

前置缺氧 A^2O 工艺脱氮贡献的定量研究*陈亚松¹, 李书鹏¹, 颜孜佳², 苏大雄², 胡洪营³

(1 北京建工环境发展有限责任公司, 北京 100192 2 昆山市北区污水处理厂, 江苏 昆山 215300

3 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘 要: 前置缺氧 A^2O 工艺增加了前置区对污泥中硝酸盐的去除, 构成了系统中 TN 去除的重要途径。本研究以昆山市北区污水处理厂为例, 定量研究了系统脱氮途径和贡献。研究表明, 系统总氮的去除主要发生在前置缺氧区和传统缺氧区, 脱氮贡献分别占 51%、42%; 前置缺氧区硝酸盐平均去除量 132 kg/d 实际去除率 81.5%; 缺氧区反硝化不足, 内回流过剩, 建议内回流比控制在 150%。前置缺氧区是系统脱氮的重要途径, 必须权衡与缺氧区脱氮的关系以保证出水 TN 达标。

关键词: A^2O 工艺; 前置缺氧; 脱氮贡献; 定量分析; 昆山污水厂

Quantitative Research of Nitrogen Removal for Modified A^2O Technology*CHEN Ya-song¹, LI Shu-peng¹, YAN Zi-jia², SU Da-xiong², HU Hong-ying³

(1 BCEG Environment Development Co., Ltd., Beijing 100192 2 KunShan Wastewater Treatment Plant, Jiangsu Kunshan 215300 3 Department of Environment Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084 China)

Abstract The nitrate nitrogen in the sludge can be removed by first anoxic district of modified A^2O technology. The bio-denitrification in first anoxic district was an important way for total nitrogen (TN) removal in system. Based on modified A^2O technology in Kunshan wastewater Treatment Plant (WWTP), the ways and quantity of TN removal were analyzed by quantitative methods. TN removal was the most happened in the first anoxic district and traditional anoxic district, where contribution rate of NO_3^- were 51% and 42%, respectively. The average quantity of NO_3^- in the first anoxic district was 132 kg/d, correspondingly the rate of removal was up to 81.5%. However, the rate of mixed liquid recycles was excess for bio-denitrification in the traditional anoxic district. The rate of mixed liquid recycles was suggested reducing to 150%. As an important way for TN removal in preposing denitrification, the TN removal relationship between traditional anoxic and first anoxic should be balanced in order to meet TN discharge standard.

Key words A^2O technology; first anoxic district; total nitrogen removal; quantitative methods; Kunshan WWTP

传统 A^2O 工艺由于存在脱氮和除磷的矛盾, 很难在同一反应池中获得高效的脱氮除磷效果。其主要原因在于废水脱氮除磷过程中反硝化菌与聚磷菌之间对碳源的竞争, 当厌氧条件下存在硝酸盐时, 反硝化会抢先消耗异降解的 COD, 如 VFA 等, 造成聚磷菌难以获得充足的碳源而抑制释磷^[1]。为了解决传统 A^2O 工艺脱氮除磷的矛盾, 改良型 A^2O 工艺通过在前端设置一个缺氧反硝化区, 对回流污泥充分反硝化而降低进入厌氧区的硝酸盐浓度, 从而达到高效的同步脱氮除磷能力。

相对于传统工艺, 前置缺氧 A^2O 工艺增加了前置区对污泥中硝酸盐的去除, 也构成了系统中 TN 去除的重要途径。前置区由于能优先利用原水中的碳源, 其脱氮效率较高, 而缺氧区可能由于污水中残留碳源的不足脱氮效率不高。那么如何合理分配碳源利用、权衡前置区与缺氧区之间去除总氮的关系, 提高总体的脱氮能力, 是污水处理厂待解决的重要调控内容。为此, 必须全过程地分析脱氮途径, 并定量分析其各个环节的脱氮贡献, 对于优化调控具有现实的指导意义。目前, 围绕前置缺氧的 A^2O

工艺的脱氮途径及定量研究还鲜为报道, 本研究以昆山市北区污水处理厂为例, 定量研究了系统脱氮途径和贡献。

1 方法与工艺

1.1 北区 A^2O 工艺概况

昆山市北区污水处理厂总规模 10 万 t/d 采用改良型 A^2O 工艺, 即增设前置污泥反硝化区。该厂 2004 年投入运营, 按 GB18918 一级 B 标准设计, 2009 年投入深度处理工艺, 出水水质达到 GB18918 一级 A 标准。为此, 本研究选择了一组生化池 (规模 2.5 万 t/d) 进行了系统脱氮途径的定量研究。

1.2 全程监测分析

为进行问题的诊断, 对生化池进行了全程的水质监测, 全程取样分析点如图 1 所示, 监测方法参见《水和废水监测分析方法》第四版。

* 资助项目: 高新城区水环境质量保障技术与综合示范 (2008ZX07313-002)。

作者简介: 陈亚松 (1982-), 男, 硕士, 工程师, 毕业于北京航空航天大学, 长期从事水污染防治的设计、运营和研发, 水专项子课题技术负责人。

Email: chenyasong@bceed.net

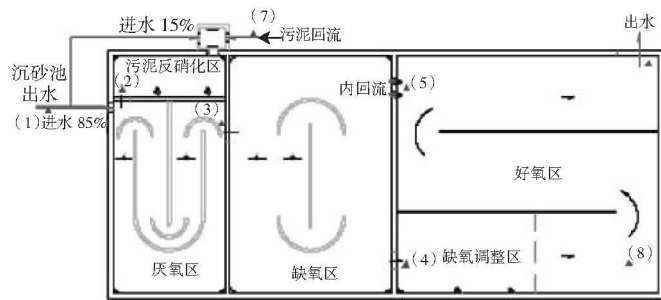


图 1 工艺流程及全程监测点

1.3 脱氮分析评价方法

根据图 1 分别对缺氧区、前置反硝化区的脱氮能力进行定量分析,评价方法如下:

前置区实际去除率:

$$Y = \{Q_{15}QC_1 + Q_{17}C_7 - (Q_{15} + r)QC_2\} / \{Q_{15}QC_1 + Q_{17}C_7\}$$

前置区污染物去除量:

$$m = Q_{15}QC_1 + Q_{17}C_7 - (Q_{15} + r)QC_2$$

缺氧区实际去除率:

$$Y = \{(1+r)QC_3 + QRC_5 - (1+R+r)QC_4\} / \{(1+r)QC_3 + QRC_5\}$$

缺氧区污染物去除量:

$$m = (1+r)QC_3 + QRC_5 - (1+R+r)QC_4$$

式中: Q——水量

C——污染物浓度

m——去除量, kg/d

r——为污泥回流比

R——为内回流比

角标数字——各单元取样点(见图 1)

0.15——进水分配至前置区的比例

2 结果与讨论

2.1 脱氮途径理论分析

生物脱氮的主要途径,是利用缺氧区的反硝化作用将 NO_2^- 和 NO_3^- 转化成氮气,从而达到去除 TN 的目的。针对前置缺氧 A^2O 工艺的特点,从系统总物料平衡分析,脱氮的途径主要包括四个方面:(1)传统缺氧区的反硝化脱氮,通过回流混合液,使其污水中的硝酸盐去除达到脱氮的目的;(2)前置缺氧区的反硝化脱氮,主要去除回流污泥中的硝酸盐,成为系统脱氮的重要贡献;(3)厌氧区存在的反硝化脱氮,厌氧区由于硝酸盐的存在也可能发生反硝化,而去除系统中的 TN,但一般工艺控制其释磷而非脱氮,故运行良好的系统此部分脱氮比较小;(4)微生物的同化、同步反硝化作用,通常这部分脱氮比例很小^[2]。因此,前置缺氧 A^2O 工艺的主要脱氮途径在于前置缺氧区及传统的缺氧区。

针对前置缺氧 A^2O 工艺与传统工艺脱氮途径的区别,其理论脱氮效率不同。假设:(1)系统的硝化完全;(2)回流液或回流污泥中的硝酸盐在缺氧区被完全去除;(3)主要考虑反硝化脱氮,忽略微生物同化、厌氧区的脱氮等。根据物料衡算,理论脱氮效率仅与回流比有关,则脱氮效率公式分别按下式计算。

传统 A^2O 工艺脱氮效率^[3]

$$\eta_1 = \frac{R}{1+R} \times 100\% \quad (1)$$

前置缺氧 A^2O 工艺脱氮效率

$$\eta_2 = \frac{R+r}{1+R+r} \times 100\% \quad (2)$$

式中: η ——脱氮效率

R——混合液回流比

r——污泥回流比

由于正常运行的 A^2O 工艺均包括内回流和污泥回流,对比式(1)和(2),前置缺氧 A^2O 工艺的理论脱氮效率高于传统工艺,具体与污泥回流比有关,如按常规 $R = 100\%$, $r = 70\%$ 计算,理论脱氮效率 $\eta_1 = 50\%$, $\eta_2 = 63\%$ 。因此,为了提高系统的脱氮效率,前置缺氧 A^2O 工艺其调控的措施不仅在于缺氧区的脱氮效率和内回流比,还在于污泥回流比及前置区的脱氮效率。由于理论脱氮效率的提高,前置缺氧 A^2O 工艺可以减少内回流比的能耗,而将污泥中的硝酸盐去除,来保证总脱氮效率。

2.2 前置区脱氮的定量分析

前置反硝化区由于对回流污泥中硝酸盐的去除,是系统脱氮的重要途径。系统运行正常时,污泥回流比 $r = 65\%$,为了保证前置区反硝化需要的碳源,采取了分配进水的方式,其进水量比为总进水量的 15%。根据定量分析的方法,前置缺氧区对 TN、硝酸的日去除量、去除率见图 2。

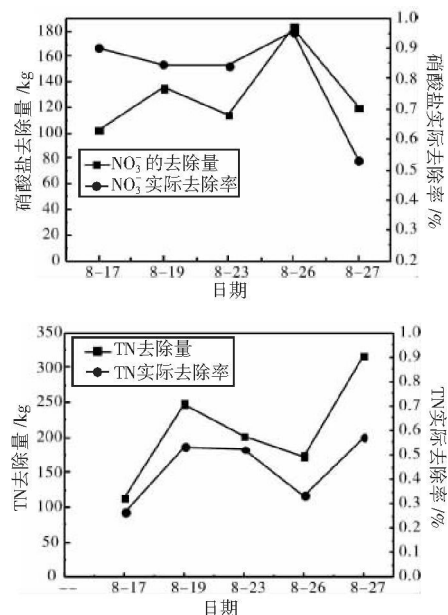


图 2 前置缺氧区脱氮的定量分析

从图 1 中看出,硝酸盐平均去除量 132kg/d 实际去除率 81.5%, TN 平均去除量 210kg/d 实际去除率 44.5%。说明前置反硝化区对硝酸盐的去除量十分大,同时硝酸盐的实际去除率较高,从实际去除率来分析反硝化较完全。分析其原因主要跟碳源利用有关,前置区可以优先利用原水中的易降解的碳源进行反硝化,目前进水分比为 15% 较为合理。因此,前置反硝化区是系统脱氮最主要的途径之一。

2.3 缺氧区脱氮的定量分析

根据以上理论分析,脱氮的定量分析主要考虑前置区及传统的缺氧区的反硝化脱氮。取北区污水处理厂正常运行阶段, $R = 200\%$ 时,对缺氧区进行了全程的监测和定量分析。根据脱氮定量分析的方法,对缺氧区硝酸的日去除量、去除率见图 3,为了进一步分析验证系统的反硝化是否完全,图 4 分析了缺氧区出口及前置区出口硝酸盐浓度的对比。

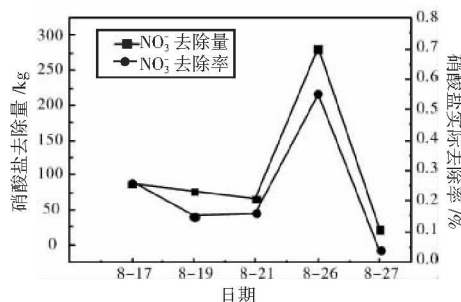


图3 缺氧区脱氮的定量分析

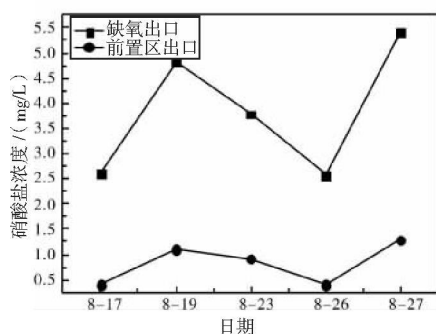


图4 出口硝酸盐浓度对比

从图3看出, $R=200\%$ 时,硝酸盐平均去除量为 106kg/d 实际去除率仅 23.3% ,说明缺氧区反硝化不完全,内回流过剩;从图3看出,缺氧区出口硝酸盐浓度明显较高 ($2.5\sim 5.5\text{mg/L}$),相比之下,前置缺氧区的硝酸盐浓度较低,这也证实了其反硝化较为完全。尽管增大回流比会提高硝酸盐的去除总量,但缺氧区的反硝化效率不高,反硝化仍存在抑制。分析其原因可能主要与缺氧区碳源不足、以及高回流比带入缺氧区的DO有关,这不利于反硝化作用。

因此,如果为提高系统的脱氮能力,可以通过投加碳源等方式强化缺氧区的反硝化能力;但目前系统总氮达标,说明内回流比过剩。根据缺氧区的实际去除量衡算,如保持出口硝酸盐浓度 1.5mg/L 以内^[4],计算出理论内回流比 $R=80\%\sim 120\%$,建议实际内回流比控制至 150% ,既有利于降低系统的能耗,同时能减少高回流比对缺氧环境的破坏,提高反硝化的效率。

2.4 脱氮途径的贡献分析

A^2O 工艺中厌氧区主要为除磷设计,考虑到实际控制条件的差异,可能存在缺氧环境导致反硝化脱氮,因此,仍对厌氧区进行了脱氮贡献的定量分析(如图5)。

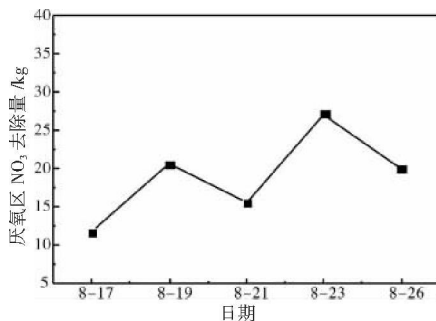


图5 厌氧区脱氮的定量分析

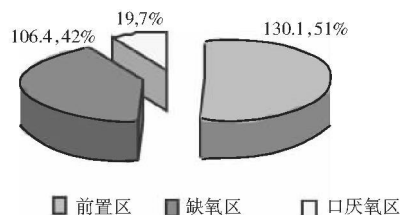


图6 系统脱氮的贡献分析

从图5看出,厌氧区对硝酸盐的去除贡献较小,硝酸盐的平均量仅为 19kg/d 说明厌氧区运行正常,硝酸盐对其释磷影响较小,这与前置区对污泥硝酸盐的去除有关。根据系统脱氮途径分析,微生物同化、及同步反硝化对脱氮的贡献较小,暂不做脱氮定量分析。因此,脱氮贡献主要发生在前置反硝化区、厌氧区、缺氧区。图6反映了不同区域的脱氮贡献,系统脱氮主要发生在前置反硝化区 (51%)、缺氧区 (42%),而厌氧区对于脱氮的贡献较小 (7%)。由于前置反硝化区对脱氮贡献较大,且较容易利用污水中的碳源,反硝化较为彻底,可以通过提高前置区反硝化去除量保证系统TN达标,是重要的经济途径。

3 结论

(1)前置缺氧 A^2O 工艺的理论脱氮效率为

$$\eta_2 = \frac{R+r}{1+R+r} \times 100\%$$

其脱氮效率高于传统工艺,这与回流污泥的反硝化脱氮有关。

(2)北区污水处理厂前置缺氧区硝酸盐平均去除量 132kg/d 实际去除率 81.5% ,反硝化较完全,是系统脱氮的重要途径,这主要与前置区可以优先利用原水中的有效碳源有关,目前的进水分比例维持 15% 较为合理。

(3)当 $R=200\%$ 时,传统缺氧区的硝酸盐平均去除量为 106kg/d 实际去除率仅 23.3% ,缺氧区反硝化不完全,通过缺氧区是实际去除量,建议实际内回流比控制至 150% 。

(4)通过脱氮途径的定量分析表明,系统总氮的去除主要发生在前置缺氧区和传统缺氧区,脱氮贡献分别占 51% 、 42% ,而厌氧区对于脱氮的贡献较小 (7%)。由于前置反硝化区对脱氮贡献较大,且较容易利用污水中的碳源,反硝化较为彻底,可以通过提高前置区反硝化去除量保证系统TN达标,可以缓解缺氧区脱氮的压力,大大降低缺氧区投加碳源的成本、及削减回流比的能耗。

参考文献

- [1] 王晓莲,彭永臻. A^2O 法污水生物脱氮除磷处理技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009 30-33
- [2] 郑兴灿,李亚新. 污水脱氮除磷技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998 76-88.
- [3] 张自杰,林荣忱,金儒霖. 排水工程下册(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007 320-324
- [4] 李捷,熊必永,张树德. 亚硝酸盐对聚磷菌吸磷效果的影响[J]. 环境科学, 2006, 27(4): 701-703.