

# 膜生物反应器的应用

蒋克彬 彭松 刘宏杰 张小海 编



YZLI0890160093

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

# 膜生物反应器的应用

蒋克彬 彭松 刘宏杰 张小海 编



YZLI0890160093

中国石化出版社

## 内 容 提 要

一、介绍了膜生物反应器(MBR)的基本知识,包括膜生物反应器的类型;膜生物反应器所用膜的分离机理、有关性能指标、结构、膜孔;制膜材料和制膜工艺;MBR运行的影响因素与膜污染控制等。

二、对相关品牌浸没式膜生物反应器元件与组件的设计与运行参数进行了介绍。

三、对浸没式中空纤维膜与平板膜生物反应器在工程应用中的设计要求、设计参数以及相关配套设施的设计与运行参数进行了介绍。

四、选取了一些代表工程,对其工艺设计与运行参数进行了介绍。

五、介绍了目前国内外工程量较多且在业内被公认为品牌的部分膜生物反应器生产商。

本书可供膜企和膜生物反应器工艺设计人员、污水处理厂相关技术人员、管理人员阅读参考,也可作为高等院校环境工程及相关专业的师生参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

膜生物反应器的应用 / 蒋克彬等编.

—北京:中国石化出版社,2012.1

ISBN 978-7-5114-1315-4

I. ①膜… II. ①蒋… III. ①生物膜(污水处理) - 反应器 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 258017 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

850 × 1168 毫米 32 开本 8.625 印张 219 千字

2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

# 前 言

膜生物反应器工艺 (Membrane Bioreactor, 简称 MBR) 是将膜过滤技术与活性污泥法相结合的一种工艺。在过去几十年的应用中, 随着膜和生化技术的发展, 该技术已取得长足的进步, 工程技术人员对工艺中膜去除污染物的机理、膜污染的机理掌握得越来越深入, 对处理工艺参数的选择也更加熟练。目前, 膜生物反应器, 特别是浸没式膜生物反应器已成为城市污水、工业废水处理 and 回用方面很有吸引力和竞争力的一种选择, 处理规模逐步得到扩大, 每天数万吨以上处理规模的膜生物反应器工程已有不少。作为一种高效的污水处理技术, 膜生物反应器及其工艺日益受到各国研究者的关注。在膜科学技术日益发展和水环境标准要求日趋严格的今天, MBR 技术在解决人类的水资源短缺问题方面将发挥更加重要的作用。主要体现在: 一是技术在不断完善与提高。膜材料的研发、制膜工艺的不断完善与成熟、膜技术应用能力的不断提高, 都将使膜工程的投资与运行成本下降。二是社会发展的需要。经济的发展、水资源的短缺、环保立法加强, 都会使水成本上升。这两方面的因素, 将使 MBR 在污水处理与回用工程的建设中越来越有活力。

MBR 工艺由于具有高效的过滤优点，是解决城市污水处理与再生利用的一条良好途径。但其不足之处也是很明显的：(1)投资成本偏大；(2)运行期维护成本高，近年来成本虽有所降低，但仍比传统工艺成本至少高出 10%；(3)膜的使用寿命较短，更换所需的费用较大。这些都是 MBR 工艺在以后的发展过程中需要解决的问题。还有学者认为 MBR 技术并不适合用在市政污水的处理上，最好用在难度大、排放量小的工业污水方面；另外，对于有的污水，MBR 工艺并不能得到理想的处理效果。MBR 工艺的这些缺点都需要靠技术的发展来解决。

目前，我国最为广泛采用的两种类型是中空纤维型膜组件和平板式膜组件。在中国水网调查所获得的 MBR 项目中，城镇生活污水处理项目以采用中空纤维膜的 MBR 项目居多，其中万吨级以上的项目都采用了中空纤维膜 MBR。项目涉及的膜供货商有：GE 公司、美能公司、三菱丽阳公司、旭化成公司、西门子公司、迈纳德公司、膜天膜公司、碧水源公司等。也有不少其他类型的污水处理项目应用了平板膜，涉及的平板膜供货商有：久保田公司、东丽公司、蓝天沛尔公司、斯纳普公司等，在久保田公司的平板膜组件资料中，其平板膜组件在大型的污水处理工程中也得到应用，效果良好。实际上，上述企业的大部分既有研发和生产 MBR 设备的能力，又拥有丰富的工程实践经验，其设计与运行经验可以为相关工艺技术人员提供有价值的参考。

尽管中空纤维型膜组件和平板式膜组件具有不同的特点和使用要求，但其过滤的原理一样，设计的理念基

本相同，加上活性污泥法已是成熟的技术，不少工艺已经在工程中得到成功的应用，有很多的成功经验值得总结。鉴于此，本书汇总了浸没式真空纤维膜与平板膜生物反应器在工程应用中的设计要求、设计参数和相关配套设施的设计。

近年来，国内已有一定量且处理规模较大的污水处理工程使用膜生物反应器工艺，有的工程已经成功运行；有的工程通过调整有关参数，运行效果得到改进；有的工程因膜或其他原因达不到设计要求，仍在不断调整与改进中；有的已经失败。通过这些 MBR 工程的运行，已获得较多的经验。实践证明，工程所使用的具体生化工艺、膜组件品牌与类型、专业化运行管理能力等成为工程能否运行成功的重要因素。鉴于膜生物反应器处理工程的运行是否成功与工艺设计以及运行管理有着重要的关系，在相关文献资料的基础上，介绍了一些典型的生活污水、城镇污水与工业废水案例，汇总了其中的工艺设计与运行参数，对存在的问题也作了说明。

参与本书的编者有宿迁市清源环境科学研究所的蒋克彬、彭松，泗阳县环境监测站的刘宏杰、张小海。其中蒋克彬编写第一、三章，刘宏杰编写第二章，彭松编写第四章的第一、二、三节，张小海编写第四章的第四、五节以及第五章，全书由蒋克彬统稿。其中第一章介绍了膜生物反应器(MBR)的基本知识。第二章汇总了相关品牌浸没式膜生物反应器构件设计与运行参数。第三章对浸没式膜生物反应器工艺的设计要求、设计参数以及相关配套的设计与运行参数进行了总结。第四章选取了一些代表工程，对工艺设计与运行参数进行

了汇总。第五章介绍了在业内被公认为品牌的部分膜生物反应器生产商。

本书的编写得到宿迁市清源环境科学研究所有限公司和泗阳县环境监测站的支持，在此表示感谢；编写过程中，采用了近年来同行业技术人员公开发表的有关文献与技术资料，在此向本书所有参考文献的作者们表示衷心的感谢！

由于水平和条件有限，特别是对膜以及工艺的认识存在局限性，书中的错误或不准确之处，请读者以及行业专家指正。

2011 年末

编者

# 目 录

第一章 膜生物反应器(MBR)概述	(1)
第一节 膜生物反应器分类	(1)
一、按膜元件结构型式分类	(1)
二、按膜组件的作用分类	(4)
三、其他分类	(11)
第二节 膜生物反应器工艺	(11)
一、膜生物反应器工艺类型	(11)
二、浸没式膜反应器工艺运行控制	(14)
三、工艺特点	(17)
四、MBR 工艺的应用与发展方向	(19)
第三节 膜材料	(19)
一、膜材料分类	(19)
二、常用膜材料介绍	(21)
第四节 MBR 膜的制备	(24)
一、有机膜的制备主要工艺	(24)
二、其他制备工艺	(27)
三、PVDF 膜制备方法介绍	(29)
四、三种主要膜制备工艺比较	(30)
五、复合膜制备工艺	(32)
第五节 膜分离机理与性能	(32)
一、MBR 膜分离机理	(32)
二、膜有关性能指标	(36)



第六节 膜结构与膜孔 .....	(42)
一、膜结构 .....	(42)
二、膜孔 .....	(44)
第七节 MBR 工艺运行的影响因素与膜污染控制 .....	(52)
一、影响 MBR 工艺运行效果的因素 .....	(52)
二、膜的污染因素 .....	(57)
三、膜污染的解决方法 .....	(66)
四、清洗案例 .....	(79)
第二章 膜元件与膜组件 .....	(85)
第一节 膜元件 .....	(85)
一、浸没式平板膜元件 .....	(86)
二、浸没式中空纤维膜元件 .....	(96)
第二节 膜组件 .....	(107)
一、浸没式平板膜组件 .....	(108)
二、中空纤维膜组件 .....	(114)
第三节 平板 MBR 与中空纤维 MBR 的比较 .....	(124)
一、特点 .....	(124)
二、应用比较 .....	(125)
第四节 膜组件的运行 .....	(126)
一、自动控制 .....	(126)
二、出水方式 .....	(127)
三、膜损监测 .....	(129)
第三章 工艺设计与运行 .....	(131)
第一节 工艺设计的基本要求 .....	(131)
一、设计需要解决的问题 .....	(131)
二、设计原则 .....	(131)
三、工艺设计需要考虑的因素 .....	(131)
四、工艺的选择 .....	(134)
五、MBR 工艺的应用 .....	(139)
第二节 工艺设计与运行要求 .....	(140)

一、污水量定额与变化系数 .....	(140)
二、预处理 .....	(142)
三、生化系统 .....	(144)
四、膜组件(器)的选取与设计 .....	(153)
五、膜池 .....	(156)
六、设计案例 .....	(160)
七、膜池配套工艺与设计 .....	(162)
八、膜系统配套设备案例 .....	(180)
第四章 MBR 工艺的应用 .....	(183)
第一节 分散式生活污水处理 .....	(183)
一、农村生活污水处理 .....	(183)
二、居民小区污水处理 .....	(186)
三、高速服务区污水处理 .....	(188)
第二节 MBR 工艺在大中型污水处理厂的应用 .....	(191)
一、城市污水处理厂尾水深度处理 .....	(191)
二、A <sup>2</sup> /O/膜过滤工艺案例 1 .....	(193)
三、A <sup>2</sup> /O/膜过滤工艺案例 2 .....	(198)
四、MUCT/膜过滤工艺案例 1 .....	(203)
五、MUCT/膜过滤工艺案例 2 .....	(208)
六、MUCT/膜过滤工艺案例 3 .....	(212)
七、Zenon 膜在国外城市污水处理厂的应用 .....	(217)
八、污水处理厂改造工程 .....	(218)
九、Zenon 膜在中水回用工程的应用 .....	(220)
第三节 工业废水 .....	(224)
一、啤酒生产废水 .....	(224)
二、难降解工业废水 .....	(226)
第四节 医院污水 .....	(235)
一、医院废水案例 1 .....	(236)
二、医院废水案例 2 .....	(238)
三、医院废水案例 3 .....	(239)

第五节 垃圾渗滤液 .....	(241)
一、渗滤液特点 .....	(241)
二、相关设计参数 .....	(242)
三、UASB/MBR/活性炭过滤工艺 .....	(242)
四、中温厌氧/MBR/NF 工艺 .....	(246)
五、MBR/NF/RO 工艺 .....	(246)
六、存在的问题 .....	(249)
第五章 MBR 膜主要生产商 .....	(253)
第一节 国外主要生产商 .....	(253)
一、通用电气公司(GE 公司) .....	(253)
二、久保田公司 .....	(254)
三、西门子公司 .....	(255)
四、旭化成公司 .....	(256)
五、三菱丽阳公司 .....	(256)
六、东丽公司 .....	(257)
七、凯发公司 .....	(259)
八、日本住友 .....	(260)
第二节 国内膜材料主要生产商 .....	(260)
一、天津膜天膜 .....	(260)
二、上海斯纳普 .....	(261)
三、碧水源 .....	(262)
四、浙大凯华膜 .....	(265)

# 第一章 膜生物反应器(MBR)概述

本章对膜生物反应器以下几个方面的内容进行了介绍：  
① 膜生物反应器类型与工艺；② 所用膜的分离机理、结构、有关性能指标；③ 制膜材料和制膜工艺；④ MBR 工艺运行的影响因素与膜污染控制。

## 第一节 膜生物反应器分类

膜生物反应器是利用相关设施将生化工艺和膜过滤工艺组合在一起，用来处理污水的装置系统。在装置中，主要利用生化技术降解和去除废水中的相关污染物，利用膜过滤工艺分离污水中的悬浮物等，以满足排水标准的要求。可以看出，一般所涉及的膜生物反应器主要由生化系统和膜过滤系统两部分组成。

中文久保田膜生物反应器设备在污水处理领域得到广泛的应用，在全世界范围内有着较大的影响力，其商业资料中提供的一种 MBR 系统模型示意图如图 1-1 所示，这种 MBR 系统模型在实际中已得到应用。

文献对膜生物反应器有多种分类方式，如按膜元件结构型式、膜组件的作用、系统是否需氧、膜的类型等。不同分类的膜生物反应器，其结构与用途有所不同。

### 一、按膜元件结构型式分类

膜元件是构成膜组件的要素，按膜元件结构型式的分类主要针对的是膜组件。

膜生物反应器中的膜过滤系统单元为膜组件，膜组件由多个膜元件组合而成。按膜元件结构型式分类，膜组件型式有中空纤维膜

组件、平板膜组件、管型组件及螺旋型组件等。目前污水处理工程应用较多的膜组件有中空纤维膜组件、平板膜组件、管型膜组件。

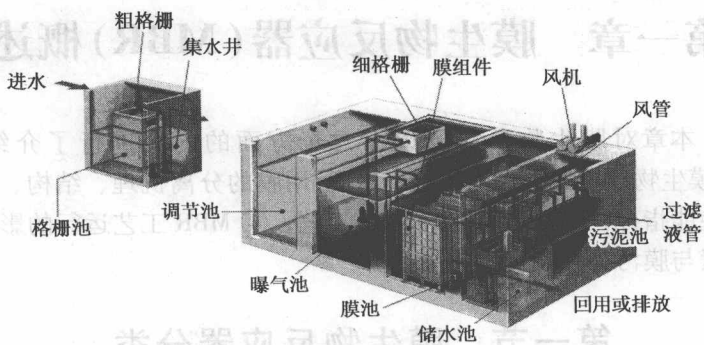


图 1-1 久保田膜生物反应器系统模型示意图

### (一) 中空纤维型膜组件

浸没式组件中，中空纤维膜组件应用比较广泛。膜组件所使用的中空纤维膜丝一般为不对称（非均向）、自身支撑的滤膜。膜丝可根据工艺和相关使用的要求设计成帘式、束式等形式。中空纤维膜的这些几何设计形式能使膜丝的填充密度最大化，增大处理能力，同时又结构紧凑，有利于长时间的稳定运行。相关中空纤维型膜元件以及组件产品见图 1-2。

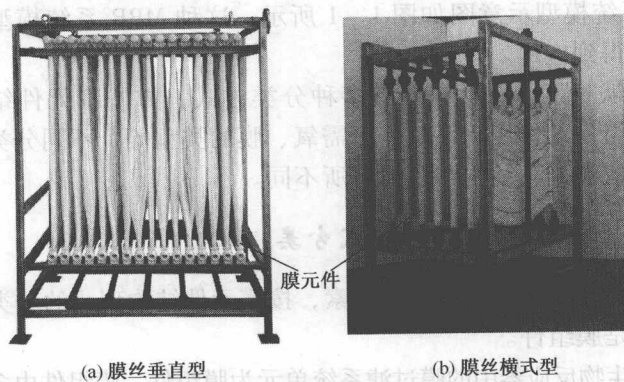


图 1-2 中空纤维型膜组件产品

## (二) 平板型膜组件

平板型膜元件主要由过滤膜片和支撑板构成。一定数量的平板型膜元件通过组合形成平板型膜组件。平板型膜元件及其组件产品见图 1-3。

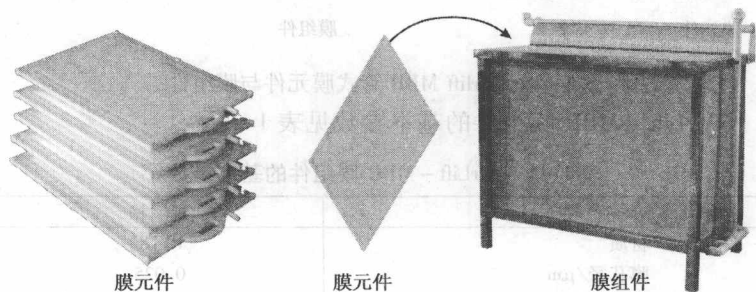


图 1-3 平板型膜元件以及组件产品

平板型膜组件在污水处理工程中也有广泛的应用，相对于中空纤维膜，平板膜的膜通量大，没有断丝问题，具有较强的抗污染性，不易结垢，膜清洗周期长，运行中无需反冲洗，能长期稳定地运行。但平板膜的填充密度一般不大，容积利用率较低，在大型项目的应用中，需要对膜组件的填充方式进行改进，提高膜组件的填充密度。

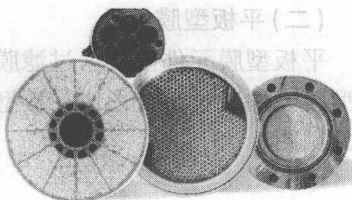
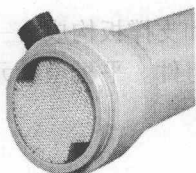
## (三) 管式膜组件

管式膜元件是把滤膜和支撑体均制成管状，使二者组合；或将滤膜直接刮制在支撑管的内侧或外侧。将数根膜管元件(直径 10~20mm)组装在一起构成管式膜组件。

管型膜有内压型和外压型两种运行方式，实际中多采用内压型，即进水从膜管中流入，渗透液从管外流出。外置式 Airlift MBR 管式膜与膜组件见图 1-4。



膜元件



膜组件

图 1-4 Airlift MBR 管式膜元件与膜组件

AirLift - MBR 膜组件的基本参数见表 1-1。

表 1-1 AirLift - MBR 膜组件的基本参数

项 目	规 格
材质	PVDF
膜孔径/ $\mu\text{m}$	0.025
膜管内径/mm	5.2
单支膜组件尺寸/mm	$\Phi 200 \times H3000$

管式膜优点是：料液可以控制湍流流动，不易堵塞，易清洗，压力损失小。缺点是：装填密度小，能耗大，管式膜一般用于小型分散式污水处理厂。

## 二、按膜组件的作用分类

膜生物反应器主要由生化系统和膜过滤系统两部分组成。根据膜组件在膜生物反应器中所起作用的不同，可将 MBR 分为无泡曝气膜生物反应器、萃取膜生物反应器、分离膜生物反应器三种。无泡曝气膜生物反应器采用透气性膜，对生物反应器进行无泡供氧；萃取膜生物反应器利用膜将有毒工业废水中的优先污染物萃取后对其进行单独的生化处理；分离膜生物反应器中的膜组件相当于传统生物处理系统中的二沉池，混合液在通过膜组件进行固液分离，将污泥截留在膜池中，透过水通过收集系统外排。

### 1. 曝气膜生物反应器

曝气生物反应器 (Membrane Aeration Biofilm Reactor)，简称为 AMBR，由中空纤维膜组件和需要处理的水、供气设备等组

成。曝气膜生物反应器示意图见图 1-5。

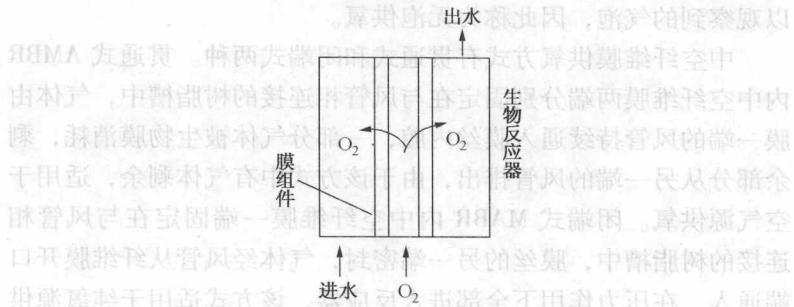


图 1-5 曝气膜生物反应器示意图

在曝气膜生物反应器中，生物膜所需氧气通过膜纤维束来供给和分配，中空纤维膜不仅起到供氧的作用，同时又是生物膜固着的载体。纯氧或空气通过中空纤维膜的微孔为固着的生物膜进行曝气供氧，而中空纤维膜外侧具有活性的生物膜与污水通过充分的接触，污水中所含的有机物被生物膜吸附和氧化降解，从而使污水得到净化。图 1-6 为曝气膜生物反应器处理污水原理示意图。

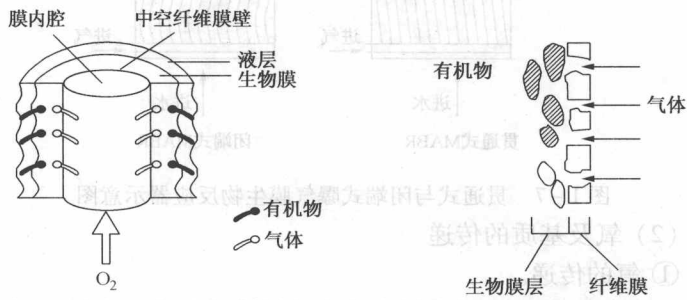


图 1-6 曝气膜生物反应器原理示意图

AMBR 主要适用于处理可生化性较高的污水，对高浓度废水处理效果良好，并可同时处理废水中的  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 。

(1) 供氧方式

曝气膜生物反应器所使用的纤维膜微孔直径在  $0.1 \sim$



0.5 $\mu\text{m}$ ，微孔直径小，气体通过纤维膜微孔后，产生的是肉眼难以观察到的气泡，因此称为无泡供氧。

中空纤维膜供氧方式有贯通式和闭端式两种。贯通式 AMBR 内中空纤维膜两端分别固定在与风管相连接的树脂槽中，气体由膜一端的风管持续通入膜丝内腔，一部分气体被生物膜消耗，剩余部分从另一端的风管排出，由于该方式中有气体剩余，适用于空气源供氧。闭端式 MABR 内中空纤维膜一端固定在与风管相连接的树脂槽中，膜丝的另一端密封，气体经风管从纤维膜开口端通入，在压力作用下全部进入反应器，该方式适用于纯氧源供氧；闭端式膜纤维束呈流化态，反应器不易堵塞。两种反应器结构如图 1-7 所示。

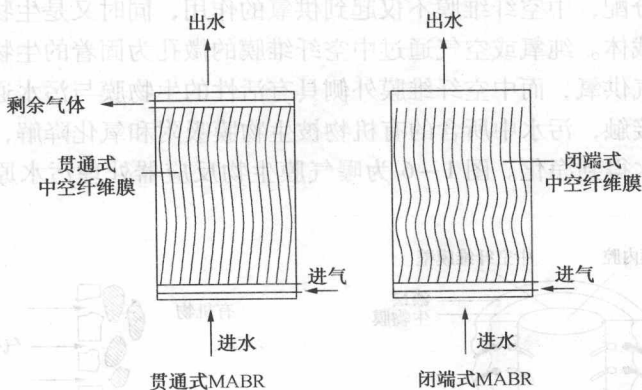


图 1-7 贯通式与闭端式曝气膜生物反应器示意图

## (2) 氧及基质的传递

### ① 氧的传递。

用于曝气膜生物反应器中的中空纤维膜具有疏水性和微孔性两个特征，因此在气体通过膜内腔时，膜壁上的微孔保持干燥并充满气体，并由这些微孔将气体传递到中空纤维膜外侧的生物膜内。在生物膜内，氧气和污染物基质在微生物的作用下被消耗，形成了溶解氧梯度，此梯度就是氧传递的推动力。氧的传递速率如式(1-1)所示。