

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.06.010

化工园区工业污水“分类分质”处理工艺系统设计

胡 邦¹, 杨艳坤¹, 张 鑫¹, 梁 汀², 黄 嵘², 朱凯杰²

(1. 华昕设计集团有限公司, 江苏 无锡 214072; 2. 无锡市锡山水务集团有限公司,
江苏 无锡 214101)

摘 要: 为提高化工园区环境治理水平,太湖流域某化工园区建设专业的污水处理厂用于处理化工废水。通过“一企一管,明管(专管)输送”方式收集园区内各企业化工废水后排放至园区专业污水处理厂,按照“分类收集、分质处理”的方式进行集中处理。污水处理厂设计规模为 1.0×10^4 m³/d,其中有机化工废水采用“调节均质+水解酸化+AO生化+芬顿氧化+高效沉淀+活性炭原位吸附脱附”组合工艺处理,无机化工废水采用“调节均质+高效沉淀”工艺处理,出水水质能稳定达到《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)及《化学工业水污染物排放标准》(DB 32/939—2020)排放限值要求。平均废水处理成本约为8.466元/m³。

关键词: 化工园区; 芬顿氧化; 高效沉淀; 活性炭; 原位吸附脱附

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)06-0066-05

Design of Industrial Wastewater Treatment System in Chemical Industrial Park Based on Classification and Quality

HU Bang¹, YANG Yan-kun¹, ZHANG Xin¹, LIANG Ting², HUANG Rong²,
ZHU Kai-jie²

(1. Huaxin Design Group Co. Ltd., Wuxi 214072, China; 2. Wuxi Xishan Water Group Co. Ltd.,
Wuxi 214101, China)

Abstract: To improve the environmental treatment level of chemical industrial park, a professional wastewater treatment plant was built to treat chemical wastewater in a chemical industrial park in Taihu basin. Chemical wastewater from all enterprises in the park is collected through “one enterprise one pipe and open channel or special pipe transportation” and discharged to the wastewater treatment plant, and treated based on the principle of “classified collection and treatment”. The design scale of the wastewater treatment plant is 1.0×10^4 m³/d. The organic chemical wastewater is treated by the combined process of regulating homogenization, hydrolytic acidification, AO biochemical process, Fenton oxidation, high efficient precipitation and activated carbon in-situ adsorption and desorption, while the inorganic chemical wastewater is treated by the process of regulating homogenization and high efficient precipitation. The effluent quality stably meets the limit specified in *Discharge Standard of Main Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant & Key Industries of Taihu Area* (DB 32/1072-2018) and *Discharge Standard of Water Pollutants for Chemical Industry* (DB 32/939-2020). The average wastewater treatment cost is approximately 8.466 yuan/m³.

Key words: chemical industrial park; Fenton oxidation; high efficient precipitation; activated carbon; in-situ adsorption and desorption

根据《江苏省化工园区(集中区)环境绩效评价体系》的要求,化工废水应全部做到“清污分流、雨污分流”,采用“一企一管,明管(专管)输送”的收集方式^[1],企业在分质预处理节点安装计量及在线监测装置,园区应配套建设专业的污水处理厂,严禁化工废水接入城镇污水处理厂,对年度考核分数低于80分的园区,取消化工定位。太湖流域某化工园区内化工企业产生的废水现状主要通过园区市政污水管接管至附近城镇污水处理厂集中处理排放,

部分企业废水经内部处理达标后直接排入河道。为提高化工园区环境治理水平,需建设针对化工园区化工废水的专业污水处理厂。

1 工程概况

园区专业污水处理厂设计规模为 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主要收集处理园区内化工企业生产废水,包括生产二氧化硅、泡塑新材料、树脂等化工材料的各类废水,废水水量水质差异均较大。化工园区9家主要企业实际排放的废水水量、水质情况见表1。

表1 主要化工企业实际排水水量、水质

Tab.1 Actual wastewater quantity and quality of major chemical enterprises

企业名称	接管水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	B/C	NH ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	盐度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
QCG	5 800	14	2.0	0.14	0.13	2.87	0.68	9 560
DW	120	11	2.0	0.18	0.36	4.23	0.60	9 680
XD	2 000	480	22.3	0.05	1.29	10.70	5.69	1 291
AKL1	310	18	2.0	0.11	1.02	5.06	0.11	390
AKL2	310	32	3.5	0.11	21.8	27.34	1.12	644
HH	250	478	5.9	0.01	1.97	30.46	1.33	6 358
GRJ	101	142	35.3	0.25	5.40	11.20	0.31	
ZSY	250	132	58.3	0.44	1.07	3.18	0.14	
BTH	15	56	3.9	0.07	0.48	2.75	0.08	

分析水质调研数据可知,QCG和DW企业产生的废水属于高盐无机废水,接管水量约为 $5\,920 \text{ m}^3/\text{d}$,此部分废水含有大量的无机类溶解性物质,离子强度高,会造成质壁分离,细胞失活,使一般微生物难以在其中生长、繁殖,所以传统生物法难以处理高盐废水^[2];XD企业主要生产可挥发性聚苯乙烯,接管水量约 $2\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,产生的废水B/C值为0.05,可生化性很差,需采取高级氧化工艺处理;HH企业主要生产树脂,接管水量约 $250 \text{ m}^3/\text{d}$,产生的废水B/C值为0.01,可生化性极差且含有一定的生物毒性^[3];其他企业产生的废水有机物含量相对较低,部分企业的废水TN相对较高。

按照“分类收集、分质处理”的原则,根据各类企业的废水水质特性,将园区废水分为无机化工废水和有机化工废水两类。要求出水水质达到《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)及《化学工业水污染物排放标准》(DB 32/939—2020)。

无机化工废水接管企业主要为QCG和DW,设计规模为 $6\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,其设计水质见表2。

有机化工废水接管企业为除QCG和DW外的

企业,设计规模为 $4\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,其设计水质见表3。

表2 无机化工废水设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality of inorganic chemical wastewater $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	TP	盐度
进水水质	40	10	50	2	10 000
出水水质	40	10	10	0.5	10 000

表3 有机化工废水设计进、出水水质

Tab.3 Design influent and effluent quality of organic chemical wastewater $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	SS	TP
进水水质	500	50	15	20	150	4
出水水质	40	10	5	10	10	0.5

2 工艺设计思路及工艺流程

2.1 设计思路

① 预处理工艺

无机化工废水主要污染物指标是SS和TP,因废水中悬浮物的密度大于水,且通过小试验证,总磷以磷酸盐形态为主,故采用高效沉淀工艺同步去除SS和TP。

有机化工废水设计进水B/C=0.1,属于难生化

处理废水,实际进水 BOD₅ 可能会更低,而表现为 COD 的有机污染物含量较高,可采用水解酸化预处理工艺提高废水可生化性,便于后续生化降解。

② 二级处理工艺

二级生物处理主要去除有机物和 TN,因有机化工废水可生化性差,废水中可有效利用的有机物量有限,为实现较好的生物降解效果,设计采用 AO 工艺,降低运行负荷,延长停留时间,同时在实际运行中,需根据水质情况投加碳源实现脱氮。

③ 深度处理工艺

由于有机化工废水含较多难生物降解有机物,且水质存在波动性,经过二级生化处理后仍含有部分难降解有机物,故生化后设置高级氧化工艺^[4]。

通过中试验证,芬顿氧化工艺可使经生化处理后的废水 COD 进一步降低至 50 mg/L 以下,后续再经过高效沉淀去除废水中的 SS、TP 和少部分残留有机物,最终经过活性炭吸附工艺将废水中 COD 降至 40 mg/L 以下,实现出水稳定达标。活性炭吸附单元可根据出水水质情况进行超越,以降低运行成本。

④ 应急处理工艺

作为化工园区污水处理厂,为应对化工废水的复杂性及水质波动冲击,厂内还需设置应急处理工艺,通常设置粉末活性炭应急投加系统,必要时可通过在生化池投加粉末活性炭进行吸附协同强化处理,以应对突发性的水质冲击,降低系统运行风险,保障出水达标排放。

2.2 工艺流程

具体工艺流程如图 1 所示。园区化工废水在各企业内部预处理后,按照“一企一管,明管(专管)输送”的方式压力输送至污水处理厂调节池,调节池按废水性质不同分别储存。QCG 和 DW 企业产生的无机废水在调节池内均质均量后,送入高效沉淀池处理,然后自流接入消毒池。

除 QCG 和 DW 外的其他企业排放的有机化工废水经调节池均质均量后,用泵提升至水解酸化池改善废水可生化性,中间沉淀池设置污泥回流维持水解酸化池内的污泥浓度。水解后废水进入 AO 池生化处理,出水通过泵提升至芬顿氧化塔,利用芬顿工艺的强氧化作用分解去除废水中的难降解有机物,再经过吹脱反应后进入高效沉淀池,继续去除悬浮物、磷酸盐和 COD。高效沉淀池出水提升至活性炭吸附系统进一步吸附去除有机污染物,以保

证出水水质稳定达标。

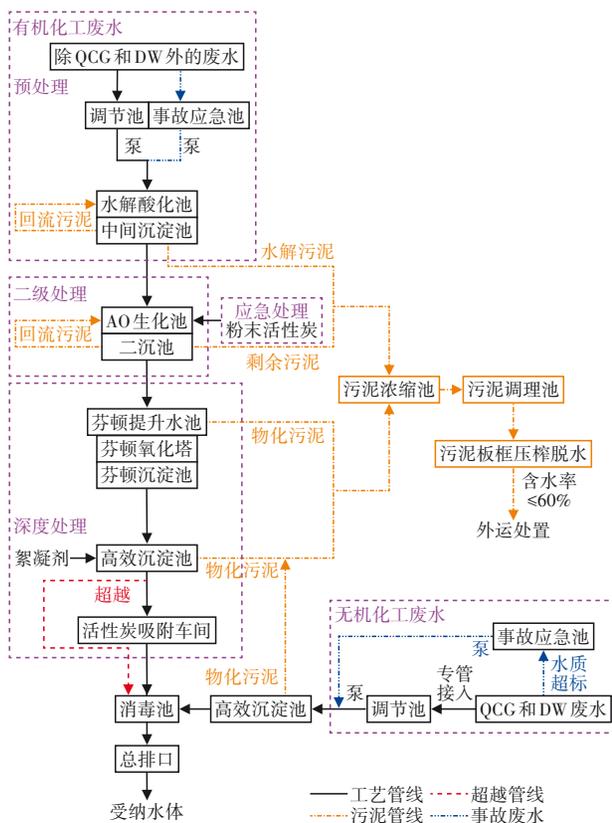


图 1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

全厂废水处理过程中产生的生化污泥和物化污泥都排入污泥浓缩池,经过浓缩、加药调理后,提升至污泥脱水机房板框压榨脱水,含水率低于 60% 的泥饼外运处置。

3 工艺构筑物设计

① 调节池及事故应急池

调节池与事故应急池合建,总尺寸为 60.1 m×30.9 m×7.2 m,有效水深为 6.5 m,按不同废水性质分别储存,调节池与事故池停留时间均为 12 h,无机化工废水设计规模 6 000 m³/d,配置立式搅拌机 4 台,转速为 22 r/min,单台功率为 5.5 kW;有机化工废水设计规模 4 000 m³/d,配置潜水搅拌机 9 台,单台功率为 5.5 kW。

② 水解酸化池

水解酸化池设计规模 4 000 m³/d,采取完全混合式池型,1 座 2 组,尺寸为 38.8 m×23.4 m×7.2 m,有效水深为 6.5 m,停留时间为 35.4 h。配置潜水推流器 4 台,单台功率为 4.3 kW。

③ 中间沉淀池

采用辐流式沉淀池 2 座,单座设计规模 2 000 m³/d,池内径为 9.0 m,平均表面负荷为 1.31 m³/(m²·h),有效水深为 4.1 m。每座配置周边传动刮泥机 1 台,电机功率 1.5 kW。

④ AO 生化池及二沉池

设计规模 4 000 m³/d,1 座 2 组,有效水深为 6.5 m,总停留时间为 19.9 h。每组缺氧池尺寸为 12.0 m×4.8 m×7.2 m,好氧池尺寸为 12.0 m×16.5 m×7.2 m。工艺设计参数:污泥负荷 0.053 kgBOD₅/(kgMLSS·d),总氮负荷率 0.011 kgTN/(kgMLSS·d),污泥浓度 3 g/L,泥龄 22 d。配置潜水搅拌机 4 台,功率 2.2 kW;盘式微孔曝气器 400 套,单套通气量 3 m³/h;硝化液回流泵 4 台(2 用 2 备),单台流量 250 m³/h,扬程 30 kPa,功率 11 kW;剩余污泥排放泵 2 台(1 用 1 备),单台流量 50 m³/h,扬程 150 kPa,功率 5.5 kW。

二沉池与 AO 生化池合建,分为 2 组,池直径为 10 m,表面负荷为 0.94 m³/(m²·h),有效水深为 4.0 m。每池配置周边传动刮泥机 1 台,功率为 1.5 kW。

⑤ 芬顿氧化系统

芬顿氧化系统由氧化塔、吹脱反应池、沉淀池、芬顿药剂储存及投加系统组成。芬顿氧化塔 2 组,采用双相不锈钢 2205 材质,每组直径为 2.4 m,有效高度为 7.7 m,高径比为 3.2,配置循环泵 2 台,单台流量 100 m³/h,扬程 125 kPa,功率 5.5 kW;芬顿吹脱池尺寸为 14.55 m×6.3 m×5.75 m,有效池容为 358.4 m³,停留时间 2.15 h,配置旋混曝气器 250 套,单套通气量为 3.5 m³/(h·单盘);芬顿中和池尺寸为 3.9 m×6.3 m×5.75 m,有效池容为 89.6 m³;芬顿沉淀池为辐流式沉淀池,分 2 组,单组直径为 11 m,表面负荷为 0.88 m³/(m²·h),有效水深为 4.4 m,每组配置周边传动刮泥机 1 台,功率为 2.2 kW。另外,芬顿氧化系统还配置有石灰、硫酸亚铁(FeSO₄)、浓硫酸以及双氧水(H₂O₂)等药剂投加系统。

⑥ 高效沉淀池

高效沉淀池分为 3 组,其中两组分别用于有机化工废水和无机化工废水处理线,中间 1 组作为备用线。高效沉淀池由混合区、絮凝区、沉淀区组成。每条处理线的混合区尺寸为 1.6 m×1.2 m×4.8 m,停留时间 2.2 min,搅拌机功率 0.75 kW;絮凝区尺寸为 3.05 m×3.05 m×4.7 m,停留时间 10.5 min,搅拌机功率 1.5 kW,絮凝区 GT 值 9.5×10⁴;沉淀区尺

寸为 5.8 m×5.8 m×4.6 m,设计表面负荷为 9.5 m³/(m²·h),布置集水槽 6 个,尺寸为 0.25 m×0.3 m×2.4 m,配置中心传动浓缩刮泥机 1 台,直径 5.8 m,功率 0.75 kW。

⑦ 活性炭吸附系统

活性炭吸附系统采用原位吸附脱附再生活性炭系统,由活性炭罐、空气吹扫系统、反冲洗系统、过热蒸汽脱附系统、换热器装置、循环水冷却系统、电气自控系统以及监控仪表组成。其中活性炭罐规格为 Ø3.6 m×9.0 m,分为 3 组(2 用 1 备),单组炭罐高径比为 2.5,设计单个罐内活性炭量为 30.5 m³,饱和再生周期为 22 d,水流方向为下向流,炭床水力负荷为 8.2 m³/(m²·h)。配有炭罐进水泵 3 台,流量 150 m³/h,扬程 120 kPa,功率 11 kW;循环冷却水泵 2 台(1 用 1 备),流量 150 m³/h,扬程 180 kPa,功率 11 kW;热交换器 1 台,列管换热面积 40 m²;涡流风机 2 台(1 用 1 备),流量 510 m³/h,压力 80 kPa,功率 18.5 kW;反冲洗水泵 2 台(1 用 1 备),流量 226 m³/h,扬程 200 kPa,功率 18.5 kW;再加热器 1 套,功率 325 kW;空气压缩系统 1 套。

活性炭吸附饱和后,需进行脱附。脱附过程在吸附罐内原位进行,通过蒸汽喷射装置通入 400 °C 以上过热蒸汽,使活性炭吸附的污染物被碳化脱附,从而恢复活性炭的吸附性能。脱附过程产生的废液经过换热器形成少量冷凝废水,收集至专门的冷凝废水池,然后投加次氯酸钠进行氧化处理,可分解废水中的大部分有机物,反应后的废水再回流至有机废水调节池进行混合处理。

⑧ 接触消毒池

消毒池 1 座,分为两格。考虑到无机化工出水中含有较高的盐分,不适合作为中水使用,所以仅将有机化工处理出水经消毒后回用于厂区中水。消毒池尺寸为 15.9 m×7.2 m×4.0 m,接触时间均为 50 min,有效池容 380 m³。

⑨ 污泥处理系统

污泥浓缩池 2 座,单座尺寸为 Ø9.0 m,污泥固体负荷为 37.0 kg/(m²·d)。配有中心传动浓缩机 2 台,单台功率 0.75 kW。

污泥调理池 1 座,分为 3 格,单格尺寸为 4 m×4 m×5.0 m,有效水深为 4.5 m。配置有桨叶式搅拌机 3 台,单台功率 7.5 kW。

污泥脱水机房 1 座,尺寸为 23.35 m×20.0 m×

12.0 m。配置液压隔膜压滤脱水机2台,单台过滤面积250 m²,功率11 kW;配套2台隔膜压榨泵和2台污泥进料泵。钢结构污泥料仓2套,单套有效容积40 m³,料仓配套螺旋输送机。污泥加药系统配置三氯化铁和石灰投加装置各1套。

4 运行效果及经济效益分析

园区污水处理厂自2022年3月投运以来,处理水量为3 000~7 000 m³/d,其中有机化工废水1 000~2 500 m³/d,无机化工废水2 000~4 500 m³/d,出水各项指标均稳定达标,具体进、出水水质见表4。

表4 实际运行进、出水水质

Tab.4 Actual operation influent and effluent quality

项 目	quality			
	mg·L ⁻¹			
	COD	NH ₃ -N	TN	TP
无机化工废水进水	9~32	0.04~0.2	1.6~3.7	0.14~0.19
有机化工废水进水	31~182	0.7~9.7	4.4~16	0.91~4.93
出水	22	0.17	4.51	0.06

工程投运以来,每天产生污泥0.92~2.0 tDS(绝干泥量),经压滤脱水后形成泥饼2.3~4.8 t(60%含水率),由于是化工园区污水厂产生的污泥,根据环评需要对污泥进行危废鉴定,鉴定前暂按危废要求进行处置。目前,厂区内将脱水后污泥集中暂存在危废存储间,并进行危废管理,待污泥鉴定后再进行委外规范处置。厂内计划下月开始连续取样,开展毒性初筛及各项鉴别工作。

工程总投资约为2.52亿元,其中工程建安费1.87亿元,包括“一企一管”建设投资5 300万元和污水厂厂区建设投资1.34亿元。平均污水处理成本为8.466元/m³,单位经营成本为5.161元/m³。

5 结论

针对化工废水成分复杂、处理难度高的特点,园区专业污水处理厂采用“分质处理”工艺路线,并应用芬顿氧化、活性炭吸附等技术措施,提升废水处理效果,实现出水稳定达标,并降低了工程投资和运行成本。

参考文献:

[1] 曹松. 某化工园区“一企一管”废水收集与监测系统设计[J]. 给水排水, 2020, 46(1): 64-66.

CAO Song. Design of “one plant one pipe management” wastewater collection and monitoring system in a chemical industry park [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(1): 64-66 (in Chinese).

[2] 雷云, 解庆林, 李艳红. 高盐度废水处理研究进展[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(6): 94-98.

LEI Yun, XIE Qinglin, LI Yanhong. The study on the treatment of high salinity wastewater [J]. Environmental Science and Management, 2007, 32(6): 94-98 (in Chinese).

[3] 贺启环. 含氯代烃废水的生物毒性与处理方法探讨 [C]// 全国化工标准物质委员会二氧化氯专业委员会, 中国水处理二氧化氯专业网. 2010 二氧化氯与水处理技术研讨会论文集, 2010: 354-358.

HE Qihuan. Discussion on the bio-toxicity and treatment of wastewater with chlorinated hydrocarbon [C]// Chlorine Dioxide Professional Committee of National Chemical Reference Materials Committee, China Water Treatment Chlorine Dioxide Professional Network. Proceedings of 2010 Seminar on Chlorine Dioxide and Water Treatment Technology, 2010: 354-358 (in Chinese).

[4] 厉鹏远, 邱立平, 孙绍芳, 等. 强化传统芬顿/类芬顿氧化效能的研究进展[J]. 中国给水排水, 2021, 37(10): 34-40.

LI Pengyuan, QIU Liping, SUN Shaofang, et al. Research progress on enhancing the oxidation efficiency of traditional Fenton/Fenton-like process [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(10): 34-40 (in Chinese).

作者简介:胡邦(1983-),男,安徽桐城人,硕士,高级工程师,注册公用设备(给水排水)工程师,现为无锡市市政设计研究院有限公司技术研发部部长,江苏省注册咨询专家、无锡市土木工程学会会员,主要研究方向为城市污水处理及再生利用,曾获全国优秀工程勘察设计行业奖1项、省级优秀工程勘察设计奖18项、省级优秀工程咨询奖7项、市级优秀勘察设计奖20项,获2019年度江苏省市政工程协会会员企业优秀项目经理(负责人)和无锡市第五届优秀勘察设计工程师称号,获得十多项专利授权。

E-mail: 13380274@qq.com

收稿日期: 2022-05-03

修回日期: 2022-07-15

(编辑:孔红春)