

工程实例

DOI: 10.19965/j.cnki.iwt.2021-1262

开放科学(资源服务)
标识码(OSID):



乳品废水处理工程设计、调试与运行实例

孙 浩¹, 李 虹², 蔡灵锐¹, 韩 旭³, 朱禹韬³, 赵玛丽¹, 朴 哲¹

(1. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225127; 2. 扬州市广陵生态环境局, 江苏扬州 225001;
3. 扬州绿源水处理工程有限公司, 江苏扬州 225127)

[摘要] 针对宁夏某企业乳品废水, 设计日处理量 10 000 m³ 的污水处理厂。采用细格栅、调节水质的预处理单元、两级厌氧+A/O 生化处理、混凝沉淀、V 型滤池等工艺, 对该企业乳品废水进行处理。处理过程中, 通过投加自主研发工程菌剂和药剂, 对厌氧种子污泥进行活化, 加快厌氧反应器的启动; 为减轻浮渣对污水处理系统的影响, 在每级厌氧反应器前端设气浮, 控制厌氧消化过程浮渣的大量形成, 并对气浮排出的浮渣进行厌氧消化处理; 当反硝化碳源不足时, 从中间水池超越部分流量至缺氧反硝化池补充碳源。经过 45 d 的调试运行, 污水处理系统运行稳定, 污染物去除效果较好, 出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。

[关键词] 乳品废水; 污水处理厂; 厌氧; 菌剂; 气浮

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)11-0184-05

Design, commissioning and operation of dairy wastewater treatment project

SUN Hao¹, LI Hong², CAI Lingrui¹, HAN Xu³, ZHU Yutao³, ZHAO Mali¹, PIAO Zhe¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;
2. Yangzhou Guangling Ecology and Environment Bureau, Yangzhou 225001, China;
3. Yangzhou Lvyuan Water Treatment Engineering Co., Ltd., Yangzhou 225127, China)

Abstract: A sewage treatment plant with a treatment capacity of 10 000 m³/d was designed for dairy wastewater from an enterprise in Ningxia. The combined processes of fine grid, pretreatment unit for regulating water quality, two-stage anaerobic+A/O biochemical treatment, coagulation sedimentation and V-type filter were used to treat the dairy wastewater of this enterprise. In the treatment process, the anaerobic seed sludge was activated by adding independently developed engineering bacteria and medicament to speed up the start-up of the anaerobic reactor. In order to reduce the impact of scum on the sewage treatment system, air-floatation was set at the front end of each stage of anaerobic reactor to control the formation of a large number of scum in the anaerobic digestion process, and the scum discharged by air-floatation was anaerobic digested. When the denitrification carbon source was insufficient, the carbon source was supplemented by exceeding part of the flow from the intermediate tank to anoxic denitrification tank. After 45 d of commissioning and operation, the sewage treatment system operated stably, the pollutant removal effect was good, and the effluent quality met level 1A discharge standard of Pollutant Discharge Standard for Urban Wastewater Treatment Plant(GB 18918—2002).

Key words: dairy wastewater; sewage treatment plant; anaerobic; microbial agent; air-floatation

随着社会经济和科学技术的高速发展, 国民生活水平和健康意识不断提高, 对乳品的需求量逐年上升。乳制品生产过程中会产生大量废水, 其主要来自生产加工过程中器皿、设备、管道的洗涤水, 车间地面的冲刷水, 蒸发器的冷凝水, 超高温灭菌的凝结水等^[1], 不同时段水质变化较大。此外, 乳品废水中富含油脂、蛋

白质^[2]等细小悬浮物, 在厌氧消化阶段容易形成大量浮渣, 严重影响污水处理系统的正常运行。

1 项目概况

宁夏某乳业有限公司, 每天产生 10 000 m³ 的高浓度废水。根据水质、水量及排放要求, 本项目主要采用细格栅、调节水质的预处理单元、两级厌氧+A/O 生化

[基金项目] 国家自然科学基金项目(42177185)

处理、混凝沉淀、V型滤池等工艺的组合,对该企业乳品废水进行处理。为了快速启动厌氧反应器及减轻浮渣对污水处理系统的影响,采取对种子污泥进行活化与厌氧驯化、厌氧反应器前端增设气浮等措施。

2 工艺设计

2.1 进出水水质

项目设计处理规模为 10 000 m³/d,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—

2002)一级 A 标准。设计进出水水质见表 1。

表 1 设计进出水水质

Table 1 Design inlet and outlet water quality					
项目	COD/ (mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	pH	TP/ (mg·L ⁻¹)
进水	4 000~5 000	—	≤100	6.0~9.0	10~15
出水	≤50	≤5	≤15	6.0~9.0	≤0.5

2.2 工艺流程

废水处理工艺流程见图 1。

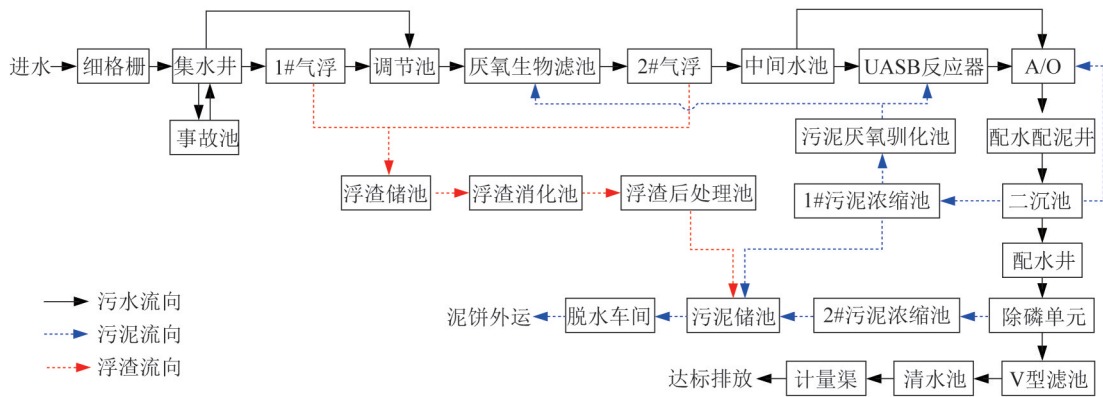


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Wastewater treatment process flow chart

如图 1 所示,乳品废水由生产车间排放后先经过细格栅间,去除较大的悬浮物后,进入集水井。集水井后设可对水质、水量进行调节的预处理单元,包括调节池、气浮间、事故池,根据水质特点将集水井污水提升至不同预处理单元,如低浓度污水直接进入调节池,中高浓度污水经过气浮处理后进入调节池,高浓度污水直接进入事故池;pH 在 5~11 之间的污水进入调节池,pH≤5 或 pH≥11 的污水进入事故池。当集水井液位较低且井内废水 pH 处于 6~10 时,事故池的废水打回集水井中。经调节池调节后,污水被提升至一级厌氧生物滤池,一级厌氧生物滤池的出水再次经过气浮后进入中间水池,中间水池的污水被提升至二级 UASB 厌氧反应器后进入 A/O 处理系统,也可超越二级 UASB 厌氧反应器直接进入 A/O 处理系统。A/O 系统出水经泥水分离后,采用混凝沉淀工艺进行化学除磷,再经 V 型滤池过滤后排放。

处理过程中,由气浮产生的浮渣进行厌氧消化处理。部分二沉池的剩余污泥经 1#污泥浓缩池减容后进入污泥厌氧驯化池储存,作为厌氧反应器跑泥时的备用污泥。剩余污泥经脱水后外运。厌氧消化产生的沼气,前期采用直接燃烧方式进行处理,后期考虑回收利用。

2.3 主要构筑物工艺设计参数

(1)细格栅井:2 组,每组设 1 台内进流式网板细格栅,栅隙 2 mm,单台设计流量 210 m³/h,功率 0.55 kW。

(2)集水井:2 组,单组尺寸 14.9 m×16.0 m×6.0 m,有效容积 715.2 m³,水力停留时间 3.4 h。设 3 台潜污泵,2 用 1 备,单台流量 290 m³/h,功率 22 kW,扬程 16 m。

(3)事故池:1 组,尺寸 30.0 m×21.5 m×8.0 m,有效容积 4 966.5 m³,水力停留时间 12.0 h。设 2 台潜污泵,1 用 1 备,单台流量 100 m³/h,功率 7.5 kW,扬程 15 m。

(4)调节池:2 组,单组尺寸 30.0 m×17.5 m×8.0 m,有效容积 3 675.0 m³,水力停留时间 12.6 h。每组调节池设 2 台潜污泵,1 用 1 备,单台流量 250 m³/h,功率 22 kW,扬程 18 m。

(5)1#气浮:3 台加压溶气气浮,单台设计处理量 150 m³/h,功率 21.15 kW。

(6)2#气浮:3 台加压溶气气浮,单台设计处理量 150 m³/h,功率 21.15 kW。

(7)厌氧生物滤池:3 组,单组尺寸 20.0 m×18.5 m×8.5 m,有效容积 2 775.0 m³,水力停留时间 20.0 h,内设弹性填料。每组设 2 台循环泵,1 用 1 备,单台流量 130 m³/h,功率 7.5 kW,扬程 12 m。

(8)中间水池:2组,单组尺寸30.0 m×9.0 m×4.0 m,有效容积675.0 m³,水力停留时间3.2 h。每组设2台潜污泵,单台流量250 m³/h,功率22 kW,扬程18 m。

(9)UASB反应器:6组,并联运行。单组尺寸8.8 m×22.7 m×9.5 m,有效容积1 683.0 m³,水力停留时间24.2 h,含脉冲进液系统、分离系统、布水系统、排泥系统和沼气收集系统。共设6台循环泵,3用3备,单台流量180 m³/h,功率5.5 kW,扬程6 m。

(10)A/O池:3组,并联运行。单组尺寸21.5 m×18.5 m×8.0 m。A段单组有效容积675.0 m³,水力停留时间4.9 h;O段单组有效容积2 220.0 m³,水力停留时间16.0 h,内设组合填料。A段设液下搅拌机9台,单台功率3.0 kW;A/O池设硝化液回流泵6台,3用3备,单台流量468.7 m³/h,功率7.5 kW,扬程3.68 m;设旋混式曝气器3 426个。

(11)二沉池:3组,并联运行。单组尺寸D 16.0 m×4.5 m,辐流式,沉淀负荷 $q=0.69 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。设刮泥机3套,D=16.0 m。

(12)除磷沉淀池:3组,并联运行。单组尺寸12.3 m×6.0 m×6.5 m,单组混凝反应时间7.8 min,絮凝反应时间37.0 min,表面水力负荷 $q=4.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。设除磷池回流泵3台,单台流量25 m³/h,功率1.5 kW,扬程10 m;设除磷池排泥泵3台,单台流量25 m³/h,功率1.5 kW,扬程10 m;设刮泥机3台,D=6.0 m,功率0.75 kW;设混合搅拌机3台,D=1.2 m,功率2.2 kW,转速50 r/min;设絮凝搅拌机3台,D=1.0 m,功率4 kW,转速61 r/min;斜管填料填充体积72 m³。

(13)V型滤池:3组,并联运行。单组尺寸3.0 m×6.0 m×4.5 m,单组过滤面积18 m²,滤速7.72 m³/h。承托层、滤料层分别采用砾石和石英砂作为滤料。设反冲洗系统一套。

(14)污泥浓缩池:2组,单组尺寸D 8.0 m×4.5 m,有效容积200.0 m³,浓缩时间>12.0 h。

(15)浮渣消化池:2组,并联运行。尺寸9.8 m×21.9 m×9.5 m,单组有效容积3 825.0 m³,浮渣停留时间30 d。

3 调试与运行

3.1 厌氧种子污泥活化及反应器启动

3.1.1 厌氧种子污泥活化

污水厌氧处理工艺具有能耗低、负荷高、耐冲击负荷等优点,但和好氧处理工艺相比,其启动速度较为缓慢。为了快速启动厌氧反应器,本项目对种子污泥进行了活化、厌氧驯化等处理。

(1)种子污泥及药剂。种子污泥取自当地城市污水处理厂的压缩污泥,其含水率在80%左右。将其分别投加到一级、二级厌氧反应器中,以总悬浮固体(TSS)计,投加质量浓度为15 kg/m³左右。厌氧反应器开始启动前,为活化种子污泥,投加自制复合药剂^[3],该药剂主要成分为草木灰、膨润土、氯化钙、PAM等物质。

(2)自制菌剂及其发酵。通过投加自制工程菌剂^[4]的方式,对厌氧种子污泥进行活化。该菌剂由光合细菌、芽孢杆菌、酵母菌、乳酸菌、产甲烷菌等兼性或厌氧微生物复合而成。在将菌剂投加到厌氧反应器之前,需对其进行固态发酵,具体操作为:取粗米糠等农副产品和粉状菌剂充分混匀,用25 g/L红糖水将混合物含水率调整为55%左右,在25℃以上的室温下堆置发酵,每天搅拌2~3次,堆温升至50℃以上并散发出酸甜味道时结束发酵,一般需要2~3 d。上述发酵菌剂接种量为种子污泥干重的2.0%左右。

(3)污泥厌氧驯化。厌氧反应器启动之前,对来自市政污水处理厂的压缩污泥在厌氧条件下进行驯化处理。由于新冠疫情的原因,2019年底投加的种子污泥在厌氧反应器内闲置了半年以上,驯化时间比预期多2倍,种子污泥得到充分厌氧驯化。

3.1.2 厌氧反应器启动

本项目设两级厌氧反应器,一级厌氧反应器采用厌氧生物滤池工艺,二级厌氧反应器采用UASB工艺,在设计负荷下水力停留时间分别为20.0 h和24.2 h。厌氧反应器开始启动前1周,投加3.1.1节自制药剂和发酵菌剂,在不进水条件下每天开启4~5次循环泵,将药剂和菌剂与事先投加的种子污泥进行充分混合。

一级厌氧反应器启动初始进水流量为3 600 m³/d左右,此时污泥单位挥发性悬浮物(VSS)的COD负荷约为0.45 kg/(kg·d)。当反应器COD去除率稳定达到60%以上时,按30%左右幅度提升进水流量,直至达到设计负荷。启动运行前期负荷提升幅度适当加大,到后期高负荷条件下适当降低提升幅度,为25%左右。一级厌氧反应器运行到第10天时,COD去除率达到60%以上。到第35天时,进水流量共提升4次,达到设计负荷10 000 m³/d,再经过10 d左右的运行,COD去除率稳定达到70%左右。通常厌氧反应器启动阶段污泥单位VSS的COD负荷在0.2 kg/(kg·d)左右,而本项目在高负荷条件下启动了厌氧反应器。

一级厌氧生物滤池和二级UASB反应器串联,同步启动。厌氧生物滤池出水经气浮处理后,进入UASB反应器。UASB反应器连续进水45 d,出水

COD在200 mg/L左右,被认为完成厌氧反应器启动,厌氧段总COD去除率稳定在95%左右。厌氧反应器启动期间,进水pH为7.0左右,水温为25~30℃。厌氧反应器启动前期进水量较低,上升流速较小,可通过间歇开启循环泵,提高传质效率。

综上,本项目通过对种子污泥进行活化和厌氧驯化,在较高初始负荷下,快速启动了处理高浓度乳品废水的二级厌氧反应器。

3.2 A/O系统启动及调试

A/O系统的种子污泥同上述厌氧种子污泥,启动及运行期间污泥质量浓度控制在3 000 mg/L左右。为了存留硝化细菌并加强其脱氮性能,在好氧硝化池中设置组合填料。好氧末端DO控制在2~3 mg/L,根据出水 NH_4^+-N 及TN去除率合理调整内回流比^[5]。调试运行20 d时,填料表面黏附浅黄色生物膜。

经过20多天运行,进水中60 mg/L左右的 NH_4^+-N 在好氧硝化段下降到1 mg/L以下,但A/O出水TN偏高,在20 mg/L以上。这可能是由于经过二级厌氧处理后,废水中大部分有机物被去除,UASB出水COD只有200 mg/L左右,不能满足反硝化所需碳源,导致出水TN超标。为此,将部分一级厌氧出水超越二级厌氧反应器,从中间水池直接打入到缺氧反硝化池,补充反硝化所需碳源。具体超越水量根据实际运行情况进行调整,

当超越水量满足 NO_x^--N 与COD质量比为1:6时,系统可有效去除 NO_x^--N ,出水TN达到排放要求。

3.3 后续深度处理

A/O出水经后续深度处理后排放。后续深度处理单元设混凝沉淀和V型滤池,主要用于去除TP、SS等。根据废水水质特点,混凝沉淀工艺段投加药剂为160 mg/L的PAC和4 mg/L的PAM,在此条件下出水 $\text{TP} \leq 0.5 \text{ mg/L}$,满足排放要求。

3.4 气浮及浮渣处置

本项目在每级厌氧反应器前端各设一段气浮,有效控制了厌氧消化过程中大量浮渣的产生。废水进行气浮处理时,投加PAC和PAM等絮凝剂,SS去除率可达到60%以上。考虑到反硝化碳源不足问题,为了减少气浮对COD去除的影响,二级厌氧反应器前端气浮采取减少或不加絮凝剂的措施。气浮排出的浮渣经过30 d厌氧消化去除30%左右干重,剩余浮渣脱水外运。

3.5 运行效果

经过45 d调试,系统稳定运行,之后连续10 d检测系统进出水COD、TP及A/O段进出水 NH_4^+-N 、TN,考察污染物去除效果,结果见图2。此外,对稳定运行期间的主要构筑物出水水质进行检测,其结果见表2。

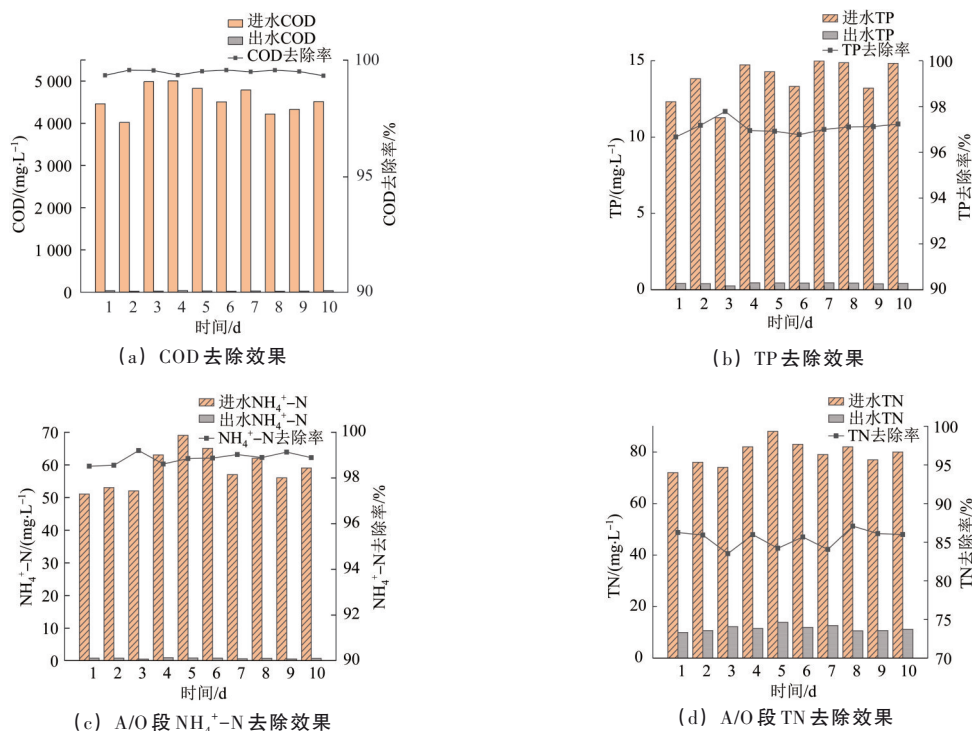


图2 污染物去除效果

Fig. 2 Pollutant removal effect

表2 主体构筑物出水水质

Table 2 Effluent quality of main structures

构筑物	COD/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+-\text{N}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
调节池	4 000~5 000	—	70~90	10~15
厌氧生物滤池	1 200~2 000	50~70	70~90	10~15
UASB	150~250	50~70	70~90	10~15
好氧池	≤ 35	≤ 1.5	≤ 15.0	7~11
V型滤池	≤ 35	≤ 1.5	≤ 15.0	≤ 0.5
明渠	≤ 35	≤ 1.5	≤ 15.0	≤ 0.5

由图2及表2可知,污水处理系统运行稳定,污染物去除效果较好。A/O段出水 NH_4^+-N 、TN与系统整体出水指标基本一致,均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。

4 投资与运行费用分析

项目总投资约为1.54亿元,其中土建费1.1亿元,设备材料费3 400万元,设计安装费969.8万元。运行费用为1.85元/ m^3 ,其中电费1.0元/ m^3 ,药剂(PAC、PAM)费0.65元/ m^3 ,人工费0.2元/ m^3 。

5 结论

(1)设计了日处理量为10 000 m^3 的乳品废水处理厂,采用预处理、二级厌氧+A/O生化处理、混凝沉淀、V型滤池等工艺对乳品废水进行处理。经过45 d的调试运行,系统出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A排放标准。

(2)通过对种子污泥进行活化和厌氧驯化,实现了高负荷条件下厌氧反应器的快速启动。历经40多天调试,反应器运行稳定,厌氧段COD由进水的4 500 mg/L 左右下降到200 mg/L 左右,去除率稳定在90%以上。

(3)系统运行过程中,当碳源不足导致出水TN超标时,将一级厌氧出水超越二级厌氧反应器直接打入缺氧反硝化池补充碳源,使 NO_x^--N 与COD质量比达到1:6,此时TN可被有效去除,出水TN达到

排放要求。

(4)根据乳品废水水质特点,在每级厌氧反应器前端设气浮,可有效防止厌氧消化过程中形成大量浮渣,缓解其对污水处理系统的不利影响,同时去除部分污染物。产生的浮渣通过厌氧消化,可去除30%左右的干重。

参考文献

- [1] 康小虎,曾小英,李师翁. 乳制品工业废水生物处理工艺研究进展[J]. 水处理技术, 2015, 41(6): 1-5.
KANG Xiaohu, ZENG Xiaoying, LI Shiweng. Review of the re-search progress on biological treatment process of dairy industry wastewater[J]. Technology of Water Treatment, 2015, 41(6): 1-5.
- [2] 刘勇,魏皓. HUSB:改良型SBR工艺处理乳品废水[J]. 工业水处理, 2020, 40(1): 105-107.
LIU Yong, WEI Hao. Application of HUSB: Modified SBR process for treatment of dairy wastewater[J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(1): 105-107.
- [3] 范骏洋,张善林,邹海晴,等. 乳品废水厌氧反应器快速启动及颗粒污泥形成[J]. 工业水处理, 2020, 40(11): 66-69.
FAN Junyang, ZHANG Shanlin, ZOU Haiqing, et al. Quick start-up of the anaerobic reactor for dairy wastewater and the formation of granular sludge[J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(11): 66-69.
- [4] 刘宝辉,吴正杰,朴哲,等. 一种复合菌剂YDEM2对厌氧反应器快速启动的研究[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(12): 137-142.
LIU Baohui, WU Zhengjie, PIAO Zhe, et al. Research on the rapid start-up of anaerobic reactor by a kind of compound bacterial agent: YDEM2[J]. Environmental Science & Technology, 2020, 43(12): 137-142.
- [5] 冯红利,赵梦月,丁舒喆. 城市污水厂 A^2/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 A^2/O process of WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(6): 102-106.

[作者简介] 孙浩(1996—), 硕士。E-mail: sunhao678@yeah.net。通讯作者: 朴哲, 博士, 教授。E-mail: piaozhe@yzu.edu.cn。

[收稿日期] 2022-07-23(修改稿)