

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.18.021

AAOA-MBR工艺在污水厂提标扩建中的应用

李易寰¹, 董玉明², 高芳³

(1. 无锡上实惠投环保有限公司, 江苏 无锡 214174; 2. 江南大学 化学与材料工程学院, 江苏 无锡 214122; 3. 无锡惠山惠清源环境检测有限公司, 江苏 无锡 214174)

摘要: 无锡某城镇污水处理厂五期提标扩建工程采用 AAOA-MBR 工艺, 介绍了工艺流程、主要构筑物及设备参数。总结和分析了污泥接种方法、调试运行经验及调试期间出水数据。提出了适宜的膜清洗方案, 分析了膜清洗效果。对稳定运行期5个月的进出水 COD、TP、氨氮及 TN 数据进行分析, 评价了污水处理效果。结果表明, AAOA-MBR 工艺具有良好的脱氮除磷效果, 出水 COD、TP、氨氮及 TN 均值分别为 15.6、0.128、0.472、8.69 mg/L, 去除率分别为 92.9%、97.3%、97.8%、73.1%, 出水指标优于设计标准。稳定运行期间, 生化池硝化液回流比控制在 160%~200%, 膜池污泥回流比控制在 300%~500%, 生化池末端溶解氧控制在 2~4 mg/L, 除磷药剂投加量为 2.0~2.5 t/d, 可获得较好的污水处理效果。

关键词: AAOA-MBR 工艺; 污泥接种; 调试运行; 脱氮除磷

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)18-0114-06

Application of AAOA-MBR Process in Sewage Treatment Plant Upgrading and Expansion

LI Yi-huan¹, DONG Yu-ming², GAO Fang³

(1. Wuxi Shangshihuitou Environmental Protection Co. Ltd., Wuxi 214174, China; 2. School of Chemical and Material Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Wuxi Huishan Huiqingyuan Environmental Testing Co. Ltd., Wuxi 214174, China)

Abstract: The AAOA-MBR process is used in the fifth phase upgrading and expansion project of a municipal sewage treatment plant in Wuxi. The process flow, main structures and equipment parameters are introduced. The sludge inoculation method, operation experience and effluent data during commissioning are summarized. An appropriate membrane cleaning scheme is proposed, and its effect is analyzed. The influent and effluent COD, TP, ammonia nitrogen and TN test data during 5 months of stable operation are analyzed to evaluate the sewage treatment effect. The results show that the AAOA-MBR process has a good nitrogen and phosphorus removal effect. The average effluent COD, TP, ammonia nitrogen and TN are 15.6 mg/L, 0.128 mg/L, 0.472 mg/L, 8.69 mg/L, respectively, and the corresponding removal rates are 92.9%, 97.3%, 97.8%, and 73.1%, respectively, which are better than the design standard. The nitrification liquid reflux ratio of the biochemical pond is controlled at 160%~200%, the sludge reflux ratio of the membrane tank is controlled at 300%~500%, and the DO at the end of the biochemical tank is controlled at 2~4 mg/L. The dosage of phosphorus removal agent is 2.0~2.5 t/d, which can obtain good sewage treatment effect.

Key words: AAOA-MBR process; sludge inoculation; commissioning operation; nitrogen

and phosphorus removal

为促进经济可持续发展,进一步改善太湖水质,2018年5月江苏省发布《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018),该标准严于一级A标准。省内新建及扩建污水厂工程均面临着提标任务,因此,选取合适的污水处理工艺,提高污染物去除效果,同时尽量减少工程投资,是污水厂面临的重要挑战。

MBR工艺将膜分离技术应用到污水生物处理过程,对有机物去除率高,脱氮除磷效果较好^[1]。其组合工艺将生物池、膜池、膜车间等合建,具有构筑物和设备布置紧凑、占地少、设施运行稳定、效果好等优点,是分散式污水的有效处理方式^[2-3],被广泛应用于城镇污水处理厂扩建和提标改造项目中^[4-6]。

1 工程概况

无锡某城镇污水处理厂远期规划设计总规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,已建成一~四期规模为 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主要处理开发区和附近街道的生活污水及工业废水,生活污水占比约85%,工业废水占比约15%,工业废水中大部分为光伏、印染、机械加工及制造企业排放废水。五期扩建工程按照新标准设计,采用AAOA-MBR工艺,设计规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.1 设计进、出水水质

该项目是无锡市全面治理太湖的环境保护设施项目,也是市区“两减六治三提升”专项行动重点项目。鉴于新标准对COD、氮、磷等指标控制较为严格,通过对历史数据的分析,确定设计进水COD、TP、氨氮和总氮分别为450、8.0、35、50 mg/L,相应出水标准依次为40、0.3、3、12 mg/L。

1.2 工艺流程

MBR工艺已于先期工程成功应用,脱氮除磷效果好,出水水质稳定达标^[1,7],通过工艺比选,五期提标扩建工程仍采用MBR工艺,生物段采用AAOA-MBR的组合形式,即缺氧Ⅰ—厌氧—好氧—缺氧Ⅱ—MBR组合工艺(见图1)。

通过预处理、膜截留过滤可有效去除SS,而COD、BOD₅和NH₃-N在AAOA-MBR工艺段去除,冬季低温时可通过外加碳源强化反硝化作用,TP采用化学除磷辅助生物除磷去除。出水经次氯酸钠接

触消毒后排放至附近运河。

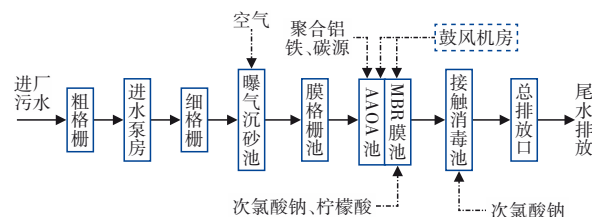


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

2 主要构筑物和设计参数

该工程设计规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,大部分建(构)筑物土建已于先期工程按 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建成,本期工程主要新增 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模设备。

2.1 预处理系统

预处理段增加1套机械回转式粗格栅,渠宽1.30 m,渠深6.65 m,安装倾角75°,栅距10 mm,功率2.2 kW;增加1台进水泵,采用变频控制, $Q=1500 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, $P=90 \text{ kW}$;增加1套3 mm过滤孔径的转鼓细格栅, $\phi 1800 \text{ mm}$;曝气沉砂池不需增加设备;增加2套1 mm过滤孔径的转鼓膜格栅, $\phi 2200 \text{ mm}$ 。

2.2 AAOA-MBR池

AAOA-MBR池是该工程的核心工艺,由缺氧Ⅰ区、厌氧区、好氧区、缺氧Ⅱ区和MBR池5个单元组成,AAOA生化反应池、膜池及膜设备车间合建。污水经预处理后进入AAOA-MBR工艺段,膜池污水经产水泵提升至出水渠,出水经次氯酸钠接触消毒后排放。

2.2.1 AAOA生物反应池

生物反应池设备安装规模 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。生物池平面尺寸为 $37.2 \text{ m} \times 69.7 \text{ m}$,池深7.2 m,有效水深6.0 m,总HRT为14.6 h,其中缺氧Ⅰ区3.5 h,配备2台推流器(单台功率7.5 kW);厌氧区1.7 h,分为3格,共配备3台推流器(单台功率3.75 kW);好氧区6.6 h,分为3格,底部安装管式硅胶膜微孔曝气器,每根长1 m,直径64 mm,共642根,生化池最大需氧量(标况)为384 kg/h;缺氧Ⅱ区为2.8 h,配备2台推流器(单台功率4.3 kW)。生物池设计平均污泥浓度为7.6 g/L,污泥负荷为0.087 kgBOD₅/(kgMLSS·d),污泥龄24.5 d,污泥总产率系数0.90,

生物池供气量约为4 000~6 000 m³/h,由3台单级高速离心鼓风机(2用1备)供气, $Q=50\text{ m}^3/\text{min}$, $\Delta H=0.07\text{ MPa}$, $P=90\text{ kW}$ 。采用两点进水方式,缺氧Ⅰ区为70%~80%,厌氧区为20%~30%。同时设置缺氧Ⅱ区进行内源反硝化,增强生物脱氮作用^[1]。生物池内采用二级回流方式,好氧区末端到缺氧Ⅰ区设计回流比为150%~300%,配备2台回流泵($Q=1\,600\text{ m}^3/\text{h}$, $H=8\text{ kPa}$, $N=6.5\text{ kW}$),膜池到好氧区前端回流比为300%~500%,配备2台回流泵($Q=2\,600\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ kPa}$, $N=13.5\text{ kW}$)。

2.2.2 MBR池

设7组膜池(6用1预留),6组膜池共安装30套膜组件,每组安装5个膜组件,其中一个膜组件只安装1/2膜元件,每个膜组件集成产水及曝气装置,每组膜池可独立运行。采用苏伊士提供的PVDF中空纤维膜,膜丝表面平均孔径0.04 μm,膜丝强度为500 N,膜面积45 408 m²,单片膜面积34.4 m²,设计平均通量22.94 L/(m²·h),配备2台单级高速离心鼓风机(1用1备, $Q_{\max}=105\text{ m}^3/\text{min}$, $\Delta H=0.043\text{ MPa}$, $N=110\text{ kW}$),提供膜擦洗去除膜表面污染物所需要的空气,气水比为6:1,膜擦洗强度132 L/(m²·h)。膜设备车间配备7台抽吸泵(6用1冷备, $Q_{\max}=269\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $P=18.5\text{ kW}$),2台反冲洗泵(1用1备, $Q_{\max}=337\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $P=22\text{ kW}$),水反冲洗流量为200~220 m³/h,反洗通量为26.4~29.1 L/(m²·h)。膜池工作时,每产水12 min,反冲洗60 s。在连续工作一段时间后,通过自动维护性清洗和半自动恢复性清洗去除膜表面附着的污染物,恢复膜通量。MBR池排放的剩余污泥经浓缩调理后,采用隔膜式板框压滤机压滤后,形成含水率<60%的泥饼外运焚烧及综合利用^[8]。

2.3 其他新建附属构筑物

新建加药间一座,平面尺寸为21.0 m×14.2 m。将化学除磷、膜清洗及消毒投加系统整合到一起并严格隔断,所有药剂均为液态,采用隔膜泵投加。除磷药剂采用聚合铝铁(铝含量约8%,铁含量约4%);前期工程膜清洗采用盐酸(10%)和草酸(10%),本期工程膜清洗采用柠檬酸(50%)和次氯酸钠(有效氯含量≥10%);出水采用次氯酸钠消毒。

新建污泥浓缩池1座,设计规模2.5×10⁴ m³/d,钢筋混凝土结构,Ø15.0 m。池内安装悬挂式中心驱动浓缩机1台($P=0.75\text{ kW}$),池旁安装潜污泵2

台($Q=60\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$, $P=11\text{ kW}$)。

3 启动与调试运行

3.1 污泥接种与培养

该工程于2019年4月初完成联动调试,设备运转正常,此时生化池初始液位为0.5 m。4月9日开始接种污泥,污泥来源为三、四期生化池污泥,并同步开始进水,接种污泥流量为75~100 m³/h,进水流量为50~100 m³/h,开启1台鼓风机,设置为最小开度进行微曝气,一方面可以为接种污泥创造与原生化系统类似的运行环境,维持接种污泥的活性,缩短培养时间;另一方面接种污泥量与公司原有工艺排泥量相当,不会影响原有工艺的的稳定运行。随着液位的上升,逐步开启全部潜水推流器与硝化液回流泵。启动前期生化池液位较低,进水少,因此DO值较高,生化反应池好氧区末端DO约4~5 mg/L,接种期间生化池水温约21.5℃。

4月16日,生化池液位升至5.35 m,此时SV₃₀为16%,MLSS为3 036 mg/L,MLVSS为1 802 mg/L。首次对生化池末端(即缺氧Ⅱ区末端)泥水混合液进行采样,取上清液测定,结果显示COD为34 mg/L,氨氮为0.062 mg/L,TN为10.0 mg/L,TP为0.76 mg/L,除总磷高于出水标准外,其余指标均已达标,污泥接种效果较好。

3.2 调试运行产水

4月17日,生化池达到运行液位(6.0 m),污水进入MBR池,立即开启2台膜池污泥回流泵,至此AAOA-MBR工艺污泥开始正常循环,同时停止污泥接种和进水。污泥循环1天后,4月18日生化池恢复进水,为防止出水超标,仅开启2组膜池产水,保持进出水流量在200 m³/h左右,因生化池DO较高,关闭1台硝化液回流泵和1台膜池污泥回流泵。4月19日,膜池出水COD、氨氮、TP、TN浓度分别为45、0.119、0.74、8.60 mg/L;4月22日,开始投加除磷药剂,投加点设置在好氧区前端,投加浓度为80~100 mg/L(以聚合铝铁原液质量计)。4月23日,膜池出水COD、氨氮、TP、TN浓度分别为27、0.119、0.13、11.6 mg/L,此时SV₃₀为30%,MLSS为4 130 mg/L,MLVSS为2 030 mg/L,可见投加除磷药剂后,总磷下降明显。5月5日之后逐渐开启剩余膜池,至5月9日,污水负荷率高于70%,出水仍稳定达标,其间控制DO为2~4 mg/L。

综上,利用污水厂原水及现有正常运行工艺的污泥进行接种培养,可快速完成调试。当污水负荷率高于70%后,控制DO为2~4 mg/L,硝化液回流比为160%~225%,膜池污泥回流比为350%~550%,可快速实现正常运行。本期工程从污泥接种到试运行产水稳定达标,约3周时间,其间因原位清洗管路破损维修,增加了调试运行时间。生化池设计平均MLSS为7 600 mg/L,调试运行控制在4 000 mg/L已能达标,而高污泥浓度条件运行会加速膜污染,因此MBR工艺应控制适宜的污泥浓度。满负荷运行后,控制硝化液回流比为160%~200%、膜池污泥回流比为300%~500%,可实现稳定达标排放。

4 运行效果及分析

对2019年5月—9月每周(共22周)平均进出水化验数据进行统计,系统对COD、总磷、氨氮、总氮的去除效果见图2。由图2可知,在进水污染物浓度不断变化的情况下,AAOA-MBR工艺运行稳定,各污染物去除率较高,脱氮除磷效果较好。各污染物进水浓度均在设计范围之内,进水COD和TP变化规律基本一致,7月上旬、8月底至九月初降雨期呈现明显下降趋势,COD为140~350 mg/L,TP为3.25~6.54 mg/L。进水氨氮与总氮变化规律基本一致,5月—7月变化幅度较小,8月之后变化较大,氨氮为15.4~30.9 mg/L,TN为20.8~43.2 mg/L。出水COD及TP浓度均较低,出水COD为8.0~22.8 mg/L,控制除磷药剂投加浓度为80~100 mg/L(以聚合铝铁原液质量计,折算后约为2.0~2.5 t/d),出水TP为0.04~0.253 mg/L。出水氨氮和TN变化趋势与进水基本一致。

除5月第一周处于调试末期,出水TN较高外,其余时间均达标排放。8月上旬因阀门故障导致污泥流失,生物池污泥浓度大幅降低,出水氨氮和TN偏高,随后立即采取维修阀门和接种污泥的措施,生化系统恢复脱氮能力。总的来说,各项污染物出水平均浓度均优于设计标准,出水COD、TP、氨氮及TN均值分别为15.6、0.128、0.472、8.69 mg/L,去除率分别为92.9%、97.3%、97.8%、73.1%,污染物去除率较高。在稳定运行期间,缺氧Ⅰ区ORP为-100~-50 mV、厌氧区ORP为-150~-70 mV、好氧区末端DO为2~4 mg/L、缺氧Ⅱ区ORP为-100~-50 mV,生化池平均MLSS为5 500 mg/L,MLVSS/MLSS=

0.53。

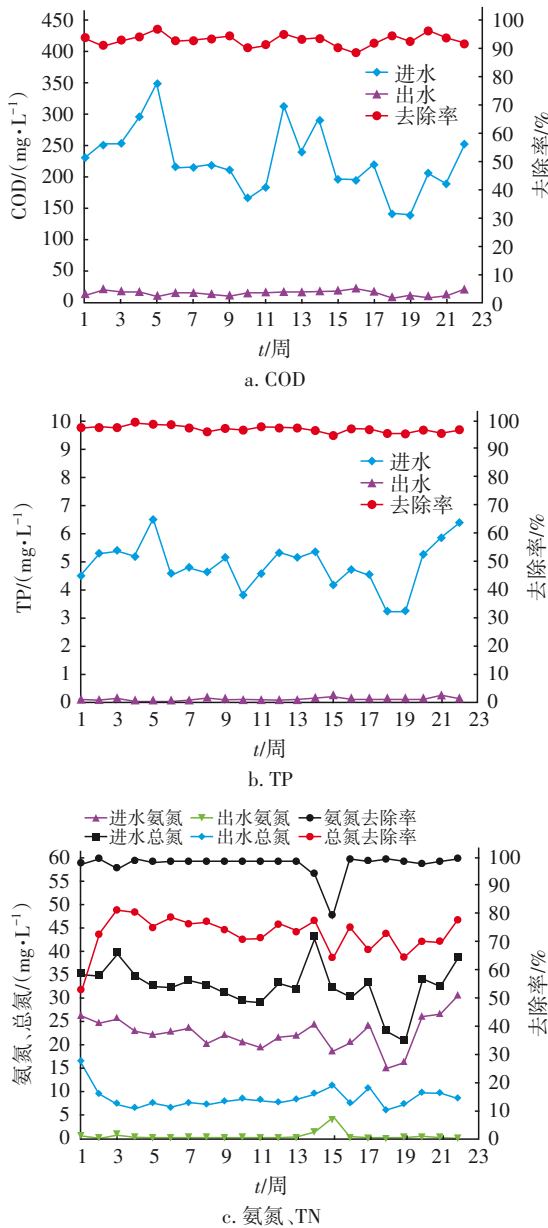


图2 2019年5月—9月对COD、TP、氨氮和总氮的去除效果
Fig.2 Removal effect of COD, TP, ammonia nitrogen and TN during May to September in 2019

2019年10月三期与五期出水效果对比见表1。

表1 三期与五期平均出水水质对比

Tab.1 Comparison of the average effluent quality between the third and the fifth phase mg·L⁻¹

项目	COD	TP	氨氮	TN
进水	218	5.83	29.9	39.0
三期出水	16.2	0.24	0.296	9.62
五期出水	16.4	0.14	0.183	7.75

由表1得知,五期AAOA-MBR工艺出水优于三期倒置A²/O工艺。AAOA-MBR工艺设置前后两段缺氧区,在缺氧Ⅰ区反硝化菌利用进水碳源快速进行生物脱氮,并在缺氧Ⅱ区进行内源反硝化强化脱氮,由于膜的高效截留作用,使大量微生物被截留在系统内,污泥浓度较高,硝化菌总量较多,通过膜池回流,混合液进入好氧池前端,使得硝化过程更彻底,系统脱氮效果较好。两点进水可灵活控制进入缺氧Ⅰ区和厌氧区的进水量,聚磷菌可充分地利用进水碳源释磷,随后进入好氧环境,其在厌氧条件下形成的吸磷动力可以得到充分的利用,因进水TP较高,采用化学除磷辅助生物除磷方式,除磷效果较好。在三期外加碳源(醋酸,>95%)强化反硝化脱氮的情况下,五期出水TN仍优于三期,可见AAOA-MBR工艺在污水厂提标及改扩建的应用中具有一定优势。

5 膜清洗及效果

5.1 清洗方式

采用MBR工艺,膜污染不可避免,通过定期化学清洗可以抵抗轻度膜污染^[9],采用酸洗及碱洗可有效去除污染膜表面的有机物和无机物^[10]。每组膜池每周维护性清洗3次,其中次氯酸钠碱洗2次(药剂浓度200 mg/L),柠檬酸酸洗1次(药剂浓度1 000 mg/L),每次清洗时间约40 min;每3~6个月恢复性清洗2次,次氯酸钠碱洗1次(药剂浓度1 000 mg/L),柠檬酸酸洗1次(药剂浓度2 000 mg/L),每次清洗时间约5.2 h。通过定期化学清洗及常规反冲洗,可有效减轻膜污染,保持良好的膜通量,从2019年4月开始运行至2022年5月,膜通量仍能达到设计值 $[22.94 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ 。

5.2 清洗效果

MBR池分为6组,每组可独立运行,通过记录跨膜压差(TMP)随运行时间的变化,进一步分析膜污染程度及膜清洗效果。工艺运行初期各组膜池TMP约为1.0 kPa,随运行时间均有所上升,至5月下旬,TMP均大于4 kPa。5月24日—12月23日(共214 d)6组膜池TMP变化情况见图3,其间各组膜池产水流量约160~170 m³/h。由图3可知,通过每周3次的维护性清洗,可有效减轻膜污染,TMP维持在一定范围。8月中旬(约运行81 d)对膜池进行了恢复性清洗,清洗之后各组膜池TMP均明显降低,1组

膜池TMP由12.5 kPa降至约6.0 kPa,降幅54.2%,2~6组膜池TMP分别降至1.3、2.2、1.5、1.5、2.0 kPa,2~6组膜池清洗前平均TMP为6.64 kPa,清洗后平均TMP为1.7 kPa,降幅74.4%。8月中旬—12月上旬,未进行恢复性清洗,各组膜池TMP均缓慢上升。1组膜池运行时TMP较高且上升较快,分析原因是1组膜池距离污泥回流井最远,相比其余几组膜池污泥回流程度低,导致污泥积累,实测其污泥浓度比其余膜池高出约300 mg/L,相同运行条件下膜污染更加严重,因此TMP增长较其他膜池更快。

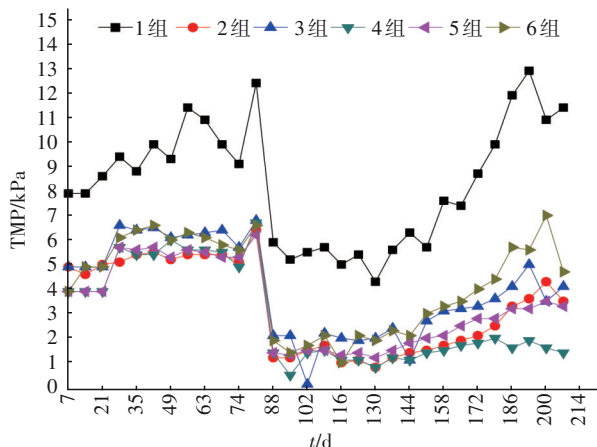


图3 1~6组膜TMP的变化

Fig.3 Changes of membrane TMP in groups 1-6

6 结论

① 利用污水厂原水及现有正常运行工艺的污泥进行接种培养,可快速完成调试运行。污水负荷率高于70%后,控制DO为2~4 mg/L,硝化液回流比为160%~225%、膜池污泥回流比为350%~550%,约2~3周可实现正常运行。满负荷运行后,控制硝化液回流比为160%~200%、膜池污泥回流比为300%~500%,可实现稳定达标排放。

② AAOA-MBR工艺各污染物出水平均浓度均优于设计标准,出水COD、TP、氨氮及TN均值分别为15.6、0.128、0.472、8.69 mg/L,去除率分别为92.9%、97.3%、97.8%、73.1%。采用化学除磷辅助生物除磷的方式,除磷药剂投加浓度为80~100 mg/L(以聚合铝铁原液质量计),污染物去除率较高。该污水厂MBR工艺在不投加碳源情况下,出水指标仍优于其倒置A²/O工艺。稳定运行期间生化池平均MLSS为5 500 mg/L,可见适宜的MLSS既可保证出

水达标排放,又可减轻膜污染。

③ 通过定期化学清洗,可有效减轻膜污染,减缓TMP增长,并保持良好的膜通量。其中,通过维护性清洗,可减轻膜污染,减缓TMP上升;通过恢复性清洗,可大幅降低TMP,降低产水泵频率,节省电耗。该工程运行至今,膜通量仍能达到设计值[22.94 L/(m²·h)]。

④ MBR工艺段通常采用多组膜池并联处理的形式,设计上应考虑每个膜池污泥回流程度,避免部分膜池污泥积累导致膜污染加剧的情况。

参考文献:

- [1] 李易寰,钟奕杰,苏挥. A²O/A-MBR工艺在污水处理厂中的应用[J]. 水处理技术, 2018, 44(6): 130-133, 140.
LI Yihuan, ZHONG Yijie, SU Hui. Application of A²O/A-MBR process in WWTP [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(6): 130-133, 140(in Chinese).
- [2] 华佳,柏双友,张军,等. A²/OA-MBR工艺在污水处理厂扩建设计中的应用[J]. 给水排水, 2018, 44(5): 31-36.
HUA Jia, BAI Shuangyou, ZHANG Jun, et al. Application of A²/OA-MBR process in expansion design of a wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(5): 31-36(in Chinese).
- [3] 高原. AAO-MBR工艺提标改造小型城市污水处理厂[J]. 水处理技术, 2018, 44(8): 126-128.
GAO Yuan. Upgrading and reconstruction of small urban wastewater treatment plant by AAO-MBR technology [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(8): 126-128(in Chinese).
- [4] 潘兆宇,张文,吴未红,等. AAO-MBR工艺在湘湖污水厂提标改造工程中的应用[J]. 净水技术, 2019, 38(8): 26-31.
PAN Zhaoyu, ZHANG Wen, WU Weihong, et al. Application of AAO-MBR process in upgrading and reconstruction project of Xianghu WWTP [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(8): 26-31 (in Chinese).
- [5] 郭海林,周宇松,刘中亲,等. 基于MBR的一体化装置处理生活污水实例[J]. 水处理技术, 2018, 44(11): 138-140.
GUO Hailin, ZHOU Yusong, LIU Zhongqin, et al. Project of integrated device for domestic sewage treatment based on MBR [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(11): 138-140(in Chinese).
- [6] 付丽霞,崔宁,刘世虎,等. 水解酸化-接触氧化-MBR一体化装置处理农村生活污水[J]. 环境工程, 2018, 36(11): 49-52.
FU Lixia, CUI Ning, LIU Shihu, et al. Treatment performance of rural domestic wastewater by "hydrolytic acidification-biological contact oxidation-MBR" integrated treatment equipment [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(11): 49-52(in Chinese).
- [7] 李易寰,高芳,奚蕾蕾,等. 一体化MBR工艺运行效果及扩建设计建议[J]. 环保科技, 2019, 25(4): 18-22.
LI Yihuan, GAO Fang, XI Leilei, et al. Operation effect of integrated MBR process and expansion project design proposal [J]. Environmental Protection and Technology, 2019, 25(4): 18-22(in Chinese).
- [8] 李易寰,钟奕杰,苏挥. 无锡惠山水处理有限公司污泥高干脱水系统应用研究[J]. 环保科技, 2017, 23(6): 36-39, 64.
LI Yihuan, ZHONG Yijie, SU Hui. Study on the application of high dry sludge dewatering system in Wuxi Huishan Sewage Treatment Co., Ltd. [J]. Environmental Protection and Technology, 2017, 23(6): 36-39, 64(in Chinese).
- [9] 张静,张志渊. MBR工艺运行优化措施和膜污染控制[J]. 中国给水排水, 2019, 35(6): 117-122.
ZHANG Jing, ZHANG Zhiyuan. Optimization of MBR operation and control of membrane pollution [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(6): 117-122 (in Chinese).
- [10] 李秀芬,周强,陈春梅,等. MBR处理生活污水的膜污染特征及其清洗[J]. 中国给水排水, 2016, 32(23): 27-30.
LI Xiufen, ZHOU Qiang, CHEN Chunmei, et al. Characteristics of membrane fouling in MBR for treatment of domestic sewage and its cleaning [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(23): 27-30 (in Chinese).

作者简介:李易寰(1991-),男,重庆人,大学本科,工程师,主要从事污水生物处理及污泥处理工作。

E-mail:812063793@qq.com

收稿日期:2020-03-06

修回日期:2022-06-26

(编辑:衣春敏)