

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.17.011

# 城镇污水处理厂可调节式AAO工艺优化运行实践

马九利, 王伟, 黄继会, 许益鸿, 马骏, 张俊  
(苏州市排水有限公司, 江苏 苏州 215006)

**摘要:** 针对日益严格的污水排放标准,对可调节式AAO工艺进行调整,研究多点进水和增设预缺氧段对脱氮除磷效果的影响。结果表明,多点进水工艺调整能够提高整个生物系统对碳源的利用能力,缓解了聚磷菌和反硝化细菌对碳源的矛盾和竞争,促进了缺氧段的反硝化作用,反硝化速率(以 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 计)可达 $6.78 \text{ mg}/(\text{gVSS}\cdot\text{h})$ ,提高了TN去除率,达83%左右;增设预缺氧段能够有效提高聚磷菌在厌氧段的释磷作用,释磷速率(以 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 计)可达 $5.04 \text{ mg}/(\text{gVSS}\cdot\text{h})$ ,释磷倍数高达9.57倍。可调节式AAO的优化运行能够有效地脱氮除磷,保障污水处理厂出水水质稳定达到“苏州特别排放限值”的要求。

**关键词:** 可调节式AAO工艺; 污水处理厂; 多点进水; 预缺氧段; 脱氮除磷

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)17-0070-04

## Optimized Operation of Adjustable AAO Process in Urban Sewage Treatment Plant

MA Jiu-li, WANG Wei, HUANG Ji-hui, XU Yi-hong, MA Jun, ZHANG Jun  
(Suzhou Drainage Co. Ltd., Suzhou 215006, China)

**Abstract:** This paper modified the operation of an adjustable AAO process to investigate the influence of step feed and setting of pre-anoxic section on nitrogen and phosphorus removal performance in response to increasingly stringent sewage discharge standards. The adjustment of the step-feed process improved the utilization capacity of carbon sources of the entire biological system, alleviated the contradiction and competition between phosphorus-accumulating bacteria and denitrifying bacteria for carbon sources, and promoted the denitrification efficiency in the anoxic section. The denitrification rate (measured by  $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) reached  $6.78 \text{ mg}/(\text{gVSS}\cdot\text{h})$ , and the TN removal rate increased to approximately 83%. The setting of pre-anoxic section effectively improved the phosphorus release of phosphorus-accumulating bacteria in the anaerobic section. The phosphorus release rate (measured by  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ ) reached  $5.04 \text{ mg}/(\text{gVSS}\cdot\text{h})$ , and the phosphorus release multiple was as high as 9.57 times. The optimized operation of the adjustable AAO effectively removed nitrogen and phosphorus, and ensured that the effluent quality of the sewage treatment plant stably reached the requirement specified in the “Suzhou Special Discharge Limit”.

**Key words:** adjustable AAO process; sewage treatment plant; step-feed process; pre-anoxic section; nitrogen and phosphorus removal

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07205001)

通信作者: 马九利 E-mail: 943616897@qq.com

传统的AAO工艺及其衍生的可调节式AAO工艺为城镇生活污水处理厂常用的生物处理工艺。最早在1980年,由Rabinowitz和Marais对Phoredox工艺进行改良研究并提出3阶段的Phoredox工艺,即所谓传统的AAO工艺<sup>[1]</sup>,其通过厌氧、缺氧、好氧条件的交替运行,实现同步脱氮除磷。基于这一工艺特点,活性污泥中硝化菌、反硝化菌以及聚磷菌在有机负荷、污泥龄以及碳源的需求上存在着矛盾和竞争,尤其在低C/N条件下更为显著。因此,如何同时实现碳、氮、磷的高效去除,满足日益严格的生活污水排放标准,是城镇污水处理厂亟需解决的问题。

## 1 工艺介绍

苏州市某生活污水处理厂一期生物处理段采用AAO工艺,设计负荷为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。生化反应池

分为厌氧池、缺氧池、好氧池,共设南北2组,每组有15格生物池,其中第1、3、5格设有进水点,第1、3、5、7格设有内回流点,可根据生产需求选择。该可调节式工艺具有较强的灵活性,污水厂调度人员可根据不同季节以及进水负荷,将AAO工艺调整为倒置型、改良型,从而强化其生物脱氮除磷效果,保障出水水质稳定达到“苏州特别排放限值”的要求。

该污水处理厂原AAO工艺模式如下:第1~2格为厌氧池、3~7格为缺氧池、8~15格为好氧池;第1格进水阀门开度为100%,内回流点为第3格、阀门开度为100%,外回流至第1格、阀门开度为100%。该污水厂在2020年1月—10月均未投加碳源,在2020年1月—3月进水COD/TN下降。为充分利用进水碳源,进一步加强生物池脱氮除磷效果,对工艺进行了优化调整(见图1)。

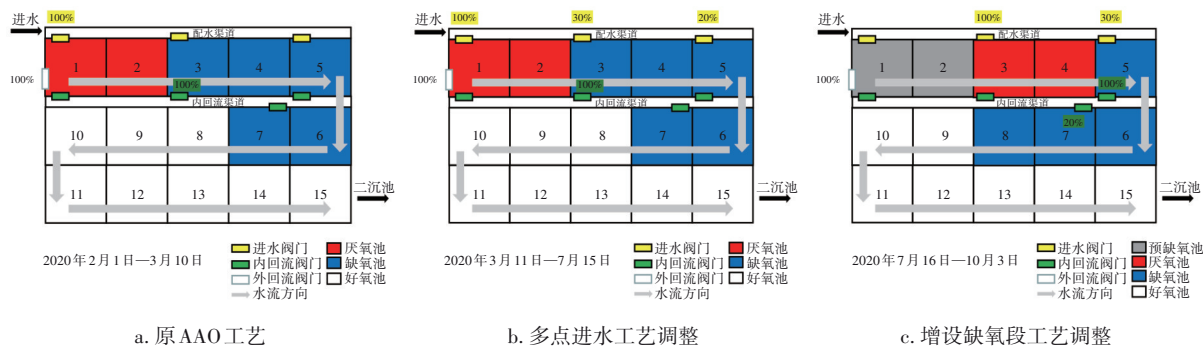


图1 可调节式AAO生物池调整情况

Fig.1 Adjustment of adjustable AAO biological tank

根据运行工艺调控经验,于2020年3月11日将工艺调整为多点进水,即第1、3、5格进水阀门的开度分别为100%、30%和20%。于2020年7月16日在传统AAO工艺前端增设预缺氧段形成A-AAO,即预缺氧-厌氧-缺氧-好氧工艺,将进水点和内回流点整体向后移动:进水点调整为第3、5格,内回流进入第5、7格。第1、2格生物池调整为预缺氧段,减少外回流硝酸盐对厌氧池的影响,并缓解反硝化菌与聚磷菌在厌氧段的竞争关系;第3、4格为厌氧段;第5~8格为缺氧段;第9~15格为好氧段。单组生物池进水量为 $1125 \text{ m}^3/\text{h}$ ,内回流量为 $3500 \text{ m}^3/\text{h}$ ,外回流量为 $839 \text{ m}^3/\text{h}$ ,内回流比为200%,外回流比为75%;总水力停留时间(HRT)为18.15 h,其中预缺氧段、厌氧段、缺氧段、好氧段分别为2.42、2.42、4.84和8.47 h;总泥龄(SRT)为15 d;污泥浓度MLSS为 $3.5 \sim 4.0 \text{ g/L}$ ;厌氧缺氧段DO维持在 $0.1 \sim 0.2$

$\text{mg/L}$ ,好氧段DO控制在 $1.5 \sim 3.5 \text{ mg/L}$ ,研究不同调控手段对系统脱氮除磷效果的影响。

## 2 多点进水的生物池运行效果分析

### 2.1 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果的影响

图2为多点进水对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果的影响。

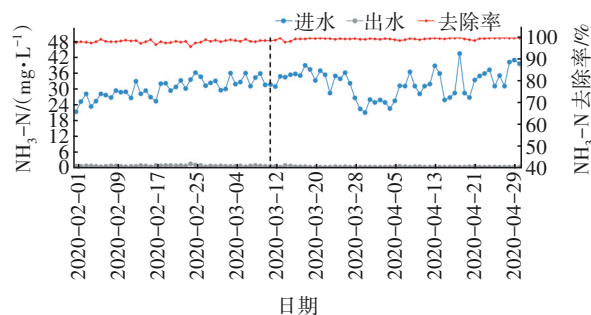


图2 多点进水调整对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果的影响

Fig.2 Effect of step-feed adjustment on  $\text{NH}_3\text{-N}$  removal

由图2可知,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均低于 $1.0 \text{ mg/L}$ ,去除

率均在97%以上,多点进水调整对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果影响不大。这是由于 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除主要依靠硝化细菌在好氧段的硝化作用,从而降低 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度。

## 2.2 对TN去除效果的影响

图3为多点进水调整对TN去除效果的影响。可知,进水TN平均浓度为42.57 mg/L,出水TN平均浓度为7.02 mg/L,且均小于10 mg/L,能够稳定达到“苏州特别排放限值”的要求。其中调整前出水TN平均浓度为8.10 mg/L,TN平均去除率为78.81%;调整后出水TN浓度有所下降,平均浓度为6.63 mg/L,TN去除率升高且较为稳定,达83%左右,表明多点进水对TN去除的影响较为明显,这主要是由于脱氮效果受分配至厌氧段和缺氧段的碳源总量影响。生物池缺氧末端 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 平均浓度在调整后也有所降低,由3.69 mg/L降至1.44 mg/L,表明多点进水提高了生物池缺氧段的反硝化能力。

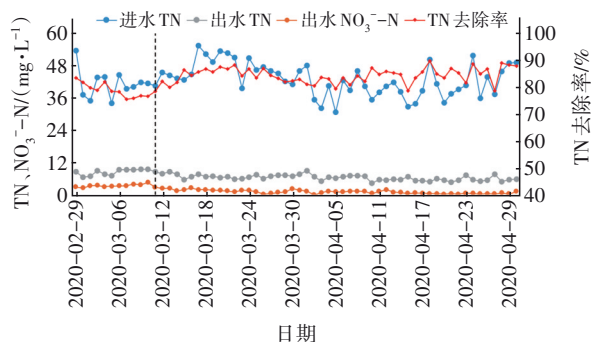


图3 多点进水调整对TN去除效果的影响

Fig.3 Effect of step-feed adjustment on TN removal

表1为多点进水调整对反硝化速率的影响。

表1 多点进水调整前后缺氧段反硝化速率测定

Tab.1 Determination of denitrification rate in anoxic section before and after the adjustment of step-feed process

项目	温度/°C	反应时间/h	MLVSS/(g·L <sup>-1</sup> )	反硝化速率/(mg·g <sup>-1</sup> VSS·h <sup>-1</sup> )
调整前	18	1.5	2.76	3.76
	18	1.5	2.68	3.69
	18	1.5	2.72	3.74
调整后	18	1.5	2.74	5.08
	18	1.5	2.70	5.02
	18	1.5	2.66	4.96

由表1可知,在缺氧反应1.5 h内,多点进水工艺调整前平均反硝化速率(以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 计)为3.73

mg/(gVSS·h),调整后达5.02 mg/(gVSS·h)。在传统AAO工艺中聚磷菌和反硝化细菌对碳源的需求存在竞争关系,当进水COD负荷和C/N较低时,该竞争会更加激烈,反硝化效率降低。而在本次调控中,通过多点进水、调节阀门开度合理分配原水中的有机碳源,提高了系统对碳源的利用能力,使系统达到较好的脱氮除磷效果。

## 3 增设预缺氧段的生物池运行效果分析

有研究指出<sup>[2]</sup>,在传统AAO工艺前端增设预缺氧段,形成A-AAO工艺,可以显著提高系统的脱氮除磷效果。在改良后的工艺中,脱氮主要发生在预缺氧段和缺氧段,厌氧段则专注于除磷,能够在原水低C/N条件下有效地脱氮除磷。

在调整期间,AAO生物池出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN没有出现明显波动; $\text{NH}_3\text{-N}$ 均在1.0 mg/L以下、TN均在10.0 mg/L以下。受季节变换的影响,进水TP浓度变化不明显,出水TP呈上升趋势,活性污泥的除磷效果受到一定影响。因此,在多点进水调整的基础上增设预缺氧段,进一步提高生物池脱氮除磷效果。图4为增设预缺氧段对出水TN、TP的影响。

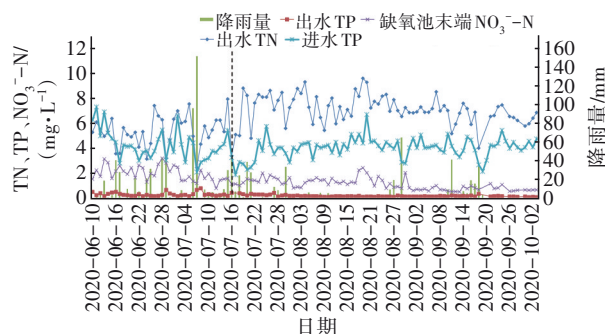


图4 增设预缺氧段对出水TN、TP的影响

Fig.4 Effect of pre-anoxic section setting on TN and TP in effluent

由图4可知,二者较为稳定,TN数据略有上升,但均在10 mg/L以内。增设预缺氧段前,TP平均浓度为0.39 mg/L,调整后为0.18 mg/L。增设预缺氧段增强了TP的去除效果,一方面是因为剩余污泥通过外回流渠道先经过预缺氧段消耗部分溶解氧后,再进入厌氧段,这样不仅可以改善厌氧环境,保证厌氧区的释磷效果,还能提高聚磷菌在好氧区的吸磷效果<sup>[3]</sup>;另一方面是外回流带来的硝酸盐氮在预缺氧段利用活性污泥内碳源进行反硝化,减少了其在厌氧段对碳源的竞争。

通过对生物池缺氧末端 $\text{NO}_3^-$ -N进行分析可知,调整后 $\text{NO}_3^-$ -N浓度降低了44%,生物池的反硝化能力提高,这主要是由于经二沉池回流的 $\text{NO}_3^-$ -N可以在预缺氧段通过反硝化作用进一步得到去除。

增设预缺氧段后,厌氧池释磷效果明显增强。调整前厌氧池进出水 $\text{PO}_4^{3-}$ -P平均浓度分别为4.23、14.33 mg/L,调整后分别为3.81、19.53 mg/L。图5为增设预缺氧段对厌氧池释磷倍数的影响。可知,增设预缺氧段后,厌氧池释磷效果大幅提高,释磷倍数由5.78倍增至9.57倍。同时,调整前后C/P分别为85.98和80.52,变化不明显。其中7月7日生物池出水TP异常偏高,这主要是受暴雨影响,单日降雨量达到了151.1 mm。

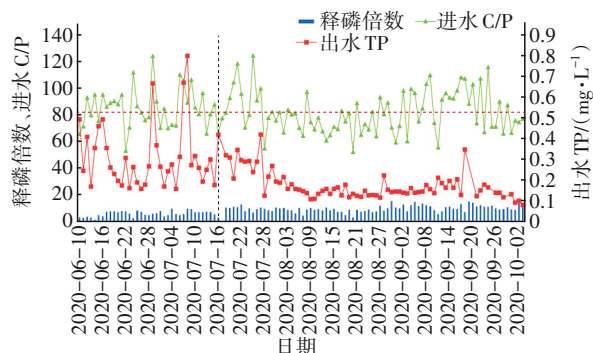


图5 增设预缺氧段对厌氧池释磷倍数的影响

Fig.5 Effect of pre-anoxic section setting on phosphorus release multiple of anaerobic tank

表2为增设预缺氧段对释磷速率的影响。

表2 增设预缺氧段前后厌氧池释磷速率测定

Tab.2 Determination of phosphorus release rate in anaerobic tank before and after the setting of pre-anoxic section

项目	温度/℃	反应时间/h	MLVSS/(g·L <sup>-1</sup> )	释磷速率/(mg·g <sup>-1</sup> VSS·h <sup>-1</sup> )
调整前	25	1.0	3.10	2.81
	25	1.0	3.06	2.23
	25	1.0	3.08	2.46
调整后	25	1.0	3.14	5.12
	25	1.0	3.08	4.98
	25	1.0	3.08	5.02

由表2可知,在厌氧反应1.0 h内,增设预缺氧段前的平均释磷速率(以 $\text{PO}_4^{3-}$ -P计)为2.50 mg/(gVSS·h),调整后达5.04 mg/(gVSS·h)。可见,增设预缺氧段能够有效提高聚磷菌在厌氧段的释磷效果。

#### 4 结论

① 通过多点进水工艺调整,提高了生物段对TN的去除率,达83%左右,最大限度满足整个生物系统对碳源的需求,缓解聚磷菌和反硝化细菌对碳源的矛盾和竞争。

② 通过增设预缺氧段,增强了TP的去除效果,生物池出水TP平均浓度由0.39 mg/L降至0.18 mg/L;生物池缺氧末端 $\text{NO}_3^-$ -N浓度降低,厌氧池释磷效果明显增强,释磷倍数由5.78倍增加到9.57倍。增设预缺氧段能促进反硝化作用在预缺氧段和缺氧段完成,提高聚磷菌在厌氧段的释磷效果,从而强化系统的脱氮除磷效果。

#### 参考文献:

- [1] PAI T Y, TSAI Y P, CHOU Y J, *et al.* Microbial kinetic analysis of three different types of EBNR process [J]. Chemosphere, 2004, 55(1):109-118.
  - [2] SORIANO G A, VERMANDE S M, WENTZEL M, *et al.* Comparison of aerobic and anoxic phosphorus uptake in NDBEPR systems (UCT and ENBNRAS) [J]. Water Science and Technology, 2002, 46(4):201-207.
  - [3] 杨志泉,周少奇,何伟,等. 改良A<sup>2</sup>/O工艺生物脱氮除磷应用研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(1):79-82.
- YANG Zhiquan, ZHOU Shaoqi, HE Wei, *et al.* Application research of modified A<sup>2</sup>/O process for biological nitrogen and phosphorus removal [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(1):79-82(in Chinese).

作者简介:马九利(1991- ),女,河南濮阳人,硕士,工程师,主要研究方向为污水处理。

E-mail:943616897@qq.com

收稿日期:2022-08-04

修回日期:2022-11-30

(编辑:沈靖怡)