

李鹏,张赛,姚亮,等. 高比例工业污水条件下的城镇污水厂运行诊断及优化技改[J]. 净水技术, 2022, 41(1):103-107,165.
LI P, ZHANG S, YAO L, et al. Operation diagnosis and optimized technical improvement of urban WWTP with high proportion of industrial wastewater[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(1):103-107,165.



扫我试试?

高比例工业污水条件下的城镇污水厂运行诊断及优化技改

李鹏,张赛,姚亮,聂邦

(北京恩菲环保股份有限公司,北京 100038)

摘要 针对北方某S开发区S污水厂出水总氮居高不下导致减产运行,外部水量无法完全处理的问题,对S污水厂的设计工艺和3年运行数据进行分析及现场调研,诊断了S污水厂在运行过程中存在的关键问题并提出优化方案。进水中工业水占比和污染物浓度均超过设计值、系统内回流比不足、两座二沉池串联运行是主要原因,提出了分步实施的技改优化方案,采取改造AO生物池功能分区和优化碳源投加点等措施实现了旱季污水全收集全处理,再通过增加一体化超磁深度处理设备和恢复两座二沉池并联运行方式,使S污水厂雨季时实际处理水量接近 $10\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$,实现了水量提升的需求。

关键词 高比例工业污水 运行诊断 优化技改 多级AO 超磁分离

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2022)01-0103-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.01.016

Operation Diagnosis and Optimized Technical Improvement of Urban WWTP with High Proportion of Industrial Wastewater

LI Peng, ZHANG Sai, YAO Liang, NIE Bang

(Beijing ENFI Environmental Protection Co., Ltd., Beijing 100038, China)

Abstract Aiming at the problem of high TN concentrations in effluent at S wastewater treatment plant (WWTP) in S development zone in northern China, which lead to wastewater could not be completely treated. Design process and three-year operation data are analyzed, and field investigation is carried out, key problems existing in operation process are diagnosed and optimization scheme is proposed. Specifically, the proportion of influent industrial water and the concentration of pollutants exceeded design values, insufficient internal reflux ratio in system and the unreasonable operation of two secondary sedimentation tanks are primary causes resulted in operation problems. Through diagnosis and analysis, the step by step technical improvement optimization scheme are proposed. To realize the full collection and treatment of wastewater in dry season, reforming function partition of AO biological pool and optimizing carbon source dosing point are taken. Then, by adding integrated super magnetic advanced treatment equipment and restoring the parallel operation mode of two secondary sedimentation tanks, the actual capacity of S WWTP is closed to $10\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$, and it meet the demand of wastewater treatment capacity promotion.

Keywords high proportion of industrial wastewater operation diagnosis optimized technical improvement multistage AO super magnetic separation

近年来,全国各地按照国家政策要求开展企业退城入园、退城进郊的工作^[1],形成了初具规模的

城镇工业园区,工业园区逐渐成为流域水污染防治系统的集成单元。而较多城镇区域因缺乏统筹规划,环保基础设施较为薄弱,存在污水收集管网建设滞后于污水处理厂建设的问题,使生活污水的实际收集量较小。随着工业企业的入驻,污水厂处理的工业污水比例逐渐升高。城镇污水厂通常选用

[收稿日期] 2021-05-14

[作者简介] 李鹏(1986—),男,高级工程师,主要从事污水处理厂设计管理及运营优化工作,E-mail: lipeng_mee@163.com。

AO、氧化沟、SBR、生物接触氧化法等工艺^[2-4],设计之初未考虑处理高比例的工业污水的措施,导致很多城镇污水厂出水达不到排放标准。本文以北方某城镇污水厂为例,针对接纳高比例工业污水带来的运行不稳定、处理能力严重降低等问题,通过分析污水厂工艺运行情况,采取一系列技改优化措施,解决污水厂达标达产运行的问题。

1 污水厂概况

1.1 工艺现状

北方某 S 开发区为综合经济开发区,主要发展汽车配件加工、包装加工、食品及农副产品加工、新型建材等。S 开发区与所在镇区合建污水厂(以下简称 S 污水厂),收集处理镇区的生活污水和开发区的生活污水及工业污水,总设计规模为 2.5 万 m^3/d ,一期建设规模为 1.25 万 m^3/d ,总变化系数为 1.47,设计接纳的居民生活污水比例为 80%、工业污水比例为 20%。污水厂采用“水解酸化+接触氧化法”的处理工艺,工艺流程如图 1 所示,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

S 污水厂于 2013 年 10 月投入运行,初期平均处理水量为 3 000 m^3/d ,由于污水收集管网不完善,进厂工业污水比例达 50%以上, COD_{Cr} 、氨氮、TN、悬浮物(SS)指标均超过设计值,造成出水 TN、SS 时常达不到出水标准。系统设计的生物接触氧化池池体

结构单一,不存在缺氧、好氧交替环境,生物脱氮除磷作用较弱,无法满足污染物去除率要求^[5]。因此,生物接触氧化法工艺已不适用于目前水质。S 污水厂于 2015 年期间对现状工艺进行技改,改造思路为系统由接触氧化法改为 AO 活性污泥法,将水解酸化池改造为缺氧池,生物接触氧化池改造为曝气池。在曝气池中好氧微生物氧化分解污水中的 BOD_5 ,同时进行硝化反应,有机氮和氨氮转化为硝态氮并回流至缺氧池,在缺氧环境下反硝化细菌利用污水中的有机碳源和外加碳源进行反硝化脱氮,提高系统的脱氮能力。按照 AO 活性污泥法运行后,二沉池出水无深度处理工艺,较难满足一级 A 排放标准^[6],因此,将现有两座二沉池串联运行,即 1 座作为系统二沉池,1 座与现有混凝池组合为混凝沉淀深度处理工艺,技改工艺流程如图 2 所示。由于受二沉池和深度处理工艺处理负荷限制,系统设计处理能力减半,为 6 250 m^3/d 。主要改造工程量为:拆除水解酸化池和生物接触氧化池的填料,并在水解酸化池增加 12 台功率 $N=4 \text{ kW}$ 的潜水搅拌机;好氧池出水渠增加 3 台内回流泵,单台额定流量 $Q=50 \text{ m}^3/\text{h}$,回流至水解酸化池起端;二沉池剩余污泥管路增加 2 台污泥外回流泵(1 用 1 备),单台额定流量 $Q=126 \text{ m}^3/\text{h}$,回流至水解酸化池起端;两座 $\Phi=18 \text{ m}$ 的二沉池进水管路切改。

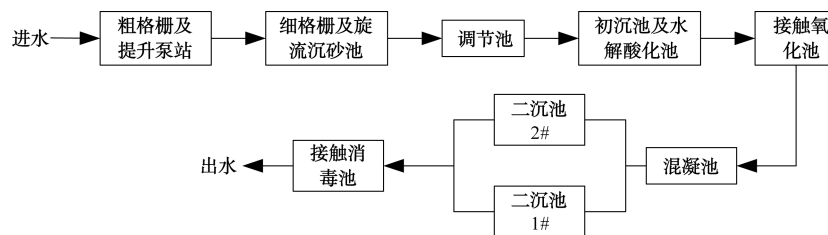


图 1 污水厂工艺流程图

Fig. 1 Flow Chart of Wastewater Treatment Process

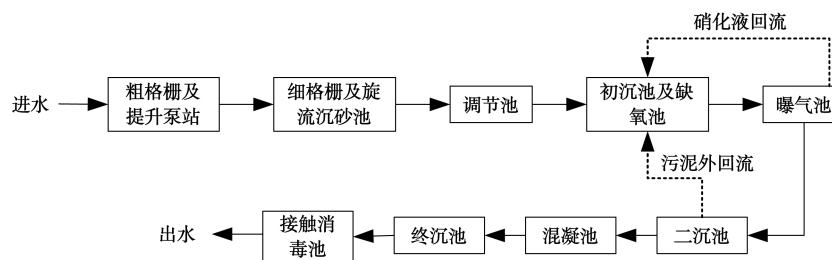


图 2 污水厂技改工艺流程图

Fig. 2 Flow Chart of Technical Improvement of Wastewater Treatment Process

1.2 进出水水质

统计 S 污水厂 2016 年 1 月—2018 年 10 月实际

进水水质、原设计进出水质如表 1 所示,可知实际进水水质除 TP 外均超过了设计值。

表 1 进出水水质

Tab. 1 Influent and Effluent Quality

项目	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)
设计进水水质	200	400	200	25	35	5
设计出水水质	10	50	10	5(8)	15	0.5
实际进水水质	-	420~560	220~360	40~60	50~70	3~5

注:括号内数值为水温≤12℃时的控制指标

1.3 实际处理水量

随着 S 开发区污水管网不断完善,城镇企业和常住人口数量的逐渐增多,厂外水量随之提升。S 开发区市政排水管网虽然按照分流制进行建设,但建设时雨污水管道混接情况严重,另外,S 开发区周边无河渠,雨水无最终出路,因此,雨季时 S 污水厂厂外水量激增。旱季时 S 污水厂厂外水量为 5 000~8 000 m³/d,雨季时厂外水量可达 8 000~10 000 m³/d。由于仅有 1 座二沉池运行,当处理水量为 5 000 m³/d 时,二沉池均时表面负荷为 0.82 m/h,若水量增大到 8 000 m³/d,则二沉池均时表面负荷为 1.31 m/h,负荷过高容易造成跑泥。因此,为保证 S 污水厂的稳定运行,处理水量需控制在 6 000 m³/d 以内,导致上游污水管网经常高液位运行。2019 年 5 月上旬,由于进水氨氮、TN 指标连续超过设计值,出水 TN 接近超标,日进出水指标如表 2 所示。S 污水厂采取降低处理量来保证出水水质的措施,处理量只能达到 4 500 m³/d,核算厂外约有 6 000 m³/d 的污水产生,若无法继续提升处理能力会造成上游污水外溢。

表 2 日进出水水质

Tab. 2 Routine Influent and Effluent Quality

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	氨氮 /(mg·L ⁻¹)	TN /(mg·L ⁻¹)	TP /(mg·L ⁻¹)
实际进水	350~450	48~55	60~65	4~7
实际出水	20~30	0.3~0.6	14~15	0.2~0.3

2 工艺运行诊断

2.1 水质指标

由表 2 可知,S 污水厂进水 COD_{Cr}、氨氮、TN、TP 指标最高值分别超过设计值的 12.5%、120.0%、

85.7%、40.0%,出水最高值距标准限值的安全余量分别为 40.0%、88.0%、0.0%、40.0%,因此,出水 TN 为关键提升指标。

在 S 污水厂实际运行过程中,发现夜间进厂污水污染物浓度较白天更高,因此,对某日夜间进厂污水按照 2 h 间隔进行采样,水质检测结果如图 3 所示。可以推测在夜间企业有超标排放污水的嫌疑。

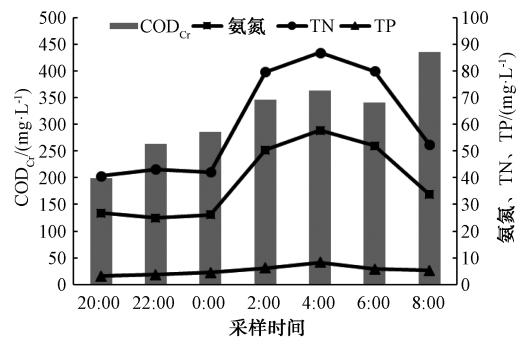


图 3 某日夜间实际进水水质指标

Fig. 3 Actual Water Quality Indices of a Certain Night

综上,S 污水厂进水水质大幅超过设计值,且夜间进水污染物浓度显著增高,对厂内稳定运行造成很大的影响。

2.2 工艺控制指标

2.2.1 生物池容积核算

AO 生物池由 4 条线组成,每条线分割为均匀的 11 格,其中缺氧区为 3 格,好氧区为 8 格,每格按照上下折流方式设置。生物池处理能力按照雨季时最大水量进行计算,即进厂水量为 10 000 m³/d,缺氧区容积 V₁ = 2 625 m³,水力停留时间 HRT₁ = 6.3 h,好氧区容积 V₂ = 7 000 m³,水力停留时间 HRT₂ = 16.8 h,则 AO 生物池总水力停留时间 HRT = 23.1 h。根据室外排水设计标准进行核算^[6],满足 AO 生物池处理要求。

2.2.2 回流比

在目前处理水量为 $4\ 500\ \text{m}^3/\text{d}$ 条件下,根据进水 TN 和出水 TN 控制要求,计算系统内回流比需为 300% ^[6]。系统设有 3 台回流泵,单台额定流量 $Q=50\ \text{m}^3/\text{h}$,核算当前内回流比为 80% ,说明系统内回流量严重不足,曝气区产生的硝酸盐无法足量回到缺氧区进行反硝化脱氮,是导致系统出水 TN 居高不下的主要原因。

二沉池污泥外回流泵(额定流量 $Q=126\ \text{m}^3/\text{h}$)按照目前处理水量核算回流比为 67% ,根据室外排水设计标准,外回流比需控制在 $50\% \sim 100\%$,目前满足要求,但随着处理水量超过 $6\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 后,外回流比将低于 50% 。

2.2.3 碳源

S 污水厂在缺氧区进水端投加液体高效复核碳源,碳源有效含量为 20% ,2019 年 5 月初平均投加量为 $200\ \text{mg}/\text{L}$ 。随着出水 TN 不断升高,投加量增加至 $330\ \text{mg}/\text{L}$ 后 TN 并未有明显的降低,只能通过减少处理水量来保证出水水质。经计算,S 污水厂进水中 $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$ 约为 0.4 , BOD_5/TN 约为 3.10 。理论上 $\text{BOD}_5/\text{TN}>2.86$ 即满足脱氮要求,但污水厂实际运行过程中受缺氧区溶解氧与硝酸盐竞争电子供体的影响,一般需要 $\text{BOD}_5/\text{TN}>5.00$ 才能满足脱氮要求^[7]。按照出水 TN 指标小于 $15\ \text{mg}/\text{L}$ 计算,单位体积水量平均需去除约 $36\ \text{mg}/\text{L}$ 的 TN,则最少需要 BOD_5 含量为 $180\ \text{mg}/\text{L}$,而平均进水 BOD_5 含量约为 $160\ \text{mg}/\text{L}$,单位体积水量需补充投加 $20\ \text{mg}/\text{L}$ 有效碳源,即液体高效复核碳源投加量为 $100\ \text{mg}/\text{L}$ (有效含量为 20%)。但实际碳源投加量远大于计算投加量,因此,系统内回流比不足导致硝酸盐回流量少是主要原因。

2.2.4 溶解氧

进一步分析缺氧区溶解氧的影响。采用 HACH 便携式溶解氧仪 HQ1130 对按水流方向对每条线每格生物池的溶解氧进行测定,结果如表 3 所示。缺氧池溶解氧含量均小于 $0.5\ \text{mg}/\text{L}$,满足缺氧环境下反硝化的要求^[8-9]。但整个系统溶解氧分布不均衡,尤其线 3 和线 4 的末端溶解氧较高,需要进行曝气支管路的阀门调整,使溶解氧控制在合理水平,防止回流污泥携带过多溶解氧破坏缺氧区环境。

表 3 生物池沿程溶解氧的变化

Tab. 3 Changes of DO along Biochemical Pool

取样点	溶解氧/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)			
	线 1	线 2	线 3	线 4
缺氧池 1	0.17	0.12	0.26	0.34
缺氧池 2	0.14	0.10	0.08	0.10
缺氧池 3	0.08	0.07	0.14	0.12
好氧池 1	2.40	2.06	0.12	1.17
好氧池 2	3.38	1.83	4.61	2.34
好氧池 3	0.58	4.25	6.10	5.74
好氧池 4	2.67	4.61	5.72	5.70
好氧池 5	5.63	0.38	0.54	4.92
好氧池 6	5.33	1.25	5.58	5.22
好氧池 7	5.61	4.92	6.13	5.82
好氧池 8	1.86	1.10	4.81	3.80

现有生物池曝气鼓风机 3 台,2 用 1 备,单台参数 $Q=32.3\ \text{m}^3/\text{min}$, $H=49.0\ \text{kPa}$ 。按照处理水量为 $10\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 核算,气水比为 $9.3:1$,满足生物池需氧量的要求^[10]。

3 优化技改及运行效果

根据 S 污水厂运行的紧迫性分两步进行优化技改,第一步确保出水达标情况下提升处理能力至 $6\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$,保障旱季时污水全收集全处理;第二步提升处理能力至 $10\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$,满足处理水量进一步提升的要求。

3.1 一步优化技改措施

根据现有生物池多格构造的池型,将 AO 工艺改造为多级 AO 工艺(AAOAO),即由厌氧区、缺氧区、好氧区、后缺氧区、后好氧区 5 段组成^[11]。生物池第 1 格为厌氧区,停留时间为 $2.1\ \text{h}$;第 2~3 格为缺氧区,停留时间为 $4.2\ \text{h}$;第 4~9 格为好氧区,停留时间 $12.6\ \text{h}$;内回流位置调整为第 2 格起端,每条线第 9 格末端各设置 1 台内回流轴流泵,单台水泵额定流量 $Q=210\ \text{m}^3/\text{h}$,使内回流比在处理水量为 $10\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 时达到 200% ;第 10 格为后缺氧区,停留时间为 $2.1\ \text{h}$,关闭该位置曝气管路阀门形成缺氧环境,为防止活性污泥沉淀,每隔 $4\ \text{h}$ 开曝气 $10\ \text{min}$,后期安装潜水搅拌机;第 11 格为后曝气区,停留时间为 $2.1\ \text{h}$ 。碳源投加改为两点,为缺氧区起端和后缺氧区起端,并以后缺氧区投加为主。

经改造后的多级 AO 工艺特点为:1)可使好氧

区的部分硝化液直接进入后缺氧区进行反硝化脱氮,减少因内回流量不足导致反硝化脱氮能力下降的问题;2)内回流位置调整至第2格起端,形成第1格的厌氧环境,减少硝酸盐对聚磷菌释磷的影响,提高生物除磷效果,同时也减少了深度处理段的化学除磷药剂的投加,技改后6个月运行数据表明节省投加量约为30%;3)碳源主要以后缺氧区投加为主,使厌氧区和缺氧区充分利用原水中的碳源,节约碳源药剂投加量^[12]。

通过对系统每条线的曝气支管路阀门进行调整,使系统溶解氧进行合理控制,具体数据如表4所示。

表4 生物池沿程溶解氧的变化
Tab. 4 Changes of DO along Biochemical Pool

取样点	溶解氧/(mg·L ⁻¹)			
	线1	线2	线3	线4
厌氧池1	0.11	0.32	0.46	0.27
缺氧池1	0.12	0.11	0.24	0.17
缺氧池2	0.12	0.04	0.10	0.11
好氧池1	1.40	1.14	1.27	1.98
好氧池2	2.08	2.33	2.98	3.39
好氧池3	3.17	4.10	4.87	4.79
好氧池4	3.98	3.77	3.65	4.28
好氧池5	2.55	2.25	1.69	2.18
好氧池6	1.86	1.34	1.28	1.69
后氧池1	0.99	0.56	0.69	0.25
后好氧池1	2.01	1.96	2.28	2.06

一步优化技改后经过7d调试期,在保证TN达标情况下处理能力提升至6480 m³/d,具体数据如表5所示。碳源药剂投加量由330 mg/L降至100 mg/L左右。

表5 一步技改运行数据
Tab. 5 Operation Data of One Step Technical Improvement

日期	处理水量/(m ³ ·d ⁻¹)	进水TN/(mg·L ⁻¹)	出水TN/(mg·L ⁻¹)
5月18日	4416	62	15
5月19日	4656	60	15
5月20日	5064	59	12
5月21日	6271	58	11
5月22日	6127	59	11
5月23日	6182	59	10
5月24日	6480	60	12

3.2 二步优化技改措施

经一步技改后,限制水量提升的主要问题是二沉池和深度处理工艺的处理负荷。在处理水量为10000 m³/d条件下若恢复两座二沉池并联运行,则均时表面负荷为0.82 m/h,满足处理要求,但工艺流程缺少深度处理单元。受水量提升要求时间紧的制约,新建深度处理构筑物无法满足要求。超磁分离原理是在传统混凝技术的基础上同步加入磁种,使其与混凝剂、污染物等结合为一体,形成磁性复合体,然后利用自身比重大、沉降快的特点通过磁分离装置,加速固液分离,从而将悬浮物去除,采用PAC混凝剂的同时也起到化学除磷的作用。因此,二步技改新增一套处理规模为10000 m³/d的超磁分离一体化集装箱式设备,具有占地面积小、设备到场完成管路安装后即可使用的优点。同时,更换污泥外回流泵使回流比在处理水量为10000 m³/d条件下达到100%。二步优化技改完成后,雨季典型月的日处理水量如图4所示,二沉池出水TP和超磁分离一体化设备出水TP如图5所示,最高处理水量

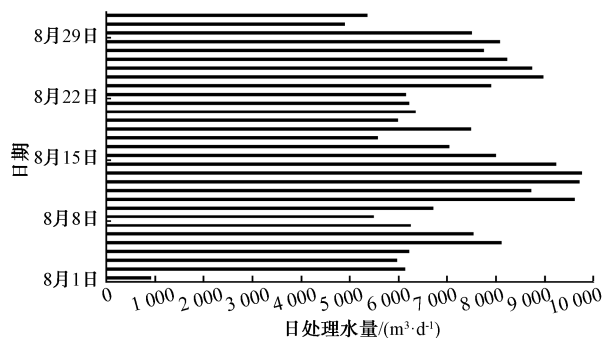


图4 雨季典型月日处理水量

Fig. 4 Daily Water Treatment Capacity of Typical Month in Rainy Season

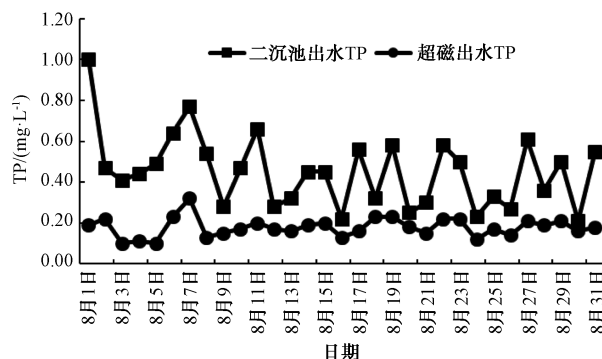


图5 雨季典型月出水TP变化

Fig. 5 Variation of Effluent TP of Typical Month in Rainy Season
(下转第165页)

参 考 文 献

- [1] 何春晓,王妍,魏晓霞.水中 Cr^{6+} 含量的测定[J].广州化工,2019(10):93-95.
- [2] 张云,陈晓燕.地表水环境中六价格的测定研究[J].应用化工,2012(2):349-351.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.分析实验室用水规格和实验方法:GB/T

6682—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.

- [4] 中华人民共和国卫生部.生活饮用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范[R].北京:卫生法制与监督司,2001.
- [5] 韦深元,程海燕,韦宇颖.卫生安全试验浸泡水制备条件优化[J].净水技术,2020,39(7):14-17,51.
- [6] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.生活饮用水标准检验方法 金属指标:GB/T 5750.6—2006[S].北京:中国标准出版社,2007.

(上接第107页)

接近 $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$,超磁分离一体化设备出水TP优于一级A排放标准,可见二步优化技改实现了水量的进一步提升。

4 结 论

(1)工艺运行诊断分析表明,S污水厂因进水中工业污水比例和污染物浓度超过设计值,导致原设计工艺不满足处理要求,进一步分析原因主要是生物池改造为AO工艺不满足深度脱氮除磷的要求、二沉池串联运行不满足水量提升的要求、内回流量不足导致TN居高不下和碳源过度投加。针对问题提出了2个步骤,第一步改造生物池功能分区为五段式多级AO工艺,更换回流泵组提高内回流量,增加后缺氧区提高系统反硝化脱氮效果并节省内回流量,优化碳源投加点至后缺氧区可充分利用原水中的碳源进行反硝化。实践表明,五段式多级AO工艺满足深度脱氮除磷的要求且可以节约药剂投加量,碳源药剂投加量由 330 mg/L 降至 100 mg/L 左右,除磷药剂投加量可节约30%左右。第二步恢复两座二沉池的并联运行后,增加1套超磁分离一体化集装箱式设备作为深度处理工艺,具有占地面积小、安装快速便捷的优点,实现了水量进一步提升的需求。实际运行结果表明,在高比例工业污水条件下,S污水厂在确保出水达标情况下处理能力接近 $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$,满足了运营生产的需求。

(2)S污水厂优化技改表明,污水厂运营出现的问题需要详尽分析运行数据以及对各工艺和设备参数进行复核,判断是否满足实际运行条件,并充分利用现有建构物进行改造。建议今后对污水厂进行

全流程水质分析,判断每个工艺段的实际处理效果,为工艺优化调整提供依据。

参 考 文 献

- [1] 杨淇微,陈颖,王亚男,等.工业园区规划建设环境准入与运营管理一体化发展对策建议[J].环境与可持续发展,2016,41(5):16-19.
- [2] 钱宇婷.中小城镇污水处理工艺选择的优化研究[D].成都:西南交通大学,2013.
- [3] 刘智晓,崔福义,丁雷,等.中小城镇高效低耗污水处理工艺的选择[J].给水排水,2006,32(4):32-37.
- [4] 张超,覃敏杰,徐冰心,等.工业废水冲击负荷对污水厂AAO工艺运行影响的对策[J].净水技术,2017,36(7):67-70,86.
- [5] 阳琪琪.A/O生物接触氧化工艺处理城市污水试验研究[D].重庆:重庆大学,2013.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局.室外排水设计标准:GB 50014—2021[S].北京:中国计划出版社,2021.
- [7] 支丽玲,郑凯凯,王燕,等.全流程分析AAO工艺碳源投加减量控制研究[J].水处理技术,2021,47(2):119-121.
- [8] 任周鸣.活性污泥法的工艺参数控制[J].给水排水,2007,33(11):45-50.
- [9] 张莺,周瑜,何一俊,等.城市生活污水从处理高比例工业废水时的运行探索[J].中国给水排水,2013,29(10):95-100.
- [10] 张静,张志渊.MBR工艺运行优化措施和膜污染控制[J].中国给水排水,2019,35(6):117-122.
- [11] 刘冰玉,吴云生,张宝林,等.“七段式”生化组合工艺在污水处理厂提标改造工程中的应用[J].水处理技术,2021,47(1):137-140.
- [12] 金涛,马文明,杨航,等.某工业发达地区乡镇污水处理厂工程设计与运行[J].净水技术,2020,39(11):39-43.