

城市污水 H-A-O 生物脱氮工艺研究

李晓晨¹ 杨 敏² 王 超^{1 3} 邹明德³

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098 ; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085 ;
3. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要 : 为同时去除城市污水中的有机物和氮 , 设计了水解-缺氧-好氧 (H-A-O) 生物脱氮处理工艺 , 建立了连续处理实验装置 , 并对该工艺进行了现场中试研究 . 结果表明 : 在总水力停留时间为 7.5 h、硝化出水回流比为 200%、无外加碳源和碱度、无污泥回流的条件下 , 有机物和总氮的去除率分别超过 82% 和 65% ; 以水解取代传统的城市污水处理中初沉池 , 既可有效地改善污水的可生化性 , 又可增强污水处理系统运行的稳定性 .

关键词 城市污水 ; 生物脱氮 ; 水解 ; 反硝化 ; 硝化

中图分类号 : X505 文献标识码 : A 文章编号 : 1000-198X(2006)04- 0370-04

解决水体富营养化问题的关键 , 是对污水进行有效的脱氮除磷处理^[1-2]. 城市污水脱氮处理新工艺较多 , 但大多数工艺由于投资大、运行费用高或控制条件要求严等原因 , 难以发挥应有的作用 . 目前 , 我国城市污水处理存在的主要问题是 (a) 污水处理设施基建投资大 , 一些经济相对落后的地区难以承受 (b) 污水处理运行费用高 , 很多污水处理设施难以正常运行或完全运行 (c) 一些污水处理工艺的运行条件要求严格 , 难以推广应用 (d) 污水处理过程产生的污泥处置费占运行费用的 40% 以上 , 而且存在二次污染问题 . 因此 , 开展高效低耗的污水生物脱氮工艺研究具有重要的现实意义^[3].

本文从提高处理效率和降低能耗这一基本观点出发 , 进行了城市污水中有机物与氮同时去除的工艺研究 . 本研究可以为城市污水的高效低耗处理 , 特别是经济欠发达城市及中小城镇污水生物脱氮处理的工程设计及改造提供有益的参考 ; 同时也可对高浓度有机工业废水的生物处理提供有益的启发 .

1 工艺流程设计及实验方法

1.1 实验工艺流程设计

本实验工艺流程如图 1 所示 . 其中 : H 为水解单元 . 该单元以水解酸化池取代传统的初沉池 , 水解采用上流式厌氧污泥床反应器 . 这既可利用水解对大分子有机基质的初级降解 , 提高污水的可生化性并补充一定量的碳源 , 又可通过水解过程消化掉一部分初级污泥 , 减少剩余污泥量^[4-8]. A 为反硝化处理单元 . 反硝化前置既可以充分利用污水中的有机基质作为反硝化过程的电子供体 , 又可缓解有机负荷对后续硝化段的负面影响 . 反硝化单元采用 UASB 反应器 , 可充分发挥 UASB 反应器处理负荷高、能耗低和污泥产量低等优点 . O 为硝化处理单元 . 硝化处理单元采用了生物接触氧化技术 . 这既可以利用生物接触氧化技术的附着生物量大、抗负荷冲击能力强等优点来克服硝化菌群世代周期长、繁殖缓慢且不易积累的缺点 , 而且不需要硝化污泥回流 , 节省污水处理能耗^[9-11].

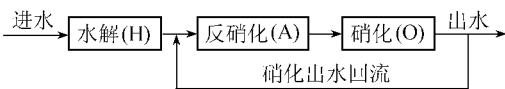


图 1 城市污水 H-A-O 生物脱氮工艺示意图

Fig.1 Sketch of hydrolysis-anaerobic-oxidation process for bio-nitrogen removal from urban wastewater

1.2 材料与方法

本实验在某污水处理厂内进行,实验用污水和活性污泥均来自该厂,主要分析指标及测试方法见表 1.

表 1 分析指标及测试方法

Table 1 Analysis indexes and measurement methods					
序号	指标	测试方法	序号	指标	测试方法
1	$\rho(\text{DO})$	溶氧仪	5	$\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$	离子色谱法
2	pH 值	pH 计	6	$\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$	水杨酸-次氯酸钠分光光度法
3	浊度	哈纳浊度仪	7	$\rho(\text{TN})$	过硫酸钾-紫外分光光度法
4	$\rho(\text{NO}_2^- - \text{N})$	离子色谱法	8	$\rho(\text{COD})$	快速测定法(CTL—12 型 COD 速测仪)

注: $\rho(\text{DO})$ 表示 DO 的质量浓度,其他以此类推.

2 结果与讨论

2.1 有机物的去除效果

在本实验设备稳定运行期间,进水 $\rho(\text{COD})$ 在 130 ~ 250 mg/L 之间,属于典型的低浓度城市污水,且浓度波动范围比较大,但最终处理出水的 $\rho(\text{COD}) \leq 50 \text{ mg/L}$,平均去除率可达 80%(图 2).由此可以看出,该处理系统对有机物具有稳定而较好的处理效果.

连续处理系统的 3 个处理单元均对 COD 有一定的去除效果,而且各阶段对有机物去除的贡献差别明显.由图 3 可以看出,对 COD 去除贡献最大的是反硝化阶段,平均占 COD 去除总量的 50% 左右;去除比例最小的是硝化阶段,特别是实验后期,COD 的去除量不足总去除量的 20%.其主要原因是,回流比提高后,反硝化阶段所消耗的碳源有所增加.3 个阶段去除 COD 的形式也有差别:水解单元主要利用污泥床的截留作用,去除的主要是可沉性 COD;反硝化阶段则主要利用可溶性 COD 作为反硝化过程的电子供体而被反硝化菌还原(还有一部分有机物被反硝化菌同化利用)^[12],进入硝化阶段的 COD 则主要是一些难以被生物降解的有机物,这也是硝化阶段 COD 去除率低的主要原因.由图 3 还可以看出,水解阶段进水 $\rho(\text{COD})$ 波动范围很大,但出水 $\rho(\text{COD})$ 却基本上稳定在 120 ~ 150 mg/L 之间.这可以有效地缓解进水有机负荷对后续工艺的冲击,使工艺有稳定的处理效果.与初沉池的处理效果相比,水解处理具有明显的优势.

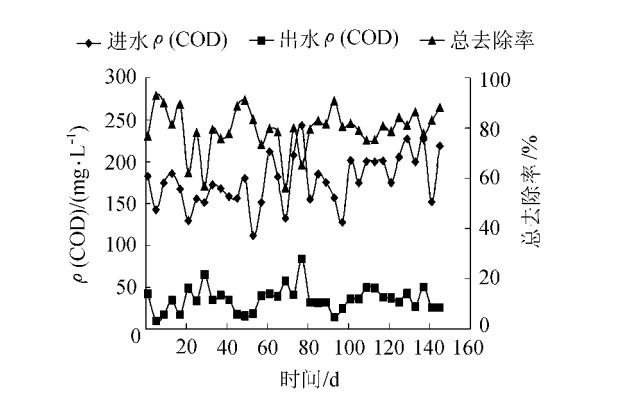


图 2 连续处理系统对有机物的去除效果
Fig.2 Effect of continuous treatment system on organic matter removal

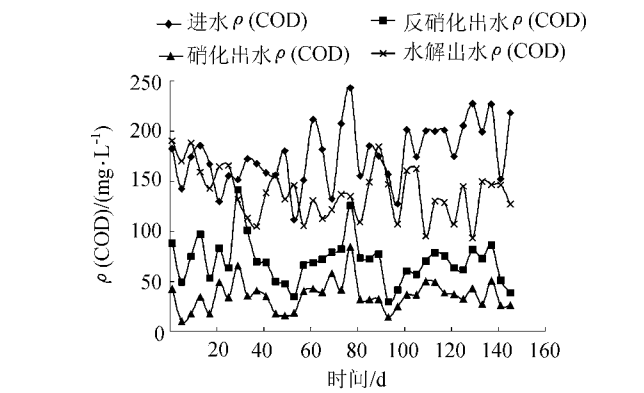


图 3 各处理单元对有机物的去除效果
Fig.3 Effects of each treatment unit on organic matter removal

2.2 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

连续处理系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果如图 4 所示.在生物脱氮工艺的硝化过程中, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 首先在硝化菌和亚硝化菌的作用下氧化为 NO_3^- 和 NO_2^- ,这也是污水生物脱氮的基础.在实验稳定运行情况下, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的进水质量浓度在 25 ~ 50 mg/L 之间,出水质量浓度不超过 3 mg/L,去除率均超过 95%,而且处理效果受进水负荷影响比较小.由图 4 可以看出,水解阶段出水 $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ 普遍高于进水 $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$.这是由于在水解过程中污水颗粒物中的有机氮发生了氨化反应,使得部分有机氮转化为无机氮造成的.

2.3 TN 的去除效果

为减少污水处理的运行费用,实验期间没有外加碳源,而是通过对污水的初级水解处理,充分利用污水

中原有的有机物作为反硝化的碳源.

由图5可以看出:当回流比 $R=1$ 时,系统对TN的去除率约为50%;当 $R=2$ 时,去除率为65%左右,且出水 $\rho(\text{TN})\leq 20\text{ mg/L}$.对前置反硝化生物脱氮而言,TN的去除主要发生在反硝化阶段,其去除率受回流比的限制,回流比 R 越高去除率也越高.但是,提高回流比不仅会增加能耗,而且回流硝化出水中的溶解氧会影响反硝化效率.本实验将 R 最终控制在 $R=2$ 是根据反硝化出水的 $\rho(\text{COD})$ 来确定的.由图3可以看出,反硝化出水 $\rho(\text{COD})$ 为 70 mg/L 左右,而硝化出水 $\rho(\text{COD})$ 在 $30\sim 50\text{ mg/L}$ 之间,且主要是不易生物降解的有机物.这说明原污水中可利用的有机物很少.再进一步提高 R ,则必须外加碳源,才能保证反硝化效果.因此,在无外加碳源时, $R=2$ 是适宜的.如果污水中有机物质量浓度高的话,还可以进一步提高 R .

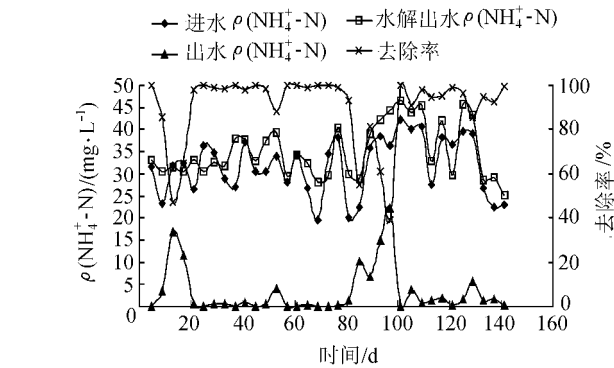


图4 连续处理系统对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果

Fig.4 Effect of continuous treatment system on removal of $\text{NH}_4^+\text{-N}$

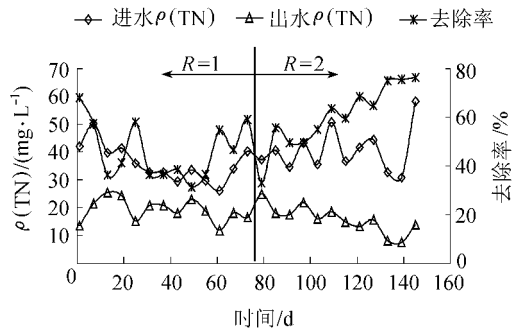


图5 连续处理系统对TN的去除效果

Fig.5 Effect of continuous treatment system on removal of TN

此外,当回流比 $R=1$ 时,TN的理论去除率为50%,但图5出现TN的去除率超过理论值的情况.本来硝化阶段只是将 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 转化为 $\text{NO}_x\text{-N}$,TN量不会发生变化,而实际在硝化阶段TN却出现了损失.在本实验中,硝化过程TN出现损失的原因为:(a)硝化池内微生物的同化生长作用会消耗一部分氮;(b)随着硝化阶段生物填料上生物膜的增厚,生物膜内部出现局部缺氧或厌氧区,从而导致同时硝化反硝化现象的发生^[13-14].

3 结 论

- a. 在水力停留时间为7.5 h, $R=2$ 的条件下,水解-缺氧-好氧(H-A-O)生物脱氮工艺对COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和TN的去除率分别达到80%、95%和65%,而且系统的处理效果稳定,抗水力负荷冲击能力强.
- b. 硝化反应是脱氮系统的限制性因素,硝化过程采用生物接触氧化技术可以有效地解决硝化污泥的泥龄问题,取消硝化污泥回流,可节省污水处理工艺运行能耗.
- c. 以水解取代传统的城市污水处理中初沉池,一方面可有效地改善污水的可生化性,提高后续生物处理的效率,另一方面可有效地缓解水力负荷对处理工艺的冲击,增强污水处理系统运行的稳定性.

参考文献:

[1] 郑兴灿.城市污水生物除磷脱氮工艺方案的选择研究[J].给水排水,2000,26(5):1-4.
[2] 刘鸿志.新时期全国水污染防治工作的分析和建议[J].环境保护,2003(2):9-12.
[3] 刘维成.我国城市水污染控制技术经济政策[J].给水排水,1999,25(10):1-4.
[4] HATZICONSTATINOU G J,YANNAKOPOULOS P,ANDREADAKIS A.Primary sludge hydrolysis for biological nutrient removal[J].Wat Sci Tech,1996,34(1):417-423.
[5] YILMAZER G,YENIGUN O.Two-phase anaerobic treatment of cheese whey[J].Wat Sci Tech,1999,40(1):289-295.
[6] JIANG W Z,KITAMURA Y,LI B M.Improving acidogenic performance in anaerobic degradation of solid organic waste using a rotational drum fermentation system[J].Bioresource Technology,2005,96:1537-1543.
[7] MIN K S,PARK K S.Acidogenic fermentation:utilization of waste sludge as a carbon source in the denitrification process[J].

Environmental Technology 2002, 23: 293-302.

- [8] MOSER E R , UDERT K M , WILD D , et al. Products from primary sludge fermentation and their suitability for nutrient removal [J]. Wat Sci Tech , 1998 , 38 (1) : 265-273.
- [9] 郑均华. 生物接触氧化法在炼油污水处理中的应用 [J]. 工业水处理 , 1998 , 18 (5) : 42-43.
- [10] 侯世全. 生物接触氧化法处理生活污水 [J]. 铁道劳动安全卫生与环保 , 2003 , 30 (1) : 51-53.
- [11] 方志文. 生物接触氧化法处理城镇污水技术经济分析 [J]. 上海市政工程 , 1999 (1) : 52-55.
- [12] 李晓晨 , 潘俊成. 水解作为污水生物脱氮预处理工艺的可行性研究 [J]. 江苏环境科技 , 2003 (1) : 1-3.
- [13] 高廷耀 , 周增炎 , 朱晓君. 生物脱氮工艺中的同步硝化反硝化现象 [J]. 给水排水 , 1998 , 24 (12) : 8-9.
- [14] HIBIYA K , TERADA A , TSUNEDA S , et al. Simultaneous nitrification and denitrification by controlling vertical and horizontal microenvironment in a membrane aerated biofilm reactor [J]. Journal of Biotechnology , 2003 , 100 : 23-32.

H-A-O process for bio-nitrogen removal from urban wastewater

LI Xiao-chen¹ , YANG Min² , WANG Chao^{1,3} , ZOU Ming-de³

- (1. College of Environmental Science and Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
2. Research Center for Eco-Environmental Sciences , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100085 , China ;
3. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes ,
Ministry of Education , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The hydrolysis-anaerobic-oxidation process (H-A-O process) was designed to remove organic matters and nitrogen from urban wastewater simultaneously. The experimental equipment for continuous treatment of urban wastewater was set up and the pilot experiment was conducted. The result showed that , without external carbon sources , alkalinity , and backflow of sludge , the removal ratios of COD and TN were higher than 82% and 65% , respectively , under the condition that the hydraulic retention time was 7.5 h and the backflow ratio of nitrification was 200% . It is also demonstrated that the hydrolysis process replacing the primary sedimentation tank , a conventional method for urban wastewater treatment , can not only effectively improve the bio-degradability of wastewater , but also enhance the stability for the operation of the wastewater treatment system.

Key words : urban wastewater ; bio-nitrogen removal ; hydrolysis ; denitrification ; nitrification