

MSBR + 微絮凝过滤组合工艺在城市再生水厂的应用

王文明, 宋凤鸣, 尹振文, 左 锋, 郭建德, 杨淇棕, 陈博儒, 陈 琼
(湖南先导洋湖再生水有限公司, 湖南 长沙 410208)

摘 要: 洋湖再生水厂(二期)工程设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水主要作为洋湖湿地景观水体补水, 其主要指标需达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 准IV类水质 ($\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$)。主工艺采用 MSBR + 微絮凝过滤组合工艺。主要介绍工艺流程、设计参数、运行过程及实际运行情况。运行结果表明, 该组合工艺具有占地面积小、进水碳源利用率高、脱氮除磷效果好和节能节药等优点, 出水各项指标均达到设计要求, 是一种可广泛用于城市再生水厂的先进技术方案。

关键词: MSBR; 微絮凝过滤; 脱氮除磷; 再生水厂

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)18-0102-06

Application of a Combined Process of MSBR and Micro-flocculation Filtration in Urban Reclaimed Wastewater Treatment Plant

WANG Wen-ming, SONG Feng-ming, YIN Zhen-wen, ZUO Feng, GUO Jian-de,
YANG Qi-liang, CHEN Bo-ru, CHEN Qiong
(Hunan Pilot Yanghu Reclaimed Water Co. Ltd., Changsha 410208, China)

Abstract: The design capacity of phase II project of Yanghu reclaimed wastewater treatment plant is $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The effluent is mainly used as supplement for Yanghu wetland landscape water body, thus the main water quality indicators ($\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$) have to meet level IV criteria in *Environmental Quality Standard for Surface Water* (GB 3838 - 2002). The process flow, main design parameters, operation process and actual operation conditions of the combined process including MSBR and micro-flocculation filtration were introduced in this paper. The results demonstrated that the effluent quality could meet the requirements of design purpose and the combined process had the advantages of small footprint, high utilization rate of influent carbon source, high removal efficiency of nitrogen and phosphorus, energy saving and medicine saving. Consequently, the designed process could be widely used as an advanced technology solution for urban reclaimed wastewater treatment plant.

Key words: MSBR; micro-flocculation filtration; nitrogen and phosphorus removal; reclaimed wastewater treatment plant

当前全国较多省市均制订了比《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 更严格的地方标准^[1-2], 主要指标需达到《地表水环境质

量标准》(GB 3838—2002) 准IV类水质标准 ($\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$), 对出水 COD、SS、TN、TP 等指标提出了更高要求。与此同时, 我国水资源十分匮乏, 污水再生

利用成为缓解城市水资源供需矛盾和实现水资源可持续利用的重要途径^[3-5]。因此有必要研究探讨具有节地、节能和节约等特点的污水脱氮除磷深度处理组合工艺技术路线。

1 工程概况

洋湖再生水厂(二期)工程位于长沙市岳麓区洋湖大道以南、靳江河以东的洋湖湿地公园科教区内,纳污范围为含浦、洋湖和大王山三个片区,纳污面积约45.74 km²,规划服务人口约50万人。二期工程紧邻其一期工程南侧建设,设计规模为8×10⁴ m³/d($K_z=1.3$),总投资约2.29亿元,净占地面积约3 hm²,出水作为洋湖湿地景观水体补水和经次氯酸钠消毒后作为洋湖生态新城道路清扫、绿化浇灌、冲厕等城市杂用水。目前全部作为洋湖湿地景观水体补水。

2 工程设计

2.1 工艺流程

洋湖再生水厂进水具有浓度不高、波动大、碳源不足等特点,且占地面积有限,对此,二期工程选择具有节省占地、高效利用进水碳源的MSBR和具有过滤、反硝化脱氮双重功能的微絮凝过滤的组合工艺。

污水主要经过预处理、MSBR 二级生化、微絮凝过滤和紫外消毒四个环节。预处理包括粗格栅、细

格栅、旋流沉砂池等设施。配套设施包括鼓风机、污泥脱水、加药和除臭等。

工艺流程见图1。

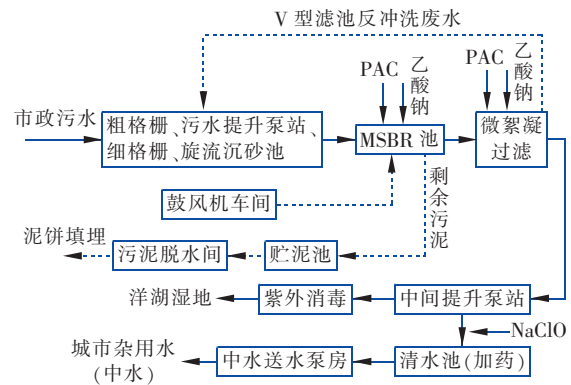


图1 二期工程工艺流程

Fig.1 Wastewater treatment process of phase II project

2.2 设计进、出水水质

洋湖再生水厂(二期)工程设计进、出水水质见表1。由表1可知,设计进水水质符合我国中南部城市进水水质特点,设计出水主要水质指标执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)准Ⅳ类水质标准($TN \leq 10$ mg/L),设计10单元格MSBR 二级生化池出水BOD₅、COD、NH₃-N和TN四个指标达到总出水水质标准,微絮凝过滤出水水质全部达到设计出水水质标准。

表1 二期工程设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of phase II project

项 目	COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	粪大肠菌群/ (个 · L ⁻¹)
进水	250	120	220	30	40	3.0	—
MSBR池出水	≤30	≤6	≤20	≤1.5	≤10	≤1	—
总出水	≤30	≤6	≤5	≤1.5	≤10	≤0.3	1 000

2.3 主要处理单元及设计参数

① 预处理

粗格栅、细格栅和旋流沉砂池均设2格,且2格并联运行。粗格栅采用间隙15 mm的回转式格栅清污机,安装倾角75°。细格栅采用间隙3 mm的孔板式除污机,配套2台中压冲洗泵和2台高压冲洗泵。旋流沉砂池直径4.87 m,最大水深4.56 m,最大流量表面负荷为116.3 m³/(m² · h),最小停留时间为63.01 s。采用气提的方式将沉砂抽送至砂水分离器。

② MSBR生化池

MSBR为多单元改良式序批间歇反应器,综合了A²/O、SBR等工艺的优点,具有占地面积小、土建造价低、脱氮除磷效果好等特点^[6-8]。为适应低C/N比污水处理需求和更高的TN排放标准,在广泛应用的7单元格MSBR基础上增加了1A[#]、5A[#]和7A[#]三个单元进而优化设计为10单元格MSBR,其中1[#]和7[#]为SBR序批单元、1A[#]和7A[#]为缺氧/好氧反应单元、2[#]为泥水分离单元(浓缩单元)、3[#]为预缺氧单元、4[#]为厌氧单元、5[#]和5A[#]为缺氧单元、6[#]为主曝气好氧单元。

10单元格MSBR平面布置见图2。

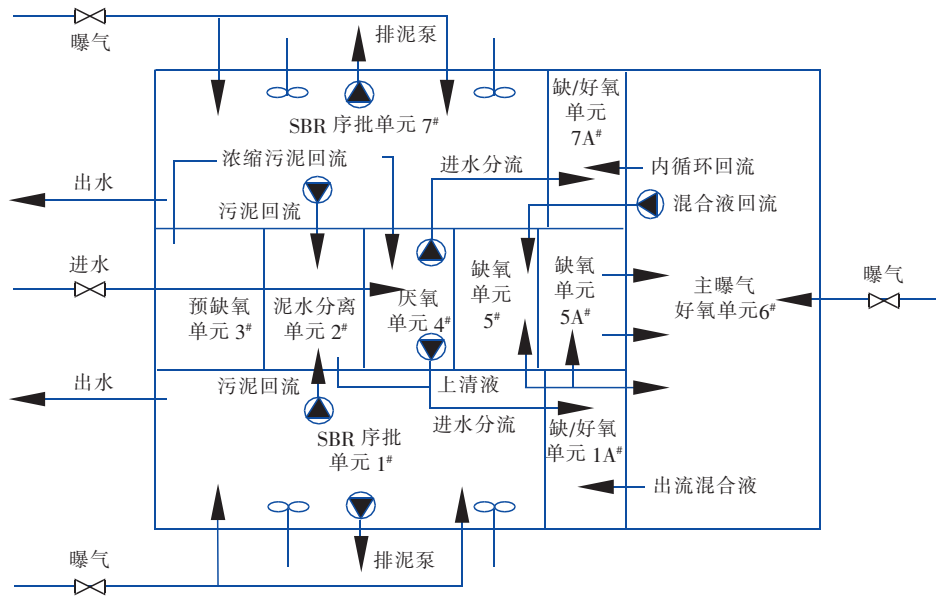


图2 10单元格MSBR平面布置

Fig. 2 Plane layout of ten-unit MSBR

二期工程设计2座10单元格MSBR池。设计参数见表2。单座处理能力为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,有效容积为 $32\,000 \text{ m}^3$,水力停留时间为 19.2 h ,设计污泥浓度 $3\,500 \text{ mg/L}$,污泥负荷 $0.043 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLVSS} \cdot \text{d})$,污泥龄 19.82 d ,产泥率 0.4 kgDS/kgBOD_5 。

表2 10单元格MSBR主要设计参数

Tab. 2 Main design parameters of ten-unit MSBR

单元格	长/m	宽/m	有效水深/m	HRT/h	池容/ m^3
1#	46.9	18	6	3.04	5 065.2
1A#	12	18	6	0.78	1 296
2#	5	18	8	0.30	502.7
3#	5	18	8	0.43	720
4#	14	18	8	1.34	2 228.4
5#	17	18	8	1.47	2 448
5A#	17	18	8	1.47	2 448
6#	54.8	33	6	6.51	10 850.4
7#	46.9	18	6	3.04	5 065.2
7A#	12	18	6	0.78	1 296

③ 微絮凝过滤

微絮凝过滤单元由混合池和Denifor V[®]深度脱氮V型滤池组成,采用一体化建筑结构可有效节约占地面积。混合池是碳源和除磷药剂投加位置,有效容积为 169 m^3 ,水力停留时间为 2.34 min 。Denifor V[®]深度脱氮V型滤池由6座双格滤池组成,每格滤池尺寸为 $13.23 \text{ m} \times 3.68 \text{ m}$,正常滤速为

7.42 m/h ,当1座滤池反冲洗时强制滤速为 8.9 m/h ;采用黏土烧结球形陶瓷颗粒生物滤料,粒径为 2.5 mm 、厚度为 1.8 m ;承托层采用砾石,厚为 0.3 m ;下层砾石粒径为 $18 \sim 25 \text{ mm}$ 、厚为 0.2 m ;上层砾石粒径为 $9 \sim 18 \text{ mm}$ 、厚为 0.1 m ;设计配套3台流量为 $980 \text{ m}^3/\text{h}$ 的反冲洗水泵和3台空气流量为 $4\,736 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 的反冲洗风机(均为2用1备)。

④ 加药、污泥及臭气处理

加药包括PAC化学除磷药剂投加系统和乙酸钠碳源投加系统,设计药剂投加点包括MSBR池生化池和微絮凝过滤单元混合池。污泥处理采用贮泥池和离心脱水工艺,MSBR生化池排放剩余污泥含水率约 99% ,脱水后污泥含水率 $<80\%$;贮泥池总有效容积为 176 m^3 ,设计分为2格;卧式螺旋离心浓缩脱水机2台(1用1备),单台处理能力为 $30 \text{ m}^3/\text{h}$;配套污泥切割机、螺杆泵和PAM投加装置等。设生物除臭装置1套,处理能力为 $25\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,配套2台风量为 $25\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的离心风机(1用1备)。

2.4 主工艺运行过程

① MSBR生化池

MSBR序批单元1#或7#的一个运转周期分成6个时段(见表3),时段1、2、4、5一般设置为 30 min ,时段3、6一般设置为 60 min ,一个运转周期总时间为 240 min ,包括由时段1~3和4~6组成的上下半周期。在上下半周期,单元1#和7#、1A#和7A#工作

状态一一对应,交替运行;在上半周期时段1~3,单元1[#]依次处于搅拌、曝气、预沉状态,单元7[#]处于沉淀出水状态,单元1A[#]依次处于搅拌、搅拌、曝气状态,单元7A[#]处于曝气状态,下半周期时段4~6各

单元工作状态和对应单元相同。其他单元工作状态与广泛应用的7[#]单元格MSBR相同单元完全一样,单元2[#]处于泥水分离浓缩状态,单元3[#]、4[#]、5[#](5A[#])处于搅拌状态,单元6[#]处于持续曝气状态。

表3 10单元格MSBR各单元各时段的工作状态

Tab.3 Operation status of different time periods for ten-unit MSBR

状态	单元1 [#]	单元1A [#]	单元2 [#]	单元3 [#]	单元4 [#]	单元5 [#] /5A [#]	单元6 [#]	单元7 [#]	单元7A [#]
时段1	搅拌	搅拌	浓缩	搅拌	搅拌	搅拌	曝气	沉淀	曝气
时段2	曝气	搅拌	浓缩	搅拌	搅拌	搅拌	曝气	沉淀	曝气
时段3	预沉	曝气	浓缩	搅拌	搅拌	搅拌	曝气	沉淀	曝气
时段4	沉淀	曝气	浓缩	搅拌	搅拌	搅拌	曝气	搅拌	搅拌
时段5	沉淀	曝气	浓缩	搅拌	搅拌	搅拌	曝气	曝气	搅拌
时段6	沉淀	曝气	浓缩	搅拌	搅拌	搅拌	曝气	预沉	曝气

MSBR的回流包括混合液回流和污泥回流。混合液回流是指单元6[#]的混合液经泵提升后通过回流渠输送至单元5[#],再由单元5[#]推流至单元5A[#]和单元6[#],经此周而复始连续运行,单元5[#]和5A[#]较7[#]单元格MSBR单元5[#]延长了约1倍的缺氧水力停留时间,且混合液回流比由100%~150%提升到约350%,从而提升反硝化脱氮效果。污泥回流是指序批单元1[#]或7[#]处于搅拌、曝气反应状态时,单元1[#]或7[#]的污泥通过泵提升至单元2[#],污泥回流比约150%,在单元2[#]发生泥水分离后,上清液流至单元5[#]、5A[#]或6[#],沉淀浓缩污泥进入单元3[#]发生内源缺氧反硝化,将硝态氮浓度降至1.0~2.5 mg/L后经泵提升进入单元4[#]与进入污水混合高效释磷,单元3[#]至单元4[#]的浓缩污泥回流比约50%。为进一步增强MSBR的反硝化脱氮效果和提高进水碳源利用率,还设计了单元4[#]至单元1A[#]、7A[#]的进水分流功能,为单元1A[#]、7A[#]缺氧反硝化脱氮补充碳源,从而进一步提高对TN的去除效果和降低乙酸钠外碳源的投加量,进水碳源分流比约10%。

② 微絮凝过滤

微絮凝过滤单元Denifor V[®]深度脱氮V型滤池有运行过滤和反冲洗两种工作状态。当MSBR出水TN≤10 mg/L时,V型滤池主要起过滤作用,去除SS和TP;当MSBR池出水TN>10 mg/L时,一般需要投加外碳源乙酸钠,使V型滤池处于缺氧状态并在生物滤料表面生长生物膜,起到反硝化脱氮和过滤双重作用,去除TN、SS和TP。运行过滤时,V型滤池处于恒水位等速下向流过滤运行状态,进水依次通过配水总渠、每座滤池进水闸门、V型槽、生物滤料、承托层、长柄滤头、集水槽、出水总渠和出水总

堰,最后自流进入中间提升泵站。

运行过滤一定时间后,当V型滤池的压差超过设计阻塞值或过滤时间超过设定过滤周期时,V型滤池启动反冲洗程序自动进入上向流反冲洗工作状态,一般采用气水联合反冲洗提高反冲洗效果,还可以节约反冲洗用水量。反冲洗过程一般包括降低水位、形成气垫层、空气擦洗、气水联合冲洗、单独水洗漂洗、气水联合冲洗、单独水洗和预过滤熟化八个过程,全程约30~40 min,一般全程伴有表面扫洗。此外,还要设置一定的脱氮周期以驱除滤池反硝化产生的氮气,避免影响滤池正常的过滤。

3 运行效果及经济分析

2018年8月,洋湖再生水厂(二期)完成工艺调试,实现出水稳定达标排放,进入试运行。2018年11月1日—14日,二期工程连续两周的进、出水主要水质数据如图3所示。由图3可见,进水具有浓度不高、变化大、碳源不足和C/N低等特点,COD、TN、TP分别在100~200、15~28、1.5~2.7 mg/L之间波动,主要污染物浓度均未达到设计进水水质(见表1)。进水经MSBR处理后,COD、NH₃-N、TN、TP四个主要指标分别小于30、1.5、10和0.5 mg/L,除TP指标外其余三个水质指标均达到设计项目总出水地表准Ⅳ类水质要求。为实现TP<0.3 mg/L的设计要求,在微絮凝过滤单元混合池投加PAC化学除磷药剂,PAC平均投加浓度仅约15 mg/L,经Denifor V[®]深度脱氮V型滤池过滤后实现了TP和SS的达标排放。由于10单元格MSBR的结构创新设计,提高了进水碳源利用率和生物脱氮除磷效果,目前运行中暂未投加乙酸钠和PAC药剂,微絮凝过滤单元也仅投加PAC约15 mg/L,远未

达到设计投加量(50 mg/L), 电耗约 $0.228 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$, 仅相当于传统二级污水处理厂电耗水平。

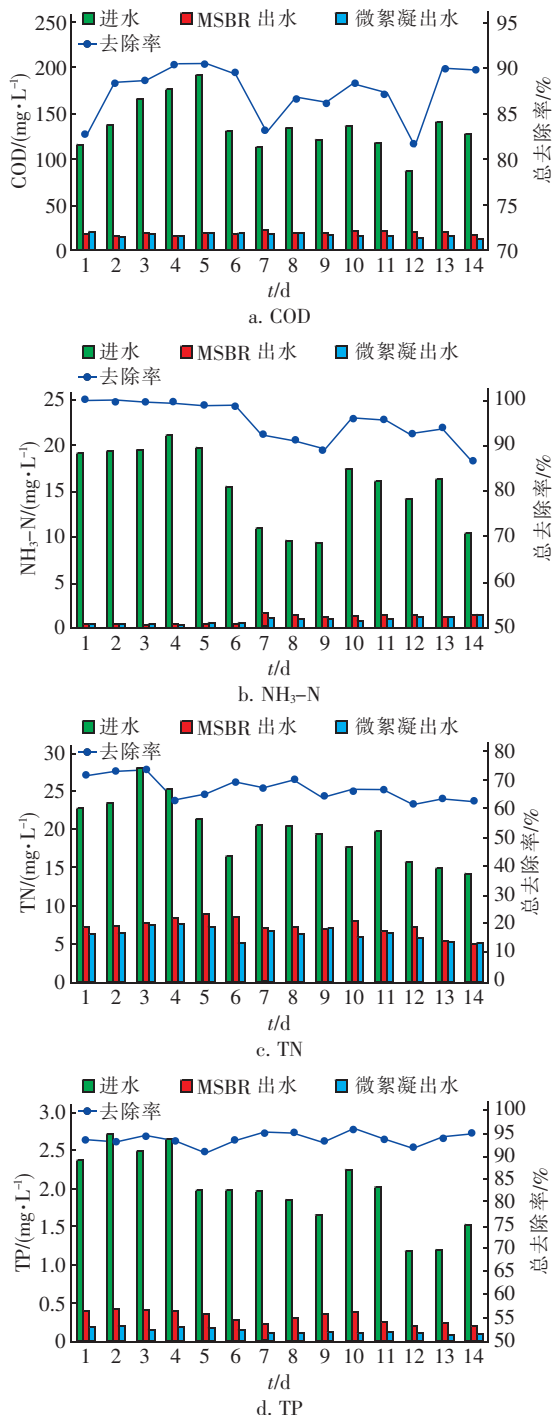


图3 二期工程运行进、出水水质

Fig.3 Main influent and effluent quality data of phase II project

4 结论

洋湖再生水厂(二期)工程自通水试运行以来,

10 单元格 MSBR 生化池运行稳定, 出水 COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 四个指标达到设计的地表准 IV 类出水水质标准($\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$), 微絮凝过滤单元混合池仅需投加少量 PAC 化学除磷药剂即可实现出水水质全部达标排放。采用的 10 单元格 MSBR + 微絮凝过滤组合工艺较好解决了我国南方低 C/N、C/P 城市污水强化脱氮除磷的问题, 并节约了占地、能耗和药耗, 可广泛应用于我国环境敏感地区和需要高品质出水的城市再生水厂工程。

参考文献:

- [1] 谢志成, 冯鸣凤, 乔婧, 等. 天津城镇污水厂排放新标准对南港工业区的影响[J]. 中国给水排水, 2017, 33(14): 40-42.
Xie Zhicheng, Feng Mingfeng, Qiao Jing, et al. Influence of the new discharge standard of municipal wastewater treatment plant in Tianjin on drainage system in Nangang Industrial Park[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14): 40-42 (in Chinese).
- [2] 何星海, 马世豪, 罗孜. 北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》解读[J]. 给水排水, 2013, 39(10): 123-127.
He Xinghai, Ma Shihao, Luo Zi. Explanation of Beijing local standard of Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants[J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(10): 123-127 (in Chinese).
- [3] 王骁, 许素, 陶文绮, 等. 再生水补水河道水质的生态修复示范工程及效能分析[J]. 环境工程学报, 2018, 12(7): 2132-2140.
Wang Xiao, Xu Su, Tao Wenqi, et al. Ecological restoration project of water quality in urban river supplied with reclaimed water and its efficiency analysis[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(7): 2132-2140 (in Chinese).
- [4] 范育鹏, 陈卫平. 北京市再生水利用生态环境效益评估[J]. 环境科学, 2014, 35(10): 4003-4008.
Fan Yupeng, Chen Weiping. Assessment of ecological environment benefits of reclaimed water reuse in Beijing[J]. Environmental Science, 2014, 35(10): 4003-4008 (in Chinese).
- [5] 李萍, 钟敏, 吴鹏举, 等. 东莞燕岭湿地景观水体富营养化的现状及机理分析[J]. 中国给水排水, 2018, 34(下转第 111 页)