

李一龙, 包宇. UCT-MBR 工艺在北京市某污水处理厂提标扩容改造中的设计及运行[J]. 净水技术, 2022, 41(1):147-152.

LI Y L, BAO Y. Design and operation of UCT-MBR process in upgrading and expansion project of a WWTP in Beijing City [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(1):147-152.



扫我试试?

UCT-MBR 工艺在北京市某污水处理厂提标扩容改造中的设计及运行

李一龙¹, 包宇²

(1. 北控水务<中国>投资有限公司, 北京 100102; 2. 中煤科工集团北京华宇工程有限公司, 北京 100120)

摘要 北京市某污水处理厂设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原采用 Carrousel 氧化沟工艺, 出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 B 标准。为满足排放标准的提高和进水量的增加, 污水处理厂采用 UCT-MBR 工艺进行提标改造, 改造后设计规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。工程分阶段实施, 主体工艺段完成运行近 2 年, 出水水质稳定达到《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)中的 B 标准, 在进水水质波动、冬季低水温等工况下均有良好的脱氮除磷效果。运行中 UCT 工艺生物除磷效果理想。

关键词 UCT MBR 提标改造 污水处理厂 运行效果分析 生物除磷

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2022)01-0147-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.01.023

Design and Operation of UCT-MBR Process in Upgrading and Expansion Project of a WWTP in Beijing City

LI Yilong¹, BAO Yu²

(1. Beijing Enterprises Water Group Investment Co., Ltd., Beijing 100102, China;

2. CCTEG Beijing Huayu Engineering Co., Ltd., Beijing 100120, China)

Abstract Design scale of a WWTP in Beijing City is $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, which originally adopt Carrousel oxidation ditch process, effluent quality reaches the first grade B criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). In order to meet the improvement of discharge standards and increased water intake, WWTP has been upgraded and reconstructed with UCT-MBR process, and design scale expanded to $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The project is implemented in stages, main process section has been running for nearly two years, and effluent quality has stably reached the grade B of *Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (DB 11/890—2012). WWTP has good nitrogen and phosphorus removal effect under incoming water quality fluctuation and low water temperature in winter. Actually, UCT process has a desired biological phosphorus removal effect.

Keywords UCT MBR upgrading and reconstruction WWTP analysis of operation result biological phosphorus removal

随着经济和技术的发展, MBR 工艺在污水处理厂的新建和提标改造中得到了一定范围的应用。传统 MBR 工艺常耦合活性污泥法、AO、AAO 等, 实际

运行中存在 TN、TP 去除率受限的情况。根据研究, UCT 工艺在实际应用中能最大程度地挖掘生物除磷的潜力, 实现低磷排放^[1]。同时, MBR 可取代传统生物工艺中的二沉池^[2], 出水水质稳定。UCT-MBR 的组合工艺适用于占地面积受限且高排放标准的污水处理厂。本文以北京市某污水处理厂提标

[收稿日期] 2020-02-23

[作者简介] 李一龙(1988—), 男, 工程师, 研究方向为水污染防治技术及应用, E-mail: 241746979@qq.com。

扩容改造为例,在用地面积受限、冬季低水温、出水水质标准高的条件下应用 UCT-MBR 工艺,提出相应的工艺方案,并对其运行效果进行分析。

1 工程概况

北京市某污水处理厂一期设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,占地为 $66\,900 \text{ m}^2$,服务面积约为 50 km^2 ,采用 Carrousel 氧化沟工艺,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 B 标准。该厂于 2007 年正式运行,出水水质稳定。现状污水处理厂工艺流程如图 1 所示。

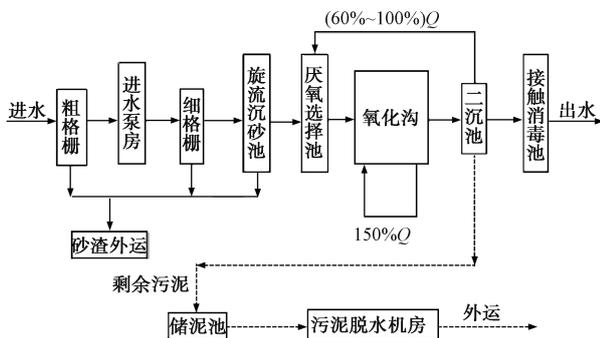


图 1 改造前污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Process Flow of WWTP before Reconstruction

2 现状问题

随着城镇经济的发展和排水管网的完善,污水处理厂处理能力不足,需进行扩容。根据 2012 年北京政策要求,污水处理厂出水标准执行《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)中的 B 标准,需进行提标改造。污水处理厂各类设备腐蚀损坏严重,池内溶解氧不足,有污泥现象。运行中冬季进出水水质的 COD_{Cr} 、 BOD_5 、氨氮及 TN 波动较大,进水水温约为 $15 \text{ }^\circ\text{C}$,硝化、反硝化反应均受

到抑制,生物除磷效果不佳,加药量较大造成污泥增多,外运费增加。

3 提标改造工程设计

3.1 主要设计思路

①根据污水处理厂历年进出水水量、水质数据进行统计分析^[3],结合中远期规划,确定提标改造后的设计水量、进水水质。

②基于有限的场地,根据要求的出水水质,确定各阶段污染物去除率,选用占地面积适宜、运行可靠的工艺,确定工程设计方案。

③针对现有的运行情况,分析出水指标的达标情况,确定主要关注的指标为 COD_{Cr} 、氨氮、TN 及 TP。

3.2 设计水量、水质

污水处理厂根据规划数据、人口指标法及占用水量指标法测算,确定提标改造设计规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,远期为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2013 年—2014 年该厂进水水量大于设计水量,日均值达到 $9.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中 5 月—8 月日均进水量约为 $10.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处于超负荷运行状态。进水水质总体波动较大,其中 COD_{Cr} ($384 \sim 986 \text{ mg/L}$)、 BOD_5 ($124 \sim 520 \text{ mg/L}$)、SS ($150 \sim 572 \text{ mg/L}$) 及 TP ($6 \sim 14 \text{ mg/L}$) 指标波动最为明显,氮素指标则相对平稳。改造采用频率统计法^[4]对进水水质进行统计,选取 90% 涵盖率的进水水质作为改造后设计进水水质依据,并参考区域其他污水处理厂进水水质,确定改造后进水水质。出水水质执行《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)中的 B 标准。改造前后的设计进出水水质及现状实际进出水水质如表 1 所示。

表 1 改造前后的设计进出水水质及现状实际进出水水质

Tab. 1 Existing Influent and Effluent Water Quality and Design Water Quality before and after Reconstruction

项目	BOD_5	COD_{Cr}	SS	TN	氨氮	TP
实际进水水质/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	124~520	384~986	150~572	32~81	21~44	6~14
实际出水水质/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	13~20	28~57	15~20	13~27	3~8	0.4~1
改造前设计进水水质/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	180	350	220	40	28	4
改造前设计出水水质/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 20	≤ 60	≤ 20	≤ 20	≤ 8 (15)	≤ 1
改造后设计进水水质/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	160	500	400	55	40	7
改造后设计出水水质/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 6	≤ 30	≤ 5	≤ 15	≤ 1.5 (2.5)	≤ 0.3
改造后设计去除率	$\geq 96.3\%$	$\geq 94\%$	$\geq 98.75\%$	$\geq 72.7\%$	$\geq 96.3\%$ (93.8%)	$\geq 95.7\%$

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

3.3 工艺选择

国内污水处理厂的提标改造工艺繁多,主流思路为3类:(1)在二级生物处理段原位改造,增加污泥浓度,提高微生物活性,加强脱氮除磷效果,主要有 MBBR 工艺、MABR 工艺等;(2)增加后续深度处理环节,强化去除污染物,比如各类高效沉淀池、反硝化滤池、高级氧化及其变形组合工艺;(3)应用 MBR 工艺,实现 HRT 和 SRT 的分离,提高污泥浓度并加强脱氮除磷效果。3种改造思路均有提标改造的实际案例,但单一应用某种方式,一般能稳定达到国标一级 A 排放标准,针对本项目的准 IV 类水排放标准,多应用多种方式串联的形式。浙江省某污水处理厂应用 Bardenpho+MBBR+高效沉淀池+反硝化滤池工艺改造后达到准 IV 类水排放标准^[5],而北京市、天津市地区污水处理厂的提标改造多以 MBR+臭氧氧化为主^[6]。3种类型的改造思路各有侧重,具体选择中工艺的主要限制因素为排放标准、占地面积和地区技术推广程度^[7],导向因素则包括投资、运行费用、管理难度等。排放标准执行京标 B

类,规定为日均值达标即可,但实际监测执行过程中多以瞬时样为依据,对工艺的抗冲击性、稳定性提出了更严苛的要求。另外,占地面积也是选择工艺的决定性因素之一。厂区现占地约为 53 395 m²,用地面积远小于建设标准,且明确近期无可扩展用地,该因素直接限制了工艺选择的范围。一般 MBR、MBBR、MABR 等工艺处理市政污水,出水 COD_{Cr} 含量能达到 30 mg/L 左右。针对进水组分有一定比例的工业废水,进水 COD_{Cr} 波动较大的情况,设置紫外、臭氧催化联合氧化保证出水 COD_{Cr} 含量稳定低于 30 mg/L,同时降低出水色度,提高再生水回用感官效果。

如图 2 所示,厂区右上为办公区,该区域不能利用,厂区实际工艺用地约为 45 000 m²。处理规模扩大至 18×10⁴ m³/d,增容 2.25 倍,预处理需要按远期 30×10⁴ m³/d 水量考虑,同时兼顾改造期间不停水,对工艺的集约化和模块化有更高要求。主体工艺选择应用比较广泛的 MBR 工艺和 MBBR 工艺进行比较分析。

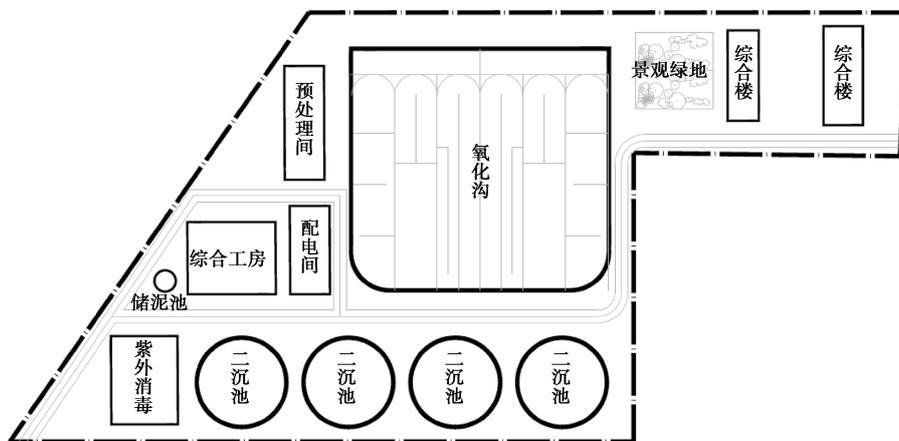


图 2 污水处理厂改造前平面布置

Fig. 2 Layout of WWTP before Reconstruction

原氧化沟污泥质量浓度在 3~4 g/L,总停留时间约为 16.5 h,通常 MBR 工艺运行良好时污泥质量浓度为 8 g/L 以上,按该数值核算,原氧化沟改造为 MBR 生物池需补充容积和停留时间。将南侧二沉池、紫外消毒拆除,建设好氧池、膜池和膜车间、深度处理等,组成 UCT-MBR 工艺。MBBR 工艺为复合泥膜,污泥质量浓度按 6 g/L 计算,需补充建设二段缺氧、好氧生物池,组成五段 Bardenpho+MBBR+双层矩形沉淀池+加砂混凝沉淀池。除原氧化沟外,

其余可利用占地面积约为 12 500 m²。具体工艺比较如表 2 所示。

两种工艺在投资和运行成本上差别不大,占地面积及工艺集约化方面 MBR 均占优势。改造后的平面布置如图 3 所示。

3.4 工艺流程

污水处理工艺选用预处理+UCT-MBR+臭氧紫外联合氧化消毒。工艺流程如图 4 所示。

表 2 工艺对比
Tab. 2 Processes Comparison

项目	UCT+MBR	Bardenpho+MBBR+加砂混凝沉淀池
面积及功能	下层:新建生物池 4 000 m ² +2#膜池 3 500 m ² +1#膜池 2 500 m ² 上层:新建鼓风机房+膜车间	下层:新建生物池 7 000 m ² +双层矩形沉淀池 31 25 m ² +泵房 200 m ² +混凝沉淀池 1 000 m ² 上层:新建鼓风机房+设备间
总投资(生物处理部分)/万元	17 229.52	16 945.27
设备投资(生物处理部分)/万元	13 678.86	10 748.85
土建投资(生物处理部分)/万元	3 550.66	6 196.42
吨水总投资(生物处理部分)/(元·m ⁻³)	957.20	941.40
吨水直接运行成本/(元·m ⁻³)	2.05	1.99



图 3 污水处理厂改造后平面布置

Fig. 3 Layout of WWTP after Reconstruction

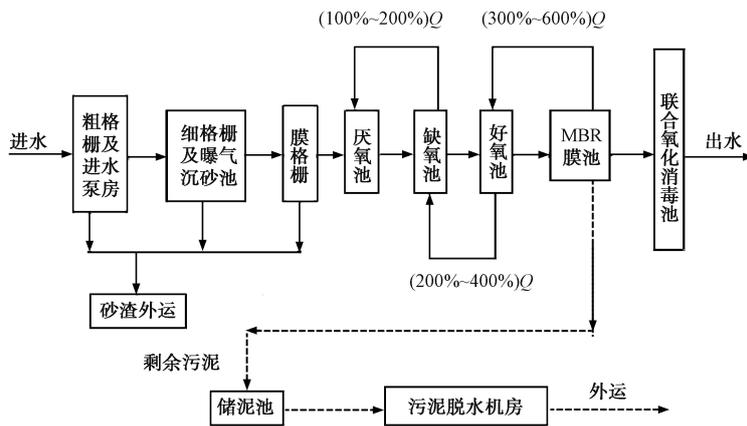


图 4 改造后污水处理厂工艺流程

Fig. 4 Process Flow of WWTP after Reconstruction

3.5 工艺设计

3.5.1 预处理

预处理阶段设粗、细、超细 3 级格栅,格栅间隙分别为 20、5、1 mm。保留原有的粗格栅和提升泵

房,更换提升泵,使其规模达到 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,另新建 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的粗格栅和提升泵房。拆除原有效果不佳、占地过大的细格栅和旋流沉砂池,新增细格栅及曝气沉砂池两座,规模对应提升泵房。曝气沉

砂池最大流量水平流速为 0.1 m/s, 对应停留时间为 2.7 min。新建近期规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的膜格栅间, 尺寸为 $31.8 \text{ m} \times 21.95 \text{ m} \times 8.1 \text{ m}$, 使用转鼓式膜格栅, 配套中压、高压冲洗泵进行阶段性清污, 压力分别为 0.8、15.0 MPa。

3.5.2 UCT 生物池、膜池

原氧化沟尺寸为 $120.75 \text{ m} \times 113.7 \text{ m} \times 5.9 \text{ m}$, 改为 UCT 生物池的厌氧区、缺氧区和部分好氧区, 设计规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 总停留时间为 11.7 h, 其中厌氧池、缺氧池、好氧池的停留时间分别为 1.6、3.2、6.9 h。改造前氧化沟局部池体污泥沉淀形成死区, 整体充氧效果欠佳。拆除原有表曝机及推流器, 原有厌氧区不变, 原有氧化沟区域增加、拆除或改造隔墙, 形成 5 段缺氧和好氧区。厌氧、缺氧池增设潜水搅拌机, 好氧池增设管式微孔曝气器 2 600 组, 并设置 3 段回流系统, 其中膜池至好氧池回流、好氧池至缺氧池回流均设置在新建生物池, 缺氧池至厌氧池回流设置在改造生物池。具体改造分区如图 5 所示。

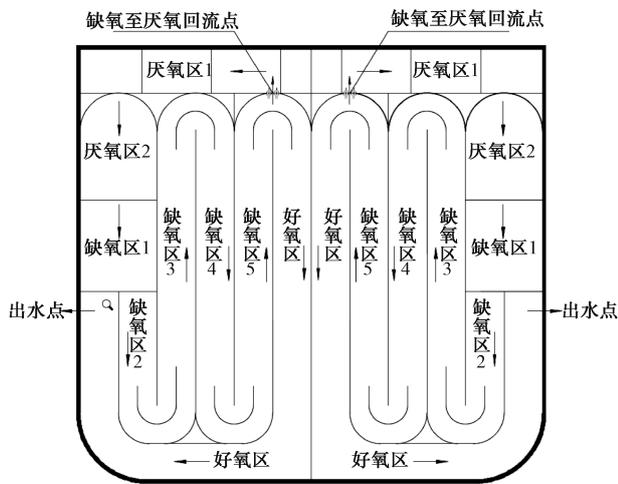


图 5 生物池改造分区

Fig. 5 Reconstruction Partition of Biological Pond

新建扩容部分的生物池尺寸为 $79.9 \text{ m} \times$

$48.6 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$, 膜池和新建生物池合建, 尺寸为 $67.5 \text{ m} \times 48.6 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$, 膜车间新建于池顶。生物池污泥质量浓度为 $5\,000 \sim 8\,000 \text{ mg/L}$, 污泥负荷为 $0.05 \text{ kg BOD}_5 / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$ 。膜池停留时间为 2.4 h, 平均膜通量为 $15 \text{ L} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 污泥质量浓度为 $8\,000 \sim 12\,000 \text{ mg/L}$, 运行方式为过滤 11 min、擦洗 1 min。膜池至好氧池前端回流比为 $300\% \sim 600\%$, 好氧池至缺氧池前端回流比为 $200\% \sim 400\%$, 缺氧池末端混合液回流至厌氧池回流比为 $100\% \sim 200\%$ 。

3.5.3 联合氧化消毒池

MBR 出水泵入联合氧化消毒池(含前臭氧接触池、封闭式紫外系统、后臭氧接触池及巴氏计量槽), 按远期规模 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计, 尺寸为 $37.5 \text{ m} \times 24.2 \text{ m} \times 7.50 \text{ m}$, 池型为矩形, 分为两个系列, 每系列设 1 格前臭氧接触池和两格后臭氧接触池, 设 3 段布气区, 每段停留时间为 10 min, 臭氧投加量总计 20 mg/L 。紫外模块设置 8 套, 远期增加 4 套, 每套 60 只灯管。紫外系统前后两个臭氧投加量可以调节, 臭氧发生器气源采用氧气源, 臭氧系统设置纯钛金属曝气头 440 个, 外径为 150 mm, 通气量为 $3 \text{ m}^3/\text{h}$, 氧利用率为 $18\% \sim 28\%$ 。配套建设供氧站, 内设两套 50 m^3 的液氧储罐、汽化器、减压装置和电加热装置。接触池出水经巴氏计量槽计量后可直接排至小中河, 也可加余氯后进入回用水池。回用水池与联合氧化消毒池及巴氏计量槽合建。污水最终消毒后外排, 部分水量补投次氯酸钠进行回用。

4 改造运行效果

项目于 2018 年开始稳定运行。2018 年 1 月—2019 年 11 月平均月进水量为 382 万 t, 进水水量较为平稳。进水水质波动较大, 各项污染物均值对比 2013 年—2015 年呈下降趋势, 基本稳定在设计进水水质之内。实际出水各项污染物指标均稳定达到设计出水水质标准(表 3)。

表 3 改造后进出水水质

Tab. 3 Influent and Effluent Water Quality after Reconstruction

项目	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	TN	氨氮	TP
进水水质/(mg·L ⁻¹)	101.30~265.60 (144.90)	232.10~531.80 (341.20)	69.70~691.80 (350.60)	38.20~56.30 (49.80)	26.40~44.20 (37.20)	5.13~11.20 (7.50)
出水水质/(mg·L ⁻¹)	2.45~5.81 (3.32)	11.10~20.40 (15.10)	0.96~4.40 (2.42)	6.39~14.20 (11.10)	0.12~0.94 (1.19)	0.13~0.44 (0.25)

注: 括号内为平均值

改造后出水 COD_{Cr} 质量浓度平均为 15.10 mg/L, 平均去除率从 93.3% 提升至 95.4%。未使用臭氧催化氧化的出水 COD_{Cr} 质量浓度在 30 mg/L 左右, 使用后出水 COD_{Cr} 质量浓度稳定在 30 mg/L 以下, 说明工艺对有机物有良好的去除效果。出水 TN 质量浓度平均为 11.10 mg/L, 改造后平均去除率从 69.3% 提升至 77.5%, 在夏季均值为 8.20 mg/L, 在冬季均值较高, 通过提高回流比、投加少量碳源的方式亦能稳定在 15 mg/L 以下。改造后出水 TP 质量浓度平均为 0.25 mg/L, 平均去除率从 92.1% 提升至 96.6%。改造前采用幅流式沉淀池, 存在漂泥现象, 需投加大量药剂增强除磷效果。改造后去除率提高至 95% 以上, 除磷效果显著好转。应用中 UCT 工艺采用多段回流, 避免混合液中高溶解氧及硝态氮对厌氧释磷的影响, 为聚磷菌提供了良好的环境。另外根据唐忠德等^[8]研究表明, 污泥中反硝化除磷菌(DPOs)富集强化了 MBR 的除磷效果。

运行中出水 TP 在冬季并未出现显著波动, 去除率均值为 96%, 除磷加药量亦未显著增多。原因可能是冬季系统运行中污泥龄延长, 适合世代周期较长、增长缓慢的反硝化除磷菌增殖, 增强了低温下反硝化除磷的效果, 增加了反硝化除磷的除磷占比。

5 技术经济指标

项目总投资为 58 464.57 万元, 其中直接工程费用为 41 063.64 万元。项目直接运行成本主要包括电费、人工费、药剂费、污泥外运费、设备维修费等, 合计为 2.05 元/ m^3 (测算值)。

6 结论

(1) 采用 UCT-MBR 工艺对北京某污水处理厂

进行提标改造, 改造后出水指标 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、氨氮、TN、TP 质量浓度均值为 15.13、3.32、2.42、1.19、11.12、0.25 mg/L, 出水水质满足北京市地标 B 标准。

(2) 改造后系统具有较好的抗冲击负荷能力, 冬季低温高负荷情况下, 采取增大回流比、加强曝气、适当延长污泥龄等措施, 在少量投加碳源的情况下, 有效地增强系统脱除氮素的能力。

(3) UCT-MBR 具有良好的脱氮除磷效果, 工艺适用于占地受限、冬季低温、排放标准高、出水标准严格的污水处理厂新建或提标改造中应用。

参考文献

- [1] 郝晓地, 李天宇, 吴远远, 等. A^2/O 工艺用于污水处理厂升级改造的适宜性探讨[J]. 中国给水排水, 2017(33): 18-24.
- [2] 董良飞, 郝晓敏, 余海静, 等. MBR 组合工艺脱氮除磷研究进展[J]. 中国给水排水, 2010, 26(4): 24-28.
- [3] 李鹏峰, 郑兴灿, 李激, 等. 城镇污水处理厂提标改造工作流程探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(22): 14-19.
- [4] 鞠兴华, 王社平, 彭党聪. 城市污水处理厂设计进水水质的确定方法[J]. 中国给水排水, 2007, 23(14): 48-51.
- [5] 滕良方, 吴迪, 郑志佳, 等. 某污水厂 Bardenpho-MBBR 准 IV 类水提标改造分析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(11): 33-39.
- [6] 冯硕, 李振川, 冯凯. 北京市中心城区再生水厂技术路线总结及探讨[J]. 给水排水, 2020, 46(2): 20-24.
- [7] 李一龙. 以流域治理为目标导向的城乡过渡区污水处理厂设计[J]. 净水技术, 2020, 39(12): 36-42.
- [8] 唐忠德, 姚晓园, 韦世凡. 基于 MBR 脱氮除磷与污水回用中试研究[J]. 水处理技术, 2012, 38(1): 101-104.

行业资讯

马军院士: 臭氧多级屏障绿色消毒技术 成功阻断 COVID-19“物传人”

新冠病毒以冷链货物为媒介的“物传人”传播已被证实为新冠疫情的传播方式之一。对冷链货物的高效消毒是阻断病毒“物传人”传播途径的最有效方法。然而, 在实际的冷链消毒作业过程中, 存在着病毒检测和消杀工作量巨大、常规消毒剂易结冰、存在消毒死角、产生有害消毒副产物等关键问题。

中国工程院院士、哈尔滨工业大学教授、《净水技术》期刊编委马军院士通过视频方式介绍了其团队提出的臭氧多级屏障绿色消毒体系。依据大量实际消毒工程案例和长期研究积累, 提出涵盖冷链货物全生命周期的多级屏障消毒体系, 并指出发展绿色消毒技术对于保证冷链货物高效消毒的重要作用, 为有效阻断新冠病毒“物传人”传播途径提供了策略支持。



扫描二维码阅读全文