

魏金豹. AAO+高效沉淀池+滤布滤池工艺在污水处理厂提标中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(6): 183–191.

WEI J B. Application of AAO+high-efficiency sedimentation tank+cloth media filter processes in WWTP upgrading project[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(6): 183–191.

AAO+高效沉淀池+滤布滤池工艺在污水处理厂提标中的应用

魏金豹*

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200335)

摘 要 江西某南部城市生活污水处理厂一期工程处理规模为 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 污水采用曝气生物流化池 (ABFT) 生物膜处理工艺, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中的一级 B 标准。提标改造后, 处理规模不变, 污水处理工艺采用改良型厌氧-缺氧-好氧 (AAO)+高效沉淀池+纤维转盘滤池处理工艺, 出水水质执行上述标准一级 A 排放标准。提标改造中分析了一期工程运行现状及存在问题, 强化了生物脱氮, 并增加了高效沉淀池及纤维滤布滤池深度处理工艺, 出水稳定达标。该工程建设用地指标低, 投资少, 周期短, 取得了较好的社会 and 经济效益, 为类似污水处理厂提标改造提供参考和借鉴。

关键词 市政污水厂 提标改造 强化脱氮 工程设计 用地指标

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2023)06-0183-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.06.022

Application of AAO+High-Efficiency Sedimentation Tank+Cloth Media Filter Processes in WWTP Upgrading Project

WEI Jinbao*

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200335, China)

Abstract A municipal wastewater treatment plant (WWTP) is in south Jiangxi, whose treatment capacity is $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. The WWTP adopted aeration biological fluidized tank (ABFT) biofilm treatment process, and the effluent quality complied with first class B criteria in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). After the upgrading and reconstruction, the treatment capacity remains unchanged. The wastewater is treated by the improved anaerobic-anoxic-oxic (AAO) + high-efficiency sedimentation tank + fiber rotary filter, and the effluent quality is in accordance with the above first class A criteria. During the upgrading and reconstruction, the operation status and existing problems of phase I project are fully analyzed, the biological denitrification is strengthened, and the advanced treatment processes of high-efficiency sedimentation tank and cloth media filter are added to ensure that the effluent meet the standards. The project has low land use index and little investment, and has achieved better social and economic benefits, providing reference for similar WWTPs upgrading.

Keywords municipal WWTP upgrading and reconstruction enhanced denitrification engineering design land use index

为践行绿色发展理念, 国家对城镇污水处理设施不断提高要求^[1-2]。近年来, 按照国务院发布《水污染防治行动计划》的通知, 敏感区域城镇污水处理设施应于 2017 年底前全面达到一级 A 排放标准。为响应要求, 江西某市城乡建设局下发“关于加快推进城镇污水处理厂提标改造相关工

作的通知”, 要求现有污水处理厂实施扩容建设或工艺改造的同时进行提标改造, 按一级 A 排放标准执行。根据上述通知, 该市某污水厂所属单位结合该厂运行现状及出水标准, 对其进行提标改造。对于城镇生活污水厂的提标, 一般为深度挖掘生化段潜能, 增加深度处理工艺, 以降低出水中的 TP、SS。

现阶段污水厂提标改造工艺多采用高效沉淀池及过滤组合工艺, 来达到污水高标准排放, 近年来被

[收稿日期] 2021-08-12

[通信作者] 魏金豹(1990—), 男, 硕士, 主要从事市政给排水设计工作, E-mail: damoboy@163.com。

广泛使用,如张双等^[3]报道的三峡库区某 12 万 m^3/d 的城镇污水厂,采用高效沉淀池与滤布滤池组合工艺进行提标改造,工艺稳定运行达到一级 A 标准。其中,高效沉淀池处理工艺是一种以化学污泥为载体,借助不断循环的颗粒介质,依托浅池沉淀理论,进行快速反应,去除水中以 SS 为主要附着体的 TP 及其他污染物质。以滤布滤池为代表的表面过滤,多采用纤维滤布,将 SS 截留在滤布外,滤后水通过滤盘内收集,以达到去除 SS 的目的。

本文以该厂提标改造工程为例,分析现状污水处理厂进水、运行及场地条件,梳理限制提标的关键影响因素,对比生化段及深度处理工艺,确定生化段采用运行成本及能耗较低的传统厌氧-缺氧-好氧(AAO)工艺,深度处理选用高效沉淀池+滤布滤池工艺,配合调整部分运行参数,改造及新建部分构(建)筑物,使该厂改造后出水水质稳定达到一级 A 排放标准,可为类似项目提供参考。

1 原工艺流程及运行现状

1.1 项目概况

江西某县级城区生活污水处理厂一期工程于 2009 年建成并投入运行,处理规模为 1.0 万 m^3/d ,出水执行一级 B 标准,采用生物膜法污水处理工艺,尾水排放至贡江,剩余活性污泥采用机械浓缩脱水后外运处置。

根据现场调研,厂区现状占地 1.28 万 m^2 ,厂区范围外无其他预留用地,经过方案论证及技术经济比选,采用 AAO+高效沉淀池+滤布滤池工艺作为提标改造工程处理工艺,使出水达到一级 A 标准要求。

1.2 原工艺流程

该污水处理厂一期工程污水采用粗格栅、细格栅、沉砂池及曝气生物流化池(ABFT)生物膜处理工艺,再经二沉池,消毒达标后外排,污泥采用机械浓缩脱水后外运处置,原工艺流程如图 1 所示。

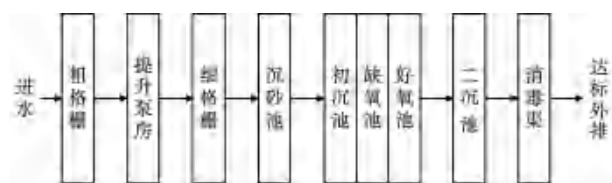


图 1 提标前污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Process of WWTP before Upgrading

1.3 原设计及运行进出水水质

一期工程于 2009 年建成运行,原设计进出水水质如表 1 所示。

表 1 一期工程设计进出水水质
Tab. 1 Designed Influent and Effluent Quality of Phase I Project

水质指标	设计进水水质	设计出水水质(一级 B)
$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	250	60
$\text{BOD}_5/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	160	20
氨氮 $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	25	8(15)
$\text{SS}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	200	20
$\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	2	1.5

注:氨氮括号外数值为水温 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标,括号内数值为水温 $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标。

该污水厂主要收纳市政生活污水,因此,各水质指标波动不大,出水 COD_{Cr} 、氨氮、TN、TP 及 SS 指标均能达到一级 B 标准。该污水厂 2017 年 1 月—2018 年 7 月每月平均水量及进出水水质指标检测结果如图 2 所示。

分析该厂 1 年多月均进出水量及水质,可以看出水量波动较大,进水污染物浓度也存在一定的波动。总体来说,污染物浓度呈上升趋势,尤其在 2017 年 9 月—2018 年 9 月,上升非常明显。相较于一期设计进水水质,较大的问题是实际进水 TP 偏高,高于县级普通生活污水处理厂的进水 TP^[4];有机物指标偏低,与原有设计值存在部分差异,但整体仍在设计范围内。

1.4 存在问题

该厂自建成投入以来,运行整体状况良好,但由于投产时间较长,仍存在部分问题,具体如下。

(1) 进水水质、水量发生变化

该污水处理厂出水平均浓度满足一级 B 设计要求,但可以看出,月处理平均水量波动较大,进水的月平均浓度(COD_{Cr} 、SS、氨氮、TP)呈上升趋势,除 TP 月平均值超过设计进水浓度,其余指标也波动明显。

(2) 生化池水力停留时间(HRT)短

经过核算,现有 ABFT 生化池 HRT 仅有 4.15 h,生化池 HRT 不够,容易造成污染物不能达到处理要求,增加后续处理构筑物的负荷和加药量。同时,作为生化池的核心膜,实际运行过程中基本脱落,漂浮于池面。从日常的运维中判断,填料的实际运

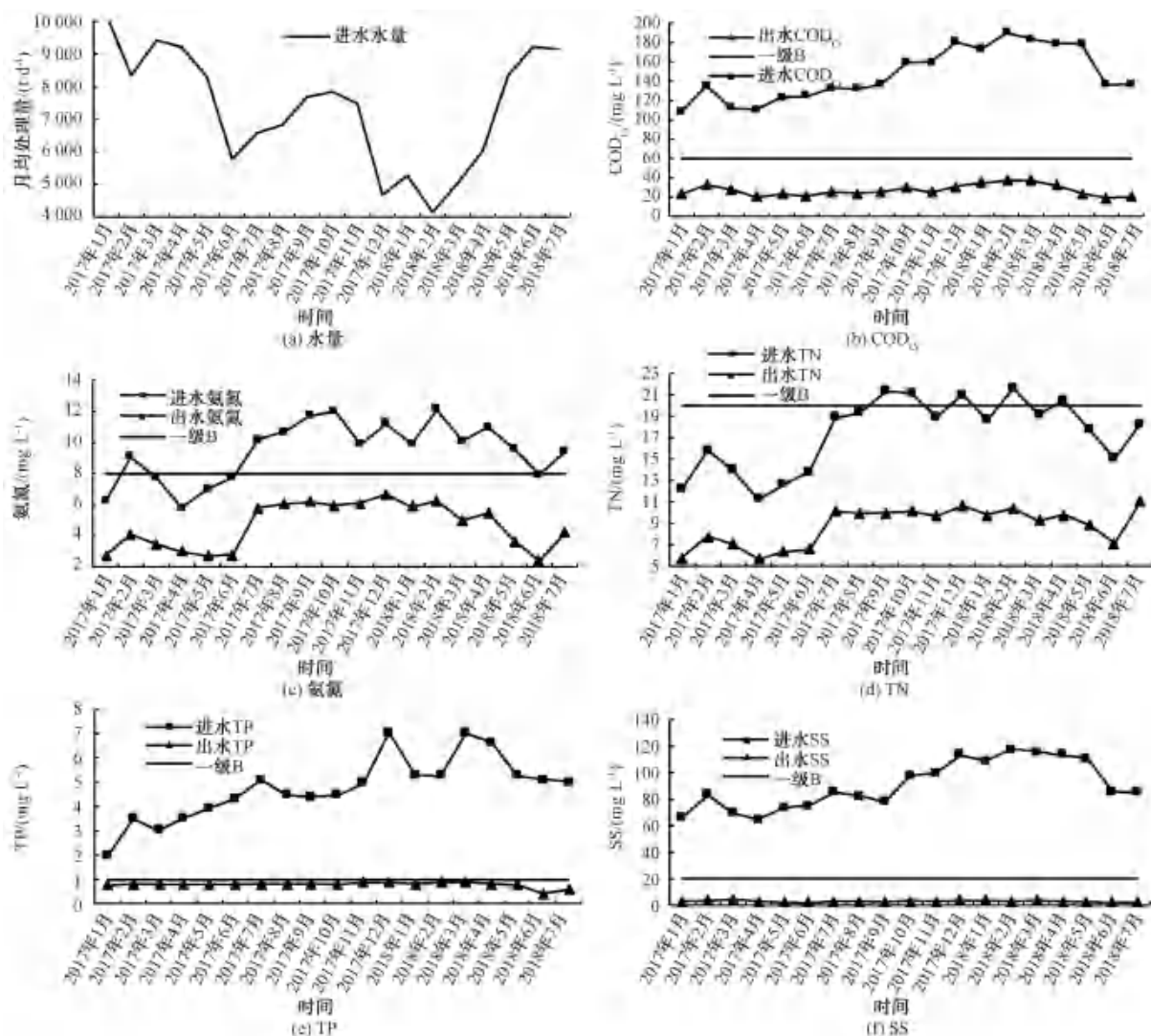


图2 2017年1月—2018年7月月均水量及进出水水质

Fig. 2 Monthly Average Variation of Quantity and Quality of Influent and Effluent in WWTP from January 2017 to July 2018

行情况未能实现设计要求。

(3) 穿孔管氧利用率低

穿孔曝气装置的优点是结构相对简单,不容易堵塞,工作阻力小;但是氧气的有效利用率较低,只有5%左右。同时,动力效率低,一般不超过1 kg/(kW·h)。

(4) 氨氮及 TN 出水压力大

目前 ABFT 池工艺运行,氨氮及 TN 运行压力大,尤其是氨氮,虽然能满足一级 B 要求,但是从现状出水水质判断,无法满足一级 A 要求,提标需求大。内无污泥回流系统,虽然生物膜法可以不设置污泥回流,但根据运行情况,在填料脱落、老化破碎

后,会导致 AFBT 池污泥浓度难以保证,影响处理效果。

(5) 出水 TP 不满足新出水要求

原 ABFT 池无污泥回流系统,对 TP 去除有限,不满足江西某市城乡建设局下发通知要求的一级 A 标准,再加上进水 TP 浓度超过设计值,长期运行,系统脱磷压力大。

2 工程提标改造设计

2.1 设计水量及水质

该污水厂为典型的城市生活污水厂,根据该厂实测水量水质资料,确定提标改造设计进水量依然为 1.0 万 m³/d,相关水质如表 2 所示。

表 2 提标工程进出水水质设计值
Tab. 2 Designed Influent and Effluent Quality of
Upgrading Project

水质指标	设计进水水质	原设计出水水质	设计出水水质
COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	220	60	50
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	120	20	10
氨氮/(mg·L ⁻¹)	25	8(15)	5(8)
TN/(mg·L ⁻¹)	35	20	15
SS/(mg·L ⁻¹)	200	20	10
TP/(mg·L ⁻¹)	6	1	0.5

注:氨氮括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

2.2 提标改造设计思路

分析该厂设计进水水质,结合相关设计经验,针对现状存在问题,避免厂区现有构(建)筑物的大规模拆除或新建,系统设计污水处理厂范围内现有及提标改造构(建)筑物布局合理性,拟从二级生化处理到三级深度处理两个方面着手,确定提标改造思路如下。

(1)生化系统提标改造

二级生化处理改造工艺比选时,结合本项目实际情况,确定原有生化系统不能有较大调整,尽量利用。首先,氧化沟为圆弧形池体,与现状不符。其次,序批式活性污泥法(SBR)为反应沉淀一体化的池体,要求的HRT较大,且SBR工艺进出水水位高差较大,现状亦无法满足,因此,本次提标将主体工艺确定为AAO处理工艺。拆除原ABFT池生物填料,将原生物膜法改造为活性污泥法,从根本上解决填

料老化脱落等问题,保证生化池高效运行效果;同时,拆除原有穿孔管,在生化段更换氧转移效率更高的纳米微孔曝气器,对好氧段进行供氧;在好氧段末端设置混合液内回流,强化反硝化,在二沉池设置污泥外回流,保证生化段的污泥浓度^[5]。

(2)新增深度处理工艺

在深度处理工艺段,主要考虑以SS及TP去除为目标,充分论证混凝、沉淀、过滤等单体及组合工艺后,确定新增高效沉淀池及滤布滤池作为深度处理工艺,工艺对比如表3~表4所示。在深度处理段投加除磷药剂,利用混凝沉淀和过滤工序将水中的磷转化沉淀物,达到去除污水中TP及SS的目的;同时,新增污泥深度脱水装置,利用现有的污泥脱水机房,将原带式压滤机更换为低温干化设备,将污泥含水率降低至60%以下。

表 3 沉淀池工艺优选方案

Tab. 3 Optimized Treatment Process of Sedimentation Tanks

项目	高效沉淀池	磁混凝澄清池
COD _{Cr} 去除效果	溶解性 COD _{Cr} 去除有限	溶解性 COD _{Cr} 去除有限
SS 去除效果	出水稳定	较好
TP 去除效果	一般≤0.5 mg/L	SS 去除效果较好
混合时间/min	3~5	1~3
絮凝反应时间/min	15~20	5~10
沉淀池表面负荷/ [m ³ ·(m ² ·h) ⁻¹]	10~15	15~30
构筑物占地面积	一般	略小
药耗	一般	较高
运行管理	有成熟经验	经验较少

表 4 过滤工艺优选方案

Tab. 4 Optimized Treatment Process of Filters

项目	活性砂滤池	高效纤维滤池	滤布滤池	深床滤池
平均滤速/(m·h ⁻¹)	8~10	17~20	3~6	5~7
过滤水头/m	低于1.0	2.0~2.5	低于1.0	2.0~2.5
附属生产建筑	无	反洗泵房和风机房	需设上部建筑	反洗泵房和风机房
设备高度	滤罐较高	半地下式	半地下式	半地下式
进出水SS	稳定	稳定	稳定	稳定
运行周期	连续运行	12~24 h	连续运行	12~24 h
滤料截污容量	-	10~20 kg/m ³	15.87 kg/(m ² ·d)	-
反冲洗时间	连续气提排砂反洗	30 min	1 min	20~30 min

(续表4)

项目	活性砂滤池	高效纤维滤池	滤布滤池	深床滤池
反冲洗水强度	—	$28.8\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	7.7 L/s	水洗: $17\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 气、水洗: $10\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$
反洗空气强度	200 L/min	$216\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	—	$57.6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$
自耗水率	$1.0\%\sim 2.0\%$	$1.0\%\sim 3.0\%$	1.0%	$1.0\%\sim 3.0\%$
过滤优缺点	优点:连续运行,水损小,出水效果好 缺点:滤罐较高,维护检修复杂	优点:滤料稳定,出水效果好,寿命长 缺点:反洗操作复杂	优点:占地少、自动化控制,运行管理简单	优点:出水效果好 缺点:滤料易板结,不易冲洗干净,投资高
使用寿命	一般	一般	较长	定期补滤料
运行管理	较复杂	较复杂	简单	较复杂
维修	堵塞维修工作量大	堵塞维修工作量大	堵塞维修工作量大	堵塞维修工作量大
土建投资	占地少、投资少	投资较大	相对较少	投资较大
总投资	高	略低	一般	高
年运行费	高	较高	低	较高
综合评价	一般	较好	好	较好

2.3 提标改造方案设计

提标改造后的工艺流程如图 3 所示。主要改造内容有:对原 ABFT 池、二沉池、污泥脱水机房进行改造;新建 1 座好氧池、1 座二次提升泵房、1 座高效沉淀池、1 座纤维转盘滤池、1 座加氯间及接触消毒池等单体。

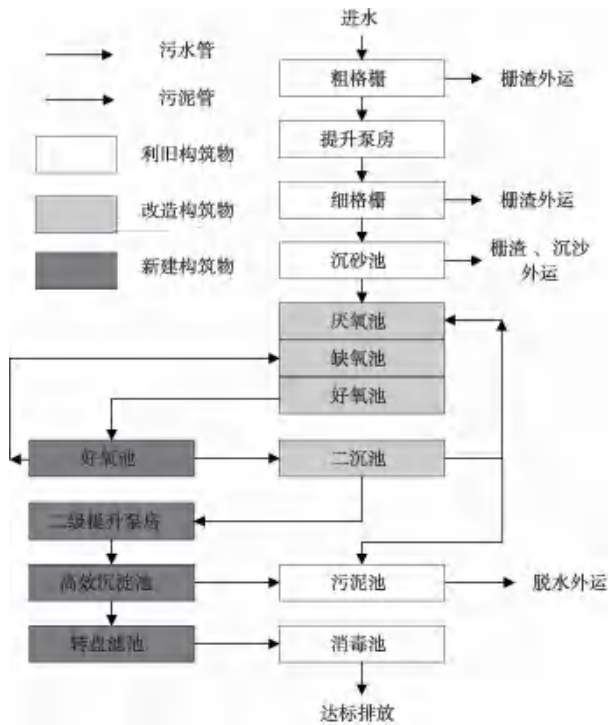


图 3 提标后的工艺流程

Fig. 3 Process after Upgrading

3 工程设计

3.1 总平面设计

提标改造前,现状预留用地主要位于南侧,且原紫外线消毒渠出水也在西南侧,按照不同功能,分区布置,并用绿化隔开,充分考虑水流、人流、物流、信息流,同时配合厂区总出水排放管的设置,提标改造部分的构(建)筑物布置在南侧,提标后总占地为 $12\,819.5\text{ m}^2$,如图 4 所示。

3.2 AAO 池(原 ABFT 池改造)

原 ABFT 生物反应池平面尺寸为 $35.70\text{ m}\times 19.60\text{ m}$,每座分 2 组,每组设计规模为 $0.5\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。本次改造中,取消原初沉池,拆除进水花墙及原初沉池的斜管填料,将原生物膜法改造为活性污泥法,调整原池体内的过水孔及进水管,改成厌氧段、缺氧段及好氧段,同时在厌氧段及缺氧段新增立式双曲面搅拌器,用于厌氧池、缺氧池的搅拌,如图 5~图 6 所示。

改造后的生化池有效水深为 5.15 m ,厌氧段有效容积为 469 m^3 ,缺氧段为 $1\,509\text{ m}^3$,好氧段为 $1\,178\text{ m}^3$;厌氧段 HRT 为 1.12 h ,缺氧段为 3.62 h ,好氧段为 2.82 h ;污泥回流比为 $50\%\sim 100\%$ 。

3.3 好氧池(新建)

新建 1 座好氧池,钢砼结构,分为 2 组,处理规模为 $1.0\text{ 万 m}^3/\text{d}$,平面尺寸为 $34.25\text{ m}\times 18.25\text{ m}$,池深为 5.95 m ,有效水深为 5.15 m ,有效容积为

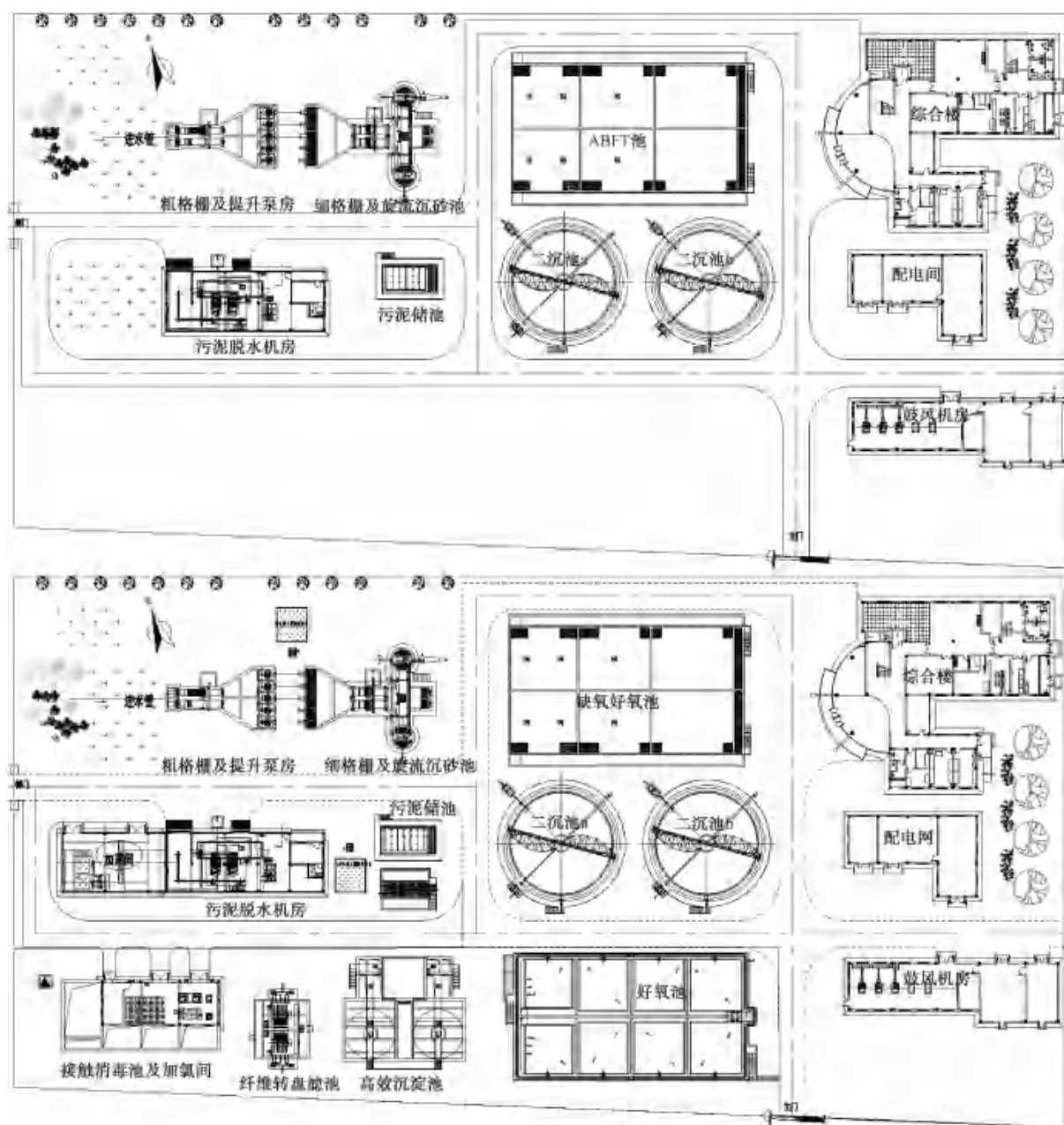


图4 总平面布置图提标前后对比

Fig. 4 Comparison of Layout Plan before and after Upgrading

2 870 m³,最大 HRT 为 6.89 h,好氧区有效容积合计为 4 048 m³,HRT 合计为 9.71 h。改造后的生化池系统设计泥龄为 20.17 d,好氧污泥龄为 13.52 d,混合液污泥质量浓度 (MLSS) 合计为 3 500 mg/L,平均污泥负荷为 0.047 kg BOD₅/(kg MLSS·d),混合液回流比为 150%~300%,气水比为 6.5:1.0。

3.4 二沉池(改造)

生化段调整为活性污泥法后,需要增加污泥外回流,因此,在原剩余污泥泵基础上新增 3 台污泥外

回流泵及相应管路配件,保证生化段的 MLSS。

3.5 高效沉淀池(新建)

新建 1 座高效沉淀池,分 2 组,每组设计规模为 0.5 万 m³/d,总尺寸为 18.6 m×15.8 m×7.55 m,其中混合区平面尺寸为 2.0 m×2.0 m,有效水深为 4.70 m,设计 HRT 为 204 s;絮凝区平面尺寸为 3.5 m×3.5 m,有效水深为 6.85 m,设计 HRT 为 914 s;沉淀区平面尺寸为 7.5 m×7.5 m,有效水深为 6.80 m,斜管安装角度为 60°,表面负荷为 6.22

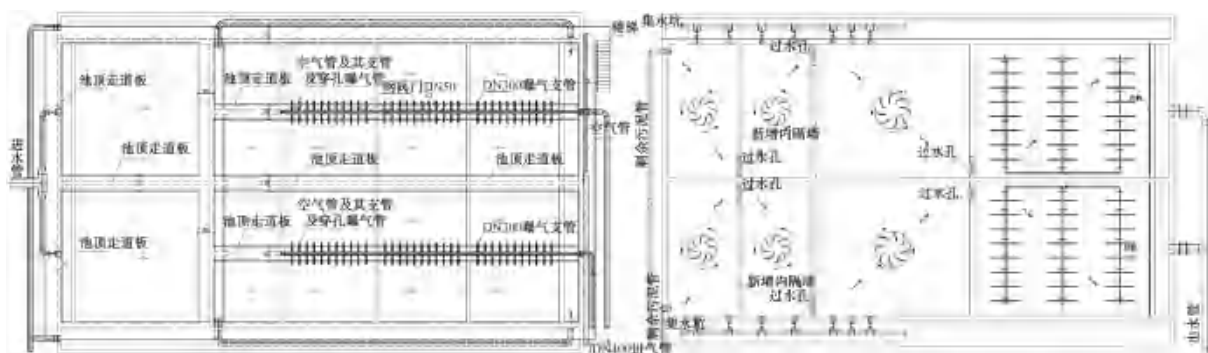


图 5 生化池提标前后对比

Fig. 5 Comparison of Biochemical Tank before and after Upgrading

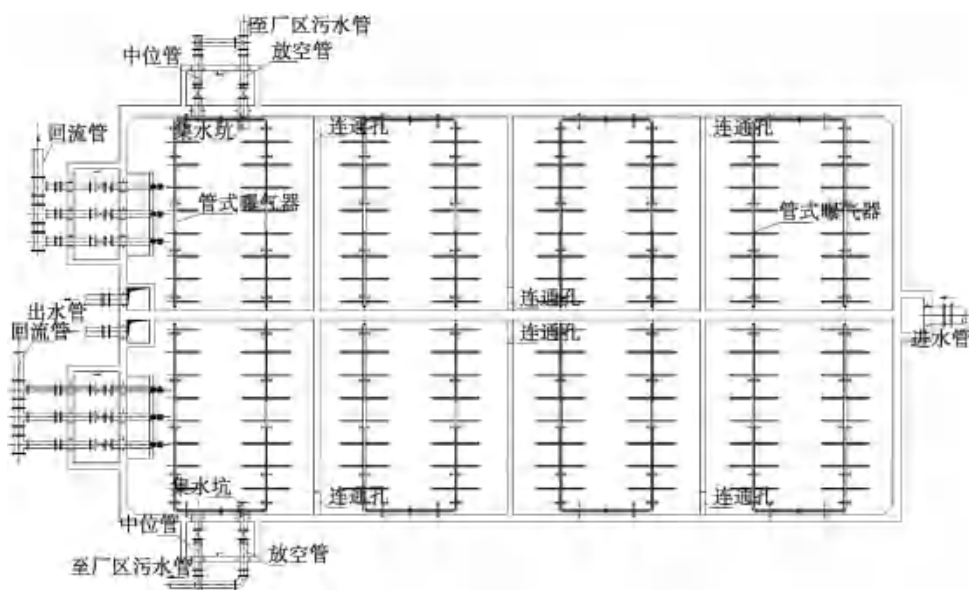


图 6 生化池平面布置

Fig. 6 Layout Plan of the WWTTP before and after Upgrading

$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3.6 纤维转盘滤池(新建)

新建 1 座纤维转盘滤池,平面尺寸为 $8.20 \text{ m} \times 2.85 \text{ m}$,设计规模为 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,直径为 3000 mm ,滤速为 $10.0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$,共 4 只盘片,单只盘片有效过滤面积不小于 11 m^2 ,孔隙为 $10 \mu\text{m}$ 。滤片 2 侧进水,通过可编程逻辑控制器(PLC)自动控制。

3.7 加氯间及接触消毒池(新建)

该污水厂一期工程采用紫外消毒,衰减严重,消毒效果一般,且能耗较高。经过论证,本提标改造出水采用次氯酸钠接触消毒工艺。成品次氯酸钠的采购、运输、使用、存储等环节都需要进行监管,且当地没有成品次氯酸钠溶液,因此,本工程采用食盐现场电解制备次氯酸钠的方式。新建 1 座加氯间及接触

消毒池,其中消毒池尺寸为 $24.10 \text{ m} \times 10.60 \text{ m} \times 3.30 \text{ m}$,有效水深为 2.8 m ,设计规模为 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,停 HRT 为 30 min ,共 1 条渠道。加氯间平面尺寸为 $18.10 \text{ m} \times 6.94 \text{ m}$,层高为 6 m ,设计规模为 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,配备 2 套次氯酸钠发生器,有效氯产量为 4000 g/h 。

3.8 加药间(新建)

本次提标改造新增高效沉淀池,该单体需投加除磷剂聚合氯化铝(PAC),原有加药间空间不足,因此,新建 1 座加药间,用于 PAC 的溶解配药、投加、存储,主要服务于高效沉淀池药剂的配套使用。平面尺寸为 $15.62 \text{ m} \times 9.24 \text{ m}$,层高为 6 m ,设计规模为 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。配有 2 台溶药池搅拌机,3 台隔膜计量泵,1 台电动单梁悬吊起重机。

4 工程运行效果分析与主要指标分析

4.1 运行效果分析

该污水处理厂提标改造工程于 2019 年底建成并调试后投产,提标改造完成后,实际处理水量为 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 左右。投产后 2020 年 12 月—2021 年 11 月的运行数据如图 7 所示。可见,整体运行良好,出水稳定,均达到设计出水水质,多项指标甚至达到地表Ⅳ类水质要求。持续稳定运行一段时间后,相关单位从能耗、加药、人工操作等方面进行工艺优化,摸索出了适合该厂实际最优的管理模式,为其他相关污水处理厂提标改造提供借鉴。

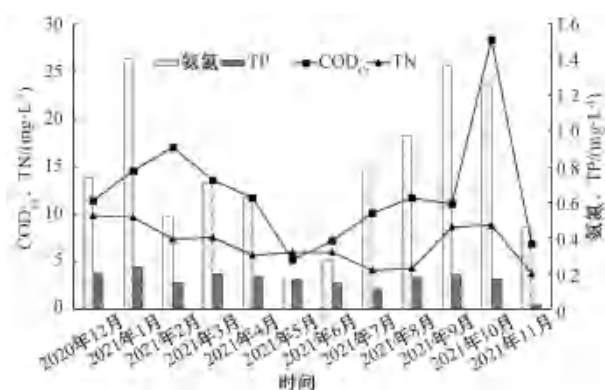


图 7 提标后出水水质

Fig. 7 Actual Effluent Quality after Upgrading

4.2 用地指标分析

本提标改造工程总占地为 $12\,819.5 \text{ m}^2$,单位用地面积为 $1.28 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。根据《城市生活垃圾处理和给水与污水处理工程项目建设用地指标》(建标[2015]157号)表 6 规定,该项目建设规模属于 V 类深度处理,建设用地控制面积为 $0.55 \sim 1.75 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。相较而言,本工程提标改造后,实际用地指标在控制范围内偏低。根据王涛等^[6]研究,该工艺与其他工艺相比,占地也相对较小。

4.3 工程总投资及成本分析

本工程总投资约为 3 000 万元,建筑工程及设备采购安装费约为 2 200 万元,工程建设其他费约为 800 万元。提标改造完成后统计分析近 1 年运行数据,污水处理运行成本约为 $1.76 \text{ 元}/\text{m}^3$,其中药剂费为 $0.35 \text{ 元}/\text{m}^3$,动力费为 $0.81 \text{ 元}/\text{m}^3$ [电费单价按 $0.81 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计],自来水费为 $0.009 \text{ 元}/\text{m}^3$ (水费单价按 $3.15 \text{ 元}/\text{m}^3$ 计),人员工资为 $0.41 \text{ 元}/\text{m}^3$,修理费为 $0.088 \text{ 元}/\text{m}^3$,其他费用为 $0.096 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

5 结论

本文主要基于江西某生活污水处理厂,该污水处理厂提标改造工程建成后,污水处理规模为 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,采用了粗格栅+细格栅+沉砂池+AAO 工艺+二沉池+高效沉淀池+滤布滤池+接触消毒主体处理工艺。从实际运行效果判断,该工艺实现了对生活污水的有效处理,出水水质完全可以达到设计值,取得了较显著的效益。

在本次改造中,将原有的穿孔曝气管调整为微纳米曝气盘,提高了污水中碳源利用率和氧气的利用效率,更换 3 台鼓风机,改造前一期厂区总装机功率为 549.6 kW ,提标后,总装机功率为 516.25 kW 。在其他工况近似的前提下,降低了电耗,节省了该污水厂的运行成本。

本工程将高效沉淀池及滤布滤池作为深度处理工艺,在无新增厂区外用地情况下,实现提标改造,用地指标为 $1.28 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,属于该类工程的控制性用地指标,因此,本工程对国内类似的污水处理厂的提标改造,尤其是用地紧张的城市污水处理厂的改造或建设具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] 侯亚红,顾雪锋,李海龙.改良 AAO+磁混凝工艺在污水厂提标改造项目中的应用——以山东某污水处理厂为例[J].净水技术,2022,41(4):126-133.
HOU Y H, GU X F, LI H L. Application of modified process of AAO + magnetic coagulation in upgrading and reconstruction project of WWTP——Case study of a WWTP in Shandong[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(4): 126-133.
- [2] 石春寅,彭晨,邹浩东.重庆市某污水厂不停产提标改造工程设计[J].净水技术,2021,40(8):149-154,161.
SHI C Y, PENG C, ZOU H D. Design of non-stop production upgrading and reconstruction project of a WWTP in Chongqing City[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 149-154, 161.
- [3] 张双,杨仁凯,陈贵生,等.高效沉淀池与滤布滤池组合工艺在某污水处理厂提标改造中的应用[J].净水技术,2020,39(2):26-31,49.
ZHANG S, YANG R K, CHEN G S, et al. Application of combined processes of high-efficiency sedimentation tank and cloth media filter for upgrading and reconstruction project of a WWTP[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(2): 26-31, 49.
- [4] 杨登,袁敏忠,钟毓,等.潮州某污水厂 AO 氧化沟工艺不停产提标扩容改造[J].中国给水排水,2020,36(20):119-

123.

YANG D, YUAN M Z, ZHONG Y, et al. Upgrading and expansion without shutdown of a WWTP in Chaozhou with A/O oxidation ditch process[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 119-123.

- [5] 叶心彤. 基于浙江省地标杭州某污水处理厂提标改造设计案例[J]. 净水技术, 2021, 40(s1): 155-159.

YE X T. Design case of upgrading and reconstruction of a WWTP

in Hangzhou based on Zhejiang Provincial local standard[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(s1): 155-159.

- [6] 王涛, 楼上游. 中国城市污水处理工艺现状调查与技术经济指标评价[J]. 给水排水, 2004, 30(5): 1-4.

WANG T, LOU S Y. Investigation on the present situation of urban sewage treatment process in China and evaluation of technical and economic indexes [J]. Water & Wastewater Engineering, 2004, 30(5): 1-4.

(上接第 182 页)

参考文献

- [1] 蒲贵兵, 谢天, 邵川. 重庆市污水溢流污染控制的困惑与建议[J]. 中国给水排水, 2022, 38(18): 1-5.

PU G B, XIE T, SHAO C. Perplexity and suggestions on pollution control of the sewage overflow in Chongqing City[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(18): 1-5.

- [2] 蒲贵兵, 古霞, 向星光. 重庆市城镇排水管网监测体系构建[J]. 净水技术, 2021, 40(8): 114-119.

PU G B, GU X, XIANG X G. Construction of monitoring system of urban drainage pipelines network in Chongqing City [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 114-119.

- [3] 史秀芳, 卢亚静, 潘兴瑶, 等. 合流制溢流污染控制技术、管理与政策研究进展[J]. 给水排水, 2020, 56(s1): 740-747.

SHI X F, LU Y J, PAN X Y, et al. Research progress of technology, management and policy on combined sewer system overflow control [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 56(s1): 740-747.

- [4] 王文亮, 张昱, 蔡然, 等. 美国金县合流制溢流控制案例之技术与标准[J]. 中国给水排水, 2022, 38(8): 99-107.

WANG W L, ZHANG Y, CAI R, et al. Introduction to the combined sewer overflow control technologies and standards in King County, USA[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(8): 99-107.

- [5] 孙巍, 赵红兵. 武汉市黄孝河合流制溢流强化处理设施工艺设计[J]. 中国给水排水, 2022, 38(10): 101-105.

SUN W, ZHAO H B. Design of Wuhan Huangxiao River combined sewer overflow enhanced treatment facility[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(10): 101-105.

- [6] 周易. 通榆河微污染河水水质净化工程工艺设计[J]. 给水排水, 2016, 52(11): 24-26.

ZHOU Y. Process design of micro-polluted river water purification project in Tongyu River [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 52(11): 24-26.

- [7] 韩祥祥. 生物接触氧化工艺处理低污染河水试验研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.

HAN X X. Experimental study on the treatment of low-pollution water by biological contact oxidation process[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2020.

- [8] 张友国, 谷惠民, 张胜军, 等. 人工湿地升级改造实践探

讨——以菏泽市安兴河为例[J]. 湿地科学与管理, 2022, 18(4): 64-67.

ZHANG Y G, GU H M, ZHANG S J, et al. Discussion on the practices of upgrading constructed wetland—A case study of anxing river in heze city[J]. Wetland Science & Management, 2022, 18(4): 64-67.

- [9] 李阳阳, 王月杰, 于鲁冀, 等. 复合生态浮岛处理微污染河水[J]. 环境工程, 2018, 36(1): 1-5, 10.

LI Y Y, WANG Y J, YU L J, et al. Treatment of micro-polluted river by compound ecological floating island[J]. Environmental Engineering, 2018, 36(1): 1-5, 10.

- [10] 曾大海, 谢小龙, 杨涛. 污水处理厂提标改造工程深度处理方案[J]. 净水技术, 2021, 40(1): 129-133, 154.

ZENG M H, XIE X L, YANG T. Advanced treatment process for upgrading and reconstruction of WWTP [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(1): 129-133, 154.

- [11] 沙超. 污水处理厂优于一级 A 提标改造工程设计案例——以深圳某污水处理厂为例[J]. 净水技术, 2021, 40(4): 127-132.

SHA C. Engineering design and discussion of a WWTP better than first grade a standard upgrading and reconstruction project in Shenzhen[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4): 127-132.

- [12] 刘向荣, 简德武, 简爽. 高排放标准下城镇污水处理厂的提标改造探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(20): 19-25.

LIU X R, JIAN D W, JIAN S. Discussion on the upgrading of municipal wastewater treatment plant under high emission standard[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(20): 19-25.

- [13] 黄建元. MBR 技术的形成、应用范围与发展新趋势[J]. 净水技术, 2015, 34(2): 1-3.

HUANG J Y. Formation, application scope and development trend of MBR technology [J]. Water Purification Technology, 2015, 34(2): 1-3.

- [14] 朱一丹, 袁海平, 郑寨生, 等. 以土壤沟槽渗滤系统为主体的组合工艺技术在污染河道治理中的应用效果[J]. 净水技术, 2014, 33(5): 88-91.

ZHU Y D, YUAN H P, ZHENG Z S, et al. Application effect of combined processes with soil trench filtration technology as a main solution in river pollution control [J]. Water Purification Technology, 2014, 33(5): 88-91.