

# 旁路化学除磷对 A<sup>2</sup>/O 工艺的影响研究\*

陈蓓<sup>1</sup>, 肖慧<sup>1</sup>, 王启栋<sup>2</sup>

(1. 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 400045;  
2. 浙江双益环保科技发展有限公司, 浙江 嘉兴 314000)

**摘要:**为考察旁路化学除磷对常规 A<sup>2</sup>/O 工艺系统脱氮除磷效果的影响, 试验在常规 A<sup>2</sup>/O 工艺厌氧池末端接入旁路化学除磷池, 并调节化学除磷池的 pH 值以达到除磷的目的。实验结果表明:改进后的 A<sup>2</sup>/O 工艺, 当进水 TN 为 4050 mg · L<sup>-1</sup>、出水 TN 为 11.815.5 mg · L<sup>-1</sup>时, TN 平均去除效率为 69.21%; 当进水 TP 为 4.28.9 mg · L<sup>-1</sup>、出水 TP 为 0.500.75 mg · L<sup>-1</sup>时, TP 平均去除效率为 90.57%, 较传统 A<sup>2</sup>/O 工艺, TN、TP 去除率分别提高了 4.04%、2.37%, 说明旁路化学除磷对常规 A<sup>2</sup>/O 工艺系统脱氮除磷效果具有一定的改善作用。

**关键词:** A<sup>2</sup>/O 工艺, 旁路化学除磷, 脱氮除磷

中图分类号: X502

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2012)02-0080-04

化学除磷是使磷酸根与某些离子反应生成难溶盐, 其达到一定过饱和度后从水中自发析出, 依靠重力作用(或过滤)从水中分离出去<sup>[1]</sup>。因传统 A<sup>2</sup>/O 工艺在脱氮与除磷所需的泥龄、碳源及硝酸盐等环境条件上要求不一致, 同时达到较好的脱氮除磷效果还是很难的。一般来说, 只要污水中没有大量的难降解有机物质, 化学需氧量(COD)的去除是比较容易实现的; 而氮、磷脱除则比较复杂, 一般涉及硝化、反硝化、微生物释磷和吸磷等过程。上述每一个过程的目的不同, 对微生物组成、基质类型以及环境条件的要求也不同。例如, 硝化需要长泥龄的硝化菌和好氧条件(记作 O), 反硝化则需要短泥龄的脱氮菌, 易降解 COD 和缺氧条件(记作 A<sub>2</sub>), 释磷需要短泥龄的聚磷菌, 易降解 COD 和厌氧条件(记作 A<sub>1</sub>), 而吸磷则需要聚磷菌和好氧条件。此外在实

践中, 系统进水的水质和水量是经常变化的。不同季节的温度变化也相当剧烈。因此, 怎样在一个工艺系统中把上述各种过程尽量以它们各自需要的恰当的反应条件有机地结合在一起, 并适应水质水量和季节水温的变化, 是一个重要的课题<sup>[2]</sup>。辅助化学除磷法, 能减轻系统中磷的总负荷, 解决碳源不足问题等, 有利于强化生物除磷效果<sup>[3]</sup>。

本实验拟在不改变 A<sup>2</sup>/O 工艺运行参数的前提下, 通过增加旁路化学除磷的方法解决脱氮与除磷之间的环境条件矛盾, 以达到改善 A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮除磷效果的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

主要构筑物包括厌氧池、侧流沉淀池、缺氧池、好氧池、

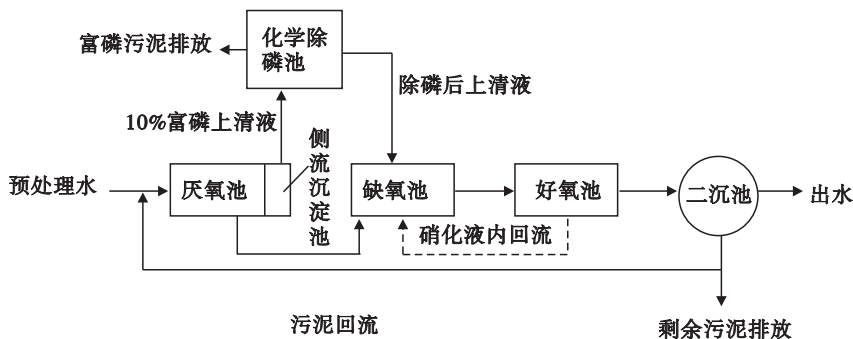


图1 试验工艺流程

\* 收稿日期 2011-09-17 修回日期 2011-10-26 网络出版时间 2012-03-14 19:27:00

作者简介 陈蓓, 教授, 博士, 研究方向为环境规划与管理。

网络出版地址 [http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120314.1927.201202.80\\_017.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120314.1927.201202.80_017.html)

好氧池、二沉池、化学除磷池,其中侧淀池中约10%的富磷上清液进入化学除磷池进行化学除磷<sup>[4]</sup>,试验工艺流程如图1所示。试验装置由PVC材料及有机玻璃制成,厌氧池、缺氧池、好氧池及化学除磷池有效容积分别为10.95 L、15 L、54.90 L及7.85 L,各池中设置机械搅拌器以确保泥水混合均匀,好氧池设置砂头曝气器,侧流沉淀池及二沉池有效容积分别为1.06 L、13.22 L。

本实验对A<sup>2</sup>/O工艺进行改进,即在厌氧池末端设置一个挡板以形成一个相对静止的区域,然后抽取一部分上清液(约进水流量的10%)引入化学除磷池,在缺氧池中能够更好地富集反硝化除磷菌<sup>[4]</sup>。整个试验分两个阶段进行,即常规A<sup>2</sup>/O工艺的稳定运行阶段(第一阶段)及增加旁路化学除磷池后系统的整体运行阶段(第二阶段)。整个运行过程中,进水流量为6.2 L·h<sup>-1</sup>,好氧池中DO为3.0 mg·L<sup>-1</sup>左右,MLSS为2 500 mg·L<sup>-1</sup>左右,污泥回流比为100%,硝化液内回流比为150%。第二阶段运行中,将厌氧池末端泥水分离后的上清液(约占进水流量的10%)通过重力流连续引入化学除磷池,化学除磷池加入NaOH调节其pH值为9左右<sup>[5]</sup>,产生磷酸盐沉淀,待沉淀完全后将沉淀后的上清液通过重力流连续引入缺氧池,进入后续处理。

### 1.2 废水来源及水质

本试验废水来自校园生活污水,加入NH<sub>4</sub>Cl、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>及葡萄糖调节水质,使其进水水质接近三峡库区城市污水厂进水水质,试验进水水质见表1。

表1 试验进水水质

COD 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TN 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TP 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	pH
345488	3850	3442	410	78

### 1.3 试验试剂、仪器与测试方法

#### 1.3.1 试验试剂

1)COD(化学需氧量,指的是水中有机物和还原性物质被化学氧化剂氧化所消耗的氧化剂量,折算成每升水样消耗氧的毫克数,用mg·L<sup>-1</sup>表示。该指标主要反映水体受有机物污染的程度)所用试剂:重铬酸钾标准溶液(1/6K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>=0.250 00 mol·L<sup>-1</sup>),试亚铁灵指示液、硫酸亚铁铵标准溶液[Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O≈0.1 mol·L<sup>-1</sup>],硫酸-硫酸银溶液、硫酸汞。

2)氨氮(是指水中以游离氨(NH<sub>3</sub>)和铵离子(NH<sub>4</sub>)形式存在的氮。动物性有机物的含氮量一般

较植物性有机物为高。同时,人畜粪便中含氮有机物很不稳定,容易分解成氨。因此,水中氨氮含量增高时指以氨或铵离子形式存在的化合氮)所用试剂:纳氏试剂、酒石酸钾钠溶液、铵标准贮备溶液、铵标准使用溶液。

3)TN(包括溶液中所有含氮化合物,即亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、无机盐氮、溶解态氮及大部分有机含氮化合物中的氮的总和)所用试剂:无氨水、20%氢氧化钠溶液、碱性过硫酸钾溶液、(1+9)盐酸、硝酸钾标准溶液。

4)TP(指水中各种形态磷的总量。即水样经消解后将各种形态的磷转变成正磷酸盐后测定的结果,以每升水含磷毫克数计算)所用试剂:(1+1)硫酸、10%抗坏血酸溶液、钼酸盐溶液、浊度-色度补偿液、磷酸盐贮备液、磷酸盐标准溶液(用时现配)。

#### 1.3.2 实验仪器与测试方法

COD含量采用HACH COD测定仪测定,用标准重铬酸盐法进行校正;NH<sub>3</sub>-N含量采用纳氏试剂比色法测定;TN含量采用过硫酸钾消解—紫外分光光度法测定;TP含量采用钼酸铵分光光度法测定;DO值采用YSI5100DO测定仪测定;pH值采用ORP-431型测定仪测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 系统脱氮除磷效果

常规A<sup>2</sup>/O工艺系统接种污泥来自城市污水处理厂。系统启动时污泥浓度约为1 500 mg·L<sup>-1</sup>,经过约2个月调试运行后,污泥浓度基本稳定在2 500 mg·L<sup>-1</sup>。系统稳定运行后测定的结果显示,当进水水质为表1情况时,出水水质为:COD<sub>Cr</sub>含量≤58 mg·L<sup>-1</sup>,NH<sub>3</sub>-N含量≤2.3 mg·L<sup>-1</sup>,TN含量≤16 mg·L<sup>-1</sup>,TP含量≤0.81 mg·L<sup>-1</sup>,平均去除率分别为91.19%、93.55%、65.17%和88.20%,出水水质达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB18918—2002的一级B标准。总体而言,常规A<sup>2</sup>/O工艺脱氮除磷效果一般<sup>[6]</sup>。

增加了旁路化学除磷池的A<sup>2</sup>/O系统稳定运行一段时间后,每隔一天测定进出水中COD<sub>Cr</sub>、TN,并对进水、厌氧池上清液、缺氧池、好氧池及出水中TP进行监测。从统计的测定结果来看,系统出水COD<sub>Cr</sub>含量≤57 mg·L<sup>-1</sup>,可见,旁路化学除磷池的接入对系统COD<sub>Cr</sub>的去除基本无影响。

*TP* 测量值见表 2,当反应器进水 *TP* 为  $4.28.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,出水 *TP* 为  $0.500.75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,*TP* 平均去除效率为 90.57%。与第一阶段相比,该阶段 *TP* 的去除效率提高了 2.37%。由此可见,通过旁路化学除磷对厌氧池中 10% 富磷上清液的处理,已使系统 *TP* 去除效率有所上升。上升幅度不大主要是由于本试验仅对厌氧池中 10% 的富磷上清液进行了化学处理,若提高上清液化学处理比例,则系统 *TP* 去除率将会相应提高,甚至能够达到  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以下。

表 2 中系统沿程中厌氧池上清液、缺氧池、好氧池中 *TP* 的范围值依次是  $12.6521.93 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2.2019.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  及  $0.580.97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,表明系统从进水到出水,*TP* 依次经历了厌氧池的递增、缺氧池略减及好氧池递减 3 个过程。*TP* 在厌氧池的递增是因为聚磷菌在厌氧环境下充分释磷,聚磷菌细胞内的聚磷酸盐分解为磷酸排出胞外,从而使厌氧池上清液中 *TP* 递增。*TP* 在缺氧池略减的原因有: 1) 当混合液进入缺氧池后,由于内回流到缺氧池内的硝酸盐会妨碍发酵作用的进行,也就不会有低分子脂肪酸的产生,同时硝酸盐作为异氧微生物的最终电子受体,也会导致乙酸盐等低分子有机物的消

耗,结果导致贮磷微生物几乎得不到所需的乙酸盐类低分子脂肪酸,严重影响到聚磷菌的释磷效率; 2) 工艺流程中将 10% 厌氧富磷上清液进行了化学除磷处理,经化学除磷处理后,这部分上清液中的磷已基本被去除,回流到缺氧池后对混合液有稀释作用。而 *TP* 在好氧池递减是因为好氧环境下聚磷菌利用 PHB 氧化分解所释放的能量过量摄取混合液中的磷,并将其聚合成聚磷酸盐储存于细胞中,且摄磷量远远大于释磷量,从而导致混合液中 *TP* 递减<sup>[7]</sup>。

在实验第二阶段,系统稳定运行一段时间后测量了进出水 *TN*,具体结果见表 3。当进水 *TN* 为  $4050 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,出水 *TN* 为  $11.815.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,*TN* 平均去除效率为 69.21%。与第一阶段相比,总氮的去除效率提高了 4.04%。可见,改良后的  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺系统 *TN* 去除率亦有一定程度的提高。这主要是因为:化学除磷增加了系统排磷力度,使得第二阶段污泥中磷含量较第一阶段有所减少,因此,污泥回流到厌氧池后释磷过程所需的碳源也就相对减少,那么就使缺氧池反硝化作用留下了更多的充足碳源,系统反硝化脱氮获得相对充分的碳源,从而使系统 *TN* 去除率提高<sup>[7]</sup>。

表 2 第二阶段 *TP* 去除效率统计

	<i>TP</i> 含量/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )									
进水	4.2	4.5	7.6	6.6	8.6	8.9	5.8	7.9	8.7	6.2
厌氧池	14.63	12.65	19.10	20.87	21.25	21.12	16.77	19.99	21.93	15.61
缺氧池	13.36	12.20	17.34	18.43	19.45	18.10	14.88	17.98	19.57	13.84
好氧池	0.68	0.88	0.94	0.68	0.94	0.97	0.84	0.86	0.91	0.58
出水	0.64	0.72	0.62	0.58	0.60	0.75	0.51	0.59	0.56	0.50
效率/%	84.76	84.00	91.84	91.21	93.02	91.57	91.21	92.54	93.56	91.94

表 3 第二阶段 *TN* 去除效率统计

	<i>TN</i> 含量/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )									
进水	40	45	48	38	50	42	47	39	50	49
出水	11.8	12.9	14.5	11.9	14.8	13.7	14.3	12.9	13.7	15.5
效率/%	70.50	71.33	66.30	68.69	70.40	67.38	69.57	66.92	72.60	68.37

## 2.2 旁路化学除磷池磷回收效率

系统在第二阶段运行时,厌氧池中放磷量(侧流沉淀池中 *TP*)平均为  $18.40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,进水流量 *Q* 为  $6.5 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 。试验中抽取 10% 进水流量的上清液进行旁路化学除磷,抽取的上清液中 *TP* 为  $11.96 \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1}$ 。旁路化学除磷池中加入  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 NaOH 溶液使溶液 pH 值保持在 9 左右,经过化学沉淀后测得旁路化学除磷池上清液中 *TP* 约为  $0.88 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,根

据磷平衡计算可知,回收的磷量约为  $11.39 \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1}$ ,则相对旁路化学除磷池,磷回收率约为 95.27%。本试验阶段进水 *TP* 均值为  $41.6 \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $6.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),旁路化学除磷池回收的磷量约占进水磷量的 27.4%。

由此可见,旁路化学除磷的方式可实现相当可观的磷回收量,且污水磷回收可同时获得环境效益和经济效益<sup>[8]</sup>。但在实际污水厂中具体的磷回收量

还要根据实际进水磷的量、抽取上清液量及厌氧池放磷量而定<sup>[5]</sup>。

### 3 结论

试验运行结果来看,旁路化学除磷处理了厌氧池中 10% 的富磷上清液后,系统出水水质有一定程度改善:TN 去除率提高了 4.04%,TP 去除率提高了 2.37%,实现了 27.4% 的磷回收率。总之,改良后的 A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮除磷得到一定的好转。笔者认为,通过进一步优化试验后该方案可在具体工程中运用,从而使旁路化学除磷的 A<sup>2</sup>/O 工艺系统脱氮除磷效果得到进一步提高,在实际运行中可提高污水处理能力,降低污水处理厂费用<sup>[9]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 徐微,杨贤明. 污水磷回收方法与技术概述[J]. 山西建筑, 2010, 36(20):152-153.
- [2] 张波. 生物脱氮除磷工艺系统的几个重要问题[J]. 青岛建筑工程学院学报, 1997, 19(1):1-6.
- [3] 黄健,汤利华,张华,等. 化学磷回收辅助 A<sup>2</sup>/O 工艺处理

- 低碳城市污水的除磷规律[J]. 安徽建筑工业学院环境工程学报, 2007, 14(1):69-71.
- [4] 吉芳英,左宁,胡玉琴,等. LSP & PNR 工艺的脱氮除磷和污泥减量性能研究[J]. 中国给排水, 2007, 23(3):35-39.
- [5] 张华,黄健. 化学磷回收促进脱氮除磷和污泥减量的实验研究[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版, 2008, 31(12):2038-2043.
- [6] 李伟民,刘杰,王涛,等. A<sup>2</sup>/O 工艺的旁路化学除磷及污泥减量研究[J]. 中国给排水, 2010, 26(17):16-22.
- [7] 邓荣森,王涛,李伟民,等. 氧化沟污水处理理论与技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2006:51-55.
- [8] Gaterell M R, Gay R, Wilson R, et al. An economic and environmental evaluation of the opportunities for substituting phosphorus recovered from wastewater treatment works in existing UK fertilizer markets[J]. Environ Technol, 1999, 20(10):777-782.
- [9] 郑亚西,杨代军,查东. 统筹城市水环境基础设施建设建立城市用水良性循环机制[J]. 四川师范大学学报:自然科学版, 2004, 27(4):419-421.

## Research on the Effect of the Bypass Chemical Phosphorus Removal in A<sup>2</sup>/O Process

CHENG Bei<sup>1</sup>, XIAO Hui<sup>1</sup>, WANG Qi-dong<sup>2</sup>

(1. Laboratory for Southwest Resources Exploitation and Environmental Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing 400045; 2. Zhejiang ShuangYi Environmental Protection Science and Technology Development Limited Company, Jiaxing Zhejiang 314000, China)

**Abstract:** In order to explore the impact of bypass chemical phosphorus removal on the effect of nitrogen and phosphorus removal of conventional A<sup>2</sup>/O process, in this experiment, the pool of chemical removal of phosphorus is accessed at the end of anaerobic pool in the A<sup>2</sup>/O process and adjust the pH value of pool to achieve phosphorus removal of purpose. Compared with the conventional A<sup>2</sup>/O process the result shows that the average removal efficiency of TN is 69.21% while the TN is 4050 mg · L<sup>-1</sup> in the intake of water and 11.815.5 mg · L<sup>-1</sup> in the outlet of water, the average removal efficiency of TP is 90.57% while the TP is 4.28.9 mg · L<sup>-1</sup> in the intake and 0.500.75 mg · L<sup>-1</sup> in the outlet. The removal efficiency of TN in modified A<sup>2</sup>/O process is increased by 4.04% and the TP is 2.37%. This indicates that the modified A<sup>2</sup>/O process has some improvements on the effect of nitrogen and phosphorus. Key words: A<sup>2</sup>/O process; bypass chemical phosphorus removal; removal of nitrogen and phosphorus

**Key words:** A<sup>2</sup>/O process; bypass chemical phosphorus removal; removal of nitrogen and phosphorus

(责任编辑 欧红叶)