

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.20.020

改良Bardenpho+MBR+活性焦处理化工园区废水

刘骁智, 陈思彤, 李小鹏, 张方方
(青岛水务碧水源科技发展有限公司, 山东 青岛 266034)

摘要: 山东某化工园区污水处理厂二期扩建规模为 $1.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,进水包含极难降解工业废水($1\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)和生活污水($0.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$),出水COD、BOD₅、氨氮、TP执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准,SS≤6 mg/L、TN≤10(12) mg/L,设计采用改良Bardenpho+MBR+活性焦吸附工艺。运行实践表明,该组合工艺处理效率高,抗冲击能力强。改良Bardenpho取得了较好的碳、氮、磷去除效果,MBR能保证SS低值达标,活性焦吸附工艺可有效保证难降解可溶性COD稳定达标,最终出水COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP、SS分别为25.18、5.22、0.26、7.88、0.22、1.08 mg/L。该扩建工程总投资为1.180 3亿元,其中建筑安装费为9 453万元,运行后各项指标均稳定达标,直接运行成本为1.43元/m³。

关键词: 化工园区污水处理厂; 改良Bardenpho工艺; MBR工艺; 活性焦吸附

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)20-0121-06

Treatment of Chemical Park Sewage by Improved Bardenpho Process, MBR and Active Coke Adsorption Process

LIU Xiao-zhi, CHEN Si-tong, LI Xiao-peng, ZHANG Fang-fang
(Qingdao Water Origin Water Technology Development Co. Ltd., Qingdao 266034, China)

Abstract: The second phase expansion capacity of the sewage treatment plant in a chemical industry park in Shandong Province is $1.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, including $1\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ of industrial wastewater and 5 000 m³/d of domestic sewage, of which industrial wastewater is extremely difficult to degrade. The effluent COD, BOD₅, NH₃-N and TP shall comply with the level Ⅳ criteria in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), i.e., SS≤6 mg/L and TN≤10(12) mg/L. The design adopts improved Bardenpho, MBR and activated coke adsorption process. It shows that the combined process has high treatment efficiency and strong shock loading resistibility. The improved Bardenpho achieves better C/N/P removal effect, MBR process can ensure the low SS value to reach the standard, and the active coke adsorption process can effectively ensure the stability of refractory soluble COD to reach standard. The final concentrations of effluent COD, BOD₅, NH₃-N, TN, TP and SS are 25.18, 5.22, 0.26, 7.88, 0.22 and 1.08 mg/L, respectively. The total investment of the expansion project is 118.03 million yuan, of which the construction and installation cost is 94.53 million yuan. After operation, all indicators are stable and up to standard and the direct operation cost is 1.43 yuan/m³.

Key words: wastewater treatment plant of chemical industrial zone; improved Bardenpho process; MBR process; active coke adsorption

综合化工园区污水处理厂普遍存在水质水量波动大、可溶性难降解COD含量高、废水可生化性差、

外加碳源量大等问题。山东某化工园区污水处理厂针对COD指标问题,在一期工程、一期提标改造及二期扩建工程的深度处理部分分别应用“臭氧接触池+活性炭滤池”“高级催化氧化+活性炭滤池”“活性焦吸附(配套活性焦再生系统)”工艺;针对总氮达标外加碳源量大问题,二期生化段将AAO优化为改良Bardenpho以挖潜生化系统的脱氮功能。对该厂不同时期、不同工艺应用情况进行比较分析,可作为国内类似化工园区污水处理厂主体工艺选择的参考。

1 一期工程运行情况及分析

1.1 工程概况

该污水处理厂始建于2015年,总规模 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分两期建设,一期 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主要处理园区内精细化工、新材料、医药及石油化工深加工等企业排放废水。原设计工艺为水解酸化+AAO+MBR+臭氧接触池+活性炭滤池,出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。2020年采用水解酸化+AAO+MBR+臭氧高级催化氧化+活性炭滤池工艺进行提标改造,出水执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水体限值要求,其中 $\text{SS} \leq 6 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$ 。提标采用的高级催化氧化工艺对COD的去除效果较提标前臭氧接触池提高近一倍,高于以往案例应用效果^[1-2]。

1.2 进、出水水质

该污水处理厂进水中生活污水占1/3,工业废水占2/3,其中工业废水含有各类难降解有机物(烃、卤代烃、醇、醚、醛、酮、酸、酯、苯酚、杂环类化合物等),水质复杂,难生物降解物质多,可生化性一般,而且波动极大,进水水质超设计标准现象时有发生。实施“一企一管”措施后(2021年10月—2022年10月)的进水水质如表1所示。

数据显示,整体进水水质平均值低于原设计进水水质,但水质波动剧烈,这主要是园区各企业厂内废水站处理水平参差不齐所致。数据还显示,氨氮、TN、TP三项指标依然存在超标现象。实际进水碳源不足,为保证出水TN稳定达标,需在部分时段额外投加碳源。

一期工程进、出水水质见表1。现状污水厂运行良好,90%保证率下出水水质均可稳定达标。

表1 一期工程进、出水水质

Tab.1 Influent and effluent quality of phase I

项目	project					
	mg·L ⁻¹					
实际进水平均值	50	98.22	11.7	17.9	1.1	64
实际进水最大值	155	453	56.88	58.41	5.52	115
实际进水最小值	3	33.11	2.34	6.52	0.26	35
原设计进水	150(350)	500	40	55	4.0	400
实际出水平均值	3	20.31	0.3	7.4	0.1	2.1
实际出水最大值	7	36.12	3.53	14.13	0.47	2.5
实际出水最小值	0	7.53	0.02	0.22	0.04	1.5
90%保证率出水	6	25.58	0.43	11.62	0.18	2.3
95%保证率出水	7	27.09	0.57	12.39	0.19	2.4

1.3 主要构筑物及设计参数

① 事故调节池。1池4格,正常运行时两格均作调节池运行,均质均量;当遇到检修维护及进水水质波动较大时,利用1/2池体作事故池来贮存事故水,之后用小泵提升注入后续处理构筑物。池体尺寸($L \times B \times H$)为 $29.5 \text{ m} \times 19.2 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$,有效水深 6.3 m ,HRT约 8.5 h 。一格内设置潜水排污泵3台(2用1备,1台变频, $Q=209 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=80 \text{ kPa}$, $N=7.5 \text{ kW}$);一格内设置潜水排污泵2台(平时运行互为备用,事故时1用1备,1台变频, $Q=105 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=80 \text{ kPa}$, $N=5.5 \text{ kW}$)。

② 曝气沉砂池。设计流量 $658 \text{ m}^3/\text{h}$ 。池体1座分2格,配套1台桁车式吸砂机(配提砂泵2台)、1台处理量为 $20 \sim 27 \text{ L/s}$ 的螺旋式不锈钢砂水分离器、2台曝气罗茨鼓风机2台(1用1备, $Q=4.5 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=29.4 \text{ kPa}$, $N=5.5 \text{ kW}$)。同时设有浮渣槽去除浮渣和油类。

③ 水解酸化池。设计流量 $658 \text{ m}^3/\text{h}$,分2格,单格尺寸($L \times B \times H$)为 $19.0 \text{ m} \times 12.0 \text{ m} \times 6.7 \text{ m}$,有效水深 6.1 m ,总水力停留时间为 6.7 h ,筒体内空尺寸为直径 1.7 m ,总高 9.2 m 。每格采用1套钟罩式脉冲式布水器和20套穿孔管的小阻力配水方式,设14套排泥管。

④ A²O生化池。设计流量 $417 \text{ m}^3/\text{h}$,污泥负荷 $0.08 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,污泥浓度(MLSS) 6000 mg/L ,污泥回流比 400% ,污泥龄 25 d 。厌氧、缺氧池有效容积 $2270 \text{ m}^3/\text{座}$,好氧池有效容积 $5140 \text{ m}^3/\text{座}$;总HRT为 17.7 h 。

⑤ MBR膜池及设备间。设计流量 $417 \text{ m}^3/\text{h}$,膜池尺寸 $22.4 \text{ m} \times 14.1 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$,水力停留时间

2.4 h。膜池为 1 座 4 格,膜组器共 12 套,每格 3 套同时预留 1 个空位。膜组器采用 PVDF 中空纤维膜,过滤孔径 $0.1\ \mu\text{m}$,设计瞬时通量 $13.8\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

⑥ 鼓风机房。主要为 A^2/O 反应池、MBR 膜池提供气源。 A^2/O 反应池曝气风机:罗茨鼓风机 3 台(2 用 1 备, $Q=28.37\ \text{m}^3/\text{min}$, $P=63.7\ \text{kPa}$, $N=55\ \text{kW}$)。MBR 膜池吹扫风机:罗茨鼓风机 3 台(2 用 1 备, $Q=41\ \text{m}^3/\text{min}$, $P=44.1\ \text{kPa}$, $N=45\ \text{kW}$)。

⑦ 臭氧催化氧化池。COD 设计去除量(ΔCOD)为 $25\ \text{mg/L}$,按照 $\text{O}_3:\Delta\text{COD}=1:1$ 计算,臭氧设计投加量为 $25\ \text{mg/L}$ 。池体 1 座,分独立 2 格,每格接触池分 3 段,前两段投加催化剂填料,采用密闭对流接触方式,在接触池下部采用微孔曝气、臭氧上向流、水流下向流,以达到充分反应。设计流量 $417\ \text{m}^3/\text{h}$,填料层、缓冲区、清水区的停留时间分别为 15、15、30 min,总停留时间 60 min。配套设备有电加热式臭氧尾气破坏器(2 台, $N=3.7\ \text{kW}$,1 用 1 备,材质 316L);高效臭氧容器装置($N=15\ \text{kW}$,4 台,SS316L 材质);催化剂填料 $108\ \text{m}^3$,动力泵(离心泵, $Q=120\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=220\ \text{kPa}$, $N=11\ \text{kW}$,4 台);反冲洗风机(罗茨风机, $Q=24.3\ \text{m}^3/\text{min}$, $H=85\ \text{kPa}$, $N=75\ \text{kW}$,2 台,互为备用)。

⑧ 臭氧发生间。臭氧发生器 2 套(1 用 1 备),单套臭氧制备能力 $10\ \text{kg/h}$ 。

1.4 运行难点分析

① 该项目难点是可溶性难降解 COD 较高,一期提标前深度去除 COD 采用臭氧活性炭滤池工艺,臭氧投加量约 $15\ \text{mg/L}$,COD 去除量约 $10\ \text{mg/L}$;一期提标后,采用臭氧高级催化氧化和活性炭滤池(臭氧活性炭滤池利旧,保留活性炭滤池功用)组合工艺,臭氧高级催化氧化池的臭氧投加量为 $20\ \text{mg/L}$,COD 去除量约 $20\ \text{mg/L}$,与设计值 $\text{O}_3:\Delta\text{COD}=1:1$ 符合,加上活性炭滤池 COD 吸附量为 $5\ \text{mg/L}$ 左右,基本可保证出水达标。但由于该污水处理厂进水含盐量较高、硬度较高(总硬度为 $536\ \text{mg/L}$),其覆盖在臭氧催化剂填料和活性炭表面,使催化剂填料和活性炭使用寿命大大缩短,运行费用升高。

② 为保证 TN 去除效果,需要额外投加大量碳源。采用优质复合碳源,费用约 $0.33\ \text{元}/\text{m}^3$ 。

③ 水解酸化池设计上升流速 $0.94\ \text{m/h}$,属于低水力负荷排泥,排泥量偏大,污泥层不易控制,系统内污泥量少,水解酸化效果较差,B/C 比并未明显

提高,出水与进水 B/C 均为 0.22 左右。

2 二期扩建工程工艺设计

2.1 设计水质、水量

二期处理规模为 $1.5\times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$,包含 $1.0\times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ 工业废水和 $0.5\times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ 生活污水,参考一期进水水质,工业废水可溶性难降解物质较多,可生化性差,处理难度大。同时考虑园区发展,后期将入驻更多精细化工企业,废水中难降解有机物占比增加,且园区内企业排水在进入管网时标准参差不齐,高标准企业为降低厂内运营成本,后期会调整排放水质接近设计标准,所以二期扩建工程的设计进水水质与一期相同,排放标准及去除率见表 2。其中出水 TN 为 $10\ \text{mg/L}$,高于一期设计值。

表 2 二期工程设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality of phase II project

项目	BOD_5	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP	SS
进水水质/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	150	500	40	55	4.0	400
出水水质/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6	30	1.5	10	0.3	6
去除率/%	96	94	96.25	81.8	92.5	98.5

2.2 工艺流程

结合一期 COD、氨氮波动大及工艺应用情况,二期在工业废水预处理、生化处理以及深度处理方面进行了优化选择,工艺流程分别见图 1、2。

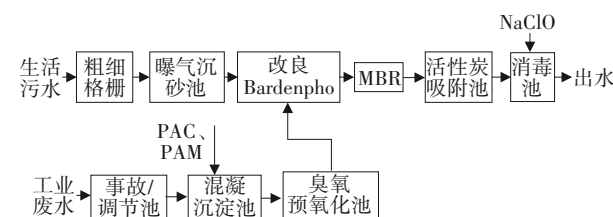


图 1 扩建工程污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process of expansion project

工业废水预处理部分采用臭氧预氧化工艺代替水解酸化工艺;生化处理系统采用改良 Bardenpho 代替普通 A^2/O ,可进一步深挖生化脱氮功能^[3],减少碳源投加量;采用活性焦吸附工艺去除可溶性难降解 COD,极大提高了 COD 吸附去除量,配套活性焦再生工艺,解决了活性焦结垢问题,保障了各项出水水质尤其是 COD 达标。

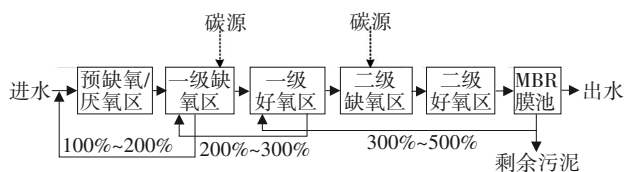


图2 改良Bardenpho工艺流程

Fig.2 Flow chart of modified Bardenpho process

该扩建工程污水处理采用多级臭氧预氧化池+改良Bardenpho+MBR+活性焦吸附池(配套活性焦再生工艺),污泥处理采用污泥均质池+高压板框脱水机,除臭采用生物滤池工艺。

生活污水经管网收集后进入粗格栅去除纤维状物质和大颗粒悬浮物,再经过细格栅进一步去除悬浮物后,进入曝气沉砂池去除较重泥砂,然后自流进入改良Bardenpho生化池。工业废水经“一企一管”进入事故调节池,调节池出水由泵提升至混凝沉淀池,经过加药混合絮凝后进入沉淀池进行泥水分离,然后自流进入臭氧预氧化池,废水可生化性提高后,自流进入改良Bardenpho生化池,与生活污水混合,完成碳、氮、磷的去除。改良Bardenpho耦合MBR膜池,MBR工艺实现了泥水分离,使得活性污泥龄变长,有利于世代周期长的硝化细菌和反硝化细菌生长,从而增强脱氮效果,同时微滤膜的出色截留作用,可使出水SS保持极低水平。MBR出水进入活性焦吸附池,进一步去除可溶性难降解COD。出水进入消毒池,消毒池同时兼作排水泵房,最后的出水排入附近河流。

该污水处理厂污泥主要包括栅渣、混凝沉淀池污泥和MBR池污泥三部分,经污泥均质池充分混合后进入污泥浓缩池进一步浓缩,上清液回流至前端进水,污泥添加石灰后进入板框压滤机脱水至含水率60%后外运处置。

2.3 主要构筑物及设计参数

① 事故调节池。1座4格,半地下矩形钢混结构,有效容积5292 m³,停留时间8.46 h,穿孔管曝气搅拌,4格交替搅拌。配套污水提升泵3台,变频,2用1备,单泵 $Q=313\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=18.5\text{ kW}$ 。

② 混凝反应池。矩形钢混结构,包括机械混合池、絮凝池和平流沉淀池。机械混合池1座2组,单格停留时间为117 s,配套单层混合搅拌机2台, $L=1200\text{ mm}$ 、 $N=0.75\text{ kW}$ 。经混合的废水流入絮凝反应池。絮凝反应池分2组6格,设有框式反应器,

HRT为13.7 min。絮凝反应池配置 $L=1800\text{ mm}$ 絮凝搅拌机2套。PAC投加量为50 mg/L,PAM投加量为1 mg/L。

③ 平流沉淀池。2座,表面负荷 $1.41\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,单座尺寸 $(L\times B\times H)=30.0\text{ m}\times 4.9\text{ m}\times 3.5\text{ m}$,有效水深3 m。配套桁车式吸泥机,跨度10.4 m,电机功率 $2\times 0.55\text{ kW}$,真空泵功率0.75 kW;排泥泵4台,2用2备,单泵 $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=5.5\text{ kW}$ 。

④ 臭氧预氧化池。1座2格,单座尺寸 $(L\times B\times H)$ 为 $26.6\text{ m}\times 14.6\text{ m}\times 7.5\text{ m}$,有效水深6.15 m;两池体中间为设备间,尺寸 $(L\times B\times H)$ 为 $25.1\text{ m}\times 4.0\text{ m}\times 7.5\text{ m}$ 。三段接触臭氧最大设计投加量为24 mg/L。每级曝气的臭氧比例按照2:1:1设计,采用GW600型射流曝气器4套;卧式离心泵5台,4用1冷备,单泵 $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=15\text{ kW}$;呼吸阀4套,DN80,材质为SS316L,设计压差0.1 MPa。其他配套设备:臭氧系统管路、呼吸阀、尾气分解器及臭氧扩散装置,其中尾气破坏器 $Q\geq 80\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=5\text{ kW}$,1用1备。

⑤ 生物反应池。集厌氧、缺氧、好氧于一体,依次分为预缺氧池、厌氧池、一级缺氧池、一级好氧池、二级缺氧池、二级好氧池6部分。其中,MBR膜池污泥回流至好氧池;好氧池内混合液回流至缺氧池,缺氧池混合液回流至厌氧池。MBR膜池排放剩余污泥。共设2座,单座尺寸为 $54.2\text{ m}\times 27.1\text{ m}\times 6.2\text{ m}$,MLSS为4000~6000 mg/L,污泥负荷 $0.065\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$,污泥龄21 d,水力停留时间23.4 h。预缺氧池有效水深5.6 m,停留时间1.13 h。厌氧池有效水深5.55 m,停留时间1.97 h。一级缺氧池有效水深5.50 m,停留时间6.68 h。一级好氧池有效水深5.45 m,停留时间9.13 h。二级缺氧池有效水深5.40 m,停留时间2.88 h。二级好氧池有效水深5.35 m,停留时间1.6 h。单池配套微气泡高氧转移速率管式曝气装置426根,规格为1 m/根,供气量 $6\sim 8\text{ m}^3/(\text{根}\cdot\text{h})$,充氧效率22%。预缺氧池设置中速潜水搅拌机3台,2用1冷备, $N=3\text{ kW}$;厌氧池设置高速潜水搅拌机5台,4用1冷备, $N=2.5\text{ kW}$;一级缺氧区设置5台低速潜水推进器,4用1冷备, $N=5.0\text{ W}$;二级缺氧区设置中速潜水搅拌机5台,4用1冷备, $N=3.0\text{ kW}$ 。设置混合液回流泵3台,2用1冷备,单泵 $Q=260\text{ L/s}$ 、 $N=5.0\text{ kW}$ 。精细格栅2台,栅条间隙1 mm。

⑥ MBR膜池。1座6格,膜池尺寸 $32.4\text{ m}\times$

14.1 m×4.5 m,停留时间 2.4 h(平均时)。膜设备间尺寸 37.3 m×11.9 m,层高 6.6 m。设置 18 台膜组器,采用 PVDF 中空纤维膜,过滤孔径 0.1 μm,设计瞬时通量 15 L/(m²·h)。配套 8 台产水泵(6 用 2 备,变频,单泵 Q=167 m³/h、N=7.5 kW),在线 CIP 清洗泵(3 台,2 用 1 备,1 台变频,单泵 Q=100 m³/h、N=5.5 kW),液环真空泵(2 台,1 用 1 备,单泵 Q=165 m³/h、N=4.0 kW,最大真空度 84%),反洗次氯酸钠加药泵(Q=1 500 L/h,2 台,1 用 1 备),次氯酸钠 PE 储罐(1 座,10 m³),反洗柠檬酸加药泵(Q=1 500 L/h,2 台,1 用 1 备),柠檬酸 PE 储罐(1 座,5 m³),膜池混合液回流泵(不堵塞干式泵,3 台,2 用 1 冷备,单泵 Q=434 L/s、N=5.5 kW),剩余污泥泵(不堵塞干式泵 2 台,1 用 1 冷备,单泵 Q=38 m³/h、N=5.5 kW),仪表用空压机系统 1 套。

⑦ 活性焦吸附池。工艺流程见图 3。

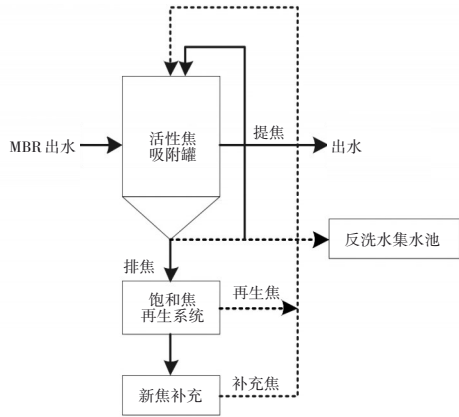


图 3 活性焦吸附工艺流程

Fig.3 Flow chart of the active coke adsorption process

完整活性焦吸附工艺系统由污水提升、活性焦吸附、活性焦输送、活性焦再生、新焦补充、活性焦废气处理等几部分组成,在国内已有不少应用案例^[4-5]。该工程活性焦再生采用外协处理再生后回用,故不单独配套再生系统。设计参数:COD 从 60 mg/L 降至 25 mg/L;活性焦再生周期 288 d,每个再生周期活性焦损耗 10%(含机械及再生热损耗)。

采用 30 座活性焦吸附罐,分 3 组并联运行,每组含活性焦吸附罐 10 座并联运行,饱和焦再生时,1 组停止进水,其余组进水运行,停运罐进行提取饱和焦及投加再生焦操作。

活性焦吸附罐规格:Ø3 000 mm×8 800 mm,玻璃钢外刷抗紫外线胶衣;底部厚 25 mm,顶部厚 20

mm。每座罐体配套 1 组 PP 材质布水器,其过水能力为 50 m³/h。活性焦活粒径为 2~8 mm,不均匀系数为 1.3,中孔(孔径 2~50 nm)占比 40%~60%,比表面积为 600~1 100 m²/g,碘值 700~950 mg/g,亚甲基蓝吸附值 120~195 mg/g,主要吸附污水中直径为 1~20 nm 的难降解长链有机物。活性焦再生采用内热式回转再生炉。

3 二期实际运行效果及技术经济分析

3.1 运行效果

该系统于 2022 年 6 月投入运行,各处理单元的水质如表 3 所示。该工艺对 COD、TN、氨氮、TP、SS 的去除率分别达到 87.42%、80.11%、99.14%、92.86%、99.07%。

表 3 各工艺段主要指标监测值

Tab.3 Monitoring values of main indicators in each process section

项目	pH	COD/ (mg· L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg· L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg· L ⁻¹)	TN/ (mg· L ⁻¹)	TP/ (mg· L ⁻¹)	SS/ (mg· L ⁻¹)
事故调节池出水	7.0~8.0	200.21	58.68	30.06	39.61	3.08	115.56
混凝沉淀池出水	7.5~8.0	158.63	51.53	25.98	36.32	2.14	58.18
臭氧预氧化出水	7.5~8.0	150.45	70.39	28.96	36.03	1.56	59.32
生化池进水	7.5~8.5	202.81	80.57	30.56	40.56	3.01	80.56
生化池出水	7.5~8.0	75.05	15.83	1.59	8.53	2.05	
MBR 出水	7.5~8.0	45.36	8.63	0.66	8.20	0.27	1.50
活性焦吸附池出水	7.0~8.0	25.18	5.22	0.26	7.88	0.22	1.08

二期改用臭氧氧化进行预处理后,废水可生化性(B/C 值)提升至 0.47,是一期水解酸化系统的 2.1 倍。一期工程脱氮需要优质复合碳源 130 mg/L,二期改用改良 Bardenpho 工艺后,碳源采用乙酸钠,投加量降至约 65 mg/L,节省药剂费 0.21 元/m³。

活性焦吸附池出水总氮和氨氮均稍微降低。活性焦在运行初期对氮的吸附量不太大且易发生脱附,因此不具有长期吸附效果,但经过数月运行,活性焦对氨氮和总氮的去除保持在一定水平,具有一定的耐冲击负荷能力,推测存在生物转化作用。

3.2 经济指标

该扩建工程总投资为 1.180 3 亿元,其中建筑安装费为 9 453 万元,直接运行成本(电费、药剂费)

为 1.43 元/m³。

具体测算见表 4。

表 4 运行费用测算

Tab.4 Operating cost of wastewater treatment

项目		消耗量	单价	费用/ (元·m ⁻³)
电		21 000 kW·h/d	0.6 元/ (kW·h)	0.84
预处理	PAC	0.125 t/d	700 元/t	0.01
	阴离子PAM	0.03 t/d	13 000 元/t	0.03
	液氧	0.36 t/d	1 000 元/t	0.02
生化处理	乙酸钠	0.457 t/d	3 800 元/t	0.12
	除磷PAC	0.5 t/d	3 500 元/t	0.12
MBR	次氯酸钠	0.55 t/d	1 400 元/t	0.02
	柠檬酸钠	0.023 t/d	8 000 元/t	0.01
活性焦 吸附	活性焦	0.2 t/d	5 000 元/t	0.07
	活性焦外协 再生费	0.2 t/d	3 000 元/t	0.04
污泥脱水	阳离子PAM	0.01 t/d	20 000 元/t	0.13
	石灰	0.2 t/d	700 元/t	0.01
	三氯化铁	0.1 t/d	1 980 元/t	0.01
合计				1.43

4 结论

① 山东某化工园区污水处理厂扩建工程采用改良 Bardenpho+MBR+活性焦吸附工艺处理园区企业排放的生活污水和生产废水,废水处理量为 1.5×10⁴ m³/d,抗冲击负荷能力强,处理效果好,对 COD、TN、NH₄⁺-N、TP、SS 的去除率分别达到 87.42%、80.11%、99.14%、92.86%、99.07%,出水水质稳定在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准以下,其中 SS≤6 mg/L、TN≤10(12) mg/L。直接处理成本(电费、药剂费)为 1.43 元/m³。

② 臭氧氧化提高废水可生化性的效果优于水解酸化;二级处理采用改良 Bardenpho,对比一期,在更高的 TN 排放标准下,碳源投加量降低约 50%,节省药剂费 0.21 元/m³。总药剂费(不含污泥脱水)由一期的 0.66 元/m³降到 0.32 元/m³,直接运营成本(不含污泥处置、折旧、维修、膜更换等)节省 0.34 元/m³。

③ 扩建工程运行时间尚短,实际进水量为 0.75×10⁴ m³/d,实际进水水质比设计水质低,随着园区发展,预测进水水质水量会趋向设计值,运行费

用应高于目前数值。

参考文献:

[1] 彭澍晗,吴德礼. 催化臭氧氧化深度处理工业废水的研究及应用[J]. 工业水处理,2019,39(1):1-7.
PENG Shuhan, WU Deli. Research on catalytic ozonation and its application to the advanced treatment of industrial wastewater[J]. Industrial Water Treatment, 2019,39(1):1-7(in Chinese).

[2] 张耀辉,涂勇,唐敏,等. Fe₂O₃-TiO₂-MnO₂/Al₂O₃催化臭氧化催化剂的制备及表征[J]. 中国环境科学, 2016,36(10):3003-3009.
ZHANG Yaohui, TU Yong, TANG Min, et al. Preparation and characterization of Fe₂O₃-TiO₂-MnO₂/Al₂O₃ catalysts[J]. China Environmental Science, 2016, 36(10):3003-3009(in Chinese).

[3] 侯亚红,顾雪锋,李海龙,等. 改良 AAO+磁混凝工艺在污水厂提标改造项目中的应用——以山东某污水处理厂为例[J]. 净水技术,2022(4):126-133.
HOU Yahong, GU Xuefeng, LI Hailong, et al. Application of modified process of AAO + magnetic coagulation in upgrading and reconstruction project of WWTP—case study of a WWTP in Shandong[J]. Water Purification Technology, 2022 (4) : 126-133 (in Chinese).

[4] 李国金,李霞,王万寿,等. 活性焦吸附工艺在市政污水深度处理中的应用[J]. 给水排水,2018,44(5): 28-30.
LI Guojin, LI Xia, WANG Wanshou, et al. Application of active coke adsorption process in advanced treatment of municipal wastewater [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018,44(5):28-30(in Chinese).

[5] 陈盛,许士洪,李登新. 活性焦在水处理中的应用研究与进展[J]. 应用化工,2018(9):1962-1965.
CHEN Sheng, XU Shihong, LI Dengxin. Researches on the application of activated coke to water treatment and its development [J]. Applied Chemical Industry, 2018 (9):1962-1965(in Chinese).

作者简介:刘骁智(1974—),男,山东青岛人,硕士,高级工程师,副总经理,主要从事污水处理及膜法处理工艺控制的设计研发和管理工作。

E-mail:lxz-lxzok@163.com

收稿日期:2023-05-18

修回日期:2023-09-05

(编辑:衣春敏)