



文章栏目：工程创新与行业动态

DOI 10.12030/j.cjee.202010039

中图分类号 X703

文献标识码 A

李艳, 崔娇娇, 王仁德, 等. MBBR 工艺在吴忠市第三污水处理厂扩建工程中的应用及运行效果[J]. 环境工程学报, 2021, 15(10): 3437-3442.

LI Yan, CUI Jiaojiao, WANG Rende, et al. Application and performance of MBBR process of No.3 Sewage Treatment Plant expansion project in Wuzhong city, China[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(10): 3437-3442.

# MBBR 工艺在吴忠市第三污水处理厂扩建工程中的应用及运行效果

李艳<sup>1</sup>, 崔娇娇<sup>1,✉</sup>, 王仁德<sup>2</sup>, 霍学军<sup>1</sup>

1. 银川市规划建筑设计研究院有限公司, 银川 750001

2. 宁夏环保集团有限责任公司, 银川 750001

第一作者: 李艳(1985—), 女, 硕士, 高级工程师。研究方向: 给水和排水工程设计。E-mail: 403569635@qq.com

✉通信作者: 崔娇娇(1981—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 市政给水排水工程设计。E-mail: 15685291@qq.com

**摘要** 以宁夏回族自治区吴忠市第三污水处理厂扩建工程为案例, 探讨和验证了 MBBR 工艺的应用效果。该扩建工程设计规模为  $3 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , 采用“MBBR+沉淀+滤布滤池处理”组合工艺, 尾水采用次氯酸钠消毒, 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。该扩建工程建成运行后, 进行了运行模式的实际运行数据分析。结果表明, 扩建工程设计中所采用的工艺流程适当, 主要构筑物参数合理, 达到了预期设计要求。

**关键词** 污水处理; MBBR 工艺; 工艺设计; 运行数据

城市污水活性污泥处理工艺的发展经历了漫长的发展过程, 从开始的传统活性污泥工艺, 发展到序批式活性污泥工艺及其衍生工艺 (SBR、ICEAS、CASS、DAT-IAT、UNITANK、MSBR), 以及改良的活性污泥法 (A-B 法、氧化沟)<sup>[1]</sup>。目前, 业界提出了多种以活性污泥法为基础的、具有不同优良性能特点和功能的新工艺, 如同步硝化-反硝化 (SND)、氨厌氧氧化 (ANAMMOX)、短程硝化-反硝化、移动床生物膜反应器 (MBBR)、膜生物反应器 (MBR) 等工艺<sup>[2-3]</sup>。

随着国家对环境保护要求的不断提高, 对城市污水处理厂出水水质 (尤其是氮和磷含量) 的要求也越来越严格<sup>[4]</sup>, 污水处理工艺也相应发生变化, 由应用较多的改良活性污泥工艺转变为 MBBR<sup>[5]</sup> 和 MBR 工艺。孙逊等<sup>[6]</sup> 在山东济宁市采用 MBBR 工艺进行强化脱氮除磷中试实验, 获得了成功, 为污水处理厂改造提供了重要参考。该 MBBR 工艺不仅在无锡芦村污水处理厂升级改造中得到了全面认可<sup>[7-8]</sup>, 而且在青岛市李村河污水处理厂<sup>[9]</sup>、团岛污水处理厂<sup>[10]</sup> 升级改造中均得到采用。这些实例表明, MBBR 工艺不仅可以显著提高污水处理系统的硝化能力, 而且均具有一定的抗冲击负荷能力; 尤其在冬季低温时对氨氮有较高的去除效果, 可以保证氨氮的稳定达标<sup>[8]</sup>。

2017 年以前, 宁夏回族自治区现有污水处理厂大部分采用改良的活性污泥法, 出水水质大都

执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的一级B或二级标准。根据《水污染防治计划》和《宁夏回族自治区城镇污水处理及再生利用设施建设“十三五”规划》,“十三五”期间,必须对未达到一级A排放标准的污水处理设施进行提标改造,并要求新建污水处理厂出水水质全部执行一级A标准。2015—2016年,宁夏回族自治区采用MBBR工艺进行提标改造的污水处理厂主要有吴忠市第一、第二、第三污水处理厂,石嘴山市第一污水处理厂,中卫市城市污水处理厂,西吉县污水处理厂等。上述污水处理厂自改造完成后,出水水质均已稳定达到一级A标准。

本文以吴忠市第三污水处理厂扩建工程为案例,探讨和验证了MBBR工艺的应用效果。从设计水质出发,探讨了工艺流程及主要构筑物参数的合理确定问题,并总结分析了该工程的主要设计特点及运行效果,以期对相关地区城市污水处理厂提标改造及扩建工程提供参考。

## 1 工程及工艺流程概况

吴忠市第三污水处理厂现有处理规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ,采用百乐克工艺,出水水质执行一级B标准。2015年采用MBBR工艺进行提标改造,出水执行一级A标准,目前稳定运行。本次扩建工程设计规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ,扩建完成后该污水处理厂总处理规模达到 $5 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。扩建工程设计出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的一级A标准,采用“MBBR+沉淀+滤布滤池”组合工艺,尾水经消毒后部分回用,其余尾水达标排放。

根据吴忠市第三污水处理厂多年运行中的实际进水水质,确定本扩建工程的进水水质设计值如表1所示,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的一级A标准。

根据进水水质设计值和出水排放标准,本扩建工程所采用的污水处理工艺不仅具有去除有机污染物和悬浮固体的效果,重点还应具有同步脱氮除磷的功能。吴忠市第三污水处理厂多年实际运行数据表明,COD和 $\text{BOD}_5$ 一直稳定达标,氨氮、总氮及总磷出水浓度波动较大。因此,本扩建工程与多数污水处理厂面临的问题一样,即主要解决氮磷稳定达标排放问题<sup>[1]</sup>。由于该污水处理厂进水总氮较高,C/N比较低,反硝化缺乏碳源,故考虑外加碳源,并加大缺氧区容积,以保证总氮稳定达标。总磷去除率目标确定为91.7%,此目标仅依生化法是很难达到的,因此,需要采用以生化法为主、化学法为辅的方式来保证达到出水要求。通过设置滤布滤池,一方面可实现悬浮物的稳定达标,另一方面也可保障出水COD和总磷达标。综上所述,确定污水处理工艺流程见图1。

表1 设计进水与出水水质指标

Table 1 Designed influent and effluent quality  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

进水或出水	COD	$\text{BOD}_5$	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
进水	550	230	300	45	65	6
出水	$\leq 50$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 5(8)$	$\leq 15$	$\leq 0.5$

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

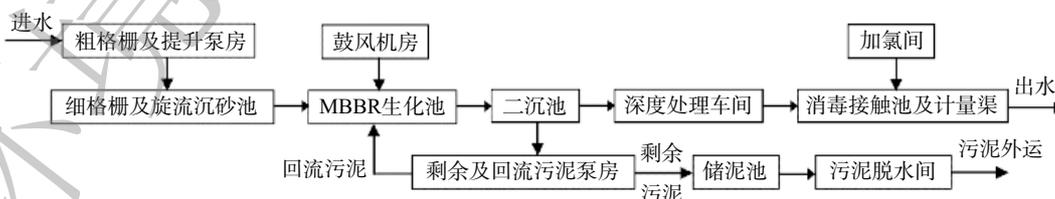


图1 污水处理工艺流程图

Fig. 1 Flow chart of the sewage treatment process

## 2 主要构筑物设计和工程特点

### 2.1 MBBR反应池设计特点

MBBR反应池是整个污水处理厂的核心构筑物,其运行情况直接影响污水处理厂的出水水

质。MBBR 工艺以悬浮填料为微生物提供生长载体，通过悬浮填料的充分流化，实现污水的高效处理<sup>[1]</sup>。该工艺充分汲取了生物接触氧化及生物流化床的优点，克服了其传质效率低、处理效率差、流化动力高等缺点。本扩建工程将 MBBR 与 A<sup>2</sup>O 相结合，工艺运行方式集生物膜工艺和活性污泥工艺的优点于一体。设置 MBBR 反应池 1 座 2 组，采用钢筋混凝土结构。单池有效容积 11 437 m<sup>3</sup>，总平面长、宽、高(净尺寸)分别为 95.5、44.5、6.3 m，超高 0.8 m。池容划分为厌氧区、缺氧区和好氧区(投加填料)分别为 1.8、8.3 和 8.8 h。设计参数见表 2，池型见图 2 和图 3。

表 2 MBBR 池设计参数  
Table 2 Design parameters of the MBBR unit

需硝化的氮/ (mg·L <sup>-1</sup> )	需反硝化的氮/ (mg·L <sup>-1</sup> )	有效水深/ m	污泥浓度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	总回流比	气量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	好氧区有效 生物膜面积/m <sup>2</sup>	总停留 时间/h
48.5	38.5	5.7	4 000	250%~400%	12 028	1.54×10 <sup>6</sup>	18.9

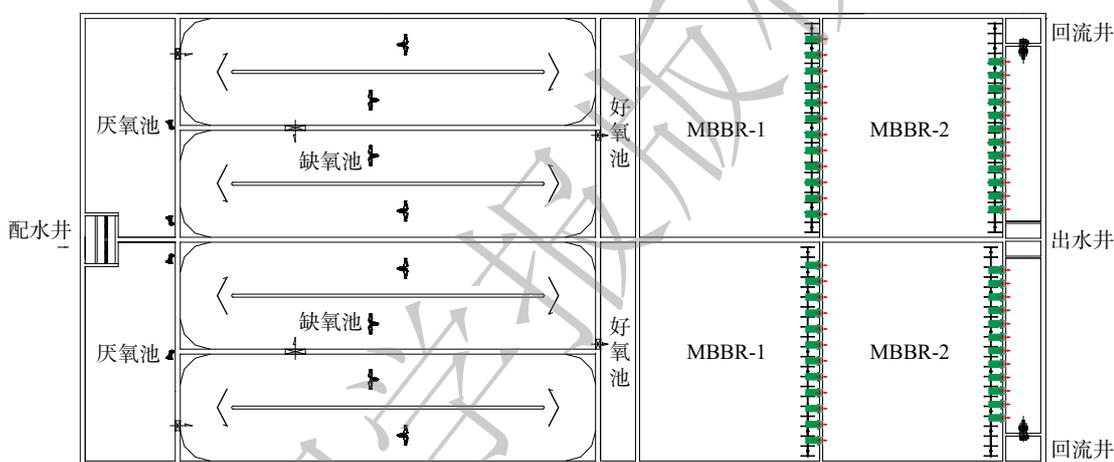


图 2 MBBR 池平面图

Fig. 2 Floor plan of the MBBR unit

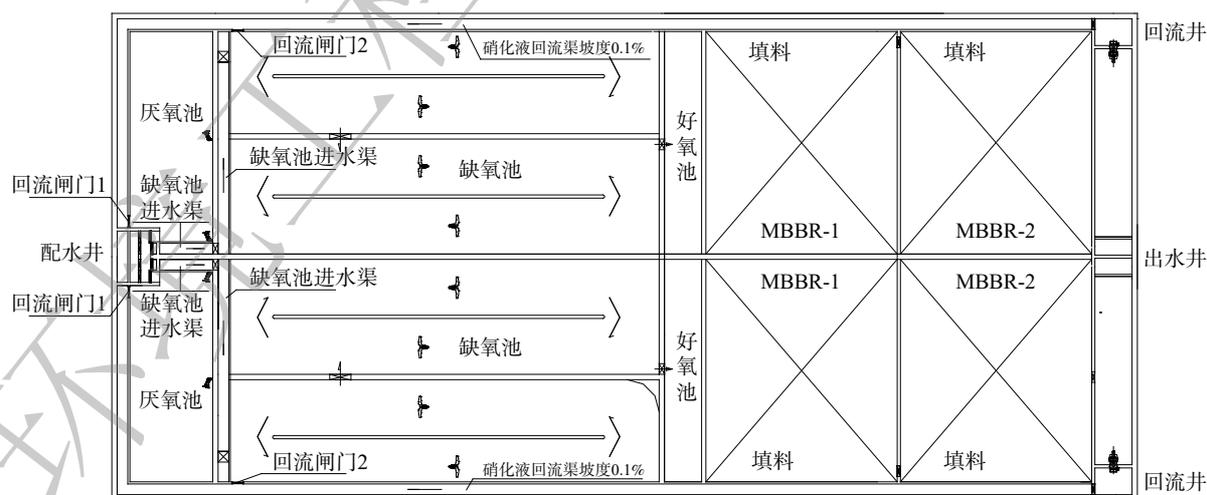


图 3 MBBR 池进水点及回流点分布图

Fig. 3 Distribution of inlet and reflow points of the MBBR unit

根据进水水质情况及出水水质要求，TN 去除率需达 77%。为此，缺氧区停留时间设计为 8.3 h。好氧区的池容与缺氧池基本相同。在好氧区内投加生物悬浮填料，填料规格为：直径 25 mm，厚

度 10 mm, 比表面积  $620 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ 。填料填充率为 22%; 设计污泥负荷 (以单位 MLSS 所含  $\text{BOD}_5$  计) 为  $0.07 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ ; 硝化液回流比为 250%~400%; 污泥回流比为 50%~100%。

本扩建工程生化池设计参考 UCT 工艺在污水处理工程设计中的应用<sup>[12]</sup>, 借鉴郭姣等<sup>[13]</sup>关于进水方式与比例对 UCT 工艺脱氮除磷效果的影响的研究结果, 即外回流 100%、内回流 200% 时, 多点进水的同时脱氮除磷效果明显优于单点进水。为此, 本工程采用多点进水、多点回流的设计。缺氧池和厌氧池均设置进水闸门, 可实现进水比例的灵活调节; 好氧池硝化液回流采用渠道回流, 分别回流至缺氧池和厌氧池, 可实现多点回流 (见图 3); 通过闸门可以灵活控制进水及回流的流量比例。

## 2.2 其他处理单元的设计参数

除了核心处理单元——MBBR 生化池, 其他均为常规工艺, 预处理为粗细格栅间、提升泵及沉砂池 (为了防止拦截桶堵塞, 细格栅采用内进水孔板细格栅), 沉淀采用中进周出辐流式沉淀池, 深度处理采用滤布滤池, 鼓风机采用空气悬浮风机 (自带变频, 调节曝气量灵活方便, 可节约能耗), 污泥脱水采用离心脱水机, 具体设计参数详见表 3。

表 3 处理单元设计参数  
Table 3 Design parameters of the treatment units

处理单元	设计参数
粗细格栅间、提升泵房及沉砂池	粗格栅 2 套, 采用回转式机械粗格栅, 栅宽 1.2 m, 栅条间隙 20 mm, 安装角度 $70^\circ$ ; 潜污泵 4 台 (3 用 1 备), 单台流量 $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , 扬程 15 m, 功率 45 kW, 变频控制; 细格栅 2 套, 采用内进水孔板细格栅, 渠道宽 1.4 m, 孔径 3 mm, 安装角度 $90^\circ$ ; 旋流沉砂池 2 座, 池内径 3.05 m, 旋流沉砂设备 2 套, 砂水分离器 1 台。
MBBR 反应池	厌氧区: 潜水搅拌机 5 台 (4 用 1 备), 叶轮直径 400 mm, 转速 $980 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 功率 4 kW; 缺氧区: 低速推流器 9 台 (8 用 1 备), 叶轮直径 2 000 mm, 转速 $42 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 功率 6.5 kW; 好氧区: 管式微孔曝气器 2 772 套, 规格: DN65、长度 1.0 m、EPDM 材质; 拦截筒 48 个, 规格: 直径 600 mm, 长度 1 200 mm、材质 SS304; 穿墙回流泵 3 台 (2 用 1 备), 规格: 流量 $520 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ , 叶轮直径 600 mm, 功率 7.5 kW。
二沉池	辐流式沉淀池 2 座, 直径 30 m, 表面负荷 $0.88 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , 有效水深为 4 m。
深度处理车间	采用滤布滤池, 平均滤速 $4.17 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ , 峰值滤速 $\leq 6.25 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ , 吸洗耗水率 $\leq 1\% \sim 3\%$ 。320 m <sup>2</sup> 过滤面积; 反冲洗系统 2 套, 反洗水泵流量 $54 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , 扬程 17 m, 功率 3.7 kW。
曝气系统	空气悬浮风机 3 台 (2 用 1 备), 变频控制, 流量 $101 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , 压力 80 kPa, 功率 190 kW。
加药系统	除磷药剂: 聚合氯化铝; 外加碳源: 乙酸钠; 消毒药剂: 次氯酸钠。
接触池及计量渠	有效容积 700 m <sup>3</sup> , 加氯量 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 不锈钢巴氏计量装置一套, 喉宽 0.5 m。
污泥处理系统	储泥池 1 座, 有效容积 250 m <sup>3</sup> , 双曲面搅拌机 1 台, 功率 2.2 kW; 离心式脱水机 2 台 (1 用 1 备), 处理能力 $25 \sim 30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , 工作时间 $24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

## 2.3 工程的设计特点

1) 本扩建工程工艺与原厂提标改造工艺保持一致, 仍采用 MBBR 工艺, 并将好氧池分为 2 段, 每段均设置拦截筒和填料投加, 根据水质水量变化情况灵活调节填料投加区域和投加比, 以保证出水稳定达标。

2) 为了减少 MBBR 池拦截筒的堵塞, 采用内进水孔板细格栅代替常用的回转式细格栅或者转鼓式格栅。

3) 采用缺氧池和厌氧池 2 处进水、2 处回流等优化措施, 实现了生物降解功能的强化, 保证了

系统运行的安全性和稳定性。

4) 设置了化学除磷和碳源投加装置, 可针对水质情况灵活选择是否投加药剂, 运行管理方便灵活, 处理效果更稳定。

### 3 工程的运行效果

吴忠市第三污水处理厂扩建工程于 2019 年 4 月建成投入使用, 运行 1 a 以来, 水量从 50% 增加至 80%, 最大日处理量达到 100%; 进水水质除 TP 外其他指标均低于设计浓度, 尤其 TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度偏低; 出水水质一直稳定达到一级 A 标准。2019 年 11 月至 2020 年 2 月整个冬季运行效果如图 4 所示, 其中水温为 10~14  $^{\circ}\text{C}$ , 水质指标为出水指标。

从整体看, 本扩建工程主要出水水质指标均稳定满足一级 A 标准要求, COD 和 TN 出水平均值分别为 34.5 和 7.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 最大值为 46.7 和 14.7  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP 去除率平均值分别为 98.4% 和 94.3%, 最大值为 1.0 和 0.5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。从图 4 可看出, 进水 TP 浓度均值为 6.3  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 超过设计最大值, 而出水全部达标, 且除磷药剂投加量极少。分析其原因, 主要是在发现进水 TN 浓度较低时调整了运行工况, 采取了以除磷为主以脱氮为辅的策略, 增加了厌氧段的硝化液回流量及缺氧段的进水量, 形成了类似倒置 A<sup>2</sup>O 的运行模式, 从而强化了脱氮除磷效果。

进水水质除 TP 外的其他指标较设计浓度低, 但整体进水指标波动不小, 而出水基本不受影响, 稳定达标, 说明 MBBR 工艺抗冲击负荷能力非常强。

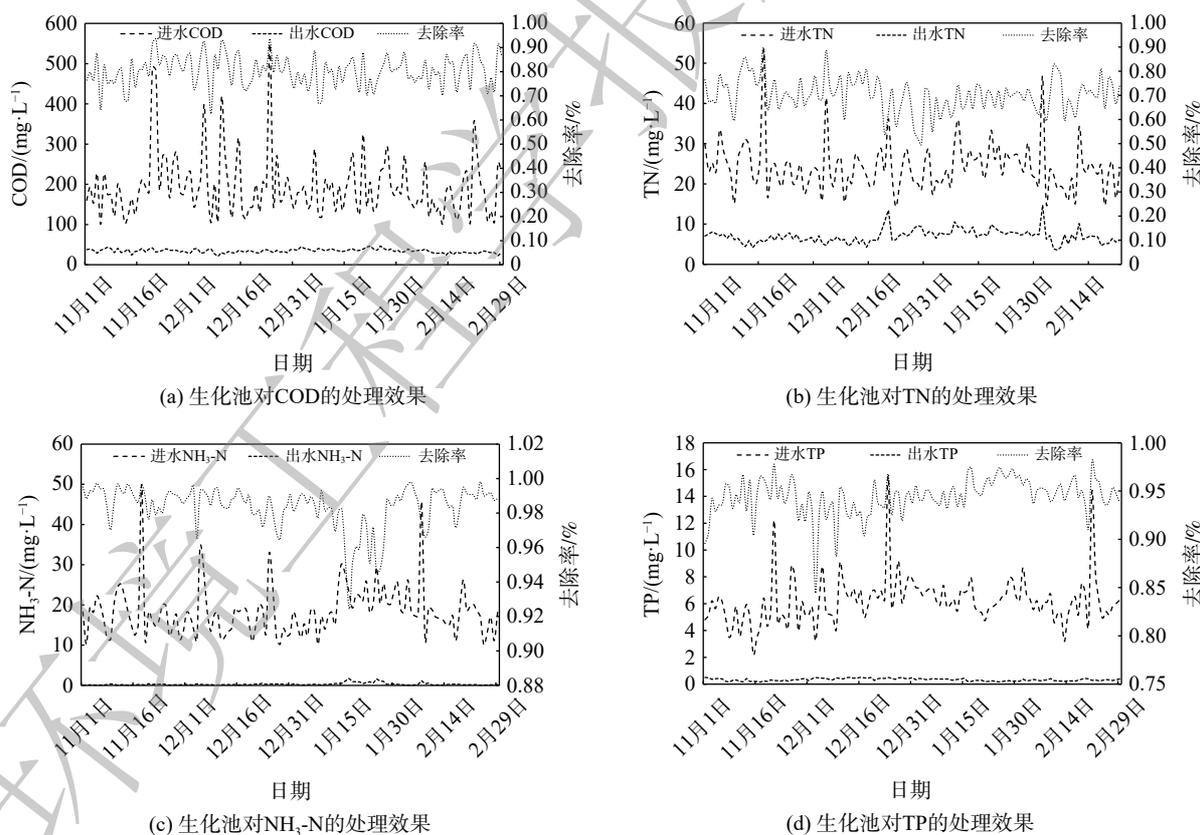


图 4 “MBBR 池+深度处理”对 COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的处理效果

Fig. 4 Effect of MBBR pool + advanced treatment on the removal of COD, TN,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP

### 4 结论

1) 本扩建工程采用内进水孔板细格栅代替常规机械格栅, 可减少 MBBR 池拦截筒的堵塞, 增

加运行的稳定性;采用空气悬浮风机,自带变频控制,可实现曝气量的灵活调节及能耗的降低。

2) UCT 工艺及其改良工艺具有灵活改变污水运行模式的特点。根据进水水质的特点,调整脱氮/除磷的主次地位,可加强生化系统的脱氮/除磷效率,且可减少外加碳源及除磷药剂的投加量。

3) 进水水质的波动对出水指标影响较小,说明 MBBR 工艺抗冲击负荷能力强。

4) MBBR 和 UCT 的结合工艺适用于生活污水处理厂。

## 参 考 文 献

- [1] 张自杰,林荣忱,金儒霖,等.排水工程[J].5版.北京:中国建筑工业出版社,2015:174-248,371-376.
- [2] 沈耀良,王宝贞.废水生物处理新技术:理论与应用[M].2版.北京:中国环境科学出版社,2006.
- [3] 刘晨阳.我国常用污水处理工艺概述[J].四川水利,2018(1):78-79.
- [4] 庄磊,黄勇.城市污水处理厂升级改造的探讨[J].工业用水与废水,2010,41(1):14-18.
- [5] 李景贤,罗麟,杨慧霞.MBBR工艺的应用现状及其研究进展[J].四川环境,2007,26(5):97-101.
- [6] 孙逊,谢新各,焦文海,等.MBBR工艺强化污水脱氮除磷中试[J].中国给水排水,2010,26(21):152-156.
- [7] 王翥田,宇振滨,宋美芹.MBBR工艺在污水处理厂升级改造中的应用[C]//2009水业高级技术论坛论文集,2009:223-227.
- [8] 王翥田,叶亮,张新彦,等.MBBR工艺用于无锡芦村污水处理厂的升级改造[J].中国给水排水,2010,26(2):71-73.
- [9] 孟涛,刘杰,杨超,等.MBBR工艺用于青岛李村河污水处理厂升级改造[J].中国给水排水,2013,29(2):59-61.
- [10] 韩萍,许斌,宋美芹,等.团岛污水厂MBBR工艺的升级改造及运行效果[J].中国给水排水,2014,30(12):110-114.
- [11] 施汉昌.污水处理厂一级A提标改造中的节能降耗技术[J].水工业市场,2014(4):32-34.
- [12] 穆亚东,俞晶,穆瑞林.UCT工艺在污水处理工程设计中的应用[J].给水排水,2007,33(3):30-33.
- [13] 郭姣,高健磊,李枫,等.进水方式与比例对UCT工艺脱氮除磷效果的影响[J].河南科学,2010,28(10):1331-1333.

(责任编辑:靳炜)

## Application and performance of MBBR process of No.3 Sewage Treatment Plant expansion project in Wuzhong city, China

LI Yan<sup>1</sup>, CUI Jiaojiao<sup>1,\*</sup>, WANG Rende<sup>2</sup>, HUO Xuejun<sup>1</sup>

1. Architecture Design and Research Institute Co., Ltd. of Yinchuan in Ningxia, Yinchuan 750001, China

2. Ningxia Environmental Protection Group Co., Ltd., Yinchuan 750001, China

\*Corresponding author, E-mail: 15685291@qq.com

**Abstract** The application effect of MBBR process is discussed and verified based on the case study in the No.3 Sewage Disposal Plant in Wuzhong city, Ningxia. The design scale of the expansion project is  $3 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . The combined process of MBBR+ precipitation + filter cloth treatment tank is adopted, the tail water is disinfected with sodium hypochlorite, and the effluent quality met the Class 1A level by the Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918-2002). After the operation of the expansion project, the analysis of the operation mode based on the operational data is carried out. Results show that the technological process adopted in the design of the expansion project is appropriate, the main structure parameters are reasonable, and the expected design requirements are met.

**Keywords** sewage treatment; MBBR process; process design; run data