

3A-MBR 工艺污水脱氮特性试验研究

蒋娜莎¹, 金腊华², 周元²

(1. 广州蓝碧环境科学与工程顾问有限公司, 广东 广州 510041; 2. 暨南大学 环境学院, 广东 广州 510632)

[摘要]将传统 A²O 工艺与膜生物反应器相结合, 构建了 3A-MBR 污水处理试验装置, 进行了中试试验, 旨在提高传统污水处理工艺的脱氮效果。试验结果表明, 在处理规模为 24.0 m³/d 条件下, COD、TN 和氨氮的平均去除率分别达到 90.3%、72.1% 和 99.0%, 出水水质主要指标达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)中的一级 A 标准。通过多点进水优化了碳源配置, 采用三路回流确保厌氧池的污泥浓度、缺氧池的缺氧环境, 增强了反硝化效果。

[关键词]A²O-MBR 工艺; 脱氮; 污泥回流; 多点进水

[中图分类号]X703.1

[文献标识码]A

[文章编号]1007-1865(2015)15-0168-03

Experimental Study on Sewage Nitrogen Removal Characteristics by 3A-MBR Technology

Jiang Nasha¹, Jin Lahua², Zhou Yuan²

(1. Guangzhou Lampbi Environmental Science and Engineering Consulting Corporation Limited, Guangzhou 510041; 2. School of Environment, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: In order to improve nitrogen removal effect during traditional sewage treatment process, pilot sewage treatment experiments were accomplished with an installation of 3A-MBR technology which combined traditional A²O process with a adjusting tank and membrane biological reactor. The experimental results show that the average removal rates of COD, TN and NH₄⁺-N can arrive at 90.3%, 72.1% and 99.0% respectively, and the water quality of discharge flow from the installation can meet the requirement of Class A of Level I standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002), under the condition of treatment scale as 1.0 m³/h. During the process, inner carbon configuration was optimized through step feeding raw sewage, and the hypoxia environment in anoxic pond was enhanced by backflow from MBR, then the denitrification effect had been improved.

Keywords: A²O-MBR technology; nitrogen removal; oxygen supply by backflow; step feeding raw water

我国城镇污水处理厂大多采用活性污泥法, 其中以 A²O 工艺居多^[1-3]。但是 A²O 工艺存在脱氮污泥龄时间长而除磷污泥龄时间短、反硝化菌与聚磷菌争夺碳源等问题, 致使 A²O 工艺脱氮除磷效果不佳^[4,5]。因此, 为了满足日益严格的排水水质要求, 迫切需要开发高效脱氮除磷新工艺。

膜生物反应器(MBR)具有出水水质好、占地面积小和产泥率低等特点, 在污水处理及回用中发挥着越来越重要的作用^[6-8]。有研究表明, A²O-MBR 形成的组合工艺具有良好的脱氮除磷效果, 并且能解决 A²O 工艺存在的污泥龄问题^[9,10], 但仍存在反硝化不彻底、硝态氮含量高、除磷效果差的问题^[11]。

为了改善缺氧池的缺氧环境、增强反硝化脱氮效果和增强厌氧池的除磷效果, 本文在 A²O-MBR 的基础上, 在 A²O 与 MBR 之间增设一个缺氧调节池, 形成 3A-MBR 工艺, 形成由厌氧池(A)、缺氧池(O)、好氧池(O)和缺氧调节池(A)以及膜生物反应器(MBR)组成的污水处理系统, 通过试验来分析该工艺的脱氮效果。本文的研究成果对于现有 A²O 工艺污水处理厂的升级改造和新建污水处理厂的工艺设计均具有重要的指导意义。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

中试装置采用焊接钢板制备, 用开孔钢板分割成厌氧池、缺氧池、好氧池、缺氧调节池和膜池, 外观尺寸为长 4.0 m、宽 2.0 m、高 2.0 m, 其中膜池由 7 个膜组件、供气管路、反向在线清洗系统等构成, 膜组见采用帘式中空纤维管, 其管径为 0.4 μm, 在膜组件下方设穿孔曝气管, 通过曝气为活性污泥提供溶解氧并实现对膜面污染物的吹扫, 平均抽吸过滤周期为 8 min, 其中抽水 7 min, 反冲洗 1 min; 采取在线清洗方式, 定期设定清洗时间进行清洗, 一周进行一次低浓度的“小洗”, 每月进行一次高浓度的“大洗”, 清洗用药液采用次氯酸钠溶液。小洗: 1 周进行一次: 300~1500 mg/L 的次氯酸钠水溶液; 大洗: 1 月进行一次: 3000~5000 mg/L 的次氯酸钠水溶液。

试验装置的工艺流程为: 原水经过格栅过滤后, 以总流量 Q 从进水管进入试验装置, 然后按比例以流量 q₁、q₂、q₃ 分别进入厌氧池、缺氧池和缺氧调节池; 进入厌氧池的污水(流量 q₁)经过厌氧硝化后排入缺氧池, 与输入的原水(流量 q₂)混合进行缺氧硝化/反硝化后排入好氧池; 在好氧池经过好氧消化后混合液排入缺氧调节池, 部分污泥(流量 R₂)回流到缺氧池; 在缺氧调节池, 好

氧池来水与输入的原水混合, 经过缺氧反硝化调节后输入到 MBR 膜池, 部分污泥(流量 R₃)回流到厌氧池; 在膜池经过好氧消化和生物过滤后, 上清液外排, 部分底泥(流量 R₁)回流到好氧池。整个工艺流程如图 1 所示。

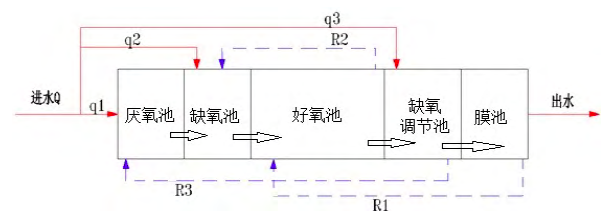


图 1 3A-MBR 工艺流程

Fig 1 Technological flowchart of 3A-MBR

1.2 试验工艺参数

1.2.1 多点进水流量与污泥回流比

在中试试验中, 多点进水的比例为 4:4:2, 即 $q_1=q_2=0.4Q$, $q_3=0.2Q$; 污泥回流比为 $r_1=400%$, $r_2=300%$, $r_3=200%$, 即 $R_1=4Q$, $R_2=3Q$, $R_3=2Q$ 。

1.2.2 水力停留时间

在中试试验中, 总水力停留时间 HRT 为 17.14 h, 其中厌氧池为 1.98 h, 缺氧池为 4.61 h, 好氧池为 5.74 h, 缺氧调节池为 2.87 h, 膜池为 1.94 h。

1.3 试验启动过程

将从某污水处理厂的生化池提取的活性污泥放入试验装置, 经过近 10 d 的驯化培养, 厌氧池、缺氧池、好氧池、缺氧调节池、膜池的污泥浓度分别达到 6128 mg/L、6230 mg/L、6376 mg/L、6530 mg/L 和 7564 mg/L, 污泥龄达到 17 d。然后, 将原水输入到试验装置, 开始中试试验, 试验过程中控制进水流量 Q 为 24 m³/d。

1.4 原水

试验是在某污水处理厂进行的。原水取自该污水处理厂的初次沉淀池出水口, 原水水质见表 1。

1.5 试验水质取样与分析方法

为保证监测数据的可比性, 每次取样时间、位置保持一致。从各反应池的出口采取样品, 样品沉淀后, 取上清液, 用两层定

[收稿日期] 2015-07-06

[基金项目] 东莞市高校科研机构科技计划项目(2012108101002)

[作者简介] 蒋娜莎(1984-), 女, 贺州人, 硕士, 主要研究方向为水污染控制理论与技术。

性中速滤纸抽滤,至少抽取 1000 mL 滤液。滤液用于测定 COD、TN、NH₄⁺-N、TP、NO₃-N,其他指标利用便携仪器直接在反应池内测定。

水质分析方法:COD 测定采用重铬酸钾法,NH₄⁺-N 测定采用纳氏试剂分光光度法,TN 测定采用过硫酸钾氧化分光光度法,TP 测定采用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法,NO₃-N 测定采用纳氏试剂分光光度法,MLSS、DO 采用便携测定仪测定。

表 1 原水水质

Tab.1	Raw water quality	mg·L ⁻¹
	范围	均值
COD	73.20~259.00	166.1
TN	14.04~26.18	20.11
氨氮	12.50~24.44	18.47
TP	1.02~2.28	1.65

2 试验结果与讨论

2.1 COD 去除效果

根据试验水质取样分析结果可知,在进水 COD 在 73.20~259.00 mg/L 范围内大幅波动情况下,经过 3A-MBR 工艺处理后,出水 COD 浓度始终保持在 25 mg/L 以下,COD 去除率高达 90.35% 如图 2 所示。这表明 3A-MBR 工艺出水水质指标 COD 稳定,具有很好的抗进水 COD 冲击负荷的能力,出水 COD 浓度优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)一级 A 标准(COD 50 mg/L)。

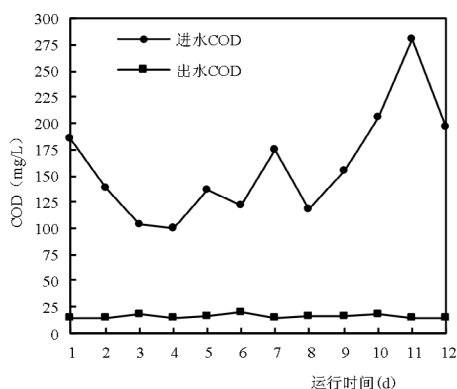


图 2 进出水 COD 浓度变化

Fig.2 Concentration curve of COD in inflow and outflow water

3A-MBR 工艺能高效去除 COD 的主要原因在于:其一,厌氧池的厌氧水解过程能够对冲击负荷起到削峰填谷作用,使进水水质波动幅度减小;其二,好氧池和缺氧调节池污泥浓度高,具有抗高冲击负荷的容量和能力;其三,MBR 超滤膜具有高效截留的作用,膜池的强曝气也有利于污泥与有机物的充分混合,促进了有机物的降解,确保了出水水质指标 COD 浓度低和相对稳定。

2.2 氨氮的去除效果

根据试验水质取样分析结果可知,在进水氨氮在 12.50~24.44 mg/L 范围内大幅波动情况下,经过 3A-MBR 工艺处理后,出水氨氮浓度均低于 0.5 mg/L,氨氮平均去除率为 98.9%,如图 3 所示。从图 3 可知,3A-MBR 工艺具有很好的氨氮去除效果和很强的抗进水氨氮冲击负荷的能力,出水氨氮浓度大大优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)一级 A 标准(氨氮 5 mg/L)。

根据试验监测数据,分析了各反应池出水的平均氨氮浓度变化(见表 2)。从表 2 可见,在厌氧池,氨氮去除率高达 85%以上,这是由于原水进入厌氧池后首先被稀释,根据厌氧池的容积和进水量对比可知,稀释倍数接近 2,故稀释作用使氨氮浓度降低近一半,其次在厌氧状态下,聚磷菌释放磷并吸收低级脂肪酸等易降解的有机物而进行细胞合成,氨氮因此被去除一部分,使厌氧池污水中氨氮浓度下降;在缺氧池,反硝化菌利用污水中的有机物作碳源,将回流混合液中带入的大量 NO₃-N 和 NO₂-N,通过生物反硝化作用,还原为 N₂ 释放至空气,使缺氧池氨氮浓度下降 37%;在好氧池,在好氧硝化菌作用下,有机氮被氨化继而硝化而转化成硝酸盐,使氨氮浓度显著下降,去除率达 78%以上;在缺氧调节池,从好氧池排入的大量硝酸盐,通过反硝化菌的生物反硝化作用,还原为 N₂ 释放至空气,使氨氮浓度进一步下降,

但由于绝大部分通过内循环回路回流到缺氧池,致使该池氨氮去除率仅有 20%作用;在 MBR 池,在曝气好氧化和膜分离作用下,氨氮进一步去除,确保了出水氨氮浓度低于 0.5 mg/L。

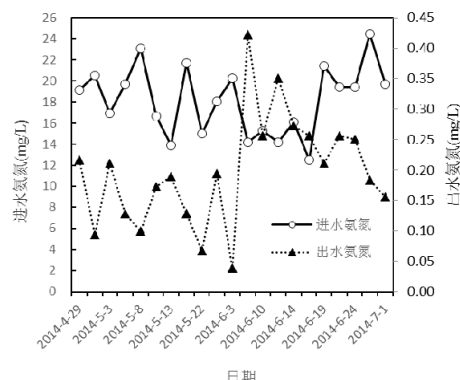


图 3 进出水氨氮浓度变化

Fig.3 Concentration curve of ammonia nitrogen in inflow and outflow water

表 2 各反应池氨氮去除效果

Tab.2	位置	出口氨氮浓度/(mg·L ⁻¹)	氨氮去除率/%
	原水	18.175	-
	厌氧池	2.624	85.56
	缺氧池	1.660	36.73
	好氧池	0.365	78.01
	缺氧调节池	0.292	20.00
	膜池	0.198	32.19

2.3 总氮的去除效果

根据试验水质取样分析结果可知,在进水 TN 在 14.04~26.18 mg/L 范围内大幅波动情况下,经过 3A-MBR 工艺处理后,出水 TN 浓度均低于 8 mg/L,TN 平均去除率为 80.0%,出水总氮浓度大大优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)一级 A 标准(TN 15 mg/L)。如图 4 所示。从图 4 可知,3A-MBR 工艺具有较高的总氮去除效率。

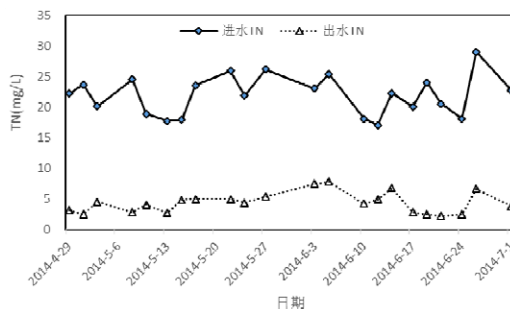


图 4 进出水 TN 浓度变化

Fig.4 Concentration curve of total nitrogen in inflow and outflow water

2.4 脱氮机制的初步分析

为了探讨 3A-MBR 的脱氮机制,根据试验数据,分析了各反应池总氮、氨氮和硝态氮的平均去除率情况(见图 5)。

由图 5 可知,在厌氧池,由于稀释作用和厌氧条件下聚磷菌吸收氨氮等进行细胞合成,使进入厌氧池的原水中的氨氮被稀释和利用,氨氮大部分被稀释和去除,故厌氧池氨氮去除率高达 85%以上,由于原水中氨氮占总氮的质量百分比达 90%,故造成厌氧池总氮去除率也高达 75%以上;在缺氧池,由于机械搅拌和好氧池回流,使缺氧池具有一定的溶解氧,在兼性硝化菌的作用下,部分氨氮被硝化为硝态氮,部分有机氮先被氨化而后被硝化为硝态氮,故缺氧池氨氮去除率达 36%,而硝态氮增长率达 25%;而在兼性厌氧菌的反硝化作用下,从好氧池回流带来的硝态氮和本地的氨氮与有机氮转化成的硝态氮的一部分被反硝化,还原为 N₂ 释放,故缺氧池总氮有少量去除;在好氧池,溶解氧充足,好

氧硝化反应强烈，绝大部分氨氮被硝化为硝态氮，致使好氧池氨氮去除率达 75 % 以上、硝态氮上升 50 % 以上，由于部分硝态氮在好氧反硝化菌和和好氧反硝化酶的作用下被反硝化而还原为 N₂ 释放，故好氧池对总氮具有一定的去除能力，总氮去除率为 11 % 左右；在缺氧调节池，硝态氮在兼性反硝化菌的作用下被还原为 N₂ 释放而去除，氨氮在兼性硝化菌作用下转化为硝态氮，致使缺氧调节池的氨氮去除率约 20 %、硝态氮去除率约 40 %、总氮去除率约 5 %；在膜池，由于曝气，好氧硝化菌大量增殖，氨氮在硝化菌作用下转化为硝态氮，故造成膜池氨氮去除率达 30 %、硝态氮增长约 8 %、总氮变化较小。

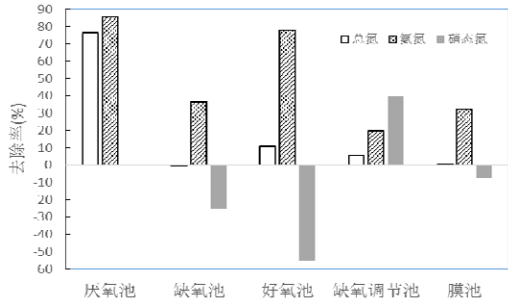


图 5 各反应池总氮、氨氮和硝态氮的平均去除率

Fig.5 Average removal rates of total nitrogen, ammonia nitrogen and nitrate nitrogen of each tank

由于采用了多点进水，确保了厌氧池的聚磷菌吸磷和细胞合成、缺氧池的反硝化反应和缺氧调节池的反硝化反应对碳源的需求，使有机碳源得到充分利用，提高了反硝化效果。

多路回流提高了系统的脱氮效率、降低了能耗，具体表现为：膜池回流到好氧池，为好氧池提供了部分溶解氧，相应可减少好氧池的曝气量，节省了曝气耗能；好氧池回流到缺氧池，为缺氧池提供了少量溶解氧，确保了缺氧池的缺氧环境，也为缺氧池的反硝化反应创造了条件；缺氧池回流到厌氧池，确保了厌氧池的污泥浓度，为厌氧池的厌氧生化反应创造了环境条件。

3 结论

(1)3A-MBR 工艺能够高效去除 COD、TN 和氨氮，出水 COD、

TN 和氨氮浓度优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的一级 A 标准，COD、TN 和氨氮的平均去除率分别达到 90 %、98 %和 80 %；

(2)3A-MBR 系统的脱氮是依赖于硝化反硝化作用，其中缺氧调节池和膜池促进了脱氮，三路回流为确保硝化反硝化环境和节省曝气能耗发挥了重要作用；

(3)多点进水优化碳源配置，促进了反硝化反应。

参考文献

[1]吴昌永. A²/O 工艺脱氮除磷及其优化控制的研究[D]. 哈尔滨工业大学博士学位论文, 2010 .
 [2]Park H O ,Oh S ,Bade R .Application of A2O moving-bed biofilm reactors for textile dyeing wastewater treatment[J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2010, 27(3): 893-899 .
 [3]孙丽娜, 刘华, 陈锡剑, 等. A²/O 工艺用于城镇污水处理厂的升级改造[J]. 中国给水排水, 2014, 30(24): 80-83 .
 [4]叶长兵, 周志明, 吕伟, 等. A²/O 污水处理工艺研究进展[J]. 中国给水排水, 2014, 30(15): 135-137 .
 [5]曾薇, 李磊, 杨莹莹, 等. A²/O 工艺处理生活污水短程硝化反硝化的研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(5): 625-632 .
 [6]Banu J R , Uan D K , Yeom I T . Nutrient removal in an A2O-MBR reactor with sludge reduction[J]. Bioresource Technology ,2008 ,100(16) :3820-3824 .
 [7]刘博, 杨爱, 周勇, 等. A²/O-MBR 工艺在市政工程中的应用研究[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2015, 27(2): 55-58 .
 [8]谷维梁, 程方琳, 宋朝媛 等. A²/O-MBR 工艺处理生活污水污染物去除及膜污染特性研究[J]. 水处理技术, 2015, 41(6): 8790 .
 [9]朱宁伟, 李激, 郑晓英, 等. A²/O-MBR 组合工艺处理城市污水的试验研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(15): 1-4 .
 [10]Wang X B ,Jin P K ,Chen R ,et al .A compact A²/O-MBR system for water reclamation in the northwestern China-a case study[J]. Desalination and Water Treatment, 2014, 52(25-27): 5152-5157 .
 [11]曹斌, 黄霞, 杨瑜芳, 等. A²/O-膜生物反应器强化生物脱氮除磷中试研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23: 22-26 .

(本文文献格式: 蒋娜莎, 金腊华, 周元. 3A-MBR 工艺污水脱氮特性试验研究[J]. 广东化工, 2015, 42(15): 168-170)

(上接第 215 页)

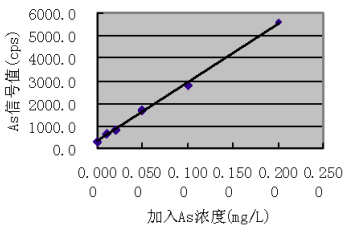


图4 As 工作曲线

Fig.4 Working curve of As

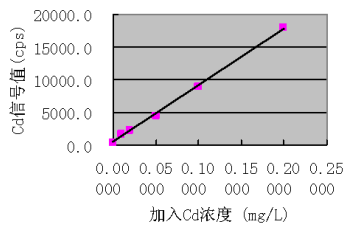


图5 Cd 工作曲线

Fig.5 Working curve of Cd

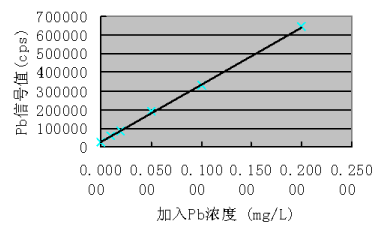


图6 Pb 工作曲线

Fig.6 Working curve of Pb

实验表明,采用标准加入法-电感耦合等离子体质谱法同时测定生活饮用水用聚氯化铝中砷、铅和镉的含量,应用标准加入法消除基体效应所产生的干扰,应用碰撞模式消除样品溶液对元素测定的潜在干扰。方法快速灵敏、准确,能够满足生活饮用水用聚氯化铝中砷、铅和镉的测量要求。

参考文献

[1]王桂萍, 邹坤, 周媛. 电感耦合等离子体质谱法测定吉祥草根茎中多种

金属元素含量[J]. 理化检验 - 化学分册, 2013, 49: 281-283 .

[2]李润生, 李凤亭. 《GB15892-2009生活饮用水用聚氯化铝》[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009 .

(本文文献格式: 区良益, 麦锦欢, 王晓. 标准加入法-电感耦合等离子体质谱法同时测定生活饮用水用聚氯化铝中砷、镉和铅[J]. 广东化工, 2015, 42(15): 214-215)