

# 膜生物反应器污水处理技术

Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment

[英] Tom Stephenson  
Simon Judd 著  
Bruce Jefferson  
Keith Brindle

张树国 李咏梅 译



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心



# 膜生物反应器污水处理技术

## Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment

Tom Stephenson  
Simon Judd  
[英] Bruce Jefferson 著  
Keith Brindle

张树国 李咏梅 译

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

膜生物反应器污水处理技术/[英]斯蒂芬森(Stephenson, T.)等著;张树国等译.--北京:化学工业出版社,2003.4

书名原文:Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment  
ISBN 7-5025-4391-0

I. 膜… II. ①斯…②张… 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(2003)第 022310 号

Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment/by Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson, Keith Brindle

ISBN 1-900222-07-8

Copyright © 2000 IWA Publishing. All Rights Reserved.

This translation of Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment is published by arrangement with IWA Publishing of Alliance House, 12 Caxton Street, London, SW1H 0QS, UK, www.iwapublishing.com

未经出版者许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2002-4882

---

膜生物反应器污水处理技术

Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment

Tom Stephenson

Simon Judd

[英] Bruce Jefferson 著

Keith Brindle

张树国 李咏梅 译

责任编辑:陈丽 董琳

责任校对:洪雅姝 吴桂萍

封面设计:潘峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

http://www.cip.com.cn

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×960 毫米 1/16 印张 13 字数 149 千字

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4391-0/X·267

定 价:28.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

## 序

膜分离在 40 年前还没有被视为技术上很重要的分离过程。而近 30 年来在食品、酿造、医药、化工、环保等领域，因其操作方便、设备紧凑、过程安全、分离效果好，所以膜分离技术迅速发展成为实用化的高新技术。在污水处理方面，膜分离与生物工艺有机结合形成的膜生物反应器（MBR）技术具有一些常规污水处理工艺无法比拟的优势。随着研究和开发的深入，该技术已经显示出良好的发展前景。美国、日本等发达国家都已将膜技术列入了 21 世纪优先发展的高新技术。我国在 2000 年也已将膜产业列为国家重点支持的 22 项化工产业之一。对膜生物反应器处理污水技术还设立了国家高技术研究发展计划（863 计划）课题进行研究。

国际水质协会出版社（IWA Publishing）出版的《膜生物反应器处理污水技术》（Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment）一书是 Tom Stephenson 教授等人对于膜生物反应器技术多年潜心研究工作的结晶。该书回顾和介绍了膜生物反应器的发展历程，概述了膜生物反应器处理污水技术所需要的生物学和有关膜的基础知识，对现有的不同类型膜生物反应器工艺过程的设计运行、研究进展以及商业应用情况进行了论述，理论联系实际，反映了当前国际上 MBR 技术处理污水的最新研究成果和发展方向。本书是环境科学、环境工程和化学工程专业的研究

生以及相关研究人员值得参考的好书。

本书的翻译出版将有助于推动我国膜生物反应器在污水处理方面的研究，有助于膜生物反应器的设计和应用的发展。随着新型膜材料的研制、膜生物反应器机理和工艺的进一步研究和开发，膜生物反应器技术将会不断创新，逐步完善，从而使该技术在污水处理领域，特别是在处理生物难降解废水、高浓度氨氮废水以及污水回用方面更具有技术和市场竞争力。

顾国维

2003年3月

## 译者的话

随着社会经济的发展和人口的增长，水资源短缺已经成为一个全球化的问题，而我国的缺水形势尤其严峻。根据 2000 年《中国环境状况公报》公布，我国人均水资源量为  $2238.6\text{m}^3$ ，仅相当于世界人均占有量的  $1/4$ ，是世界人均水资源极少的贫水国之一。水环境质量的恶化和经济的高速发展，迫切要求适合时代发展的污水资源化技术，以缓解水资源的短缺状况。近年来膜生物反应器（MBR）组合工艺在废水处理中的应用格外引人注目。该工艺与传统废水生物处理工艺相比，具有出水水质好、出水可直接回用、设备占地面积小、便于自控、活性污泥浓度高和剩余污泥产量低等优点。虽然目前能耗较高、成本较高仍是限制膜生物反应器工艺发展的两大瓶颈，但是该技术已经在污水回用和难降解有机废水处理领域崭露头角，并在世界范围内许多实际工程中得到了成功的应用。

在进行膜生物反应器处理污水技术的研究和学习过程中，有幸读到了本书的英文原著，被 Tom Stephenson 教授等人全面翔实、深入浅出的论述所吸引，感到获益匪浅，于是萌发了将此书介绍给国内同行与读者的愿望。在顾国维教授的鼓励和指导下，遂将此书译成中文。希望能对从事膜技术和污水处理技术的有关人员有所帮助。

本书由张树国翻译第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章、第 8

章，由李咏梅翻译第 3 章、第 6 章、第 7 章，张树国完成最后统稿工作。限于水平和经验的不足，翻译中错误和不妥之处在所难免，恳请读者和同行批评指正。E-mail: tjzhangshuguo@sohu.com。

译 者

2003 年 3 月于同济大学

## 前 言

把膜与生物工艺结合起来进行污水处理的研究始于30年以前，而膜生物反应器的商业化应用也已经有20年的历史了。今天，有500多个膜生物反应器工程正在世界各地处理着各种不同的污水，如工业污水、城市污水、楼宇污水和中水回用等。有关膜生物反应器方面，近年来在杂志上发表的论文、出版的专题研究报告以及会议的数量也均呈级数增长。这些会议把世界各地有关生物方面和膜方面的基础研究成果、最新的学术科研发现、工艺进展情况和工程运行经验汇集到了一起。本书即是把所有这些知识编写到一本书内的首次尝试。

本书是与水和污水领域有关的人们极有价值的参考书，适合于学生、研究人员、咨询人员、工程师、操作人员、管理人员以及对膜生物反应器感兴趣的人士。如果你具有生物学的背景，那么第2章为你提供与理解膜生物反应器有关的膜的基础知识。如果你的主要经历是在膜系统方面，那么第3章则概述了所需要的生物工艺中最重要的基本知识。书的其余部分则集中于现有的不同类型膜生物反应器的工艺过程：它们的设计与运行、最新的研究进展、当前的学术认识（第4章和第5章），以及它们的商业应用情况（第6章和第7章）。

本书的编写是许多人集体合作的结果。在此我们特别感谢英



国 MBR Technology 公司的 Steve Churchouse, 加拿大 Zenon Environmental 有限公司的 Pierre Cote, 英国 Wehrle Werk 公司的 Tony Robinson, 南非 EnVig Wier 公司的 Heinz Strohwalld 和法国 Rhodia 公司的 Ludovic Huitierol, 他们为我们提供了第 6 章和第 7 章的资料。最后, 感谢克兰费尔德 (Crainfield) 大学水科学 (Water Science) 学院的所有人员, 是他们的帮助使我们才得以最终完成了此书的编写。

Tom Stephenson (汤姆·斯蒂芬森)

Simon Judd (西蒙·贾德)

Bruce Jefferson (布鲁斯·杰斐逊)

Keith Brindle (凯思·布林德尔)

## 作者介绍

Tom Stephenson 教授：克兰费尔德（Cranfield）大学水科学（Water Science）学院教授，资深生物化学家，注册化学工程师。伦敦大学帝国学院市政工程专业博士。1990 年进入克兰费尔德大学工作，1994 年被聘为水科学学院教授。在膜生物反应器方面的主要研究方向为生物学基础理论和膜曝气反应器。

Simon Judd 博士：克兰费尔德大学水科学学院高级讲师，资深化学家，电化学科学方向硕士。在克兰费尔德大学水科学学院期间获电泳深度过滤方向博士学位，随后进入 AEA（英国原子能管理局）Winfrith 的化学工程发展部工作，在那里继续从事过滤和其他膜相关工艺的研究。1992 年 Judd 博士重新回到克兰费尔德大学工作，1996 年被聘为高级讲师。他的主要研究方向为膜生物反应器中膜的基础理论，特别是针对新的膜材料的基础理论。

Bruce Jefferson 博士：克兰费尔德大学水科学学院研究人员。他的第一个学位是化学工程方向，在 Loughborough 大学获得，1996 年又在那里获得了博士学位，方向为溶解气体浮选。其工作包括微生物分离膜生物反应器中膜的基础理论及膜生物反应器在水回用中的应用。

Keith Brindle 博士：在 Wolverhampton 大学获应用微生物学和生物技术方向硕士学位。他的博士学位是在克兰菲尔德大学获得的，攻读方向为膜曝气生物反应器的应用。Brindle 博士现在服务于基地位于英国的国际慈善水援助项目（International Charity WaterAid）。

## 内 容 提 要

本书是与水和污水领域有关的人们极有价值的参考书，提供了与理解膜生物反应器有关的膜的基础知识，概述了生物工艺中最重要的基本知识，现有的不同类型膜生物反应器的工艺过程、设计与运行，最新的研究进展，当前的学术认识以及它们的商业应用情况。

本书适合于学生、研究人员、咨询人员、工程师、操作人员、管理人员以及对膜生物反应器感兴趣的人士。

# 目 录

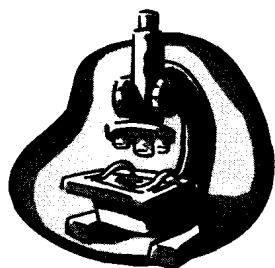
<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 膜生物反应器的类型 .....	3
1.2 膜生物反应器应用于污水处理的早期进展 .....	4
1.3 膜生物反应器应用于污水处理的现状 .....	5
1.4 膜生物反应器的优点 .....	8
参考文献.....	8
<b>第 2 章 膜的基础知识</b> .....	11
2.1 膜.....	13
2.1.1 膜的定义.....	13
2.1.2 膜的结构和分类.....	13
2.1.3 膜的构型.....	17
2.1.4 膜生物反应器的膜材料和构型.....	19
2.2 工艺过程基础.....	20
2.2.1 工艺过程的定义.....	20
2.2.2 质量传递.....	23
2.2.3 驱动力.....	23
2.2.4 影响驱动力的因素.....	24
2.3 理论.....	29
2.3.1 膜的质量传递控制.....	30
2.3.2 饼层的质量传递控制.....	31
参考文献 .....	39
<b>第 3 章 生物处理基础</b> .....	43
3.1 引言.....	45

3.2	工艺类型	45
3.3	微生物学基础	48
3.4	动力学和工艺过程的运行	49
3.5	曝气	54
3.6	营养物的去除	56
3.7	微生物分离	57
	参考文献	58
<b>第4章</b>	<b>微生物分离膜生物反应器</b>	<b>63</b>
4.1	引言	65
4.2	膜与生物工艺过程	66
4.3	用于城市污水处理的好氧膜生物反应器	68
4.3.1	负荷率与停留时间	68
4.3.2	营养物的去除	78
4.3.3	微生物与污泥	80
4.3.4	膜通量与水动力学	81
4.3.5	构型	83
4.3.6	材料与孔径大小	84
4.3.7	污泥浓度	85
4.3.8	能耗	86
4.3.9	消毒	87
4.4	用于工业污水处理的好氧膜生物反应器	87
4.4.1	生物反应器的运行条件	88
4.4.2	微生物	89
4.4.3	膜通量与构型	95
4.5	用于污水处理的厌氧膜生物反应器	96
4.5.1	负荷率	96
4.5.2	产气量	100
4.5.3	微生物	101

4.5.4	膜通量 .....	101
	参考文献 .....	105
<b>第5章</b>	<b>曝气式膜生物反应器和萃取式膜生物反应器</b> .....	<b>117</b>
5.1	引言 .....	119
5.2	曝气式膜生物反应器 .....	119
5.2.1	曝气式膜生物反应器的基本原理 .....	120
5.3	萃取式膜生物反应器 .....	135
5.3.1	萃取式膜生物反应器的基本原理 .....	135
5.4	MABR 和 EMBR 生物膜的模型 .....	137
	参考文献 .....	139
<b>第6章</b>	<b>商业化膜生物反应器</b> .....	<b>145</b>
6.1	Kubota 公司 .....	147
6.1.1	工艺的描述 .....	147
6.1.2	工艺的运行 .....	148
6.2	Zenon 公司 .....	149
6.2.1	ZeeWeed 品牌的膜 .....	150
6.2.2	ZenoGem 工艺 .....	151
6.3	Orelis 和 Mutsui Chemicals 公司 .....	152
6.3.1	Ubis 工艺 .....	153
6.4	Membratek, Weir Envig, Aquateck 和 Bioscan A/S 公司 .....	154
6.5	Wehrle Werk AG 公司 .....	155
6.5.1	Biomembrat 工艺描述 .....	155
6.5.2	工艺性能 .....	156
6.5.3	Biomembrat 回路工艺 .....	157
6.6	US Filter 公司 .....	158
6.7	Degremont 公司 .....	159
	参考文献 .....	160

<b>第 7 章 膜生物反应器的应用研究</b> .....	161
7.1 Kubota MBR 技术 .....	163
7.1.1 案例研究：城市污水处理 .....	164
7.2 Zenon 公司 .....	166
7.2.1 案例研究：SBR 工艺的改造 .....	167
7.3 Orelis 公司 .....	172
7.3.1 案例研究：建筑物灰水处理和回用 .....	173
7.4 Membratex, Weir Envig, Aquatech 和 Bioscan A/S 公司 .....	174
7.4.1 AquaTech 研制的 Biosuf 工艺 .....	174
7.4.2 Weir EnVig 研制的 Aduf 工艺 .....	175
7.4.3 Bioscan A/S 研制的 Biorek 工艺 .....	177
7.5 Wehrle Werk AG 公司 .....	177
7.5.1 案例研究：牛奶场废水的中试 .....	178
7.6 Degremont 公司 .....	179
参考文献.....	181
<b>第 8 章 造价与结论</b> .....	183
8.1 造价 .....	185
8.2 结论 .....	187
参考文献.....	189





## 绪 论

膜生物反应器的类型

膜生物反应器应用于污水处理的早期进展

膜生物反应器应用于污水处理的现状

膜生物反应器的优点

## 第 1 章

# DIYIZHANG