

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.013

# MBBR+磁混凝+反硝化滤池工艺用于全地下污水厂

初振宇, 李骏飞, 林英, 董倩倩

(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510010)

**摘要:** 针对全地下污水处理厂建成后出水标准可能需要进一步提高的技术难题, 汕尾市东部水质净化厂采用“MBBR+磁混凝沉淀池+反硝化深床滤池”处理工艺, 使出水COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷指标稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准, 总氮、SS指标满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准, 且通过调整MBBR填料填充比、反硝化深床滤池运行工况, 可使出水水质进一步提升。根据进水水质、水量波动的情况, 采用精确曝气、智能加药及智慧化管控平台等技术精细化运行, 使电耗降低约7.8%、药耗降低约9%, 节约了运营成本。

**关键词:** MBBR; 改性生物悬浮填料; 全地下污水处理厂; 反硝化深床滤池

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0080-05

## Application of MBBR, Magnetic Coagulation and Denitrification Deep Bed Filter Process in an Underground Wastewater Treatment Plant

CHU Zhen-yu, LI Jun-fei, LIN Ying, DONG Qian-qian

(Guangdong Architectural Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510010, China)

**Abstract:** In view of the technical problem that the discharge standard may need to be further improved after the completion of underground wastewater treatment plant, the combined treatment process of MBBR, magnetic coagulation sedimentation tank and denitrification deep bed filter was adopted in the Dongbu wastewater treatment plant in Shanwei City. The COD, BOD<sub>5</sub>, ammonia nitrogen and total phosphorus in effluent reached the class IV limit specified in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), and the total nitrogen and SS met the first class A limit specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The effluent quality can be further improved by adjusting the carrier filling ratio of MBBR, modifying the operating conditions of denitrification deep bed filter. Due to the fluctuation of influent quality and quantity, precise aeration, intelligent dosing and intelligent management and control platform were adopted to achieve fine operation, which reduced the power consumption by approximately 7.8% and chemical consumption by approximately 9%, thus saved the operational cost.

**Key words:** MBBR; modified biofilm moving carrier; underground wastewater treatment plant; denitrification deep bed filter

根据广东省住房和城乡建设厅2021年12月印发的《广东省城镇生活污水处理“十四五”规划》(以下简称《规划》),截至2020年底,全省城市(县城)已建成并运行生活污水处理设施386座,处理能力

达到2 798×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,其中96%执行一级A及以上排放标准。随着污水处理能力、处理水平的不断提升,《规划》对沿海地区污水处理厂出水总氮指标提出了新的要求,要求“重要河口海湾和封闭水体汇

水范围内城市骨干污水处理厂开展以总氮削减为目标的污水处理设施改造试点”,同时鼓励功能复合型埋地式污水处理厂建设,开展厂容环境品质提升,推进污水处理厂建设从“自动控制”向“智慧管控”转变,且出水要求不断提高。为此,汕尾市东部水质净化厂构建了“MBBR+磁混凝沉淀池+反硝化深床滤池”污水处理工艺,并采用精确曝气、智能加药和智慧化管控平台等设施,降低运维成本。

## 1 工程概况

汕尾市东部水质净化厂服务范围为汕尾市主城区、红海湾片区及捷胜片区,纳污面积50.08 km<sup>2</sup>,采用全埋建设形式,污水总处理规模20×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,分两期建设,各期规模均为10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。出水指标中COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准,总氮、SS执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,污泥含水率≤60%,是汕尾市第一座全埋式污水处理厂。

该厂厂址位于汕尾市红海湾经济开发区田墘街道241省道北侧,占地面积为6.5 hm<sup>2</sup>,尾水通过2 km管道排入田墘大排洪渠,地上为景观生态公园,污水厂上部景观效果图见图1。



图1 污水厂上部景观效果图

Fig.1 Landscape rendering of the upper part of the wastewater treatment plant

### 1.1 现状进水水质分析

对该厂2019年1月—2021年12月进水水质进行了统计分析,结果见表1。

表1 进水水质统计

Tab.1 Statistics of influent quality mg·L<sup>-1</sup>

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	总氮	氨氮	TP
最大值	320.5	98.9	145	42.5	29.5	5.5
最小值	108.8	53.68	63.5	16.4	12.2	1.24
平均值	168.4	70.6	98.5	29.5	23.5	2.9

进水水质波动较大,主要原因是服务范围内城区雨污分流不彻底,靠近服务范围内在开发建设,且有部分工业废水排入,随着污水管网不断完善,排水企业管理不断加强,进水水质将趋于稳定。

### 1.2 设计进、出水水质

参考广东省内管网较完善地区的污水厂进水水质,并考虑预留小比例达标工业废水处理需求,最终确定汕尾市东部水质净化厂进水水质。

出水COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准,总氮、SS执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。具体设计进、出水水质见表2。

表2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality

mg·L<sup>-1</sup>

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	氨氮	TP
进水	280	150	150	35	25	4
出水	30	6	10	15	1.5	0.3

## 2 工艺总体设计

### 2.1 工艺流程及高程设计

根据进水水质特性,确定工艺流程为:阀门井(内设速闭闸)+粗格栅及进水泵房+细格栅旋流沉砂池+精细格栅+MBBR生物反应池+矩形周进周出二沉池+磁混凝沉淀池+反硝化深床滤池+次氯酸钠消毒池+巴氏计量槽+尾水提升泵房,最终排入田墘大排洪渠。污泥经机械浓水+污泥调理池+机械深度脱水(含水率60%)处理后外运至发电厂处置。

根据田墘大排洪渠(污水厂尾水排放处)历史最高洪水位4.81 m,内江10年一遇水位及外海2年一遇水面线2.8~4.67 m,以及厂区周边规划地面标高5~6 m,确定厂区设计地面标高为6.50 m。负一层操作顶板标高为-0.75 m,负二层底边标高为-8.25 m,基坑深度为13.5 m。

### 2.2 总体平面设计

地下箱体尺寸为218.5 m×94.5 m+144 m×57.5 m,除综合楼外所有生产单元及生产辅助单元均布置在地下箱体内。总平面采用集约方式布置,力求工艺流程顺畅、功能分区合理、平面布置紧凑<sup>[1]</sup>。

地下箱体按功能分为预处理单元、污水处理单元、深度处理单元、污泥处理单元、辅助生产单元等五个单元。负一层平面布置见图2。

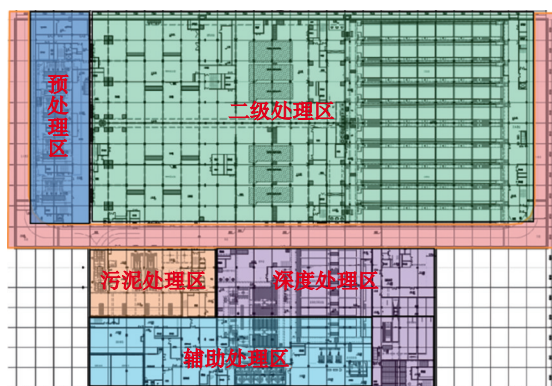


图2 负一层平面布置

Fig.2 Plane layout of the first underground floor

地下负二层主要为池体底层,同时预处理区、污水处理区、深度处理区及污泥处理区之间设有三条综合管廊,所有构筑物衔接的工艺管道均敷设在管廊内,便于后期运营期间管道的维护、检修。各单体生产污水、构筑物放空水、滤池反冲洗废水等经管道收集进入废水池,提升后进入进水泵房一并处理。负二层平面布置见图3。

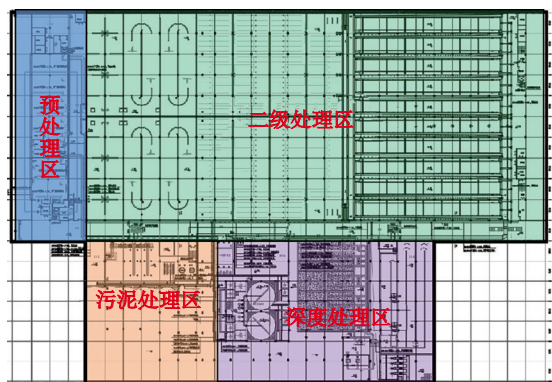


图3 负二层平面布置

Fig.3 Plane layout of the second underground floor

## 2.3 防淹设计

地下污水处理厂水淹风险主要来自雨水倒灌、管网超量进水、箱体内污水外溢等,应对措施如下:

① 厂区竖向标高高于内江10年一遇及外海2年一遇水位,与周边地块竖向标高相协调,地下箱体出入口设置“驼峰”及雨水收集措施,防止地块雨水汇入,地面通风口等局部做好防雨及超标降雨应急措施。

② 厂区设置进水阀门井,设置两个DN1 800速闭闸门,用于控制污水厂进水;箱体内设置速闭闸门,其在断电情况下也可以自行关闭。

③ 合理设置各处理单元的超高,设置相应的

进水阀门及液位监测设备,同时负二层设置事故排空泵房,以应对箱体污水外溢的情况<sup>[2]</sup>。

## 2.4 主要处理单元设计

### 2.4.1 预处理单元

预处理单元位于地下箱体西南侧,与进水总管方向相同。设4台机械粗格栅,栅条间隙20 mm;3台潜污泵(2用1备),全部变频;4台回转圆孔板式细格栅,孔径5 mm;2座旋流沉砂池,停留时间36 s;4台回转圆孔板式精细格栅,孔径3 mm。

### 2.4.2 MBBR生物反应池

生物反应池共分2组,有效水深6.5 m,总停留时间12.56 h,其中预缺氧区0.54 h、厌氧区1.26 h、缺氧区3.59 h、好氧区5.38 h(含填料区1.79 h)、脱气区1.79 h;污泥浓度(MLSS)3 500 mg/L;污泥龄12.6 d;污泥负荷 $0.15 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ;气水比5.5:1;填料比表面积 $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,填充率34%<sup>[3]</sup>。

MBBR悬浮填料投加在好氧区末端,材质为HDPE+改性材料,密度 $0.96 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ ,其亲水性好,少量曝气或者搅拌就能均匀流化,改性材料中含有酶促进成分,可显著提高生物降解能力<sup>[4]</sup>。MBBR区域设置填料拦截网、填料疏导系统、填料辅助曝气系统,填料采用气提方式回流<sup>[5]</sup>。

脱气区底部不设置曝气系统,每组设8台潜水搅拌机,转速475 r/min,  $P=3 \text{ kW}$ <sup>[3]</sup>。

### 2.4.3 矩形周进周出二沉池

二沉池共分10组,有效水深为4.4 m,总停留时间为5.1 h,平均表面负荷 $0.91 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,峰值表面负荷 $1.18 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,回流污泥浓度8 g/L,固体通量 $7.8 \text{ kgSS}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。设非金属链式刮泥刮渣机10台,单台宽度为8 m,  $v=0.2 \sim 0.6 \text{ m/min}$ ,  $N=0.37 \text{ kW}$ 。

### 2.4.4 磁混凝沉淀池

磁混凝沉淀池共分2组,有效水深为4.9 m,混合池停留时间为3.5 min,絮凝池停留时间为3.0 min,平均表面负荷 $20.42 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,峰值表面负荷 $26.55 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。除磷剂采用PAC溶液(10%),最大投加量75 mg/L;磁粉投加量2~3 mg/L;PAM投加量0.55 mg/L。

### 2.4.5 反硝化深床滤池

反硝化滤池共分10组,池深5.80 m,滤料厚度1.83 m,采用粒径1.7~3.35 mm的石英砂介质滤料,滤料有效体积为 $148 \text{ m}^3$ ;承托层厚度0.38 m,采用粒径3~20 mm的砾石。滤池平均水力负荷为7.4

$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,峰值水力负荷为  $8.4\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;反冲洗周期 24~48 h,水反冲洗强度为  $15\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,气反冲洗强度为  $92\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,气单独反冲洗 2 min+气水联合反冲洗 10 min+水单独反冲洗 5 min,驱氮周期 2~6 h,每次水反冲 2 min<sup>[6]</sup>。

2.4.6 污泥脱水系统

总污泥干质量为 15.35 tDS/d,脱水后污泥量(含水率 60%)为 38.38 t/d。污泥脱水选用高压板框压滤机,2 台(2 用 1 备),单台过滤面积为  $420\text{ m}^2$ ,配套污泥破碎机、压榨离心泵等;配污泥滑架式方仓 2 套,单座容积  $40\text{ m}^3$ ,配套斗式提升机, $P=11\text{ kW}$ 。

2.4.7 除臭系统设计

除臭系统以生物除臭为主,辅以其他除臭工艺,根据各区域产生的臭气浓度不同,采取不同的除臭标准:

- ① 粗格栅、细格栅、砂水分离器、高压板框压滤机等产生高浓度气体的设备单元,采用封闭负压收集+生物除臭方式。
- ② 预处理单元、污泥处理单元等容易因操作导致臭气的区域,采用生物除臭+离子送风结合的方式。
- ③ 负一层其他功能单元为低浓度臭气区域,采用机械送风排风方式进行换气通风,排风由生物除臭装置处理后经排放塔排出箱体。

除臭风量计算见表 3。

表 3 除臭风量计算

Tab.3 Calculation of deodorization air volume

区 域	换气次数	除臭风量/ ( $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )	备注
粗格栅及提升泵房	2 次/h	10	离子送风
细格栅及旋流沉砂池	2 次/h	10	离子送风
粗、细格栅排气罩	8 次/h		
MBBR 池曝气区	曝气量 1.1 倍		
MBBR 池其他区域	2 次/h	3	
污泥浓缩池	2 次/h	3	
污泥脱水机房	2 次/h		离子送风
污泥料仓	12 次/h		离子送风
污泥脱水机房下部 泥斗空间	12 次/h		

2.5 污水厂智慧化设计

2.5.1 精确曝气系统

精确曝气系统根据工艺运行需要,实时精确测控各曝气控制区的空气供应量,稳定各曝气控制区

的溶解氧,使生化池运行处于高效、经济的状态。该系统主要包括就地控制器、电动调节阀、热式气体质量流量计、鼓风机运行压力优化控制器、控制柜等<sup>[6]</sup>。

MBBR 生物反应池各好氧单元设置独立曝气控制装置,分别安装 1 套线性空气调节阀和气体流量计,每个曝气控制区都要至少安装一个在线溶解氧测定仪,每组生物池设置 1 台在线氨氮分析仪。

2.5.2 智能加药系统

针对污水厂加药过程的滞后、多因子、非线性等特点,该厂加药系统采用“前馈+模型+反馈”的参数控制模式,结合预处理区进水仪表的前馈信号、控制单元仪表的反馈信号以及加药模拟模型,计算出加药量,并调节加药泵组的流量。

信号来源设置在进水区、磁混凝沉淀池,设置正磷酸盐信号仪;加药点设置在 MBBR 生物反应池出水及磁混凝沉淀池进水区,设置在线正磷酸盐仪(双通道)、电磁流量计、压力变送器及加药除磷控制系统,通过智能的控制策略,智能确定投加药剂量,降低运行成本。

2.5.3 智慧化管控平台

智慧化管控平台分为感知层、控制层、平台层、应用层及智慧决策层等,包含基于工厂信息模型的多维数据可视化服务、管理驾驶舱、生产运行监控管理、设备运维管理、生产管理、移动 APP 应用等子模块。通过全厂自动化建设,减少各工艺环节人员干预和参与,构建设备全生命周期管理体系,尤其对于区域式多厂设备的维修与养护管理,构建污水厂大数据分析科学化决策平台。

3 运行效果

该厂于 2022 年 10 月建成投产,实测出水水质指标见表 4。可见,出水各指标均达到设计标准。

表 4 实测出水水质指标

Tab.4 Measured effluent quality indexes  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	总氮	氨氮	TP
最大值	20.48	5.85	8.10	9.48	0.86	0.20
最小值	15.14	3.56	6.08	7.56	0.21	0.08
平均值	17.35	4.48	7.50	7.82	0.45	0.13

4 技术经济分析

该项目建设费用为 6.7 亿元,单位建设费用为  $6\,700\text{ 元}/\text{m}^3$ ,建设箱体面积为  $2.9\times 10^4\text{ m}^2$ 。设计投加

PAC原液(10%)5.4 m<sup>3</sup>/d,阴离子PAM总用量为50 kg/d。全厂装机容量为4 078.67 kW,计算装机容量为3 102 kW,单位处理成本为1.31元/m<sup>3</sup>。精确曝气系统通过监测生物反应池DO、MLSS等指标调整风机风量,使风机运行电耗降低约7.8%,智能加药通过监测前段进水指标调整药剂投加量,使药耗降低约9%<sup>[7]</sup>。

## 5 结论

汕尾市东部水质净化厂设计规模为10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,采用MBBR+磁混凝+反硝化深床滤池处理工艺,在进水水质波动较大的情况下,出水稳定达标。采用“集约化、叠合式”的单元布置形式,大幅度减少建设用地,应用精确曝气、智能加药和智慧化管控平台等设施,使运行电耗降低约7.8%、药耗降低约9%。通过调整MBBR填料的填充比及反硝化滤池的运行工况,可进一步提高出水标准。

## 参考文献:

- [1] 牛樱,仲崇军,李胜.大型地下市政+工业混合污水处理厂兼顾人防设计案例[J].中国给水排水,2021,37(14):73-79.
- NIU Ying, ZHONG Chongjun, LI Sheng. Design case of large underground municipal and industrial mixed wastewater treatment plant with civil air defense function [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(14): 73-79 (in Chinese).
- [2] 陈秀成.全地下污水处理厂防淹设计要点及工程案例[J].给水排水,2022,48(5):50-54,59.
- CHEN Xiucheng. Key points of flood prevention design and engineering examples of underground municipal wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(5): 50-54, 59 (in Chinese).
- [3] 虞佳庆,武丹丹,王海峰,等.杭州城西污水厂提标改造实践与思考[J].中国给水排水,2022,38(16):89-95.
- YU Jiaqing, WU Dandan, WANG Haifeng, et al. Practice and thinking on upgrading of Hangzhou Chengxi WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(16): 89-95 (in Chinese).
- [4] 王正法,申屠俊杰,蔡鹏翔.浙江某污水厂准IV类提标改造MBBR+DBDF工艺设计[J].中国给水排水,2021,37(20):61-65.
- WANG Zhengfa, SHENTU Junjie, CAI Pengxiang. Design of MBBR/DBDF process for quasi-IV upgrading and reconstruction of a wastewater treatment plant in Zhejiang [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(20): 61-65 (in Chinese).
- [5] 倪黄蕾,魏洪波,陈晓会,等.MBBR工艺用于浦江县第四污水处理厂扩容提标效果分析[J].给水排水,2022,48(3):40-44.
- NI Huanglei, WEI Hongbo, CHEN Xiaohui, et al. Effect analysis of MBBR process used in expansion and upgrading of Pujiang County No. 4 wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(3): 40-44 (in Chinese).
- [6] 王瑞霖,张闯.巴顿甫-MBBR-高效沉淀-深床滤池在污水处理厂提标改造中的应用[J].给水排水,2022,48(S1):656-661.
- WANG Ruilin, ZHANG Chuang. Application of Bardenpho-MBBR-high efficiency sedimentation tank-denitrification deep-bed filter process in upgrading and reconstruction of WWTP [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S1): 656-661 (in Chinese).
- [7] 陈秀成.地下式污水处理厂能耗指标分析及节能方向[J].给水排水,2022,48(3):35-39,44.
- CHEN Xiucheng. Energy consumption index analysis and energy saving direction of underground sewage treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(3): 35-39, 44 (in Chinese).

作者简介:初振宇(1984-),男,黑龙江佳木斯人,硕士,高级工程师,主要从事给水排水设计工作。

E-mail:173149542@qq.com

收稿日期:2023-03-08

修回日期:2023-03-20

(编辑:孔红春)