

陈秋萍,张万里,程明涛. 长江下游某工业园区含低浓度有机氮综合工业废水处理实践[J]. 净水技术,2024,43(3):134-142.

CHEN Q P, ZHANG W L, CHENG M T. Practice of low concentration organic nitrogen industrial wastewater treatment of an industrial park in lower reaches of the Yangtze River[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(3):134-142.

长江下游某工业园区含低浓度有机氮综合工业废水处理实践

陈秋萍*, 张万里, 程明涛

(华昕设计集团有限公司, 江苏无锡 214072)

摘要 对进水含有低浓度有机氮的工业园区综合废水进行处理,在充分调查企业出水水质及现状污水处理厂运行情况的基础上,采用改良型AO+芬顿氧化+加载澄清+活性炭吸附主体工艺,并对AO工艺进行了针对性的优化,出水满足“准IV类”水标准要求(TN质量浓度 ≤ 12 mg/L)。项目设计规模为 2.0×10^4 m³/d,工程总投资为15 819.18万元,直接运行成本为3.863元/m³。在江苏省《城镇污水处理厂污染物排放限值》(DB 32/4440—2022)颁布实施后,出水也满足新标准的要求,主体工艺具有较强的适应性、稳定性及前瞻性。

关键词 有机氮 改良AO 芬顿氧化 活性炭吸附 工业园区污水处理厂

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2024)03-0134-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.03.016

Practice of Low Concentration Organic Nitrogen Industrial Wastewater Treatment of an Industrial Park in Lower Reaches of the Yangtze River

CHEN Qiuping*, ZHANG Wanli, CHENG Mingtao

(Huaxin Design Group Co., Ltd., Wuxi 214072, China)

Abstract On the basis of full investigation of wastewater treatment plant (WWTP) operation and water quality of effluent from enterprises, the combined process of modified AO-Fenton oxidation-high efficient clarifier-activated carbon adsorption is used for treatment of industrial park wastewater which contained low concentration of organic nitrogen and refractory organic pollutants. The AO process is optimized, and the effluent meets the requirements of Quasi-IV class of surface water standards (TN ≤ 12 mg/L). The capacity of this plant is 2×10^4 m³/d. The total investment of the project is 158.19 million yuan and direct operation cost is 3.863 yuan/m³. The effluent also meets the requirements of the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (DB 32/4440—2022) of Jiangsu Province. It shows that the main process not only has strong adaptability and stability, but also has certain prospective.

Keywords organic nitrogen modified AO Fenton oxidation activated carbon adsorption WWTP in industrial park

有机氮废水主要来源于农药、染料、医药、橡胶及石油化工等工业的生产过程,且大多具有可生化性差、有毒、高氮低碳、成分复杂等特点,其主要处理方法有物理法、化学法、生物法。物理法是基于吹脱、萃取、吸附等物理原理将有机氮从水中分离的过程,主要用于高浓度有机氮的回收或末端深度处理^[1-2];生化法主要原理是采用好氧、厌氧微生物,

对其进行生物降解^[3-7];化学法主要是通过改变分子结构使其碎片化,进而分解成无害物质,主要方法有光催化氧化法、水解法及氧化法^[8]。

罗昱东等^[9]发现与常规有机氮氨化预处理技术相比,强化生物技术具有抗冲击负荷能力强、处理效果稳定等优点,有望成为难降解有机氮氨化预处理的主流工艺。马睿莉等^[10]从优化原水碳源、合理分配碳源以及强化反硝化脱氮3方面综述了高有机氮废水改良AO工艺脱氮的研究进展,主要方式如下:①厌氧阶段可通过调控水力停留时间(HRT)等运行参数来控制水解酸化、厌氧氨化过程,以优化原

[收稿日期] 2023-10-07

[通信作者] 陈秋萍(1983—),女,硕士,高级工程师,主要从事给排水工程设计及管理工作,E-mail:657281903@qq.com。

水碳源;②运行方式上,通过调控多段进水点位置、进水比例等合理分配原水碳源,通过调控硝化液回流方式、回流比等运行参数来提高碳源利用率;③好氧阶段可通过调控 DO 浓度、投加填料等实现同步硝化反硝化反应,以强化反硝化脱氮。目前,主要研究均集中在高浓度有机氮的去除上。针对低浓度有机氮,其处理方法主要以化学法为主。本文污水处理设施承接高浓度有机氮废水经处理后的排水,在大水量低浓度有机氮的去除上提出了新的思路,为后续相关研究及工程实践提供了一定的启示和借鉴。

1 工程背景

工业园区作为国民经济发展的重要载体,为经济的发展提供了强大的助力。作为我国的黄金水道,长江中下游分布着众多工业园区,助力经济发展

的同时,环境保护问题也随之产生。随着长江大保护战略的提出和《深入打好长江保护修复攻坚战行动方案》的颁布实施,沿江工业园区的污染问题越来越受到重视。

长江下游某工业园区滨江而建,规划主导产业为高端装备制造、节能环保、新能源新材料、信息技术、现代物流等新兴产业。工业园区配套集中污水处理厂,主要接纳工业园区工业污水和生活污水。设计总规模为 3 万 m³/d,一期工程处理规模为 1 万 m³/d,于 2012 年 9 月建成投产。主体工艺为水解酸化+AAO+絮凝沉淀,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。现状设计进出水水质如表 1 所示,现状工艺流程如图 1 所示。

表 1 原设计进出水质

Tab. 1 Origin Designed Water Quality of Influent and Effluent

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	氨氮	TN	TP
进水水质/(mg·L ⁻¹)	450	190	200	30	40	8
出水水质/(mg·L ⁻¹)	50	10	10	5(8)	15	0.5

注: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。

随着入驻企业的增多,实际进水水质较原设计进水有一定差异,进水水质波动较大,且早期建设标准较低,设备老化、陈旧,实际出水难以稳定达标。现状处理规模和处理工艺已不能满足园区发展的需要。

针对上述状况和长江大保护战略的要求,结合城镇污水专项规划,拟在现状污水处理厂毗邻建设 2 万 m³/d 工业污水处理厂,专门收集处理园区内工业废水。现状污水处理厂只接收园区生活污水,以保证现状污水处理厂的正常运行。

2 新建工程工艺的分析与确定

2.1 现状进出水水质及存在问题分析

分析了 2019 年—2020 年两年实际进出水水质(表 2),并将现状运营状况及存在问题总结如下。

(1)作为工业园区综合污水处理厂,缺少必要的水量、水质调节工段,实际来水水质水量波动大,生化段冲击负荷较大,影响生化处理效果。上游企业排水通过市政管网接入厂内,缺乏必要的监管手段,无法准确掌握进水水量与水质情况。

(2)水解酸化池 HRT 偏短(仅有 5 h),难以达到水解的效果。进水中的大分子难降解有机物得不到开环断链,进入 AAO 池后生物降解难度大,直接导致出水 COD_{Cr} 难以稳定达标。

(3)深度处理仅有絮凝沉淀,无法对难降解有机物和 TN 进一步处理,出水达标压力大。

2.2 园区企业生产废水水质特性分析

经过 20 多年的发展,园区内现已聚集了 70 多家企业,主要涉及机械加工制造、新材料生产、合成革、印染、化工等行业。对园区企业进一步统计发

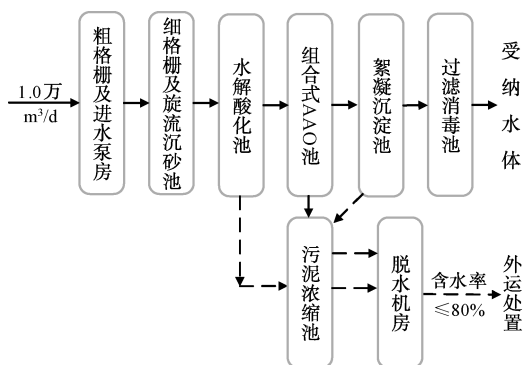


图 1 现状污水处理工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Existing Wastewater Treatment

表2 2019年—2020年污水处理厂实际进出水水质

Tab. 2 Actual Influent and Effluent Quality of the WWTP in 2019 and 2020

比较项目	进水水质					出水水质				
	COD _{Cr}	氨氮	SS	TN	TP	COD _{Cr}	氨氮	SS	TN	TP
85%覆盖率/(mg·L ⁻¹)	422	43.3	232	55.8	6.75	47.3	7.79	7.66	13.23	0.41
90%覆盖率/(mg·L ⁻¹)	496	54.85	271	59.3	8.32	52.7	8.16	8.29	14.09	0.44
最大值/(mg·L ⁻¹)	605	23.6	292	32	9.05	64	8.68	13.28	19.84	0.68
最小值/(mg·L ⁻¹)	164	5.5	49	11	2.13	41	1.10	4.05	5.80	0.17
平均值/(mg·L ⁻¹)	384	30.4	194	37.2	6.12	51	4.36	8.12	11.08	0.36

现,其中8家企业排水量为9 154 m³/d,约占本次设计规模的46%。各企业的主要产品、主要原辅料、环评水量、处理工艺、实际排水水质经调查统计如表3所示。8家企业排水经厂内预处理后,出水COD_{Cr}、TN浓度已较低,COD_{Cr}、氨氮、TN、TP加权平均质量浓度为259.09、10.07、16.71、0.83 mg/L,但由于部分企业原料中使用了二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)、N,N-二甲基甲酰胺(DMF)等有机氮污

染物,进一步处理难度大。本项目废水中有机氮(MDI、DMF)主要来自合成树脂、聚氨酯(PU)合成革及织物涂层的生产过程,经企业内部预处理后,尾水中的有机氮浓度较低,可生化性差。根据DMF分子式(CH₃)₂NHCHO及MDI分子式C₁₅H₁₀N₂O₂可知,其既是有机物的来源也是有机氮的来源。因此,工艺须有针对性,保证出水COD_{Cr}和TN的达标。

表3 园区企业情况调查结果

Tab. 3 Investigation Results of Industrial Enterprises

企业产品	主要原辅材料	水量/ (m ³ ·d ⁻¹)	企业内部处理工艺	实际排水水质			
				COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)
革基布	化纤白坯布、分散染料、起毛剂、渗透剂、NaOH	6 000	混凝沉淀+水解酸化+好氧接触氧化	276.89	7.41	12.31	0.71
合成树脂	对苯二甲酸、间苯二甲酸、新戊二醇、苯乙烯、甲醇、甲苯、MDI、DMF、二氯乙烷等	204	高浓度生产废水:微电解+Fenton+混凝沉淀+水解酸化+AO; 低浓度废水:混凝沉淀+水解酸化+AO	261.57	12.34	29.09	0.52
金属锭	危废、炭精	226	混凝沉淀+AAO+MBR	245.72	17.04	24.18	1.03
船舶制造	钢材	1 160	气浮隔油	299.38	17.14	25.78	1.42
PU合成革	树脂、DMF	1 028	混凝沉淀+两级AO	202.07	14.20	21.54	0.90
不锈钢制品、铝制品	磷酸、H ₂ SO ₄ 、硝酸、NaOH	428	pH调节+混凝沉淀+AO	234.40	15.42	37.10	1.36
无缝钢管	钢坯、H ₂ SO ₄	108	pH调节+混凝沉淀	269.38	17.91	25.76	1.37
高精度超薄锂电铜箔	H ₂ SO ₄ (98%)、高纯度铜丝、NaOH(30%)	498	pH调节+混凝+沉淀+电解	92.45	6.69	10.71	0.36

2.3 新建工程重难点分析

根据上述分析,本工程需重点考虑有机物和有机氮的去除,同时需保证污水处理厂的稳定运行。新建工程工艺应达到以下要求:

1) 工程上应有均化水质水量的措施,以应对进水水质水量的波动,并能对来水进行定时监测,以及及时掌握水质水量的变化情况;

2) 预处理和生化段应具有针对性,并能协同进

行难降解有机物和有机氮的去除,以改善主体生化单元处理效果;

3) 设置深度处理单元,增强整体工艺流程处理效果的稳定性,此外,在当下排放标准不断严格的背景下,工艺的选择应具有一定的前瞻性。

2.4 新建工程重点污染物去除工艺的选择

由上述分析可知,本工程最大的达标压力来自COD_{Cr}和TN,以脱氮和降解有机物为主的AO工艺对

此契合度较高。根据微生物的特性,单一菌种的纯种微生物对污染物的去除率相对较高^[11]。常规AO工艺的好氧缺氧由于回流的存在无法完全分开,不利于不同微生物菌群的繁殖生长。因此,本工程设置2座生化池,将好氧段、缺氧段分别设置,并分别投加专性菌种,以增加微生物对有机氮毒性的耐受性。同时各自独立回流,尽可能保证菌种的单一性,提高其对COD_{Cr}、TN的去除能力,并将缺氧段后置,充分利用好氧段经曝气硝化后的硝酸盐进行反硝化。根据前期接管企业的调查,各企业污水在企业内部大部分采用了延时生化处理工艺或高级氧化工艺,以针对性地去除有机物和有机氮,导致接入末端污水处理厂的废水可生化性极差,BOD₅/COD_{Cr}基本在0.2以下。因此,拟在生化池前段设置水解池,利用缺氧环境对有机氮进行氨化,将部分难降解的污染物水解,为后续主体生化工艺创造良好的进水条件。

经生化处理后污水中残留有机物的去除方法主要有高级氧化和活性炭吸附等方法。高级氧化是利用具有强氧化能力的·OH将大分子难降解有机物氧化成小分子物质。根据·OH的产生方式,主要分为臭氧催化高级氧化和Fenton高级氧化。Fenton试剂氧化能力强且对有机物是无差别氧化,而臭氧催化氧化的出水效果主要受限制于催化剂种类和臭氧投加量,故高级氧化方案采用Fenton氧化^[12-13]。在高级氧化之后,为保障出水COD_{Cr}的稳定达标,设置活性炭吸附装置。通过物理吸附进一步去除残

留的COD_{Cr}。作为出水保障工艺,必要时可超越,以降低成本。

3 工程设计

3.1 设计规模及进出水水质

新建工业污水处理厂设计规模为2.0万m³/d。出水执行《地表水环境质量》(GB 3838—2002)“准IV类”标准(TN≤12 mg/L)。设计进出水水质如表4所示。

表4 设计进出水水质
Tab. 4 Designed Influent and Effluent Quality

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	氨氮	TN	TP
进水/(mg·L ⁻¹)	400	150	200	35	45	5
出水/(mg·L ⁻¹)	30	6	10	1.5(3)	12	0.3

注: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。

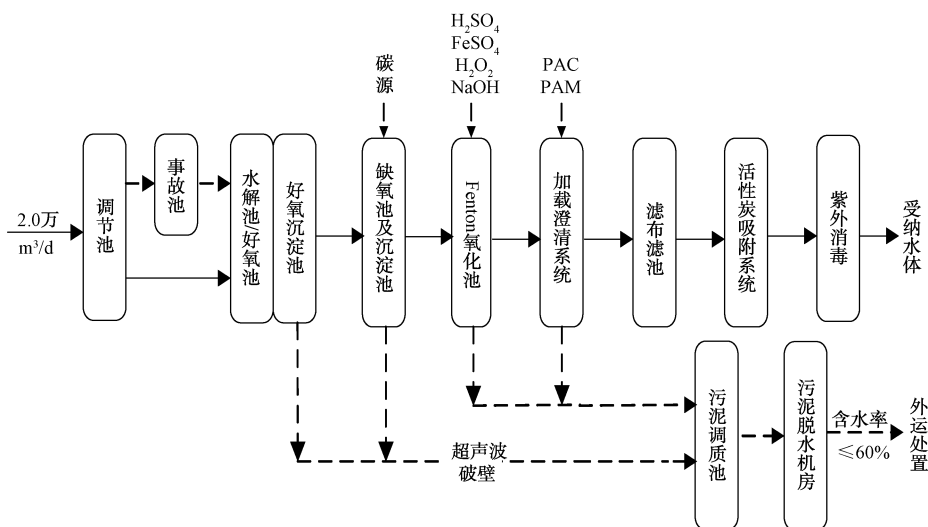
3.2 工艺流程

根据前述分析,形成工艺流程如下:调节池/事故池+水解池/好氧池及好氧沉淀池+缺氧池及沉淀池+Fenton氧化池+加载澄清系统+滤布滤池+活性炭吸附+紫外消毒工艺,污泥处理采用超声波破壁+生物调质+压滤脱水工艺。工艺流程如图2所示。

3.3 总平面布置

根据上述工艺流程,结合工程实际用地条件,总平面布置如图3所示。

1) 调节池及事故池、固废仓库、脱水机房、压滤



注:PAC为聚合氯化铝;PAM为聚丙烯酰胺。

图2 设计污水处理工艺流程

Fig. 2 Process Flow of Designed Wastewater Treatment

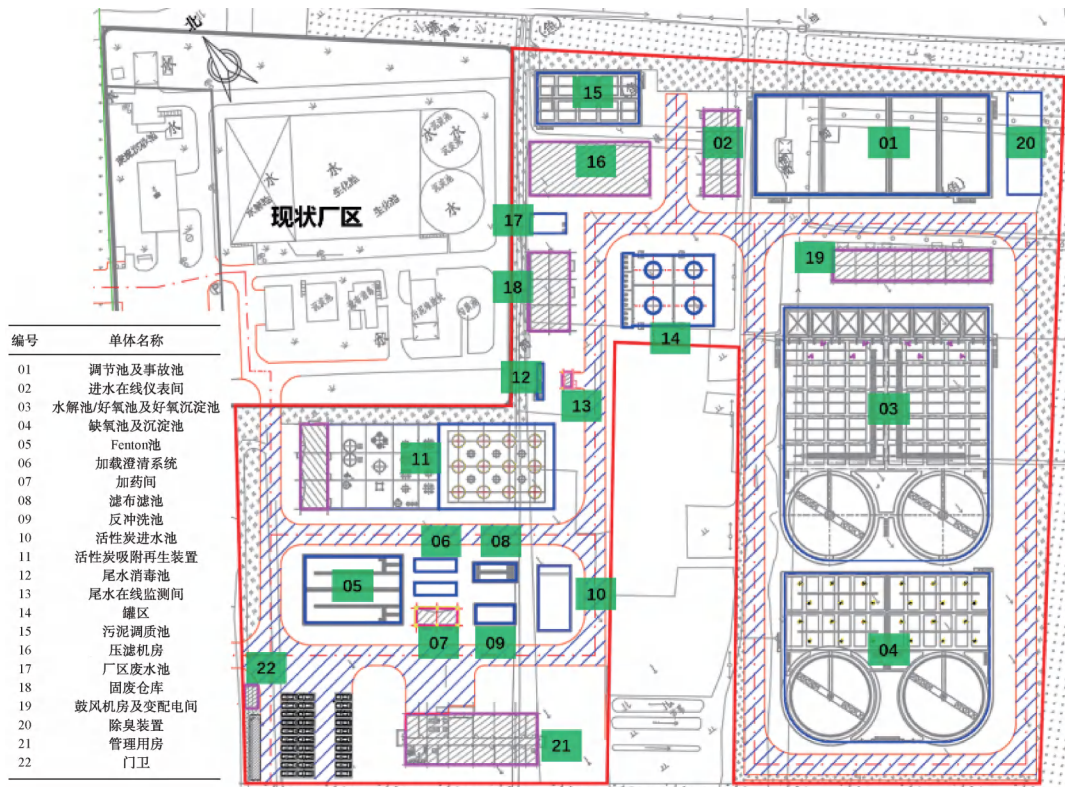


图3 污水处理厂总平面布置

Fig. 3 General Layout of WWTW

液提升池、除臭系统分布于厂区北侧,远离现状厂区办公区,且布置集中,有利于进行除臭。

2) Fenton 氧化池、加载澄清系统、滤布滤池、活性炭提升池、活性炭吸附脱附系统、反冲洗水池、加药间布置于厂区西侧、现状厂区南侧,有利于与现状厂区衔接沟通,形成一个整体。

3) 水解池/好氧池及好氧沉淀池、缺氧池及沉淀池位于厂区东部,药剂储罐区、鼓风机房位于厂区中部,靠近生化处理区,可有效减少全厂药剂管线与风管及电缆的长度,降低运行成本。

4) 管理用房位于厂区南侧。各区域四周均设置环形道路沟通,交通便利,且满足消防要求。

3.4 单体工艺设计

3.4.1 调节池及事故池

新建调节池及事故池 1 座(分 2 格),分别作为调节池及事故池使用,必要时可全部作为事故池使用。污水在调节池内均化水质水量,保证后续处理构筑物的稳定运行。企业进水采用一企一管方式,每根管道上均安装水质监测仪表。来水异常情况下,进入事故池暂存处理,保证污水处理厂的运行安全。

总体尺寸为 $68.8\text{ m}\times 29.2\text{ m}$,有效水深为 3.8 m 。调节池有效容积为 $4\,349.6\text{ m}^3$,事故池有效容积为 $3\,420\text{ m}^3$ 。调节池及事故池均采用空气搅拌系统,搅拌强度为 $2.2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。调节池提升泵共 5 台(4 用 1 备,变频),单台流量 $Q=200\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=20\text{ m}$,功率 $N=18.5\text{ kW}$ 。事故池提升泵共 3 台(2 用 1 备,变频),单台 $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$, $H=20\text{ m}$, $N=11\text{ kW}$ 。

3.4.2 水解池/好氧池及好氧沉淀池

水解池利用缺氧微生物对废水中的难降解污染物进行一定程度的水解,适当提高废水的可生化性。同时利用进水中剩余的有机物进行反硝化,实现 TN 的去除。好氧池采用活性污泥工艺,并投加专性菌种以加强对废水中难降解有机物的去除。生物处理后的混合液在沉淀池中进行固液分离,降低出水 SS。为节约占地,将水解池/好氧池及好氧沉淀池合建。水解池共分 8 格,采用点对点配水方式,进水流量通过流量计及变频泵控制,保证每格均匀配水及污泥层的稳定。水解池出水自流进入好氧池,在好氧池内部前端设置缓冲区,根据进水情况调整该区

域为缺氧区或者好氧区。污泥回流比为 60% ~ 100%。总体尺寸为 73.9 m×62.7 m,水解池 HRT 为 7.08 h,好氧池 HRT 为 12.56 h,其中选择区 HRT 为 2.51 h。沉淀池采用周进周出辐流式二沉池,直径为 24 m[平均时表面负荷为 $0.92 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]。主要设备配置如下:潜水搅拌机 8 台($N=2.2 \text{ kW}$);污泥回流泵 4 台(2 用 2 备),单台 $Q=270 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=20 \text{ m}$, $N=11 \text{ kW}$;旋流布水器 8 套。

3.4.3 缺氧池及沉淀池

为进一步降低好氧池出水 TN,设置后置缺氧池及沉淀池 1 座,利用化能异养微生物在外加碳源条件下进行反硝化。污泥回流比为 60% ~ 100%。总体尺寸为 62.5 m×48.6 m,缺氧池 HRT 为 7.2 h。沉淀池采用周进周出辐流式二沉池,直径为 24 m,平均时表面负荷 $0.92 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。主要设备配置如下:潜水搅拌机 24 台, $N=2.2 \text{ kW}$;污泥回流泵 4 台,2 用 2 备,单台 $Q=270 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=20 \text{ m}$, $N=11 \text{ kW}$;中间提升泵共 5 台,4 用 1 备,变频控制,单台 $Q=200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=20 \text{ m}$, $N=18.5 \text{ kW}$ 。

3.4.4 Fenton 反应池

对生化出水中残留的难降解有机物,采用 Fenton 高级氧化工艺继续进行处理。通过投加 Fenton 药剂,经过调酸、投加催化剂及氧化剂后,在池内完成氧化反应,降低出水 COD_{Cr} 含量。氧化池末端进行 pH 回调至中性后出水,氧化池内辅以空气搅拌。Fenton 反应池总体尺寸为 28.1 m×19.4 m,有效水深为 5.5 m,HRT 为 3.6 h。主要设备配置如下:混合搅拌机 4 台, $N=5.5 \text{ kW}$;空气搅拌系统 1 套,搅拌强度为 $2.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3.4.5 加载澄清系统

Fenton 反应池出水进入加载澄清系统进行固液分离,为提高分离效率,节约用地,缩短工期,加载澄清系统采用成套设备,将化学混凝、机械搅拌、加载沉淀、斜管分离等有利于固液分离的技术进行高度集成。加载澄清系统共设置 2 套,单套处理能力为 1.0 万 m^3/d 。混合区、絮凝区 HRT 分别为 1.6、3.1 min,沉淀区表面负荷为 $28 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。主要设备配置如下:单套设备中混凝反应搅拌机 2 台, $N=1.1 \text{ kW}$;絮凝反应搅拌机 2 台,单台 $N=2.2 \text{ kW}$;刮泥机 2 台,单台直径为 3.2 m, $N=0.22 \text{ kW}$;污泥回流泵(转子泵)4 台,2 用 2 备,单台 $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=15 \text{ m}$, $N=5.5 \text{ kW}$ 。

3.4.6 滤布滤池

为保证出水 SS 及后续活性炭吸附进水条件,设置滤布滤池 1 座。采用定向有序排列的过滤纤维材料,实现反粒度过滤,保证出水水质;清洗过程采用移动现状扫描式反冲洗,清洗过程和过滤过程同时进行,实现连续过滤。总体尺寸为 12.3 m×5.7 m,过滤面积为 100 m^2 ,总装机功率为 22 kW。主要组成部分包括纤维滤片、集水干管、移动吸泥系统、排泥槽等。

3.4.7 活性炭吸附及再生系统

滤布滤池出水进入活性炭吸附进水池,通过提升泵进入活性炭吸附塔,利用颗粒活性炭的吸附作用进一步去除污水中的有机物,保证出水稳定达标。当 Fenton 系统出水水质较好时,可超越活性炭吸附系统。活性炭吸附塔空塔接触时间为 60 min,采用 12 个吸附塔并联使用,吸附容量为 $0.2 \text{ kg COD}_{\text{Cr}}/(\text{kg 活性炭})$,设计吸附周期为 30 d。活性炭再生系统采用高温蒸汽热再生,再生能力为 20 t/d(含水率为 50%),再生段设计温度为 1 000 °C,采用天然气为能源。主要设备包括活性炭吸附塔 12 台,单塔规格为 $\varphi 3.5 \text{ m} \times 12 \text{ m}$,有效容积为 100 m^3 ,活性炭装填量为 50 t;废炭储槽 2 台,单台尺寸为 $\varphi 2.8 \text{ m} \times 12.9 \text{ m}$;新炭储槽 2 台,单台尺寸为 $\varphi 2.8 \text{ m} \times 12.9 \text{ m}$;废炭吹送槽 2 台,单台尺寸为 $\varphi 2.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$;新炭吹送槽 2 台,单台尺寸为 $\varphi 2.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ 。活性炭再生成套装置 1 套(含再生尾气净化装置、余热利用系统),再生能力为 20 t/d。活性炭进水池平面尺寸为 19 m×9.4 m,有效水深为 4.5 m,进水提升泵 5 台,4 用 1 备,变频,单台 $Q=200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=50 \text{ m}$, $N=55 \text{ kW}$ 。

3.4.8 紫外消毒系统

为保证出水卫生学指标,设置紫外消毒渠 1 座,平面尺寸为 10.5 m×1.7 m,渠内安装紫外线消毒模块,共 6 组,单组功率为 320 W。

3.4.9 加药系统

为满足 Fenton 系统药剂及后置缺氧池碳源需求,设置药剂罐区,布置 4 台药剂储罐,分别储存 98% H_2SO_4 、27.5% H_2O_2 、30% NaOH 、20% 醋酸钠。每台储罐分别设置围堰,围堰内容积满足药剂泄漏时临时储存的需要,保证厂区安全生产。 FeSO_4 及 PAM 药剂投加装置另设加药间 1 座。主要设备包括:4 套药剂储罐,单罐容积为 100 m^3 ;药剂卸药泵

4台(每种药剂1台),单台 $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ m}$, $N=5.5\text{ kW}$;药剂加药泵8台,每种药剂1用1备,单台 $Q=6.3\text{ m}^3/\text{h}$, $H=20\text{ m}$, $N=2.2\text{ kW}$;FeSO₄储罐1台,容积为4 m³,FeSO₄投加泵3台,2用1备,单台 $Q=100\text{ L/h}$, $H=30\text{ m}$, $N=0.37\text{ kW}$;PAM自动加药装置1套。

3.4.10 污泥处理系统

生化污泥采用超声氧化破壁处理,利用28 kHz以上的超声波在污泥中振荡分散,将污泥菌胶团解体和菌体细胞破壁,使得菌体中的氨基酸、蛋白质等有机物溶出。破壁后的混合液进入调质池,以提高污泥的脱水性能。污泥调质池平面尺寸为29.4 m×14.4 m,有效水深为4 m。脱水机房平面尺寸为35.5 m×14.4 m,单层框架结构。主要设备包括:2台板框压滤机,过滤面积为200 m², $N=15\text{ kW}$;超声波破壁系统2套, $N=15\text{ kW}$;污泥进料泵3台(2用1备),单台 $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=120\text{ m}$, $N=37\text{ kW}$;隔膜压榨泵2台(1用1备),单台 $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ m}$, $N=11\text{ kW}$;清洗水泵2台(1用1备),单台 $Q=250\text{ L/min}$, $H=60\text{ m}$, $N=30\text{ kW}$ 。

3.4.11 鼓风机房及变配电间

设置鼓风机房及变配电间1座,平面尺寸为46.4 m×9 m,共安装3台空气悬浮鼓风机(2用1备),提供好氧池曝气用及空气搅拌用空气,单台风

机 $Q=201\text{ m}^3/\text{min}$, $P=58.8\text{ kPa}$, $N=225\text{ kW}$ 。

3.4.12 除臭系统

设置除臭系统1套,平面尺寸为30 m×10 m,主要收集调节池及事故池、水解池、反硝化池、污泥调质池、脱水机房、固废仓库产生的臭气。采用化学洗涤+生物滤池组合式除臭工艺,除臭风量为55 000 m³/h。主要设备包括:化学洗涤塔2座,分别采用碱洗和水洗,直径为3 m,高度为8.5 m;洗涤塔循环泵4台,2用2备,单台 $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$, $H=25\text{ m}$, $N=15\text{ kW}$;生物滤池1座,采用陶粒滤料,主体尺寸为24.0 m×6.0 m×3.0 m;离心风机1台, $Q=55\text{ 000 m}^3/\text{h}$, $P=3\text{ kPa}$, $N=75\text{ kW}$ 。

3.4.13 厂区污水提升系统

为收集厂区脱水机压滤液及池体放空废水,设置厂区污水提升井1座。平面尺寸为8.7 m×5.7 m,有效水深为3.3 m。主要设备包括:机械回转细格栅1台,栅条间隙 $e=10\text{ mm}$,格栅宽度 $B=1.0\text{ m}$;潜水排污泵2台,1用1备, $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$, $H=20\text{ m}$, $N=11\text{ kW}$ 。

4 运行效果及成本分析

本工程总投资为15 819.18万元,直接运行成本为3.863元/m³,于2022年9月建成投运。经过半年的试运行,2023年1月—6月进出水水质如表7所示。

表7 2023年1月—6月实际进出水水质

Tab. 7 Actual Influent and Effluent Quality during January to June of 2023

项目		COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	有机氮/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	SV ₃₀
进水水质	最大值	321	18.9	53.4	11.1	4.8	-
	最小值	109	0.5	4.2	2.05	1.07	
	平均值	214.24	5.16	12.55	5.83	2.47	
水解池/好氧池及好氧沉淀池出水	最大值	129	6.7	17.7	4.36	3.25	19.2%
	最小值	64	0.3	7.2	0.21	1.1	
	平均值	103.62	1.72	12.65	1.89	2.13	
缺氧池及沉淀池出水	最大值	124	5	12.8	3.94	2.91	13.5%
	最小值	58	0.2	2.7	0.18	0.82	
	平均值	92.23	1.04	7.30	1.86	1.79	
Fenton、加载澄清系统出水	最大值	95	2.5	11.5	1.07	0.22	-
	最小值	23	0.2	2.4	-	0.08	
	平均值	51.93	0.69	7.18	0.55	0.09	
总出水水质	最大值	30	2.3	11.3	1.05	0.19	-
	最小值	13	0.2	3.6	-	0.04	
	平均值	24.95	0.52	7.76	0.52	0.08	

由表7可知,各项出水指标均达到《地表水环境质量》(GB 3838—2002)“准IV类”标准($TN \leq 12$ mg/L)的要求。同时列出了有机氮的相关数据,结果表明经生化工艺后,有机氮得到较大程度的去除,再经Fenton氧化后,有机氮基本完全被去除。生化+高级氧化的组合工艺可以有效应对进水中的低浓度有机氮。

2022年6月5日,江苏省政府办公厅印发了《省政府办公厅关于加快推进城市污水处理能力建设全面提升污水集中收集处理率的实施意见》,提出了相关污水收集和处理的工作要求,并提出了强化工业废水与生活污水分类收集、分质处理的要求。2022年12月28日,江苏省《城镇污水处理厂污染物排放限值》(DB 32/4440—2022)正式发布,对污水处理厂排放标准进一步提出了要求。本工程是服务于工业园区的工业污水厂,现状污水厂在本工程建成投运后只接纳生活污水。同时从运行数据可知,出水水质亦满足江苏新地标表1中A标准的要求,整体工程设计在政策的符合性和工艺前瞻性方面均较突出,对后续类似污水处理厂的建设提供了积极的借鉴作用。

5 结论及建议

(1)本工程在吸取现状工程经验的基础上,结合企业出水水质分析,采用改良型AO+Fenton氧化+加载澄清+活性炭吸附主体工艺,出水满足“准IV类”水标准要求,亦能满足江苏省《城镇污水处理厂污染物排放限值》(DB 32/4440—2022)表1中A标准的要求,表明主体工艺具有较强的适应性、稳定性及前瞻性。

(2)对进水含有低浓度有机氮的情况下,对AO工艺及前后衔接进行相应优化,采用水解池对来水进行预处理,对有机氮进行氨化;将缺氧段后置,增加对TN的去除能力;好氧池和缺氧池分别回流,保证微生物的单一性,同时在好氧池前端增加选择区,进一步增强污染物的去除能力及生化系统的稳定性。

(3)新建厂区完全处理工业废水,来水波动性大。厂区虽已建设调节池及事故池,但仍需加强监管。建议管理单位会同企业定期监测污水系统水质、水量,对排水水质、水量做到上下游联动,尽量避免冲击等不利现象的发生,保证厂区的正常运行。

参考文献

- [1] 胡湖生, 杨明德, 叶血清, 等. 萃取-吸附法处理二甲基甲酰胺(DMF)废水的实验研究[J]. 环境科学研究, 2004, 17(4): 40-43.
HU H S, YANG M D, YE X Q, et al. Study on treatment DMF containing wastewater by solvent extraction-activated carbon adsorption[J]. Research of Environmental Sciences, 2004, 17(4): 40-43.
- [2] 张慧, 叶长桑, 林诚. 机械搅拌萃取塔中氯仿萃取DMF的传质系数[J]. 环境工程学报, 2011, 5(1): 103-107.
ZHANG H, YE C S, LIN C. Mass transfer coefficient of chloroform extracting DMF in mechanically agitated extraction columns[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(1): 103-107.
- [3] 孙思瑶. 化工园区污水处理中氮超标问题研究与调试[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.
SUN S Y. Research and debugging of nitrogen excess in wastewater treatment in chemical parks[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2022.
- [4] 马睿莉. 两级A/O-HBR工艺处理高有机氮废水脱氮效能研究[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2021.
MA R L. Study on denitrification efficiency of two stage A/O-HBR process for treating high organic nitrogen wastewater[D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2021.
- [5] 达方华. ABR-CSTR组合工艺处理含DMF的高有机氮废水效能研究[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2021.
DA F H. Efficacy of ABR-CSTR combined process for treating high organic nitrogen wastewater containing DMF[D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2021.
- [6] 贾凡凹. 缺氧/两级好氧工艺处理有机氮工业污水的系统特征及吹脱除氮研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2014.
JIA F A. Anaerobic and two-stage aerobic process' characteristics in treating organic nitrogen wastewater and the removal of ammonia by air-stripping [D]. Harbin: Harbin Engineering university, 2014.
- [7] 田海峰. 两级厌氧处理有机氮废水及去除氨氮研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
TIAN H F. Research of two stages of anaerobic dispose organic nitrogen wastewater and remove ammonia [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.
- [8] 李微. 非均相Fenton催化剂氧化降解废水中DMF技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
LI W. Study on oxidative degradation of DMF in wastewater by heterogeneous Fenton catalyst [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [9] 罗昱东, 黑生强, 宋广清. 难降解有机氮工业废水氨化预处理技术研究进展[J]. 水处理技术, 2022, 48(9): 21-25.
LUO Y D, HEI S Q, SONG G Q. Advances in the ammoniation

- pretreatment of refractory organic nitrogen wastewater [J]. *Technology of Water Treatment*, 2022, 48(9): 21-25.
- [10] 马睿莉,徐乐中,陈茂林. 高有机氮废水 AO 工艺脱氮研究进展[J]. *工业水处理*, 2022, 40(10): 8-13,19.
MA R L, XU L Z, CHEN M L. Research progress on treatment of high organic nitrogen wastewater with AO process [J]. *Industrial Water Treatment*, 2022, 40(10): 8-13,19.
- [11] 高廷耀,顾国维,周琪. *水污染控制工程*[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2015.
GAO T Y, GU G W, ZHOU Q. *Water pollution control engineering* [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2015.
- [12] 栗文明,白永刚,周军,等. 臭氧催化氧化应用于工业园区污水处理厂深度处理工艺的选择及设计[J]. *给水排水*, 2019, 55(5): 90-93.
LI W M, BAI Y G, ZHOU J, et al. Selection and design of catalytic ozonation in wastewater advanced treatment of industrial park [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 55(5): 90-93.
- [13] 赵红兵,余琴芳,许江军,等. 臭氧高级氧化对某工业园区污水处理厂生化出水处理试验[J]. *净水技术*, 2022, 41(6): 96-102.
ZHAO H B, YU Q F, XU J J, et al. Experiment of ozone advanced oxidation process for biochemical effluent treatment of a WWTP in an industrial park [J]. *Water Purification Technology*, 2022, 41(6): 96-102.

(上接第 98 页)

- ZHOU Y F. Discussion on the phase III underground expansion project of Anting wastewater treatment plant in Shanghai [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 57(2): 35-39.
- [4] 吴念鹏,贾芳芳,王国华,等. 高出水标准地地下式再生水厂运行难点探讨[J]. *给水排水*, 2019, 55(10): 42-46.
WU N P, JIA F F, WANG G H, et al. Discussion on difficulties in operation of underground reclaimed water treatment plant with high discharge standard [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 55(10): 42-46.
- [5] 鲍任兵,马民,徐健,等. AAO 及改良型工艺耦合 MBR 工艺应用研究综述[J]. *净水技术*, 2022, 41(3): 26-31, 62.
BAO R B, MA M, XU J, et al. Technological research overview on AAO and modified process coupled with MBR [J]. *Water Purification Technology*, 2022, 41(3): 26-31, 62.
- [6] 王敏,张智,陈杰云,等. 不同流量分配比对多级 A/O 工艺去除有机物及脱氮的影响[J]. *环境工程学报*, 2013, 7(4): 1430-1434.
WANG M, ZHANG Z, CHEN J Y. Influence of different influent flow distribution ratios on biological nitrogen and carbon removal by multi-stages A/O process [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2013, 7(4): 1430-1434.
- [7] 朱兆亮,门业伟,刘昌明,等. 多级 AO 工艺在印染废水处理提标改造中的应用及其启动运行问题[J]. *净水技术*, 2019, 38(12): 31-35.
ZHU Z L, MEN Y W, LIU C M, et al. Application of multistage AO processes in upgrading and reconstruction for printing and dyeing wastewater treatment and the startup operation problem [J]. *Water Purification Technology*, 2019, 38(12): 31-35.