

# A-A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮实践运行效果及优化

陈东宇<sup>1</sup> 周少奇<sup>1,2\*</sup> 赵蓉<sup>1</sup> 李夫振<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学土木与交通学院, 广州 510641; 2. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510006)

**摘要** A-A<sup>2</sup>/O 工艺是预缺氧/厌氧/缺氧/好氧组成的生物脱氮除磷工艺, 广州市某污水处理厂采用该工艺处理城市污水, 具有同时去除有机物、脱氮除磷能力, 但是 TN 去除率较低。分析了其 TN 去除率低的原因, 并提出相应措施。该水厂针对本厂水质特征以及影响工艺脱氮性能的主要因素, 优化了工艺控制参数, 提高了 TN 去除率和 TN 达标保证率。

**关键词** A-A<sup>2</sup>/O 工艺 运行效果 脱氮性能 运行参数 优化

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2012)04-1149-05

## Practice effects and optimization of A-A<sup>2</sup>/O process for nitrogen removal

Chen Dongyu<sup>1</sup> Zhou Shaoqi<sup>1,2</sup> Zhao Rong<sup>1</sup> Li Fuzhen<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract** The A-A<sub>2</sub>/O process is composed of pre-anoxic/anaerobic/anoxic/oxic biological process for removal of nutrient and phosphorus. In Guangzhou, there is an A-A<sub>2</sub>/O wastewater treatment plant, with simultaneous removal of organic matter, nutrient and phosphorus, but the TN removal rate was low. The reasons for the low TN removal rate were found out, and appropriate measures were proposed. According to the variation of water quality and the main factors affecting the nitrogen removal performance in the treatment plant, controlling parameters were also optimized to improve the TN removal efficiencies.

**Key words** A-A<sup>2</sup>/O process; operation efficiency; nitrogen removal performance; operation parameters; optimization

A-A<sup>2</sup>/O 工艺是预缺氧/厌氧/缺氧/好氧组成的生物脱氮除磷工艺, 是传统 A<sup>2</sup>/O 工艺的改良工艺<sup>[1,2]</sup>, 该工艺在缺氧、厌氧和好氧 3 种不同环境下交替运行, 有不同类型的微生物菌群如聚磷菌、反硝化菌和硝化菌等, 具有同时去除有机物、脱氮和除磷的功能<sup>[3-5]</sup>。但是考察采用 A-A<sup>2</sup>/O 工艺的广州某城市污水处理厂 2006—2010 年的运行效果, 发现其总氮的去除率维持在 40% ~ 55% 的水平, 针对此问题, 提出提高总氮去除率的优化方案, 并对该厂的运行参数和过程参数进行优化, 增强其总氮的去除效果。

## 1 工程概况

广州市某城市污水处理厂建于 2001 年, 总用地面积为 14.72 hm<sup>2</sup>, 其中净用地面积为 13.43 hm<sup>2</sup>, 采用 A-A<sup>2</sup>/O 工艺, 一期工程设计日处理能力 20 万 t, 于 2004 年正式通水运行, 其工艺流程如图 1 所示。采用两点进水, 即 10% ~ 30% 进水进入预缺氧池, 70% ~ 90% 的进水进入厌氧池。图 2 为生化

池各反应单元的平面图, 显示污水和回流污泥的方向。脱氮工艺采用传统脱氮机理: 在好氧条件下, 微生物将氨化物氧化分解, 即通过氨化作用转化为成 NH<sub>3</sub>-N, 经硝化过程转化变为 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, 最终转化为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, 然后通过反硝化作用使 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 转化成 N<sub>2</sub>, 而逸入大气<sup>[5]</sup>。

## 2 A-A<sup>2</sup>/O 工艺的运行现状与效果

表 1 是考察了污水厂从 2006 年 4 月 1 日至 2010 年 7 月 27 日每日进出水水质检测数据, 共 1 579 组数据, 利用 SPSS 数据分析软件处理数据, 分析各指标的进出水质和去除效果。

基金项目: “十一五”国家重大科技支撑计划(2006BAJ04A12)

收稿日期: 2011-06-07; 修订日期: 2011-07-30

作者简介: 陈东宇(1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 城市水污染控制。E-mail: chen.dongyu1208@gmail.com

\* 通讯联系人, E-mail: fesqzhou@scut.edu.cn

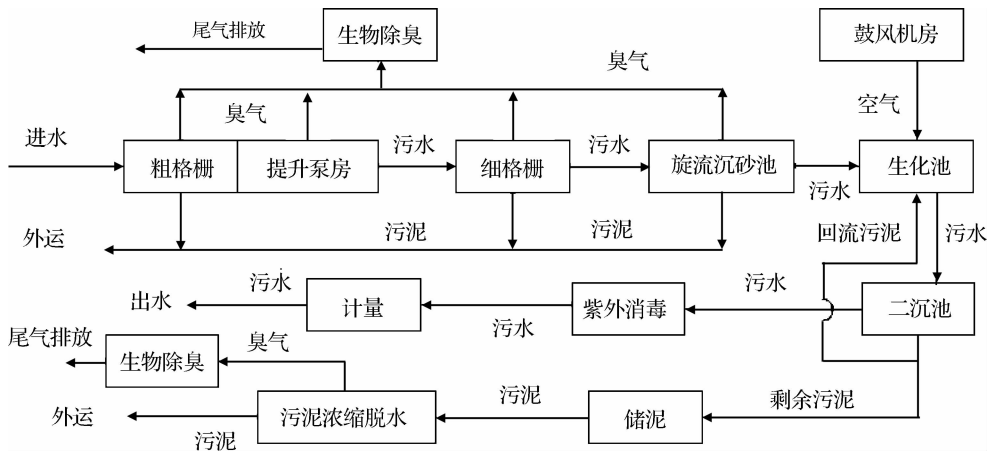


图1 污水处理工艺流程图

Fig. 1 Diagram of sewage treatment process flow

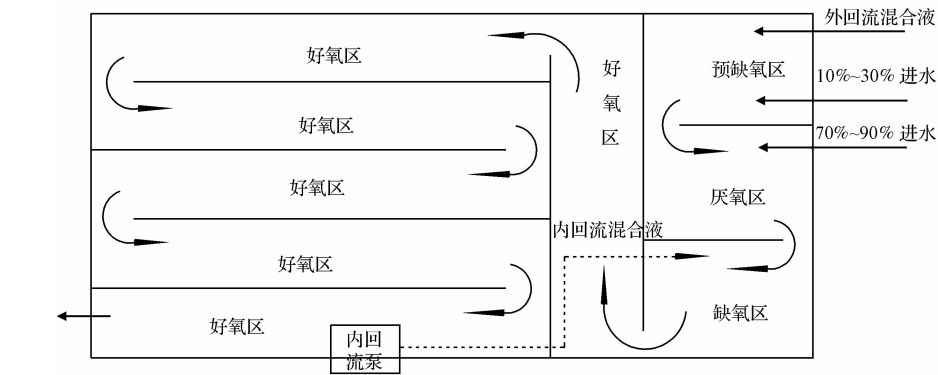


图2 A-A<sup>2</sup>/O 工艺生化池各反应单元的平面图

Fig 2 Layout drawing of each unit in biological reactor of A-A<sup>2</sup>/O

表1 设计及实际进、出水水质及运行效果

Table 1 Water quality of influent and effluent under design and actual conditions and operation efficiency

指标	设计进水 (mg/L)	设计出水 (mg/L)	实际进水 (mg/L)	实际出水平均值 (mg/L)	平均去除率 (%)	一级 A 达标率 (%)	一级 B 达标率 (%)	一级 A(B) 标准 (mg/L)
BOD <sub>5</sub>	140	≤30	43~217	13	86.12	34.57	85.42	10(20)
COD	280	≤60	68.3~386	26	83.85	96.53	100	50(60)
NH <sub>3</sub> -N	25	≤15	10.4~40.4	2.66	94.46	79.45	89.41	5(8)
TN	30	≤15	14.8~45.2	15	53.35	58.32	75.36	15(20)
TP	4	≤1	0.59~4.62	0.45	84.73	68.6(<0.5)	90.10(<1.0)	0.5(1.5)

进水 BOD<sub>5</sub> 平均值为 85.78 mg/L, 约 84% 进水 BOD 低于设计水质, 标准差为 26.67, 波动较大。COD 值的波动随 BOD 一致, 平均值 145.67 mg/L, 约 90% 的进水 COD 低于设计水质, 标准差为 63.35。进水氨氮常常超过设计值, 2007 年超标天数 224 d, 2008 年 221 d, 2009 年 257 d, 平均值是 27.64 mg/L, 标准差是 5.64, 夏日温度较高, 导致氨氮挥发, 氨氮值较低。TN 进水波动较小, 平均值

31.94 mg/L, 标准差是 5.59, 去除率 53.35%, 一级 A 保证率仅为 58.32%。TP 进水平均值 2.43 mg/L, 标准差是 0.73, 去除率是 84.73%, 一级 B 的保证率较好。由此可知进水各指标 COD 值的离散程度最大, 即波动最大。出水 BOD 和 COD 值较为稳定, 而且都能以较高的保证率达到出水水质标准。

A-A<sup>2</sup>/O 工艺具有较好的有机物、氮和磷同步去除效果, BOD<sub>5</sub>、COD、TN 和 TP 的平均去除率分别达

到 86.12%、83.85%、53.35% 和 84.73%，其出水均能达到设计标准，但是 TN 的去除率较低，且达标保证率较低。

### 3 工艺优化

#### 3.1 工艺总氮去除率低的原因分析

##### 3.1.1 TN 进水规律和 BOD<sub>5</sub>/TN

图 3 采用 2006 年 4 月至 2010 年 7 月的每月进水平均值，氨氮与 TN 的变化紧密相连，而且 TN 中大部分是氨氮，氨氮和 TN 经常超过设计值。BOD<sub>5</sub>/TN 值平均值为 2.81，标准差 0.48，最大值 4.35 最小值 1.82。反硝化细菌在分解有机物的过程中进行反硝化脱氮的，因此进入缺氧段的污水必须保证足够充分的有机物，才能保证反硝化的顺利进行。理论上，当污水中的 BOD<sub>5</sub>/TN > 3 时，有机物可满足脱氮需求。由图 3 可知，碳源不能满足脱氮要求。

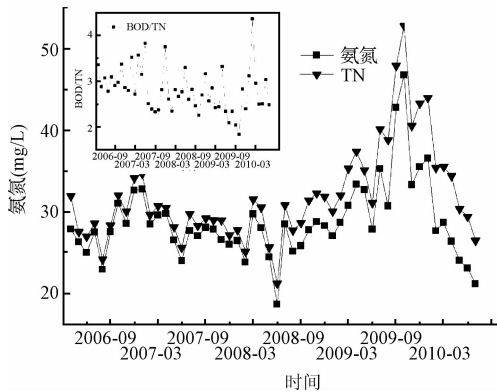


图 3 进水氨氮和 TN 的月波动曲线及 BOD<sub>5</sub>/TN 值

Fig. 3 Change of influent COD、SS with different months and BOD<sub>5</sub>/TN ratio

##### 3.1.2 管理人员的水平参差不齐

由于管理人员的水平参差不齐，当进水水质发生较大变化时，不能及时正确地调整进水量、鼓风机风量或排泥量，都可能导致出水不达标。混合液的污泥浓度与每日排泥量相关，保证活性污泥的活性；探索工艺满足出水要求的最大处理水量，作为以后调节处理水量的基数；调整鼓风机导叶开度，保证 DO 达到要求。

#### 3.2 脱氮性能优化

为了应对碳源低的问题，新的脱氮理论应用于城市污水处理可以减少脱氮需求碳源量，提高脱氮效果。新的脱氮理论有厌氧氨氧化、反硝化脱氮除磷、短程硝化反硝化，而在城市污水处理过

程中也发现存在有不同于传统脱氮理论的除氮形式。

(1) A-A<sup>2</sup>/O 工艺的预缺氧池内，一部分是经二沉池后的部分回流污泥，一部分是进水，而进水中具有 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N，回流污泥中有 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 何 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N，具有发生厌氧氨氧化的物质条件。有研究发现，在城市污水处理 A-A<sup>2</sup>/O 工艺中缺氧池确实存在厌氧氨氧化反应<sup>[6]</sup>，在厌氧条件下，厌氧氨氧化菌直接以为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 电子供体，以为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 电子受体，将氨转化为氮气<sup>[7]</sup>。厌氧氨氧化不仅使污水中原有的碳源可以满足微生物脱氮的需要，更无需外加碳源；亚硝酸盐的厌氧氨氧化的关键性电子受体，硝化阶段只需 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 氧化为 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>，这样可以减少耗氧量，减少工艺运行成本。厌氧氨氧化菌是无机化能自养菌，适宜生存环 pH 范围是 6.7 ~ 8.3，温度在 20 ~ 34 °C 之间，且要求严格厌氧<sup>[8]</sup>。

(2) 反硝化脱氮除磷实现了“一碳两用”，即在缺氧条件下，反硝化聚磷菌以硝酸盐氮或亚硝酸盐氮作为电子受体，利用降解厌氧段储存于体内的 PHB 产生能量 ATP，部分用于过量摄取水中的无机磷酸盐；同时硝酸盐或亚硝酸盐被还原为氮气，实现同步反硝化和除磷。与传统脱氮除磷工艺相比，保证有机物去除的条件下，对 COD 的需求量可减少 50% 左右，氧气的消耗和污泥产量可分别下降 30%、50%<sup>[9]</sup>。有研究证明，在 A-A<sup>2</sup>/O 系统总确实存在较好的反硝化除磷现象，在增加吸磷量的同时提高了系统总氮的去除率<sup>[9]</sup>。

(3) 好氧区促进短程硝化反硝化。短程硝化反硝化是将硝化过程控制在 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 阶段，阻止 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 进一步氧化为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，直接以 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 作为电子受体进行反硝化<sup>[10]</sup>。与传统脱氮工艺相比，对碳源的需求量可以减少 40%，耗氧量可以减少 25% 左右，减少污泥生成量<sup>[11]</sup>。在 12 ~ 14 °C 下，30 °C 以上，且低溶解氧下，活性污泥中硝酸菌活性收到抑制，出现 HNO<sub>2</sub> 积累。广州西朗污水处理厂冬季在好氧区的前端和末端分别设立兼氧区、控制好氧区较低的溶解氧，创造实现短程硝化的微环境等措施，有效地提高了生物脱氮效果<sup>[12]</sup>。

为了减小由于管理人员管理水平而导致脱氮效果不好的原因，采取的措施是强化传统脱氮理论指导，严格控制参数，如对于好氧池 DO 控制，及时根据 DO 在线检测数据，保证好氧池的溶解氧浓度，一般保持在 1 ~ 3 mg/L<sup>[13,14]</sup>，表 1 中显示，氨氮的去除

率高达94%，那么脱氮的重点就落在了反硝化阶段；提高缺氧区的反硝化效率，控制其末端硝酸盐浓度的，增大内外、回流比可以增加缺氧池的硝酸盐量，但是当回流超过缺氧池的最大容量，对TN的去除率没有正影响。因此需要控制恰当的回流比，外

回流在45%~60%，内回流比控制为200%左右。结合脱氮除磷性能的关键因素，加强在线监控和及时调整运行参数，强化对工艺运行的控制，严格依据表2控制参数，根据季节气候变化及时调整，提高总氮的去除率和保证率。

表2 A-A<sup>2</sup>/O 工艺实践运行中工艺运行参数范围

Table 2 Range of operating parameters of A-A<sup>2</sup>/O process

运行参数	污泥负荷 (kg/(kg·d))	污泥浓度 (g/L)	污泥龄 (d)	溶解氧(mg/L)			回流比(%)		沉降比 SV	容积指数
				缺氧段	厌氧段	好氧段	外回流比	内回流比		
设计	0.12~0.14	3 500	8~12	-	-	>2.0	100	100	15	-
实际	0.11~0.25	1 934~3 813	5.90~12.46	<0.5	<0.2	1~3	45~60	200	10~20	35~64

### 3.3 优化后水质及参数

表3是2011年优化各参数后的进出水水质状况，加强工艺运行管理，可知其TN去除率有较大提高，且TP也达标准排放。

表3 优化后进出水水质状况及去除率

Table 3 Water quality of influent and effluent and removal efficiencies after optimization

月份	进水水质(mg/L)			出水水质(mg/L)			去除率(%)		
	COD	T-P	T-N	COD	T-P	T-N	COD	T-P	T-N
1	153	2.08	30.4	32.8	0.28	10.1	78.56	86.54	66.78
2	147	2.57	29.6	30.4	0.32	5.6	79.32	87.55	81.01
3	157	2.04	29.9	30.7	0.70	11.6	80.45	85.69	61.20
4	158	2.21	34.4	25.2	0.29	11.3	84.05	86.88	67.15
5	151	2.40	33.7	22.1	0.18	10.3	85.36	92.50	69.44
6	175	2.28	38.6	26.8	0.13	11.6	84.69	94.30	69.95

由此可见，强化工艺控制参数的管理，可以提高TN的去除率及保证率，节省提标改造的工程费用。

## 4 结论

该污水厂没优化前虽然出水能达标排放，但是TN的去除率和达标保证率比较低，针对影响A-A<sup>2</sup>/O工艺脱氮性能的因素，如内、外回流比，MLSS、DO等各运行参数进行分析优化和调整，可以使工艺具有良好的去除有机物和脱氮除磷效果。优化后，COD、TN和TP的平均去除率分别达到83.4%、72.87%和90.2%。在实际运行管理中要大力借助自动控制系统，使易于掌控、管理和操作工艺状况，严格、快捷地调整系统的运行参数，最终确保出水达标排放。

## 参考文献

[1] 钟四蛟. 同步生物脱氮除磷工艺的研究进展. 广东化

工, 2007, 34(7):99-102

Zhong Sijiao. Developing trends of the simultaneous removal of phosphorus and nitrogen by biological process. Guangdong Chemical, 2007, 34(7):99-102 (in Chinese)

[2] 张宝军, 耿德强, 张雁秋. A<sup>2</sup>/O工艺处理城市污水的应用研究. 煤矿环境研究, 2002, 16(6):32-35

Zhang Baojun, Geng Deqiang, Zhang Yanqiu. Study on application of A<sup>2</sup>/O process in municipal wastewater treatment. Coal Mine Environment Protection, 2002, 16(6):32-35 (in Chinese)

[3] 杨志泉, 周少奇, 何伟, 等. 改良A<sup>2</sup>/O工艺生物脱氮除磷应用研究. 中国给水排水, 2010, 26(1):79-82

Yang Zhiqian, Zhou Shaoqi, He Wei, et al. Application research of modified A<sup>2</sup>/O process for biological nitrogen and phosphorus removal. China Water & Wastewater, 2010, 26(1):79-82 (in Chinese)

[4] 丁强, 王振兴. 污水生物处理工艺强化托单除磷的研究进展. 环境科技, 2010, 2(1):89-92

Ding Qiang, Wang Zhenxing. Research progress on enhanced nitrogen and phosphorus removal by biological wastewater treatment process. Environmental Science and Technology, 2010, 2(1):89-92 (in Chinese)

[5] 邓荣森, 朗建, 王涛, 等. 城市污水生物除磷脱氮机理研究探讨. 重庆建筑大学学报, 2002, 24(3):106-111

Deng Rongsen, Guo Jian, Wang Tao, et al. A study on mechanism of biological denitrification and phosphorus removal for urban wastewater. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2002, 24(3):106-111 (in Chinese)

[6] 孙孝龙, 蒋文举, 张进, 等. 改良A<sub>2</sub>/O工艺预缺氧池中的脱氮作用和机理. 环境科学技术, 2009, 32(12):138-141

Sun Xiaolong, Jiang Wenju, Zhang Jin, et al. Nitrogen removal in pre-hypoxia by improved A<sup>2</sup>/O process. Environmental Science & Technology, 2009, 32(12):138-141 (in

- Chinese)
- [7] 李亚新,刘美霞.厌氧氨氧化(ANAMMOX)脱氮新工艺.环境科学与技术,2004,27(3):111-113  
Li Yaxin, Liu Meixia. A novel process of nitrogen removal ANAMMOX. Environmental Science & Technology, 2004, 27(3):111-113 (in Chinese)
- [8] 白王军,黄波,李梦侠.厌氧氨氧化脱氮及影响因素研究.科技信息,2009,(3):127-128  
Bai Wangjun, Huang Bo, Li Mengxia. The research of anaerobic ammonia-denitrification removal nitrogen and influential factor. Science & Technology Information, 2009, (3): 127-128 (in Chinese)
- [9] 王晓莲,王淑莹,马勇,等. A<sup>2</sup>O工艺中反硝化除磷及过量曝气对生物除磷的影响.化工学报,2005,56(8):1565-1571  
Wang Xiaolian, Wang Shuying, Ma Yong, et al. Anoxic biological phosphorus removal and effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in A<sup>2</sup>O process. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2005, 56(8):1565-1571 (in Chinese)
- [10] Abelingu, Seyfridef. Anaerobic-aerobic treatment of high strength ammonium wastewater nitrogen removal via nitrite. Wat. Sci. Tech., 1992, 26(5/6):1007-1015
- [11] 高大文,彭永臻,王淑莹.控制pH实现短程硝化反硝化生物脱氮技术.哈尔滨工业大学学报,2005,37(12):1664-1666  
Gao Dawen, Peng Yongzhen, Wang Shuying. Nitrogen removal from wastewater via shortcut nitrification-denitrification achieved by controlling pH. Journal of Harbin Institute of Technology, 2005, 37(12):1664-1666 (in Chinese)
- [12] 邹嘉乐,张胜海.改良型A<sup>2</sup>/O工艺处理城市污水的生物脱氮优化控制.中国给水排水,2009,25(24):86-90  
Zou Jiale, Zhang Shenghai. Optimization control of improved A<sup>2</sup>/O process for biological nitrogen removal in municipal wastewater treatment. China Water & Wastewater, 2009, 25(24):86-90 (in Chinese)
- [13] 李绍秀,谢晖,郭玉.改良工艺A<sup>2</sup>/O的工程实践.环境污染治理技术与设备,2006,7(5):132-134  
Li Shaoxiu, Xie Hui, Guo Yu. Engineering practice of modified A<sup>2</sup>/O process. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2006, 7(5):132-134 (in Chinese)
- [14] 郭克新,段瑞文,崔文亮,等.复合式改良A<sup>2</sup>/O工艺的除磷效果.中国给水排水,2004,20(12):76-78  
Guo Kexin, Duan Ruiwen, Gui Wenliang, et al. Phosphorus removal effect of modified hybrid A<sup>2</sup>/O process. China Water & Wastewater, 2004, 20(12):76-78 (in Chinese)