

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.18.023

太原城南污水厂 MBBR 系统不停水提质增效改造

杨晓峰¹, 秦翠霞², 徐思涵³, 沈煜³

(1. 太原市城市排水管理中心, 山西 太原 030006; 2. 济宁市城市水务服务中心, 山东 济宁 272100; 3. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 太原市城南污水处理厂提标改造工程设计总规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水标准由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准提高至山西省《污水综合排放标准》(DB 14/1928—2019)。针对环保部门在改造期间污水处理厂不能停水的要求, 通过周密的施工计划组织和进度安排, 采用 MBBR 系统不停水提质增效方式进行施工。在建设期间该污水处理厂接收的污水全部得到了处理, 取得了边施工边运营的良好效果。

关键词: 大型污水处理厂; MBBR 系统; 提质增效

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)18-0125-04

Quality and Efficiency Improvement of MBBR System without Water Shutoff in Taiyuan Chengnan WWTP

YANG Xiao-feng¹, QIN Cui-xia², XU Si-han³, SHEN Yu³

(1. Taiyuan Urban Drainage Management Center, Taiyuan 030006, China; 2. Jining City Water Service Center, Jining 272100, China; 3. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The total design capacity of Taiyuan Chengnan wastewater treatment plant (WWTP) upgrading and reconstruction project is $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the effluent standard is raised from first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) to the *Comprehensive Wastewater Discharge Standard* of Shanxi Province (DB 14/1928-2019). According to the requirement of the environmental protection department that the WWTP cannot stop water supply during the reconstruction period, the MBBR system is adopted to improve the quality and efficiency without water shutoff based on careful construction organization plan and schedule. During the construction period, all the sewage received by Taiyuan Chengnan WWTP was treated, and the good effect of operation while constructing was achieved.

Key words: large wastewater treatment plant; MBBR system; quality and efficiency improvement

1 项目背景

近年来,作为山西“母亲河”的汾河污染状况越发严重。为了改善汾河的水环境质量,2018年5月山西省人民政府要求2019年底前,城镇污水处理设

施外排污水 COD、氨氮、总磷三项指标应达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的 V 类标准,简称“准 V 类”标准,即 $\text{COD} \leq 40 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_3\text{-N} \leq 2 \text{ mg/L}$, $\text{TP} \leq 0.4 \text{ mg/L}$ 。

通信作者: 沈煜 E-mail: pro_07@126.com

太原市城南污水处理厂属于本次需提标改造的污水处理厂之一。该厂建于2014年,设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,二级处理采用改良AAO工艺;深度处理采用混凝—沉淀—过滤工艺;污泥处理采用浓缩脱水后外运处置工艺;采用次氯酸钠消毒;除臭采用生物滤池工艺。目前出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。本次提标改造需要将其出水水质提升至“准V类”标准。

按照以往经验,污水处理厂提标改造通常会采用全部或部分停水的方式进行,但这会对正常的运行产生一定影响。在城南污水处理厂收水范围内,目前还没有其他污水处理厂可以进行分流。如果以降低施工期间出水水质为代价,则势必加大太原全市节能减排的负担和压力。此外,施工期间恰逢太原市承办第二届全国青年运动会,政府要求城南污水处理厂必须一直满负荷运行。综合以上各种因素,本项目必须在正常生产的情况下实施改造。

2 工艺选择

太原市城南污水处理厂的收水服务范围较大,服务面积约 78 km^2 ,服务人口70余万人,对南部排水片区内的污水处理和整个城市的污染物减排起着举足轻重的作用。厂区周围已经没有可新征用的土地来满足提标改造工程新建处理构筑物的需要,因此在工艺的选择上需要考虑在原有厂区内进行提标。

将活性污泥与生物悬浮填料的复合工艺(MBBR)与曝气生物滤池(BAF)、MBR、扩建生物处理系统等其他提质增效工艺^[1-3]进行经济技术比较后发现,除了MBR外,其他工艺均需在厂区内新建扩建构筑物,而MBR工艺需对原有系统进行原地大规模构筑物改造。由于该厂一方面已无法提供可利用的土地来新建构筑物,另一方面大规模改造会对正常生产运行造成较大影响。综合考虑该工程处理规模、设计进出水水质、投资及成本、操作管理难度及占地等多方面因素,并结合该工程构筑物布置方式,最终选择MBBR作为推荐方案。

MBBR可以方便地与原有工艺有机结合,向生物池中投加悬浮载体可显著提高有效生物量,悬浮载体流化可显著提高传质效率,具有稳定良好的脱氮效果。MBBR可以灵活地选择不同比表面积的悬

浮载体及不同悬浮载体填充率。当实际运行进水水质或水量发生变化时,只通过提高悬浮载体填充率,即可保证在原设计生物池容不变的情况下,满足提标后出水标准,达到高效处理而无需新建生物池体的要求。传统调控活性污泥系统的监测及控制方法(例如控制排泥、曝气等)均可用于复合工艺的调控,可根据系统功能、运行状况灵活调整。MBBR将流动床生物膜工艺与活性污泥工艺有机地融合于同一池中,兼有两者的优点,具有污泥龄长、占地省、出水水质好和运行稳定的特点^[4]。

3 MBBR 系统工艺设计

3.1 原有生物池改造思路

原有生物池改造示意图1。

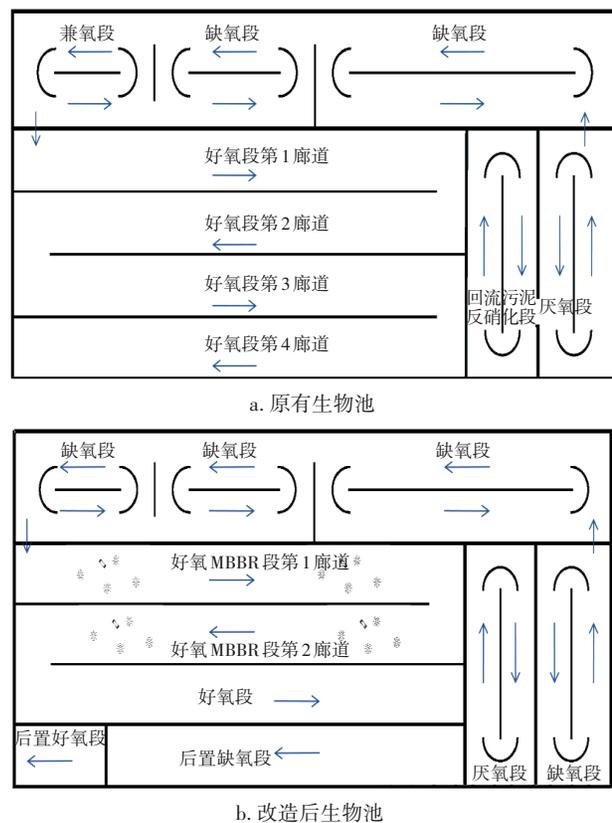


图1 原有AAO生物池改造示意

Fig.1 Schematic diagram of transformation of original AAO biological tank

在分析目前进水水质时发现,进水TN指标较原有设计值有一定升高,为了保证出水TN稳定达标,且能节约碳源投加量,在生物池改造过程中将原有AAO生物池改造为Bardenpho(五段式)生物池,并结合MBBR工艺,在好氧区中分隔出填料区,投加悬浮填料作为生物载体,增加搅拌器使填料在

其中循环往复运动。利用此泥膜共生系统来提高系统微生物量和专性细菌数量,解决目前工艺脱氮效果受停留时间限制的问题,可确保提标后出水水质稳定达到山西省《污水综合排放标准》(DB 14/1928—2019),并具备一定的抗冲击负荷能力,为未来进一步提高出水水质创造条件。

生物池改造方式如下:将原有AAO生物池的回流污泥反硝化段调整为新的厌氧段,原有厌氧段调整为新的缺氧段,原有缺氧段和兼氧段调整为新的缺氧段,原有好氧段重新划分为好氧段、后置缺氧段和后置好氧段,原好氧段第1、2、3廊道作为好氧段,原好氧段第4廊道大部分作为后置缺氧段和后置好氧段。在划分后的好氧段1、2廊道内投加悬浮填料,提高容积负荷,并设置拦截筛网、辅助流化曝气系统等设备。重新划分生物池功能区后,调整内回流点至改造后的好氧段末端。可以看出,生物池改造方案对原有的土建池体部分未做大的调整,这也为不停水的水下施工创造了条件。

3.2 生物池改造后的工艺参数

生物池改造后共4座,总设计流量 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,单池设计流量 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总有效池容 $166\,322 \text{ m}^3$,单池有效池容 $41\,581 \text{ m}^3$,有效水深 6.5 m ,总泥龄 13.9 d ,污泥负荷 $0.098 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,产泥率 $0.78 \text{ kgSS/kgBOD}_5$,污泥回流比 100% ,最大内回流比 200% ,平均剩余污泥产量 $57\,645 \text{ kg/d}$,平均流量下停留时间 19.961 h ,混合液悬浮固体浓度(MLSS)为 $4\,000 \text{ mg/L}$,填料区污泥浓度为 $10\,000 \sim 15\,000 \text{ mg/L}$,最高时需氧量 $9\,178 \text{ kgO}_2/\text{h}$ 。填料区填料填充率约为 30% 。

3.3 生物池改造后主要设备参数

① 增加悬浮填料系统

悬浮填料系统具体见表1。

表1 悬浮填料系统

Tab.1 Suspended packing system

项目	数量	备注
悬浮生物填料/ m^2	8 803 300	$\varnothing 25 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$,有效比表面积 $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$
出水填料分隔装置/套	4	$\varnothing 16 \text{ mm}$, $b=3 \text{ mm}$,SS304
粗孔曝气流化装置/套	4	
填料专用搅拌器/套	8	$N=5.5 \text{ kW}$
填料分隔装置自清洗系统/套	4	SUS304材质

② 更换内回流泵

数量:12台,8用4冷备,流量 586 L/s ,扬程 30 kPa ,轴功率 15 kW 。

③ 增加曝气头

数量:2 800个,每个供气量: $3 \sim 5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

4 MBBR系统不停水改造实施方案

针对本项目的特点和需求,对生物池的改造本着尽可能利用原有设施和土建结构的原则进行设计。在区域重新分配时,沿用原有的内部隔墙和配水设施,通过在池体上部安装回流液管道来实现内回流点的改变和原有区域属性的更新,避免了隔墙的大面积重新分隔。通过重新核算,选择在适合的区域划分填料填充区,对原有设施改变程度较小,并满足设计进出水水质要求。

MBBR改造主要集中在生物池,对现有设施的改造(以单池为例)主要有如下工程内容:

① 在原有好氧池廊道1起端和廊道2末端增设填料拦网。

② 在原有好氧池廊道1和廊道2西侧共用隔墙开过水洞2个。

③ 在原有好氧池廊道1和廊道2之间空气管廊上部新增空气管,两座廊道的东侧和西侧新增6套曝气盘管,其中东侧为2套微孔曝气和2套穿孔曝气盘管,西侧为4套微孔曝气和2套穿孔曝气盘管,原回流泵拆除。

④ 在原有好氧池廊道东侧安装新增内回流泵及配套内回流管路管件,与内回流管交叉的池顶走廊增加过管钢梯。

⑤ 在原有好氧池廊道内安装6台水下推流器,在后置缺氧区安装2台潜水搅拌机。

⑥ 在原有好氧池廊道1和廊道2内投加悬浮填料。

⑦ 原有兼氧段和好氧池廊道4内回流泵前部分曝气盘管停气。

该项目实施面临诸多难点,如:厂内施工用地不足、改造工期不足 50 d 、改造期间正值雨季处理负荷增加等。为了配合本项目的顺利实施,参建各方确定了MBBR系统不停水改造的水下施工方案。根据现场勘察及作业经验,安排潜水员在水下进行施工作业,采用水下切割、水下焊接、水下安装等水下施工措施。在生物池正常运行状态下完成了上述①~⑦的工作程序,在不影响原有生产的基础上进

行提标改造。不停水改造能够有效缩短改造工期,多组生化池可以在正常运行的情况下同时进行工艺改造。城南污水处理厂如果采用停水改造,改造工期约为160 d,而不停水改造的工期仅约30 d。

本工程共4组生物池,在保证处理总量 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的前提下,逐组生物池依次实施改造。为节省调试时间,可先将悬浮填料提前进行微生物挂膜驯化。挂膜初期,以游离细菌为主;挂膜中期,占优势的是固定性的钟虫、累枝虫类;生物膜成熟时,微生物种类、数量进一步增多,群落结构也趋于稳定^[5]。在连续培养一段时间后,当悬浮填料对废水中的有机物能够形成较为稳定的去除效果时,可认为微生物挂膜驯化完成。在第1组池改造完毕后,直接投加已驯化好的挂膜填料,通水后可立即提高处理能力,进一步为后续生物池顺利改造提供保障。

在本次提标改造过程中采用的工艺和不停水施工措施已经获得多项国家专利,主要有“一种基于MBBR的Bardenpho脱氮除磷装置”“一种不停水改造MBBR系统”“一种MBBR不停水改造系统的安装方法”等。这些专利技术的推广应用,可以极大地提高类似工程的实施效率和技术水平。

5 工程实施效果

近三年该厂的出水水质监测数据分析表明,提标改造后出水水质得到有效提升,各项出水指标均能够稳定达到设计标准,具体出水水质如表2所示。

表2 提标改造后出水水质指标

Tab.2 Effluent quality of the WWTP after upgrading

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

项 目	COD	BOD ₅	SS	氨氮	总氮	总磷	
出水水质	最大值	37.00	3.80	7.00	1.84	14.50	0.39
	最小值	4.00	0.70	1.00	0.08	5.80	0.01
	平均值	16.67	1.77	3.27	0.47	11.07	0.13
准V类标准	40	10	10	2	15	0.40	

6 结语

太原市城南污水处理厂提标改造工程采用MBBR系统不停水提质增效方式,实施过程中充分考虑了原有工程的实际情况,并充分挖掘原有构筑物的处理能力。通过30 d的不停水改造,在保持原有正常生产的情况下顺利完成此项工程,且运行效

果良好,达到预期目标,并于2019年通过竣工验收,该工程的顺利完成为大型污水处理厂升级改造提供了不停水条件下的新思路。

参考文献:

- [1] 郭飞. 污水处理厂升级提标改造工程设计简介[J]. 净水技术, 2014, 33(3):100-103,110.
GUO Fei. Brief introduction to the design of upgrading and reconstruction engineering for municipal wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2014, 33(3):100-103,110(in Chinese).
- [2] 吴媛媛,张彩云,曹明浩,等. 神定河污水处理厂提标改造——CAS-MBR复合工艺[J]. 净水技术, 2016, 35(4):11-15,87.
WU Yuanyuan, ZHANG Caiyun, CAO Minghao, et al. Upgrading and reconstruction of Shendinghe WWTP in application of combined process of CAS-MBR[J]. Water Purification Technology, 2016, 35(4):11-15,87(in Chinese).
- [3] 陆君. 长兴岛污水处理厂提标改造工程工艺比选与运行效果[J]. 净水技术, 2018, 37(6):95-98,103.
LU Jun. Process selection and operation effect of upgrading and reconstruction project for Changxingdao wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(6):95-98,103(in Chinese).
- [4] ZHAO Y, LIU D, HUANG W, et al. Insights into biofilm carriers for biological wastewater treatment processes: current state-of-the-art, challenges, and opportunities [J]. Bioresource Technology, 2019, 288: 121619.
- [5] 崔震,金腊华,严泽敏. 分层MBBR处理合成氨废水的生物膜驯化试验研究[J]. 工业用水与废水, 2013, 44(1):24-27.
CUI Zhen, JIN Lahua, YAN Zemin. Experimental study on biofilm domestication for layered MBBR treating synthetic ammonia wastewater [J]. Industrial Water & Wastewater, 2013, 44(1):24-27(in Chinese).

作者简介:杨晓峰(1966—),男,山西祁县人,大学本科,高级经济师,主任,长期从事城市排水和污水处理管理及相关政策研究工作。

E-mail:pro_07@126.com

收稿日期:2022-03-20

修回日期:2022-08-05

(编辑:衣春敏)