

文章编号: 1008-8857(2022)02-0070-06

DOI: 10.13259/j.cnki.eri.2022.02.002

# 农村生活与生产综合污水生物处理的 A/O 工艺启动策略与特性研究

刘新文<sup>1</sup>, 赵海龙<sup>1</sup>, 蔡欣悦<sup>1</sup>, 沈东升<sup>2</sup>

(1. 宁波工程学院 材料与化学工程学院, 浙江 宁波 315020; 2. 浙江大学 环境工程系, 浙江 杭州 310029)

**摘要:** 为实现新时期各类典型性农村综合污水的治理, 选择了一种农村生活与生产综合污水作为研究对象, 研究了利用兼氧/好氧(A/O)工艺处理农村生活和生产综合污水的启动过程。结果表明: 采用逐步递增生产废水和污泥接种培养的启动策略能够实现处理工艺的快速启动; pH、化学需氧量(COD)、氨氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、总磷(TP)以及色度在启动过程中各阶段的变化情况的分析结果表明, A/O 工艺能够通过兼氧池和好氧池的协同配合达到理想的污水处理效果。

**关键词:** 综合污水; A/O 工艺; 启动策略; 特性

中图分类号: X703

文献标志码: A

## Start-up strategy and performance of A/O process for the biotreatment of domestic and industrial wastewater in rural areas

LIU Xinwen<sup>1</sup>, ZHAO Hailong<sup>1</sup>, CAI Xinyue<sup>1</sup>, SHEN Dongsheng<sup>2</sup>

(1. School of Materials and Chemical Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo 315020, China;

2. School of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract:** In order to realize the treatment of various typical rural composite sewage in the new era, domestic and industrial wastewater in rural areas was selected as the research object in this paper. The start-up of anoxic/oxic (A/O) process for domestic and industrial wastewater treatment in rural areas was investigated. The results show that rapid start-up of the process can be achieved via the strategy such as increasing ratio of industrial wastewater and sludge inoculation culture. Changes of pH value, COD,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ , TP, and chroma in each stage during start-up show that perfect performance of A/O process can be achieved through the cooperation of facultative tank and aerobic tank.

**Keywords:** composite wastewater; anoxic/oxic process; start-up strategy; characteristics

收稿日期: 2021-03-06

基金项目: 宁波市公益性计划项目(202002N3051); 宁波工程学院学生科研项目(2019042)

第一作者: 刘新文(1978—), 男, 博士。研究方向: 节能与环保技术。E-mail: lxwen2003@163.com

随着我国社会主义新农村建设和“乡村振兴”计划的进行,农村城镇化的趋势日趋明显,农村污水产生量日益增加<sup>[1]</sup>。农村污水可分为农村生活污水和农村生产废水<sup>[2]</sup>,其中,农村生活污水以厨房污水、洗浴污水、冲厕污水为主,污水水质总体稳定。农村生产污水主要来自农村乡镇企业生产所排放的冲洗废水和工业废水等,其特点与行业有较大的关系。这些污水大部分未经处理直接排入附近的河流和湖泊,造成了严重的地表水体污染<sup>[3]</sup>,也成为“美丽乡村”建设亟待解决的环境问题。

当前,我国农村污水常用的处理技术主要有人工湿地、厌氧沼气池、生物滤池、地下土壤渗透、净化池和一体化综合污水处理技术等<sup>[4]</sup>。此类微生物生态处理方法在处理农村生活污水时,无论从经济合理性还是技术可行性方面均具有明显的优势,但在处理具有生物毒害性的生产废水时,则难尽如人意<sup>[5-7]</sup>。新时期,应结合我国农村发展实际,因地制宜,重视发展成本低、效率高、运行稳定的农村污水处理新技术,推动我国农村“美丽乡村”建设工作继续深入。

本文以抗生素合成制药废水和染整废水为代表的生产废水混合一定比例的农村生活污水作为研究对象,通过对各反应单元进出水 pH、化学需氧量(COD)、氨氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、总磷(TP)和色度等水质指标的监测分析,研究兼氧/好氧(A/O)工艺启动过程中兼氧池和好氧池的运行特性,为 A/O 工艺处理各类综合污水的快速启动和运行提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 接种污泥

本试验采用的接种污泥分别取自某污水处理

厂的曝气池好氧活性污泥和某制药厂污水处理站兼氧池污泥。好氧污泥接种量设定为  $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,兼氧污泥接种量设定为  $1\,000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。上述污泥浓度均按挥发性固体悬浮物(VSS)计。

### 1.2 废水水质

试验用制药化工废水取自某制药厂调节池,印染废水取自某印染车间排污口,生活污水取自某村庄化粪池后排水口。试验废水水质特征如表 1 所示。

表 1 废水水质特征

废水类型	印染废水	制药废水	生活污水
pH	6~10	6.5~8.5	6.9~7.2
COD/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	490~669	3\,500~5\,000	250~350

### 1.3 工艺流程及实验装置

本试验采用的兼氧池和好氧池均为上流式污泥床(up-flow sludge blanket, USB)反应器,反应器为玻璃材质,内部结构包括垫层、污泥床、反应区、澄清区等 4 个部分。兼氧池、好氧池有效容积分别为 980、1\,200 mL;两个反应器进水均采用蠕动泵由反应器底部泵入;好氧池采用微孔曝气砂头充气,空气由气泵供入,控制气水比在 25:1~35:1 之间。沉淀池采用玻璃材质的柱状容器,混凝沉淀时间为 2 h。A/O 工艺流程图如图 1 所示。

### 1.4 启动策略

根据当地实际污水的混合比例需求,在工艺启动过程中逐步提高生产废水的比例进行接种污泥的驯化培养。整个启动过程按照制药废水、印染废水以及生活污水体积比不同划分为 I~V 5 个阶段,在各阶段,制药废水、印染废水与生活污水体积比如表 2 所示。

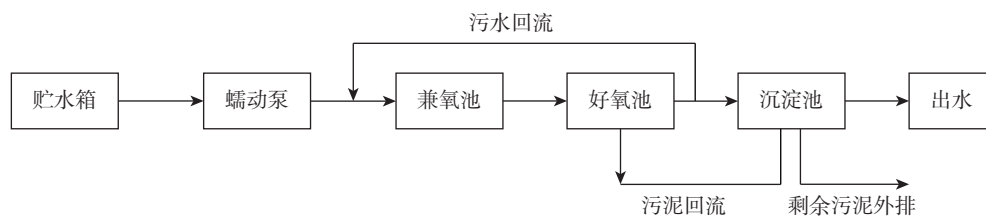


图 1 A/O 工艺流程图

Fig. 1 Flowchart of A/O process

表2 启动过程 I~V 阶段废水体积比  
Tab.2 Composition of wastewater in I~V stage during start up

驯化阶段	I	II	III	IV	V
制药废水、印染废水、生活污水体积比	1:1:8	1:2:7	2:2:6	2:3:5	3:3:4

根据实际的进水情况调整兼氧池和好氧池的水力停留时间(HRT)。为了比较驯化效果,各阶段保持相同的HRT。驯化过程中I、II阶段兼氧池HRT设定为3h,好氧池HRT设定为5h,III、IV、V阶段兼氧池HRT设定为5h,好氧池HRT设定为15h。当各阶段工艺出水COD总去除率达到85%左右时,污泥的沉降性得到改善,标志着相应阶段的驯化过程结束。

### 1.5 测定项目与方法

本试验中对污水水质项目进行了定期监测<sup>[8]</sup>,污水测定项目和测定方法如表3所示。

表3 污水测定项目和测定方法  
Tab.3 Characterization of wastewater and associated testing methods

测定项目	测定方法
COD	酸性重铬酸钾法
pH	玻璃电极法
色度	稀释倍数法
TP	钼锑抗分光光度法
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	纳氏试剂比色法

## 2 结果与讨论

### 2.1 启动过程 I~V 阶段 pH 的变化

图2为启动过程I~V阶段pH的变化,其中:*t*表示天数;A池表示兼氧池;O池表示好氧池。由图中可以得出,废水经过兼氧池后,pH有一定程度的降低,进水pH为6.5~8.5,兼氧池出水pH基本维持在6.0左右,特别是随着制药废水和印染废水体积分数达到40%以后,进水pH上升幅度较大,甚至高达10.0,但经过兼氧池后,出水pH均保持在5.7~7.5之间,明显优于仅有工业废水的兼氧过程的酸化效率<sup>[9]</sup>。这也表明,前置的兼氧池在有机废水处理过程中

的确能够实现复杂结构有机物的降解,产生有机酸,并通过断链、脱氢、脱氨等生化反应为后续好氧池微生物的生化作用提供更多的活性作用位点,提高后续生化过程的处理效率。另外,采用以生活污水为主,逐步提高生产废水比例的方法启动A/O工艺能够更好地驯化培养水解酸化细菌,发挥兼氧池对污水的预处理效果,确保工艺的稳定、高效。

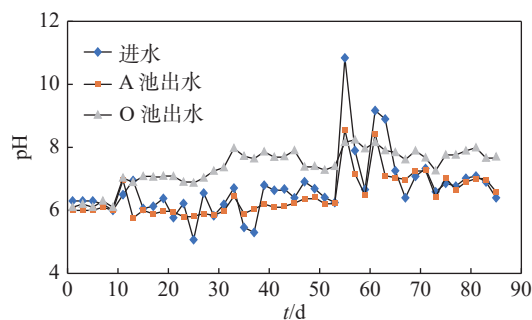


图2 启动过程 I~V 阶段 pH 的变化  
Fig.2 Variation of pH in I~V stage during start up

兼氧池出水经过好氧池后,在好氧细菌酶作用下,自由H<sup>+</sup>与氧结合生成H<sub>2</sub>O,发生氧化反应,水体系的pH逐步回升。当体系中自由H<sup>+</sup>消耗殆尽后,若继续曝气,体系中H<sub>2</sub>O会继续与自由氧发生反应生成一定量的OH<sup>-</sup>,体系的pH会继续提高,并向碱性方向发展。在本研究过程中,好氧池出水pH平均值在7.41左右,这为后续絮凝沉淀作用的发挥创造了良好的条件。

### 2.2 启动过程 I~V 阶段 COD 去除率的变化

图3为启动过程I~V阶段COD去除率的变化。在启动过程中,随着进水中生产废水体积分数的增加,A池COD去除率上下波动非常明显。启动过程的前70d,随着进水中生产废水体积分数的增加,兼氧池COD去除率整体呈现明显的下降趋势,去除率由最初的50%左右下降到5%左右。而在此期间,好氧池COD去除率虽有波动,但基本上维持在75%以上。这表明

前置的兼氧池在废水生物处理过程中起到了非常明显的抗冲击负荷和预处理作用, 经过水解酸化作用后, 大多数有机物的生物难降解程度下降。在启动过程 I、II 阶段, 由于生活污水占比较大, 兼氧池中好氧微生物占主导地位, 因此 COD 去除率较高。但随着生产废水比例的增加, 兼氧池中好氧菌活性被抑制, 甚至被淘汰, COD 去除率明显下降, 但此时兼氧池中水解酸化细菌活性得到释放, 生物量相应增加, 表现为 COD 去除率下降, 但由复杂高分子有机物转化为简单小分子有机物的效率却得到提高, 这为后续的好氧生物处理奠定了基础。因此, 后续 III、IV、V 阶段好氧池出水 COD 去除率能够一直维持在 75% 以上。与已有的研究结果<sup>[10]</sup>相比, 采用一步启动方案 A/O 工艺处理以生活污水为主的城市污水时 COD 去除率比本研究采用的启动方案低 5% 左右。

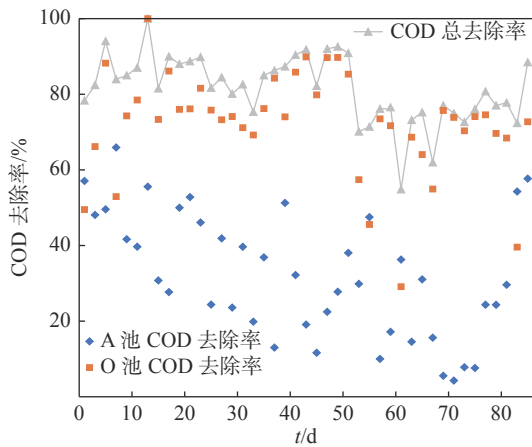


图 3 启动过程 I~V 阶段 COD 去除率的变化  
Fig. 3 Removal rate of COD in I~V stage during start up

### 2.3 启动过程 I~V 阶段氨氮去除率的变化

图 4 为启动过程 I~V 阶段氨氮去除率的变化。在兼氧池启动的 I~V 阶段, 氨氮去除率均呈下降趋势, 特别是随着进水中制药废水和印染废水比例的增加, 氨氮去除率下降明显, 甚至出现负增长, 这表明兼氧池对有机废物的脱氨基作用明显。有机物脱氨基实际上也是复杂结构有机物的一种解构降解过程, 能为后续生物降解提供有利条件。这也表明兼氧池在生物处理工艺处理难生物降解有机废水方面具有非常明显的协同优

势。好氧池氨氮去除率受进水水质影响明显。在 I 阶段, 由于废水中生活污水占比高达 80%, 随着驯化过程的进行, 氨氮去除率最高可达 82.5%, 氨氮总去除率可达 95.9%。但随着生产废水比例的增加, 由于存在兼氧池的预处理和抗冲击作用, 好氧池在 II、III、IV 阶段的氨氮去除率仍出现先下降后上升的变化规律, 而且其氨氮去除率仍可达 80% 以上, 氨氮总去除率在 40%~99% 间波动。经过 60 d 左右的驯化培养后进入 V 阶段, 好氧池的氨氮去除率稳定在 50%~60%, 氨氮总去除率稳定在 60% 以上。这一方面说明生产废水比例的增加带来了更加丰富的氨氮资源, 另一方面说明由于硝化细菌营自养的特性导致其消耗氨氮的能力有限, 一般活性污泥的增长消耗和转化氨氮的能力已达到极限。如果要提高氨氮去除率就需要增加曝气量或富集提升污泥中的硝化细菌, 这势必会增加投资成本或运行费用。因此, 寻求更加有效、合理的氨氮处理工艺, 开展氨氮的资源化利用也是目前研究的热点问题<sup>[11]</sup>。

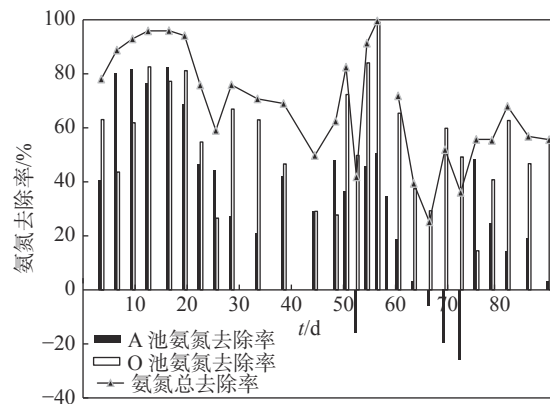


图 4 启动过程 I~V 阶段氨氮去除率的变化  
Fig. 4 Removal rate of ammonia nitrogen in I~V stage during start up

### 2.4 启动过程 I~V 阶段 TP 质量浓度的变化

图 5 为启动过程 I~V 阶段 TP 质量浓度的变化。随着进水中生产废水比例的增加, 进水中 TP 质量浓度稳步增加。由于生物除磷主要利用的是聚磷菌的厌氧释磷/好氧吸磷机理<sup>[12]</sup>, 并结合剩余污泥的排放实现废水除磷的效果。从启动过程 TP 的去除规律可以得出, 随着污泥量的



增加,聚磷菌(PAOs)的生物量也相应增加,厌氧释磷/好氧吸磷的规律非常明显。在驯化过程的 I~IV 阶段,由于没有污泥的外排,对废水中 TP 的去除非常不利。随着驯化时间的延长,无论是在兼氧池还是在好氧池中都有很大程度的 TP 积累。驯化过程进行到第 V 阶段后期,由于采取了排泥措施,TP 去除率达到 80% 左右,这明显优于一步启动时 TP 60% 的去除率<sup>[10]</sup>。

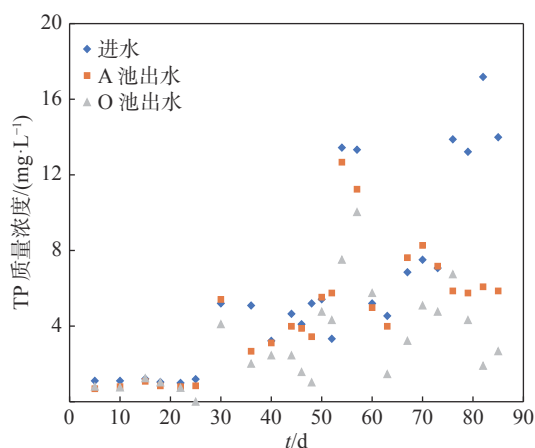


图5 启动过程 I~V 阶段 TP 质量浓度的变化

Fig. 5 Mass concentration of TP in I~V stage during start up

## 2.5 启动过程 I~V 阶段色度的变化

图6为启动过程 I~V 阶段色度的变化。随着进水中印染废水比例的增加,进水色度也相应增加。I、II 阶段进水色度基本上维持在 100 倍的水平,随后进水色度增加到了 300 倍甚至 400 倍的水平。而出水色度随着驯化时间的延长呈现逐渐下降的趋势,最终出水色度维持在 10~20 倍的水平。特别是在驯化过程进行到 60 d 后,无论进水色度如何波动,都能够得到非常稳定的、高的色度去除率,出水色度明显下降,整个驯化过程中色度去除率维持在 50%~90%,接近于高级氧化技术在印染废水的脱色效率<sup>[13]</sup>。色度的去除主要发生在兼氧池,好氧池色度去除率相对较低,最高去除率约为 50%,并且会出现一定的返色。

已有的研究成果<sup>[13]</sup>表明湍动程度、pH、外源营养等条件均会对色度去除产生明显影响。兼氧池湍动程度低、偏酸性及外源营养丰富等特征均在色度的去除方面起到了重要作用,使脱色效

果更好。随着启动过程的进行,虽然进水色度增加了数倍,但脱色效果明显提高。这也表明该启动方案能很好地筛选和培养脱色细菌,确保了工艺的脱色效果。

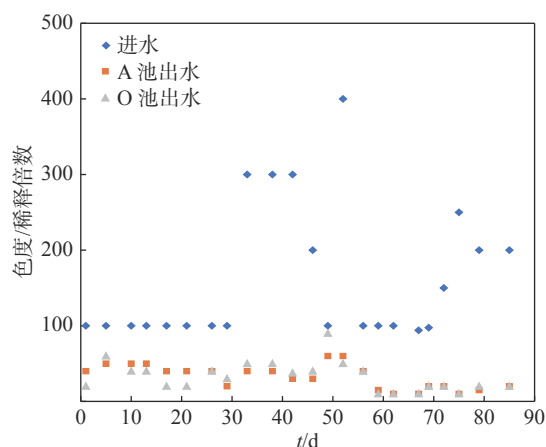


图6 启动过程 I~V 阶段色度的变化

Fig. 6 Removal rate of chroma in I~V stage during start up

## 3 结论

(1)在农村生活与生产综合废水的 A/O 工艺的启动过程中,采用逐步递增生产废水和污泥接种培养的启动策略能够实现处理工艺的快速、稳定启动,提高了启动成功的可能性。

(2)在启动过程各阶段的 pH、COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、TP 以及色度去除特性表明,A/O 工艺能够通过兼氧池和好氧池的协同配合达到理想的处理效果。

## 参考文献:

- [1] 刘建伟,赵梦飞,高柳堂,等.农村污水处理强化 ABR 污泥流变及微生物种群特性研究[J].环境科学学报,2021,41(1):126-132.
- [2] 曹骏杰.农村污水处理中的主要难点与对策分析[J].生态环境与保护,2020,3(8):121-122.
- [3] 赵岩,胡晓聪,余旭杰.农村污水处理新路线研究[J].建筑工程技术与设计,2021(8):1486.
- [4] 唐诗辉,陈战利,范凌,等.农村污水处理技术现状与创新[J].绿色科技,2021,23(10):114-116.

- [5] 刘阳, 刘佳, 尹文利, 等. 活性污泥法处理工业废水的研究与进展 [J]. 科技创业家, 2014(3): 209.
- [6] 李娜, 吕娟. 水环境中典型抗抑郁药物的分布与去除现状 [J]. 能源研究与信息, 2019, 35(4): 194 - 199.
- [7] 程义, 伊学农, 付彩霞, 等. 高盐高有机物腌制废水电磁协同处理方法研究 [J]. 上海理工大学学报, 2018, 40(2): 201 - 204.
- [8] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 3 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [9] 安少锋, 吴江渤, 押玉荣, 等. A/O 工艺处理高氯化工废水研究 [J]. 水处理技术, 2021, 47(4): 111 - 114.
- [10] 刘荣. A/O 工艺的启动研究 [J]. 北方环境, 2011(11): 197.
- [11] 蒋涛, 李亚, 盛安志, 等. 农村生活污水治理模式与技术研究综述 [J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(4): 79 - 83.
- [12] SAITO T, BRDJANOVIC D, VAN LOOSDRECHT M C M. Effect of nitrite on phosphate uptake by phosphate accumulating organisms[J]. *Water Research*, 2004, 38: 3760 - 3768.
- [13] 蔡文杰, 张炜栋, 黄旭, 等. 高级氧化技术在印染废水脱色降解中的应用 [J]. 江苏工程职业技术学院学报, 2021, 21(1): 14 - 16.



信息

## 我国首座海上可移动自升式井口平台投产

4月8日, 由我国自主设计建造的首座海上可移动自升式井口平台“海洋石油163”在北部湾海域正式投产, 助力涠洲12-8油田东区实现经济有效开发, 标志着我国海洋边际油田开发能力取得新突破。据了解, 涠洲12-8油田东区高峰日产原油约1300 t, 累计可增产原油超80万 t。

涠洲12-8油田东区距离涠洲岛约31 km, 储量规模小、油层厚度薄、原油黏度大、预测采收率低, 是典型的开发成本高、投入产出比低的边际油田。“海洋石油163”平台是一座集生产生活为一体的四桩腿自升式井口平台, 也是我国首座海上可移动自升式井口平台。该平台甲板面积相当于6个篮球场大小, 总重量达7000余 t, 设计寿命为25 a, 作业最大水深45 m, 关键设备国产化率达100%, 具备自主修井的能力和井口支持、原油生产、原油计量、油气水分离、生产水处理、注水、原油管输等作业功能。

## 中国能建湖南院中标全球首台180 MW 高效超临界 煤气发电机组 EPC 总承包项目

5月14日, 中国能建湖南院中标广西钢铁余热余能综合利用项目(二期)EPC总承包项目。该项目拟采用180 MW 高效超临界煤气锅炉带一次再热汽轮机及200 MW 发电机, 单机发电规模超过同类型现役最大的150 MW 级别, 建成后将成为该类型煤气发电机组中的全球最大级别, 也是目前已建或在建煤气发电机组中的全球首台。

项目使用钢铁生产工艺产生的富余煤气燃烧发电, 建设1×180 MW 超临界高效煤气发电机组及其附属设施、脱硫脱硝除尘设施、海水直冷设施等, 主厂房按2×180 MW 设计, 主体建筑工程一次建成。

中国能建湖南院将投入具有自主知识产权的单机180 MW 高效超临界煤气发电技术, 主要设备均采用国产研发。项目建成后, 预计全厂发电热效率可达45.6%, 年发电量15.3亿 kW·h, 直接经济效益近8亿元, 一年可减少CO<sub>2</sub>排放115万 t。

(王 波)