

## 城镇给排水工程设计案例专栏

李鹏飞, 韩建博, 顾凤, 等. 纯膜 MBBR+磁混凝沉淀工艺在广东省某城市污水厂提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2024, 43(3):166-173.

LI P F, HAN J B, GU F, et al. Application of pure membrane MBBR+magnetic coagulation sedimentation process in upgrading and reconstruction of a municipal WWTP in Guangdong Province[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(3):166-173.

## 纯膜 MBBR+磁混凝沉淀工艺在广东省某城市污水厂提标改造中的应用

李鹏飞<sup>1,\*</sup>, 韩建博<sup>2</sup>, 顾凤<sup>1</sup>, 周波<sup>1</sup>

(1. 中机国际工程设计研究院有限责任公司华东分院, 江苏南京 210049; 2. 肇庆市肇水水务发展有限公司, 广东肇庆 526040)

**摘要** 广东省某城市污水处理厂于 2003 年建成并投入运营, 该污水处理厂原工艺为“厌氧 UASB+高负荷生物滤池+固体接触池+生物絮凝沉淀池”, 随着污水排放标准的不断提升, 该污水处理厂提标改造工作迫在眉睫。经过对多种工艺综合比选, 确定将原工艺提标改造为“纯膜 MBBR+磁混凝沉淀”, 对提标改造工程开展工程设计, 剖析提标改造后污水处理厂的运行效果。结果表明: 以“纯膜 MBBR+磁混凝沉淀”为主体的提标改造工艺优势显著, 可节省面积约为 2 600 m<sup>2</sup>, 提标改造后污水处理厂能够连续稳定运行, 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 标准和《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001) 第二时段一级标准的较严值。

**关键词** 城市污水厂 提标改造 纯膜 MBBR 磁混凝 工程化应用

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)03-0166-08

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.03.020

## Application of Pure Membrane MBBR + Magnetic Coagulation Sedimentation Process in Upgrading and Reconstruction of a Municipal WWTP in Guangdong Province

LI Pengfei<sup>1,\*</sup>, HAN Jianbo<sup>2</sup>, GU Feng<sup>1</sup>, ZHOU Bo<sup>1</sup>

(1. China Machinery International Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., East China Branch, Nanjing 210049, China; 2. Zhaoqing Zhaoshui Water Development Co., Ltd., Zhaoqing 526040, China)

**Abstract** A municipal wastewater treatment plant (WWTP) in Guangdong Province is built and put into operation in 2003. The original process of the WWTP is "anaerobic UASB + high-load biological filter + solid contact tank + biological flocculation sedimentation tank". With the continuous improvement of wastewater discharge standards, the upgrading of the WWTP is imminent. After comprehensive selection of various processes, it is determined that the original process is upgraded to "pure membrane MBBR + magnetic coagulation precipitation". The engineering design of the upgrading project is carried out, and the operation effect of the WWTP after the upgrading is analyzed. The results show that the upgrading process with "pure membrane MBBR + magnetic coagulation precipitation" as the main body has significant advantages, which can save an area of about 2 600 m<sup>2</sup>. And the WWTP can run continuously and stably after the upgrading. The effluent quality meets the stricter value of the first class A criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002) and *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB 44/26—2001) in the second period.

**Keywords** municipal wastewater treatment plant (WWTP) upgrading and reconstruction pure membrane MBBR magnetic coagulation engineering application

[收稿日期] 2023-08-01

[通信作者] 李鹏飞(1991—), 男, 工程师, 主要从事废水处理与资源化研究工作, E-mail: 1072802637@qq.com。

近年来,国家、地方对于污水排放标准要求愈发严格,基于此背景,许多污水处理厂严格落实法律法规及新标准的要求,逐步开展提标改造工作。由于部分污水处理厂建设年代久远、城市用地紧张等原因,提标改造工作困难重重。提标改造需综合考虑工艺技术、投资费用、占地面积等多项因素,所以如何在有限用地面积的条件下开展提标改造工作至关重要<sup>[1-2]</sup>。

移动床生物膜反应器(moving-bed biofilm reactor, MBBR)是目前广泛应用的原位提标技术,它主要是向生物反应器中投加悬浮状载体填料,为微生物生长及繁殖提供载体,在载体表面附着生长的生物膜,用于去除污水中有机物、TN 及 TP 等,移动床生物膜主要包括泥膜复合工艺形式、纯膜工艺形式<sup>[3]</sup>。纯膜 MBBR 无需设置二沉池、具有负荷高、占地省、运行费用低、能够实现深度脱氮等优势,是实现原池利旧改造的有效途径,具有较好的应用前

景。随着磁混凝沉淀工艺的广泛应用,为纯膜 MBBR 的固液分离提供了新的可能<sup>[4]</sup>。磁混凝沉淀工艺是用于去除 TP 和 SS 常用的强化处理技术,即在传统的絮凝沉淀和化学沉淀基础上投加磁性介质,形成磁性絮团,提高整个絮体的比重,增强絮凝以达到高效沉淀和过滤的目的<sup>[5-6]</sup>。

本文以广东省某城市污水厂为例,在少量增加占地的基础上,将纯膜 MBBR+磁混凝沉淀应用于城市污水厂提标改造中,提出提标改造的方案、工程设计及运行效果,旨在进一步提升出水水质标准,为纯膜 MBBR+磁混凝沉淀工程化推广运用提供实例。

### 1 原城市污水处理厂概况及问题分析

#### 1.1 原污水处理厂概况

广东省某城市污水厂水质来源主要为生活污水和少量的工业污水,其中纺织、印染、染整类工业污水居多,项目设计规模为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计进出水水质如表 1 所示。

表 1 设计进出水水质

Tab. 1 Designed Influent and Effluent Quality

项目	BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	SS/(mg·L <sup>-1</sup> )	TP/(mg·L <sup>-1</sup> )
设计进水	120	250	25	35	150	5
设计出水	20	40	8	20	20	1.5

#### 1.2 原污水处理厂工艺流程

原污水处理厂采用升流式厌氧污泥床(UASB)+高负荷生物滤池+固体接触池+生物絮凝沉淀池+紫

外消毒渠工艺,污泥采用带式浓缩脱水一体机,具体工艺流程如图 1 所示。

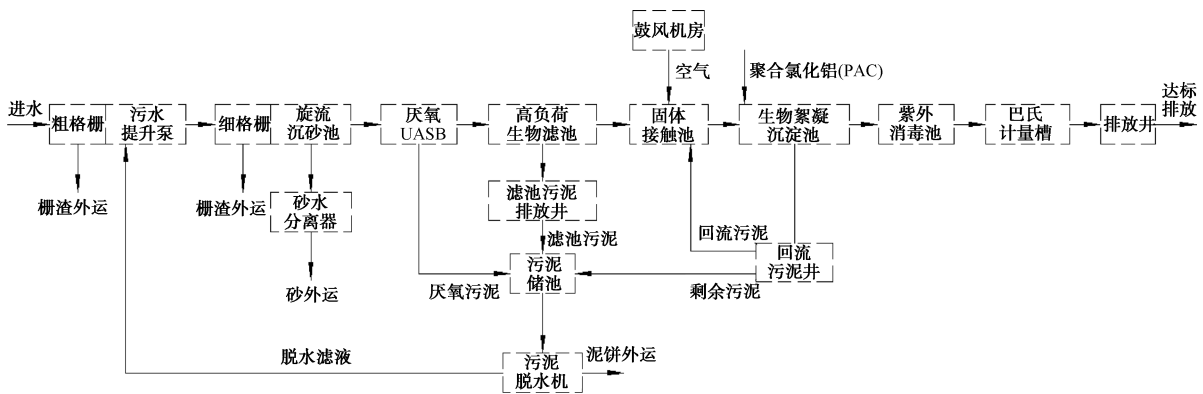


图 1 原工艺流程

Fig. 1 Original Process Flow

#### 1.3 原污水处理厂工艺问题分析

经现场勘察及调研,得出该污水处理厂面临以下问题:一是实际进水氨氮、TN 浓度高于设计进水标准;二是现状工艺流程脱氮机理不明晰,脱氮及除

磷效果达不到预期要求;三是针对污水排放标准要求的进一步提升,污水处理厂出水指标 TP、TN、SS、粪大肠杆菌难以满足要求,仍需进一步去除,尤其是 TP 及 TN;四是 UASB 单元、高负荷生物滤池单元对

污水中  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、氨氮、TP 等水质指标的去除效率较差。基于此,该污水处理厂亟待提标改造。

## 2 城市污水处理厂提标改造概况

### 2.1 提标改造设计进出水水质

设计进出水水质如表 2 所示。

表 2 设计进出水水质

Tab. 4 Designed Influent and Effluent Quality

项目	$\text{BOD}_5/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{TN}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{SS}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
设计进水	180	250	35	45	200	3.5
设计出水	10	40	5(8)	15	10	0.5

注:括号内数值表示水温 $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标,括号外数值表示水温 $> 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标,下同。

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 标准和《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准的较严值。

### 2.2 提标改造方案比选

基于原污水厂的实际情况(脱氮及除磷效果不佳)及业主提出的改造需求(充分利用原有池体、不新增用地、施工周期短、改造期间不影响正常生产等),因此,本工程改造方案从原位提标的方向综合考量。

在污水提标扩容项目中,提高生化段处理能力的直接方式为增加总生物量,可以通过以下两种途径实现:一是扩大池容,通过新建池体或改造其他构筑物池体实现,根据现场勘查情况,UASB 厌氧池、高负荷生物滤池、固体接触池、终沉池均具备池体改造条件;二是提高单位容积的生物量。在生物池内增加生物载体填料(如 MBBR),为微生物提供附着生长的载体。纯膜 MBBR 工艺作为 MBBR 工艺的一种,具有负荷高、占地省、运行费用低、能够实现深度脱氮等优势。因此,纯膜 MBBR 工艺可作为本方案比选工艺。

本工程处理的重点主要在于去除 TN 及氨氮,根据对各污染物指标的分析及各工艺的比较,同时结合原工艺池体的特点,提出两个工艺方案并进行比选:

(1)方案一(改造固体接触池和终沉池):UASB 厌氧池+高负荷生物滤池+两级 AO-MBBR(缺氧纯膜 MBBR 池+好氧纯膜 MBBR 池)+磁混凝沉淀工艺+接触消毒池。

本方案沿用原“UASB 厌氧池+高负荷生物滤池”工艺,同时,为了提高增强有机物、TN、TP 的去除效果,保证稳定达到一级 A 标准及广东省地标两

者最严值,通过改造原固体接触池及终沉池为缺氧纯膜 MBBR 池及好氧纯膜 MBBR。深度处理段去除胶体、SS 及 TP,考虑采用用地省、效果好的磁混凝沉淀工艺,消毒采用次氯酸钠接触消毒方式。

为了提高生化池的停留时间且不额外增加占地,本方案将原厂中的终沉池改造为生化池,而纯膜 MBBR 工艺无需设置二沉池,这为本方案的实施提供了可能性。纯膜 MBBR 工艺通过载体填料上附着的活性生物膜处理污水中的有机物和 TN,老化的生物膜会随水流出生化池。由于脱落的生物膜较轻,不易沉淀,通过后续设置磁混凝沉淀系统,为纯膜 MBBR 生化系统的固液分离(脱落的少量生物膜)提供了新的可能,保证出水 SS 及 TP 达标排放。

(2)方案二(改造 UASB 厌氧池和高负荷生物滤池):AO 生化池+固体接触池+终沉池+中间提升泵房+高效沉淀池+滤布滤池+接触消毒池。

考虑到本工程的重点及难点在于脱氮,而除磷可通过加药在深度处理阶段去除,去除效果容易保证,故本方案生化处理工艺采用脱氮的 AO 工艺,同时,为了保证出水水质的稳定达标,本方案考虑外加碳源装置。为了充分利用原池体并减少投资,本方案考虑将 UASB 池改造为缺氧池,将高负荷生物滤池改造为好氧池,沿用固体接触池,固体接触池作为 AO 工艺好氧池的一部分。本方案二级处理段采用脱氮的 AO 工艺,深度处理段主要用于去除胶体、SS 及 TP,故采用“高效沉淀池+滤布滤池”工艺,消毒采用次氯酸钠接触消毒方式。

表 3 分别对提标改造的两种工艺方案进行对比。

结合原厂现状池体(UASB 厌氧池、高负荷生物滤池、固体接触池、终沉池)的勘查情况和工艺优缺点,可以得出:方案二对 UASB 厌氧池和高负荷生物

表3 两种工艺方案综合特性对比

Tab. 3 Comparison of Comprehensive Characteristics of Two Process Schemes

比较项目	方案一:UASB 厌氧池+高负荷生物滤池+ 两级 AO-MBBR+磁混凝沉淀工艺+接触消毒池	方案二:AO 生化池+固体接触池+终沉池+ 中间提升泵房+高效沉淀池+滤布滤池+接触消毒池
系统概况	连续进水、连续出水	连续进水、连续出水
运行稳定性	处理效果好且稳定,纯膜工艺对 COD <sub>Cr</sub> 、TN 去除效果显著,同时脱氮除磷,辅以化学除磷,通过超效分离控制出水 TP、SS,出水稳定	生化段着重于脱氮、去除 COD <sub>Cr</sub> 、BOD <sub>5</sub> ,通过设置外加碳源设施保证出水 TN 稳定达标;深度处理段主要用于去除胶体、SS 及 TP,出水稳定
日常维护	根据进水水质,合理确定絮凝剂投加量及碳源投加量;运行工艺简单,自动化程度高,正常运行无需值守	根据进水水质,合理确定絮凝剂投加量及碳源投加量;运行工艺简单,自动化程度高,正常运行无需值守
节能降耗	较好,提标工程约为 6 300 kW·h/d	一般,提标工程约为 8 320 kW·h/d
污泥量	较少	一般
新建单体	只需新建磁混凝沉淀池一个单体,充分利用原单体	新建单体多,如高效沉淀池、滤布滤池、中间提升泵房、加药间等
占地	小,只需要新建磁混凝沉淀池一个单体	较小
运行费用	较低,MBBR 工艺碳源消耗少,产泥量较少,无混合液及污泥回流	较高
改造难度	较小,只需要改造厂区管路	较大,特别是高负荷生物滤池改造难度大
对污水厂运行的影响	可分组进行,改造过程中仍可保证污水厂正常运行	可分组进行,改造过程中仍可保证污水厂正常运行
工艺优点	抗冲击负荷强,具有广泛的市场前景	工艺成熟、稳定
工程费/万元	1 854. 81	2 291. 29
运行费用(单位水经营成本)/(元·m <sup>-3</sup> )	0. 57	0. 64

滤池实施改造,UASB 厌氧池、高负荷生物滤池的结构相对复杂,改造难度大,无法保证改造后的结构安全性,并具有投资成本较高,运行成本较高等特征;方案一对固体接触池和终沉池实施改造,固体接触池、终沉池的结构相对简单,具有改造工程量小、施工难度小、施工周期短、投资成本低、运行成本低等优势,对污水厂的正常运行影响较小。综上所述,方案一无论从改造难度、占地、运行成本、投资均优于方案二,因此,采用方案一作为本工程提标改造工艺,即 UASB 厌氧池+高负荷生物滤池+两级 AO-纯膜 MBBR+磁混凝沉淀+接触消毒。

### 2.3 提标改造内容

提标改造涉及的主要内容如下。

(1)将原并联的两座固体接触池改为串联,作为一级 AO-纯膜 MBBR 系统,设置一级缺氧纯膜 MBBR 池、一级好氧纯膜 MBBR 池。在各区域投加悬浮生物膜载体并设置进出水拦截系统,在一级缺氧纯膜 MBBR 池内设置专用推流器,在一级好氧纯膜 MBBR 池内底部设置辅助曝气系统。一级 AO-

纯膜 MBBR 系统改造平面如图 2 所示。

(2)将原并联的两座生物絮凝沉淀池改为串联,作为二级 AO-纯膜 MBBR 系统,设置二级缺氧纯膜 MBBR 池、二级好氧纯膜 MBBR 池。在各区域投加悬浮生物膜载体并设置进出水拦截系统,在二级缺氧纯膜 MBBR 池内设置专用推流器,在二级好氧纯膜 MBBR 池内底部设置辅助曝气系统。二级 AO-纯膜 MBBR 系统改造平面如图 3 所示。

(3)原两座生物絮凝沉淀池改为串联运行,原进水管路做相应改动。

(4)原污泥回流泵房改造为中间提升泵房,原污泥回流取消。

(5)新建磁混凝沉淀系统一座,用于去除污水中 TP 及 SS 等。

(6)原消毒池不变,消毒方式改为次氯酸钠接触消毒。

### 2.4 提标改造工艺流程

项目提标改造后工艺流程如图 4 所示。

首先,污水依次进入粗格栅、细格栅,用于去



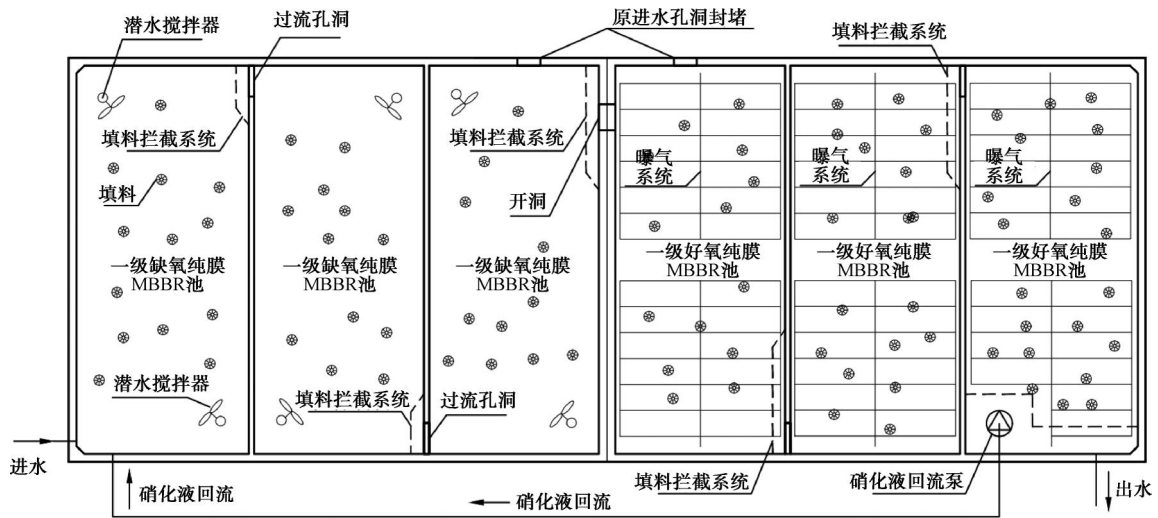


图2 一级AO-纯膜 MBBR 系统改造平面

Fig. 2 Construction Plan of the First-Level AO-Pure MBBR System

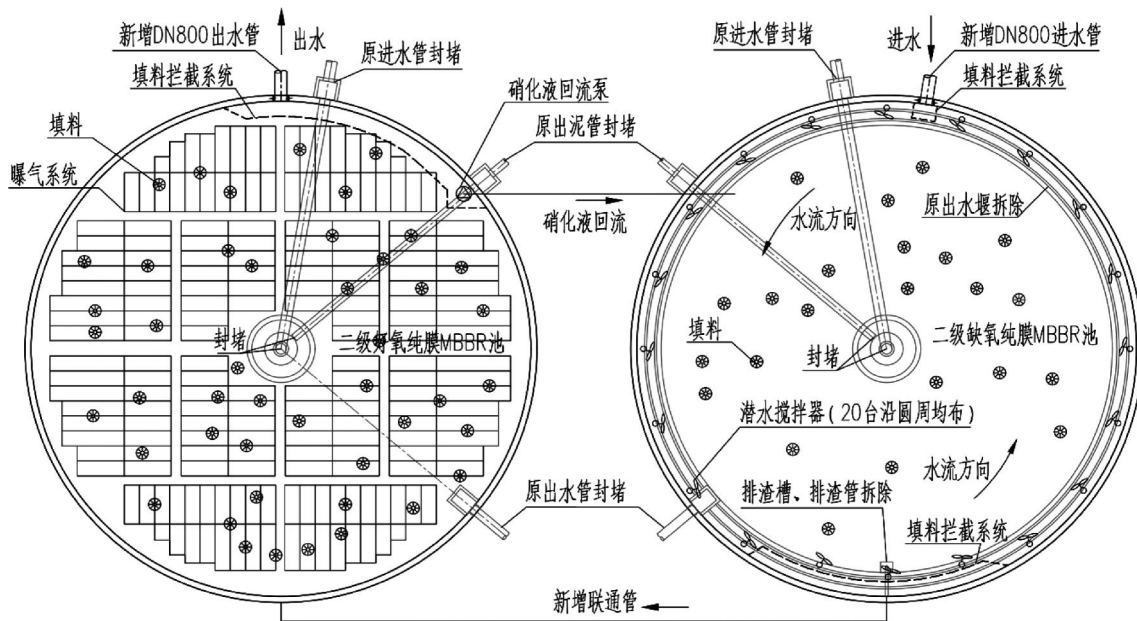


图3 二级AO-纯膜 MBBR 系统改造平面

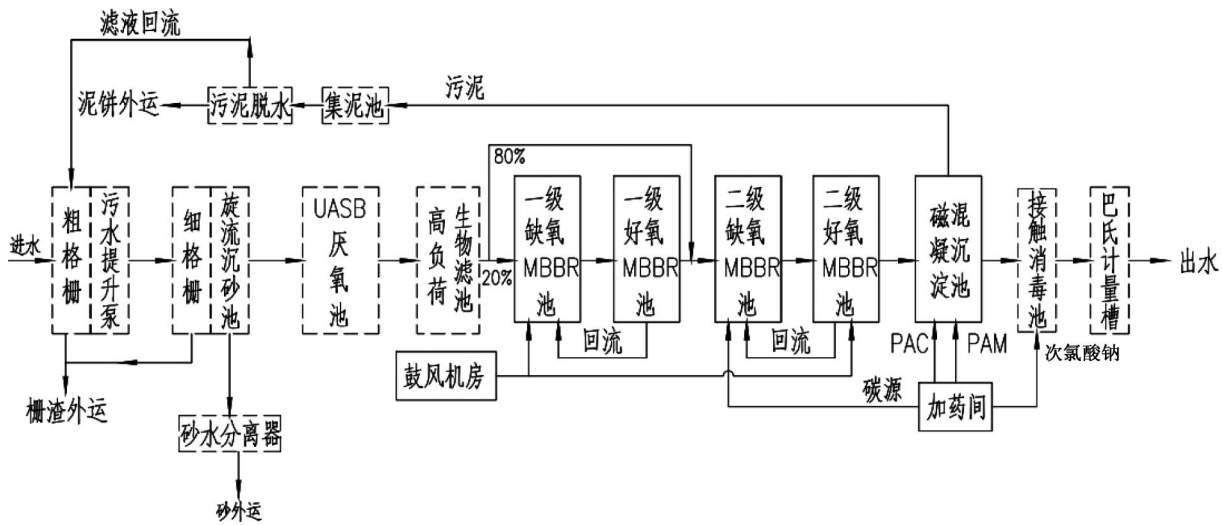
Fig. 3 Reconstruction Plan of Secondary AO-Pure MBBR System

除污水中 SS 及颗粒物。污水依次通过 UASB 厌氧池将大分子物质分解为小分子物质,通过高负荷生物滤池生物膜的作用对有机物进一步氧化分解,通过硝化反应将氨氮转化为硝酸盐氮。其次,20%的高负荷生物滤池出水进入一级缺氧 MBBR 池,后进入一级好氧 MBBR 池,在缺氧状态下通过反硝化反应,将硝态氮转化为氮气排放,完成脱氮反应。生物膜释放出贮存在菌体内的多聚正磷酸盐,释放出的能量可供生物活动需要。在好氧状

态下发生硝化反应,将氨氮转化为硝态氮回流至缺氧池。一级好氧 MBBR 池出水与 80% 的高负荷生物滤池出水共同进入二级缺氧 MBBR 池,后进入二级好氧 MBBR 池,这两个单元涉及的反应原理同一级缺氧、好氧 MBBR 池。最后,通过磁混凝沉淀池去除 SS 和溶解性磷酸盐,污水经过次氯酸钠消毒后达标排放。

### 2.5 各工艺段去除目标

各工艺段设计处理目标如表 4 所示。



注：提标改造设施用实线框表示。

图 4 提标改造后工艺流程

Fig. 4 Process Flow after Upgrading and Reconstruction

表 4 各工艺段设计处理目标

Tab. 4 Designed Treatment Objectives of Each Process Section

指标	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	氨氮	TN	SS	TP	
设计进水	180	250	35	45	200	3.5	
格栅+沉砂池+UASB+	进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	180	250	35	45	200	3.5
高负荷生物滤池	去除率	10%	10%	10%	20%	10%	10%
一级 AO MBBR 池	进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	162	225	31.5	36	180	3.2
	去除率	80%	30%	30%	10%	50%	30%
二级 AO MBBR 池	进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	32.4	157.5	22.1	32.4	90	2.2
	去除率	80%	85%	85%	60%	50%	50%
磁混凝沉淀池	进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	6.5	23.6	3.3	13	45	1.1
	去除率	0	0	0	0	90%	80%
接触消毒池	进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	6.5	23.6	3.3	13	4.5	0.2
设计出水	10	40	5(8)	15	10	0.5	

### 3 提标改造工程设计

#### 3.1 原有处理构筑物改造

##### 3.1.1 一级 AO-纯膜 MBBR 池(原固体接触池改造)

(1)构筑物。利用固体接触池改造成一级 AO-纯膜 MBBR 池,长×宽×高=32.0 m×10.0 m×4.5 m,有效水深为 4.1 m。

(2)设计参数。进水比例为 20%,回流比为 200%。好氧 MBBR 区溶解氧质量浓度为 2~6 mg/L;一级缺氧、好氧纯膜 MBBR 水力停留时间均为 0.54 h;一级缺氧、好氧纯膜 MBBR 生物膜面积

分别为 1.384 6×10<sup>5</sup>、2.142 9×10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>;填料有效比表面积≥800 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,填料填充比>50%,填料规格为 Φ25 mm×10 mm,填料材质为高密度聚乙烯(HDPE);填料上单位生物膜面积生物量约为 12 g/m<sup>2</sup>;一级缺氧、好氧纯膜 MBBR 池有效容积均为 675 m<sup>3</sup>,曝气量为 30 m<sup>3</sup>/min。

(3)主要设备。MBBR 专用推流器, N=5.5 kW,6 台;专用进水拦截系统,不锈钢冲孔板(尺寸根据池体定制),1 套;专用出水拦截系统,不锈钢冲孔板(尺寸根据池体定制),1 套;MBBR 专用曝气器,1 套,穿孔曝气管,ABS 材质;硝化液回流泵,2

台,  $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=8.0\text{ m}$ ,  $N=15\text{ kW}$ 。

### 3.1.2 二级缺氧纯膜 MBBR 池(原生物絮凝沉淀改造)

(1)构筑物。利用生物絮凝沉淀改造成二级缺氧纯膜 MBBR 池, 尺寸为  $\Phi 28\text{ m}\times 5.6\text{ m}$ , 有效水深为  $5.3\text{ m}$ 。

(2)设计参数。进水比例为  $80\%$ , 缺氧区有效生物膜面积为  $553\ 850\text{ m}^2$ ; 填料填充比  $>50\%$ ; 填料规格为  $\Phi 25\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 、有效比表面积  $\geq 800\text{ m}^2/\text{m}^3$ , 填料材质为 HDPE, 填料上单位生物膜面积生物量约为  $12\text{ g}/\text{m}^2$ ; 有效容积为  $3\ 419\text{ m}^3$ , 平均水力停留时间为  $2.74\text{ h}$ , 硝化液回流比为  $200\%$ 。

(3)主要设备。MBBR 专用推流器,  $N=5.5\text{ kW}$ , 20 台; 专用进出水拦截系统, 不锈钢冲孔板(尺寸根据池体定制), 1 套。

### 3.1.3 二级好氧纯膜 MBBR 池(原生物絮凝沉淀改造)

(1)构筑物。利用生物絮凝沉淀改造成二级好氧纯膜 MBBR 池, 尺寸为  $\Phi 28\text{ m}\times 5.6\text{ m}$ , 有效水深为  $5.3\text{ m}$ 。

(2)设计参数。缺氧区有效生物膜面积为  $1\ 082\ 000\text{ m}^2$ ; 填料填充比为  $50\%$  以上; 填料规格为  $\Phi 25\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 、有效比表面积  $\geq 800\text{ m}^2/\text{m}^3$ , 填料材质为 HDPE, 填料上单位生物膜面积生物量约为  $12\text{ g}/\text{m}^2$ ; 有效容积为  $3\ 419\text{ m}^3$ , 平均水力停留时间为  $2.74\text{ h}$ , 溶解氧质量浓度为  $2\text{ mg}/\text{L}$ , 硝化液回流比为  $200\%$ ; 曝气量为  $110\text{ m}^3/\text{min}$ 。

(3)主要设备。MBBR 专用曝气器, 1 套, 穿孔曝气管, ABS 材质; 专用进出水拦截系统, 不锈钢冲孔板(尺寸根据池体定制), 1 套; 硝化液回流泵为 2 台,  $Q=2\ 500\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=3\text{ m}$ ,  $N=45\text{ kW}$ 。

### 3.1.4 中间提升泵房(原污泥回流泵房改造)

(1)构筑物。用于提升 MBBR 池出水至磁混凝沉淀池, 保证后续处理水能够自流。尺寸为  $\Phi 5.45\text{ m}\times 5.4\text{ m}$ , 有效水深为  $4.4\text{ m}$ 。

(2)设计参数。设计规模为  $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

(3)主要设备。潜水泵:  $Q=907\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=10\text{ m}$ ,  $N=37\text{ kW}$ , 3 台, 2 用 1 备, 均变频。

### 3.1.5 鼓风机房及变配电间(利旧改造)

(1)构筑物。利用原鼓风机房及变配电间, 更换内部设备。平面尺寸为  $10\text{ m}\times 6\text{ m}$ , 高度为  $4\text{ m}$ 。

(2)设计参数。设计规模为  $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ; 曝气

量为  $140\text{ m}^3/\text{min}$ 。

(3)主要设备。磁悬浮风机,  $Q=70\text{ m}^3/\text{min}$ ,  $H=5.5\text{ m}$ ,  $N=75\text{ kW}$ , 3 台, 2 用 1 备, 均为变频。

## 3.2 新建处理构筑物

### 3.2.1 新建磁混凝沉淀系统

(1)构筑物。新建磁混凝沉淀池基础 1 座, 钢筋混凝土结构, 长 $\times$ 宽 =  $28\text{ m}\times 16\text{ m}$ 。磁混凝沉淀系统采用一体化设备形式, 安装于基础上。

(2)设计参数。混合池停留时间为  $1.9\text{ min}$ ; 磁种加载池停留时间为  $2.4\text{ min}$ ; 絮凝反应池停留时间为  $4.15\text{ min}$ ; 分流区沉淀池的表面负荷为  $14.47\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 最高表面负荷为  $21.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

(3)主要设备。反应系统箱体 2 套,  $12\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3.1\text{ m}$ ; 立式混合池搅拌器 4 台,  $P=3\text{ kW}$ ; 立式混合池搅拌器 2 台,  $P=4\text{ kW}$ ; 沉淀池箱体 4 套,  $13\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3.1\text{ m}$ ; 刮泥机 4 套,  $13\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3.1\text{ m}$ ,  $N=0.18\text{ kW}$ ; 磁分离机 2 台,  $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $N=2.2\text{ kW}$ ; 剪切机 2 台,  $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $N=1.5\text{ kW}$ ; 集水槽及斜管 4 套; 污泥回流泵 5 台, 4 用 1 备,  $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=12\text{ m}$ ,  $N=7.5\text{ kW}$ ; 剩余污泥泵 5 台, 4 用 1 备,  $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=12\text{ m}$ ,  $N=7.5\text{ kW}$ ; 污泥排放泵 3 台, 2 用 1 备,  $Q=40.0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=20\text{ m}$ ,  $N=4\text{ kW}$ ; 高压冲洗机 1 套,  $H=0\sim 8\ 000\text{ kPa}$ ,  $P=1.8\text{ kW}$ , 配高压水枪及管道。

## 4 运行效果及分析

2020 年年底完成改造并进行长达 4 个月的试运行, 2021 年 5 月完成环保验收。经过 2 年的运行, 结果表明, 出水  $\text{BOD}_5$  质量浓度  $\leq 2.97\text{ mg}/\text{L}$ ,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  质量浓度  $\leq 18\text{ mg}/\text{L}$ , 氨氮质量浓度  $\leq 1.94\text{ mg}/\text{L}$ , TN 质量浓度  $\leq 14.76\text{ mg}/\text{L}$ , SS 质量浓度  $\leq 6\text{ mg}/\text{L}$ , TP 质量浓度  $\leq 0.19\text{ mg}/\text{L}$ , 出水水质稳定达到国家及广东省地方现行标准要求。改造后的污水厂进出水水质如表 5 所示。

## 5 技术经济指标

该项目工程总投资为  $2\ 339.60$  万元, 其中工程费为  $1\ 854.81$  万元(其中纯膜 MBBR 池改造部分约为  $1\ 069.81$  万元, 新增磁混凝沉淀池部分约为  $400$  万元, 其他辅助设施改造部分约为  $385$  万元)。对 2022 年全厂运行数据进行统计, 本工程年电耗约为  $276\text{ 万 kW}\cdot\text{h}$ , PAC(质量分数为  $6\%$ ) 年投加量约为  $1\ 544\text{ t}$ , PAM 年投加量约为  $10.9\text{ t}$ , 乙酸钠年投加量

表 5 2022 年 7 月—2023 年 6 月进出水水质

Tab. 4 Influent and Effluent Quality during July 2022 to June 2023

月份	BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )		COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )		氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )		TN/(mg·L <sup>-1</sup> )		SS/(mg·L <sup>-1</sup> )		TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2022 年 7 月	44.7	<2	60	14	11.80	0.90	12.84	10.39	121	4	0.87	0.08
2022 年 8 月	25.6	<2	55	12	11.20	1.70	13.14	10.97	138	4	1.04	0.11
2022 年 9 月	28.4	<2	81	14	16.90	1.70	18.26	12.70	167	4	1.40	0.18
2022 年 10 月	24.3	<2	81	14	16.87	1.73	20.20	14.76	160	4	1.93	0.16
2022 年 11 月	51.0	<2	132	13	19.47	1.46	24.25	14.43	136	4	1.99	0.15
2022 年 12 月	20.4	<2	40	10	14.03	0.84	20.74	14.12	128	5	1.43	0.13
2023 年 1 月	47.6	2.25	166	12	13.82	1.30	16.89	10.26	120	4	0.61	0.06
2023 年 2 月	106.9	2.97	233	18	17.03	1.94	20.10	11.74	284	6	1.14	0.14
2023 年 3 月	68.9	<2	159	15	19.48	1.94	21.94	13.17	176	5	1.83	0.19
2023 年 4 月	51.9	<2	96	10	14.46	0.96	17.23	10.49	112	4	1.45	0.13
2023 年 5 月	41.4	<2	79	10	13.42	0.55	17.53	10.42	113	5	1.65	0.14
2023 年 6 月	35.7	<2	61	14	11.47	0.33	15.35	10.70	80	3	1.54	0.19

约为 975.8 t,次氯酸钠(质量分数为 10%)年投加量约为 147.3 t,脱水污泥(含水率为 80%)年产生量约为 3 418 t。经核算,该工程单位处理水经营成本约为 0.57 元/m<sup>3</sup>。

## 6 总结

(1)广东某污水处理厂提标改造采用“纯膜 MBBR+磁混凝沉淀”为核心的工艺路线,节省面积约为 2 600 m<sup>2</sup>,与活性污泥法相比,可节约 30%~50%的用地,解决了原厂区可用土地少及出水排放标准高的问题,实现了污水厂原位提标的目的,适用于占地受限型污水处理厂的改扩建或新建。

(2)广东某污水处理厂经提标改造后,出水水质稳定,且达到国家及广东省地方现行标准要求。

(3)该项目工程总投资为 2 339.60 万元,其中工程费为 1 854.81 万元。经核算,本工程单位处理水经营成本约为 0.57 元/m<sup>3</sup>。

## 参考文献

[ 1 ] 吴云生,刘永杰,万巍,等.基于 UCT 的 MBBR 工艺提标改造工程效果分析[J].水处理技术,2023,49(2):149-152.  
WU Y S, LIU Y J, WAN W, et al. Efficiency analysis of MBBR process upgrading project based on UCT [ J ]. Technology of Water Treatment, 2023, 49(2): 149-152.

[ 2 ] 刘强.五段 AO+MBBR 工艺应用于污水处理厂提标改造[J].中国给水排水,2019,35(16):53-57.  
LIU Q. Application of five-stage AO+MBBR process in upgrading design of sewage treatment plant [ J ]. China Water &

Wastewater, 2019, 35(16): 53-57.

[ 3 ] 沈浩,杨忠启,汪凡,等.MBBR+磁混凝沉淀工艺用于用地受限污水厂改造[J].中国给水排水,2023,39(8):112-119.  
SHEN H, YANG Z Q, WANG F, et al. Application of MBBR and magnetic coagulation precipitation process in retrofitting of a WWTP with limited construction land [ J ]. China Water & Wastewater, 2023, 39(8): 112-119.

[ 4 ] 高伟楠,纪海霞,程树辉,等.MBR 与 MBBR+磁混凝技术路线比较与工程实践[J].中国给水排水,2019,35(8):63-67.  
GAO W N, JI H X, CHENG S H, et al. Comparison and engineering practice of technology route between MBR and MBBR+magnetic coagulation [ J ]. China Water & Wastewater, 2019, 35(8): 63-67.

[ 5 ] 杨平,徐康康,周家中,等.MBBR+磁混凝用于 A<sup>2</sup>/O 微曝氧化沟污水厂提标扩容[J].中国给水排水,2023,39(10):67-74.  
YANG P, XU K K, ZHOU J Z, et al. Application of MBBR and magnetic coagulation process in upgrading and expansion of a WWTP with A<sup>2</sup>/O microporous aeration oxidation ditch [ J ]. China Water & Wastewater, 2023, 39(10): 67-74.

[ 6 ] 郑志佳,连来喜,刘彦华,等.MBBR+磁混凝用于 CAST 工艺升级改造的效果分析[J].中国给水排水,2020,36(1):7-12,17.  
ZHENG Z J, LIAN L X, LIU Y H, et al. Upgrading and reconstruction of CAST process by MBBR and magnetic coagulation process [ J ]. China Water & Wastewater, 2020, 36(1): 7-12,17.