

储杰. 上海某大型污水处理厂提标改造运行效能分析[J]. 净水技术, 2022, 41(4):75-80, 148.

CHU J. Operation efficiency analysis of upgrading and reconstruction of a large-scale WWTP in Shanghai[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(4):75-80, 148.



扫我试试?

上海某大型污水处理厂提标改造运行效能分析

储 杰

(上海友联竹园第一污水处理投资发展有限公司, 上海 200137)

摘 要 文中采用 AAO+深度处理工艺对上海某大型污水处理厂进行了提标改造, 分析了改造后水量、水质运行效果, 研究改造后运行中存在的问题并提出改进建议。结果表明, 该污水处理厂在提标改造后出水水质稳定达到一级 A 标准, 主要污染物去除率有较大提升, 其中, 出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 浓度均达到地表 IV 类水标准, 出水氨氮、TP 浓度地表 IV 类水达标覆盖率分别为 99.4%、97.5%。提标改造后工艺运行稳定, 在保证主要污染物去除效果的同时, 改造工艺具有较好的抗冲击负荷能力。

关键词 大型污水处理厂 提标改造 一级 A 标准 AAO 工艺 反硝化深床滤池 运行效能

中图分类号: TU992; X703 **文献标识码**: A **文章编号**: 1009-0177(2022)04-0075-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.04.012

Operation Efficiency Analysis of Upgrading and Reconstruction of a Large-Scale WWTP in Shanghai

CHU Jie

(Shanghai Youlian Zhuyuan No. 1 Sewage Treatment Investment & Development Co., Ltd., Shanghai 200137, China)

Abstract In this paper, AAO + advanced treatment process was used to upgrade and reconstruct a large-scale wastewater treatment plant (WWTP) in Shanghai. The operation effect of water quantity and quality after transformation were analyzed. The problems existing in the operation after transformation were studied, and improvement suggestions were put forward. Results showed that after the upgrading and reconstruction, effluent quality was stable and reached first A criteria, and the removal rate of main pollutants was greatly improved. The effluent of COD_{Cr} , BOD_5 , ammonia nitrogen and TP content can reach the standard of class IV surface water. And the coverage rates of effluent ammoniacal nitrogen and TP were 99.4% and 97.5%, respectively. After upgrading, the process run stably, and had good impact load resistance while ensuring the removal effect of main pollutants.

Keywords large-scale WWTP upgrading and reconstruction first grade A criteria AAO process denitrification deep-bed filter operation efficiency

为落实国家水污染防治行动计划, 推进污染减排, 改善水环境质量, 近年来众多污水处理厂通过工艺改造、减量升级等措施进行提标改造^[1-2], 提高出水标准。

本文针对上海某大型污水处理厂提标改造项目, 介绍其工艺类型选择及主要改造内容, 分析改造后水量、水质运行效果, 研究改造后运行中存在的问

题并提出解决措施, 以期类似污水处理厂的提标改造及优化运行提供参考。

1 污水厂概况

上海某大型市政污水处理厂提标改造前设计污水处理规模为 170 万 m^3/d , 污水处理采用带硝化功能的活性污泥工艺, 设计出水水质要求为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 二级排放标准^[3-4]。该厂于 2017 年 12 月进行提标改造工程施工建设, 2019 年 12 月改造完成。提标改造后设计规模为 110 万 m^3/d , 污水处理采用 AAO+深

[收稿日期] 2021-08-21

[作者简介] 储杰(1987—), 男, 工程师, 主要从事污水处理工作, E-mail: jiejiechudan@126.com。

度处理工艺,出水水质达到一级 A 排放标准,提标改造设计进出水水质如表 1 所示。

表 1 提标改造前后设计的进出水水质

Tab. 1 Designed Water Quality of Influent and Effluent before and after Upgrading and Reconstruction

项目	提标改造前		提标改造后	
	设计进水	设计出水(二级)	设计进水	设计出水(一级 A)
$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	250.0	100	345.0	50
$\text{BOD}_5/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	120.00	30	160.00	10
$\text{TN}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	/	/	40.00	15
氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	30.00	25(30)	30.00	5(8)
$\text{SS}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	150	30	210	10
$\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	4.00	3	6.00	0.5

注: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

2 提标改造前水量、水质

2.1 处理水量

对该厂提标改造前 2017 年 1 月—12 月每日处理水量进行统计分析,主要参数如下:平均处理量为 $162.5\text{ 万 m}^3/\text{d}$,符合该厂设计处理规模;最小处理量为 $124.9\text{ 万 m}^3/\text{d}$;最大处理量为 $187.7\text{ 万 m}^3/\text{d}$;超 150 万、160 万、170 万 m^3/d 覆盖率分别为

81.1%、64.1%、27.4%。

处理水量主要在 $150\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 以上,其中 $150\text{ 万}\sim 170\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 覆盖率为 53.7%。

2.2 进出水水质

表 2 为提标改造前 2017 年 1 月—12 月每日进出水水质统计分析。

由表 2 可知,主要污染物出水指标均达到设计

表 2 提标改造前 2017 年进出水水质统计分析

Tab. 2 Statistical Analysis of Influent and Effluent Quality in 2017 before Upgrading and Reconstruction

项目	进水平均值/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水平均值/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	二级达标率	一级 B 达标率	一级 A 达标率
COD_{Cr}	265.0	31.6	100.0%	100.0%	100.0%
BOD_5	152.70	7.60	100.0%	100.0%	81.9%
TN	29.90	15.30	100.0%	79.2%	52.0%
氨氮	21.00	7.90	100.0%	97.5%	15.1%
SS	154	13	100.0%	100.0%	24.4%
TP	4.40	0.60	100.0%	100.0%	33.4%

二级排放标准,出水水质提高需进一步去除有机物、强化脱氮除磷效果、保证 SS 及 TP 去除效率。

3 提标改造工艺

3.1 工艺流程

提标改造前,该污水厂采用带硝化功能的传统 AO 工艺,只设计污泥回流,没有混合液内回流。对 2017 年污水厂实际进水水质中主要污染物对比分析,结果显示: $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$ 为 0.57,处于可生化与易生化性之间^[5-6]; BOD_5/TN 为 5.10,可采用生物脱氮,同时增加硝化液回流比^[7]; BOD_5/TP 为 34.86,出水 TP 执行一级 A 标准,但污水中有机物

无法满足同时脱氮除磷的效果,同时考虑到磷释放的问题,提标改造工程拟采用外加化学除磷药剂以保证去除效果^[8-10]。

考虑到该厂作为大型污水处理厂,优先选择成熟可靠、具有丰富运行经验的 AAO 活性污泥法作为核心工艺,同时末端增加深度处理设施并投加聚合氯化铝(PAC),保证出水稳定达到一级 A 标准。

提标改造后的污水处理工艺流程如图 1 所示。

3.2 主要改造内容

此次提标改造工程采用减量升级的方案,改造内容主要包括 3 个方面:一是在 AAO 生化系统中增

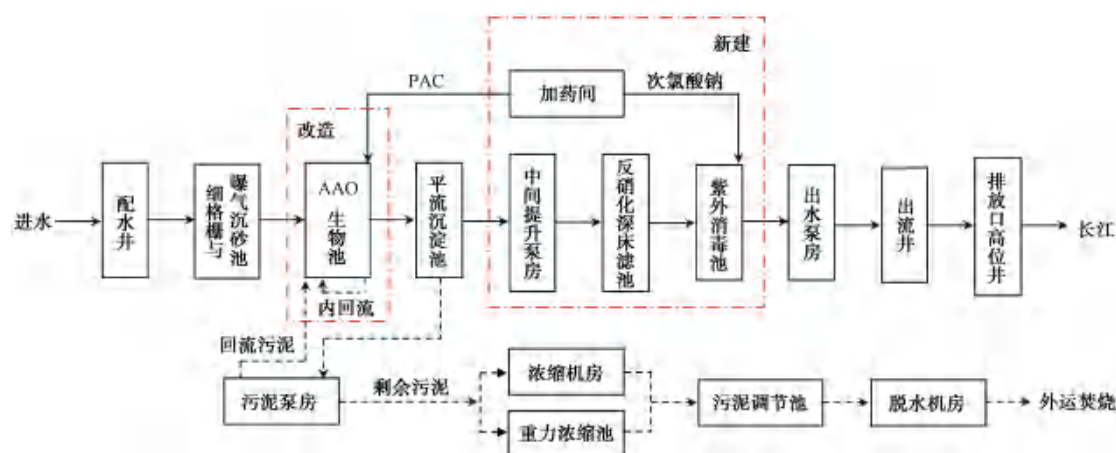


图 1 提标改造后的污水处理工艺流程图

Fig. 1 Flow Chart of Wastewater Treatment Process after Upgrading and Reconstruction

加了混合液内回流;二是增加了以反硝化深床滤池为主体的深度处理系统;三是增加了除臭系统。此外,对剩余污泥处理系统的部分离心脱水机进行更换,以满足改造后污泥脱水要求。

①生物处理系统(改造)

在原有生物处理系统构筑物基础上采用 AAO 生物池,其由厌氧、缺氧、好氧组成。本构筑物在提标改造过程中分组改造,除正进行改造的生物池外,其他生物池均正常使用。改造后强化生物池脱氮除磷功能,加强土建结构,增加内回流设备。

系列一、系列二设计参数如下:设计处理量分别为 52 万、58 万 m^3/d ;平均流量下水力停留时间分别为 14.4、14.9 h;各阶段下厌氧池:缺氧池:好氧池水力停留时间分别为 1.7:3.5:9.2、1.9:3.7:9.3。

②中间提升泵房(新建)

新建中间提升泵房,提升二沉池出水,满足后续深度处理水力高程需求。抽芯式轴流泵 6 台,每台参数如下:流量为 14 904 m^3/h ;扬程为 7.0 m;功率为 400 kW;电机额定电压为 6 kV。

③深度处理单元(新建)

新建深度处理单元,采用反硝化深床滤池处理工艺。新建滤池 2 座,每座滤池共 32 格。主要包括反硝化深床砂滤成套设备(含滤板、滤料、承托层、布气布水、不锈钢堰板等)、罗茨风机、反冲洗水泵、反洗废水泵、空压机、储气罐等。

反冲洗参数:气洗强度为 90 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;水洗强度为 15 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;单格反冲洗气量为 164.7 m^3/min ;反冲洗周期为 24~48 h(根据滤料堵塞情况

调整)。反冲洗程序:气洗 200 s 后,气水联合冲洗 600 s,继续水洗 400 s。

④紫外消毒池(新建)

原有紫外消毒池废置,仅作为平流沉淀池出水渠道至中间提升泵房。新建紫外消毒池作为深度处理尾水消毒设施。

⑤加药间(新建)

新建的加药间接收、存储 30% PAC 原液、10% NaClO 原液。PAC 原液稀释至 10%后泵送投加至曝气生物池出水渠(设计 30%PAC 投加量为 40 mg/L),用于化学除磷;NaClO 原液投加至紫外消毒池出水端(设计有效氯投加量为 0.5 mg/L),用于强化尾水消毒。

⑥除臭系统(新建)

在细格栅及曝气沉砂池、生物池、污泥脱水区域新建除臭系统,对构筑物进行加盖(罩)密封、负压抽吸,采用分散布置集中除臭方式,除臭工艺采用“生物滤池+预洗涤+离子氧化+除臭液活性吸收”四级除臭工艺,对污泥浓缩机房和污泥脱水机房辅以离子送风工艺增强除臭效果。

4 提标改造后运行效果

4.1 提标改造后处理水量

该厂提标改造后 2020 年 1 月—12 月每日实际处理水量如图 2 所示。

由图 2 可知,2020 年处理水量在 89.7 万~144.3 万 m^3/d ,平均处理量为 114.1 万 m^3/d ,全年每日处理水量超设计覆盖率为 56.7%。最小处理

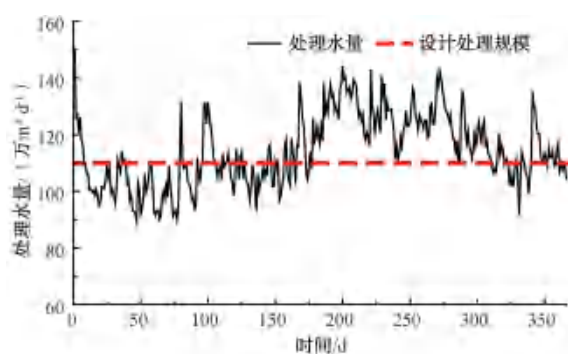


图2 污水处理厂提标改造后2020年处理水量

Fig. 2 Treated Water Capacity after Upgrading and Reconstruction in 2020

量为 89.7 万 m^3 , 在2月春节假日期间, 主要由于上海外来沪务工人员返乡过节较多, 居民生活用水大幅减少; 最大处理量为 144.3 万 m^3 , 正值7月夏季居民生活用水增多, 同时处于上海市汛期期间所致。

6月—10月汛期期间每月平均处理量均超过设计处理规模, 为 $110 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 期间平均日处理量为 $124.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 其中7月—9月每日处理水量均超过 $110 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。处理水量的增多主要是由于旱季污水量的增加及降雨的截流水量^[11], 该厂在污水处理的同时, 兼具上海主城区防汛排涝的功能。

4.2 提标改造后主要污染物去除效果

对该厂提标改造后2020年1月—12月每日进出水主要污染物(COD_{Cr} 、 BOD_5 、TN、氨氮、SS、TP)进行去除效果分析。

①有机物的去除效果

提标改造后 COD_{Cr} 、 BOD_5 去除效果如图3所示。经过AAO+深度处理工艺改造后, COD_{Cr} 出水含量在 $4.0 \sim 29.0 \text{ mg/L}$, 平均含量为 11.0 mg/L , 平均去除效率为 96.0% ; BOD_5 出水含量为 $0.12 \sim 2.89 \text{ mg/L}$, 平均含量为 1.26 mg/L , 平均去除效率为 99.1% 。

由图3可知, 2020年进水 COD_{Cr} 、 BOD_5 分别在 $67.0 \sim 599.0 \text{ mg/L}$ 、 $36.00 \sim 380.00 \text{ mg/L}$, 超标率分别为 25.9% 、 26.3% 。当进水有机物浓度出现较大波动时, 出水仍能稳定达到一级A排放标准, 甚至达到地表Ⅳ类水标准(COD_{Cr} 、 BOD_5 含量分别为 30 、 6 mg/L)。在第 $0 \sim 150 \text{ d}$, 进水 BOD_5 含量有8次超过 200.00 mg/L , 其中有2次超过 300.00 mg/L 。但

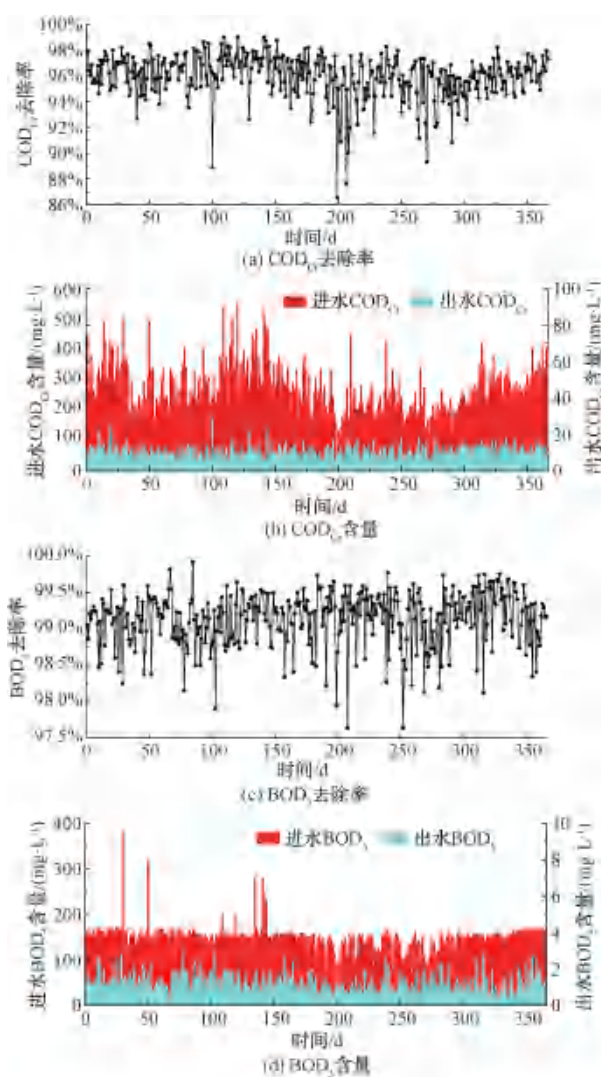
图3 提标改造后2020年 COD_{Cr} 、 BOD_5 去除效果

Fig. 3 Removal Efficiency of COD_{Cr} and BOD_5 in 2020 after Upgrading and Reconstruction

BOD_5 去除率仍可维持在 97.5% 以上, 表明该厂提标改造后处理工艺不仅对有机物具有良好的去除性能, 还具备较好的抗冲击负荷能力。

②TN和氨氮的去除效果

该厂在提标改造后, 曝气池的溶解氧和混合液悬浮固体含量分别为 $3.2 \sim 3.5 \text{ mg/L}$ 和 4.8 g/L 。该污水厂进水 BOD_5/TN 在多数情况下可达到 5.00 以上, 因此, 在整个脱氮过程中无需投加碳源。TN、氨氮去除效果如图4所示。出水水质中TN、氨氮浓度较为稳定, 均符合一级A标准。TN进水含量为 $7.84 \sim 47.20 \text{ mg/L}$, 出水含量为 $1.96 \sim 10.20 \text{ mg/L}$, 平均出水含量为 6.34 mg/L , 平均去除率达到

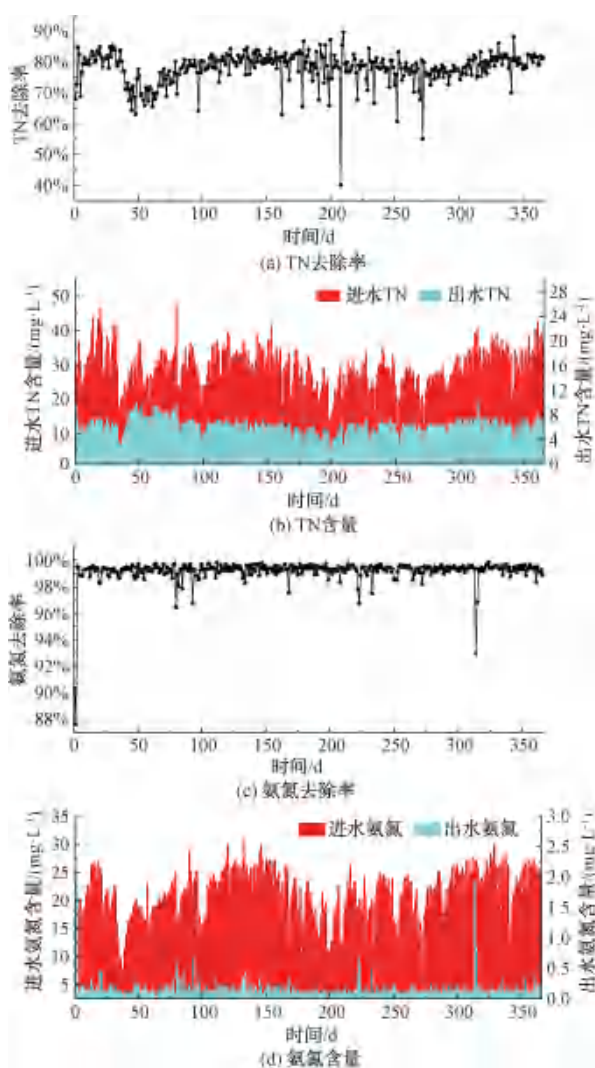


图4 提标改造后2020年TN、氨氮去除效果

Fig. 4 Removal Efficiency of TN and Ammonia Nitrogen in 2020 after Upgrading and Reconstruction

77.9%。虽然TN去除率不太高,但相比提标改造前2017年TN出水浓度降低了58.6%,说明AAO+深度处理工艺具有较好的反硝化脱氮能力。在第200~250 d, TN去除效率有1次降至40.0%以下,此时氨氮去除效率仍可保持在90.0%以上,分析原因可能为当日反硝化过程效率较低,氮以 NO_3^- -N的形式随出水排出。

在氨氮去除方面,出水指标相对稳定,平均去除率达到99.2%。氨氮进水含量在5.35~30.60 mg/L,出水含量为0.03~1.91 mg/L,平均出水含量为0.17 mg/L。其中,出水氨氮含量在0~1.50 mg/L(地表Ⅳ类水标准)覆盖率达99.4%,去除效果较好,表明AAO处理系统具有极好的硝化能力^[12]。

③SS和TP的去除效果

该厂在提标改造后SS、TP去除效果如图5所示。

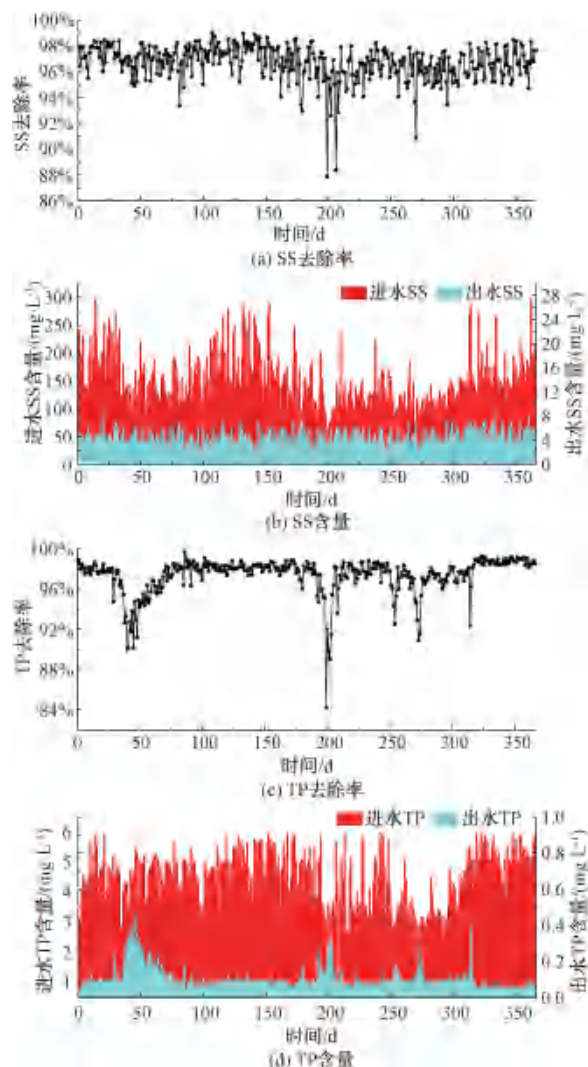


图5 提标改造后2020年SS、TP去除效果

Fig. 5 Removal Efficiency of SS and TP in 2020 after Upgrading and Reconstruction

由图5可知,提标改造后SS、TP去除效果较好,均稳定达到一级A排放标准。进水SS含量在33~298 mg/L,波动较大,平均进水含量为153 mg/L(设计进水SS含量为150 mg/L);处理后出水SS含量为2~8 mg/L,出水平均含量为5 mg/L,平均去除效率96.9%。通过反硝化深床滤池的进一步截留作用,SS去除效果明显,同时表明在提标改造后进水SS浓度波动较大时,反硝化深床滤池具有较好的抗冲击负荷能力。提标改造后,AAO生化系统出水

TN 稳定达到一级 A 标准,所以,反硝化深床滤池目前仅作为去除 SS 作用。

活性污泥中磷含量在 3.3%~5.0%^[7],所以出水 SS 含量对于 TP 的稳定达标起到关键性作用。提标改造后进水 TP 含量为 1.250~5.980 mg/L,出水含量为 0.015~0.460 mg/L,均低于一级 A 标准,平均出水含量为 0.100 mg/L,平均去除效率为 97.4%,其中出水含量为 0~0.300 mg/L(地表Ⅳ类水标准)覆盖率达到 97.5%。在第 150~200 d,TP 的去除率有 1 次降低至 85.0%以下,分析原因可能为当日 PAC 投加量不足,其余时间 TP 去除效果较好,主要是在提标改造后生物除磷和化学除磷协同作用的结果,其中生物池好氧段聚磷菌过量地吸收水中正磷酸盐,在沉淀池中以排放剩余污泥的方式实现磷的去除^[13-14]。同时,提标改造会增加化学除磷药剂 PAC(30%PAC 实际投加量为 0.44 m³/万 m³),实现铝离子与磷酸根离子反应去除可溶性磷,以及铝离子水解形成的絮状络合物对难溶性磷和有机磷等混凝去除^[15]。

4.3 提标改造后除臭系统运行效果

在提标改造后,除臭系统运行稳定,对除臭系统出口气体的氨、臭气、硫化氢、甲硫醇指标进行长期监测,对应含量分别为 0.02~0.18 mg/m³、5~229、未检出、未检出。除臭系统排气筒污染物执行《城镇污水处理厂大气污染物排放标准》(DB 31/982—2016),该标准的排放限值如下:氨含量为 30 mg/m³、臭气含量为 600、硫化氢含量为 5 mg/m³、甲硫醇含量为 0.5 mg/m³,提标改造后的除臭效果完全达到设计指标值。

5 存在问题及解决措施

5.1 除磷药剂投加系统优化控制问题

提标改造后该厂除磷效果较好,运行期间 PAC 投加量依据设计值固定不变,可根据处理水量、出水水质等运行状况适时调节投加量,实现最优控制,提高除磷效能,降低运行成本。

建议可采取以下 2 种措施之一实现除磷药剂投加系统优化控制。(1)使用 P-RTC 自动加药装置,该装置利用智能除磷系统,实现药剂投加量实时自动优化控制,除磷效果显著,可节能降耗、降低生产成本^[16]。(2)优化 PAC 投加系统,利用系统控制程序实时分析进水流量、进出水 TP 及生物池末段(好

氧段)正磷浓度,测算出 PAC 投加量,再根据在线监测系统对 PAC 投加泵需开启台数及相关控制参数进行实时调节,使其与该厂运行工况相匹配,实现 PAC 投加量智能化最优控制,减少药剂运行成本^[17-18]。

5.2 反硝化深床滤池滤床堵塞问题

当反硝化深床滤池进水水质出现水质不均等异常情况,反冲洗程序响应不及时,会发生滤池、滤床堵塞现象,导致滤速降低,出水受限,滤池液位快速升高,出现污水外溢问题。

建议在现有滤池液位与出水闸门开度联动响应控制基础上,增加进水浊度在线检测仪^[19],实现进水浑浊度、液位、出水闸门开度与反冲洗程序四者形成联动响应机制,根据实时水质浑浊度及液位值自动调整出水闸门开度,并适时自动启动反冲洗程序,避免滤池、滤床堵塞现象发生^[20]。

5.3 平流沉淀池季节性藻类问题

该污水厂平流沉淀池运行过程中出现季节性藻类现象,目前主要采用人工定期清理除藻,该措施存在人工耗时耗费较大、效率较低等问题。

建议该厂利用沉淀池上方空间敷设光伏发电系统,减少藻类光合作用,抑制藻类生长^[21-22]。通过沉淀池上方二次开发,充分利用闲置空间,利用太阳能自发自用的生产模式,实现节能减排、降低运营成本,提高污水处理效率^[23-24]。

6 结论

(1)提标改造后,该厂采用 AAO+深度处理工艺运行平稳,通过工艺、设施、设备等改造,2020 年平均处理水量为 114.1 万 m³/d,汛期期间面临大流量进水时,适时改变运行模式,可超负荷稳定运行。

(2)在提标改造后主要污染物去除效果较改造前有较大提升,全面一级 A 达标排放。2020 年平均出水指标 COD_{Cr}、BOD₅、TN、氨氮、SS、TP 含量分别为 11.00、1.26、6.34、0.17、5、0.100 mg/L,平均去除率分别为 96.0%、99.1%、77.9%、99.2%、96.9%、97.4%。其中,出水 COD_{Cr}、BOD₅ 均达到地表Ⅳ类水标准,氨氮、TP 地表Ⅳ类水达标覆盖率分别为 99.4%、97.5%。

(3)运行期间,进水主要污染物指标(除 TP 外)均存在超设计负荷现象,处理后出水仍达到一级 A

(下转第 148 页)

- [9] 钱文明. 肖山水厂臭氧-活性炭深度处理工艺试验研究及工程设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [10] 夏星宇, 徐乐中. 苏南某水厂深度处理稳定运行效能分析研究[J]. 广东化工, 2019, 46(9): 48-49.
- [11] 颜丙乾. 臭氧在自来水厂深度处理中的设计与应用[J]. 环境与发展, 2019(7): 248-249.
- [12] 梅胜权, 陆晓东, 申甄华. 煤基活性炭在饮用水处理中的应用现状及发展趋势[J]. 洁净煤技术, 2018, 24(s1): 76-79.
- [13] 王明玮, 张漫婷. 东线工程对水源地与南四湖生态环境的影响[J]. 科技风, 2020(12): 125-126.
- [14] 王滨勇, 刘楠, 童力. 南四湖流域硫酸盐来源及管控措施分析[J]. 曲阜师范大学学报, 2021, 47(2): 119-123.
- [15] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [16] 侯宝芹, 韩卫, 倪杭娟. 臭氧活性炭深度处理工艺机理及其净水效果研究[J]. 城镇供水, 2018(5): 21-25.

(上接第 80 页)

标准,表明 AAO 生物处理系统及反硝化深床滤池具有较好的抗冲击负荷能力。该厂的运行管理经验对于采用 AAO+深度处理工艺的大型污水处理厂提标改造具有借鉴意义。

(4)针对提标改造后除磷药剂投加、滤床堵塞、季节性藻类问题,适当采取工程技术性改善措施,可节能降耗、降低运行成本。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 曾木海. 污水处理厂污水深度处理工艺综述与案例分析[J]. 净水技术, 2021, 40(5): 75-80, 102.
- [3] 白海梅, 李明杰. 上海市竹园第一、第二污水处理厂提标改造工程案例[J]. 净水技术, 2019, 38(6): 41-45, 50.
- [4] 江霜英, 王雨. 上海市竹园第一污水处理厂升级改造工程[J]. 给水排水, 2008, 34(6): 37-39.
- [5] 刘颖, 张朝辉, 张焕胜, 等. 污水可生化性及其影响因素研究[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(6): 1029-1032.
- [6] 刘永淞. 污水可生化性评价[J]. 中国给水排水, 1995, 11(5): 36-38.
- [7] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程(下册)[M]. 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [8] 邓荣森. 氧化沟污水处理理论与技术[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [9] 温沁雪, 王官胜, 陈志强, 等. 聚合铝铁强化 AAO 系统脱氮除磷研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(6): 945-948.
- [10] 李炜炜, 吴国防, 丁云松, 等. 城市污水厂化学除磷投药点后移的生产性试验[J]. 中国给水排水, 2010, 26(10): 107-109.
- [11] 姚杰. 上海主城区污水处理厂能力提升需求研究[J]. 给水排水, 2020, 46(3): 82-87.
- [12] 王社平, 李立军, 程晓波, 等. 改良型 AAO 工艺处理城市污水的实际效果分析[J]. 中国给水排水, 2014, 30(19): 76-79.
- [13] 计建洪. AAO 生化法+物化法污水处理厂运行效果分析[J]. 水处理技术, 2019, 45(11): 132-134, 138.
- [14] 金虎子, 王韬, 杨永哲, 等. 西安市污水处理厂改良 AAO 工艺的运行的效果分析[J]. 中国给水排水, 2008, 24(22): 86-89.
- [15] 李子富, 云玉攀, 曾灏, 等. 城市污水处理厂化学强化生物除磷的试验研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(12): 3070-3077.
- [16] 贾玉柱, 赵月来, 刘成钰, 等. P-RTC 化学除磷智能实时控制系统在污水厂的应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(8): 87-90.
- [17] 庞洪涛, 薛晓飞, 邱勇, 等. 城市污水化学除磷优化控制技术及其工程应用[J]. 中国给水排水, 2014, 30(23): 16-18.
- [18] 马伟芳, 郭浩, 姜杰, 等. 城市污水厂化学除磷精确控制技术研究工程示范[J]. 中国给水排水, 2014, 30(5): 92-95.
- [19] 刘秀红, 甘一萍, 李鑫玮, 等. 污水再生回用过程中反硝化滤池的实时过程控制与工程应用[C]. 广州: 全国水处理化学大会, 2014.
- [20] 贾超, 许国仁. 生物滤池沿程生物量与反冲洗污泥的研究[J]. 工业水处理, 2015, 35(12): 40-43.
- [21] 王春, 张龙, 戚雷强, 等. 城市给水系统藻类污染及控制措施探讨[J]. 净水技术, 2020, 39(s2): 7-11.
- [22] 高静思, 朱佳, 董文艺. 光照对我国常见藻类的影响机制及其应用[J]. 环境工程, 2019, 37(5): 111-116.
- [23] 陈其伟, 孙一兵, 许光眉, 等. 基于物联网的太阳能农村污水处理技术应用[J]. 水处理技术, 2015, 41(6): 116-118, 122.
- [24] 蒋微微. 太阳能在农村生活污水处理中的应用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(s1): 194-196.