

张晶瑶. 某污水处理厂进水水质分析与扩建升级改造工艺方案[J]. 净水技术, 2024, 43(6):135-144.

ZHANG J Y. Analysis of influent water quality and process scheme of expansion, upgrading and reconstruction project of a WWTP[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(6):135-144.

某污水处理厂进水水质分析与扩建升级改造工艺方案

张晶瑶*

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要 为支持地区经济、地方产业的快速发展,高质量的经济园区及工业园区在国内纷纷兴建;与此同时,部分园区内的市政污水处理厂来水中存在一定比例的工业废水,增加了出水达标的处理难度,处理工艺需根据来水水质特点进行深入研究。该项目位于苏州市吴江经济开发区,设计规模为 10 万 m^3/d ,服务片区内工业废水占比为 20%~30%,工业废水中 COD_{Cr} 、TN、TP 的冲击对现状污水处理有较大影响。项目根据实地踏勘的水质调研数据进行整理分析,并遵循工艺稳定、运营可靠、经济合理、节约用地的原则,选取了可强化脱氮除磷、强化去除 COD_{Cr} 的“Bardenpho+平流二沉池+曝气生物滤池+高效沉淀池+深床滤池+次氯酸钠消毒”工艺路线,并在进水前端设置应急沉淀池用以辅助异常来水的处理。本厂自 2022 年 7 月投产运行,近一年内出水水质良好,稳定达标。本项目设计方案可为纳管来水中工业废水占有一定比例,并受 COD_{Cr} 、TN、TP 冲击的市政污水处理厂的设计提供借鉴。

关键词 扩建升级改造工程 工业废水 水质调研 强化脱氮除磷 强化 COD_{Cr} 去除

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)06-0135-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.06.016

Analysis of Influent Water Quality and Process Scheme of Expansion, Upgrading and Reconstruction Project of a WWTP

ZHANG Jingyao*

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract In order to support the rapid development of regional economy and local industries, high-quality economic parks and industrial parks have been built at home; meanwhile, in some parks there is a certain proportion of industrial wastewater in the influent of municipal wastewater treatment plants (WWTPs), which increases the difficulty of effluent treatment. The treatment process needs to be further studied according to the characteristics of influent water quality. This project is located in Wujiang Economic Development Zone of Suzhou City, the design scale is 100 000 m^3/d . The industrial wastewater in the service area accounts for 20%~30%. The impact of COD_{Cr} , TN and TP in industrial wastewater has a significant impact on the current wastewater treatment. This project is based on the field survey of water quality survey data collation and analysis, and the principle of process stability, reliable operation, economic rationality, and land saving is implemented. Therefore, the “Bardenpho + horizontal flow secondary sedimentation tank + biological aerated filter + high-efficiency sedimentation tank + deep-bed filter + sodium hypochlorite disinfection” process route is selected, which can strengthen nitrogen and phosphorus removal and COD_{Cr} removal, and set up an emergency sedimentation tank at the front end of the water inlet to assist the treatment of abnormal water. Since the plant was put into operation in July 2022, the effluent quality has been good and stable in the past one year. The design scheme of this project can provide reference for the design of municipal WWTPs which have a certain proportion of industrial wastewater in the piped water and are impacted by COD_{Cr} , TN and TP impacts.

Keywords expansion and upgrading/reconstruction project industrial wastewater water quality investigation enhanced nitrogen and phosphorus removal enhanced COD_{Cr} removal

[收稿日期] 2023-09-04

[通信作者] 张晶瑶(1989—),女,硕士,研究方向为污水处理厂设计,E-mail:zhangjingyao@smedi.com。

本项目位于苏州市吴江经济开发区,为市政生活污水污水处理厂,在现状一、二、三期工程的基础上进

行提标与四期扩建。经实地踏勘了解,此污水处理厂服务片区内工业废水占比为 20%~30%,工业废水的冲击对现状污水处理有较大影响。工业废水经工业企业厂内预处理达到纳管标准后,通过市政管道排入污水处理厂,根据厂内实际运营情况反馈,工业废水排放冲击现象时有发生。

为更好地了解服务区内工业废水对污水处理的影响,本次调研针对服务区内已排入或计划排入本项目污水处理厂的工业企业进行实地走访调查,对企业内工业废水预处理工艺进行了解,结合企业的环境报告、自检报告对收集的数据进行了归纳分析,并综合考虑现状厂运行存在的问题进行了扩建升级改造工艺方案的论证。同时也根据江苏省 2023 年发布的《江苏省工业废水与生活污水分质处理工作推进方案》对本工程提出运营管理建议,供类似项目进行探讨及参考。

1 项目现状及存在问题

本工程为现状生活污水处理厂的提标与扩建。经一、二、三期工程建设,现状污水处理设施设计规模为 6 万 m^3/d ;一期工程建于 2004 年,设计规模为 1.0 万 m^3/d ,采用循环活性污泥(CASS)工艺;二期工程建于 2006 年,设计规模为 2.0 万 m^3/d ,采用 CASS 工艺;三期工程建于 2012 年,设计规模为 3.0 万 m^3/d ,采用 AAO+二沉池工艺。污水厂现状运行水量约为 5.3 万 m^3/d ,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。本次四期工程扩建规模为 4 万 m^3/d ,扩建后总规模达到 10 万 m^3/d ;尾水排放标准提升至苏州特别排放限值标准,于 2018 年启动设计工作,2022 年中竣工投产运行。

现状一、二、三期工艺流程如图 1 所示。

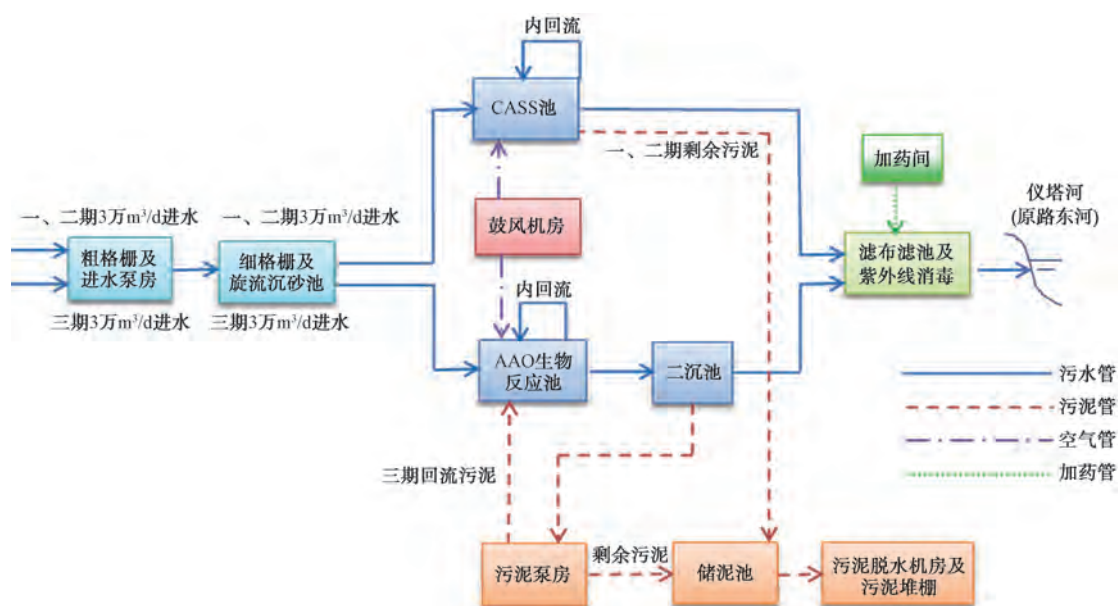


图 1 现状一、二、三期工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Existing First, Second and Third Phase of the Project

本工程污水处理厂服务片区的主要工业产业类型为电子信息、现代服务业、新能源及新材料;且污水厂东侧为吴江化工集中区,为特种化工、颜料、医药等行业,工业企业业态较为丰富,来水成分复杂。

经前期对现场的踏勘、已建工程设计参数的复核及与现场运行管理人员的沟通了解,现状工程存在问题如下:(1)污水处理设施抗工业废水冲击能力弱,厂内存在瞬时进水指标超标现象,对生物反应

池系统造成一定冲击,影响生物反应池出水水质;(2)低温条件下生物反应池处理能力不足,冬季低温条件下,水温在 8~10 $^{\circ}\text{C}$,生物反应池处理效率降低,影响出水 TN、氨氮指标,尤其在 8 $^{\circ}\text{C}$ 左右时, TN、氨氮出水指标均紧贴一级 A 标准达标,基本无波动余地;(3)提标改造面临诸多困难,如现状一、二、三期工程原设计及建设标准与苏州特别排放限值标准存在差距,尤其是一、二期工程二级处理按一级 B 标准设计,却按一级 A 指标考核,全厂规划规

模多次调整,建设用地紧张,加上进水水质波动、冬季水温低、特异性工业废水时有冲击等因素,造成提标改造难度较大。

故本次设计方案须结合本次扩建、远期扩建及今后进一步提标多方面综合考虑。

2 来水水质特点及难点

本次实地水质调研范围为已纳管的一、二、三期及四期计划接入污水厂的工业企业,并对企业环评报告、自检报告及实际运行预处理生产线处理工艺

及运行情况进行资料收集,并结合水厂内对重点排水户近两年的废水排放实测数据进行处理并分析。

针对现场踏勘的 30 家工业企业产生的污染物进行分类归纳,总结类型如下:(1)难降解有机物/COD_{Cr} 浓度高;(2)高盐分废水(主要成分为 Cl⁻、SO₄²⁻);(3)含磷污染物(清洗用脱脂剂);(4)含氮污染物。

工业企业污染物分类、主要产品、产废水工段及存在问题总结如表 1 所示。

表 1 污染物分类总结
Tab. 1 Summary of Pollutants Classification

序号	污染物类型	主要产品	生产废水量	主要污染物	产废水工段	预处理设施	存在问题
1	难溶解有机物/ COD _{Cr} 浓度高	树脂、水处理剂	20~25 m ³ /d	[COD _{Cr}] = 20 000 ~ 50 000 mg/L (甲醇、甲苯、乙二醇)	酯化副产物、废气洗涤废水	AAO	存在有难降解 COD _{Cr} , 反应池停留时间为 20 d, COD _{Cr} 浓度仍较高
2		无尘布	160 m ³ /d	NP-9 乳化剂	清洗无尘布产生的皂液, 泡沫	两道曝气+絮凝沉淀 [聚合氯化铝 (PAC)、聚丙烯酰胺 (PAM)] + 排放池	
3		饮料	150 m ³ /d	[COD _{Cr}] = 700 mg/L; [BOD] = 350 mg/L	酸碱对管道清洗 (H ₂ SO ₄ , HNO ₃) (生产线更换)	pH 调节+凝聚剂气浮+水解酸化+好氧池+膜生物反应器 (MBR)	
4		印刷	3 m ³ /d	进水 COD _{Cr} ≤ 8 000 mg/L; 难溶解有机物	印刷生产过程	物化+生化处理; 调节池+混凝反应池+过滤+水解酸化池+MBR 生化池	
5		磺胺系列产品 (制药厂)	50 m ³ /d	COD _{Cr} 浓度较高、氨氮、TP、苯胺; 高浓度有机废水水量合计约 12.31 m ³ /d; 无机盐含量较大的废水为 9.5 m ³ /d	过滤母液	调节池→铁炭微电解→催化氧化→厌氧→好氧→排放	
6		印刷	5 m ³ /d	水性油墨	印刷; 模板冲洗	物化+生化处理	
7	高盐分废水	有机颜料	200 m ³ /d	钼酸钠、钨酸钠、Cl ⁻ (5 000 mg/L), 不再采用 NaClO 为清洗液	冷凝水冷却水、生产工艺废水	铁碳+pH 调节+气浮+沉淀+AAO	Cl ⁻ 浓度高, 电导率极高
8		颜料	520 m ³ /d	[Cl ⁻] ≈ 3 500 mg/L	酸析废水 (HCl)、过滤废水 (HCl, NaOH)	物化+生化 (电化学氧化+多相催化氧化+一级高效兼氧+高效好氧+二级高效兼氧+活性污泥)	
9		光纤预制棒	120 m ³ /d	[Cl ⁻] _{max} = 8 000 mg/L; SiO ₂ 粉尘 (F ⁻ 通过和 Ca ²⁺ 反应后形成污泥, 作为危废外运处理)	SiO ₂ 制备环节产生 HCl 副产物; 酸洗废水 (Cl ⁻ 、F ⁻); 酸洗废气碱洗喷淋废水 (HCl, HF、三乙醇胺); 气相轴向沉积法 (VAD) 废气处理废水	中和+絮凝+沉淀+压滤+pH 调节+砂滤	

(续表1)

序号	污染物类型	主要产品	生产废水量	主要污染物	产废水工段	预处理设施	存在问题
10		药品	200 m ³ /d	HCl、H ₂ SO ₄ 、OH ⁻ , 废盐 产量为 60 t/a	生产环节;地面冲洗环节	多维电解+多相催化氧化+高效吹氨塔+混凝沉淀+水解酸化+好氧	药物处理流程工艺多且复杂,纳管后需重点排查相关应急措施是否到位
11	TP	金属冲压件	1 665 m ³ /a 5月清洗废水 约为 50 m ³ /d	脱脂剂(TP: 200~1 320 mg/L)、pH、COD _{Cr} 、石油类	原酸洗废水([TP]=1 320 mg/L);清洗废水([TP]=200 mg/L)	仅设置调蓄池(调节pH及消泡)	
12		彩涂板	380 m ³ /a	碱性脱脂剂([TP]=10~40 mg/L) 氨氮:15~35 mg/L	脱脂清洗清洗废水	隔油+化学除磷+生化+气浮	
13		汽车零部件	2.4 m ³ /d	清洗剂;乳化液	清洗环节	盐析破乳+凝聚剂气浮+过滤+吸附+反渗透	
14	TN	中药	/	[TN] _{max} ≈115 mg/L	中药淘洗废水	仅设置调蓄池	

针对各企业排放口实测数据进行水质分析,取工业企业两年的排水数据,实测数据重点检测指标应为 COD_{Cr}、TP、TN 及氯化物、硫酸盐。根据环评要求,现状工业企业皆执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015) A 级纳管标准,以上参数接入水厂的 A 级纳管标准为:(1) COD_{Cr} ≤ 500 mg/L;(2) TP ≤ 8 mg/L;(3) TN ≤ 70 mg/L;(4) 氯化物 ≤ 500 mg/L,硫酸盐 ≤ 400 mg/L。

根据 2015 年—2018 年水厂进水水质分析, COD_{Cr}、TN、TP 皆存在瞬时进水超标的情况,进水 COD_{Cr} 最高值可达 1 888 mg/L,超标集中质量浓度

为 600~800 mg/L;进水 TN 最高值可达 173 mg/L,超标集中质量浓度为 70~90 mg/L;TP 最高值可达 73.5 mg/L,超标集中质量浓度为 15~30 mg/L。水质超标工况以春节前后期间较为集中。叠加现状厂冬季低温生物处理效率低下的工况,增加了现状二级处理设施的处理负担,对现状处理设施的瞬时冲击较强烈,同时增加了出水水质无法稳定达标的风险。

3 工艺路线论证

3.1 设计进出水水质分析

根据 2015 年 1 月—2018 年 2 月现状污水厂的进水水质,统计数据如表 2 所示。

表 2 2015 年 1 月—2018 年 2 月进水水质

Tab. 2 Influent Water Quality since January 2015 to February 2018

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)
平均值	285.4	136.3	175.4	19.0	29.0	6.6
最大值	1 888.0	722.0	1 003.0	42.9	173.0	73.5
最小值	21.7	10.3	35.0	0.1	5.5	0.2
75%累积频率	352.0	157.0	219.0	22.6	33.0	7.3
80%累积频率	374.0	174.0	246.0	23.5	35.2	8.6
85%累积频率	415.0	197.0	280.0	24.5	37.4	10.2
90%累积频率	480.0	246.0	337.0	26.3	41.8	13.2
95%累积频率	605.0	355.0	403.0	28.6	48.9	20.1

通过进水水质分析,可得污水处理厂进水 COD_{Cr}、TP 偏高,瞬时冲击较大,工业废水特征明显,根据 2015 年 1 月—2018 年 2 月现状污水厂的出水水质,统计数据如表 3 所示。

通过出水水质分析,现状污水处理厂一、二、三期工程 COD_{Cr}、氨氮、TN、TP 无法满足本次设计出水

标准,且与本次设计出水标准要求差距较大。故本次工程工艺的选择需结合水质调研数据及现状运行工况,重点考虑对以上指标的控制。

设计进水水质浓度的确定,需考虑以下几个因素:第一方面为工业废水冲击的频率及超标浓度,需考虑一定的设计余量;第二方面为设计期间吴江地

表3 2015年1月—2018年2月出水水质
Tab.3 Effluent Water Quality since January 2015 to February 2018

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)
平均值	32.5	3.0	4.6	0.9	8.3	0.4
最大值	107.0	49.4	48.0	14.7	28.1	11.8
最小值	10.8	0.1	1.0	0.0	2.2	0.1
75%累积频率	38.5	3.7	6.0	1.1	9.8	0.4
80%累积频率	40.6	4.2	6.0	1.5	10.7	0.5
85%累积频率	43.3	4.8	7.0	2.0	11.8	0.5
90%累积频率	46.8	5.9	8.0	2.8	13.6	0.6
95%累积频率	52.4	7.38	9.0	4.27	17	0.7

区正在进行雨污水管网的提质增效工程,经与已完成区域的水厂沟通,污水管网经翻新后,进水雨水渗入的情况大为改善,进水浓度较之前有一定幅度的增加,故需考虑提质增效后进水水质变浓的情况。且由于现状厂对于氮的去除效果有限,且出水水质

不稳定,本次工程需加强除氮效果,故本次设计进水水质氨氮、TN按95%考虑,其余指标按90%频率考虑,出水水质需达到苏州特别排放限值标准,进出水指标如表4所示。

表4 进出水水质主要指标
Tab.4 Main Indices of Influent and Effluent Water Quality

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	粪大肠菌群数/(个·L ⁻¹)
设计进水水质	480	250	350	30	50	15.0	-
设计出水水质	≤30	≤10	≤10	≤1.5(3)	10	≤0.3	≤1000

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

3.2 工艺流程论证

在选取工艺方案时,需充分考虑本项目的特点及难点:(1)冬季低温工况及进水水质存在毒性对生物反应池系统运行效率的影响;(2)工业废水对系统的瞬时冲击,进水COD_{Cr}、TP值偏高;(3)结合项目用地要求,挖潜现状构筑物能力,强化新建二级处理设施能力,深度处理强化硝化、反硝化、除COD_{Cr}、除磷工艺流程,确保出水稳定达标,并将集约化的设计思路运用其中。

1)针对生反池系统运行效率的难点,对二级处理工艺进行选择。倒置AAO工艺、改良型UNITANK工艺、曝气生物滤池工艺和Bardenpho工艺均为较为成熟的二级处理工艺,在国内外有较多成功运行案例。考虑到出水水质需按照高标准的苏州特别排放限值标准,工艺选型设计需在原出水标准基础上重点考虑脱氮除磷功能;且兼顾远期扩建,需考虑集约化设计原则;新建二级处理系统首推除磷脱氮效率高、基建投资和运行费用省、运行管理灵活方便的多点进水Bardenpho工艺作为二级处理单

元,适合高标准污水脱氮的场合。

本工程设计针对该极寒天气须适当延长生物处理停留时间并同步考虑碳源补充投加的措施,单独延长反应池的停留时间不经济。以水温12℃为设计条件,新建Bardenpho反应池建议出水氨氮质量浓度控制在5mg/L以内,TN质量浓度控制在12mg/L以内,水温低于12℃工况主要依靠补充碳源投加实现TN<12mg/L,剩余氨氮、TN、SS和TP依靠深度处理单元解决。在深度处理工艺段,拟选用抗冲击负荷能力强、处理效果稳定的生物膜法进行强化硝化反硝化,并同步去除COD_{Cr}。

2)针对工业废水的瞬时冲击,设计思路如下。

①设置应急处理单元:为解决现状特异性工业废水的瞬时冲击,在进水端新建事故调节池1座,有效容积为10000m³,同时服务于现状三期工程及四期扩建工程,用于缓存事故来水。

针对四期扩建工程,在新建细格栅曝气沉砂池之后、新建生物反应池之前设置应急沉淀池,采用平流沉淀池形式,前端设置混凝搅拌单元,产生的初沉

污泥通过转子泵提升至污泥均质调理池。在进水异常时,将来水引入应急池进行加药及缓冲处理,以保障生物反应池的正常运行。

② 加强 COD_{Cr} 去除:常规生物处理对化工废水中难降解 COD_{Cr} 的去除非常有限,需在工艺流程中增加去除 COD_{Cr} 效率高、抗冲击能力强的单元。首

先选用了臭氧工艺,并在厂内进行了中试。但目前臭氧发生装置的产率较低,且臭氧工艺在本次中试过程中,水中溶解度低,衰减速度快,出水效果难以稳定达标。臭氧连续 5 d 中试,在 COD_{Cr} 本底值为 50 mg/L 的质量浓度下,分别测试反应 60、120、180 min 时的 COD_{Cr} 浓度,测试平均值如表 5 所示。

表 5 臭氧中试结果

Tab. 5 Results of Ozone Pilot Test

时间	反应时间/min	气流量/(L·min ⁻¹)	本底值/(mg·L ⁻¹)	处理后质量浓度/(mg·L ⁻¹)	去除率
9:00	60	1	50	35	30%
10:00	120	1	50	49	2%
11:00	180	1	50	63	-26%

由表 5 可知,由于本厂来水 COD_{Cr} 成分较为复杂,含有成环高分子 COD_{Cr},臭氧工艺去除 COD_{Cr} 效果有限,且随着反应时间的加长,存在过度分解来水中成环高分子 COD_{Cr} 的情况,不适用于本厂 COD_{Cr} 的去除。

故本工程深度处理考虑在高效沉淀池前端,设置占地省效率高、对水质水量的变化有较强适应性的曝气生物滤池,结合混凝沉淀强化去除难降解 COD_{Cr},同时兼具高度硝化功能,强化硝化效果,确保出水达标^[1]。

③ 加强 TP 去除:TP 超标多数是使用脱脂剂及清洗剂造成,本工程 TP 进水浓度较高,单一生物处理已难以满足出水水质要求,必须采用生物处理和物理化学处理相结合的办法,常用的处理方法为混凝沉淀^[2]。

考虑到本工程规模较大,出水水质稳定要求较高,且用地紧张,本工程推荐“高效沉淀池”作为混凝、絮凝、沉淀工艺单元。在药剂的选用方面,除常规的 PAC、PAM 外,还选用了粉末活性炭作为紧急处理药剂,在应急沉淀池、高效沉淀池混凝区、絮凝区 3 点加药除磷保证去除效果。

④ 加强 TN 去除:除采取 Bardenpho 生物反应池+曝气生物滤池加强硝化能力外,本工程拟采用集反硝化与过滤功能合二为一的深床滤池,在缺氧和外加碳源条件下,通过滤池滤料上附着的异氧细菌将污水中硝态氮还原为氮气的生物滤池^[3]。该反应池是集生物脱氮及过滤功能合二为一的处理单元,采用 2~3 mm 石英砂或其他类似粗生物陶粒介质滤料,滤床深度在 1.8 m 以上,滤池可保证出水 SS 质量浓度低于 10 mg/L 以下,同步实现

TN 的脱除,实现高标准的脱氮目标^[4]。

结合以上比选分析,本次深度处理工艺采用“曝气生物滤池+高效沉淀池+深床滤池+次氯酸钠消毒”,针对低温季节强化硝化、反硝化,结合化学除磷混凝沉淀,确保出水 COD_{Cr}、氨氮、TN、TP、SS、粪大肠杆菌等指标稳定达标。

3) 针对现状一、二、三期二级处理构筑物处理效率低下的工况,解决方案如下。

① 由于现状二级处理构筑物设计出水标准与苏州特别排放限值标准存在差距,需对一、二、三期已建 CASS 反应池、AAO 反应池进行改造。本项目设计思路为:通过对现状构筑物的处理能力进行核算后,减容至 4.0 万 m³/d 运行;四期扩建 6.0 万 m³/d 二级处理设施并增加碳源投加系统。一、二期 6 座 CASS 池原设计规模为 3 万 m³/d,通过出水指标对现状设施进行反算,减容至 1.8 万 m³/d 运行。减容运行后,更改原 CASS 反应池运行时序,单批次运行时间由 4 h 改为 6 h。三期 AAO 生物反应池原设计规模为 3 万 m³/d,停留时间仅为 17 h,设计气水比为 5.5 : 1.0,停留时间不足,气水比较低,导致处理效率低下。通过核算,需减容至 2.2 万 m³/d 运行。

② 对现状曝气系统进行检修维护,对老旧漏气的管道进行翻建。并将使用年限较长的罗茨风机更换为控制方便、有多种控制和操作模式、多台组合运行方便的空气悬浮离心风机,提高曝气效率。同时出水接入新建深度处理单元,强化硝化反硝化功能,提高处理效率。

综上所述,本工程工艺流程特点为:进水端设置调节池,同时服务于一、二、三、四期工程;四期工程

预处理设置短时应急沉淀池,应对工业污水瞬时冲击;二级处理选择停留时间长,并可根据进水灵活调整运行工况的 Bardenpho 工艺,使得出水 TN、氨氮达标“准IV类”;深度处理为强化硝化、反硝化,并控制出水 COD_{Cr} 及 TP 指标,同时服务于一、

二、三、四期工程,确保水质达标。同时为响应低碳节能的国家政策,对应急沉淀池及深度处理单元设置了超越功能,在来水水质正常且二级处理达标时,可进行超越。本次扩建升级改造工程工艺流程如图 2 所示。

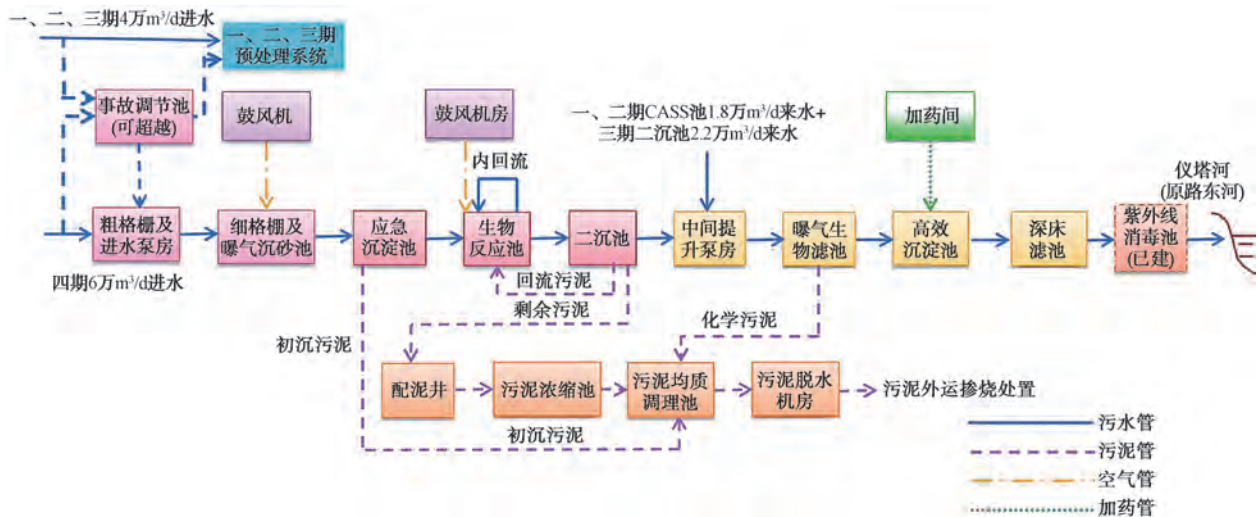


图 2 扩建升级改造工程工艺流程

Fig. 2 Process Flow of the Expansion and Upgrading/Reconstruction Project

4 主要水处理构筑物设计

深度处理单元同时服务于一、二、三、四期工程,处理规模为 10 万 m³/d。根据上述工艺流程,主要水处理构筑物设计参数如下。

(1) 新建事故调节池

新建事故调节池 1 座,有效容积为 10 000 m³,对事故来水进行缓存。并配备 3 台无堵塞潜水泵,2 用 1 备,根据来水水质指标,调节进入后续处理设施的流量,以稳定处理负荷。

(2) 四期新建应急沉淀池

四期新建应急沉淀池采用平流沉淀池形式,设计规模为 6 万 m³/d,平面尺寸为 111.5 m×14.0 m,有效水深为 4.0 m,1 座 4 组,前端设置混凝搅拌单元。按高峰流量设计,高峰表面负荷为 2.97 m³/(m²·h),高峰停留时间约为 1.35 h。初沉污泥通过转子泵提升至污泥均质调理池。初沉污泥泵 2 台,变频,1 用 1 备,单泵流量为 60 m³/h,扬程为 20 m,功率为 15 kW。

(3) 四期新建 Bardenpho 生物反应池

本次四期工程新建 Bardenpho 生物反应池 1 座,设计规模为 6 万 m³/d,1 座 2 组,每组可按 3 万 m³/d 单独运行。停留时间为 23 h,有效水深为 7.0

m,污泥负荷为 0.069 kg BOD₅/(kg MLSS),总泥龄为 18.2 d,气水比为 7.7 : 1.0(理论)。

(4) 四期新建二沉池

本工程二沉池采用平流式二沉池,设计规模为 6 万 m³/d,1 座 10 组,单座二沉池尺寸为 111.5 m×44.5 m,有效水深为 3.5 m。1 座 10 组,每组可按 0.6 万 m³/d 单独运行。二沉池按高峰流量设计,高峰表面负荷为 0.80 m³/(m²·h),高峰停留时间约为 5.0 h。剩余污泥通过转子泵提升至配泥井和污泥浓缩池。剩余污泥泵 4 台,单泵流量为 150 m³/h,扬程为 20 m,2 用 2 备。

(5) 曝气生物滤池

本工程新建曝气生物池 1 座,滤池数量为 6 格,单位面积为 100.81 m²,平均流量下正常运行时最大滤速为 6.89 m/h,平均流量下一个滤池冲洗时最大滤速为 8.27 m/h。峰值流量下正常运行时最大滤速为 8.96 m/h,峰值流量下一个滤池冲洗时最大滤速为 10.75 m/h。滤料高度为 3.7 m,滤料有效粒径为 2.5~2.9 mm。

鼓风机曝气系统为微生物提供氧气,每格曝气生物滤池设 1 台专用的工艺曝气风机,曝气风机采用变频控制,曝气量可以自动调节,可满足在夏季水温

较高和峰值流量发生时曝气生物滤池的需气量。

二级处理效果较好时,可超越曝气生物滤池。

(6) 高效沉淀池

本工程新建高效沉淀池 1 座 2 组,混合时间为 1.5 min,絮凝时间为 10 min。单池沉淀区尺寸为 16 m×16 m,平均流量时表面负荷为 8.2 m³/(m²·h),高峰期表面负荷为 10.6 m³/(m²·h)。单池斜管面积为 191.8 m²,单池斜管高峰表面水力负荷为 14.12 m³/(m²·h),污泥回流比为 2%~4%。

(7) 深床滤池

本次工程建设深床滤池 1 座,滤池数量为 8 格,单格滤池面积为 111.63 m²,滤料厚度为 1.83 m(不包括承托层),滤料规格为 1.70~3.35 mm 石英砂,峰值滤速为 7.3 m/h。二级处理效果较好时,可超越深床滤池。

(8) 乙酸钠(或冰醋酸)溶液补充碳源

设计采用乙酸钠作为外加碳源,服务对象包括一、二、三期生物反应池及本次新建生物反应池,设

计乙酸钠(纯药剂计)总投加量为 35 mg/L。设计考虑溶液投加质量分数为 20%的有效成分,投加点分别在生物反应池的前缺氧区和深床滤池前端混合池,投加量按 20~40 mg/L 计。考虑在冬季水温低于 12 ℃的情况补充投加乙酸钠碳源提高缺氧反硝化速率。

5 运行效果分析

本项目于 2022 年 6 月竣工,一、二、三期提标及四期扩建工程均已投入运行。

2023 年 5 月 24 日,江苏省生态环境厅省住房城乡建设厅印发了《江苏省工业废水与生活污水分质处理工作推进方案》,提出各地要按照实施方案要求,加快推进工业废水与生活污水分类收集、分质处理。随着政策的发布及环保督察管理的日益严格,本项目部分纳管工业企业,例如电镀、化工、印染、原料药制造等排放含重金属、难生化降解废水、高盐废水的,部分已关闭或迁移。2022 年 7 月—2023 年 7 月进水水质汇总如表 6 所示。

表 6 2022-07-01—2023-07-31 进水水质主要指标

Tab. 6 Main Indices of Influent Water Quality since 2022-07-01 to 2023-07-31

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)
平均值	323.47	148.25	166.58	24.28	5.11	33.86
最大值	788.00	305.00	396.00	45.80	19.40	64.40
最小值	112.00	44.00	52.00	11.10	1.43	16.20
75% 累积频率	387.00	179.00	213.00	28.00	6.34	38.60
80% 累积频率	413.00	195.00	236.00	28.80	6.84	40.40
85% 累积频率	433.00	203.00	275.00	29.50	7.35	42.80
90% 累积频率	451.00	218.00	307.00	30.40	8.19	44.70
95% 累积频率	476.00	235.00	347.00	31.60	9.57	48.40

对比表 2 设计期间的进水水质可得,各项指标极端冲击的情况已有较大改善。除了 TN、氨氮外,其余进水指标累积频率浓度均有所降低,但幅度较小。新建构筑物可较充分地发挥其处理作用。此外,厂内可根据来水水质、二级处理设施处理效果,对深度处理工艺进行选择超越,灵活调节运行模式,以响应国家节能降耗的政策。

2022 年 7 月—2023 年 7 月出水水质汇总如表 7 所示。

由表 7 中数据可得,本厂出水全年可稳定达到苏州特别排放限值标准出水要求,同时也可满足最新发布的江苏省地方标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 32/4440—2022) A 标准出水要求,

运行效果稳定,出水水质良好,较改扩建前出水水质有了大幅度的提高。通过本工程的实施,每年可以减少大量排入内河的污染物,改善水体生态环境,增加的削减量如表 8 所示。

本项目污水处理厂于 2022 年获得了苏州市水务局评选的“标杆污水处理厂”称号,并在 2022 年度全市城镇污水处理评价考核中被评定为“优秀”。近年来,围绕安全生产、达标排放、节能低碳等工作,根据来水水质持续优化运行调控,本项目率先实现了污水的规范化、精细化处置,为本地区树立了优秀的榜样。

本工程概算中工程一类费用为 30 289.29 万元(按 2018 年定额)。按照 10 万 m³/d 新建部分运行

表7 2022-07-01—2023-07-31 出水水质主要指标
Tab. 7 Main Indices of Effluent Water Quality since 2022-07-01 to 2023-07-31

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)
平均值	19.29	2.14	6.80	0.14	0.11	6.88
最大值	29.00	5.50	9.00	0.80	0.30	9.63
最小值	10.00	1.10	5.00	0.03	0.03	3.33
75%累积频率	23.00	2.70	7.00	0.16	0.14	7.71
80%累积频率	24.00	3.20	8.00	0.18	0.15	7.83
85%累积频率	25.00	3.60	8.00	0.21	0.16	7.96
90%累积频率	25.00	3.80	8.00	0.23	0.19	8.18
95%累积频率	27.00	4.20	8.00	0.29	0.24	8.48

表8 改扩建后增加污染物削减量
Tab. 8 Increased Pollutants Reductions after Expansion and Reconstruction

指标	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
设计进水指标/(mg·L ⁻¹)	480	250	350	50	30	15.0
已建工程出水指标/(mg·L ⁻¹)	50	10	10	15	5(8.0)	0.5
本次工程出水指标/(mg·L ⁻¹)	30	10	10	10	1.5(3.0)	0.3
四期扩建工程增加削减量/(t·a ⁻¹)	6 570	3 504	4 964	584	416.1(394.2)	214.6
现状一、二、三期提标改造增加削减量/(t·a ⁻¹)	438	87.6	0	109.5	76.7(109.5)	4.4

的成本测算结果:单位水量处理成本为 1.90 元/m³,其中经营成本为 1.43 元/m³。

6 结论

(1)本工程污水处理厂服务片区内工业废水占比为 20%~30%,工业废水的冲击对现状污水处理有较大影响。为更好地选择工艺路线,保证出水效果,对已纳管的一、二、三期工业企业及四期计划接入污水厂的工业企业进行实地走访调研,并对水质数据进行分析,可总结出现状污水处理厂存在工业废水 COD_{Cr}、TP、TN 瞬时冲击的工况,对出水稳定达标产生一定的风险。

(2)针对 COD_{Cr}、TP、TN 的去除,对四期扩建工艺路线进行了分析论证。四期主体工艺选用了运行灵活,强化脱氮除磷效果的“Bardenpho+平流二沉池+曝气生物滤池+高效沉淀池+深床滤池+次氯酸钠消毒”的工艺流程^[5],并在进水前端设置了调节池,用于全厂事故调节。同时,在四期工程中设置了应急沉淀池用以辅助异常来水的处理。深度处理单元在二级处理出水水质良好时可进行超越,响应国家节能低碳的政策。

(3)针对现状污水处理设施低温条件下生物反应池处理能力不足的痛点,对一、二、三期的二级处

理系统进行减容改造,降低处理负担,并增加碳源投加系统。同时对现状曝气系统进行维护,更换曝气风机,提高现状二级处理的运行效率。

(4)类似案例如上海大众嘉定污水处理厂提标改造工程,来水中工业废水占比较高,深度处理单元采取相类似的工艺路线加强脱氮除磷,同样取得了良好的出水效果。本项目的设计思路可对类似纳管来水中工业废水占有一定比例,处理效果受工业废水 COD_{Cr}、TN、TP 冲击的市政污水处理厂的设计提供借鉴。

参考文献

- [1] 董颖博,张曦日,林海,等.曝气生物滤池对微污染水的处理研究进展[J].环境科学与管理,2019,44(6):80-84.
DONG Y B, ZHANG X R, LIN H, et al. Advances in micro-polluted water treatment by biological aerated filter [J]. Environmental Science and Management, 2019, 44(6): 80-84.
- [2] 何文章.高密度澄清池在化工污水处理厂提标改造工程中的应用[J].工业用水与废水,2020,51(6):73-76.
HE W Z. Application of high density clarification tank in upgrading and reconstruction project of chemical sewage treatment plant[J]. Industrial Water & Wastewater, 2020, 51(6): 73-76.
- [3] 白华清,贺阳,袁绍春,等.改进型Bardenpho+反硝化滤池

- 用于污水厂提标改造[J]. 工业水处理, 2021, 41(12): 132-136.
- BAI H Q, HE Y, YUAN S C, et al. Application of improved Bardenpho+denitrification filter in upgradation and reconstruction of municipal sewage treatment plant [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(12): 132-136.
- [4] 王春妹, 施勤章. 反硝化深床滤池在污水厂中的设计应用[J]. 山西化工, 2023, 43(6): 224-226.
- WANG C M, SHI Q Z. Design and application of denitrifying deep bed filter in wastewater treatment plants [J]. Shanxi Chemical Industry, 2023, 43(6): 224-226.
- [5] 宋田翼. Bardenpho +生物滤池(DN +CN)用于污水厂准IV类出水提标[J]. 中国给水排水, 2020, 36(22): 106-109.
- SONG T Y. Bardenpho + biofiltration (DN+CN) process used in wastewater treatment plant with effluent of quasi-IV water standard [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 106-109.
-
- (上接第 111 页)
- WU W, CHENG A H, YE X D, et al. Status quo and issues analysis of study on treatment of surfactant wastewater [J]. Sichuan Environment, 2007, 26(3): 84-86.
- [4] 刘鹏飞. 混凝-电催化氧化联合法去除废水中表面活性剂的研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2020.
- LIU P F. Removal of surfactants from wastewater by coagulation-electrocatalytic oxidation[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2020.
- [5] KHLIFAT K M. Biodegradation of linear alkylbenzene sulfonate by a two-member facultative anaerobic bacterial consortium[J]. Enzyme & Microbial Technology, 2006, 39(5): 1030-1035.
- [6] OLIVEIRA L L D, COSTA R B, OKADA D Y, et al. Anaerobic degradation of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in fluidized bed reactor by microbial consortia in different support materials [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14): 5112-5122.
- [7] 叶秋. 电絮凝气浮技术处理洗浴废水的实验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- YE Q. Test research on the treatment of bathing wastewater by electrocoagulation-flotation [D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.
- [8] BELTRÁN-HEREDIA J, SÁNCHEZ-MARTÍN J. Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 164(2/3): 713-719. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.08.053.
- [9] 李尚尚. 混凝气浮-膜生物反应器处理 LAS 废水实验研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2020.
- LI S S. Experimental study on treatment of LAS wastewater by coagulation air flotation-membrane bioreactor[D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2020.
- [10] 王爽. ABR-人工湿地联合处理十二烷基苯磺酸钠(LAS)废水的研究[D]. 长春: 吉林建筑工程学院, 2010.
- WANG S. The study on the abr-constructed wetland process for the wastewater containing LAS [D]. Changchun: Jilin Institute of Architecture and Engineering, 2010.
- [11] 厉琨. 电絮凝气浮原位处理回用洗浴废水实验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2018.
- LI K. Experimental study on in-situ treatment and reuse bathing wastewater by electrocoagulation-flotation [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018.
- [12] 诸铮, 张光吉, 王坚. 紫外光解氧化去除水样中阴离子表面活性剂[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2003(2): 92-94.
- ZHU Z, ZHANG G J, WANG J. Removal of anionic surfactants from water samples by UV photolysis oxidation [J]. Journal of Shanxi Coal-Mining Administrators College, 2003(2): 92-94.
- [13] 陈莉娥, 周兴求, 伍健东. 表面活性剂废水的危害及处理技术[J]. 工业水处理, 2003(10): 12-16.
- CHEN L E, ZHOU X Q, WU J D. Harmfulness of surfactant wastewater and its treatment techniques [J]. Industrial Water Treatment, 2003(10): 12-16.
- [14] 费庆志. 混凝活性炭吸附微生物法治理洗涤废水[J]. 大连铁道学院学报, 2009, 20(2): 99-102.
- FEI Q Z. Treatment of washing wastewater by coagulation and activated carbon adsorp microorganism [J]. Journal of Dalian Railway Institute, 2009, 20(2): 99-102.
- [15] 中国环境科学学会. 中国环境科学学会学术年会优秀论文集[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 2337-2341.
- Chinese Society for Environment Sciences. Chinese society of environmental science annual conference excellent proceedings [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2006: 2337-2341.
- [16] 闫鹏, 何明祺, 尹新元, 等. 污水中阴离子表面活性剂的降解研究[J]. 当代化工, 2021, 50(8): 1948-1951.
- YAN P, HE M Q, YIN X Y, et al. Research on degradation of anionic surfactants in wastewater [J]. Contemporary Chemical Industry, 2021, 50(8): 1948-1951.