

天津某工业园区污水厂扩容与提标改造工程实例

刘兴静^{1,2}, 玄鹤林¹, 杨迪¹, 任兰³, 孟庆杰², 杨功兵², 杨宗政¹

(1. 天津科技大学 海洋与环境学院, 天津 300457; 2. 天津环科环境咨询有限公司, 天津 300450; 3. 天津睿溪水务有限公司, 天津 300273)

摘要: 天津某工业园区采用水解酸化/厌氧/缺氧/好氧/MBR/臭氧氧化/紫外消毒工艺对园区内污水处理厂进行扩容与提标改造。工程设计处理能力为 10 000 m³/d, 连续 9 个月的运行结果表明, 当进水 SS、COD、NH₄⁺-N、TP 和 TN 浓度分别为 28~84、75~335、17~38.4、2.7~5.2 和 17~48 mg/L 时, 经该工艺处理后对 SS、COD、NH₄⁺-N、TP 和 TN 的平均去除率分别高达 92%、87%、96%、95%、78%, 出水水质满足天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015) A 标准。该工程具有运营成本适中、自动化程度高及污染小等特点。

关键词: 工业园区; 污水处理厂; 扩容; 提标改造; 水解酸化; 厌氧/缺氧/好氧; 臭氧氧化; 紫外消毒

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)02-0103-06

Case of Expansion and Upgrading Project of Wastewater Treatment Plant in an Industrial Park in Tianjin

LIU Xing-jing^{1,2}, XUAN He-lin¹, YANG Di¹, REN Lan³, MENG Qing-jie², YANG Gong-bing², YANG Zong-zheng¹

(1. School of Oceanology and Environment, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. Tianjin Huanke Environmental Consultation Co. Ltd., Tianjin 300450, China; 3. Tianjin Ruixi Water Co. Ltd., Tianjin 300273, China)

Abstract: The combined process of hydrolysis acidification/anaerobic/anoxic/oxic/membrane bioreactor/ozone oxidation/UV disinfection was used to expand and upgrade the wastewater treatment plant in an industrial park in Tianjin. The designed capacity of the project was 10 000 m³/d. The operation results of 9 consecutive months indicated that when the influent SS, COD, NH₄⁺-N, TP and TN concentrations were 28–84, 75–335, 17–38.4, 2.7–5.2 and 17–48 mg/L, the average removal rates of them were up to 92%, 87%, 96%, 95%, and 78% respectively. The effluent quality reached level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (DB 12/599–2015) in Tianjin. The project has the characteristics of moderate operating costs, high degree of automation and low pollution.

Key words: industrial park; wastewater treatment plant; expansion; upgrading; hydrolysis acidification; anaerobic/anoxic/oxic; ozone oxidation; UV disinfection

近年来,随着工业化的不断发展,城市污水量及其污水复杂程度不断增加,污水处理难度加大^[1-2]。

为了保证城市工业化与生态化建设的协调发展,需要对处理不达标污水处理厂进行扩容和提标改造,以

便更好地为整体城市建设与发展提供功能支撑。

天津大港某工业园区历经多年的建设发展,已经形成以精细化工、合成材料、有机中间体、生物制药、机械加工等产业为主的综合性产业园区。随着园区各类企业的入驻,污水量逐年增加,污水水质更加复杂化,已超出当前污水处理站处理能力,且处理效果无法达到排放标准。按天津市最新地方排放标准的要求,需对其进行扩容和提标改造。

1 项目概况

园区规划面积约为 7.5 km^2 。目前已建成污水处理厂一座,污水处理能力为 $5000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该污水处理厂原设计工艺为预处理+缺氧+接触氧化+沉淀+多介质接触过滤+催化氧化+曝气生物滤池+高效过滤+脱盐,设计出水水质要求达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。但在实际运行过程中,后续的“多介质接触过滤+催化氧化+曝气生物滤池+高效过滤+脱盐”深度处理工艺未启用,出水水质未能达标。

表 1 设计进水和出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₄ ⁺ - N	TN	TP
进水水质	345~428	72~117	63~105	9.5~18.4	12.5~25.0	1.00~3.68
排放标准	30	6	5	1.5(3.0)	10	0.3

注: 每年从 11 月 1 日至次年 3 月 31 日执行括号内的排放限值。

① 可生化性分析

B/C 是判断污水可生化性的重要指标,一般认为 $B/C > 0.45$ 可生化性较好, $B/C > 0.3$ 可生化, $B/C < 0.3$ 较难生化, $B/C < 0.25$ 不易生化。根据污水处理厂进水水质统计, B/C 为 $0.19 \sim 0.29$, 属于较难生化废水。为了提高污水的可生化性,工艺前端采用水解酸化工艺进行预处理,这是本处理工艺的重要环节。

② 生物脱氮分析

BOD_5/TN 值是判别常规脱氮工艺能否有效脱氮的重要指标。从理论上讲, $BOD_5/TN \geq 2.86$ 就能进行生物脱氮,但一般认为 $BOD_5/TN \geq 4.0$ 才能进行有效脱氮。根据污水处理厂进水水质统计, BOD_5/TN 为 $3.83 \sim 7.84$, 原水水质大多数情况下能满足生物脱氮要求。根据水质监测数据,总氮处于上升趋势,故该工程预留碳源投加装置。

③ 生物除磷分析

BOD_5/TP 值是鉴别常规除磷工艺能否生物除

根据目前园区各企业污水排放量统计,园区污水量已增至 $8000 \text{ m}^3/\text{d}$, 超过现有污水厂总处理能力。天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)规定:当设计处理规模 $\geq 10000 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,执行 A 标准。基于园区污水产量增加和对污水厂排放要求提高的客观情况,决定将园区污水厂处理能力扩容至 $10000 \text{ m}^3/\text{d}$ 并提标至天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)的 A 标准。

2 水质及原工艺运行分析

2.1 水质分析

该污水处理厂以处理工业园区企业废水及生活污水为主,园区多为石化企业,水质较复杂。虽然园区企业有自身的污水处理设施,但仍有部分含油、含碱废水进入污水收集管网,继而进入处理系统。根据 12 个月的连续监测结果,确定了污水处理厂进水水质波动范围,并将其作为设计依据。

设计进水及出水水质见表 1。

磷的主要指标。一般认为该值要大于 20, 比值越大,生物除磷效果越明显。根据污水处理厂进水水质统计, BOD_5/TP 为 $32.9 \sim 90.9$, 满足生物除磷的要求。

2.2 原工艺运行分析

原处理工艺流程见图 1。

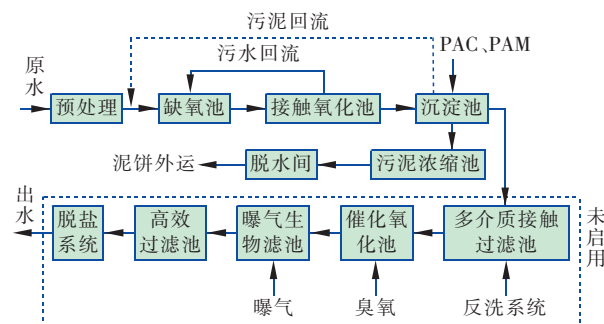


图 1 原工艺流程

Fig. 1 Original wastewater treatment process

原水经格栅、沉砂池等简单的预处理后进入缺氧+好氧工艺,经沉淀池沉淀后排放。该工艺无法

完成生物除磷,磷的去除只能依靠化学絮凝作用,需投加大量药剂。该工艺结构简单,污泥负荷低,抗冲击能力差,高负荷污水尤其是工业废水易对污泥系统造成冲击,致其崩溃,无法达到处理效果,这是目前出水 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 严重超标的主要原因,加之后续深度处理工艺未启用,使整套污水处理系统处于瘫痪状态。

3 提标改造工艺

3.1 工艺选择

该污水处理厂进水 B/C 值为 0.19~0.29,属难生化废水,提高废水的可生化性是必不可少的处理过程,故在生化反应前段设置水解酸化池。生化主体工艺采用 A^2O 工艺,该工艺可满足污水中大部分有机物的去除,且可以充分利用原有缺氧池和接触氧化池等构筑物,工程量较小。采用 MBR 膜处理系统进行泥水分离,同时,也将大部分溶解态和胶体态的污染物拦截下来。由于化工废水的特性,MBR 池出水含一部分难生物降解的可溶性有机物,故通过臭氧强氧化将其彻底降解,实现有机污染物达标。最后通过紫外线消毒后排放。

3.2 改造后工艺流程

改造后工艺流程见图 2。

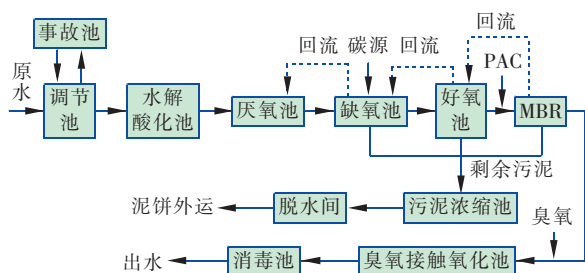


图 2 改造后工艺流程

Fig. 2 Flow chart of wastewater treatment after upgrading

原水经调节池均化水质后进入水解酸化池,水解酸化池可以提高污水的可生化性,从而减少反应时间和处理能耗。水解酸化池出水进入 A^2O 池进行进一步的生化反应,发生碳氧化、硝化与反硝化、磷的厌氧释放与好氧超量吸收。该工艺段是整个工艺的核心工艺,大部分污染物在此去除^[3-4]。

通过 MBR 膜的过滤作用,实现泥水的有效分离。同时在该工段投加 PAC,增强菌胶团的凝聚和吸附作用,提高溶解态磷的吸附与吸收,TP 浓度在此进一步降低。

MBR 池出水仍含一部分难生物降解的可溶性有机物,故通过臭氧强氧化将其彻底降解,以达到排放要求。臭氧及其产生的活泼自由基使发色基团中的不饱和键断裂生成小分子的酸和醛,从而使出水色度显著降低。

随后,污水中的病菌在紫外线的照射下被灭活,实现达标排放。

预处理及生化处理产生的污泥均排至污泥浓缩池进行减量化处理。

3.3 主要构筑物及设计参数

① 调节池。2 座,钢筋混凝土结构,总有效容积为 8 400 m^3 ,停留时间为 21 h。

② 事故池。2 座,钢筋混凝土结构,总有效容积为 3 150 m^3 ,停留时间为 7.7 h。

③ 水解酸化池。4 座,钢筋混凝土结构,总有效容积为 6 051.5 m^3 ,停留时间为 14.52 h。

④ A^2O 池。设计水量为 10 000 m^3/d ,水温为 12 $^{\circ}\text{C}$ 。污泥负荷为 0.081 $\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。

厌氧池:4 座,总有效容积为 810 m^3 ,停留时间为 1.94 h,MLSS 为 3 333 mg/L ,DO 值为 0.2 mg/L 。

缺氧池:4 座,总有效容积为 3 600 m^3 ,停留时间为 8.64 h,MLSS 为 5 000 mg/L ,DO 值为 0.5 mg/L ,缺氧池至厌氧池回流比为 200%。

好氧池:4 座,总有效容积为 7 962 m^3 ,停留时间为 19.16 h,曝气量为 63.50 Nm^3/min ,MLSS 为 6 667 mg/L ,好氧池至缺氧池回流比为 300%,DO 值为 2.3 mg/L ,好氧泥龄 ≥ 20 d。

⑤ MBR 池。20 座,单池设计尺寸: $L \times B \times H = 5.6 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$,其中膜池 12 座,反洗水池 4 座,化学清洗水池 4 座。膜瞬时过滤通量为 15 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,日累计过滤时间 21.6 h,日累计反洗时间 0.48 h,反洗通量为 25 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,日累计过滤水量为 10 445.8 m^3 ,日累计反洗水量为 386.8 m^3 ,日累计有效产水量为 10 059 m^3 ,MLSS 为 8 000 mg/L ,膜池至好氧池回流比为 500%,DO 值为 2.0 mg/L ,剩余干污泥量为 805 kg/d 。

⑥ 污泥浓缩池。1 座,钢结构,圆形,有效容积为 254.3 m^3 。

⑦ 臭氧接触池。2 座,总有效容积为 162 m^3 ,采用曝气投加方式,臭氧产生浓度为 60 kg/h 。臭氧破坏器规格为 40~50 Nm^3/h , $N = 5.5 \text{ kW}$,2 套(1 用 1 备)。

⑧ 除臭系统。生物滤床1座,一体化玻璃钢设备,有效容积为435 m³。生物滤床为全封闭,设检修口、观察口、装卸料口、进出气口、给排水装置等。内含新型营养型生物滤料,生物滤料为矿石覆盖营养膜无机滤料,典型的滤料尺寸为15~25 mm。

生物滤床除臭工艺基本流程见图3。

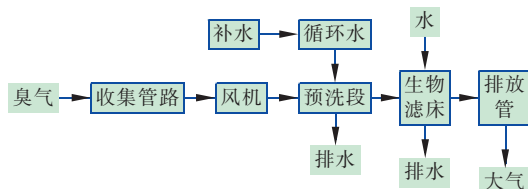


图3 生物滤床除臭工艺流程

Fig.3 Flow chart of biofilter bed for odour removal

废气经导入口先平流进入预处理床,经前级清水洗涤,在洗涤区完成对酸性和水溶性气体污染物的吸收、除尘及加湿的预处理。未清除的恶臭气体再进入生物滤床过滤区,污染物从气相转移到生物膜表面。生物滤床利用微生物的代谢活动降解挥发性有机化合物(VOCs)和恶臭物质,从而达到无臭化、无害化的目的^[5]。

⑨ 紫外消毒渠。1座,有效容积为47.3 m³,接触时间为408 s。

4 运行效果

4.1 对SS的去除效果

改造后运行期间系统对SS的去除效果如图4所示。

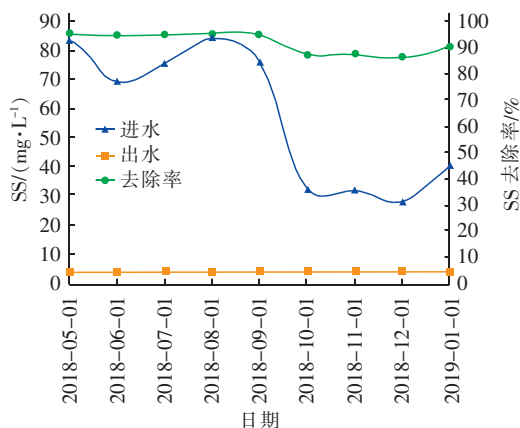


图4 改造后工艺对SS的去除效果

Fig.4 Removal effect of SS by upgrading treatment process

如图4所示,运行期间进水SS不稳定,5月—9月进水SS为69~84 mg/L,10月之后SS降至28~40 mg/L,出水SS稳定保持在4 mg/L,SS去除率在

92%左右波动。SS的去除主要依靠MBR膜的过滤作用实现,由于MBR膜孔径为0.1 μm并结合定期自动反洗,因此,膜通量基本维持不变,从而保证出水SS稳定达标。

4.2 对COD的去除效果

运行期间对COD的去除效果见图5。

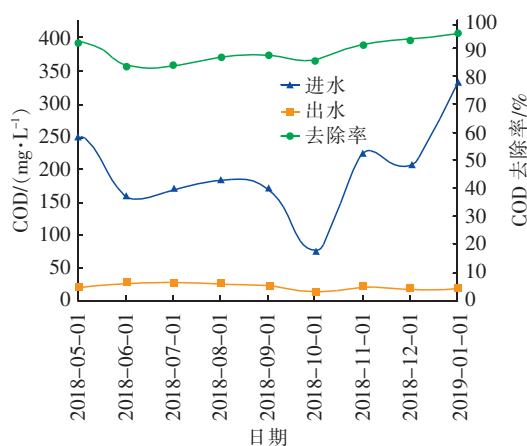


图5 改造后工艺对COD的去除效果

Fig.5 Removal effect of COD by upgrading treatment process

如图5所示,运行期间进水COD不稳定,最低为75 mg/L,最高335 mg/L;出水COD较为稳定,维持在11~28 mg/L;COD去除率较稳定,平均去除率为87%,且整体呈逐步升高趋势。难降解有机物经水解酸化池处理后,被分解为小分子易降解有机物,提高了废水的可生化性,进而提高了后续处理工艺对COD的去除率。随着运行时间的不断增加,水解酸化池和后续工艺的活性污泥稳定性逐渐提高,处理效率随之提高。

4.3 对NH₄⁺-N的去除效果

运行期间对NH₄⁺-N的去除效果见图6。如图6所示,2018年运行期间进水NH₄⁺-N稳定在17~29 mg/L,出水NH₄⁺-N维持在3 mg/L以下。2019年1月由于园区某工厂超标排放,进水NH₄⁺-N突然增高至38.4 mg/L,但出水NH₄⁺-N浓度依然维持在较低水平,说明已经形成稳定的污泥系统,具有一定的抗冲击负荷能力。除2018年10月外,NH₄⁺-N去除率均在96%以上,10月去除率为84%,造成该情况原因是进水污染物浓度较低,未及时调小曝气量,活性污泥自身发生氧化,使其活性降低,从而导致NH₄⁺-N去除率降低。

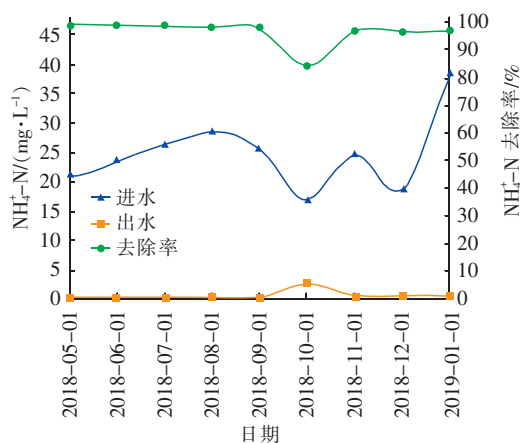
图6 改造后工艺对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

Fig. 6 Removal effect of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ by upgrading treatment process

4.4 对 TP 的去除效果

运行期间对总磷的去除效果见图7。

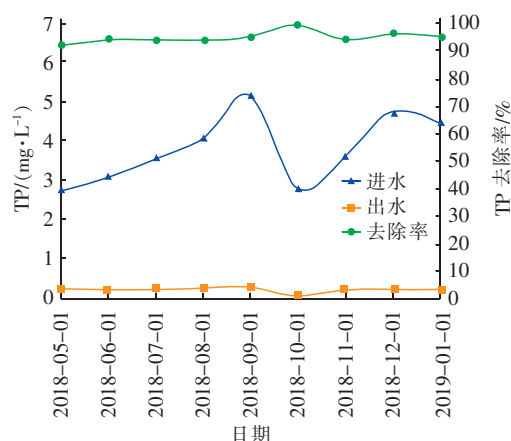


图7 改造后工艺对 TP 的去除效果

Fig. 7 Removal effect of TP by upgrading treatment process

如图7所示,运行期间进水TP在2.7~5.2 mg/L范围内波动,出水TP稳定在0.26 mg/L以下,TP去除率在95%上下浮动。TP是依靠系统排出剩余污泥而得以去除,MBR处理单元将污泥完全截留,使得出水TP去除率得以保障,该套污水处理装置在缺氧、好氧、MBR工艺段均设有排泥系统,可确保在系统内污泥浓度足够的情况下,将多余的污泥排出,阻止TP的二次释放。

4.5 对 TN 的去除效果

运行期间对TN的去除效果见图8。如图8所示,运行期间进水TN在17~48 mg/L范围内波动,出水TN稳定在4~8 mg/L,均达到排放标准,TN去除率为60%~90%,平均为78%。TN的去除主要

发生在缺氧段,通过投加醋酸钠,为反硝化菌提供碳源,投加少量氢氧化钠,维持必要的碱度,并控制溶解氧浓度在0.5 mg/L,是实现较高TN去除率的重要保障。

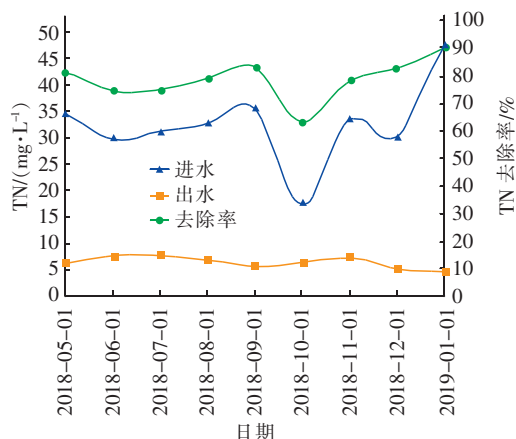


图8 改造后工艺对 TN 的去除效果

Fig. 8 Removal effect of TN by upgrading treatment process

5 运行中的问题与分析

① 加药量控制。应每天检测进水水质,经汇总分析后,确定碳源最佳投药量,每月根据水质进行调整,避免药剂浪费和确保水质达标。

② 进水严重超标情况处理。如发现进水水质严重超标或pH值异常、含油污水进入,则严禁污水直接进入生化系统,需经稀释等预处理后方可进入后续工艺,防止对污泥系统造成冲击。

③ MBR膜清洗。该污水处理厂主要处理工业废水和生活污水,其中工业废水中含油成分易对MBR造成堵塞,需定期清洗,保证膜通量。

6 技术经济分析

6.1 建设成本

该项目总投资为9889万元,其中第一部分工程费用为8077万元,工程建设其他费用为1144万元,预备费用为461万元,建设期贷款利息为169万元,铺底流动资金为38万元。

6.2 运行成本

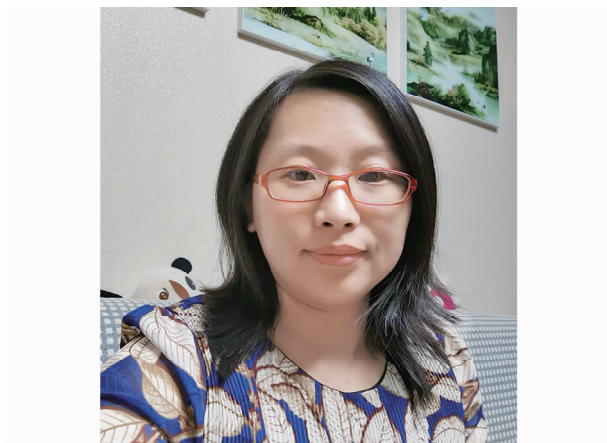
该工程处理水量为 $365 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,具体运行成本:外购原材料费68万元/a,外购燃料动力费452万元/a,污泥处置费514万元/a,膜更换清洗费37万元/a,工资及福利费135万元/a,修理费197万元/a,其他费用70万元/a;经营成本1472万元/a,单位经营成本4.03元/ m^3 。

7 结论

采用水解酸化+厌氧+缺氧+好氧+MBR+臭氧氧化+紫外消毒组合工艺对天津某工业园区污水处理厂进行扩容和提标,解决了厂区处理能力不足和水质不达标的问题,对SS、COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP和TN的平均去除率分别达到92%、87%、96%、95%、78%,出水水质优于天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)A标准,满足园区发展的污水治理需求,且处理工艺具有自动化程度高、运行稳定、对环境污染小、费用适中等特点,具有良好的经济和环境效益。

参考文献:

- [1] 遇光禄,周文明,陈锦萍,等. 常山县某污水处理厂扩建及提标改造工程设计[J]. 中国给水排水,2018,34(16):77-80.
Yu Guanglu, Zhou Wenming, Chen Jinping, *et al.* Design of expansion and upgrading reconstruction project of a wastewater treatment plant in Changshan County [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 77-80 (in Chinese).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] 丁晓倩,赵剑强,陈钰,等. 传统和氧化沟型 A^2/O 工艺脱氮除磷性能对比[J]. 环境工程学报,2018,12(5):1480-1489.
Ding Xiaoqian, Zhao Jianqiang, Chen Yu, *et al.* Comparison of nitrogen and phosphorus removal performances for traditional and modified A^2/O process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(5): 1480-1489 (in Chinese).
- [5] 罗志荣,钟惠云,胡勇. 生物滤池除臭工艺在污泥发酵工程中的应用[J]. 广东化工,2017,44(14):188-189.
Luo Zhirong, Zhong Huiyun, Hu Yong. Application of biofiltration deodorization process to sludge composting [J]. Guangdong Chemical Industry, 2017, 44(14): 188-189 (in Chinese).



作者简介:刘兴静(1984-),女,山东聊城人,硕士,工程师,主要从事环评、应急预案编制工作。

E-mail: liuxingjing1985@126.com

收稿日期:2019-05-09

坚持节水优先,强化水资源管理