

梁郡. MSBR 工艺在污水处理厂中的应用——以江苏某污水处理厂为例[J]. 净水技术, 2021, 40(4):121-126.

LIANG J. Application of MSBR process in design case of a WWTP in Jiangsu Province[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4):121-126.



扫我试试?

MSBR 工艺在污水处理厂中的应用——以江苏某污水处理厂为例

梁 郡

(同济大学建筑设计研究院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要 江苏某县因地形限制需新建污水处理厂,总规模为 10 万 m^3/d ,近期规模为 5 万 m^3/d ,出水水质需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。该厂对脱氮要求较高,且拟建地块的吨水用地指标偏低。通过工艺比选,生物处理工艺采用高度集约化的 MSBR 工艺,深度处理工艺采用滤布滤池,介绍了相关设计参数。MSBR 采用 7 池构型,设计总水力停留时间为 16.2 h,回流污泥可在泥水分离区进行脱氮。该厂实际运行后,出水水质达到设计的一级 A 标准,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度低于 1.0 mg/L,去除率为 97.9%;出水 TN 浓度为 10.98 mg/L,去除率为 65.4%。全厂吨水用地指标为 0.611 $\text{m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,低于传统生物二级处理工艺,单位处理成本为 1.28 元/ m^3 。MSBR 工艺适用于脱氮要求高和用地紧张的工程项目。

关键词 MSBR 滤布滤池 污水处理厂设计

中图分类号: TU992.3 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2021)04-0121-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.04.022

Application of MSBR Process in Design Case of a WWTP in Jiangsu Province

LIANG Jun

(Tongji Architectural Design <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract The construction of new wastewater treatment plant (WWTP) is required in Jiangsu Province because of land limit, total capacity of which is 100 000 m^3/d considering long-term operation while recent capacity is 50 000 m^3/d . Effluent water quality needs to meet first grade A standard in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment* (GB 18918—2002). The WWTP has high requirements for denitrification, and land index of proposed land is relatively low. With comparison, combined treatment process of modified sequencing batch react (MSBR)-cloth media filter is adopted, and design parameters are introduced. Taking 7-tank MBSR, design total hydraulic retention time is 16.2 h, and returned sludge can be denitrified in sludge-water separation zone. After the operation, effluent water quality can reach first grade A standard. Effluent $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration is lower than 1.0 mg/L and removal rate is 97.8%, while TN concentration is lower than 11.0 mg/L and removal rate is 59.7%. Land index of this WWTP is 0.611 $\text{m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, lower than traditional biological secondary treatment process, and unit processing cost is 1.28 yuan/ m^3 . MSBR process is suitable for high denitrification requirements in WWTPs within limited land area.

Keywords MSBR cloth media filter design of WWTP

随着经济的不断发展与人们生活水平的日益提高,用水量持续增加,相应污水处理设施的规模也在不断扩大。截至 2020 年 1 月底,全国共有 10 113

个污水处理厂核发了排污许可。据住房和城乡建设部统计,2019 年城市和县城污水处理能力超过 2.1 亿 m^3/d ^[1]。目前,全国污水处理厂中污水处理能力约 1.9 亿 m^3/d ,且出水标准达到一级 A 标准的,占比约 83%。2019 年,江苏省共有污水处理厂 828 座,产能合计 1 746 万 t/d ,其中,一级 A 及以上出水标准产能为 1 555 万 t/d 。江苏某 5 万 t/d 化工园区污

[收稿日期] 2020-10-19

[作者简介] 梁郡(1988—),女,工程师,主要从事污水处理设计工作,E-mail:286423327@qq.com。

水处理厂提标改造后,出水水质从一级 B 提升至一级 A^[2];无锡某 5 万 t/d 市政污水处理厂扩建工程采用 MSBR 工艺,达到地表水Ⅳ类的出水标准^[3]。目前,污水处理厂的核心处理工艺多采用如 AAO、氧化沟等传统工艺,往往占地面积大,吨水用地指标偏高。随着经济发展及人口增长,城市用地愈发紧张,集约的污水处理厂设计成为趋势。MSBR 工艺将 SBR 工艺与 AAO 工艺的的优点结合,生化反应速率高,脱氮除磷效果好,运行灵活,控制方便,在处理效率、占地及运行费用方面均优于传统工艺^[4]。

1 工程概况

江苏某县的生活污水及工业废水由于天然河流

造成分隔、管网输送距离较长,不适宜经收集再输送至现有的污水处理厂进行处理,需新建与之相匹配的污水处理设施。污水处理厂的远期设计规模为 10 万 m³/d,近期设计规模为 5 万 m³/d,其中,一阶段设备安装规模为 2.5 万 m³/d。

进水由生活污水和工业废水组成,其中,工业废水约占 25%。设计进水水质分别考虑生活及工业污水各自的水质特点,通过用水量权重加权平均可得。生活污水水质以参考设计手册中典型的生活污水水质为基准,考虑当地生活水平,适当下调。工业废水水质按照《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010)表 1 中最高允许值,根据水量加权平均结果,设计进水水质如表 1 所示。

表 1 设计进水水质加权平均结果
Tab. 1 Weighted Average Results of Design Influent Water Quality

进水组成	水量权重	COD _{Cr} /(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)
生活污水	0.75	300	150	200	35	40	4
工业废水	0.25	600	200	400	45	70	8
设计进水水质	1.0	≤380	≤170	≤250	≤40	≤50	≤5

出水水质满足国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》中一级 A 标准,具体设计进出水水质

指标如表 2 所示。外运污泥含水率指标低于 60%。

表 2 设计进出水水质
Tab. 2 Design Influent and Effluent Water Quality

水质指标	COD _{Cr} /(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)	pH 值	粪大肠杆菌 /(个·L ⁻¹)
设计进水水质	380	170	250	40	50	5	6~9	/
设计出水水质	50	10	10	5(8)	15	0.5	6~9	1 000
设计去除率	86.8%	94.1%	96.0%	87.5%	68.4%	90.0%	/	/

2 工艺流程

根据出水水质要求,处理工艺主要以去除污水中的 BOD₅、COD_{Cr}、TN、TP、NH₃-N、SS 等污染物为目的。目前,国内城市污水处理厂大多采用二级生化污水处理工艺及深度处理工艺,一般为活性污泥法及其变型工艺。这类工艺工程实际使用历史最长、应用最为广泛、可靠度高、运行管理经验最为丰富,部分变型工艺对 TN、TP 的去除效果较高。

2.1 核心工艺比选

本工程进水 BOD₅/COD_{Cr} = 170/380 = 0.45,可

生化性较好,可采用生物处理方法去除有机物。生物强化处理是整个污水处理工艺流程的核心,处理构筑物的水力停留时间最长,相应占地面积也最大。我国城市污水处理厂采用的二级处理核心工艺中,大部分仍然是传统活性污泥法在曝气方式、反应时间、反应池型等方面发展出的各种变型工艺,以氧化沟、AAO 和 SBR 为主。实际工程经验中,应用这几种工艺的相似规模和水质的污水处理厂的吨水用地指标如表 3 所示。根据用地红线面积计算,该污水处理厂的综合用地指标为 0.611 m²/(m³·d),低于上述几种工艺的一般用地

指标;按照《城市生活垃圾处理和给水与污水处理工程项目建设用地指标》,也属于城市污水处理厂建设用地控制面积的 IV 类低值,用地较为紧张。因此,本工程适合采用集约化、一体化程度高的生物处理工艺。

表 3 各二级处理工艺用地指标

Tab. 3 Land Use Index of Varied Secondary Treatment Processes

项目地点	工艺类型	处理规模 /($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	占地面积 / m^2	吨水用地指标 /[$\text{m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$]
山东	三沟氧化沟	70 000	64 600	0.923
河北	AAO+二沉池	60 000	70 467	1.174
江苏	AAO+二沉池	30 000	33 842	1.128
河北	改良 SBR	30 000	39 980	1.333

目前,常用的核心生物处理工艺主要为 AAO、氧化沟和 SBR 工艺。应用最多的 AAO 工艺为利用活性污泥在推流式厌氧-缺氧-好氧环境中的作用,实现有机物降解和除磷,以及混合液回流实现脱氮。推流式反应池中,底物浓度随水流呈梯度降低,其起端的反应速率高,末端的生物因已经开始内源呼吸,反应速率低,整体反应速率不高,导致反应池停留时间偏长,占地偏大。二沉池回流污泥中的硝态氮对厌氧区中聚磷菌的碳源利用有不利影响,影响除磷效果。AAO 工艺不是一体化的,其还需后接单独的三沉池完成泥水分离,常用的圆形池型二沉池难以紧凑布置,导致 AAO 工艺的整体占地较不经济。一体化工艺中较常用的是三沟式氧化沟和 SBR。三沟式氧化沟属于封闭环流式池型,利用其两侧边沟的曝气和沉淀周期性交替运行来实现生物反应和泥水分离的一体化。氧化沟是一种延时曝气活性污泥法,负荷低,曝气池的池容大,所需相关设备投资大,应用受场地、设备等限制^[5]。相较于 AAO 工艺常用的 6 m 甚至 7 m 设计水深,氧化沟的设计水深往

往不超过 4.5 m,因此,占地面积更大。SBR 即序批式活性污泥法,间歇进水,将调节池、好氧池、缺氧池及二沉池的功能集中在一个单元内,通过一体化池交替进行不同模式的运行来实现活性污泥法的整个过程,本质是将推流式池型从空间上改为时间上实施。MSBR 是连续流序批式活性污泥法新工艺(modified sequencing batch reacto),前半段类似传统 AAO 工艺,后半段为 2 组交替进行循环缺氧反硝化、好氧稳定和沉淀作用的序批池。传统 SBR 及其变形工艺采用滗水器排水,系统有相当一部分时间不在高水位运行,其反应体积的使用率降低,反应池容积没有得到充分利用,而 MSBR 系统始终保持满水位、恒水位运行,在较小的体积内可保持高的去除率^[6]。MSBR 将 SBR 工艺与 AAO 工艺的优点结合,尤其是碳源的分配利用较合理,系统的各单元为各优势菌种的生长繁殖创造了最佳的环境条件,生化反应速率高,脱氮除磷效果好,运行灵活,控制方便,在处理效率、占地及运行费用方面均优于传统工艺。

2.2 深度处理工艺比选

经过强化生物处理后,二级出水仍无法稳定达标的污染物主要为 SS 和 TP。针对以上 2 种污染物,目前较为成熟的工艺有混凝-沉淀-过滤工艺和膜工艺^[7]。对于一级 A 出水标准下的生活污水而言,膜工艺的设备费用偏高,运行成本偏贵,因此,深度处理工艺较常采用混凝-沉淀-过滤工艺。采用微孔过滤技术的滤布滤池出水 SS 稳定,设备紧凑,反洗系统简单,水损也较砂滤池大幅减小,近年来在污水处理厂中的应用越来越多。

2.3 工艺流程

本工程的二级生物处理工艺采用 MSBR,深度处理过滤工艺采用滤布滤池,工艺流程如图 1 所示。

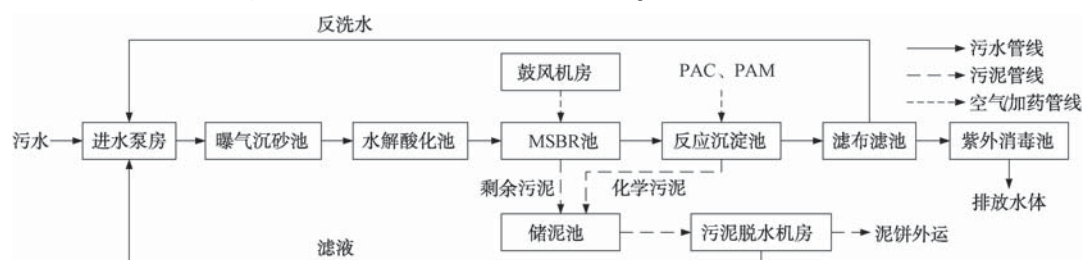


图 1 污水处理工艺流程图

Fig. 1 Flow Diagram of Treatment Process

3 工艺设计

3.1 进水泵房

泵房与粗格栅井合建为 1 座进水泵房,厂外污水、厂区生活污水以及污水污泥处理过程中产生的污水全部进入进水泵房。土建按照远期 10 万 m^3/d 规模(按照综合变化系数 $K_z=1.3$ 考虑峰值流量)建设,设备按照 2.5 万 m^3/d (按照综合变化系数 $K_z=1.47$ 考虑峰值流量)配置。平面尺寸为 23.95 m $\times$ 13.4 m,池深约 9.65 m,有效水深为 1.5 m。配置反捞式格栅除污机械粗格栅、螺旋输送栅渣压实一体机、潜水排污泵等。

3.2 曝气沉砂池

细格栅井与沉砂池合建为 1 座曝气沉砂池,去除污水中较大的漂浮物,并拦截直径 $>5\text{ mm}$ 的固体物,以保证生物处理及污泥处理系统的正常运行。土建按照 5 万 m^3/d 规模建设,分为并列运行的 2 格,单格设计处理能力为 2.5 万 m^3/d (按照综合变化系数 $K_z=1.47$ 考虑峰值流量)。平面尺寸为 29.1 m $\times$ 7.0 m,池高约 4.10 m,高峰时停留时间为 5 min。设置 1 台桥式吸砂机,含对应 2 格的 2 套吸沙泵系

统。近期 2.5 万 m^3/d 时可运行 1 格,因此,主要设备也按照 5 万 m^3/d 配置。另配置砂水分离器、罗茨风机等,砂水分离器分离出来的无机砂粒作为垃圾外运。

3.3 水解酸化池

新建水解酸化池 1 座,提高污水的可生化性。土建按 5 万 m^3/d 建设,设备按 2.5 万 m^3/d 配备,2 格并联运行,单格处理规模为 2.5 万 m^3/d ,停留时间为 5 h。配置潜水推流器、剩余污泥泵、半固定填料等。

3.4 MSBR 池

MSBR 池是污水处理工艺的核心,主要功能是在提供足够氧气的条件下,在生物反应池中营造厌氧、缺氧、好氧环境,利用生物反应池中大量繁殖的活性污泥,降解水中污染物,以达到净化水质的目的。新建 2 座 MSBR 池,并联运行,单座处理规模为 2.5 万 m^3/d 。单座 MSBR 池分为 7 个处理单元,分别编号池 1~7。单池各处理单元的功能、编号及设计尺寸如表 4 所示,系统流程如图 2、图 3 所示。

表 4 MSBR 各功能单元设计指标
Tab. 4 Design Specifications of MSBR Function Units

编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
单元功能	序批池 I	泥水分离池	预缺氧池	厌氧池	缺氧池	主曝气池	序批池 II
平面尺寸/(m $\times$ m)	35.9 $\times$ 15.0	5.15 $\times$ 12.0	4.95 $\times$ 12.0	12.0 $\times$ 12.0	13.0 $\times$ 12.0	27.0 $\times$ 42.8	5.9 $\times$ 15.0
有效水深/m	6.0	8.2	8.2	8.2	8.2	6.0	6.0

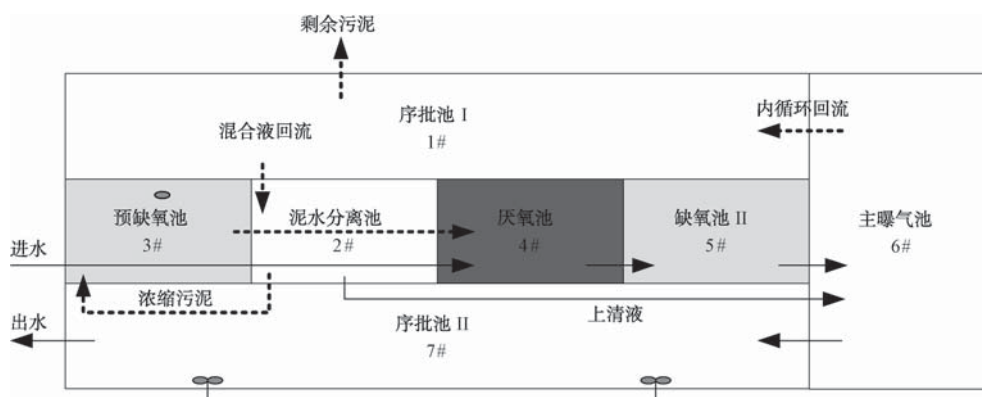


图 2 MSBR 系统原理平面图

Fig. 2 Schematic Diagram of MSBR

污水进入 MSBR 反应池后,首先进入厌氧池,与回流自预缺氧池的污泥混合,富含磷的污泥在厌氧

池进行释磷反应后进入缺氧池。缺氧池在系统中的功能为反硝化,由主曝气池至缺氧池的回流系统提

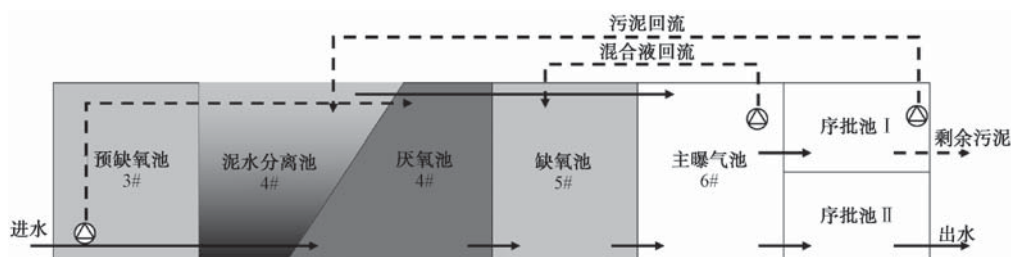


图3 MSBR 系统原理流程图

Fig. 3 Process Flow of MSBR

供硝态氮。缺氧池出水进入主曝气池,经曝气反应完成有机物的去除、硝化以及吸磷后,进入序批池 I 或序批池 II。在序批池 I 和序批池 II 中,沉淀和缺氧-好氧反应交替进行。当序批池 I 作为沉淀池出水时,序批池 II 首先进行缺氧反应,再进行好氧反应,或交替进行缺氧、好氧反应。在缺氧、好氧反应阶段或预沉阶段,序批池的混合液通过回流泵回流至泥水分离池,分离池也具有一定的污泥浓缩作用,其上清液进入主曝气池,沉淀污泥进入预缺氧池。预缺氧池的功能是让回流污泥进行一定程度的内源反硝化脱氮,以降低硝态氮对污泥中聚磷菌厌氧释磷的影响。经内源反硝化脱氮后的回流污泥再提升进入厌氧池,与进厂污水混合释磷,由此完成 1 个循环周期。1 个运转周期为 4 h,分为 6 个时段,3 个时段组成 1.5 个周期,相邻的 0.5 个周期仅序批池的运转方式不同。

设计总水力停留时间为 16.2 h,其中,厌氧停留时间为 1.2 h,缺氧停留时间为 1.25 h,好氧停留时间为 6.7 h,序批停留时间为 6.2 h。混合液回流比为 150%,污泥回流比为 150%。配置可升降式微孔曝气器、撇渣浮筒搅拌装置、低扬程回流泵、剩余污泥泵及空气堰等。

3.5 反应沉淀池

新建 1 座反应沉淀池,在反应段加入混凝药剂使污水胶体絮凝,在沉淀段分离较大粒径絮凝体,污水澄清后出水,减轻后续滤池的负荷。在沉淀池前端投加 PAC 化学除磷,保证出水 TP 和磷酸盐达标排放。土建按照 5 万 m^3/d 规模建设,设备按照 2.5 万 m^3/d 配置。平面尺寸为 37.35 m $\times$ 26.65 m,池深为 6.6 m。设计反应时间为 19.5 min,设计沉淀表面负荷为 4.44 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。PAC 加药量为 10 mg/L,PAM 加药量为 0.5 mg/L。配置浓缩刮泥机、加药搅拌器、反应搅拌机、污泥泵等。

3.6 滤布滤池及消毒池

作为深度处理的滤布滤池,主要功能是利用压差使悬浮物通过多孔性介质,使固体颗粒被截留,实现悬浮液中固、液的有效分离,进一步去除污水中的 SS 及附着在 SS 上的 BOD_5 、 COD_{Cr} 和 TP。新建 1 座 2 格滤池及消毒池,单格处理规模为 2.5 万 m^3/d 。土建按照 5 万 m^3/d 规模建设,设备按照 2.5 万 m^3/d 配置。平面总尺寸为 20.8 m $\times$ 8.9 m,池深为 3.5 m。配置圆盘形滤布过滤装置,设计水力负荷为 2.79 $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 滤布,固体颗粒负荷为 15.87 kg TSS/ $(\text{m}^2 \text{ 滤布} \cdot \text{d})$ 。

出水消毒采用紫外消毒。设计为渠道式消毒,设置 2 根并联渠道,每格渠道各设置 1 套消毒成套设备,用 253.7 nm 波长的紫外光照射澄清的出水,通过紫外光破坏细菌细胞蛋白质达到灭活细菌的目的。

3.7 储泥池

新建 1 座 2 格储泥池,每座处理规模为 5.0 万 m^3/d ,用于储存厂内排放的剩余污泥,保证浓缩装置正常运行。单座平面尺寸为 10.75 m $\times$ 5.5 m,有效水深为 3.5 m。湿污泥流量为 381.25 m^3/d ,含水率为 99.2%。设计污泥存储时间为 5.5 h。配置潜水叶轮搅拌器等。

3.8 脱水机房

新建污泥脱水机房 1 座,用机械浓缩方式浓缩剩余污泥,用板框压滤脱水方式降低污泥含水率至 60% 以下后外运处置。平面尺寸为 42.0 m $\times$ 18.0 m,高度为 11.0 m。处理绝干污泥量为 3 050 kg/d,添加 PAM 进行污泥调理。配置机械污泥浓缩机、机进料螺杆泵、板框压滤机和除臭设备等。

3.9 鼓风机房及变配电间

新建鼓风机房 1 座,为生物反应池提供氧气,保

证生物系统正常运行。土建规模为 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 近期配置设备 $2.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。平面尺寸为 $45.0 \text{ m} \times 12.0 \text{ m}$, 高度为 7.7 m 。设计气水比为 $6.9:1$ 。配置空气悬浮鼓风机。

4 实际运行情况

工程完成调试后, 于 2017 年投入生产运行。2018 年 9 月—2019 年 2 月的进出水主要污染物月平均浓度及去除率如图 4、图 5 所示。

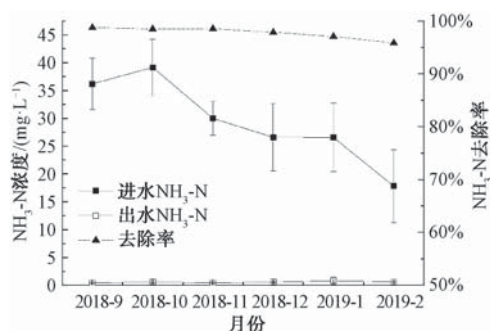


图 4 进出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及去除率

Fig. 4 Influent and Effluent Concentrations and Removal Rate of $\text{NH}_3\text{-N}$

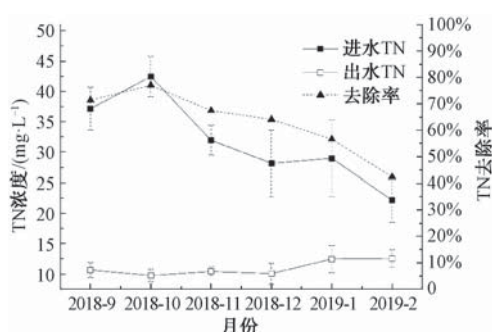


图 5 进出水 TN 及去除率

Fig. 5 Influent and Effluent Concentrations and Removal Rate of TN

由图 4~图 5 可知, MSBR 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 TN 的去除效果良好, 进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度为 28.9 mg/L , 出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度为 0.61 mg/L , 平均去除率达到 97.9%。由进水浓度曲线可知, 6 个月的运行中, 进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 月平均浓度最高为 39.16 mg/L , 最低为 17.79 mg/L ; 根据日监测数据, 进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 最高浓度达到 43.8 mg/L , 最低浓度为 4.17 mg/L , 波动较大。在此情况下, 出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 月平均浓度稳定低于

1.0 mg/L , 最低为 0.43 mg/L , 可见, MSBR 在去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 上具有良好的抗冲击负荷能力。进水 TN 平均浓度为 31.80 mg/L , 最高为 42.43 mg/L , 出水 TN 平均浓度为 10.98 mg/L , 最低为 9.76 mg/L , TN 的平均去除率为 65.4%, 平均出水 TN 浓度稳定低于 15 mg/L 。出水的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 TN 浓度均达到设计出水水质标准, 即一级 A 指标。

5 投资及成本

本工程总投资为 10 507.33 万元, 单位处理成本为 $1.28 \text{ 元}/\text{m}^3$, 其中, 单位经营成本为 $0.82 \text{ 元}/\text{m}^3$, 单位处理可变成本为 $0.35 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

6 结论

(1) MSBR 池为各功能区合建的高度集约一体化池体, 与传统 SBR 相比, 容积利用率更高, 占地更小, 泥水分离区进行脱氮后回流的污泥可减少除磷的影响。

(2) 水解酸化+MSBR+滤布滤池工艺的脱氮效果达到出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度低于 1.0 mg/L , 出水 TN 浓度低于 11.0 mg/L 。

(3) MSBR 工艺结合了 AAO 和 SBR 工艺优点, 适合脱氮要求高和用地紧张的污水处理厂采用。

参考文献

- [1] 环资司. 国家发展改革委有关负责同志就《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》答记者问[EB/OL]. (2020-08-05) [2020-10-05]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/jd/202008/t20200805_1235606.html.
- [2] 周文明, 遇光禄, 何钦雅, 等. 江苏某开发区污水处理厂提标工程设计[J]. 水处理技术, 2019, 45(9): 133-136.
- [3] 沈磊, YANG C. 新一代多单元 MSBR 在梅村污水厂四期扩建工程中的应用[J]. 净水技术, 2019, 38(4): 46-53.
- [4] 杨胜鑫. 佛山市三家污水处理厂提标改造工程设计方案[J]. 净水技术, 2019, 38(6): 35-40.
- [5] 郭昌梓, 程飞, 陈雪梅. 氧化沟的优缺点及发展应用型式[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(23): 14288-14291.
- [6] 杨殿海, 顾国维. 改进型 MSBR 工艺特点与运行效果[J]. 中国给水排水, 2004(1): 62-65.
- [7] 吴斯文, 高雪, 黄志华, 等. 不同排放标准下污水厂提标改造工艺设计对比[J]. 工业用水与废水, 2020, 51(2): 45-48.