

多级 A/O 废水处理工艺的理论研究

王 涛

(机械科学研究院环境保护技术与装备研究所,北京 100044)

摘 要:多级 A/O 工艺是结合 A/O 工艺理论、非稳态理论发展而成的新型污水处理技术,相对于传统污水处理技术,多级 A/O 工艺提高了对氧利用效率,增强了脱氮能力,并且有效避免了污泥膨胀现象的发生,应用前景十分广阔。

关键词:多级 A/O; 非稳态理论; A/O; 脱氮

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-6504(2003)04-0008-03

污水处理生化技术按照溶解氧量和存在优势菌群等条件分为好氧技术、厌氧技术和兼氧技术三类。好氧技术是指在好氧条件(溶解氧大于 1~2mg/L)下好氧菌占优势并对水中污染物进行降解的处理技术;厌氧技术是指在厌氧条件(溶解氧为 0mg/L)下厌氧菌占优势并对水中污染物进行降解的处理技术;兼氧技术是指在兼氧条件(溶解氧 0.5mg/L 左右)下兼氧菌占优势并对水中污染物进行降解的处理技术。随着技术的发展,废水处理工艺已将三大技术结合应用,形成了厌氧-好氧(A/O-anaerobic/oxic)、兼氧-好氧(A/O-anoxic/oxic)、厌氧-兼氧-好氧(A²/O-anaerobic/anoxic/oxic)等多种复合技术。采用这些复合技术,主要解决高负荷、高浓度、深度净化、回用等不同场合污水处理的需求。多级 A/O 工艺研究内容只针对兼氧-好氧(anoxic/oxic)技术。

1 多级 A/O 工艺研究的背景

A/O(anoxic/oxic)污水处理技术,主要应用在有脱氮要求的污水处理工程中,是城市污水处理主要发展技术之一。A/O 工艺通过有益菌群的硝化和反硝化反应去除废水中的氮,同时对 COD 也具有较高的去除效率。但该工艺针对不同水质的废水 A/O 比(A 段和 O 段的停留时间之比,相当于 A 段和 O 段的容积比)取值不同,这就造成了同一处理构筑物中,在水质水量发生变化时,处理效果下降,抗冲击负荷能力差;此外,A/O 工艺对氮的去除效率方面还略显不足。

把一个完整的 A/O 工艺转化成几段 A/O/A/O 工艺,曾经被认为是不可能。理由是:在同一处理构筑物中,很难实现 A 段和 O 段的多次交替的条件,因为

A 段和 O 段是相反而且相互影响的,并且在好氧条件下,不可能实现硝化和反硝化反应同时发生。

近期国际上有关非稳态理论的研究结果认为^[1]:非稳态条件对生物处理系统的影响应归结到对系统中微生物的影响,包括微生物活性、适应外界环境(不断变化)的能力、具有特殊功能的微生物的形成等方面,而系统的处理效果很大程度上取决于这些因素。如 Stefan 提出,几小时的“饥饿”状态并不会导致微生物活性的降低,反而会刺激微生物产生更多的与基质摄取相关的酶,从而在“饱食”状态下吸收也即从水中去除数量更多、范围更广的污染物;荷兰学者 Loosdrecht 的研究也证明,微生物体内贮存多聚物是一种普遍现象,只不过条件不同其作用显示程度不同,它是微生物固有的能力,“饥饿—饱食”状态是激发并强化这一能力的重要影响因素,揭示和利用其中的规律就有可能优化现有生物处理技术或设计出新的工艺。非稳态理论在原理上为多级 A/O 工艺提供了有力的支持。而且在 SBR(批序式反应器- Sequencing Batch Reactor)及其改良工艺的研究过程中,一些专家也验证了在有氧条件下硝化反应与反硝化反应共存的可能性^[2]。结合微生物非稳态理论和 A/O 工艺及其变型工艺理论的研究提出了多级 A/O 工艺理论。

2 多级 A/O 工艺理论

2.1 多级 A/O 工艺理论的概念

多级 A/O 工艺是利用活性污泥同时存在好氧、兼氧和厌氧生物菌群的特点,通过人为控制,在一个处理系统中形成多段 A 和多段 O 的生物环境,使 A 段和 O 段按工艺要求进行交替组合。它是若干由 A 段(缺氧段)和 O 段(好氧段)所组成的 A/O 周期,最终使污水得到净化的工艺技术。把多级 A/O 理论分为广义和狭义。所谓狭义就是严格按照 A/O 理论,保证严格的 A/O 周期,也就是多次硝化反应与反硝化反应的叠加。

基金项目:国家九五科技攻关课题(96-909-02-01);机械工业部人才科技项目资助(97JF0005)

作者简介:王涛(1974-),男,工程师,主要从事水处理工艺方面的研究以及工程设计等方面工作,发表论文 11 篇。

所谓广义就是简单造成的缺氧 - 好氧 - 缺氧 - - 好氧条件,无需严格的 A/O 周期,主要的理论基础是非稳态理论与硝化 - 反硝化反应机理。我们这里所说的多级 A/O 理论的主要是指广义多级 A/O 理论。

2.2 多级 A/O 工艺流程简介

多级 A/O 工艺流程如图 1 所示:污水经过曝气池中若干个反硝化区、硝化区后进入沉淀池,沉淀后的污水进入稳定池稳定后排放;沉淀池中污泥一部分作为回流污泥回到曝气池前端与进水混合后进入曝气池,另一部分作为剩余污泥排入污泥处理构筑物。

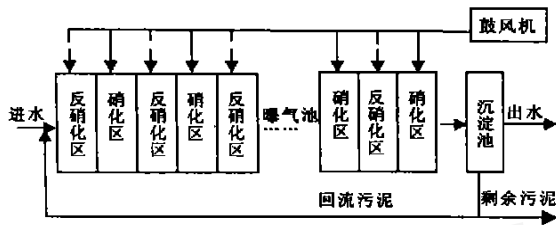


图 1 多级 A/O 工艺流程示意图

多级 A/O 污水处理工艺的氧变化曲线呈连续近似正弦/余弦曲线,每个周期可以根据工艺要求设为等值和不等值,波峰和波谷值随时间为递减。就是污水经过连续多个 A/O 周期的处理,即多个 A/O 处理过程的叠加,最终达到氮和 COD、BOD₅ 的有效去除。在研究中发现:由于活性污泥的增殖以及性能的优化,在构筑物中各周期耗氧量按照一定规律(根据温度条件、水深、污泥浓度的变化,规律也不同)依次递增变化。水中溶解氧呈有规律正弦/余弦曲线分布(如图 2),A/O 周期和各 A/O 周期内的 A/O 比都可以通过自动控制或人工控制来调节。污水经过曝气区(好氧段)时,溶解氧水平逐渐升高,到达波峰后进入停气区(缺氧段),溶解氧水平逐渐降低,到达波谷后又进入曝气区,.....周而复始。此外多级 A/O 工艺与传统 A/O 工艺不同之处在于采用相对低的污泥负荷(0.05 ~ 0.2 kg BOD₅/kgMLSS),抗冲击负荷能力加强,在高且稳定的除氮效率的前提下保证高的 COD 去除效率。

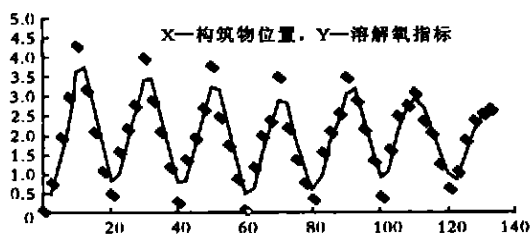


图 2 构筑物溶解氧分布状况示意图

多个 A/O 周期是依靠整列曝气器列端阀门的启闭实现的,构筑物内的曝气区域与非曝气区域间隔存在,而在处理构筑物 DO 值较低的情况下,造成了好氧

区与缺氧区间隔存在,即多组 A/O 段。一般情况下缺氧和好氧区域是不固定的,即同一区域此时是缺氧区,过一段时间,就可能处于好氧区(如图 3)。



图 3 多级 A/O 工艺运行示意图

宏观上每经过一组停气 - 曝气区域,也就是经历了一个 A/O 工艺周期,完成了一次 A/O 工艺处理,处理效率也依次累加。

2.3 工艺运行机理

废水在曝气区处于好氧条件下,好氧菌团(硝化细菌、亚硝化细菌等)占优势,使含氮有机物被细菌分解为氨,然后在亚硝化细菌的作用下进一步转化为亚硝酸盐,再经硝化细菌作用转化为硝酸盐;硝酸盐进入到停气区,兼性菌团逐渐占优势,在兼性异氧细菌的作用下,利用或部分利用废水中原有的有机物碳源为电子供体,以硝酸盐替代分子氧作电子受体,分解有机质,同时,将硝酸盐中氮还原为气态氮(N, NO₂ 等);再进入到曝气区时,好氧菌团又一次占优势而且能力增强;同理进入到停气区时,兼性菌团又一次占优势而且能力增强;.....周而复始。多级 A/O 反应刚开始处于营养物质多、菌团数量少的状况(“供过于求”状态);随着反应的进行,营养物质减少而菌团数量和质量都在增加,很快达到“供求平衡”状态;之后是“供小于求”状态,营养物质被彻底干净的分解,而且一些难降解的物质也在此时被性能优异的污泥菌团分解。因此可以认为:多级 A/O 对各类污染物的去除都是有效的,从统计学角度来看,如果每个 A/O 周期的污染物去除效率为 E,那么 n 个周期后总的污染物去除效率为:

$$E_n = 100\% - (100\% - E)^n \quad (1)$$

式中 E_n - 污染物总处理效率; E - 每个 A/O 周期污染物处理效率; n - A/O 工艺周期的个数

系统中硝化菌的增殖与硝化菌固有的比增长速率(μ)和所控制的细胞平均停留时间(θ)的关系:

$$\begin{cases} \mu < 1/\theta \\ \mu = 1/\theta \\ \mu > 1/\theta \end{cases} \quad (2)$$

$\mu = 1/\theta$ 时,系统处于稳态,增殖的硝化菌等于流失的硝化菌;如果, $\mu < 1/\theta$ 系统中增殖的硝化菌小于流失的硝化菌,在此情况下,系统中硝化菌的数量将越来越少,硝化能力越来越差,直至完全丧失。必须保证 $\mu >$

1/ 或 $\mu = 1/$,才能使 A/O 工艺顺利实现。多级 A/O 工艺由于污泥负荷小 (0.05 ~ 0.2 kgBOD/kgMLSS), 污泥龄长 (> 15d), 使得 足够大, 充分满足 $\mu > 1/$ 。

基质被去除的氧化动力学公式为^[3]:

$$(S_0 - S)/X_v t = K(S/S_0) \quad (3)$$

式中 S - 基质浓度; S_0 - 基质起始浓度; X_v - 挥发性悬浮固体; K - 反应速率系数; t - 反应时间。

3 多级 A/O 工艺与传统工艺比较所具备的优势

3.1 对氧的利用更加合理

多级 A/O 工艺采用间断曝气, 活性污泥处于“好氧 - 缺氧”交替的环境中。根据非稳态理论, 活性污泥处于这种“饥饿”交替的状态, 会发挥自身的潜能, 在好氧状态下加快对污染物的降解速度, 提高处理效率, 尤其是提高对氧的利用率。

3.2 对 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的去除更加有效

多次硝化 - 反硝化反应叠加, 对 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的去除效果也如公式 (1) 所示。单一的硝化 - 反硝化反应对 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的去除效率有限, 目前我国运行的采用硝化 - 反硝化技术的城市污水处理厂对 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的去除率一般在 60% ~ 70%。多级 A/O 工艺缩短了硝化 - 反硝化反应时间, 增加了级数; 经实验证明: 控制反应时间后, 每个周期可以得到 20% ~ 30% 的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 去除率, 经过 8 个周期可以得到大于 85% 的去除率。

3.3 有效避免了污泥膨胀现象的发生

污泥膨胀是指活性污泥质量变轻, 沉降性能恶化, 最直接的表现污泥指数 SVI 升高。造成污泥膨胀

的原因很多 (如水温水质的变化等), 就曝气池本身来讲高污泥负荷、高污泥浓度、单一运行方式都容易在水质突然恶化的时候发生污泥膨胀。有实验证明^[4]: 针对同一种有机化工废水, 传统曝气和间歇曝气两种方式平行运行比较, 当传统曝气系统内因溶解氧不足造成丝状菌大量繁殖时, 间歇曝气系统内几乎无丝状菌。由于多级 A/O 工艺采用间断曝气, 混合液经过多次好氧区和缺氧区的交替作用, 并且整个工艺采用低污泥负荷, 可以有效避免污泥膨胀现象的发生。

4 结语

多级 A/O 工艺理论是建立在成熟的工艺理论基础之上的创新。尽管提出的时间不长, 但已开始结合悬挂链移动曝气技术进行应用方面的研究和尝试^[5], 并且已经展现出广阔的应用前景, 尤其对于脱氮要求日益提高的今天更加具有实际意义。

[参考文献]

- [1] 刘飒, 刘壮, 杨造燕. 厌氧快速吸收新工艺处理生活污水的研究[J]. 中国给水排水, 1999, (10): 13 ~ 16.
- [2] 李锋. 有氧情况下的同时硝化/反硝化的反应动力学模型[J]. 中国给水排水, 1999, (6): 43 ~ 45.
- [3] Adams, C E, W W Eckenfelder, et al. A new wastewater treatment technology[J]. Water Res., 1975, (9): 37.
- [4] W Wesley Eckenfelder. Industrial Water Pollution Control [M]. second edition. New York: Jr. McGraw-Hill Book Company, 1989, 170 ~ 171.
- [5] 王涛, 楼上游. 多级 A/O 工艺理论的探讨[J]. 中国机械工程, 2001, (3): 339 ~ 342.

(收修改稿日期: 2002-08-20)

(上接第7页)

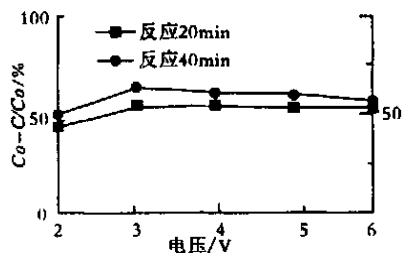


图5 风机循环风速对甲醛分解率的影响

(2) 甲醛的分解效率随着紫外线光强 (紫外灯功率)、制备有纳米光催化薄膜材料的玻璃管内径的增加而增加。

(3) 两根不同内径的玻璃管同心圆状排列具有最高的甲醛分解效率。

(4) 有一个最佳的循环风速, 在此风速下对甲醛的

纳米光催化分解效率达到最高。

[参考文献]

- [1] 杨建军, 李东旭, 李庆霖, 等. 甲醛光催化氧化的反应机理[J]. 物理化学学报, 2001, 17(3): 278 ~ 281.
- [2] Shiraishi F, Toyoda K, Fukinbara S, et al. Photolytic and photocatalytic treatment of an aqueous solution containing microbial cells and organic compounds in an annular-flow reactor[J]. Chemical Engineering Science, 1999, (54): 1547 ~ 1552.
- [3] 余家国, 赵修建, 赵青南. TiO_2 涂层自洁净玻璃的制备及其特性研究[J]. 太阳能学报, 1999, 20(4): 398 ~ 403.
- [4] 于向阳, 程继健, 杜永娟. TiO_2 光催化抗菌材料[J]. 玻璃与搪瓷, 2000, 28(4): 42.
- [5] 杨瑞, 金招芬, 张寅平, 等. 纳米光催化材料在空调领域中的应用[J]. 暖通空调, 2001, 31(1): 42.

(收修改稿日期: 2002-08-07)

Screening of an Effective Nitrobenzene Degrading Strain and Its Biodegradation Characteristics

CAI Bang-cheng, GAO Shi-xiang, XIAO Lin, SHAO Yun, KONG De-yang, WANG Lian-sheng

(The State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract: This paper reported on screening a strain for effectively degrading nitrobenzene, which was isolated from the activated sludge from a chemical factory and tentatively identified as *Acinetobacter* species. Based on the experiment, the optimum conditions for degradation of nitrobenzene were: 25 ~ 35 °C, pH 7 ~ 8 and at least 120 r/min of shake speed. The experimental result showed under favorable conditions the strain's complete degradation of nitrobenzene with the initial concentration below 400 mg/L. It also showed that nitrobenzene concentrations of more than 400 mg/L inhibited growth of the bacteria.

Key words: nitrobenzene; *Acinetobacter*; degradation; reaction model

Environmental Estrogens: Their Problems and Degradation Pathway

LIU Xian-li^{1,2}, LIU Bin^{1,2},

WU Feng¹, DENG Nan-sheng¹

(1. Department of Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430072;

2. Department of Environmental and Chemical Engineering, Huangshi Polytechnic College, Huangshi 435003)

Abstract: This paper described environmental estrogens, so-called endocrine disruptors, enumerating the relevant environmental problems due to their refractory characteristics and being liable to be enriched in human body. Their degradation pathway: biodegradation and photolysis in particular, was studied and the importance of the degradation studies underscored.

Key words: environmental estrogens; degradation; pathway

Nano-photocatalytic Decomposition of Formaldehyde at Various Technical Parameters

ZHOU Yu-song¹, CHEN Liang-deng¹, WANG Qung-li², CAO Guo-zhou³, LI Guang-wei¹, GUO Hong-guang¹

(No. 52 Research Institute of China Ordnance Industry, Ningbo Branch, Ningbo 315010;

2. Ningbo Centre for Disease Control, Ningbo 315010;

3. Ningbo Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Ningbo 315010)

Abstract: This paper reported on the simulation experiments of

nano-photocatalytic decomposition of formaldehyde, one of the typical indoor air pollutants. Preparation of materials of nano-photocatalyst and the bench-scale equipment for the tests was described. Technical parameters focusing on improving decomposition efficiency of formaldehyde were discussed.

Key words: nano-photocatalysis; formaldehyde; photocatalytic decomposition; photolysis

Research on Multistage A/O Technology Theory

WANG Tao

(Institute of Technology and Equipment for Environmental Protection, Academy of Machinery Science, Beijing 100044)

Abstract: This paper introduces the multistage A/O technology for wastewater treatment, which is developed on the basis of A/O technology and unsteady theory. It is concluded that compared with conventional A/O technology, multistage A/O enhances O₂ availability and de-nitrification efficiency.

Key words: multistage A/O; A/O technology; de-nitrification

Experimental Studies on Disinfection of Micropolluted Raw Water by Electro-coagulation

ZHANG Hui-ling, ZHAO Sur-fen, DING Zhong-hao

(Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 420081)

Abstract: This paper introduces a technology of electro-coagulation for treating micropolluted raw water, presenting results of the laboratory experiment. It has been showed that effectiveness of disinfection is improved with the increase of current density and treatment duration. Based on the experiment, optimum condition is obtained and mechanism of electro-coagulation in disinfection of micropolluted raw water is studied.

Key words: electro-coagulation; disinfection; mechanism

Effects of Calcination on Synthesis of 4A Zeolite Using Coal Fly Ash

LI Fang-wen^{1,2}, WEI Xian-xun¹, ZHANG De-jian¹, MA Song-jiang², ZHAI Yun-bo¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082;

2. Research Institute of New Technology for Environment Engineering and Chemical Engineering, Xiangtan Technology College, Xiangtan 411201)

Abstract: Waste fly ash from coal-fired power plants is utilized to the synthesis of zeolite. This paper presents the study of calcinations of fly ash and its effects on 4A Zeolite with respect of temperature and time. It is reported that whiteness of 4A Zeolite increases under the optimum condition of calcinations. Instruments such