交替式 A^2/O 系统碳源量对去除氮磷途径的影响

窦月芹[1],吕锡武[2]
(1. 安徽大学 资源与环境工程学院,安徽 合肥 230039;
2. 东南大学 能源与环境学院,江苏 南京 210096)

摘 要:采用市政污水研究进水碳源含量不同时交替式 A^2/O 工艺去除氮磷的途径以及效果. 调控进水 COD 浓度分别在 150、200、300、400 mg·L^{-1}左右,氮磷浓度不变,跟踪厌氧池与缺氧池内 NO_3^- - N 与总磷(TP)的变化规律. 实验结果显示,几种进水水质下,系统都具有优良的除磷脱氮性能;进水 COD 在 300、400 mg·L^{-1}时,缺氧池内 NO_3^- - N 浓度始终低于 1 mg·L^{-1},而 TP 浓度由于推流作用逐渐上升,系统主要通过反硝化异养菌利用外碳源进行反硝化作用去除 NO_3^- - N;进水 COD 在 150、200 mg·L^{-1}时,缺氧池内 TP 浓度一直较低,有反硝化聚磷现象,表明交替式 A^2/O 系统内存在专性好氧聚磷菌与反硝化聚磷菌.

关键词:交替式 A^2/O 系统;除磷脱氮;碳源;反硝化除磷
中图分类号:X703.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1000 - 2162(2011)04 - 0097 - 04

Performance and approach to nutrient removal alternate A^2/O process at various carbon source levels

DOU Yue-qin[1], LV Xi-wu[2]
(1. School of Resource and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230039, China;
2. School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Performance and approach to nutrient removal in alternate A^2/O process were investigated using municipal wastewater. Four influent COD values were designed, that was 150, 200, 300 and 400 mg·L^{-1}, respectively, while the nitrogen and phosphorus concentrations were changeless. And the variations of nitrate and total phosphorus (TP) were studied in anoxic and anaerobic tanks. The results showed that the system has good performance on nutrient removal at various COD concentration levels. In anoxic tank, when influent COD was 300 and 400 mg·L^{-1}, nitrate concentration was always below 1 mg·L^{-1}, while TP concentration rose gradually due to influent, indicating the nitrate was removed mostly by ordinary heterotrophic organisms, using influent carbon source. When influent COD was 150 and 200 mg·L^{-1}, TP in anoxic tank was always low, demonstrating the phenomenon of denitrifying phosphorus removal. This finding suggests aerobic polyphosphate - accumulating organisms (PAOs) and denitrifying PAOs exist together in alternate A^2/O system.

Key words: alternate A^2/O system; nutrient removal; carbon source; denitrifying phosphorus removal

---

收稿日期:2010 - 11 - 04
基金项目:江苏省建设厅资助项目(JS200222);安徽大学人才队伍建设基金资助项目(02203104)
作者简介:窦月芹(1975—),女,江苏徐州人,安徽大学讲师,博士,硕士生导师.
引文格式:窦月芹,吕锡武. 交替式 A^2/O 系统碳源量对去除氮磷途径的影响[J]. 安徽大学学报:自然科学版,2011,35(4):97 - 100.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

同步除磷脱氮活性污泥系统难以稳定运行的一个根本原因是系统中碳源不足. 为达到理想的去除氮磷效果,许多工作致力于除磷脱氮机理的研究以及工艺的改进和研发. 反硝化除磷技术可以节约碳源,降低能耗[1],在活性污泥工艺中强化反硝化除磷受到关注.

交替式 A^2/O 工艺是在 A^2/O 工艺基础上研发的新型同步除磷脱氮工艺[2]. 交替式 A^2/O 继承了 A^2/O 具有较好的同步除磷脱氮性能和生态系统稳定的优点,并借鉴 SBR 和 UNITANK 工艺的运行特点,应用过程控制技术,省去内外回流装置,降低了能耗,从而降低城市废水处理系统的运行费用.

研究表明传统生物除磷脱氮系统中,专性好氧聚磷菌与反硝化聚磷菌可以同时存在[3-4],优势菌种的形成受多种因素影响,其中,进水碳源的数量和类型是一个主要影响因素[5-6]. 我国的城市污水有机成分偏低,如果能够针对复杂的城市污水成分,在除磷脱氮系统中同时应用反硝化除磷技术,可以提高去除氮磷效果,增强系统的稳定性.

该文重点考察进水碳源含量不同时,交替式 A^2/O 工艺去除氮磷的途径,为工艺的参数优化以及实际应用提供理论基础.

1 实验部分

1.1 实验装置

交替式 A^2/O 系统试验装置主要由进水泵、调节水箱、生物反应器部分、曝气机、PLC 可编程序控制器等组成. 反应器的构型以及运行方式如图 1 所示.

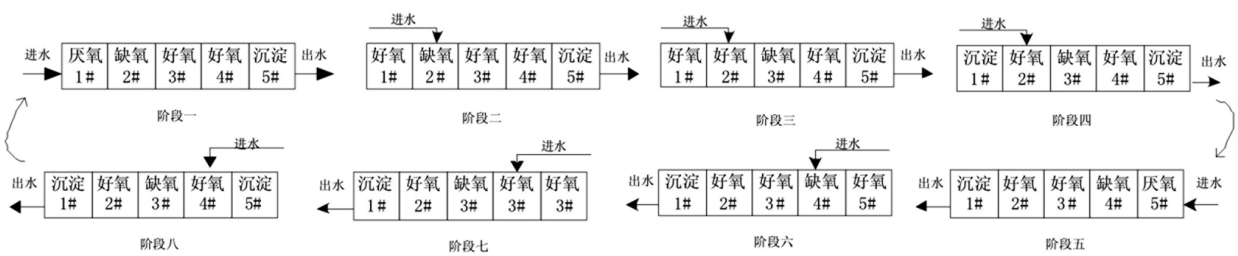

图1 交替式 A^2/O 工艺周期运行图

Fig. 1 Operation models of alternate A^2/O process in cycle

交替式 A^2/O 反应器采用多池串联结构,构建脱氮除磷所需的厌氧-缺氧-好氧环境. 工艺周期运行,一周期分为八个阶段,周期为 8 h,阶段时间比为:1.5∶1∶1∶0.5∶1.5∶1∶1∶0.5. 阶段一、二、三、四构成上半周期,阶段一为主体阶段. 阶段五、六、七、八构成下半周期,与上半周期反向对称,通过阶段转换在同一反应池内实现好氧/缺氧状态的转换,自动完成混合液回流,同时通过半周期性进水方向的改变完成污泥回流. 整个实验装置系统由 PLC 可编程序控制器控制. 阶段一包括完整的厌氧-缺氧-好氧的过程,作者以阶段一为对象研究进水碳源浓度对系统除磷脱氮的影响.

1.2 实验工况

实验在某城市污水厂进行,反应器内 MLSS 均值在 4 200 mg·L^{-1}左右,周期 8 h. 对污水(从污水厂沉砂池出水口取水)通过添加自来水、葡萄糖、氯化氨、磷酸二氢钾等调节进水的 COD/总氮(TN)/总磷(TP)(C/N/P),使得进水的 C/N/P 分别控制在 150∶35∶4.0、200∶35∶4.0、300∶35∶4.0、400∶35∶4.0 四个水平,四组进水具体水质如表 1 所示.

表1 进水水质

Tab. 1 Characteristics of the influent fed to the alternate A^2/O process mg·L^{-1}

序号	COD	NH_4^+-N	NO_3^--N	TN	TP
1	135~159	29.7~32.8	0.11~0.21	32.8~35.7	4.03~4.12
2	202~231	27.4~31.8	0.17~0.26	33.6~35.3	3.54~3.88
3	282~339	27.6~33.4	0.24~0.30	32.1~37.5	3.93~4.51
4	401~446	28.8~29.7	0.20~0.33	35.2~38.1	4.07~4.28

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.3　检测项目与方法

检测项目的分析方法采用国家标准分析法[7]. COD 采用重铬酸盐法,NH_4^+ – N 采用纳氏试剂光度法,NO_3^- – N 采用酚二磺酸分光光度法,TN 采用过硫酸钾氧化 – 紫外分光光度法,TP 采用钼酸铵分光光度法.

2　结果与讨论

每次改变进水 COD 浓度,等系统运行稳定后检测出水水质,并跟踪各反应池内污染物降解规律. 图 2 ~4 给出了进水 COD 值不同时,厌氧池与缺氧池中的物质变化.

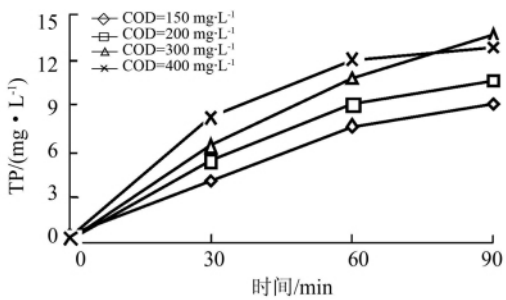

图 2　厌氧池总磷的变化

Fig. 2　The variation of TP in anaerobic tank

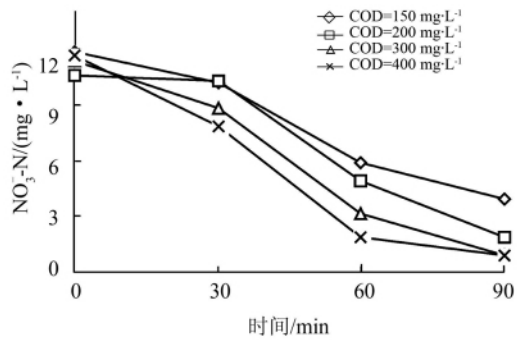

图 3　缺氧池硝态氮的变化

Fig. 3　The variation of nitrate in anoxic tank

由图 2 看出,进水碳源浓度不同时,厌氧池中释磷达到的峰值不同. COD 值为 150 mg·L^{-1}时,阶段末,厌氧池内的 TP 值低于 10 mg·L^{-1}; COD 值为 300 mg·L^{-1}和 400 mg·L^{-1}时,阶段末,厌氧池内的 TP 值在 13 mg·L^{-1}左右. COD 值为400 mg·L^{-1}时,释磷量没有再增加,与 COD 值为 300 mg·L^{-1}相比,略有下降. 说明厌氧池中,并不是有机物越多,释磷量越大. 可能由于生物量有限,当有机物达到一定量时,释磷量不再增加. 有机物过多,也会抑制聚磷菌的生长,不利于除磷[7]. 进水中有机物的易生物降解性对除磷也有影响,聚磷菌主要是吸收短链脂肪酸储存 PHA_S,当进水中的有机物可生物降解性较差时,也难以被聚磷菌利用.

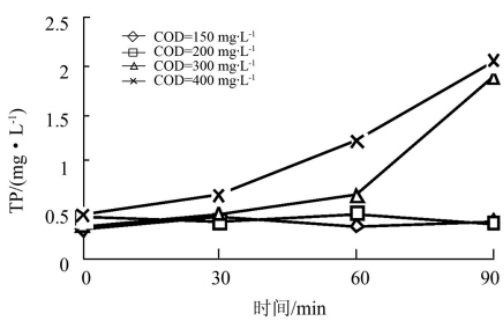

图 4　缺氧池总磷的变化

Fig. 4　The variation of TP in anoxic tank

原水先进入厌氧池,碳源优先用于厌氧释磷,碳源不足一般表现在后续的缺氧反硝化过程. 由图 3 看出,缺氧池中 NO_3^- – N 的去除随 COD 值的变化而不同,COD 值为 300、400 mg·L^{-1}时,阶段末,NO_3^- – N 低于 1 mg·L^{-1}; COD 值为 200 mg·L^{-1}时,NO_3^- – N 为 1.83 mg·L^{-1},而当 COD 值为 150 mg·L^{-1}时,NO_3^- – N 为 3.89 mg·L^{-1}. 根据文献[8 – 9],执行反硝化功能的出水端缺氧池中,NO_3^- – N 浓度在 1 ~3 mg·L^{-1}较合适,COD 值为 150 mg·L^{-1}时,缺氧池中反硝化明显不完全. 由于阶段一中,原水先进入厌氧池,碳源优先用于释磷,可以看出,当 COD 值低于 200 mg·L^{-1}时,阶段一缺氧池不能满足反硝化对碳源的需求.

主体阶段的缺氧池是由上一阶段的好氧池转换而来,因此阶段初,磷的含量很低,由图 4 看出,几种进水条件下,阶段初的 TP 都低于 0.5 mg·L^{-1}. 之后,随着进水端的厌氧池中 TP 浓度升高,推流作用会使得缺氧池 TP 的浓度逐渐升高. 而当 COD 值为 150、200 mg·L^{-1}时,缺氧池内 TP 的浓度一直很低,在 0.5 mg·L^{-1}以下,说明这时缺氧池中有吸磷现象. 主体阶段时,交替式 A^2/O 工艺构型与 A^2/O 相同,实验以及实际市政污水处理设施中也发现在合适的条件下,厌氧 – 缺氧 – 好氧构型工艺有明显的反硝化聚磷现象[10 – 11]. 而当 COD 值为 300、400 mg·L^{-1}时,缺氧池内 TP 的浓度逐渐上升. 缺氧池经历上阶段的好氧硝化过程,硝态氮含量高. 当进水的 COD 值较高时,从厌氧池推流而来的废水中仍然含有比较多的碳源,反硝化异养菌优先利用硝态氮进行反硝化过程,抑制了反硝化聚磷菌的活动. 进水 COD 值较低

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

时有反硝化聚磷现象,可能是因为进入缺氧池的碳源有限,反硝化异养菌耗尽外碳源之后,仍有一定量的硝态氮,反硝化聚磷菌以硝态氮为电子受体,以胞内 PHA_S 为电子供体聚磷,同时去除氮磷,使得缺氧池内的 TP 值一直保持在比较低的状态. 如果进入缺氧池的碳源较多,足够反硝化异养菌的反硝化去除硝氮,那么反硝化聚磷作用就受到抑制.

图5为不同的进水 COD 含量时对应的出水水质,可以看出,进水 COD 值在比较宽的范围内变化时,出水 COD 值都在 50 mg·L^{-1} 以下,在四种进水 COD 值水平下,都能满足除磷脱氮对碳源的需求,出水 TP 低于 0.51 mg·L^{-1}, TN 在 15 mg·L^{-1} 以下.

由前面的分析知道,碳源较低时,缺氧池内可以通过反硝化聚磷去除部分氮磷;碳源较高时,工艺主要通过专性好氧聚磷菌除磷,通过硝化反硝化过程脱氮,同时降解有机物.

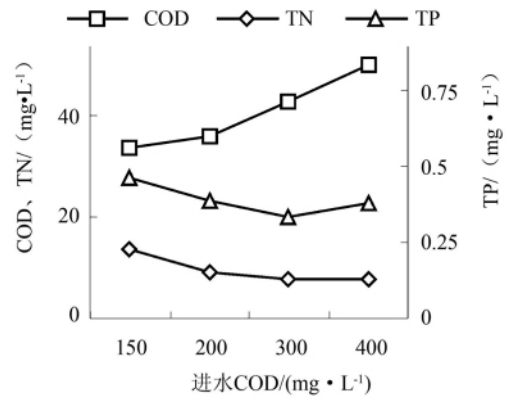

图5 进水 COD 值不同时的出水水质

Fig. 5 The influent characteristics under different COD values

3 结 语

(1) 几种进水 COD 值水平下,交替式 A^2/O 系统都具有优良的除磷脱氮性能,出水水质达到 GB18918-2002 规定的一级 A 标准.

(2) 进水 COD 值浓度较低时,厌氧池的释磷程度随 COD 值的增加而提高,COD 值大于 300 mg·L^{-1} 后,释磷程度变化不大.

(3) 进水 COD 值在 300、400 mg·L^{-1} 时,缺氧池内 TP 浓度由于推流作用升高,没有明显的反硝化聚磷现象,系统内主要通过反硝化异养菌去除硝氮、专性好氧聚磷菌聚磷.

(4) 进水 COD 值在 150、200 mg·L^{-1} 时,缺氧池内 TP 浓度一直较低,这是由于进水碳源较低时,系统内有反硝化聚磷现象,使系统依然保持优良的除磷脱氮效果. 说明在交替式 A^2/O 系统内,生态系统稳定,可以适应市政污水成分复杂多变的特性,达到稳定的除磷脱氮效果.

参考文献:

[1] Kuba T, van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of denitrifying dephosphatation and nitrification in a two-sludge system [J]. *Water Research*, 1996, 30(7): 1702-1710.

[2] 吕锡武,朱光灿,荆肇乾,等. 泥水自循环型阶式反应器及其除磷脱氮方法: 中国,200610097413 [P]. 2007-5-23.

[3] Kuba T, van Loosdrecht M C M, Brandse F A, et al. Occurrence of denitrifying phosphorus removing bacteria in odified UCT-type wastewater treatment plants [J]. *Water Research*, 1997, 31(4): 777-786.

[4] 郝晓地,张向平,曹亚莉. 对强化生物除磷机理与工艺认识误区的剖析 [J]. 中国给水排水,2008,24(6): 1-5.

[5] 李亚静,陈修辉,孙力平,等. 不同碳源和泥龄对反硝化聚磷的影响 [J]. 环境工程学报,2010,4(3): 513-516.

[6] Wang Dongbo, Li Xiaoming, Yang Qi, et al. The probable metabolic relation between phosphate uptake and energy storages formations under single-stage oxic condition [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 4005-4011.

[7] 国家环境保护总局. 水和废水环境监测分析方法 [M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社,2002.

[8] Yuan Z G, Oehmen A, Ingildsen P. Control of nitrate recirculation flow in predinitrification systems [J]. *Water Science and Technolog*, 2002, 45(4/5): 29-36.

[9] 杜红,马勇,彭永臻. A/O 脱氮工艺实时控制对策的试验研究 [J]. 环境科学,2005,26(4): 100-105.

[10] 王晓莲,王淑莹,彭永臻. 进水 C/P 比对 A^2/O 工艺性能的影响 [J]. 环境科学,2005,56(9): 1765-1770.

[11] López-Vázquez C M, Hooijmans C M, Brdjanovic D, et al. Factors affecting the microbial populations at full-scale enhanced biological phosphorus removal (EBPR) wastewater treatment plants in the Netherlands [J]. *Water Research*, 2008, 42(10/11): 2349-2360.

(责任编校 于 敏)

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net