

陈黎明, 肖学贵, 周林凡, 等. MP-MBR 工艺在污水处理厂不停产提标改造中的工程应用 [J]. 净水技术, 2025, 44(1): 170-177.

CHEN L M, XIAO X G, ZHOU L F, et al. Application of MP-MBR process in upgrading and reconstruction project of WWTP with non-stop operation [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(1): 170-177.

MP-MBR 工艺在污水处理厂不停产提标改造中的工程应用

陈黎明*, 肖学贵, 周林凡, 林文辉

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 福建福州 350001)

摘 要 【目的】某污水处理厂设计处理规模为 $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$, 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准, 现要求出水达到一级 A 标准。【方法】拟接入的某面板项目废水规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 废水可生化性较差, 经过方案比选采用臭氧高级氧化在厂外进行预处理后与生活污水混合后进入污水处理厂。综合考虑排放标准、提标改造要求和现状用地等因素, 将污水处理厂现状“悬挂链式移动曝气工艺”改造为“厌氧/缺氧/好氧(AAO)+膜生物反应器(MBR)”工艺, 同时结合实际进水碳氮比(C/N), 适量投加碳源, 满足提标要求, 出水稳定达到一级 A 标准。【结果】生化+多相组合膜生物反应器(MP-MBR)工艺具有显著的生化处理效果和截留作用。此工程提标改造厂区未新增用地, 建设周期远低于传统工艺。【结论】文章为厂区用地有限、出水水质要求高和要求不停产施工的类似污水处理厂的提标改造提供了参考。

关键词 提标改造 高级氧化 多相组合膜生物反应器(MP-MBR) 一级 A 标准 不停水

中图分类号: TU992 文献标志码: B 文章编号: 1009-0177(2025)01-0170-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.01.021

Application of MP-MBR Process in Upgrading and Reconstruction Project of WWTP with Non-Stop Operation

CHEN Liming*, XIAO Xuegui, ZHOU Linfan, LIN Wenhui

(Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Fuzhou 350001, China)

Abstract [Objective] The designed treatment capacity of a wastewater treatment plant(WWTP) is $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$. The design effluent quality implements the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant*(GB 18918—2002) class I grade B standard, and the effluent is required to meet the class I grade A standard. [Methods] The wastewater scale of the proposed panel project to be connected is $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The biodegradability is poor, and after scheme comparison, ozone advanced oxidation is used for pre-treatment outside the plant, and then mixed with domestic wastewater before entering WWTP. Taking into account factors such as discharge standards, upgrading requirements, and current land use, the current "suspended chain mobile aeration process" in WWTP will be transformed into an "AAO + membrane bioreactor (MBR)" process. At the same time, combined with the actual influent C/N ratio, carbon sources will be added appropriately to meet the upgrading requirements. [Results] The biochemical+multiphase membrane bioreactor (MP-MBR) process have significant biochemical treatment effects and retention effects. The upgrading and reconstruction of the factory area in this project had not added any new land, and the construction period is much lower than that of traditional processes. [Conclusion] The paper provides a reference for the renovation and reconstruction of similar WWTP with limited land use in the factory area, high requirements for effluent quality, and non-stop construction requirements.

Keywords upgrading and reconstruction advanced oxidation process(AOP) multiphase membrane bioreactor (MP-MBR) class I grade A standard non-stop operation

[收稿日期] 2024-01-03

[通信作者] 陈黎明(1981—), 硕士, 高级工程师, 研究方向为水体污染与防治, E-mail: 18274132@qq.com。

根据国务院关于印发《水污染防治行动计划》(国发[2015]17号)的通知(简称“水十条”)和相关要求, 敏感区域(重点湖泊、重点水库、近岸海域汇水区域)城镇污水处理设施应于 2017 年底前全面

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,建成区水体水质达不到地表水Ⅳ类标准的城市,新建城镇污水处理设施要执行一级 A 排放标准。

当地政府要求对污水处理厂进行提标改造。此外污水厂服务范围内,项目废水经内部预处理达到排放标准后废水需接入本项目污水厂,对污水处理工艺提出了更高的要求,也需要进行相应改造。项目废水排放标准执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)三级标准限值要求,其中氨氮、磷酸盐 2 项指标满足《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)B 等级限值。

面板项目废水 BOD₅/COD_{Cr} 值低,可生化性差,为提高 BOD₅/COD_{Cr} 比,改善可生化性,通常采用高级氧化技术进行预处理,降低后续处理难度及费用^[1]。

表 1 项目废水排放情况

Tab. 1 Wastewater Discharge of the Project

项目	pH 值	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)
生产区总排口	6~9	212	32	70	28	15	7
排放标准限值	6~9	≤500	≤300	≤400	≤70	≤45	≤8

污水处理厂分两期建设。一、二期各 6.0×10⁴ m³/d,二级生物处理采用悬挂链式移动曝气工艺,出水达到一级 B 标准,尾水排入附近河道;所产生的污泥经过带式浓缩脱水一体机处理,外运堆肥处置。

污水处理厂现状采用工艺流程为:进水→粗格栅→进水泵房→细格栅→旋流(曝气)沉砂池→生化综合池[一期为厌氧/好氧/缺氧/好氧(AOAO)工

艺;二期为厌氧/缺氧/好氧(AAO)工艺]→消毒池→综合排放口→外排。

膜生物反应器(MBR)工艺应用于污水处理厂提标改造工程,具有不需新增用地、建设周期短等优点,广泛应用于污水处理厂提标改造工程^[2]。

文章介绍了某污水处理厂提标改造工程设计实例,出水标准满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 排放标准,以期为用地限制的污水处理厂提标改造建设提供工艺选择及工程设计经验。

1 工程概况

某城市二级污水处理厂,总设计规模为 1.2×10⁵ m³/d,总用地面积为 120 亩(1 亩≈666.67 m²)。主要负责城区的生活污水和部分工业废水。实际处理水量约为 9 万 m³/d。其中拟接入的某面板项目废水规模为 2.5×10⁴ m³/d。由于某面板项目废水将接入该污水处理厂,为此需对该污水处理厂进行相应的提标改造。项目废水排放情况如表 1 所示。

表 2 设计进出水水质指标

Tab. 2 Indices of Designed Influent and Effluent Quality

项目	pH 值	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)
设计进水水质	6~9	400	220	280	54	37	4
设计出水水质	6~9	≤50	≤10	≤10	≤15	≤5	≤0.5

2 提标及改造工艺路线选择的影响因素

2.1 某面板项目废水排水特点

(1)根据外排废水实测数据,其特征污染物氨氮、磷酸盐、氟化物等均达标排放,但 BOD₅/COD_{Cr} 值较低,实际 BOD₅/COD_{Cr} 值远低于设计 BOD₅/COD_{Cr} 值,基本在 0.15 左右,可生化性较差;

(2)BOD₅/TN 较低,需投加外来碳源,才能进行生物脱氮;

(3)BOD₅/TP 值远小于生物除磷的低限 BOD₅/TP=20,某面板项目废水高分子难降解的有机物含量高,为达到一级 A 出水标准,需考虑采用化学除磷工艺。

2.2 某面板项目废水对污水处理厂提标改造的影响及对策

污水处理厂现状以处理城市生活污水为主,项目的生产废水接入后非常有必要按照工业污水处理厂的建设要求进行改造。某面板项目对该污水处理厂提标改造的影响及对策如下。

为提高进水可生化性,对比了臭氧高级氧化和芬顿氧化的优缺点,如表 3 所示。比选后,单独针对某面板废水增设臭氧高级氧化设施^[1],经预氧化后的废水再与生活污水混合后进入污水处理厂。

表 3 某面板废水预处理工艺方案比选

Tab. 3 Comparison and Selection of Process Plans for Pre-Treatment of a Panel Wastewater

性能	臭氧高级氧化工艺	芬顿工艺
可生化性	可以提高可生化性	可以提高可生化性
构筑物	设备及构筑物较少	设备及构筑物较多
占地	占地小	占地大
工艺特点	工艺成熟,运行较为简单	工艺成熟,运行较为复杂
出水水质	可满足污水厂进水要求	可满足污水厂进水要求
运行费用	低	高
总投资	工程费用较低	工程费较高
建设周期	工期短	工期长

表 4 污水处理厂提标改造工艺方案比选

Tab. 4 Comparison and Selection of Process Plans for Upgrading and Reconstruction of WWTP

性能	MP-MBR 工艺	MBBR+磁混凝沉淀工艺
生化降解能力	与传统废水生物处理结合,提高了固液分离效率,曝气池中活性污泥浓度的增大和污泥中特效菌(特别是优势菌群)的出现,加强了系统反硝化脱氮的处理能力	出水水质可以达标,新增的三级物化处理工艺对总氮的去除能力有限
与现有系统结合	充分利用现有处理设施附属设施	充分利用了现有生产处理设施,受用地限制需拆除部分辅助建筑物。由于可用地块零散,工艺管线来回迂回,与现状构筑物在流程上有交叉,施工及管理困难
占地	在现有场地内改造,新增用地少	占地大,目前厂区布置已十分紧凑,且不能新征用地,新建设施需拆除机修车间;新建设施平面布置分散、紧凑
工艺特点	工艺领先、抗冲击强、不需新增消毒	工艺成熟、抗冲击能力一般,工艺流程长
出水水质	优于一级 A 标准,MBR 出水可直接回用	在进水水质总氮指标正常的情况下,可以达到设计要求
运行费用	经营成本较低,为 0.49 元	经营成本较高,为 0.55 元
工程费用	工程费用较低,为 6 165.61 万元	工程费较高,为 7 000 万元
对现有运营管理的影响	影响最小,改造期间不停产、但在切水过程中,需要短时间降低进水量	影响大,管线对接施工过程需要短期停产,生化池改造需减产 25%,所利用地块下布有大量现状管线,管线搬迁量大,新增污泥大,污泥设施运行时间延长
建设周期	工期短,建设工期约为 10 个月	工期长,土建量大,12 个月

3 污水厂提标改造工艺重点、难点及解决措施

3.1 重点及难点

(1)污水处理厂现状用地 120 亩仅为《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)要求的 70%;远低于《城市污水处理工程项目建设标准》(建标[2001]77 号)的占地标准,如何在有限的用地范围内完成提标改造,是提标改造面临的一大难点。

(2)提标改造需在 1 年内完成,工期紧、任务重,是升级改造面临的另一大难点。

(3)为了尽可能减少对受纳水体的污染,提标改造期间尽可能减少停水、尽量保证原污水厂的运行是升级改造方案考虑的重要因素。

3.2 工艺方案比选

本次提标改造工艺方案有:(1)多相组合膜生物反应器(MP-MBR)工艺;(2)移动床生物膜反应器(MBBR)+混凝沉淀工艺,工艺方案比较如表 4 所示。综合比较后采用 MP-MBR 工艺。

3.3 解决措施

经过方案比选,二级主体工艺采用 MP-MBR 工艺。MP-MBR 工艺在对现有污水厂进行提标改造中具有突出的优势,可在不新增用地、不停水的条件下,对现有污水厂进行提标改造^[3-5]。成都市第三、四、五、八污水厂扩能提标改造工程采用 MP-MBR

技术,在不停产、不增加土地的情况下,实现总处理规模由 40 万 m^3/d 扩容至 75 万 m^3/d ,每天新增污水处理能力为 35 万 m^3 ,出水水质由一级 B 标准提升到地表水Ⅳ类标准^[3]。

MP-MBR 处理工艺将传统污水处理流程进行了缩短和简化,利用膜组件和控制系统,代替了传统工艺的沉淀池、深度处理的混凝池、沉淀池和滤池,处理效果优于传统的深度处理。

MP-MBR 工艺的特点主要有以下 5 个方面。

(1)出水品质高。在膜的富集作用下,污泥浓度能够达到传统工艺的 2 倍以上,针对难降解的有机物处理效果好。

(2)抗冲击负荷能力强。膜的致密结构起到“固液分离”的作用,硝化菌可以积累在生物池里,对于去除氨氮的效果非常好。采用膜分离,实现了污泥龄与水力停留时间分离,可根据来水水质水量的变化情况,人为控制污泥浓度,控制容积负荷,以保证稳定的出水水质。

(3)工艺流程短、占地小。与传统工艺相比,MP-MBR 工艺流程短,并且操作简单、管理简便,易于扩展处理能力;建构筑物少,占地小,节约土地资源。

(4)MP-MBR 膜系统相比常规 MBR,填充效率高,为业主节约膜池构筑物成本。

(5)自动化程度高,易于控制运行。

4 提标改造工艺方案设计

本次提标改造工程建设内容分为 2 部分:一部分为厂外预处理部分(建设厂外臭氧高级氧化站);另一部分为厂内提标改造。

(1)厂外预处理

针对京东方排放废水可生化性较差的情况,增设厂外预处理部分(厂外臭氧高级氧化站),处理规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(2)厂内提标改造

考虑到 MP-MBR 工艺良好的出水水质,出水水质优于一级 A 标准,如 COD_{Cr} 质量浓度可低于 40 mg/L , BOD_5 质量浓度可低于 5 mg/L ;为降低工程投资,采用二期提标改造,一期降低处理规模的方案。经加权计算,一期工程处理规模由 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 调整为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理工艺由“AOAO+二级加强处理”调整为“AOAO 工艺+化学除磷+投加碳源”;二期工

程处理规模由 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 调整为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理工艺由“AAO 工艺+二级加强处理”调整为“AAO 工艺+MBR+化学除磷+投加碳源”。并在旋流沉砂池出水与生化池进水管之间增设精细格栅间,在现有二期生化池基础上增设化学除磷和投加碳源措施、在缺氧池至厌氧池之间、好氧池与缺氧池之间改造污泥回流泵。

一、二期出水混合后排放,尾水排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准,处理后的尾水经消毒、计量后利用现有排放设施外排。

5 提标改造流程

本工程提标及改造工艺流程如图 1 所示。本工程提标改造工艺平面布置如图 2 所示。

6 提标改造建构筑物设计

6.1 厂外臭氧高级氧化工艺设计

厂外臭氧高级氧化生产构(建)筑物包括臭氧接触氧化池(含污水提升泵井)、臭氧发生间、液氧站及配电中心等。

(1)臭氧接触氧化池(含污水提升泵井)

设计规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设 1 座。设计流量为 1 530 m^3/h ,臭氧最大投加质量浓度为 60 mg/L ,接触时间为 30 min,平面尺寸:长(L) $\times$ 宽(B)=26.10 $\text{m} \times 11.40 \text{ m}$,池高为 7.75 m,有效水深为 6.80 m。池内采用三段式投加,臭氧投加系统使用陶瓷微孔曝气头,内设置钛板曝气盘数量合计 44 个。

整个臭氧接触氧化池为全封闭设计,在池顶设置臭氧尾气收集管和自动气压释放阀。出水端设置余臭氧监测仪。

(2)臭氧发生间

总建筑面积为 204 m^2 。布置 3 台臭氧发生器及配套系统、闭环冷却水系统、臭氧投加系统及冷却塔等。臭氧发生器 2 用 1 备,参数如表 5 所示。

6.2 厂内 MP-MBR 工艺设计

MP-MBR 系统为本工程中心构筑物,主要利用现有二期生化综合池进行建设,设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。MP-MBR 系统由生化综合池改造、新建 MBR 池和新建膜设备间 3 部分组成,兼有生物处理和膜过滤的双重作用。

生化综合池主要改造内容为新增三级回流以提升污泥浓度。膜池和设备间均在二期生化综合池

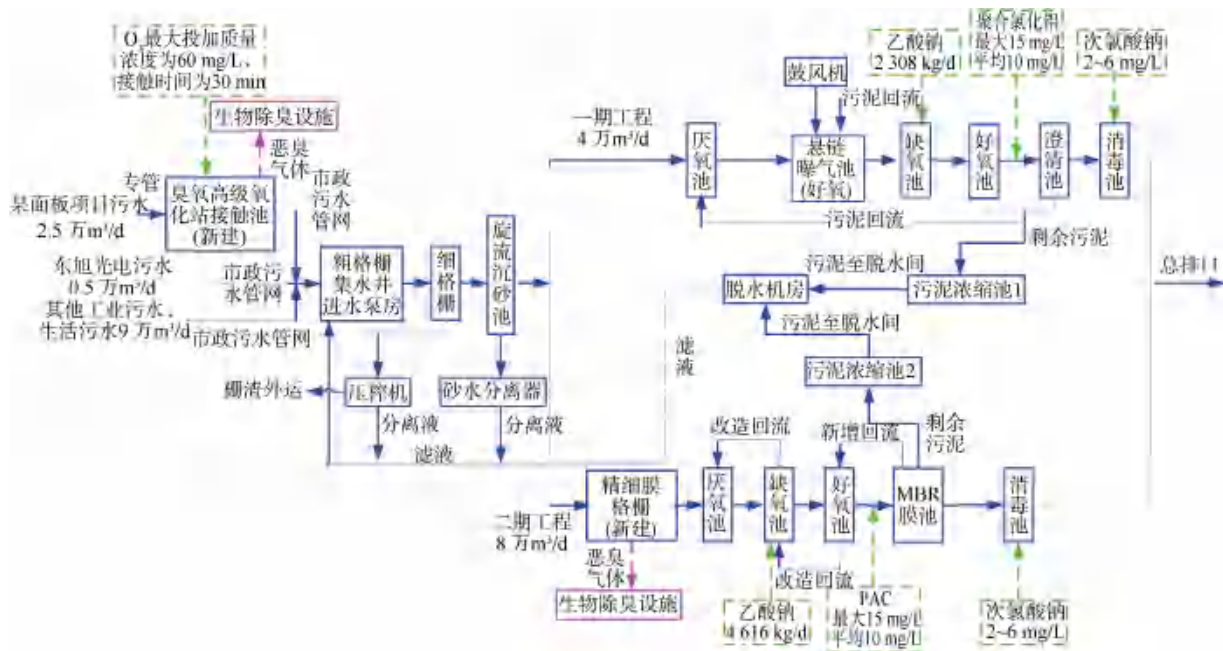


图1 提标改造工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Upgrading and Reconstruction

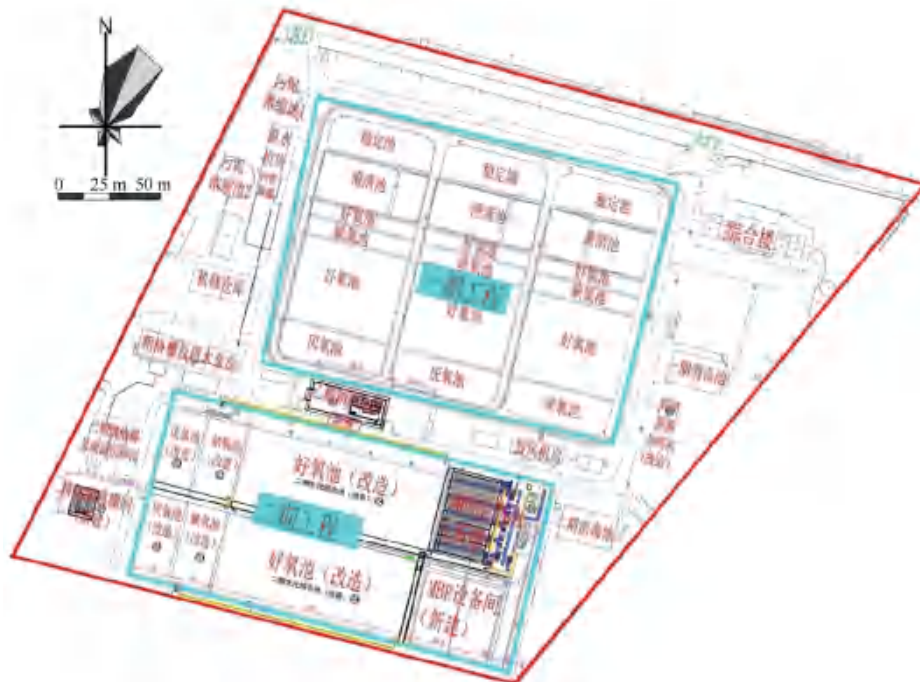


图2 提标改造平面布置

Fig. 2 Layout Plan of Upgrading and Reconstruction

(末端澄清池稳定池)基础上新建,将其划分为膜池和设备间2个功能区,布置膜组件及配套产水泵等设备,具体如下。

1) 生化综合池改造

(1) 厌氧池改造

厌氧池2座,单座尺寸为44 m×19 m×5 m,有效

水深为4.5 m。改造后设计流量(Q)=3 334 m³/h,水力停留时间为1.12 h。主要改造内容为增加缺氧池至厌氧池污泥回流泵4台(2用2备),单泵参数: Q =1 700 m³/h,扬程(H)=1 m,功率(N)=11 kW。回流比为100%。

表 5 臭氧发生器设计参数

Tab. 5 Design Parameters of Ozone Generator

参数	单台设计值	总设计值
臭氧产量/($\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$)	30 000	60 000
氧气需量/[($\text{N} \cdot \text{m}^3$) $\cdot \text{h}^{-1}$]	210	420
氧气、臭氧气体流量/[($\text{N} \cdot \text{m}^3$) $\cdot \text{h}^{-1}$]	203	406
冷却水需量(外环)/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	84	168
总电耗/($\text{kW} \cdot \text{h}$)	227	457

(2) 缺氧池改造

缺氧池 2 座,单座尺寸为 $44 \text{ m} \times 19 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,有效水深为 4.5 m 。改造后 $Q=3\,334 \text{ m}^3/\text{h}$,水力停留时间为 1.12 h 。主要改造内容为增加好氧池至缺氧池污泥回流泵 4 台(2 用 2 备),单泵参数: $Q=1\,700 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=1 \text{ m}$, $N=11 \text{ kW}$ 。回流比为 100%。

(3) 改造好氧池

好氧池 2 座,单座尺寸为 $100 \text{ m} \times 44 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,有效水深为 4.5 m 。改造后 $Q=3\,334 \text{ m}^3/\text{h}$,水力停留时间为 5.94 h 。主要改造内容为新建回流渠 2 条,回流渠起点膜池前端,终点至好氧池前端,单条断面尺寸为 $3.15 \text{ m} \times 1.25 \text{ m}$, $L=140 \text{ m}$ 。改造后回流比为 300%。

2) 新建 MBR 池

在二期生化综合池(末端澄清池稳定池)基础上新建 MBR 膜池 1 座。尺寸为 $44 \text{ m} \times 29.8 \text{ m} \times 6.1 \text{ m}$,有效水深为 4.50 m 。膜池分 10 格,改造后 $Q=3\,334 \text{ m}^3/\text{h}$,膜通量为 $24.8 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。主要新增设备包括膜组件 110 套;膜池至好氧池污泥回流泵 6 台(4 用 2 备),单泵参数: $Q=2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=1 \text{ m}$, $N=18.5 \text{ kW}$;5 t 龙门吊 1 套。起吊高度为 5 m 。

3) 新建膜设备间

在二期生化综合池(末端澄清池稳定池)基础上新建膜设备间 1 座。膜设备间主要用来布置 MBR 膜池工艺所需的产水泵、反洗水泵、膜吹扫风机、加药设备等,并在膜设备间上部设置配电和控制间。

膜设备间尺寸 $44 \text{ m} \times 18.5 \text{ m}$,高为 12 m ,2 层。其主要工艺设备参数如表 6 所示。

6.3 乙酸钠投加及化学除磷设计

(1) 乙酸钠投加设计

某面板废水经预处理达标接入污水处理厂后,混合进水存在低碳、相对高氮磷的水质特点,投

表 6 膜设备间主要工艺设备及参数

Tab. 6 Main Process Equipment and Parameters of Membrane Equipment

设备名称	工艺参数
产水泵	11 台(1 台冷备), $N=22 \text{ kW}$
放空泵	2 台(1 用 1 备), $N=15 \text{ kW}$
反洗水泵	2 台(1 用 1 备), $N=22 \text{ kW}$
袋式过滤器	1 台,处理能力为 $450 \text{ m}^3/\text{h}$ ($50 \mu\text{m}$)
压缩空气罐	1 台,规格为 2 m^3
空压机	2 台(1 用 1 备), $N=7.5 \text{ kW}$
次氯酸钠储罐	1 台,规格为 10 m^3
盐酸储罐	1 台,规格为 10 m^3
钛过滤器	1 台,处理能力为 $0.9 \text{ m}^3/\text{h}$ ($50 \mu\text{m}$)

膜吹扫鼓风机 3 台, $Q=154 \text{ N} \cdot \text{m}^3/\text{min}$,压力为 60 kPa , $N=250 \text{ kW}$

加碳源是提高脱氮除磷效果的重要手段。由于乙酸钠本身不属于危险品,方便运输及储存,绝对价格相比甲醇便宜,采用乙酸钠作为外加碳源。

根据相关研究和实际经验^[6],乙酸钠的 BOD_5 质量分数为 $0.52 \text{ mg}/(\text{mg} \text{ 乙酸钠})$,本工程乙酸钠最大投加量: $6\,924 \text{ kg}/\text{d}$ (质量分数为 33%)。一期生化综合池的缺氧区和二期生化综合池的缺氧区共计 2 个投加点。

新建加药间建筑面积为 478 m^2 。布置有乙酸钠投加间及乙酸钠库。

投加间内布置有隔膜计量泵 5 台,单台 $Q=1\,650 \text{ L}/\text{h}$, 0.3 MPa , $N=0.75 \text{ kW}$,一期 1 用 1 备,二期 2 用 1 备。溶液池设置折浆搅拌机 3 台, $N=4 \text{ kW}$,转速为 $85 \text{ r}/\text{min}$ 。

(2) 化学除磷设计

根据生物除磷原理及污水处理厂运行经验,要使污水处理厂出水中磷酸盐质量浓度(以磷计)稳定达到 $<0.5 \text{ mg}/\text{L}$ 的处理要求,就必须进行化学辅助除磷。本工程采用 PAC 作为外加化学除磷药剂。加药点为好氧池出水端。

除磷加药间内布置有加矾间、药剂库。

溶液池 2 座,单座平面尺寸为 $2.2 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$,高度为 1.9 m ,水深为 1.5 m 。单池内设溶药搅拌器 1 台, $N=3.0 \text{ kW}$ 。

加药间设隔膜式计量泵 5 台,分 2 套系统,4 用 1 备,单台 $Q=1\,500 \text{ L}/\text{h}$, $H=20 \text{ m}$, $N=1.5 \text{ kW}$ 。

7 不停水施工方案

经过合理安排和论证,施工过程除短时间停

水外,可以保证污水处理厂在维持正常运行情况下完成提标改造。本次改造按以下次序完成不停水施工。(1)维持现状运行条件下,在现状细格栅旋流沉砂池和二期生物池之间建设 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的膜格栅间并将新建膜格栅间进水管铺设至接管位置。同时,建设膜格栅南侧出水管道,至现状二期生化池进水管、现状沉砂池南侧的出水管道碰头位置。(2)在二期生化综合池(末端澄清池稳定池)基础上新建 MBR 膜池 1 座。改造期间,将一期构筑物临时运行水量由 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 调整为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;二期有 2 组,北侧一组改造时,南侧一组临时运行水量由 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 调整为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。以上运行水量合计为 $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,本工程改造施工期间不停水,提标及改造工程对生产正常运行基本无影响。(3)改造二期生物池,增加缺氧池至厌氧池污泥回流泵 4 台,增加好氧池至缺氧池污泥回流泵 4 台,新建回流渠 2 条。(4)改造和切改相关管渠。连接新建膜格栅间进水管与预留管道,完成膜池出水管至紫外消毒渠出水井管道工程(期间短时停水)。

表 7 2023 年厂外预处理设施实际进出水水质

Tab. 7 Monthly Mean of Actual Influent and Effluent Quality of WWTP in 2023

项目	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{BOD}_5/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{SS}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{TN}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{TP}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
进水	103~212	22~45	53~80	39~42	13.3~13.6	2.58~7.80
出水	47~58	14~18	41~49	41~42	13.9~14.3	2.71~7.92

厂内提标改造完成后,污水总排放口中的 pH、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、SS、石油类和动植物油等 24 项浓度均值均远低于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)表 1 中一级 A 标准。项目环保

改造项目于 2016 年 12 月底开始开工建设,2017 年 9 月开始试运营。本次改造施工周期为 8 个月,施工工期远低于同类项目。

8 项目投资、建设周期及运行效果

8.1 项目投资、建设周期

本项目概算总投资约为 7 652.83 万元,其中厂内提标改造工程投资为 6 165.61 万元,工程费用为 5 502.92 万元,折合吨水工程费用约为 460 元,低于同期同类提标改造项目;平均经营成本增加 0.49 元/ m^3 ,平均经营成本低于同类污水处理厂。厂外臭氧高级氧化工程投资为 1 487.22 万元,工程费用为 1 286.64 万元。

本项目仅用了 9 个月完工并试运行出水达标,建设周期远低于传统工艺。

8.2 运行效果

某面板废水经厂外臭氧预处理后, COD_{Cr} 、 BOD_5 、悬浮固体指标下降 50% 以上,总氮、总磷、氨氮指标略有升高, $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$ 略有提高,大幅降低了污水厂处理难度。厂外预处理设施实际进出水水质如表 7 所示。

表 8 2023 年污水处理厂实际出水水质

Tab. 8 Monthly Mean of Actual Influent and Effluent Quality of WWTP in 2023

项目	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{BOD}_5/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{SS}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{TN}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{TP}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
进水	216~292	93~110	155~170	33~47	18~36	2.53~5.21
出水	6.9~20	2.1~3.2	4~8	9.4~13.5	0.67~1.15	0.3~0.44

8.3 运行存在问题

厂外预处理接触池曝气盘存在堵塞问题,已计划更换为射流曝气。

MBR 池设计膜通量为 $24.8 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,运行 6 年多,膜通量有所下降,MBR 膜丝已经接近其使用年限。

9 结语

(1)某污水处理厂提标改造工程规模为 $1.2 \times$

验收针对环评内容所增设的氟化物、铜、钼、钢、锡检测指标,除氟化物检出(检测结果与环评预测值符合表示达标)外,铜、钼、钢、锡均未检出。污水处理厂实际进出水水质如表 8 所示。

$10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,采用 MP-MBR 膜工艺,同时针对实际进水水质特点,在厂外增设臭氧高级氧化设施、在厂内增设乙酸钠投加及化学除磷设施。出水水质优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

(2)针对某面板项目废水实际进水可生化性较差、 COD_{Cr} 指标偏高,增加臭氧高级氧化,改善了工

业废水的可生化性。

(3)本工程建设用地仅相当于同等规模常规一级 A 工艺污水处理用地的一半。因此,MP-MBR 工艺用于污水处理厂提标改造不需新增用地,节省征地成本及时间,建设周期远低于传统工艺。

参考文献

- [1] 赵红兵,余琴芳,许江军,等. 臭氧高级氧化对某工业园区污水处理厂生化出水处理试验 [J]. 净水技术, 2022, 41(6): 96-102.
- ZHAO H B, YU Q F, XU J J, et al. Experiment of ozone advanced oxidation process for biochemical effluent treatment of a WTP in an industrial park [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(6): 96-102.
- [2] 鲍任兵, 马民, 徐健, 等. AAO 及改良型工艺耦合 MBR 工艺应用研究综述 [J]. 净水技术, 2022, 41(3): 26-31, 62.
- BAO R B, MA M, XU J, et al. Technological research overview on AAO and modified process coupled with MBR [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(3): 26-31, 62.
- [3] 贺栋才, 杨婧, 蒋彬, 等. 成都合作污水处理厂三期工程 MP-MBR 工艺设计 [J]. 中国给水排水, 2022, 38(16): 57-60.
- HE D C, YANG J, JIANG B, et al. MP-MBR process design of

Chengdu Hezuo wastewater treatment plant Phase III Project [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(16): 57-60.

- [4] 杨磊, 赵健, 郭瑜, 等. MBR 在更严格排放标准污水处理厂不停产提标扩能改造中的应用 [J]. 净水技术, 2023, 42(10): 166-172.
- YANG L, ZHAO J, GUO Y, et al. Application of MBR in upgrading and reconstruction of stricter discharge standard WWTP under non-stop operation [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(10): 166-172.
- [5] 都雪晨, 黄华玲, 靳斌斌, 等. MBBR 和 MBR 工艺在南方某用地受限污水处理厂扩建及提标改造中的应用 [J]. 净水技术, 2023, 42(5): 164-171.
- DU X C, HUANG H L, JIN B B, et al. Application of MBBR and MBR processes in extension and upgrading project of a southern WWTP under limited land use [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5): 164-171.
- [6] 熊子康, 郑怀礼, 尚娟芳, 等. 污水反硝化脱氮工艺中外加碳源研究进展 [J]. 土木与环境工程学报, 2021, 43(2), 168-181.
- XIONG Z K, ZHENG H L, SHANG J F, et al. State_of_the art review of adding extra carbon sources to denitrification of wastewater treatment [J]. Journal of Civil and Environmental Engineering, 2021, 43(2), 168-181.

(上接第 25 页)

- [44] 何春艳, 张翔凌, 喻俊, 等. Zn 系 LDHs 负载改性石英砂和沸石对 Cr(VI) 吸附效果对比及其作用机理研究 [J]. 环境科学学报, 2019, 39(2): 399-409.
- HE C Y, ZHANG X L, YU J, et al. Study on adsorption performance and mechanism of Cr(VI) by Zn-LDHs coating on zeolites and quartz sands [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, 39(2): 399-409.
- [45] 薛钰. 氯系和碳酸系 MgAl-LDHs 覆膜改性人工湿地石英砂填料微生物除镉作用机制 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2023.
- XUE Y. The mechanism of cadmium removal by microorganisms attached to the surface of chlorine and carbonate intercalated MgAl-LDHs modified quartz sand in constructed wetland [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2021.
- [46] 文心远. 次氯酸钠预氧化耦合改性滤料过滤去除地表水中锰的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021.
- WEN X Y. Removal of manganese from surface water by sodium hypochlorite preoxidation using modified filter material [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2021.
- [47] 杨晓妮, 杨浩. 砂滤工艺处理西北黄土塬地区集雨水石英砂改性及滤速选定试验 [J]. 净水技术, 2017, 36(11): 50-

54.

- YANG X N, YANG H. Experiment of quartz sand modification and filtration rate selection of filtration process for rainwater collection and treatment in northwest loess tableland area [J]. Water Purification Technology, 2017, 36(11): 50-54.
- [48] 叶雪松. 改性滤料去除地下水中 As(III) 的研究 [D]. 青岛: 青岛理工大学, 2013.
- YE X S. Study on removal of As(III) from groundwater with modified materials [D]. Qingdao: Qingdao Technological University, 2013.
- [49] 王媛, 刘成伦. 改性砾石-电凝聚协同法去除高浓度磷 [J]. 环境工程学报, 2012, 6(3): 855-859.
- WANG Y, LIU C L. Removing high concentration phosphorus by modified gravel cooperated with electro-coagulation [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(3): 855-859.
- [50] SIZIRICI B, YILDIZ I. Simultaneous removal of organics and metals in fixed bed using gravel and iron oxide coated gravel [J]. Results in Engineering, 2020, 5: 100093. DOI: 10.1016/j.rineng.2019.100093.