

文章编号:1000-582X(2003)10-0112-04

螺旋升流式反应器系统中污泥特性*

罗固源, 罗富金, 豆俊峰, 刘玉亮

(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要:螺旋升流式反应器是一种新的污水处理工艺,该反应器具有很好的对COD、TP、TN等的处理效果。本文对螺旋升流式反应器在污水脱氮除磷处理中的污泥特性进行了分析,发现MLVSS/MLSS在厌氧单元中呈现递增变化趋势,在缺氧和好氧单元呈现递减变化趋势,这种变化趋势在脱氮除磷效果好时明显,不好时不明显。镜检发现反应器中微生物丰富多样,颗粒污泥紧密、结实。污泥的SV在10%~18%,SVI在30~70之间。污泥的耗氧呼吸速率SOUR随厌氧过程逐渐升高,好氧过程逐渐降低;脱氢酶活性却表现出与之相反的变化规律。

关键词:螺旋升流式反应器;污泥特性;耗氧呼吸速率;脱氢酶活性;颗粒污泥

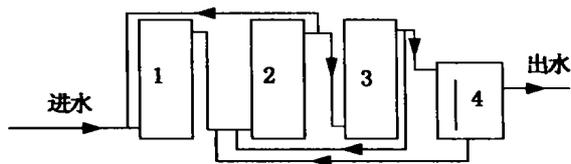
中图分类号:X703

文献标识码:A

1 试验装置和方法

1.1 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统

由课题组开发的螺旋升流式反应器脱氮除磷系统是一种简易、高效、经济的污水脱氮除磷工艺。一年多的试验运行获得了很好的氮、磷去除效果,温度和季节的变化对系统的影响不大,结果见表1。反应器系统的简易流程如图1所示。



1. 厌氧柱; 2. 缺氧柱; 3. 好氧柱; 4. 沉淀池

图1 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统工艺流程简图

该反应器系统由厌氧、缺氧、好氧3个单元组成,每个单元中都是采取下部进水,上部出水的连续水流方式,同时在导流器的作用下使水流能够形成向上、螺旋、推流的水流流态。反应器总的有效容积是80 L,厌氧柱的有效容积为16 L,缺氧柱的有效容积为24 L,好氧柱的有效容积为45 L。操作参数为:进水流量为9 L/h,缺氧至厌氧混合液回流为进水流量的150%,好氧至

缺氧混合液回流量为200%~250%,厌氧污泥回流量为50%~80%,污泥龄SRT=20 d。

1.2 试验方法

分别在1、2、3反应器单元中取污泥,进行镜检,观察其生物相,并测其MSLL、MLVSS、SV、SVI、及SOUR和脱氢酶活性,分析污泥活性及生物相。

1.3 试验水质

采用重庆市杨公桥的生活污水作为试验研究原水,分别加入淀粉、葡萄糖、豆粉以及 NH_4Cl 、 KH_2PO_4 ,使其接近中等浓度城市污水情况。试验期间进水水质为 $\text{COD}_{\text{Cr}}=233\sim383\text{ mg/L}$ 、 $\text{TN}=36.68\sim59.47\text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}=21.8\sim30.54\text{ mg/L}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}=5.45\sim7.56\text{ mg/L}$ 、 $\text{TP}=5.82\sim8.69\text{ mg/L}$,试验阶段温度为20~30℃。

1.4 测试方法

1) COD_{Cr} :HACH-COD测定仪(美);2) DO和SOUR:YSI5100测定仪(美);3) 脱氢酶活性:TF定量分析方法^[1];4) MLVSS:550℃挥发固定性残渣^[2];5) 生物相:光学显微镜(10×10)。

2 试验结果

螺旋升流式反应器对 COD 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 TP 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、

* 收稿日期:2003-06-08

基金项目:国家“十五”攻关课题(2001BA604A01-03-01)

作者简介:罗固源(1944-),男,重庆市人,重庆大学教授,博士生导师,主要从事水污染控制的研究。

TN 的去除结果见表 1,镜检观察的污泥外观结构和生物相结果如图 2,SV 及 SVI 的变化情况见图 3,MLSS

及 MLVSS 测试结果见表 2, SOUR 和脱氢酶活性的测试结果分别见图 4 和图 5。

表 1 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统对 COD、氮、磷的去除效果

指标	COD	PO ₄ ³⁻ -P	TP	NH ₃ -N	TN
进水	350~550	5.45~7.56	5.82~8.69	21.8~30.54	36.68~59.47
出水	8~18	0.02~0.10	0.06~0.14	0.1~0.34	3.28~7.84
去除率(%)	95.27~97.39	98.65~99.72	97.68~98.96	98.9~99.5	78.79~93.63



(a)(厌氧单元) (b)(缺氧单元) (c)(好氧单元)

图 2 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统活性污泥生物相(放大倍数:10×10)

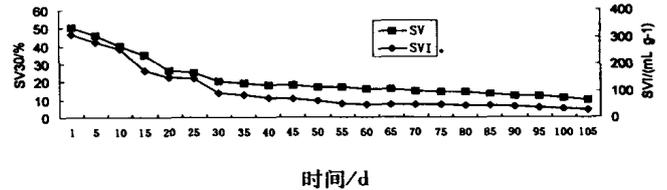


图 3 试验运行过程中 SV30 和 SVI 随时间的变化

表 2 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统中污泥性能指标

性能指标	反应器中活性污泥量								
	厌氧柱			缺氧柱			好氧柱		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下
MLSS	1.542	2.021	2.036	2.153	2.174	2.443	1.983	2.708	3.530
MLVSS	1.353	1.766	1.764	1.785	1.825	2.084	1.606	2.282	3.015
MLVSS/MLSS (%)	87.7	87.4	86.6	82.9	83.9	85.3	80.9	84.3	85.4

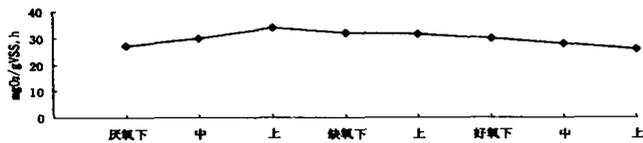


图 4 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统 SOUR 的变化

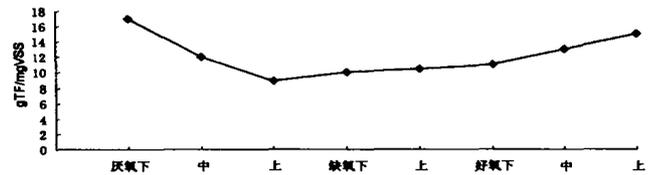


图 5 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统的脱氢酶活性变化

3 试验结果分析

3.1 污泥颗粒的外观结构和生物相

螺旋升流式反应器脱氮除磷系统中活性污泥的外观结构如图 2(a)、图 2(b)、图 2(c)分别取自厌氧单元、缺氧单元、好氧单元,3 个反应单元中活性污泥生物相情况基本一样。从图 2 中可以看到该系统中的污泥菌胶团絮凝形成了良好的颗粒,颗粒大、紧密、结实,颗粒污泥表面凹凸不平,这种表面结构使微生物更有利于同基质接触、吸附、降解和进行物质交换,获得更有效的有机物去除效果。并且这种较大的污泥颗粒即使在好氧充足的情况下,由于颗粒自身结构紧密也可能在内部形成缺氧的微环境为反硝化菌提供了生存的条件,使反应器在好氧的大环境中也可能具有了反硝化的作用,从而减轻了缺氧柱所承担的有机物负荷。

从图 2 还可以看出在颗粒四周分布着大量的累枝虫,个体大、分支多,极为活跃,在缺氧和好氧单元其数量可达 8.0×10^3 个/mL,同时还有纤毛虫、线虫、吸管虫、轮虫等,说明在整个反应器系统中形成了一定的微生物生态关系。

3.2 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统中颗粒污泥的形成

结合运行的条件及观察的结果,分析污泥颗粒形成的原因可能有这样几个因素:

- 1) 试验多为低分子有机基质,它有利于污泥的颗粒化。据文献报道^[3],在碳水化合物废水处理中有较高的氢分压,而高氢分压容易促成污泥颗粒化。
- 2) 水力负荷和有机负荷。颗粒污泥的形成只有在较高的水力负荷下,才能将小的颗粒污泥与絮状污泥分离,有报道建议^[4]水力负荷控制在 $0.25 \sim 0.3 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 之

间,污泥负荷在 $0.6 \text{ kgCOD}/(\text{kgVSS} \cdot \text{d})$ 以上,可以获得较好的颗粒污泥。实验在水力负荷为 $0.18 \sim 0.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, COD 负荷为 $0.5 \text{ kgCOD}/(\text{kgVSS} \cdot \text{d})$ 时,即出现了大量的颗粒污泥。

3) 微生物种群。细菌在生命活动中形成和分泌的多肽类物质、粘液物质等这些物质都有利细菌间的黏附和胶联,有利于污泥颗粒化。还有从照片上可以看到在颗粒污泥周围有大量的微型动物,如钟虫。有报道称^[4],钟虫等固着型原生动物的尾柄周围可以分泌有粘稠的物质,许多尾柄交织粘集在一起和细菌凝聚成大的絮体。这些都有利于污泥形成颗粒,从而获得很好的污泥沉降效果。

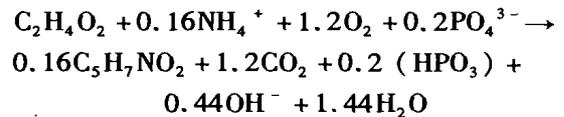
3.3 污泥的 SV 和 SVI 及与污泥颗粒化的关系

从图 3 可以看到,随着螺旋升流式反应器脱氮除磷系统的运行,SV 及 SVI 都呈逐渐下降趋势。通过长期的观察发现,当系统运行稳定,颗粒污泥大量形成时,SV 及 SVI 稳定在一个相对较低的水平,SV 在 $10\% \sim 18\%$,SVI 在 $30 \sim 70$ 之间变动,低于一般的城市生活污水生物处理系统的 SVI 值($70 \sim 100$)。而在颗粒污泥未形成之前,SV 及 SVI 都相对很高,SV 可达 50% 以上,SVI 可达 300 以上。可见污泥颗粒形成对 SV 及 SVI 有很大的影响。

3.4 螺旋升流式反应器脱氮除磷系统活性污泥的性能指标

螺旋升流式反应器脱氮除磷系统中,由于在空间上形成了较好的推流特性,随着厌氧、缺氧、好氧的进行,活性污泥的各项性能指标也呈现相应的变化,试验结果见表 2。从表 2 中可以看到 1) 尽管在厌氧、缺氧、好氧 3 个反应器单元中由于污泥自身的重量,导流器的转速,

水流等因素造成 MLSS、MLVSS 都是从下到上呈现递减趋势,但是 3 个单元中的 MLVSS/MLSS 值都在 0.8 以上,说明整个反应器系统中污泥活性很好。2) 在厌氧单元中 MLVSS/MLSS 呈现升高趋势,在缺氧和好氧单元却呈现下降趋势。并且厌氧上部的 MLVSS/MLSS 与好氧上部的 MLVSS/MLSS 有较大的差异。这除了跟有机物的降解有关,主要还跟聚磷菌释磷和吸磷时聚磷酸盐和 PHB 的转化有关。根据生物除磷原理,聚磷菌为了适应厌氧的“压抑”环境,分解体内积累的多聚磷酸盐,释放的能量一部分满足自身存活需要,一部分用于吸收小分子有机物转化为 PHB 储存起来,在好氧环境下,分解体内的 PHB,吸收聚磷酸盐。这种转化关系可以用以下的反应方程式表示^[5]:



从这个反应方程式可知,在好氧过程中每分解 $60\text{mgPHB}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)$ 将生成 18 mg 生物物质($\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$),还将储存 16 mg 的聚磷酸盐(HPO_3)。正是由于聚磷菌在好氧条件下储存了较高的无机物(聚磷酸盐),在厌氧条件下储存了较高的有机物(PHB),所以在厌氧单元的 MLVSS/MLSS 比好氧单元的要高。它们之间的差异 $\Delta(\text{MLVSS}/\text{MLSS})$ 的大小与除磷的好坏有关。螺旋升流式反应器脱氮除磷系统可强化这种关系,见表 3。当磷的去除很好时,厌氧与好氧之间的 MLVSS/MLSS 的差异变大,当磷的去除不好时这种差异减小。可见厌氧与好氧之间的 MLVSS/MLSS 差异的大小可以定性的反映系统的除磷效果。

表 3 $\Delta(\text{MLVSS}/\text{MLSS})$ 与磷的去除率的关系

	%					
$\Delta(\text{MLVSS}/\text{MLSS})$	7 以上	5~6	4~5	3~4	2~3	2 以下
磷的去除率	96 以上	90~92	85~90	75~85	60~75	60 以下

3.5 耗氧呼吸速率 SOUR 和脱氢酶活性及其相互关系

通常认为污泥的 SOUR 和脱氢酶活性可以直接反映微生物的代谢速率和生物活性,它们之间有很好的线性正相关关系^[6]。但是由于螺旋升流式反应器具有较好的推流特性,SOUR 和脱氢酶活性(见图 4、图 5)明显表现出 SOUR 在厌氧单元逐渐增加,好氧单元逐渐减少,脱氢酶活性在厌氧单元逐渐减少,好氧单元逐渐增加的规律。

污泥的脱氢酶活性和 SOUR 实质上反映的是微生物在降解有机物基质的代谢过程中脱氢和受氢的速

率,在螺旋升流式反应器系统厌氧单元由于缺少分子氧及硝态氮等电子受体,于是电子传递过程受阻,脱氢酶产物辅酶-H₂ 逐渐积累,从而减缓了脱氢酶的产生,因此脱氢酶活性随水流方向在厌氧单元逐渐降低。但是辅酶-H₂ 积累使代谢过程的吸氧潜能增加,当有分子氧输入时就表现出极高的吸氧速率,所以,SOUR 测随水流方向在厌氧单元逐渐增加。由于随水流方向在缺氧和好氧单元受氢体逐渐增多脱氢酶活性也呈逐渐增大趋势,但微生物体内的有机物质大量被消耗,SOUR 呈逐渐减少趋势。

4 结 论

1) 在螺旋升流式反应器脱氮除磷系统中, MLVSS/MLSS 在厌氧单元呈逐渐上升, 好氧单元逐渐下降趋势。这些表明在该系统中能够形成稳定的厌氧释磷和好氧吸磷。

2) 厌氧上部和好氧上部的 MLVSS/MLSS 值有较大的差异, 它们之间的差异值越大除磷效果越好, 差异值越小除磷效果就越差, 当差异值在 5% 以上时可以获得 90% 以上的除磷效果, 所以它们之间的差异值可以定性反映除磷效果的好坏。

3) 在螺旋升流式反应器脱氮除磷系统中, 由于系统较好的推流作用, 污泥的 SOUR 和脱氢酶活随水流方向在厌氧和好氧单元呈现出完全相反的变化规律。

4) 由于螺旋升流式反应器脱氮除磷系统具有很好的推流效果和水力条件, 所以在反应器中生物相丰富, 有较强的抗水力冲击负荷的能力, 污泥颗粒化程度

很高, 获得了很好的污泥沉降效果, SVI 在 30 ~ 70 之间, 低于一般城市生活污水的 SVI 值。

参考文献:

- [1] 朱南文, 闵航, 陈美慈, 等. TTC—脱氢酶测定方法的探讨[J]. 中国沼气, 1996, 14(2): 3-5.
- [2] 宋仁元, 张亚杰. 水和废水标准检验法(第15版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.
- [3] HICKEY R F. Start-up, Operation, Monitoring and Control of high-rate Anaerobic treatment Systems[J]. Wat Sci Tech, 1991, 24(8): 207-255.
- [4] 李军, 杨秀山, 彭永臻. 微生物与水处理工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [5] HENZE M, HARRENMOES P, JANSEN J L C, et al. Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes [M]. 2nd Edition. New York: Springer, 1997.
- [6] 沈耀良. 固定化微生物污水处理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

Analysis of Sludge Characteristic in Spiral Up-flow Reactor System

LUO Gu-yuan, LUO Fu-jin, DOU Jun-feng, LIU Yu-liang

(College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Spiral up-flow reactor system is a new process on treatment of wastewater and it has a good removal effect on COD, TP and TN. The tests of sludge character in the spiral up-flow reactor system for biological nitrogen and phosphorus removal are conducted. The results indicate that MLVSS/MLSS shows an increasing tendency in the anaerobic cell but it has a decreasing tendency in the anoxic and aerobic units. The difference increases when the removal efficiency of biological nitrogen and phosphorus become higher and it decreases when the result of biological nitrogen and phosphorus removal became worse. All kinds of populations of microorganism were discovered in the reactor with the compact and granular sludge by microscope. SV changed in the range of 10% ~ 18% and SVI was in the range of 30 ~ 70. During the anaerobic phase, SOUR of sludge increased, while during the aerobic phase it decreased. Whereas, dehydrogenase activity of sludge had a opposite tendency.

Key words: spiral up-flow reactor; sludge characteristics; SOUR; dehydrogenase activity; granular sludge

(编辑 姚 飞)