

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.22.011

微絮凝-高速深层过滤技术用于污水处理厂提标改造

李路野, 陈伟雄, 沈玉东

(广东省建筑设计研究院有限公司 广东省水环境与生态工程技术研究中心,
广东 广州 510000)

摘要: 广东省某5 000 m³/d污水厂提标改造工程存在用地紧缺、投资受限等问题,同时还要满足改造过程中不停产的要求,为此,采用在原有CASS处理工艺基础上增加微絮凝-过滤深度处理单元,同时更新消毒系统的工艺路线。利用微絮凝联合装填特殊高孔隙高纳污滤料的高速深层过滤技术,实现微絮凝体与滤料的二次接触絮凝和过滤截留污染物的目的。项目改造后出水稳定达标,新增吨水运行成本仅0.132元。该技术应用于提标改造工程具有占地省、投资少、工期短、系统精简、运维操作便捷的优势,值得进一步推广。

关键词: 污水深度处理; 高速过滤; 提标改造

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)22-0073-05

Application of Micro-flocculation and High-speed Deep Filtration Technology in Upgrading and Reconstruction of Sewage Treatment Plant

LI Lu-ye, CHEN Wei-xiong, SHEN Yu-dong

(Guangdong Water Environment and Ecological Engineering Technology Research Center,
Guangdong Architectural Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: The upgrading and reconstruction project of a sewage treatment plant with scale of 5 000 m³/d in Guangdong Province has the problems such as land shortage and investment limitation, and it also needs to meet the requirement of non-stop production during the renovation process. Therefore, the micro-flocculation and filtration advanced treatment unit was added to the original CASS treatment process, and the disinfection system was upgraded. The purpose of the secondary contact flocculation between microflocs and filter material and filtration and interception of pollutants were realized by using micro-flocculation combined with high-speed deep filtration technology packed with special high porosity and large contaminant capacity media. After the upgrading of the project, the effluent quality stably met the discharge standard, and the operating cost only increased by 0.132 yuan/m³. The application of this technology in the upgrading project has the advantages of less footprint area, lower investment, short construction period, simplified system and convenient operation and maintenance, and it is worthy of further promotion.

Key words: wastewater advanced treatment; high-speed filtration; upgrading and reconstruction

基金项目: 广东省建筑设计研究院有限公司科技项目(20-14)

1 工程背景

为切实推进水污染防治工作,深入实施绿色发展战略,广东省要求市、区城镇污水处理设施出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准及广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)的较严值^[1-4]。全市城镇生活污水集中处理率达90%以上,城市污水处理率达到95%以上。

广东省某镇级污水处理厂现状规模为5 000 m³/d,占地面积1.2 hm²,一期工程采用CASS处理工艺。原出水水质执行广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准,其中总磷指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB

18918—2002)的一级B标准,现需对其进行提标改造。污水厂紧邻珠江三角洲水系的1级支流潭江,周边区域环境要求高,且由于用地问题,提标改造只能在原址范围内进行,加之镇级污水厂配备人手有限,因此必须同时考虑水质、占地、操作、噪声等,工程需要更高效的处理技术,从而达到保量提标的目标,且实施中不停水、不减质。

2 污水处理厂现状问题分析

该污水处理厂现有一期工程采用CASS工艺,由粗格栅及提升泵站、细格栅及平流沉砂池、CASS反应池、接触消毒池、污泥脱水间等组成。

该污水处理厂近一年进、出水水质情况如表1所示。

表1 现状进、出水水质

Tab.1 Current influent and effluent quality

项 目	COD/ (mg·L ⁻¹)		BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)		SS/(mg·L ⁻¹)		NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)		TP/(mg·L ⁻¹)		TN/(mg·L ⁻¹)		粪大肠菌群/ (个·L ⁻¹)	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
范围	32~356	7~38	10.5~ 89.2	2~ 16.2	14~ 223	4~20	1.5~ 24.4	0.06~ 1.77	0.47~ 3.52	0.22~ 1.12	3.42~ 10.8	1.05~ 10.8	3.3×10 ⁵ ~ 9.2×10 ⁷	5.0×10 ² ~ 9.2×10 ³
平均值	154	16	39	5	58	12	8	0.43	1.67	0.64	14.06	4.89	2.07×10 ⁷	1.0×10 ³
提标后设计出水		50		10		10		5		0.5		15		1 000

注: 出水COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TP、TN、粪大肠菌群新标准月达标率分别为100%、91.7%、33.3%、100%、33.3%、100%、8.3%。

由表1可见,出水水质指标均能稳定达到污水处理厂原设计标准;与提标后出水标准相比,COD、NH₃-N、TN指标可以达到要求,但BOD₅、TP、SS经常超标,由于污水厂原消毒装置年久失修,导致粪大肠菌群指标严重超标。综上,BOD₅、TP、SS、粪大肠菌群等指标是提标改造工程的重点处理对象。

3 提标改造方案设计

3.1 设计思路

① 现有生物反应池出水仅能满足一级B标准,在尽量保留现有生物池主体结构的前提下,增加深度处理工艺,可达到强化SS、BOD₅去除效果的目的。

② 增加化学除磷,强化除磷效果。现状出水总磷虽然超标,但超出幅度并不大,因此结合现状生物除磷,辅以深度处理加药除磷。

③ 当原水中碳源不足时,应补充投加碳源。

④ 污水处理厂进水粪大肠菌群数量高达10⁷个/L,受设备条件限制,出水粪大肠菌群超标严重,二氧化氯需求量增大。

本项目拟将二氧化氯发生器加药系统进行提升,并对投药混合方式进行优化,以提高消毒效果,解决粪大肠菌群超标的问题。

3.2 方案比选

针对粪大肠菌群的去除,沿用原厂消毒工艺,仍然采用二氧化氯接触消毒的方式,只是对其进行升级改造,以达到满足出水目标要求。

① 悬浮物

污水厂出水中悬浮物浓度的高低,对出水BOD₅、COD、TP等指标都有决定性影响。因组成出水悬浮物的主要成分是活性污泥生物絮体,自身含磷且有机成分含量较高,因此较高的出水悬浮物含量会使得出水BOD₅、COD和TP增加。另外,工艺化学除磷过程中会产生更多化学污泥,需要有效去除悬浮固体才能保证除磷效果。

因此应首要考虑增加混凝沉淀过滤工艺以进一步去除SS。

② BOD₅

本项目要达到BOD₅≤10 mg/L的排放要求,必须

进行充分的二级生物好氧处理。有机物的去除程度主要受污水的可生化程度和反应器好氧反应时间的影响,污水可生化程度越高,生物处理系统去除总碳的程度越高。

本工程进水 BOD₅ 较低,出水仅偶有超标,因此通过增加过滤工艺提高 SS 去除率的同时也能进一步提高 BOD₅ 去除率。

③ TP

出水总磷要降至 0.5 mg/L 以下,目前较可行的技术为化学辅助除磷。优化投加合适的絮凝剂和投加量,并且要严格控制出水 SS 浓度,采取过滤措施。采用常规的化学除磷手段,只要保证沉淀效果,TP 通常能稳定维持在 0.5 mg/L 以下。

综上分析,本污水处理厂提标改造工程主要工艺思路为在污水厂现有 CASS 反应池后增加絮凝、过滤深度处理单元。

3.3 过滤工艺比选

目前,用于污水深度处理的滤池或设备主要有流动砂滤池、D 型滤池、精密过滤机以及创新研发的高速深层过滤器。

各工艺对比分析见表 2。

表 2 过滤工艺对比
Tab.2 Comparison of filtration processes

项 目	流动砂滤池 ^[5]	D 型滤池 ^[6-7]	精密过滤机 ^[8]	高速深层过滤器
滤速/(m·h ⁻¹)	6~10	15~20	30	40~60
占地面积	大	较大	小	小
水头损失	大	较大	大	小
工艺流程	较复杂	复杂	复杂	简洁
操作要求	高	高	高	低
过滤介质(材料)	砂	纤维滤料	金属滤网	聚氨酯滤料
过滤介质的寿命/成本	长/低	长/低	短/高	长/低
建设投资/(元·m ⁻³)	250~300	180~220	300~350	150~200
运行费用/(元·m ⁻³)	0.25~0.35	0.2~0.3	0.2~0.3	0.1~0.15

通过比较,高速深层过滤器具有相对更高的过滤速度,且占地面积小、改造难度低、微絮凝效果优、反冲洗水量小、建设投资费用低,改造后运行可靠、自控程度高、日常维护简单。据此,本项目过滤工艺采用高速深层过滤器。

3.4 提标改造工艺流程

本项目主要改造方案为在 CASS 反应池后增加微絮凝、过滤工艺,过滤设备选用高速深层过滤器,具体工艺流程见图 1。

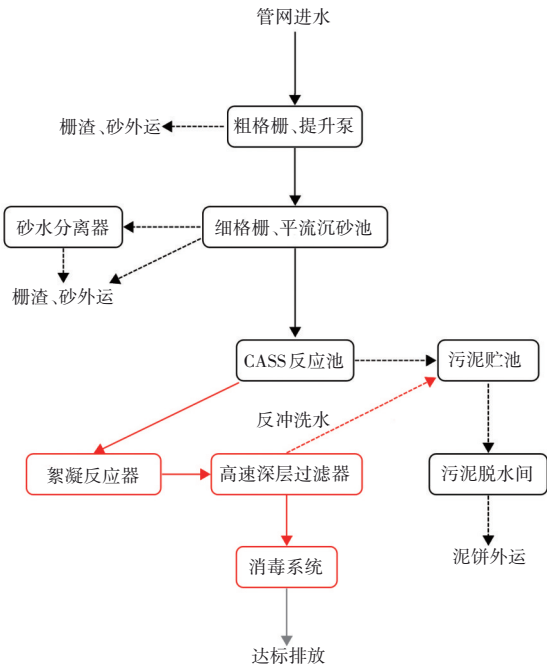


图 1 提标改造工程工艺流程

Fig.1 Process flow chart of upgrading and reconstruction project

3.5 主要构筑物设计参数

3.5.1 絮凝反应器

① 工艺描述:采用微絮凝工艺化学辅助除磷。

② 设计参数:絮凝反应器 1 座,尺寸 Ø2.3 m,设计停留时间 2~3 min,设计高度 6.5 m。絮凝剂选用聚合氯化铝,投加量为 3.5~9 mg/L。

③ 工艺特点:利用管道混合器使药剂与污水一次混合,形成微小絮体,本项目絮凝罐体采用微絮凝技术,设置多层加药混合导流板,更利于二次微小絮体的形成,便于后续利用过滤去除污染物,使出水 TP、SS 等达标,同时实现 BOD₅ 的去除。絮体通过后续过滤器截留去除,随过滤器反冲洗废水排出。同时该工艺絮凝剂结合效率更高,提高了整个系统的过滤效率。

3.5.2 高速深层过滤器

① 工艺描述:采用过滤工艺去除 SS,同时去除进水中的 BOD₅。

② 设计参数:高速深层过滤器2座,平面尺寸 $\varnothing 2.5 \sim 3.4$ m,滤速30~50 m/h,高度6.5 m,材质为304L不锈钢。采用可压缩聚氨酯滤料,滤料规格为3 cm \times 3 cm \times 3 cm,填充高度为2 m。采用滤后水或清水反冲洗,反冲洗强度15~30 L/(m 2 ·s),反冲洗周期72 h,单次反冲洗时长15 min。

③ 结构介绍:高速深层过滤器由下至上分为配水区、滤料区、滤后清水区(见图2)。中部滤料区内部配置有质轻、高空隙率的聚氨酯滤料,其还具有可压缩特性,在过滤器安装过程中完成压缩装填。采用下进上出过滤形式,污水从下部进水口进入配水区,经过中部滤料区的过滤后,进入顶部的清水区,最后通过顶部环形出水口流入出水管道后排出罐体。

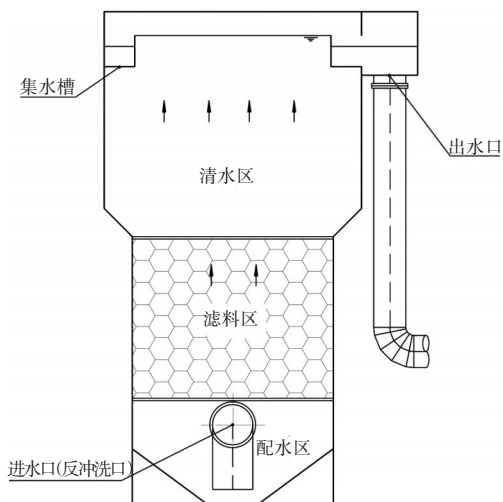


图2 高速深层过滤器示意

Fig.2 Schematic diagram of high-speed deep filter

④ 工艺特点:高速深层过滤系统运行平均滤速40 m/h,最高可达60 m/h,是砂滤工艺的5~8倍;滤层内填充的高分子聚氨酯海绵滤料,纳污容量约6~10 kg/m 3 ,是海砂滤料的3~5倍;过滤装置采用上向流式过滤,利用清水区滤后水逆流实现系统反冲,单阀门操作完成反冲洗控制,节省了繁杂的反冲洗阀、泵系统,简化了控制、运维操作流程,减少了故障发生概率,可显著提高运行效率。

3.6 新增设备造价及占地

提标改造工程新增主要设备见表3。

项目改造占地约50 m 2 ,对比传统絮凝-过滤工艺,可节约用地80%以上;同时因采用整体设备,缩短了工期。

表3 提标改造工程新增主要设备

Tab.3 New major equipment of upgrading and reconstruction project

项 目	数量	造价/万元	占地面积/m 2
絮凝反应器	1座	13.88	7
高速深层过滤器	2座	58.91	25.6
污水中间提升泵	3套	4.65	13.4
管道混合器	2套		
自控系统	1套	9.39	
药剂投加系统	2套	2.35	利旧
二氧化氯发生器	1台	1.35	
阀门	若干		

4 运行效果及经济分析

4.1 运行效果

项目运行后,对其出水水质进行了监测,结果见表4。

表4 提标改造后出水水质

Tab.4 Effluent quality after upgrading and reconstruction

项 目	出水范围	出水均值	出水限值
pH	7.06~7.11	7.08	6~9
氨氮/(mg·L $^{-1}$)	1.85~2.03	1.95	5
粪大肠菌群/(个·L $^{-1}$)	470~490	480	1 000
COD/(mg·L $^{-1}$)	8~12	10	50
色度/倍	2~3	2.3	30
BOD $_5$ /(mg·L $^{-1}$)	1.9~2.1	2	10
悬浮物/(mg·L $^{-1}$)	7~9	8	10
总磷/(mg·L $^{-1}$)	0.12~0.13	0.12	0.5

4.2 经济分析

项目总投资约98.72万元,较传统工艺减少60%以上。

提标改造工程新增内容各项运行成本分析如下:

① 人工费 E_1 :现有废水处理设施人员可满足提标改造后的运行操作要求,故人工费不计;

② 动力费 E_2 :新增设备动力费=0.06元/m 3 ;

③ 药剂费 E_3 :混凝剂PAC投加成本 E_3 =0.04元/m 3 ;

④ 滤料更换费用 E_4 :聚氨酯海绵滤料更换成本 E_4 =0.01元/m 3 ;

⑤ 修理费 E_5 :包括设备日常维护及大修费,按设备购置费的2%计取,设备投资额为98.72万元,则每年的修理费为19 744元,即 E_5 =0.01元/m 3 ;

⑥ 其他费用 E_6 :按10%计算,即 E_6 =(E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5) \times 10%=0.012元/m 3 。

则总运行费用 $E_7=0.132$ 元/ m^3 ,本运行费用为直接费用,不包括自来水费、设备折旧费、贷款利息等;电费单价、药剂单价均以项目所在地价格计算。

5 结论

污水厂提标改造工程采用微絮凝-高速深层过滤技术,该工艺特点如下:占地省、投资少、工期短;微絮凝工艺絮凝剂结合效率更高,提高了系统的效率并减少了药剂的消耗;过滤装置具有滤速高、纳污量大的特点,同时出水稳定达标;系统阀门精简、反冲洗流程易控、运维操作便捷。

该提标改造工程不仅有利于改善区域水生态环境,还能进一步提高周边居民的生活水平和生活质量,有力促进区域的发展和进步,具有显著的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 张显忠. FCR工艺用于城镇污水处理厂提标改造工程[J]. 中国给水排水, 2016, 32(4): 35-39.
ZHANG Xianzhong. Application of FCR process in upgrading and reconstruction project of urban sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(4): 35-39 (in Chinese).
- [2] 李乐卓, 潘亮. 鄂尔多斯市某水质净化厂提标改造工程实践[J]. 中国给水排水, 2022, 38(4): 93-97.
LI Lezhuo, PAN Liang. Upgrading and retrofitting project of a water purification plant in Ordos [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(4): 93-97 (in Chinese).
- [3] 孙晓杰, 王嘉捷, 赵孝芹, 等. 我国城市污水厂推行一级A标提标改造探讨[J]. 环境工程, 2013, 31(6): 12-15.
SUN Xiaojie, WANG Jiajie, ZHAO Xiaoqin, et al. Discussion on upgrading reconstruction of municipal wastewater treatment plant in China [J]. Environmental Engineering, 2013, 31(6): 12-15 (in Chinese).
- [4] 陆冬平, 梁汀, 沈晓铃. 城市污水处理厂深度处理过滤工艺设计探讨[J]. 中国给水排水, 2013, 29(12): 22-24, 29.
LU Dongping, LIANG Ting, SHEN Xiaoling. Discussion on design of filtration process for advanced treatment in municipal sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(12): 22-24, 29 (in Chinese).
- [5] 陈志平, 杨健雄, 张甜甜, 等. 活性砂滤池在污水处理厂深度处理中的应用[J]. 中国给水排水, 2014, 30(20): 127-129.
CHEN Zhiping, YANG Jianxiong, ZHANG Tiantian, et al. Application of active sand filter to advanced treatment in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(20): 127-129 (in Chinese).
- [6] 王众众, 孙迎雪, 吴光学, 等. 污水深度处理微絮凝-D型滤池工艺运行性能与经济性分析[J]. 环境工程学报, 2014, 8(8): 3132-3136.
WANG Zhongzhong, SUN Yingxue, WU Guangxue, et al. Analysis of performance and cost of a micro-flocculation-D type filter process applied in wastewater tertiary treatment process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(8): 3132-3136 (in Chinese).
- [7] GUERRA H, NIU S, PARK K, et al. High-speed filtration using highly porous fiber media for advanced and compact particle removal [J]. Water Science & Technology: Water Supply, 2014, 14(5): 735-742.
- [8] 苏马财. 城市生活污水提标技术与关键设备[J]. 中国新技术新产品, 2017(12): 106-107.
SU Macai. Upgrading technology and key equipment for municipal domestic sewage [J]. New Technology & New Products of China, 2017(12): 106-107 (in Chinese).

作者简介:李路野(1992-),男,山西阳泉人,硕士,工程师,研究方向为水污染控制技术、固体废物处置技术。

E-mail:474203678@qq.com

收稿日期:2023-01-06

修回日期:2023-03-13

(编辑:孔红春)