

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.14.010

BAF+高效沉淀池+V型滤池用于污水厂高标准提标改造

关永年^{1,2}

(1. 苏州工业园区清源华衍水务有限公司, 江苏 苏州 215021; 2. 华衍环境投资<江苏>有限公司, 江苏 常州 213000)

摘要: 苏州工业园区某污水处理厂处理规模为 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设计采用改良型AAO+滤布滤池+紫外线消毒处理工艺,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。为达到苏州市政府提出的出水水质提升至地表水准Ⅳ类标准的要求,在提标改造工程中采用了BAF(DN型+CN型)+高效沉淀池+V型滤池+紫外线与次氯酸钠联合消毒的深度处理工艺,以强化对COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP和SS的去除,同时保障尾水的消毒效果。实际运行表明,工程运行状况良好,出水水质能够稳定达标。

关键词: 提标改造; 曝气生物滤池; V型滤池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)14-0066-05

Biological Aerated Filter, High Efficiency Sedimentation Tank and V-type Filter for Upgrading and Reconstruction of a High Discharge Standard Wastewater Treatment Plant

GUAN Yong-nian^{1,2}

(1. Suzhou Industrial Park Qingyuan Huayan Water Services Co. Ltd., Suzhou 215021, China;
2. Huayan Environmental Investment <Jiangsu> Co. Ltd., Changzhou 213000, China)

Abstract: The treatment scale of a wastewater treatment plant in Suzhou industrial park is $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. The process consists of modified AAO, textile filter and UV disinfection process, and the effluent quality is required to meet the first level A limit specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). To meet the requirements of upgrading the effluent quality to surface water quasi class Ⅳ standard proposed by Suzhou government, the advanced treatment process of biological aerated filter (DN type and CN type), high efficiency sedimentation tank, V-type filter and UV combined with sodium hypochlorite disinfection is adopted in the upgrading project to enhance the removal of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TN, TP and SS and ensure the disinfection performance of tail water. The actual operation shows that the project is in good condition and the effluent quality stably meets the discharge standard.

Key words: upgrading and reconstruction; biological aerated filter; V-type filter

1 工程概况

2018年9月苏州市委、市政府印发了《关于高质量推进城乡生活污水治理三年行动计划的实施意见》,根据实施意见,苏州工业园区某污水处理厂需

进行提标改造,出水主要指标由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准提升至地表水准Ⅳ类标准,即 $\text{COD}\leq 30\text{ mg/L}$, $\text{BOD}_5\leq 6\text{ mg/L}$, $\text{NH}_3\text{-N}\leq 1.5\text{ mg/L}$, $\text{TP}\leq 0.3\text{ mg/L}$, $\text{TN}\leq 10\text{ mg/L}$ 。

该工程设计规模 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主要负责区域内生活污水和工业废水的收集和处理,其中生活污水的比例约占65%,提标改造前采用预处理+改良型AAO+滤布滤池+紫外线消毒处理工艺。

2 工艺设计

2.1 设计水质

提标改造工程设计水质见表1。

表1 提标改造工程设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of upgrading and reconstruction project $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	50	10	20	5	15	1
出水	30	6	5	1.5(3)	10	0.3

注: 括号内为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时的数据。

2.2 工艺流程

提标改造前近5年的实际运行数据对照标准分析结果见表2。可见,污水处理厂出水能够稳定达到一级A标准,与地表水准IV类标准相比,BOD₅可以稳定达标,COD、NH₃-N大部分时间能够达标,TN、TP的达标率相对较低。因此,本次提标改造的重点是TN和TP,尚需兼顾部分时段的COD、NH₃-N不达标问题。

表2 污水处理厂出水水质对标分析结果

Tab.2 Analytical results of comparative discharge standards for effluent quality of the WWTP

项 目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TP	TN
出水95%涵盖率水质/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	31.2	3.27	1.19	0.349	13.3
出水平均值/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	25	2	0.98	0.26	10
一级A标准达标率/%	100	100	100	100	100
准IV类标准达标率/%	99	100	99.5	95	92

本次提标改造工程拟维持原二级处理工艺,仅对深度处理工艺进行改造。

TN的去除以生物脱氮为主,提高反硝化反应的效率有利于提高TN去除率,BAF和反硝化深床滤池生物脱氮效果明显^[1-2];TP的去除有生物除磷和化学除磷等方式,高效沉淀+V型滤池组合工艺对TP和SS去除效果较好,还可以去除部分COD,此组合工艺已应用于多个污水处理厂的提标改造工程中^[3-4];对于NH₃-N和COD的去除,好氧活性污泥法应用较广泛,研究^[5-6]发现BAF(CN型)对NH₃-N和COD有明显的去除效果;紫外线消毒存在持续杀菌

能力弱、灯管衰减周期快等弊端,而次氯酸钠消毒效果较稳定,采用紫外线与次氯酸钠联合消毒,具有消毒效果好、成本低的优势^[7],因此,本次改造在紫外线消毒的基础上增加次氯酸钠消毒。综上所述,提标改造工程采用BAF(DN型+CN型)+高效沉淀池+V型滤池+紫外线与次氯酸钠联合消毒深度处理工艺,提标改造后的工艺流程见图1。

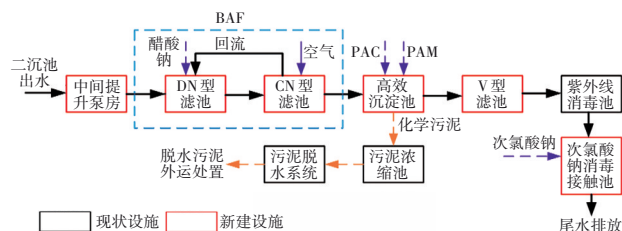


图1 提标改造后污水、污泥工艺流程

Fig.1 Process flow chart of wastewater and sludge treatment after upgrading and reconstruction

2.3 主要构筑物工艺设计

2.3.1 曝气生物滤池

半地下式钢混结构,1座,分22格,以管廊为中心对称布置。尺寸 $115.12 \text{ m} \times 35.34 \text{ m} \times 12.70 \text{ m}$,设计流量 $8333.3 \text{ m}^3/\text{h}$ 。进水前端设置DN1800的超越管和闸门,超越管与BAF出水渠相连,当二沉池出水NH₃-N、TN指标较好时可以超越BAF进入高效沉淀池和V型滤池,以降低运行成本。

BAF滤料层高度3.8 m,采用轻质滤料;滤板上安装专用滤头,由滤杆、预埋管套、防堵塞滤帽等部分组成;滤池上部设置重力反冲洗装置,以出水的清水层为水源进行反冲洗;滤池底部设置DN200反冲洗穿孔空气风管。滤池上向流运行,污水经配水闸门自底部进水管进入各滤格的配水渠,然后依次通过滤料层、滤头后进入上部的清水层,清水通过出水渠流入下一处理单元。反冲洗周期24~48 h,反冲洗时先气冲,再气水联冲,最后水冲。气冲时间3 min,冲洗强度 $58 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;气水联冲时间5 min,气冲强度不变,水冲强度 $22 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;水冲6 min,冲洗强度 $22 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

① DN型滤池:共10格,以管廊为中心对称布置,每侧各5格,并联运行。单格尺寸 $11.95 \text{ m} \times 8.22 \text{ m} \times 9.20 \text{ m}$,过滤面积 95 m^2 。设计参数:反硝化负荷 $0.55 \text{ kgNO}_3^-/\text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,空床停留时间26 min,过滤速度 9 m/h ,强制滤速 10 m/h 。主要设备及材料:配水闸门10台,尺寸 $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$,不锈钢材

质,气动控制;滤板600块,尺寸1100 mm×1450 mm×100 mm,混凝土材质;滤头36000套,长253 mm,PP材质;滤料3610 m³,选用轻质滤料,粒径4 mm,比表面积1000~1400 m²/m³。

② CN型滤池:共12格,以管廊为中心对称布置,每侧各6格,并联运行。单格尺寸11.95 m×8.22 m×8.35 m,过滤面积95 m²。滤料层下部安装曝气系统,曝气风管采用UPVC材质,立管DN200,支管DN25,支管上安装单孔膜空气扩散器;滤池出水端设置混合液回流泵房,将混合液自出水端回流到DN型滤池的总进水管。设计参数:硝化负荷0.23 kgNH₄⁺-N/(m³·d),BOD₅负荷0.37 kg/(m³·d),混合液回流比100%;空床停留时间31 min,过滤速度7 m/h,强制滤速8 m/h。主要设备及材料:配水方闸门12台,尺寸600 mm×600 mm,不锈钢材质,气动控制;滤板720块,尺寸1100 mm×1450 mm×100 mm,混凝土材质;滤头43200套,长253 mm,PP材质;滤料4332 m³,选用轻质滤料,粒径4 mm,比表面积1000~1400 m²/m³。单孔膜空气扩散器45600套,ABS材料,0.24~0.43 m³/(个·h),单孔膜直径33 mm,单孔膜孔径1 mm。

③ 混合液回流泵房:半地下式钢混结构,尺寸14.9 m×19.8 m×5.8 m,主要功能是通过回流泵将部分CN滤池出水回流到DN滤池,进行反硝化反应。运行液位:最高4.85 m,最低2.65 m,溢流5.15 m。配混合液回流泵4台(3用1备),流量3600 m³/h,扬程25 kPa,功率75 kW,变频控制。

2.3.2 高效沉淀池

半地下钢混结构,1座,分4组,尺寸73.6 m×40.1 m×8.60 m,有效水深7.8 m,设计流量8333.3 m³/h。快速混合时间3 min,絮凝反应时间15 min,沉淀时间1.06 h,沉淀区直径19.0 m,表面水力负荷7.35 m³/(m²·h)。配快速混合区搅拌器12台,桨叶直径2 m,功率12 kW;絮凝区搅拌器12台,桨叶直径3 m,功率5.5 kW;中心传动刮泥机4台,直径19.0 m,功率1.1 kW;回流污泥泵5台(4用1备),流量100 m³/h,扬程200 kPa,功率15 kW,变频调节;剩余污泥泵5台(4用1备),流量100 m³/h,扬程200 kPa,功率15 kW,变频控制。

2.3.3 V型滤池

半地下钢混结构,1座,尺寸84.7 m×42.58 m×6.45 m,设计流量8333.3 m³/h。

滤池分18格,以管廊为中心对称布置,每侧各9格,并联运行。单个滤格尺寸16.4 m×8.6 m×5.7 m,过滤面积84 m²,滤料层厚度1.5 m,滤速5.5 m/h,强制滤速6.2 m/h。滤池反冲洗采用气冲、水冲、气水联合冲加表扫方式。主要设备及材料:进水闸门18台,尺寸600 mm×600 mm,不锈钢材质,气动控制;排水闸门18台,尺寸800 mm×800 mm,不锈钢材质,气动控制;滤板1360块,1140 mm×975 mm×100 mm,混凝土材质;滤头81648套,直径25 mm,长385 mm,ABS材质;均质石英砂滤料2270 m³,有效粒径1.2 mm,不均匀系数K₈₀=1.4;粗石英砂80 m³,承托层用,厚度50 mm,有效粒径2~4 mm。

2.3.4 消毒接触池

钢混结构,平面尺寸23.15 m×44.30 m,有效水深6.10 m,设计流量8333.3 m³/h,消毒接触时间45 min。消毒剂采用成品次氯酸钠溶液,浓度10%,投加6 mg/L有效氯。消毒接触池前端设混合搅拌区,使次氯酸钠与废水充分混合。混合区平面尺寸10.25 m×12.49 m,有效水深6.3 m,混合时间6 min。配混合搅拌器2台,直径2 m,功率2.2 kW。

3 提标改造工艺调试

设备安装完成后,对各工艺段主要设备进行单机调试,然后联动带负荷连续运行72 h,确保各工艺段满足运行要求。调试于2020年5月初开始,气温已达25℃左右,有利于BAF挂膜。

3.1 BAF调试

BAF调试采用人工培养挂膜。使用临时污泥泵和管道,分别从运行的生物反应池的缺氧池和好氧池将污泥接种到DN型生物滤池和CN型生物滤池中,并与部分进水在池内按1:1混合,根据DN、CN生物滤池的容积,分别计算接种污泥量和进水量。

① DN型生物滤池调试:当接种的缺氧池污泥和进水在DN型生物滤池内混合后,先闷曝3 d,闷曝过程中控制溶解氧在0.5~1.0 mg/L,3 d后停止曝气,开始静沉,静沉4 h后进行间歇进水、曝气搅拌。进水负荷由900~2500 m³/h逐渐增加,进水时间由1、2、4 h逐渐增加到连续进水,每72 h进行一次反冲洗,反冲洗时,气冲强度为28 m³/(m²·h),即设计值的一半,以避免挂膜初期冲洗强度太大,导致新生成的生物膜脱落,水冲强度为设计的22 m³/(m²·h),

冲洗时间按设计时间执行。10 d左右挂膜成功,此时 NO_3^- 的去除量约1~2 mg/L,挂膜成功后进行生物驯化,将进水量调到5 000 m^3/h ,连续运行,检测 NO_3^- 的去除效果,辅助于碳源投加, NO_3^- 的去除量可达3~5 mg/L;根据检测结果逐渐增加到满负荷,溶解氧控制在0.2~0.5 mg/L,反冲洗周期24~48 h,正常冲洗。DN型生物滤池调试期间,负荷自10%、20%、30%、60%逐渐增至100%,自进水开始,经历挂膜成功到驯化完成,前后约28 d,出水水质达到设计要求,DN型生物滤池调试完成。

② CN型生物滤池调试:当接种的好氧池污泥和进水在CN型滤池内混合后,按照第1天进水0.5 h、曝气12 h、静置12 h,第2天进水1 h、曝气16 h、静置8 h,第3天进水2 h、曝气20 h、静置4 h,第4天连续进水的方式进行调试,进水量为设计负荷的20%~30%,即1 600~2 500 m^3/h ,连续曝气期间DO控制在2~3 mg/L;其间检测COD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除情况,并观察滤料表面的生物膜厚度,当 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除量达1~3 mg/L或滤料表面生物膜厚度大于0.3 mm时,挂膜基本成功。待池内挂膜成功后,逐渐增加水量负荷和曝气强度,对生物膜进行驯化,使其耐冲击负荷能力提高,此时反冲洗周期也需从先前的72 h调整到24~48 h,具体视出水水质及生物膜生长情况而定。CN型生物滤池与DN型滤池同时开始调试,15 d挂膜成功,约25 d后达到满负荷运行,出水水质达到设计要求,CN型生物滤池调试完成。

3.2 高效沉淀池调试

高效沉淀池由快速混合、絮凝、沉淀、排泥和污泥回流几个单元组成。在设备进行单机调试和72 h联动调试后,测试药剂投加量与污染物的去除效果以及排泥量与污泥回流比的关系,寻找最佳污泥回流比。调试期间,当高效沉淀池进水COD、SS、TP分别为24、8、0.3 mg/L,PAC、PAM分别按设计值20、5 mg/L投加时,出水COD、SS、TP分别为18、5、0.18 mg/L,去除率分别为25%、37.5%、40%,达到设计要求。调试期间进行了不同污泥回流比下的排泥浓度跟踪测试,当污泥回流比分别为5%、10%、20%、25%、30%、40%、50%时,高效沉淀池的排泥含水率分别为99.5%、99.1%、98.2%、98.0%、97.9%、97.7%、97.7%,于小迪等^[8]研究发现,当污泥回流比大于50%后,提高污泥回流比对TP的去除率不升反降。因此,污泥回流比控制在20%~30%为宜,此时排泥含水率约98%,排泥效率较高。

3.3 V型滤池调试

V型滤池在单机及联动调试后,主要对各过滤单元进行滤料清洗,按照设计的冲洗强度和反冲洗时间,对每个过滤单元的滤料进行清洗,经过3 d的清洗,滤料基本干净,出水SS均小于5 mg/L,达到设计值,正常连续进水运行。

4 提标改造后实际运行状况

提标改造工程2020年8月—2021年7月实际平均进、出水水质见表3。可见,出水水质稳定达标。

表3 提标改造工程平均进、出水水质

Tab.3 Average influent and effluent quality of upgrading and reconstruction project

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项 目		2020年 8月	2020年 9月	2020年 10月	2020年 11月	2020年 12月	2021年 1月	2021年 2月	2021年 3月	2021年 4月	2021年 5月	2021年 6月	2021年 7月
COD	进水	34	31	29	32	31	28	33	36	35	35	31	32
	出水	10.3	9.6	10.8	9.9	12.7	13.5	14.6	10.2	11.8	13.7	10.3	11.8
BOD_5	进水	3.5	3.8	4.3	4.2	3.9	4.1	4.3	4.3	3.9	4.5	3.8	3.2
	出水	0.9	1.1	1.5	1.1	1.5	1.1	1.4	1.2	1.4	1.3	1.2	1.3
SS	进水	10	11	12	15	14	14	12	11	12	12	10	11
	出水	2	1.8	2.5	2	1.6	2.5	1.8	2.7	1.9	1.5	2.1	1.9
$\text{NH}_3\text{-N}$	进水	0.7	1	1.1	0.9	1	0.9	1	1	1.1	0.7	0.8	0.7
	出水	0.19	0.18	0.21	0.26	0.25	0.22	0.23	0.25	0.19	0.21	0.19	0.2
TN	进水	9.2	8.9	12.5	11.2	12.8	13.2	11.6	12.3	11.9	10.2	10.4	9.6
	出水	4.8	5.8	5.3	6.2	5.7	6.8	6.7	5.9	5.7	5.9	5.6	4.8
TP	进水	0.38	0.45	0.48	0.63	0.37	0.44	0.47	0.42	0.46	0.34	0.33	0.28
	出水	0.12	0.13	0.16	0.14	0.16	0.17	0.18	0.13	0.16	0.15	0.13	0.13

5 技术经济分析

苏州工业园区某污水处理厂提标改造工程总投资约22 970万元,其中土建10 476万元、设备采购及安装9 364万元、其他费用3 130万元。试运行期间,污水处理厂提标改造增加的直接运行成本约0.257元/m³,其中电费0.142元/m³、药剂费0.105元/m³、维修费0.01元/m³。

6 结语

① 苏州工业园区某污水处理厂提标改造工程选择BAF(DN型+CN型)+高效沉淀池+V型滤池+紫外线与次氯酸钠联合消毒深度处理工艺,出水水质稳定达标。

② BAF采用人工培养挂膜,启动和驯化周期约28 d;高效沉淀池的污泥回流比控制在20%~30%时排泥效率最高,可供类似污水处理厂的调试运行参考。

③ 提标改造工程投资约22 970万元,新增加的运行成本约0.257元/m³。

参考文献:

- [1] 商佳吉,洪超,吕劲蓓,等.反硝化滤池用于城镇污水处理厂提标改造[J].中国给水排水,2019,35(6):93-98.
SHANG Jiagi, HONG Chao, LÜ Jinheng, *et al.* Application of denitrification filter in upgrading and reconstruction of an urban wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(6): 93-98 (in Chinese).
- [2] 张亮平.深床反硝化滤池在市政污水深度处理中的应用[J].净水技术,2015,34(5):109-111.
ZHANG Liangping. Application of deep bed filter of denitrification for advanced treatment of municipal wastewater [J]. Water Purification Technology, 2015, 34(5): 109-111 (in Chinese).
- [3] 杨清,郭淑琴,陈伟楠.准IV类出水标准下天津咸阳路污水处理厂的迁建提标设计[J].中国给水排水,2021,37(12):88-92.
YANG Qing, GUO Shuqin, CHEN Weinan. Design of relocation of Tianjin Xianyanglu sewage treatment plant upgraded to quasi-IV standard [J]. China Water &

Wastewater, 2021, 37(12): 88-92 (in Chinese).

- [4] 戴罗平,张丹,耿锋,等.常州市江边污水厂三期工程的设计与运行[J].中国给水排水,2012,28(22):62-66.
DAI Luoping, ZHANG Dan, GENG Feng, *et al.* Design and operation of third-stage project of Changzhou Jiangbian wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(22): 62-66 (in Chinese).
- [5] 张子潇,魏屹,顾鑫,等.BAF工艺在污水厂提标改造中的应用[J].中国给水排水,2021,37(14):124-127.
ZHANG Zixiao, WEI Yi, GU Xin, *et al.* Application of BAF process in upgrading and reconstruction of a WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(14): 124-127 (in Chinese).
- [6] 何伟,贺超.组合生物滤池用于污水处理厂提标类IV类标准工程[J].中国给水排水,2021,37(8):74-77.
HE Wei, HE Chao. Application of combined biofilter in sewage treatment plant upgraded to quasi-IV class surface water standards [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(8): 74-77 (in Chinese).
- [7] 张荣海,方淑霞,杨阿香.城市污水处理厂尾水消毒应急提标改造研究[J].中国给水排水,2019,35(7):97-100.
ZHANG Ronghai, FANG Shuxia, YANG Axiang. Emergency upgrading and reconstruction of tail wastewater disinfection in a municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(7): 97-100 (in Chinese).
- [8] 于小迪,王洪波,李莹莹,等.污泥回流对高密度沉淀池运行效果的影响[J].环境科技,2013,26(2):28-31.
YU Xiaodi, WANG Hongbo, LI Yingying, *et al.* The influence of sludge reflux on Densadeg running effect [J]. Environmental Science and Technology, 2013, 26(2): 28-31 (in Chinese).

作者简介:关永年(1969—),男,江苏苏州人,硕士,高级工程师,主要从事给水厂、污水厂、餐厨垃圾处理厂的运行管理和技术研究工作。

E-mail:guanyn@heisino.com

收稿日期:2022-04-20

修回日期:2022-05-20

(编辑:孔红春)