

膜技术与生物过程组合工艺在废水处理中的应用

10
33-35

同济大学环境工程学院

李红兵 顾国维

7703

摘 要 膜技术是本世纪五十年代发展起来的一门高技术边缘学科,生物过程废水处理技术针对各种工艺建立了相应的运行条件。膜技术与生物工艺的结合改变了传统生物处理工艺的运行机制,向更优质、高效的方向迈进了一步。

关键词 膜技术 生物处理 组合工艺

废水处理

一、概述

在废水处理中,人们最早将膜技术应用于废水的三级处理或直接利用微滤或超滤膜对大分子的阻隔作用处理某些工业废水。在美国较早地进行过以反渗透作为三级处理手段将城市污水经深度处理回用于工业的研究。在日本的东京、北九州、大阪等许多地区的中水回用处理装置均采用了反渗透技术。国内也有很多利用微滤或超滤膜直接处理采油、制药、食品加工、颜料等行业废水的报道。英国的 Hardt 等人的研究揭开了膜技术与生物处理工艺相结合的序幕,他将超滤膜与活性污泥法结合并用超滤代替传统活性污泥法中的二次沉淀池进行泥水分离。此后,膜技术与生物接触氧化、SBR、加压生物处理等结合的新工艺不断出现。总结国外、国内的研究成果,现阶段膜技术应用于生物处理主要有两种功能:一是起到泥水分离的作用,二是起到氧气传递的作用。

二、组合工艺的发展概况

1. 膜作为泥水分离的手段

膜作为泥水分离的手段代替二沉池与活性污泥过程组合的工艺流程为膜生物反应器(MB)。此处所用膜一般为超滤膜。超滤膜的应用改变了传统活性污泥法的运行机制,突破了活性污泥法中污泥沉降性能和污泥浓度等限制因素。超滤膜的高效分离作用可提供

高浓度的回流活性污泥,从而大大提高曝气池的活性污泥浓度,使基质降解速度提高、程度加大;超滤膜的分离方式避免污泥膨胀对传统活性污泥法的影响,并有可能充分利用丝状菌的高效生物降解作用;超滤膜的阻隔作用防止了硝化细菌的流失,大大提高了工艺的脱氮效果。膜生物反应器在操作管理、占地面积、抗冲击性能等方面均较传统活性污泥法为优,同时出水水质有了明显改善。

①膜生物反应器的运行条件

由于高效的超滤膜分离装置可以提供高浓度的回流活性污泥,因此可有效地提高曝气池的 MLSS 浓度,提高曝气池内有机质降解效率。与传统活性污泥法相比,传统活性污泥法曝气池内污泥浓度一般在 2000~3000mg/L,而在膜生物反应器中,活性污泥浓度却可高达 10~15g/L,这是传统活性污泥法无法实现的。同时,膜生物反应器的体积负荷有了很大提高,传统活性污泥法的体积负荷分高负荷、中负荷、低负荷三种,负荷分别为 $< 0.4 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3/\text{d}$ 、 $0.4 \sim 0.8 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3/\text{d}$ 、 $> 0.8 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3/\text{d}$,而在膜生物反应器中,体积负荷可远大于 $1 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3/\text{d}$ 。国内外膜生物反应器运行条件如下:

②膜生物反应器对 COD、BOD₅ 的去除效果

在活性污泥过程中,生化反应速率与活

表1 国内外膜生物反应器运行条件

研究者	MLSS (mg/L)	有机负荷 (kg/kgMLSS/d)		容积负荷 (kg/m ³ /d)		停留 时间 (h)
		COD	BOD ₅	COD	BOD ₅	
野木	2000~15000		0.4~1.2			
益本				4		7~9
山本	6000~23000					4~7
山本	4000~24000					
保田雄二	~15000		0.09~0.15			
黄霞	12000~17000	0.17~0.7		1.93~10.5		4.0~2.5
Hardt	25000					
Lubbecke	6~40g/L		0.15~1.5		8~50	7.6~24
Krauch	20000				5.4	

性污泥浓度成正比,膜生物反应器由于具有较高的活性污泥浓度,因而具有较高的生化反应速度。同时,膜生物反应器中具有较传统活性污泥法为低的污泥负荷,因此又有利于生化反应进行的程度。上述因素决定了膜生物反应器中生化反应进行得更彻底,因而具有较高的COD、BOD₅去除效率。超滤膜的高效分离作用远远优于二沉池,且超滤膜还可截留水中一部分溶解性大分子有机物,因此膜生物反应器具有大大好于传统活性污泥法的去除效果。国内外研究结果如下表。

③膜生物反应器对于NH₃-N的去除

清华大学黄霞等人的研究结果表明,膜生物反应器对于NH₃-N也有较好的去除效果。其原水NH₃-N浓度平均为20mg/L,处理出水NH₃-N浓度可保持在1.4mg/L,

表2 膜生物反应器对COD、BOD₅的去除效果

研究者	进水水质(mg/L)		去除效率(%)	
	COD	BOD ₅	COD	BOD ₅
Lubbecke		10500		99.8
黄霞	369		97.1	
	322		98.5	
	500		98.9	
	1170		99.9	
Hardt	23000		>97	
野木				99
山本	250		93~95	

NH₃-N去除效率高达93%。而传统活性污泥法对于NH₃-N的去除效率只有30%左右。对NH₃-N的氧化作用主要由硝化细菌完成,硝化细菌的世代时间较长,而传统的活性污泥法中泥龄不够长,硝化细菌很难维持到较高浓度,因此对NH₃-N的去除效果有限。而在膜生物反应器中,硝化细菌可全部被超滤膜所截留,不随处理后出水流失,因此可以在曝气池内积累到相当高的浓度,从而实现对NH₃-N的良好去除效果。

④超滤膜的分离特性

在工业化生产过程中,超滤膜的透过能力是决定膜生物反应器可行性的重要因素。从理论上讲,在操作压力为0.1~0.6MPa,温度为60℃以下时,超滤透过通量应在100~500L/m²/h为宜,实际中它要小得多,一般在1~100L/m²/h范围内。影响超滤透过通量的原因除膜本身孔径大小所决定的特有透过性能外主要有操作压力和透过阻力(浓差极化在膜表面上形成的边界层或凝胶层使流体阻力增加),透过阻力是料液流速(膜面循环流速)、活性污泥浓度、操作温度的综合表现值。对不同的实际应用过程,由于膜的材质、孔径以及分离液的浓度、性质各异,每一影响因素的最佳运行条件不同,但各因素对膜透过通量均有其特定的影响规律。

2. 与生物膜法的结合——作为氧气传递的中介

在生物膜反应器中,微生物聚集于载体表面通过其代谢作用达到对废水中有机物的去除功能。因其对水质的广泛适应性,现在研究较多的是淹没式生物膜反应器即生物接触氧化。在整个处理系统中可能形成多种微生物群落,但针对不同的处理要求往往只有一部分微生物群落起作用,另一些微生物对处理过程贡献很小甚至有毒害作用。而载体的性质和安装方式、以及曝气途径对优势菌种的生长影响很大。以渗气性膜作为载体填料

表 3 各因素对膜透过通量的影响规律

影响因素	影响规律	影响原因
操作压力	操作压力低时,膜透过通量与压力成正比,压力高时,透过通量随压力增加不明显	操作压力过高会使膜表面的凝胶层变的更加密实,导致过滤阻力增大
膜面循环流速	存在一临界膜面循环流速,小于此流速,增加膜面循环流速对膜透过通量增加作用明显,大于此流速作用很小	过滤阻力为膜本身微孔阻力和凝胶层阻力之和,膜面循环流速只能影响凝胶层阻力
活性污泥浓度	活性污泥的对数和膜透过通量成反比	活性污泥浓度不仅影响混合液的粘度,也影响凝胶层厚度
操作温度	温度越高,膜透过通量越高	高温可减小活性污泥混合液的粘度
工作时间	工作时间越长,膜透过通量越小	膜污染程度随时间增长而加剧

并作为曝气工具是一种可行的解决上述问题的手段。膜与生物膜法的结合被称为膜生物膜反应器(MBR)。

①膜与生物膜的形成结构

实践证明,多种物质都有较好的渗气性,如聚二甲酯硅氧烷和聚醚酰亚胺。Pankhania 的研究证明聚丙烯材质中空纤维膜也具有较好的渗气性。在浓度梯度或压力的驱动下氧化可由膜的一侧扩散到另一侧且不形成气泡。特种优势的微生物群落生长于膜表面形成的膜——生物膜系统,如图 1 所示。向膜的液相一侧扩散的挥发性有机物被微生物吸收,在常规曝气情况下的挥发性有机物的吹脱损失可降至最低。气体代谢产物或扩散至液相或通过膜扩散至气相,从而减少了局部的积累。

②膜生物膜反应器运行条件和处理效果

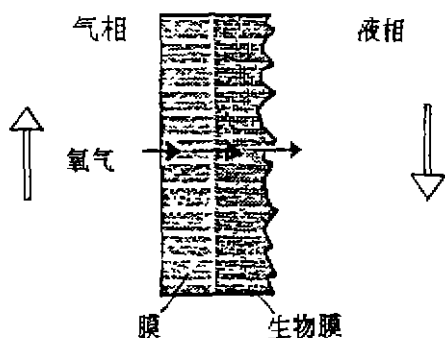


图 1 膜—生物膜结构及氧传递图

在废水处理中,曝气技术不断向微孔发展,一是为了增大气水接触面积提高氧气的传递效率,二是为了提高微生物菌胶团的活性。在膜生物膜反应器中,氧气通过膜的细孔直接扩散到生物膜上,由于膜的孔径在微米范围,由气相扩散到液相的气体不会产生气泡,使氧气传递效率和气液有效接触面积有了极大改进。国外的一些研究得到了有关的成果。Pankhania 的研究认为氧气传递效率可达 100%。同时能够保证高负荷条件下较高氧气需求量,为膜生物膜反应器在较高的负荷条件下运行创造了条件。Pankhania 在实验中将体积负荷置于 4.49~8.94kgCOD/m³/d,停留时间最短 36 分钟,达到了 86% 的 COD 去除效果。Kolb 和 Wilderer 的研究认为膜曝气技术可对挥发性有机物如苯、二氯酚、2,4 氯酚等有较好的去除效果。

三、膜与生物过程组合工艺的发展前景

膜与传统生物工艺的结合可大大提高处理设施的负荷,大大降低处理设施的体积。膜生物反应器所提供的出水水质,膜生物膜反应器所提供的氧气传递效率都是传统方法无法比拟的。可以预见,随着膜技术的发展、膜品种的不断开发、膜质量的不断完善和成本的下降,膜与生物过程组合工艺在生活污水及高浓度有机废水处理领域将有广阔的应用前景,新的组合工艺也将不断出现。