

MSBR 系统的特点及其除磷脱氮的机理分析

任 洁 顾国维

提要 介绍了一种新的改良型序批式活性污泥反应器——MSBR (Modified Sequencing Batch Reactor) 系统。该系统能保证连续进出水,使反应器始终保持在恒定水位。MSBR 系统综合了以往其它除磷脱氮工艺的的优点,保证了各类污染物质降解的最大速率环境,使去除有机污染物效率更高,除磷脱氮效果更好,运行更稳定。结合中试运行结果对其生物除磷脱氮机理进行了分析和讨论。

关键词 污水处理 MSBR系统 除磷脱氮 处理机理

水环境污染的主要特征是水体的有机污染和富营养化,特别是以磷、氮等营养物质造成的水体富营养化现象日益严重。根据生物除磷机理,聚磷微生物必须交替地置于厌氧和好氧的环境中,进行释磷和吸磷,才能完成过量吸磷的过程。这种环境的交替,可以在空间上通过不同的反应器来实现(如 A^2/O 工艺),也可以在同一反应器中通过时间顺序来完成,后者的代表是 SBR 反应器。常规型 SBR 工艺具有工艺流程简单、运行效果好等特点,但由于其间歇进水、间歇排水、处理周期较长,周期运行开始和结束阶段的污泥负荷低,降解速度慢,滯水末期反应装置的有效容积仅占总容积的 $2/3$ 左右,且滯水装置构造复杂,单位时间出水量有一定限制,因而制约了它大规模、大范围的应用。近年来,同济大学顾国维教授课题组与美国的杨企星博士等合作,经过多年的研究,综合了 Bardenpho, A^2/O , 氧化沟及 CAST 等除磷脱氮工艺的特点,开发出了改良型序批式活性污泥法新工艺 (Modified Sequencing Batch Reactor, 简称 MSBR), 并经过了中试运行,系统在实际运行中显示出了良好的处理能力和运行稳定性。

1 MSBR 系统的组成及运行方式

MSBR 系统可以根据不同的水质和处理要求灵活地设置运行方式,笔者在中试中所采用的装置主要由 6 个功能池组成,分别为厌氧池、缺氧池、主曝气池、泥水分离池和两个序批池 (SBR1 和 SBR2)。MSBR 系统的各功能池和运行示意图 1。

原污水经格栅、沉砂池等预处理设施处理后首先进入厌氧池,同回流污泥混合并完成微生物的释磷后,混合液进入主曝气池。主曝气池是连续曝气

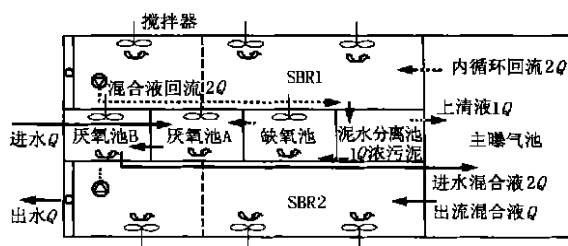


图1 MSBR系统的各功能池和中试运行示意图

供氧,在好氧环境中,微生物进行过量吸磷,同时也在主曝气池完成有机物的降解和氨氮的硝化。然后混合液分别进入两个序批池 SBR1 和 SBR2。SBR1 和 SBR2 交替地充当反应池和沉淀池而处于反应阶段和沉淀出水阶段。反应阶段可以设置为缺(厌)氧搅拌、好氧曝气和静止沉淀 3 个过程,在此阶段完成脱氮过程。当 SBR1 处于反应阶段的前两个过程时,开启回流泵,形成“主曝气池 - SBR1 - 泥水分离池 - 缺氧池 - 厌氧池(泥水分离池的上清液回流到主曝气池)”的污泥回流,回流混合液流经 SBR1 时,经历了缺氧搅拌和好氧曝气阶段,进行反硝化及进一步硝化,然后混合液进入缺氧区进一步反硝化,随后进入泥水分离池进行沉淀,经过泥水分离后,浓缩污泥进入厌氧池与原污水混合。而含硝酸盐氮的上清液被泵送入主曝气区。当 SBR1 进行上述反应时, SBR2 处于沉淀出水状态,主曝气池的混合液以进水量进入 SBR2,在 SBR2 中沉淀下来的污泥在池底形成一个污泥悬浮层,对污水混合液起到过滤的作用,污水经污泥层过滤后流出系统。

两个序批池 SBR1 和 SBR2 的形状和结构都完全相同,两者交替地完成反应阶段和沉淀出水阶段

为一个运行周期,一个运行周期的时间长度可根据进水水质和处理要求灵活确定,一般为4 h,6 h,8 h等,在反应阶段的运行方式也可根据需要设定。在中试运行中采用4 h为一个运行周期,序批池的运行时间分配见表1。

表1 一个运行周期中序批池运行时间分配

SBR1			SBR2			上清液泵
反应状态	反应历时/min	回流泵	反应状态	反应历时/min	回流泵	
缺氧搅拌	50	开启	沉淀出水		关闭	开启
好氧曝气	40	开启	沉淀出水		关闭	开启
静止沉淀	30	关闭	沉淀出水		关闭	关闭
沉淀出水		关闭	缺氧搅拌	50	开启	开启
沉淀出水		关闭	好氧曝气	40	开启	开启
沉淀出水		关闭	静止沉淀	30	关闭	关闭

设置泥水分离池的原因主要是为了:①避免上清液中的硝酸盐氮进入厌氧池而干扰聚磷菌在厌氧条件下对磷的释放。②混合液在序批池时,经过了缺氧-好氧-静止沉淀等反应过程。在这些过程中,一些被聚磷微生物在好氧条件下吸收的磷会再次被释放到环境中去,经泥水分离池泥水分离后,含有被再次释放出的磷的上清液就可以被送到主曝气池再次进行磷的吸收。将厌氧池分为A,B两个区域的目的是为了能够更好地避免进水中的溶解氧和硝酸盐氮对聚磷微生物在厌氧条件下的释磷造成影响。原污水经提升计量后进入厌氧池A,在厌氧池A中无论是分子态氧还是化合态氧很快被消耗殆尽,回流污泥中的硝酸盐氮也得到一定的去除,进入厌氧池B后溶解氧和硝酸盐氮对活性污泥中聚磷微生物释磷的影响就可以减少到最低程度。在序批池的底部安装有蝶板,当序批池处于沉淀出水状态时,混合液进入序批池遇到蝶板后均匀向上通过整个污泥层,泥水分离过程不仅有沉淀作用,还可通过污泥层实现过滤截留作用,这可大大降低出水中的悬浮物浓度。

通过前面的介绍可以看出,在MSBR系统的运行中各功能池的切换较为频繁,如果单纯靠人工操作,不仅会使运行管理十分复杂,还会影响到系统运行的安全性和可靠性。随着自动控制技术的发展,使MSBR系统完全实现自动控制运行,已不是十分困难的事情,如采用PLC自动控制系统就是一个较好的方法。

2 MSBR系统的特点

试验结果表明,MSBR系统还具有以下特点^[1]:

(1)与其它生物除磷脱氮工艺相比,MSBR是一种高效率的反应器,它综合了A²/O,SBR,UCT等工艺的的优点,结构简单紧凑、占地面积小、土建造价低、自动化程度高。

(2)MSBR系统中的微生物完整地经历了厌氧、好氧、缺氧、沉淀4个阶段,可以利用不同形态的氧作为电子受体,通过多种途径进行代谢,从而使除磷脱氮效果更好,有机物降解更为完全。

(3)MSBR系统独特的构造和流程安排为所需的优势菌种提供了最佳的生长环境,可以最大限度地发挥其群体优势,使系统处于高效运行状态。

(4)由于MSBR系统中活性污泥交替地经历不同的环境条件,不仅筛选了优势菌种,而且还能抑制丝状菌的生长和异养菌的大量繁殖,使污泥具有良好的沉降和脱水性能,剩余污泥浓度较高,污泥产率较低,降低了后续污泥处理、处置的困难。

(5)MSBR系统中序批池在出水时,其特殊的构造形成了污泥层的过滤和截留作用,降低了出水中悬浮物的浓度,使出水水质优于普通二沉池的出水。

(6)MSBR系统可以维持较高的污泥浓度。

3 MSBR系统的中试运行概况

中试运行在位于上海浦东草头镇的上海合流污水一期工程预处理厂内进行,城市污水经过粗、细格栅后进入系统进行试验运行。系统的运行流程见图1,序批池的运行时间分配见表1。根据试验所处的季节将试验过程分为两个阶段,试验运行参数及结果分别见表2和表3。

由表3可以看出,MSBR系统具有良好的除磷脱氮能力,在高水力负荷以及温度较低时仍能保持较好的处理效果。

4 MSBR系统生物除磷脱氮机理分析及讨论

根据目前普遍接受的Comeau等人提出的生物除磷理论^[2]:在厌氧条件下,活性污泥中的聚磷微生物将细胞内的聚磷水解为正磷酸盐释放到胞外,以此为能量吸收污水中的易降解有机物(如:挥发性脂肪酸,VFA),并将其合成为聚β羟基丁酸(PHB)储存在体内。在好氧条件下,聚磷微生物以游离氧作为电子受体氧化胞内储存的PHB,利用反应产生的

表2 MSBR系统中试运行参数(数据为平均值)

项 目		运 行 参 数	
		第一阶段	第二阶段
流量/ m ³ /d		250	250
水力 停留 时间 / h	主曝气池	2.2	2.2
	SBR 池	4.1	4.1
	厌氧池	1.1	1.1
	缺氧池	0.54	0.54
	泥水分离池	0.56	0.56
合计		8.5	8.5
回流比 / %	污泥	100	100
	混合液	200	100
主曝气池 DO/ mg/L		4.5	2.8
COD/ TKN		6.7	7.7
COD/ TP		61	65
污泥浓度 / mg/L	主曝气池	2 472~2 860	2 470~3 726
	SBR 池	2 836~3 848	3 250~5 360
污泥龄/ d		25~30	25~30
温度/ °C		23~31	15~12

表3 试验运行结果(数据为平均值)

项 目	第一阶段			第二阶段		
	进水 / mg/L	出水 / mg/L	去除率 / %	进水 / mg/L	出水 / mg/L	去除率 / %
COD	160	35	78	212	56	73
BOD	67	14	79	77	24	69
SS	105	24	77	154	28	82
TKN	31	6	81	29	13	55
NH ₃ - N	17	3.6	79	21	8	62
PO ₄ ³⁻	1.5	0.3	80	1.7	0.6	65

能量从污水中过量摄取磷并合成为聚磷酸盐储存于胞内,微生物好氧摄取的磷远大于厌氧释放的磷,通过排放剩余污泥实现除磷。MSBR系统对除磷脱氮具有良好的效果和稳定性(如同A²/O除磷脱氮系统相比^[1]),这是由其工艺特点决定的。根据MSBR系统的工艺流程,在空间和时间上可以认为系统是按照以下方式进行的:原污水—厌氧—好氧—缺氧—好氧—混合液回流(或沉淀出水)。

这种运行方式相当于两级A/O系统的串联,对除磷十分有利:①聚磷微生物经过厌氧释磷后直接进入生化效率较高的好氧环境,聚磷微生物在厌氧池形成的吸磷动力可以充分地得以利用;而在A²/O系统中,厌氧释磷后要先经过生化效率较低的缺氧

阶段再到好氧阶段,会使在厌氧环境中形成的吸磷动力有所损失。②系统中的污泥(排放的剩余污泥除外)可以全部完整地经过厌氧—好氧环境,完成磷的厌氧释放和好氧吸收过程,使系统的除磷效率得以提高;而A²/O系统存在混合液回流,这部分污泥未经过厌氧状态,会降低除磷效率。③全部污泥完整地经过厌氧—好氧环境,有助于污泥中聚磷微生物的增长富集。④系统的回流污泥经过了脱氮处理,消除了NO_x-N的干扰,使聚磷微生物能够在绝对厌氧环境中进行聚磷的水解和释放。

从系统的运行方式可以看出,脱氮作用是通过后置反硝化完成的。但污水经过了厌氧、好氧阶段的反应,有机物浓度已大为降低,反硝化作用所需的有机碳源是如何满足的呢?传统的反硝化理论显然难以圆满解释这一问题,我们有理由得出这样的结论:微生物是利用细胞内储存的有机物进行了反硝化,即内碳源反硝化。利用内碳源进行反硝化具有很多优点:可以取消前置反硝化常见的内回流系统,降低能耗,使系统的运行更为合理;另外还无需添加碳源。利用内碳源进行反硝化在国外已有报道^[3],但对其机理的研究尚处于起步阶段,许多问题还有待于进一步的研究。

5 结束语

MSBR系统综合了多种工艺的特点,是一种高效率的反应器。它能够保证连续进出水,使反应器保持恒定水位。中试证明,MSBR系统能够达到良好的除磷脱氮效果。由于MSBR系统采用了一体化的结构形式,使占地面积和建造成本进一步降低,不失为一种经济高效的污水生物除磷脱氮系统。

参考文献

- 任洁. MSBR和A²/O生物脱氮除磷系统的试验运行比较和机理研究:[博士学位论文]. 上海:同济大学,2000. 12
- Y Comeau,et al. Biological Model for Enhanced Biological Phosphorus Removal. Wat Res,1986,20(12):1511~1521
- Mino T,et al. Modeling Glycogen Storage and Denitrification Capability of Microorganisms in Enhanced Biological Phosphorus Removal Processes. Wat Sci Tech,1995,31(2):25~34

◎作者通讯处:200237 上海华东理工大学资源与环境工程学院
电话:(021)64250150

顾国维 200092 上海同济大学

修回日期:2001-9-16