附录U	附录U
附录V	附录V	附录V	附录V
附录W	附录W	附录W	附录W
附录X	附录X	附录X	附录X
附录Y	附录Y	附录Y	附录Y
附录Z	附录Z	附录Z	附录Z

科学出版社

北京

（地址：北京朝阳门内大街252号）

图字：01-2008-1077 号

This is a translated version of

**The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment**

Simon Judd, Chaire Judd

Copyright © 2007 Elsevier Inc.

ISBN: 978-1-85-617481-7

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

AUTHORIZED EDITION FOR SALE IN P. R. CHINA ONLY

本版本只限于在中华人民共和国境内销售

**图书在版编目(CIP)数据**

膜生物反应器：水和污水处理的原理与应用/(英)西蒙贾德(Judd, S.)著;陈福泰,黄霞译. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-022383-8

I. 膜… II. ①西…②陈…③黄… III. 生物膜(污水处理)-反应器  
IV. X703

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第004242号

责任编辑：邹凯 霍志国/责任校对：曾茹

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>

骏志印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年3月第一版 开本：787×1092 1/16

2009年3月第一次印刷 印张：17

印数：1—2 000 字数：382 000

定价：75.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈环伟〉)

## 译 者 序

污水再生回用是人类社会解决水资源短缺的重要途径。作为膜分离与生物技术有机结合的污水处理新工艺，膜生物反应器（MBR）由于具有出水水质优良稳定、装置占地面积小等显著优点使其在城市污水和工业废水处理和回用方面成为一种很有竞争力的选择，并在全球范围受到高度重视。

近年来，全球 MBR 市场发展极为迅速。截至 2008 年底，全球最大的 MBR 项目——位于阿拉伯迪拜朱美拉（Jumeirah）的工程（22 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ）已签约开建。中国也已有多个正在运行和建设中的 10 万吨级 MBR 工程。预计未来 MBR 在全球市场中将占据越来越重要的位置。

随着 MBR 技术的迅速发展，国内外许多专家、学者撰写了大量的文章或专著。这些研究成果和工程应用有力地推动着 MBR 学术研究和工程应用的进一步发展。

本书原著作者 Simon Judd 教授是 MBR 技术领域的世界著名专家。全书内容丰富，构思新颖，对 MBR 的基础知识、设计维护、商业化技术、工程实例进行了全面论述和总结，反映了当前国际上 MBR 技术的最新研究发展和应用现状，是 MBR 领域的经典之作。

本书翻译工作历时近一年，后经数次校核。现书稿即将付梓，愿读者能从中有所收益，也希望能促进国内 MBR 技术的健康、快速发展。原书中部分单位采用非国际标准单位，为便于读者理解，改为国际标准单位或常用单位，并对数值进行了相应换算。对于不易理解的地方，添加了译者注，仅供参考。

本书由清华大学环境科学与工程系陈福泰博士、黄霞教授主持翻译并最后校定。书稿完成之际，诚挚感谢对本译著做出贡献的人们，感谢他们在文字整理和技术校对工作中所投入的时间和精力，他们是孙晓莹、范正虹、周颖君、肖康等。本书出版得到了科学出版社的大力支持，谨此深表谢意。

虽然我们做了多方面的努力，但由于水平和经验所限，难免存在不妥之处，恳请读者和同仁批评指正。

译者

2009 年 2 月于清华园

## 译者简介

**陈福泰** 博士，清华大学环境科学与工程系膜技术研发与应用中心副主任。多年来一直从事 MBR 等膜法水处理理论与技术、污水资源化与水质净化理论与技术研究。先后承担或参与了国家博士后基金、国家“863”、国家重点科技攻关等项目 12 项。在 MBR-RO 试验研究与工程应用、新型气浮设备研发与气泡微界面研究等方面均取得重要进展，并将其应用到烟草废水、医院污水、食品废水、城市污水的处理与回用等实际工程中。主持设计并跟踪研究了数项 MBR 污水处理工程，为多个 MBR 项目提供技术支持。合作编写膜技术方面专著两本，作为主要成员编写了《2008 中国膜产业发展报告》和《2008 膜生物反应器行业分析报告》，编写《污水处理膜生物反应器装置》国家行业标准 1 项。在国内外期刊发表论文 30 余篇，申报国家发明专利 10 余项。电子邮箱：cft@tsinghua.edu.cn

**黄震** 工学博士，清华大学环境科学与工程系教授，博士生导师，现任系学术委员会主任、环境模拟与污染控制国家重点联合实验室副主任、水环境保护研究所所长、膜技术研发与应用中心主任。兼任国际水协会膜技术专业委员会委员、国际杂志“Frontiers of Environmental Science & Engineering in China”执行副主编。主要从事有关 MBR、污水资源化技术、微生物燃料电池产电技术等研究。主持国家“863”课题、科技攻关等项目 20 余项。近 5 年在国内外期刊发表论文 100 余篇，授权发明专利 15 项，多次受邀在国内和国际会议上做有关 MBR 的特邀报告，为多项 MBR 污水处理工程提供过技术支持。曾获包括国家科技进步二等奖等科技奖励多次，国家自然科学基金会杰出青年基金获得者。

电子邮箱：xhuang@tsinghua.edu.cn

## 前 言

这是克兰菲尔德大学水科学课题组编写的第三本有关膜方面的书籍。由于 Elsevier 公司 Geoff Smaldon 的盛情及已签署的合同条款, 2007 年已出版一本关于纯化和饮用水处理的膜过滤书籍。通过编写上本书, 我们获得了一些经验, 因此本书不再采用新的编写思路, 以防扰乱读者对浓差极化、复杂设计方程及缩略词定义的理解。

本书是继《膜生物反应器污水处理技术》之后的又一本针对膜生物反应器的专著。《膜生物反应器污水处理技术》是由 Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson 和 Keith Brindle 共同编写的, 2000 年出版(出版商为 IWA)。之后, 一系列用于水处理领域的膜技术书籍陆续出版, 其中包括《化学工业中的膜技术》(Nunes 和 Peinemann 编写, Wiley-VCH, 2001)、《膜技术与工业废水回用》(Simon Judd 和 Bruce Jefferson 编写, Elsevier, 2003), 以及最新的《复合膜系统水净化技术》(Rajinder Singh 编写, Elsevier, 2006) 和《膜系统废水处理技术》(WEF, 2006)。以上仅仅是膜法水处理技术相关书籍的一部分, 还有一些研究成果发表在学术期刊或以膜为主题的研讨会、座谈会和会议的论文集中(见附录 E)。尽管如此, 过去 6 年中膜生物反应器技术仍然得到了充分发展, 因此有必要编写另一本膜技术参考书。

本书编写过程中尝试将理论与工程分开, 尽量避免混淆。本书对膜技术基本原理只进行了概括性总结, 并未进行深入分析。相关内容可参考其他书籍, 如 Kenneth Winston Ho 和 Kamallesh Sirkar 编写的著作《膜技术手册》(van Nostrand Reinhold, 1992)、Rautenbach 和 Albrecht 的经典之作《膜工艺》(John Wiley, 1990)。本书旨在提供尽可能多的实用信息, 同时介绍市场现状(第 1 章)并对膜技术发展水平进行总结。关于本书后一部分内容的编写, 要特别感谢克兰菲尔德大学水科学课题组工作人员及为此长期不懈努力的学生和校友们, 特别是新南威尔士大学的 Pierre Le Clech。Pierre 和他的同事 Tony Fane 教授及 Vicki Chen 教授在本书 2.3 节中对 MBR 膜污染问题做了详尽分析。第 2 章前两节分别对膜技术(参见 2.1 节)和生物处理技术(参见 2.2 节)做了初步介绍。对污水生物处理技术感兴趣的读者可阅读内容更为全面的相关书籍, 如 Metcalf 和 Eddy 编写的关于污水生物处理的经典之作《污水工程-处理与回用》(McGraw Hill, 2003) 或 Grady, Diagger 和 Lim 编写的《污水生物处理技术》(Marcel Dekker, 1998)。

本书未对所有商业化 MBR 产品做全面介绍, 仅列出了一些主要厂商, 其详细技术信息见第 4 章, 产品说明参见附录 D。第 4 章共列出了 18 类技术产品, 其中的重要部分在第 5 章列出了 24 个工程实例作为补充。本书的大部分信息来源于技术提供者, 并且通常以设计说明作为参考, 但也有部分信息来源于最终使用者。所有信息提供者均在随后部分及每章的标题页中列出。十分感谢他们的友好帮助, 特别是对我们所提问题的耐心解答。对工程实例感兴趣的读者可直接参阅第 5 章。

我们对第 5 章的内容进行了汇编并用于第 3 章的设计部分。再次感谢克兰菲尔德大

学水科学课题组的学生 Harriet Fletcher，他设计了电子数据表格，分析了已发表的中试研究数据（见 3.2 节）和生产性工程实例数据。感谢瑞士联邦水科学与技术研究所的 Adriano Joss 和特伦托大学的 Giuseppe Guglielmi 提供了未公开发表的实验数据，使 3.2 节的内容得到补充。此外还要对东南亚通信记者 Lynn Smith 表示诚挚的谢意。

由于研究者国籍不同，难免存在名词术语、符号和缩略词不一致的情况，因此本书最后附有符号说明、术语表和缩略词。与膜产品相关的名词术语见附录 D。由于某些术语或缩略词较其他词使用更广泛，但并非全球通用，因此我们列出清单以防混淆（见下表）。但 MBR 技术中用于描述膜构成的术语存在严重的不一致现象，特别是“组件”一词的用法，因此无法统一。

术语	含义
<b>常用单位</b>	
MLD	兆升/天（千立方米/天）
LMH	L/（m <sup>2</sup> ·h）（升/（平方米·小时））
<b>工艺构型</b>	
iMBR	浸没式（内置）MBR
sMBR	分置式（外置）MBR
<b>膜构型</b>	
FS	平板式（板框式、板式）
HF	中空纤维式
MT	多管式（管式）
<b>膜污染</b>	
可逆污染	可物理清洗去除，如反冲洗或膜松弛
不可逆污染	不可物理清洗去除，但可通过化学清洗去除
不可恢复性污染	不可去除
<b>曝气</b>	
SAD	比曝气量，与膜面积（SAD <sub>m</sub> ）或出水流量（SAD <sub>p</sub> ）有关

编者的联系方式见下一部分，欢迎广大读者对本书提出宝贵意见和建议。

SJ 和 CJ

## 编者简介

### **Simon Judd**

Simon Judd, 1992年8月进入英国克兰菲尔德大学工作, 目前是膜技术方面的教授, 并且任水科学学院院长。Judd教授参与了该校几乎所有生物分离 MBR 项目, 包括 9 项独立负责的课题。自 20 世纪 90 年代中期至今, 他共指导 11 名博士生完成学业。他自幼被亲生父母遗弃, 被一个伐木工家庭抚养长大。他主持或合作研究了 3 项由英国研究委员会发起的关于 MBR 的重大课题, 分别是建筑物内水回用、废水处理和受污染地下水/渗滤液处理, 并且担任欧洲发起的 EUROMBRA 项目指导委员会主席。Judd 教授发表了大量学术论文, 合编了两本膜与 MBR 技术方面的教科书, 并且多次在国际膜会议上发表主旨演讲。

s. j. judd@cranfield. ac. uk; [www.cranfield. ac. uk/sims/water](http://www.cranfield. ac. uk/sims/water)

### **Claire Judd**

Claire Judd 获得德语和心理学学位, 曾从事过 3 年的技术编辑工作, 后进入出版业。她曾担任一个全国性运动杂志的责任编辑, 之后作为合作人之一为一个全国性慈善组织出版季刊, 1995 年获得职员发展协会资格认证并成为人力资源顾问, 目前是一位自由编辑人员。



目录

中国青工网 2006 年 2 月访问

协会(组织)

贡献者

## 贡 献 者

许多个人和组织为本书编写做出了贡献，特别是第 4 章的产品描述和第 5 章的工程实例。在此，作者要感谢每一位合作者，尤其感谢下表列出的有特殊贡献的个人和单位(按字母顺序排列)：

贡献者	协会/组织	网址(2006 年 2 月访问)
Steve Churchouse		
Beth Reid	AEA Technology, UK	<a href="http://www.aeat.com">www.aeat.com</a>
Jean-Christophe Schrotter,	Anjou Recherche, Générale des Eaux, France	<a href="http://www.veoliaenvironnement.com/en/group/research/anjou_recherche">www.veoliaenvironnement.com/en/group/research/anjou_recherche</a>
Nicholas David		
Steve Goodwin	Aquabio Limited, UK	<a href="http://www.aquabio.co.uk">www.aquabio.co.uk</a>
Atsuo Kubota	Microza Division, Asahi Kasei Chemicals Corporation, Japan	<a href="http://www.asahi-kasei.co.jp/asahi/en/aboutasahi/products.html">www.asahi-kasei.co.jp/asahi/en/aboutasahi/products.html</a>
Tullio Montagnoli	ASM, Brescia	
Eric Wildeboer	Berghof Membrane Technology, The Netherlands	<a href="http://www.berghof-gruppe.de/Membrane_Technology-lang-en.html">www.berghof-gruppe.de/Membrane_Technology-lang-en.html</a>
Paul Zuber	Brightwater Engineering, Bord na Móna Environmental UK Ltd, UK	<a href="http://www.bnm.ie/environmental/large_scale_wastewater_treatment_processes/membrane.htm">www.bnm.ie/environmental/large_scale_wastewater_treatment_processes/membrane.htm</a>
Paddy McGuinness	Colloide Engineering Systems, Northern Ireland	<a href="http://www.colloide.com">www.colloide.com</a>
Tom Stephenson, Bruce Jefferson, Harriet Fletcher, Ewan McAdam, Folasade Fawehinmi, Paul Jeffrey	Cranfield University, UK	<a href="http://www.cranfield.ac.uk/sims/water">www.cranfield.ac.uk/sims/water</a>
Adriano Joss, Hansruedi Siegrist	Eawag (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology), Switzerland	<a href="http://www.eawag.ch">www.eawag.ch</a>
Dennis Livingston	Enviroquip Inc., USA	<a href="http://www.enviroquip.com">www.enviroquip.com</a>
Christoph Brepols	Ertverband, Germany	
John Minnery	GE Water and Process Technologies, USA	<a href="http://www.gewater.com">www.gewater.com</a>
Chen-Hung Ni	Green Environmental Technology Co Ltd, Taiwan(中国)	
Torsten Hackner	Hans Huber AG, Germany	<a href="http://www.huber.de">www.huber.de</a>
Jason Sims	Huber Technology UK, Wiltshire, UK	<a href="http://www.huber.co.uk">www.huber.co.uk</a>
Shanshan Chou	Energy and Environment Research Laboratories (E2Lab), Industrial Technology	<a href="http://www.itri.org.tw/eng/index.jsp">www.itri.org.tw/eng/index.jsp</a>
Wang-Kuan Chang	Research Institute (ITRI), Hsinchu, Taiwan(中国)	
Michael Dimitriou	ITT Advanced Water Treatment, USA	<a href="http://www.aquious.com">www.aquious.com</a>

续表

贡献者	协会/组织	网址(2006年2月访问)
Marc Feyaerts	Keppel Seghers, Belgium	www.keppelseghers.com
Klaus Vossenkaul	Koch Membrane Systems GmbH, Germany	www.puron.de
Ryosuke (Djo)Maekawa	Kubota Membrane Europe Ltd, London UK	www.kubota-mbr.com/product.html
Phoebe Lam	Lam Environmental Services Ltd and Motimo Membrane Technology Ltd, China	www.lamconstruct.com www.motimo.com.cn/mbr.htm
Margot Görzel, Stefan Krause	Microdyn-Nadir GmbH, Germany	www.microdyn-nadir.de
Steve Wilkes	Millenniumpore, UK	www.millenniumpore.co.uk
Noriaki Fukushima	Mitsubishi Rayon Engineering Co. Ltd, Membrane Products Department, Aqua Division, Japan	www.mrc.co.jp/mre/English
Derek Rodman	Naston, Surrey, UK	www.naston.co.uk
Ronald van't Oever	Norit X-Flow BV, The Netherlands	www.x-flow.com
Sylvie Fraval, Marine Bence	Novasep Process, Orelis, France	www.groupenovasep.com
Olivier Lorain	Polymem, France	
Harry Seah	Public Utilities Board, Singapore	www.pub.gov.sg/home/index.aspx
Nathan Haralson,	Siemens Water Technologies-Memcor	www.usfilter.com
Ed Jordan, Scott Pallwitz	Products, USA	
Fufang Zha	Siemens Water Technologies-Memcor Products, Australia	
Kiran Arun Kekre,	Centre for Advanced Water Technology	www.sui.com.sg/CAWT
Tao Guihe	(a division of Singapore Utilities International Private Ltd) Innovation Centre, Singapore	Webpage/CAWTAboutUs.htm
Eve Germain	Thames Water Utilities, UK	www.thames-water.com
Nobuyuki Matsuka	Toray Industries Inc., Japan	www.toray.com
Ingrid Werdler	Triqua by, The Netherlands	www.triqua.nl
Pierre Le-Clech,	The UNESCO Centre for Membrane	www.membrane.unsw.edu.au
Vicki Chen, Tony (A. G.) Fane	Science and Technology, School of Chemical Engineering and Industrial Chemistry, The University of New SouthWales, Sydney, Australia	
Francis DiGiano	University of North Carolina, USA	www.unc.edu
Guiseppe Guglielmi,	Department of Civil and Environmental	www.unitn.it/index_eng.htm
Gianni Andreottola	Engineering, University of Trento, Italy	
Jan Willem Mulder	Water Authority Hollandse Delta, Dordrecht, The Netherlands	www.zhew.nl
Berinda Ross	Water Environment Federation, Alexandria, Virginia	www.wef.org
Gunter Gehlert	Wehrle Werk, AG, Germany	www.wehrle-env.co.uk
Silas Warren	Wessex Water, UK	www.wessexwater.co.uk
Enrico Vonghia Jeff Peters	Zenon Environmental Inc., Canada	www.zenon.com
Sandro Monti, Luca Belli	Zenon Environmental Inc., Italy	www.zenon.com/lang/italiano

# 目 录

译序	2.3.4	2.3
译者简介	2.3.5	2.3
前言	2.3.6	2.3
编者简介	2.3.7	2.3
贡献者	2.3.8	2.3
<b>第 1 章 绪论</b>	1	
1.1 引言	2	
1.2 MBR 市场现状及增长预测	2	
1.3 MBR 技术实施障碍	3	
1.4 MBR 技术实施的推动力	4	
1.4.1 立法	4	
1.4.2 鼓励和资助	6	
1.4.3 投资成本	7	
1.4.4 水资源短缺	7	
1.4.5 对 MBR 技术信心的增强	8	
1.5 历史回顾	9	
1.5.1 MBR 的早期发展：久保田和泽能公司 MBR 系统的确立	9	
1.5.2 其他 MBR 工艺的发展	11	
1.5.3 市场走向	12	
1.6 总结	13	
参考文献	14	
<b>第 2 章 基本原理</b>	17	
2.1 膜技术	18	
2.1.1 膜与膜分离工艺	18	
2.1.2 膜材料	20	
2.1.3 膜构型	21	
2.1.4 膜工艺运行	23	
2.2 生物处理	29	
2.2.1 生物处理基本原理	29	
2.2.2 处理工艺	30	
2.2.3 微生物学	32	
2.2.4 工艺设计和运行依据	34	
2.2.5 曝气	37	
2.2.6 脱氮除磷	41	

2.2.7 厌氧处理	43
2.3 MBR 技术	44
2.3.1 MBR 构型	44
2.3.2 萃取和扩散 MBR	46
2.3.3 反硝化	47
2.3.4 浸没式微生物截留 MBR 的组成要素	51
2.3.5 膜特性	52
2.3.6 进水和微生物特性	57
2.3.7 运行	69
2.3.8 MBR 污染机理	73
2.3.9 MBR 中膜污染控制与改善	76
2.4 总结	81
参考文献	82
<b>第3章 设计</b>	99
3.1 MBR 系统运行参数	100
3.1.1 液体抽吸	100
3.1.2 膜的维护	101
3.1.3 曝气	102
3.1.4 设计计算：总结	104
3.2 浸没式系统工艺比较	107
3.2.1 简介	107
3.2.2 Beverwijk 污水处理厂，荷兰	107
3.2.3 Point Loma 污水处理厂，圣地亚哥	110
3.2.4 Bedok 水回用设施，新加坡	112
3.2.5 Pietramurata，特伦托（Trento）大学	114
3.2.6 Eawag 中试 MBR，Kloten/Opfikon，瑞士	117
3.3 MBR 设计和运行	119
3.3.1 参考数据	119
3.3.2 生物动力学常数	123
3.3.3 设计计算	124
3.3.4 设计和运行维护方面	128
3.4 总结	129
参考文献	130
<b>第4章 商业化技术</b>	131
4.1 简介	133
4.2 浸没式 FS 技术	133
4.2.1 久保田	133
4.2.2 Brightwater Engineering	135
4.2.3 Colloide 工程系统	136

4.2.4	琥珀技术	137
4.2.5	工业技术研究院——基于无纺布的 MBR	138
4.2.6	东丽工业公司	140
4.3	浸没式 HF 技术	141
4.3.1	泽能环境	141
4.3.2	三菱丽阳工程	145
4.3.3	Memcor	147
4.3.4	科氏膜系统——PURON	147
4.3.5	旭化成化学公司	149
4.3.6	ITT Industries	152
4.4	分置式 MBR 技术	153
4.4.1	Berghof 膜技术	153
4.4.2	诺芮特 X-Flow	153
4.4.3	维尔利环境	155
4.4.4	Millenniumspore	157
4.5	其他分置式膜组件厂商	160
4.5.1	诺华赛·欧瑞利斯	160
4.5.2	Polymem	161
4.6	其他 MBR 膜产品	161
4.7	膜产品总结	163
	参考文献	166
<b>第 5 章</b>	<b>工程实例</b>	<b>168</b>
5.1	引言	170
5.2	浸没式平板膜技术	170
5.2.1	久保田工程实例	170
5.2.2	Brightwater Engineering 工程实例	181
5.2.3	Colloide Engineering Systems 工程实例	183
5.2.4	琥珀工程实例	185
5.2.5	无纺布 MBR, 台湾工业技术研究院 (中国)	187
5.2.6	东丽工程实例	187
5.3	浸没式中空纤维膜技术	192
5.3.1	泽能环境工程实例	192
5.3.2	三菱丽阳工程实例	203
5.3.3	Memcor 工程实例	204
5.3.4	科氏膜系统——PURON 工程实例	206
5.3.5	旭化成工程实例	209
5.4	分置式膜技术	209
5.4.1	诺芮特 X-Flow 气提工艺	209
5.4.2	英国水生物公司食品废水回用装置	210

5E1	5.4.3 德国维尔利垃圾渗滤液处理系统	213
5E1	5.4.4 荷兰 Triqua 高温 MBR 装置	217
5E1	5.4.5 Millenniumpore 工程实例	219
5E1	5.4.6 诺华赛·欧瑞利斯工程实例	221
5E1	5.5 MBR 的发展前景	224
5E1	参考文献	225
5E1	附录 A 鼓风机功率计算	227
5E1	附录 B MBR 生物处理基本参数值	229
5E1	附录 C 中空纤维膜组件参数	231
5E1	附录 D 膜产品目录	232
5E1	附录 E 近期召开的有关 MBR 及污水处理的主要会议	234
5E1	附录 F 部分专业及贸易团体	241
5E1	符号说明	245
5E1	缩略词	247
5E1	术语表	251
5E1	参考文献	255

# 目录 1.1

## 第 1 章

### 绪论

#### 致谢:

- 1.1 节 Beth Reid AEA 技术公司, 英国
- 1.2 节 Francis DiGiano 北卡罗纳大学, 美国
- Paul Jeffrey 克兰菲尔德大学, 英国
- Ryosuke (Djo) Maekawa 久保田膜欧洲有限公司, 英国
- Enrico Vonghia 泽能环境公司, 加拿大

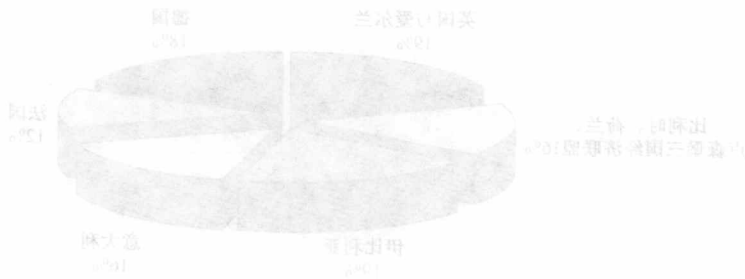


图 1.1 欧洲 MBR 市场分布 (Frost and Sullivan, 2005)

未来 10 年内, 美国和加拿大 MBR 市场也会持续增长, 2005 年, 基于膜法的水处理和污水处理项目的总收入将超过 7.5 亿美元, 预计 2010 年将达到 13 亿美元 (Frost and Sullivan, 2004a, b, c)。一些分析专家认为, 2004-2006 年, 美国 MBR 市场的增长率将显著高于水工业的其他部分; 其中, 某些部分的增长率甚至超过了 12%, 例如通过市政中的膜过滤装置和紫膜装置技术 (Maxwell, 2003)。这些地区是一个非常重要的市场, 截至 2002 年, 仅韩国就建设 1400 座 MBR 装置。

MBR 市场具有巨大的增长潜力, 发展前景乐观。这一总体趋势在日前 MBR 市场的主要推动下, 并且日益发挥更大的作用。这些市场推动力主要包括对于水质更严格的立法要求, 为降低原本前置的资助基金及鼓励政策, 对 MBR 技术所能的信心等。

## 1.1 引言

本章从主要推动力、发展历史和前景展望几个方面叙述了膜生物反应器 (membrane bioreactor, MBR) 在技术发展和市场推广上的不断进步。作为一种相对新型的技术, 与传统生物处理工艺相比, MBR 过去往往受到忽视。然而如今, 多项指标表明 MBR 正日益被人们接受并视为一种可选技术。

## 1.2 MBR 市场现状及增长预测

市场分析报告指出, MBR 市场目前正处于加速增长阶段, 而且这种增长趋势会持续 10 年以上。1995 年, MBR 的全球市值仅为 1000 万美元, 而在 2000—2005 年的五年间翻了一番多, 达到 2.17 亿美元, 预计 2010 年将达到 3.6 亿美元 (Hanft, 2006)。其市场增长速率快于规模较大的深度污水处理设备市场, 更快于其他类型膜系统市场。

在欧洲, 1999 年和 2002 年, MBR 在工业和市政领域内的总市值分别为 2530 万欧元和 3280 万欧元 (Frost and Sullivan, 2003), 2004 年达到 5700 万欧元。市场预测显示, 2004 年 MBR 市场将实现 6.7% 的年增长率, 市场规模在未来 7 年间将扩大 1 倍以上 (Frost and Sullivan, 2005)。目前, 欧洲 MBR 市场主要分布在英国/爱尔兰、德国、法国、意大利、比利时、荷兰、卢森堡、伊比利亚等国 (如图 1.1 所示)。

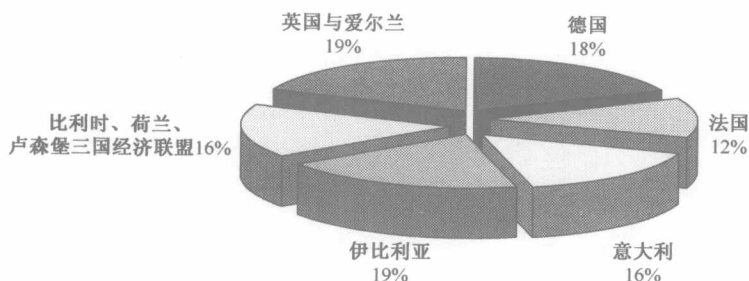


图 1.1 欧洲 MBR 市场分布 (Frost 和 Sullivan, 2005)

未来 10 年内, 美国和加拿大 MBR 市场也会持续增长。2003 年, 基于膜法的净水、脱盐和污水处理项目的总收入超过 7.5 亿美元, 预计 2010 年将达到 13 亿美元 (Frost and Sullivan, 2004a, b, c)。一些分析专家认为, 2004—2006 年, 美国 MBR 市场的增长速率显著高于水工业的其他部分; 其中, 某些子部分的增长速率超过了 15%, 例如过滤市场中的膜过滤装置和紫外线消毒技术 (Maxwell, 2005)。远东地区也是一个非常重要的市场, 截至 2005 年, 仅韩国就建成 1400 座 MBR 装置。

MBR 市场具有巨大的增长潜力, 发展前景乐观。这一点体现在目前 MBR 市场发展的主要推动力上, 并且日后将发挥更大的作用。这些市场推动力主要包括对于水质更加严格的立法要求、为降低成本而设置的资助基金及鼓励政策、对 MBR 技术性能的信心等。



### 1.3 MBR 技术实施障碍

如表 1.2 所示 (见 p11), 目前已开发出多种膜产品及工艺, 并且更多的产品正处于研发中, 这为 MBR 的应用提供了技术上的可行性, 但与已在城市污水和工业废水处理中广泛应用的工艺相比, 决策者往往不愿意选择 MBR 工艺。

MBR 工艺被普遍认为是一项能够体现科技水平的先进技术, 但与应用已久的传统工艺 (如活性污泥法及其衍生技术) 相比, 具有风险大、投资费用高等缺点 (Frost and Sullivan, 2003)。一般认为活性污泥法投资费用中等, 出水水质好; 生物曝气滤池 (biological aerated filter, BAF) 投资费用低, 出水水质中等; MBR 投资费用高, 出水水质好。因此, 除非对出水水质有严格要求, 通常情况下相关组织机构认为没有必要选择投资费用高的 MBR 工艺 (如图 1.2 所示)。只有在法规要求高质量出水而常规处理工艺无法实现时, 客户才会更多地考虑 MBR 的优点而选择使用。

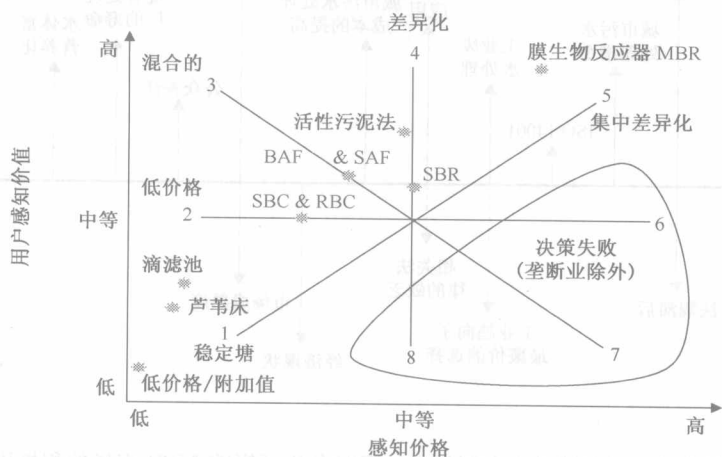


图 1.2 用户感知矩阵, 污水处理技术 (Reid, 2006)

事实上, 决策者并不愿意为这项新技术 (发展历史不足 15 年) 投入相对高额的基建费用以获得高于水质要求的出水。特别是传统观念认为 MBR 技术要求高、运行维护费用高且膜寿命难以确定, 这种状况尤为突出 (Frost and Sullivan, 2003)。当冲击负荷对出水水质的影响较小时, MBR 运行维护方案对于影响膜的水力学特性的参数相对敏感, 例如出水通量与实际压力间的关系。尽管 MBR 已经成功应用于多个领域, 但仍会发生一些违规操作或其他问题, 需要采取临时补救措施, 这主要是由于相关知识和经验不足造成的。所有这些都使用户感到 MBR 工艺不易维护。

过去 MBR 实际应用案例较少, 决策者难以了解该工艺的潜力和可靠性, 也不认为该工艺是成本效益较好的选择。如今, MBR 已成功应用于城市污水、工业废水等多个领域 (参见第 5 章), 许多工程实例证明该工艺可长期稳定运行, 且出水水质良好, 其中某些工程投资收益也较高 (参见 5.4.2 和 5.4.4 小节)。

开发一项新的水处理技术, 从最初的实验室研究到最终投产使用是一个耗时且成本高昂的过程 (ECRD, 2006)。特别是欧洲大多数水处理技术供应商是中小型企业 (small and medium sized enterprise, SME), 他们没有足够的资金用以维持从产品概念