

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.06.015

太湖流域一级保护区内某污水厂提标改造工艺设计

冯仕训, 张万里, 程明涛, 蒋岚岚
(无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072)

摘要: 对太湖流域一级保护区内某污水处理厂按照《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)标准提标改造,设计规模 5.0×10^4 m³/d。针对出水标准高、现状主体构筑物去除能力有限、现状厂区没有有效的深度处理设施等工程问题,保留原一期CAST工艺、二期A²/O工艺,新建反硝化生物滤池、高速气浮池深度处理设施,并采取强化源头控制、提高污泥浓度、增加泥龄、控制溶解氧、优化碳源投加位置等非工程性管控措施。提标后工艺流程为粗格栅及进水泵房+细格栅及旋流沉砂池+CAST池(一期)/组合式A²/O池(二期)+反硝化生物滤池+高速气浮池+接触消毒池,出水水质稳定达到设计标准。工程总投资9 550.46万元,增加总处理费用0.98元/m³。

关键词: 太湖流域; 提标改造; 反硝化生物滤池; 高速气浮池

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)06-0076-05

Design of a Wastewater Treatment Plant Upgrading and Reconstruction Process in the First-grade Protection Zone of Taihu Lake Basin

FENG Shi-xun, ZHANG Wan-li, CHENG Ming-tao, JIANG Lan-lan
(Wuxi Municipal Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214072, China)

Abstract: A wastewater treatment plant with a designed scale of 5.0×10^4 m³/d in the first-grade protection zone of Taihu Lake basin was upgraded according to the discharge limitation specified in *Discharge Standard of Main Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant & Key Industries of Taihu Area* (DB 32/1072-2018). There are several engineering problems such as high effluent standard, limited removal capacity of current main structures, and no effective advanced treatment facilities in the current plant. To overcome these problems, the original CAST process in phase I project and A²/O process in phase II project were retained, a new denitrification biofilter and a high speed flotation tank as the advanced treatment facilities were constructed, and non-project measures, such as strengthening source control, increasing sludge concentration and sludge age, controlling dissolved oxygen and optimizing carbon source dosage point were adopted. After the transformation, the new process consists of coarse grid and inlet pump house, fine grid and cyclone settling tank, CAST tank (phase I)/combined A²/O tank (phase II), denitrification biofilter, high speed flotation tank and contact disinfection tank, and the effluent quality reaches the design standard stably. The total investment of the project is 95.504 6 million yuan, and the total treatment cost is increased by 0.98 yuan/m³.

Key words: Taihu Lake basin; upgrading and reconstruction; denitrification biofilter; high speed flotation tank

为实现太湖流域水环境质量持续改善,《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)于 2018 年 6 月 1 日颁布实施,明确要求江苏省太湖地区城镇污水处理厂在一级 A 排放标准基础上再提标,太湖流域一级保护区范围内某污水处理厂充分结合本厂水质、水量及设施的本底情况,采用工程性措施和非工程性管控措施相结合的方式将污水处理厂出水提标至新地标^[1-2]。

1 工程现状

1.1 工艺流程

该污水处理厂一期工程设计规模 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 主体工艺为 CAST 工艺,二期工程设计规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主体工艺为 A^2/O 工艺,总规模 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水达到一级 A 标准,现状出水口为二期混合出水。污泥采用污泥浓缩+带式脱水工艺处理至含水率 $\leq 80\%$ 后外运处置。目前污水处理厂的日进水量

在 90% 涵盖率下已经达到 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中工业废水约占 15%,主要为机械加工行业。污水处理厂现状工艺流程如图 1 所示。

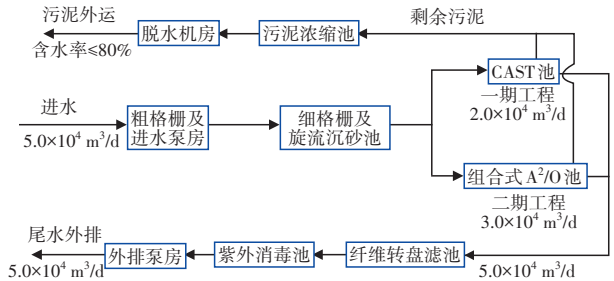


图 1 污水处理厂现状工艺流程

Fig.1 Current flow chart of the WWTP

1.2 现状出水水质

该厂近一年一、二期工程实际出水水质见表 1。可见,总出水稳定达到一级 A 标准。对比提标后要求达到的 DB 32/1072 标准,除 SS 和 BOD_5 已稳定达标外,其余指标与目标水质有一定距离。

表 1 现状污水处理厂实际出水水质

Tab.1 Current actual effluent quality of the WWTP

| 项 目 | | COD | BOD_5 | SS | $\text{NH}_3\text{-N}$ | TP | TN |
|--|--------------------------------------|-------|----------------|-----|------------------------|-------|--------|
| 一期 | 平均值/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | 34.4 | 6.9 | 6.8 | 1.40 | 0.28 | 15.3 |
| | 一级 A 达标率/% | 99.74 | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 |
| | DB 32/1072 达标率/% | 80.21 | 100 | 100 | 73.71 | 81.82 | 14.9 |
| 二期 | 平均值/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | 32.1 | 4.5 | 6.3 | 0.50 | 0.24 | 11.8 |
| | 一级 A 达标率/% | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | DB 32/1072 达标率/% | 96.09 | 100 | 100 | 93.3 | 98.8 | 32.17 |
| 总出水 | 平均值/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | 33.9 | 5.2 | 6.6 | 1.12 | 0.26 | 12.7 |
| 一级 A 标准/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | | 50 | 10 | 10 | 5(8) | 0.5 | 15 |
| 提标后 DB 32/1072 标准/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | | 40 | 10 | 10 | 3(5) | 0.3 | 10(12) |

1.3 现状主体构筑物主要设计参数

一期 CAST 池一座分 4 格,单格平面尺寸为 $36.0 \text{ m} \times 20.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$,单格总池容 4320 m^3 ,设计规模 $833.33 \text{ m}^3/\text{h}$,最高水位污泥浓度 3.5 g/L ,滗水宽度 4 m (单格 1 m),污泥负荷 $0.065 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$,曝气量 $78.0 \text{ m}^3/\text{min}$,运行周期 4.5 h ,其中进水 1.0 h 、反应 1.5 h 、沉淀 1.0 h 、滗水 1.0 h 。

二期组合式 A^2/O 池采用两点进水 A^2/O 形式,二沉池和生化池合建,一座分两组。池体分为缺氧区、厌氧区、好氧区、污泥回流区、硝化液回流区、沉淀区及加药区。污泥回流、加药区及剩余污泥排放区均利用沉淀区池周的三角区域,设计规模 $1250 \text{ m}^3/\text{h}$,总停留时间 15.97 h (其中厌氧区 0.93 h 、缺氧

区 5.33 h 、好氧区 9.71 h),二沉池表面负荷 $0.78 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,曝气量 $200 \text{ m}^3/\text{min}$,污泥浓度 3500 mg/L ,污泥负荷 $0.072 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ 。

1.4 现状评价

① 污水处理厂运行稳定,出水水质基本能稳定达到一级 A 标准。

② 二期工程整体运行情况比一期工程稳定可靠。对比一期、二期工程各项出水指标可以看出,二期工程各项出水指标均优于一期工程,尤其是 TN 指标优势更为明显,对现状一期 CAST 池的生物池容积和二期组合式 A^2/O 池的容积进行复核,一期、二期工程的生物池容积略微不足,一期工程的缺氧区存在短流现象,缺氧环境不佳,造成一期工

程TN达标率不高,二期工程生物脱氮除磷能力基本能满足一级A标准要求,但是进一步提升的潜力有限。

③ 厂区没有有效的深度处理作保障。目前厂区深度处理段为加药絮凝和纤维转盘滤池,在去除SS和TP指标上有一定的效果,能满足厂区现状一级A的出水要求,但是提标后对出水TN、TP、COD均提出了更高的要求,现状深度处理难以满足要求。

2 升级改造工艺确定

2.1 设计进、出水水质

以实际进水水质指标的90%涵盖率为基础设计进水水质,具体设计进、出水水质如表2所示。

表2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 项目 | COD | BOD ₅ | SS | NH ₃ -N | TN | TP |
|---------------|-----|------------------|-----|--------------------|--------|-----|
| 进水水质 | 350 | 120 | 150 | 40 | 50 | 5.0 |
| DB 32/1072 标准 | 40 | 10 | 10 | 3(5) | 10(12) | 0.3 |

2.2 提标改造工程的技术路线

COD:现状出水指标中大部分已经达到提标后的出水要求,污水处理厂进水以生活污水为主,本次提标改造在强化源头控制的同时,优化控制排泥,提高污泥浓度、增大泥龄,同时强化深度处理能力,可以保证出水COD稳定达标。

NH₃-N:根据对现状供气量和进出水NH₃-N浓度的复核,现状供气量能满足需求,提标改造工程通过保证进入生化段污水中碳源和碱度充足等手段保障出水NH₃-N指标稳定达标。

TN:对于TN的去除,一般会有两种思路,一是进一步挖掘现有生物池的处理能力,充分发挥生化池硝化反硝化作用。二是增加后续的深度处理单元,以进一步去除TN,保障出水达标。

根据目前污水处理厂生物池运行的实际情况,若想进一步将TN去除至10 mg/L以下,需要进一步加大混合液回流比,同时优化外加碳源位置和增加碳源的投加量,给污水处理厂的运行带来了巨大的挑战。本工程同时考虑以上两种思路作为出水TN达标的双重保证,在优化运行的同时在深度处理单元增加反硝化生物滤池。

TP:提标改造工程出水标准较为严格,如单纯依靠生物法,当受到一定浓度冲击时难以稳定达

标,因此,在深度处理段增加高速气浮池,采用生物除磷与化学除磷相结合的方法强化除磷效果。

微生物指标:目前厂区的消毒工艺为紫外消毒,稳定性较差,需要在紫外消毒池出水后投加次氯酸钠加强消毒效果,本次提标改造工作废除现状紫外消毒装置,新建次氯酸钠接触消毒池。

综上,本次提标改造工程性措施主要为拆除现有加药絮凝及纤维转盘滤池,增加反硝化生物滤池、高速气浮池、接触消毒池,同时提升厂区污泥脱水系统,将出厂污泥含水率从 $\leq 80\%$ 提高至 $\leq 60\%$,完善厂区除臭系统;非工程性管控措施为强化源头控制、提高污泥浓度、增大泥龄、控制溶解氧、优化碳源投加位置等^[3]。提标改造工程的工艺流程如图2所示。

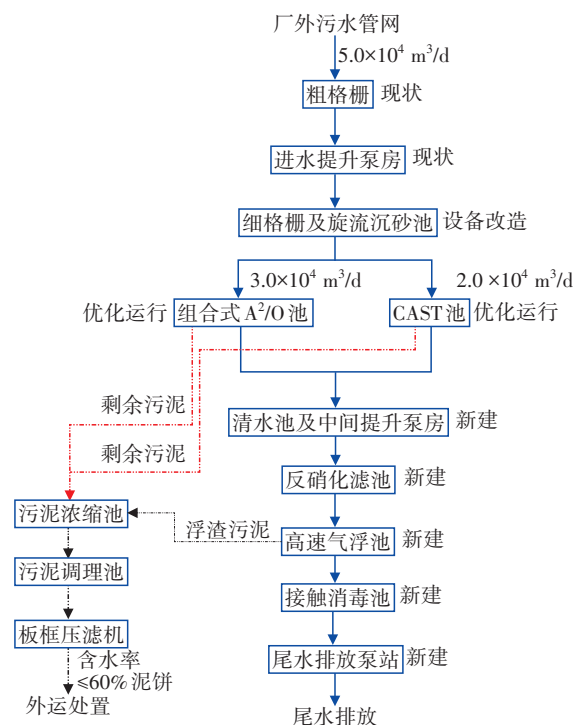


图2 提标改造工程工艺流程

Fig.2 Process flow chart of upgrading and reconstruction project

3 构筑物设计

① 反硝化生物滤池

反硝化滤池的工艺型式主要有反硝化深床滤池及反硝化生物滤池两类,本次提标改造工程选择反硝化生物滤池,该滤池是一种上向流生物滤池。滤池的滤料是一种均匀、轻质(密度小于 1 g/cm^3)、小粒径的球状颗粒,与反硝化深床滤池相比,具有

水力负荷高、 NO_3^- -N负荷高、耐冲击负荷等优点,出水SS控制能力比深床滤池弱^[4]。

通过在线测量仪表对出水硝酸盐浓度的测量值调整滤池碳源投加量。当滤池的悬浮物和硝酸盐在正常的设计负荷以下时,每天只需对每个滤池单元进行一次反冲洗。另外,当滤池的堵塞程度达到极限,即滤床的压力差达到设定值时,也要进行反冲洗。反冲洗是水 and 空气交替进行的,大约持续20 min。反冲洗有2种形式:正常反冲洗和强制反冲洗。此外,进行小反冲洗可延长反冲洗周期并提高处理效率。滤池为1座6格,总体尺寸为27.80 m×25.40 m,单格过滤面积42.0 m²,平均滤速8.27 m/h,硝酸盐氮负荷0.94 kg/(m³·d),反洗水流速70 m³/(m²·h),反洗气流速12 m/h,反冲洗周期24 h。

② 高速气浮池

高速气浮池是集混凝、絮凝和气浮功能于一体的高速气浮工艺。具有独特的气泡床,加强絮凝和气泡捕捉,处理高效且稳定。高速气浮池采用静态进水,静态出水,静态直线分离。对水体的扰动轻微,死角区极少^[5]。

气浮池尺寸为15 800 mm×3 800 mm×3 100 mm,表面水力负荷34 m³/(m²·h),停留时间9.45 min,回流量100 m³/h,回流比9.6%,气水比15%,溶气效率95%,溶气系统压力0.3~0.8 MPa,微气泡粒径不超过10 μm。絮凝反应池尺寸为14 800 mm×3 800 mm×3 300 mm,混合时间30 s,絮凝时间10.3 min。

③ 污泥系统

现状污泥处理采用带式脱水机脱水至污泥含水率≤80%后外运处置,本次提标改造工程将污泥处理流程改造为现状污泥浓缩+污泥调理+隔膜板框压滤,处理至含水率≤60%后外运处置,新建污泥调理池1座,分3格,平面尺寸15.6 m×5 m,配套石灰投加系统(干污泥量的20%~30%)和三氯化铁加药系统(干污泥量的5%~10%),新建污泥脱水机房一座,安装2台液压隔膜板框压滤机及配套的进料、反吹、压榨、水洗设备,过滤面积400 m²。

4 现状系统的优化运行

提标改造过程中采用的非工程性管控措施如下:

① 强化源头控制:项目主管部门对已接入市

政污水管网的工业企业排水户进行评估,未达到相关要求的限期整改,并对接管企业统一安装排水在线监测仪表,该监测数据与污水处理厂共享。

② 提高污泥浓度:通过变频调控将一期CAST池污泥回流比由25%提高至35%,通过变频调控将剩余污泥排放量由45 m³/h降至35 m³/h,调整后污泥浓度控制在4 200 mg/L左右。二期组合式A²/O池污泥回流比由75%调整至100%,通过变频调控将剩余污泥排放量由80 m³/h降至65 m³/h,调整后污泥浓度控制在4 000 mg/L左右。

③ 增加泥龄:由于提高了生化池内污泥浓度,同时降低了剩余污泥的排放量,一期CAST池及二期组合式A²/O池内的污泥龄均有一定的提高,具体调控措施与提高污泥浓度措施一致。

④ 控制溶解氧:一期、二期工程溶解氧的调整均采用鼓风机变频调节和电动阀门开启度的调整,一期CAST末端溶解氧浓度由2.5 mg/L提高至3.5 mg/L,二期组合式A²/O池好氧区溶解氧由2.5 mg/L调整至3.5 mg/L,末端通过分区阀门的控制将溶解氧调控至2.0 mg/L。

⑤ 优化碳源投加位置:一期CAST池在前端生物选择区新增碳源投加点,二期组合式A²/O池碳源投加点原为厌氧缺氧区的起点,改造后在缺氧区中段新增碳源投加点。

5 实际处理效果

本工程于2020年9月正式开始运行,提标改造后2020年9月—2021年2月的出水水质如表3所示。可见,出水各项指标均稳定达到设计标准。

表3 提标后污水处理厂实际进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality of the WWTP after upgrading and reconstruction

mg·L⁻¹

| 项 目 | | COD | SS | NH ₃ -N | TN | TP |
|------|-----|-----|-----|--------------------|------|------|
| 进水水质 | 最大值 | 295 | 119 | 31.6 | 48.6 | 5.9 |
| | 最小值 | 196 | 78 | 10.6 | 20.6 | 1.6 |
| | 平均值 | 245 | 96 | 24.5 | 29.8 | 3.6 |
| 出水水质 | 最大值 | 36 | 8 | 2.6 | 8.6 | 0.25 |
| | 最小值 | 16 | 2 | 0.65 | 3.2 | 0.05 |
| | 平均值 | 26 | 6 | 1.64 | 6.1 | 0.16 |

本工程总投资9 550.46万元,工程直接费7 960.61万元,总成本增加0.98元/m³。

6 结语

① 反硝化生物滤池与高速气浮池联用作为污水深度处理工艺,为避免过于彻底的除磷效果抑制反硝化滤池的脱氮效率,同时考虑经气浮池后出水溶解氧会上升,也给反硝化滤池的缺氧环境带来影响,增加碳源成本,因此,两者联用时反硝化生物滤池在前,高速气浮池在后。

② 反硝化生物滤池对TN的去除效率较高,但出水SS指标偏高,高速气浮池对TP和SS指标控制较好,将这两种工艺联用能互相取长补短,充分发挥各自优势,满足提标改造后的出水要求。

③ 太湖流域一级保护区内某污水处理厂提标改造采用粗格栅及进水泵房+细格栅及旋流沉砂池+CAST池(一期)/组合式A²O池(二期)+反硝化生物滤池+高速气浮池+接触消毒池的工艺流程,实际运行结果表明,处理出水满足《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)标准。

参考文献:

- [1] 李鹏峰,郑兴灿,李激,等. 城镇污水处理厂提标改造工作流程探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(22): 14-19.
- LI Pengfeng, ZHENG Xingcan, LI Ji, *et al.* Discussion on workflow of upgrading and reconstruction in municipal WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(22): 14-19(in Chinese).
- [2] 王阿华. 城镇污水处理厂提标改造的若干问题探讨[J]. 中国给水排水, 2010, 26(2): 19-22.
- WANG Ahua. Discussion on some problems in upgrading and reconstruction of municipal wastewater

treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(2): 19-22(in Chinese).

- [3] 肖先念,唐霞,孙伟,等. 南方某典型污水处理厂提标改造内部调控及工艺探讨[J]. 给水排水, 2020, 46(5): 73-77.
- XIAO Xiannian, TANG Xia, SUN Wei, *et al.* Process and optimization control on upgrading and reconstruction for a southern municipal wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(5): 73-77 (in Chinese).
- [4] 石东,丁磊,董良飞. 反硝化生物滤池脱氮的中试研究[J]. 中国给水排水, 2017, 33(1): 43-47.
- SHI Dong, DING Lei, DONG Liangfei. Pilot study on denitrification biofilter for nitrogen removal [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(1): 43-47(in Chinese).
- [5] 齐敦哲,王健,王如华,等. 宁东能源化工基地供水二期工程设计工艺选择[J]. 中国给水排水, 2013, 29(22): 25-28.
- QI Dunzhe, WANG Jian, WANG Ruhua, *et al.* Selection of design process for water supply second-stage project of Ningdong energy chemical industrial base [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(22): 25-28 (in Chinese).

作者简介:冯仕训(1984—),男,江苏扬州人,硕士,高级工程师,注册环保工程师,注册公用设备(给水排水)工程师,注册咨询(投资)工程师,主要从事城市污水处理厂及管网的设计研究工作。

E-mail: 727979832@qq.com

收稿日期: 2021-03-06

修回日期: 2021-03-30

(编辑:孔红春)

全面推行河长制湖长制,维护河湖健康生命