

专论与综述

水与废水处理中的膜生物反应器技术

樊耀波 王菊思

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要 介绍了膜生物反应器的概念及其用于给水和废水处理的研究发展过程。膜生物反应器包括一体式系统、分离式系统和隔离式系统, 并给出 8 例用于给水和废水处理的膜生物反应器的技术参数及水处理效果数据等。生物反应器其膜单元有超滤膜、微滤膜和萃取膜, 用于脱氮、去除有机物及重点有毒物质的降解等。膜生物反应器的去除效率较高, 有些 COD 去除效率达 80%—90%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效率达 98%, 膜生物反应器的出水浊度低, 处理出水宜于回用。

关键词 生物反应器, 膜技术, 水处理。

1 发展概况

膜生物反应器是由膜分离技术与生物反应器相结合的生物化学反应系统。用于水处理的膜生物反应器是一种新型水处理技术。

膜生物反应器最早出现在酶制剂工业中。Blatt 等在 1965 年提出了用膜分离技术进行微生物浓缩^[1]。1968 年 Wang 等成功地运用膜生物反应器制取酶制剂^[2]。从那以后膜生物反应器在酶制剂工业中应用研究不断发展, 现已形成工业化生产规模。在我国无锡酶制剂厂, 1984 年开始使用膜生物反应器技术制取糖化酶^[3]。

在水处理中应用膜生物反应器技术稍晚于酶制剂工业。在水处理中应用膜生物反应器可以追溯到 1969 年美国 Dorr-Oliver Inc. 用超滤膜与活性污泥法生物反应器相结合处理生活污水的研究^[4-6]。1972 年 Shelf 等人开始了厌氧型的膜生物反应器的研究工作^[4]。但直到 1985 年膜生物反应器的研究基本处在基础研究阶段。

进入 80 年代中后期膜生物反应的研究工作有了较快的进展。自 1983 年到 1987 年在日本已有 13 家公司使用好氧膜生物反应器处理大楼废水, 经处理后的水做中水回用, 处理水量每天达 50—250 m^3 ^[7]。日本 1985 年开始的“水综合再生利用系统 90 年代计划”把膜生物反应器的研究在污水处理对象及处理规模上都向前大大推进一步。日本在该项计划中对厌氧膜生物反应器作了较系统的研究。在该项计划中研制了处理 7 类污水的膜生物反应器系统。包括: 酒精发酵废水处理系统 ($5\text{m}^3/\text{d}$), 造纸厂废水处理系统 ($10\text{m}^3/\text{d}$), 淀粉工厂废水处理系统 ($5\text{m}^3/\text{d}$), 油脂、蛋白工厂废水处理系统 ($7.5\text{m}^3/\text{d}$), 小规模城市污水处理系统 ($10\text{m}^3/\text{d}$), 大规

模城市污水处理系统 ($20\text{m}^3/\text{d}$), 尿尿处理系统 ($0.5\text{m}^3/\text{d}$)^[8-10]。

1992 年法国 Chang J. 等人开展了饮用水除氮的膜生物反应器研究^[11]。1993 年该研究达到实验室扩大试验规模 ($200\text{—}400\text{L/h}$)^[12]。1988 年 Yamamoto 等人进行了中空纤维膜一体式膜生物反应器(小试规模)的研究^[4]。1990 年在泰国 Chiemchaisri 等人进行了同类型膜生物反应器中试规模的研究^[4]。1993 年 Kh. Krauth(德国)等进行有压活性污泥法反应器与超滤膜构成的膜生物反应器研究^[13]。1992 年 Yuichi Suwa 等人进行了活性污泥加微滤膜生物反应器的脱氮研究^[14]。在污水处理对象与重点污染物降解方面, 膜生物反应器涉及范围不断拓宽。1991 年 Tonelli 等研制了处理汽车制造厂含油污水的膜生物反应器系统^[15]。Aya Hidenori 等人进行厌氧膜生物反应器去除磷酸盐的研究^[16]。1992 年 A. D. Baley(加拿大)等用微滤膜活性污泥膜生物反应器在 TSS(活性泥) $0.95\text{—}19.47\text{g/L}$ 范围内进行 COD 降解效果的研究^[17]。同年, 美国 Rakagoplan Vendatadri 等用中空纤维膜生物反应器进行有毒化合物降解研究。在此研究中, 采用白腐真菌胞外酶木素过氧化物作为有毒化合物降解的催化剂并研究其活性。结果表明该技术成果很有希望应用于有毒废水的处理中^[18]。1993 年英国 P. R. Brookes 采用选择性高分子憎水硅橡胶膜制成膜生物反应器——萃取膜生物反应器^[19]。膜生物反应器的实际应用已不乏实例。除前面提到的日本国中试规模中水回用与厌氧中试规模的膜生物反应器系统外, 美国在 Mansfield, Ohio 建造了一套处理规模为 $151\text{m}^3/\text{d}$ 某汽车制造厂工业废水处理的膜生物反应器系统^[20]。

收稿日期: 1995-01-11

目前,在我国用于水处理的膜生物反应器研究工作尚未见报导。中国科学院生态环境研究中心自 1993 年起开始膜生物反应器的研究工作,已有阶段性进展。

2 膜生物反应器主要类型

膜生物反应器分类以生物反应器与膜单元结合方式来划分,可分为一体式、分离式和隔离式 3 大类。

2.1 一体式系统

一体式膜生物反应器是将膜组件浸没在生物反应器中。微生物在生物池中好氧降解有机物,水通过负压抽吸从膜单元外表进入中空纤维引出反应器。见图 1。

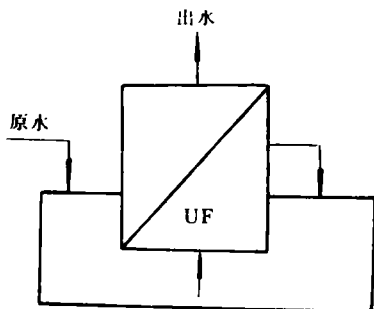


图 1 一体式膜生物反应器示意图

一体式的膜生物反应器具有体积小、整体性强、工作压力小、无水循环、节能、不堵塞膜纤维中心孔等优点。同时也存在膜面流速小易污染、出水不连续等问题。因膜表面易长生物膜,该系统有接触氧化的性质。

2.2 分离式系统

分离式膜生物反应器是由相对独立的生物反应器与膜单元通过泵与管线连接构成。各种生物反应器与适当膜单元均可构成一种分离式膜生物反应器。见图 2。这种系统因生物反应器与膜单元相对独立而相互干扰小。目前所见的实用规模膜生物反应器系统均属分离式系统。分离式系统又可分厌氧型和好氧型 2 种。

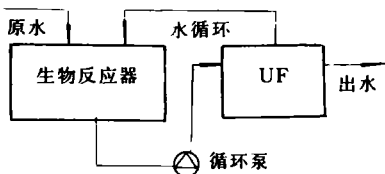


图 2 分离式膜生物反应器示意图

2.3 隔离式系统

隔离式系统采用选择性膜将污水与生物反应器隔开,该膜只容许目标污染物透过,进入生物反应器被降解。而各种对微生物有害的物理、化学条件不影响生物

反应器一侧,见图 3。

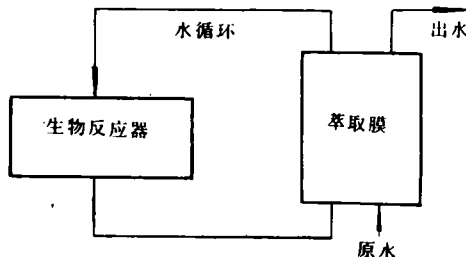


图 3 隔离式膜生物反应器示意图

3 主要技术参数、特点及水处理效果

膜生物反应器的技术参数涉及生物反应器与膜单元 2 部分。就生物反应器部分,有温度, pH, 水力停留时间(HRT), 悬浮物停留时间 S(SRT)或污泥停留时间(SRT), 污泥量(MLSS)和污泥负荷等, 这些与一般生物反应器应控制的参数基本一样。就膜单元来说,有膜材料、膜孔径和膜结构的选择,操作压力、膜面流速、透水率、反清洗时间和反洗周期等操作参数。当生物反应器与膜单元组合成膜生物反应器系统后,这些参数以及处理效果就达到了单一技术所达不到的水平。例如,单一生物反应器中的 SRT 与 HRT 是很难达到分别控制的,而在膜生物反应器系统,可以实现很短的 HRT 而同时又很长的 SRT,这样就使废水中那些大分子颗粒状难降解的成分在有限体积的生物反应器中有足够的停留时间,而达到最终有较高去除效果的目的,这是膜生物反应器最突出优点之一。其二,由于生物反应器后面有了膜分离作为固液分离技术,因而使生物反应器中可以有比普通生物反应器中高得多的活性污泥量,如表 1 中所列,有的 MLSS 接近 28.7 g/L,这是使膜生物反应器比普通生物技术有更高的处理效果的重要原因之一。其三,可溶性大分子化合物需要较长的降解时间,在单独的生物反应器中,它们很容易随出水一起排出,影响出水水质,而在膜生物反应器系统,这些大分子化合物也可以被膜截留下来与污泥或悬浮物一起返回生物反应器,使这些化合物在生物反应器中的停留时间变长,有利于对这些化合物的降解,提高了最终的处理效果。膜的高效率截留作用使出水悬浮物少是膜生物反应器又一基本特征。从表 1 可以看到,膜生物反应器的除氮、除有机物和去除悬浮物效率都很高,一般在 95% 以上。隔离式萃取膜反应器系统去除硝基苯达 99%, 去除 3-氯硝基苯达 98%。该系统在污水 pH 为 1.0 的条件下也未影响生物反应器一侧的微生物生长,并能取得良好降解效果^[19]。

表 1 膜生物反应器技术参数及处理效果

系统类型	好氧 分离式 ^[12]	好氧有压 分离式 ^[13]	好氧负压 分离式 ^[14]	好氧 一体式 ^[4]	好氧 一体式 ^[4]	厌氧 分离式 ^[9]	好氧 分离式 ^[20]	好氧 隔离式 ^[19]
系统功能	饮用水除氮	污水处理	污水处理	污水处理	污水处理	淀粉厂 污水处理	含油 污水处理	去除 有毒物
温度(℃)	45	31.5	20.0			37	23—40	30
pH	4.5—8.5	>6.5	7.0			5.3		6.5
HRT(h)	0.5—1.0	5.8		1—6	24	19	21.6	0.5
SRT 或 SSRT(h)		139.2	54—4200			10080	744	
MLSS 或 SS (g/L)	1.8—2.1	10.9		10—12		15	28.7	
污泥负荷 kg/(m ³ ·d)	2.8	5.4	0.44	1.0		22	3.0—6.3	
膜类型	UF	UF	MF	MF	UF	MF	UF	萃取膜
膜孔径(μm)	0.01	0.04	0.1	0.1	0.03	0.2		
膜结构	中空纤维	管式		中空纤维	中空纤维	中空纤维		平板
膜材料	CA	PSF	PS			PE		硅橡胶
膜面流速 (m/s)	<2.0	5.0—7.0						
透水率 [L/(h· m ² ·bar)]	100—160	56—262	10	16—100	110	4.2	63.6	
工作压力 (bar)	<2.5	1—5	<1.0	0.1	0.1—0.5	2.0		
去除率(%)	NH ₃ -N: 98.0	TOC:97	TKN:	COD:	COD:	BOD ₅ :99	COD:94	TOC:85 NB:98
	TOC: 96.0	NO ₃ -N: 100	>95	>90.0	80—95.0	SS: 97		3CNB: 98

4 结 语

随着水资源短缺及水污染日趋严重,膜生物反应器作为一种水污染控制与水回用的高新技术而受到越来越多的重视。有人推测随着膜技术的发展,膜材料价格的下降,在本世纪内膜的应用将会有有一个大的发展。并在价格上将能与常规水处理技术相比^[4]。

膜生物反应器是有前途的水处理技术,其具有适应性强、降解效率高、HRT 与 SRT 可分别控制、除病菌和易于商品化等优点。

膜生物反应器技术尚存在一些需改进的问题,如膜的污染、膜的物化稳定性、工业化可行性和造价问题等。

参 考 文 献

- Blatt W F et al. Science. 1965, 150: 244
- Wang D I C et al. Anal. Biochem. 1968, 26(2): 277
- 程鹏, 朱彬华. 水处理技术. 1993, 19(1): 11
- Vigneswaran S, Vigneswaran B and Roger Ben Aim. Environmental Sanitation Reviews. 1991, 31: 104—129, 171
- Budd, Willian E and Okey, Robert W. Biological Treatment of Waste Water and Industrial Wastes. U. S. patent, 3, 472, 765 to Dorr-Oliver Incorporated, 1969; 1
- Belag Lipat. Environmental Engineers' Handbook vol. 1. Radnor: Chilton Book Company. 1975: 1105
- 刘福谅, 韩式荆. 环境化学. 1993, 12(6): 496
- 岑运华. 环境科学研究. 1990, 3(2): 50
- 岑运华. 水处理技术. 1991, 17(5): 319
- アクアルネサンス技术研究组合. 东京: 通商产业调查会, 平成 3 年(1992): 243—334
- Chang J et al. J. of Membrane Science. 1993, 80: 233
- Chang J, Erb M and J Manem. Interfiltra Euromembrane Conference. Paris, 1992
- Krauth K et al. Water Research. 1993, 27(3): 405
- Suwa Y et al. Water Research. 1992, 26(9): 1149
- Tonelli et al. PCT Int, WO 93-07, 092(CI. C02F1/44), 1993
- Hidenori Aya, Yoneyama, Yutaka (Ebara Infil Co). Jpn. Kokai Tokkyo Koho, JP 05104, 090(93, 104, 090) (CI. C02F3/30), 1993
- Baley A D et al. Water Research. 1993, 28(2): 297
- Rajagopalan Venkatadri and Robert L Irvine. Water Research. 1993, 27(4): 591
- Brookes P R et al. Water Research. 1993, 28(6): 1347
- Knoblock M D et al. Water Environ. Res. 1993, 66: 133

also measured, and the total levels of amines in the cheese were also measured, and the total levels of amines in the cheese were about $1.34 \times 10^5 \mu\text{g/kg}$. Based on the daily diet and drinking a person, the theoretical calculation was made for the relative yield of endogenously synthesized nitrosamines in human body in different areas.

Key words: endogenous synthesis, nitrosamine, gastric cancer etiology.

Temporal and Spatial Patterns of Environmental Risk Events in the Past 30 Years in Shenyang City. Bi Jun (Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101), Wang Huadong (Institute of Environ. Sciences, Beijing Normal Univ., Beijing 100875): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 72–75

The index of "risk frequency" and other relative indices are used to analyze the temporal and spatial patterns of environmental risk events in the past 30 years in Shenyang city. The results show that there existed an extremely significant variation in the risk frequency during the periods of 1966–1977 and 1978–1979 ($t = -7.353$, $t_{0.01} = 2.807$). During the past 30 years, there was no significant variation in the spatial patterns of the environmental risk, while the distribution of environmental risk among the districts was extremely different. In Shenyang city, there existed a series of high-risk enterprises, and the chemical industry was of the highest risk.

Key words: Shenyang, environmental risk, temporal and spatial patterns, risk frequency.

Assessment on the Comprehensive Urban Environmental Quality Based on a Matter Element Analysis. Li Zuoyong (Dept. of Atmospheric Electronics Eng., Chengdu Institute of Meteorology, Chengdu 610041): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 76–78

In order to study the possibility of the use of a matter element analysis in the assessment on comprehensive urban environmental quality, an assessment model for the comprehensive urban environmental quality was developed by calculating the comprehensive cognate degree between the environment and each assessment class. The results from exemplified application to 16 cities in Sichuan show that it was rational and practicable to assess the comprehensive urban environment quality by using a matter element analysis.

Key words: matter element analysis, cognate function, environmental quality assessment.

Membrane Bio-reactor Technology for the Treatment of Water and Wastewater. Fan Yaopo and Wang Jusi (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 79–81

A review was made on the concept, categories and characteristics of membrane bioreactors and the advances in their R & D for use in the treatment of water and wastewater. The bioreactors, including the immersed hollow fiber membrane bioreactors, the crossflow filtration membrane bioreactors and the extractive membrane bioreactors, were described by giving eight examples of membrane bioreactors for the treatment of water and wastewater, and their respective technical parameters and treatment efficiencies. All of these membrane bioreactors used an activated sludge process in their bioreactors and were equipped with an ultrafiltration membrane, a microfiltration membrane or an extractive membrane in their membrane units. They have been developed for the purposes of nitrogen removal, organic pollutants removal, or degradation of priority toxic substances. The membrane bioreactors had higher removal efficiencies, for example, a COD removal of up to 80%–90% and a $\text{NH}_3\text{-N}$ removal of over 98%. There was a lower turbidity in their effluents which are thus suitable for reuse. It was pointed out that more and more attention has been paid in many countries to the membrane bioreactor as technology for recycling or reusing wastewater as a secondary resource.

Key words: bioreactor, membrane technology, water treatment, wastewater treatment.

Study on Metals Behavior in Marine Salt Marsh Environments. Fan Zhijie et al. (Institute of Marine Environ. Protection, SOA, Dalian 116023): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(5), 1995, pp. 82–86

The behaviors of metals and their affecting chemical/physical factors, including salt marsh area classifications, metal mobility, and the relationship between salt marsh plants and metals in the marine salt marsh environments, have been discussed in some details. The study has also shown that some salt plants in an early growth stage may be damaged by higher concentration of metals. Those plants can therefore be used as biomonitor for the environmental condition.

Key words: marine salt marsh, salt marsh plant, metal contamination, bioindicator.