

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.24.016

## AAOA – MBR 强化脱氮工艺用于内江市某污水厂提标改造

白玉华<sup>1</sup>, 张欣宇<sup>2</sup>, 黄政鑫<sup>3</sup>, 刘百仓<sup>4</sup>, 陈艾<sup>2</sup>, 朱芳琳<sup>1</sup>

(1. 成都大学 基建处, 四川 成都 610106; 2. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081; 3. 内江市污水处理有限责任公司, 四川 内江 641000; 4. 四川大学 建筑与环境学院, 四川 成都 610065)

**摘要:** 四川省内江市某污水厂总处理规模为  $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 一期工程处理规模为  $0.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 原采用 AAO – MBR 为主体的污水处理工艺, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。提标改造工程处理规模不变, 出水水质要达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016) 中城镇污水处理厂排放标准。总氮下降至  $10 \text{ mg/L}$  是关键技术难点, 为此, 采用 AAOA – MBR 强化脱氮工艺, 主要通过改造 AAO 生物池扩大缺氧区容积、新增碳源投加系统、新增精确曝气系统等措施, 实现了在不新增土地、不停产情况下总氮的有效去除。工程建成投运以来, 运行状况良好, 出水水质稳定达到设计标准。

**关键词:** 污水处理厂; 提标改造; AAOA – MBR 工艺

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000 – 4602(2020)24 – 0087 – 05

## AAOA – MBR Enhanced Denitrification Process for Upgrading and Reconstruction of a Wastewater Treatment Plant in Neijiang

BAI Yu-hua<sup>1</sup>, ZHANG Xin-yu<sup>2</sup>, HUANG Zheng-xin<sup>3</sup>, LIU Bai-cang<sup>4</sup>,  
CHEN Ai<sup>2</sup>, ZHU Fang-lin<sup>1</sup>

(1. Infrastructure Construction Department, Chengdu University, Chengdu 610106, China; 2. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China; 3. Neijiang City Sewage Treatment Co. Ltd., Neijiang 641000, China; 4. College of Architecture & Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The total treatment capacity of a wastewater treatment plant in Neijiang City, Sichuan Province is  $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , and the treatment capacity of the first phase project is  $0.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The AAO – MBR was used as the original wastewater treatment process, and the effluent quality implemented the first class A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 – 2002). The treatment capacity of the upgrading project remains as same as the original project, and the effluent quality should meet the discharge standard of the municipal wastewater treatment plant in the *Discharge Standard of Water Pollutants in Minjiang and Tuojiang River Basins of Sichuan Province* (DB 51/2311 – 2016). The reduction of total nitrogen to  $10 \text{ mg/L}$  was the key technical difficulty. Therefore, the AAOA – MBR enhanced denitrification process was adopted to achieve the effective removal of total nitrogen without adding land or stopping production, mainly through the

transformation of the AAO biological unit to expand the volume of the anoxic zone, addition of new carbon source dosing system, and adoption of new precise aeration system. Since the project was completed and put into operation, it has been in good operating condition, and the effluent quality has reached the design standard.

**Key words:** wastewater treatment plant; upgrading and reconstruction; AAOA – MBR process

随着国务院《水污染防治行动计划》的颁布,国家对水环境质量提出了更高要求,为此,2016年12月20日四川省发布了《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016),该标准中的城镇污水处理厂排放标准除 TN 以外,其他各项水质指标几乎等同于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水标准(简称准 IV 类标准)。

内江市某污水处理厂总设计处理规模为  $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期工程处理规模为  $0.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主体采用水解酸化 + AAO 生物池 + MBR 膜池 + 接触消毒工艺,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。2015 年建成投产以来,污水厂处理出水基本达标,尾水经提升泵站提升至排水渠排入沱江。

内江市属于沱江流域重点控制区域,故要求执行准 IV 类标准。因此,对污水处理厂进行提标改造。

## 1 污水处理厂改造前运行概况

该污水处理厂一期工程 2016 年 1 月—2018 年 5 月期间处理污水量大部分时间处于  $(0.3 \sim 0.6) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,进水中含有约 25% 工业废水,主要为啤酒废水和汽配加工废水,该部分工业废水经预处理满足相关排放标准后进厂处理。污水厂出水水质基本达到一级 A 标准,原工艺流程见图 1。

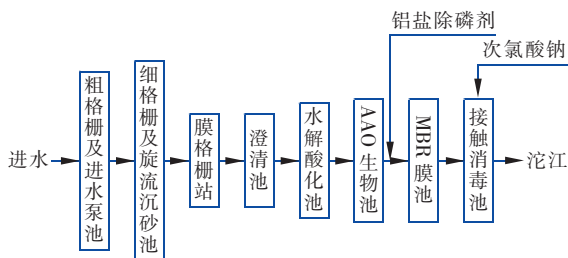


图 1 原污水处理工艺流程

Fig. 1 Original flow chart of wastewater treatment system

## 2 工程改造方案

### 2.1 设计进、出水水质

污水处理厂 2016 年 1 月—2018 年 5 月间的实际进水水质及提标改造工程设计进水水质见表 1。

表 1 污水处理厂实际进水水质及提标改造工程设计进水水质

Tab. 1 Actual influent quality of WWTP and design influent quality of upgrading and reconstruction project

mg · L <sup>-1</sup>						
项目	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> - N	SS	TP	TN
进水 85% 保证率	498.10	187.00	33.10	283.00	3.88	32.90
进水 90% 保证率	580.73	231.00	34.90	309.00	4.15	39.60
设计进水水质	450	230	35	320	4	45

可见,进水 COD 偏高,90% 保证率为 580.73 mg/L,已经超过《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)中最高浓度 500 mg/L,可能与工业园区废水不达标排放有关,可通过协调周边各排污企业合理调整污水排放浓度来解决。因此,本次提标改造工程以 GB/T 31962—2015 中 COD 最高浓度 500 mg/L 作为基数,考虑各类污水平均后的稀释效应,按照 90% 折算考虑,确定进厂 COD 设计标准为 450 mg/L。

其他设计进水指标,通常按 85% ~ 90% 保证率确定。在兼顾工程造价的情况下,设计进水指标尽量按高保证率取值以利于稳定达标排放。

污水处理厂 2016 年 1 月—2018 年 5 月间的实际出水水质及提标改造工程设计出水水质见表 2。

表 2 污水处理厂实际出水水质及提标改造工程设计出水水质

Tab. 2 Actual effluent quality of WWTP and design effluent quality of upgrading and reconstruction project

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TN	TP
实际出水平均值/(mg · L <sup>-1</sup> )	15.95	6.57	4.93	0.65	8.32	0.24
一级 A 标准达标率/%	99.66	99.32	100	100	90.36	100
准 IV 类标准达标率/%	99.21	48.41	100	90.02	68.71	70.52
设计出水水质/(mg · L <sup>-1</sup> )	30	6	10	1.5(3)	10	0.3

设计出水水质执行四川省地方标准《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)中城镇污水处理厂排放标准。

## 2.2 改造重点难点分析

从设计进水水质来看,  $BOD_5/COD$  为 0.51, 可生化性较好; 碳氮比为 5.1, 可采用生物脱氮; 碳磷比为 57.5, 可采用生物除磷。实际进水水质中, 月均值  $BOD_5/COD$  基本在 0.4 ~ 0.5 之间, 可生化性较好, 与设计值较吻合。但一天当中  $BOD_5$  与  $COD$  值变化较大, 且从周边城市污水处理厂运行经验来看, 各厂均不同程度有不同时间段存在  $BOD_5/COD$  比值低、碳源不足的情况, 需要在工程设计中考虑较长的反应时间, 并投加碳源。

从现状出水水质来看, SS 已经稳定达到准Ⅳ类标准,  $COD$ 、 $BOD_5$ 、 $NH_3-N$  通过调整运行工况(生物池充分曝气, 进行完全硝化反应)可达到准Ⅳ类标准, TN、TP 则是提标改造工程的重点处理指标。

TP 的去除通过生物除磷和化学除磷以及 MBR 膜滤工艺低 SS 出水控制<sup>[1-2]</sup>可实现, 所以 TP 达标是重点, 但不是难点。TN 的去除主要依靠生物脱氮, 本工程进水 TN 浓度偏高, 进水碳源波动又大, 某些时段会造成 C/N 值低, TN 去除有一定难度, 所以 TN 达标既是重点, 又是难点, 需要补充碳源, 强化反硝化作用, 提高脱氮效率。

## 2.3 改造方案

本工程除氮要求高, 要求出水总氮  $\leq 10$  mg/L, 需要生物除氮过程有充足碳源, 且硝化及反硝化作用尽可能完全。经核算, 保持现有 AAO 生物池的厌氧区、缺氧区不变, 将好氧区原有的 4 个廊道减少至 3 个廊道, 将最后 1 个廊道改造成后缺氧区, 即将原有 AAO(缺氧/厌氧/好氧)生物池 + MBR 膜池工艺改造成 AAOA(缺氧/厌氧/好氧/缺氧)生物池 + MBR 膜池工艺, 加强反硝化作用, 提高 TN 去除率。同时, 新建碳源投加系统, 向缺氧区进水端或后缺氧区补充碳源, 保证碳源充足。增设精确曝气控制系统, 自动调节气量分配, 稳定控制反应区溶解氧浓度, 促进生化处理工艺的稳定运行, 确保出水达标排放。

综合以上分析, 并基于 MBR 工艺目前在国内外较为成熟的应用及其具有占地省、出水水质好等特点<sup>[3-4]</sup>, 本次提标改造工程的具体工艺流程如图 2 所示。

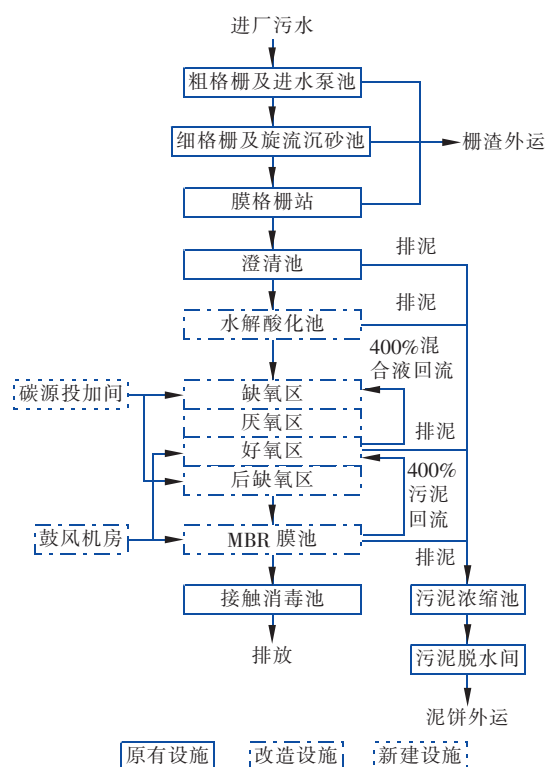


图2 提标改造工艺流程

Fig. 2 Flow chart of upgrading and reconstruction process

## 3 提标改造工程设计

### ① 改造水解酸化池

水解酸化池排泥阀目前为手动操作, 工作量较大, 响应较慢, 本次改造为自动化运行。设置 24 个 DN150 的电动闸阀, 自控设置相应仪表控制开关。

### ② 改造 AAO 生物池

原缺氧区、厌氧区容积和功能保持不变; 将原好氧区末端第 4 个廊道改造为后缺氧区, 扩大缺氧区容积, 增加后缺氧区水下搅拌器, 增强系统脱氮能力; 新建污泥回流泵井 1 座, 平面尺寸 3.0 m × 3.0 m, 利用好氧区原有污泥回流泵, 将改造后的好氧区末端污泥回流至缺氧区。

设计总停留时间为 13.26 h(缺氧区 2.77 h、厌氧区 0.89 h、好氧区 7.2 h、后缺氧区 2.4 h); 混合液悬浮固体浓度分别为厌氧区 5.12 g/L、缺氧区 5.12 g/L、好氧区 6.4 g/L; 膜池至好氧区回流比为 400%, 好氧区至缺氧区回流比为 400%<sup>[5]</sup>; 供气量为 38.0 m<sup>3</sup>/min, 设后缺氧区搅拌器 3 台( $N=7.5$  kW)。

### ③ 改造膜池及设备间

现有膜池及设备间 1 座, 土建已按  $1.8 \times 10^4$

$\text{m}^3/\text{d}$  规模一次建成,设备分期安装,平面尺寸为  $41.6\text{ m} \times 24.35\text{ m}$ 。内含4格膜池,一期工程使用2格膜池,不做改动,保留。但由于部分膜组件有所损坏,故需进行更换。本次改造共更换10套同规格膜组件,每套膜组件共80片膜片,膜面积为  $20\text{ m}^2/\text{片}$ ,膜通量为  $0.0145\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

同时为减小化学清洗对膜池产水量的影响,新建1座离线化学清洗池,平面尺寸为  $5.1\text{ m} \times 2.4\text{ m}$ 。设清洗液排空泵1台( $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=80\text{ kPa}$ ,  $N=4\text{ kW}$ ),混合液回流泵1台( $Q=720\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=125\text{ kPa}$ ,  $N=37\text{ kW}$ ,备用)。

#### ④ 改造生物池鼓风机

生物池鼓风机目前风量较大,且无法调节风量,导致好氧区中活性污泥溶解氧过高,从而影响反硝化脱氮效果,故对生物池鼓风机进行改造:拆除原有风机,新设鼓风机2台( $Q=38\text{ m}^3/\text{min}$ ,  $H=70\text{ kPa}$ ,  $N_{\text{轴}}=56.14\text{ kW}$ ,  $N_{\text{电机}}=74.6\text{ kW}$ ,变频调速,1用1备)。

#### ⑤ 新增膜池风管调节阀

考虑到膜池鼓风机风量无法调节,本次改造在膜池进风管上增设1个电动空气调节阀,便于控制。

#### ⑥ 新增碳源投加间

1座,土建按  $1.8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  规模一次建成,设备分期安装,车间尺寸为  $9.7\text{ m} \times 8.2\text{ m} \times (\text{地下}3.3\text{ m} + \text{地上}3.8\text{ m})$ ,地下碳源存储池容积为  $89\text{ m}^3$ 。

投加药剂为复合碳源,外观为白色或淡黄色乳浊液,主要成分为葡萄糖、果糖、阿拉伯糖、木糖、蔗糖、D-葡聚糖和醋酸钠。采用原液投加,投加量为  $5 \sim 10\text{ L}/10^3\text{ m}^3$ ,投加点共2处,分别位于缺氧区进水和后缺氧区进水端。设计量泵3台( $Q=160\text{ L/h}$ ,  $H=400\text{ kPa}$ ,  $N=0.75\text{ kW}$ ,2用1备),潜水排污泵1台( $Q=7\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=100\text{ kPa}$ ,  $N=0.75\text{ kW}$ ),电动葫芦1台。

#### ⑦ 新增精确曝气控制系统

精确曝气系统1套,主要包括精确曝气系统控制软件及控制柜1套;生物池曝气支管6台电动空气调节蝶阀,3台热式气体流量计和3台压力变送器;生物池好氧区前端、后端设6台DO仪和6台污泥浓度计;生物池鼓风机出口及总风管设3台压力变送器等。

整个系统通过网络接收进水流量、COD、氨氮等前馈信号,以及从现场每个受控曝气单元采集到的

DO、水温、MLSS、液位等反馈信号,经数据处理,计算出各个溶解氧控制区的需气量及总需气量。将总气量信号发送至鼓风机房控制站PLC,通过控制鼓风机的启停、导叶的开度或变频器的频率,调节鼓风机的输出气量;同时,通过电动阀门的调节,将气量分配至各个溶解氧控制区,从而实现按需供气。

### 4 提标改造后运行效果

该污水处理厂于2019年7月完成提标改造竣工验收,正式运行以来出水水质稳定,达标率为100%。实际出水水质见表3。

表3 提标改造后出水水质

Tab.3 Effluent quality after upgrading and reconstruction

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
最高值	21.20	6	7	0.84	10.00	0.20
最低值	8.01	2	2	0.20	1.23	0.01
平均值	14.13	4.68	4.46	0.48	7.20	0.08

### 5 技术经济分析

污水处理厂改造前生物池气水比约为7:1,改造后约为6:1;改造前除磷药剂投加量约为  $50\text{ kg}/10^3\text{ m}^3$ ,改造后约为  $100\text{ kg}/10^3\text{ m}^3$ ;改造前无碳源投加,改造后新增碳源投加量约为  $6.7\text{ L}/10^3\text{ m}^3$ 。工程建设总投资约1200万元,污水厂改造前运行成本约2.9元/ $\text{m}^3$ ,改造后运行成本约3.3元/ $\text{m}^3$ ,提高约13.8%。

### 6 结语与讨论

① 内江某污水厂提标改造工程采用AAOA-MBR强化脱氮工艺,通过改造现状生物池扩大缺氧区容积及增加搅拌机、新建碳源投加系统、设置精确曝气系统等,实现了在不新增土地、不停产情况下TN的有效去除,解决了污水厂达标运行难点。

② 精确曝气系统可监测生物池鼓风机(如管道压力、电机电流、温度等)数据,对风机设备起到了较好的保护作用,降低了维修率。但与周边设有精确曝气系统的污水厂相比,本工程在实际运行中精确曝气系统的作用并不明显,这可能与本工程保留原有曝气管路、未更换原有曝气盘有关。建议在资金充裕的情况下,新建项目或者生物池彻底改造的改建项目可以考虑设置精确曝气系统。

### 参考文献:

[1] 刘焘,党朝华. MBR工艺在污水处理厂提标改造中的



- 工程应用[J]. 中国给水排水,2017,33(24):92-94.
- Liu Tao, Dang Chao-hua. Application of MBR for upgrading and reconstruction of WWTP[J]. China Water & Wastewater,2017,33(24):92-94(in Chinese).
- [2] 邵嘉慧,何义亮,顾国维. 膜生物反应器——在污水处理中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
- Shao Jiahui, He Yiliang, Gu Guowei. Membrane Bioreactor: Research and Application in Wastewater Treatment[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2012(in Chinese).
- [3] Xiao K, Liang S, Wang X, *et al.* Current state and challenges of full-scale membrane bioreactor applications: A critical review [J]. Bioresour Technol, 2019, 271: 473-481.
- [4] Yang X, Meng L, Meng F. Combination of self-organizing map and parallel factor analysis to characterize the evolution of fluorescent dissolved organic matter in a full-scale landfill leachate treatment plant [J]. Sci Total Environ,2019,654:1187-1195.
- [5] 刘茜,崔洪升,刘世德,等. 膜生物反应器(MBR)工艺污水厂的全流程节能降耗[J]. 中国给水排水,2016,32(6):99-102.

Liu Qian, Cui Hongsheng, Liu Shide, *et al.* Energy saving and consumption reduction of MBR in WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(6): 99-102(in Chinese).



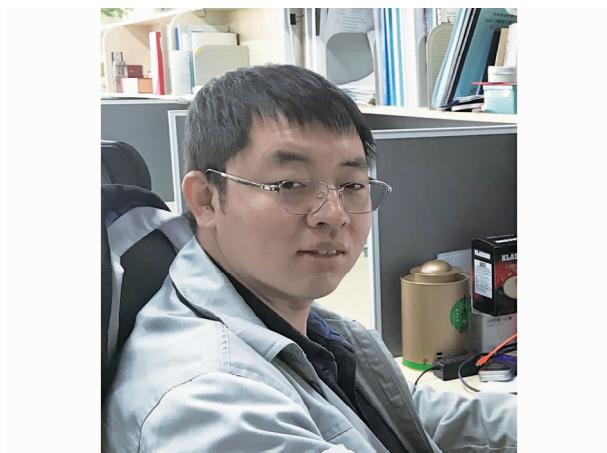
作者简介:白玉华(1981-),女,陕西延安人,工学硕士,高级工程师,主要从事给水、排水、环境工程的设计、咨询工作。

E-mail: baiyuhua@edu.edu.cn

收稿日期:2020-01-06

(上接第 86 页)

- GB 50069-2002, Structural Design Code for Special Structures of Water Supply and Waste Water Engineering [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003(in Chinese).
- [3] 李彤,尚琳,都晓宁,等. 正定新区全地下污水处理厂结构设计要点[J]. 中国给水排水,2016,32(20):52-54,60.
- Li Tong, Shang Lin, Du Xiaoyu, *et al.* Structural design of underground sewage treatment plant in Zhengding New District[J]. China Water & Wastewater,2016,32(20):52-54,60(in Chinese).
- [4] 王彦祥,何琴,颜炳魁. 市政综合项目设计阶段 BIM 应用的探索与实践[J]. 中国给水排水,2018,34(12):69-73.
- Wang Yanxiang, He Qin, Yan Bingkui. Exploration and practice of BIM for municipal comprehensive project design[J]. China Water & Wastewater,2018,34(12):69-73(in Chinese).



作者简介:宋宏宇(1980-),男,黑龙江大庆人,本科,高级工程师,专业副总,主要从事市政结构设计工作。

E-mail: 286947984@qq.com

收稿日期:2019-12-26