

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.012

基于纯膜 MBBR 的 BioFIMag[®] 工艺用于新建污水处理厂

彭 明¹, 周家中², 韩文杰², 陈 虹¹, 殷建文², 关 闯², 吴 迪²

(1. 肇庆市肇水污水处理有限公司, 广东 肇庆 526060; 2. 青岛思普润水处理股份有限公司, 山东 青岛 266555)

摘 要: 肇庆市某新建污水处理厂设计处理规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水需满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准。采用基于纯膜 MBBR 的 BioFIMag[®] 工艺解决了项目占地紧张、施工周期短的问题。通过高密度生物膜区、强化膜水分离区并加载智能控制系统确保项目出水水质稳定达标及污水厂精准运行。该污水厂实际占地仅为 $0.067 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ 。仅用时 30 d 即完成项目的设计、施工和调试,出水 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、SS 分别为 13.07、1.47、0.26、2.83 mg/L, 优于一级 A 标准。该项目运行电耗 $0.203 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。除磷混凝剂采用 PAC, 投加的 Al 与去除的 TP 的物质的量之比为 2.1。直接运行费用 0.168 元/ m^3 。BioFIMag[®] 工艺具有极省占地、处理高效、超快实施、经济节约、管理简便等优势,适用于新建污水处理项目的实施。

关键词: 纯膜 MBBR; 生物膜; 一级 A 标准

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0071-05

Application of BioFIMag[®] Process Based on Pure MBBR in New Wastewater Treatment Plant

PENG Ming¹, ZHOU Jia-zhong², HAN Wen-jie², CHEN Hong¹, YIN Jian-wen²,
GUAN Chuang², WU Di²

(1. Zhaoqing Zhaoshui Sewage Treatment Co. Ltd., Zhaoqing 526060, China; 2. Qingdao Spring Water Treatment Co. Ltd., Qingdao 266555, China)

Abstract: The design treatment capacity of an wastewater treatment plant (WWTP) in Zhaoqing is $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the effluent water quality is required to meet the first level A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The application of BioFIMag[®] process based on pure MBBR solved the problems of limited footprint and short construction period of the project. Through high-density biofilm area, enhanced biofilm water separation area and loading an intelligent control system, the effluent quality always could meet the discharge standard, and accurate operation of the WWTP was realized. After the implementation of the project, the actual footprint of the WWTP was only $0.067 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$. It took only 30 days to complete the design, construction and commissioning of the project. The concentrations of COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TP and SS in the effluent were 13.07 mg/L, 1.47 mg/L, 0.26 mg/L and 2.83 mg/L, respectively, which were better than those of first level A standard. The power consumption of the project was $0.203 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$. PAC

was used as coagulant for phosphorus removal, and the molar ratio of Al and the removed TP was 2.1. The direct operational cost was 0.168 yuan/m³. The BioFIMag[®] process has the advantages of extremely small footprint, efficient treatment, ultra fast implementation, economic saving and simple management, which is suitable for the implementation of new wastewater treatment projects.

Key words: pure MBBR; biofilm; first level A standard

1 项目简介

广东省肇庆市某城区在污水管网改造后,污水处理量大幅度升高,但面临污水处理厂进水容纳能力不足的问题,从而使得约有 3×10^4 m³/d 的污水无法进行有效处理,亟需新建污水处理厂,以实现污水达标排放。该污水处理厂位于肇庆市某污水处理厂厂内预留地,占地面积为 2 000 m²,设计污水处理规模为 3×10^4 m³/d,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准,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

mg · L⁻¹

项目	COD	SS	NH ₄ ⁺ - N	TP
进水	250	200	30	4.0
出水	50	10	5(8)	0.5

本项目主要面临以下困难:①实施周期短。为保障废水能得到及时有效的处理,该项目需要在 60 d 之内完成设计、施工和通水达标,实施时间较短。②占地受限。该项目所提供的建设用地(见图 1)仅为 2 000 m²(100 m × 20 m),且呈狭长区间分布,不仅需要将所有工艺构筑物布置于此,还需进行合理的平面布置。③工艺运行稳定性要求高。虽然本项目核心污染物指标仅需达到一级 A 标准,但由于实施周期短和占地受限,故对工艺稳定性要求更高。



图 1 污水厂用地红线

Fig.1 Red line of land for WWT

针对本项目特点,确定了工艺选取的基本原则:

① 采用一体化快速拼接方案:针对工期紧张、实施周期短的难点,在项目施工过程中应尽量减少或不进行土建施工,所以核心工艺构筑物应采用一体化拼接方案。通过设备的提前预制,可在施工现场直接进行拼接安装,从而减少施工时间。如成都某污水处理工程采用一次成型的快速拼接罐技术,从项目设计到通水仅用时 50 d^[1]。可见,一体化快速拼接技术可以有效减少施工周期,在要求快速实施的污水处理项目建设中应用较为广泛。

② 采用无需活性污泥生化处理方案:针对占地紧张的难点,所选工艺流程需简短且核心功能单元具备高效紧凑的特点。目前,MBR、MBBR 等工艺从运行上都能够满足,但是从占地上考虑仍难以达到本项目要求。如天津某污水厂生化段采用泥膜复合 MBBR 工艺,仅生化池吨水占地就达到了 0.141 m²/(m³ · d⁻¹)^[2],超过本项目占地指标,无法采用。对于 MBR 工艺,其吨水占地范围为 0.59 ~ 1.20 m²/(m³ · d⁻¹)^[3],亦超出了本项目占地要求。所以,对于生化工艺,核心是:a. 去掉二沉池并提高生化系统的处理负荷;b. 缩短沉淀流程,强化 TP 和 SS 的去除。

③ 针对工艺运行的特点,所选工艺应采用先进的现代化技术手段,以实现自动化控制和管理,从而降低运行费用,做到技术可靠且经济合理。

综上所述,所选工艺需突破传统的技术框架,并结合项目的实际问题针对性地选取特定的工艺路线。在传统 MBR 或泥膜复合 MBBR 工艺的基础上寻找新的思路,通过优化工艺设计和流程,进一步提高其处理效能。所以,本项目拟采用 BioFIMag[®] 工艺,以达到预期目标。

2 BioFIMag[®] 工艺

2.1 工艺简介

BioFIMag[®]是集生化、物化于一体的污水集约型处理工艺,可在单一系统内实现 NH₄⁺ - N、TN、COD、BOD₅、TP、SS 的集成处理,分为高密度生物膜

区(B段)和强化膜水分离区(M段)以及智能控制系统(FI)。

高密度生物膜区(B段):通过向生化系统内投加悬浮载体,使微生物主要以生物膜形式附着于悬浮载体上,通过高效富集功能菌种,达到强化去除污染物的目的。系统不富集活性污泥,且无需进行污泥回流,所以可不设置二沉池,从而完全节省了二沉池的占地;此外,由于悬浮载体填充率高且对功能菌的富集能力强、生物膜活性强,所以B段处理负荷更高,其占地远低于传统活性污泥法。对于氮素、易生物降解有机物可以实现稳定去除。

强化膜水分离区(M段):M段是针对B段出水腐殖污泥的特性而设立的强化磁混凝沉淀技术。其作用是替代传统工艺中的二沉池和深度处理的两段沉淀流程,以一段沉淀工艺保障出水SS和TP的稳定达标,并进一步降低难降解有机物的浓度。由于M段内可形成悬浮固体浓度为3~5 g/L的高浓度混凝区,配合混凝剂、助凝剂可迅速且充分捕捉进水SS、新絮体等微小颗粒物,保障污染物在短时间内被快速去除,使出水更清澈。故M段对进水SS抗冲击能力较强,药剂利用率高。同时,M段针对脱落生物膜EPS高、易内源反硝化的特点,采用超短HRT强化混凝沉淀技术,各快速混合区停留时间<5 min,出水可直接排放至消毒池。

智能控制系统(FI):该系统在自控系统的基础上通过叠加人工智能技术实现了对BioFIMag[®]工艺的优化控制。将污水处理工艺和运行的经验技术,结合物联网、大数据、云计算、人工智能等技术,把专家经验应用到现场的日常运营和管理中,实现污水厂工艺运行由自控化向智能化发展,使污水厂由依靠人工经验判断的粗放式运行转向通过人工智能技术实现的精确智能化控制运行,保证出水水质稳定达标并实现节能降耗的目标。

2.2 工艺特点与技术经济指标

BioFIMag[®]技术属于典型的高效节地型工艺。相比传统活性污泥法,水线可最大节约80%占地,系统不再设置二沉池,将传统工艺的泥水分离与深度处理功能集成为一段沉淀;相比曝气生物滤池(Biological Aerated Filter, BAF)工艺,虽然均采用生物膜工艺,但BioFIMag[®]工艺不需要反冲洗,且对进水SS容忍度高,原水碳源损失小;相比传统纯膜MBBR工艺,优化了膜水分离技术,缩减了工艺流

程,且对SS和TP能达到极限处理要求;相比MBR技术,运行费用更低。具体优势为:

① **极省占地:**系统总停留时间<7 h,水线吨水占地<0.15 m²/(m³·d⁻¹),对于新建污水厂,最大可节约80%的用地,对于已有污水厂,最高可提量5倍。

② **处理高效:**出水水质指标可达到或优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A标准。

③ **超快实施:**系统既可以采用传统污水厂土建方式实施,也可采用模块化设计及安装,集成度高;若采用模块化方式,整体设计、制造、安装、调试周期<45 d,适用于污水处理项目短时间内建成投运。

④ **经济节约:**当采用模块化方式时,系统吨水投资≤2 000元,是常规全土建方式的40%~60%,可极大降低一次性投资费用,直接运行费用≤0.3元/m³。

⑤ **管理简便:**该技术抗冲击负荷能力强,能够短时耐受最高2倍负荷冲击,对SS耐受值短时最高为设计值的3倍;工艺流程短,运行维护简单,系统可靠性高,通过集成智能控制系统,实时掌握并分析污水厂运行现状,实现智能控制及稳定运行。

BioFIMag[®]工艺广泛适用于:a. 集约型污水处理厂的新建,如全地下污水厂,占地仅有传统污水厂20%~50%的情形;b. 已有污水厂的大规模提标提量;c. 无二沉池类的生化工艺的改建,如SBR、MBR工艺等;d. 应急污水厂的建设;e. 其他类别,如一体化设备建设、工业水处理、微污染水、雨水处理以及河道的旁位处理等。

3 工艺设计

3.1 工艺流程

根据项目实际情况并结合BioFIMag[®]工艺的特点,本污水处理厂采用“粗格栅/进水提升泵房→细格栅→旋流沉砂池/集水池→BioFIMag[®]→消毒”工艺。

具体工艺流程见图2。

除粗格栅和提升泵房利旧外,其余工艺段均为新建。预处理段主要完成大尺寸的漂浮物、悬浮物以及砂砾的去除。BioFIMag[®]工艺可保障出水水质稳定达标,剩余污泥经过污泥储池后排入现厂区内的污泥脱水系统进行无害化处理。

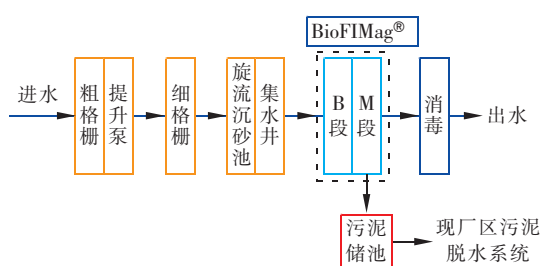


图2 污水厂处理工艺流程

Fig. 2 Process flow chart of the WWTP

3.2 主要构筑物及设计参数

① 预处理系统

新建预处理系统包含细格栅、旋流沉砂池和集水井,均采用钢混结构。其中细格栅共设2台,采用回转式格栅。栅宽1300 mm,安装角度 70° ,栅条间隙为5 mm,过栅流速为0.85 m/s。渠道宽1.4 m,高2.0 m,排渣高度0.8 m。采用无轴式螺旋输送机输送栅渣,输送机流量 $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$,功率2.2 kW。

旋流沉砂器规格 $\varnothing 2430 \text{ mm} \times 3700 \text{ mm}$,共设2套。采用气提法排砂,鼓风机风量为 $1.79 \text{ m}^3/\text{min}$,风压39.9 kPa,功率2.2 kW。砂水分离器处理量12~20 L/s,功率0.37 kW。集水井内设3台提升泵(2用1备),单台流量 $625 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程100 kPa,功率30 kW。

② BioFIMag®系统

B段共新建4组生物池,总占地为 450 m^2 。在每个生物池中均投加SPR型悬浮载体。B段水力停留时间为1.99 h,去除容积负荷 $\geq 0.3 \text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。池内设曝气系统和进出水拦截系统,保证悬浮载体生物膜流化良好且不随水流失。设计DO为 $2 \sim 5 \text{ mg/L}$,共设3台磁浮风机(2用1备),单台风量 $60 \text{ m}^3/\text{min}$,风压65 kPa,功率90 kW,设计气水比低于5.8。B段工艺构筑物采用利浦罐形式制作,其优点是简单、方便、快捷,易于安装和拆卸。

M段共新建2组强化混凝沉淀区,单套设计水量为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用集装箱式一体化设备,总占地 320 m^2 。反应系统箱体规格 $12.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 3.1 \text{ m}$,共计2个箱体,单个箱体内含混合池 $3.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 3.1 \text{ m}$,1格,加载池 $3.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 3.1 \text{ m}$,1格,絮凝反应池 $3.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 3.1 \text{ m}$,1格。混合池、加载池、絮凝反应池均采用立式搅拌器。污泥回流泵和剩余污泥泵均设5台,单台流量均为30

m^3/h 。沉淀池箱体规格为 $13 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 3.1 \text{ m}$,共计4个箱体。沉淀区采用斜管沉淀,斜管斜长1 m,孔径80 mm,安装倾角 60° ,共安装 140 m^2 。经过M段处理后,可进一步保证COD、TP、SS达标排放。

4 运行效果及经济分析

4.1 运行效果

该污水厂工程实施后的平面布置如图3所示,项目仅用时30 d即完成建设及调试任务,进水量达到设计值($3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。



图3 污水厂实施后的平面布置

Fig. 3 Plane layout of WWTP after implementation

图4展示了应用于该项目的人工智能可视化界面控制系统。目前,该系统已可以实现对各工艺段及设备的运行状况的及时了解、及时排错,确保系统安全、稳定运行,以及对月均、日均和实时水质数据进行图形化展示并进行环比对比分析,为运行人员提供决策基础。



图4 可视化的界面控制系统

Fig. 4 Visual interface control system

该污水厂实际进、出水水质见表2。可见,项目总出水水质稳定达到一级A标准,出水COD、氨氮、TP、SS均值分别为13.07、1.47、0.26、2.83 mg/L。由于B段出水无二沉池,并且B段会脱落一部分生物膜,导致B段出水SS相对较高,由此导致以SS形式存在的COD、TP指标较高。但是经过M段后,通过强化混凝沉淀,强化了SS的去除,使各指标稳定达标。

表2 污水厂实际运行效果

Tab. 2 Actual operation effect of the WWTP

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TP	SS
实际进水	96.68	13.20	1.86	57.81
B段出水	59.22	1.50	1.58	60.78
实际出水	13.07	1.47	0.26	2.83

4.2 经济分析

本项目经济性指标分析如下:

① 占地

该污水处理项目总占地 $0.067 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$, 仅为《城市污水处理工程项目建设标准》(建标[2001]77号) $1.65 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ 的最低要求的4%。实际吨水占地约为常规污水处理厂的10%~25%^[4-5], 极大地节约了占地。

② 能耗

该项目实际日用电量 $6100 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 核算吨水电耗 $0.203 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。按电价 $0.65 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计, 日运行电费为 $0.132 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

③ 药耗

该项目投加6%的聚合氯化铝(PAC)溶液除磷, 核算投加的Al与去除的TP的物质的量之比为2.1, 药剂费用总计 $0.036 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

综合能耗和药耗, 该污水处理项目吨水直接运行费用 $0.168 \text{ 元}/\text{m}^3$, 预估月运行费用15.12万元, 年运行费用181.44万元。

5 结语

肇庆某新建污水处理设施核心工艺采用BioFIMag®工艺, 吨水占地仅 $0.067 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$, 出水各指标均优于一级A标准, 运行费用 $0.168 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。BioFIMag®工艺不仅能够保障各水质指标稳定达到排放要求, 并且投资省、占地紧凑、高效节能、效果稳定, 结合先进的专用设备以及自控系统, 可实现污水处理设施的简便控制和无忧运行。对类似的项目实施具有极大的借鉴意义和参考价值。

参考文献:

- [1] 盛倩. 成都某应急污水处理工程一体化、模块化设计[J]. 中国给水排水, 2019, 35(24): 52-55.
SHENG Qian. Integrated and modular design of an emergency wastewater treatment project in Chengdu[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(24): 52-55 (in Chinese).

- [2] 刘强, 王泰, 沈淳, 等. MBBR工艺用于污水厂提标改造的低温运行效果[J]. 中国给水排水, 2020, 36(13): 7-13.
LIU Qiang, WANG Tai, SHEN Bo, et al. Operation effect of MBBR applied in upgrading and reconstruction of a wastewater treatment plant in Tianjin at low temperature[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(13): 7-13 (in Chinese).
[3] 王维红, 董星辽, 刘倩倩, 等. 乌鲁木齐市居民小区生活污水再生利用经济性分析[J]. 净水技术, 2020, 39(1): 124-129, 158.
WANG Weihong, DONG Xingliao, LIU Qianqian, et al. Economic analysis of wastewater reclamation and reuse for residential area in Urumqi City[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(1): 124-129, 158 (in Chinese).
[4] 滕良方, 吴迪, 郑志佳, 等. 某污水厂Bardenpho-MBBR准IV类水提标改造分析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(11): 33-39.
TENG Liangfang, WU Di, ZHENG Zhijia, et al. Upgrading and reconstruction to meet quasi class IV standard of surface water by Bardenpho-MBBR in a wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(11): 33-39 (in Chinese).
[5] 孙子惠, 王静, 魏垒垒, 等. 山东省某污水处理厂升级改造设计及调试运行[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 39-42.
SUN Zihui, WANG Jing, WEI Leilei, et al. Design and commissioning operation of upgrading and retrofitting project in a wastewater treatment plant in Shandong[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(4): 39-42 (in Chinese).

作者简介: 彭明(1984-), 男, 广东梅州人, 硕士, 工程师, 主要从事污水处理设施设备的投资建设、运营管理及工艺技术研究工作, 曾获得首批广东省“最美企业环境管理员”称号。

E-mail: 418470757@qq.com

收稿日期: 2020-08-04

修回日期: 2020-10-29

(编辑: 孔红春)