

Analysis of Influencing Factors and Microbial Community Structure of Sewage Short-cut Nitrification and Denitrification

Peiliang Wang Jingjing Guo*

China Construction Ecological Environment Group Co., Ltd., Beijing, 100037, China

Abstract

The short-cut nitrification and denitrification reaction is affected by the dissolved oxygen concentration, pH, free ammonia concentration, sludge age, temperature and other factors. It can be realized by controlling one variable or multiple variables in the experiment. The paper elaborates the conclusions caused by these factors, and makes a simple analysis of its feasibility and possible problems. And further use different methods to discuss the structure of microbial flora, analyze the structure of AOB, NOB bacteria and bacterial species, and provide a certain theoretical basis for actual operation.

Keywords

short-cut nitrification; dissolved oxygen; free ammonia; ammonia oxidizing bacteria; nitrite oxidizing bacteria

污水短程硝化反硝化的影响因素及菌群结构浅析

王培良 郭京京*

中建生态环境集团有限公司, 中国 · 北京 100037

摘 要

短程硝化反硝化脱氮反应, 受溶解氧浓度、pH、游离氨浓度、泥龄、温度等因素影响, 试验中可通过控制一个变量或多个变量来实现。论文对这些因素所造成的结论进行阐述, 并对其可行性及可能引起的问题进行简单分析。并进一步采用不同手段从微生物菌群结构进行讨论, 对AOB、NOB菌及细菌种属结构进行分析, 为实际运行提供一定的理论依据。

关键词

短程硝化; 溶解氧; 游离氨; 氨氧化菌; 亚硝酸盐氧化菌

1 引言

传统生物脱氮过程为氨氮在硝化菌作用下转化成硝酸盐氮, 硝酸盐氮在反硝化菌作用下再转化成氮气释放到空气中, 实现污水中氮的去除。而氨氮氧化成硝酸盐氮过程又分两步进行, 其中氨氮首先在氨氧化菌(AOB)作用下氧化成亚硝酸盐氮, 亚硝酸盐氮在亚硝酸盐氧化菌(NO₂-oxidizing bacteria)作用下进一步氧化成硝酸盐氮^[1], 因此整个生物脱氮过程通过 $\text{NH}_4^+-\text{N} \rightarrow \text{NO}_2^--\text{N} \rightarrow \text{NO}_3^--\text{N} \rightarrow \text{NO}_2^--\text{N} \rightarrow \text{N}_2$ 的途径完成。而近年来的研究发现, 由于AOB与NOB是两类独立的细菌, 生存适应条件均存在一定差异, 因此可以通过改变微生物运行条件实现AOB的积累, 淘洗NOB, 从而将脱氮途径控制在亚硝酸盐氮阶段, 实现短程硝化反硝化脱氮反应。与全程硝化工艺相比, 短程硝化脱氮反应高效节能, 可节省约

25%的曝气量, 反硝化阶段可节省约40%的碳源^[2]。

目前大量研究表明影响短程硝化反应的因素, 即控制AOB与NOB增殖的因素, 主要有溶解氧(DO)浓度、温度、泥龄、游离氨(FA)浓度、pH等^[3]。因此要实现短程硝化反硝化反应, 一种途径就是通过控制以上因素在合适的范围内。而另一种则是借助于DO、ORP、pH等在线仪表, 通过变化规律实时控制曝气及搅拌时间, 来实现短程硝化反硝化反应^[4,5]。论文主要对影响短程硝化反硝化因素进行探讨, 并针对反应过程中的菌群结构变化进行分析。

2 影响短程硝化反硝化因素探讨

2.1 溶解氧浓度

DO浓度是影响脱氮反应的一个重要因素。对于活性污泥法处理生活污水, 大多要求缺氧段DO控制在0.5mg/L左右, 好氧段DO控制在2mg/L以上。在SBR工艺中, 由于硝化反硝化在同一反应器中完成, DO过高则会破坏絮体内部缺氧环境, 影响同步反硝化效果, DO过低则会导致好氧硝化反应不充分, 容易造成出水氨氮超标。而国内外大多数对于短程硝化反硝化的研究, 也将DO作为一个重要的控制

【作者简介】王培良(1991-), 男, 中国河南济源人, 硕士, 工程师, 从事污水处理技术研究。

【通讯作者】郭京京(1989-), 女, 中国河北石家庄人, 硕士, 工程师, 从事污水处理技术、双碳咨询研究。

条件。研究表明,硝化细菌 AOB 与 NOB 对 DO 的敏感程度不一样, AOB 氧饱和常数一般为 0.2~0.4mg/L, NOB 氧饱和常数一般为 1.2~1.5mg/L。通过控制低 DO, 配合排泥操作可实现系统对 NOB 的淘洗, 使 AOB 成为优势种群, 形成亚硝酸盐积累, 从而实现短程硝化反应^[6]。但也有研究表明, 通过实时控制, 即使控制较高 DO 条件也可以实现短程硝化反应。

赵丽君^[7]等研究了 DO 对脱氮性能及脱氮方式的影响, 结果表明, 低 DO 同样可以实现较高的氨氮去除率, 但相比高 DO 需要延长 1h 的曝气时间。DO 为 0.4mg/L 时可获得最高的总氮去除率, 脱氮方式主要靠亚硝酸盐积累, 实现同步硝化反硝化, 而 DO 为 2mg/L 时总氮去除率最低, 脱氮方式主要靠内源反硝化。而王淑莹^[8]等通过实时控制策略, 在高 DO (2mg/L) 条件下配合 pH “氨谷” 的出现及时调整曝气, 同样实现了 90% 的亚硝酸盐积累率。但低 DO 下容易导致丝状菌过度繁殖, 造成污泥沉降性能变差, 该现象同样值得关注。

2.2 pH

pH 同样会影响 AOB 与 NOB 的生长, 不同 pH 条件下, 二者的活性有所差异。AOB 最适宜 pH 为 7.0~8.5, 而 NOB 最适宜 pH 为 6.0~7.5。当系统 pH 较低时不利于 AOB 的生长, 亚硝酸盐无法积累。而 pH 同样会影响系统中 FA 浓度, 进而引起 AOB 活性变化, 最终也会影响短程硝化反应的进行。由于在脱氮反应中, 硝化反应会消耗碱度, 使系统 pH 降低, 出现“氨谷”, 因此大部分实时控制也是基于此来控制硝化反应终点, 停止曝气。

高大文^[9]等通过控制 pH 为 7.8~8.7 实现了短程硝化反硝化, 但也提出实际中若处理中性或酸性废水则需投加大量药剂来控制 pH, 大大增加处理成本, 且当硝酸菌适应高 pH 后, 就会向全程硝化转变, 存在不稳定性。李捷^[10]等对影响城市生活污水的两个关键因素 pH 和温度的研究中发现, pH 在 8.0 和 8.5 时, 亚硝累积率高达 99%, 而当 pH 降为 7.5 时, 亚硝积累在下降, 系统向全程硝化转变。而马勇^[11]等采用 A/O 工艺研究短程硝化中试反应时, 得出 pH 在 7.2~7.7 时硝酸菌亚硝酸菌都适合生长, 证明 pH 并非重要因素。

2.3 游离氨浓度

游离氨(FA)是影响短程硝化反应进行的另一重要因素, 研究表明, FA 对 AOB 和 NOB 抑制浓度不同, NOB 对 FA 更敏感, 在 FA 很低浓度时就会被抑制, 而在 FA 较高浓度时才会抑制 AOB, 其对 AOB 的抑制浓度为 10~150mg/L, 而对 NOB 的抑制浓度仅为 0.1~1.0mg/L^[12]。而氨在水中存在形式主要是游离态氨(NH₃)和化合态氨(NH₄⁺), 其浓度主要与温度和 pH 相关^[13]。

支霞辉^[14]等对短程硝化影响因素分析, 控制低 DO 浓度, 导致氨氮浓度升高, FA 浓度受影响也升高至 1.0mg/L, 抑制 NOB 生长, 亚硝累积率升高, 可实现短程硝化。但当

氨氮去除率提高, 出水氨氮降低时, FA 浓度也会随之降低, 对 NOB 抑制作用降低, 亚硝累积率降低。因此不能将 FA 浓度单独考虑, 需与系统氨氮及其他因素综合参考评判系统运行好坏。

2.4 泥龄

AOB 与 NOB 的世代周期不同, AOB 的世代时间比 NOB 的世代时间短, AOB 的最大生长速率为 2.2d⁻¹, NOB 的最大生长速率为 1.4d⁻¹, 因此可以通过污泥龄的控制, 通过排泥使系统中的 NOB 流失, AOB 就可以逐步成为系统中的优势菌种^[15]。

张小玲^[16]等研究低 DO 条件下泥龄对短程硝化的影响, 结果显示, 低 DO 条件下, 控制泥龄在 15~32d, 均能实现 90% 以上的亚硝累积率, 当泥龄大于 40d 时才会降低, 说明对泥龄的要求并不严格。而方茜^[17]等研究泥龄控制在 11d 以上时, 就会出现明显的亚硝积累, 可以提高 TN 去除率。这同 Wu^[18]认为 SRT 为 10~20d 较为合适的结果基本一致。

2.5 温度

温度是影响短程硝化的又一重要因素, 研究表明, 12℃~14℃利于 AOB 积累, 15℃~30℃时 NOB 活性较大, 高于 30℃时 AOB 活性又高于 NOB。张可方^[19]等研究了温度对同步硝化反硝化的影响, 得出温度低于 15℃时对 NOB 活性有明显抑制, 氨氮去除率仅有 50%, 当温度高于 25℃时抑制反硝化菌活性, 影响出水 TN, 得出最佳反应温度为 15℃~25℃。而郑雅楠^[20]通过实时控制策略控制反应, 对常低温下短程硝化的研究表明, 逐步降低温度至 13℃时, 依然可以维持 90% 以上的亚硝累积率。

2.6 其他影响因素

短程硝化反硝化影响因素众多, 还有诸如碳氮比、抑制剂、曝气方式等都会对反应过程造成影响, 而引起亚硝累积率发生改变的通常都不是单一因素导致, 是在某一固定因素下展开的研究, 反应过程中一个因素的改变通常也会引起其他因素改变, 综合原因导致出现的最终结果, 因此实际试验及生产中也需对多种因素进行综合分析控制才能达到所需效果。

3 短程硝化中的菌群结构分析

近年来, 随着科学技术的发展, 针对短程硝化反应中菌群结构的探讨也越来越多, 分析手段呈现多样化, 主要有 DNA 多聚酶链式反应(PCR)、扫描电镜(SEM)、荧光原位杂交技术(FISH)等手段, 从定性及定量上对 AOB 及 NOB 数量进行完整的分析, 微观上进一步解释了引起短程硝化的原因, 对指导实践具有重要的价值^[21]。

包鹏^[22]等采用高通量测序分析方法, 探讨了不同 DO 条件下微生物的菌群结构, 得出低 DO 条件下, 硝化活性污泥多样性要高于高 DO 条件, 且 NOB 菌中属于 Nitrospirae 菌门的 Nitrospira 菌属, 更偏好低 DO 环境。丁文川^[23]等采

用稀释平板法 (CFU) 和最大或然数法 (MPN) 对生物膜中异养菌、AOB 和 NOB 的数量进行统计分析, 发现通过降低曝气量 NOB 菌数量降低了 4 个数量级, 逐步从系统中淘汰, 而 AOB 则增加了 1 个数量级, 且数量远高于 NOB, 成为系统中优势菌种。郭建华^[5] 等通过 SEM 手段对实时控制实现短程硝化过程中的微生物菌群进行分析, 从形态结构上发现稳定短程硝化后, 主要 AOB 菌从前期杆状和球状逐步变为规则的杆状, 进一步采用 FISH 分析, AOB 菌数量从前期的 3.5% 富集到 8.5%, 而 NOB 则从 3.1% 降至仅剩 0.5%。

随着国家对能源节约及污水处理提质增效的要求越来越高, 短程硝化反硝化高效的脱氮模式及对能源的节约将成为今后主要的研究方向。而控制合适的参数或者通过实时控制模式则为短程硝化反硝化脱氮提供了落地的可能。

4 结论

① DO 浓度是影响短程硝化反应进行的重要因素, 大多研究表明, 当控制系统 DO 浓度在 1mg/L 时, 均可获得亚硝积累, 实现短程硝化反应, 但低 DO 造成的氨氮去除率下降, 曝气时间延长及污泥沉降性差等问题, 在实际运行调控中需引起注意。

② FA、pH 及温度均会影响短程硝化的进行, 但 FA 浓度又受 pH 和温度及氨氮浓度影响, 相互之间的综合作用导致短程硝化控制存在一定难度。

③ 泥龄在控制其他因素条件下, 对短程硝化的影响大小存在差异。温度影响在实际运行中客观存在, 无法按照所需进行调节, 需配合其他因素进行控制。

④ 针对短程硝化中菌群变化, 可采用不同分子学手段进行定性及定量分析, 从微观角度解释 AOB 及 NOB 变化引起的短程变化, 具有指导实际的重要价值。

参考文献

- [1] 张攀, 李智勤, 李领明, 等. SBR 法短程硝化反硝化处理生活垃圾机械脱水[J]. 中国给水排水, 2018, 34(1): 68-73.
- [2] 吴朕君, 穆剑楠, 单润涛, 等. 基于 DO 和 ORP 的短程硝化 SBR 控制方法研究[J]. 水处理技术, 2019, 45(7): 119-123+144.
- [3] 雷经纶, 杨帆. 浅谈实现短程硝化反硝化的影响因素[J]. 环境研究与监测, 2017(2): 45-48.
- [4] 郭建华, 王淑莹, 郑雅楠, 等. 实时控制实现短程硝化过程中种群结构的演变[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(8): 1259-1263.
- [5] 吴朕君, 穆剑楠, 刘铭雪, 等. 基于 DO 和 ORP 一阶导数的短程硝化 SBR 实时控制研究[J]. 环境科学学报, 2019, 39(5): 176-185.

- [6] 李娜, 胡筱敏, 李国德, 等. 短程硝化反硝化生物脱氮影响因素与实现途径[J]. 水科学与工程, 2018(3).
- [7] 赵丽君, 方芳, 郭劲松, 等. 溶解氧对 SBR 脱氮性能与脱氮方式的影响[J]. 环境工程学报, 2015, 9(3): 1148-1154.
- [8] 王淑莹, 黄惠琚, 郭建华, 等. DO 对 SBR 短程硝化系统的短期和长期影响[J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(8): 1104-1110.
- [9] 高大文, 彭永臻, 王淑莹. 不同方式实现短程硝化反硝化生物脱氮工艺的比较[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 618-622.
- [10] 李捷, 徐浩, 罗凡, 等. 城市生活污水短程硝化的两个关键控制因素研究[J]. 给水排水, 2018, 44(6): 29-32.
- [11] 马勇, 王淑莹, 曾薇, 等. A/O 生物脱氮工艺处理生活污水中试(一)短程硝化反硝化的研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(5): 703-709.
- [12] Ge S, Wang S, Yang X, et al. Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: A review[J]. Chemosphere, 2015, 140(dec.): 85-98.
- [13] 刘禹晟. 低溶解氧下 SBR 内短程硝化影响因素试验研究[J]. 环境与发展, 2019(3): 102+104.
- [14] 支霞辉, 黄霞, 李朋, 等. 污水短程脱氮工艺中亚硝酸盐积累的影响因素[J]. 中国环境科学, 2009, 29(5): 486-492.
- [15] 刘子剑. 短程硝化反硝化生物脱氮技术的影响因素及工程应用[J]. 吉林水利, 2013(5): 45-49.
- [16] 张小玲, 王志盈. 低溶解氧下 SBR 内短程硝化影响因素试验研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(1): 163-166.
- [17] 方茜, 张朝升, 张可方, 等. 污泥龄及 pH 值对同步硝化反硝化过程的影响[J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2008(3): 54-58.
- [18] Changyong W U, Peng Y, Wang S, et al. Effect of Sludge Retention Time on Nitrite Accumulation in Real-time Control Biological Nitrogen Removal Sequencing Batch Reactor[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2011, 19(3): 512-517.
- [19] 张可方, 方茜, 曹勇锋. 温度和溶解氧对短程同步硝化反硝化脱氮效果的影响[J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2011(1): 85-88.
- [20] 郑雅楠, 滝川哲夫, 郭建华, 等. SBR 法常、低温下生活污水短程硝化的实现及特性[J]. 中国环境科学, 2009, 29(9): 935-940.
- [21] 李泽兵, 李军, 李妍, 等. 短程硝化反硝化技术研究进展[J]. 给水排水, 2011, 37(9): 163-168.
- [22] 包鹏, 王淑莹, 高瑶远, 等. 利用高通量测序技术分析不同溶解氧条件下硝化活性污泥的菌群结构特性[J]. 北京工业大学学报, 2017(5).
- [23] 丁文川, 吴丹, 曾晓岚, 等. 不同曝气量对 SBBR 短程硝化微生物特性及氮转化的影响[J]. 环境科学学报, 2012, 32(9): 2112-2118.