

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.04.018

IMABR技术用于市政污水处理厂提标改造

张信武¹, 杨思聪¹, 廖文兵², 耿春茂¹, 林媚妮², 陈来友²

(1. 广东科清环境技术有限公司, 广东 惠州 516007; 2. 惠州水务集团碧源环境科技有限公司, 广东 惠州 516003)

摘要: 某市政污水处理厂出水水质需由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准提升至一级A标准,针对来水水质、水量特点及出水标准要求,采用重离子微孔膜曝气生物膜反应器(IMABR)技术将原生物接触氧化工艺改造为AAO耦合IMABR的泥膜共生污水处理工艺。实际运行结果表明,改造后工艺运行稳定,处理水量得到提高,出水水质达到设计要求。

关键词: 重离子微孔膜曝气生物膜反应器; 提标改造; 生物接触氧化工艺

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)04-0109-04

Application of IMABR Technology in Municipal WWTP Upgrading

ZHANG Xin-wu¹, YANG Si-cong¹, LIAO Wen-bing², GENG Chun-mao¹,
LIN Mei-ni², CHEN Lai-you²

(1. Guangdong Keping Environmental Technology Co. Ltd., Huizhou 516007, China; 2. Huizhou Water Group Biyuan Environmental Technology Co. Ltd., Huizhou 516003, China)

Abstract: The effluent quality of a municipal wastewater treatment plant (WWTP) needs to be upgraded from the first level B to level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). According to the characteristics of the influent quality and quantity, as well as the effluent requirements, IMABR technology is adopted to transform the original biological contact oxidation into AAO-coupled IMABR with symbiotic sludge and membrane. The operational results demonstrate stable performance and increased quantity of the modified treatment process with effluent quality meeting the design requirements.

Key words: IMABR; upgrading; biological contact oxidation process

城镇生活污水主要包括厕所粪尿、洗衣洗澡水、厨房等家庭排水以及商业、医院等排水^[1],含有大量有机物、氮和磷等污染物,如得不到有效处理,易对周边环境造成严重污染。氮和磷排放引起的水体富营养化受到普遍关注,其中水体氮素污染治理与排放管控尤为困难,因此,研究并推广低耗、高效的脱氮工艺乃大势所趋。

近年来,随着材料科学的迅速发展,一种新型可透气膜材料与生物膜结合已用于实际污水处理,即

曝气生物膜反应器(MABR)^[2]。与传统生物脱氮工艺相比,MABR在运行能耗、脱氮效率等方面具有显著优势^[3]。MABR常用的膜材料形式包括有机中空纤维膜、螺旋管式硅胶膜、重离子微孔管式膜等。其中重离子微孔膜也称核孔膜,是高分子薄膜经加速器重离子束流辐照后,再经化学蚀刻处理制备的一种优质微孔膜。而重离子微孔管式膜是采用重离子微孔膜内外复合无纱布作为支撑层,通过螺旋卷焊而成。广东某污水处理厂提标改造工程采用重离子

微孔管式膜组装的膜曝气生物膜反应器(IMABR)组件作为核心工艺设备,在传统AAO工艺基础上构建活性污泥与生物膜共生的生化处理系统,充分发挥其减碳脱氮除磷效果,实现了污水处理厂提质增效。

1 污水处理厂概况

该污水处理厂位于广东省惠州市某镇,主要处理镇街管网收集的市政污水。设计处理规模为2 000 m³/d,核心生化工艺为生物接触氧化。生物接触氧化池与沉砂池合建,沉砂池尺寸为4 m×3 m×3.8 m,池底为锥形,设抽砂泵1台。生物接触氧化池为7池串联,单池尺寸均为12 m×4 m×3.8 m,HRT=13 h,设1台37 kW的罗茨风机曝气,池内均布固定式生物巢填料。将接触氧化池分成若干个单元池,每个单元池生长适合水质的微生物,由于微生物在生物巢表面形成了具有一定厚度的生物膜,可以实

现同步厌氧、兼氧及好氧处理,在降解有机污染物的同时进行硝化和反硝化,在单一系统内达到脱氮除磷的效果。后端另有尺寸为12 m×3.0 m×3.8 m的混凝沉淀池。

该厂于2013年建成投产运行,因设备设施年久失修,实际处理能力为800 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)的一级B标准。

设计进、出水水质见表1。

表1 改造前设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality before renovation

renovation						mg·L ⁻¹
项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水	≤250	≤130	≤150	≤25	≤30	≤5.0
排放标准	≤60	≤20	≤20	≤8	≤20	≤1.0

工艺流程见图1。

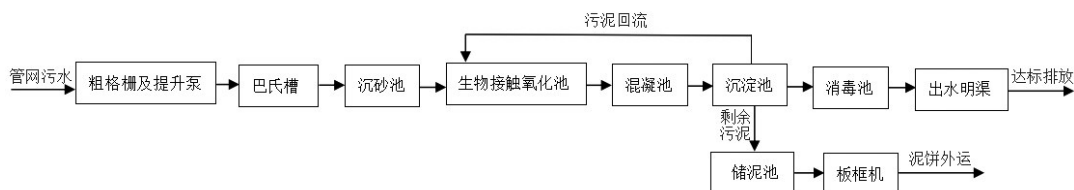


图1 改造前污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process before renovation

原生化系统中生物填料选型及设置均不合理,曝气设备效能低、能耗高,沉淀池排泥效果差且效率低,因设备设施年久失修,实际处理能力不足设计能力的1/2,已无法承受当前管网收纳污水量。原设计对来水水质波动性考虑不够,实际进水氨氮与总氮较高,而碳源不足,达不到脱氮效率要求。随着环保要求进一步提高,其出水水质已不能满足更高的出水标准,亟需选择合适的处理工艺进行提标改造,在恢复设计处理能力的同时,满足水质提标的需求。

2 提标改造的实施

2.1 改造思路

本次改造的任务是选择合适的工艺提高污水

处理系统的脱氮除磷功能,在原池体改造,不额外新增构筑物,节省改造费用,缩短改造工期。核心思路是对原生化池进行重新分区,采用AAO耦合IMABR工艺,取代原生物接触氧化工艺,末端新增二沉池与混凝沉淀深度处理。

改造后设计进、出水水质见表2。

表2 改造后设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality after renovation

renovation						mg·L ⁻¹
项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水	≤250	≤130	≤150	≤35	≤45	≤5.0
排放标准	≤40	≤10	≤10	≤5	≤15	≤0.5

改造后污水处理工艺流程见图2。

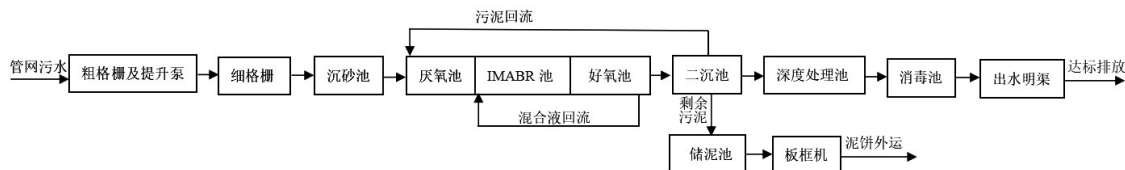


图2 改造后污水处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of wastewater treatment process after renovation

IMABR是一种依靠膜曝气供氧和提供载体的具有同步硝化反硝化功能的生物膜反应器。空气中的氧气通过膜管管壁的膜孔扩散到膜管外表面附着的生物膜。由于IMABR存在特殊的曝气模式和传氧机制,生物膜会产生明显的分层。该生物膜可大致分为3个功能层,即好氧层、缺氧层、厌氧层,这就意味着在MABR中会有同步硝化反硝化(SND)作用发生^[4-5]。生物膜内层硝化菌为优势菌,好氧硝化作用为主导,发生有机物与氨氮等的氧化反应。生物膜外层反硝化菌为优势菌,缺氧反硝化为主导,发生有机物消耗和硝酸盐/亚硝酸盐转化为氮气逸出系统^[6]。因此,IMABR膜组件设置在缺氧池,与前端厌氧池和后端好氧曝气池组合成改良的AAO工艺系统,悬浮活性污泥系统与生物膜系统相辅相成。该工艺系统中硝化反应发生在好氧曝气段,也发生在缺氧段IMABR生物膜内。IMABR技术具有无泡曝气、底物氧气异向传质、氧利用率高、污泥产生量少以及运行管理方便等特点,是处理高需氧量废水、脱氮等的更新替代工艺^[7]。

2.2 改造内容

① 增设细格栅1台,栅距2 mm,进一步拦截小粒径悬浮物与漂浮垃圾等,作为IMABR膜池前端保障。

② 清理原生物接触氧化池填料,利用现有池型,分隔为厌氧池、IMABR池、好氧池、二沉池及混凝沉淀深度处理池。

③ 从原曝气空气管接出支管,作为IMABR膜组件的供气管路,提供运行膜组充氧和底部吹扫的空气,增设好氧池组件供气管路及曝气器。

④ 在好氧池末端增设硝化液回流泵和管路作为硝化液回流系统。

⑤ 原池后端改建二沉池和污泥池,用于污泥回流以及剩余污泥排放。

⑥ 原池后端改建混凝反应池与斜管沉淀池作为深度处理系统,进一步去除TP和SS。

2.3 工艺设计

① 生化池。厌氧池平面尺寸4.2 m×4.0 m×3.8 m,水力停留时间(HRT)=0.68 h;IMABR膜池(缺氧池)平面尺寸18 m×4.0 m×3.8 m,HRT=2.85 h;好氧池平面尺寸40 m×4.0 m×3.8 m,HRT=6.15 h。生化池设计污泥浓度3 000 mg/L,污泥负荷0.10 kgBOD₅/(kgMLSS·d),污泥外回流比50%~

100%,污泥混合液回流比100%~300%。

② IMABR膜组。膜组设在缺氧池,共6套,由重离子管式膜组成,材质为PET,重离子微孔膜有效长度1.0 m,外径6 mm,壁厚0.5 mm;单位面积理论充氧能力为0.6~1.5 kg/h,单个IMABR膜组件膜面积约120 m²,单个膜组供气量为2~5 m³/h。

③ 二沉池和深度处理系统。二沉池采用斜管沉淀池,1池2格,平面尺寸为6.0 m×8.0 m×3.8 m,表面水力负荷为1.75 m³/(m²·h);混凝反应池共3座,单池平面尺寸为2.0 m×1.5 m×3.8 m;深度处理斜管沉淀池平面尺寸为12 m×3.0 m×3.8 m,表面水力负荷为2.33 m³/(m²·h)。

3 调试运行效果及经济分析

3.1 调试情况

IMABR主体工艺调试运行大致分为3个阶段:初始投加污泥(0~10 d)、生物膜形成(11~20 d)、生物膜成熟(21~30 d)。调试期间水温为18~24℃,前期好氧池DO控制在2.0~4.0 mg/L,MABR主体工艺稳定后DO调整为1.5~2.5 mg/L。该工艺对COD与NH₃-N去除效果良好,稳定达到一级A标准;经过对聚合氯化铝铁的选型试验、投加量优化及调整终沉池布水管提高沉淀效率后,生物除磷+化学除磷工艺出水TP很快实现稳定达标;前期主要依靠活性污泥在缺氧池反硝化去除总氮,在调试3周后,IMABR膜管上生物膜基本挂膜成熟,开始将内回流比由300%逐渐降至150%,1个月后TN稳定达标,且TN去除率高达80%。与同样回流比的AAO工艺相比,IMABR工艺的TN去除率明显提高。

3.2 运行效果

该提标改造工程于2022年12月底完成,2023年1月初开始调试及试运行。2023年5月5日—11日连续7 d对进、出水水质进行监测(见表3),结果表明,出水水质均稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准与广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准中较严值,其中NH₃-N与TN去除率分别达到99.8%和80%,在同样的内回流比条件下(150%),IMABR脱氮效率高于常规AAO工艺,说明IMABR同步硝化反硝化的效果明显。该污水处理厂于2023年5月底通过自主环保验收,开始持续稳定达标运行。

表3 改造后进、出水水质平均值

Tab.3 Average influent and effluent quality after

renovation

mg·L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水平均	112	50.4	62	32.3	38.8	2.95
出水平均	12.2	2.15	4.5	0.05	7.78	0.32

2023年5月该污水处理厂平均处理水量为1 600 m³/d,生化系统污泥负荷为0.04 kgBOD₅/(kgMLSS·d),MLSS为2 500 mg/L,污泥龄(SRT)为16.6 d,HRT为12.1 h,内回流比为150%,外回流比为50%。

3.3 经济分析

本次提标改造在原生生化池内实施,不新增构筑物,设备尽可能利旧,减少投资费用,改造投资强度仅为1 100元/m³。改造前,该污水处理厂实际处理能力仅为800 m³/d;改造后,不仅出水水质提升,处理能力也恢复为2 000 m³/d。以2023年5月的生产运行数据为例进行说明。改造前电费为0.60元/m³,改造后为0.40元/m³。因来水浓度低,C/N远小于5,为保证总氮去除效果,改造后碳源成本增加0.10元/m³;但由于改造后生化除磷效果提高,除磷剂投加成本减少0.06元/m³,总的药剂成本仅增加0.04元/m³。因此,改造后电耗与药耗两项直接运行费用较改造前已降低0.16元/m³。若管网来水达到满负荷处理水量,运行成本将会进一步降低。

4 结语

① IMABR技术兼具常规生物接触氧化与AAO工艺的特点,在缺氧池内泥膜共生,实现了同步硝化反硝化,脱氮效果好,而且运行成本低。该技术适宜在低C/N比生活污水处理中推广应用。

② 根据来水水质及现状工艺存在问题,在污水处理厂原有生化池内采用AAO耦合IMABR的工艺对原生物接触氧化工艺进行改造,各污染物指标在提高出水标准的基础上均能稳定达标,而且处理能力也得到提升,实现了设计预期目标。

参考文献:

- [1] 程婷,陈晨,胡大华,等.曝气调节-水解酸化-生物接触氧化工艺处理城镇生活污水[J].环境工程,2011(S1):423-425.
CHENG Ting, CHEN Chen, HU Dahua, et al. Aerated adjustment-hydrolytic acidification-biological contact

oxidation process for the treatment of municipal domestic sewage[J]. Environmental Engineering, 2011(S1):423-425(in Chinese).

- [2] MALOVANYYY A, YANG J J, TRELA J, et al. Combination of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor and partial nitrification/anammox moving bed biofilm reactor (MBBR) for municipal wastewater treatment [J]. Bioresource Technology, 2015 (180): 144-153.
- [3] JETTEN M S M, WAGNER M, FUERST J, et al. Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation('anammox') process[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2001,12(3):283-288.
- [4] 陈晶,王冠平,石伟,等.单级MABR纯生物膜法处理市政污水的应用研究[J].中国给水排水,2022,38(11):74-78.
CHEN Jing, WANG Guanping, SHI Wei, et al. Application of single stage MABR pure biofilm for the treatment of municipal wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2022,38(11):74-78(in Chinese).
- [5] TERATA A, ITO J, MATSUMOTO S, et al. Fibrous support stabilizes nitrification performance of a membrane-aerated biofilm: the effect of liquid flow perturbation [J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 2009,42(8):607-615.
- [6] 李保安,田海龙,李浩.膜曝气生物膜反应器微生物膜结构研究进展[J].膜科学与技术,2013,33(6):1-5,12.
LI Bao'an, TIAN Hailong, LI Hao. Current research progress on the biofilm in MABR: a review [J]. Membrane Science and Technology, 2013,33(6):1-5,12(in Chinese).
- [7] 张杨,李庭刚,强志民,等.膜曝气生物膜反应器研究进展[J].环境科学学报,2011,31(6):1133-1143.
ZHANG Yang, LI Tinggang, QIANG Zhimin, et al. Current research progress on the membrane-aerated biofilm reactor (MABR): a review [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011,31(6):1133-1143(in Chinese).

作者简介:张信武(1982-),男,湖南桃江人,本科,高级工程师,主要从事水污染治理技术研究工作。

E-mail:xinwu112@163.com

收稿日期:2023-08-05

修回日期:2023-10-16

(编辑:衣春敏)