

厌氧污泥接种好氧反应器处理生活污水的启动研究

王西锋,孙长顺,王丽香

(陕西省环境科学研究院,西安 710061)

摘要:以模拟乡镇生活污水为处理对象,利用厌氧污泥接种启动好氧小试反应器,采取连续进水连续曝气的方式,进行构建好氧生物处理系统,考察驯化过程反应器中污染物的去除效率.实验结果表明:常温条件下,模拟生活污水进水量为 4 L/d, HRT(水力停留时间)为 12 h,进水均值 COD(化学需氧量)为 400 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (氨氮)为 20 mg/L, TN(总氮)为 25 mg/L, TP(总磷)为 4 mg/L, 运行 12 d, 实验出水 COD 为 39.80 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 0.98 mg/L, TN 为 8.32 mg/L, TP 为 0.96 mg/L; 运行 29 d, COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均去除效率均可稳定达到 90.0%, 活性污泥生长良好, 初步构建好氧生物处理系统.

关键词:生活污水;厌氧启动好氧;化学需氧量;氨氮;污染物去除

中图分类号:X5

文献标志码:A

当前分散型乡镇生活污水收集困难,大多未经处理无序排放,且排放具有时空特性,污染地表水体,扩散传染疾病^[1-3].厌氧技术^[4-5]是比较适合我国乡镇污水处理的方法,但是厌氧处理系统启动周期较长,对污水氮、磷等营养元素及病菌去除效果较差^[6],出水通常达不到国家排放标准.好氧生物处理系统对生活污水氮、磷的去除效果比较明显^[7-8],可作为分散型生活污水处理的核心技术.以抑制性物质为基质培养好氧活性污泥比较困难,仅有少数研究者^[9-10]以厌氧出水成功培养出好氧活性污泥,而以厌氧污泥为基质培养好氧活性污泥鲜有报道.

分散型乡镇生活污水处理厂的好氧活性污泥接种启动普遍采取外运的方式,对于远离城区且人口聚集的乡镇,靠县城污水处理厂提供好氧活性污泥,运输成本往往较高.为突破以往污水处理厂启动运行需要接种好氧活性污泥的限制,笔者利用西安某啤酒厂的厌氧污泥接种小试反应器,研究好氧强化单元的启动.经过连续监测,运行 29 d,初步构建出好氧生物处理系统.

1 实验部分

1.1 实验装置

实验装置如图 1 所示,反应器由有机玻璃制成,分为好氧区和沉淀区,动力系统由自动控制器控制,配水箱里的生活污水通过进水泵到达好氧池,同时空气泵连接气体流量计给反应器鼓气,斜板沉淀池中段连接混合液回流泵,好氧反应器底部开口排泥,沉淀池上部溢流水.实验装置中配水箱组合好氧池可认为是简化的厌氧/好氧(A/O)处理系统,满足常规生活污水处理工艺流程.

1.2 实验水质

实验用水为模拟生活污水,以一水葡萄糖为碳源,氯化铵为氮源,磷酸二氢钾为磷源,碳酸氢钠为 pH 调节剂,附以钙镁铁盐及其他微量元素(1.00 mL/L).模拟生活污水组分、水质指标、微量元素母液组分见表 1~3.

1.3 实验启动

实验接种污泥为西安某啤酒厂厌氧池污泥,接种时为黑色黏稠状污泥,不经闷爆直接投入反应器,用自

收稿日期:2019-01-10;修回日期:2019-03-18.

基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划项目(2015KTZDSF-02-02)

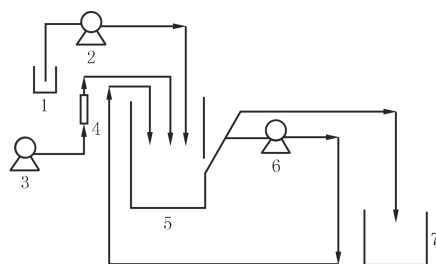
作者简介(通信作者):王西锋(1985—),男,陕西宝鸡人,陕西省环境科学研究院工程师,研究方向为水环境污染防治,

E-mail:123.wangxifeng@163.com

动控制器按设定参数保持连续进水连续曝气.参数设定:进水流量 4 L/d,好氧反应器有效体积 1.8 L,沉淀池有效体积 0.2 L, HRT 为 12 h,曝气量 30 L/h,进水有机负荷 0.8 g/(L·d),混合液回流比 200%.实验开始 1 d 后,可以观察污泥颜色由黑色变为深褐色,3 d 后深褐色变为土褐色,5 d 后污泥镜检出现微生物.通过水质监测,活性污泥驯化周期较短,不需排泥,经过运行 12 d, COD 去除率可达 90.0%,NH₄⁺-N 去除率可达 95.0%.

1.4 分析方法

COD 采用重铬酸盐法(GB11914-89),NH₄⁺-N 采用纳氏试剂比色法(HJ535-2009),TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ636-2012),TP 采用钼酸铵分光光度法(GB11893-89),pH 采用 sartoriusPB10 标准测定.



1. 配水箱;2. 进水泵;3. 空气泵;4. 气体流量计;
5. 好氧池;6. 回流泵;7. 出水桶.

图 1 实验装置流程图

Fig.1 Schematic diagram of aerobic reactor

表 1 模拟生活污水组分

Tab.1 Components of simulated sewage

成分	C ₆ H ₁₂ O ₆ ·H ₂ O	NaHCO ₃	NH ₄ Cl	KH ₂ PO ₄	FeSO ₄ ·7H ₂ O	CaC ₁₂ ·2H ₂ O	MgSO ₄ ·7H ₂ O
用量/(mg·L ⁻¹)	412.50	400.00	76.41	17.58	10.00	10.00	10.00

表 2 模拟生活污水水质

Tab.2 Quality of simulated sewage

参数	COD/(mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	pH
数值	400±15	20±3	25±3	4.0±0.3	6~9

表 3 微量元素母液组分

Tab.3 Components of trace element

成分	H ₃ BO ₄	Na ₂ MoO ₄ ·H ₂ O	CuSO ₄ ·5H ₂ O	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	KI	CoCl ₂ ·6H ₂ O	MnCl ₂ ·4H ₂ O	EDTA
用量/(mg·L ⁻¹)	150	60	30	120	180	150	120	10 000

2 结果与讨论

2.1 有机物去除特性

反应器接种厌氧污泥,进行连续进水连续曝气,12 d 后初步构建出好氧生物处理系统,出水 COD 从 400 mg/L 降到 39 mg/L,去除率达到 90.3%.由图 2 可知:反应器启动运行 30 d 内,出水第 1 天到第 3 天 COD 去除率缓慢上升,第 4 天到第 7 天 COD 去除率处于短暂稳定期,第 8 天到 11 天 COD 去除率迅速上升,第 12 天以后趋于稳定在 90.0% 左右.

这是因为反应器启动前 3 d,由于接种厌氧污泥的厌氧细菌在好氧条件下生长受到抑制,使得反应器内原来的优势厌氧细菌大量减少,虽然 COD 去除率图上曲线表现是小幅度上升,但去除率最高也仅为 20.4%;第 4 天到第 7 天,反应器内兼性细菌及少量好氧细菌正处在新培养环境中的适应期,好氧细菌还没有成为优势菌种,此时污泥活性不高,COD 去除率的图上曲线表现为短暂稳定,仅从 25.6% 上升到 30.8%;第 8 天到第 11 天,COD 去除率上升较快,从 45.0% 升到 86.1%,这是由于实验用水为较易降解的葡萄糖,好氧细菌处于对数增长期,逐渐成为反应器内优势菌种,随着好氧污泥絮体增多,污泥活性也比原来有所提高,COD 去除率曲线表现为大幅度上升;第 12 天以后,COD 去除率稳定在 90.0%,说明反应器内好氧活性污泥已经形成并且好氧细菌正处于稳定期.

2.2 氮磷去除特性

由图3可知:反应器运行前5 d,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率较低,第6天到第8天 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率迅速上升,第9天到第11天 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率小幅上升,第12天以后趋于稳定.这是因为反应器运行初期,接种厌氧污泥中的异养菌(主要是反硝化细菌)是优势菌种,对污泥中的有机物进行降解或进行内源降解来维持生存,因此部分蛋白质分解生成 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,而此时硝酸盐菌和亚硝酸盐菌极少,还不能大量消耗反应器里的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,因此第1天到第5天,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 从19.88 mg/L降到18.10 mg/L,去除率达到16.0%;第6天到第8天,随着曝气时间延长,硝酸盐菌和亚硝酸盐菌在有氧条件下逐渐成为优势菌种,反应器内微生物的硝化反应在 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除中占主导,主要是把 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 氧化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 从12.36 mg/L降到5.31 mg/L,去除率从41.0%升到74.8%,曲线表现为 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率迅速上升;第9天到第11天, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率仍在稳步上升,可能是因为硝化细菌仍然处于生长繁殖期,第12天后才步入稳定期, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率稳定在95.7%左右.

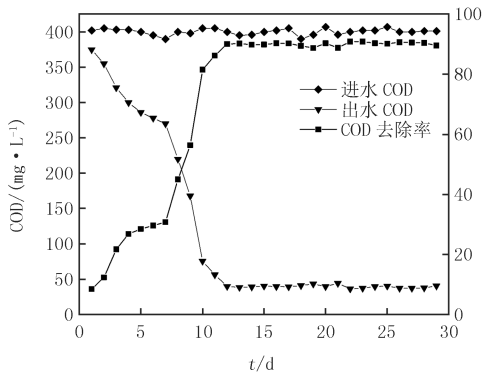


图2 COD去除特性

Tab.2 Removal characteristics of COD

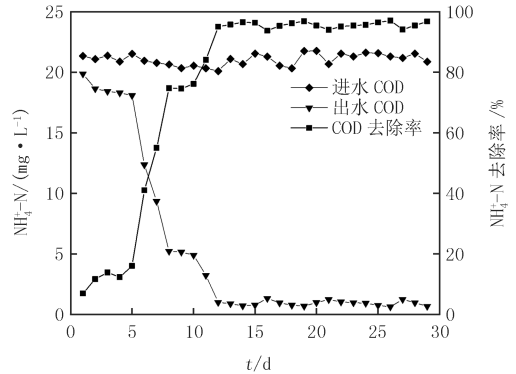


图3 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除特性

Tab.3 Removal characteristics of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

由图4可知:运行前5 d,出水TN去除率稳中有升,第6天到第9天,TN去除率上升较快,第11天后趋于稳定.这是因为反应前5 d,好氧的硝化细菌尚处在恢复阶段,生长活性较低,靠微生物生长消耗TN非常有限,另外污泥的颗粒化现象不是很明显,污泥粒径还较小,没有形成同步硝化与反硝化所需的微环境,因此到第5天,TN出水17.99 mg/L,去除率25.3%;从第6天到第9天,TN去除率从30.0%迅速上升到71.3%,第10天以后,TN去除率稳定在72.0%左右,这是因为反应器内随着污泥颗粒粒径的增加,氧的扩散受到一定限制,在污泥颗粒内部形成了缺氧区,在这个缺氧区为反硝化细菌的生长提供了有利条件,因此污泥颗粒上形成了表面硝化与内部反硝化的同步反应,因此TN去除率迅速上升,并趋于稳定.

由图5可知:第1天到第5天,TP去除率上升较慢,第6天到第9天,TP去除率上升较快,第10天到第12天小幅上升,以后趋于稳定.这是因为反应运行前5天,好氧污泥还正处在恢复期,聚磷菌吸磷非常有限,所以运行到第5天,TP去除率只有24.9%;第6天到第9天,随着好氧活性污泥颗粒化,形成污泥颗粒内部缺氧与外部好氧的环境,聚磷菌厌氧释磷好氧过量吸磷,所以TP去除率上升较快,第9天TP去除率达到69.1%,通过后面20 d的运行,TP去除率稳定在82.0%左右,实验过程没有排泥,但是并没有出现因污泥吸附饱和而导致TP去除率下降的问题,可能是系统中还存在菌胶团类摄磷微生物,这类菌胶团类细菌会过量摄取水中磷酸盐并合成体内储能物质用以生长代谢,因此TP出水保持稳定.

2.3 接种厌氧/好氧污泥启动性能比较

本文接种厌氧污泥启动好氧反应器,启动周期12 d,COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率分别达到90.0%、95.0%.查阅有关接种好氧污泥启动好氧反应器的文献,王硕等^[11]研究表明,启动周期40 d,COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率分别达到87.2%、81.8%;孔德芳等^[12]研究表明,启动周期55 d,COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率分别达到94.0%、90.0%;王晓艳等^[13]研究表明,启动周期56 d,COD去除率达到94.0%.通过综合对比,厌氧污泥接种启动好氧反应器,启动周期较短,主要水污染物去除率较高.

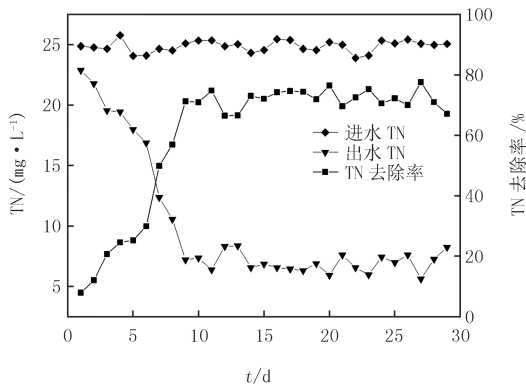


图4 TN去除特性

Tab.4 Removal characteristics of TN

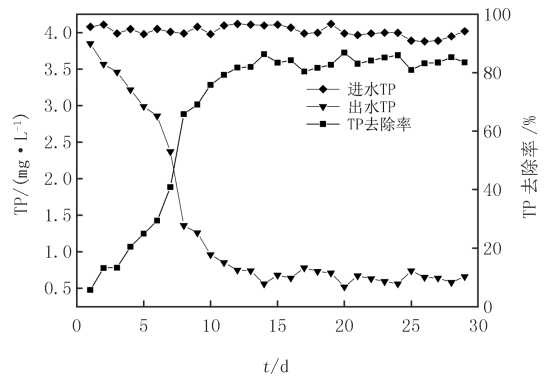


图5 TP去除特性

Tab.5 Removal characteristics of TP

3 结论

在常温条件下,用厌氧污泥接种启动好氧反应器,连续进水连续曝气,模拟生活污水进水量 4 L/d, HRT 12 h, 进水均值 COD 400 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 20 mg/L, TN 25 mg/L, TP 4 mg/L, 经过 12 d 运行, COD 去除率 90.0%, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率 95.0%, 可实现厌氧污泥培养好氧活性污泥的快速启动。经过 29 d 运行, 污染物去除效率稳定, TP 去除率达到 82.0%, 整个过程没有排泥, 并没有出现因污泥吸附饱和而导致 TP 去除率下降的问题, 说明系统中可能生长有某些摄磷微生物。

参 考 文 献

- [1] 王刚, 刘春梅, 赵雪莲, 等. 缺氧接触氧化/生物转盘组合工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水, 2019, 35(19): 99-104.
WANG G, LIU C M, ZHAO X L, et al. Treatment of Rural Domestic Sewage by Combined Process of Anoxic Contact Oxidation/Rotating Biological Disc[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(19): 99-104.
- [2] 李发站, 陆佳兴. 农村生活污水治理中存在的问题与对策[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018, 39(4): 23-28.
LI F Z, LU J X. Problems and countermeasures in rural domestic sewage treatment[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2018, 39(4): 23-28.
- [3] 梁学颖. 村镇污水处理解决方案及应用[J]. 净水技术, 2018, 37(8): 25-27.
LIANG X Y. Solution and application of sewage treatment in villages and towns[J]. Water Purification Technology, 2018, 37(8): 25-27.
- [4] 高柳堂. 强化复合厌氧技术处理农村污水研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
GAO L T. Study on the treatment of rural sewage by hybrid anaerobic technology[D]. Beijing: Bei Jing University of Civil Engineering and Architecture, 2019.
- [5] 张浩然, 丁慧羽, 贾瑞琦, 等. 利用厌氧生物活性炭实现厌氧生物滤池快速启动[J]. 中国给水排水, 2018, 34(17): 29-34.
ZHANG H R, DING H Y, JIA R Q, et al. Rapid Start-up of Anaerobic Biofilter Using Anaerobic Biological Activated Carbon[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(17): 29-34.
- [6] 金羽, 李建政, 马放, 等. A2/O 系统在低温和中温条件下的启动运行特征[J]. 中国给水排水, 2014, 30(1): 61-65.
JIN Y, LI J Z, MA F, et al. Start-up of A2/O Process at Low and Medium Temperatures[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(1): 29-34.
- [7] ABDULLAH N, YUZIR A, CURTIS T P, et al. Characterization of aerobic granular sludge treating high strength agro-based wastewater at different volumetric loadings[J]. Bioresource Technology, 2013, 127(1): 181-187.
- [8] 黄思琦, 邓风, 张睿, 等. 好氧颗粒污泥培养及其稳定性研究[J]. 现代化工, 2018, 32(2): 106-109.
HUANG S Q, DENG F, ZHANG R, et al. Cultivation of aerobic granular sludge and its stability study[J]. Modern Chemical Industry, 2018, 32(2): 106-109.
- [9] 王硕, 于水利, 时文歆, 等. 好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究[J]. 环境科学, 2012, 33(4): 1293-1298.
WANG S, YU S L, SHI W X, et al. Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment[J]. Environmental Science, 2012, 33(4): 1293-1298.
- [10] 刘风华, 宋永会, 曾萍, 等. 厌氧出水培养好氧颗粒污泥及其微生物多样性分析[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(1): 70-74.

- LIU F H, SONG Y H, ZENG P, et al. Cultivation of Aerobic Granules with Effluent from ABR and Analysis of Their Microbial Diversity of Microbial Communities[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 37(1): 70-74.
- [11] 王硕, 阮智宇, 王燕, 等. 低温好氧颗粒污泥反应器的启动特性研究[J]. *中国给水排水*, 2014, 30(23): 1-5.
WANG S, RUAN Z Y, WANG Y, et al. Start-up Characteristics of Aerobic Granular Sludge Bioreactor at Low Temperature[J]. *China Water & Wastewater*, 2014, 30(23): 1-5.
- [12] 孔德芳, 梁亦欣, 柏义生. SBR 系统中不同培养条件下好氧颗粒污泥的启动[J]. *环境工程*, 2018, 36(8): 39-42.
KONG D F, LIANG Y X, BAI Y S. Cultivation of Aerobic Granular Sludge in SBR Reactor under Different Conditions[J]. *Environmental Engineering*, 2018, 36(8): 39-42.
- [13] 孔晓艳, 买文宁, 唐启. 好氧颗粒污泥的培养及其对污染物去除特性研究[J]. *环境污染与防治*, 2019, 41(9): 1064-1069.
WANG X Y, MAI W N, TANG Q. Cultivation of Aerobic Granular Sludge and its Pollutant Removal Characteristics[J]. *Environmental Pollution and Prevention*, 2019, 41(9): 1064-1069.

Study on the aerobic device cultivated by anaerobic sludge treatment of sewage

Wang Xifeng, Sun Changsun, Wang Lixiang

(Shaanxi Provincial Academy of Environmental Science, Xi'an 710061, China)

Abstract: Taking township domestic sewage as samples, the small device which cultivated by anaerobic sludge was used to construct the environment of aerobic biological with the method of continuous into water and continuous aeration, and the efficiency of pollutants removal was being observed. The results indicated that under the condition of normal temperature, sewage inflow 4 L/d, HRT 12 h, average COD 400 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 20 mg/L, TN 25 mg/L, TP 4 mg/L; after 12 days, sewage outflow COD 39.80 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 0.98 mg/L, TN 8.32 mg/L, TP 0.96 mg/L; after 29 days, COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal efficiency can both reach 90.0%, and aerobic activated sludge grew well. It showed the aerobic biological treatment system was successfully constructed.

Keywords: sewage; anaerobic start-up aerobic; chemical oxygen demand; ammonia nitrogen; pollutants removal

[责任编辑 赵晓华 陈留院]