



河南某县产业集聚区污水处理工艺设计及效果

朱 勍¹,田敏敏²,赵同谦³,肖春艳³,陈 睿²

(1.同济大学,上海 200092;2.北京中外建建筑设计有限公司上海分公司,上海 200030;

3.河南理工大学,河南焦作 454003)

[摘要] 河南某县产业集聚区污水处理厂收集该区生产废水及部分城区生活污水,进水以有机类工业废水为主,占比在70%以上,且进水水质波动大、氮磷等污染物浓度高。污水处理厂设计近期规模2万m³/d,远期规模4万m³/d。针对进水特点,生化段设计采用改良A²O+MBR工艺,并设置双缺氧池及两级硝化液回流以强化脱氮除磷。出水指标执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准,其中出水TN参考《河南省辖海河流域水污染物排放标准》(DB 41/777—2013),TN≤15 mg/L。冬季低温期3个月的运行结果表明,该污水处理厂运行稳定,出水COD、NH₃-N、TN、TP的去除率分别为94.26%、98.77%、87.76%、95.19%,出水水质全部优于设计出水标准,该工艺对水质冲击有较好的承受能力。本工程运营成本为1.47元/m³。

[关键词] 改良A²O+MBR工艺;产业集聚区;工业废水处理

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2023)02-0167-05

Wastewater treatment process design and performance of an industrial cluster in a county of Henan province

ZHU Qing¹, TIAN Minmin², ZHAO Tongqian³, XIAO Chunyan³, CHEN Rui²

(1. Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Beijing CCI Architectural Design Co., Ltd., Shanghai

Subsidiary, Shanghai 200030, China; 3. Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: The wastewater treatment plant (WWTP) in the industrial cluster area of a county in Henan province collected the industrial production wastewater in the cluster area and part of domestic sewage of the county. The influent proportion of industrial wastewater was over 70%, and the influent quality fluctuated greatly and had high concentration of nitrogen and phosphorus. The WWTP's short term design capacity was 20 000 m³/d, and long term capacity was 40 000 m³/d. According to the characteristics of influent, the WWTP adopted modified A²O+MBR process, which had double anoxic tanks and two-stage nitrification reflux to strengthen nitrogen and phosphorus removal. The effluent should meet the requirement of class IV of Environmental Quality Standards for Surface Water (GB 3838—2002). The effluent TN shall refer to the Discharge Standard of Water Pollutants in the Haihe River Basin of Henan (DB 41/777—2013) (TN≤15 mg/L). The WWTP effluent data during three months in the winter showed that the WWTP operated stably, and effluent COD、NH₃-N、TN and TP removal rates were 94.26%, 98.77%, 87.76% and 95.19% respectively, and were all better than the designed standards. This process of WWTP had good anti-shock load capacity of influent quality. The project's operating cost was 1.47 yuan/m³.

Key words: modified A²O+MBR process; industrial clusters; industrial wastewater treatment

河南某县产业集聚区主导产业为生物基材料、食品加工、纺织服装、机电装备制造,分为工业生产区、现代化仓储物流区、居住生活服务区三大功能区。近年来,随着县城产业集聚区的快速发展,原有污水处理厂(处理县区生活污水与产业集聚区产

生的废水)已无法满足集聚区内废水处理任务,因此该县规划建设一座新的污水处理厂(近期规模2万m³/d,远期规模4万m³/d),对产业集聚区超负荷的废水进行处理。

产业集聚区产生的废水属于有机废水,常采用

A²O、氧化沟、SBR、生物接触氧化法及MBR等工艺处理。MBR工艺采用膜分离技术代替传统二沉池实现泥水分离,具有出水水质好、有机剩余污泥排放量少与抗冲击负荷能力强等优势。改良A²O工艺进一步改善了A²O工艺中聚磷菌与反硝化菌的碳源竞争、硝化菌与反硝化菌及聚磷菌之间的污泥龄矛盾、回流硝酸盐抑制磷的释放等问题^[1],更适用于我国污水处理厂进水碳源普遍不足的现状。改良A²O+MBR工艺具有2种工艺的优势,在我国污水处理厂提标改造中发挥了积极作用^[2-4]。本项目在分析了产业集聚区废水特点的基础上,经过工艺比选,决定采用改良A²O+MBR组合工艺并评价了其产业集聚区废水的处理效果,以期同行提供借鉴。

1 水质分析

产业集聚区内设置独立的污水收集管网,将废水单独输送至该污水处理厂。根据产业集聚区入驻企业类型及居民区人口调查,并结合废水取样结果,得出进水水质特征。

1.1 进水水质特点

1.1.1 工业废水占比大

2020年该县产业集聚区污水处理厂服务范围内常住人口3.9万,人口自然增长率和机械增长率之和为0.8%,预测2030年产业集聚区人口约8.42万。根据《室外给水设计标准》(GB 50013—2018),居民平均综合生活用水量指标为70~150 L/d,结合该县产业集聚区特点,并参考其他类似城区综合生活用水量指标,本项目单位人口综合生活用水量指标取130 L/d,计算近远期生活污水量。产业集聚区产业以食品加工为主,机电、服装为辅,2016年企业污水排放总量为11 660 m³/d,取年增长率为6%,计算近远期工业废水量。计算结果见表1。

表1 项目近远期水量

Table 1 Project wastewater quantity of short and long term

项目	2020年(近期)	2030年(远期)
生活污水量/(m ³ ·d ⁻¹)	5 070	10 946
工业废水量/(m ³ ·d ⁻¹)	14 720	26 362
总水量/(m ³ ·d ⁻¹)	19 790	37 308

由表1可知,产业集聚区近、远期工业废水量占总水量的比例分别为74.4%与70.7%,均高于70%,产业集聚区污水处理厂进水主要为工业废水。

1.1.2 水质、水量波动大

由于产业集聚区多以食品生产加工企业为主,产能和产量根据原料供应及产品销售淡旺季有所改变,导致污水处理厂进水水质、水量波动大,易对生化系统造成冲击。

1.1.3 进水浓度高、营养比例失衡

该县产业集聚区食品加工企业占大多数,覆盖豆乳、酿造、肉品、饮料、果蔬和生鲜等,这些产品在生产加工过程中洗涤、浸泡、烫煮和设备清洗等操作会产生大量高浓度有机废水^[5];生产原料各异导致废水成分复杂,主要含有蛋白质、脂肪、磷及大量悬浮物^[6-7]。对集聚区产生的废水取样检测,发现废水中COD、TN、TP均较高,同时营养比例失衡;TN、TP相对偏高,可能存在生物脱氮除磷碳源不足的问题。

1.2 设计进出水水质

根据对该县产业集聚区内工业废水、生活区污水量、水质特征的调查及预测,设计产业集聚区污水处理厂近期规模为2万m³/d,出水指标需达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅳ类水质标准,其中出水TN参考《河南省辖海河流域水污染物排放标准》(DB 41/777—2013),TN≤15 mg/L。设计进出水水质见表2。

表2 设计进出水水质

Table 2 Design influent and effluent quality

指标	COD/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)
进水	250~700	20~80	30~100	2~8	200~350
出水	≤30	≤1.5	≤15	≤0.3	≤10

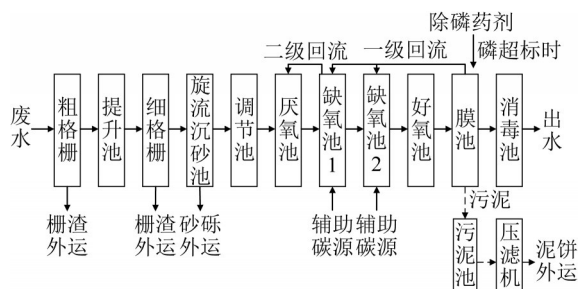
2 工艺设计

2.1 工艺设计方案

经过工艺比选,预处理采用粗格栅+提升泵房、细格栅+旋流沉砂池及调节池3个工艺组合池;生物及深度处理采用改良A²O+MBR组合工艺;出水采用次氯酸钠消毒;污泥脱水采用污泥压滤泵+污泥池+压滤机,用污泥泵将暂存在A²O+MBR组合池内的污泥抽至污泥池,经重力浓缩后进入压滤脱水设备进行脱水,工艺流程见图1。

2.2 工艺设计特点

(1)针对进水浓度高、成分复杂及水质水量波动大的问题,采用改良A²O+MBR工艺,利用膜的高效

图1 改良A²O+MBR组合工艺流程Fig. 1 Flow chart of modified A²O+MBR process

截留作用使生化段维持较高的污泥浓度,提高生化系统的抗冲击负荷能力和对污染物的去除能力。

(2)针对进水TN高的情况,首先采用MBR膜分离系统,维持好氧池内较长的污泥龄,富集硝化细菌,提高硝化效率。对于反硝化部分,设置双缺氧池(缺氧池1、缺氧池2),缺氧池1优先利用污水中的碳源进行反硝化,缺氧池2强化内源反硝化,可节约碳源投加量并强化缺氧池的生物脱氮功能。2个缺氧池均设置了备用碳源投加装置,缺氧池1的碳源投加点前置,缺氧池2的碳源投加点后置,必要时在缺氧池内投加碳源,保证TN达标排放。碳源投加量根据2个缺氧池各自的出水COD与NO₃⁻-N浓度调整,保证缺氧池2出水口NO₃⁻-N质量浓度低于1.5 mg/L^[8],且COD不高于缺氧池2进水口。

(3)针对进水TP高的情况,以强化生物除磷为主,化学除磷为辅。设置膜池到缺氧池1、缺氧池1到厌氧池的硝化液回流。相比从膜池或沉淀池直接回流至厌氧池的设计,经过缺氧池1的缓冲,一方面减少了溶解氧对厌氧环境的冲击,另一方面避免了过多硝酸盐进入厌氧池抑制聚磷菌释磷,可强化生物厌氧释磷。

3 主要构筑物及参数

(1)粗格栅池。粗格栅池土建按远期规模建设,池内设机械格栅机2套(近期1用1备,远期互为备用),格栅池整体尺寸为6.75 m×1.60 m×9.00 m,配人工运渣手推车。过栅流速0.6~0.8 m/s,栅条间隙10 mm,栅前水深1 m,安装倾角75°。

(2)提升池及提升泵房。提升池及提升泵房土建按远期规模建设,设备按近期规模安装,提升池尺寸为12.30 m×5.00 m×11.00 m,提升泵房尺寸为12.82 m×6.77 m。采用3台提升泵(Q=630 m³/h,H=

16.5 m,N=55 kW),1台电葫芦(2 t)。

(3)细格栅池。细格栅池土建按近期规模建设,每组1套设备,共2套,近期1用1备,整体尺寸为6.30 m×1.20 m×2.00 m。采用2台内进转鼓式细格栅机(格栅间距2 mm,N=1.5 kW),1台不锈钢高排水压榨机(D=300 mm,Q=2 m³/h,N=2.2 kW),1辆不锈钢尖斗手推车(900 mm×500 mm×350 mm),3台鼓风机(Q=5.56 m³/h,P=0.03 MPa,N=7.5 kW),1台不锈钢砂水分离器(Q=15~20 L/s,N=0.37 kW),1台高压泵(Q=16 m³/h,H=72 m,N=7.5 kW),1个PE材质储水罐(5 m³),1个钢制电磁阀(DN50),3台轴流式通风机(Q=8 470 m³/h,N=0.37 kW),1套H₂S检测仪。

(4)旋流沉砂池。旋流沉砂池土建按近期规模设计,采用钢筋混凝土池体,1座2组,旋流沉砂池整体尺寸为D 2.43 m×3.20 m。采用2套附壁式方闸门(B 500 mm×H 500 mm),2套不锈钢闸板(B 600 mm×H 2 000 mm),2套不锈钢闸板(B 600 mm×H 1 150 mm)。

(5)调节池。调节池土建按近期规模设计,采用钢筋混凝土池体,1座2格,调节池整体尺寸为43.90 m×10.00 m×4.00 m。水力停留时间约2.4 h,池底通过鼓风机曝气搅动污水,均匀水质水量并防止污水中固体颗粒沉淀,出水由提升泵提升出水。采用2台罗茨风机(Q=27.48 m³/min,N=37 kW,P=510.2 Pa),6台提升泵(Q=230 m³/h,H=16 m,N=15 kW),2台轴流式通风机(Q=8 470 m³/h,N=0.37 kW)。

(6)改良A²O+MBR组合池。改良A²O+MBR组合池土建按近期规模建设,1座4组,采用钢筋混凝土池体。改良A²O+MBR组合池包含厌氧池、缺氧池1、缺氧池2、好氧池及膜池。单组尺寸为59.20 m×15.30 m×6.00 m,单组设计流量5 000 m³/d,池深6.0 m,有效水深5.0 m。污泥质量浓度12 g/L,单位MLSS的BOD₅负荷0.04 kg/(kg·d),单位BOD₅污泥产率系数0.5 kg/kg(以VSS计),污泥龄30 d。厌氧池停留时间2.5 h,缺氧池1停留时间2 h,缺氧池2停留时间4 h,好氧池停留时间10 h,膜池停留时间2 h,总水力停留时间20.5 h。一级回流比200%,二级回流比100%。好氧池溶解氧为2 mg/L,最低水温12℃,最高水温25℃。MBR膜组件为本系统的核心部件之一,共4组中空纤维膜膜组件,每格池体配置1组,单组产水量5 000 m³/d,膜通量0.4 m³/(m²·d);每格膜池末端不放置膜组件,不设曝气装置,控制末端

溶解氧小于 0.5 mg/L,使得硝化液回流后基本不引起缺氧池溶解氧变化。另外,主要附属构筑物有泵房、风机房、办公室、中控室等。

(7)消毒系统。消毒系统采用次氯酸钠消毒法,通过加药泵将次氯酸钠溶液输送至产水泵出水渠内与出水混合消毒,MBR膜出水有效加氯量为 8 mg/L。采用 1 台消毒加药泵($Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $H=9\text{ m}$, $N=2.2\text{ kW}$)。

(8)计量槽。计量槽土建按近期规模设计,采用钢筋混凝土结构,1 座,计量槽整体尺寸为 $15.60\text{ m}\times 1.30\text{ m}\times 2.00\text{ m}$ 。采用 1 套巴氏计量槽($Q=12.5\sim 850\text{ L/s}$, $N=0.37\text{ kW}$),1 套在线监测设备(含 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP、pH 在线监测设备)。

(9)污泥池。污泥池土建按近期规模设计,采用钢筋混凝土结构,1 座 2 格,污泥池整体尺寸为 $6.93\text{ m}\times 5.05\text{ m}\times 3.20\text{ m}$ 。改良 $\text{A}^2\text{O}+\text{MBR}$ 组合池产泥量(含水率约 99%)约为 $80\text{ m}^3/\text{d}$,脱水后污泥产量为 4 t/d ,含水率约 80%。采用 2 台隔膜板框压滤机(过滤面积 100 m^2 ,滤室容积 2 m^3 , $N=5.5\text{ kW}$),2 台螺杆泵($Q_{\max}=10\text{ m}^3/\text{h}$, $P=0.6\text{ MPa}$, $N=15\text{ kW}$),2 台轴流式通风机($Q=8\,470\text{ m}^3/\text{h}$, $N=0.37\text{ kW}$)。

4 工程运行效果

冬季低温条件下污泥活性较低,不利于污水处理厂的稳定运行。通过分析 2021 年 11 月至 2022 年 1 月共 3 个月的运行数据,探究该项目的实际运行效果。

4.1 进水情况

为明确进水水质超标及波动情况,计算产业集聚区污水处理厂运行 3 个月进水各水质指标的累计概率,结果如图 2 所示。

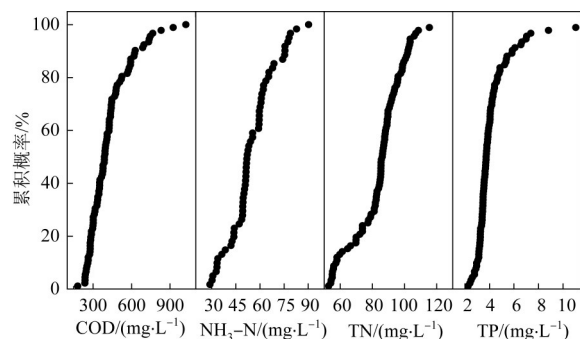


图 2 进水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 的累积概率

Fig. 2 Cumulative probability of influent COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TN and TP

由图 2 可知,产业集聚区污水处理厂进水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 稳定达到进水水质(表 1)要求的 700、80、100、8 mg/L 以内的概率分别为 92%、98%、86%、97%,进水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 TP 基本稳定在进水要求范围内,但 COD 与 TN 超标情况相对较多,这是由于企业存在偷排现象。同时,进水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 的平均质量浓度分别为 (425.1 ± 162.2) 、 (48.3 ± 15.7) 、 (83.9 ± 14.7) 、 $(4.2\pm 1.9)\text{ mg/L}$,水质波动较大。

4.2 污染物去除效果

污水处理厂稳定运行 3 个月期间的进出水水质及污染物去除率如图 3 所示。

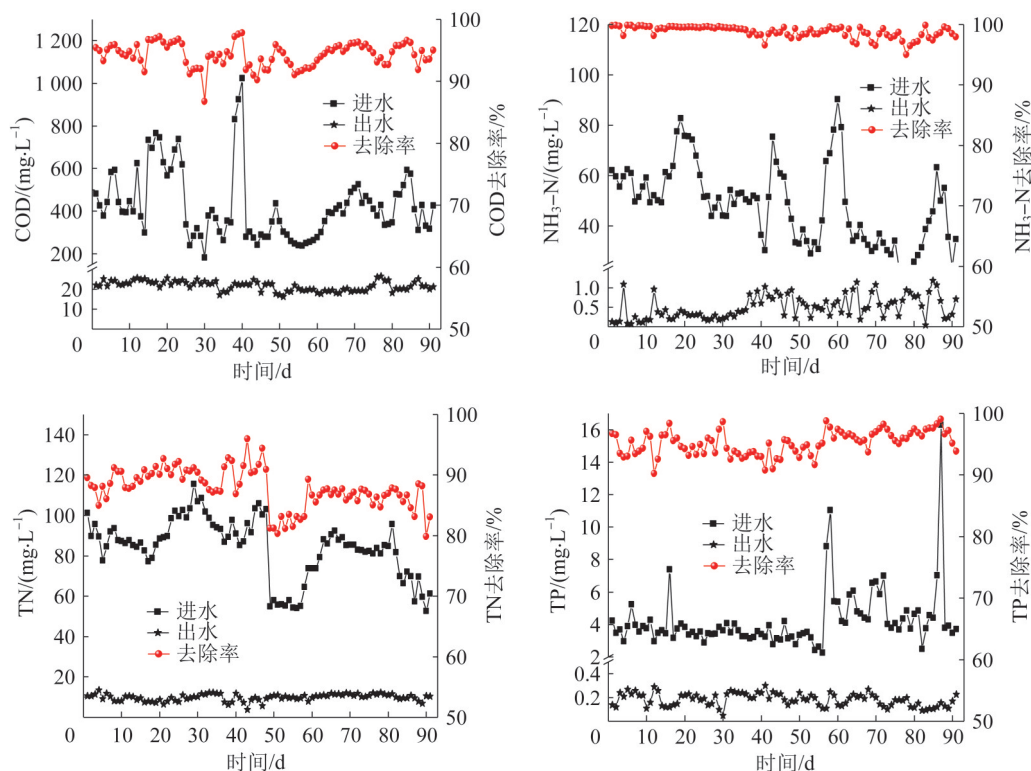
由图 3 可知,进水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 波动较大,但各出水指标均稳定达到设计出水要求。COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 的平均去除率分别约为 94.26%、98.77%、87.76%、95.19%。进水水质波动对该工艺去除污染物的效果影响不大,在进水超标且水质波动大的情况下,该工艺依然可稳定处理达标。

5 主要经济指标

产业集聚区污水处理厂近期工程项目总投资 9 609.19 万元,其中土建工程费用为 3 254.68 万元。运营成本为 1.47 元/ m^3 ,包括电耗 0.63 元/ m^3 、药剂费 0.21 元/ m^3 、人工费 0.15 元/ m^3 、修理维护费 0.32 元/ m^3 、其他费用 0.16 元/ m^3 。药剂费包括外加碳源费用 0.074 元/ m^3 、混凝药剂费用 0.024 元/ m^3 、消毒药剂费用 0.096 元/ m^3 、膜维护药剂费用 0.016 元/ m^3 。厂区总用地面积约 $13\,200\text{ m}^2$ (近期用地),单位水量占地指标为 $0.66\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。

6 结论

针对河南某县产业集聚区污水处理厂进水中工业废水占比大、水质水量波动大、氮磷等污染物含量高的特点,采用常规污水处理工艺难以使出水稳定达标排放。本工程设计的改良 $\text{A}^2\text{O}+\text{MBR}$ 组合工艺具有耐水质负荷冲击及强化脱氮除磷等优势,出水可稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中 IV 类水质标准,污水处理成本合理。该工程的技术路线能较好地适用于产业集聚区污水处理,可为其他类似产业集聚区污水处理提供工程借鉴。

图3 进出水COD、NH₃-N、TN、TP及去除率Fig. 3 COD, NH₃-N, TN and TP and removal rates of influent and effluent

参考文献

- [1] 胡宝明,李亮,祁佳,等. 改良A²/O工艺对低C/N废水脱氮除磷的应用综述[J]. 工业水处理, 2022, 42(10): 46-52.
HU Baoming, LI Liang, QI Jia, et al. A review of modified A²/O process application for nitrogen and phosphorus removal from low C/N wastewater[J]. Industrial Water Treatment, 2022, 42(10): 46-52.
- [2] 司林杰. MVR+A²/O+MBR法处理病死猪生化废水[J]. 工业水处理, 2016, 36(5): 93-95.
SI Linjie. Treatment of wastewater from chlorpyrifos cyclization reaction by MVR+A²/O+MBR process [J]. Industrial Water Treatment, 2016, 36(5): 93-95.
- [3] 曹猛. 某海岛类污水处理厂脱氮工艺设计[J]. 工业水处理, 2021, 41(4): 125-129.
CAO Meng. Denitrification process design for an island wastewater treatment plant [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(4): 125-129.
- [4] 李云,蒋进元,李君超. 某再生水厂改良A²/O和超滤膜组合工艺的节能降耗[J]. 工业水处理, 2018, 38(7): 106-109.
LI Yun, JIANG Jinyuan, LI Junchao. Energy saving and consumption reducing for the modified A²/O-ultrafiltration membrane combined process in a reclaimed water plant[J]. Industrial Water Treatment, 2018, 38(7): 106-109.
- [5] 张磊,赵婷婷,何虎. 食品加工废水处理技术研究进展[J]. 水处理技术, 2018, 44(12): 7-13.
ZHANG Lei, ZHAO Tingting, HE Hu. Research progress of food industry wastewater treatment technology [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(12): 7-13.
- [6] 孙理密,翟纪学,张德清,等. 高氮磷有机食品废水处理工程实例分析[J]. 工业水处理, 2022, 42(1): 171-174.
SUN Limi, ZHAI Jixue, ZHANG Deqing, et al. A treatment project case of organic food wastewater with high concentrations of nitrogen and phosphorus compounds[J]. Industrial Water Treatment, 2022, 42(1): 171-174.
- [7] 邓永飞,刘涛,吴海铨,等. 食品工业废水处理技术研究进展[J]. 工业水处理, 2021, 41(10): 1-7.
DENG Yongfei, LIU Tao, WU Haiquan, et al. Research progress of wastewater treatment technology in food industry[J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(10): 1-7.
- [8] 冯红利,赵梦月,丁舒喆. 城市污水厂A²/O工艺生物脱氮过程优化控制[J]. 中国给水排水, 2021, 37(6): 102-106.
FENG Hongli, ZHAO Mengyue, DING Shuzhe. Optimal control of biological nitrogen removal in A²/O process of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(6): 102-106.

[作者简介] 朱勍(1971—), 副教授, 博士。电话: 13901607907, E-mail: 554384919@qq.com。

[收稿日期] 2022-12-14(修改稿)