

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.02.011

西北地区某污水厂CASS工艺提质增效工程设计

柳蒙蒙^{1,2,3}, 陈彦霖¹, 马晓龙⁴, 陈梅雪¹, 魏源送¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心 水污染控制实验室, 北京 100085; 2. 中国长江三峡集团有限公司 长江生态环境工程研究中心, 北京 100038; 3. 三峡环境科技有限公司, 上海 201722; 4. 宁夏善水环境水务有限公司, 宁夏 银川 750001)

摘要: 针对西北地区某城镇污水处理厂一期、二期CASS工艺处理水质、水量不达标的问题,在充分考虑利用原工程场地,不停产、不减产、不改变原有工艺的前提下,通过增加滗水深度、优化搅拌机安装、调整运行周期,低成本、高效地完成了该提质增量改造项目,实现了稳定达标排放。改造后外部碳源投加量减少33.33%,年节省药剂成本约200万元,大大降低了污水厂的运营成本,可为西北地区污水处理厂的升级改造提供借鉴。

关键词: CASS工艺; 提质增量; 脱氮

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)02-0064-05

Process Design of a CASS Upgrading Project of a Wastewater Treatment Plant in Northwest China

LIU Meng-meng^{1,2,3}, CHEN Yan-lin¹, MA Xiao-long⁴, CHEN Mei-xue¹,
WEI Yuan-song¹

(1. Laboratory of Water Pollution Control Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Yangtze River Ecological Environment Engineering Research Center, China Three Gorges Corporation, Beijing 100038, China; 3. Three Gorges Environmental Science and Technology Co. Ltd., Shanghai 201722, China; 4. Ningxia Shanshui Environmental Water Co. Ltd., Yinchuan 750001, China)

Abstract: The CASS process of phase I and phase II projects in an urban wastewater treatment plant in northwest China did not meet the discharge standard in terms of water quality and quantity. By increasing the decanting depth, optimizing the installation of the mixer and adjusting the operation cycle, a transformation and upgrading project for quality improvement and quantity increment was completed at low cost and high efficiency, and the effluent quality stably meet the discharge standard under the premise of making full use of the original engineering site, no stop and reduce of the production, and no change of the original process. After the transformation, dosage of the external carbon source is reduced by 33.33%, and the annual reagent cost is saved by approximately 2 million yuan, which greatly reduces the operating cost of the wastewater treatment plant, and provides a reference for upgrading and transformation of wastewater treatment plants in northwest China.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0501405); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07203-005)

通信作者: 魏源送 E-mail: yswei@rcees.ac.cn

Key words: CASS; quality improvement and quantity increment; denitrification

我国西北地区多为欠发达地区,其污水处理设施整体落后于东部沿海地区,其中宁夏回族自治区2015年前建设的污水处理厂多数仍然执行一级B排放标准^[1-2]。

作为SBR的衍生工艺,CASS工艺广泛应用于中小城镇污水处理^[3],但由于自身工艺特点及设计方面存在碳源分配不合理等因素,影响其出水效果^[4-5]。因此,以宁夏地区某城镇污水处理厂CASS工艺提质增效为例,探讨其优化设计。

1 污水处理厂现状、问题及提标要求

1.1 工程现状

宁夏某市污水处理厂分两期建设,一期设计处理规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,于2005年建成投运,实际处理水量 $8\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。一期CASS单池尺寸为 $40.3 \text{ m} \times 21.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$,有效容积为 $4\ 232 \text{ m}^3$,一期总有效容积为 $17\ 000 \text{ m}^3$ 。设计进水 $\text{BOD}_5 \leq 150 \text{ mg/L}$ 、 $\text{COD} \leq 350 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 200 \text{ mg/L}$,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的二级标准。CASS池单周期运行6 h,其中进水3 h、主反应区同时曝气3 h、沉淀2 h、滗水1 h。2009年为提高一期出水水质,在原有系统基础上,建设并投运了中水系统,采用曝气生物滤池工艺,一期出水直接进入中水系统,设计规模 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。

2016年6月开工建设了污水处理厂二期工程,同年12月投入运行。二期工程也采用CASS工艺(见图1)。设计处理规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设计进水 $\text{BOD}_5 \leq 250 \text{ mg/L}$ 、 $\text{COD} \leq 500 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 300 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N} \leq 45 \text{ mg/L}$,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。二期单个CASS池容 $62.0 \text{ m} \times 20.3 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$,运行周期为6 h,包括进水3 h、同时主反应区曝气3 h、沉淀2 h、滗水1 h。2017年该污水处理厂按照 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计处理规模进行提标改造,增加了“混凝沉淀+反硝化深床滤池”工艺,总出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,实际处理水量为 $(1.8 \sim 2) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

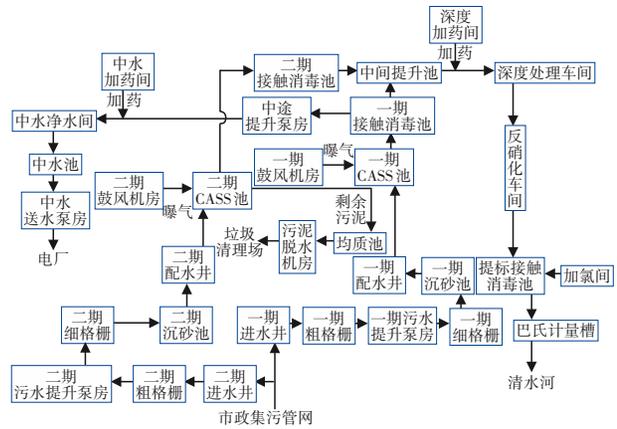


图1 一、二期工程工艺流程

Fig.1 Process flow chart of the phase I and phase II projects

1.2 存在的主要问题及提标要求

根据2019年改造前运行数据,由于设备老化及进水水质波动较大等原因,污水处理厂为保证出水水质,采取降低进水量的措施,使得实际总处理规模在 $(2.8 \sim 2.9) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间,尚有约 $3\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水无法消纳,直接外排,不能满足污水处理规模的要求。

1.2.1 存在的主要问题

- ① 污水处理规模不能达到要求,尚有约 $3\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水无法处理。
- ② 设计进水水质与实际水质相差甚远,导致CASS工艺生化处理单元生物脱氮效果差,不能达到出水要求(见表1)。一期和二期工程的生物反应区设计不太适应实际进水水质,易受进水冲击,存在系统稳定性低、活性污泥的活性低、生物处理单元脱氮负荷过低等问题,导致生物脱氮效果差。

表1 设计进、出水水质及排放标准

Tab.1 Design influent and effluent quality and the discharge standard $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD_5	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TN	SS
设计进水	350	150	35	45	200
实际进水	420 ± 60	170 ± 40	65 ± 20	80 ± 14	220 ± 30
一期实际出水	35 ± 13	11.3 ± 1.9	0.9 ± 0.5	32 ± 3.5	14 ± 2
二期实际出水	28 ± 11	10.1 ± 2.1	0.75 ± 0.2	22 ± 4.7	13 ± 3
总出水	25 ± 7	8.0 ± 2.3	1.1 ± 0.3	11 ± 1.4	9.8 ± 3.6
一级B标准	60	20	8(15)	20	20
一级A标准	50	10	5(8)	15	10

③ 从实际运行效果来看,CASS工艺生物处理单元缺乏必要的生物反硝化环境与足够的反应时间,导致出水水质不能满足总氮排放要求。

④ 运行成本过高,一是电耗过高:鼓风机能耗过高、生物池污泥浓度过高等原因导致综合能耗偏高(见图2);二是药耗过高:经分析,污水厂一期、二期生物处理单元处理效果较差,尽管总出水水质达标,但TN和SS的去除主要依靠“混凝沉淀+反硝化深床滤池”单元,导致药剂投加量过大(见图3)。

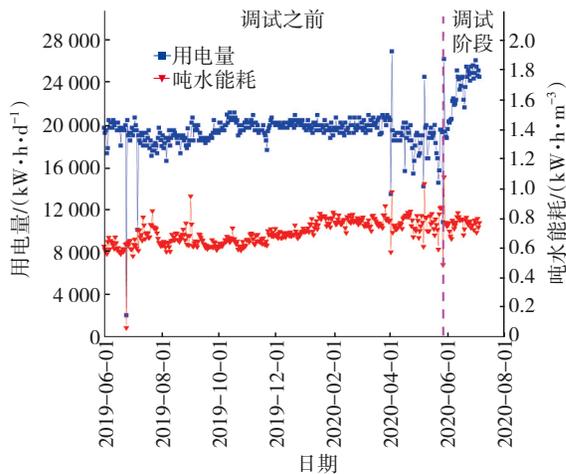


图2 改造前、后污水厂用电量及吨水能耗

Fig.2 Electricity and energy consumption before and after upgrading of the WWTP

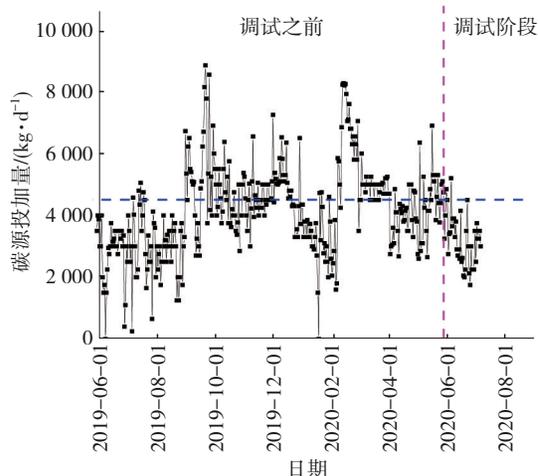


图3 改造前、后污水处理厂碳源投加量

Fig.3 Carbon source dosage before and after upgrading of the WWTP

1.2.2 提标改造要求

提标改造要实现“增水量”“提水质”2个目标:

① 增水量。至少要增加3 000 m³/d污水处理量。

② 提水质。通过对生物主反应区进行关键设备改造,进一步科学优化调控,提高生物处理单元处理标准,其中一期出水水质提高至接近一级B标准[氨氮≤8(15) mg/L,总氮≤20 mg/L,COD≤60 mg/L],二期出水水质提高至接近一级A标准[氨氮≤5(8) mg/L,总氮≤15 mg/L,COD≤50 mg/L],其他一级A指标需要对生化出水进行深度处理后达标。在此基础上进一步减少反硝化滤池以及深度处理车间药剂的投加量,大幅降低运营成本。

2 提质增量改造设计

2.1 提质增效改造思路

① 改造生物主反应区,提升生物脱氮效果。通过对生物主反应区进行关键设备改造、科学优化调控策略、挖掘生物脱氮潜力,提高生物处理单元效率,使一期出水标准由二级标准提高至一级B,二期出水标准由一级B提高至一级A,在此基础上进一步减少反硝化滤池及深度处理车间药剂的投加量,降低运营成本。

② 提水量。运行方面通过提高污泥沉降性能,缩短沉淀滗水时间,同时延长滗水器下降高度,增大单周期滗水体积。

2.2 提质增量改造方案

根据“增水量、提水质、降成本”改造思路,提出以下改造方案:

① 增大内回流,即增加主反应区至缺氧区的回流量,充分利用进水中碳源进行反硝化脱氮。

② 一期减小缺氧区的曝气量,二期将缺氧区的曝气搅拌方式改为搅拌混合方式。

③ 改变主反应区曝气方式,由非限制性曝气更改为半限制性曝气或限制性曝气方式,利用时空的切换强化反硝化过程。

④ 在主反应区增加潜水搅拌机,利用CASS工艺自身优势,充分利用周期循环过程中的时间分配,将主反应区改造成既可以实现缺氧反硝化,又可以实现好氧曝气的双功能区域。每个运行周期内的进水过程中,主反应区缺氧搅拌,充分利用进水中碳源进行反硝化脱氮,同时为充分利用一期、二期生化池的反应容积及时段,在缺氧池和主反应区各增加1处乙酸钠加药点以及时补充碳源,并根据生物单元出水运行效果,适度调整生物池及反硝化滤池外加碳源投加量。

⑤ 增加周期处理量,进而提高日处理水量。

3 增量提质实施步骤

对一期当前周期运行情况进行采样分析发现,在CASS池3h的运行过程中,COD、氨氮就已经达到一级B排放标准,基于此结果,在保证现有出水水质的前提下,从“增水量”角度提出如下解决方案:因现有滗水器排水能力为 $1\,250\text{ m}^3/\text{h}$,而目前运行排水量为 $1\,100\text{ m}^3/\text{h}$,如提高运行水深 100 mm ,在运行周期不变的前提下,则周期排水量可达到 $1\,185\text{ m}^3/\text{h}$,每天处理量增加 $1\,360\text{ m}^3$ 。同理,对于二期的增量改造方案,在进水3h期间,COD、氨氮均到一级A排放标准,基于此,在保证现有出水水质的前提下,从“提水量”角度提出如下解决方案:目前运行水深 6.7 m ,将现有滗水器排水高度由 1.0 m 增加到 1.1 m ,运行水深增加 100 mm ,在运行周期不变的前提下,则周期排水量可达到 $1\,380\text{ m}^3/\text{h}$,周期排水量增加 126 m^3 ,每天处理量可新增 $2\,000\text{ m}^3$ 。

对于“提水质”阶段,即在满足“增水量”要求后,通过调整周期内各阶段运行时间,适当延长缺氧搅拌时间,增加反硝化所需停留时间,以降低出水总氮浓度。

4 工艺设计

4.1 搅拌器安装设计

根据增量提质改造方案,需在二期、二期二级生物处理单元增加搅拌器(位置见图4),在主反应区域增加缺氧搅拌时间,以提高生物反硝化性能。

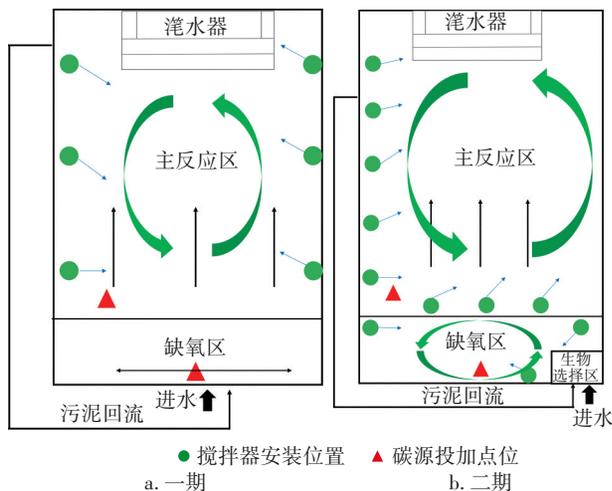


图4 一期、二期CASS池搅拌器安装位置

Fig.4 Mixer installation position of CASS tank of phase I and phase II projects

针对一期CASS反应池,在主反应区的两侧分别安装3台功率为 7.5 kW 的潜水搅拌器。对于二期生物处理单元,将原有缺氧区的曝气搅拌改造成3台搅拌器搅拌,搅拌器功率为 5.5 kW ;主反应区各增加8台功率为 10 kW 的潜水搅拌器。由于相邻两组池子中间挡墙承重有限,故将主反应区搅拌器安装在同侧(见图4)。

4.2 运行周期优化

按照“增水量”思路调整以后,现况CASS池单组滗水器出水能力均有所增加。经核算调整后污泥沉降时间及滗水器下降速度,将沉淀和滗水时间缩短到 2.5 h 。同时,由原来的两组池子串联运行改为四组池子串联运行,即将进水时间由 3.0 h 改为 1.5 h ,进水同时打开回流,并且前 0.5 h 进水过程中开启主反应区搅拌,二期缺氧区搅拌开启时间为 3.0 h 。调整后运行周期见表2。

表2 调整后CASS工艺运行周期

Tab.2 Operation cycle of CASS process after adjusting

进水阶段/min		曝气+回流/ min	沉淀/ min	滗水/ min	总循环 时间/h
混合+回流	曝气+回流	120	90	60	6.0

4.3 碳源投加优化

改造前该污水处理厂固定每个CASS池单周期在缺氧池一次性投加碳源4袋(工业级固体三水合乙酸钠,有效含量 60% , $25\text{ kg}/\text{袋}$),同时在末端反硝化滤池中使用大量药剂用于反硝化脱氮。改造期间,在每个运行周期内的进水过程中,主反应区缺氧搅拌,充分利用进水中碳源进行反硝化脱氮,同时为保证生物处理单元反硝化完全,总氮达标,降低后续反硝化滤池中药剂投加量,分别在CASS工艺缺氧区和主反应区各投加2袋碳源,具体投加点位见图4。并根据进水水质及生物单元出水运行效果,适度调整反硝化滤池外加碳源投加量。

5 工程运行效果

目前,该工程在实际改造过程中,通过逐池改造实现了污水处理厂不停产、不减产的目标。经过一个月稳定运行后,一期、二期总处理量超过 $3.2 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,比改造前总处理水量至少增加 $3\,000\text{ m}^3/\text{d}$,一期、二期出水水质监测结果见表3。对比表1,一期出水TN由改造前的 $32\text{ mg}/\text{L}$ 左右降低到 17.12

mg/L左右,满足一级B排放标准;二期出水TN由改造前的22 mg/L左右降低到12.78 mg/L左右,优于

一级A排放标准。总出水水质指标均满足一级A排放标准,且优于改造前。

表3 提质增效后污水厂出水水质
Tab.3 Effluent quality after upgrading

项目	COD	BOD ₅	TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	TP
一期出水	22.57±3.14	8.01±0.54	17.12±1.28	0.6±0.2	14.65±1.21	0.69±0.17
二期出水	18.06±2.76	6.42±1.21	12.78±2.03	0.4±0.1	10.7±1.37	0.39±0.15
总出水	20.34±5.75	7.48±0.88	10.34±3.89	0.98±0.24	10.59±1.66	0.06±0.02

6 投资及运行成本

该提质增量工程CASS反应池水下推流器的改造费用约为293.72万元。污水厂一期、二期开始调试后,经过一个月的稳定运行,外加碳源投加量明显下降,平均每天外加碳源量为3 177 kg(见图3)。同调试前(日均碳源投加4 425 kg)相比,节省28.2%的药剂投加量。吨水碳源投加量由改造前的0.15 kg/m³下降至0.10 kg/m³,减少33.33%。预计年节省药剂成本200万元。从生物处理单元运行能耗角度来看,污水厂增加搅拌以后,尽管总运行能耗有所上升,但由于处理水量增大,平均吨水能耗较改造前基本不变。改造后平均吨水能耗为0.757 9 kW·h/m³,改造前平均吨水能耗为0.770 6 kW·h/m³(见图2)。

7 结语

宁夏地区某城镇污水处理厂一、二期提质增量改造项目,在不改变原有运行工艺的前提下,在二级生物处理单元增加搅拌,适当延长缺氧反硝化时间,并根据出水水质要求调整周期运行时间,完成“增水量”“提水质”改造目标,一期出水满足一级B排放标准,二期出水满足一级A排放标准,总出水水质稳定达标(一级A标准)。且该方案投资及运行成本均较低,外加碳源减少33.33%,运行吨水能耗也有所下降,对同类污水处理厂高排放标准提质增效改造具有参考意义。

参考文献:

- [1] 刘亦凡,陈涛,李军. 中国城镇污水处理厂提标改造工艺及运行案例[J]. 中国给水排水, 2016, 32(16): 36-41.
LIU Yifan, CHEN Tao, LI Jun. Process analysis of upgrading and reconstruction of municipal wastewater

treatment plants in China [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(16): 36-41(in Chinese).

- [2] 乔华平. 浅谈黄河宁夏段水环境治理的工作思路与对策[J]. 资源节约与环保, 2017(11):69,72.
QIAO Huaping. Discusses on the thought and countermeasure of water environment control of the Yellow River Ningxia section [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2017(11): 69,72(in Chinese).
- [3] 荣杨. 基于CASS工艺的污水处理厂能耗分析与评价模型研究[D]. 成都:西华大学, 2016.
RONG Yang. The Research of Energy Consumption Analysis and Evaluation Model for Sewage Treatment Plant Based on CASS Process [D]. Chengdu: Xihua University, 2016(in Chinese).
- [4] 柳蒙蒙,陈梅雪,齐嵘,等. 面向寒冷地区城镇污水处理厂提标改造的ASM模拟优化及其应用[J]. 环境工程学报, 2020, 14(4):1119-1128.
LIU Mengmeng, CHEN Meixue, QI Rong, et al. ASM simulation optimization and practical application on upgrading of urban sewage treatment plant in cold region [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(4): 1119-1128(in Chinese).
- [5] 许云富. 某CASS工艺污水处理厂运行优化数值模拟研究[D]. 成都:西华大学, 2011.
XU Yunfu. Operating Optimization Numerical Simulation Research for a CASS Process Wastewater Treatment Plant [D]. Chengdu: Xihua University, 2011 (in Chinese).

作者简介:柳蒙蒙(1992-),男,河北衡水人,博士,工程师,从事污水处理及资源化利用研究。

E-mail:m_mliu@163.com

收稿日期:2021-01-12

修回日期:2021-03-17

(编辑:孔红春)