

设计经验

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.20.010

太湖流域多期建设污水厂准Ⅳ类提标扩容工程设计

薛峰, 张万里, 景帅, 任争鸣

(华昕设计集团有限公司, 江苏 无锡 214072)

摘要: 太湖流域某城镇污水处理厂设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 分为四期建设, 主体采用CAST及AAO工艺。提标扩容工程以现状四期工程构筑物提标潜力分析为基础、以混合出水达标排放为目标, 从利旧运行状态好的处理设施、优化二期三期生化单元、改造部分闲置构筑物、拆除一期利浦罐腾挪空间、新建深度处理设施、调配衔接各期工程等各维度展开提标扩容设计。预处理采用“粗格栅及提升泵房/细格栅、精细格栅及曝气沉砂池/初沉池”工艺, 二级处理工艺采用“改良型Bardenpho生化沉淀池(新一期)、改良AAO及二沉池(二期及四期)、AAO工艺及二沉池(三期)”, 深度处理采用“反硝化滤池/高速气浮池/臭氧接触池(新一期及二期)、反硝化滤池/接触消毒池(三期及四期)”工艺, 出水混合后部分进入生态缓冲池对尾水进一步处理后再外排进河道。项目完成后规模达 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 运行状态良好, 出水水质达到地表水准Ⅳ类标准。

关键词: 太湖流域; 提标扩容; 改良型Bardenpho; 高速气浮池; 生态缓冲池

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)20-0064-08

Design of an Expansion Project Upgraded to Quasi Class IV Discharge Standard of a Multi-phase Wastewater Treatment Plant in Taihu Lake Basin

XUE Feng, ZHANG Wan-li, JING Shuai, REN Zheng-ming

(Huaxin Design Group Co. Ltd., Wuxi 214072, China)

Abstract: The design scale of a municipal wastewater treatment plant in Taihu Lake basin is $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The key processes of the plant are CAST and AAO, and the construction is divided into four phases. The upgrading and expansion project is based on the potential analysis of the current structures belonged to the phase I-IV projects and the goal of ensuring the mixed effluent quality meeting the discharge standards. The updrading and expansion design is carried out by considering the aspects such as utilizing well operating treatment facilities, optimizing the biochemical units of phase II and phase III projects, renovating some idle structures, demolishing the Lipu tanks belonged to phase I project to release the space, constructing new advanced treatment facilities, coordinating and connecting different phase projects and so on. The pretreatment processes include coarse grid/pumping house/fine grid and finer grid/aerated grit chamber/primary sedimentation tank. The secondary treatment processes consist of modified Bardenpho biochemical sedimentation tank (new phase I project), modified AAO and secondary sedimentation tank (phase II and IV projects), and AAO process and secondary sedimentation tank (phase III project). The advanced treatment processes are denitrification filter/high speed air floating tank/ozone contact tank (new phase I and phase II projects), and denitrification filter/contact disinfection tank (phase III and IV projects). After mixing, part of the effluent enters the ecological buffer

zone for further treatment before being discharged into the river. After the completion of the project, the scale reaches $12\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. The wastewater treatment plant operates well and the effluent quality meets the surface water quasi class Ⅳ standard.

Key words: Taihu Lake basin; upgrading and expansion; modified Bardenpho; high speed air flotation tank; ecological buffer zone

1 项目概况

地处太湖流域一、二级保护区范围内的某污水处理厂始建于2003年,分为四期工程建设,各期建设规模分别为 2×10^4 、 3×10^4 、 3×10^4 、 $2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,现状总规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,远期规模 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,分别于2007年、2016年实施了一级A提标和技改工程^[1]。该污水处理厂主要服务于所在区域内的生活污水与工业废水的处理,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,现需提标至地表水准Ⅳ类标准,并扩容至 $12\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.1 现状工艺流程和平面布置

全厂各期工程均采用“粗格栅及进水泵房/细格栅及旋流沉砂池/厌氧水解池”作为预处理工艺,一、二、三、四期二级生物处理分别采用CAST、改良AAO、AAO及改良AAO工艺,深度处理一、二期采用反硝化深床滤池工艺,三、四期采用反硝化生物滤池工艺,尾水投加次氯酸钠消毒后排放。现状工艺流程见图1。

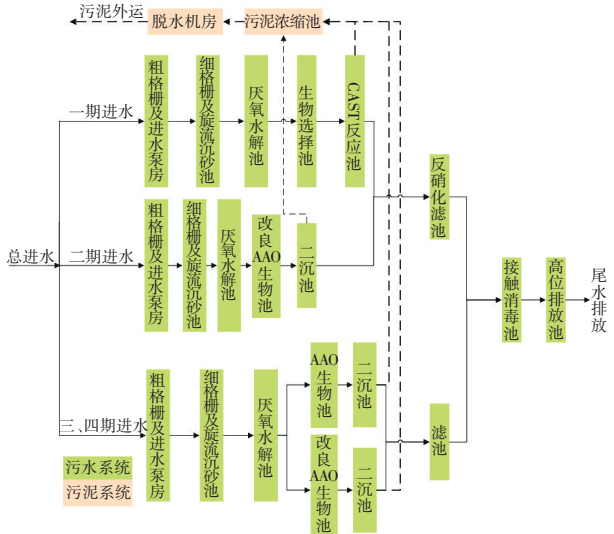


图1 现状工艺流程

Fig.1 Current flow chart of process

污水厂现状平面布置见图2。



图2 现状平面布置

Fig.2 Current layout plan

1.2 进、出水水质情况

对2019年5月—2020年4月运行水质进行了分析,同时考虑适当超前,该厂提标扩容工程出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅳ类标准(TN除外)。原设计、实际水质及本期工程设计水质见表1。

表1 原设计、实际水质及本期工程设计水质

Tab.1 Original design and actual water quality and design water quality of upgrading project

项目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
原设计进水	500	250	250	40	35	5.0
原设计出水	50	10	10	15	5(8)	0.5
90% 概率进水	661	324	331	45.3	35.8	5.2
95% 概率出水	45	4	8	14.2	1.83	0.38
本期设计进水	500	300	350	60	35	6.0
本期设计出水	30	6	10	10(12)	1.5(2.5)	0.3

现状出水水质与一级A排放标准相比,基本能够稳定达标,但由于部分时段进水COD、TN高于设计值,因此出水COD、TN稳定性不足,需重点关注。

1.3 现状存在的问题

① 预处理单元

如图1所示,预处理单元分为三期工程建设,单体多、设备多且规模小、能耗高、维护工作量大,环境卫生一般。厌氧水解采用生物膜法,三座厌氧水

解池均采用重力排泥,排泥管易堵塞、排泥量不稳定、运行维护较为困难。随着污水厂服务范围内部分工业废水陆续转移至新建的工业废水处理厂,近年来该厂进水COD浓度已经有了较大幅度的下降,沉砂池出水均采用超越三座厌氧水解池的方式进入生化池处理。

② 生化处理单元

目前厂区共计四个生化处理单元,一期工程为CAST工艺,采用钢结构的利浦罐,运行十几年后腐蚀较为严重,已进行多次停产防腐修补,但目前仍有渗漏点;同时滗水器几经大修,仍然存在故障频发的问题,导致出水水质较不稳定。根据全流程分析,二期工程存在好氧区池容利用率不高、回流点设置不合理、曝气不均匀等问题。三期工程存在回流点设置不合理、厌氧池和缺氧池搅拌混合效果差、厌氧区推流器设置不合理等问题。总体来说,二、三期工程对总氮的去除效率较低。

③ 深度处理单元

由于一、二期生化段脱氮除磷效果一般,故于2016年技改工程中新增了反硝化深床滤池工艺段,有力地保证了出水总氮的稳定达标。但三、四期深度处理采用上向流陶粒填料的反硝化滤池,该滤池运行过程中存在长柄滤头堵塞、滤池池底积泥严重及其他一系列问题,反硝化功能已被停用,日常运行用作普通滤池。

④ 出水水质要求进一步提升

由于进水中工业废水占比稍高,该厂进水污染物浓度比一般的生活污水处理厂高,存在一定的冲击,目前出水COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP等指标能稳定达到一级A标准,但是与准IV类出水标准相比,COD、TN达标存在较大的难度,需要通过一系列的提标改造提升整个污水厂的出水水质。

⑤ 污水处理能力不足

随着服务范围内的城市建设发展和人口的不断增加及服务范围内污水收集能力的进一步提升,目前污水厂的平均运行负荷率已达90%左右,管网系统持续保持高水位运行,雨天污水漫溢的情况时有发生,污水厂的运行压力极大,因此处理能力扩容势在必行。

2 提标扩容技术方案

2.1 预处理方案

从集约用地、整合处理设施、减少设备维护、提

高预处理效率、强化抗冲击能力等角度出发,考虑以下措施:

① 拆除一期存在安全隐患的利浦罐工艺,新建全厂统一的提升泵房及沉砂池单元,土建规模按照远期 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 考虑,设备满足提标扩容工程的需求。

② 强化预处理,增设初沉池,预处理工艺采用“粗格栅+细格栅、精细格栅及曝气沉砂池+初沉池”工艺。因进水悬浮物含量较高,现状生化池中悬浮物、浮渣等较多,而精细格栅可以进一步去除污水中细小的毛发、纤维物质,同时也有利于改善生化池的池面环境。同时,初沉池可用于提高系统的抗冲击能力,进一步减轻后续生化处理段的负荷,进口设有化学沉淀絮凝段,可强化固液分离效果,并设有初沉池超越管道,在进水浓度低时可考虑超越。

2.2 生化处理水量分配及改造方案

现状二期及三期工程的缺氧停留时间较短,本次改造延长其HRT,与全流程分析报告中的结论也相符。综合处理能力计算复核与全流程报告中的建议措施,考虑将二期及三期的处理水量均降低至 $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,HRT分别提升到19.1 h及19.5 h,同时对其生化单元进行硝化液回流点的改造,以更大限度地利用好氧区的硝化作用,增强生化脱氮除磷效果,减少化学药剂的投加量。

拆除一期工程后,考虑新建新一期生化池单元,规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,建成后全厂形成 $12\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 处理能力,改造前、后处理能力分布见图3。

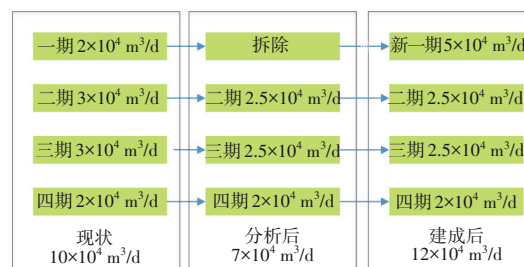


图3 改造后各期处理能力分布

Fig.3 Distribution of sewage treatment capacity after renovation

2.3 深度处理方案

本次提标扩容工程要求出水 $\text{COD}\leq 30\text{ mg/L}$, $\text{TN}\leq 10\text{ mg/L}$, $\text{TP}\leq 0.3\text{ mg/L}$,需考虑有效的工艺措施进行保障。全厂共分为四期工程,各期生化处理能力和

效果均不同,在进行深度处理单元设计时需全厂统筹考虑,从优化工程投资和降低运行成本的角度出发,充分利用现状深度处理设施,合理配置各期深度处理设施,并与二级生化处理能力相匹配,试图以最优的运行方式和工艺组合保障总体出水达标。

① TN指标

a. 原先一、二期的反硝化深床滤池利用,与三、四期生物池进行衔接,用作三、四期的深度处理设施,处理规模 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,滤速由原来的 5.93 m/h 降至 5.34 m/h ,脱氮负荷降低,TN保障能力更强。

b. 新一期及二期新建反硝化滤池,处理规模为 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,通过优化运行,出水TN可降至 3 mg/L [2]。

通过生化段的碳源补充及反硝化段的保障,出水TN可以稳定达标。

② COD指标

a. 设置初沉池,在进水COD远超设计浓度的情况下,可以应急缓冲,同时采取投药混凝的方式降低进水COD的浓度,缓解COD峰值浓度的冲击。

b. 二、三期生化池降负荷至 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,延长HRT,增强对COD的去除能力。

c. 三、四期($4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)深床反硝化滤池出水COD稳定在 35 mg/L 以下,而根据中试结果,滤池出水经气浮处理后COD可稳定在 26.8 mg/L 以下($15 \sim 26.8 \text{ mg/L}$),一、二期($7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)和三、四期($4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)COD加权平均值低于 30 mg/L 。

d. 在新一、二期($7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)后增设臭氧接触消毒池,臭氧发生器按照 10 mg/L 的投加量进行选型,兼顾应急情况下COD的进一步去除,确保出水COD稳定达标。

③ TP指标

a. 三、四期生化池适当增加化学除磷药剂的投加,以减轻后续反硝化深床滤池的TP去除负荷,反硝化滤池也同时设有化学除磷药剂投加点,通过微絮凝过滤方式进一步去除TP,提高出水TP的稳定性 [3]。

b. 污水厂实际生产数据显示,反硝化深床滤池出水TP可稳定低于 0.5 mg/L ,根据中试结果,反硝化深床滤池出水经气浮处理后TP可稳定低于 0.1 mg/L ,一、二期($7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)和三、四期($4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)出水TP加权平均值低于 0.3 mg/L 。

3 提标扩容工程设计

3.1 工艺流程

提标扩容工程工艺流程见图4。

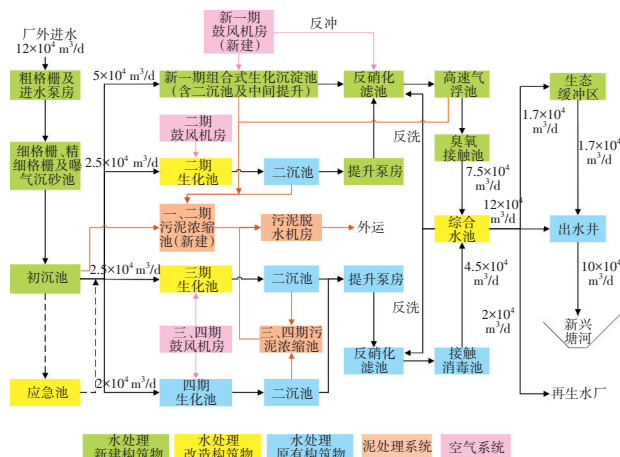


图4 改造后工艺流程

Fig.4 Process flow chart after renovation

进水依次流经粗格栅及进水泵房、细格栅、精细格栅及曝气沉砂池与初沉池,在初沉池的出水端分配至各期工程内。二期工程采用改良AAO工艺,新一期工程采用改良型Bardenpho工艺,出水提升至反硝化滤池、高速气浮池+臭氧消毒工艺进一步去除污染物。三、四期工程分别采用AAO工艺、改良AAO工艺,出水提升后进入三、四期反硝化滤池+接触消毒池进一步去除TN并消毒。

全厂各期部分出水进入生态缓冲区进行生态净化,部分出水进入综合水池进行中水回用。

3.2 总平面布置

改造后全厂建(构)筑物分布见图5。



图5 改造后总平面布置

Fig.5 Layout plan after renovation

改造后,整个厂区分分为新一期、二期、三期及四期工程,总体工艺流程由西往东,排向西北角的排水口,各构筑物分区布置合理。

3.3 主要新建构筑物设计参数

① 粗格栅及进水泵房

新建粗格栅及进水泵房1座,土建规模 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设备安装规模 $12\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;平面尺寸 $22.2\text{ m}\times 9.4\text{ m}$ 。主要设备:4台粗格栅及4台潜污泵(3用1备,变频), $Q=2\,200\text{ m}^3/\text{h}$, $H=185\text{ kPa}$, $N=160\text{ kW}$ 。

② 细格栅、精细格栅及曝气沉砂池

新建细格栅、精细格栅及曝气沉砂池1座,作为厂区总的预处理构筑物。细格栅及精细格栅上部为格栅池,下部空间内放置曝气沉砂池的鼓风机、砂水分离器、格栅反冲洗水泵及水池、栅渣螺旋输送机^[4],土建规模 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设备安装规模 $12\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸 $74.0\text{ m}\times 24.80\text{ m}$,设计曝气区停留时间 16.5 min ,设有细格栅渠道8格(近期安装6台),精细格栅渠道10格(近期安装6台),沉砂池2组。主要设备:6台细格栅($e=3\text{ mm}$)及8台精细格栅($e=1\text{ mm}$);2台桥式吸砂机;螺旋输送机5套。

③ 初沉池

新建初沉池1座,4组,采用平流式沉淀池池型,在进水端设有混合反应及絮凝段,出水端设有出水分配井。可以通过初沉去除部分SS,减轻后续生化段负荷;在进水异常时还可以通过加药化学反应沉淀的方式,去除部分有毒有害污染物,以提高生化处理段及深度处理段的运行稳定性。初沉池采用桁车吸泥机将池底污泥排入排泥渠道,自流进污泥井,用螺杆泵提升至污泥浓缩池。土建规模 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设备安装规模 $12\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸 $73.6\text{ m}\times 33.2\text{ m}$,设计表面负荷 $3.65\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, $\text{HRT}=1.27\text{ h}$ 。主要设备:3台桁车吸泥机(远期增设1台),跨度 8.0 m ;反应搅拌机3台(远期增设1台),絮凝搅拌机8台(远期增设4台);污泥螺杆泵2台。

④ 改良型Bardenpho生化沉淀池

改良型Bardenpho生化沉淀池由生化池、二沉池、污泥回流泵房、二级提升泵房合建。设计规模 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,总平面尺寸 $96.3\text{ m}\times 84.4\text{ m}$,生物池有效水深 6.0 m ,超高 1.0 m ,总池深 7.0 m 。生物池总 HRT 为 22.64 h ,其中,预缺氧区为 0.94 h 、厌氧区为 1.40 h 、缺氧区1为 4.79 h 、好氧区1为 13.8 h 、缺氧区2为 1.11 h 、好氧区2为 0.6 h ;污泥龄 29.9 d ,污

泥回流比 $50\%\sim 100\%$,硝化液回流比 300% ;二沉池 $\varnothing 40\text{ m}$,表面水力负荷 $1.08\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。主要设备:预缺氧区搅拌器2台($N=7.5\text{ kW}$);厌氧区搅拌器4台($N=5.0\text{ kW}$);缺氧区推流器8台($N=4.0\text{ kW}$);后缺氧区搅拌器4台($N=7.5\text{ kW}$);好氧区推流器12台($N=2.2\text{ kW}$);硝化液回流泵6台($Q=1\,044\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ kPa}$, $N=11.0\text{ kW}$);污泥回流泵6台(变频,4用2备, $Q=520\text{ m}^3/\text{h}$, $H=40\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$);二级提升泵6台(变频,4用2备, $Q=520\text{ m}^3/\text{h}$, $H=70\text{ kPa}$, $N=11\text{ kW}$);管式曝气器 $2\,248\text{ m}$,供气量 $7\sim 8\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$;半桥式中心传动刮吸泥机2套($\varnothing 40\text{ m}$, $N=1.1\text{ kW}$)。

⑤ 反硝化滤池

新建反硝化深床滤池1座,8格,用于新一期及二期工程进一步去除TN。设计规模 $7.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,总体尺寸 $52.64\text{ m}\times 31.3\text{ m}$,单格过滤面积 66.37 m^2 ,石英砂滤料厚度 1.83 m 。滤速 5.30 m/h (平均)/ 6.36 m/h (强制),滤池水头损失 $25\sim 28\text{ kPa}$ 。配套反冲洗水系统与反冲洗风系统,采用气水反冲洗模式。反冲洗过程:气洗 2 min ;气水联合冲洗 $10\sim 15\text{ min}$;水漂洗 $5\sim 8\text{ min}$ 。反冲洗强度:气洗 $92\text{ m}^3/\text{h}$,水洗 $15\text{ m}^3/\text{h}$;反冲洗频率为1格滤池/2d,反冲洗水量 2% 。主要设备:反冲洗水泵2台(1用1备, $Q=1\,285\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=45.0\text{ kW}$);反冲洗废水排放泵2台(1用1备, $Q=220\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=11.0\text{ kW}$)。

⑥ 高速气浮池

新建高速气浮池1座,4组,与加药间合建,用于新一期及二期工程进一步去除TP、SS以及部分COD。设计流量 $7.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,尺寸 $35.0\text{ m}\times 21.4\text{ m}\times 5\text{ m}$,混凝时间 1.52 min ,絮凝时间 14.2 min ,有效水深 $4.3\sim 3.9\text{ m}$,分离区表面负荷 $17\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,回流比 $12\%\sim 14\%$ 。主要设备:搅拌器9台($N=4.0\text{ kW}$,变频);回流水泵6台(4用2备, $Q=110\text{ m}^3/\text{h}$, $H=680\text{ kPa}$, $N=37\text{ kW}$);溶气装置4套($Q=1\,090\text{ m}^3/\text{h}$);气泡发生装置4套($Q=1\,090\text{ m}^3/\text{h}$);链板式刮渣机4套($N=0.55\text{ kW}$)。

⑦ 臭氧接触池

新建臭氧接触池1座,用于新一期及二期工程进一步去除COD并起到出水消毒的作用。设计规模 $7.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸 $26.4\text{ m}\times 14.4\text{ m}$,水力停留时间 30 min 。

⑧ 鼓风机房

新建鼓风机房及变配电间1座,用于配套新建

组合式生物池及反硝化滤池反洗风机,本期工程共设置6台风机(3台用于生物池,3台用于反硝化滤池),并预留远期风机位置。平面尺寸12.0 m×58.0 m。主要设备:生化池鼓风机3台($Q=150\text{ m}^3/\text{min}$, $P=72\text{ kPa}$, $N=220\text{ kW}$);反洗鼓风机3台($Q=65\text{ m}^3/\text{min}$, $P=75\text{ kPa}$, $N=110\text{ kW}$)。

⑨ 臭氧发生器间

包括臭氧发生系统、臭氧投加系统、冷却水系统、剩余臭氧尾气破坏系统、氮气添加系统及配套的控制系统。平面尺寸34.2 m×8.5 m,设臭氧发生器3台(平均产量 $\geq 10\text{ kgO}_3/\text{h}$, $N=118\text{ kW}$)。

⑩ 污泥系统

本项目设计的污泥浓缩池负责初沉池污泥、新一期和二期生化污泥、高速气浮污泥的浓缩。三期及四期污泥浓缩利用现状污泥浓缩池。污泥浓缩后泵送至外包的脱水机房进行调理+板框压滤处理,处理后污泥外运焚烧处置。设计污泥总产量为40 500 kgDS/d。其中,生物池剩余污泥量为12 525 kgDS/d,高速气浮池污泥量为3 375 kgDS/d,初沉池污泥量为24 600 kgDS/d。污泥固体负荷为50.38 kg/($\text{m}^2\cdot\text{d}$),设计污泥浓缩池1座,4组,平面尺寸:4× $\varnothing 16.0\text{ m}$ 。主要设备:中心传动污泥浓缩机4台($N=1.1\text{ kW}$);潜污泵4台($Q=80\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=11.0\text{ kW}$)。

⑪ 生态湿地缓冲区

生态湿地缓冲区设计规模 $1.7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,占地面积13 000 m^2 ,湿地单元主要划分为兼氧塘、表流人工湿地、沉水植物塘和生态稳定塘。设计参数见表2。

表2 人工湿地设计参数

Tab.2 Design parameters of artificial wetlands

项 目	水域面积/ m^2	有效水深/ m	停留时间/ h
兼氧塘	1 000	1.6	2.26
表流人工湿地(一)	1 000	0.4	0.56
表流人工湿地(二)	2 000	0.5	1.41
表流人工湿地(三)	1 600	0.5	1.13
表流人工湿地(四)	1 400	0.6	1.19
沉水植物塘(一)	2 000	1.2	3.39
沉水植物塘(二)	3 000	1.2	5.08
生物稳定塘(一)	1 000	1.0	1.41
合计	13 000		16.43

3.4 主要改造构筑物设计参数

① 二期、三期工程更换回流泵并同步对池体内部进行改造,将好氧池末端回流点改至缺氧池进水端。重新设计进水分配渠,将进水分配至缺氧池前端。主要设备:二期混合液回流泵3台(2用1冷备, $Q=1\,560\text{ m}^3/\text{h}$, $H=12\text{ kPa}$, $N=5.5\text{ kW}$);三期混合液回流泵6台(4用2备, $Q=1\,050\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ kPa}$, $N=5.5\text{ kW}$)。

② 改造四期反硝化滤池为综合水池,主要用于反硝化滤池反洗取水和尾水排放。主要设备:三、四期反硝化滤池反冲洗泵2台(1用1备, $Q=700\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=37.0\text{ kW}$);一、二期反硝化滤池反冲洗泵2台(1用1备, $Q=700\text{ m}^3/\text{h}$, $H=140\text{ kPa}$, $N=45.0\text{ kW}$);外排混流泵3台(2用1备,外河水位高时使用, $Q=4\,400\text{ m}^3/\text{h}$, $H=30\text{ kPa}$, $N=55.0\text{ kW}$);恒压供水系统1套(配套水泵3台,2用1备,单泵 $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$, $H=400\text{ kPa}$, $N=22.0\text{ kW}$)。

4 工艺设计特点

① 强化分析,精准设计

本次提标扩容工程设计是在全流程分析指导下开展的。先对整个污水处理流程进行沿程布点,分析主要污染物的沿程变化特征,对系统的不同功能区(如厌氧区、缺氧区 and 好氧区)污染物的去除效果进行测试,从而得出该工艺的运行情况并分析运行中存在的问题,为工艺方案优化提供科学依据。同时对活性污泥的硝化速率、反硝化速率、厌氧释磷特性等活性污泥特征进行试验,判断污泥脱氮除磷能力与潜力。基于上述试验结果的研判与结论,考虑对二期和三期进行回流点改造、曝气管更换及缺氧区的改造,四期工程生化段运行良好,不做改动。

② 拆并整合,优化设计

原厂区预处理构筑物较为分散、单体多、设备多且规模小、能耗高、维护工作量大,处理效果一般。本工程将细格栅、精细格栅及曝气沉砂池合建,组合为一座融合三种功能的构筑物,具有生产运营管理方便、节省建设用地、水头损失小、土建成本低、环境卫生条件好等优点。

③ 集约用地,组合布置

新一期的生化池采用改良型Bardenpho生化沉淀池工艺,设计时将生化池、硝化液回流、污泥回

流、二沉池、中间提升泵房合建为一体,充分利用了分建时池体间的无效空间,共用墙体可有效节省占地、降低投资和减少水头损失,具体布局见图6。

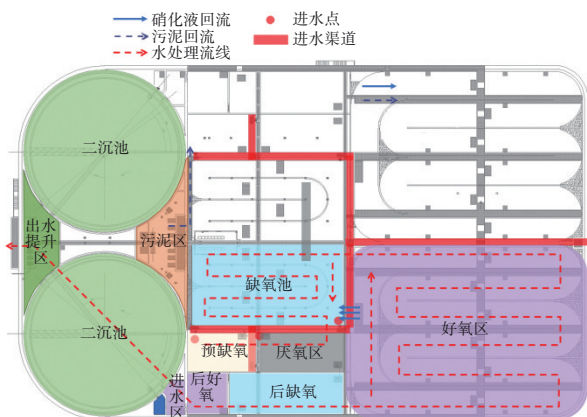


图6 Bardenpho生化池平面布局

Fig.6 Bardenpho biochemical tank layout plan

通过预缺氧、缺氧及后缺氧的设置,梯级降低TN浓度,好氧池设置为氧化沟廊道式池型,进一步增强了去除有机物及氨氮的能力。好氧区的第一格作为缺氧/好氧可调区,可以根据运行的实际情况,适当将此格运行作为缺氧区,以提高脱氮效果。后好氧区的设置,可以保证系统出水DO含量,有效防止二沉池底的污泥上浮。

出水提升区设置在二沉池之间的围拢区域,二沉池出水直接通过管道淹没进入出水提升区液面下,减少了跌水复氧过程,可有效减少下游反硝化滤池的碳源投加量。

污泥区设置在生化池与二沉池中间的区域,污泥外回流采用穿墙泵穿墙后渠道淹没回流,减少复氧过程与污泥外回流泵的扬程;缩短了污泥回流时间和污泥在沉淀池的停留时间,降低了在此流程中MLSS内源呼吸所消耗的DO,减少后好氧区的充氧量,降低了系统运行成本。

④ 多点加药,灵活多变

本次提标扩容工程,高速气浮池优化了原先的除磷工艺,由原先的生化池进行生物除磷结合二沉池的化学除磷优化为生物段专性生物除磷(保留应急投加功能),化学除磷交由高速气浮池进行进一步保障,气浮出水有力保障了出水水质,同时进一步提高了尾水中的溶解氧含量,改善了下游河道水质。经过调试及试运行,目前在气浮池仅投加PAC不投加PAM即可保证出水TP稳定在0.1 mg/L以

下。目前厂内正逐渐降低生化池的除磷药剂的投加量以进一步强化生物除磷效果。

⑤ 衔接优化,不停水改造

本次提标扩容工程涉及各个新老功能区的转换,为了确保污水厂正常运行,要求总体上不能停产。总体遵循先建后改、先用后废的原则。施工过程中在需要反复改迁的工艺管道上设置阀门,以减少全厂停产次数;管道采用外部虚焊,具备条件后内部开孔的方式施工,减少管道碰通时的管道内临泵抽水时间;临时管设计时考虑管径与永久管匹配,做好临时管道的复用工作;管道碰通节点多次优化论证。通过以上各种具体措施,本工程实现了不停产改造。

⑥ 生态净化,环境优美

本次提标扩容工程新建尾水生态缓冲区,尾水通过湿地进一步生态净化后再进入河道水系,最大限度地减轻地表水的污染负荷,充分发挥自然生态系统的净化降解功能,有效降低治污成本;另一方面,生态湿地建设是环境治理、生态涵养的重要组成部分,可以提升水生态环境的景观及生物多样性,发挥生态、人文、景观和社会等多重效益,持续改善人居环境。生态缓冲区实景见图7。



图7 生态缓冲区实景

Fig.7 Realistic view of ecological buffer zone

5 运行效果

提标扩容工程于2022年5月正式投入运营,2022年5月—2023年2月实际日平均处理量为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,运行水质见表3。可见,进水水质超出设计浓度的冲击现象依然存在,但出水水质能够稳定达标,且出水水质比改造前有明显提高。

实际运行中生化池出水可实现 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的稳定达标,二、三、四期生化池出水TN稳定在11 mg/L以下,新一期改良型Bardenpho生化沉淀池出水TN稳

定在 9 mg/L 左右,通过反硝化滤池、高速气浮池、臭氧接触池工艺可以进一步降低 COD、TN、TP、SS 指标的浓度,确保了各项出水指标可以稳定达到地表水准Ⅳ类标准。实际运行中,通过减少臭氧投加量、降低碳源投加量等进行出水水质的灵活调控。本次工程改造后,相对于原先的出水标准,每年新增 COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 减排量分别为 730、148、127.78、182.5、7.3 t。

表 3 改造后实际进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality after renovation

项 目		COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
设计进水		500	300	350	60	35	6.0
设计出水		30	6	10	10(12)	1.5(2.5)	0.3
实际进水	平均值	494	223	194	43.6	25.1	3.8
	最高值	830	388	400	76.8	45.9	5.56
	最低值	134	42.4	32	16.5	2.62	0.08
	90% 概率	740	310	330	65.4	33	5.2
实际出水	平均值	24.5	2.1	4.2	8.3	0.6	0.13
	最高值	28.5	4.1	6	9.8	1.35	0.21
	最低值	7	0.6	4	1.15	0.03	0.04
	95% 概率	25	3	5	7.8	0.9	0.18

项目总投资为 2.46 亿元,改造完成后增加直接运营成本 0.19 元/m³,实际经营成本 1.42 元/m³,经济效益良好。

6 结 论

针对排放标准进一步提升、服务范围内污水量增长的需求,提标扩容工程新建了预处理单元、新建并改造了各期生化处理单元、增加了深度处理保障单元并完成了生态缓冲区的建设,改善了厂区的厂容厂貌。实际运行中出水水质稳定达到江苏省地方标准《城镇污水处理厂污染物排放限值》(DB 32/4440—2022)的要求。

参考文献:

[1] 程文,靖丹枫,耿震. 改良型 SBR 工艺改造为 A-AAO

工艺的设计探讨[J]. 市政技术, 2020, 38(5): 258-260.

CHENG Wen, JING Danfeng, GENG Zhen. Discussion on the design of improved type SBR process transformed to A-AAO process [J]. Municipal Engineering Technology, 2020, 38(5): 258-260(in Chinese).

[2] 周圆,王燕,郑凯凯,等. 市政污水处理厂反硝化滤池启动及深度脱氮运行效果研究[J]. 水处理技术, 2021, 47(2): 126-129.

ZHOU Yuan, WANG Yan, ZHENG Kaikai, et al. Study on the effect of denitrification filter startup and deep denitrification operation in municipal sewage treatment plant [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(2): 126-129(in Chinese).

[3] 冯仕训,张万里,程明涛,等. 太湖流域一级保护区内某污水厂提标改造工艺设计[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 76-80.

FENG Shixun, ZHANG Wanli, CHENG Mingtao, et al. Design of a wastewater treatment plant upgrading and reconstruction process in the first-grade protection zone of Taihu Lake basin [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6): 76-80(in Chinese).

[4] 沈晓铃,程文,梁汀. 组合预处理在 MBR 工艺污水厂的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2015, 10(10): 70-72.

SHEN Xiaoling, CHENG Wen, LIANG Ting. Application of combined pretreatment in MBR technological wastewater treatment plant (WWTP) [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2015, 10(10): 70-72(in Chinese).

作者简介:薛峰(1990—),男,江苏扬州人,硕士,工程师,注册咨询(投资)工程师,一级建造师(市政),华昕设计集团有限公司市政环境院二所总工,主要从事城市污水处理厂及管网的设计研究工作。

E-mail: 13382889636@163.com

收稿日期:2023-04-24

修回日期:2023-05-30

(编辑:孔红春)