



# 绵阳某工业污水厂 MBR 工艺设计与运行效果研究

秦 川<sup>1</sup>, 戴 红<sup>1</sup>, 郝 静<sup>2</sup>, 龚 正<sup>1</sup>

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川成都 610081;

2. 成都市市政工程设计研究院有限公司, 四川成都 610023)

**[摘要]** 梓潼县经开区工业污水处理厂一期设计规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用预处理+水解酸化+A<sup>2</sup>/O/A-MBR 处理工艺, 出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准, 其中  $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N} \leq 1.5 \text{ mg/L}$ 。介绍了该工业污水厂设计进出水水质指标的确定、工艺流程的选择、主要构筑物的设计、工艺设计特点和实际运行效果。经过 30 d 调试运行, 出水水质、污泥泥龄、回流量等指标基本达到设计要求, 但碳源投加量偏大。采用优化调度运行, 进水中混杂生活污水, 提高进水 B/C, 既节省碳源投加量, 又能解决县城生活污水处理厂规模不够的问题。项目总投资为 1.2 亿元, 该工程削减了对潼江的污染负荷, 改善了水质并有效保护了水生态环境。

**[关键词]** 工业污水处理厂; A<sup>2</sup>/O/A-MBR 系统; 优化调度

**[中图分类号]** X703    **[文献标识码]** B    **[文章编号]** 1005-829X(2023)01-0163-05

## MBR process design and operation effect of industry park WWTP in Mianyang

QIN Chuan<sup>1</sup>, DAI Hong<sup>1</sup>, HAO Jing<sup>2</sup>, GONG Zheng<sup>1</sup>

(1. Southwest Municipal Engineering Design and Research Institute of China, Chengdu 610081, China;

2. Chengdu Municipal Engineering Design and Research Institute, Chengdu 610023, China)

**Abstract:** The phase I design capacity of Zitong industrial sewage treatment plant is  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Pretreatment plus hydrolysis acidification plus A<sup>2</sup>/O/A-MBR was adopted to treat wastewater discharged from economic-technological development area, and the quality of effluent met the specification of a level grade one in GB 18918—2002 Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant, in addition to  $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$  and  $\text{NH}_3\text{-N} \leq 1.5 \text{ mg/L}$ . The designed quality of influent and effluent, selection of process flow, design of main structures, the design characteristics, and the actual operation situation were introduced. After 30 d debugging run, the indexes, such as effluent quality, SRT and quantity of reflux, basically met the design requirements, but the amount of carbon source was relatively large. Use optimal scheduling operation, through mixing with domestic sewage, could improve the influent B/C ratio, which saved carbon source dosage as well as solved the problem of insufficient scale. The total investment of the project was 120 million yuan and this project reduced the pollution load of Tong River, improved water quality and protected water ecological environment.

**Key words:** industrial sewage treatment plant; A<sup>2</sup>/O/A-MBR system; optimal operation

梓潼县隶属于四川省绵阳市, 位于绵阳市东北方。2014 年 7 月设立四川梓潼经济开发区, 以食品、轻纺和机械制造为主导产业, 兼顾城市副中心功能, 包括安置区、城市居住小区和配套公共服务设施。经济开发区目前有 1 座处理规模为  $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  的临时污水处理厂, 处理规模和出水水质均不能完全满足要求。多余污水排至县城生活污水处理厂, 同时

又对生活污水处理厂运行造成较大冲击。根据经开区产业布局及环保要求, 需新建工业污水处理厂。

### 1 项目概况

#### 1.1 设计规模及进出水水质

工业污水处理厂位于经开区最南边, 与潼江相邻, 根据规划, 工业污水处理厂一期和二期规模均为

$2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 远期污水处理总能力达到  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 其中工业污水量为  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 生活污水为  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。本次设计为一期工程, 出水水质除 TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  以外, 其余均执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准,  $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N} \leq 1.5 \text{ mg/L}$ 。本工程设计进出水水质见表 1。

表 1 设计进出水水质

Table 1	Design influent and effluent quality		mg/L
指标	进水	出水	
COD	400	$\leq 50$	
$\text{BOD}_5$	125	$\leq 10$	
SS	250	$\leq 10$	
$\text{NH}_3\text{-N}$	40	$\leq 1.5(3)$	
TN	50	$\leq 10$	
TP	5	0.5	

注: 括号内为  $<12^\circ\text{C}$  时  $\text{NH}_3\text{-N}$  的质量浓度要求。

## 1.2 工艺选择及流程

工艺选择需要考虑以下因素: (1) 厂区中间有 110 kV 高压线横穿, 土地利用率较低; (2)  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  平均值为 0.31, 生化性较差; (3) 工业污水来水水量、水质不均匀, 波动幅度大; (4) 经开区企业偷排现象较多, 对污水厂运行冲击较大; (5) 出水  $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ , 仅靠常规的硝化和反硝化生化处理无法稳定达标<sup>[1]</sup>。

考虑到污水厂占地面积小、出水水质低, 因此考虑选用工艺流程短、处理效果好的  $\text{A}^2/\text{O}/\text{A}+\text{MBR}$  工艺。MBR 较高的回流污泥浓度使得生化池池内污泥浓度高, 生物池处理能力强、设计池体容积相对减小<sup>[2]</sup>。经工艺比选, 最终确定本工程污水处理工艺流程为: 预处理+调节池+水解酸化池+ $\text{A}^2/\text{O}/\text{A}+\text{MBR}$  池+接触消毒。消毒采用次氯酸钠, 污泥采用离心脱水至含水率为 80% 后外运处置, 工艺流程见图 1。

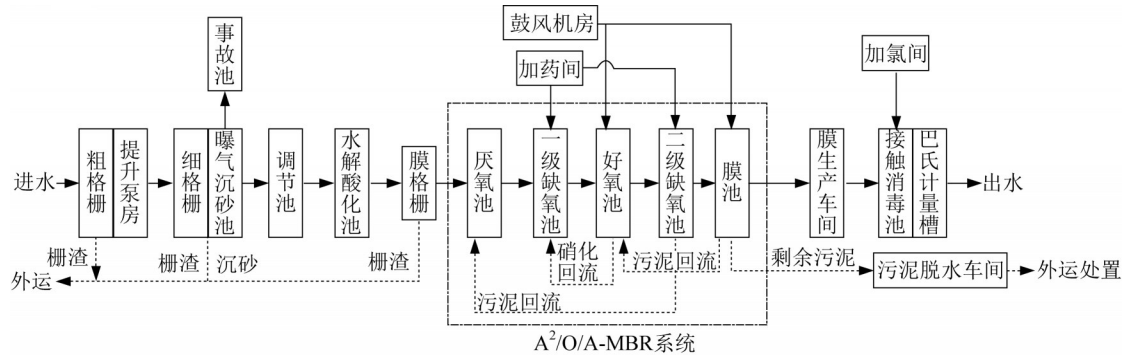


图 1 工艺流程

Fig. 1 Process flow chart

## 2 工程设计

### 2.1 预处理系统

预处理系统分为 3 个部分, 包括: 粗格栅+提升泵房、细格栅+曝气沉砂池、调节池及事故池。

(1) 粗格栅+提升泵房。粗格栅设计规模为  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 设置 2 台回转式格栅除污机, 栅条间隙 20 mm, 主要去除污水中较大的漂浮物。提升泵房近期设置 3 台潜污泵, 2 用 1 备, 1 台为变频泵, 远期增加 3 台。潜污泵的  $Q=600 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=13.0 \text{ m}$ ,  $N=45 \text{ kW}$ 。粗格栅和提升泵房为全地下结构。

(2) 细格栅+曝气沉砂池。设计规模为  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 细格栅设置 2 台循环齿耙格栅除污机, 栅条间隙 3 mm, 主要用于截留污水中较小的漂、悬浮物, 以

保证后续处理流程正常。曝气沉砂池 1 座分 2 格, 设计停留时间为 4 min, 最大流量时水平流速为  $0.08 \text{ m/s}$ , 供气量为  $4 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(3) 调节池、事故池。调节池主要用于调节进水量与水质, 事故池主要用于收集突发性水质和水量激增所产生的污水。调节池一期设置 1 座, 二期增加 1 座, 1 座分 2 格, 半地下式结构, 设计停留时间为 8 h, 土建尺寸为  $53.35 \text{ m} \times 41.75 \text{ m} \times 6.7 \text{ m}$ , 潜污泵 2 用 1 备,  $Q=600 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=9.0 \text{ m}$ ,  $N=22 \text{ kW}$ , 2 台变频。

### 2.2 水解酸化池及膜格栅

(1) 水解酸化池。水解酸化池设计停留时间为 6 h, 土建尺寸为  $44.9 \text{ m} \times 28.9 \text{ m} \times 6.7 \text{ m}$ , 主要将有机物厌氧处理过程控制在水解酸化阶段, 将大分子难降解有机物分解为简单有机物, 提高废水的可生化

性。采用多点布水器均匀布水,池内设有酶浮填料,增加微生物量。

(2)膜格栅。膜格栅采用内径流板式膜格栅2套,栅条间隙1 mm。格栅渠2条,采用地上式结构,与水解酸化池合建。

### 2.3 A<sup>2</sup>/O/A-MBR系统

(1)A<sup>2</sup>/O/A生化池+膜池。生物反应池是本工程的核心处理构筑物,包括厌氧池、一级缺氧池、好氧池、二级缺氧池和膜池。总停留时间13.6 h,厌氧区停留时间1.7 h,一级缺氧区停留时间2.4 h,好氧区停留时间6.5 h,二级缺氧区停留时间1.5 h,膜池停留时间1.5 h,总尺寸为55 m×36.5 m×7.3 m。回流比:膜池回流至好氧池200%~400%、好氧池回流至一级缺氧池150%~300%、二级缺氧池至厌氧池100%~200%。污泥设计质量浓度为:膜池10 g/L、好氧区和二级缺氧区8.0 g/L、一级缺氧区6.0 g/L、厌氧区5.3 g/L。设计泥龄22 d,单位质量MLSS的污泥负荷0.04 kg/(kg·d)(以BOD<sub>5</sub>计),生化池气水比为6.9:1。膜池共有8个廊道,并列运行,每个廊道4个膜组器,单组膜面积为1 650 m<sup>2</sup>。设计膜通量≤16 L/(m<sup>2</sup>·h),膜组件采用中空纤维PVDF膜,孔径≤0.4 μm。

(2)膜生产车间。膜生产车间主要进行产水、超滤膜反洗。配产水泵5台(4用1备),Q为210~300 m<sup>3</sup>/h,H=10 m,N=18.5 kW;膜系统过滤周期:过滤7 min、空曝气1 min。膜清洗泵3台(2用1备),Q=280 m<sup>3</sup>/h,H=10 m,N=15 kW。膜吹扫鼓风机5台(4用1备),Q=20 m<sup>3</sup>/min,风压60 kPa,N=30 kW;配有次氯酸钠和柠檬酸投加系统。

### 2.4 消毒与加氯系统

接触消毒池设计停留时间为40 min,采用次氯酸钠消毒(投加量为15 mg/L),出水可作为厂内中水回用,主要用于加氯、加药、污泥脱水等生产使用,以及厂内绿化灌溉、景观、道路冲洗和建筑冲厕使用。

加氯间1座,配有次氯酸钠发生器2台,1用1备,有效氯产量12.5 kg/h。计量泵2台,1用1备,Q=90 L/min,H=8 m,N=0.37 kW。

### 2.5 污泥脱水与加药系统

(1)污泥脱水车间。污泥脱水车间1座。剩余污泥干重为3.1 t/d,设计进泥含水率99%,脱水后含水率为80%。采用离心浓缩脱水一体机2台,1用1

备,水力负荷为20 m<sup>3</sup>/h,固体负荷为195 kg/h。絮凝剂采用聚丙烯酰胺,投加量为16 kg/d。

(2)加药间。①化学除磷。除磷药剂采用聚合氯化铝(PAC),投加量为17 mg/L,投加至生化池出水堰处,配比体积分数为10%。安装隔膜计量泵3台,2用1备,Q为100~300 L/h,P=0.3 MPa,N=0.25 kW。②碳源投加间。考虑进水水质C/N、BOD<sub>5</sub>/TP的比值小于设计值,容易造成出水TN不达标,因此需考虑进水碳源不足时,投加乙酸钠作为补充碳源。普遍认为C/N≥4时,反硝化完全,本工程进水C/N=2.5,因此需要补充碳源。

乙酸钠投加量(mg/L)=(4 - C<sub>BOD<sub>5</sub></sub>/C<sub>N</sub>)×C<sub>N</sub>/η<sup>[3]</sup>,其中:C<sub>BOD<sub>5</sub></sub>为设计进水BOD<sub>5</sub>,mg/L;C<sub>N</sub>设计进水TN,mg/L;η为单位乙酸钠折合成BOD的量,取0.52。

乙酸钠最大投加量为145 mg/L,采用乙酸钠固体溶解后投加,安装一体化乙酸钠制备装置1套,制备能力为2 000 L/h,N=5 kW。

## 3 设计特点

(1)为了应对工业污水处理厂进水水量和水质的剧烈变化,设置调节池均衡水量和水质,由于缺少进水量变化曲线,因此设计停留时间为8 h。为应对突发性进水水质变化和水量激增的情况,设置事故池收集水质超标或多余废水<sup>[4]</sup>。

(2)采用水解酸化池提高废水可生化性。本工程进水B/C仅为0.31,不利于生物脱氮除磷。采用水解酸化工艺对难降解或大分子有机物进行水解发酵,可以提高污水的B/C<sup>[5]</sup>。枝江市城西污水处理厂采用水解酸化作为预处理工艺,明显提高了污水的可生化性,运行结果表明停留时间为6 h时运行效果最好<sup>[6]</sup>。

(3)优化设置厌氧池、一级缺氧池、好氧池、二级缺氧池和膜池,强化深度脱氮,形成两级A/O串联反应;二级缺氧池实现内源反硝化,节省碳源投加<sup>[7]</sup>;膜池兼做好氧池,进一步降解有机物和去除氨氮。设置两段配水技术,在运行时将进水灵活地分配到厌氧区和一级缺氧区,为厌氧释磷和反硝化脱氮充分提供碳源,增加系统的灵活性。本工程设置三段回流:第一段膜池污泥回流至好氧池前端,以维持好氧池的污泥浓度,污泥回流比为200%~400%;第二

段好氧池末端混合液回流至一级缺氧池前端,进行反硝化脱氮,混合液回流比为 150%~300%;第三段二级缺氧池末端回流至厌氧池进水端,维持厌氧池污泥浓度,该段混合液硝态氮最低,可以消除硝态氮对除磷的影响,同时该段污泥浓度高,可以减少回流污泥量节省能耗,污泥回流比为 100%~200%。

4 运行研究

4.1 调试期间运行效果研究

该工程于 2021 年 3 月进行调试运行,经过 30 d

调试,出水水质、污泥泥龄、回流量等指标基本达到设计要求。经开区工业污水处理厂实际进水量为 11 000~12 000 m<sup>3</sup>/d,仅为一期设计规模的 55%~60%。根据建设单位统计,工业废水排放量约为 9 000~10 000 m<sup>3</sup>/d,生活污水排放量约为 2 000 m<sup>3</sup>/d。经开区工业废水主要为食品、轻纺等企业排放工业废水,由于配套城市居住小区和公共服务设施还在建设中,因此整个经开区生活污水量较少。调试过程中最后 5 d 的实际进出水水质见表 2。

表 2 调试过程中进出水水质  
Table 2 Influent and effluent quality during commissioning operation mg/L

日期	进水						出水					
	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS
3月27日	315	75	34.5	48	3.6	178	34	6.9	0.42	8.5	0.43	<5
3月28日	329	78	36	46	4.3	184	37	7.4	0.38	8.7	0.37	<5
3月29日	388	106	39	52	3.4	217	39	7.2	0.51	8.9	0.43	<5
3月30日	379	94	42	51	3.7	203	38	6.4	0.49	9.4	0.45	<5
3月31日	386	99	37	54	4.4	224	44	7.3	0.55	9.7	0.39	<5

由表 2 可知,调试运行后出水主要污染物指标均能满足设计出水水质要求。实际进水 BOD<sub>5</sub> 基本在 70~100 mg/L 范围内,导致调试期间乙酸钠投加量偏大,平均投加量约为 175 mg/L,平均日投加量为 3.5 t。PAC 投加量约为 25~30 mg/L,高于设计投加量,主要是由于生物除磷效果未达到预期水平。膜池实际污泥质量浓度为 7~8 g/L,好氧池污泥质量浓度为 5~6 g/L,均低于设计污泥浓度,主要是由于水量未达到设计规模,无法维持较高的污泥浓度。

4.2 优化调度运行效果研究

本工程调试运行期间,由于进水 BOD<sub>5</sub> 较低,为保证出水 TN 和 TP 达标,乙酸钠和 PAC 投药量偏大,运行费用较高。

梓潼县有城市生活污水处理厂(设计规模 15 000 m<sup>3</sup>/d)和经开区工业污水处理厂,城市生活污水处理厂远期规划规模为 30 000 m<sup>3</sup>/d,目前实际运行规模为 21 000 m<sup>3</sup>/d,实际出水水质能够达标排放,一直未进行扩建。为减少工业污水处理厂运行过程中乙酸钠与 PAC 的药耗量,拟考虑通过优化调度,将部分生活污水分流至工业污水处理厂,待后期经开区生活污水量增加后逐步减少分流污水量。经开区工业污水处理厂位于城市污水处理厂下游,污水管网系统连通,通过分流井,可以每天分流约 6 000~7 000 m<sup>3</sup> 生活污水至工业污水处理厂。

优化调度后 4 月—9 月平均进出水水质运行数据统计见表 3。

表 3 4 月—9 月平均进出水水质运行数据统计  
Table 3 Average influent and effluent quality from March to September mg/L

日期	进水						出水					
	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS
4月	384	143	45	56	4.9	186	46	7.5	0.69	9.4	0.48	<5
5月	378	136	43.5	52	4.5	177	42	6.8	0.63	9.8	0.44	<5
6月	363	131	42.8	53.4	4.6	174	38	6.3	0.57	9.1	0.42	<5
7月	366	127	44.2	57.5	5.1	181	40	6.9	0.64	9.6	0.47	<5
8月	355	121	39.8	51.8	4.3	165	35	7.1	0.51	8.8	0.39	<5
9月	374	132	41.9	52.3	4.7	183	44	7.9	0.56	8.7	0.46	<5



由表3可知,从4月份进行优化调度后,工业污水处理厂的实际进水量约为17 000~19 000 m<sup>3</sup>/d,实际进水水质指标中,BOD<sub>5</sub>和TP均有增加,NH<sub>3</sub>-N和TN变化较小。乙酸钠实际投加量约为1~2 t/d,在水量增加的时候,药耗量只为调试期间的30%~50%。PAC投加量为5~10 mg/L,药耗量减少30%~75%,主要因为生物除磷相较于调试期间得到加强。

## 5 结语

本工程设计规模为2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,采用预处理+水解酸化+A<sup>2</sup>O/A-MBR处理工艺,占地面积为86亩(约合57 334 m<sup>2</sup>),项目总投资为1.2亿元,处理成本为1.74元/m<sup>3</sup>。出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,其中TN≤10 mg/L,NH<sub>3</sub>-N≤1.5 mg/L。污水处理厂处理后尾水排入潼江,该工程对于改善潼江水质、保护水生态环境,促进梓潼经济技术开发区的发展具有重大意义。

### 参考文献

- [1] 白华清,贺阳,袁绍春,等.改进型Bardenpho+反硝化滤池用于污水厂提标改造[J].工业水处理,2021,41(12):132-136.  
BAI Huaqing, HE Yang, YUAN Shaochun, et al. Improved Bardenpho process denitrification filter sewage treatment upgradation and reconstruction [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41 (12) : 132-136.
- [2] 谢晓旺,李露泽. AAO-MBR工艺在某城镇污水处理厂中的应用[J].净水技术,2020,39(8):23-27.  
XIE Xiaowang, LI Luze. Application of AAO-MBR process in a urban wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8): 23-27.
- [3] 陈军. 污水处理厂乙酸钠加药间设计探讨[J]. 环境科学与管理,2012,37(12):102-104.  
CHEN Jun. Process design for CH<sub>3</sub>COONa dosage room in sewage treatment plant [J]. Environmental Science and Management, 2012, 37(12): 102-104.
- [4] 彭宏,刘维仪,陈亚豪. 某白酒企业废水处理系统改造工程[J]. 工业水处理,2015,35(1):100-102.  
PENG Hong, LIU Weiyi, CHEN Yahao. Reconstruction project of the wastewater treatment system in a Chinese liquor distillery [J]. Industrial Water Treatment, 2015, 35(1): 100-102.
- [5] 梁汀,陆冬平,蒋岚岚. 城市污水处理厂水解酸化工艺设计体会[J]. 中国给水排水,2009,25(20):31-33.  
LIANG Ting, LU Dongping, JIANG Lanlan. Design of hydrolysis acidification process in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(20): 31-33.
- [6] 闫爱萍,李孟,张倩,等. 水解酸化工艺处理混合型城市污水的应用研究[J]. 中国给水排水,2016,32(1):74-77.  
YAN Aiping, LI Meng, ZHANG Qian, et al. Application of hydrolysis-acidification process to treatment of mixed municipal wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(1): 74-77.
- [7] 杨薇兰,陈豪,陈虎. MBR工艺在无锡城北污水处理厂的应用[J]. 中国给水排水,2012,28(22):117-120.  
YANG Weilan, CHEN Hao, CHEN Hu. Application of membrane bioreactor process in Wuxi Chengbei sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(22): 117-120.

[作者简介] 秦川(1987—),硕士研究生,高级工程师。E-mail: 363782753@qq.com。

[收稿日期] 2022-11-09(修改稿)