

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.06.009

臭氧氧化耦合UV/H₂O₂工艺用于污水厂提标扩容工程

於仲清¹, 赵乐浒², 张俊杰¹, 薛攀¹, 陈桐², 顾艳梅²,
叶青徽¹

(1. 中冶华天南京工程技术有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 江苏环保产业股份有限公司, 江苏 南京 210019)

摘要: 安徽某污水处理厂现状规模为 6.0×10^4 m³/d, 一、二期建设规模均为 3.0×10^4 m³/d, 二级生化工艺分别采用“厌氧池+Orbal氧化沟”和A²/O工艺, 一期、二期生化出水汇合后进入“混合絮凝三沉池+V型滤池”深度处理流程, 出水水质执行一级A排放标准。提标扩容工程需扩容 3.0×10^4 m³/d, 且出水水质执行地表水Ⅳ类标准, 其中COD、氨氮及总磷执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准, 其余指标执行一级A标准。扩容工程二级生化处理采用A²/O工艺, 深度处理采用“混合絮凝三沉池+反硝化深床滤池+臭氧氧化耦合UV/H₂O₂”工艺, 其中, 一、二期的V型滤池出水也进入臭氧氧化耦合UV/H₂O₂工艺处理。鉴于该污水厂上游接入两个工业园区污水处理厂出水, 因此针对难降解COD采用了臭氧氧化耦合UV/H₂O₂工艺, 同时臭氧氧化兼具消毒作用, 节省了投资和用地。实际运行结果表明, 出水水质达到设计标准。

关键词: 准Ⅳ类标准; 混凝沉淀; 反硝化深床滤池; 臭氧氧化耦合UV/H₂O₂工艺; 提标改造

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2023)06-0060-06

Application of Ozonation Coupled UV/H₂O₂ Process in Upgrading and Expansion of a Wastewater Treatment Plant

YU Zhong-qing¹, ZHAO Le-hu², ZHANG Jun-jie¹, XUE Pan¹, CHEN Tong²,
GU Yan-mei², YE Qing-hui¹

(1. MCC Huatian Engineering & Technology Corporation, Nanjing 210019, China; 2. Jiangsu Environmental Industry Co. Ltd., Nanjing 210019, China)

Abstract: The current scale of a wastewater treatment plant in Anhui is 6.0×10^4 m³/d, and the construction scale of phase I and phase II projects are both 3.0×10^4 m³/d. The secondary biochemical processes are “anaerobic tank and Orbal oxidation ditch” and A²/O process, respectively. The effluent from biochemical treatment of phase I and phase II projects is merged into the advanced treatment process consisting of mixed flocculation tertiary sedimentation tank and V-type filter, and the effluent is required to meet the first level A discharge standard. The scale of the expansion project is expanded by 3.0×10^4 m³/d, and the effluent COD, ammonia nitrogen and total phosphorus are required to meet the class IV criteria specified in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002), and other indicators shall meet the first level A discharge standard. The secondary biochemical treatment of the expansion project is A²/O process, and the advanced treatment consists of mixed flocculation tertiary sedimentation tank, denitrification deep bed filter and ozonation coupled UV/H₂O₂. The effluent from the

V-type filters in phase I and phase II projects is also treated by the ozonation coupled UV/H₂O₂ process. As the wastewater treatment plant also receives the effluent from two industrial park wastewater treatment plants upstream, ozonation coupled UV/H₂O₂ process is thus adopted for treating the refractory compounds. In addition, ozonation also has the function of disinfection, which saves investment and footprint area. The actual operational results show that the effluent quality meets the design standard.

Key words: quasi class IV standard; coagulation sedimentation; denitrification deep bed filter; ozonation coupled UV/H₂O₂; upgrading and reconstruction

安徽某污水处理厂自投产运营以来为当地污染物总量削减及生态环境保护作出了重大贡献,该污水厂出水接纳水体的国控断面水质要求达到地表水Ⅳ类标准,断面水质不达标的风险较大。同时,伴随着城镇化的日益加快,以及城市管网的不断完善,该污水处理厂已接近满负荷运行,故污水厂的提标扩容工程势在必行。

1 工程概况

该污水处理厂设计总规模为 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分两期建设。其中,一期规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,于2010年1月投产运行,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级B标准。二期扩建工程分两阶段建设,其中一阶段 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 于2013年建设完成并投入运营,出水执行一级B排放标准;二阶段 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 于2017年建设完成并投产运营。此外,2015年该污水处理厂经提标改造后出水主要指标达到一级A标准。目前,该污水处理厂设计处理量达到 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行一级A标准。一期、二期二级生化处理分别采用“厌氧池+Orbal氧化沟”和A²/O工艺,一期、二期生化出水汇合后,深度处理采用“混合絮凝三沉池+V型滤池”工艺。

根据当地现状污水处理量分析及污水量预测结果,本提标扩容工程新增 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模,二级生化处理采用A²/O工艺,深度处理采用“混合絮凝三沉池+反硝化深床滤池+臭氧氧化耦合UV/H₂O₂”工艺。其中,一期和二期的V型滤池出水进入臭氧氧化耦合UV/H₂O₂工艺,总设计规模 $9.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。出水COD、氨氮及总磷执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2022)Ⅳ类标准,其余出水指标执行一级A标准。

2 设计进、出水水质

该污水厂主要接纳城区生活污水和两个工业

园区污水处理厂出水,2019年5月—2020年10月污水厂最高月平均实际进、出水水质见表1。最高月平均实际进水的COD和TP均低于设计值,其他指标接近设计水质,但进水各指标超设计值情况仍时有发生。考虑开发区存在部分企业生产废水未进工业园区污水处理厂,而是直接进入污水处理厂的情况,且随着后续企业的入驻及管网的完善,存在高浓度废水进入该污水厂的可能。另外由于该污水厂上游两个园区污水厂目前只有一个处于收水运行阶段,另一个暂未通水运行。因此确定设计进水水质仍沿用一、二期设计值。

表1 现状进、出水水质

Tab.1 Current influent and effluent quality

mg·L⁻¹

项目	COD	NH ₃ -N	TN	TP
进水	199.87	42.66	52.85	3.60
出水	41.70	1.26	14.66	0.32

本次提标改造及扩容工程出水COD、氨氮及总磷执行地表水Ⅳ类标准,其余指标执行一级A标准。具体设计进、出水水质见表2。

表2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality mg·L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
进水	500	250	45	60	7	250
出水	30	10	1.5	15	0.3	10

3 工程设计

3.1 工艺选择

3.1.1 预处理工艺

目前,该厂一、二期设计处理能力均为 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。一期预处理采用循环齿耙式格栅除污机+潜水排污泵+回转式固液分离器+旋流沉砂池方案;二期采用循环齿耙式格栅除污机+潜水排污泵+回转式固液分离器+曝气沉砂池方案。一、二期的旋流

沉砂池和曝气沉砂池均能达到较好的处理效果,且处理能力相对富余。鉴于本次工程用地紧张,故新增的 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模不新建预处理设施,分别对现有一期、二期预处理设施扩容至 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,以达到工程使用需求。

经校核,一期工程现有旋流沉砂池1座,分2格,直径3.05 m,设计流量1 080 m^3/h ,最大处理水量2 190 m^3/h ,经校核满足扩容需求。二期工程现有曝气沉砂池1座,扩容后最大流量时停留时间2.88 min,满足曝气沉砂池最大流量时停留时间 $>2 \text{ min}$ 的要求^[1]。

3.1.2 生物处理工艺

经综合比较,A²/O运营维护简单,整体运行费用也较低,更适合本工程的需要。同时,结合现状二期A²/O的运行情况,新增 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模二级处理采用A²/O工艺。

3.1.3 深度处理工艺

深度处理的主要目的是进一步去除废水中的磷、悬浮物和少量难降解有机物,污水厂深度处理广泛采用“混凝沉淀+过滤”工艺^[2]。该污水厂一期、二期深度处理采用混合絮凝辐流式沉淀池+V型滤池工艺,基本能满足现有一级A排放标准。考虑后期TN指标要求,新增 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的深度处理工艺采用“混凝沉淀+反硝化深床过滤”,其中混凝沉淀单元采用和一期、二期相同的混合絮凝辐流式沉淀池,过滤单元采用反硝化深床滤池,集生物脱氮及过滤功能于一体^[3-4]。

3.1.4 准IV强化去除工艺

提标后要求COD、氨氮及总磷等指标达到地表水IV类标准,目前实际最高月平均出水氨氮满足IV类标准,但是出于稳定达标考虑,本次提标改造在一期奥贝尔氧化沟内增加曝气效率更高的底部曝气系统;实际最高月平均出水总磷略高于IV类标准,本次提标改造在三沉池增加PAC投加量,使出水总磷稳定控制在0.3 mg/L以下。

准IV强化去除最主要的指标为COD,鉴于该污水厂上游接入两个工业园区污水处理厂出水,因此污水中可生化的污染物在前端工艺中已被降解得非常充分,需进一步去除难生物降解有机污染物。对于溶解性难降解COD的去除,常用工艺有高级氧化工艺、活性炭吸附工艺。高级氧化工艺主要是芬顿氧化法和臭氧氧化法。分析如下:①活性炭吸附

工艺存在明显的缺点,活性炭吸附饱和后,必须进行改换或再生,运行成本高;饱和炭再生工艺复杂、投资较大、占地面积大。②芬顿氧化工艺也存在明显的缺点,产生的污泥量较大,且需进行危废鉴定,处理成本昂贵;氧化能力不太强,有些有机物还不能被破坏,需借助紫外光、超声波、臭氧等进行强化。③臭氧氧化能力较强,可进一步降解难降解有机污染物,且臭氧氧化兼具消毒作用。结合本工程的用地条件,最终COD强化去除工艺选用臭氧氧化。

针对单一臭氧氧化存在的选择性问题的,为充分开发臭氧氧化潜能,本工程配套UV、H₂O₂投加措施,利用臭氧氧化工艺耦合UV/H₂O₂,实现对难降解COD的高效去除^[5-6]。

3.2 工艺流程

本工程新增 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模,二级生化处理采用A²/O工艺,深度处理采用“混合絮凝三沉池+反硝化深床滤池+臭氧氧化耦合UV/H₂O₂”工艺。其中,一期和二期的V型滤池出水进入臭氧氧化耦合UV/H₂O₂工艺,总设计规模 $9.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

市政污水首先进入该厂进水分配井均匀分配至原有一、二期进水泵房,分别将一、二期进水泵房由 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计规模扩为 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经粗格栅去除较大的漂浮物后进入提升泵房。其中,一期提升泵房经潜污泵提升 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的污水进入一期细格栅及旋流沉砂池,进一步拦截和去除污水中细小悬浮物,分离并去除污水中的砂粒;二期提升泵房经潜污泵提升 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的污水进入二期细格栅及曝气沉砂池。原有一、二期细格栅及沉砂池分别由 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模扩容至 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

一期、二期沉砂池出水接入新建总配水井,将污水按1:1:1比例分配后自流接入现有一期($3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)、二期($3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)生物系统及新增扩容系统($3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。新建A²/O生物池由预缺氧池、厌氧池、缺氧池、好氧池组成,其中好氧池末端含后置缺氧池、后置好氧池,后置缺氧池可自行选择是否进行曝气,该工艺可根据实际出水COD、TN的指标要求选择进行三段式或五段式运行。

一期、二期V型滤池出水 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 与新建反硝化深床滤池出水 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,汇合进入臭氧接触池及出水计量渠,进行有机物强化处理及消

毒。臭氧接触池可根据实际进水情况选择是否投加H₂O₂和UV。

二沉池底泥一部分回流至生物池,一部分送至污泥脱水系统;混合絮凝三沉池底泥一部分内部循环回流,一部分送至污泥脱水系统。污泥脱水系统采用“污泥浓缩+一级带机压滤+高压带机压滤”,污泥含水率降低至60%^[7]后外运处置。

现有工程预处理阶段进水泵房、沉砂池及新建总配水井的臭气风量(7 500 m³/h)收集后进入预处

理工段除臭系统;现有污泥浓缩池、新建污泥浓缩池及改造后脱水机房产生的臭气风量(23 000 m³/h)收集后进入污泥系统工段除臭系统。有组织排放排气筒排放标准值执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)中表2标准。

厂区放空污水、污泥脱水滤后液以及厂内的其他生活污水经管道汇集至进水泵房吸水井,返回污水处理系统,不外排。

具体工艺流程见图1。

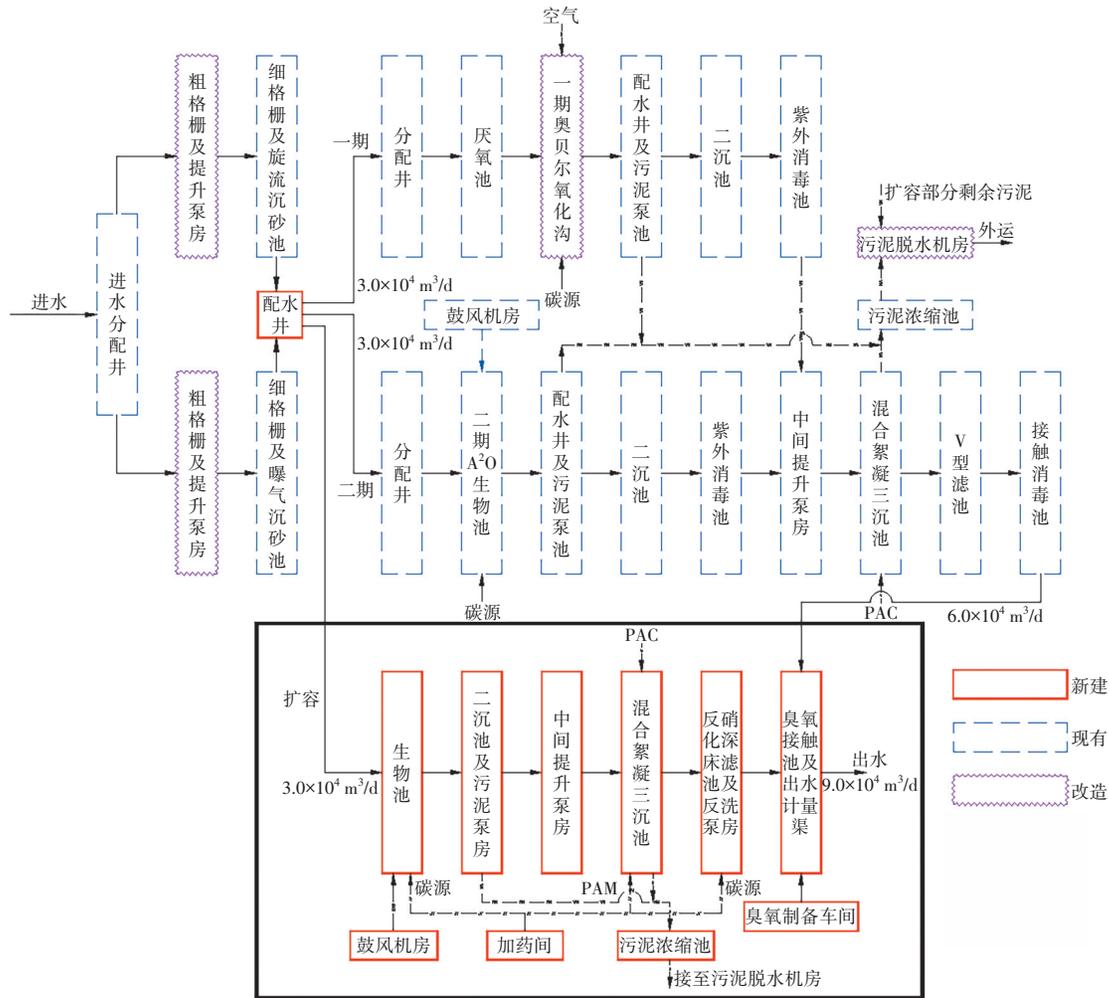


图1 工艺流程

Fig.1 Process flow chart

3.3 主要处理单元及设计参数

3.3.1 新建构筑物设计

① 总配水井1座,设计规模9.0x10⁴ m³/d,池体尺寸16.0 m x 3.15 m x 2.0 m。将一期、二期预处理单元的污水统一接入后,并按1:1:1的比例分配至一期、二期、扩容工程。

② A²/O生物池1座,规模3.0x10⁴ m³/d,池体尺寸78.0 m x 49.0 m x 6.8 m,总容积25 990 m³,水力停留时间19.57 h(其中预缺氧段1.375 h、厌氧段1.375 h、缺氧段4.42 h、好氧段12.4 h)。污泥浓度4 g/L,内回流比150%~300%,污泥回流比60%~150%,污泥负荷0.073 kgBOD₅/(kgMLSS·d),供氧量

560 kg/h。

③ 二沉池及污泥泵池1座,规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,池体 $D=50 \text{ m}$ 、 $H=4 \text{ m}$ (池边水深),为中进周出辐流沉淀池,表面负荷 $0.83 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,污泥回流比100%。

④ 中间提升泵房1座,规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,尺寸 $10.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$,设污水提升泵(2用1备), $Q=813 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=60 \text{ kPa}$, $N=22 \text{ kW}$,变频调节。

⑤ 混合絮凝三沉池1座,规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,尺寸:机械混合池 $3.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 4.1 \text{ m}$,混合时间 1.36 min ;机械絮凝池 $6.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m} \times 4.8 \text{ m}$,絮凝时间 6.38 min ;三沉池 $D=36 \text{ m}$ 、 $H=4 \text{ m}$ (池边水深),表面负荷 $1.59 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

⑥ 反硝化深床滤池及反冲洗泵房1座,规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,碳源投加混合池1格,单格尺寸 $3.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$,有效水深 4.8 m ,混合时间 2.0 min ;滤床4格,单格尺寸 $9.0 \text{ m} \times 7.5 \text{ m}$,有效水深 4.5 m ,过滤面积 54 m^2 ,设计滤速 7.52 m/h ,强制滤速 9.78 m/h ,滤料层高度 1.8 m ,反硝化容积负荷 $1.0 \text{ kgNO}_3^-/\text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,反冲洗方式:气冲强度为 $90 \sim 110 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$;水冲强度为 $14 \sim 16 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$;反洗时间:气洗时间 $3 \sim 5 \text{ min}$,气水联合冲洗 $10 \sim 20 \text{ min}$,单独水洗 $3 \sim 5 \text{ min}$,配套长柄滤头 10634 个, DN20, ABS材质;废水池 400 m^3 ,配套潜水泵1用1备, $Q=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=70 \text{ kPa}$, $N=11 \text{ kW}$;清水池 210 m^3 ,配套潜水泵(2用1备), $Q=500 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=90 \text{ kPa}$, $N=18.5 \text{ kW}$ 。

⑦ 臭氧接触池及出水计量渠1座,规模 $9.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,臭氧接触池2格,单格尺寸 $37.0 \text{ m} \times 9.6 \text{ m}$,有效水深 6.0 m ,有效接触时间 1.0 h ;巴氏计量槽尺寸 $37.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ 。UC光催化系统4套,两套为一级催化, $N=31.2 \text{ kW}$ 。双氧水投加系统投加量 10 mg/L ,投加过氧化氢(30%)。

⑧ 臭氧制备车间(含氧气站)1座,规模 $9.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,臭氧制备车间尺寸 $21.0 \text{ m} \times 13.2 \text{ m}$,氧气站尺寸 $13.5 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$ 。臭氧发生器2套,单套额定产量 25 kg/h ,额定浓度 148 mg/L 。

⑨ 加药间1座,规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,尺寸 $15.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$ 。PAM投加量 1.2 mg/L ,投加浓度为 0.1% ;碳源投加量:生物池 5 mg/L ,反硝化深床滤池 5 mg/L ,投加纯度为20%的乙酸钠液体药剂。

⑩ 鼓风机房1座,规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,尺寸 $15.0 \text{ m} \times 15.0 \text{ m}$,配套空气悬浮鼓风机(为新建A²O

生物池曝气): $Q=8 \text{ m}^3/\text{min}$, $H=75 \text{ kPa}$, $N=132 \text{ kW}$,2用1备;罗茨鼓风机(反冲洗风机): $Q=40 \text{ m}^3/\text{min}$, $H=70 \text{ kPa}$, $N=55 \text{ kW}$,2用1备。

⑪ 污泥浓缩池1座,规模 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $D=12.0 \text{ m}$,污泥固体负荷 $60 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,浓缩时间 12 h 。

⑫ 除臭系统2套,预处理工段除臭系统设计风量为 $7500 \text{ m}^3/\text{h}$,污泥系统工段设计风量为 $23000 \text{ m}^3/\text{h}$,采用生物滤池工艺。

3.3.2 改造构筑物设计

① 一、二期粗格栅及进水泵房:土建利旧,一期设计规模 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,更换4台潜污泵(3用1备), $Q=820 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=105 \text{ kPa}$, $N=37 \text{ kW}$;二期设计规模 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,更换4台(3用1备)潜污泵, $Q=820 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=115 \text{ kPa}$, $N=37 \text{ kW}$ 。

② 一期奥贝尔氧化沟:土建利旧,曝气方式由表面曝气供氧改造成底部曝气,同时增设内回流。充氧量 $600 \text{ kgO}_2/\text{h}$,内回流比 $150\% \sim 300\%$ 。

③ 污泥脱水机房:土建利旧,拆除现状污泥堆棚,新建高压带式脱水间。干污泥量 16.2 t/d ,湿污泥量 $810 \text{ m}^3/\text{d}$ (以浓缩池出泥含水率 98% 计)。一、二期两台带式压滤机带宽更换为 2.0 m ,出泥含水率 80% 。新增两台高压带式连续污泥脱水系统,单机处理能力 5 t/h ,出泥含水率 60% 。

④ PAC投加系统:本次改造加大投药量,用于全厂PAC投加。PAC投加量 130 mg/L ,投加介质为10%的液体药剂。新增一套PAC投加系统,用于新增 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 工程。

4 工程运行效果

该污水厂提标改造工程自2021年12月通水调试稳定运行后,连续一个月内污水处理系统日平均出水水质数据见表3。

表3 各工艺单元处理效果

Tab.3 Treatment effect of each process unit

项目	生化系统-二沉池			混合絮凝三沉池		反硝化深床滤池		臭氧接触氧化		排放标准 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
	进水 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%							
COD	193	53	72.5	39	26.4	31	20.5	27	12.9	30
BOD ₅	94	9	90.4	9	0.0	6	33.3	6	0.0	10
NH ₃ -N	39	1	97.4	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1.5
TN	47	15	68.1	15	0.0	11	26.7	11	0.0	15
TP	4	2	50.0	0	90.0	0	0.0	0	0.0	0.3
SS	269	21	92.2	15	28.6	9	40.0	9	0.0	10

由表3可见,出水水质均达到排放标准。生物处理工段主要实现COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP和SS等各指标的集中去除。混合絮凝三沉池主要实现TP的深度处理。反硝化深床滤池主要实现TN和SS的同步去除。臭氧接触氧化作为COD的强化去除工艺,能有效保障COD的稳定达标。值得注意的是,实际运行阶段臭氧接触氧化并未使用H₂O₂和UV。

5 工程技术经济分析

本次提标改造及扩容工程总投资为12 628.91万元,其中建筑工程4 849.87万元、设备工程4 025.67万元、安装工程1 405.74万元、其他费用1 414.43万元、预备费584.79万元、建设期利息193.06万元、铺底流动资金155.35万元。新增3.0×10⁴m³/d的扩容工程年经营成本2 676.18万元,年平均单位经营成本1.222元/m³。原有6.0×10⁴m³/d的提标改造工程年经营成本增加733.65万元,年平均单位经营成本增加0.335元/m³。

6 结论

① 该扩建工程二级生化处理采用A²O工艺,深度处理工艺采用“混合絮凝三沉池+反硝化深床滤池+臭氧氧化耦合UV/H₂O₂”,出水水质稳定达标。

② 采用反硝化深床滤池,一方面其具有比V型滤池、普通快滤池等更深的滤料厚度,过滤效果更好;另一方面,运行模式多元化,可根据具体的出水TN要求,选择是否投加碳源。

③ 臭氧氧化耦合UV/H₂O₂工艺氧化能力较强,可强化降解难降解有机污染物,且臭氧氧化兼具消毒作用,能最大化减少处理单元,节省用地。

参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部. 室外排水设计标准: GB 50014—2021[S]. 北京:中国计划出版社,2021.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Design of Outdoor Wastewater Engineering: GB 50014—2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021(in Chinese).
- [2] 吕开雷. 准IV类排放标准污水处理工艺应用进展[J]. 四川建筑,2020,40(2):318-320.
LÜ Kailei. Application progress of sewage treatment

process under quasi class IV discharge standard [J]. Sichuan Architecture, 2020, 40 (2) : 318-320 (in Chinese).

- [3] 杜创,雷振,张铁源. 深床滤池在污水厂地表IV类水提标改造中的应用[J]. 中国给水排水,2017,33(8):99-103.
DU Chuang, LEI Zhen, ZHANG Tiejuan. Application of deep bed filter in WWTP upgrading project to meet class IV standard of surface water [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(8):99-103(in Chinese).
- [4] 陈建平,毛云飞. 传统污水处理厂类IV类水提标改造工程实践[J]. 中国给水排水,2017,33(24):87-91.
CHEN Jianping, MAO Yunfei. Renovation of traditional wastewater treatment plant for the effluent quality similar to the fourth class [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(24):87-91(in Chinese).
- [5] 王舜和,郭淑琴,李朦. 降低负荷+臭氧催化氧化用于张贵庄污水处理厂提标改造[J]. 中国给水排水,2017,33(6):56-58,62.
WANG Shunhe, GUO Shuqin, LI Meng. Renovation upgrading project of Zhangguizhuang wastewater treatment plant via reduction pollutants load + ozone catalytic oxidation process [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(6):56-58,62(in Chinese).
- [6] 郝晓地,甘微,李季,等. 臭氧降解污水厂二级出水有机物作用与效果分析[J]. 中国给水排水,2021,37(10):1-7.
HAO Xiaodi, GAN Wei, LI Ji, et al. Effectiveness of ozonation on oxidizing secondary effluent organic matter (EfOM) from WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(10):1-7(in Chinese).
- [7] 王娜娜,王静,路远,等. 高压带式连续污泥深度脱水技术的应用实例[J]. 工业水处理,2021,41(5):143-146.
WANG Nana, WANG Jing, LU Yuan, et al. Example application of high-pressure belt continuous sludge deep dewatering technology [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(5):143-146(in Chinese).

作者简介:於仲清(1991-),男,安徽天长人,硕士,工程师,主要从事水污染控制工程设计工作。

E-mail: yzqju@163.com

收稿日期:2022-01-18

修回日期:2022-02-23

(编辑:孔红春)