

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.04.016

开发区污水处理组合工艺系统及尾水再生回用

沈正栋¹, 王振中², 沈俊宏³, 黄天寅¹

(1. 苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009; 2. 华昕设计集团有限公司, 江苏 无锡 214072; 3. 福建工程学院 生态环境与城市建设学院, 福建 福州 350118)

摘要: 为解决苏州市某工业开发区内食品及印染织机废水水质复杂、建设用地受限、资金少等难题,污水处理厂设计建设了两套相对独立、单元构筑物管线又可灵活进行调度的工艺方案。两套废水处理主体单元均为厌氧水解池+一体化AAO生化沉淀组合池+絮凝沉淀池+滤布滤池,其中通过前置气浮池对印染喷水织机废水中的油状乳浊液进行预处理。该污水厂设计规模为 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水水质指标全面达到《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)中太湖流域一、二级保护区内主要水污染物排放限值要求,达标尾水再生回用于开发区内喷水织机生产过程。通过尾水的再生回用,不仅缓解了市政管网的供水压力,降低了企业的生产成本,同时也吸引了相关用水需求的企业入驻,具有一定的示范效应。

关键词: 食品及印染织机废水; 一体化AAO生化沉淀组合池; 再生回用

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)04-0090-06

Combined Wastewater Treatment Process and Tail Water Reclamation in an Industrial Development Zone

SHEN Zheng-dong¹, WANG Zhen-zhong², SHEN Jun-hong³, HUANG Tian-yin¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China; 2. Huaxin Design Group Co. Ltd., Wuxi 214072, China; 3. School of Ecological Environment and Urban Construction, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: In order to solve the problems including complex wastewater quality, limited construction land and capital shortage from food, printing and dyeing loom wastewater in an industrial development zone in Suzhou, the sewage treatment plant has designed and constructed two sets of relatively independent processes with flexible scheduling of unit structures and pipelines. The main units of both sets are anaerobic hydrolysis tank, integrated AAO biochemical sedimentation combined tank, flocculation sedimentation tank, and filter cloth filter, wherein the wastewater from printing and dyeing water jet loom is pretreated to remove the oily emulsion by pre-air flotation tank. The designed capability of the sewage plant is $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the effluent fully meets the discharge limits of the primary and secondary protection zones in *Discharge Standard of Main Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant & Key Industrial of Taihu Area* (DB 32/1072—2018). The qualified tail water is reclaimed in the production process of water jet looms in the development zone. Not only does the reclaimed tail

water alleviate the water supply pressure of municipal pipe network and reduce the production cost of enterprises, but also it attracts enterprises with relevant water demand to settle in, which has certain demonstration benefits.

Key words: food, printing and dyeing loom wastewater; integrated AAO biochemical sedimentation combined tank; reclamation

随着我国经济社会的快速发展,水资源供给不足等问题日益凸显,在土地资源紧张、水资源需求量的开发区、工业园区尤为突出。再生水作为国际公认的“第二水源”,是传统水源的重要补充^[1]。作为集中水处理形式,污水处理厂的废水资源再利用与集约化建设是推进我国新型城镇化建设的迫切需求^[2-3]。

苏州某工业开发区内食品工业废水和喷水织机废水水质差异较大。食品工业废水可生化性好,水质波动大;而喷水织机废水可生化性差,含一定浓度的油类成分。基于出水严格达标和再生利用等要求,在建设运行资金受限、用地有限和处理难度大的背景下,设计、建设了以一体化AAO为主体工艺的两组工艺系统。同时,厂区新建再生水管网超过 20 km,并同步建设尾水再生资源化利用系统,主要回用于水质要求低、水量需求大的喷水织机企业。该开发区污水处理厂符合循环经济的绿色发展模式,可为类似工业园区内污水厂的尾水回用提供示范,也可为污水处理厂集约化建设提供一定的技术参考。

1 工程概况

该污水厂一期工程设计规模 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,占地 3.02 hm^2 。厂内分两组水处理工艺流程,两组工艺的设计进、出水水质如表 1 所示。其中 1#流程处理对象为食品工业废水,设计水量 $1.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,进水 COD、BOD₅、SS 含量较高,还含有铅、铬、锰等金属离子和大量细菌,水质波动大;2#流程处理对象为喷水织机废水和生活污水混合污水,设计水量为 $2.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,喷水织机废水水质成分复杂,污染物以丙烯酸酯类浆料为主,含有大量高级脂肪链烃的醇类、酯类、醚类化合物及其衍生物,在水中呈乳浊液状,碳、氮比失调,可生化性较差,本工程中将生活污水与喷水织机废水混合处理,以提高其可生化性。出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 排放标准,同时满足《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)中太湖流域一、二级保护区内主要水污染物排放限值要求。

表 1 设计进、出水水质
Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	COD/ (mg· L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg· L ⁻¹)	SS/ (mg· L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg· L ⁻¹)	TP/ (mg· L ⁻¹)	TN/ (mg· L ⁻¹)	色 度/ 倍
1#流程 进水	500	220	300	35	5.0	45	140
2#流程 进水	340	120	220	30	3.5	40	
出水	40	10	10	3(5)	0.3	10 (12)	30

注: 括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

2 工艺流程及设计参数

2.1 工艺流程

总体工艺流程如图 1 所示。

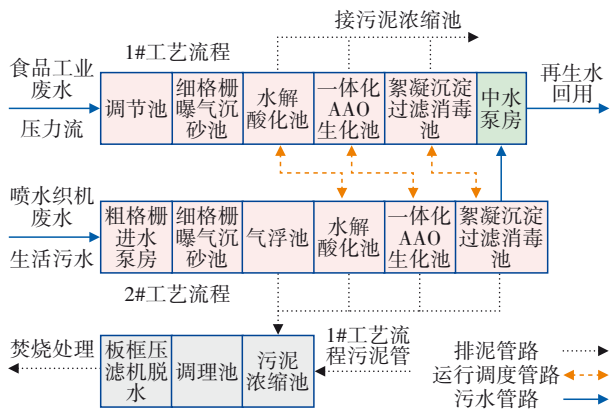


图 1 污水厂工艺流程
Fig.1 Process flow diagram of WWTP

1#流程为调节池+厌氧水解池+倒置 AAO 生化沉淀池+机械絮凝+斜板沉淀+次氯酸钠消毒,2#流程为浅层气浮池+厌氧水解池+倒置 AAO 生化沉淀池+机械絮凝+斜板沉淀+次氯酸钠消毒,污泥采用重力浓缩+化学调理+板框压滤机脱水,污泥含水率

需 $\leq 60\%$,外运焚烧处置。两组工艺在水解酸化池进水端、AAO生化池进水端、絮凝沉淀过滤消毒池进水端水位均保持相等,必要时可实现两组工艺构筑物间调度切换运行。

2.2 主要构筑物设计参数

① 气浮池

气浮池仅针对2#工艺流程的喷水织机废水,设计规模 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。采用高效浅层气浮池2座,单池处理量 $600 \text{ m}^3/\text{h}$,表面水力负荷 $3.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,气水循环比为30%,有效水深0.75 m,采用聚合氯化铝铁作为主絮凝剂,PAM(阳离子聚丙烯酰胺)作为助凝剂,设计投药量分别为20、1 mg/L。

② 水解酸化池

水解酸化采用膜法水解酸化池。1#工艺水解酸化池表面积 450 m^2 ,2#工艺水解酸化池表面积 912 m^2 。工艺参数相同,有效水深5.5 m,平均停留时间6.0 h,平均上升流速 0.92 m/h 。通过进水分配渠和布水器进行均匀布水,采用离心式杂质泵排泥,1#工艺流程配置1台,2#工艺流程配置2台,流量 $80 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程50 kPa,功率3.0 kW。

③ 一体化AAO生化池

1#一体化AAO生化池将分点进水倒置式AAO生化池、污泥泵房、二沉池合建。设计规模 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。生化池部分平面尺寸 $38.7 \text{ m} \times 47.5 \text{ m}$,有效水深6.0 m,分2组,每组设缺氧、厌氧、好氧三个分区,采用两点进水。水力停留时间25.06 h,其中好氧区15.02 h、缺氧区7.81 h、厌氧区2.23 h,污泥负荷 $0.088 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,污泥回流比50%~100%,硝化液回流比100%~300%,污泥龄15.8 d。二沉池为2座内径22.0 m的辐流式沉淀池,采用中心进水周边出水,沉淀区表面负荷(最大时)为 $0.90 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

2#一体化AAO生化池平面布置形式与1#一体化AAO生化池相同,设计规模 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。生化池部分平面尺寸 $32.7 \text{ m} \times 61.9 \text{ m}$,有效水深6.0 m,水力停留时间15.5 h,其中好氧区9.6 h、缺氧区4.6 h、厌氧区1.3 h,污泥负荷 $0.074 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,污泥回流比50%~100%,硝化液回流比100%~300%,污泥龄16.28 d。二沉池为2座内径28.0 m的辐流式沉淀池,采用周边进水周边出水,沉淀区表面水力负荷(最大时)为 $1.00 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

④ 絮凝沉淀与过滤消毒单元

两流程中均将机械絮凝、斜板沉淀、滤布转盘过滤、次氯酸钠消毒4个工段构筑物合建。1#絮凝沉淀过滤消毒池设计规模 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,4个工艺段构筑物均设1组,絮凝区分3格,有效水深3.95 m,平均水力停留时间11 min。沉淀池有效水深3.85 m,水平流速 0.02 m/s ,表面水力负荷 $2.16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,斜板水平倾角 60° 。过滤段峰值处理水量 $670 \text{ m}^3/\text{h}$,消毒接触时间30 min。

2#絮凝沉淀过滤消毒池设计规模 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,池内部除接触消毒池外分2组工艺,絮凝区采用三级转速机械絮凝,有效水深4.05 m,平均水力停留时间17 min,沉淀池有效水深3.90 m,其余参数与1#工艺流程一致。过滤段单池峰值处理水量 $630 \text{ m}^3/\text{h}$,消毒接触池工艺与1#工艺流程相同。

2.3 构筑物组合形式

根据《江苏省建设用地指标》(2018年版)中规定的污水处理厂建设用地定额标准,该污水处理厂建设用地吨水占地指标限值为 $1.38 \text{ m}^2/\text{m}^3$,污水厂建设用地不得大于 4.146 hm^2 。而该项目建设用地仅为 3.02 hm^2 ,占地 $1.00 \text{ m}^2/\text{m}^3$,在此面积内建设两组工艺流程,且须保证一定的绿化面积,难度较大。为了完成建设要求,采用组合式建设形式。将硝化液回流、污泥回流的泵池以及沉淀池与倒置AAO工艺合建,絮凝、沉淀、过滤、消毒4个工段构筑物合建,布置紧凑,管道无迂回,不仅通过共用墙体大大节省了占地面积,也减少了联络管渠的水头损失,节省了污水提升能耗。污水厂建成效果如图2所示。



图2 污水厂效果图

Fig.2 Rendering of the designed WWTP

以一体化AAO生化沉淀组合池(见图3)为例,将分点进水倒置式AAO生化池、污泥泵房、二沉池有机融合在一起,各分段功能区划明确,利用空间

分割硝化反硝化区域,出水效果稳定,便于运行管理^[4]。合理利用生化池矩形池壁和二沉池圆形池壁之间的空间,中间较大的空间作为污泥回流和剩余污泥排放的泵池,有效节省了另建污泥泵房需要的占地面积和土建费用。

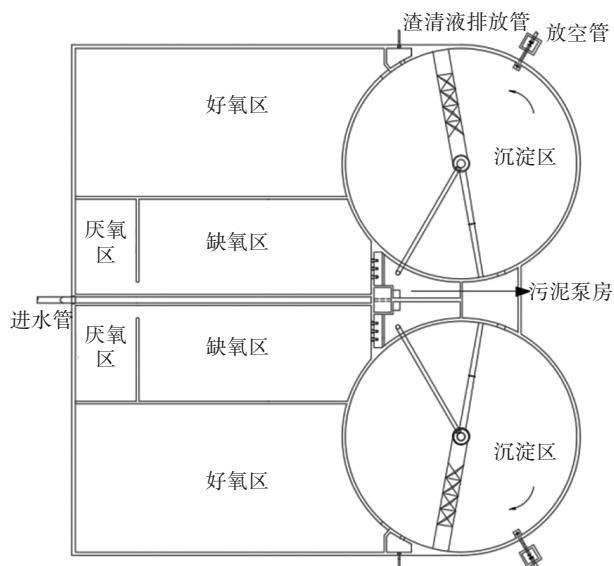


图3 一体化AAO生化池与沉淀池平面布置

Fig.3 Layout of the integrated AAO and sedimentation tanks

3 污染物去除特点及运行效益分析

3.1 各工艺段污染物去除特点

① 预处理段

研究表明,生物除碳 B/C 不宜小于 0.3, $BOD_5/TN > 4$ 时可认为碳源充足, $BOD_5/TP > 17$ 时可进行生物除磷^[5-6]。1#工艺进水 $B/C = 0.44$, $BOD_5/TN = 4.89$, $BOD_5/TP = 44$, 具有良好的可生化性,基本可以实现生物脱氮除磷,但进水 SS 浓度高,且食品工业废水存在水质、水量波动大等问题,仍需要对进水进行预处理以保证二级处理稳定运行。考虑到食品工业废水中通常较少出现大尺寸漂浮、悬浮物和大粒径砂砾,仅设细格栅与曝气沉砂池去除大部分 SS。采用水解酸化池对进水水质进行调节,去除部分难降解 COD,同时达到均衡水质的目的,进一步提高污水的可生化性,并前置调节池均衡水量,存盈补缺。

2#工艺进水 B/C 为 0.35, BOD_5/TN 为 3.0, BOD_5/TP 为 34, 进水可生化性一般,碳源可满足生物脱磷需求,生物脱氮性能较差,废水中 SS 浓度较高,且含有大量不溶性油状乳浊液。通过设置粗格栅、细格

栅以及曝气沉砂池去除进水中大部分 SS,但废水中仍存在大量高级脂肪链烃的油状乳浊液,常规沉淀法几乎无法去除,故在沉砂池后增设气浮池,加强对此类油状物质的去除^[7]。气浮池还具有较好的去除 SS 性能,但是考虑到气浮池处于预处理段,去除 SS 一般需要较大的投药量,为降低成本,气浮池仅以破乳去油为主要目的,SS 在二级处理和深度处理段去除。此外,进水 B/C 为 0.35,虽然满足生物除碳要求,但仍处于较低水平,为提高其可生化性,在气浮后设置水解酸化池以加强对 COD 的去除。

② 二级处理段

预处理极大降低了废水生物处理难度,提高了废水可生化性。综合考虑出水稳定性、建设用地与建设成本问题,最终选定一体化分点进水倒置 AAO 工艺作为两工艺流程的主体工艺^[8]。倒置 AAO 工艺成熟,具有较强的抗水量和水质冲击负荷的能力,工艺设置上将缺氧段放在厌氧段前面,可以始终优先利用优质碳源,且利用两点进水,该部分碳源比例可以调节,能保证良好的脱氮效果^[9-10],增强了系统对运行工况的调控,从根本上强化了生物处理效果。

除了 2#工艺中废水生物脱氮的碳源供给不足之外,两流程中的主要污染指标基本能在该工艺段得到很好地去除。由于两组工艺在水解酸化池进水端、AAO 生化池进水端、絮凝沉淀过滤消毒池进水端水位均相等,在运行中可以按实际情况调节两工艺中两种废水的进水比例,均衡碳源,缓解 2#工艺中碳源不足的问题,减少辅助碳源的投加,降低运行成本。

③ 深度处理段

在设计运行合理的情况下,两工艺流程组合式 AAO 工艺出水的 BOD_5 、 NH_3-N 、 TN 等指标基本能够达到设计要求,但 COD、TP、SS 等指标很难稳定达到设计出水标准。为了保证再生水水质的稳定性,采用国内较为成熟的“混凝+沉淀+过滤”工艺对出水进行深度处理,通过机械絮凝投加絮凝剂加强化学除磷,同时可以去除残余的难生物降解有机物。经过絮凝后的污水在斜管沉淀池沉淀,去除大量 SS 和 TP,最后通过滤布滤池去除残留污染物,保证出水的稳定性。

3.2 运行效益分析

该污水处理厂运行以来,各种设备运行情况良

好。表2为2019年5月—2020年3月的实际月平均运行效果,各出水指标优于设计出水指标,处理效果显著,周边水体环境已得到一定程度的改善。

表2 实际月平均进、出水水质

Tab.2 Actual monthly average influent and effluent

quality

mg·L⁻¹

项目		COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP	TN
1#	进水	389	131	174	28	5.5	37
	出水	21	6.9	4.7	3	0.2	9.5
2#	进水	214	99	122	22	3.2	31.2
	出水	22.4	5.6	4.2	2.6	0.2	9.6

组合建设形式不仅解决了用地紧张问题,同时节约了能耗。通过调节生化池中两种废水的进水比例,改善了废水可生化性,有效减少了辅助碳源的投加。污水经处理后损耗约10%,剩余约2.7×10⁴ m³/d尾水用于当地60余家喷水织机企业,服务喷水织机达15 000余台。该污水处理厂运行以来,运行能耗指标为0.390 kW·h/m³,节能效果显著,直接处理成本为0.58元/m³,再生水收费标准为0.4元/m³,创收近400万元/a,极大缓解了污水处理厂运维的资金压力。

4 尾水回用示范

苏州地区印染行业发达,企业众多。开发区成立以来,随着周边喷水织机企业的不断入驻,一定程度上加剧了当地用水紧张的困局。为了分担工业开发区的供水压力,同时补贴污水厂日常运维的资金支出,提出了将污水厂尾水低价回供于周边对水质要求较低的喷水织机企业的初步设想,并对厂区附近企业的用水现状及再生水需求进行了调研。

调研发现,当地喷水织机企业多为小型民企,用水量大,原水多采用河水或者自来水。苏州工业用水价格已达到4.11元/m³,重污染行业还需按照企业环保信用评价等级分档加价,且由于喷水织机对进水的硬度、电导率要求较高,对常规水质指标的要求反倒较低,即使以自来水为原水,仍需进行软化除盐^[11]。若采用河水,不仅需要支付一定的资源利用费,还需要投资自建一套完整的水处理工艺,无论使用河水还是自来水,高成本的原水都对喷水织机企业造成了不小的资金压力。因此,为企业提供更经济优质的替代水源,是为企业减负、降低生产成本、促进企业提高竞争力的有效途径。

同时,由于喷水织机对进水的常规指标要求较

低,且开发区内喷水织机企业厂内均设有软化除盐工艺,为节约资源,污水厂仅对喷水织机企业提供稳定优质的再生水,不再增设软化除盐工艺。尾水再生回供方案得到了周边上百家喷水织机企业的积极响应与支持,喷水织机总量达3万余台,一期工程最终设计回供企业61家,设计回用水总量2.7×10⁴ m³/d,设置恒压变频供水系统,并新建再生水管网20.5 km。

该尾水回用项目的运行,缓解了开发区内市政管网的供水压力,降低了附近企业的生产成本。同时也吸引了有同样用水需求的工厂企业的入驻,为开发区的招商引资创造了有利条件,具有一定的示范效应。

5 结论

采用预处理联合一体化AAO工艺处理开发区食品工业废水、喷水织机废水和生活污水,在厂内设置两组处理工艺,既可独立运行,构筑物间又可灵活调度,不仅达到了节约占地、节约能源、减少辅助碳源投加的效果,同时提高了污水处理与尾水回供的稳定性。将废水资源化,设置恒压变频供水系统,新建再生水管网20.5 km,将尾水全部回用于周边喷水织机企业,不仅减轻了污水处理厂运维资金压力,也降低了企业的生产成本,为开发区的招商引资创造了有利条件。该工程的建设具有较好的示范效果,对类似污水厂的建设与提标改造具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 李昆,魏源送,王健行,等.再生水回用的标准比较与技术经济分析[J].环境科学学报,2014,34(7):1635-1653.
LI Kun, WEI Yuansong, WANG Jianxing, et al. Water reclamation: standards comparison and cost analysis [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34 (7) : 1635-1653 (in Chinese).
- [2] 汤芳,蔡雳,黄晶晶,等.基于反渗透工艺的经济开发区污水再生利用体系建设案例分析[J].给水排水,2014,40(7):32-35.
TANG Fang, CAI Li, HUANG Jingjing, et al. Case analysis on the reclaimed wastewater reuse system based on reverse osmosis in economic development district [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40 (7) : 32-35(in Chinese).

- [3] 安呈泰, 杜红梅, 王诚, 等. 污水处理厂尾水再生回用于印染工艺用水的应用实践[J]. 给水排水, 2021, 47(3):85-91.
AN Chengtai, DU Hongmei, WANG Cheng, *et al.* Application practice of wastewater treatment plant tail water recycling for printing and dyeing process water [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(3): 85-91 (in Chinese).
- [4] 刘明祥, 陶丰收, 余雪松. A²O一体化污水处理池在某工业园区污水厂中的应用[J]. 中国给水排水, 2017, 33(6):69-72.
LIU Mingxiang, TAO Fengshou, YU Xuesong. Application of A²O integrated wastewater treatment tanks in wastewater treatment plant in an industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(6): 69-72 (in Chinese).
- [5] 许保玖, 龙腾锐. 当代给水与废水处理原理[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2000.
XU Baojiu, LONG Tengrui. Contemporary Principles of Water and Wastewater Treatment[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese).
- [6] 住房和城乡建设部. 室外排水设计标准: GB 50014—2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Design of Outdoor Wastewater Engineering: GB 50014-2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021 (in Chinese).
- [7] 许晓明. 进水以高浓度工业废水为主的污水处理厂扩建工程设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(4): 71-75.
XU Xiaoming. Design of expansion project of a WWTP with Industrial wastewater as the main feed water [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(4): 71-75 (in Chinese).
- [8] 程鹏飞, 周玮, 张冬, 等. 沭阳凌志水务有限公司污水处理厂一期工程设计[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8):47-49.
CHENG Pengfei, ZHOU Wei, ZHANG Dong, *et al.* Design of first-phase project of wastewater treatment plant of Shuyang Lingzhi Water Affair Company Limited [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(8): 47-49 (in Chinese).
- [9] 黄理辉, 张波, 毕学军, 等. 倒置A²O工艺的生产性试验研究[J]. 中国给水排水, 2004, 20(6):12-15.
HUANG Lihui, ZHANG Bo, BI Xuejun, *et al.* Full-scale test on inverted A²O process [J]. China Water & Wastewater, 2004, 20(6): 12-15 (in Chinese).
- [10] 刘伟京, 张龙, 张双圣, 等. 两点进水条件下多种A²O工艺的运行效果[J]. 环境工程学报, 2011, 5(6): 1294-1296.
LIU Weijing, ZHANG Long, ZHANG Shuangsheng, *et al.* Operation effect of different A²O processes under two-point influent conditions [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(6): 1294-1296 (in Chinese).
- [11] 王小红. 喷水织机用水的处理工艺[J]. 给水排水, 1996, 22(8):30-32.
WANG Xiaohong. Water treatment design for jet weaving machine [J]. Water & Wastewater Engineering, 1996, 22(8):30-32 (in Chinese).

作者简介:沈正栋(1997—),男,江苏苏州人,硕士在读,主要研究方向为污水处理与回用技术。

E-mail:727245210@qq.com

收稿日期:2021-10-10

修回日期:2021-12-23

(编辑:衣春敏)

实施国家节水行动, 建设节水型社会