

生物脱氮工艺的新发展- 半硝化和厌氧氨氧化

汪慧贞, 李 颖

(北京建筑工程学院城建系, 北京 100044)

摘 要: 传统生物脱氮工艺耗能多, 反硝化时还消耗碳源。半硝化- 厌氧氨氧化 (SHARON - ANAMMOX) 是一种全新的脱氮工艺。其原理是首先由亚硝化细菌将废水中 1/2 氨氮氧化为 NO_2^- , 剩余的氨氮与所生成的 NO_2^- 以等摩尔比例 ANAMMOX 菌作用生成 N_2 。因耗能少且不消耗碳源, 故具有可持续发展意义。

关键词: 硝化/反硝化; 厌氧氨氧化; 脱氮

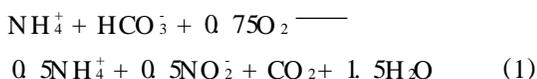
中图分类号: X703; TQ085⁺.413 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3770(2002)05-0308-03

目前最常用的污水脱氮技术为传统生物脱氮, 即通过硝化- 反硝化过程使氨氮转化为氮气。此工艺有两方面不足。首先是能耗大, 氨氮硝化要耗氧, 也就是要耗能供氧, 前置反硝化系统需设置回流比较大的混合液内回流, 这也增加了能耗。其次, 反硝化反应要有碳源作为电子供体, 若污水中碳源不足 (C/N 过低), 则需投加甲醇等有机碳, 这不仅增加了运行费用, 还增加了运行管理的难度, 因此国内外学者一直在寻找高效低耗的脱氮工艺。近年来, 欧洲的学者在这方面取得了突破性的进展, 提出了半硝化和厌氧氨氧化工艺。

1 半硝化/厌氧氨氧化工艺^[1]简介

1.1 SHARON 工艺

SHARON 是 *Single Reactor System for High Ammonium Removal Over Nitrite* 的缩写。它的原理可用方程式 (1) 表示, 即在碱度充足条件下, 污水中 50% 氨氮被亚硝化菌 (*Nitrosomonas*) 氧化为 NO_2^- 。因仅一半氨氮被氧化且硝化作用仅进行到亚硝化阶段, 故 SHARON 常被译为半硝化。



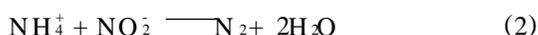
除了要有足够的 HCO_3^- 碱度, SHARON 工艺

还要求较高的温度条件。当水温高于 25℃ 时, 亚硝化菌的世代时间比硝化菌 (*Nitrobacter* 等) 的世代时间短, 通过泥龄控制, 可将硝化菌清洗出系统而将亚硝化菌保留在系统内, 从而确保硝化反应停留在亚硝化阶段。也正因温度高, 亚硝化菌生长速率很快, 其泥龄与水力停留时间相等。

从 (1) 还可看出: 对出水氨氮含量有严格要求时不宜使用 SHARON 工艺。因其出水中还残留 50% 氨氮, 还应有后续处理过程。

1.2 ANAMMOX 工艺

ANAMMOX 是 *Anaerobic Ammonium Oxidation* 的缩写, 原理用式 (2) 表示, 在自养菌的作用下, 1mol 氨氮作为电子供体, 1mol NO_2^- - N 作为电子受体, 最终产物为 N_2 。



这一反应由 Mulder 等人在 1995 年首次报导。他们在一中试厂运行中发现了一有趣现象: 大量氨氮转化为氮气, 同时又有相当量的 NO_2^- - N 不知去向。在此启迪下, 各国学者进行了各种试验, 证实了此反应为生化反应, 并分离出被称为 *Anammox* 自养菌的特种菌类。这种菌生长速率很慢, 泥龄很长, 因此需要很长的培养时间, 但剩余污泥量也少。

在此需说明的是过去对于厌氧和缺氧过程的区

别不严格, 常统称为厌氧。实际上将 ANAMMOX 称为 *Anoxic Ammonium Oxidation* 或缺氧氨氧化可能更为贴切。但因此工艺创始者称之为 ANAMMOX, 这一名称也就一直被沿袭使用。

1.3 SHARON - ANAMMOX 工艺

将式(1)乘 2 并与式(2)相加得式(3), 即废水经 SHANOR 工艺, 50% 氨氮转化为 $\text{NO}_2^- - \text{N}$, 再经 ANAMMOX 工艺, 等摩尔量的剩余 NH_4^+ 和所生成的 NO_2^- 经自养菌作用生成 N_2 逸出, 这样就完成了污水的脱氮, 且不再添加碳源。



2 SHARON 和 ANAMMOX 工艺的 实施

2.1 SHARON 工艺的实施

SHARON 工艺可在一完全混合式好氧连续流反应器中完成(图 1)。

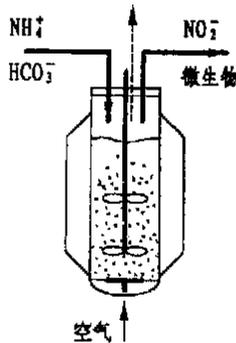


图 1 完全混合式好氧连续流反应器

该工艺适用于处理高浓度氨氮废水。某些工业废水如食品加工、化工、制药、造纸、煤气及焦化厂废水; 家畜(禽)饲养场废水; 垃圾填埋场渗沥液等会有大量氨氮。此外, 二级污水厂泥区废水(污泥浓缩池及消化池上清液, 污泥脱水工艺沥出水等)的氨氮量也很高, 通常为 $500 \sim 1000 \text{mg/L}$, 这些废水适于使用 SHARON 工艺。如荷兰 Rotterdam 的 Dokhaven 污水厂, 当量服务人口 47 万, 使用 A-B 活性污泥法。温度 30°C , 含 HCO_3^- 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 各为 4000mg/L 和 1000mg/L 的泥区废水回流至格栅前, 其氨氮含量占了污水厂总氮负荷的 $15\% \sim 20\%$ 。据 1995 年统计资料, 污水厂出水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 6.7mg/L , 总 N 24mg/L , 不符合荷兰国标要求。为此, 在泥区增设水力停留时间(即泥龄)为 1d 的 SHARON 池, 泥区

废水经 SHARON 池后再回流至格栅前以减少污水厂的氮负荷。此工程已于 1998 年底开工, 此外, 在荷兰还有两个污水厂也正在进行类似改造^[2]。

2.2 ANAMMOX 工艺的实施

因 ANAMMOX 微生物的世代时间长, 宜使用生物膜法。常用的有流化床及生物转盘(RBC)等。

目前在瑞士和法国等地观察到 RBC 具有 ANAMMOX 脱氮功能。如瑞士 Koellidon 填埋场垃圾渗沥水处理厂的流程为混凝沉淀- 一级 RBC- 活性炭吸附- 二级 RBC。二级 RBC 主要用途为氨氮的硝化, 其进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ $100 \sim 400 \text{mg/L}$, $\text{DO} < 20 \text{mg/L}$, 流量 $40 \sim 170 \text{m}^3/\text{d}$, 若将二级 RBC 槽中的 DO 控制为 $1 \sim 3 \text{mg/L}$, 其脱氮效率达 70%。因进水可溶性有机碳浓度小于 20mg/L , 故常规的反硝化脱氮是不能发生的, 瑞士的学者推断是 ANAMMOX 的作用, 即在表层好氧条件下, 亚硝化菌将 NH_4^+ 氧化为 NO_2^- , 部分 NO_2^- 扩散至膜内部而发生 ANAMMOX 反应。

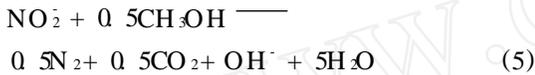
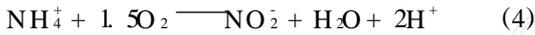
刮取二级 RBC 生物膜, 加入等量的 NH_4^+ 和 NO_2^- , 不加碳, 不充氧, 仅搅拌以使生物膜处于悬浮状态, 1d 后测得 NO_2^- 去除率 NH_4^+ 去除率 NO_3^- 产量 = $1.08 \sim 0.2$, 这证实了当溶解氧匮乏时, 生物膜能起 ANAMMOX 反应。在表层 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ 膜中, 亚硝化菌和硝化菌占优势, 内层则多为一些不知名个体菌, 它们与用流化床培养得的 ANAMMOX 菌相似, 这进一步证实了上述推断^[3]。

德国 M echernich 填埋场垃圾渗沥水处理厂规模为 $280 \text{m}^3/\text{d}$, 工艺流程中设 RBC 单元用以进行硝化。当 RBC 槽中的 DO 维持为 1mg/L 时, 其脱氮率也达 60% 以上。因污水中含碳量低而不可能发生常规反硝化作用, 德国 Hannover 大学学者从 1994 年起对此 RBC 单元进行了微观和宏观的研究, 认为在 DO 较低时, 自养硝化菌以 NO_2^- 作为电子受体, NO_2^- 作为电子供体, 进行了式(2)所示的反应。此结论与瑞士学者所报道的 ANAMMOX 类同^[4]。

3 SHANON - ANAMMOX 工艺的 可持续发展意义

随着社会发展, 人类对可持续发展重要性的认识逐步加深, 对废水处理工艺也提出了可持续发展目标: 最低的有机物(有机物含能量 14MJ/kgCOD) 和能源消耗; 最少的 CO_2 排放以减少温室效应; 最大的生物能量- 甲烷的产生。传统的生物脱氮技术

耗能大;硝化时耗氧 $4.57\text{gO}_2/\text{gNH}_4^+-\text{N}$,反硝化时消耗碳源 $2.86\text{gCOD}/\text{gNO}_3^--\text{N}$ 。各国学者对此传统工艺作了许多改进,如短程硝化反硝化工艺(式(4)和(5))与传统工艺相比可节约供氧 25%,节约碳源(以 CH_3OH 计)40%。但若将式(3)与式(4)和式(5)比较即可看出 SHARON - ANAMMOX 比短程硝化反硝化还可节约供氧 50%,且不消耗碳源。因此 SHARON 工艺具有巨大的节能效益。



4 小 结

氨氮半硝化(SHARON)工艺适合于处理高浓度氨氮废水,特别是污水厂泥区废水。可使用完全混合连续流充氧反应器,其水力停留时间与泥龄相同。此工艺要求温度 25 以上。 HCO_3^- 碱度与 NH_4^+-N 的摩尔比为 1 : 1。厌氧氨氧化(ANAMMOX)工艺中 ANAMMOX 菌以 NO_2^- 作为电子受体, NH_4^+ 作为电子供体,最终产物为 N_2 。因 ANAMMOX 菌的世代时间长,宜使用生物流化床或生物膜法。

SHARON - ANAMMOX 工艺比传统的生物硝化反硝化脱氮工艺减少耗氧 60%,且不需投加碳

源,具有可持续发展意义。它是生物脱氮技术研究的一个新突破。

虽然各国学者对 SHARON - ANAMMOX 工艺进行了宏观和微观的研究,明确了它是生化反应,但对其反应的途径及微生物生理特性的研究还需进一步开展。

参考文献:

[1] Mike SM Jetten. Towards a more sustainable Municipal Wastewater Treatment System [J]. Wat Sci Tech, 1997, 35(9): 171- 180

[2] C Hellinga. Model Based Design of a Novel Process for Nitrogen Removal from Concentrated Flows[J]. Math and computer Modelling of Dynamical systems, 1999, 5(4): 351- 371.

[3] G Koch. Mathematical Modeling of Autotrophic Denitrification in a Nitrifying Biofilm of a Rotating Biological Contactor[J]. Wat Sci Tech, 2000, 41(4- 5): 191 - 198

[4] C Helmer. Nitrogen Loss in a Nitrifying Biofilm Siofilm System[J]. Wat Sci Tech, 1999, 39(7): 13- 21.

THE NEW DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL NITROGEN ELIMINATION PROCESS- SHARON AND ANAMMOX

WANG Hui-zhen, LI Ying

(Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: Conventional nitrogen elimination process consumes more energy and needs carbon source during denitrification. SHARON - ANAMMOX process is a totally new technology. The principle is that half ammonium in wastewater is oxidized to NO_2^- by nitrisomonas at first, then the remainder ammonium and produced NO_2^- with molar ration 1 : 1 result in N_2 by Anammox bacteria. The process consumes less energy and needs not carbon source. So it has sustainable development signification.

Key words: nitrification/denitrification; anaerobic ammonium oxidation; nitrogen elimination