

景兆华, 王向举, 刘海茹, 等. 西北某高浓度城市污水处理厂 SBR 工艺提标改造设计[J]. 净水技术, 2023, 42(4): 169–175.

JING Z H, WANG X J, LIU H R, et al. Design of SBR process for upgrading and reconstruction of an urban WWTP with high concentration wastewater in northwest China[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(4): 169–175.

西北某高浓度城市污水处理厂 SBR 工艺提标改造设计

景兆华^{1,*}, 王向举¹, 刘海茹¹, 马小蕾¹, 康金虎²

(1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃兰州 730000; 2. 中国水务集团有限公司, 陕西宝鸡 721000)

摘 要 随着污染物排放标准的进一步提高, 原有采用序批式间歇活性污泥(SBR)工艺的污水处理厂面临提标改造。文中以西北某高浓度城市污水处理厂提标改造工程为例, 对该厂原 SBR 工艺提标改造方案及实际运行效果进行了介绍, 出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准提标至一级 A 标准。原 SBR 工艺改造为功能分区独立、运行成本低、出水水质稳定、设备利用率高的 AAO 工艺; 增加预处理设施; 强化生物处理并设置二沉池; 后置均质滤料滤池。改造完成后, 该厂出水水质各项指标均优于 GB 18918—2002 中的一级 A 标准, 可为西北该类型污水处理厂的提标改造提供实际工程借鉴。

关键词 SBR 工艺 AAO 工艺 提标改造 均质滤料 微絮凝过滤

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2023)04-0169-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.04.021

Design of SBR Process for Upgrading and Reconstruction of an Urban WWTP with High Concentration Wastewater in Northwest China

JING Zhaohua^{1,*}, WANG Xiangju¹, LIU Hairu¹, MA Xiaolei¹, KANG Jinhu²

(1. CSCEC AECOM Consultants Co., Ltd., Lanzhou 730000, China;

2. China Water Affairs Group Co., Ltd., Baoji 721000, China)

Abstract The original wastewater treatment plant (WWTP) using the sequencing batch reactor activated sludge process (SBR) is facing the upgrading of the standard with the further improvement of the pollutant discharge standard. Taking the upgrading project of an urban WWTP with high concentration wastewater in northwest China as an example, the upgrading scheme of SBR process and the actual operation effect of the plant are introduced in this paper. The effluent quality is upgraded from first class B criteria to first class A criteria of *Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (GB 18918—2002). The original SBR process is transformed into AAO process with independent function zones, low operation cost, stable effluent quality and high equipment utilization rate. In the new process, pretreatment facilities, enhanced biological treatment, secondary sedimentation tank and a rear homogeneous material filter are added. After the renovation, all the effluent quality indices of the WWTP are better than the first class A criteria of GB 18918—2002, which can provide practical engineering reference for the upgrading of this type of WWTPs in northwest China.

Keywords SBR process AAO process upgrading and reconstruction homogeneous filter material micro-flocculation and filtration

序批式间歇活性污泥(SBR)工艺具有占地省、运行方便灵活等优点, 但存在脱氮除磷效率不高、沉淀阶段直接出水水质不稳定等问题, 无法满足高排放标准。随着国家城市水环境提升、黄河流域高质量发展

等行动计划的加速, 污水处理厂出水需要由一级 B 提标至一级 A 或更高标准排放, SBR 工艺的污水处理厂均面临提标改造。AAO 工艺可较大限度地挖掘生物脱氮除磷的潜力, 同时, 预处理增加初沉池、深度处理采用微絮凝过滤可有效保障出水水质达标排放。本文以西北某污水处理厂提标改造为例, 在实际进水水质浓度超出原设计水质浓度较多、预留用地受限、

[收稿日期] 2022-02-22

[通信作者] 景兆华(1983—), 男, 高级工程师, 主要从事市政给排水排水设计及相关研究, E-mail: 271474704@qq.com。

冬季低水温的条件下,介绍 SBR 工艺污水处理厂提标改造方案,并对提标改造后运行效果进行分析,为该类型的污水处理厂提标改造提供参考。

1 工程概况

1.1 污水处理厂现状

西北某污水处理厂主要承担该市东部区域污水集中处理任务,设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际进水为 $4.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,生物处理采用 SBR 工

艺,设计出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 B 标准。

工艺流程为进水→粗格栅→提升泵房→细格栅→旋流沉砂池→SBR 池→紫外线消毒→外排,尾水自流排入渭河。

1.2 实际进出水水质

实际进水水质如图 1 所示。实际进出水水质如表 1 所示。

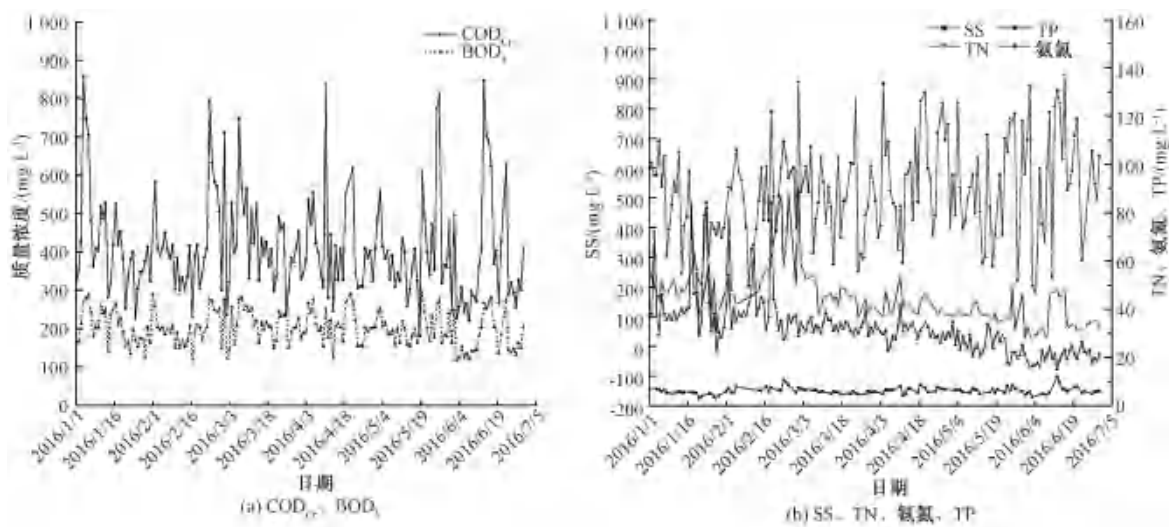


图 1 实际进水水质

Fig. 1 Actual Influent Quality

表 1 实际进出水水质

Tab. 1 Actual Influent and Effluent Quality

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
实际进水水质/(mg·L ⁻¹)	180~850	115~298	200~913	30~92	17~85	3.5~12
实际出水水质/(mg·L ⁻¹)	8~65	8~23	15~40	5~30	15~24	0.7~2.6
原设计进水水质/(mg·L ⁻¹)	≤350	≤180	≤250	≤30	≤25	≤5

近几年实际进水水温为 10.2~25.3℃。

1.3 现状存在问题

进水水质浓度远超原设计进水水质浓度;出水 COD_{Cr}、BOD₅ 大部分时段已经达到一级 B, 局部时段超标;SS、TN、氨氮、TP 不能稳定达到一级 B 标准;出水消毒采用紫外线消毒,粪大肠菌群数经常不达标。

2 提标改造工艺

2.1 进出水水质确定

结合当地正在分阶段实行雨污分流改造、污染源排查等项目,并考虑当下污水处理厂运行情况,提标改造工程进水按照现状进水水质 85%的保障率

进行统计,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。主要进出水水质如表 2 所示。

2.2 提标改造思路及措施

2.2.1 提标改造整体思路

本厂实际进水水质浓度远高于原设计指标,在提标改造中需结合实际水质、污水处理厂现有设施及用地,改造方案必须全厂工艺整体协同,分段改造、节约投资、节省用地。

进水中 SS 浓度过高,其中大部分为无机物,增加预处理措施对 SS 进行沉淀分离,以减轻后续生物处理的负荷,并防止无机 SS 对生物处理系统

表 2 设计进出水水质
Tab. 2 Designed Influent and Effluent Quality

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
本次设计进水水质/(mg·L ⁻¹)	≤550	≤260	≤860	≤65	≤50	≤7
本次设计出水水质/(mg·L ⁻¹)	≤50	≤10	≤10	≤15	≤8(5)	≤0.5

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

的不利影响。预处理系统改造在粗格栅+细格栅+旋流沉砂池基础上增加初沉池。辐流式沉淀池较其他类型沉淀池具有沉淀效果好、排泥顺畅、设备数量少、运行稳定可靠等优点,在国内实际应用案例较多,因此,预处理系统改造增设辐流式初沉池。

实际运行中进水在 COD_{Cr} 较高的情况下,大部分时间内出水 COD_{Cr} 能达到一级 B 标准,甚至更低,证明进水可生化性较好^[1],可通过生物处理去除大部分 COD_{Cr}、BOD₅、TN、氨氮等污染物。提标改造有两种思路,一是现状 SBR 池进行减量并按需扩建 SBR 池;二是改造现有 SBR 工艺为 AAO 工艺。本厂实际运行中 SBR 工艺脱氮除磷效率不高,间歇运行排水方式导致出水水质波动大,排空比水头损失大、浪费能耗,不符合低碳节能政策,推荐改造为功能分区独立、运行成本低、出水水质稳定、设备利用率高的 AAO 工艺,但需对现有的生物池池容进行复核。

增加深度处理设施,进一步去除 SS;在生物除磷的基础上,辅助化学除磷措施,保证出水 TP 达标排放。考虑到后续预留再生水回用,生物学指标通过加氯消毒方式去除,同时保证尾水中余氯含量。常见的污水深度处理工艺为微絮凝过滤或者混凝+沉淀+过滤的组合工艺。微絮凝过滤在原水中投加少量混凝剂后,经过混合设备快速混合后入过滤池单元,微絮体尺寸小,惯性也小,增加同滤料表面的接触机会,形成与滤料的全表面附着,提高了滤料的纳污能力,该工艺具有适用面广、处理费用低、安全实用特点。混凝+沉淀+过滤的组合工艺增加了沉淀单元,即通过混凝沉淀进一步去除二级生化处理系统未能去除的胶体物质和有机污染物,确保过滤效果,因而出水水质更优。采用将 SBR 池改造为 AAO 工艺,生物池出水经过二沉池后 SS 较低(≤20 mg/L)^[2]且稳定,厂区预留面积有限,深度处理可采用用地省、投资小的微絮凝过滤工艺,典型工艺为管式混合器+均质滤料滤池。污水处理厂改造后平面布置如图 2 所示。

污水处理厂提标改造工艺流程为进水→粗格栅→提升泵房→细格栅→旋流沉砂池→辐流式初沉池→AAO 生物池→周进周出二沉池→管式混合器→均质滤料滤池→消毒外排,尾水自流排入渭河。

2.2.2 二级处理能力复核

预处理采用初沉池去除部分污染物,其中 COD_{Cr} 的去除率取值为 25%,BOD₅ 的去除率取值为 20%,SS 的去除率取值为 50%^[3],TN、氨氮的去除率取值为 3%,TP 的去除率取值为 5%,实际运行中初沉池对各污染物去除率如表 3 所示。据此确定生物池进水水质如下:COD_{Cr}≤413 mg/L, BOD₅≤208 mg/L,SS≤430 mg/L,TN≤63 mg/L,氨氮≤49 mg/L, TP≤6.7 mg/L。

生物池中缺氧池、好氧池容积按照《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)中的厌氧/缺氧/好氧法进行核算。污泥质量浓度按 4 000 mg/L,温度冬季按照 10℃,夏季按照 25℃,计算最不利情况下缺氧池容积为 18 031 m³,好氧池容积为 30 091 m³;厌氧区停留时间取 1.5 h,容积为 3 437.5 m³;生物池总容积为 51 559.5 m³。污泥质量浓度按 4 500 mg/L,温度冬季按照 10℃,夏季按照 25℃计算,最不利情况下缺氧池容积为 16 027 m³,好氧池容积为 26 748 m³;厌氧区停留时间取 1.8 h,容积为 3 409.1 m³;生物池总容积为 46 184.1 m³。

污水处理厂内现状 SBR 池 1 座共 4 格,总深度为 6 m,原设计有效水深为 5 m,超高为 1 m,尺寸为 62.3 m×35.0 m×5.0 m,总有效容积为 43 750 m³。现状 SBR 池有效池容不足,须增加现状生物池的有效水深,充分利用超高。对原厂的竖向流程进一步精细计算,生物池有效水深增加 0.5 m 时前端无需再次提升。

2.3 提标改造工艺设计

2.3.1 预处理系统改造

在生物池前新增 2 座直径 φ=24 m 的幅流式初沉池,最大表面水力负荷为 3.2 m³/(m²·h),沉淀时间为 1.18 h,出水堰负荷为 2.55 L/(m·s),采用周

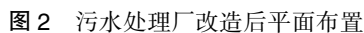


Fig. 2 Layout Plan of WWTP after Reconstruction

表 3 初沉池去除率

Tab. 3 Removal Rate of Primary Sedimentation Tank

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
实际进水水质/(mg·L ⁻¹)	180~560	115~295	130~903	28~65	15~53	3.3~13.0
实际出水水质/(mg·L ⁻¹)	135~410	93~226	70~430	27~63	14.5~51.0	3.1~12.1
去除率	25%~27%	19%~23%	46%~52%	3%~4%	3%~4%	6%~7%

边传动半桥式刮泥机。在初沉池进水管上设置超越管,当SS较低时,可超越初沉池运行,原水中的碳源可直接进入生物池,提高碳源利用率。

2.3.2 二级处理改造

(1) 生物池

本次提标改造将 SBR 工艺改造为 AAO 工艺, 设置厌氧、好氧、缺氧各功能区^[4], 控制生物池污泥浓度为 4 500 mg/L, 设置混合液回流系统; 对工艺流程进一步挖潜, 将现有生物池有效水深增加至 5.5 m, 增加生物池有效容积, 保证足够的水力停留时间, 同时在生物池后增加泥水分离设施(二沉池)。

现状 SBR 池布置如图 3 所示,改造后生物池布置如图 4 所示。

采用隔墙对现状厌氧区进行分隔,减少其停留时间,将分隔出富裕容积调整为缺氧区,SBR 主反应区采用隔墙分隔为缺氧区和好氧区,改造过程中充

分利用池体现有结构,减少对池体结构的改动。

厌氧区增加搅拌机,每个系列增加 6 台,单台功率为 2.0 kW;缺氧区增加推流器,每个系列增加 4 台,单台功率为 5.5 kW;拆除池内原有的曝气系统,在好氧区重新布置曝气系统,池底采用直径 $\varphi=200$ mm 微孔曝气盘,材质为三元乙丙橡胶 (EPDM),曝气管道采用 S304 不锈钢管;好氧区末端设回流泵将混合液回流至缺氧区,回流比为 150%~300%,每个系列设置 2 台,单台参数:流量为 $1\,530\text{ m}^3/\text{h}$,高度为 0.6 m,功率为 5.5 kW,均变频。改造后厌氧区停留时间为 1.8 h,缺氧区停留时间为 8.47 h,好氧区停留时间为 14.12 h;污泥质量浓度为 $4\,500\text{ mg/L}$, BOD_5 污泥负荷为 $0.063\text{ kg BOD}_5/(\text{kg MLSS}\cdot\text{s})$,污泥龄为 12.9 d,污泥产率系数为 $0.37\text{ kg VSS}/(\text{kg BOD}_5)$,污泥回流比为 100%。

好氧区导流墙的设置结合原状空气主管的布

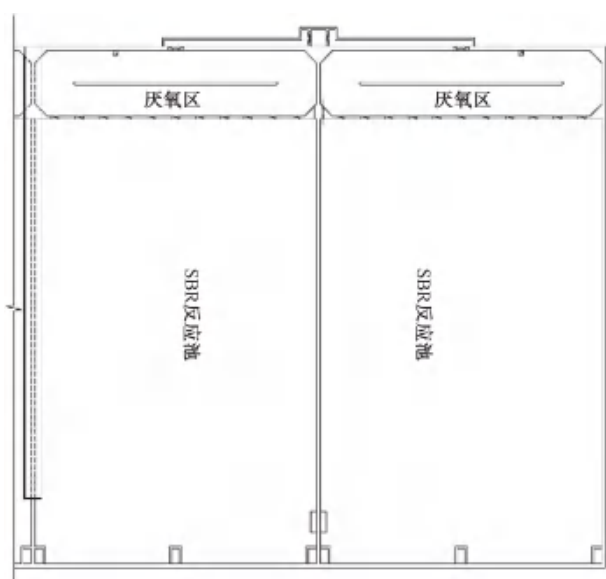


图3 现状SBR池平面布置

Fig. 3 Plane Layout of SBR Reaction Tank

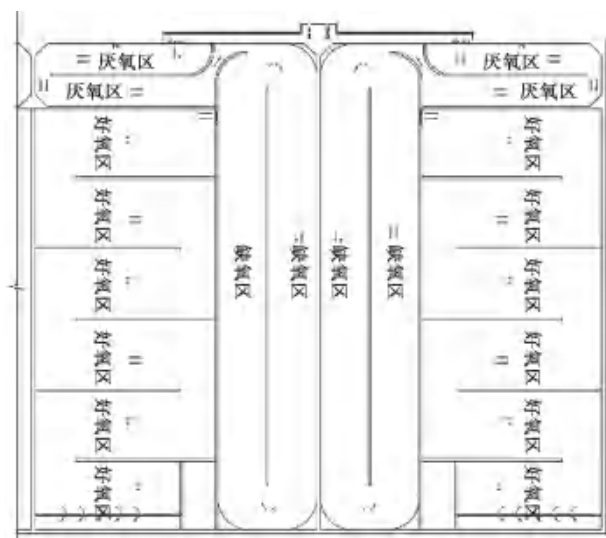


图4 改造后生物池平面布置

Fig. 4 Plane Layout of Reconstructed Reaction Tank

置,充分利用原空气主管,以减少单池改造时间、节约投资。在每序列缺氧区设置碳源投加点,可根据水质情况灵活开启,确保反硝化脱氮效果。

(2) 泥水分离

泥水分离采用周进周出沉淀池,新增2座直径 $\varphi = 42\text{ m}$ 的沉淀池,最大表面水力负荷为 $1.04\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,沉淀时间为 4.0 h ,出水堰负荷为 $2.53\text{ L}/(\text{m} \cdot \text{s})$,采用单管吸泥机。

2.3.3 深度处理设施

深度处理采用微絮凝过滤工艺。滤池采用均质

滤料滤池^[5],共分为8格,单格平面尺寸为 $8.2\text{ m} \times 7.0\text{ m}$,单格过滤面积为 57.4 m^2 ,池体高度为 4.55 m ,峰值滤速为 7.33 m/h ,强制滤速为 8.38 m/h 。滤料采用均质石英砂,有效粒径为 $0.95 \sim 1.15\text{ mm}$,滤床厚度为 1.2 m ,采用长柄滤头配水系统。

反冲洗间与滤池合建,平面尺寸为 $27.1\text{ m} \times 8.4\text{ m}$,层高为 8.0 m ,在反冲洗间内设出水水质分析仪表间与值班间。反冲洗采用气水联合反冲洗和表面扫洗辅助系统,单独气冲强度为 $15\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,历时 2 min ;气水联合冲洗时,气冲强度为 $15\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,水冲强度为 $3\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,历时 4 min ;单独水冲强度为 $6\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,历时 8 min ;表面扫洗强度为 $2\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,伴随反冲洗整个过程;滤池反冲洗周期为 $12 \sim 16\text{ h}$ 。

2.3.4 加药及鼓风系统设施

(1) 加药系统

全厂投加聚合氯化铝(PAC)辅助化学除磷,共设两个投加点,在生物池出水堰后设第一投加点,实现同步除磷,并可提高活性污泥的沉降性能,投加量为 20 mg/L ,投加浓度为 10% ;在滤池总进水管管式混合器上设第二投加点,投加量为 $20 \sim 30\text{ mg/L}$,投加浓度为 10% 。辅助投加聚丙烯酰胺(PAM),投加量为 1 mg/L ,投加浓度为 0.3% 。PAC投加点可根据实际的水质状况、运行效果及药剂费用,灵活单独使用或共同使用。预处理系统在进水SS较高时,在沉砂池出水堰后投加PAC,保障初沉池的沉淀效果,投加量为 10 mg/L ,投加浓度为 10% 。

碳源采用成品醋酸钠,浓度为 20% ,分两处投加:在生物池缺氧区设置一处,最大投加量为 135 mg/L ;在滤池进水渠道设置一处,最大投加量为 10 mg/L 。

PAC和醋酸钠投加均采用隔膜计量泵,变频;PAM投加采用螺杆计量泵,变频。新建加药间一座,将PAC、PAM、醋酸钠投加系统合建,平面尺寸为 $28.6\text{ m} \times 9.9\text{ m}$,层高为 6.6 m 。

(2) 鼓风系统

原厂内曝气鼓风机为罗茨鼓风机,噪音大、能耗高,风量和风压已不能满足改造后生物池的要求。本次将其更换为高效、节能、低噪音的磁悬浮离心鼓风机,根据进出水水质重新核算生物池曝气量,最大气水比为 $7.33:1$,单组生物池曝气量为 $4200\text{ m}^3/\text{h}$ 。现状进水量已趋于满负荷,因此,鼓风机设置3台,2

用 1 备,均变频。鼓风机房利用现状鼓风机房。

2.3.5 消毒设施

原厂消毒为紫外线消毒,受进水水质波动大的影响,SBR 池出水水质不稳定,尤其 SS 出水指标不稳定,导致紫外线灯管透光率差,实际运行消毒效果差且运行费高。本次设计采用消毒效果好、运行成本较低的液氯消毒,液氯投加点在接触消毒池,最大投加量为 8 mg/L,新建加氯间一座,平面尺寸为 22.8 m×9.0 m,层高等为 6.0 m。

消毒池接触时间按照 30 min 进行设计,平面尺寸为 59.3 m×7.9 m,池深为 4.2 m,出水计量设置 1.80 m 宽的巴氏计量槽一套。同时为了便于就近监测出水水质,及时上传监测数据,在接触池上新建在线监测用房两间,一间用于环保部门安装监测设备,一间厂区自用监测出水水质。

2.3.6 原厂流程核算及挖潜

工艺改造中预处理增加初沉池,为了节能降耗,减少提升泵的设置,对现状工艺流程进行了重新核算后,将细格栅出水堰提高,同时减小堰后水头,保证堰后出水能够自流至初沉池、生物池。出厂尾水为充分利用现有尾水外排系统,在二沉池后设置中间提升泵房。

2.3.7 供电系统改造

现状有 10/0.4 kV 变配电室一座(MCC1),含高压配电室、低压配电室、柴油发电室、值班室。为充分利用现有设施,节约投资,电气系统保留原 10/0.4 kV 变配电室及原有 10 kV 高压系统、0.4 kV 低压系统(对部分低压柜进行改造),保留原有 1 000 kVA-10/0.4 kV 变压器,其配电及控制范围为原有建(构)筑物用电设备、新增初沉池、初沉池污泥泵井、改造后 AAO 生物池、鼓风机房的用电设备。

根据厂内工艺流程及用电设备的负荷分布与加药间合建 10/0.4 kV 分变配电室一座(MCC2),给新增建(构)筑物配电,配电及控制范围为加药间、二沉池、二沉池配水井及污泥泵房、中间提升泵房、均质滤料滤池、接触消毒池、反冲洗设备间、废水调节池、加氯间的用电设备。

2.3.8 改造施工顺序

为减少施工期间的运行压力,先行施工初沉池、二沉池、均质滤料滤池、中间提升泵房、接触池等新建(构)筑物,待以上建(构)筑物通过验收后,再分组对生物池进行改造,同时提高现有 SBR 池内的污

泥浓度,必要时在 SBR 池投加 PAC,实现污水处理厂改造期间不停产、不减产,减少施工过程中对环境产生的污染。

3 运行效果及经济分析

实际运行中 PAC 常年投加量为 8~12 mg/L,平均投加量为 10 mg/L;PAM 仅在 1 月—2 月投加,投加量为 1 mg/L。二沉池出水 SS 质量浓度维持在 15~20 mg/L。实际运行中经生物处理后二沉池出水 TP 很低,深度处理段加药量很少,采用微絮凝工艺未发生滤池板结等现象。

提标改造工程实施后,该污水厂目前已经满负荷运行,出水水质优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准,运行效果如表 4 所示。

表 4 提标后的出水水质

Tab. 4 Effluent Quality after Upgrading and Reconstruction

指标	改造后出水水质/(mg·L ⁻¹)	指标	改造后出水水质/(mg·L ⁻¹)
COD _{Cr}	12~40	BOD ₅	3~8
SS	5~8	TN	8~14
氨氮	0.5~4.0	TP	0.2~0.3

该改造工程总投资为 6 798.71 万元,其中土建费用为 2 917.27 万元,设备及工器具费用为 2 214.30 万元,安装费用为 943.18 万元,改造后的水处理成本为 0.81 元/m³,实际运行成本为 0.42 元/m³。

4 结论

(1)污水处理厂提标改造,需充分结合现状设施,对原厂水力流程、水池容积、停留时间等进行核算。从平面及竖向两个方面挖潜,充分利用现有水头及池容,节约能耗及投资。

(2)改造期间应先施工新建建(构)筑物,再分组改造 SBR 池及现状设施,必要时通过投加药剂、提高污泥浓度等措施,最大限度、因地制宜地采用不停产改造方式。

(3)针对进水 COD_{Cr}、SS 浓度高,且波动大的情况,通过设置初沉池等方式强化预处理,可减小生物处理系统进水水质的波动、减小后续构筑物的处理负荷。

(4)污水处理厂提标改造应针对项目的特点,经过进出水水质和存在问题分析,现有设施可利用程度的论证等技术经济比选后确定。本厂因地制宜

将 SBR 工艺改为 AAO 工艺,在现有 SBR 池型内设置隔墙形成厌氧、缺氧、好氧区,强化脱氮除磷能力,且污泥的沉降性能好,二沉池出水 $SS \leq 20 \text{ mg/L}$,为后续深度处理采用微絮凝过滤创造良好条件。

(5)当生物处理出水水质指标较好、后续化学除磷加药量不大、用地有限时,采用微絮凝过滤工艺,用地省、投资省、运行费低,适用于污水厂提标改造。通过提标改造后出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

参考文献

- [1] 邓伟斌. 南方某污水处理厂 CAST 工艺提标改造[J]. 中国给水排水, 2016, 32(16): 77-79.
- DENG W B. Upgrading of cyclic activated sludge technology in a wastewater treatment plant in southern China[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(16): 77-79.
- [2] 吴振国, 孙永军. 污水处理厂提标改造工程设计实例[J]. 净水技术, 2019, 38(1): 93-97.
- WU Z G, SUN Y J. Design case of upgrading and reconstruction project of a wastewater treatment plant[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(1): 93-97.
- [3] 王社平, 鞠兴华, 彭党聪. 城市污水处理厂初沉池对污染物去除效果的研究[J]. 中国给水排水, 2006, 38(5): 96-98.
- WANG S P, JU X H, PENG D C. Study on removal of pollutants from primary settling tanks of municipal wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2006, 38(5): 96-98.
- [4] 赵群英, 张辉, 赵炎. 陇西县城城区污水处理厂改造工程设计及运行[J]. 中国给水排水, 2015, 31(18): 83-85.
- ZHAO Q Y, ZHANG H, ZHAO Y. Design and operation of retrofitting project of sewage treatment plant in Longxi County[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(18): 83-85.
- [5] 张彪. 海滨污水厂提标改造工程水处理工艺设计[J]. 净水技术, 2020, 39(12): 19-24.
- ZHANG B. Design of wastewater treatment process for upgrading and reconstruction project of Haibin WWTP [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(12): 19-24.
- (上接第 160 页)
- [27] 许红师. 沿海城市多维致灾洪涝风险分析与灾防决策模型研究[D]. 天津: 天津大学, 2018.
- XU H S. Multi-dimensional flood risk analysis and disaster prevention decision model for coastal cities[D]. Tianjin: Tianjin University, 2018.
- [28] 王清树, 谭羽非, 齐华云. 燃气管网安全影响因素相互耦合分析[J]. 煤气与热力, 2010, 30(11): 22-26.
- WANG Q S, TAN Y F, QI H Y. Mutual coupling analysis of safety influencing factors of gas pipeline network[J]. Gas and Thermal Power, 2010, 30(11): 22-26.
- [29] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城镇燃气规划规范: GB/T 51098—2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for planning of city gas: GB/T 51098—2015[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.
- [30] 张乃方. 城市燃气管网的风险评价[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- ZHANG N F. Risk assessment of urban gas pipeline network[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [31] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城镇燃气设计规范: GB 50028—2006[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of city gas engineering: GB 50028—2006[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020.
- [32] 董孟能, 何平, 谢自强, 等. 房屋建筑和市政工程勘察设计中质量通病防治措施技术手册[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2019.
- DONG M N, HE P, XIE Z Q, et al. Technical manual of prevention and control measures for common quality problems of housing construction and municipal engineering survey and design[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2019.
- [33] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城市工程管线综合规划规范: GB 50289—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for urban engineering pipelines comprehensive planning: GB 50289—2016[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.