

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.16.009

# 成都合作污水处理厂三期工程MP-MBR工艺设计

贺栋才<sup>1</sup>, 杨 婧<sup>2</sup>, 蒋 彬<sup>3</sup>, 袁绍春<sup>3</sup>, 薛 岳<sup>3</sup>

(1. 中机中联工程有限公司, 重庆 400039; 2. 四川省城乡建设研究院, 四川 成都 610042; 3. 重庆交通大学 水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074)

**摘 要:** 成都合作污水处理厂三期工程采用预处理+多相组合膜生物反应器(MP-MBR)+紫外消毒组合工艺,其工程难点在于对TN、SS、TP的控制。因此,选择MP-MBR工艺作为主体工艺以获得优于常规生化工艺的处理效果。同时,生化反应过程与膜分离过程分别在不同反应器中完成,便于适时调整生化处理的运行模式以及膜的清洗、更换及增设,提高系统的抗冲击负荷能力。预处理阶段包括粗细格栅、曝气沉砂池、膜格栅、调节池,设置调节池是为了解决生活污水与工业废水合并处理的水质水量均化问题,同时实现水解酸化的目的。实践结果表明,该工程出水水质稳定达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)的要求。

**关键词:** 城市生活污水处理; 预处理; MP-MBR工艺

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)16-0057-04

## MP-MBR Process Design of Chengdu Hezuo Wastewater Treatment Plant Phase III Project

HE Dong-cai<sup>1</sup>, YANG Jing<sup>2</sup>, JIANG Bin<sup>3</sup>, YUAN Shao-chun<sup>3</sup>, XUE Yue<sup>3</sup>

(1. CMCU Engineering Co. Ltd., Chongqing 400039, China; 2. Sichuan Institute of Urban and Rural Construction, Chengdu 610042, China; 3. Key Laboratory of Ministry of Education for Hydraulic and Water Transport Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** The combined process of Chengdu Hezuo wastewater treatment plant phase III project consists of pretreatment, MP-MBR and UV disinfection. The difficulty of this project lies in the control of TN, SS and TP. Therefore, MP-MBR process was selected as the main process to obtain better treatment performance than conventional biochemical process. In addition, the biochemical reaction process and membrane separation process were completed in different reactors, so that the operation mode of biochemical treatment and membrane cleaning, replacement and addition could be adjusted timely, and the shock load resistance of the system could be improved. The pretreatment process included coarse and fine grilles, aerated grit chamber, membrane module and regulating tank. The regulating tank was set up to solve the problem of water quality and quantity equalization in the combined treatment of domestic sewage and industrial wastewater, and realize the purpose of hydrolytic acidification. The effluent quality of the project stably met the limit specified in *Discharge Standard of Water Pollutants in Minjiang River and Tuojiang River Basin in Sichuan Province* (DB 51/2311-2016).

**Key words:** urban sewage treatment; pretreatment; MP-MBR process

郫都区位于都江堰的上游灌溉区,是成都重要的旅游和物流中心及重点发展的卫星城之一,也是以高新技术生产研发和特色产业为依托的综合产业城区。随着郫都区的快速发展,城市污水量、工业废水排放量迅速增加,辖区内的高新西区污水厂和合作污水厂(一、二期)均已满负荷或超负荷运行,因高新西区污水厂受土地限制扩建困难,故亟需合作污水厂按照规划要求建设三期工程。

## 1 工程规模及设计水质

### 1.1 工程规模

成都合作污水厂三期工程规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 接纳生活污水及部分工业废水(约占12%)。配套进厂污水干管规模为  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 分流至已建一期和二期工程  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 三期工程(即本工程)  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 预留  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  接口至规划的四期。三期工程厂址位于成都市高新西区西南片区, 清水河南岸, 合作污水厂一、二期工程西侧; 接纳水体为污水厂西面的清水河。

### 1.2 设计进、出水水质

自2020年1月1日起, 岷江沱江流域重点控制区域城镇污水处理厂主要水污染物排放限值按照《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)执行。设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	TP	TN	NH <sub>3</sub> -N
进水	400	250	300	8.0	50	40
出水	30	6	10	0.3	10	1.5(3)

注: 括号内数值为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时的控制指标。

## 2 污水处理工艺确定

### 2.1 重点污染物指标分析

本工程的重点污染物指标为TN、SS和TP。

① TN。在进水中较难氨化的溶解性有机氮含量较高时, 采用常规的生化处理, TN达标难度较大<sup>[1]</sup>。在碳源充足的情况下, TN去除率可达到80%。而本工程进水有机物浓度偏低, C/N值较低, 要达到10 mg/L的TN排放标准, 须选择合适工艺。

② SS。根据四川部分污水厂的运行经验, 要保证出水TP或BOD<sub>5</sub>分别不超过0.3、6 mg/L, 对应的出水SS应分别控制在5 mg/L或8 mg/L以下。因此, 实际运行中要求出水SS稳定低于5 mg/L, 可增

设膜分离等其他深度处理工艺。

③ TP。在碳源充足的条件下, 生物脱氮除磷工艺的TP去除率可达75%。本工程污水中碳源不足, 在重点保证脱氮时生物除磷的效率将会降低, 可采用其他辅助除磷工艺。

### 2.2 工艺流程及特点

结合相关文献和工程经验<sup>[2-3]</sup>, 选取MP-MBR(多相组合膜生物反应器)工艺作为主体工艺, 即厌氧—一级缺氧—好氧—二级缺氧—MBR, 流程见图1。

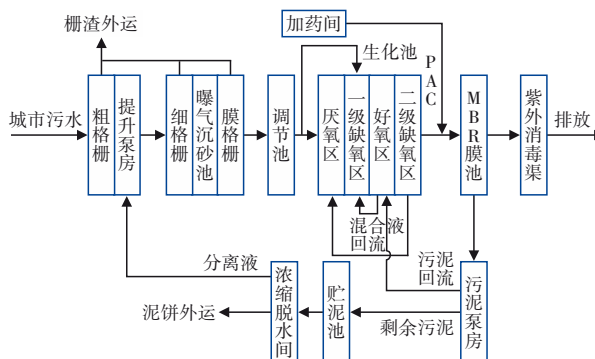


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

MP-MBR工艺比传统MBR工艺更易于实现多模式运行, 从而提高生化处理效能, 使膜分离工艺兼具传统深度处理工艺的功能; 另一方面, 生化反应过程和膜分离过程分别在两个分置的反应器中完成, 易于膜的清洗、更换及增设, 运行稳定, 便于操作管理, 可提高系统的抗冲击负荷能力。主要特点如下:

① 充分利用原水的有机污染物, 降低外加碳源成本。该工艺设置两点进水, 分别在厌氧区和一级缺氧区首端, 这样一级缺氧区可以充分利用原水中的有机物实现脱氮; 在二级缺氧区投加碳源, 二级缺氧区利用外加碳源, 脱氮效果好, 反应效率高, 碳源利用充分。在最大程度优先保障脱氮效果的基础上, 尽量提高生物除磷效果, 保证TN达标。

② 出水氨氮和有机污染物有保障。在二级缺氧区设置高强度曝气好氧段, 出水中溶解氧接近饱和, 氨氮硝化和有机污染物氧化较彻底。

③ 膜孔径小于0.1  $\mu\text{m}$ , 出水效果好。MBR工艺采用超滤膜实现泥水分离, 出水SS接近于0。

④ 生物脱氮效果好。在AO段, 反硝化菌利用污水中的碳源, 在一级缺氧区将回流混合液中的

硝酸盐氮反硝化并生成 $N_2$ ;反硝化出水进入好氧区后氧化含碳有机物、氨化含氮有机物,并实现氨氮的硝化作用,经曝气吹脱释出一级缺氧区反硝化产生的 $N_2$ ;出水进入二级缺氧区后,反硝化菌利用混合液中的内源代谢物质或者通过外加碳源进一步进行反硝化。经过两次反硝化后可取得较高的生物脱氮效率,达90%左右,而传统的 $A^2O$ 工艺脱氮效率约为55%~80%。

### 2.3 主要构筑物

#### ① 细格栅及曝气沉砂池、膜格栅

细格栅渠、曝气沉砂池、膜格栅池合建,尺寸为 $42.92\text{ m}\times 10.5\text{ m}\times 7.0\text{ m}$ ,设计流量 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。采用内进流孔板式细格栅3台,栅条间隙3 mm,电机功率2.2 kW。曝气沉砂池停留时间6 min(峰值时间),配置链板式刮砂机( $B=1.0\text{ m}$ , $N_{\text{总}}=0.18\text{ kW}$ )、潜水排砂泵( $Q=10\text{ L/s}$ , $H=50\text{ kPa}$ , $N=2.5\text{ kW}$ ,2用1备)、三叶罗茨鼓风机(单台风量 $11.0\text{ m}^3/\text{min}$ , $N=15\text{ kW}$ ,2用1备)。采用孔板式精细格栅4台,栅条间隙1 mm,渠宽2.2 m,电机功率1.5 kW。

#### ② 调节池

调节池1座,功能如下:提高对水量、水质的抗冲击能力,均化水质和水量;对进厂污水进行水解酸化,提高生活污水与工业废水合并处理时(工业废水占比约为12%)的B/C比,改善污水的可生化性;氨化污水中的溶解性有机氮,为后续生物脱氮创造有利条件。调节池内分2格,钢混结构,土建尺寸为 $118.0\text{ m}\times 40.8\text{ m}\times 9.0\text{ m}$ ,停留时间8.0 h。设轴流泵3台(2用1备), $Q=2\,710\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=80\text{ kPa}$ , $N=80\text{ kW}$ ;剩余污泥泵3台(2用1备),单台 $Q=700\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=80\text{ kPa}$ , $N=37\text{ kW}$ ;立式搅拌器28套(24用4备),直径2 300 mm, $H=775\text{ mm}$ ,转速18~28 r/min, $N=7.5\text{ kW}$ 。

#### ③ 生化池

设计规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,设2座钢混结构生化池,每座分2格。单座尺寸为 $87.9\text{ m}\times 57.7\text{ m}\times 8.1\text{ m}$ ,总停留时间15.65 h,其中厌氧区1.46 h、一级缺氧区4.37 h、好氧区7.91 h、二级缺氧区1.91 h。设计泥龄20 d,污泥负荷 $0.11\text{ kgBOD}_5/(\text{MLSS}\cdot\text{d})$ ,厌氧区、缺氧区、好氧区MLSS分别为6.0、6.4、8.0 g/L,气水比(生化)6.9:1,膜池至好氧区的污泥回流比为400%,二级缺氧区至厌氧区的混合液回流比为300%,好氧区至一级缺氧区的混合液回流比为

400%。单座生化池中,厌氧区共设置4台潜水搅拌机,并备用2台,单台功率为3.0 kW,叶轮直径2 000 mm;缺氧区共设置14台潜水推流器(12用2备),单台功率为4.0 kW,叶轮直径2 000 mm;好氧区混合液回流泵4用2备,单台功率15 kW, $Q=2\,100\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=15\text{ kPa}$ , $N=15\text{ kW}$ 。二级缺氧区混合液回流泵(二级缺氧区回流至厌氧区)4用2备, $Q=1\,600\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=15\text{ kPa}$ , $N=11\text{ kW}$ 。

#### ④ MBR膜池及膜设备间

膜池与膜设备间合建,设置2座。单座膜池尺寸为 $38.6\text{ m}\times 57.7\text{ m}\times 7.05\text{ m}$ ,12个廊道,每个廊道7个膜位,膜组件84套,过滤孔径 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ ,设计通量 $24.8\text{ m}^3/\text{h}$ ,膜分离池至好氧区回流比为400%。单座膜池设产水泵7台(6用1备), $Q=390\sim 510\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=120\text{ kPa}$ , $N=30\text{ kW}$ 。另设真空泵、反洗泵、清洗放空泵、膜池吹扫离心风机、空压机、剩余污泥泵等。

#### ⑤ 紫外消毒渠

设计规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数1.3,尺寸为 $21.2\text{ m}\times 4.2\text{ m}\times (1.93\sim 4.6)\text{ m}$ ,钢混结构。最小穿透率65%,照射剂量 $25\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 。

#### ⑥ 除臭设计

采用生物除臭方式对粗格栅及污水提升泵房、细格栅及曝气沉砂池、调节池、生化池及膜池、污泥脱水间等构筑物内产生的臭气进行处理,共设置三套生物除臭装置:1#生物除臭装置收集并处理预处理区构筑物、调节池和污泥脱水机产生的臭气,设计风量为 $30\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ;2#和3#生物除臭装置分别处理2座生化池-膜池产生的臭气,设计风量均为 $30\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。臭气经生物填料的流速 $<0.12\text{ m/s}$ ,与生物填料的接触时间 $>11.5\text{ s}$ 。

## 3 处理效果及经济分析

本工程于2019年4月开始调试,调试的重点是提高污泥浓度。调试人员根据MBR工艺设计的极限情况进行污泥的培养及驯化,主要对污泥浓度进行跟踪监测,如膜池为 $10\text{ g/L}$ 、生化池好氧区为 $8\text{ g/L}$ 、缺氧区为 $6.4\text{ g/L}$ 。各级回流泵亦按照极限情况运行,膜池回流至好氧区400%,好氧区回流至一级缺氧区400%,二级缺氧区至厌氧区300%。完成污泥的培养及驯化后,逐渐降低污泥回流比及各种化学药剂投加量,减少鼓风机房曝气量,出水水质达到排放标准,并在保持一定富余量时稳定回流比、加

药量及鼓风机曝气量,尽可能地降低运营成本。

2019年8月—2020年6月进、出水水质见表2。

表2 污水处理效果

Tab.2 Sewage treatment effects

mg·L<sup>-1</sup>

项目	TN		SS		TP		COD		NH <sub>3</sub> -N		BOD <sub>5</sub>	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2019年8月	17.5	6.0	136.7	3.6	2.5	0.11	197.3	9.4	11.7	0.3	82.2	3.3
2019年9月	16.3	4.6	102.6	3.7	1.9	0.09	159.6	8.1	11.5	0.2	72.7	2.8
2019年10月	18.8	4.2	107.7	3.9	2.6	0.13	192.4	10.0	14.0	0.4	89.2	3.3
2019年11月	21.0	4.4	90.2	3.8	2.4	0.09	174.2	9.6	16.0	0.4	70.7	2.8
2019年12月	22.4	6.3	100.0	3.6	2.9	0.05	238.2	8.9	17.6	0.2	101.8	2.8
2020年1月	24.0	4.9	150.0	3.4	3.3	0.13	299.1	9.7	18.7	0.2	160.1	3.5
2020年2月	23.9	5.9	145.0	3.5	3.5	0.10	290.0	8.5	18.7	0.1	130.6	3.1
2020年3月	14.7	2.8	95.5	3.6	1.4	0.06	173.9	10.1	10.4	0.3	88.7	2.7
2020年4月	18.4	4.6	97.2	3.1	1.9	0.09	207.9	7.8	14.3	0.2	114.3	2.8
2020年5月	22.1	4.3	114.7	3.0	2.5	0.14	226.9	8.3	18.0	0.3	124.2	2.6
2020年6月	22.4	3.8	127.8	3.2	2.7	0.10	279.2	8.8	17.6	0.2	152.8	2.9

由表2可知,工程实施后污水厂出水各项关键指标均满足设计标准,TN、SS、TP、COD、NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub>的平均出水浓度分别为4.7、3.5、0.10、9.0、0.3、3.0 mg/L,平均去除率分别达到76.6%、97.0%、96.1%、95.9%、98.3%、97.3%。与采用传统Bardenpho-滤布滤池组合工艺<sup>[4]</sup>相比,本工程TN、TP去除率分别提高了9.6%、11.1%,可见,MP-MBR工艺的脱氮除磷效率更有优势。

该工程总征地5.67 hm<sup>2</sup>,工程费用37 197.38万元,经营成本1.15元/m<sup>3</sup>。

#### 4 结语

成都合作污水处理厂三期工程采用预处理+MP-MBR+紫外消毒组合工艺,出水TN、TP较为稳定,二者的去除率分别可达76.6%、96.1%,各出水指标均满足DB 51/2311—2016的排放要求。该工程有效削减了清水河的污染负荷。

#### 参考文献:

- [1] 叶心彤. 严格总氮出水标准下的污水厂提标改造——以娄江污水厂为例[J]. 净水技术, 2020, 39(11): 44-48, 116.  
YE Xintong. Upgrading and reconstruction of WWTP under stricter TN standard of effluent—a case study of Loujiang WWTP [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(11): 44-48, 116(in Chinese).
- [2] 王阳, 张月, 郭庆英, 等. 珠海前山水质净化厂全地下MBR工艺设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(22):

59-62.

WANG Yang, ZHANG Yue, GUO Qingying, *et al.* Design of Qianshan wastewater treatment plant with underground MBR process in Zhuhai City [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22): 59-62 (in Chinese).

- [3] 高木波. 多级AO+MBR工艺在污水厂提标改造中的应用——以北京某污水厂为例[J]. 净水技术, 2020, 39(8): 28-31.

GAO Shubo. Application of multilevel AO+MBR process in upgrading and reconstruction project—case study of a WWTP in Beijing [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8): 28-31(in Chinese).

- [4] 张月, 王阳, 张宏伟, 等. 阳泉市污水处理二期工程BARDENPHO工艺设计和运行[J]. 中国给水排水, 2020, 36(16): 64-68.

ZHANG Yue, WANG Yang, ZHANG Hongwei, *et al.* Design and operation of BARDENPHO process in phase II project of Yangquan wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(16): 64-68 (in Chinese).

**作者简介:** 贺栋才(1983—), 男, 江西莲花人, 硕士, 高级工程师, 注册公用设备(给水排水)工程师, 主要从事市政给排水工程、市政规划、生态环境保护等方面设计工作, 多次荣获省部级勘察计奖。

**E-mail:** 319507705@qq.com

**收稿日期:** 2021-10-14

**修回日期:** 2021-11-08

(编辑: 孔红春)