

城市污水生物脱氮除磷工艺评述*

高廷耀 夏四清 周增炎

(同济大学环境工程学院, 上海 200092)

摘要 城市污水生物脱氮除磷是一种重要的水污染控制技术. 本文介绍了国内外生物脱氮、生物除磷及生物脱氮除磷工艺研究方面的现状, 结合笔者研究的情况, 展望了今后的发展前景.

关键词 生物脱氮, 生物除磷, 城市污水.

Summary on the Technologies of Biological Nitrogen and Phosphorus Removal from Municipal Wastewater

Gao Tingyao Xia Siqing Zhou Zengyan

(Environmental Engineering School, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract Biological nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater is an important water pollution control technology. The external and internal study situation on the technological processes of biological nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater were summarized and the future development in this field was prospected combined with the studies of our research group.

Keywords biological nitrogen removal, biological phosphorus removal, Technologies.

1 生物脱氮工艺

1932年 Wuhrmann^[1]利用内源反硝化建立了后置反硝化工艺, 废水进入前面的好氧池以除碳和硝化, 然后进入后面的缺氧池利用微生物细胞衰亡后释放的二次性基质作为碳源进行内源反硝化. 但是, 内源反硝化效率很低, 需要外加碳源, 如外加甲醇作为碳源. 而桥本工艺则利用进水通过旁路引入后面的缺氧池, 为后置反硝化提供碳源, 提高系统的脱氮效率. 桥本工艺虽然提高了脱氮效率, 工艺流程较为简单, 但出水中氮的形态为氨态氮和硝态氮, 并且旁通废水流量很难控制, 甚至影响出水水质.

Ludzack 和 Ettinger 利用进水中的有机物为氢供体, 提出了前置反硝化工艺^[1]. 该系统由部分分离的2个串联的反应器构成. 利用混合作用, 好氧段的硝酸盐和污泥进入缺氧段而被还原为 N_2 , 但由于这种混合不充分, 脱氮效率不理想. Barnard 在 Ludzack-Ettinger 工艺的基础上提出了一种改进型, 后来被称为 A/O 工艺. 该工艺将缺氧反硝化池和好氧消化池完全分开, 即保留了 Ludzack-Ettinger 工艺前置反硝化的优点, 又克服了其混合不充分的弊端, 脱氮效率大为上升. 为进一步提高脱氮效率, Barnard 将此工艺与 Wuhrmann 工艺相结合形成所谓 Barnard 工艺^[1]. 该工艺认为二级缺氧池可以把 A/O 工艺剩余的硝酸盐进一步反硝化,

其后连接一短时曝气池, 将反硝化形成的 N_2 吹脱.

Carrousel 氧化沟和三池式氧化沟工艺是利用空间的好氧、缺氧变化达到硝化、反硝化脱氮的目的^[2]. 在环状的氧化沟中一点或多点设置曝气机, 污泥沿氧化沟循环流动, 在曝气机的下游为好氧区, 以进行除碳和硝化; 远离曝气机的硝酸盐进行反硝化. 氧化沟的能源及运行成本低, 但占地面积大.

在生物膜脱氮方面, Bjorn Rusten 等开发了一种能在低温下有效脱氮的浮动床生物膜反应器^[3], 该反应器能在 7—18 °C 范围内有效地去除氮.

在污水处理厂脱氮的控制方面, Wouters-Wasiak 等人^[4]研究出用氧化-还原电位实时控制生物脱氮的新方法. 这种方法利用氧化-还原电位控制鼓风机开与关, 以保证反应器内的氧按去除碳和氮.

John Fillos 等人^[5]采取简单的分段进水活性污泥法, 在曝气池的进水点关闭鼓风机, 形成缺氧环境, 不用回流混合液达到了较好的脱氮效果. Coen 等人对现有污水厂进行脱氮改造^[6], 采用 2 个缺氧区、分段进水和内循环等工艺相结合, 使生物反应器达到满意的脱氮处理效果.

* 中德国家级科研合作项目
高廷耀: 男, 66岁, 硕士, 教授
收稿日期: 1998-05-21

2 生物除磷工艺

Barnard 将前置反硝化的 A/O 工艺与后置反硝化的 Wuhrmann 工艺相结合,意在加强反硝化脱氮的能力,但在该工艺的研究中发现,当前置反硝化池内存在厌氧区时,系统具有明显的除磷效果,即所谓的 Barnard 工艺^[1].

为了消除回流污泥中携带的硝酸盐对工艺的不利影响,人们开发了 UCT、改良 UCT 和 JHB 工艺^[7,8](图 1, 2),这 3 种工艺都是从避免回流污泥中携带大量硝酸盐对厌氧段的冲击,从改善聚磷菌的释磷环境出发,或在缺氧段开辟出专为消耗回流污泥中的硝酸盐的空间或附设一个缺氧段,使回流污泥中的硝酸盐在此利用污泥的碳源得到去除,避免了硝酸盐对厌氧释磷的不利影响.

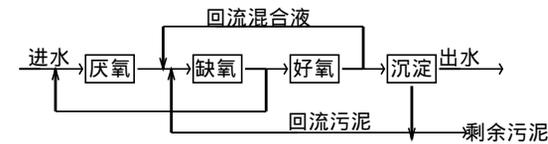


图1 UCT工艺流程

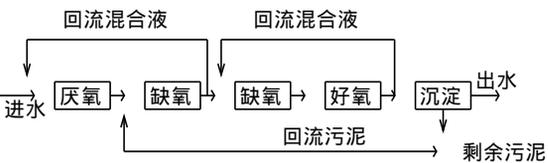


图2 改进型UCT工艺流程

根据生物除磷与污水中基质的关系,人们提出增加厌氧段短链脂肪酸含量的 EASC 和 JLS 工艺,其中 EASC 工艺是利用由初沉池改造而成的厌氧池,回流污泥与初沉污泥在此厌氧发酵,使初沉污泥中的一部分大分子有机物水解酸化,以增加污水中的挥发性脂肪酸(VFA)浓度。JLS 工艺是在 A²/O 工艺的每一段放置生物转盘,其中厌氧段(A₁)的生物转盘上可以生长永久性的厌氧菌,故对进水中的 COD 的水解酸化有促进作用,为有效释磷提供了条件.

Wouters-Wasiak 等人研究出一种低负荷活性污泥法提高生物除磷效率的工艺^[9].厌氧水力停留时间为 3h,磷的平均去除率为 40%,残留磷浓度为 2—6mg/L.另外,还有与化学沉淀法相结合的生物除磷工艺,即 Phostrip 工艺^[2],该工艺除磷效率高,但流程复杂,运行费用高.

Brar 等人在实验室对某城市污水厂活性污泥除磷的过度吸磷现象进行了定量研究,结果发现曝气速度、曝气时间和污泥回流比等参数是影响生物除磷的主要

参数.而 Qasim 等人^[10]的研究表明,混合液中高浓度的可降解有机物对总磷的去除有很大影响.

Lee 等人^[11]比较了 4 种去除营养物工艺的除磷特性,通过改变 COD 浓度使 COD/TP 比值在 22—64 之间,结果发现,在 A/O 和 A²/O 工艺中,在进水 COD/TP 比值较低时,磷的释放和吸收变得不明显,在 A²/O 工艺中磷的释放受回流污泥中的硝酸根浓度影响很大,故在 A²/O 工艺中,需要更高的 COD/TP 比以保证过度吸磷;而在其它工艺如 Phostrip 工艺^[12]中,磷的吸收和释放则不受 COD/TP 比值的影响.

3 生物脱氮除磷结合工艺

为了加强 Barnard 工艺的除磷效果,在前端加一厌氧区即形成所谓的 Bardenpho/Phoredox 工艺^[11],首次将脱氮与除磷 2 种功能结合于一个系统.在此工艺基础上取消第二级缺氧、好氧池,即成为改进的 Phoredox 工艺^[13](又称 A²/O 工艺),这样可以避免由于二级缺氧池内可能会出现释磷以及由于缺乏吸磷的能量而导致出水中溶解性磷增加(图 3,图 4).

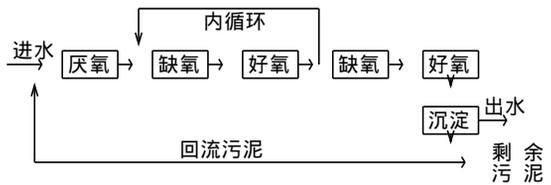


图3 Bardenpho工艺流程

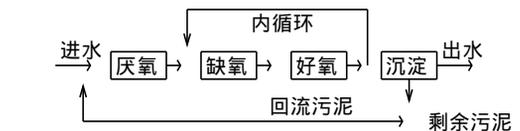


图4 Phoredox (A²/O)工艺流程

Carrousel、Orbal 等氧化沟系统在全世界各地得到应用^[2],均可以取得一定的脱氮除磷效果.

除上述工艺外,随着自动化技术的提高,SBR 工艺因其系统简捷紧凑、土建投资省的特点,也被用于脱氮除磷^[14].

4 国内城市污水脱氮除磷状况

我国的城市污水处理尚处于发展阶段,污水脱氮除磷方面的研究与应用规模化、系统化的工作较少.而我国于 1998 年 1 月 1 日实施的污水综合排放标准(GB8978-1996)对排放污水中氮、磷提出了更高要求.针对同时生物脱氮除磷,工艺上存在着聚磷菌和硝化菌之间的对泥龄的控制要求的矛盾,笔者等曾开发了 A₁/O-A₂/O 工艺和 A₁/A₂/O-O 工艺^[15].这 2 种工艺

均由独立的 2 段组成的分级脱氮除磷系统,其中 $A_1/O-A_2/O$ 工艺第一级泥龄较短,主要功能是除磷,第二级泥龄较长,负荷较低,主要是脱氮,2 级各自独立的污泥回流系统避免了硝化菌和聚磷菌的矛盾。但该工艺第二级容易发生反硝化碳源不足,影响脱氮效率,在此基础上提出了 $A_1/A_2/O-O$ 工艺,它将第二级的缺氧段提前到第一级的厌氧、好氧段之间,目的是解决反硝化碳源不足的问题,同时两级各自独立的系统,避免了对泥龄要求的矛盾。

在传统活性污泥法工艺系统改造实践中发展起来的连续流间歇或间隔曝气工艺有较强的实用性,工艺改造简单,运行成本低,具有较好的脱氮效果和一定的除磷效果。

在进行大量小试、中试研究的基础上^[16,17],完成了 3 种脱氮除磷新工艺的放大试验,它们分别是:时间顺序 AAO 脱氮除磷新工艺、倒置 A/A/O 脱氮除磷新工艺和低氧同步 AAO 脱氮除磷新工艺,与常规 A/A/O 工艺相比,回流比大大降低,取消或缩短了初沉池的时间,改善了活性污泥沉降性能,提高了活性污泥浓度,降低了污泥负荷,创造了良好的硝化条件,这是老厂改造的好办法,由于活性污泥浓度高、绒粒大,充分利用了好氧条件下活性污泥绒粒内部缺氧、厌氧的微环境,使硝化、反硝化和释磷、吸磷得以同时进行。

国内同行在城市污水生物脱氮除磷方面也做了大量工作,如方振东等在生物陶粒反应器方面做了一些研究工作,结果表明,生物陶粒反应器能得到 90% 的 NH_3-N 去除率^[18];王磊等用聚乙烯醇作为包埋载体,采用固定化硝化菌达到提高 NH_3-N 去除率的目的,在保证 COD80% 去除率的同时, NH_3-N 去除率可达 95.5%^[19];邢传宏等在膜-生物反应器处理生活污水方面做了大量研究工作^[20-22],研究了无机膜、超滤膜和错流式膜-生物反应器的运行情况及其水力学、生物学特性,在这些组合反应器中,生活污水的 NH_3-N 去除率均能达到 97% 以上。

参 考 文 献

- 俞辉群等译. 水和废水技术研究. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992. 457—485
- 钱易, 米祥友. 现代废水处理新技术. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 33—44
- Bjorn Rusten et al. Nitrogen Removal from Dilute Wastewater in Cold Climate Using Moving-Bed Biofilm Reactors. *Water Environ. Res.*, 1995, **67**(1): 65
- Wouters-Wasiak K et al. Real-time Control of Nitrogen Removal at Full-Scale Using Oxidation Reduction Potential. *Water Sci. Tech.*, 1994, **30**(4): 207
- John Fillos et al. Full-Scale Evaluation of Biological Nitrogen Removal in the Step-Feed Activated Sludge Process. *Water Environ. Res.*, 1996, **68**(2): 132
- Coen F et al. Nitrogen Upgrade of a Wastewater Treatment Plant within Existing Reactor Volumes: a Simulation Supported Scenario Analysis. *Water Sci. Tech.*, 1996, **34**(3/4): 339
- Siebritz I P et al. A Parametric Model for Biological Excess Phosphorus Removal. *Water Sci. Tech.*, 1983, **15**(3/4): 127
- Marais G V R et al. Observations Supporting Phosphorus Removal by Biological Excess Uptake Review. *Water Sci. Tech.*, 1983, **15**(3/4): 15
- Wouters-Wasiak K et al. Enhanced Biological Phosphorus Removal from Wastewater in a Low-loaded Activated Sludge Plant. *Tech. Sci. Methods*, 1994, (11): 625
- Qasim S R et al. Effect of Biodegradable Carbon on biological Phosphorus Removal. *J. Environ. Eng.*, 1996, (9): 875
- Lee S E et al. Comparison of Phosphorus Removal Characteristics between Various Biological Nutrient Removal Processes. *Water Sci. Tech.*, 1997, **36**(12): 61
- Lee S E et al. Enhancement of Phosphorus and Nitrogen Removal with a Side Stream Biological Nutrient Removal Process. *Water Sci. Tech.*, 1993, **28**(7): 89
- 袁国文等译. 水与废水技术研究. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992. 486—520
- Rim Y T et al. A Full-scale Test of A Biological Nutrients Removal System Using the Sequencing Batch Reactor Activated Sludge Process. *Water Sci. Tech.*, 1997, **35**(1): 241
- 刘谨. 城市污水生物脱氮除磷机理与工艺研究. 同济大学工学博士学位论文, 1994
- 张波, 高廷耀. 生物脱氮除磷工艺厌氧/缺氧环境倒置效应. *中国给水排水*, 1997, **13**(3): 7
- 朱晓军, 周增炎, 高廷耀. 低氧活性污泥法脱氮除磷工艺生产性研究. *中国给水排水*, 1997, **13**(增): 12
- 方振东等. 水力负荷对生物陶粒反应器运行的影响. *环境科学*, 1998, **19**(2): 43
- 王磊, 兰淑澄. 固定化硝化菌去除氨氮的研究. *环境科学*, 1997, **18**(2): 18
- 邢传宏等. 无机膜-生物反应器处理生活污水试验研究. *环境科学*, 1997, **18**(3): 1
- 邢传宏等. 超滤膜-生物反应器处理生活污水及其水力学研究. *环境科学*, 1997, **18**(5): 19
- 邢传宏等. 错流式膜-生物反应器处理生活污水及其生物学研究. *环境科学*, 1997, **18**(6): 23