

“十二五”国家重点图书

MBR

新工艺设计

黄建元 主编

The New Process Design
For MBR



化学工业出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

MRP

新工艺设计

（第二版）

The New Process Design
For MRP

“十二五”国家重点图

MBR

新工艺设计

黄建元 主编

The New Process Design For MBR



化学工业出版社

·北京·

本书系统介绍了膜生物反应器工艺设计原理、膜污染的影响因素与清洗方法、大型市政污水处理厂再生水回用工程设计,详细列举了 MBR 在中小城镇污水、厕所废水、建筑中水、医院污水、制药工业、石油化工工业、炼焦化学工业、垃圾处理场渗滤液、农化工业、造纸工业、纺织印染工业、食品饮料工业、电镀工业废水中的设计工艺及工程实例;还介绍了膜技术在公共卫生等领域的应用前景、MBR 系统设备采购强制性要求、国家相关水质标准及分析方法。

本书是一本推进我国 MBR 污水处理工艺科学设计管理的专业工具书,可供国内有关科研设计机构、水务集团公司和环保设备企业的工程技术人员、管理操作人员及大专院校师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

MBR 新工艺设计/黄建元主编. —北京:化学工业出版社, 2015.1

ISBN 978-7-122-22284-8

I. ①M… II. ①黄… III. ①生物膜反应器-工艺设计 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 258623 号

责任编辑:左晨燕

文字编辑:荣世芳

责任校对:宋 玮 王 静

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:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 28 $\frac{3}{4}$ 字数 721 千字 2015 年 3 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:198.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2014—32 号

《MBR 新工艺设计》 编委会

主 任：黄建元

副主任：（按章节撰写顺序排列）

夏俊林	范举红	郑 祥	杨 昊
孙友峰	郑 炜	谢伯明	丁 凯
赵曙光			

委 员：（按章节撰写顺序排列）

诸大宇	雷 霆	汪开明	李 刚
徐国良	孙 浩	秦余春	丁士兵
钱 珏	李 荧	王启栋	龚云娇
邱 晖	张 锋	陶 杰	张广强
张志峰	薛 涛	陈春生	鲁大政
程玉梅	和磊磊	顾嘉赞	周铭威
吴秀萍			



新工艺设计

前言

中国是贫水大国。30 多年来由于经济的高速发展、人口膨胀对水资源的透支，“水荒”困局愈加严峻。虽然“十一五”以来，城市污水处理行业得到了重视和迅速发展，新增处理能力约为 6475 万吨/日，大部分污水处理厂排放达到国家的相关标准，但还是不能改变我国水环境恶化的现实。面对更加艰巨的节能减排任务，以及水资源日益紧缺的形势，水资源再生及回用必然是今后水务行业的最主要发展方向之一，污水处理也将真正实现由量转向质的提高。

膜生物反应器（Bio-Membrane Reactor, MBR）工艺将物理、生物、化学等学科已有的技术融为一体。它出水效果好、占地面积小，是污水处理厂追求更大容量、更高排放标准、更有效去除氮氧化物及磷酸盐的最佳选择，它是对现有技术的有效改进，拥有不可比拟的优势。其技术核心不仅在于膜材料的开发水准，还与前端的生物处理密切相关，两者良好结合才会实现更好的处理效果。而膜材料本身通量、强度、亲水性、抗污能力的提高以及膜成本、膜清洗频率、运行成本等费用的降低也是在使用过程中亟待解决的课题。

自 2006 年 6 月第一个市政领域 MBR 项目投运以来，我国相继投入运行的万吨以上项目在世界上首屈一指，但目前 MBR 在我国整个污水市场的份额不足 5%。MBR 技术还没有像传统方法那样大规模、长时间的应用，水处理行业对 MBR 在大规模市政污水，尤其是在工业废水处理中的应用经验还远远不足，相关的技术参数也需要深入评估。而 MBR 应用的覆盖面及规范程度，在一定程度上反映了一个国家的工程技术、资源利用及环境保护的水平。因此，更期待一批国内膜厂家能脱颖而出，使 MBR 具有更高的性价比，技术更富有本土化特点。

为了更好地总结 MBR 在市政及工业领域的应用经验，更好地规范 MBR 的工艺设计及系统布局，使这项在我国开花并结果、包含中国元素多项自主知识产权在内的新兴技术越趋完善和成熟，全国各地产学研专家自发共同编写了这本《MBR 新工艺设计》。此书在调查研究了我国 MBR 污水处理厂建设、运行、管理经验的基础上，仔细阐述了 MBR 技术的基础原理、应用和研究现状，系统介绍了膜污染的影响因素与清洗方法、大型市政污水处理厂再生水回用工程设计，详细列举了 MBR 在中小城镇污水、厕所废水、建筑中水、医院污水、制药工业、石油化工工业、炼焦化学工业、垃圾处理场渗滤液、农化工业、造纸工业、纺织印染工业、食品饮料工业、电镀工业废水中的设计工艺及工程实例，还介绍了膜技术在公共卫生等领域的应用前景、MBR 系统设备采购强制性要求、国家相关水质标准及分析方法。这是一本力图推进我国 MBR 污水处理工艺科学设计管理的专业工具书。

此次编写人员共有 30 余位，分属：无锡市高新水务有限公司、清华大学环境学院膜技术应用与研究中心，中国人民大学环境学院、中国科学院生态环境研究中心、北京市市政设计研究总院、同济大学环境工程设计研究院、浙江清华长三角研究院、水木清环（北京）膜技术有限公司、浙江双益环保科技发展有限公司、北京汉青天朗水处理科技有限公司、杭州天创环境科技股份有限公司、上海稻王环保科技有限公司、龙源（北京）碳资产管理技术有限公司、北京碧水源科技股份有限公司（原沁园集团膜科技事业部）、宁波水艺膜科技发展有限公司和浙江源程环保科技有限公司等单位。两年多来，他们无私奉献，在没有任何科研经费资助的背景下，仍在百忙之中利用业余时间整理编写；特别是国家海洋局杭州水处理技术开发中心膜与膜过程实验室主任高从堦工程院院士、哈尔滨工业大学教授李圭白工程院院士、中国科学院生态环境研究中心樊耀波研究员和（公益社团法人）日本下水道协会国际秘书（已故）小关真由美女士等国内外专家的大力支持，编写工作才得以最终完成，谨在此向他（她）们敬表真诚的感谢。在编写过程中，还得到了国内外相关科研设计机构、水务集团公司及环保设备企业和化学工业出版社的大力协助，在此一并致以衷心感谢。

18 世纪美国著名科学家本杰明·富兰克林曾提言“我们在享受他人的发明给我们带来的巨大益处，我们也必须乐于用自己的创新创造去为其他更多人服务。”虽然全体编委同仁做了大量多方面的努力，但由于编写人员时间和水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正，一起来推动 MBR 技术的新提高与新发展。

全体编委代表

黄建元

2014 年 10 月末于杭州湾新区

中国环境出版社
CHINA ENVIRONMENTAL PUBLISHING HOUSE





新工艺设计

目 录

1

第 1 章 概述

1

1.1 膜生物反应器 (MBR) 技术简介	1
1.1.1 膜生物反应器发展的历史沿革	1
1.1.2 膜生物反应器运行形式变革	2
1.1.3 目前膜生物反应器的主要利好处	3
1.2 膜生物反应器的应用和研究现状	4
1.2.1 膜生物反应器好氧工艺在有机废水处理中的应用	4
1.2.2 膜生物反应器厌氧工艺在有机废水处理中的应用	4
1.2.3 膜生物反应器在有机废水处理中脱氮方面的应用	5
1.2.4 膜生物反应器在国内的应用现状	5
1.2.5 膜生物反应器的发展趋势	5
参考文献	6

2

第 2 章 膜生物反应器原理

7

2.1 膜生物反应器概论	7
2.1.1 膜生物反应器构成与分类	7
2.1.2 膜的结构	7
2.1.3 膜的性能指标	8
2.1.4 膜生物反应器的应用利弊	9
2.1.5 膜生物反应器的膜污染	9
2.2 膜生物反应器工艺研究	10
2.2.1 膜生物反应器生物处理的原理	10
2.2.2 膜生物反应器对污染物的去除效果	12

2.2.3	MBR 操作条件对污染物去除效果的影响	13
2.2.4	国内外膜生物反应器应用的研究	14
2.3	膜生物反应器微生物代谢研究	15
2.3.1	微生物产物的来源、性质及影响因素	15
2.3.2	膜生物反应器中的微生物代谢特性	18
2.4	MBR 工艺设计原理	19
2.4.1	基质降解	19
2.4.2	污泥产率	20
2.4.3	SRT 和 F/M 比	21
2.4.4	硝化动力学	22
2.5	MBR 除磷脱氮原理	22
2.5.1	生物脱氮机理	22
2.5.2	生物除磷机理	23
2.5.3	污水脱氮除磷工艺	23
2.5.4	膜生物反应器脱氮除磷的研究进展	25
2.5.5	膜生物反应器脱氮除磷新工艺的实用化	25
	参考文献	26

3

第 3 章

MBR 设计工艺及主要附属设备

29

3.1	设计宗旨及要领	29
3.1.1	膜生物反应器设计和传统工艺的区别	29
3.1.2	污水水量的计算	30
3.1.3	污水流量的确定	31
3.1.4	有机负荷	33
3.1.5	水力停留时间	33
3.1.6	MBR 系统构型的确定	33
3.1.7	MBR 预处理——膜格栅	34
3.1.8	一体式 MBR——膜曝气	34
3.2	膜设施的设计条件	34
3.2.1	处理能力	34
3.2.2	水量和水质	35
3.2.3	膜的数量·系列数·池数	36
3.2.4	曝气量	36
3.2.5	计划水位及膜设施的高度	38
3.3	调节池	38
3.3.1	调节池容量及污水停留时间	38
3.3.2	形状及槽数	39
3.3.3	调节池搅拌机	39

3.4 反应池	39
3.4.1 设计原理	39
3.4.2 反应池的参数	39
3.4.3 无氧池搅拌机	40
3.4.4 膜分离装置	41
3.4.5 膜过滤泵	43
3.5 剩余污泥泵	44
3.6 加药系统	45
3.6.1 絮凝剂添加设备	45
3.6.2 加药除磷	46
3.6.3 膜药洗系统	47
3.7 消毒设备	47
3.7.1 紫外线消毒设备	48
3.7.2 液氯消毒设备	49
3.7.3 臭氧消毒设备	50
3.7.4 二氧化氯消毒设备	50
3.7.5 次氯酸钠消毒设备	51
3.8 除臭设备	52
3.8.1 污水处理厂气态污染物的特征及来源	52
3.8.2 各种除臭方法的原理及特点	53
3.8.3 污水处理厂除臭方法的比选	55
3.9 电器及电控装置设备	56
3.10 运行管理	56
参考文献	58

4

第4章

膜污染的影响因素与清洗方法

59

4.1 膜污染的定义与起源	59
4.1.1 微生物	59
4.1.2 有机污染物	59
4.1.3 溶解性有机污染物	59
4.1.4 无机污染物	59
4.2 膜污染的影响因素	59
4.2.1 膜的固有性质	60
4.2.2 混合液性质	60
4.2.3 膜组件的运行条件与操作方式	61
4.3 膜污染的控制方法	63
4.3.1 膜组件的优化与曝气管路设计	63
4.3.2 控制活性污泥浓度	63

4.3.3	改善污泥混合液特性	66
4.3.4	优化膜分离操作条件	66
4.3.5	膜清洗	66
4.4	膜清洗原理及实例	67
4.4.1	膜物理清洗	67
4.4.2	膜化学清洗	68
4.4.3	不同厂家膜系统的清洗注意事项和操作方法	69
	参考文献	77

5

第5章

某市郊污水处理厂再生水回用工程设计

81

5.1	概述	81
5.1.1	工程简介	81
5.1.2	编制原则	81
5.1.3	采用的主要规范及标准	81
5.1.4	再生水水源	83
5.1.5	再生水厂进、出水水质	83
5.1.6	再生水厂处理工艺方案	84
5.1.7	工艺管线设计	84
5.2	再生水厂处理工艺设计	84
5.2.1	工艺流程设计	84
5.2.2	工艺高程设计	85
5.2.3	进水提升泵房	85
5.2.4	细格栅间	86
5.2.5	膜生物反应器	86
5.2.6	鼓风机房	89
5.2.7	加氯、加药间	90
5.2.8	回用清水池	91
5.2.9	送水泵房	91
5.2.10	污泥处理	92
5.3	建筑、结构设计	92
5.3.1	概况及设计内容	92
5.3.2	设计依据	92
5.3.3	建筑设计	93
5.3.4	结构设计	94
5.4	电气设计	95
5.4.1	供配电	95
5.4.2	电力传动及照明	97
5.5	自控设计	99

5.5.1	自控设计原则	99
5.5.2	再生水厂工艺流程控制	99
5.5.3	自动化控制系统	100
5.5.4	通信网络	101
5.5.5	防雷、过电压保护及接地	101
5.5.6	自动化控制系统设备表	101
5.6	采暖与通风设计	102
5.6.1	概述	102
5.6.2	设计依据	102
5.6.3	采暖	102
5.6.4	通风	103
5.6.5	空调	103
	参考文献	103

6

第6章 某市政MBR污水处理厂工程设计

104

6.1	工程概况	104
6.2	系统进水及预期的出水水量和水质	104
6.3	工艺总体描述	104
6.3.1	工艺选择原则	104
6.3.2	进水水质分析	105
6.3.3	工艺选择	106
6.3.4	工艺流程	106
6.3.5	平面布置	107
6.3.6	设计说明	107
6.4	膜池	110
6.4.1	膜系统设计	111
6.4.2	化学清洗	111
6.5	电气自控系统说明	112
6.5.1	工作范围	112
6.5.2	供配电系统	112
6.5.3	控制与信号	112
6.5.4	中心控制室	113
6.5.5	现场PLC控制分站	113
6.5.6	机旁就地控制	113
6.5.7	数据采集	113
6.5.8	处理功能	113
6.5.9	控制功能	113
6.5.10	显示功能	113

6.6 膜系统的维护保养	114
6.6.1 运行状态	114
6.6.2 停机	114
6.6.3 待机	114
6.6.4 产水	114
6.6.5 反洗	115
6.6.6 维护性清洗	115
6.6.7 恢复性清洗控制	116
6.6.8 膜完整性监控	116
6.7 运行效果分析	116
6.7.1 参数调整	116
6.7.2 实际进出水水质	117
6.7.3 MBR 运行要点归纳	117
6.8 本章结论	117
参考文献	118

7

第 7 章 MBR 在中小城镇污水处理中的应用

119

7.1 中小城镇污水水质特点及排放标准	119
7.1.1 中小城镇污水水质特点	119
7.1.2 中小城镇污水排放标准	120
7.2 中小城镇污水处理技术	120
7.3 中小城镇污水 MBR 法实例及经济技术指标	121
7.3.1 生活小区污水 MBR 法实例	121
7.3.2 城镇污水 MBR 法实例	126
7.4 本章结论	131
参考文献	131

8

第 8 章 MBR 在厕所污水处理中的应用

132

8.1 厕所污水水质特点	132
8.2 厕所污水处理技术简介	133
8.3 厕所污水 MBR 处理技术	134
8.4 厕所污水 MBR 法实例及经济技术指标	136
8.4.1 厕所污水 MBR 法工艺流程	136
8.4.2 厕所污水 MBR 主要构筑物的设计参数	136
8.4.3 MBR 法厕所污水处理系统的调试及运行	137

8.4.4 系统脱氮的研究结果与讨论	137
8.5 经济技术指标分析	141
8.5.1 技术分析	142
8.5.2 经济分析	144
8.6 本章结论	145
参考文献	146

9

第9章

建筑中水处理与工程设计

147

9.1 建筑中水概述	147
9.1.1 基本概念	147
9.1.2 设计原则	147
9.2 中水原水	148
9.2.1 中水原水选择	148
9.2.2 中水原水量	149
9.2.3 中水原水水质	149
9.3 中水用途及水质标准	150
9.3.1 中水用途	150
9.3.2 中水水质标准	150
9.4 建筑中水处理技术简介	152
9.4.1 建筑中水处理技术选择原则	152
9.4.2 建筑中水的常用处理技术	153
9.4.3 MBR 在建筑中水处理中的应用	154
9.5 MBR 工艺在建筑中水处理中的工程应用实例	155
9.5.1 工程实例一：某酒店中水处理工程	155
9.5.2 工程实例二：某居住小区中水处理工程	157
9.5.3 工程实例三：某博览园中水处理工程	159
9.6 本章结论	163
参考文献	163

10

第10章

MBR 在医院污水处理领域的应用

164

10.1 我国医院污水处理的特点	164
10.2 我国医院污水处理技术简介	167
10.3 医院污水 MBR 法调试及运行	168
10.4 医院污水 MBR 法实例及经济技术指标	170
10.4.1 案例一：天津市某医院 MBR 系统	170

10.4.2 案例二：天津某大学医院 MBR 系统	172
10.4.3 案例三：厦门某医院 400 吨废水处理	175
10.5 本章结论	178
参考文献	178

11

第 11 章

制药工业废水处理与工程设计

180

11.1 制药工业的生产工艺及废水来源	180
11.1.1 生物制药的工艺及废水来源	180
11.1.2 化学合成制药的工艺及废水来源	182
11.2 制药废水水质特点	183
11.2.1 生物制药废水的水质特点	183
11.2.2 化学合成制药废水的水质特点	184
11.2.3 其他几类制药废水的水质特点	184
11.3 制药工业用水定额及废水排放标准	184
11.3.1 发酵类制药废水的排放标准	185
11.3.2 化学合成类制药废水的排放标准	186
11.4 制药工业废水处理技术简介	186
11.4.1 制药废水的常用处理技术	186
11.4.2 MBR 在制药废水处理中的应用	189
11.5 MBR 工艺在制药废水行业工程应用实例	190
11.5.1 工程实例：某头孢抗生素中间体合成制药厂废水处理工程	190
11.5.2 工程调试与运行情况	193
11.5.3 膜组件运行情况	195
11.5.4 废水处理工程经济效益分析	197
11.6 本章结论	197
参考文献	198

12

第 12 章

石油化工工业废水处理与工程设计

200

12.1 石油化工工业废水种类与来源	200
12.1.1 石油炼制废水	200
12.1.2 石油化工废水	201
12.1.3 化纤工业废水	202
12.1.4 化肥工业废水	203
12.2 石油化工工业废水用水特点及排放特征	203
12.2.1 石油化工工业用水特点	203
12.2.2 石油化工工业废水水质特点	204

12.2.3	石油化工工业废水污染物排放特征	204
12.3	石油化工工业废水处理技术简介	206
12.3.1	物化预处理技术	206
12.3.2	二级生化处理技术	207
12.3.3	废水回用深度处理技术	208
12.4	MBR 在石油化工废水处理中的应用	209
12.4.1	石油化工工业废水处理现状及存在问题	209
12.4.2	MBR 在石油化工废水处理中的研究现状	210
12.4.3	MBR 在石油化工废水处理中的应用现状	211
12.4.4	MBR 应用在石油化工废水处理中存在的挑战及应对策略	211
12.5	MBR 工艺在石油化工工业废水处理中的工程应用实例	213
12.5.1	工程实例：某石油化工企业炼油废水处理工程	213
12.5.2	MBR 工艺运行处理效果	215
12.5.3	MBR 膜组件运行情况	217
12.5.4	污水处理工程经济效益分析	218
12.6	本章结论	219
	参考文献	219

13

第 13 章 炼焦化学工业废水处理与工程设计

221

13.1	炼焦化学工业的生产工艺及废水来源	221
13.2	焦化废水水质及其特点	222
13.3	炼焦化学工业水污染物排放控制要求	223
13.3.1	标准简介	223
13.3.2	水污染物排放要求	223
13.4	焦化废水处理技术简介	224
13.4.1	焦化废水处理工艺概述	224
13.4.2	焦化废水处理单元技术	225
13.4.3	MBR 在焦化废水处理中的应用	234
13.5	MBR 工艺在焦化废水行业的工程应用实例	238
13.5.1	工程实例一：某钢铁企业焦化厂废水处理工程	238
13.5.2	工程实例二：某钢铁企业焦化厂废水处理系统升级改造工程	241
13.6	本章结论	243
	参考文献	244

14

第 14 章 垃圾处理场渗滤液处理与工程设计

246

14.1	垃圾处理场的生产工艺及废水来源	246
------	-----------------	-----

14.1.1 垃圾填埋场的生产工艺及废水来源	246
14.1.2 垃圾焚烧厂的生产工艺及废水来源	246
14.2 垃圾渗滤液水质特点	247
14.2.1 垃圾填埋场渗滤液水质特点	247
14.2.2 垃圾焚烧厂渗滤液水质特点	248
14.3 垃圾处理场水污染物排放控制要求	249
14.3.1 垃圾填埋场水污染物排放控制要求	249
14.3.2 垃圾焚烧厂水污染物排放控制要求	250
14.4 垃圾渗滤液处理技术简介	251
14.4.1 垃圾渗滤液的常用处理技术	251
14.4.2 MBR 在垃圾渗滤液处理中的应用	256
14.5 MBR 工艺在垃圾渗滤液行业工程应用实例	257
14.5.1 工程实例一：某垃圾填埋场渗滤液处理工程	257
14.5.2 工程实例二：某垃圾焚烧厂渗滤液处理工程	261
14.5.3 工程实例三：某垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工程	263
14.6 本章结论	267
参考文献	267

15

第 15 章 农化工业废水处理与工程设计

268

15.1 农化行业及废水情况概述	268
15.2 农化工业的生产工艺及废水来源	268
15.2.1 草甘膦的生产工艺及废水来源	268
15.2.2 其他典型产品的生产工艺及废水来源	269
15.3 农药生产废水水质特点	270
15.3.1 草甘膦生产废水的水质特点	270
15.3.2 其他典型产品生产废水的水质特点	271
15.4 农化工业用水定额及废水排放标准	271
15.4.1 农化工业用水定额	271
15.4.2 农化行业废水的排放标准	271
15.5 农化行业废水处理典型工艺介绍	272
15.5.1 农化废水的常用处理工艺	272
15.5.2 MBR 在农化工业废水处理中的应用	275
15.6 MBR 工艺在农化工业废水工程中的应用实例	275
15.6.1 工程实例一：某农化企业含磷废水处理工程	275
15.6.2 工程实例二：某农化企业农药生产废水处理工程	281
15.7 本章结论	284
参考文献	284