

# MBR 在污水处理与回用工艺中的应用

张 军 吕伟娅

(南京建筑工程学院城建系, 南京 210009)

聂梅生

(建设部住宅产业化办公室, 北京 100835)

王宝贞

(哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

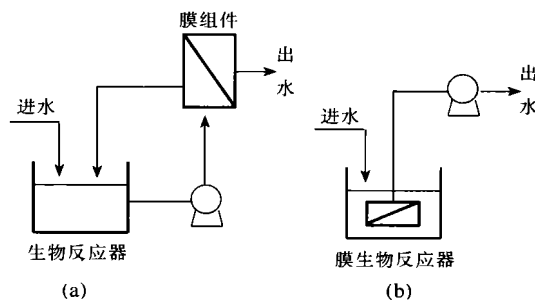
**摘要** MBR 是将生物处理与膜分离技术相结合而成的一种高效污水处理新工艺。国内外 MBR 工艺在城市污水处理、中水回用、高浓度生活污水处理以及垃圾渗滤液处理等方面的应用实践经验表明, MBR 工艺具有常规污水处理工艺无法比拟的优势, 其在污水处理与回用事业中的应用前景非常广阔。

**关键词** 膜生物反应器 MBR 污水处理 污水回用

## 1 MBR 工艺概述

膜生物反应器 (Membrane Bio-reactor, 简称 MBR) 是将生物降解作用与膜的高效分离技术结合而成的一种新型高效的污水处理与回用工艺。MBR 工艺一般由膜分离组件和生物反应器 2 部分组成。根据膜组件的设置位置不同, 分为分置式 (a) 和一体式 (b) 2 大类, 其工艺组成如附图。

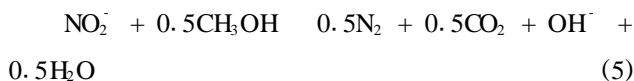
最先出现的是分置式 MBR, 生物反应器内的混合液经工艺泵增压后进入膜组件, 在压力作用下混合液中的水透过膜成为处理出水, 其余物质被膜截留并随浓缩液回流到反应器内。为了减缓膜污染和减少膜更换、清洗次数, 需将混合液用工艺泵以较高的流



附图 MBR 工艺组成示意图

速 (3 ~ 6m/s) 压入膜组件, 在膜表面形成错流冲刷。因此, 分置式 MBR 有时也称为错流式 (cross-flow) MBR。工艺循环泵的使用导致系统能耗的增加, 根据

SHARON 工艺和 ANAMMOX 工艺即使与节能的短程硝化 - 反硝化工艺相比 (见 4 式和 5 式), 也可减少供氧 50 %, 还不用投加碳源。



SHARON-ANAMMOX 工艺问世仅只几年时间, 目前只有荷兰的 Dokhaven 污水厂用之处理其泥区废水, 规模为 600m<sup>3</sup>/d, 还有 2 个使用此工艺的污水厂也正在筹建中。无论是宏观方面还是微观方面, 对它的研究均还不够深入。此工艺虽然尚不够成熟, 但因有可持续性, 故有良好的发展前景。

最后需要说明的是过去对于厌氧和缺氧过程的区别不严格, 常将缺氧归入厌氧范畴, 即只要没有溶

解氧存在即认为是厌氧。实际上将 ANAMMOX 称为 ANOXIC AMMONIUM OXIDATION 或缺氧氨氧化可能更为贴切。因为虽然没有溶解氧, 但有分子结合态氧 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 的存在。

## 参考文献

- 1 Mike S. M. Jetten, Towards a More Sustainable Municipal Wastewater Treatment System, Wat. Sci. Tech 1997. 5 (9) : 171 ~ 180.
- 2 C. Hellings, Model based Design of a Novel Process for Nitrogen Removal from Concentrated Flows, Mathematical and Computer Modelling of Dynamical systems, 1999. 5 (4) : 351 ~ 371.

第一作者 汪慧贞, 女, 1944 年生, 1966 年毕业于同济大学, 1981 年获硕士学位, 教授。主要从事水污染控制、污水除磷脱氮、生物处理数学模型的教学和科研工作。

膜的孔径不同,每  $1\text{m}^3$  出水的能耗为  $2 \sim 10\text{kW} \cdot \text{h}^{[1]}$ 。有研究者认为,在分置式 MBR 系统中,高膜面流速产生的高剪切力作用使污泥絮体的平均尺寸较小,有利于传质过程的进行。也有研究者认为高剪切力会破坏活性污泥絮体并会导致某些微生物菌种失去活性<sup>[2]</sup>,从而影响了 MBR 的生物处理效果。总体上讲,分置式 MBR 具有运行稳定可靠、易于操作管理、膜的清洗更换和增设容易等优点。

一体式 MBR 工艺是将膜组件直接安置在生物反应器中,通过工艺泵的负压抽吸作用得到膜过滤出水。由于膜浸没在反应器的混合液中,因此也称为浸没式 (Immersed) 或淹没式 (Submerged, 简称 SMBR)。一体式 MBR 常用的膜组件有平板膜和中空纤维超滤膜,主要靠空气和水流的扰动来减缓膜污染。为了有效地防止膜污染,有时在反应器内设置中空轴,通过中空轴的旋转使安装在轴上的膜也随之转动,形成错流过滤。同分置式相比,一体式 MBR 具有工艺简单和运行费用低的优点,出水工艺泵的能耗为  $0.2 \sim 0.4\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>,仅为分置式的 1/10。但一体式 MBR 在运行稳定性、操作管理和膜的清洗更换方面不及分置式。

## 2 MBR 工艺的应用

MBR 最先用于微生物发酵工业,在污水处理领域中的应用研究始于 60 年代的美国。进入 21 世纪,国内外对膜生物反应器的研究有了较大的进展,并逐渐进入中试和生产性应用研究阶段。MBR 工艺具有常规污水生化处理无法比拟的优势,因此在城市污水处理与回用、中水回用、生活污水以及高浓度工业废水等处理中得到了广泛的应用。

### 2.1 MBR 在城市污水处理中的应用

法国的 1 座  $900\text{m}^3/\text{d}$  的小型城市污水处理厂,采用传统的活性污泥法进行处理。由于出水水质不符合新的标准,该污水厂对原有工艺进行改造,采用 SMBR 工艺,以提高出水水质。将容积为  $320\text{m}^3$  的曝气池改为生物反应器,内置体积  $8\text{m}^3$  的膜组件,组成 SMBR 工艺。原来的贮泥池改为缺氧池进行脱氮,而二沉池改为剩余污泥池。改建后对  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和 TKN 的去除率分别为 96% 和 95%,粪便大肠菌降低了 6 个数量级,出水水质完全满足新标准的要求。

法国的另外 1 座  $450\text{m}^3/\text{d}$  的城市污水处理厂,将体积  $8\text{m}^3$  的膜组件置于二沉池中,改建成活性污泥-膜分离组合工艺,其余设备不动,在保持相同出水量

质的情况下,处理规模增大了 1 倍,为  $900\text{m}^3/\text{d}$ 。曝气池中的 MLSS 由原来的  $4\text{g/L}$  增加到  $15\text{g/L}$ , $\text{BOD}_5$  容积负荷由 0.3 增至  $0.6\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ , F/M 由 0.07 降至  $0.004\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。

### 2.2 MBR 在中水回用系统中的应用

开发中水系统的主要目的是将建筑生活污水进行适当的处理后,作为冲厕、洗车、空调冷却水和绿化等用水加以回用。由于受使用目的和城市建筑的限制,要求中水回用水的水质良好,不会产生卫生问题,感官性状佳,同时还要求处理流程简单、占地少、运行稳定、易于管理且适应性强。MBR 工艺具备了上述特点,因此 80 年代后在日本等国得到了广泛应用。日本某公司对 MBR 工艺的污水处理效果进行了全面研究,结果表明活性污泥-平板膜组合工艺不仅可以高效去除  $\text{BOD}_5$  和  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,且出水中不含细菌,可直接作为中水回用<sup>[3]</sup>,目前,日本已有近 100 处高楼的中水回用系统采用 MBR 处理工艺。表 1 为日本某大楼的活性污泥-平板膜 MBR 组合工艺的设计参数,表 2 列出了其处理效果。

表 1 日本的活性污泥-平板膜 MBR 组合工艺的设计参数

膜 分 离		曝 气 池	
膜材质	聚丙烯腈	MLSS/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	6000 ~ 10000
截留分子量	20000	HRT/h	1.5
操作压力/MPa	1.96 ~ 2.94	负荷/ $\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$	0.2 ~ 0.3
膜面流速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2 ~ 2.5	$\text{BOD}_5$ 去除率 %	95 ~ 99

表 2 日本的活性污泥-平板膜 MBR 组合工艺的处理效果

项目	原水	出水	项目	原水	出水
$\text{COD}_{\text{Mn}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	130 ~ 250	10 ~ 14	SS/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	81 ~ 310	未检出
$\text{BOD}_5/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	330 ~ 710	1 ~ 5	色度/度	24 ~ 48	3 ~ 8
TN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	43.2	6.9	MBAS/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	5.1 ~ 9.1	0.6 ~ 0.8
TP/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	3.3	0.6	大肠杆菌数/个 $\text{mL}^{-1}$	-	未检出

### 2.3 MBR 在高浓度生活污水处理中的应用

日本采用 MBR 工艺进行粪便污水处理已有十几年的历史。粪便污水中有机物含量很高, $\text{BOD}_5$  常达  $10\,000\text{mg/L}$ ,采用常规生化处理必须先将污水进行稀释。MBR 工艺使粪便污水不经稀释直接进行处理成为可能,并取得了前所未有的处理效果。日本开发了各种应用膜分离技术的粪便污水处理工艺,其核心是超滤膜组件与高浓度的活性污泥法组合的 MBR 技

术。如日本山梨县处理规模为  $40\text{m}^3/\text{d}$  的 MBR 粪便污水处理厂,于 1989 年元月开始投产运行。该厂的主要处理流程为:活性污泥 膜分离组合工艺 混凝 膜分离组合工艺 活性炭吸附 出水。第一段膜每隔 1~2 个月用  $200\text{mg/L}$  的次氯酸钠冲洗 1 次,第二段膜每隔 2 周用  $500\text{mg/L}$  的溴酸冲洗 1 次。膜装置已运行 2a 没有换膜,表 3 为所用膜组件及操作条件。表 4 为其实际运行效果。目前,MBR 粪便污水处理工艺已在日本等国得到了广泛应用。

表 3 日本某 MBR 污水厂所用膜组件及操作条件

项目	第一段膜	第二段膜
膜型	内压管式	内压管式
膜材质	聚烯	聚砜
截留分子量	20000	100000
组件个数/个	24	12
膜面积/ $\text{m}^2$	55.2	27.6
膜面流速/ $\text{m s}^{-1}$	3.0	1.5
入口压力/Pa	402072.65	78453.2
出口压力/Pa	78453.2	19613.3
温度/	29~39	26~37
SS/ $\text{kg m}^{-3}$	19~26	5~8

表 4 日本某 MBR 污水厂的运行效果

处理流程	pH	BOD <sub>5</sub> / $\text{mg L}^{-1}$	COD <sub>Mn</sub> / $\text{mg L}^{-1}$	SS/ $\text{mg L}^{-1}$	TN/ $\text{mg L}^{-1}$	TP/ $\text{mg L}^{-1}$	Cl/ $\text{mg L}^{-1}$	色度/ 度
预处理出水	7.7	5300	4700	6700	2500	220	1900	-
第一段膜滤过水	7.1	2.6	330	<2	29	0.5	1400	-
第二段膜滤过水	4.6	<1	67	<2	13	0.1	2000	-
活性炭处理水	5.0	<1	<1	<1	3.8	0.1	1800	<1

## 2.4 MBR 在其它废水处理中的应用

MBR 在处理垃圾渗滤液和其它高浓度有机废水方面已有一些应用实例。南非的 Ross 等人利用膜厌氧生物反应器对玉米加工废水进行了 15 个月的生产性试验,结果表明  $\text{COD}_G$  的去除率达 97 %<sup>[4]</sup>。Li 等在 35 条件下进行了膜厌氧生物反应器处理  $\text{COD}_G$  浓度高达  $25\,000 \sim 60\,000\text{mg/L}$  的奶酪废水的生产性试验, $\text{COD}_G$  的去除率达 95 %~99 %<sup>[5]</sup>。

日本通产省的“Aqua Renaissance 90”大型 MBR 污水再生利用项目规划<sup>[6]</sup>,耗资 118 亿日元,历时 6a,于

1990 年底完成。该项目规划的主要内容是开发高效节能的厌氧 MBR 工艺。1987 年开始对酒精发酵废水、淀粉加工废水、油脂废水、蛋白工厂废水、大规模城市污水、规模城市污水及粪便污水等 7 种废水进行了小试研究,1988 年进行了中间评价,随后进行了处理规模为  $240\text{m}^3/\text{d}$  的低浓度有机废水和  $50\text{m}^3/\text{d}$  的高浓度有机废水的生产性试验。

## 3 结语

膜分离使污水中的大分子难降解成分在体积有限的生物反应器内有足够的停留时间,从而达到较高的去除效果。高生物量浓度使 MBR 工艺能以紧凑的系统获得较高的有机物去除率。膜生物反应器(MBR)有效克服了与污泥沉降性能有关的限制,并起到了取代二沉池的作用,同时还能达到澄清和除菌的目的。对于已建成的污水处理厂,若改用 MBR 工艺,在不增加反应器容积的情况下,可使处理水量大大提高。MBR 工艺具有出水水质优、占地少、易于实现自动控制等许多常规工艺无法比拟的优势,其在污水处理与回用事业中所起的作用也越来越大,并具有非常广阔的应用前景。

## 参考文献

- 1 Côté P. et al. Immersed membranes activated sludge process applied to the treatment of municipal wastewater. Wat Sci Tech. 1998. 38 (4/5):437~442.
- 2 Seyfield C F. and Brockman M F. Membranes in wastewater treatment biological aspect of the separation of biomass with a microfiltration unit. Toronto, Ontario, Canada. New and Emerging Environmental Technologies and Products for Wastewater Treatment and Stormwater Collection, 1995. 5: 4~7.
- 3 黄霞等,膜生物反应器废水处理工艺的研究进展. 环境科学研究, 1998. 11 (1):40~44.
- 4 Ross W R. et al. Practical application of the ADUF process to the full-scale. treatment of a maize-processing effluent Wat Sci Tech. 1992. 25 (10):27~39.
- 5 Li A Y. and Corrado J. Proc Ind Waste Conf. 1985. 40:399.
- 6 Kimura S. Japan's Aqua Renaissance '90 Project. Wat Sci Tech. 1991. 23(9):1573~1582.

第一作者 张军,女,1967 年 5 月生。2000 年 6 月毕业于哈尔滨工业大学市政环境工程学院,工学博士,现在南京建筑工程学院城建系从事水污染控制与污水资源化等领域的教学和研究工作。

A NEW PROCESS OF DENITRIFICATION BY SHARON-ANAMMOX ..... Wang Huizhen *et al* ( 7 )

**Abstract** A new process of denitrification by single reactor for high ammonium removal over nitrite-anaerobic ammonium oxidation (SHARON-ANAMMOX) is introduced in this paper. The mechanism ,environmental demands and sustainable significance of the process are also analysed.

**Key words** nitrogen removal over nitrite ,anaerobic ammonium oxidation and denitrification

## PRACTICAL APPLICATION OF MBR IN WASTEWATER TREATMENT AND REUSE .....

..... Zhang Jun *et al* ( 9 )

**Abstract** The membrane bioreactor is a new efficient wastewater treatment technology developed recently which combined biological treatment with membrane separation processes. Practical applications of MBR in municipal wastewater treatment ,building domestic wastewater reuse ,high concentration domestic wastewater treatment ,and the treatment of solid waste landfill leachate both at home and abroad were introduced in this paper. It was proved by many practical experiences that MBR process possesses many advantages that the conventional method cannot match. MBR process has a broad application prospect for wastewater treatment and reuse.

**Key words** membrane bioreactor ,MBR ,wastewater treatment and wastewater reuse

## STUDY ON KINETICS MODEL OF SINGLE-STAGE BIOLOGICAL DENITRIFICATION WITH IMMOBILIZED CELLS .....

Cao Guomin *et al* (12)

**Abstract** The nitrifying bacteria and denitrifying bacteria were immobilized with polyvinyl alcohol (PVA) by iterative freezing and thawing. The kinetic model of single-stage biological denitrification by immobilized cells in a bubble-column bioreactor was studied. The results showed that the effect of internal diffusion on the overall rate could be neglected ,and the limiting rate process was chemical reaction. The reaction kinetics of immobilized cells could be expressed as Monod equation and its kinetics constants , $k_s$  and  $v_{max}$  ,were 303.0mg/L and 0.096mg/(L ·s) respectively. A good agreement was observed between the predicted denitrification rate and the experimental one.

**Key words** bionitrification ,immobilized cell and kinetics model

## TREATMENT OF WASTEWATER OF PRINTING INK AND ADHESIVE BY COAGULATIVE FLOATATION-MICROELECTROLYSIS-SBR PROCESS .....

Liu Lin *et al* (16)

**Abstract** An engineering example of treating the wastewater of printing ink and adhesive from the production of paperboard box by coagulative floatation-microelectrolysis-SBR process is introduced in this paper. The wastewater treated with this process can meet the first-order of the national discharge standard. The process features less land occupation ,good effectiveness ,reliable and stable runnings etc.

**Key words** wastewater of printing ink and adhesive ,coagulative floatation ,microelectrolysis and SBR

STUDY ON ELECTROLYSIS BATH OF ACTIVATED CARBON FIXED-BED ... Cao Jinghua *et al* (18)

**Abstract** The electrolysis bath of activated carbon fixed-bed for wastewater treatment is developed based on the analysis of all the factors affecting electrolysis bath performance. The electrolysis bath of the activated carbon fixed-bed is also compared with conventional electrolysis baths in energy consumption ,taking phenol wastewater as substrate. The results show that the electrolysis bath of the activated carbon fixed-bed can save 30 % ~ 40 % of energy under the same dephenolizing