

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.12.018

重庆某工业园区废水处理工程设计及运行案例

柳蒙蒙^{1,2}, 聂中林^{1,2}, 陈亚松^{1,2}, 王殿常^{1,2,3}, 杨明明³, 姜 亭⁴,
沈 月⁴

(1. 长江经济带生态环境国家工程研究中心, 湖北 武汉 430014; 2. 中国长江三峡集团有限公司, 湖北 武汉 430014; 3. 长江生态环保集团有限公司, 湖北 武汉 430062;
4. 安能重庆建设发展有限公司, 重庆 401329)

摘 要: 在充分调查上游排污企业及现状污水处理厂运行情况的基础上,采用“物化预处理+生化处理+非均相催化氧化耦合多效澄清”组合工艺对重庆某工业园区综合污水进行处理,实现出水COD<80 mg/L,平均去除率≥80%,出水TP稳定低于0.34 mg/L,平均为(0.05±0.05) mg/L,满足重庆市《化工园区主要水污染物排放标准》(DB 50/457—2012)。

关键词: 工业园区; 综合污水处理厂; 工业废水; 特征污染物; 深度处理; 非均相催化氧化; 多效澄清

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)12-0115-06

Design and Operation Case Study of Wastewater Treatment in an Industrial Park in Chongqing

LIU Meng-meng^{1,2}, NIE Zhong-lin^{1,2}, CHEN Ya-song^{1,2}, WANG Dian-chang^{1,2,3},
YANG Ming-ming³, JIANG Ting⁴, SHEN Yue⁴

(1. National Engineering Research Center for Ecological Environment of Yangtze River Economic Zone, Wuhan 430014, China; 2. China Three Gorges Corporation, Wuhan 430014, China;
3. Yangtze Ecology and Environment Co. Ltd., Wuhan 430062, China; 4. Anneng Chongqing Construction and Development Co. Ltd., Chongqing 401329, China)

Abstract: This study presents the design and operation of a wastewater treatment process for an industrial park in Chongqing. Based on a comprehensive investigation of upstream industrial wastewater sources and existing treatment plants, the process integrates physicochemical pretreatment, biochemical treatment, and heterogeneous catalytic oxidation coupled with multi-effect clarification. The combined process achieves effluent COD levels below 80 mg/L, with an average removal rate exceeding 80%. The effluent TP concentration remains stable at less than 0.34 mg/L, averaging (0.05±0.05) mg/L, meeting the *Provincial Discharge Standard of Main Water Pollutants for Chemical Industry Park* (DB 50/457-2012) in Chongqing.

Key words: industrial park; integrated sewage treatment plant; industrial wastewater;

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC3207601); 中国长江三峡集团有限公司项目(NBWL202300013、NBZZ202300945); 长江生态环保集团有限公司项目(NBWL202300497)

通信作者: 陈亚松 E-mail: chen_yasong@ctg.com.cn

characteristic pollutant; advanced treatment; clarification

heterogeneous catalytic oxidation; multi-effect

工业废水主要来源于不同工业(包括石化、钢铁、食品、纺织印染、造纸等)生产过程中排出的废水和废液^[1-4]。这些废水中常伴随流失的工业生产用料、中间产物以及污染物等。随着工业快速发展,工业园区废水呈现种类繁多、成分复杂等特点。除了氮、磷、悬浮物外,还有氰化物、氟化物、油污等难以生物降解的有毒有害物质。不同工业园区产生的废水在水质、水量方面也存在较大差异。

1 项目概况

重庆某工业园区主要包括仓储物流区、化肥化工区、氯碱化工区、天然气化工区、石油下游产品化工区以及发展预留区。目前园区污水处理厂主要收集两类片区的污水:一是上游园区企业的生产废水和职工生活污水,包括天然气化工区及石油下游产品化工区,主要为聚酰胺和聚氨酯产业区、高分子产业区等;二是对氯碱片区的污水进行二次处理。两个片区污水的特征污染物主要为氯离子、氰化物、氟化物、甲醛、总铜和苯等。

该园区综合污水处理厂一、二期设计规模均为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,服务范围内企业均为化工企业,产品种类较多,主要产品为聚全氟乙丙烯、芳香腈新材料配套系列产品、己二酸、己二胺、氨纶、聚四氢呋喃等,对应产生的污水量较大。2021年一、二期平均进水水量为 $12\,000 \sim 15\,800 \text{ m}^3/\text{d}$,约为设计水量的75%,最高达到 $19\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,趋于满负荷。由于园区招商引资力度增大,入驻企业增多,加上部分企业产能增加,园区污水量日益增多,同时工业废水的处理难度不断加大,原有一、二期处理规模已无法满足达标排放的要求。为了响应国家环保要求及园区发展规划,保证园区的正常运营,污水处理厂三期扩建工程迫在眉睫。

2 设计规模及进、出水水质

2.1 设计规模

污水处理厂三期扩建工程收水范围主要包括两个片区,工业企业近期水量及远期预测水量见图1。该污水处理厂上游排污企业中,天然气化工及石油下游产品加工区污水量预测为 $23\,890 \text{ m}^3/\text{d}$,氯碱片区预测污水量为 $3\,775 \text{ m}^3/\text{d}$,其他污水产生量为

$98 \text{ m}^3/\text{d}$,则三期污水量预测合计为 $27\,763 \text{ m}^3/\text{d}$ 。因此确定污水处理厂三期扩建规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污水总变化系数 $K_z=1.45$ 。

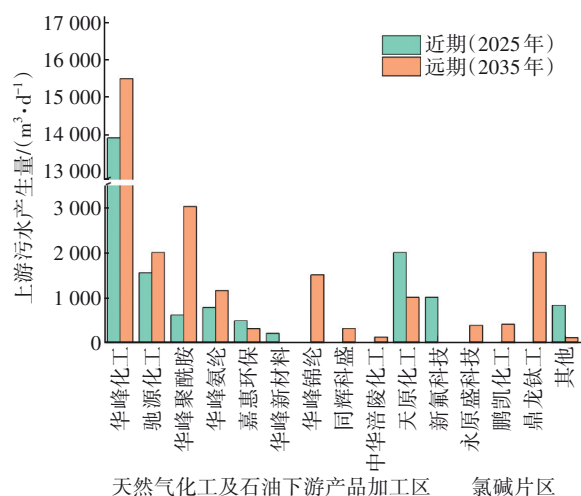


图1 上游企业污水产生量预测

Fig.1 Forecast of wastewater production in upstream pollutant discharge enterprise

2.2 设计进、出水水质

根据该污水处理厂一、二期2021年—2022年连续两年的进水数据可知,各污染物浓度符合正态分布曲线。平均进水COD为 305 mg/L ,最大值为 449 mg/L ,低于 396.78 mg/L 的概率为95%,考虑上游企业生产工艺调整对进水水质的影响,此次设计COD限值取 450 mg/L ;平均进水氨氮为 10.25 mg/L ,进水氨氮低于 15.33 mg/L 的概率为95%,此次设计氨氮限值取 20 mg/L ;平均进水总氮为 40.9 mg/L ,进水总氮低于 53.14 mg/L 的概率为95%,按污水处理厂与园区管委会达成的企业排水总氮低于 70 mg/L 的限值要求,此次设计总氮限值取 70 mg/L ;平均进水总磷为 6.62 mg/L ,进水总磷低于 9.86 mg/L 的概率为95%,已建一期和二期工程的设计进水总磷限值为 10 mg/L ,此次设计总磷限值仍取 10 mg/L ;同时,此次氯碱片区废水将进入污水处理厂进行二次处理,氯碱片区废水主要污染因子为氯化物,相关研究表明氯化物浓度过高将直接影响生化系统的运行,因此此次设计进水水质将氯化物纳入其中,进水水质取值参照《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)。

三期扩建工程设计出水沿用重庆市《化工园区主要水污染物排放标准》(DB 50/457—2012),受纳水体为乌江。三期工程设计进、出水水质见表 1。其中,设计进、出水 pH 均为 6~9。

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	BOD ₅	COD	SS	TP	TN	氨氮	氯化物
进水/(mg·L ⁻¹)	150	450	350	10	70	20	4 000
出水/(mg·L ⁻¹)	20	80	70	0.5	20	10	
去除率/%	≥86.7	≥82	≥80	≥95	≥71.4	≥50	

3 工艺方案选择

3.1 选择原则

从一、二期实际运行效果可知,COD、TP 等污染物处理效果欠佳,其原因是进水 BOD₅ 偏低(B/C<0.25)、污水可生化性差,同时缺少科学合理的深度处理工艺(见图 2),致使系统脱碳和除磷效果不佳,出水 COD、TP 等指标未能达到重庆市《化工园区主要水污染物排放标准》(DB 50/457—2012)。因此,三期工程将污水中 COD、TP 作为主要处理对象,充分考虑占地、投资、运行等条件,在满足出水要求的前提及现场中试数据基础上,最终采用“物化预处理+生化处理+非均相催化氧化耦合多效澄清”作为处理工艺。

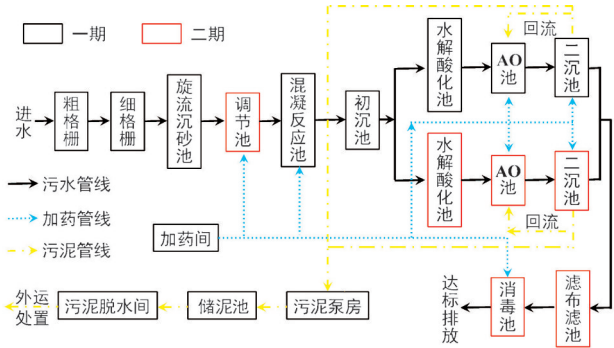


图 2 现状一、二期处理工艺流程

Fig.2 Current treatment process of phase I and II project

3.2 工艺流程

三期新建工程工艺流程如图 3 所示。污水通过提升泵进入格栅及絮凝初沉池去除较大颗粒固体物质,然后进入调节池调节水质水量,保证后续处理单元的稳定性。经过调节后的污水用泵提升进入“水解酸化+AO”生化处理系统,在微生物的作用下主要进行反硝化脱氮,去除污水中的总氮,同时

碳化去除 COD,完成碳化反应和硝化反应后自流进入二沉池,经过泥水分离后,上清液自流进入中间水池,污泥回流 AO 生化反应池,剩余污泥排入生化污泥浓缩池。

二沉池出水进入中间水池,经过酸液调节 pH 为弱酸性,用泵提升进入非均相催化氧化反应器,同时向反应器中加入硫酸亚铁和过氧化氢,在催化作用下发生非均相催化氧化反应去除污水中难生物降解有机物,催化反应出水自流进入中和脱气池,调整 pH 至 7~8,随后自流进入加载澄清池,加入 PAM 和石英砂,实现较高的表面负荷和较好的固液分离效果。上清液通过三角堰集水、自流进入滤布滤池后排入后溪河乌江入河口。二沉池剩余污泥排入生化污泥浓缩池,絮凝初沉池和加载澄清池的污泥排入物化污泥浓缩池。

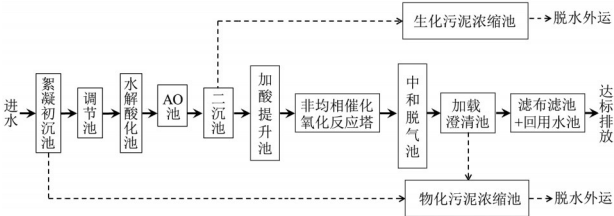


图 3 园区污水处理厂三期扩建工程工艺路线

Fig.3 Process flow of the wastewater treatment plant phase III in an industrial park

4 主要构筑物及设计参数

4.1 絮凝初沉池及调节池

新建絮凝初沉池及调节池。通过投加絮凝剂进行初步絮凝沉淀,去除悬浮物和部分有机物。调节池用于水质水量的调节,确保后续污水处理设施连续稳定进水。混凝池单格尺寸(L×B×H)为 3.10 m×3.10 m×4.50 m,共 4 格;絮凝池单格尺寸(L×B×H)为 3.10 m×3.10 m×4.50 m,共 4 格;初沉池单格尺寸(L×B×H)为 36.00 m×8.40 m×6.50 m,共 2 格;调节池尺寸(L×B×H)为 17.60 m×7.00 m×4.50 m+26.00 m×8.40 m×4.50 m,1 格;设计平均负荷为 2.1 m³/(m²·h),最大负荷为 3.4 m³/(m²·h)。配套回转式机械格栅除污机,安装于混凝池前端的进水渠,栅隙 5 mm,渠宽 1.5 m,渠深 1.5 m,排渣高度 0.8 m,P=2.2 kW,1 套;设斜桨式搅拌机,转速为 90~150 r/min,P=3.0 kW,8 台;设排泥泵 2 台(1 用 1 备),Q=120 m³/h,H=0.2 MPa,N=15 kW。

4.2 水解酸化池及AO池

新建1座水解酸化池及AO生化池组合池。水解酸化池用于将污水中难生物降解的大分子有机物分解为小分子有机物,提高污水的可生化性。AO生化池采用活性污泥工艺进行生物脱氮,同时去除有机物。水解酸化池3格,单格尺寸($L \times B \times H$)为31.00 m \times 16.00 m \times 10.50 m;厌氧池3格,单格尺寸($L \times B \times H$)为10.30 m \times 16.00 m \times 6.30 m;缺氧池3格,单格尺寸($L \times B \times H$)为10.20 m \times 16.00 m \times 6.30 m;好氧池3格,单格尺寸($L \times B \times H$)为51.10 m \times 16.00 m \times 6.30 m。设计水力停留时间:水解酸化池12 h、缺氧池4.4 h、好氧池10.1 h。缺氧池配套潜水搅拌机,叶轮直径320 mm,转速980 r/min,功率4 kW,共18套。设计污泥负荷为0.083 kgBOD₅/(kgMLSS \cdot d),设计污泥浓度为3 500 mg/L,混合液回流比为200%,污泥回流比为100%。

4.3 二沉池

新建3座二沉池,通过重力沉淀实现泥水分离。上部清水进入后续处理设施,底部污泥回流至前端生化反应池或排放至污泥处理设施。单座尺寸($D \times H$)为27.50 m \times 6.85 m,设计水力负荷为0.7 m³/(m² \cdot h),沉淀时间为4.8 h。配套周边传动半桥式刮泥机3套, $P=0.75$ kW;排泥泵6台(3用3备), $Q=50$ m³/h, $H=100$ kPa, $N=3.0$ kW;污泥回流泵6台(3用3备), $Q=420$ m³/h, $H=100$ kPa, $N=22$ kW,变频控制。

4.4 加酸提升池

加酸提升池分为缓冲池、pH粗调池、pH细调池、消沫池和中间水池。中间水池内pH设为5.0~5.5,设计浓硫酸投加量为0.47 mL/L。污水经泵提升至非均相催化反应塔。缓冲池尺寸($L \times B \times H$)为4.10 m \times 4.20 m \times 4.50 m,1格;pH粗调池尺寸($L \times B \times H$)为4.00 m \times 4.20 m \times 4.50 m,2格;pH细调池尺寸($L \times B \times H$)为4.10 m \times 4.20 m \times 4.50 m,2格;消沫池尺寸($L \times B \times H$)为21.00 m \times 2.30 m \times 4.50 m,1格;中间水池尺寸($L \times B \times H$)为21.00 m \times 8.90 m \times 4.50 m,1格;停留时间:缓冲池4 min、pH粗调池8 min、pH细调池8 min、消沫池10 min、中间水池40 min。配套斜桨搅拌机1台,转速90~150 r/min, $P=3.0$ kW;回转式消沫鼓风机2台,1用1备, $Q=2.59$ m³/min, $P=39.2$ kPa, $N=4.0$ kW;排空引风机2台(1用1备), $Q=10\ 000$ m³/h, $P=3$ kPa, $N=15$ kW;真空引水罐4台(3用1备), $D=1.5$ m, $H=22$ kPa;污水提升泵4台(1

对1变频控制,3用1备), $Q=420$ m³/h, $H=220$ kPa, $N=37$ kW。

4.5 非均相催化反应塔

单座非均相催化反应塔直径为3.85 m,高为12.9 m,处理能力为10 000 m³/d,停留时间为21 min,共3座;配套回流泵8台(6用2备), $Q=330$ m³/d, $P=30$ kW。 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 投加量为200 mg/L, H_2O_2 投加量为80 mg/L。系统启动后总催化剂(锰系)投加量约45 t,后续视催化氧化效率下降情况进行补充和部分更换,常规年均更换量不超过20%。

4.6 中和脱气池

中和脱气池由进水消泡区、中和脱气区组成。消泡区采用水力喷淋对来水形成的泡沫进行破坏消除,减少对后续工艺的影响。催化氧化反应出水pH较低,需要补充碱液进行回调,在中和脱气区通过气力搅拌进行混合。中和脱气区投加液碱将来水pH回调至中性左右,通过设置在池底的穿孔曝气管进行水力搅拌和吹脱脱气。

消泡区尺寸($L \times B \times H$)为6.80 m \times 4.80 m \times 6.20 m(有效水深为5.20 m),平均水力停留时间为14.3 min,2组;中和脱气区尺寸($L \times B \times H$)为13.00 m \times 7.80 m \times 6.20 m(有效水深为5.20 m),平均水力停留时间为47.1 min,2组;配套设备喷淋水泵2台(1用1备), $Q=100$ m³/h, $H=300$ kPa, $P=15$ kW;螺杆风机4台,变频控制, $Q=26.15$ m³/min, $P=37$ kW。50%氢氧化钠溶液设计投加量为0.16 mL/L。

4.7 加载澄清池

多效澄清工艺的反应池主要用于投加载体进行载体反应,同时添加聚合物PAM,使得絮团与载体能够有效结合并生成大而密实的絮体,保障有效沉降。

在多效澄清池中,加载反应池尺寸($L \times B \times H$)为2.6 m \times 2.6 m \times 5.6 m(有效水深为4.87 m),平均水力停留时间为3.1 min,2座;絮凝反应池尺寸($L \times B \times H$)为4.6 m \times 4.1 m \times 5.6 m(有效水深为4.8 m),平均水力停留时间为8.6 min,3座;澄清池尺寸($L \times B \times H$)为11.0 m \times 11.0 m \times 6.6 m(有效水深为5.8 m),平均表面水力负荷为7.8 m³/(m² \cdot h),2座。配套混凝反应搅拌机2台, $P=4.0$ kW;载体反应搅拌机2台, $P=4.0$ kW,变频控制;絮凝反应搅拌机2台, $P=4.0$ kW,变频控制;刮泥机1台, $D=11$ m, $P=1.5$ kW。

4.8 滤布滤池

新建1座滤布滤池、回用水池组合池。滤布滤池用于对加载澄清池出水进行深度过滤,进一步去除悬浮物。回用水池用于储存尾水,回用于厂区污泥脱水机冲洗等。滤布滤池尺寸($L \times B \times H$)为17.40 m \times 7.65 m \times 4.50 m,分3组,含配水渠等;回用水池尺寸($L \times B \times H$)为9.20 m \times 7.65 m \times 5.90 m,1格。配套纤维转盘6座,处理能力为10 000 m³/d,转盘直径为3 m, $P=1.5$ kW;排泥泵1台, $Q=25$ m³/h, $H=150$ kPa, $N=3.0$ kW。

5 运行效果

该园区污水处理厂经过2个月调试与系统完善后,出水水质达到设计排放要求(见表2),目前已经稳定运行,平均进水量为 2.25×10^4 m³/d。由表2可知,出水COD、NH₃-N、TP能够稳定达到重庆市《化工园区主要水污染物排放标准》(DB 50/457—2012)。

表2 试运行期间进、出水水质

Tab.2 Influent and effluent quality during commissioning operation $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目		平均值	最小值	最大值	中位数	众数
COD	总进水	227.56±54.78	168.00	315.00	207.00	286.00
	二沉池出水	87.29±26.83	16.81	182.00	85.97	97.13
	总出水	42.99±11.11	18.65	67.80	43.32	54.05
NH ₃ -N	总进水	7.96±1.81	5.36	10.65	8.17	8.17
	总出水	1.21±0.74	0.20	2.16	1.23	0.98
TN	总进水	40.30±5.72	29.60	48.80	40.70	46.40
	总出水	9.27±2.92	4.82	16.41	9.02	9.13
TP	二沉池出水	0.46±0.54	0.01	3.58	0.35	0.38
	总出水	0.05±0.05	0.01	0.34	0.03	0.03

废水深度处理工程进、出水污染物浓度变化如图4所示。

从图4(a)可以看出,进水COD为(227.56 \pm 54.78) mg/L,二沉池出水COD为(87.29 \pm 26.83) mg/L,平均去除率为61.64%,可见进水中含有大量难降解有机污染物,生化处理工艺难以完全去除,需要通过深度处理去除。二沉池出水经加酸提升池进入非均相催化氧化反应耦合多效澄清工艺处理后,出水COD为(42.99 \pm 11.11) mg/L,总去除率达到81.11%,满足COD<80 mg/L的排放标准。

从图4(b)也可以看出,深度处理对废水中总磷具有理想的处理效果,出水TP稳定在0.34 mg/L以下,平均为(0.05 \pm 0.05) mg/L。

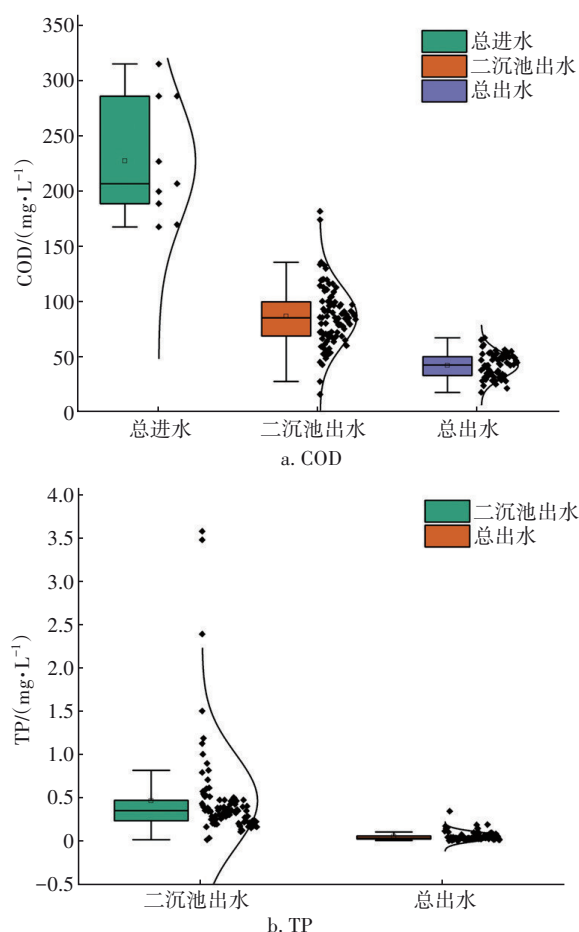


图4 试运行期间对COD和TP的去除情况

Fig.4 Removal of COD and TP during commissioning operation

该工艺流程充分参考一、二期运行情况,并结合上游企业排污特征,解决了工业园区废水难降解污染物去除难度大、出水不稳定的问题。

① 预处理单元。设计絮凝初沉池和调节池,废水经絮凝初沉池去除较大颗粒固体物质后进入调节池调节水质水量,保证后续处理单元的稳定性。当调节池的水质浓度超过设计值时,自动将污水提升至应急事故池,当处理水量或污染物浓度降低后,再启动事故池提升泵进行调节池配水,对整个污水处理系统进行较好地缓冲。

② 生化处理单元。水解酸化池用于将废水中难生物降解的大分子有机物分解为小分子有机物,提高废水的可生化性。AO生化池进行生物脱氮和部分生物除磷,同时去除有机物。

③ 深度处理单元。采用“非均相催化氧化耦合高效澄清”的深度处理工艺进一步去除废水中难降解COD,并利用催化氧化过程产生铁盐的絮凝沉

淀作用,进一步去除废水中的TP和悬浮物,大幅提高处理效能,减少占地面积和投资成本。

6 结论

① 在充分了解上游排污企业特征及现状一、二期污水处理工程进水特征的前提下,针对工业园区进水COD较高、难降解物质比例大等特点,重庆某工业园区废水处理三期工程采用“物化预处理+生化处理+非均相催化氧化耦合多效澄清”组合处理工艺,运行效果良好。

② 进水主要污染物COD均值为 (227.56 ± 54.78) mg/L,处理出水COD为 (42.99 ± 11.11) mg/L,平均去除率 $\geq 80\%$;出水TP平均为 (0.05 ± 0.05) mg/L,满足重庆市《化工园区主要水污染物排放标准》(DB 50/457—2012)。

参考文献:

- [1] 郭亚琼,李鹏峰,孙永利,等. 某工业园区污水处理厂工艺诊断和优化运行研究[J]. 中国给水排水,2020,36(2):16-21.
- GUO Yaqiong, LI Pengfeng, SUN Yongli, *et al.* Study on the process diagnosis and optimizing operation of a WWTP in industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2020,36(2):16-21(in Chinese).
- [2] 赵雅光,李军,孔德枫,等. 某工业园区污水处理厂改造工程实例[J]. 给水排水,2022,48(5):70-75.

ZHAO Yaguang, LI Jun, KONG Defeng, *et al.* A case of wastewater treatment plant upgrading project in an industrial park [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022,48(5):70-75(in Chinese).

- [3] 许晓明,刘宇心,闫萍,等. 以工业废水为主的污水厂准IV类水质提标扩建工程设计[J]. 中国给水排水,2020,36(18):60-65.

XU Xiaoming, LIU Yuxin, YAN Ping, *et al.* A design case of upgrading and expansion project to meet the quasi-IV class standard in a WWTP with industrial wastewater as its major influent [J]. China Water & Wastewater, 2020,36(18):60-65(in Chinese).

- [4] 郭庆英,刘晓茜,李晶. 芬顿高级氧化用于工业污水厂深度处理提标改造[J]. 中国给水排水,2019,35(10):64-67.

GUO Qingying, LIU Xiaoqian, LI Jing. Application of Fenton advanced oxidation process for upgrading and reconstruction project of an industrial wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(10):64-67(in Chinese).

作者简介:柳蒙蒙(1992—),男,河北衡水人,博士,高级工程师,主要研究方向为污废水处理及资源化。

E-mail:liu_mengmeng@ctg.com.cn

收稿日期:2024-07-05

修回日期:2024-10-17

(编辑:衣春敏)

珍惜地下水,珍视隐藏的资源