

升流缺氧/好氧脱氮工艺处理生活污水的研究

汪翠萍¹, 魏拓^{1,2}, 郑明霞¹, 王凯军¹

(1. 清华大学环境学院 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084;
2. 中国矿业大学<北京> 化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 对传统 A/O 工艺和升流缺氧/好氧(UA/O)脱氮工艺处理城市生活污水的效果进行了对比研究。结果表明,在 HRT、SRT、DO、pH 值、混合液回流比、污泥回流比、好氧段 MLSS 等运行参数相同的情况下,A/O 和 UA/O 两组工艺对 COD 的去除效果相当,平均去除率分别为 88% 和 89%;对 NH₃-N 的去除效果也相差不大,平均去除率分别为 90% 和 92%;但 UA/O 工艺对 TN 的去除效果更好,平均去除率为 57%,比 A/O 工艺高了 12%。另外,在进水水质波动较大的情况下,UA/O 工艺的抗冲击负荷能力更强,出水水质更稳定。

关键词: A/O 工艺; 升流缺氧/好氧工艺; 城市生活污水; 脱氮

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2014)05-0088-04

Up-flow Anoxic/Oxic Process for Nitrogen Removal in Domestic Sewage Treatment

WANG Cui-ping¹, WEI Tuo^{1,2}, ZHENG Ming-xia¹, WANG Kai-jun¹

(1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The efficiencies of up-flow anoxic/oxic (UA/O) and conventional A/O process for municipal domestic sewage treatment were studied comparatively. The results showed that under the same operating parameters, such as HRT, SRT, DO, pH, mixed-liquor return ratio, sludge return ratio and oxic MLSS, the A/O process and the UA/O process had similar COD removal efficiencies, and the average COD removal rates were 88% and 89%, respectively. There was not much difference in NH₃-N removal efficiency between the two processes, the average NH₃-N removal rates were 90% and 92%, respectively. The UA/O process achieved 57% of the average TN removal rate, which was 12% higher than the A/O process. The UA/O process had stronger shock load resistance and more stable effluent quality when fluctuation in influent quality was large.

Key words: anoxic/oxic process; up-flow anoxic/oxic process; municipal domestic sewage; nitrogen removal

传统 A/O 工艺是典型的脱氮工艺,然而在实际运行中,A/O 工艺缺氧段的碳源利用率低,导致反

硝化进行不彻底,大量硝态氮进入好氧区,致使出水硝态氮浓度较高,并且在二沉池硝态氮容易利用内

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2011AA060901)

碳源进行反硝化,从而导致二沉池污泥上浮,最终影响出水水质^[1,2]。彭永臻等人^[3]的研究结果表明,适宜的C/N值有利于总氮的去除。然而,我国排水系统多采用合流制,导致污水厂进水C/N值偏低,因此寻求适合低C/N值进水条件的脱氮工艺显得尤为重要。笔者针对传统A/O工艺的不足进行改进,将缺氧段的完全混合模式改为升流模式,以期能提高系统的处理效果,尤其是提高脱氮效率。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

A/O反应器为聚氯乙烯塑料材质,有效容积为25 L,均分为5个格室,第1格室为缺氧池,其余4个格室为好氧池。UA/O反应器则是将A/O反应器的缺氧池用同体积的有机玻璃缺氧升流柱代替,其他与A/O反应器相同,具体见图1。二沉池采用竖流式,HRT为1.25 h左右。试验进水、混合液回流和污泥回流均采用蠕动泵控制,反应器内的污泥浓度控制在2.5~3.0 g/L之间,SRT控制在20 d左右,进水流量为75 L/d左右,HRT控制在8 h左右,采用气体流量计控制曝气量,保持好氧段DO在2~5 mg/L。

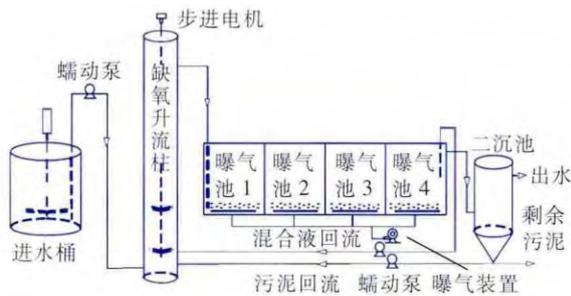


图1 UA/O反应器

Fig. 1 Schematic diagram of UA/O reactor

1.2 试验进水

试验进水为北京某城镇污水处理厂初沉池出水,其COD为167~412 mg/L(均值为289 mg/L),TN为45~69 mg/L(均值为52 mg/L),NH₃-N为35~57 mg/L(均值为47 mg/L),NO₃⁻-N为0~4.80 mg/L(均值为0.87 mg/L),NO₂⁻-N为0~0.13 mg/L(均值为0.07 mg/L),COD/TN值为4.8~7.5(均值为5.7),pH值为6.2~7.9(均值为7.43)。

1.3 分析项目及方法

COD: 哈希微回流比色法; TN: 过硫酸钾氧化—

紫外分光光度法; NH₃-N: 水杨酸-次氯酸盐分光光度法; NO₃⁻-N: 紫外分光光度法; NO₂⁻-N: N-(1-萘基)-乙二胺分光光度法; DO、pH值: 哈希公司的溶氧仪和pH计; MLSS、MLVSS: 重量法。

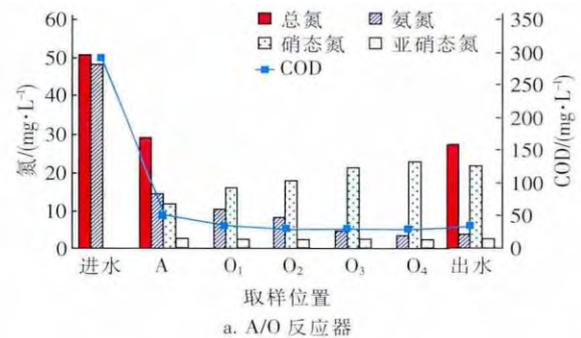
2 结果与讨论

2.1 DO和pH值的沿程变化

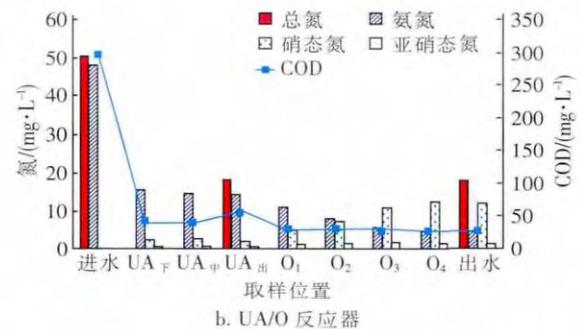
A/O工艺缺氧段的DO平均为0.16 mg/L,满足缺氧段对DO的要求;而UA/O工艺缺氧升流柱底部和出水DO浓度分别为0.21、0.08 mg/L,当大量混合液流入缺氧升流柱底部时,其中携带的大量DO被底部污泥迅速消耗掉,避免了DO对反硝化作用的影响。两反应器内各好氧区的DO平均浓度都在2~4 mg/L范围内,且都沿水流方向呈逐渐升高的趋势。另外,A/O和UA/O系统的pH值均在7~8之间,基本满足系统内微生物对pH值的要求。

2.2 含氮化合物和COD的沿程变化

控制两个反应器的好氧区DO在3 mg/L、污泥回流比为75%、混合液回流比为200%,考察TN、NH₃-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、COD浓度的沿程变化,结果如图2所示(未检测好氧区以及缺氧柱中、下层的TN浓度)。



a. A/O反应器



b. UA/O反应器

图2 COD和含氮化合物浓度的沿程变化

Fig. 2 Concentrations of COD and nitrogen along A/O process and UA/O process

$\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在两反应器的缺氧区都出现了大幅降低,这主要是由于混合液和污泥回流到缺氧区,对进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度产生了稀释作用,两反应器缺氧段的出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度基本相同。在好氧区,由于硝化反应进行比较完全, $\text{NH}_3\text{-N}$ 得到了较好的去除,两组反应器对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的降解速率基本一致,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度基本相同。

与 A/O 反应器相比,UA/O 反应器的缺氧段出水 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度更低,说明 UA/O 反应器的反硝化更彻底。这主要是由于 UA/O 反应器的缺氧升流柱底部有一定高度的污泥层,并且当有机物进入升流柱时,底部污泥层对有机物有较好的吸附作用,这提高了 UA/O 系统缺氧段对碳源的利用效率,有利于系统的反硝化。此外,缺氧升流柱底部的污泥层能迅速消耗掉回流混合液携带的大量 DO,避免了 DO 对反硝化的影响。在好氧区,由于绝大部分氨氮被氧化为硝态氮,导致硝态氮浓度急剧升高。

对 TN 的去除主要发生在缺氧区,是由于缺氧区内发生了反硝化作用。相比之下,UA/O 系统的缺氧段出水 TN 浓度明显低于 A/O 系统。

有机物浓度在缺氧区大幅降低,一是由于混合液和污泥回流的稀释作用,二是一部分有机物被活性污泥吸附后作为反硝化的碳源被去除;剩余的有机物进入好氧区进一步被去除。由于好氧区常处于低 COD 状态,所以形成了以硝化菌为优势菌群的微生物结构。

2.3 A/O 和 UA/O 系统的除污效果对比

试验分为 3 个阶段,污泥回流比分别为 50%、75%、75%,混合液回流比分别为 200%、300%、100%。

2.3.1 对有机污染物的去除效果

A/O 和 UA/O 反应器对 COD 的去除效果对比见图 3。可以看出,试验进水 COD 浓度波动较大,但 A/O 和 UA/O 两系统的出水 COD 基本都能保持在 50 mg/L 以下。相比之下,A/O 系统的出水 COD 波动稍大,出水 COD 在 10~67 mg/L 之间,平均为 35 mg/L,对 COD 的平均去除率为 88%;UA/O 系统的出水 COD 浓度稍稳定,在 6~55 mg/L 之间,平均为 31 mg/L,对 COD 的平均去除率为 89%。个别出水 COD 浓度偏高,这是由于硝酸盐在二沉池内利用内碳源发生了反硝化,产生的气体导致污泥上浮,从而影响了出水水质。总体来看,两个系统对 COD 都

有较高的去除率,而 UA/O 系统的抗冲击能力稍好于 A/O 系统,出水 COD 浓度波动相对较小。

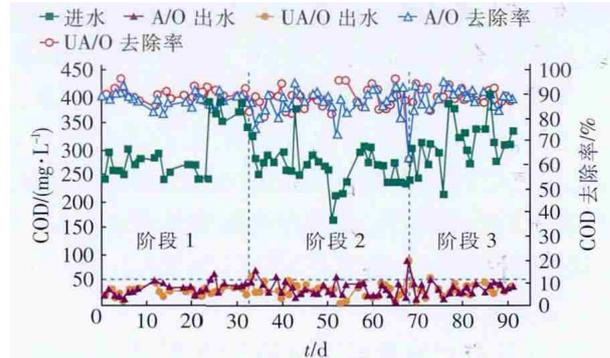


图3 A/O和UA/O反应器对COD的去除效果

Fig. 3 Removal of COD by A/O reactor and UA/O reactor

2.3.2 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果

两个系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果对比见图 4。

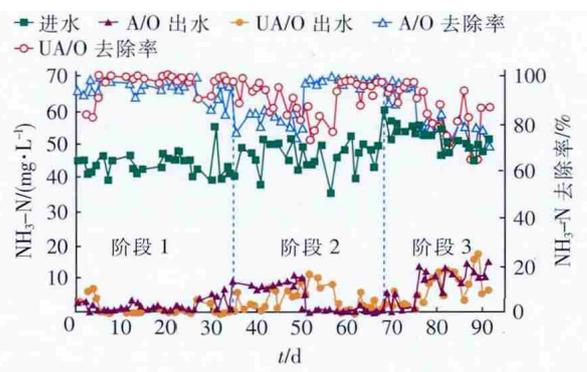


图4 A/O和UA/O反应器对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果

Fig. 4 Removal of $\text{NH}_3\text{-N}$ by A/O reactor and UA/O reactor

由图 4 可以看出,A/O 系统的出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度波动较大,平均值为 4.75 mg/L,平均去除率为 90%;UA/O 系统的出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度较 A/O 系统的要稳定,平均值为 3.96 mg/L,平均去除率为 92%。两反应器的出水氨氮浓度在阶段 1 较稳定,但在阶段 2 前期和阶段 3 后期偏高,这是由于好氧区的曝气量有时不足,影响了系统的硝化作用。总体来看,两个系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果较好且基本相当。

2.3.3 对 TN 的去除效果

两个系统对 TN 的去除效果对比见图 5。可以看出,在整个运行过程中,UA/O 反应器的出水 TN 浓度明显低于 A/O 反应器的。A/O 反应器的出水 TN 在 19~35 mg/L 之间,平均为 28.6 mg/L,对 TN 的平均去除率为 45%;而 UA/O 反应器的出水 TN 在 12~32 mg/L 之间,平均为 22.3 mg/L,对 TN 的

平均去除率为 57% ,相比 A/O 反应器提高了 12% 。分析原因如下:首先,升流柱的结构容易形成污泥层,而污泥层可有效提高污泥浓度,从而可提高反硝化能力;其次,升流柱底部的污泥层可有效吸附水中的胶体、小颗粒有机物和难降解的有机物,有机物的水解为反硝化提供了一部分碳源,同时升流式的流态有利于碳源的高效利用,从而缓解了传统 A/O 工艺碳源不足的问题^[3];另外,缺氧升流柱底部的污泥层能及时消耗混合液回流所携带的大量 DO,避免了 DO 对反硝化作用的不利影响。

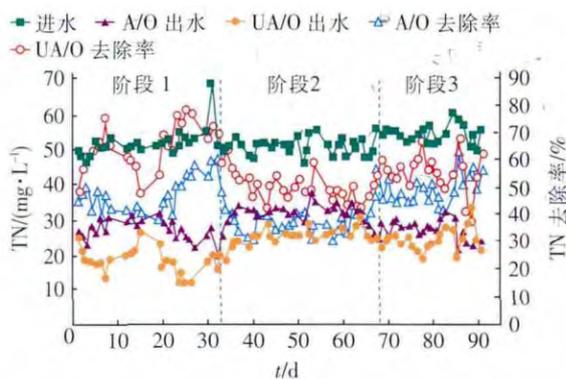


图5 A/O和UA/O反应器对TN的去除效果

Fig. 5 Removal of TN by A/O reactor and UA/O reactor

与 A/O 工艺相比,在相同的进水水质条件下,UA/O 工艺可最大程度地利用碳源去除硝态氮,从而提高系统的脱氮效率,这为采用传统 A/O 工艺污水处理厂的升级改造提供了参考。

3 结论

① 在稳定运行阶段,A/O 系统和 UA/O 系统对 COD 的去除率均较高,平均去除率分别为 88% 和 89%,平均出水浓度分别为 35 和 31 mg/L;两系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除也都比较彻底,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率分别为 90% 和 92%,平均出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度分别为 4.75 和 3.96 mg/L。在进水水质波动较大的情况下,UA/O 系统的抗冲击能力更强,运行

更稳定。

② UA/O 反应器的缺氧升流柱能更充分地利用碳源进行反硝化,并且能迅速消耗掉回流混合液携带的大量溶解氧,避免了溶解氧对反硝化菌的不利影响。因此,UA/O 工艺有较高的脱氮效率,对 TN 的去除率比相同运行条件下的 A/O 工艺提高 12%。A/O 和 UA/O 系统的平均出水 TN 浓度分别为 28.6 和 22.3 mg/L,对 TN 的平均去除率分别为 45% 和 57%。

参考文献:

- [1] 张璇,文一波,孙星凡,等. A/O 改进工艺脱氮效率分析[J]. 水科学与工程学报, 2008 (增刊): 15-17.
- [2] 刘志清,李竞梅,郑秋月. 提高 A/O 法处理生活污水脱氮效率探究[J]. 环境科学与技术, 2004, 27(1): 73-74.
- [3] 彭永臻,高永青,张晶宇,等. H-A-O 工艺强化脱氮及系统内污泥减量的研究[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(6): 1813-1818.



作者简介:汪翠萍(1979-),女,河北唐山人,博士,助理研究员,主要从事污水脱氮除磷、污泥处理处置及资源化方面的研究。

E-mail: crisping@163.com

收稿日期:2013-09-13