



基于多模式 A²/O 工艺污水处理厂的设计及运行效果

张磊¹, 张福波², 单连斌¹, 王鸯鸯³

(1. 沈阳环境科学研究院, 辽宁沈阳 110167; 2. 辽宁城建设计院有限公司, 辽宁抚顺 113008;
3. 中国环境保护产业协会, 北京 100037)

[摘要] 沈阳市道义污水处理厂三期工程设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。由于污水处理厂服务范围内的排水系统现状以合流制为主, 该项目进水水质、水量波动较大。在分析现有污水处理厂工艺、水质特点及运行情况的基础上, 设计采用预处理+多模式 A²/O+高密度沉淀池+连续流砂过滤工艺。多模式 A²/O 工艺能够实现多种运行方式的灵活切换, 以应对水质波动并提升脱氮除磷效果。“高密度沉淀池+连续流砂过滤”工艺进一步去除总磷和悬浮物, 尾水采用次氯酸钠进行消毒。工程运行结果显示: 设计工艺能够达到设计出水标准, 并且对水质冲击负荷具有良好的适应能力。COD、NH₃-N、TN、TP、SS 的年平均出水质量浓度分别为 25.0、1.16、8.72、0.23、5.41 mg/L。工程总投资为 1.26 亿元, 处理成本为 0.875 元/m³。

[关键词] 多模式 A²/O 工艺; 污水处理厂; 脱氮除磷

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)05-0180-04

Design and performance of a wastewater treatment plant based on multi-mode A²/O process

ZHANG Lei¹, ZHANG Fubo², SHAN Lianbin¹, WANG Yangyang³

(1. Shenyang Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110167, China;
2. Liaoning Urban Construction Design Institute Co., Ltd., Fushun 113008, China;
3. China Association of Environmental Protection Industry, Beijing 100037, China)

Abstract: The design capacity of the third-stage project of Daoyi WWTP in Shenyang city is $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and the design effluent quality meets the first level A criteria specified in the Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918—2002). Due to the fact that drainage system in service area of WWTP was dominated by the combined drainage system in the current situation, the inlet water quality and quantity fluctuated greatly. Based on the analysis of the process, water quality characteristics and operation of the existing WWTP, the design adopted multi-mode A²/O+high-density sedimentation tank+continuous sand filter. The multi-mode A²/O process was able to deal with fluctuant of inflow quality and improve the removal efficiency of nitrogen and phosphorus because it could realize flexible conversion of multiple operation modes. High-density sedimentation tank and continuous sand filter were built for further removal of TP and SS, and the final effluent was disinfected by sodium hypochlorite. The engineering operation results showed that the design process met the design effluent standard and had good adaptability to the impact of water quality. The annual mean values of effluent COD, NH₃-N, TN, TP, and SS were 25.0, 1.16, 8.72, 0.23, and 5.41 mg/L respectively. The total investment of the project was 126 million yuan, and the treatment cost was 0.875 yuan/m³.

Key words: multi-mode A²/O process; wastewater treatment plant; nitrogen and phosphorus removal

1 工程概况

沈阳市道义污水处理厂历经两期工程建设, 一

期设计处理能力为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 于 2010 年投入运营; 二期设计处理能力为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 于 2015 年竣工运行。汇水区域内以大专院校和居民生活区为

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07601-001); 辽宁省揭榜挂帅科技攻关计划项目(2021JH1/10400031); 沈阳市中青年科技创新人才支持计划项目(RC210358); 沈阳市社科联项目(SYSK2021-01-127); 环境微生物四川省重点实验室开放研究基金(KLCAS-2020-2)

主,工业企业为辅。企业以中小型为主,多从事农副产品加工或食品制造行业。

一、二期工程二级处理采用传统A²/O工艺,末端采用高密度沉淀池+纤维转盘滤池作为深度处理单元,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。处理后的尾水排入南小河,最终汇入蒲河。剩余污泥经脱水后含水率下降至80%,用于制备蚯蚓养殖基料。

由于政府对周边地区的开发力度持续加大,污水处理厂已满负荷运行。根据辽宁省和沈阳市的相关规定和要求,同时结合沈北新区的发展规划,污水处理厂需要在原基础上进行扩建,以推动蒲河流域水环境质量持续改善。

2 工程设计

2.1 设计进、出水水质

三期工程建设用地位于污水处理厂的东南侧,设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。通过统计分析一、二期工程近年来的实际运行数据,将实际进水水质与原设计水质进行比较,确定三期扩建工程设计进水水质。设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。具体设计进、出水水质见表1。

2.2 工艺流程

道义地区的排水管网多为合流制,存在着复杂

表1 设计进出水水质

Table 1 Design influent and effluent quality

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
85%保证率值	206	160	260	32	43	6.0
设计进水水质	≤360	≤180	≤260	≤36	≤45	≤7.0
设计出水水质	≤50	≤10	≤10	≤5(8)*	≤15	0.5

注:*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。

的多源渗漏;分流制管网由于管道私接、雨污混接等原因,也呈现出典型的合流制特征,因此污水处理厂的进水水质、水量存在一定波动。项目要求工艺耐冲击负荷能力强,经过技术经济比选,三期工程二级处理采用多模式A²/O工艺;同时采用乙酸钠作为补充碳源,聚合氯化铝(PAC)作为化学除磷剂,确保工艺的脱氮除磷效果。

综合考虑排放标准、运行管理和技术改造空间等多方面因素,混凝沉淀单元沿用既有工艺路线,采用高密度沉淀池,过滤单元选用连续流砂过滤器。连续流砂过滤器采用单一均质的石英砂滤料,可同时进行过滤和洗砂,无需停机反冲洗,已在城镇污水深度处理领域中得到广泛应用^[1]。连续流砂过滤器具有操作管理简便,出水水质稳定等特点,通过简单改造后还能够具备生物硝化/反硝化功能,可以满足三期工程的技术要求。

污水处理厂三期工程的具体工艺流程见图1。

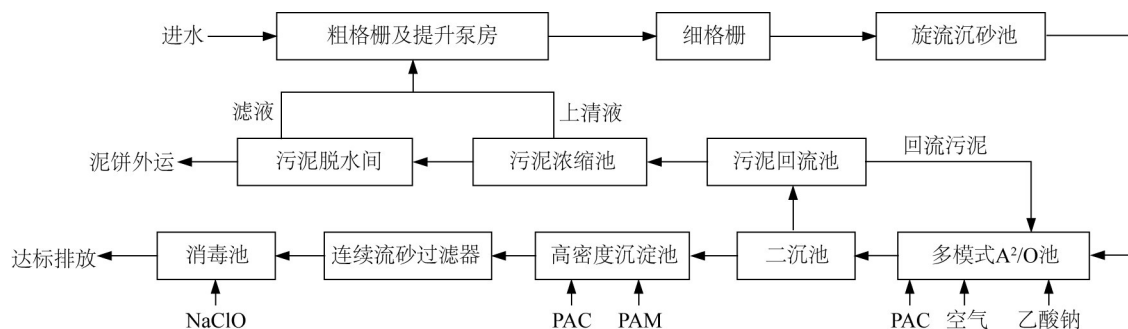


图1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

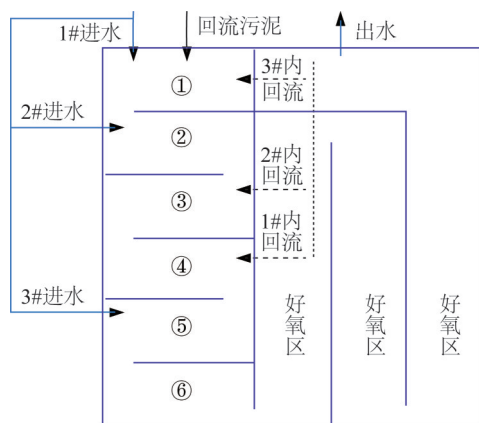
2.3 工程特点

由于受雨污合流影响,污水处理厂进水水质的季节性变化明显,加之汇水区域内的企业污染治理设施运行水平普遍不高,事故排放或超标排放也可能对污水处理厂造成冲击,单一的运行模式难以应对水质变化。

本工程采用的多模式A²/O工艺可以实现常规A²/O工艺、分点进水倒置A²/O工艺、改良A²/O工艺

等多种运行模式,对水质变化的适应性强^[2]。生化池的厌氧区和缺氧区共设置6格,每格池型相同,并各安装双曲面搅拌器1台;同时设置了进水分配渠道和内回流液分配管道,通过控制调节堰门即可实现各运行模式的切换,具体平面布置见图2。

由图2可知,以常规A²/O模式运行时,污水从1#进水点位进入①号池,硝化液经2#内回流点位进行回流,流程为厌氧—缺氧—好氧。传统A²/O工艺

图2 多模式A²/O工艺平面布置Fig. 2 Layout of multi-mode A²/O process

由于厌氧释磷和反硝化过程对基质的竞争,以及回流污泥中携带硝酸盐和溶解氧等问题,难以同时保证脱氮和除磷效果^[3],适用于对脱氮除磷效率要求不高的情况。

以分点进水倒置A²/O模式运行时,污水分别从1#和3#进水点位进入,硝化液全部经3#内回流点位进行回流,流程为缺氧—厌氧—好氧。分点进水倒置A²/O工艺能够根据进水水质调节缺氧区和厌氧区的进水比例,兼顾脱氮除磷对碳源的需求^[4],适用于对生物脱氮要求较高的情况。

以改良A²/O模式运行时,1#和2#进水点位分别进水,硝化液经1#内回流点位进行回流,流程为缺氧—厌氧—缺氧—好氧。改良A²/O工艺利用进水中的碳源消除了回流污泥中硝酸盐对厌氧区的不利影响,保证了厌氧释磷的效果^[5],适用于对生物除磷要求较高的情况。

2.4 主要构筑物及设备

(1)粗格栅间与提升泵房。粗格栅间与提升泵房合建,平面尺寸为18 m×24 m。设计粗格栅渠道2条,每条渠道内安装回转式格栅1台,设备宽度为1.8 m,栅条间隙为20 mm。集水井内安装提升泵4台,2用2备,单泵流量1 000 m³/h,扬程13 m。

(2)细格栅间与旋流沉砂池。细格栅间与旋流沉砂池组合建设,尺寸 $L \times B \times H = 18 \text{ m} \times 18 \text{ m} \times 10 \text{ m}$,双层框架结构。一、二期工程细格栅采用回转式格栅,大量漂浮物翻过格栅顶部后不能落入接料口,导致出水漏渣率高。本工程设计细格栅渠道2条,每条渠道安装阶梯式格栅1台,设备宽度为2.0 m,栅条间隙为3.0 mm。旋流沉砂池尺寸为 $D3.05 \text{ m} \times 1.1 \text{ m}$,水力停留时间为38.3 s。

(3)生化池。新建多模式A²/O生化池1座,分为2组,尺寸 $L \times B \times H = 80.3 \text{ m} \times 73.5 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$,设计停留时间为17.4 h,其中好氧区停留时间为10.8 h。生化池设计污泥负荷为0.066 kg/(kg·d)(以BOD₅计),污泥龄为16 d。设计污泥回流比为50%~100%,内回流比为150%~300%。

(4)二沉池及污泥回流池。二沉池采用周边进水、周边出水的圆形辐流式沉淀池,共2座。单座池体直径为40 m,总池深5.2 m,设计表面负荷为1.14 m³/(m²·h)。

新建污泥回流池1座,半地下式钢砼结构,池体直径14.8 m。污泥回流池配套安装污泥回流泵3台,2用1备,单泵流量为765 m³/h,扬程为5 m;剩余污泥泵2台,1用1备,单泵流量为50 m³/h,扬程为15 m。

(5)高密度沉淀池。新建高密度沉淀池2座,每座平面尺寸为27.2 m×12.4 m。高密度沉淀池混合区水力停留时间为2.5 min,设计PAC投加浓度为10~15 mg/L;絮凝反应区水力停留时间为10 min,设计PAM投加量为1 mg/L;沉淀区为斜管沉淀池,共计安装乙丙共聚蜂窝填料230 m³。

(6)连续流砂过滤。过滤设备采用56套连续流砂过滤器,每套设备砂床高度为2 000 mm,过滤面积为6 m²,峰值流量过滤速度为9.22 m/h。过滤介质采用表面饱满、含硅量高的天然石英砂,粒径为1.2~2.0 mm,性能参数符合《水处理用滤料》(CJ/T 432—2005)相关要求。

(7)接触消毒池。新建接触消毒池1座,尺寸 $L \times B \times H = 60 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$,设计水力停留时间30 min,设计有效氯投加量为10 mg/L。配套PE储药罐2套;隔膜计量泵2台,1用1备,单泵流量为1 000 L/h,扬程50 m,可手动调节冲程。

(8)配套建筑。鼓风机房:选用3台空气悬浮鼓风机,2用1备,变频运行。单台风量为125 Nm³/h,风压为78.4 kPa,配套电机功率为187 kW。加药间:除磷剂选用PAC,投加点分别为生化池末端和高密度沉淀池混合区,设计最大投加量为72 kg/h。助凝剂选用PAM,配置三腔絮凝装置1套,配制质量分数为0.1%,最大投加量为2 708.3 L/h。碳源选用乙酸钠,投加点设置在生化池缺氧段,设计最大投加量为91.25 kg/h。污泥脱水间:选用3台卧式螺旋沉降离心机,2用1备,每天运行16 h。单台处理能力为50 m³/h,进泥含水率99%以上,出泥含水率低于80%。

3 运行效果

污水处理厂扩建工程于2019年11月份开始通

水试运行,2个月后运行趋于稳定。2020年系统平均进水量为 $4.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,最大进水量为 $5.96 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2020年全年实际进、出水水质见表2。

表2 实际进、出水水质

Table 2 Actual influent and effluent quality

mg/L

项目	进水 COD	出水 COD	进水 SS	出水 SS	进水 NH ₃ -N	出水 NH ₃ -N	进水 TN	出水 TN	进水 TP	出水 TP
1月	202±79.51	28.61±5.74	90.31±119.73	4.88±1.73	28.68±4.74	0.96±0.33	31.42±4.19	8.54±1.49	3.20±0.86	0.37±0.05
2月	298±125.27	27.32±7.97	298.64±186.63	4.91±1.24	24.81±2.73	1.16±0.49	28.03±2.13	9.09±1.93	4.00±2.38	0.23±0.04
3月	567±404	31.30±6.06	358.00±155.2	6.27±1.14	29.93±5.93	1.61±0.69	37.35±11.59	11.02±1.24	6.56±6.85	0.26±0.08
4月	278±120.36	27.98±5.87	162.27±84.45	6±1.17	30.97±3.71	1.31±0.40	37.60±7.90	11.72±1.17	4.57±2.66	0.27±0.08
5月	266±118.18	28.63±4.62	231.32±78.65	6.37±1.31	28.61±4.11	1.59±0.57	31.31±4.11	7.62±1.30	3.28±0.48	0.21±0.06
6月	388±190	28.7±7.37	405.00±393	6.40±1.28	31.95±5.53	1.07±0.51	36.29±7.12	7.92±1.64	5.98±3.08	0.24±0.07
7月	306±149.98	22.37±5.92	274.35±150.80	6.09±1.10	28.66±6.85	0.91±0.30	33.54±11.47	7.95±1.19	5.13±2.94	0.25±0.07
8月	201±131.35	19.72±4.44	247.14±148.51	6.48±1.01	16.60±7.34	0.76±0.46	19.67±8.43	5.87±1.89	3.26±1.72	0.20±0.09
9月	194±102.74	14.37±4.57	216.70±127.60	2.83±1.05	16.91±2.07	0.68±0.34	20.55±4.18	6.06±1.05	3.35±1.88	0.16±0.08
10月	223±175.52	21.89±4.74	180±141.98	5.82±1.20	23.29±3.77	1.20±0.73	26.34±5.58	9.15±1.13	3.42±2.54	0.16±0.06
11月	233±202.52	25.30±4.69	152.62±112.88	5.62±1.89	26.65±5.43	1.54±1.04	30.01±7.90	8.62±1.33	3.59±2.36	0.21±0.08
12月	140.00±70.88	23.52±4.93	70±18.28	6.27±1.25	23.18±4.17	1.16±0.62	26.24±4.65	11.08±1.95	2.60±1.00	0.19±0.07

由表2可知,进水各项指标波动剧烈,COD、SS经常超出设计水质,进水总磷浓度也偶有超标情况;同时8—9月份的进水浓度明显低于其他月份,呈现出季节性变化。该厂出水水质稳定,各项指标均能达到或优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,运行数据显示设计工艺对水质变化具有良好的适应性。

4 经济效益分析

本工程总投资约1.26亿元,其中工程费用约1.10亿元,吨水基建投资为2200元。厂区占地47200 m²,吨水用地指标约为0.94 m²/(m³·d),符合《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)相关要求。处理量折算后单位总成本为0.875元/m³,单位经营成本为0.534元/m³,运行电耗约为0.30 kW·h/m³,工程运行费用及能耗较低。

5 结论

道义污水处理厂进水水质、水量波动大,季节性变化明显,并混有部分工业废水,采用运行模式单一的传统生化工艺存在一定的风险性。扩建工程采用多模式A²/O工艺,运行模式能够根据进水条件进行适时切换;同时新增高密度沉淀池+连续流砂过滤池作为深度处理单元,确保出水水质满足设计要求。运行实践表明,本工程耐冲击负荷能力强,脱氮除磷效果稳定,出水各项指标均能达到设计标准,具有良好的环境效益和社会效益。

参考文献

[1] 严显超,郭洪晓,张国宇,等.连续流砂过滤器深度处理市政污

水的中试研究[J].环境工程学报,2014,8(3):955-960.

YAN Xianchao, GUO Hongxiao, ZHANG Guoyu, et al. Pilot-plant study on continuous sand filter for advanced treatment of municipal wastewater [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(3): 955-960.

[2] 刘科军,孙晓炎.多模式A²/O+MBR工艺在滨湖污水处理厂的应用[J].中国给水排水,2021,37(6):81-85.

LIU Kejun, SUN Xiaoyan. Application of multi-mode A²/O+MBR process in Binhu wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(6): 81-85.

[3] 蒙小俊,王秋利,龚晓松.城镇污水生物脱氮除磷工艺存在问题的调控措施[J].工业水处理,2020,40(8):17-22.

MENG Xiaojun, WANG Qiuli, GONG Xiaosong. Control measures for biological nitrogen and phosphorus removal processes of municipal wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(8): 17-22.

[4] 李海华,鄂正阳,史振涛,等.基于总氮达标的河南省某污水处理厂提标改造工艺研究[J].水处理技术,2021,47(4):137-140.

LI Haihua, E Zhengyang, SHI Zhentao, et al. Research on the upgrading process of a sewage treatment plant in Henan Province based on total nitrogen compliance [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(4): 137-140.

[5] 陈斌.工业园区污水处理厂改良型A²/O的设计与运行[J].水处理技术,2019,45(5):129-131.

CHEN Bin. Design and operation of improved A²/O in sewage treatment plant in industrial park [J]. Technology of Water Treatment, 2019, 45(5): 129-131.

[作者简介] 张磊(1986—),博士,高级工程师。E-mail: zhanglei86@syhky.com. 通讯作者:王莺莺,高级工程师。E-mail: wyy@caepi.org.cn.

[收稿日期] 2022-03-21(修改稿)