

李安峰 潘涛 骆坚平 编著

膜生物反应器 技术与应用

MOSHENGWU FANYINGQI
JISHU YU YINGYONG



化学工业出版社

013032914

李安峰 潘涛 骆坚平

X703.1
51

膜生物反应器 技术与应用

MOSHENGWU FANYINGQI
JISHU YU YINGYONG



北航

C1640605



化学工业出版社

·北京·

X703.1
51

410820810 .

图书在版编目 (CIP) 数据

膜生物反应器技术与应用/李安峰, 潘涛, 骆坚平编
著. —北京: 化学工业出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-122-15738-6

I. ①膜… II. ①李…②潘…③骆… III. ①生物
膜反应器-研究 IV. ①X703. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 257943 号

责任编辑: 刘兴春
责任校对: 周梦华

装帧设计: 张 辉

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: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 13¼ 字数 240 千字 2013 年 5 月北京第 1 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: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

膜生物反应器 (Membrane Bioreactor, 简称 MBR) 工艺综合利用了活性污泥技术和膜过滤技术各自在污水处理中的优势, 具有良好的出水水质、紧凑的工艺布局、较少的污泥产量等优点, 被认为是城镇污水及工业废水处理与回用领域一次重要的技术革命。

在我国水资源匮乏形势日益严峻和污水排放标准愈加严格的双重压力下, MBR 技术的优越性已经得到了业界的普遍认可, 并且近年来制膜技术的进步和膜组件成本的降低使得该技术的竞争力得到了进一步提升。由于这些原因, 目前国内 MBR 的工程应用数量正在快速增加, 处理规模正在迅速扩大, MBR 技术已成为我国污水处理和资源化所依托的关键技术之一。

尽管 20 世纪 80 年代以来的数十年间, MBR 技术一直是国内和国际上环境工程领域研究和应用的热点, 每年均有大量论文公开发表, 但是系统介绍 MBR 的原理、工艺过程、设施设备、设计和操作方法的图书不多, 能够立足于总结研究成果、指导工程实践的图书更少。

MBR 污水处理设施能否成功和稳定运行与工艺设计是否合理、膜污染防治是否得当、管理维护是否规范密切相关, 这不仅对理论知识, 更对工程实践经验提出了较高要求。鉴于此, 作者查阅了大量 MBR 相关文献, 系统梳理总结了近年来国内外在膜组件选择、膜污染防治、工艺参数确定、工程设计等方面的研究与应用成果, 结合作者多年来研究 MBR 工艺的亲身体会以及设计、建设、维护多个 MBR 处理设施的工程经验, 完成此书的编著, 希望对未来 MBR 的研究和应用提供有价值的参考。

本书内容共分 8 章。第 1 章简要地介绍了 MBR 的类型、特点和历史沿革, 指出了目前 MBR 技术有待进一步改善的问题和发展趋势; 第 2 章重点介绍了 MBR 运行过程中膜通量与跨膜压差之间的基本关系; 第 3 章系统介绍了 MBR 膜污染的基本原理、特征和分类, 对引起膜污染的因素和可能的防治方法做了全面的梳理总结; 第 4 章从 MBR 系统的生化工艺设计和膜系统设计两方面详细论述了设计的基本原理与方法、经验参数的选取以及注意事项等方面的内容; 第 5~第 7 章具体介绍了中空纤维膜、板式膜和管式膜三类 MBR 在实际应用中的设计方法、运行参数、配套设施设计以及监控与维护要求; 第 8 章从工程实用出发, 结合作者多年的污水处理工程经验, 介绍了典型污水 (废水) MBR 应用的案例,

对工艺流程、运行参数、设计经验、注意事项等方面进行了全面的论述和评析，便于参考和借鉴。本书内容先进，技术性较强，可供环境工程、市政工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考，也可供高等学校环境科学与工程、市政工程等专业及相关专业的师生参阅。

本书主要由李安峰、潘涛、骆坚平编著，参加本书编著工作的还有郭行、李箭、董娜、徐文江、王佳等，他们对本书的最终成稿付出了艰辛的劳动；此外，本书编著过程中得到了诸多专家、同行以及设备厂家的热情帮助，北京市环境保护科学研究院、国家城市环境污染控制工程技术研究中心、国家环境保护工业废水污染控制工程技术（北京）中心为本书的出版提供了一定的经济支持。作者在此一并致谢！

限于本书的编著时间和水平，书中疏漏和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者
2013年1月

目 录

1 绪论	1
1.1 MBR 的类型	1
1.2 MBR 的特点	2
1.3 MBR 的历史沿革	3
1.4 MBR 的发展趋势	7
参考文献	8
2 膜分离技术原理	10
2.1 膜分离技术分类	10
2.2 膜过滤方式	11
2.3 浓差极化与过滤阻力	11
2.4 膜通量	13
2.5 临界通量	14
参考文献	16
3 MBR 膜污染与防治	18
3.1 膜污染机理	18
3.2 膜污染分类	20
3.2.1 无机物污染	20
3.2.2 有机物污染	21
3.2.3 微生物污染	21
3.2.4 固形污染和胶体污染	24
3.3 膜污染影响因素	24
3.3.1 膜性质与膜组件	25
3.3.2 工艺参数与操作条件	28
3.3.3 混合液性质	32
3.4 膜污染的防治	34
3.4.1 提高膜自身抗污染性能	34

3.4.2	优化操作条件和参数	36
3.4.3	改善混合液性质	40
3.4.4	附加场	42
3.4.5	膜清洗	42
	参考文献	49
4	MBR 原理与设计	53
4.1	生化工艺设计与原理	53
4.1.1	微生物学原理	53
4.1.2	MBR 与传统活性污泥法比较	58
4.1.3	MBR 工艺类型与参数	63
4.2	膜系统设计原理	100
4.2.1	膜元件确定	100
4.2.2	膜组件设计原理	104
4.2.3	系统设计原理	107
4.2.4	运行设计原理	111
	参考文献	114
5	中空纤维膜 MBR	122
5.1	中空纤维膜概述	122
5.2	中空纤维膜 MBR 设计	123
5.2.1	膜系统设计	123
5.2.2	工艺设计	130
5.2.3	监测与控制	138
5.3	商业化中空纤维膜	139
5.3.1	膜天膜中空纤维膜	139
5.3.2	立昇膜中空纤维膜	141
5.3.3	碧水源中空纤维膜	142
5.3.4	招金膜天中空纤维膜	143
5.3.5	凯华中空纤维膜	144
5.3.6	德宏中空纤维膜	144
5.3.7	洁弗中空纤维膜	145
5.3.8	泽能中空纤维膜	146
5.3.9	三菱丽阳中空纤维膜	147

5.3.10	旭化成中空纤维膜	149
5.3.11	Memcor 中空纤维膜	150
5.3.12	Puron 中空纤维膜	151
	参考文献	152
6	板式膜 MBR	153
6.1	板式膜概述	153
6.2	板式膜 MBR 设计	154
6.2.1	膜系统设计	154
6.2.2	工艺运行设计	155
6.2.3	监测与控制	157
6.3	商业化板式膜	157
6.3.1	斯纳普板式膜	157
6.3.2	瑞洁特板式膜	159
6.3.3	沛尔板式膜	160
6.3.4	久保田板式膜	161
6.3.5	东丽板式膜	162
6.3.6	琥珀技术板式膜	164
6.3.7	无纺布板式膜	165
6.3.8	诺华赛·欧瑞利斯板式膜	165
	参考文献	166
7	管式膜 MBR	167
7.1	管式膜概述	167
7.2	膜生物反应器设计	168
7.2.1	膜系统设计	168
7.2.2	工艺运行设计	169
7.2.3	监测与控制	172
7.3	商业化管式膜	172
7.3.1	诺芮特管式膜	172
7.3.2	Berghof 管式膜	173
7.3.3	Memos 管式膜	174
	参考文献	175

8 MBR 工程实例	176
8.1 某市城镇污水处理及回用工程（中空纤维膜）	176
8.1.1 工程概况	176
8.1.2 水质与水量	176
8.1.3 处理工艺与设计	177
8.1.4 运行参数	181
8.1.5 工程技术经济分析	183
8.1.6 注意事项与经验总结	183
8.2 某污泥干化处置中心污水处理及回用工程（板式膜）	186
8.2.1 工程概况	186
8.2.2 水质与水量	186
8.2.3 处理工艺与设计	186
8.2.4 运行参数	192
8.2.5 工程技术经济分析	192
8.2.6 注意事项与经验总结	193
8.3 某垃圾渗滤液处理工程（管式膜）	195
8.3.1 工程概况	195
8.3.2 水质与水量	195
8.3.3 处理工艺与设计	195
8.3.4 运行参数	199
8.3.5 工程技术经济分析	199
8.3.6 注意事项与经验总结	200
参考文献	202

1 绪论

1.1 MBR 的类型

膜生物反应器 (Membrane Bioreactor, 简称 MBR) 是膜技术与生物处理技术组合的废水处理新工艺, 主要由膜组件和生物反应器两部分组成。根据膜在整个处理系统中所起作用的不同, 通常将膜生物反应器分为三类: 一类是曝气膜生物反应器 (Aeration Membrane Bioreactor, 简称 AMBR); 第二类是萃取膜生物反应器 (Extractive Membrane Bioreactor, 简称 EMBR); 第三类是固液分离膜生物反应器 (Solid/Liquid Separation Membrane Bioreactor, 简称 SLSMBR)。

曝气膜生物反应器 (AMBR) 是以氧气通过膜的扩散为供氧途径, 膜元件采用透气性致密膜 (如硅橡胶膜) 或微孔膜 (如疏水性聚合膜), 以中空纤维膜或板式膜为两种主要膜元件形式, 在保持气体分压低于泡点的条件下, 实现向生物反应器中进行无泡曝气。由于膜的比表面积大, 在接触时间和传氧效率得到大幅提高的同时也为微生物膜固着提供了充足的载体。而且, 原水相与反应相被膜隔开, 相互独立, 一方面使得曝气系统更易控制, 避免了传统曝气受制于气泡大小和停留时间影响的缺陷; 另一方面使得此类膜生物反应器特别适用于处理挥发性有机物含量较高的废水, 可有效防止由于曝气而引起的二次大气污染。当然, 为维持此类膜生物反应器的稳定、高效运行, 通常需要额外的动力系统以确保反应器中混合液处于混合均匀的状态。

萃取膜生物反应器 (EMBR) 是用膜将废水和活性污泥相隔离, 膜材料可采用硅胶和其他疏水性聚合物制成, 对污染物具有选择性。当废水从膜腔内通过时, 具有较大毒性、疏水性的污染物会选择性地被膜萃取。萃取的污染物通过膜进入生物反应器, 被专属性细菌吸附降解, 从而保证废水中污染物可连续地被萃取至反应器内, 使废水得到净化。由于萃取膜两侧的生物反应器单元和废水循环单元是各自独立的, 生物反应器中微生物的生存条件受废水水质的影响较小, 处理效果较为稳定, 非常适合处理那些具有强酸、强碱、高盐度等不宜微生物直接

接触处理的工业废水。

固液分离膜生物反应器 (SLSMBR) 是目前在水处理领域中研究与应用最为广泛的一类膜生物反应器, 其原理是利用膜将生物反应器中的活性污泥、大分子有机物等物质有效截留, 是一种用膜分离过程取代传统活性污泥法中二次沉淀池的水处理技术。固液分离膜生物反应器由于膜的过滤作用, 微生物完全被截留在生物反应器中, 增大了生化反应池中活性污泥浓度, 增加了污泥中特效菌数量, 提高了生化反应速率和污染物的去除率, 可得到优质且稳定的出水。

本书所讨论的内容主要针对固液分离膜生物反应器, 如无特殊说明, 本书所述的膜生物反应器均指固液分离膜生物反应器 (以下简称 MBR)。根据膜组件特点, MBR 主要可分为中空纤维膜生物反应器、板式膜生物反应器和管式膜生物反应器三类; 根据膜组件与反应器组合方式, 可分为外置式和内置式; 根据工艺需氧类型, 可以分为好氧膜生物反应器和厌氧膜生物反应器。

1.2 MBR 的特点

MBR 工艺具有以下优点。

(1) 高效的固液分离性能

与传统沉淀池相比, MBR 工艺采用膜分离技术可有效截留污水中几乎所有的悬浮粒子和高分子有机物质, 分离效果显著, 出水中悬浮物和浊度接近于零, 细菌、病毒和寄生虫卵也被大幅去除, 某些情况下可直接回用。

(2) 生化反应速率快

膜的高效截留性能可最大限度地 将活性污泥截留在生物反应器内, 使微生物维持在较高浓度。与传统活性污泥法相比, 生化反应速率明显加快, 容积负荷大大提高, 在水力停留时间较短的情况下, 也能够达到较高的去除效率, 保证良好的出水水质。

(3) 有效去除氨氮及难降解有机物

一方面, 由于微生物被充分截留在生物反应器内, 有利于各类增殖缓慢的特效微生物 (如硝化细菌、特殊污染物降解菌) 的繁殖生长; 另一方面, 膜也可将许多难生物降解的有机高分子截留在反应器内, 为生物降解此类物质提供足够的停留时间。这两方面保障了系统对特殊污染物的高处理效率。

(4) 污泥产量少、耐冲击负荷

由于可以人为控制污泥停留时间, 长污泥停留时间的 MBR 又起到了“污泥硝化池”的作用, 从而显著减少污泥产量及其处理费用; 同时, MBR 内的活性

污泥不会随出水流失，在运行过程中，污泥浓度会随着进水的流量和有机物浓度实时变化，并达到一种动态平衡，这一特点使得系统具有较高的耐冲击负荷的能力，保持系统的稳定运行。

(5) 管理方便，易于实现自动控制

由于 MBR 实现了水力停留时间与污泥停留时间的完全分离，运行控制更加灵活，容易实现程序自动控制，从而使操作管理更为方便。

(6) 占地面积小

首先，生物反应器内能维持高浓度的微生物量，污水处理速率快，处理装置容积负荷高，节省了占地面积；其次，由于采用膜分离技术替代了二次沉淀池，节省了其占地面积；再者，MBR 工艺结构紧凑，受处理场所空间限制较小，适用范围广，可做成地上式、半地下式和地下式，进一步节省了空间。

(7) 易于升级改造

近年来，许多城市污水处理厂由于污水排放标准不断提高和中水回用量的不断增加，迫切需要升级改造，MBR 的以上特点保证了其作为传统污水处理工艺的升级改造工艺，有着广阔的应用前景。

与此同时，MBR 也存在一些不足，主要表现在以下几个方面。

(1) 膜造价高

MBR 工程一次投资较大，而且需要定期更换膜组件，国产膜的使用寿命大约为 2~3 年，进口膜大约 4~6 年，因此，MBR 工程折旧费用往往要高于传统污水处理工艺。

(2) 膜容易污染

随着 MBR 的连续使用，膜污染将不可避免，这将导致膜通量下降，影响污水处理效率，因此需要定期清洗，这给操作管理带来不便。

(3) 能耗高

相比传统活性污泥工艺，MBR 工艺所需曝气强度会高出很多，这一方面是为了提供足够强度的膜表面曝气或水力冲刷作用，防止污染物在膜表面快速积累，减缓膜污染速率，保持足够的膜通量；另一方面是为了弥补高污泥浓度对氧利用率降低的影响，因此，MBR 的能耗要比传统的活性污泥工艺高。

1.3 MBR 的历史沿革

MBR 技术最先应用于微生物发酵工业，试验性应用于污水处理领域始于 20 世纪 60 年代末的美国。到目前为止，对 MBR 污水处理的研究和商业应用已有超过 40 年的历史，MBR 技术商业化发展历程参见表 1-1。

表 1-1 MBR 技术商业化发展历程

时 间	主要事件
20 世纪 60 年代后期	美国 Dorr-Oliver 公司开发了第一套商用 MBR, 采用外置板式膜
1968 年	Smith 等首次将活性污泥法和超滤膜技术联合应用于城市污水的处理
20 世纪 70 年代	MBR 工艺首次进入日本市场 Thetford 公司推出外置多管式 Cycle-Let 工艺在美国水回用方面得到了商业化应用
20 世纪 80 年代初期	Novasep Orelis 公司的外置式板式膜 MBR 在日本回用水方面实现商业化应用
20 世纪 80 年代中后期	Nitto-Denko 申请了关于内置板式 MBR 的日本专利 东京大学进行了内置中空纤维膜 MBR 的实验, 1989 年, Yamamoto 等人首次公开发表了内置式中空纤维膜 MBR 技术的论文
20 世纪 90 年代	Zenon 环境公司内置式中空纤维膜“ZeeWeed”组件的商业化应用, 并于 1993 年收购 Thetford 公司, 改良了 Cycle-Let 工艺 日本久保田(Kubota)内置板式 MBR 商业化应用 Weir Envig 的外置式“Membralox”ADUF 装置商业化应用 德国维尔利(Wehrle)外置多管式 Biomembrat 系统商业化应用 日本三菱丽阳 Mitsubishi Rayon 开发内置式中空纤维膜卧式装置(“Sterap-oreTM”MBR)
21 世纪初期	美国 USF 内置式中空纤维 MBR“MemJet R”系统商业化应用 德国 Huber 旋转式板式 MBR 的商业化应用 荷兰 Norit(诺芮特)X-Flow 开发了外置式气提管式膜 MBR 系统 德国 Puron(垂直状内置式中空纤维膜)被美国 KOCH(科氏)收购后得到了商业化应用 韩国 Kolon 和 Pata 引入了垂直状内置式中空纤维膜 MBR 日本 Toray(东丽)开发了板式膜 MBR 日本 Mitsubishi Rayon(三菱丽阳)开发了垂直状内置式中空纤维膜 MBR 日本 Asahi Kasei(旭化成)开发了垂直状内置式中空纤维膜 MBR

注: 此表部分内容摘自文献 [5]。

1968 年, Smith 等首次在城市污水的处理中联合应用了活性污泥法和超滤膜技术。第一个商用 MBR 在 20 世纪 60 年代末期由美国 Dorr-Oliver 公司开发, 属于外置式板式膜生物反应器, 主要用于船舶污水处理, 主要特点是进水压力较高, 渗透通量低。

1970 年, 英国人 Hardt 等报道了利用 MBR 系统中累积的活性污泥处理高浓度废水的应用研究。随后, 厌氧型 MBR 的研究工作也得到开展。尽管这些试验均取得了相比传统工艺更加优质的出水, 但由于当时膜技术发展相对落后, 膜价格昂贵、使用寿命短、膜通量小, 使得该技术在相当长的时间内仅停留在试验研究阶段。

20 世纪 70 年代, Dorr-Oliver 公司同 Sanki 公司达成协议, MBR 工艺首次进入日本市场。同一时期, Thetford 公司推出了外置多管式 Cycle-Let 工艺, 并

在美国回用水方面得到了商业化应用。

从 20 世纪 70 年代后期开始,日本针对其国土狭小、地价高的特点开始重视并大力开发膜分离技术在污水处理与回用领域中的应用,组织力量开始了 MBR 的全面研究,内容包括新型膜材料的开发、膜分离装置的设计和运行条件的确定。20 世纪 80 年初,日本 Novasep Orelis 公司开发了 Pleiade 板式 MBR 系统,从此,MBR 技术在日本的污水处理和回用领域中开始走向实用和商业化。

20 世纪 80 年代开始,随着膜制造技术的发展、膜分离工艺的改进、膜清洗方法的完善,同时社会和政府对于污水处理厂出水水质要求的提高,结合膜分离和活性污泥法特点的 MBR 技术获得了较广泛的重视,MBR 技术得到了快速的发展。Yamamoto 等在 1989 年首次开发了内置式中空纤维 MBR 技术,该技术具有能耗低(与外置式相比),结构紧凑、体积小、膜外皮层易于清洗等优点,但是也存在单位膜面积处理能力小、膜污染较重、透水率较低等缺点。

Zenon(泽能)环境公司于 20 世纪 90 年代初开发了第一代 ZenoGem iMBR 工艺,并于 1993 年并购了 Thetford 公司,并改良了后者用于污水循环再生利用的外置式 Cycle-Let 工艺。随后,Zenon 环境公司设计了第一套应用于内置式中空纤维膜 MBR 的 ZeeWeed 组件,并陆续成功开发了各种升级组件。

与此同时,日本开展了“90 年代水复兴计划”(AquaRenaissance Programme 90),开展了新生水工程项目。在这一计划的引领下,Kubota(久保田)农业机械公司开发了基于板式微孔过滤膜的内置式 MBR 工艺,并进行了中试应用。到 1996 年,久保田公司已经在日本建成了 60 套 MBR 处理厂,主要用于粪便水、生活污水和工业废水的处理,日处理规模已可达几千立方米。20 世纪 90 年代中期,德国维尔利(Wehrle)外置多管式 Biomembrat 系统得到了商业化应用,同时,日本三菱丽阳 Mitsubishi Rayon 开发了内置式中空纤维膜卧式 MBR 装置(“SteraporeTM” MBR)。

进入 21 世纪以来,随着膜材料的改进和生产的规模化、膜组件及其处理产品的设备化和集成化、膜设备生产技术的普及化、价格的大众化、以及 MBR 工艺研究的深入和完善,MBR 技术在全世界得到了广泛的推广和应用,已成为污(废)水处理和回用领域一个重要的发展方向,涌现了一大批知名的 MBR 技术公司和膜组件厂家(参见表 1-1 和表 1-2)。目前,据笔者初步估计,全世界已有上万套 MBR 系统应用于各类污(废)水的处理,其中,以日本的 MBR 商业化发展最为快速、应用最为普遍。这些 MBR 系统大部分采用内置式 MBR 工艺,而且,基本上以好氧 MBR 为主要处理工艺。另外,MBR 技术在饮用水领域中也逐渐受到重视。

表 1-2 国内外主要的膜组件厂家

	厂家名称	构型	膜组件
国内	天津膜天膜工程技术有限公司	内置式	中空纤维膜
	北京碧水源科技股份有限公司	内置式	中空纤维膜
	山东招金膜天有限责任公司	内置式	中空纤维膜
	浙大凯华膜技术有限公司	内置式	中空纤维膜
	海南立升净水科技有限公司	内置式	中空纤维膜
	上海德宏生物医学科技发展有限公司	内置式	中空纤维膜
	杭州洁弗膜技术有限公司	内置式	中空纤维膜
	中国科学院上海应用物理研究所(斯纳普)	内置式	板式膜
	南京瑞洁特膜分离科技有限公司	内置式	板式膜
	台湾工业技术研究院	内置式	板式膜
	江苏蓝天沛尔膜业有限公司	内置式	板式膜
	南京工业大学	外置式	管式膜
国外	美国通用电气(GE)泽能(Zenon)	内置式	中空纤维膜
	日本旭化成(Asahi Kasei)	内置式	中空纤维膜
	德国西门子 Memcor	内置式	中空纤维膜
	日本三菱丽阳(Mitsubishi Rayon)	内置式	中空纤维膜
	德国 Puron 公司(KOCH 公司收购)	内置式	中空纤维膜
	日本久保田(Kubota)	内置式	板式膜
	日本东丽(Toray)	内置式	板式膜
	美国琥珀技术公司(Huber Technology)	内置式	板式膜(旋转)
	法国诺华赛集团(Novasep)	外置式	板式膜
	荷兰诺芮特(Norit)	外置式	管式膜
	德国 Berghof 公司	外置式	管式膜
	德国 Memos 公司	外置式	管式膜

我国对 MBR 的研究起始于 20 世纪 80 年代后期。在水污染形势日趋严峻、对高处理效率和高出水水质的处理技术需求日益强烈的形势下, MBR 技术先后得到“八五”、“九五”、“十五”国家科技攻关计划, 国家高技术研究发展计划和国家自然科学基金等项目的大力支持, 通过清华大学、中国科学院生态环境研究中心、哈尔滨工业大学、天津大学、同济大学等高校和科研机构在 MBR 运行特性、膜通量影响因素、膜污染防治与清洗等方面所做大量细致的研发工作, 促进了 MBR 技术在我国全面推广。

我国 MBR 市场已成为世界上增长最快的国家和地区之一。2004 年中国 MBR 技术相关项目的市场份额约为 4000 万元, 2005 年的市场份额已远超过 2

亿元, 2006 年达到 4 亿多元, 2007 年约为 9 亿元, 2008 年为 16 亿元, 初步估计 2011 年的市场份额将达到 70 亿~80 亿元。在此期间, 我国逐渐涌现了一大批优秀的 MBR 技术公司和膜组件厂家, 并占据了很大一部分国际市场。

业内普遍认为中国将成为全球最大的 MBR 市场, 这一判断主要基于以下几方面的原因: 我国普遍缺水, 尤其北方地区更加严重, 再生水需求高; 政府加大了减排力度, 在占地有限的条件下, 大量原有城市污水处理厂也必须在现有工艺上进行出水水质提标; 我国城镇污水处理设施正处于大规模建设时期, 对 MBR 技术需求强烈, 而且, 我国已具有超大型 MBR 工程项目的成功案例, 增长空间广阔; MBR 技术具有较强耐水质冲击能力, 使其在许多工业废水处理领域具有更多的优势。

目前, 中国已有几十个正在运行或建设的 10 万吨级 MBR 城镇污水处理工程和多个万吨级的工业废水处理工程。特别是自 2005 年以来, 新建大中型 MBR 工程项目年增长率平均高于 100%。随着对节能减排和环境保护要求的日益严格, 中国在今后几年内, MBR 技术产业还将以两位数的年增长率高速发展, 大大高于国际平均水平。相应的工程应用已经从城镇污水处理和回用领域延伸到各类高浓度、难降解工业废水的处理, 例如食品加工、养殖与屠宰、垃圾填埋、纺织与印染、化学工业、制药工业、酿酒工业、纸浆造纸、石化焦化等重点工业废水排放行业。

1.4 MBR 的发展趋势

MBR 作为一项迅速发展的既能控制水体污染又能实现污水资源化的新型污水处理技术, 被世界各国公认为 21 世纪水处理领域中最具有发展潜力的高新技术之一, 日益受到各国水处理技术研究与管理者的关注。从目前的发展趋势来看, 在今后一段时间内, MBR 技术的发展将主要集中在以下几个方面。

① 膜材料和膜组件性能的提升。开发寿命长、强度好、抗污染、通量高、价格低的膜元件, 以及对膜元件的结构、装填方式、装填密度、运行模式进行优化设计将是 MBR 技术在全球水处理市场中占据更大份额的保障。

② 膜污染机理的研究, 污染控制技术及清洗技术的发展。主要包括: 利用分子生物学、显微可视化等技术和手段研究污(废)水中无机物、有机物、胶体等物质对膜过滤和膜污染过程的影响机理; 膜的有机和生物污染模型的建立和研究; 膜组件清洗技术的开发和改进; 新型气水错流技术的研发, 以降低能耗, 增强抗污染能力, 延长膜使用寿命, 提升 MBR 技术竞争力。

③ MBR 新工艺的开发和应用, 工艺过程及运行参数的优化。主要有: 开发

新的 MBR 技术工艺, 拓展 MBR 的应用领域; 膜组件和污水处理技术的组合以及运行方式的优化, 例如, 将 MBR 技术与同时硝化与反硝化、短程硝化与反硝化等工艺的有效结合, 明确限制因素和优化参数, 以提高氮的去除效率; 污泥停留时间、污泥负荷和产泥率之间的关系研究, 以达到合理减少污泥产量 (甚至零污泥产量)、降低污泥处置费用的目标。

④ 工业废水处理与回用。将结合物化处理、高效菌种驯化等方法与 MBR 的组合技术应用于高浓度、有毒、难降解工业废水的处理, 如造纸、酒精、皮革、合成脂肪酸、垃圾渗滤液等行业废水。

⑤ MBR 技术的产业化路径研究。包括 MBR 技术应用的经济性分析, MBR 设备集成化、工程化发展。

⑥ 研究设计科学合理的 MBR 组件及制定标准化和规范化的设计方法。

参 考 文 献

- [1] Smith C W, Di Gregorio D, Talcott R M. The use of ultrafiltration membrane for activated sludge separation. Proceedings, Industrial Waste Conference, 24th, 1969, 1300-1310.
- [2] Hardt F W, Clesceri L S, Nemerow N L, et al. Solid separation by ultrafiltration for concentrated activated sludge. J. Water Pollution Control Federation, 1970, 42 (12): 2135.
- [3] Brindle K, Stephenson T. The application of membrane biological reactors of the treatment of wastewaters. Biotechnology and Bioengineering, 1996, 49 (6): 601-610.
- [4] Yamamoto K, Hiasa M, Mahmood T Matsuo T. Direct solid liquid separation using hollow fiber membrane in an activate sludge tank. Water Science & Technology, 1989, 21 (5): 43-45.
- [5] 陈福泰, 范正虹, 黄霞. 膜生物反应器在全球的市场现状与工程应用. 中国给水排水, 2008, 24 (8): 14-18.
- [6] 梅凯. 浸没式 MBR 平片膜技术及应用. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [7] 蒋克彬, 彭松, 刘宏杰, 张小海. 膜生物反应器的应用. 北京: 中国石化出版社, 2012.
- [8] 冯文婕, 蔡邦肖. 膜生物反应器技术与市场的发展. 水工业市场, 2008, 1: 23-28.
- [9] 杨帆, 宋志伟. 膜生物反应器在污水处理中的应用现状及展望. 污染防治技术, 2006, 19 (5): 36-39.
- [10] 许振良. 污水处理膜分离技术的研究进展 (一). 净水技术, 2000, 18 (3): 3-6.
- [11] 许振良. 污水处理膜分离技术的研究进展 (二). 净水技术, 2000, 19 (4): 3-7.
- [12] 周军等. 美国 Corona 市 MBR 污水处理厂介绍. 中国土木工程学会水工业分会排水委员会年会. 2004.
- [13] Yang W, Cicek N, Ilg J. State-of-the-art of membrane bioreactors: Worldwide research and commercial applications in North America. Journal of Membrane Science, 2006, 270: 201-211.
- [14] Visvanathan C, Ben Aim R, Parameshwaran K. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2000, 30 (1): 1-48.
- [15] Judd S. The status of membrane bioreactor technology. Trends in Biotechnology, 2008, 26 (2): 109-116.