

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.241103

五段 Bardenpho+炭吸附高效沉淀池在某产业园区 污水处理中的研究

李桂姣¹, 岳崇峰²

(1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司成都分公司, 四川 成都 610030; 2. 中国电建成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610031)

摘要: 西南地区某城市家具产业城排放污水以家居业、水晶饰品与铝业废水为主。园区污水厂处理规模为 6 000 m³/d, 出水执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB51 2311—2016)。进水中 COD_{Cr}、TN、F⁻ 等含量较高 (500、50、10 mg/L), 尾水指标要求严苛 (30、10、1.5 mg/L), 为满足尾水排放需求, 采用预处理+除氟初沉池+水解酸化池+五段 Bardenpho 生化池+催化氧化+炭吸附高效沉淀池作为主体处理工艺。生化池综合水解、生化、沉淀 3 阶段的功能, 集约化设计提高土地使用效率; 研究了生化池增加预硝化、释氧区, 高效沉淀池投加活性炭对有机物、TN、TP、F 的去除效果。

关键词: 含氟废水; 五段 Bardenpho; 炭吸附高效沉淀池

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)07-0220-05

Study of Five-part Bardenpho + Carbon Adsorption Efficient Settling Tank in Wastewater Treatment of Industrial Park

LI Guijiao¹, YUE Chongfeng²

(1. Chengdu Branch of Northwest Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610030, China; 2. China Power Construction Corporation Chengdu Survey and Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: An urban furniture industry town in the southwest region mainly produces wastewater from the home furnishing industry, crystal jewelry and aluminum industry. The scale of the wastewater treatment plant in the park is 6 000 m³/d. The effluent complies with the standards of the Min-Tuo River in Sichuan Province (DB51 2311—2016). The content of COD_{Cr}, TN and F ion in the influent is relatively high (500, 50, 10 mg/L). The requirements for tailwater indicators are strict (30, 10, 1.5 mg/L). To meet the requirements of tailwater discharge, the pre-treatment + defluorination primary settling tank + hydrolysis acidification tank + five-part Bardenpho biochemical tank + catalytic oxidation + carbon adsorption efficient settling tank are adopted as the main treatment processes. The hydrolysis, biochemistry and sedimentation functions of the three-part biochemical tank are integrated, and the intensive design improves the efficiency of land use. The removal effects of organic matter, TN, TP and F are explored by adding pre-nitrification and oxygen release zones to the biochemical tank and adding activated carbon to the efficient settling tank.

Keywords: fluorine containing wastewater; five-part Bardenpho; carbon adsorption efficient settling tank

1 工程概况

2023 年 12 月 12 日国家发改委、住房城乡建设部、生态环境部三部委发布了《关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》(发改环资〔2023〕1714 号), 对污水厂的减污降碳协同增效提出了更高的要求。西南某城市家居产业城主要以家具、物流企业为主, 后续陆续引进了铝业、水晶制品产业, 纳污面积约

3 000 m²、服务人约 8 000 人。根据产业规划污水厂服务设计处理规模 6 000 m³/d, 排水回用率不低于 1 200 m³/d。设计进水水质参考周边水厂及类似工业园区。出水水质主要执行岷沱江标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标, 具体如下表 1 所列。

2 工程总体方案

2.1 工艺路线选择

污水厂主要收集铝业、水晶制品、家具及少量生活污水, 处理工艺除了满足铝业、水晶制品废水的处理功能外, 还需要为经济开发区未来入驻企业预留

收稿日期: 2024-11-12

作者简介: 李桂姣(1981—), 女, 学士, 高级工程师, 从事给排水处理、管线工程、水污染处理应用研究。

表 1 设计污水进水出水参数

指标	进水/(mg·L ⁻¹)	出水/(mg·L ⁻¹)	去除率/%
COD _{cr}	500	40	94.00
BOD ₅	300	10	98.00
SS	400	10	97.50
NH ₃ -H	40	3(5)	96.25
TN	50	15	80.00
TP	5.0	0.2	94.00
氟化物	10	1.5	85.00

排放空间。进出水水质、场地情况、处理规模及集约化程度等都是影响污水厂工艺选择的条件。

根据污水进水水质分析 BOD₅/COD_{cr}=0.6、BOD₅/TN=6、BOD₅/TP=60,表明进水碳源充足宜采用活性污泥法处理。其中 BOD₅、SS、NH₃-H 需达到 95.5% 及以上去除率,COD_{cr} 需达到 94% 的去除率,TN 及特征污染物氟化物需达到 80% 去除率;出水指标需 30.0、6.0、10.0、1.5、0.3 mg/L 以下,常规生化处理不能满足去除要求,需选用性能优异的生化处理工艺并辅以深度处理。

2.2 生化阶段工艺确定

工业园区污废水为高 COD_{cr}、TN、TP 含量水质。要求生化单元能强化去除 COD_{cr}、TN、TP 的去除效率。AAO 及改良工艺作为同步脱氮除磷技术在现状污水厂应用广泛^[1]。传统的 AAO 除磷、脱氮是相互制衡的,除磷需要较低的泥龄,并抑制硝化液回流、脱氮需要长泥龄和提高硝化液内回流。设计时需要寻求硝酸盐的平衡点,对出水指标要求苛刻的时候需要改良工艺。作为改良 AAO 工艺的五段 Bardenpho 工艺具有以下优点:

(1)生化池能够适应水质、水量的冲击,根据进水的变化及时调整运行方式,保证生化池处理效率;

(2)进水通过层层处理,实现了良好的 COD_{cr}、BOD₅及氮磷的去除效果;

(3)能够有效控制生物相和生物种群,防止菌胶团等丝状菌快速繁殖带来的工艺堵塞问题;

(4)后厌氧段充分利用生化池内的微生物菌群,实现能源的回收和利用、降低运行费用实现节能效果;

(5)自动化程度较高,能够实现远程监控和自动调整,提高了处理效率和管理效率。

2.3 深度处理方案

进水的 COD_{cr}、SS 浓度较高、二级处理难以保证出水 SS、COD_{cr}、水氮、磷达标,常规生化处理对 F 去除效果较差,在后续深度处理需增设必要的步骤进

行脱氮、除磷、除 F 等。

2.3.1 脱氮工艺选择

进水水质中 TN 含量较高,尾水有超标风险。Bardenpho 生化池工艺对 TN 有一定的去除效果。为确保 TN 稳定达标,采用臭氧催化氧化+生物接触氧化池工艺进一步去除 TN 及难降解有机物。

2.3.2 TP、氟离子去除工艺

高效沉淀池主要由混凝、循环、斜管分离及浓缩工序组成。除磷主要通过投加 PAM 与水中的磷酸盐相结合,形成 FePO₄ 或 AlPO₄ 沉淀并通过剩余污泥排放去除。除氟主要有化学沉淀、混凝沉淀、吸附、离子交换法^[2-3]。炭吸附高效沉淀池具有下列优点:(1)活性炭的高孔隙率、高比表面积物理吸附性能,待处理物质可通过后续协同沉淀排除;(2)剩余污泥、PAC、进水混合充分沉淀效率高;(3)回流污泥的应用减少了 20%~30% 的加药量;(4)占地小特别适用于场地受限或用地指标低的污水厂。

根据前面的论证家具产业园区污水处理工艺如图 1 所示:(1)预处理阶段、粗格栅污水提升泵房+细格栅沉砂池+调节池(事故应急池)+除氟初沉池构筑物;(2)生化阶段、水解酸化池+五段 Bardenpho+沉淀池^[4];(3)深度处理阶段、臭氧催化氧化+生物接触氧化池+加炭除氟除磷高效沉淀池+次氯酸钠消毒;(4)污泥采用储泥池浓缩+高压隔膜板框压滤机脱水;(5)臭气处理采用臭气收集+生物过滤技术。

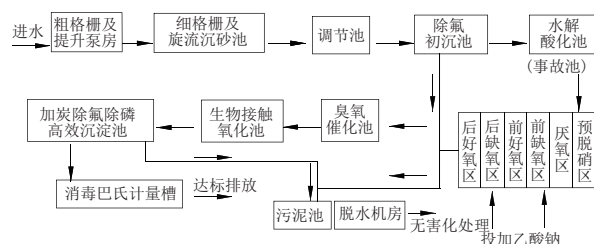


图 1 应急厂污水处理流程图

3 主要构筑物及设备设计

3.1 预处理阶段

设计流量 $Q=450 \text{ m}^3/\text{h}$ (合 $0.125 \text{ m}^3/\text{s}$),总变化系数 $K_z=1.68$ 。

(1)粗格栅及进水提升泵房(合建)

现浇钢筋混凝土结构尺寸 $10.65 \text{ m} \times 2.75 \text{ m} \times 8.2 \text{ m} + 9.25 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 9.2 \text{ m}$,1座2格渠宽 1.0 m,配回转式格栅除污机 2 台,栅隙 20 mm,污水提升泵 4 台(3 用 1 备), $Q=150 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=16 \text{ m}$ 、 $N=15 \text{ kW}$;提升泵坑内设超声波液位计和移动式 H₂S 检测仪。

(2)细格栅及旋流沉砂池

钢筋混凝土结构细格栅尺寸为 $B\times L\times H=7.65\text{ m}\times 2.5\text{ m}\times 1.65\text{ m}$,旋流沉砂池共2座,平面直径 $\phi=2.13\text{ m}$,高度 $H=2.8\text{ m}$;1座2格格栅渠,循环式格栅除污机栅隙 5 mm 、 $N=0.75\text{ kW}$,无轴螺旋输送机1套 $\phi=320\text{ mm}$ 、 $L=3\text{ m}$ 、 $N=1.1\text{ kW}$;沉砂池表面负荷: $64\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,停留时间为 32 s ,曝气量 $0.2\text{ m}^3/\text{min}$ 。

(3)事故调节池、应急池

在线均质均量调节池水力停留时间HRT为 12 h ,土建尺寸为 $B\times L\times H=18.95\text{ m}\times 32\text{ m}\times 6.75\text{ m}$,分2格,有效水深 5.5 m 。配套潜污泵4台(2用2备),单泵流量 $Q=140\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=9.5\text{ m}$,功率 $N=15\text{ kW}$;应急池存储时间 12 h 、配置潜污泵2台(1用1备),单泵流量 $Q=280\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=9.5\text{ m}$,功率 $N=15\text{ kW}$ 。

(4)除氟初沉池

钢筋混凝土结构尺寸为 $L\times B\times H=25\text{ m}\times 8.8\text{ m}\times 4.7\text{ m}$,分2格,有效水深 3.7 m 。絮凝时间为 18 min ,表面负荷为 $1.7\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,停留时间 1.8 h 。

3.2 生化阶段:水解酸化池+五段 Bardenpho+沉淀池组合池

集约化构筑物一座2格,设计流量 $Q=6\,000\text{ m}^3/\text{d}$,总尺寸为 $44.3\text{ m}\times 39.2\text{ m}\times 8\text{ m}$,集水解酸化池、生化池、二沉池于一体,利用活性污泥中的微生物降解去除水中有机物和氮磷。结构详如图2所示,参数见表2所列。

表2 水解池、生化池工艺参数表

项目	主要工艺参数	主要设备及数量
水解酸化池	HRT=2 h	可调式配水器2套/涡流布水器128套($\phi 600$) 混合液回流泵2台,排泥泵2台
厌氧池	HRT=1.37 污泥回流比 $R=100\%$	潜水搅拌器2台 $N=1.5\text{ kW}$
前缺氧区	HRT=6.44 h MLSS=4 500 mg/L 混合液回流比 $R_1=200\%\sim 400\%$	推流搅拌器8台 $N=2.2\text{ kW}$
前好氧区	HRT=11.76 h MLSS=4 500 mg/L 气水比:10:1	微孔曝气软管1 550 m,空气提推器2套
后缺氧区	HRT=2.03 h	潜水搅拌器6台 $N=1.5\text{ kW}$
后好氧区	HRT=0.97 h	微孔曝气软管295 m
周进周出沉淀池	表面负荷: $0.91\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	桁车式刮泥机跨度 6.0 m 、行走功率 $2\times 0.55\text{ kW}$ 排泥泵2台 $N=2.2\text{ kW}$

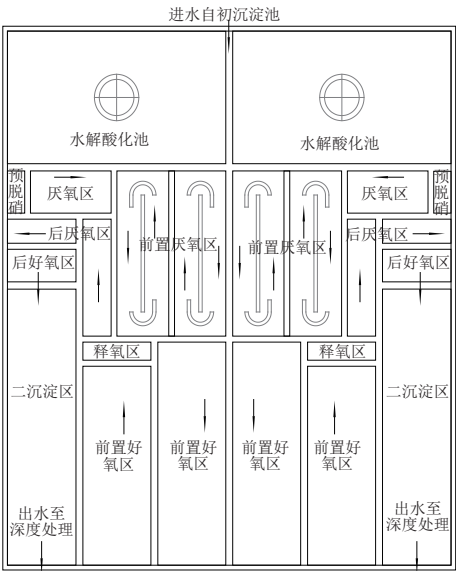


图2 水解酸化池+五段 Bardenpho+沉淀池组合池平面图

为保证脱氮效率混合液采用池顶回流系统,回流比根据在线仪表控制在 $200\%\sim 400\%$;在污泥回流前增设厌氧脱硝区,减少硝态氮对除磷菌的抑制作用。沉淀池采用配水均匀的周进周出矩形沉淀池。

鼓风机系统:为适应进水水质水量的变化,无油螺杆鼓风机增设变频系统(风量调节范围为 $50\%\sim 100\%$)。鼓风机3台(2用1备), $Q=16.5\text{ m}^3/\text{min}$,压力 $P=100\text{ kPa}$, $N=30\text{ kW}$ 。每台鼓风机对应一格生化池,根据好氧池内溶氧量调节以达到精准曝气(当溶解氧浓度小于 1.5 mg/L 时,鼓风机按额定转速运行;当溶解氧浓度大于 2.0 mg/L 时,鼓风机变频调速运行)。

3.3 深度处理

3.3.1 臭氧催化氧化池

钢筋混凝土结构,1组4格,设计水力停留时间为 1.6 h 。主要设备有:高效溶气装置超声空化装4套;超催化剂填料 $4\sim 6\text{ mm}$ 、装填高度 1.5 m ;布水布气滤头 $3\,060$ 个;动力水泵4台,单台 $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=40\text{ m}$ 、 $N=22\text{ kW}$ 。

3.3.2 碳吸附高效沉淀池

钢筋混凝土结构1座,尺寸为 $L\times B\times H=16.2\text{ m}\times 12.4\text{ m}\times 7.3\text{ m}$ 。主要有混合、絮凝、沉淀3个阶段:絮凝池容积 36.5 m^3 (HRT 13 min),混合池容积 7.8 m^3 (HRT 3 min),沉淀区液面负荷为 $6.48\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;另,粉末活性炭反应停留时间为 1.9 h ,污泥回流量为 $25\text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.3.3 生物接触氧化池

钢筋混凝土结构,尺寸为 $17.7\text{ m}\times 9.58\text{ m}\times (4.2\sim 6.25\text{ m})$ 、分32格;设计水力停留时间为 2.2 h ;配套反冲洗水泵1台,流量 $Q=260\text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程 $H=12\text{ m}$ 、

$N=11$ kW。

3.3.4 回水池、清水池、巴氏计量槽、再生水泵房

钢筋混凝土结构 1 座,尺寸 $22.5\text{ m}\times 14\text{ m}\times 3.8\text{ m}$,消毒;回水池主要提供臭氧催化氧化池反冲洗用水、树脂车间反冲洗水、臭氧发生间冷却水、场内外回用水,配套设备主要为潜污 $Q=160\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=30.0\text{ m}$ 、 $N=22\text{ kW}$ 、2 台(1 用 1 备);清水池为消毒提供充分接触时间;巴氏计量槽 1 套, $d=228\text{ mm}$ 、槽板厚 4 mm 、 $Q=0.015\sim 0.111\text{ m}^3/\text{s}$;再生水按照 $1\ 200\text{ m}^3/\text{d}$ 设计,平面尺寸为 $10\text{ m}\times 5.1\text{ m}$ 、吸水井一座、 $10\text{ m}\times 5.1\text{ m}\times 3.18\text{ m}$;再生水卧式离心泵 3 台(2 用 1 备), $Q=38\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=63\text{ m}$ 、 $N=15\text{ kW}$,配变频调速电机。

3.4 附属工作间

3.4.1 加药间

加药间主要用于初沉池、高效沉淀池及氟离子树脂交换车间投加药剂,去除 F 离子、TN 及 SS。鉴于深度处理炭源不足的情况,投加炭源以及保证后续水质稳定达标,加药间设置 4 个加药系统:(1)PAM 投加系统;(2)PAC 絮凝剂投加系统;(3)氯化钙加药系统,氯化钙投加量为 30 mg/L ;(4)乙酸钠投加系统主要用于生化池及深度处理碳源补加。

3.4.2 炭投加间

向炭吸附-高效沉淀池投加粉末活性炭,确保出水 COD_{Cr} 达标排放;框架结构尺寸为 $11.4\text{ m}\times 6.9\text{ m}\times 6.2\text{ m}$ 。

3.4.3 臭氧制备间

框架结构尺寸为 $19\text{ m}\times 9\text{ m}\times 7.05\text{ m}$,主要制备氧气和臭氧,为臭氧催化氧化池提供支撑附属投加系统。参数详见表 3。

表 3 加药及臭氧参数

项目	投加点	投加量	主要设备
PAC	初沉池	100 mg/L	储药罐 2 个、计量泵 2 台
	高效沉淀池	$1\ 015\text{ mg/L}$	600 L/h
PAM	高效沉淀池	1.0 mg/L	溶药装置 1 套
	污泥脱水间		加药泵 2 台 $60\sim 120\text{ L/h}$
乙酸钠 (碳源)	生化池缺氧区	$0\sim 140\text{ mg/L}$	卸料泵 1 台、加药泵 2 台 200 L/h
氯化钙	初沉池	30 mg/L	加药泵 2 台 60 L/h
粉末活性炭	高效沉淀池	75 kg/h	料仓 35 m^3 、加药螺杆泵 $1\sim 2.5\text{ m}^3/\text{h}$
臭氧	臭氧催化 氧化池	37.5 mg/L	臭氧发生器 $10\text{ kgO}_3/\text{h}$

3.5 污泥处理

3.5.1 储泥池

储泥池尺寸为 $L\times B\times H=8.3\text{ m}\times 4\text{ m}\times 4.2\text{ m}$;绝干污

泥量为 2.0 tDS/d ,进泥含水率 99.2% ;储泥池中设置功率为 7.5 kW 搅拌装置 2 台。

3.5.2 污泥脱水间

框架结构尺寸 $L\times B\times H=30.8\text{ m}\times 12.2\text{ m}\times 16.2\text{ m}$ 。设计干污泥总量为 5.75 TDS/d 。配套隔膜式板框压滤机,处理能力 0.2 t/h 、过滤面积 $\geq 150\text{ m}^2$ 、 $N=17.5\text{ kW}$,干污泥量为 2.0 tDS/d ;进泥含水率为 99.2% ,机械脱水后含泥量大于 40% 。铁盐投加量 40 mg/L ,聚丙烯酰胺投加量 1.5 kg/m^3 ,生石灰投加溶液浓度 10% (按干污泥量 15% 计)。

3.6 除臭生物滤池

主要收集、预处理生化处理段厌氧区第一缺氧区以及污泥脱水间的 H_2S 、 CH_4 、 NH_3 等臭气;设备尺寸为 $L\times B\times H=9\text{ m}\times 5\text{ m}\times 0.2\text{ m}$ 。生物滤池除臭装置 1 套,处理能力 $Q=20\ 000\text{ m}^3/\text{h}$;臭气经生物填料的流速为 $<0.12\text{ m/s}$,臭气与生物填料的接触时间 $>11.5\text{ s}$ 。

4 结 论

4.1 运行成本分析

工程规模为 $0.6\text{ 万 m}^3/\text{d}$,建设成本为 $9\ 000$ 万元,理论运行成本约 459 万元/a ,吨水运行成本为 2.13 元/m^3 ,低于常规的工业污水厂。综合分析,粉末活性炭为除氟耗材,占成本的 26% 。

该项目于 2022 年 6 月开工建设,2023 年 6 月通水试运行,实际处理量在 $0.3\sim 0.4\text{ 万 m}^3/\text{d}$,2023 年 9 月—2024 年 9 月进出水水质如表 4 所列。95% 进水保证率时,出水水质稳定, COD_{Cr} 、 BOD_5 、 p(TN) 、 p(TP) 、 p(F) 均达到岷、沱江标准。

表 4 项目主要原辅材料及动力消耗表

耗材名称	消耗量	成本/万元
$\text{PAC}/(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$	542	125
$\text{PAM}/(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$	14	9
$\text{氯化钙}/(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$	842	34
$\text{氢氧化钠}/(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$	131	26
$\text{粉末活性炭}/(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$	120	120
$\text{碳源乙酸钠}/(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$	1 395	70
$\text{次氯酸钠}/(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$	219	11
$\text{三氯化铁}/(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$	61	9
$\text{新水}/(\text{m}^3\cdot\text{a}^{-1})$	1 200	0

4.2 工程运行效果

进水 p(F) 较低时尽量超越初沉池,聚磷菌可充分利用原水中炭源释磷,从而减少外加炭源,降低运行费用。生化池出水 $\text{TP}\leq 0.88\text{ mg/L}$,TP 去除率在 80% 左右。厌氧区前增设预脱硝区,使厌氧区释磷

更完整,碳源充足的条件下,双重作用保证了 TP 的去除。生化池 $TN \leq 8.55 \text{ mg/L}$,前好氧区后的释氧区使得后缺氧区 DO 控制在 1.0 mg/L 以下, $NO_2\text{-N}$ 反硝化充分提高脱氮效率,保证出水效果。工业区致使进水呈现出含高 COD_{Cr} 、TN 的 p(F) 特点。五段 Bardenpho 脱氮高效稳定,该段脱氮效率稳定在 80% 左右,生化池出水 TN 为 5 mg/L ^[5]。高效沉淀池独特的污泥回流和投加活性炭,使出水效果 p(F)、p(TP) 去除效果良好,根据进水的波动调节加药量和活性炭投加量,可保证出水满足标准。

表 5 2023.9—2024.9 年实际进、出水水质

项目	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		去除率/%	
		水解酸化 池—五段 Bardenpho+ 二沉池	接触氧 化+炭吸 附高效沉 淀池	水解酸化 五段 Bardenpho +二沉池	接触氧 化+炭 吸附高 效沉淀 池
COD	450	75.50	27.50	83.00	63.57
BOD ₅	205	30.50	4.25	85.12	86.07
p(SS)	360	53	6.00	85.42	88.57
p($NH_3\text{-N}$)	35	3.35	1.35	90.43	59.70
p(TN)	45.00	8.55	5.00	81.00	41.52
p(TP)	4.20	0.88	0.21	79.05	76.14
p(F)	12.00	6.50	0.80	45.80	87.70
COD	450	75.50	27.50	83.00	63.57

5 结 语

该项目主要解决产业园区铝制品、水晶制品等工业废水,并根据特有的进水水质和尾水排放要求,采用水解酸化—五段 Bardenpho—接触氧化—炭吸附高效沉淀池为核心的污水处理工艺,出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、氨氮、TN、TP 满足四川岷沱江流域标准,氟满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,且 $\rho(F^-) < 1.5 \text{ mg/L}$,运行成本在 $3.0 \sim 4.5 \text{ 元/m}^3$ 。五段 Bardenpho 能有效去除有机物并同步脱氮除磷,对 COD_{Cr} 、TN、TP 去除率稳定在 85%、81%、79% 左右。进水如能控制 F 离子浓度,可减少活性炭投加,以节约运维费用。该集约化设计的用地比同规模污水厂少 15%。

参考文献:

- [1] 韩佩君. AAO+MBR 工艺在高标准污水厂节地设计中的应用[J]. 中国给水排水, 2024, 16(11): 65–70.
- [2] 张国庆. 光伏太阳能电池生产废水处理技术研究进展[J]. 广州化工, 2022, 50(22): 42–44.
- [3] 黄勤超. 某危废处置企业废水处理工程设计实例[J]. 工业用水与废水, 2021, 52(5): 68–72.
- [4] 冯静娴. 某开发区污水处理厂二期工程工艺设计[J]. 工业用水与废水, 2023(6): 71.
- [5] 朱泽龙, 王琴. 改良型 Bardenpho 工艺处理生活污水的效果分析[J]. 煤炭与化工, 2016, 39(12): 143–147.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

