

工程实例

## NCMBR 工艺在工业园区污水处理工程中的应用

蒙政成<sup>1</sup>, 冼萍<sup>1</sup>, 黄付平<sup>2</sup>, 黄智宁<sup>3</sup>, 秦玉兰<sup>4</sup>, 代晋国<sup>4</sup>

(1. 广西大学 资源环境与材料学院, 广西 南宁 530004; 2. 广西壮族自治区环境保护科学研究院, 广西 南宁 530022; 3. 广西环保产业协会, 广西 南宁 530022; 4. 广西碧清源环保科技有限公司, 广西 梧州 546899)

**摘要:** 采用纳米陶瓷膜生物反应器(NCMBR)处理工业园区工业废水和生活污水,设计规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,分两期建设,其中一期设计规模为 $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,运行成本为 $0.82 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。污水处理厂运行监测结果表明,该工艺处理效果良好,化学稳定性好,系统采用 PLC 自动控制,操作简便,出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。介绍了该工业园区污水处理厂的工艺流程、主要处理构筑物的设计参数、实际运行效果等,可为 NCMBR 工艺应用于其他工业园区污水处理工程提供一定参考。

**关键词:** 工业园区污水; 纳米陶瓷; MBR

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)08-0088-04

## Application of NCMBR Process for Wastewater Treatment in an Industry Park

MENG Zheng-cheng<sup>1</sup>, XIAN Ping<sup>1</sup>, HUANG Fu-ping<sup>2</sup>, HUANG Zhi-ning<sup>3</sup>, QIN Yu-lan<sup>4</sup>,  
DAI Jin-guo<sup>4</sup>

(1. College of Resources, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Academy of Environmental Protection Sciences of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China; 3. Guangxi Environmental Protection Industry Association, Nanning 530022, China; 4. Guangxi Biqingyuan Environmental Protection Technology Co. Ltd., Wuzhou 546899, China)

**Abstract:** The nano ceramic membrane bioreactor (NCMBR) process was used to treat the industrial wastewater and domestic wastewater in an industrial park with the capacity of  $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , the first phase of which was  $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  and the operation cost was  $0.82 \text{ yuan}/\text{m}^3$ . The WWTP operation results showed that the process had good treatment effect and good chemical stability. The system adopted PLC automatic control, operated simply and ran stably to achieve the first level A standards of *Discharge Standard of Pollutants for Urban Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). The process flow, the design parameters of the main treatment structures, and the operation effect of the WWTP in the industrial park were introduced, which provided a reference for the application of NCMBR process to other industrial park WWTPs.

**Key words:** industry park wastewater; nano ceramic; MBR

基金项目: 广西科技重点研发计划项目(桂科 AB17129020)

膜生物反应器 (Membrane bio-reactor, MBR) 具有出水水质良好、设备紧凑、运行管理方便、污泥产量少等特点,在市政污水处理中的应用也逐渐得到重视。纳米陶瓷膜生物反应器 (Nano ceramic membrane bio-reactor, 简称 NCMBR) 是一种由纳米陶瓷膜分离单元与 MBR 生物技术相结合的新型水处理技术。纳米陶瓷膜是采用化学气相沉积法,将高纯纳米分散液与高性能纳米陶瓷粉体结合,经高温烧结制备,形成具有大量贯通纳米级微孔结构的非对称陶瓷材料,表面的纳米涂层使得污染物无法与其结合牢固,减缓膜污染,相对于应用较广的有机膜,纳米效应使得纳米陶瓷膜化学稳定性更好、使用寿命更长<sup>[1]</sup>。

广西梧州市长洲区不锈钢工业园区主要利用废旧钢铁为原料,打造再生不锈钢制品产业链。不锈钢产业的再生制坯、热轧、酸洗、冷轧、制带、制管、分销七大链点都在园区内运行,在国内较为先进。完整全面的产业链促进该园区不锈钢产业的发展,而伴随而来的是园区工业废水更复杂。生产废水主要有害成分为镍、铬、镉等一种或几种重金属离子或者含有酸、碱、氰化物等有害物质<sup>[2-4]</sup>,处理处置费用高,风险大。

该园区已入驻多家不锈钢企业,采取企业预处理+园区污水厂集中处理的治污模式,生产废水经过企业内部预处理后达到《钢铁工业水污染物排放标准》(GB 13456—2012)的间接排放标准( $COD \leq 200\text{ mg/L}$ 、 $NH_3 - N \leq 15\text{ mg/L}$ 、 $SS \leq 100\text{ mg/L}$ 、 $TP \leq 2.0\text{ mg/L}$ 、pH 值为 6~9),通过污水管网收集后与生活污水一并进入园区污水处理厂,采用 NCMBR 工艺进行处理,出水水质稳定满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

重点介绍该园区污水处理厂的工艺流程、各主要处理构筑物的设计参数、实际运行效果、工程技术经济指标等情况,可为 NCMBR 工艺应用于其他工业园区污水处理以及城镇污水处理提标改造工程提供参考。

1 工程概况

该园区 2015 年工业总产值为 558 亿元,同比增长 6.7%,园区内的污水处理厂位于长洲区,服务人口约为 2.4 万人,设计规模为  $1 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,分两期建设,其中一期设计规模为  $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,占地  $1.5\text{ hm}^2$ 。采用 BOT 模式,主要收集处理园区内的生活污水和工业废水(生活污水/工业废水 $\approx 4$ )。设计进、出水水质如表 1 所示。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项 目	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	NH <sub>3</sub> - N/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	pH 值
进水水质	250	150	25	180	4	6~9
出水水质	50	10	5	10	0.5	6~9

2 工艺流程

该园区污水处理工艺流程见图 1。

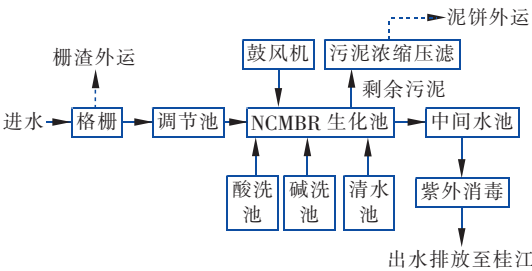


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

工业废水与生活污水通过格栅去除机械杂物后进入调节池。在调节池中进行水质均化及水量的调节后,经潜水泵提升进入 NCMBR 生化池。池内呈

低溶解氧状态( $0.5 \sim 2.0\text{ mg/L}$ ),污泥浓度高达  $10\text{ g/L}$ ,污泥负荷维持在  $0.072\text{ kgCOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,可实现剩余污泥排放量减少 90% 以上。污水中的有机污染物在池内高浓度微生物的作用下,经过同步硝化反硝化脱氮和高效生物除磷,最终达到脱氮除磷的目的<sup>[5]</sup>。通过水泵的抽吸作用,水从陶瓷平板膜表面的微小孔径中抽出,而活性污泥等被截留在生化池中,从而实现泥水分离,省去了二次沉淀设备。滤后水被泵至中间水池,水泵同时充当陶瓷膜组件的反冲洗水泵,反冲洗水来自清水池,通过自动开启、关闭电磁阀,实现陶瓷膜组件过滤与反冲洗交替进行,过滤 9.5 min,反冲洗 0.5 min,出水经紫外线消毒后在重力的作用下流经巴氏计量槽后排放。本工程出水主要接纳水体为桂江,属于地表Ⅲ类水

质,是珠江流域干流西江水系一级大支流之一,而我国七大江河之一的珠江属于国家重点流域,因此要求出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A排放标准。

### 3 主要构筑物及设备参数

#### 3.1 格栅、调节池

污水经过收集干管进入格栅、调节池,细格栅设置于调节池进水端,现有2台细格栅(1用1备),单渠尺寸( $L \times B \times H$ )为 $10.5\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 13.5\text{ m}$ ,栅宽 $1.5\text{ m}$ ,栅隙 $5\text{ mm}$ ,安装角度 $75^\circ$ ,过栅流速 $0.5\text{ m/s}$ , $N=1.55\text{ kW}$ ,通过格栅拦截水中较大漂浮物后进入调节池进行水量调节。格栅采用栅前后液位差控制运行。采用自动机械格栅除污机,栅渣经压榨机处理后外运至本市生活垃圾填埋场进行卫生填埋。调节池主要进行水质均化和水量调节,钢筋混凝土结构,尺寸( $L \times B \times H$ )为 $14.8\text{ m} \times 13.0\text{ m} \times 13.5\text{ m}$ ,有效水深 $4\text{ m}$ ,水力停留时间 $4\text{ h}$ 。调节池出水经过提升泵送至NCMBR生化池,提升泵2台,1用1备,流量为 $69.5\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为 $230\text{ kPa}$ ,功率为 $11\text{ kW}$ 。

#### 3.2 NCMBR生化池

NCMBR池进行生化处理,去除废水中可生物降解的溶解性有机物以及氨氮、磷等污染物,保证出水达标排放。陶瓷膜平板膜将污泥与出水分离,截留废水中的悬浮物质等,并维持生化池内较高的污泥浓度。NCMBR池为钢筋混凝土半地下结构,1座2组,尺寸( $L \times B \times H$ )为 $18.55\text{ m} \times 17.2\text{ m} \times 5\text{ m}$ ,有效水深 $4.5\text{ m}$ ,水力停留时间 $6.9\text{ h}$ 。陶瓷膜组件尺寸( $W \times H \times D$ )为 $2\,120\text{ mm} \times 3\,300\text{ mm} \times 720\text{ mm}$ ,20套,标称孔径为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ ,膜通量为 $40 \sim 60\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。采用PLC自动控制,透水量高且稳定。

#### 3.3 清水池

1座,钢筋混凝土半地下结构,尺寸( $L \times B \times H$ )为 $3.0\text{ m} \times 2.0\text{ m} \times 5\text{ m}$ ,有效水深 $4.35\text{ m}$ 。主要用于清洗陶瓷膜组件。

#### 3.4 酸洗池

1座,钢筋混凝土半地下结构,尺寸( $L \times B \times H$ )为 $3.0\text{ m} \times 2.0\text{ m} \times 5\text{ m}$ ,有效水深 $4.35\text{ m}$ 。主要用于酸洗陶瓷膜组件。

#### 3.5 碱洗池

1座,钢筋混凝土半地下结构,尺寸( $L \times B \times H$ )

为 $3.0\text{ m} \times 2.0\text{ m} \times 5\text{ m}$ ,有效水深 $4.35\text{ m}$ 。主要用于碱洗陶瓷膜组件。

#### 3.6 中间水池

收集NCMBR生化池出水,同时也作为反冲洗水水池。1座,钢筋混凝土半地下结构,尺寸( $L \times B \times H$ )为 $8.2\text{ m} \times 2.5\text{ m} \times 5\text{ m}$ ,有效水深 $4.35\text{ m}$ 。

#### 3.7 设备间及配电间

1座,尺寸( $L \times B \times H$ )为 $17.2\text{ m} \times 9.3\text{ m}$ ,砖混结构。主要用于放置鼓风机、水泵、反冲洗泵以及全厂配电。设置回转式鼓风机2台,1用1备,进口流量 $5.11\text{ m}^3/\text{min}$ , $N=7.5\text{ kW}$ ,主要用于NCMBR池鼓风曝气,对陶瓷膜系统进行清洗曝气,并对调节池供气。采用现场控制、中控室控制,同时根据NCMBR池中溶解氧仪实现变频控制。设置水泵从膜组件抽水,共2台,1用1备, $Q=85\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=80\text{ kPa}$ , $N=3\text{ kW}$ 。设置反冲洗泵对膜组件进行清洗,共2台,1用1备, $Q=170\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=80\text{ kPa}$ , $N=5.5\text{ kW}$ 。配电间主要为全厂供电。

#### 3.8 紫外线消毒渠

共1座,紫外线消毒设备 $Q=300\text{ m}^3/\text{h}$ ,反应器尺寸( $L \times B \times H$ )为 $176\text{ cm} \times 80\text{ cm} \times 56.5\text{ cm}$ ,总功率 $2.1\text{ kW}$ ,控制柜尺寸( $L \times B \times H$ )为 $60\text{ cm} \times 128\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 。

#### 3.9 出水明渠

1座,采用巴氏计量槽,尺寸( $L \times B \times H$ )为 $7\text{ m} \times 0.6\text{ m} \times 2.7\text{ m}$ , $Q=5\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,明渠旁设在线监测室,测量尾水的COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 和TP等指标。

### 4 运行效果及存在的问题

#### 4.1 运行效果

该污水处理厂自建成投产已稳定运行2年多,处理出水可稳定达到排放标准,具有较好的污染物去除效果。连续60d的监测结果表明,出水COD为 $5.82 \sim 29.38\text{ mg/L}$ ,平均为 $17.95\text{ mg/L}$ ;出水 $\text{NH}_3-\text{N}$ 为 $0.07 \sim 0.72\text{ mg/L}$ ,平均为 $0.24\text{ mg/L}$ ;出水TP为未检出(ND)~ $0.22\text{ mg/L}$ ,平均为 $0.10\text{ mg/L}$ ,出水水质各项指标均优于排放要求。

#### 4.2 存在的问题

该工艺曝气系统兼具为生化池内微生物提供溶解氧和对膜表面进行空气冲刷的功能,是全厂运行能耗最大的设备。有研究表明,采用MBR工艺的污水处理厂运行总能耗构成中,膜池单元(包括鼓风机和产水泵)的能耗占比高达43%,其中膜冲刷

鼓风机是主要耗能设备,因此优化膜池冲刷曝气量以降低膜池单元的运行能耗具有显著的节能效果<sup>[6]</sup>。建议结合膜池的运行状况,寻求最佳曝气量,通过间歇曝气、脉冲曝气等措施既满足微生物所需溶解氧量和膜冲刷的要求,又可降低运行成本。

## 5 效益分析

该项目总投资为 2 192.86 万元,其中建筑工程费 827.49 万元、安装工程费 47.42 万元、设备购置及安装工程费 686.35 万元、工程建设其他费 492.42 万元、预备费 102.68 万元、铺底流动资金 4.5 万元、建设期贷款利息 32 万元。该工程运行服务期为 20 年,经营成本为 150.05 万元/a,运行成本为 0.82 元/m<sup>3</sup>,其中电费 0.295 元/m<sup>3</sup>、药剂费 0.068 元/m<sup>3</sup>、人工费 0.138 元/m<sup>3</sup>、设备维修费 0.194 元/m<sup>3</sup>、管理费及其他费用 0.12 元/m<sup>3</sup>。工程建成后削减 COD 排放量约 365 t/a、NH<sub>3</sub>-N 排放量约 36.5 t/a、TP 排放量约 6.39 t/a。

## 6 结论

① 采用 NCMBR 工艺处理不锈钢产业园区污水,出水水质稳定满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

② 该工艺相较于传统活性污泥法剩余污泥产量少、占地面积小、抗冲击负荷能力强,采用 PLC 自动控制,操作管理简便,在工业废水和生活污水处理领域具有一定的推广应用价值。

## 参考文献:

- [1] Pendergast M T M, Hoek E M V. A review of water treatment membrane nanotechnologies [J]. *Energy Environ Sci*, 2011, 4(6): 1946–1971.
- [2] 杨才杰,刘福强,侯鹏,等. 不锈钢酸洗废水资源化处理技术进展与展望[J]. *工业水处理*, 2011, 31(11): 1–5.  
Yang Caijie, Liu Fuqiang, Hou Peng, *et al.* Progress and prospect of the beneficial utilization of stainless steel pickling wastewater [J]. *Industrial Water Treatment*, 2011, 31(11): 1–5 (in Chinese).
- [3] 王晓明,欧阳丽. 钢厂热轧污泥脱水系统的设计与设备选型[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(22): 57–60.  
Wang Xiaoming, Ouyang Li. Design & equipment selection of hot rolling sludge dewatering system in steel plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2007, 23(22): 57–60 (in Chinese).
- [4] 陈治国,简小龙,吴栋. 不锈钢冷轧含酸、含铬废水处理重金属污泥回收技术研究[J]. *工业水处理*, 2013, 33(6): 93–95.  
Chen Zhiguo, Jian Xiaolong, Wu Dong. Research on the recycling of sludge containing heavy metal for the treatment of stainless steel cold-rolling wastewater with acid and chromium [J]. *Industrial Water Treatment*, 2013, 33(6): 93–95 (in Chinese).
- [5] 黄付平,莫雅圆,秦玉兰,等. 采用纳米陶瓷膜技术提标改造工业园区废水工程实例[J]. *水处理技术*, 2017, 43(11): 136–139.  
Huang Fuping, Mo Yayuan, Qin Yulan, *et al.* Upgrading and reconstruction of industrial park wastewater project by nano ceramics membrane technology [J]. *Technology of Water Treatment*, 2017, 43(11): 136–139 (in Chinese).
- [6] 杨敏,颜秀勤,孙雁,等. A<sup>2</sup>/O—MBR 工艺城镇污水处理厂能耗特征与运行优化[J]. *给水排水*, 2016, 42(12): 44–47.  
Yang Min, Yan Xiuqin, Sun Yan, *et al.* Energy consumption characteristics and operation optimization of A<sup>2</sup>/O—MBR process urban sewage treatment plant [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2016, 42(12): 44–47 (in Chinese).



作者简介:蒙政成(1993—),男,广西南宁人,硕士研究生,从事水污染控制工程技术研究。

E-mail:hello017132@163.com

收稿日期:2019-09-06