

高靖伟, 韩磊, 江乐勇, 等. 基于原址不停水目标的某污水厂提标改扩建工程设计与运行[J]. 净水技术, 2024, 43(10): 167-175.

GAO J W, HAN L, JIANG L Y, et al. Design and operation of upgrading and expansion of WWTP based on in-situ land use and non-stop operation during the renovation period[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(10): 167-175.

## 基于原址不停水目标的某污水厂提标改扩建工程设计与运行

高靖伟<sup>1,\*</sup>, 韩磊<sup>1</sup>, 江乐勇<sup>1</sup>, 刘发<sup>1</sup>, 李赛<sup>2</sup>

(1. 信开环境投资有限公司, 北京 101101; 2. 北京桑德环境工程有限公司, 北京 101102)

**摘要** 原污水处理厂现状规模为 8 万 m<sup>3</sup>/d, 出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 B 标准, 采用氧化沟+二沉池处理工艺, 占地面积约为 53 395 m<sup>2</sup>。采用以膜生物反应器(MBR)+紫外光催化臭氧氧化为主体的改造工艺路线, 满足不新增用地要求, 规模扩建至 18 万 m<sup>3</sup>/d, 吨水占地仅为 0.296 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 出水标准提高至北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB11/890—2012)中的 B 标准。充分利用原有处理单元进行提标改扩建, 主要为利旧扩增粗格栅提升泵房, 将原氧化沟改造为改良厌氧-缺氧-好氧(AAO)工艺, 主体生化单元按(10万+8万)m<sup>3</sup>/d 两系列模式先后实施。提标改扩建工程共分三个阶段实施, 实现施工期间不停水且维持原出水标准。预处理及深度处理单元土建按远期建设, 总投资约为 5.4 亿元, 其中相关设计思路可供类似工程参考。

**关键词** 膜生物反应器(MBR) 紫外光催化臭氧氧化 提标改扩建 不新增用地 不停水

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)10-0167-09

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.10.021

## Design and Operation of Upgrading and Expansion of WWTP Based on In-Situ Land Use and Non-Stop Operation during the Renovation Period

GAO Jingwei<sup>1,\*</sup>, HAN Lei<sup>1</sup>, JIANG Leyong<sup>1</sup>, LIU Fa<sup>1</sup>, LI Sai<sup>2</sup>

(1. Xinkai Environment Investment Co., Ltd., Beijing 101101, China;

2. Beijing Sound Environmental Engineering Co., Ltd., Beijing 101102, China)

**Abstract** The current treatment capacity of this wastewater treatment plant(WWTP) is 80 000 m<sup>3</sup>/d, and the standard of effluent is the national first class B standard. The oxidation ditch + secondary sedimentation tank process is adopted with area coverage of 53 395 m<sup>2</sup>. The main upgrading process of membrane bio-reactor (MBR) + ultraviolet photocatalytic ozone oxidation combined oxidation is adopted to meet the requirement of no new land use. The scale can be expanded to 180 000 m<sup>3</sup>/d, and tons of water covered only 0.296 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. The effluent standard raises to the B standard in Beijing *Discharge Standards for Water Pollutants from Urban Sewage Treatment Plants* (DB11/890—2012). In full use of the original treatment unit for upgrading reconstruction and expansion, the original coarse screen lifting pump room process is used through expansion, the original oxidation ditch process is transformed into modified anaerobic-anoxic-oxic (AAO) process. The main biochemical unit is successively implemented according to the two series of models of (100 000+80 000) m<sup>3</sup>/d. Reconstruction and expansion requirements are realized in three stages to achieve uninterrupted water supply and maintain the original effluent standard during construction. Civil construction of pre-treatment and advanced treatment unit according to the long-term construction, the total investment is about 540 million yuan, of which the relevant design ideas can be used as reference for similar projects.

**Keywords** membrane bio-reactor(MBR) UV photocatalytic ozonation upgrading reconstruction and expansion no new land use non-stop water supply

[收稿日期] 2023-09-24

[通信作者] 高靖伟(1990—),男,高级工程师,主要从事市政给排水及流域治理的技术研究、工程设计、建设和投资工作, E-mail:496459662@qq.com。

随着城市人口规模、经济高速发展,污水量也日益增加,污水处理厂处理能力已无法满足要求。同时,为更好地落实国家《水污染防治行动计划》中提出的改善水环境质量要求,加强再生水回用<sup>[1]</sup>,污

水处理排放标准日益严格, 污水厂亟需提标扩建。近年来, 国内污水处理厂的提标改扩建案例较多, 普遍面临污水处理厂被居住区商圈包围, 邻避效应严重、无扩建用地, 异地搬迁重建成本过高难题。因此, 受限土地资源紧张、无水量转输途径、提标改造规模及水质跨度大等难点, 不降负荷、不停产、原址实施不扩地、施工期间维持出水水质的工程方案成为重要发展方向, 具有明显的社会、经济和环境优势。例如, 成都市第三污水处理厂通过分步改造, 将原二沉池改为膜池, 在建设期采用原改良 AAO 工艺和新建 MBR 工艺混合运行, 成功实现了出水由一级 A 提高至地表水Ⅳ类标准的不停水不扩地施工<sup>[2]</sup>。通过对本项目服务范围内地块发展趋势及污水增量分析, 并结合《北京市加快污水处理和再生水利用设施建设三年行动方案》要求, 需将处理规模由现状 8.0 万 m<sup>3</sup>/d 提高到 18.0 万 m<sup>3</sup>/d, 出水标准由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中的一级 B 提高至北京市《城镇污水处

理厂水污染物排放标准》(DB11/ 890—2012) 中的 B 标准。本项目具有扩建规模跨度大、出水标准提高跨度大、现状氧化沟利旧改造难度大、用地紧张的突出特点。本文结合工程实例, 针对上述难点进行了详细分析介绍, 充分考虑了现状设施利旧及不扩地不停水施工方案, 可为相关类似工程建设提供参考。

## 1 改造前原污水厂概况

该污水处理厂 2007 年正式通水运行, 设计规模为 8.0 万 m<sup>3</sup>/d, 总占地面积为 53 395 m<sup>2</sup>, 出水标准执行国标一级 B 标准。原污水处理工艺流程为“粗格栅及提升泵房+细格栅及旋流沉砂池+卡鲁塞尔氧化沟+二沉池+消毒”。对该污水处理厂 2013 年—2014 年实际进水水质分析, 统计进水水质 85% 保证率数据, 并结合同区域污水处理厂设计进水水质及《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015) 要求, 并适当考虑未来服务范围内水质随经济发展变化, 本次提标改造工程设计进出水水质如表 1 所示。

表 1 设计进出水水质指标

Tab. 1 Water Quality Indices of Designed Influent and Effluent

项目	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	悬浮物(SS)	氨氮	总氮(TN)	总磷(TP)
进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	500	160	400	40	55	7.0
出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	30	6	5	1.5(2.5)	15	0.3

注: 12 月 1 日—3 月 31 日执行括号内的排放限值。

## 2 提标改造工程设计

### 2.1 重难点分析

(1) 出水标准高且用地紧张。根据《城市污水处理工程项目建设标准》, 扩建项目属于Ⅱ类污水处理工程, 按设计出水水质要求用地指标至少为 1.05 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>。据此计算, 合理用地面积应为 189 000 m<sup>2</sup>, 而本工程建设用地仅为 53 395 m<sup>2</sup>, 吨水占地为 0.296 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 仅为规范用地面积的 28%, 用地极为紧张。面对高排放标准、低用地指标情况下, 必须采用高效节地型处理工艺, 采用集约化布置, 并充分利用竖向空间, 才能破解难题。

(2) 不停水作业且出水稳定达标。为避免停水施工对水环境造成严重污染破坏, 因此需要提标改造施工期间不停水或者短时停水, 保证水厂连续稳定运行。需要复核现状污水处理单元效能, 明确利旧或拆除; 合理规划厂区预留及拆后场地, 明确临时设施与现状设施的衔接; 摸排厂区工艺管线, 详细推演论证倒水转换步骤; 通过分步实施、新旧设施逐步

更替, 实现水厂提标的平稳过渡<sup>[3]</sup>。

### 2.2 改造思路

#### 2.2.1 预处理系统改造方案

原粗格栅共设 2 条渠, 渠宽为 1.6 m, 栅间隙为 25 mm, 安装倾角为 75°, 栅前水深为 1.57 m。经校核, 过栅最小流速为 0.6 m/s 时, 粗格栅最大处理能力可达 6 250 m<sup>3</sup>/h。因此, 本工程保留原粗格栅及提升泵房, 提标改造期间按原规模 80 000 m<sup>3</sup>/d 运行, 改造完成后更换原污水提升泵, 按 100 000 m<sup>3</sup>/d 运行。同时需新建 1 座粗格栅及提升泵房, 土建规模按照远期 20 万 m<sup>3</sup>/d 建设, 设备按照近期 8 万 m<sup>3</sup>/d 安装。原细格栅及旋流沉砂池, 因其占地面积较大, 处理效果不佳, 无法满足提标改造后后续生化处理单元要求, 需要全部拆除重建, 重建按远期规模考虑, 考虑不停水施工作业, 需分为 (10 万+20 万) m<sup>3</sup>/d 两系列分步实施。

#### 2.2.2 新建二级及深度处理系统

综合考虑现状场地现有构筑物布置分散、可利

用空地面积小、出水标准严等因素。为保证不停水施工,需要选择一种工艺流程短、占地面积小、容积负荷高的改造工艺<sup>[2]</sup>,并建议通过“新建-倒水-拆除-新建”或“新建-倒水-原池改造”的方式完成提标改扩建工程。出水 SS 质量浓度 $\leq 5$  mg/L,可以通过膜过滤、混凝沉淀+滤池形式实现。常规生化工艺出水 COD<sub>Cr</sub> 质量浓度一般为 20~40 mg/L,本项目按工业用地污水量指标 0.162 万 t/(km<sup>2</sup>·d<sup>-1</sup>)测算,工业废水近期占比约为 30%,设计进水水质 BOD<sub>5</sub>/

COD<sub>Cr</sub> 比较低,为了稳定达标需在膜生物反应器(MBR)后增加高级氧化工艺或活性炭吸附滤池对难降解溶解性 COD<sub>Cr</sub>进一步去除<sup>[4]</sup>。活性炭吸附滤池在污水处理中应用较少,运行操作及填料再生复杂、占地面积大、运行成本高,不建议本项目中采用。因此,满足上述要求的提标改造工艺路线主要为两大类:方案一为生化-MBR-高级氧化;方案二为生化-二沉-高效沉淀-反硝化滤池-高级氧化,结合本项目特点,对二者进行对比如表 2 所示。

表 2 工艺路线综合对比

Tab. 2 Comprehensive Comparison of Process Routes

比选项目	生化-MBR-高级氧化	生化-二沉-高效沉淀-反硝化滤池-高级氧化
出水水质保障	处理效果好,出水稳定	处理效果好,出水稳定
运行管理维护	工艺流程短,自动化程度高,运维量较低;但膜清洗维护较为复杂,清洗药剂腐蚀性较强,操作环境较差	工艺流程长,设备数量多,运维量较大;但工艺成熟度高,运维管理难度较低,操作环境较好
抗冲击负荷	好	较好
占地面积	较小,每万吨水占地为 0.002 7~0.003 3 km <sup>2</sup>	较大,每万吨水占地为 0.006~0.006 7 km <sup>2</sup>
运行成本	较高,主要体现在膜擦洗曝气电耗及膜更换成本较高,约为 1.9 元/t	较低,约为 1.6 元/t
原有设施利用率	较高,现状氧化沟利用率 100%	较低,现状氧化沟无法满足达标要求,需减产或扩建,利用率 50%
提标改造难度	构筑物少、倒水方便、施工难度低	构筑物多且复杂、倒水周期长、施工难度大

经技术经济比选后,确定采用生化-MBR-高级氧化工艺作为二级深度处理单元。MBR 可取代传统二沉池,并且可大幅提高污泥质量浓度至 8~12 g/L,提高容积负荷,大幅减小占地面积。MBR 微米级的膜孔径能提高固液分离效率,使出水 SS 质量浓度接近于 0<sup>[3]</sup>;可降低增殖缓慢的硝化菌流失率,提高硝化效果;较高的污泥浓度有利于内源反硝化进一步保证出水 TN 达标<sup>[5]</sup>。MBR 曝气强度高不利于含磷污泥沉降,较长的污泥龄又延缓了系统内含磷污泥的外排,造成除磷效率较低,需向好氧区投加除磷药剂来实现出水 TP 质量浓度 $\leq 0.3$  mg/L<sup>[6]</sup>。为更好地保护膜系统运行,避免膜丝堵塞缠绕,降低使用寿命,在预处理系统中增加膜格栅系统,土建按远期 30 万 m<sup>3</sup>/d 一次建成。同时,本项目提标后对出水色度及消毒保障有较高的要求,色度 $\leq 15$  倍、粪大肠菌群数 $\leq 1\ 000$  MPN/L。综合考虑工艺运行稳定性、操作便捷性、占地集约型,确定采用紫外催化臭氧氧化联合消毒工艺。该工艺由前臭氧接触系统、管道式紫外系统和后臭氧接触系统串联组成,紫外间与臭氧接触池共壁合建,平面及竖向空间利用

率较高,借助紫外光的辐射催化作用,提高羟基自由基的氧化能力,减少臭氧投加量;促使难降解有机物发生化学键断裂,提高其易被氧化性<sup>[7]</sup>。

### 2.2.3 现状氧化沟改造思路

原氧化沟处理系统共 2 座,设计处理规模为 80 000 m<sup>3</sup>/d,厌氧区停留时间为 1.87 h,其余留时间为 16.25 h,有效水深为 5.0 m,采用立式表曝机。按生化-MBR 系统改造后,取污泥质量浓度为 8 000 mg/L,按设计进出水水质对现状氧化沟处理单元进行校核,最不利水温为 12 ℃,根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中 7.6.17 公式进行计算,好氧区所需停留时间为 7.0 h;缺氧区停留时间按最低温,不同反硝化速率进行对比,如表 3 所示。

表 3 低温下不同反硝化速率对应的缺氧区停留时间

Tab. 3 Hydraulic Retention Time of Anoxic Zone with Different Denitrification Rates at Lower Temperature

水温/℃	20 ℃时反硝化速率/ [kg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N·(kg MLSS·d) <sup>-1</sup> ]	缺氧区停留 时间/h
12	0.035	5.17
12	0.045	4.02
12	0.050	3.62

综上所述,建议缺氧区停留时间为 4.0 h,并预留 1.0 h 的可调区。当反硝化速率较低时,可通过提高污泥浓度或者将可调区改为缺氧区,延长缺氧区停留时间,提高反硝化脱氮效率<sup>[8]</sup>。结合现状氧化沟池型布置,及增加回流改造特点,建议好氧池停留时间为 8.0 h,故缺氧+好氧所需总停留时间仅为 13.0 h,低于现状氧化沟停留时间,本项目建议保留

现状氧化沟,仅对其进行功能分区及曝气形式进行改造,大大节约投资及工期。同时,处理规模可提高至  $(16.25/13) \times 80\ 000 = 100\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

### 3 提标改扩建工艺设计

#### 3.1 提标改扩建后工艺流程

综上所述,本项目提标改扩建工艺流程,如图 1 所示。

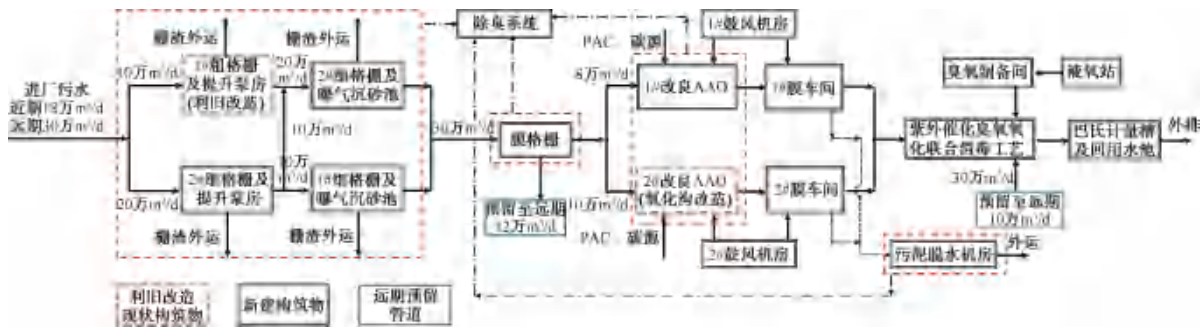


图 1 提标改扩建工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Upgrading Reconstruction and Expansion

#### 3.2 提标改扩建工艺设计参数

##### 3.2.1 粗格栅及提升泵房

1#粗格栅及提升泵房(改造)。利旧回转式机械粗格栅,共 2 条渠,渠宽为 1.6 m,栅间隙为 25 mm,安装倾角为 75°,栅前水深为 1.57 m,处理规模由 8 万  $\text{m}^3/\text{d}$  调整为 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。提标改造期间保持原提升泵不变,确保不停水施工。提标改造完成后,水泵按处理规模为 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$  全部更换。

2#粗格栅及提升泵房(新建)。按远期 20 万  $\text{m}^3/\text{d}$  土建施工,设备按近期安装。栅宽为 1.5 m,栅前水深为 1.16 m,栅隙为 20 mm,共 4 条渠道。泵房设有 7 泵位,单泵参数:流量  $Q=1\ 800\ \text{m}^3/\text{h}$ ,扬程  $H=18\ \text{m}$ ,功率  $N=132\ \text{kW}$ ;近期过水 8 万  $\text{m}^3/\text{d}$  时,开启 3 台,其中 1 台变频;远期过水 20 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,开启 6 台。

##### 3.2.2 细格栅及曝气沉砂池

1#细格栅及曝气沉砂池(新建)。设计规模为 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,共 4 台循环齿耙细格栅,栅宽为 1.3 m,栅隙为 5 mm,栅前水深为 1 m;曝气沉砂池 1 座 2 格,停留时间为 5 min。

2#细格栅及曝气沉砂池(新建)。拆除原有细格栅及旋流沉砂池后,空地按远期 20 万  $\text{m}^3/\text{d}$  土建施工,设备近期按 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$  安装。近期安装 3 台循环齿耙细格栅,远期安装 2 台,栅宽为 1.8 m,栅

隙为 5 mm,栅前水深为 1 m;曝气沉砂池共 2 座 4 格,停留时间为 5 min,近期安装使用 2 格。

##### 3.2.3 膜格栅

膜格栅(新建)。按远期 30 万  $\text{m}^3/\text{d}$  土建施工,设备按近期 18 万  $\text{m}^3/\text{d}$  安装,近期安装 6 台内进流格栅,5 用 1 备,远期安装 5 台,渠宽为 1.4 m,栅隙为 1 mm,栅前水深为 2.74 m。

##### 3.2.4 生化处理单元

氧化沟(改造)。总池容不变,经前述论证可提高处理规模至 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。改造后生物池厌氧段停留时间为 1.5 h,缺氧区停留时间为 4.0 h,增加可调区停留时间为 1.0 h(缺氧与好氧可调),好氧区停留时间为 8 h。拆除原有表面曝气机,采用底曝的形式,增加鼓风机及管式曝气器,并借助原有池壁增加曝气管廊及检修通道。将原有池壁顶面向下拆除 0.5 m,仅剔除混凝土部分,保护原池壁钢筋,并与加高部分钢筋焊接,然后重新浇筑混凝土。增加好氧至缺氧、好氧至厌氧、缺氧至厌氧、MBR 至好氧的回流系统。厌氧区潜水搅拌机利旧,单座氧化沟在缺氧区直线廊道段增加 4 台潜水推流器,单台参数:直径  $\varphi=1\ 800\ \text{mm}$ ,转速 = 43 r/min,  $N=4.0\ \text{kW}$ ;缺氧区环形区域及可调区共增加 7 台潜水搅拌机,单台参数: $\varphi=6\ 200\ \text{mm}$ ,转速 = 480 r/min,  $N=4.0\ \text{kW}$ 。曝气风机 3 台,2 用 1 备,  $Q=312\ \text{m}^3/\text{min}$ ,风压  $P=$

63.7 kPa,  $N=450$  kW。

改良 AAO(新建)。设计规模为 8 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 受限于项目可用地面积及施工作业空间制约, 新建生化池总停留时间为 11.5 h, 有效水深为 7.0~7.2 m, 其中厌氧段为 1.5 h, 缺氧段为 3.0 h, 好氧段为 7.0 h, 好氧段前端 4 个曝气单元区设为可调区(停留时间为 1.5 h), 可实现好氧与缺氧的切换。按前述氧化沟参数测算, 当最不利低温下, 污泥质量浓度由 8 000  $\text{mg}/\text{L}$  增加至 8 500  $\text{mg}/\text{L}$  时, 缺氧区停留时间可由 4.02 h 降至 3.79 h, 好氧区停留时间可由 7.0 h 降至 6.54 h; 当污泥质量浓度增加至 9 000  $\text{mg}/\text{L}$  时, 缺氧区停留时间可降至 3.58 h, 好氧区停留时间可降至 6.2 h; 因此上述设计参数可满足运行调控需求。曝气风机 4 台, 3 用 1 备,  $Q=167$   $\text{m}^3/\text{min}$ ,  $P=83.3$  kPa,  $N=315$  kW。

MBR 回流至氧化沟及改良 AAO 好氧区的回流比为 300%~600%, 好氧区回流至缺氧区的回流比为 200%~400%, 缺氧区回流至厌氧区的回流比为 50%~100%。

### 3.2.5 膜系统

1#膜系统(新建)。设计规模为 8 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 平均膜通量为 22.43  $\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 共设有 6 组膜系列, 每个系列安装 16 个膜箱, 并预留 8 个膜箱空位; 单个膜箱安装 48 片膜, 总有效膜面积为 1 651.2  $\text{m}^2$ , 其中 2 个膜箱仅安装 1/2 膜片。在不停产改造期间, 该 1#膜系统先临时与现状氧化沟连通, 膜池至氧化沟厌氧区、好氧区回流比分别为 50%~100%、100%~200%。

2#膜系统(新建)。设计规模为 10 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 平均膜通量为 23.36  $\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 共设有 6 组膜系列, 每个系列安装 18 个膜箱, 并预留 8 个膜箱空位; 单个膜箱安装 48 片膜, 总有效膜面积为 1 651.2  $\text{m}^2$ 。改造完成后, 氧化沟出水进入 2#膜系统, 新建改良 AAO 出水进入 1#膜系统。

膜擦洗风机房共用, 共设 5 台风机, 1#及 2#膜系统分别采用 2 台  $Q=390$   $\text{m}^3/\text{min}$ ,  $P=49$  kPa,  $N=400$  kW、2 台  $Q=490$   $\text{m}^3/\text{min}$ ,  $P=49$  kPa,  $N=500$  kW 为其供风, 并设有一台  $Q=490$   $\text{m}^3/\text{min}$  的风机互为备用。

### 3.2.6 深度处理系统

深度处理系统按远期 30 万  $\text{m}^3/\text{d}$  土建施工, 由

紫外催化臭氧氧化联合消毒池、出水巴氏计量槽、回用水池共壁合建。其中紫外催化臭氧氧化联合消毒池共分 3 格, 近期安装 2 格, 该单元由前臭氧接触池、管道式紫外系统、后臭氧接触池 3 部分组成。紫外透光率 70%, 共 8 套, 每套 60 支灯管, 单支 320 W。

前、后臭氧接触停留时间分别为 5、10 min, 前池臭氧投加量为 1.5~2.5  $\text{mg}/\text{L}$ , 后池臭氧投加量为 2.5~3.5  $\text{mg}/\text{L}$ 。

### 3.2.7 污泥处理系统

污泥脱水机房按远期 30 万  $\text{m}^3/\text{d}$  土建施工, 设备按近期 18 万  $\text{m}^3/\text{d}$  安装。近期污泥产量为 4.5 t DS/d, 采用 2 台一体化离心浓缩脱水机, 单台处理能力为 105  $\text{m}^3/\text{h}$ , 工作时间 21.6 h/d; 远期增加 2 台, 3 用 1 备, 工作时间为 24 h/d。阳离子 PAM 投加量为 3~5  $\text{kg}/(\text{t DS})$ , 投加质量分数为 0.1%, 近期加药流量为 5  $\text{m}^3/\text{h}$ , 加药泵 2 用 1 备, 运行 21.6 h; 远期加药流量为 7.5  $\text{m}^3/\text{h}$ , 加药泵 3 用 1 备。PAM 加药泵(螺杆泵)均为变频控制, 可根据实际情况调整加药流量。

## 4 提标改扩建分步实施方案

改造前污水厂平面布置如图 2 所示。本项目实施过程中按照不扩地、不停水、不降低出水水质要求, 通过空地新增临时设施、新建处理单元、利旧原处理单元、拆除废弃处理单元腾地等措施, 分 3 个阶段完成提标扩建工程, 总体实施步骤如下。

第一阶段: 拆除原有污泥脱水机房, 原有变配电间, 腾出空地新建综合设备间, 本阶段完成综合设备间内膜擦洗鼓风机房安装; 利用厂区现状预处理单元可用空地新建厂区进水井及配套管线、粗格栅前阀门井、进水流量计井、膜格栅间、2#粗格栅及提升泵房、1#细格栅及曝气沉砂池, 预处理间配电间, 新增临时污泥脱水机房; 利用厂区现状尾水排放区域可用空地新建 1#膜系统; 完善相应各新增处理单元工艺管线。第一阶段改建平面布置如图 3 所示, 建成后工艺流程如图 4 所示。

第二阶段: 拆除原有污泥浓缩池并原地新建贮泥池; 拆除原有二沉池, 利用二沉池空地新建改良 AAO 生物池及配套鼓风机房、2#膜系统紫外催化臭氧氧化联合消毒池、出水巴氏计量槽及回用水池; 拆除细格栅及旋流沉砂池, 并利用空地新建 2#细格栅及曝气沉砂池; 拆除原有紫外消毒渠并新建出水井;

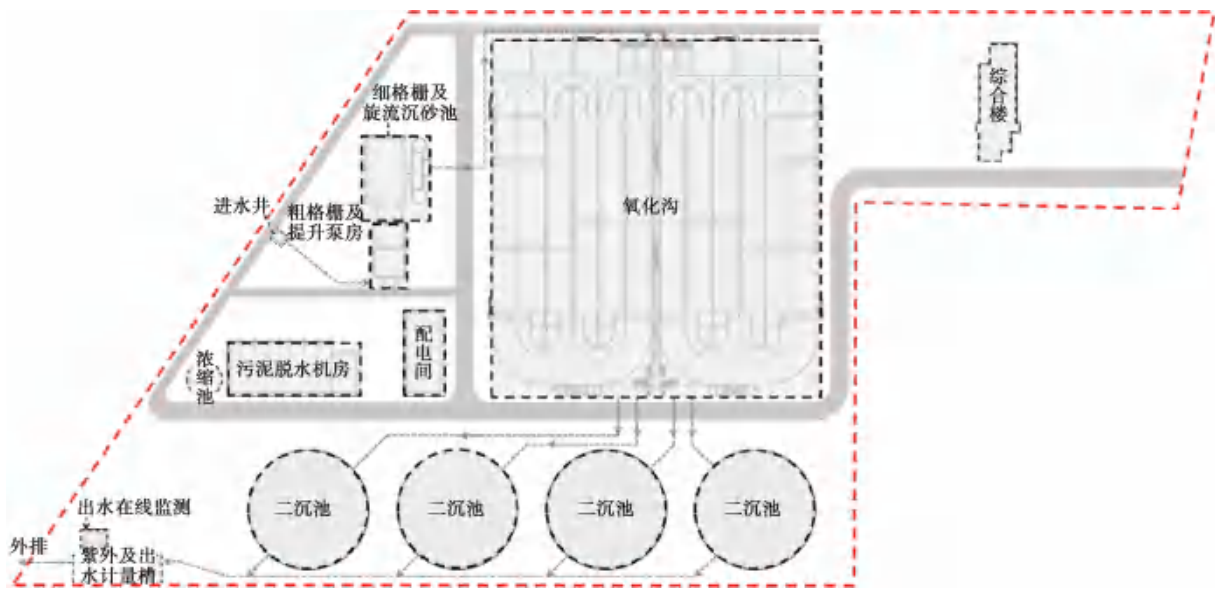


图 2 改造前平面布置

Fig. 2 Layout of WWTP before Reconstruction

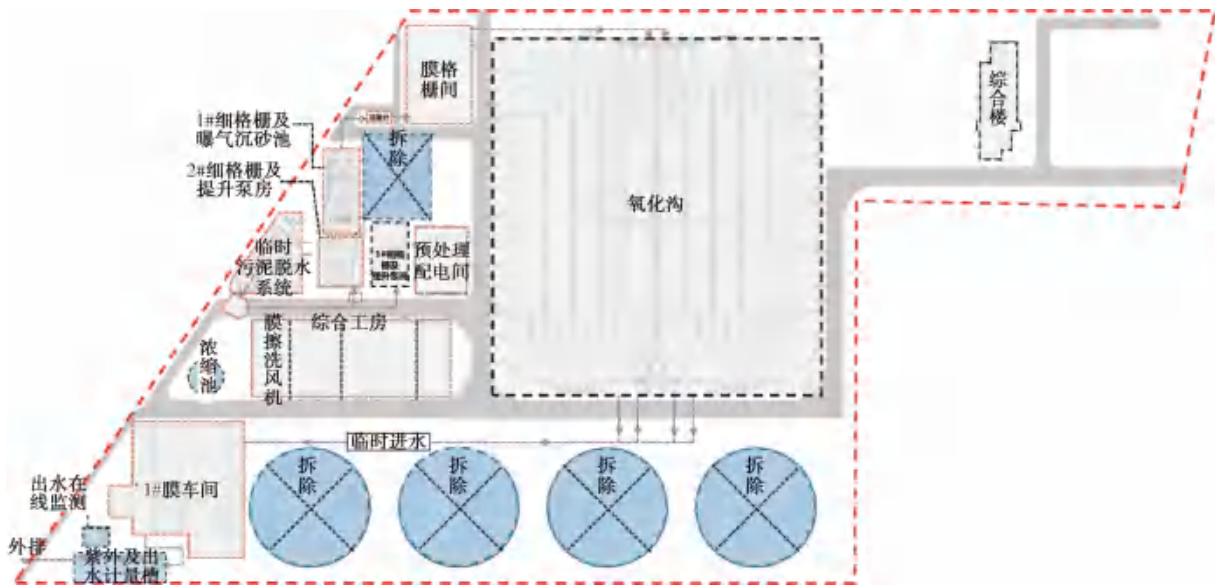


图 3 第一阶段平面布置

Fig. 3 Layout of Stage I

拆除出水在线监测室并新建; 利旧改造 1#粗格栅及提升泵房及氧化沟单元; 完善相应各处理单元工艺管线。第二阶段改建平面布置图如图 5 所示, 建成后工艺流程如图 6 所示。

第三阶段: 拆除临时脱水机房腾出空地新建液氧站; 新建出水在线监测室, 水源热泵间、相应工艺管线; 完成综合设备间臭氧发生系统、改造氧化沟单元的配套鼓风机房、污泥脱水系统设备安装; 整体封闭预处理车间; 完善厂区除臭系统。第三阶段改建

平面布置如图 7 所示, 建成后工艺流程如图 1 所示。

## 5 运行效果及经济分析

本项目提标改造完成后, 各项指标均稳定达到设计要求, 并对 2020 年 7 月—2021 年 9 月进出水水质数据进行了分析, 虽然进水水质波动较大, 但出水水质均能稳定达标排放, 如图 8 所示。进水  $BOD_5$  平均值为  $186.9 \text{ mg/L}$ ,  $TN$  平均值为  $46.8 \text{ mg/L}$ , 平均  $C/N=4$ , 实际运行中并未额外投加碳源。因  $TP$  进水波动较大为  $1.53 \sim 13.9 \text{ mg/L}$ , 平均值为  $7.19 \text{ mg/L}$ ,

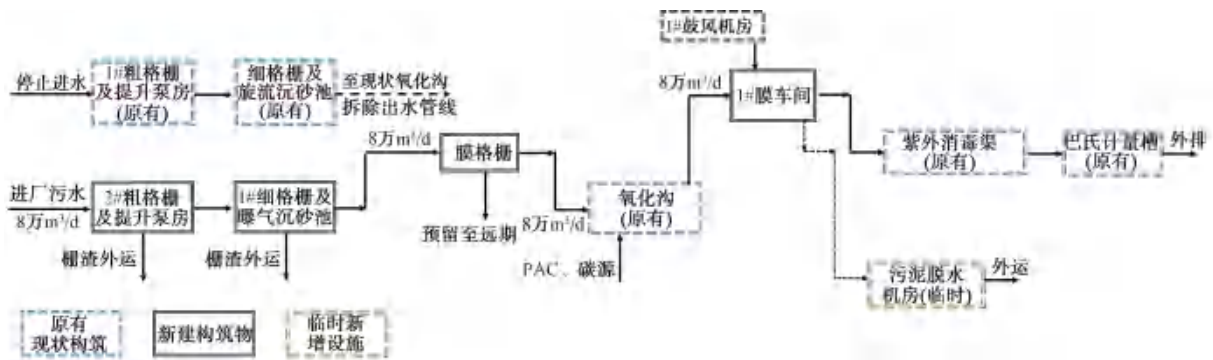


图4 第一阶段工艺流程

Fig. 4 Process Flow of Stage I

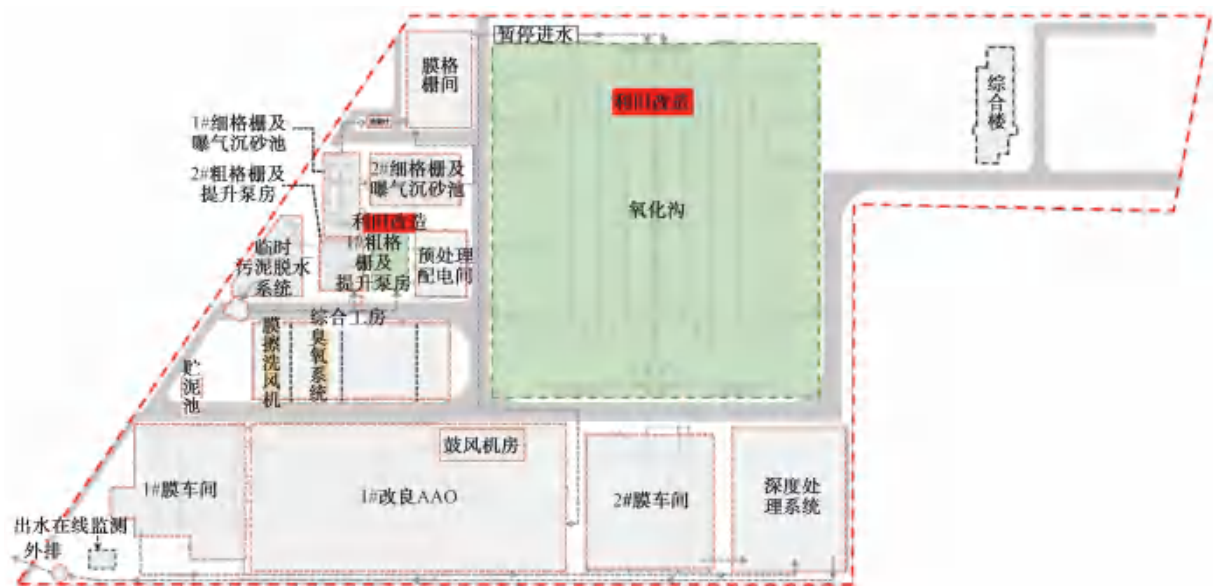


图5 第二阶段平面布置

Fig. 5 Layout of Stage II

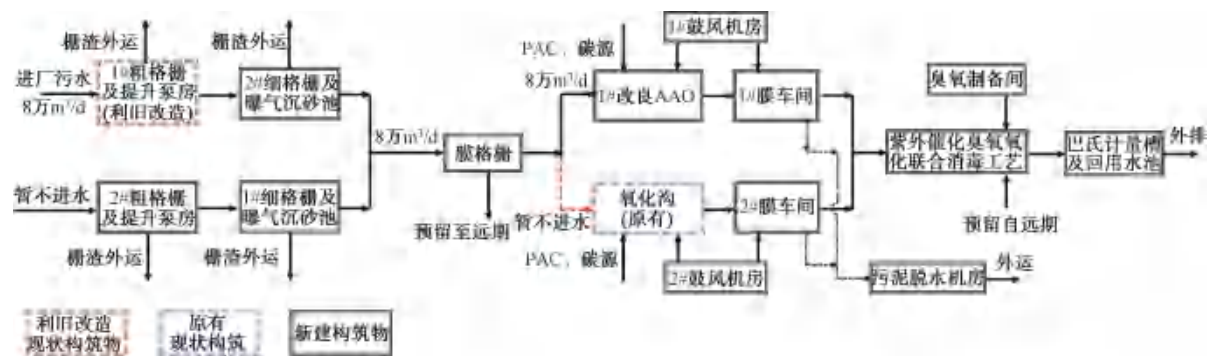


图6 第二阶段工艺流程

Fig. 6 Process Flow of Stage II

且项目采用 MBR 工艺,污泥龄较长不利于生物除磷,需重点强化化学除磷,因此除磷药剂平均投加量较高

为 146 mg/L;用于辅助消毒及膜清洗的次氯酸钠平均投加量为 130 mg/L;膜清洗的柠檬酸投加量平均

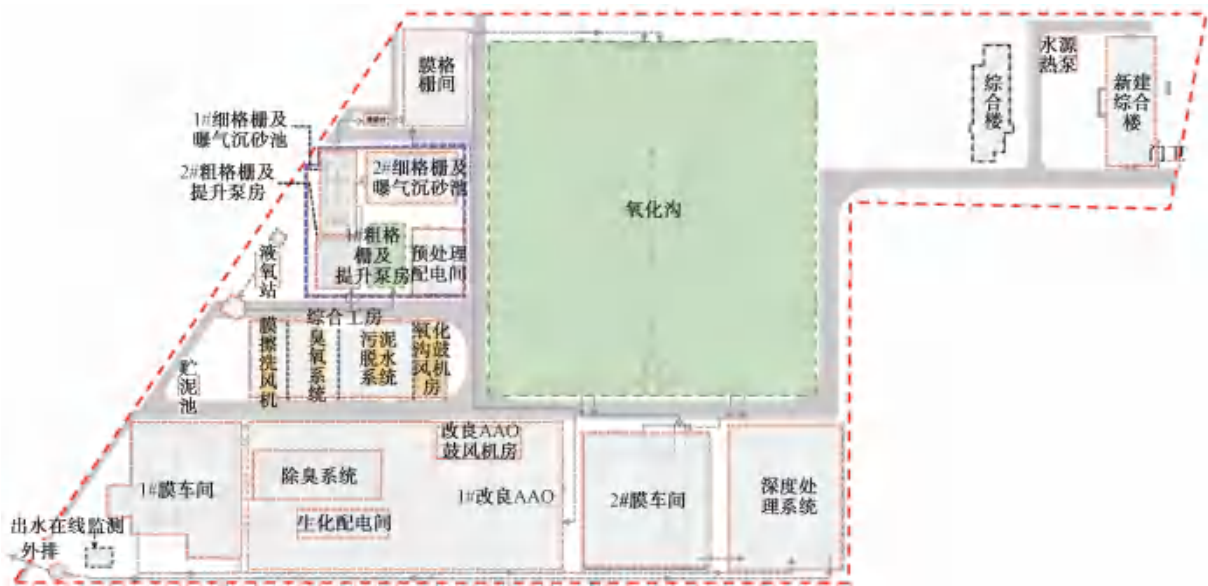
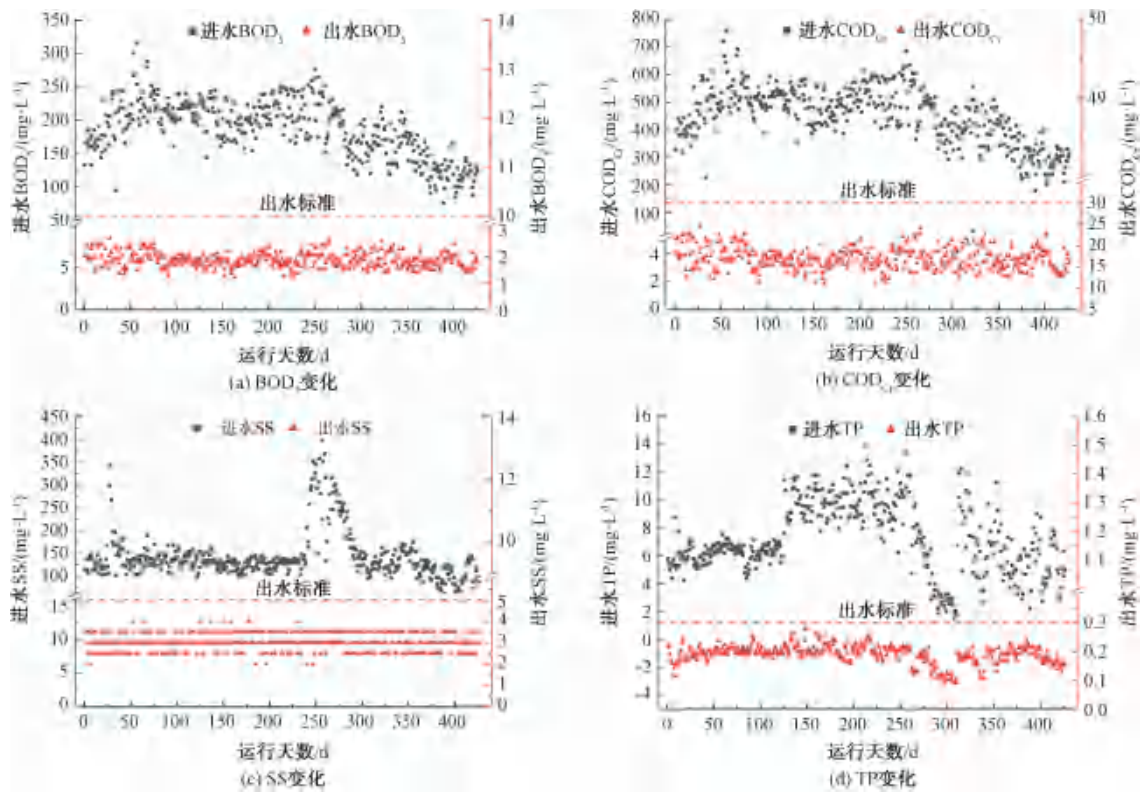


图 7 建成后平面布置

Fig. 7 Layout of WWTP after the Project Completion

为 2 mg/L; 阳离子 PAM 投加量为 5 kg/(t DS) 绝干污泥; 运行平均电耗为 0.78 kW·h/m<sup>3</sup>; 污泥运输费用折合成本为 0.12 元/m<sup>3</sup>; 后期考虑膜更换费用, 总运行成本约为 1.9 元/m<sup>3</sup>。本工程总投资约为

5.4 亿元, 其中临时设施约为 0.17 亿元, 拆除工程费用约为 0.62 亿元, 新增及改造工程投资约为 4.78 亿元。





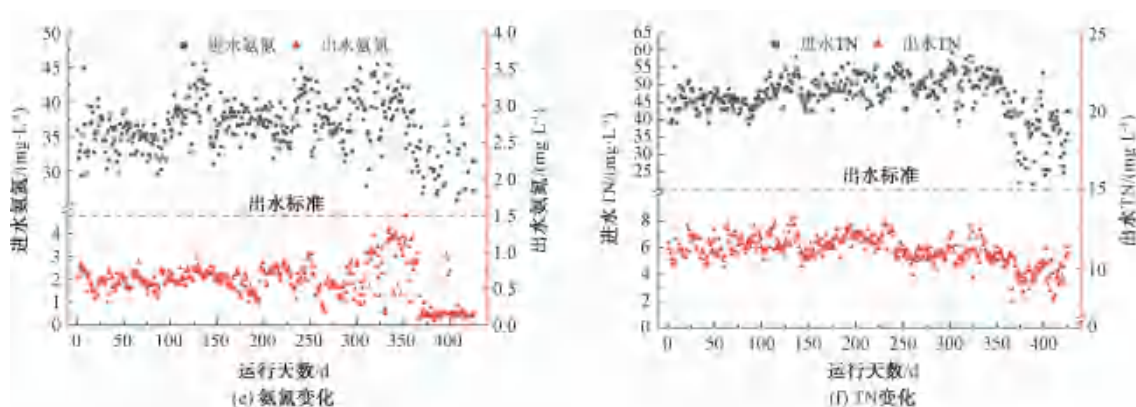


图8 实际进出水水质分析

Fig. 8 Analysis of Actual Influent and Effluent Quality

## 6 结论

(1)本项目提标改扩建充分利用了原有处理单元,通过科学合理的平面布局,采用以 MBR+紫外光催化臭氧氧化为主体的改造工艺路线,集约化布置,处理规模由原 8 万 m<sup>3</sup>/d 扩建至 18 万 m<sup>3</sup>/d,部分构筑物远期规模实施土建,并实现吨水占地仅为 0.296 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,万吨水投资约为 3 000 元。

(2)本项目通过空地新增临时设施、新建处理单元、利旧原处理单元、拆除废弃处理单元腾地等措施;并将生化单元分为按 (10 万+8 万) m<sup>3</sup>/d 两系列模式实施,共分 3 个阶段实现实施过程中不扩地、不停水、不降低出水水质的要求。

(3)采用 MBR 工艺,通过提高生化池污泥浓度,仅对现状氧化沟进行曝气系统、回流系统、功能区划分进行改造,实现氧化沟原位利旧并提高 25% 处理水量。深度处理系统通过共壁合建,并采用管式紫外灯内置于臭氧接触池内形式,极大提高竖向空间利用率,减少占地面积。

(4)实际运行出水水质稳定并优于北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB11/ 890—2012)标准。为不停水、不扩地、施工期间不降低出水标准,增加处理规模变化大,提标出水水质高标准的类似工程提供了一定借鉴意义。

## 参考文献

[ 1 ] 尤立,王本洋,李磊,等.不停产条件下污水处理设施提标改造工程实例[J].环境工程学报,2021,15(9):3161-3166.  
YOU L, WANG B Y, LI L, et al. An upgrade and reconstruction project of sewage treatment facilities under non-stop production conditions[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(9): 3161-3166.

[ 2 ] 李亮,汪德金,杨雪,等.大型污水处理厂采用 MBR 工艺不停产扩能提标改造[J].中国给水排水,2019,35(14):52-58.  
LI L, WANG D J, YANG X, et al. Practice of reconstruction without shutdown with MBR for capacity expansion and standard upgrading in large-scale sewage treatment plant [ J ]. China Water & Wastewater, 2019, 35( 14 ): 52-58.

[ 3 ] 邱明海.北京市垆头污水处理厂改扩建工程设计技术方案[J].中国给水排水,2018,34(20):13-16.  
QIU M H. Reconstruction and expansion design technical plan of Beijing Fatou wastewater treatment plant [ J ]. China Water & Wastewater, 2018, 34( 20 ): 13-16.

[ 4 ] 李一龙,包宇,邸文正,等.高排放标准下分段进水多级 AO+MBR 工艺的设计[J].中国给水排水,2022,38(4):76-81.  
LI Y L, BAO Y, DI W Z, et al. Design of step-feed multi-stage AO+MBR process under high discharge standard [ J ]. China Water & Wastewater, 2022, 38( 4 ): 76-81.

[ 5 ] 赵水轩,戴晓虎,董滨,等.泥龄影响活性污泥性质及厌氧消化性能的研究进展[J].净水技术,2019,38(1):38-44,51.  
ZHAO S Q, DAI X H, DONG B, et al. Technological research overview on AAO and modified process coupled with MBR [ J ]. Water Purification Technology, 2019, 38( 1 ): 38-44, 51.

[ 6 ] 鲍任兵,马民,徐健,等. AAO 及改良型工艺耦合 MBR 工艺应用研究综述[J].净水技术,2022,41(3):26-31,62.  
BAO R B, MA M, XU J, et al. Technological research overview on AAO and modified process coupled with MBR [ J ]. Water Purification Technology, 2022, 41( 3 ): 26-31, 62.

[ 7 ] 秦裁根,闫萍.某污水厂不停水不扩地提标改造及扩建工程设计[J].中国给水排水,2020,36(14):113-117.  
QIN Z G, YAN P. Design of upgrading reconstruction and expansion project of a wastewater treatment plant without wastewater stoppage and expansion of area [ J ]. China Water & Wastewater, 2020, 36( 14 ): 113-117.

[ 8 ] 瞿露,张华伟.重庆地区 A-A<sup>2</sup>/O 工艺污水处理厂提标改造工程实例[J].中国给水排水,2019,35(6):72-75,88.  
QU L, ZHANG H W. A case study of upgrading and reconstruction project of A-A<sup>2</sup>/O process wastewater treatment plant in Chongqing [ J ]. China Water & Wastewater, 2019, 35( 6 ): 72-75, 88.