

改良型氧化沟扩容改造 AAO - MBR 工艺工程设计

许 敏¹, 刘梦楠²

(1. 无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072; 2. 江南大学 环境与土木工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 针对四川省某县城市污水处理厂存在的处理能力不足、厂区用地紧张、出水水质亟需提标等问题, 扩容改造工程中将现状改良型氧化沟改造为 AAO 生化池, 现状二沉池改造为 MBR 膜池, 并同时新建一座 MBR 膜综合车间与之配套, 形成新的 AAO - MBR 深度处理工艺。工程完成后, 污水处理能力由 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提升至 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 实际运行出水 $\text{COD} \leq 25.0 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 1.5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 8.0 \text{ mg/L}$, 出水水质满足《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016) 相关标准。工程总投资为 3 589.2 万元, MBR 膜系统运行成本为 0.439 元/ m^3 , 结合整体厂区运行工况, 总处理成本稳定在 1.15 ~ 1.30 元/ m^3 之间。

关键词: 升级改造; 氧化沟; AAO - MBR

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000 - 4602(2020)02 - 0048 - 05

Design of AAO - MBR Process for Modified Oxidation Ditch Expansion

XU Min¹, LIU Meng-nan²

(1. Wuxi Municipal Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214072, China; 2. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In view of the problems of insufficient treatment capacity, the shortage of land use in the plant area, and urgent need to enhance the quality of the effluent water in a county wastewater treatment plant in Sichuan Province, the modified oxidation ditch was transformed into AAO tank, and the present secondary sedimentation tank was transformed into MBR tank. At the same time, a new MBR membrane comprehensive workshop was built to support it so as to form a new AAO-MBR advanced treatment process. After the completion of the project, the wastewater treatment capacity increased from $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ to $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$, TN concentrations in the effluent were respectively $\leq 25.0 \text{ mg/L}$, $\leq 1.5 \text{ mg/L}$ and $\leq 8.0 \text{ mg/L}$. The effluent quality was implemented in accordance with the *Discharge Standards of Water Pollutants in Minjiang and Tuojiang River Basins of Sichuan Province* (DB 51/2311 - 2016). The total investment of the project was 35.892 million yuan, the water operating cost of MBR membrane system was 0.439 yuan/ m^3 . Combined with overall plant operating conditions, the treatment cost stabilized between 1.15 - 1.30 yuan/ m^3 .

Key words: upgrading and reconstruction; oxidation ditch; AAO-MBR

四川省某县城市污水处理厂一、二期工程设计处理能力各为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 已建成运行 10 余年, 目前出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。随着污水厂收

水范围的不断扩大和《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016) 的颁布, 参照标准, 该县位于重点控制区域, 因此需对污水厂进行水量扩容和技术改造。

1 扩容改造前厂区概况

污水处理厂改造前采用改良型氧化沟工艺,氧化沟分为 2 组,单组处理能力为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,二沉池分为 2 组,单组对应一座氧化沟,其余处理构筑物按照总规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 一次性建成。

目前主体处理构筑物整体布置在厂区南侧长方形地块内,长×宽约 140 m×72 m,周边已无扩容用地。在水量超出设计范围时,出水水质不稳定,改造前出水 COD 为 25.2~38.1 mg/L,氨氮为 1.3~4.2 mg/L,TN 为 8.0~15.0 mg/L,对照《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》及实际运行工况,COD、 NH_3-N 及 TN 等指标存在超标风险,因此需在无征地的基础上,结合现有构筑物,采用增加厌氧及缺氧停留时间、提高生化系统活性污泥微生物量和降低活性污泥运行负荷的技术思路^[1],同时兼顾生产不停车(改造期间部分污水临时调度至周边污水厂处理)、分批改造等实际需求,且现有的微型过滤池及紫外消毒渠对水量稳定性要求较高,因此提出结合前端改良型氧化沟生化池容重新分配改造,将现状二沉池分批改造为 MBR 膜池,并新建一座膜综合车间等技术路线。改造完成后,形成具有较强脱氮除磷能力的 $\text{A}^2\text{O}-\text{MBR}$ 三级处理工艺^[2]。

具体设计进、出水指标见表 1。

表 1 扩容改造设计进、出水水质

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

项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
进水	300.0	150.0	30.0	40.0	4.0
出水	30.0	6.0	1.5	10.0	0.3

厂区现状局部平面布置见图 1。

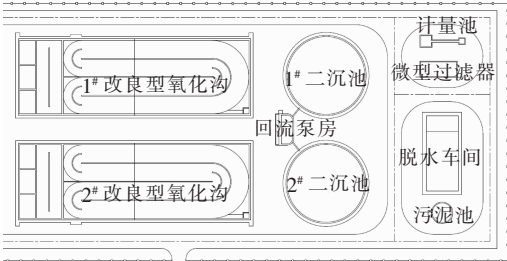


图 1 改造前局部平面布置

Fig. 1 Local layout plan before transformation

2 扩容改造工程设计

2.1 改造思路

改造后的工艺流程:进水→粗格栅→细格栅→

AAO-MBR→紫外消毒→出水。

将原单组氧化沟分为厌氧、缺氧和好氧区独立区域,按照单组处理水量为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 核算,厌氧区 HRT 为 0.62 h,缺氧区 HRT 为 1.02 h,好氧区 HRT 为 6.30 h,好氧区有 4 条沟道,单条沟道宽为 5.0 m,采用微孔曝气器曝气,池体有效水深为 5.0 m。改造前氧化沟平面布置见图 2。



图 2 改造前氧化沟平面布置

Fig. 2 Layout plan of oxidation ditch before transformation

扩容改造工艺重点考虑去除 TN 及 NH_3-N ,同时兼顾进一步降低 COD 及 BOD_5 ,结合二沉池改造为 MBR 膜池,现考虑将 MBR 膜池停留时间计算入好氧停留时间,将单组氧化沟厌氧区和缺氧区结合改造成厌氧区,氧化沟中间两沟道改造为缺氧区,同时拆除氧化沟内壁素混凝土浇筑转角以增加好氧池容,二沉池改造为 MBR 膜池,现状污泥回流泵房拆除后设计为 MBR 离线清洗池、离线冲泥区及膜箱吊装区,新建膜综合车间与两座二沉池沿东西方向对称布置。改造后各工艺段 HRT 分配见表 2。

表 2 改造后各工段 HRT 复核

Tab. 2 HRT review of each unit after transformation

项目	厌氧区	缺氧区	好氧区	总容积
改造前池容/ m^3	455.6	747.0	4 593.4	5 796.0
改造前 HRT/h	0.62	1.02	6.30	7.94
改造后池容/ m^3	1 202.6	2 094.5	2 498.8 + 1 010.6 (膜池)	6 806.5
改造后 HRT/h	1.65	2.87	4.81	9.33

工程同时在现状旋流沉砂池后端、改良型氧化沟前端增设一座膜格栅池,膜格栅池平面尺寸为 $10.7 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$,新增 2 套内进流格栅,栅隙为 1.0 mm,以降低其对后续膜丝的影响^[3]。

2.2 氧化沟改造设计

对现状氧化沟进行内部分隔,增加缺氧区至厌

氧区内回流泵(200%~300%回流比)及好氧区至缺氧区内回流泵(400%~600%回流比),污泥从新建MBR膜池回流至好氧区。改造后增加了厌氧、缺氧池容,保障生物厌氧除磷和缺氧脱氮有足够的HRT及生物量,同时工程配套化学除磷和反硝化碳源投加装置。改造后氧化沟平面见图3。

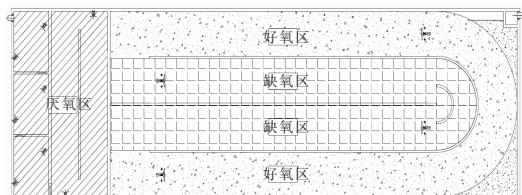


图3 改造后氧化沟平面布置

Fig. 3 Layout plan of oxidation ditch after transformation

改造后的MBR膜池采用轴流泵回流污泥至好氧池,回流比控制在300%,氧化沟新增至膜池的出水管及回流管,通过回流比控制厌氧区、缺氧区和好氧区MLSS浓度分别4 000.0、6 000.0和8 000.0 mg/L。该工艺改造后,较常规的A²O-MBR工艺增加一段回流,即膜池混合液先回流至好氧区,再从好氧区回流至缺氧区,这样不仅充分利用了膜池混合液夹带的大量溶解氧,节约了好氧曝气能耗,同时,保证了系统的脱氮效果^[4]。

2.3 二沉池改造MBR膜池设计

现状单座二沉池直径为22.0 m,原设计为周进周出布水形式,现将二沉池池内壁以内、底板以上构筑物全部拆除,只保留池壁、走道及底板,根据膜池功能分区,在池底板植筋新建造柱和墙体,新增膜池进水分配渠、膜池、出水渠、污泥回流区等功能分区,新增牛腿式起重机构造柱。整个MBR膜池按照圆形内切最大方形进行布置,以充分利用有效平面面积。单组二沉池共分为5格膜池,单格膜池平面尺寸为13.0 m×3.1 m,膜池有效液位为3.0 m,并联运行,内置6套STM20028型中空纤维膜组件,单套膜组件外形尺寸为1 930 mm×1 420 mm×2 700 mm,设计膜平均通量为17.36 L/(m²·h),瞬时通量为21.22 L/(m²·h)。单套膜面积为1 400.0 m²,两组膜池共60套,膜总面积为84 000.0 m²。设计采用运行10 min、停1 min运行方式,日常跨膜压差>25 kPa时,即采用清水反洗,运行工况周期下定时投加次氯酸钠及柠檬酸进行维护性清洗,膜组件化学浸泡清洗采用新建的酸洗池和碱洗池药剂浸

泡,单套膜组件分批每半年恢复清洗一次。同时膜池底部根据排泥需求改造为阶梯状,从进水端素混凝土找坡至出水端集泥坑,后采用穿墙管接至污泥泵抽吸剩余污泥。二沉池圆弧与新增墙体之间空隙采用素混凝土填实至现状池顶板,同时为设计美观和检修方便,两格膜池隔墙上新增500 mm×600 mm综合管沟,内敷设DN250膜擦洗管和DN250抽吸管各一根,单侧布置,管沟顶上覆格栅盖板。改造后MBR膜池平面及剖面见图4。

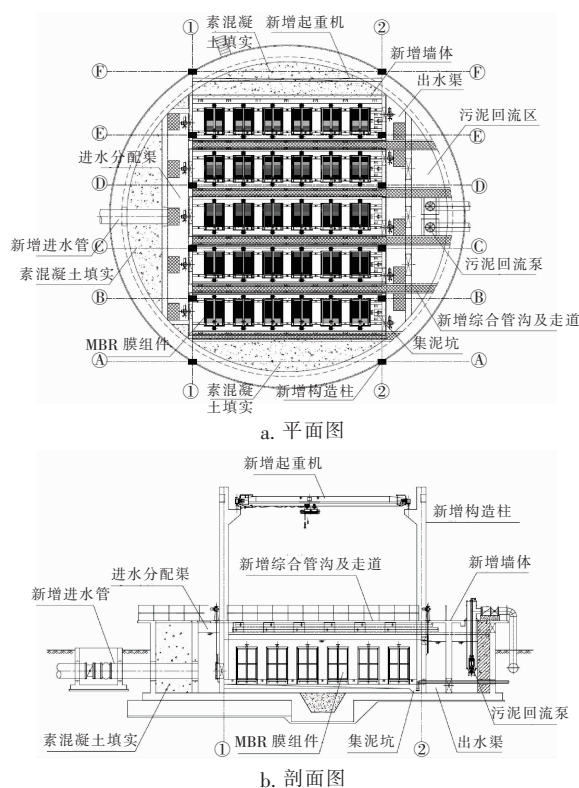


图4 改造后MBR膜池平面及剖面

Fig. 4 Plane and section of MBR membrane tank after transformation

两座膜池东西方向对称排布,新增牛腿构造柱连成一体,共用1套5.0 t起重机,在两座膜池之间空地内新建一座膜组件离线清洗组合池,平面尺寸为13.4 m×5.4 m,分为酸洗池、碱洗池及吊装和冲泥区,组合池与膜池顶板连通,以方便巡视检修。单组MBR膜池回流污泥采用2台轴流泵(1用1备),垂直套筒式安装于新增顶板上,出水管线各自回流至氧化沟好氧区前端;单格膜池污泥管线单独接至剩余污泥泵总进料管,采用气动阀门调节开闭,灵活调节单格膜池内MLSS。为防止进水分配渠和出水渠底部集泥,采用管式曝气器敷设池底进行曝气,改

善死角水力流态^[5]。

2.4 新建MBR膜综合车间

现状二沉池基础底板埋深为3.40 m,设计新建MBR膜综合车间建筑轴线与膜池内壁间距为2.86 m,节约用地及管线长度,车间基础底板高于膜池底板0.55 m,以方便剩余污泥管线接入、保护膜池底板基础和构筑物整体稳定性。单格膜池对应一套膜抽吸系统及擦洗系统,其余抽真空系统、CIP清洗系统、压缩空气系统等均共用。设计膜综合车间平面尺寸为56.0 m×14.1 m,车间地面上部净高为7.5 m,以方便设备起吊。车间根据功能要求,分为鼓风机房、变配电间、控制室及值班室、药剂储罐区、CIP清洗区、抽真空区、压缩空气区等。单格膜池出水抽吸泵出水管路上安装流量计计量后接入膜出水总渠,后总管送至新建的紫外消毒渠。改造后MBR膜池及膜车间平面布置见图5。

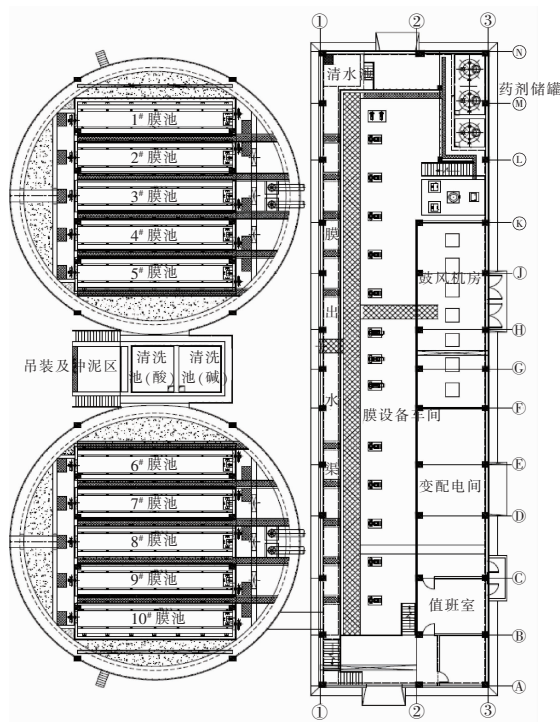


图5 改造后MBR膜池及膜车间平面布置

Fig.5 Plane layout of MBR membrane tank and membrane workshop after transformation

3 MBR膜系统运行结果

扩容改造工程于2018年9月底投产运行,系统稳定运行后,出水水质见表3。TP采用强化生物除磷及MBR膜进水渠内投加PAC辅助化学除磷,出水TP≤0.3 mg/L,整体水质满足要求。

表3 污水厂实际出水水质

Tab.3 Actual effluent quality of WWTP

项 目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TP	TN
2018年9月	22.5	8.9	1.6	0.28	8.7
2018年10月	15.6	3.7	0.5	0.25	8.3
2018年11月	19.8	4.6	0.6	0.22	8.6
2018年12月	20.2	6.8	1.3	0.20	7.9
2019年1月	15.9	4.5	0.8	0.17	8.3
2019年2月	18.3	5.0	1.3	0.15	8.8
2019年3月	21.3	7.7	1.6	0.22	7.6
月平均值	19.1	4.9	1.1	0.21	8.3

注: 均为月平均值,每日数据样本85%以上满足排放要求。

改造完成后,MBR膜系统运行成本为0.439元/m³(其中,人工费、电费、自来水费、药剂费、日常维修费、管理及其他费用分别为0.050、0.206、0.006、0.027、0.120、0.030元/m³),总处理成本稳定在1.15~1.30元/m³之间。

4 结语

① 在现状建(构)筑物基础上进行扩容改造,设计中应尽可能减少对现状生产的影响,减小土建工程量,与现有设施在空间和水力高程上良好衔接,尽量避免二次提升。

② 本工程的实施充分利用现有生化池和二沉池池容,将二沉池改造为MBR膜池,并新建一座膜综合车间与之对应,在现有构筑物和用地范围基础上扩容和升级改造,本项目具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 蒋岚岚,张万里,胡邦.膜生物反应器工艺设计及工程实例[M].南京:河海大学出版社,2015.
Jiang Lanlan,Zhang Wanli,Hu Bang. Process Design and Engineering Example of Membrane Bioreactor [M]. Nanjing:Hohai University Press,2015(in Chinese).
- [2] 蒋岚岚,张万里,胡邦.MBR工艺水质净化效果的季节变化特性调研[J].中国给水排水,2015,31(7):61-64.
Jiang Lanlan,Zhang Wanli,Hu Bang. Seasonal change characteristics of water purification effect of MBR process system[J]. China Water & Wastewater,2015,31(7):61-64(in Chinese).
- [3] 梁汀,蒋岚岚,张万里,等.中空纤维膜MBR污水处理工艺中细格栅系统设计探讨[J].给水排水,2014,40

(4):99-101.

Liang Ting, Jiang Lanlan, Zhang Wanli, *et al.* Discussion on the design of fine screening system in hollow fibre membrane MBR wastewater treatment plant[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2014, 40 (4): 99 - 101 (in Chinese).

- [4] 侯晓庆, 邓磊, 高海英, 等. MBR 工艺在神定河污水处理厂升级改造中的应用[J]. *中国给水排水*, 2018, 34(22): 66-70.

Hou Xiaoqing, Deng Lei, Gao Haiying, *et al.* Application of MBR process in the upgrading and reconstruction project of Shending River wastewater treatment plant[J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34 (22): 66 - 70 (in Chinese).

- [5] 徐晓妮, 马小蕾, 吴亚萍, 等. A^2/O 与 MBR 工艺在同规模城镇污水厂中的设计与应用[J]. *中国给水排水*, 2017, 33(24): 21-26.

Xu Xiaoni, Ma Xiaolei, Wu Yaping, *et al.* Design and application of A^2/O process and MBR process in the same

scale wastewater treatment plants[J]. *China Water & Wastewater*, 2017, 33(24): 21-26 (in Chinese).



作者简介: 许敏(1985-), 男, 江苏扬州人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为工业废水处理、垃圾渗滤液处理及填埋场工程技术。

E-mail: 13382885037@163.com

收稿日期: 2019-03-25

(上接第 47 页)

筑工业出版社, 2017.

JGJ 57-2016, Code for Design of Theater Building[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017 (in Chinese).

- [2] GB 50974-2014, 消防给水及消火栓系统技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.

GB 50974-2014, Technical Code for Fire Protection Water Supply and Hydrant Systems[S]. Beijing: China Planning Press, 2014 (in Chinese).

- [3] GB 50016-2014, 建筑设计防火规范[S]. 2018 年版. 北京: 中国计划出版社, 2018.

GB 50016-2014, Code for Fire Protection Design of Buildings[S]. 2018 ed. Beijing: China Planning Press, 2018 (in Chinese).

- [4] GB 50084-2017, 自动喷水灭火系统设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.

GB 50084-2017, Code for Design of Sprinkler Systems[S]. Beijing: China Planning Press, 2017 (in Chinese).



作者简介: 李安达(1979-), 男, 河北安国人, 本科学历, 高级工程师, 注册公用设备工程师, 所总工程师, 主要从事建筑给排水设计及研究工作, 曾获“北京市优秀工程勘察设计奖”专项奖二等奖、北京市优秀工程勘察设计综合奖二等奖、北京市优秀工程设计二等奖。

E-mail: 9468312@qq.com

收稿日期: 2019-09-17