

多点交替进水五箱一体式活性污泥 工艺阶段转换实时控制基础

窦月芹¹ 吕锡武¹ 马 蓉¹ 徐洪斌²

(¹ 东南大学能源与环境学院, 南京 210096)

(² 郑州大学环境与水利学院, 郑州 450002)

摘要: 介绍了研发的多点交替进水五箱一体式活性污泥工艺, 在工艺脱氮除磷效能试验的基础上, 对通过反应器内氮磷物质的监测实现工艺阶段转换的实时控制进行了基础研究. 试验结果表明, 工艺具有良好的脱氮除磷效能. 主体阶段 1 时各反应池的氮磷曲线显示, 当进水端缺氧池的硝态氮降至 0.5 mg/L , 厌氧池中的 TP 上升速率低于 $0.15 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$, 好氧池的 TP 下降速率低于 $0.15 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 时, 认为反应器完成了本阶段的设计功能, 应转入下一阶段.

关键词: 多点交替进水五箱一体式活性污泥工艺; 阶段转换; 实时控制; 氮磷曲线

中图分类号: X703.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0505(2007)03-0500-04

Fundamental study on real-time control of phase diversion in commutative multi-influent activated sludge process with five tanks

Dou Yueqin¹ Lü Xiwu¹ Ma Rong¹ Xu Hongbin²

(¹ School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China)

(² School of Environment and Water Conservancy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The commutative multi-influent activated sludge process with five tanks (CMASPT) is introduced. The experimental study on the capability of the CMASPT in biological nutrient (nitrogen and phosphorus) removal was conducted, and the fundamentals of realizing real-time control of phase diversion by in situ nutrient monitoring was investigated. The experimental results indicate that the process has good performance in wastewater treatment. The curve of nitrogen and phosphorus in the first phase shows that when nitrate in the anoxic tank near influent drops down to 0.5 mg/L , the increase rate of total phosphorus (TP) in anaerobic tank is under $0.15 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$, and the decrease rate of TP in the aerobic tank is under $0.15 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$, the function is finished in this phase, and phase diversion should be implemented.

Key words: commutative multi-influent activated sludge process with five tanks; phase diversion; real-time control; curve of nitrogen and phosphorus

多点交替进水五箱一体式活性污泥工艺 (commutative multi-influent activated sludge process with five tanks, CMASPT) 是东南大学研发的同步脱氮除磷工艺, 在试验中, 表现出较好的去除氮磷性能^[1]. CMASPT 周期运行, 阶段性反向交替进水, 具有较高的自动控制需求. 前期研究中, 阶段

时间根据具体进水水质条件, 设为固定值^[1-2], 而阶段的设定与进水水质密切相关, 工艺周期时间分配随进水组分的波动而变化.

目前水处理过程的在线控制基本是通过测量 ORP, DO, pH 等间接指标实现, 主要应用于 SBR 工艺^[3-6], 而对于连续流活性污泥工艺, 生物反应的开始与终点不明显, 而且实际的城市污水脱氮除磷处理过程中干扰较多, 难于通过间接指标控制. 国际上, 已经研发了营养盐的在线检测仪 (氨氮、硝酸氮和正磷酸盐等传感器) 并应用在污水处理

收稿日期: 2006-10-24

基金项目: 江苏省科技攻关计划资助项目 (BE2001035).

作者简介: 窦月芹 (1975—), 女, 博士生; 吕锡武 (联系人), 男, 博士, 教授, 博士生导师, xiwulu@public1.ptt.js.cn

过程控制中^[7-8],随着其价格的降低以及精确度的提高,其应用是实现水处理工艺在线控制的趋势. 本文在工艺处理效果较好的工况下,分析反应器内污染物的变化与脱氮除磷反应进行程度的关系,为建立基于实时水质变化的工艺阶段转换在线控制策略进行基础研究.

1 材料与方法

1.1 试验装置与流程

多点交替进水五箱一体式活性污泥工艺装置

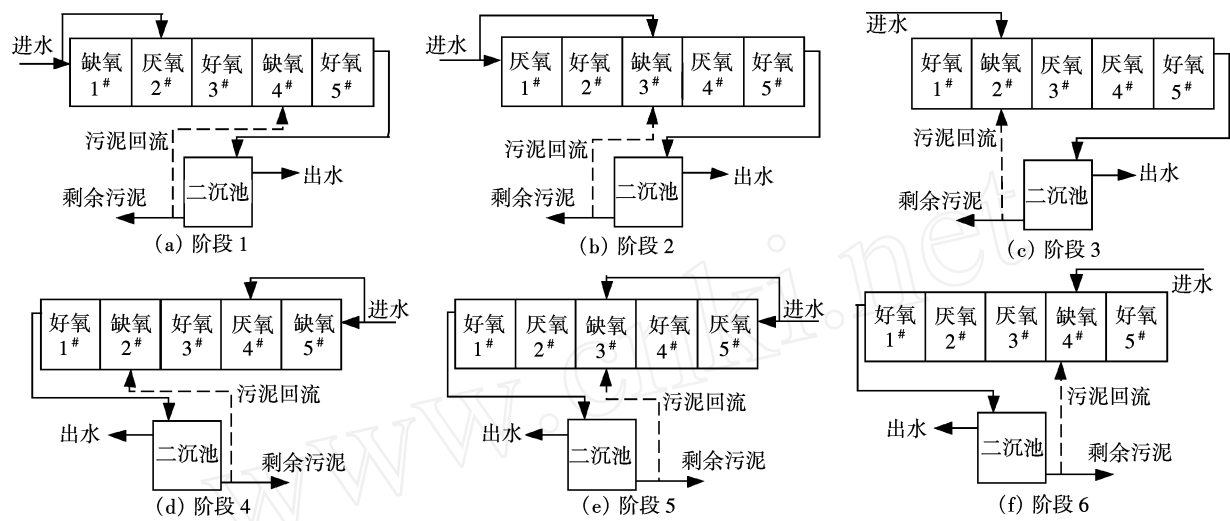


图 1 工艺 1 个周期运行过程

池串联结构,通过阶段转换使得脱氮除磷所需的缺氧、厌氧、好氧环境能在空间与时间上展开. 各状态的转换由 PLC 实现. 主体阶段采取两点进水方式,缓解了单泥脱氮除磷系统中释磷与反硝化对碳源的竞争.

1.2 试验工况与水质

试验所用进水直接取自某城市污水厂沉砂池,进水量 20 L/h,泥龄 12 d 反应池内的 MLSS 均值为 3.4 g/L 左右,研究发现当周期为 16 h(阶段时间比为 3 3 2 3 3 2)时,工艺除污效果最好^[1-2]. 此工况下,于 2006 年 5 月至 6 月,实验分析工艺去除氮磷总体性能,在阶段 1 跟踪各反应池内污染物变化,取稳定有效的数据处理分析,研究氮磷污染物质量浓度与阶段时间控制的关系.

跟踪实验中,阶段 1 初始的进水水质:COD 为 232 mg/L, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 为 28.7 mg/L, TN 为 31.2 mg/L, TP 为 3.7 mg/L.

1.3 分析项目与方法

试验检测项目有 COD, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$, TN, TP, MLSS, DO,采用标准分析法^[9]. DO 测定采用 DO-24P 便携式在线测定仪.

的主体为一个分隔为六池的矩形箱体,各反应池的有效容积均为 48 L,沉淀池为 72 L,各池间水力相通. 工艺运行流程如图 1 所示,对 5 个反应池依次编号为 1#, 2#, 3#, 4#, 5#池.

多点交替进水五箱一体式活性污泥工艺主要特征为: 周期运行,1 个周期包括 6 个阶段. 阶段 1~阶段 3 构成上半周期. 阶段 4~阶段 6 构成下半周期,与上半周期反向对称. 工艺通过进水方向的半周期性改变完成混合液与部分污泥回流. 多

2 结果与分析

2.1 工艺去除氮磷总体性能

在设定工况下,工艺的除污性能如表 1 所示,可以看出,进水 COD 变化幅度较大,出水值稳定在 60 mg/L 以下,单池接近 CSTR 的混合特性使得反应器抗负荷冲击能力较强. 出水氨氮质量浓度在 5 mg/L 以下,硝化充分. 工艺周期运行,各缺氧池在相邻上一阶段是好氧状态,含有充足的硝酸盐,工艺中碳源是反硝化的限制性物质. 厌氧池是从缺氧/厌氧状态转换而来,硝酸盐浓度低,不影响厌氧释磷. 主体阶段两点进水方式缓解了反硝化与释磷对碳源的竞争,反应器对磷的去除率较高,出水 TP 质量浓度在 0.6 mg/L 以下.

表 1 工艺对污染物的去除 m g/L

指标	进水		出水		去除率 /%
	范围	均值	范围	均值	
$\rho(\text{COD})$	110~430	207	40.3~58.1	49.8	78
$\rho(\text{NH}_4^+ \text{-N})$	17~41	26.1	2.1~4.9	3.1	86
$\rho(\text{TN})$	19~47	28.1	6.7~8.8	7.9	70
$\rho(\text{TP})$	2.2~6.1	3.9	0.26~0.57	0.39	89

2.2 各池中氮磷的变化

阶段时间合理与否直接影响工艺处理效果,而且 CMAS PFT 通过周期性反向交替进水完成混合液与部分污泥回流,阶段时间长短决定外置污泥回流率.阶段 1 是工艺的主体阶段,完整包括脱氮除磷所需的缺氧、厌氧、好氧环境,有代表性,本文研究主体阶段 1 中各池氮磷质量浓度的变化.

2.2.1 缺氧池中氮磷变化

主体阶段 1 中,1[#]与 4[#]池为缺氧池,承担反硝化脱氮的任务,所关注污染物随阶段时间的变化如图 2 所示.

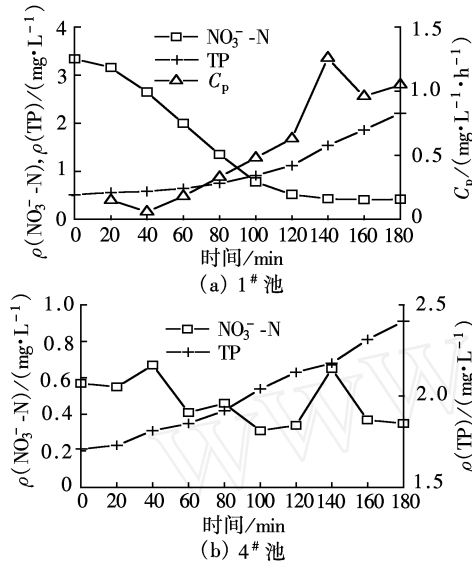


图 2 缺氧池中氮磷变化曲线

图 2 中, C_p 表示 TP 的质量浓度变化速率,本文中用 C_p 表示时间上相邻两样本的 TP 变化率.如图 2 所示,1[#]缺氧池反硝化速率较快,而 4[#]池 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度较低,变化平缓.由于 1[#]池在相邻上阶段(上一周期阶段 6)是好氧池,经过硝化作用,硝酸盐含量充足,而且处于进水端,碳源相对丰富.4[#]池在上一阶段也是缺氧状态,经过反硝化过程,硝态氮质量浓度在阶段 1 初始就不高,在本阶段反硝化现象不明显.因此,进水端缺氧池承担本阶段反硝化的主要功能.

初始阶段,1[#]池 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度变化较慢,是由于上阶段的好氧状态使得池内残留一定量的 DO.阶段 1 开始瞬间,DO 达到 5 mg/L,40 min 后降至 0.7 mg/L 以下,60 min 降至 0.4 mg/L 以下. $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在 20 min 时质量浓度降低速度加快,120 min 时,降至 0.52 mg/L,质量浓度变化趋于平缓.此时 TP 质量浓度上升开始加快,反应池中已经有明显的释磷作用, $C_p = 0.63 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$,说明这时 1[#]池已经完成反硝化任务,在执行厌氧释磷功能.

阶段 1 内,1[#]池的 MLSS 在 3.8 ~ 3.2 g/L 之间.阶段 1 缺氧池阶段转化控制指标设定为进水端缺氧池 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度低于 0.5 mg/L.

2.2.2 厌氧池中磷的变化

阶段 1 中,2[#]池为厌氧池,也是进水池,承担厌氧释磷的任务,总磷及其质量浓度变化率随阶段时间的变化如图 3 所示.

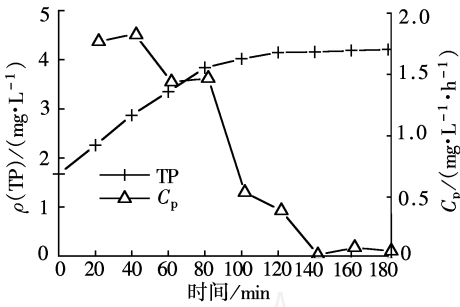


图 3 厌氧池中磷变化曲线

工艺中的厌氧池在相邻上阶段是缺氧 厌氧状态,因此本阶段硝态氮质量浓度低,始终在 0.4 mg/L 以下.聚磷菌 (PAO_5) 利用进水中的碳源分解聚磷酸盐释放溶解性磷酸盐,使得反应池中 TP 质量浓度快速升高,TP 质量浓度上升速率 C_p 在 0.54 ~ 1.83 mg/(L · h) 之间.阶段 1 到 120 min 时,TP 质量浓度趋于平稳, C_p 逐渐降至 0.39 mg/(L · h),140 min 后, C_p 低于 0.15 mg/(L · h),显示厌氧释磷基本完成,可以进入好氧状态.这也说明在碳源与硝态氮条件满足情况下,反应池需要一定的活性污泥浓度以保持足够的生物量,形成后续好氧吸磷较强的动力,阶段 1 内,2[#]池的 MLSS 在 3.9 ~ 2.6 g/L 之间.

阶段 1 厌氧池阶段转化控制指标设定为 TP 质量浓度上升速率低于 0.15 mg/(L · h).

2.2.3 好氧池中氮磷的变化

阶段 1 中,3[#],5[#]池为好氧池,各自污染物变化如图 4 所示.

5[#]池在上一阶段就是好氧池,没有进水,主要起吸磷作用,本阶段为工艺的末端好氧池,起着强化降解有机物、去除氨氮、吸磷以及吹脱氮气的作用.阶段 1 内 5[#]池的氮磷污染物变化不大,浓度较低,氨氮质量浓度低于 2 mg/L,总磷质量浓度在 0.6 mg/L 以下,总氮低于 10 mg/L.

3[#]池在相邻上一阶段是厌氧池, PAO_5 含有充足的 PHB 储存物,通过 PHB 的好氧代谢提供的大量能量, PAO_5 吸收在厌氧阶段释放的磷酸盐和进水中的初始磷酸盐,到 150 min 时,TP 质量浓度基本稳定,这时 TP 的降低速率 C_p 在

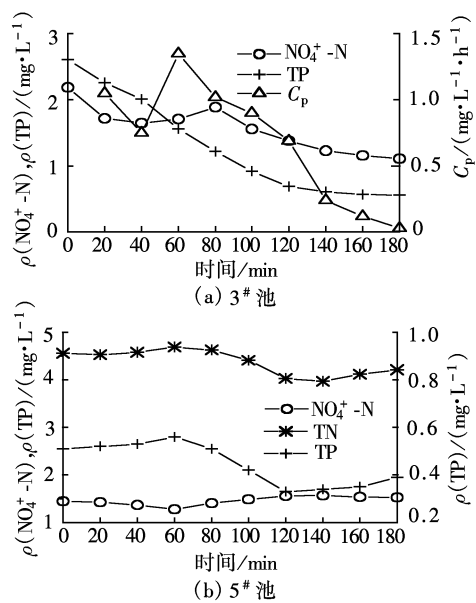


图 4 好氧池中氮磷变化曲线

0.15 mg/(L·h)左右,认为好氧吸磷作用完成.在阶段 1 中 3[#]池氨氮质量浓度在 1.1~2.2 mg/L 之间,试验发现,在较宽的阶段时间分配变化范围内,反应器对有机物与氨氮都有较好的去除率,说明好氧池阶段转换中有机物与氨氮质量浓度不是控制性变量.阶段 1 内,3[#]池的 MLSS 值在 3.8~3.5 g/L 之间.

因此,阶段 1 好氧池阶段转换控制指标设置为进水端好氧池 TP 降低速率 C_p 低于 0.15 mg/(L·h).

以试验所在污水厂的城市污水为进水重复试验,显示阶段 1 各池完成设计功能的氮磷指标设定值具有重现性.但是目前缺乏对工艺运行阶段控制与出水水质长期全面的数据,需进一步研究.

3 结论

- 1) 对中低浓度的城市污水,多点交替进水五箱一体式活性污泥工艺具有较好的脱氮除磷特性.
- 2) 为实现阶段转换在线控制,研究阶段 1 各池氮磷物质的变化曲线.当进水端缺氧池的硝酸盐氮降至 0.5 mg/L,厌氧池中的总磷质量浓度上升速率低于 0.15 mg/(L·h),进水端好氧池的总磷质量浓度下降速率低于 0.15 mg/(L·h) 时,认为工艺完成了本阶段的设计功能,应转入下一阶段.

3) CMAS PFT 是连续流脱氮除磷工艺,各池完成设计功能所需的阶段时间可能不同,其阶段转换控制是个多变量问题,如何建立高效可行的控制策略需进一步研究.

参考文献 (References)

[1] 徐洪斌. 多点交替进水五箱一体化活性污泥法除磷脱氮工艺研究 [D]. 南京:东南大学能源与环境学院, 2005

[2] 窦月芹,吕锡武,李发站,等. 多点交替进水五箱一体式活性污泥工艺污泥回流比研究 [J]. 中国给水排水, 2006, 22(19): 91 - 94

Dou Yueqin, L ü X i w u, L i F a z h a n, et al Study on sludge return rate of commutative multi-influent activated sludge process with five tanks [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(19): 91 - 94 (in Chinese)

[3] A k i n B S, U g u r l u A. Monitoring and control of biological nutrient removal in a sequencing batch reactor [J]. Process Biochemistry, 2005, 40(8): 2873 - 2878

[4] M a r s i l i L i b e l l i S. Control of SBR switching by fuzzy pattern recognition [J]. Water Res, 2006, 40(5): 1095 - 1107.

[5] K i m a J u - H y u n, C h e n M e i x u e, K i s h i d a N a o h i r o, et al Integrated real-time control strategy for nitrogen removal in swine wastewater treatment using sequencing batch reactors [J]. Water Res, 2004, 38(15): 3340 - 3348

[6] B u i t r ó G e m á, S c h o e b M a r i e - E v e, M o r e n o - A n d r a d e I v á n, et al Evaluation of two controls strategies for a sequencing batch reactor degrading high concentration peaks of 4-chlorophenol [J]. Water Res, 2005, 39(6): 1015 - 1024

[7] I n g i l d s e n P e m i l l e. Realising full-scale control in wastewater treatment systems using in situ nutrient sensors [D]. Sweden: Dept of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, 2002

[8] Z e g h a l S l i m, P u z n a v a N e l u, S u b r a J e a n P h i l i p p e, et al Process control for nutrients removal using lamella sedimentation and floating media filtration [J]. Water Sci Tech, 1998, 38(3): 227 - 235

[9] A P H A. Standard methods for examination of water and wastewater [M]. 19th ed New York: American Public Health Association, 1995