

秦川, 赖莉, 朱方毅. 保山工贸园区综合污水处理厂设计与运行[J]. 净水技术, 2025, 44(3): 179-184.

QIN C, LAI L, ZHU F Y. Design and operation of a WWTP in Baoshan industrial park[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(3): 179-184.

保山工贸园区综合污水处理厂设计与运行

秦川^{1,*}, 赖莉², 朱方毅¹

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川成都 610081; 2. 中机中联工程有限公司, 重庆 400039)

摘要 【目的】针对综合性产业园废水, 不同于传统工业园废水, 进水水质成分复杂、可生化性较差、水质水量波动大、含有特征污染物等特点, 以云南省保山工贸园综合污水处理厂为例, 系统介绍了该工业污水厂设计进出水水质指标的确定、工艺流程的选择、主要构筑物的设计、试运行研究分析、工艺设计特点和经济效益。【方法】保山工贸园区综合污水处理厂一期设计规模为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用预处理+调节池+浅层气浮机+水解酸化+改良厌氧/缺氧/好氧(AAO)活性污泥法+二沉池+碳载体吸附池+加砂高密度沉淀池+臭氧催化氧化处理+紫外消毒工艺, 出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准, 其中氟离子 $\leq 1.5 \text{ mg/L}$ 。【结果】该组合工艺对该工业废水具有较好的去除效果, 出水水质能够稳定达到设计要求, 化学需氧量(COD_{Cr})、五日生化需氧量(BOD_5)、悬浮物质(SS)、总氮(TN)、氨氮、总磷(TP)和氟离子的去除率分别为90%、93%、97%、77%、90%、89%和69%。【结论】研究发现, 混凝沉淀法对于低浓度氟化物的去除具有较好的效果和经济性, 粉末活性炭去除有机物的实际成本低于臭氧催化氧化工艺, 调节池多模式运行能在实际运行中节省电耗。相关经验可为排水企业种类较多、具有相似水质特征的综合产业园污水处理厂提供参考。

关键词 工业污水处理厂 改良AAO工艺 高密度沉淀池 臭氧催化氧化 氟化物去除

中图分类号: TU992 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-0177(2025)03-0179-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.03.021

Design and Operation of A WWTP in Baoshan Industrial Park

QIN Chuan^{1,*}, LAI Li², ZHU Fangyi¹

(1. Southwest Municipal Engineering Design and Research Institute of China, Chengdu 610081, China;

2. CMCU Engineering Co., Ltd., Chongqing 400039, China)

Abstract [Objective] Different from the wastewater of traditional industrial parks, the influent wastewater of comprehensive industrial parks has characteristics such as complex components, poor biodegradability, large fluctuations of water quality and quantity, characteristic pollutants-containing. Taking Baoshan Industry Park wastewater treatment plant as an example, this paper systematically introduces the designed quality of influent and effluent, selection of process flow, design of main structures, the trial operation research analysis, the process design characteristics, and the economic effect. [Methods] The phase I design capacity of Baoshan Industry Park wastewater treatment plant (WWTP) is $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, pretreatment+regulating tank+shallow air float+hydrolysis acidification+AAO+secondary sedimentation tank+carbon adsorption-high density sedimentation tank+ozone catalytic oxidation+ultraviolet disinfection is adopted to treat wastewater discharged from Baoshan Industry Park, the quality of effluent should meet the specification of A level grade one in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002), in addition to fluoride ion $\leq 1.5 \text{ mg/L}$. [Results] The operation results show that the combined process has a good removal effect on the industrial wastewater, and the effluent quality can stably meet the design requirements, the removal rates of chemical oxygen demand(COD_{Cr}), biochemical oxygen demand(BOD_5), suspended solid(SS), total nitrogen(TN), ammonia nitrogen, total phosphorus(TP) and fluoride ion are 90%, 93%, 97%, 77%, 90%, 89%, and 69% respectively. [Conclusion] It is found that the coagulation precipitation method has better effect and economy for the removal of low concentration fluoride, the actual cost of removing organic matter with powdered activated carbon is lower than that of ozone catalytic oxidation process, and the multi-mode operation of the

[收稿日期] 2024-04-26

[通信作者] 秦川(1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事市政给水、污水和工业废水处理的设计与研究, E-mail: 363782753@qq.com。

regulating tank can save power consumption in actual operation. The relevant experience can provide a reference for WWTPs in integrated industrial parks with more types of drainage enterprises and similar water quality characteristics.

Keywords industrial wastewater treatment plant modified AAO process high-density sedimentation tank ozone catalytic oxidation fluoride removal

工业园区的废水往往不同于生活污水,其废水性质相差较大,例如石化、化工园区排放的废水,通常含有一些难降解的有毒有害污染物,如氰化物、酚或苯系物等^[1];电子信息产业园排放的废水,往往含有重金属等污染物,水质与水量不稳定^[2];光伏产业园废水具有氟离子浓度高、有机物浓度偏低、不含二乙二醇丁醚、总氮(TN)含量较高且以硝酸根(NO_3^-)为主等特点^[3]。传统工业园区,涉及行业单一或较少,废水往往具备相似性;而综合性工业园,由于涉及行业众多,废水性质千差万别。综合产业园区废水大多可生化性较差、水质成分复杂、水质水量波动较大,给园区废水处理带来一定难度^[4];此外废水还存在有机物浓度低,含有氮磷营养物质和特征污染物等特点。保山工贸园区始建于2012年,规划面积为80 km²,园区产业重点布局绿色硅光伏、新能源锂电池、高端制造等。经过多年的发展,园区已入驻多家企业,属于综合产业园。园区的光伏企业废水含有氟化物、硅粉、难降解有机物、氮磷营养物质;生物科技企业的废水生化性较好,含有有机物和氮磷营养物质;化工废水含有难降解有机物。因此废水处理工艺的选择不能千篇一律,综合工业园区废水处理系统主要包括预处理和生物处理,部分污水厂还设有一级处理和深度处理,工艺流程需要根据进水水质和特征污染物进行综合分析考虑。国内针对传统工业园区废水处理工程的研究和设计总结较多,针对不同类型传统产业园废水已有丰富的工程实践与成熟的工艺流程运用;而综合产业园废水处理由于水质的复杂多变性,工程总结相对较少,往往不同综合产业园废水处理工程实践经验也不能直接套用。四川省某综合园区工业废水处理工程由于工艺设计套搬常规生活污水处理经验,导致调试运行出水不达标而再次进行升级改造。该工程针对园区废水水质的各种特点,采用物理、化学和生物组合处理工艺,针对氟化物和难降解有机物的去除,选用废水处理工艺既考虑有效性也同时具备经济性;此外还通过前期优化设计和后期调试研究分析,在废水处理环节对调节池采用多模式运行,分析

比较活性炭和臭氧催化氧化的适用性,进一步节省运行费用,践行低碳环保设计理念。

1 项目概况

1.1 设计规模

工业园区废水主要来源于园区企业的工业废水和生活污水。根据《保山工贸园区综合污水处理厂建设项目》可行性研究报告,污水处理厂一期和二期设计规模均为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总设计规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.2 设计进出水水质

根据园区环评报告分析,硅材料废水主要含有氟化物、硝酸和超细硅粉,生物科技产业生产废水生化性好、五日生化需氧量(BOD_5)含量较高,光伏企业废水主要污染物为化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮、氟化物、超细硅粉。污水通过预处理达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)三级标准后,通过园区污水管网统一收集排入污水处理厂。采用加权平均法对进水水质进行预测,并预留一定安全余量,确定设计进水水质。

出水水质根据环评批复和环保部门要求,执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。该工程设计进出水水质如表1所示。

1.3 工艺选择分析及工艺流程

工艺选择需要考虑以下因素:(1)进水中含有硅粉,不宜沉降;(2) $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}} = 0.25$ 、 $\text{BOD}_5/\text{总氮(TN)} = 2$ 、 $\text{BOD}_5/\text{总磷(TP)} = 20$,废水生化性较差;(3)废水中含有氟化物,需要针对性考虑除氟工艺;(4)工业废水来水水量、水质不均匀,波动幅度大;(5)光伏企业排放的污水含有难降解有机物。

工艺选择分析如下。

(1)进水中含有硅粉,硅粉较细,比重较轻,粒径较小,仅采用曝气沉砂池效果不佳,考虑采用浅层气浮机进行预处理,通过投加絮凝剂既能够去除硅粉又能去除氟化物^[5]。

(2)废水含有有机物、氮和磷,主体工艺考虑采用改良厌氧/缺氧/好氧(AAO)工艺,但由于废水生

表 1 设计进出水水质 (单位: mg/L)

Tab. 1 Design Influent and Effluent Quality (Unit: mg/L)

指标	进水	出水
COD _{Cr}	400	≤50
BOD ₅	100	≤10
悬浮物质(SS)	300	≤10
氨氮	35	≤5(8)
TN	50	≤15
TP	5	0.5
氟化物	5	1.5

注:括号内为<12℃时氨氮质量浓度要求。

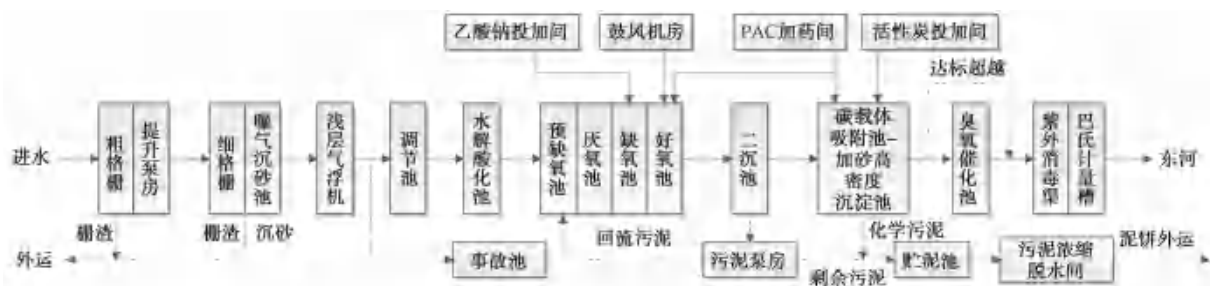
化性较差,考虑在二级工艺之前采用水解酸化池,以提高废水可生物降解性能^[6];碳氮比(C/N)较低,不利于生物脱氮,考虑在生化池中投加碳源进行生物脱氮。

(3)废水中含有氟化物,浓度不高,除氟过程已经属于深度除氟,常用的深度除氟工艺有混凝沉淀、活性氧化铝吸附、离子交换树脂吸附、反渗透等。化学沉淀法,通过投加氯化钙、氢氧化钙沉淀氟离子的方法仅能将出水氟化物控制在12 mg/L左右。活性氧化铝吸附氟离子的效果较高,但是吸附时间较长,而且再生频繁,主要适用于处理水量较小的场合。

离子交换树脂除氟法是基于某些树脂的阴离子可以与氟离子进行交换,从而降低废水中的氟化物含量,具备较高的交换容量和较好的去除效果,但是需要对树脂进行再生和更换,运行费用相对较高。混凝法处理含氟废水具有处理效果好、效率高、试剂低廉易得、泥水易于分离等优点^[7],考虑采用混凝沉淀作为除氟工艺,后期可以根据实际进水水质辅以高效除氟剂以保证出水氟化物浓度。

(4)针对废水中存在难降解有机物,考虑采用粉末活性炭吸附和臭氧催化氧化工艺来降解^[8]。常规情况下,直接采用粉末活性炭吸附,既可以去除有机物,也对氟化物有一定的吸附作用;若进水COD_{Cr}浓度较高,难降解有机物较多时,再启用臭氧催化氧化工艺用以保证出水浓度。

该工程污水工艺流程为:预处理+调节池+浅层气浮机+水解酸化+改良AAO活性污泥法+二沉池+碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池+臭氧催化氧化池+紫外线消毒;当碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池出水水质达标时,可以超越臭氧催化池,经消毒后排放。污泥采用叠螺浓缩+高压板框脱水机脱水至含水率60%后外运处置;除臭采用紫外高效光解工艺,工艺流程如图1所示。



注:PAC是聚合氯化铝。

图 1 工艺流程

Fig. 1 Process Flow

2 项目概况

2.1 预处理系统

预处理系统分为3个部分,包括:粗格栅+提升泵房;细格栅+曝气沉砂池;调节池及事故池。

(1)粗格栅+提升泵房。粗格栅设计规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,时变化系数为1.6,设置2台回转式格栅除污机,栅条间隙为20 mm。提升泵房近期设置6台潜污泵,4用2备,2台为变频泵,远期考虑更换潜水泵,采用大小泵搭配。潜污泵,流量(Q)=250

m^3/h ,扬程(H)=13.0 m,功率(N)=18.5 kW。粗格栅和提升泵房为全地下结构。

(2)细格栅+曝气沉砂池。设计规模为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,时变化系数为1.6,细格栅设置2台回转式格栅除污机,栅条间隙为3 mm。曝气沉砂池1座分2格,设计停留时间为5 min,最大流量时水平流速为0.04 m/s,供气量为 $6 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(3)浅层气浮机。气浮机采用2套,停留时间为5 min,表面负荷为 $10.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,池深为

800 mm,出渣含固率为3%~5%,SS去除率为98%, $N=5.5$ kW。

(4)调节池、事故池。调节池均质进水水质,调节水量,事故池主要用于厂内生产构筑物停运检修,收集突发性水质和水量激增时的污水。调节池一期设置1座,二期增加1座,1座分2格,半地下式结构,设计停留时间为11 h,设有3台潜水混流泵和双曲叶轮搅拌机。调节池按以下3种工况运行:①水质水量波动小时,通过超越渠道直接进入后续构筑物;②水量波动大,水质均衡时,通过潜水混流泵,提升至后续构筑物。③水量均衡,水质波动大时,通过双曲叶轮搅拌机搅拌均衡水质,再进入后续构筑物。事故池设置1座,设计停留时间为11 h,配置潜水泵和搅拌机。

2.2 水解酸化池

水解酸化池设计停留时间为12 h,采用升流式水解反应池,通过维持较高的上升水流速度使污泥悬浮,实现污泥与污水的混合,形成级配污泥浓度,底部污泥浓度高,上部浓度低,污泥混合均匀。采用布水发生器布水,进行混合液回流。

2.3 生化处理系统

(1)改良AAO生化池。生物反应池设有预脱硝区、厌氧区、缺氧区、好氧区。总停留时间为19.6 h,其中预脱硝区为0.5 h,厌氧区为1.8 h,缺氧区为5.5 h,好氧区为11.8 h。污泥回流比为100%,内回流比为250%。污泥设计质量浓度为4 g/L,设计泥龄为16 d,污泥负荷为 $0.05 \text{ kg BOD}_5/(\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$ (以 BOD_5 计),生化池气水比为8:1。

(2)二沉池。2座,单座直径(Φ)为21 m,采用周进周出辐流式沉淀池,有效水深为4.70 m,表面负荷(q)= $0.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

(3)鼓风机。设置3台螺杆鼓风机,2用1备, $Q=48.7 \text{ m}^3/\text{min}$,风压为75 kPa, $N=75$ kW。

2.4 深度处理系统

(1)碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池。在活性炭反应区内投加粉末活性炭吸附有机物,活性炭、微砂和化学污泥在沉淀区内沉淀后由循环泵送去旋流分离器,微砂首先被分离出来并回流到混合区;活性炭和化学污泥部分排放,部分回流至活性炭反应区。停留时间,活性炭反应区为18 min、混合区为2 min、絮凝反应区为6 min,沉淀区水力负荷为 $17.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

(2)臭氧催化氧化池。停留时间为1.3 h,有效水深为5.5 m,臭氧投加质量浓度为30~45 mg/L,催化氧化接触时间为25 min。主要设备:臭氧发生器,产量为20 kg/h,质量分数为8%~10%,2台;反冲洗离心泵, $Q=22.5 \text{ m}^3/\text{min}$, $H=8 \text{ m}$, $N=60$ kW,2台;反冲洗鼓风机, $Q=450 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=10 \text{ m}$, $N=22$ kW,2台。

2.5 污泥脱水与加药系统

(1)污泥浓缩脱水车间。设计污泥干重为4 t DS/d,进入浓缩机和板框压滤机污泥含水率分别为99.2%和97%,出泥含水率 $\leq 60\%$ 。叠螺浓缩机2台,1用1备, $Q=20\sim 50 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=4.23$ kW;高压板框压滤机2台,1用1备,过滤面积为 100 m^2 , $N=5.5$ kW。

(2)加药间。除磷与除氟药剂采用PAC,投加量分别为15~30 mg/L和200~300 mg/L[氧化铝(Al_2O_3)质量分数为9%],配比质量分数为10%。碳源投加采用乙酸钠,投加量为0~150 mg/L,配比质量分数为20%。PAM采用阴离子型,投加量为1.0 mg/L,配比质量分数为0.1%。

3 运行研究

该工程于2023年11月竣工,并对各个处理单元进行调试,试运行期间污水平均进水量为 $13\,822 \text{ m}^3/\text{d}$,实际处理量已接近设计规模,主要是因为城区生活污水处理厂已不再接受工贸园区废水。改良AAO生化池通过借助生活污水处理厂污泥菌种,经过20 d后生化池的出水水质指标基本达到设计要求。经过1个月的试运行,污水处理厂出水能够稳定达标。试运行期间,对各级处理单元的进出水水质进行了连续监测,平均处理效果如表2所示, COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、TN、氨氮、TP和氟离子的去除率分别为90%、93%、97%、77%、90%、89%和69%。

预处理系统,主要对SS的去除一定的效果,去除率达到18.0%,对其他污染物的去除效果不太明显。

浅层气浮机,对 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS、TN、氨氮、TP和氟离子的去除率分别为16.0%、4.0%、31.0%、4%、5%、29%和32%。SS、TP和氟离子的去除效果较为明显,在气浮机的反应器中投加铝盐,发挥了吸附、离子交换和络合沉淀作用,因此,能去除部分氟化物。

表 2 各级处理单元处理效果
Tab. 2 Effect of Each Treatment Unit

处理单元	项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP	氟离子
粗、细格栅+曝气沉砂池	进水/(mg·L ⁻¹)	378.0	104.0	210.0	42.0	31.0	2.9	3.6
	出水/(mg·L ⁻¹)	348.0	100.0	172.0	42.0	31.0	3.0	3.6
	去除率	8.0%	4.0%	18.0%	0	0	5.0	0
浅层气浮机	出水/(mg·L ⁻¹)	292.1	95.8	118.8	40.3	29.5	2.0	2.4
	去除率	16.0%	4.0%	31.0%	4%	5%	29%	32%
水解酸化池	出水/(mg·L ⁻¹)	260.0	91.1	61.8	40.3	29.5	1.8	2.4
	去除率	11.0%	5.0%	48.0%	0	0	9%	0
生化池+二沉池	出水/(mg·L ⁻¹)	75.4	10.0	16.7	10.1	4.7	0.6	2.3
	去除率	71.0%	89.0%	73.0%	75%	84%	66%	6%
碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池	出水/(mg·L ⁻¹)	58.8	9.0	7.3	9.8	4.6	0.3	1.1
	去除率	22.0%	10.0%	56.0%	3%	2%	45%	51%
臭氧催化池+紫外消毒渠	出水/(mg·L ⁻¹)	38.8	7.0	7.3	9.8	3.1	0.3	1.1
	去除率	34.0%	22.0%	0	0	32%	0	0

水解酸化池对有机物有一定的去除效果,经过水解酸化池处理后,废水的 BOD₅/COD_{Cr} 提升到 0.35;此外 SS 的去除率也较高,在去除 SS 的同时 TP 的去除率也达到 9%。

改良 AAO 生化池,污泥质量浓度维持在 3.5~4 g/L,固体乙酸钠(质量分数为 60%)投加量基本在 80~120 mg/L。生化系统对 COD_{Cr}、BOD₅、SS、TN、氨氮、TP 和氟离子的去除率分别为 71.0%、89.0%、73.0%、75%、84%、66%和 6%,对氟化物基本没有去除效果。生化系统的出水水质中仅有 COD_{Cr}、TP、SS 和氟离子不能达标,COD_{Cr} 基本维持在 75~90 mg/L,证明废水中含有难降解有机物。根据园区企业提供资料,光伏废水中含有难降解有机物聚乙二醇等;生物科技产业废水生化性较好,难降解有机物少。

碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池,对 COD_{Cr}、BOD₅、SS、TN、氨氮、TP 和氟离子的去除率分别为 22.0%、10.0%、56.0%、3%、2%、45%和 51%,该处理单元主要去除 COD_{Cr}、TP、SS 和氟离子为主,对 TN 和氨氮基本无去除效果。试运行期间,粉末活性炭的投加量为 20~30 mg/L。采用 PAC 去除氟化物,固体 PAC(Al₂O₃ 质量分数 29%)投加量为 100~150 mg/L,折算铝离子的投加质量与氟离子的质量之比为 10:1。王靖宇等^[9]研究采用采用 PAC 去除氟离子的最佳投加量 600 mg/L 要低许多,主要原

因是研究处理的含氟废水质量浓度为 11.2 mg/L,比碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池进水氟化物质量浓度 2.3 mg/L 要高出许多。另外也存在原因是除氟之前采用粉末活性炭反应对氟离子也有一定的吸附,同时该项目实际处理氟化物质量浓度控制在 1.5 mg/L,比王靖宇等^[9]研究处理至氟化物质量浓度 0.9 mg/L 要高一些。

臭氧催化池,对 COD_{Cr}、BOD₅、和氨氮的去除率分别为 34%、22%和 32%,其他污染物没有去除效果。试运行期间,臭氧催化池中的臭氧实际投加量为 30~40 mg/L。

后期正式运行,发现将粉末活性炭的投加量提高到 50~60 mg/L,载体吸附池-加砂高密度沉淀池的 PAC 和 PAM 投加量维持在 140~170 mg/L 和 2~3 mg/L,基本可以稳定实现碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池出水 COD_{Cr} 控制在 50 mg/L 以内,出水超越臭氧催化池,节约用电量,但会增加化学污泥量。生物污泥外运至运输至其公司固废堆场,垃圾焚烧发电;化学污泥则运输至当地环保工程有限责任公司废物集中处置中心。

4 设计特点

(1)针对工业废水中含有难降解有机物,可生化性较差,分别采用浅层气浮和水解酸化处理工艺进行一级处理,既提高了废水的可生化性,又提高系统抗水质冲击负荷,减轻后续生产构筑物的运行

负荷。

(2)调节池采用3种模式运行,可以节省电耗。

(3)碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池的出水设置 COD_{Cr} 在线监测仪表,进行合理超越,节省电耗。

(4)分别采用浅层气浮和碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池两级除氟,完全确保出水氟化物浓度。

5 经济效益分析

该项目建设总投资为28 340.52万元,工程费用为22 545.95万元。该项目运行费用包括人工费、水费、电费、药剂费、污泥处置费、设备维护费、管理及其他费用,核算吨水污水处理成本为4.46元。

后期实际运行中,生化池出水 COD_{Cr} 为66~75 mg/L,在投加20~30 mg/L粉末活性炭的基础上,臭氧的实际投加量基本在12~18 mg/(L 臭氧),可以保证出水 COD_{Cr} 达标;若活性炭的投加量增加到50~60 mg/L,则基本不需要投加臭氧,可以减少吨水运行费用约0.1元。

6 结语

(1)针对保山工贸园综合污水处理厂工业废水水质特点,采用预处理+调节池+浅层气浮机+水解酸化+改良AAO活性污泥法+二沉池+碳载体吸附池-加砂高密度沉淀池+臭氧催化氧化工艺+紫外线消毒。实际运行结果表明,该工艺具有出水水质稳定、运行效果良好、经济效益明显的优点,可为同类型工业污水处理厂的设计运行提供参考。

(2)进水氟离子质量浓度 ≤ 4 mg/L时,采用混凝沉淀法去除氟化物是较为简单有效的处理方法。粉末活性炭去除难降解有机物的实际运行费用低于臭氧催化氧化工艺。

(3)调节池通过采用3种运行工况模式,节省了电耗,降低了运行成本。

参考文献

- [1] 苗文凭,刘青岩. 工业园区污水处理厂的设计特点[J]. 中国给水排水, 2016, 32(8):44-46.
- MIAO W P, LIU Q Y. Design characteristics of wastewater treatment plant in industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(8):44-46.
- [2] 杜翠红. 某电子信息产业园废水处理工程实例[J]. 工业用

水与废水, 2024, 55(3):85-90.

DU C H. A project example of wastewater treatment in an electronic information industrial park [J]. Industrial Water & Wastewater, 2024, 55(3): 85-90.

- [3] 吴永. 硅太阳能电池板生产废水处理工艺设计[J]. 工业水处理, 2021, 41(11):138-142.

WU Y. Treatment process design of the wastewater from the production of silicon solar panels [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(11):138-142.

- [4] 邱迪,陈卓,李茜,等. 水解酸化+AAO+混凝沉淀+臭氧-BAF工艺在综合产业园废水处理中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(1):107-114.

QIU D, CHEN Z, LI Q, et al. Application of hydrolytic acidification + AAO + coagulation and sedimentation + O_3 -BAF processes in comprehensive industrial zone wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(1):107-114.

- [5] 陈琪,李孟,张斌. 多晶硅微粉加工生产废水处理工艺改进的应用研究[J]. 给水排水, 2017, 43(2):75-78.

CHEN Q, LI M, ZHANG B. Study on process modification for polycrystalline silicon powder processing wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(2): 75-78.

- [6] 胡双意,瞿茜,邓先涛,等. 多元催化氧化+改良 A^2/O 工艺处理工业园区废水[J]. 中国给水排水, 2022, 38(18): 68-71.

HU S Y, ZI Q, DENG X T, et al. Application of multi-element catalytic oxidation and modified A^2/O process in the treatment of wastewater from industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(18): 68-71.

- [7] 崔兵,金怡,杨泽坤. 钙盐-混凝法处理高氟废水的实验研究[J]. 工业水处理, 2023, 43(6): 150-155.

CUI B, JIN Y, YANG Z K. Research on the treatment of high fluoride wastewater by calcium salt-coagulation method [J]. Industrial Water Treatment, 2023, 43(6): 150-155.

- [8] 傅利,鄱家福,安莹,等. 工业园区废水深度处理技术研究现状[J]. 工业水处理, 2021, 41(6): 149-155.

FU L, XI J F, AN Y, et al. Research status of advanced wastewater treatment technology in industrial parks [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(6): 149-155.

- [9] 王靖宇,高源,盛宇星,等. 深度除氟工艺处理煤化工尾水的研究[J]. 应用化工, 2020, 49(3): 550-554.

WANG J Y, GAO Y, SHENG Y X, et al. Study on deep defluorination process for coal chemical tail water treatment [J]. Applied Chemical Industry, 2020, 49(3): 550-554.