

MSBR 7 池工艺除磷影响因素的试验研究

杨 幸 冷 寒 胡林龙 杨雅琴 汪 林

(重庆大学资源及环境科学学院,重庆大学西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室,重庆 400044)

摘 要 在正交试验确定的相对最佳操作条件的基础上,对 MSBR7 池工艺除磷影响因素进行了研究,结果表明:在本试验选定的因素中,对系统除磷影响的主次顺序为 $COD/P > R > MLSS > COD/N$;工艺要求 $COD/P > 60$, $COD/N > 7$,但是过高的 COD/P 也会导致 TP 去除率下降;在 R 为 0.6 时系统除磷效果最好;进水 COD 浓度过低或过高都会导致系统除磷效果下降。

关键词 MSBR 除磷 影响因素 PAOs

中图分类号 X703.1 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2008)08-1053-04

Experimental study on phosphorus removal influencing factors in 7-tank process of MSBR

Yang Xing Leng Han Hu Linlong Yang Yaqin Wang Lin

(College of Resource and Environmental Science, Key Laboratory of the Exploit of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract Based on relatively optimum operating condition that get from orthogonal experiment, the paper analyzes primary factors that influence the removal of phosphorus in 7-tank process of MSBR. The experimental results show that the sequence of the factors that affect phosphorus removal is: $COD/P > R > MLSS > COD/N$; the process require the $COD/P > 60$, $COD/N > 7$, but too high COD/P will deteriorate phosphorus removal; the best phosphorus removal appear when the R is 0.6; the phosphorus removal will deteriorate while the inlet COD is too low or too high.

Key words MSBR; phosphorus removal; influencing factor; PAOs

MSBR 工艺(modified sequencing batch reactor)又称改良式序列间歇反应器,是由 C. Q. Yang 等人根据 SBR 技术特点,结合传统活性污泥法开发的一种连续进出水污水处理新工艺^[1]。MSBR 工艺可视为 A^2/O 工艺和 SBR 系统的联合,具有脱氮除磷功能,被认为是目前最新、集约化程度最高的污水处理工艺,具有流程简单,控制灵活,单元操作简单以及节约用地等优点^[2]。但现有的对 MSBR 生物除磷机理的研究和探讨还不能满足工艺发展的需要。影响 MSBR 除磷的因素很多,研究各因素对 MSBR 系统除磷的影响对工艺的设计和运行具有重要意义。

L,2 个 SBR 池分别为 6.27 L,浓缩池为 2.85 L。

反应器运行周期为 4 h,运行方式为连续运行,

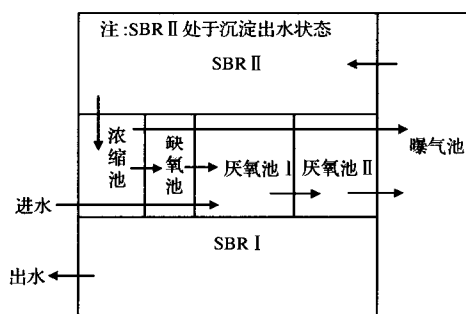


图1 MSBR 7 池工艺平面布置图及流程图

Fig. 1 Schematic diagram of layout and flow of 7-tank process of MSBR

1 材料与方法

1.1 试验装置与方法

试验用 MSBR7 池工艺,反应器由有机玻璃构成,平面布置及流程如图 1 所示。反应器的有效容积为 30 L,各功能池有效容积分别为:厌氧池 I 为 4.22 L,厌氧池 II 为 3.47 L,缺氧池为 1.24 L,曝气池为 6.10

收稿日期:2007-10-13; 修订日期:2008-03-04

作者简介:杨幸(1955~),男,副教授,主要从事污水处理和环境灾害控制工程的研究与设计工作。E-mail:xyx3866@163.com

设计进水流量为1.5 L/h,进水经蠕动泵从污水槽打入厌氧池Ⅰ,与来自缺氧池的反硝化回流污泥混合,然后依次流入厌氧池Ⅱ和主曝气池。当SBRⅠ池充当沉淀池沉淀出水时,主曝气池混合液流入SBRⅡ池进行搅拌、曝气和预沉,混合液经蠕动泵流入污泥浓缩池。反之类似。SBR池混合液回流量为2 L/h,反应器为24 h连续运行。用温度控制仪控制水温,试验温度在25~35℃之间,人工控制反应的pH值7~8, SRT为15 d。SBR池时间控制为:搅拌40 min,曝气50 min,预沉30 min。

1.2 污泥接种及进水水质

取某污水处理厂的曝气池前端混合池中的活性污泥,经沉淀静止后弃去上清液,过滤淘洗后注入到MSBR反应器中。试验用水采用人工模拟废水,以乙酸钠为碳源,以 NH_4Cl 为氮源,以 KH_2PO_4 为磷源,用 NaHCO_3 控制进水的pH值在7.0~7.5,并以1 mg/L的投量向进水中投加微量元素混合液^[3](EDTA 10 g/L, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.50 g/L, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 150 mg/L, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 120 mg/L, H_3BO_3 150 mg/L, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 120 mg/L, KI 180 mg/L, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 60 mg/L, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 30 mg/L)。污泥驯化时的进水水质为COD 400 mg/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 180 mg/L, NaHCO_3 450 mg/L, KH_2PO_4 (P) 6.67 mg/L, NH_4Cl (N) 100 mg/L。污泥驯化成功后进行试验,需要改变进水COD/P、COD/N时,维持进水COD 400 mg/L不变,改变进水中P、N的浓度获得不同COD/P、COD/N值。

1.3 分析项目及方法

COD: 重铬酸钾法; $\text{NH}_4\text{-N}$: 纳氏试剂光度法; TP: 过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法; DO: SJG203型溶解氧分析仪; $\text{NO}_3\text{-N}$: 酚二磺酸光度法; PO_4^{3-} : 钼锑抗分光光度法。

2 结果分析与讨论

2.1 MSBR工艺运行条件的正交优化实验与结果分析

MSBR工艺中影响除磷的因素很多,结合MSBR自身的特点^[4~8],本次正交实验主要选取的实验因子有进水COD/P、COD/N、内回流比 R 、曝气池MLSS等。正交试验因素水平表见表1。

表2为正交试验的试验结果及直观分析。通过对MSBR正交实验结果的直观分析可知,在选定的试验因子中,进水COD/P的极差为44.947,为4个

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels in orthogonal experiment

水平	因素			
	COD/P (A)	COD/N (B)	R (C)	MLSS (D)
1	30	3	0.2	1 000~2 000
2	60	5	0.4	2 000~3 000
3	100	10	0.6	3 000~4 000

表2 正交试验结果及直观分析

Table 2 Analytical results of orthogonal experiments

试验号	因素				试验指标 (TP去除率,%)
	COD/P	COD/N	R	MLSS	
1	1	1	1	1	33.16
2	1	2	2	2	71.27
3	1	3	3	3	72.92
4	2	1	2	3	76.26
5	2	2	3	1	83.66
6	2	3	1	2	66.67
7	3	1	3	2	68.00
8	3	2	1	3	2.75
9	3	3	2	1	21.00
\bar{K}_{11}	59.117	59.140	34.193	45.940	
\bar{K}_{12}	75.530	52.560	56.177	68.647	
\bar{K}_{13}	30.583	53.530	74.860	50.643	
R	44.947	6.580	40.667	22.707	

因子中最大值,可知其对MSBR除磷的影响程度最大, R 和MLSS次之,分别为40.667和22.707,进水COD/N的极差最小,为6.580,其对除磷的影响程度也是4个因子中最小的,也即所选因子对除磷影响程度的由大到小的关系为:COD/P > R > MLSS > COD/N;由直观分析结果还可知,工艺最佳的处理参数组合为 $A_2B_1C_3D_2$ (阿拉伯数字代表因子水平),此时进水COD/P为60,污泥流比 R 为0.6,曝气池MLSS为2 000~3 000 mg/L,进水COD/N为3。

2.2 进水COD/P对除磷的影响

决定系统除磷效果好坏的关键是进水水质,尤其是进水碳磷比^[8]。图2为7池进水中COD/P不同时,TP去除率的变化情况。由图2可知,当进水COD/P为40~150,随着进水COD/P的增大,厌氧池中基质相对增加,利于厌氧释磷,出水TP浓度逐

渐降低,去除率增加。去除率在 COD/P 从 40 增加到 60 时增大,在 COD/P 从 60 增加到 150 时去除率有缓慢下降的趋势,但基本稳定在 60% ~ 70% 之间。说明当 COD/P 比值增大到一定程度时,有机底物相对充足,而磷却处于相对缺乏的状态,故磷的去除率不再因 COD/P 的增大而增大。

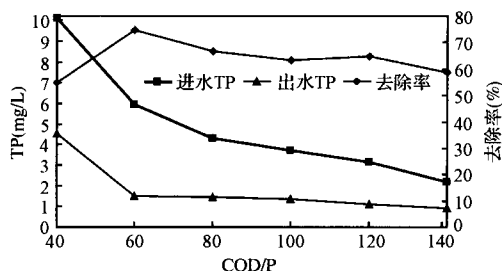


图 2 进水 COD/P 对除磷的影响

Fig. 2 Effect of influent COD/P on phosphorus removal

对于 COD/P > 60 时去除率下降趋势,分析其原因是 PAOs (聚磷菌) 与 GAOs (聚糖菌) 竞争的结果。当 COD/P 高时,污泥中的磷浓度就会很低,这种环境会减少 PAOs 体内多聚磷酸盐颗粒的含量,但是,PAOs 在厌氧条件下主要是依靠降解多聚磷酸盐颗粒来获得能量以吸收乙酸等基质并在体内合成 PHA,所以,PAOs 体内多聚磷酸盐颗粒含量的减少就会相应地使得体内 PHA 含量降低。在另一方面,由于 GAOs 不会涉及到多聚磷酸盐颗粒代谢这一问题,所以它们就不会受到这种环境条件的制约,因此它们在厌氧条件下就会利用自身体内糖原的代谢来获取能量,吸收 PAOs 吸收不了的基质,并在体内合成 PHA。在好氧条件下,PAOs 就会由于体内聚集的 PHA 的量不断降低而逐渐降低在污泥中的比例,但 GAOs 却可以利用体内足够的 PHA 来增殖生长。PAOs 比例下降从而导致去除率降低。

2.3 污泥回流比 R 对除磷的影响

在本实验中,不同污泥回流比 R 时 TP 去除率见图 3。出水 TP 去除率随 R 的增大表现为先升后降的趋势,最佳 TP 去除率出现在 R 为 0.6 时。在回流比为 0.3 时,回流污泥量不能维持厌氧池内的污泥浓度,从而影响了磷的去除效果,去除率仅为 70%。回流比逐渐增大的过程中,TP 的去除率出现上升的趋势,回流比达到 0.6 时,TP 去除率在 90% 左右。当回流比继续增大时,虽然可以提高厌氧反应池中的污泥浓度,但会携带更多的硝酸盐到厌氧池中,从而影响了磷的厌氧释放,TP 去除率出现了

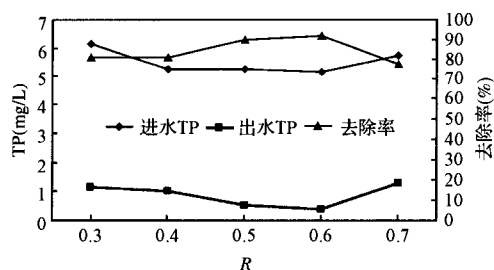


图 3 R 对除磷的影响

Fig. 3 Effect of R on phosphorous removal

2.4 进水 COD/N 对除磷的影响

进水 COD/N 对除磷效果的影响如图 4 所示。随进水 COD/N 增加,进水中氨的浓度降低,曝气池中硝化产生的硝酸盐也降低,系统中的 NO_3^- 含量减少,随污泥回流到厌氧池中的硝酸盐的量也相应减少,对 PAOs 厌氧释磷的干扰降低,出水 TP 浓度呈缓慢下降的趋势,TP 去除率上升。当 COD/N > 7 时,下降趋势趋于平缓,出水 TP 稳定在 1 mg/L 左右。与一般脱氮除磷工艺要求进水 COD/N > 4.3 相比,MSBR7 池工艺要求更高的进水 COD/N 比,这与 MSBR 后置反硝化的方式有关,后置反硝化使得反硝化碳源不足,如果进水中 NH_3 含量太高 (COD/N < 7),不充分的反硝化使大量的硝酸盐随污泥回流进入厌氧池,影响 PAOs 的厌氧释磷。

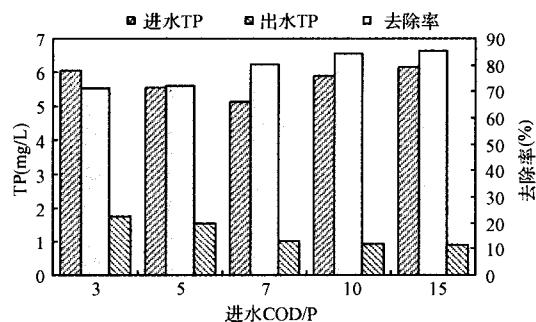


图 4 进水 COD/N 对除磷的影响

Fig. 4 Effect of influent COD/N on phosphorus removal

2.5 进水 COD 浓度对除磷的影响

维持进水中 COD/P = 100、COD/N = 7 不变,改变 COD 浓度对 7 池去除磷的影响见表 3。

从表 3 中数据可知,随着进水中 COD 浓度的增加,厌氧池释磷也随之增加。进水 COD 较低时 (100 ~ 200 mg/L),去除率较低,主要是由于低负荷导致

的厌氧池释磷状况不佳所致,但是由于进水中磷酸盐浓度较低(1.50 mg/L),还是获得了较低的出水 TP 浓度(0.49 mg/L);进水 COD 增加到 400 mg/L 左右时,去除率大大提高,达到 86.67%,厌氧池释磷比进水为低浓度 COD 时改善很多,出水 TP 浓度也低于 1 mg/L;当进水 COD 浓度增加到 700 ~ 800

mg/L 时,系统除磷出现了下降,去除率降到 75.77%。高的进水 COD 浓度(700 ~ 800 mg/L)在厌氧池中的释磷虽然可以得到加强,但是会导致进入曝气池的 COD 增加,曝气池过多的 COD 会引起丝状菌过多繁殖,导致 PAOs 被洗出,使除磷效果下降。

表3 进水 COD 对 MSBR 除磷影响实验结果

Table 3 Experimental result of effect of influent COD on phosphorus removal of MSBR

进水 COD 浓度 范围 (mg/L)	进水 TP (mg/L)	出水 TP (mg/L)	去除率 (%)	厌氧池 I 进水 浓度差 (mg/L)	厌氧池 II 厌氧池 I 浓度差 (mg/L)	厌氧池 II 进水 浓度差 (mg/L)
100 ~ 200	1.50	0.49	66.97	1.62	6.50	8.12
350 ~ 450	7.06	0.94	86.67	3.03	14.41	17.45
700 ~ 800	10.39	2.51	75.77	4.45	16.26	20.7

注:厌氧池 I 进水浓度差为厌氧池 I 磷酸盐浓度与进水磷酸盐浓度的差值,反映厌氧池 I 中释磷程度;

厌氧池 II 进水浓度差为厌氧池 II 磷酸盐浓度与进水磷酸盐浓度的差值,反映厌氧池 I、II 中释磷程度;

厌氧池 II 厌氧池 I 浓度差为厌氧池 II 磷酸盐浓度与厌氧池 I 磷酸盐浓度的差值,反映厌氧池 II 中释磷程度

3 结 论

(1) 进水 COD/P 对 MSBR7 池工艺除磷的影响程度最大,其次是污泥回流比 R ,再次是曝气池 MLSS,最后是进水 COD/N,最佳的处理参数组合为进水 COD/P 为 60,回流比 R 为 0.6,曝气池 MLSS 为 2 000 ~ 3 000 mg/L,进水 COD/N 为 3。

(2) 当进水 COD/P 为 40 ~ 150,TP 去除率在 COD/P 从 40 增加到 60 时增加,当 COD/P 从 60 增加到 150 时,去除率有缓慢下降的趋势;污泥回流比 R 从 0.2 增加到 0.7,出水 TP 随 R 的增大表现为先降后升的趋势,相对最佳 TP 出水效果出现在 R 为 0.6 时;随进水 COD/N 增加,TP 去除率呈上升趋势。

(3) 在维持进水一定的 COD/P 的情况下,随着进水 COD 浓度的增加,P 去除率出现先升后降的趋势,进水 COD 浓度较低时(100 ~ 200 mg/L)时的低去除率主要是由于低负荷导致的厌氧池释磷状况不佳所致;高的进水 COD 浓度(700 ~ 800 mg/L)在厌氧池中的释磷虽然可以得到加强,但是会导致进入曝气池的 COD 增加,曝气池过多的 COD 会引起丝状菌过多繁殖,导致 PAOs 被洗出。

参 考 文 献

- [1] Ng Wun-jern. Sequencing batch reactor treatment of wastewaters. *Environmental Sanitation Reviews*, 1989, 28 (9): 59 ~ 62
- [2] 罗万申. 新型污水处理工艺——MSBR. *中国给水排水*, 1999, 15(6): 22 ~ 24
- [3] Yu Dai, Zhiguo Yuan, Xiaolian Wang, *et al.* Anaerobic metabolism of *Deffluicoccus* related glycogen accumulating organisms (GAOs) with acetate and propionate as carbon sources. *Water Research*, 2007, 41(9): 1885 ~ 1896
- [4] 李春鞠,顾国维,杨海真. 改善 MSBR 系统脱氮效果的试验研究. *中国给水排水*, 2001, 17(1): 9 ~ 14
- [5] 王闯,杨海真,顾国维. 改进型序批式反应器 (MSBR) 的试验研究. *中国给水排水*, 2003, 19(5): 41 ~ 43
- [6] 任洁,顾国维. MSBR 系统的特点及其除磷脱氮的机理分析. *给水排水*, 2002, 28(1): 22 ~ 24
- [7] 杨殿海,顾国维. 改进型 MSBR 工艺特点与运行效果. *中国给水排水*, 2004, 20(1): 62 ~ 65
- [8] 李春鞠,顾国维,杨海真. 城市污水除磷脱氮 MSBR 工艺实验研究. *环境工程*, 2002, 18(6): 19 ~ 21