城镇给排水工程设计案例专栏

金涛, 刘晓静, 马文明, 等. 更严格排放标准下低温条件的某新建污水处理厂工程设计与运行[J]. 净水技术, 2023, 42(9): 168-175.
JIN T, LIU X J, MA W M, et al. Engineering design and operation of a newly-built WWTP under stricter discharge standard at low temperature[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(9): 168-175.

# 更严格排放标准下低温条件的某新建污水处理厂工程设计与运行

金 涛[1,*],刘晓静[1],马文明[1],劳会妹[1],高文军[2]
(1. 中建生态环境集团有限公司,北京 100037;2. 中国市政工程西北设计研究院有限公司,甘肃兰州 730030)

**摘 要** 污水处理厂冬季低温运行期间主体生化处理工艺中活性污泥的硝化速率、反硝化速率、生物除磷效率显著下降,常常遇到氨氮、TN、TP 难以稳定达标的问题。河北省某污水处理厂扩容提标改造设计总规模为 5.0 万 $m^3$/d,其中新建部分设计规模为 3.0 万 $m^3$/d,设计出水水质执行北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)中的 A 标准。该污水处理厂面临进水水温低、碳源利用率低、排放标准高等难题。新建部分采用"多段多级 AO+二沉池+高效沉淀池+V 型滤池+臭氧接触池+接触消毒池"组合工艺,工程建成投入使用后,各出水指标稳定达标。其中,出水 $COD_{Cr}$、TN、TP 质量浓度分别为(13.8±2.6)、(7.1±1.2)、(0.10±0.05)mg/L,直接运行成本为 1.36 元/$m^3$。该组合工艺在低温条件下具有工艺成熟稳定、运行操作简单、出水效果好等优势,特别适用于高排放标准污水处理厂的建设和运行。文中介绍了该污水处理厂的设计概况、工艺流程及特点、主要设计参数,分析了其运行效果、经济指标,可为类似高排放标准污水处理厂设计提供一定参考。

**关键词** 低温 扩容提标改造 更严格排放标准 多段多级 AO 百乐克工艺 脱氮除磷 臭氧氧化
**中图分类号**:TU992 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-0177(2023)09-0168-08
**DOI**:10.15890/j.cnki.jsjs.2023.09.020

## Engineering Design and Operation of a Newly-Built WWTP under Stricter Discharge Standard at Low Temperature

**JIN Tao[1,*], LIU Xiaojing[1], MA Wenming[1], LAO Huimei[1], GAO Wenjun[2]**
(*1. China Construction Eco-Environmental Group Co., Ltd., Beijing 100037, China;*
*2. China State Construction Engineering Corporation AECOM Consultants Co., Ltd., Lanzhou 730030, China*)

**Abstract** During low temperature in winter, the nitrification rate, denitrification rate and biological phosphorus removal efficiency of activated sludge in the main biochemical process of wastewater treatment plant (WWTP) decrease significantly. And it is often encountered that ammonia nitrogen, TN and TP are difficult to reach the discharge standard stably. The total design scale of WWTP which needed to raise the discharge standard and treatment scale in Hebei province is $5.0\times10^4$ $m^3$/d, including the new part is $3.0\times10^4$ $m^3$/d. Design effluent water quality is required to upgrade to A standard in the *Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* in Beijing (DB 11/890—2012). The WWTP is faced with problems such as low inlet water temperature, low utilization rate of carbon source and high discharge standard. A combined process of "multi-step & multi-stage AO+secondary sedimentation tank+high efficiency sedimentation tank+V filter+ozone contact tank+disinfection tank" is selected in the new part. After the project is completed and put into use, the effluent quality is stable and up to standard. The average $COD_{Cr}$, TN, TP in effluent mass concentration were (13.8±2.6), (7.1±1.2), (0.1±0.05) mg/L respectively. The direct operational cost is 1.36

[收稿日期] 2022-10-24
[基金项目] 中建股份科技研发课题(CSCEC-2021-Z-52)
[通信作者] 金涛(1986— ),男,博士,高级工程师,主要从事市政给排水设计及管理工作,E-mail:18612925785@163.com。

yuan/m$^3$. The combined process has the advantages of technology maturity and stability, simple operation and good effluent effect at low temperature, especially suitable for the construction and operation of high standard WWTP. The general situation of WWTP design, process and its characteristics, main design parameters are introduced, the operation effect and economic indicators are also analyzed, which provides certain reference for the design of similar high discharge standard WWTP.

**Keywords** low temperature expansion and upgrading reconstruction stricter discharge standard multi-step & multi-stage AO BIOLAK nitrogen and phosphorus removal ozonation

近年来,我国城镇污水处理厂排放标准越来越严格,而冬季低温运行期间主体生化处理工艺中活性污泥的硝化、反硝化速率、生物除磷效率显著下降,常常遇到氨氮、TN、TP 难以稳定达标的问题[1-2]。河北省某县污水处理厂位于潮河流域,密云水库上游,原设计总规模为 3.5 万 m$^3$/d,执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准(以下简称“国标 A 标准”)。随着城市快速发展和人民生活水平的提高,该县生活污水排放量持续增加,同时,排放水体水环境目标提高对污水处理厂出水提出更高要求。污水处理厂亟需进行扩容提标改造,扩大污水处理厂的处理能力至 5.0 万 m$^3$/d,并将出水排放标准提高到北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)表 1 中的 A 标准(以下简称“京标 A 标准”)。本文以河北某县污水处理厂扩容提标改造工程为例,重点介绍了低温条件下高排放标准新建污水处理厂的工程设计和应用。

## 1 工程概况与工艺选择

### 1.1 工程概况

河北省某污水处理厂扩容提标改造工程设计总规模为 5.0 万 m$^3$/d,包括 2 部分:(1)老厂通过降产提标改造,处理能力由 3.5 万 m$^3$/d 降至 2.0 万 m$^3$/d;(2)新厂扩建 3.0 万 m$^3$/d 处理能力。进水主要为生活污水,含少量经济开发区工业废水,其占比不超过 10%。根据受纳水体潮河的水环境功能目标的要求,扩容提标改造后污水处理厂出水水质标准要求达到京标 A 标准,主要指标 $COD_{Cr}$、$BOD_5$、氨氮、TP 与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)表 1 中Ⅲ类限值要求一致(TN 除外,TN ≤ 10 mg/L),具体设计进出水水质如表 1 所示,设计最低水温为 6 ℃。

**表 1** 设计进出水水质

Tab. 1 Designed Influent and Effluent Quality

| 项目 | $COD_{Cr}$/(mg·L$^{-1}$) | $BOD_5$/(mg·L$^{-1}$) | SS/(mg·L$^{-1}$) | TP/(mg·L$^{-1}$) | 氨氮/(mg·L$^{-1}$) | TN/(mg·L$^{-1}$) | pH 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 设计进水水质 | ≤380 | ≤180 | ≤220 | ≤6 | ≤45 | ≤50 | 6~9 |
| 设计出水水质 | ≤20 | ≤4 | ≤5 | ≤0.2 | ≤1.0(1.5) | ≤10 | 6~9 |

注:括号内数值每年 12 月 1 日—次年 3 月 31 日执行。

### 1.2 老厂运行现状

老厂现状处理工艺为“百乐克工艺+二沉池+高效沉淀池+浅层砂滤池+接触消毒”,百乐克工艺经过之前改造投加移动床生物膜反应器(MBBR)填料以增加缺氧区微生物量,改善冬季低温条件下对 TN 的去除效果,新建高效沉淀池以保证出水 TP 达标[3]。目前老厂整体出水能够达到国标 A 标准,主要存在以下问题。

(1)百乐克工艺冬季停留时间偏短,虽进行 MBBR 工艺改造缓解低温条件下缺氧池容不足问题,但填料流化状态不佳,造成局部填料堆积现象,特别是缺氧区出口不锈钢拦截筛网部分。

(2)生物池内外回流系统、风机系统均不能变频调节,无法灵活调整运行参数,现状生化系统对原水碳源利用率较低,而为保证出水 TN 达标,外加碳源投加量偏大。

(3)现状二沉池与百乐克池合建,造成二沉池长宽比、长深比、最大水平流速、弗劳德数远低于常规平流沉淀池,表面负荷[1.35 m$^3$/(m$^2$·h)]较高,沉淀效果不佳[3]。

(4)浅层砂滤池因只设计了水反洗,未设置气反洗,经过多年的运行,石英砂滤料污堵严重,基本丧失应有功能。

### 1.3 工艺选择重难点

从现状污水处理厂运行情况分析,新建污水处理厂在工艺选择上存在以下重难点。

(1)冬季时间长、进水水温低,严重影响系统硝化反硝化性能。污水处理厂冬季低水温运行时间为12月底—次年3月底,进水温度在6~8 ℃,最低水温低至6 ℃。出水执行国标A标准时,低温期间出水氨氮、TN指标明显存在较大浮动,通过对现状污水处理厂进行分析,因百乐克工艺厌氧区停留时间为1.0 h,缺氧区停留时间为2.9 h,好氧区停留时间为10.2 h,实际运行中,常温时尚可满足出水标准要求,但低温条件下微生物反应速率下降,设计停留时间不足导致出水水质波动[3]。现提标至京标A标准,对出水氨氮、TN要求更加严格,难以保证其稳定达标。

(2)进水碳氮比偏低,且百乐克工艺未做到充分利用原水中的碳源,导致碳源投加量大,运行成本增加。同时碳源不足也影响到生化系统的生物除磷效果,新污水处理厂生化处理工艺选择要充分考虑原水碳源的利用,选择强化脱氮除磷工艺[3-6]。

(3)本项目的设计进水TP质量浓度指标为6.0 mg/L,出水指标要求TP≤0.2 mg/L,去除率≥96.7%。当碳源充足时,强化脱氮除磷工艺生物除磷率可达75%以上[7],但仍达不到去除要求,需要考虑“生物除磷+化学除磷”相结合保障TP达标。

(4)本项目出水SS质量浓度指标要求达到5 mg/L以下。考虑到冬季低温问题,常用的过滤处理工艺如滤布滤池工艺对SS的去除可以达到10 mg/L以下,但不能稳定达到京标A对SS的更高要求,且滤布更换费用较高;活性砂滤池工艺单套活性砂过滤器处理能力小,需设计较多活性砂过滤器,且易出现气提故障、跑砂以及板结等问题。因此,选择出水效果好、应用广泛的V型滤池过滤工艺对SS进行处理。

(5)本项目出水$COD_{Cr}$质量浓度指标要求达到20 mg/L以下,生化处理工艺可以实现$COD_{Cr}$≤50 mg/L,在经过深度处理加药沉淀或过滤可以进一步去除少量$COD_{Cr}$,但冬季低温条件下出水$COD_{Cr}$会存在波动情况,为保证$COD_{Cr}$稳定达标,需要考虑保障措施。

### 1.4　工艺思路分析

(1)生化处理段。低温条件下污水提标改造多数在原工艺上投加填料,增强对氮、磷的去除[8],但老厂在之前百乐克改造工程中投加填料运行维护不便[3]。因此,考虑优先利用原水碳源、充分发挥生物除磷,新厂的生化处理工艺采用具有强化脱氮除磷功能的多段多级AO工艺,并按最低水温6 ℃核算设计参数,延长水力停留时间,维持较低的污泥负荷。通过增设预缺氧段、多点进水、多点投加碳源、多点内回流等措施,提高生化处理段脱氮效果,降低外回流中的溶解氧和硝态氮,保证充足的碳源,充分释磷和吸磷,以充分发挥生物除磷功能。

(2)深度处理段。污水主要出水指标中氨氮、TN的去除在生化处理段完成,还有$COD_{Cr}$、TP、SS是工艺确定需要重点考虑的因素。目前,高效沉淀池和滤池的组合在污水深度处理工程中得到越来越多的应用[9-10]。本项目中,TP采用应用广泛的高效沉淀池工艺通过投加药剂絮凝沉淀保障达标,SS采用截留悬浮物能力强、应用广泛、效果稳定、投资运行费用低的V型滤池工艺保障达标。考虑到保证低温条件下出水$COD_{Cr}$≤20 mg/L的难度,处理工艺末端设置臭氧氧化工艺,去除部分难生物降解的有机物。

综上所述,在新建污水处理厂的工艺比选确定过程中,考虑工艺针对性、成熟稳定性、运行便利性,最终确定采用“多段多级AO+高效沉淀池+V型滤池+臭氧接触池”的工艺路线。

在老厂提标改造中将原“百乐克工艺+二沉池+高效沉淀池+浅层砂滤池+接触消毒”工艺改造为“AAO+二沉池+高效沉淀池”工艺。首先,通过在原百乐克池增加导流墙,并将原二沉池改造为缺氧区,增加缺氧区停留时间,优化生物反应池分区,提高生化系统的能力;其次,将基本丧失功能的浅层砂滤池和接触消毒池拆除,重新设计建设矩形二沉池;最后,利旧高效沉淀池,高效沉淀池出水接至新建污水处理厂V型滤池进一步处理。

## 2　工艺设计

本项目扩容提标改造总处理规模为5.0万$m^3$/d,包括2.0万$m^3$/d的老厂提标改造工程和3.0万$m^3$/d的新厂建设工程。下面以新厂为例对低温条件下高排放标准污水处理厂的工程设计进行介绍。

### 2.1　工艺流程

新建污水处理厂采用“粗格栅及提升泵房+细格栅及曝气沉砂池+多段多级AO+二沉池+高效沉淀池+V型滤池+臭氧接触池+接触消毒池”组合工艺,如图1所示。预处理工艺为常规工艺,主要去除较大的悬浮物、漂浮物和砂粒等;生化处理工艺采用

多段多级 AO 工艺，通过多点进水、设置预缺氧段、多级缺氧好氧交替，强化脱氮除磷效果，保障 $BOD_5$、氨氮、TN 的稳定达标；深度处理工艺采用“高效沉淀池+净水间(V 型滤池)+臭氧接触池+次氯酸钠消毒”。其中，高效沉淀池进一步去除 TP、SS 以及少量 $COD_{Cr}$，V 型滤池进一步去除 SS，臭氧接触池对 $COD_{Cr}$ 起保障性作用，设置超越管道，正常运行时污水经 V 型滤池过滤后直接消毒排放，只有受到冲击或者冬季低温导致 $COD_{Cr}$ 超标时启用臭氧接触池。二沉池剩余污泥和高效沉淀池化学污泥处理排放至污泥储池，经预浓缩+板框压滤后外运至堆肥车间进行好氧堆肥处理。

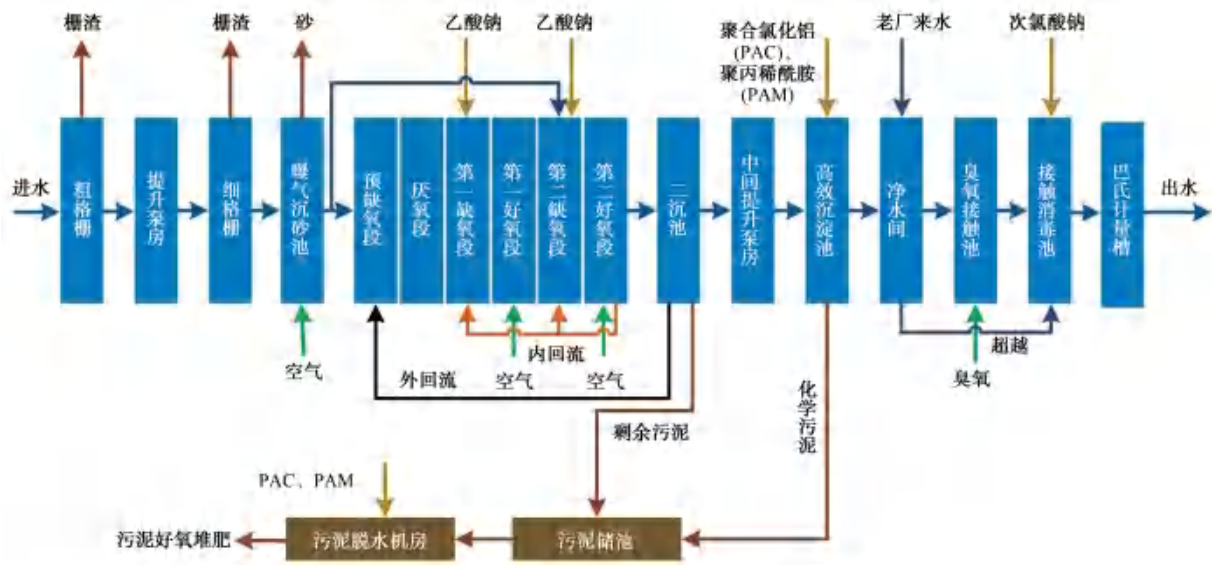


**图 1** 污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Process Flow of WWTP

## 2.2 主要构筑物及设计参数

(1)粗格栅及提升泵房

粗格栅及提升泵房按 3.0 万 $m^3/d$ 规模设计，总变化系数为 1.38，设回转式粗格栅 2 台，功率为 1.5 kW，栅条间隙为 15 mm，格栅宽度为 1 200 mm，格栅倾角为 75°，配套 1 台无轴螺旋输送机。提升泵房设 4 台潜污泵，3 用 1 备，全部设置变频。

(2)细格栅及曝气沉砂池

细格栅及曝气沉砂池按 3.0 万 $m^3/d$ 规模设计，总变化系数为 1.38，设内进流孔板格栅 2 台，单台过水量为 2.0 万 $m^3/d$，功率为 1.1 kW，孔径为 3 mm，网板有效宽度为 1 200 mm，配套冲洗水泵及高排水型螺旋压榨机。曝气沉砂池设桥式吸砂机 1 台，配套砂水分离器 1 台，罗茨鼓风机 2 台。

(3)多段多级 AO 池

多段多级 AO 池按 3.0 万 $m^3/d$ 规模设计，变化系数取 1.1，分 2 座，单座尺寸为 92.1 m×28.0 m×8.0 m，有效水深为 7.0 m，主要功能区包括预缺氧区、厌氧区、第一缺氧区、第一好氧区、第二缺氧区、第二好氧区。总停留时间为 25.58 h，其中预缺氧区为 0.5 h，厌氧区为 0.9 h，第一缺氧区为 3.79 h，第一好氧区为 8.3 h，第二缺氧区为 3.79 h、第二好氧区为 8.3 h。设计最低水温为 6 ℃，污泥质量浓度(MLSS)为 4 000 mg/L，设计污泥负荷为 0.036 kg $BOD_5$/(kg MLSS·d)，平均气水比为 8.7∶1.0。设计最大外回流比为 100%，通过污泥回流泵回流至预缺氧区；设计最大内回流比为 300%，通过回流渠插板阀调整第一、第二缺氧区回流量，建议控制第一缺氧区与第二缺氧区回流量分配比为 6∶4。进水分配渠中设置的插板可将进水按 30%、35%、40%、45%、50%的比例分配到第二缺氧区，其余污水进入预缺氧区，以达到调整各段进水量的目的。分别在厌氧区进口端、第一缺氧区、第二缺氧区设置碳源投加点，以便工艺运行时灵活调整外部碳源投加。单座多段多级 AO 池的预缺氧区设潜水搅拌机 1 台，厌氧区分 3 格，每格设潜水搅拌机 1 台；第一、第二缺氧区各设潜水推流器 2 台；第一、第二好氧区设 φ270 mm 盘式微孔曝气盘 1 774 个；第二好氧区末

端设混合液回流泵 3 台(变频控制,1 台冷备)。

(4)配水井及污泥泵房

配水井及污泥泵房按 3.0 万 $m^3$/d 规模设计,变化系数取 1.38,尺寸为 8.85 m×8.2 m×5.7 m。配水井设旋转调节堰门 2 台,控制向 2 座二沉池进行配水。污泥泵房设污泥回流泵 3 台(变频控制,1 台冷备)、剩余污泥泵 3 台(变频控制,1 台冷备)。

(5)二沉池

二沉池为中进周出辐流式沉淀池,按 3.0 万 $m^3$/d 规模设计,变化系数取 1.38,2 座,单座尺寸为 φ32 m×5.0 m。设计平均表面水力负荷为 0.78 $m^3/(m^2·h)$。池内设 φ32 m 全桥式周边传动刮泥机 1 台。

(6)中间提升泵房

中间提升泵房按 3.0 万 $m^3$/d 规模设计,变化系数取 1.38,尺寸为 10.0 m×7.3 m×6.6 m。设 4 台潜水提升泵,3 用 1 备,全部设置变频。

(7)高效沉淀池

高效沉淀池按 3.0 万 $m^3$/d 规模设计,变化系数取 1.38,尺寸为 22.9 m×22.5 m×7.0 m。分 2 个序列独立运行,包括混合区、絮凝区、斜管分离沉淀浓缩区,沉淀区平均表面水力负荷为 6.3 $m^3/(m^2·h)$,PAC 设计最大投加量为 30 mg/L,PAM 设计最大投加量为 2 mg/L,设计污泥回流比为 3.5%。单序列设混合搅拌器 1 台,桨叶直径为 1 000 mm;絮凝反应搅拌器 1 台,配套导流筒,桨叶直径为 2 100 mm;中心传动刮泥机 1 台,直径为 11 m。污泥泵间内设污泥回流螺杆泵 3 台(变频控制,2 用 1 备),污泥排放螺杆泵 3 台(2 用 1 备)。

(8)净水间

净水间为 V 型滤池工艺,按 5.0 万 $m^3$/d 规模设计(含老厂工艺处理出水 2.0 万 $m^3$/d),变化系数取 1.38,尺寸为 42.6 m×7.1 m×4.55 m。分 2 个序列运行,共 8 格,单格面积为 49 $m^2$,正常滤速为 5.3 m/h,强制滤速为 6.07 m/h。反冲洗程序为气洗时间为 2 min[强度为 15 $L/(m^2·s)$],气水联合洗时间为 4 min[气洗强度为 15 $L/(m^2·s)$,水洗强度为 3 $L/(m^2·s)$],水洗时间为 6 min[强度为 6 $L/(m^2·s)$],全程表面扫洗[强度为 2 $L/(m^2·s)$]。反冲洗设备间内设反冲洗水泵 3 台(卧式离心泵,2 台变频,2 用 1 备),反冲洗罗茨鼓风机 2 台(1 用 1 备)。

(9)臭氧接触池、接触消毒池及巴氏计量槽

臭氧接触池、接触消毒池及巴氏计量槽合建,按 5.0 万 $m^3$/d 规模设计(含老厂出水 2.0 万 $m^3$/d),变化系数取 1.38,尺寸为 35.5 m×21.0 m×7.0 m。臭氧接触池最高日最高时接触氧化时间为 43 min,接触消毒池最高日最高时接触消毒时间为 31 min。臭氧接触池分 2 组,每组分 3 段,采用竖向流设计,设计臭氧最大投加量为 50 mg/L,各段投加比例为 2∶1∶1。臭氧发生间设氧气源臭氧发生器 3 台,其中 2 台最大臭氧产量为 60 kg/h,1 台最大臭氧产量为 10 kg/h,根据水质情况,对臭氧投加量进行调整或者超越臭氧接触池。

(10)污泥储池及脱水机房

污泥储池按 5.0 万 $m^3$/d 规模设计,1 座 2 格,尺寸为 12.9 m×6.6 m×5.5 m,脱水机房设计污泥处理量为 1 190 $m^3$/d,含水率为 99.3%,每天运行 12~16 h,压滤后泥饼含水率低于 60%。污泥储池设潜水曝气搅拌机 2 台。污泥自储池进入脱水机房,经叠螺浓缩机预浓缩后进入调理池投加 PAC 调理,板框压滤机压滤后,外运进行好氧堆肥处理。脱水机房设污泥切割机 2 台,叠螺浓缩机 2 台,单台处理量为 350 kg DS/h,叠螺浓缩机配套进料螺杆泵 3 台(变频控制,2 用 1 备);预浓缩污泥调理池设框式搅拌机 2 台;高压隔膜板框压滤机 2 台,配套液压储泥斗 2 个,单台压滤机面积为 250 $m^2$,配套 3 台进料螺杆泵(变频控制,2 用 1 备)、1 台压榨水泵和 2 台洗布水泵(变频控制,1 用 1 备)。此外,板框压滤机配套空气压缩系统,用于反吹和阀门仪表用气。脱水机房内设 PAC 投加装置和 PAM 投加装置,PAC 投加量不超过绝干污泥量的 10%,PAM 投加量不超过绝干污泥量的 2‰。

## 3　运行效果

该项目新建厂区部分从 2021 年 5 月开工建设,于 2021 年 12 月通水调试运行,并于 2022 年 2 月出水达标。2021 年 12 月底—2022 年 3 月底,进水温度均在 8 ℃以下,进水温度在 12 ℃以下持续到 6 月初,表 2 为 2022 年 2 月—6 月的实际进出水水质情况,该阶段内最低进水温度为 6.5 ℃。由图 2~图 6 可知,在低温条件下污水处理厂运行效果稳定,期间进水 $COD_{Cr}$ 质量浓度为 110.1~304.7 mg/L、氨氮质量浓度为 12.4~49.4 mg/L、TN 质量浓度为 26.2~

55.2 mg/L、TP 质量浓度为 0.4～5.4 mg/L、SS 质量浓度为 63.2～167.0 mg/L，出水 $COD_{Cr}$、氨氮、TN、TP、SS 质量浓度分别为(13.8±2.6)、(0.3±0.1)、(7.1±1.2)、(0.10±0.05)、(3.2±1.1) mg/L，各项出水指标均达到京标 A 标准。整个处理系统对 $COD_{Cr}$、氨氮、TN、TP、SS 的平均去除率分别达到 93.3%、99.0%、82.5%、96.5%、97.2%。多段多级 AO 工艺在低温下保障了生化系统的去除效果，通过设置预缺氧段、多点进水、多点投加碳源等措施，强化了氮磷的去除，生化系统对 TN 的平均去除率达到 82.5%，在该阶段实现了对 TN 的去除目标。通过多段多级 AO 的生物除磷和高效沉淀池的化学除磷相结合，强化了 TP 的去除，平均去除率达到 96.5%。V 型滤池很好地实现了高效、稳定的 SS 去

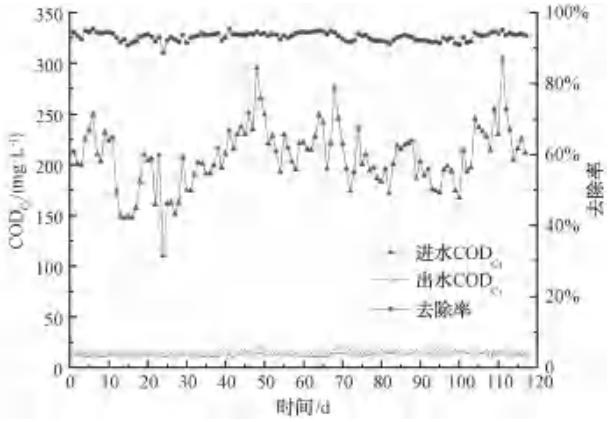


**图 2** 进出水 $COD_{Cr}$ 浓度及去除率

Fig. 2 Influent and Effluent $COD_{Cr}$ and Removal Rate

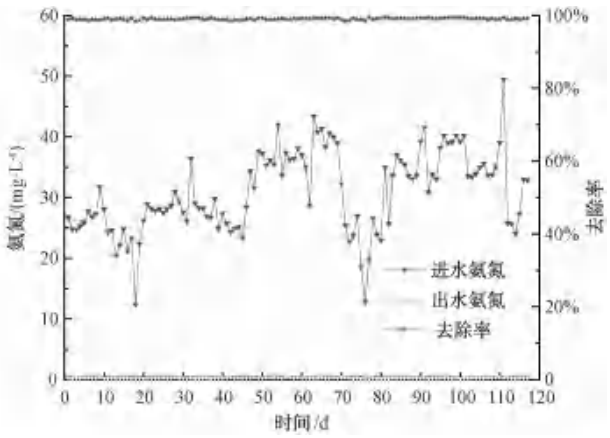


**图 3** 进出水氨氮浓度及去除率

Fig. 3 Influent and Effluent Ammonia Nitrogen and Removal Rate

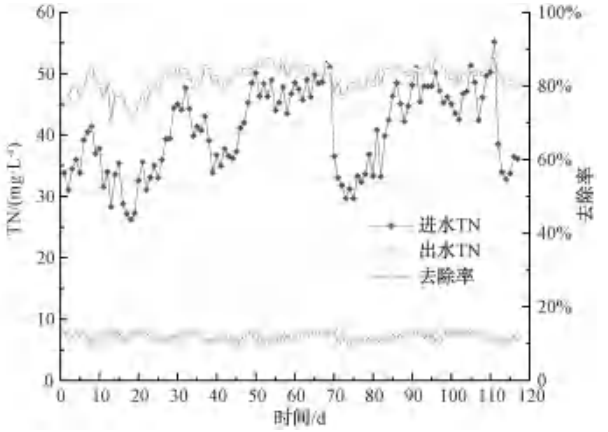


**图 4** 进出水 TN 浓度及去除率

Fig. 4 Influent and Effluent TN and Removal Rate

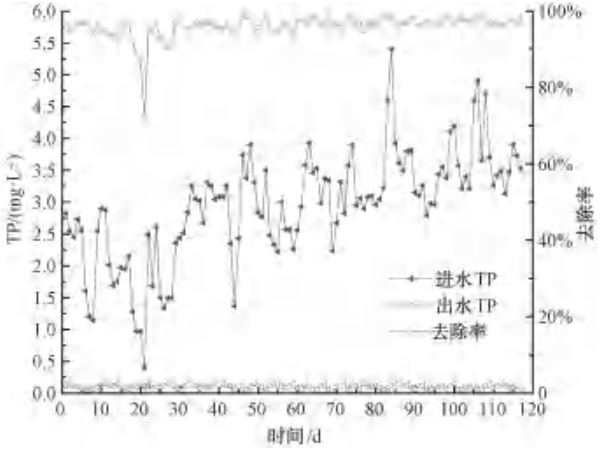


**图 5** 进出水 TP 浓度及去除率

Fig. 5 Influent and Effluent TP and Removal Rate

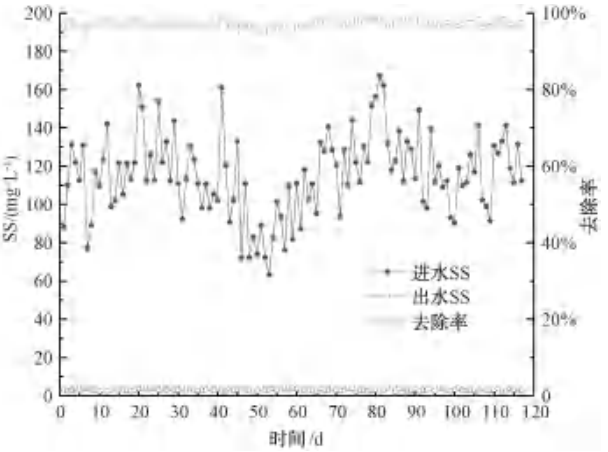


**图 6** 进出水 SS 浓度及去除率

Fig. 6 Influent and Effluent SS and Removal Rate

除。从 5 月中旬开始,随着水温的提升,臭氧系统根据出水水质情况调整开启频次以降低运行成本,经过 V 型滤池处理达标的出水超越臭氧接触池,直接投加次氯酸钠消毒后外排。

2022 年 2 月—6 月同一时间段内,选取新建厂区多段多级 AO 工艺和老厂百乐克工艺外加碳源的投加量进行分析。由图 7 可知,老厂本次提标改造完成前仍执行国标 A 标准,其 TN 出水质量浓度指标要求≤15 mg/L,厂内控标准为≤12 mg/L,其外加碳源投加量为(60.5±5.3)mg/L;新建厂区执行京标 A 标准,其 TN 出水指标要求≤10 mg/L,厂内控标准为≤8 mg/L,其外加碳源投加量为(38.2±4.1)mg/L。虽然新建厂区执行的出水标准更加严格,但采用多段多级 AO 工艺后外加碳源投加量比百乐克工艺更少,其原因首先是多段多级 AO 工艺可以更充分地利用原水中的碳源,其次是老厂百乐克工艺缺氧区停留时间短(2.9 h),反硝化脱氮更依赖于易利用的外加乙酸钠碳源,原水中的碳源无法得到有效利用。

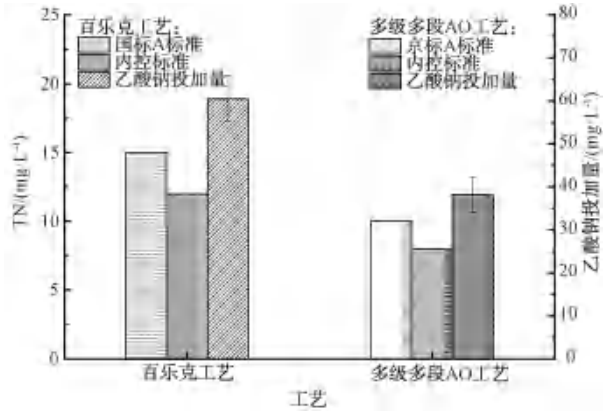


**图 7**　不同工艺的外加碳源投加量

Fig. 7　External Carbon Dosage of Different Processes

## 4　经济分析

该项目中新建污水处理厂设计规模为 3.0 万 $m^3$/d,其中,净水间(含)之后处理单元(包括净水间、臭氧接触池、接触消毒池、巴氏计量槽)因需提标强化处理老厂来水 2.0 万 $m^3$/d,设计规模为 5.0 万 $m^3$/d。新建污水处理厂工程投资为 15 295.60 万元,总用地面积为 31 748.23 $m^2$。

新建污水处理厂直接运行成本为 1.36 元/$m^3$,其中,药剂材料费为 0.44 元/$m^3$,水电费为 0.69 元/$m^3$,污泥处置费为 0.09 元/$m^3$,工资及福利费为 0.14 元/$m^3$。

## 5　结论

(1)低温条件下,采用“多段多级 AO+二沉池+高效沉淀池+V 型滤池+臭氧接触池+接触消毒池”组合处理工艺,出水效果良好,可以稳定达到京标 A 标准,展现了系统较强的抗低温冲击能力,为类似低温条件下高排放标准污水处理厂设计提供一定参考。

(2)生化法作为最经济的污水处理方法,如何充分发挥污水处理厂生化处理段的作用是污水处理厂设计成败的关键。通过合理的参数设计,作为主体工艺的多段多级 AO 在低温运行期间,比百乐克工艺原水碳源利用率高,特别是进水温度为 6.5 ℃时,仍可保证较好的脱氮除磷效果,在出水达标过程中发挥了至关重要的作用。

(3)“高效沉淀池+V 型滤池+臭氧接触池”深度处理工艺各单元功能目标明确,充分发挥各自的工艺优势,可以实现对 TP、SS、$COD_{Cr}$ 的精准去除,在高排放标准污水处理厂深度处理领域具有较好的应用前景。

(4)低温运行期间,臭氧系统兼具去除部分难生物降解有机物和消毒功能,进水温度回升后,为降低污水处理厂的运维难度及运行成本,消毒工艺采用次氯酸钠接触消毒为主。

## 参考文献

[1] 郭恰. 高标准出水对污水厂实现双碳目标的影响及减排对策分析[J]. 净水技术, 2022, 41(s2): 111-114, 126.
GUO Q. Impact of high standard effluent on the realization of carbon peak and carbon neutrality target of WWTP and analysis of emission reduction measures[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(s2): 111-114, 126.

[2] 李志超, 肖宁, 林蔓, 等. MBBR 耦合 MBR 用于东北某低温高排放标准污水厂[J]. 中国给水排水, 2022, 38 (14): 77-83.
LI Z C, XIAO N, LIN M, et al. Application of MBBR coupled with MBR process in a stringent discharge standard wastewater treatment plant in Northeast China at low temperature [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(14): 77-83.

[3] 刘晓静, 吴迪, 金涛, 等. 低温城市污水厂改型百乐克工艺脱氮除磷改造应用[J]. 净水技术, 2021, 40(5): 118-123.
LIU X J, WU D, JIN T, et al. Application of modified BIOLAK process for improvement of nitrogen and phosphorus removal in low temperature municipal wastewater treatment plants [J].

Water Purification Technology, 2021, 40(5): 118-123.

[4] 蒋富海, 张显忠. 污水处理厂百乐克工艺提标改造设计与运行[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 86-92.
JIANG F H, ZHANG X Z. Design and operation of upgrading and reconstruction project of a WWTP using Biolak process [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6): 86-92.

[5] 黄天寅, 王烽圣, 许晓毅, 等. 城镇污水处理厂改良厌氧/缺氧/好氧工艺的两种碳源补充途径脱氮效能比较[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(6): 777-781.
HUANG T Y, WANG F S, XU X Y, et al. Denitrification performances comparison of modified AAO process in urban wastewater treatment plant by two pathways of carbon source supplement[J]. Environmental Pollution & Control, 2022, 44(6): 777-781.

[6] 金涛, 马文明, 杨航. 某工业发达地区乡镇污水处理厂工程设计与运行[J]. 净水技术, 2020, 39(11): 39-43.
JIN T, MA W M, YANG H. Engineering design and operation of a township wastewater treatment plant in developed industrial region[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(11): 39-43.

[7] 胡宝明, 李亮, 祁佺, 等. 改良 $A^2/O$ 工艺在低 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 B M, LI L, QI Q, et al. A review of modified $A^2/O$ process for nitrogen and phosphorus removal from low C/N wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2022, 42(10): 46-52.

[8] 张涛, 余冉. 低温对市政污水生物处理的影响及对策[J]. 净水技术, 2022,41(6): 24-29, 38.
ZHANG T, YU R. Influence and countermeasures of low temperature on biological process for municipal wastewater treatment[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(6): 24-29, 38.

[9] 刘天顺, 杨淑霞, 魏迅, 等. 高效沉淀池+浅层高效滤池用于污水厂深度处理[J]. 中国给水排水, 2021, 37(24): 82-86.
LIU T S, YANG S X, WEI X, et al. Application of high-efficiency sedimentation tank and hydro-clear shallow media rapid filter for advanced treatment in a wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(24): 82-86.

[10] 陶珺. 高效沉淀池与滤池组合工艺在污水处理厂总磷超低排放的应用[J]. 净水技术, 2022, 41(s2): 66-70.
TAO J. Application of high-efficiency sedimentation tank and filter combined process in ultra-low total phosphorus emission in WWTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(s2): 66-70.

(上接第 87 页)

[19] 李冬, 陈冠宇, 曾辉平, 等. 连续流全程自养脱氮工艺启动及脱氮性能分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2017, 49(10): 182-188.
LI D, CHEN G Y, ZENG H P, et al. Start-up and denitrification performance analysis of CANON process in a continuous flow reactor [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2017, 49(10): 182-188.

[20] 宣鑫鹏, 赵珏, 刘祖文, 等. 好氧颗粒污泥处理垃圾渗滤液研究进展[J]. 江西理工大学学报, 2017, 38(5): 63-69.
XUAN X P, ZHAO Y, LIU Z W, et al. Advances in the treatment of landfill leachate by aerobic granular sludge [J]. Journal of Jiangxi University of Science and Technology, 2017, 38(5): 63-69.

[21] 罗博, 黄安寿, 陈海龙. 短程硝化反硝化氨氮脱除技术研究进展[J]. 环境与发展, 2020, 32(1): 130-131.
LUO B, HUANG A S, CHEN H L. Research progress of short-range nitrification and denitrification ammonia nitrogen removal technology[J]. Environment and Development, 2020, 32(1): 130-131.

[22] 李冬, 李悦, 李雨朦, 等. 好氧颗粒污泥同步硝化内源反硝化脱氮除磷[J]. 中国环境科学, 2022, 42(3): 1113-1119.
LI D, LI Y, LI Y M, et al. Simultaneous nitrification and denitrification of aerobic granular sludge for nitrogen and phosphorus removal[J]. China Environmental Science, 2022, 42(3): 1113-1119.

[23] 崔有为, 王好韩, 金常林. 好氧丰盛/缺氧饥饿模式驯化微生物积累内源聚合物并实现内源反硝化[J]. 北京工业大学学报, 2020, 46(11): 1283-1290.
CUI Y W, WANG H H, JIN C L. Selection of endogenous polymers accumulating bacteria by aerobic feast/anoxic famine mode and realizing denitrification by endogenous polymers[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2020, 46(11): 1283-1290.