

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.18.013

工业污水厂低氧曝气生化及深度处理工艺设计

任军俊¹, 任云¹, 陈超¹, 刘朗², 万琪玥³, 邹雨芯³

(1. 南京市市政设计研究院有限责任公司, 江苏 南京 210008; 2. 句容市城市水利枢纽管理处, 江苏 镇江 212400; 3. 南京林业大学 生态与环境学院, 江苏 南京 210000)

摘要: 为满足《江苏省城镇污水处理提质增效精准攻坚“333”行动方案》的要求,江苏某经济开发区需新建工业污水厂处理园区工业废水。该工业污水厂设计规模近期 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,远期 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用水解酸化池+低氧曝气生化池+除氟高效沉淀池+臭氧催化氧化池+活性焦吸附系统+转盘滤池+尾水湿地处理工艺,二级处理生化池溶解氧控制在 0.5 mg/L 以下,污泥浓度提高至 $5 \sim 8 \text{ g/L}$,大大降低了运行费用,深度处理工艺能够有效去除工业废水中的氟化物、难降解有机物,保障了出水水质可达性。目前,该厂处理效果良好且运行稳定,出水总氮稳定达到江苏省《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 32/4440—2022),其设计及应用可为其他类似工程提供参考。

关键词: 工业污水厂; 低氧曝气生化池; 臭氧催化氧化池; 活性焦吸附系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)18-0075-05

Design of Low Oxygen Aeration Biochemistry and Advanced Treatment Process for Industrial Wastewater Treatment Plant

REN Jun-jun¹, REN Yun¹, CHEN Chao¹, LIU Lang², WAN Qi-yue³, ZOU Yu-xin³

(1. Nanjing Municipal Design and Research Institute Co. Ltd., Nanjing 210008, China; 2. Jurong City Water Conservancy Hub Management Office, Zhenjiang 212400, China; 3. College of Ecology and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210000, China)

Abstract: To comply with Jiangsu Province's "333" Action Plan Aimed at Enhancing Urban Sewage Treatment Efficiency and Quality, an economic development zone in Jiangsu plans to construct an industrial wastewater treatment plant to treat industrial wastewater in the park, which initially designed to handle $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ with a future expansion to $20\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. The plant will utilize hydrolysis acidification tank + low oxygen biochemical aeration tank + defluorination high-efficiency sedimentation tank + ozone catalytic oxidation tank + active coke adsorption system + rotary disk filter + tailwater wetland treatment process. The dissolved oxygen of the secondary treatment biochemical tank is controlled below 0.5 mg/L , and the sludge concentration is increased to $5 \sim 8 \text{ g/L}$, which greatly reduces the operating cost. The advanced treatment processes efficiently remove fluoride and refractory organic compounds from industrial wastewater, ensuring consistent high-quality effluent standards. The total nitrogen of effluent met the *Pollutant Discharge Standard for Urban Sewage Treatment Plants* (DB 32/4440-2022) of Jiangsu Province. At present, the wastewater treatment plant demonstrates effective treatment outcomes with stable operations, serving as a valuable reference for similar projects.

Key words: industrial wastewater treatment plant; low oxygen biochemical aeration tank; ozone catalytic oxidation tank; activated coke adsorption system

1 项目概况

江苏某经济开发区创建于1992年,1993年获批为省级开发区,全区总面积134.27 km²,总人口约10万人,产业定位为机电、光学元器件、光电显示、新型材料(以信息技术产业用材料、新能源汽车材料为主)。2022年,该开发区的生产总值占全市的21.2%,在产业层次提升和结构调整中扮演重要的角色。目前,该地区城镇污水厂已满负荷运行。为满足《江苏省城镇污水处理提质增效精准攻坚“333”行动方案》的要求,开发区着手打造“绿色科技”品牌,新建园区工业污水厂,完善工业废水处理设施,以控制区域水体污染、改善园区环境。

2 工艺设计

2.1 设计进、出水水质

根据该地区规划环境影响报告书要求,污水厂服务范围内现状及规划企业排水水质需达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015),除此之外纳管企业涉及的行业标准有《电镀污染物排放标准》(GB 21900—2008)、《电池工业污染物排放标准》(GB 30484—2013)、江苏省《半导体行业污染物排放标准》(DB 32/3747—2020)、《电子工业水污染物排放标准》(GB 39731—2020)、《合成树脂工业污染物排放标准》(GB 31572—2015)等。综合考虑以上标准,确定污水厂进水水质。出水水质执行江苏省《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 32/4440—2022)一级标准。设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	进水	出水	
		日均排放限值	一次监测排放限值
COD/(mg·L ⁻¹)	400	30	50
氨氮/(mg·L ⁻¹)	30	1.5(3)	3(6)
总氮/(mg·L ⁻¹)	40	10(12)	12(15)
总磷/(mg·L ⁻¹)	6	0.3	0.5
SS/(mg·L ⁻¹)	250	10	
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	150	10	
石油类/(mg·L ⁻¹)	15	1	
动植物油/(mg·L ⁻¹)	100	1	
pH	6~9	6~9	
色度/倍	64	30	
阴离子表面活性剂/(mg·L ⁻¹)	20	0.5	
氟化物/(mg·L ⁻¹)	8	1.5	
总铜/(mg·L ⁻¹)	2	0.3	

2.2 设计规模

新建工业污水厂主要处理开发区企业排放的生产废水,处理水量根据实地调研统计数据确定,在建、挂牌、在谈企业以及未开发用地污水量根据地均指标计算得出。污水厂分近远期建设,近期1.0×10⁴ m³/d,远期2.0×10⁴ m³/d。污水厂内格栅、泵房、除氟高效沉淀池、转盘滤池、臭氧催化氧化池、脱水机房、鼓风机房、加药间等构(建)筑物土建一次性建设,设备按1.0×10⁴ m³/d规模安装;大型水池(如生化池、水解酸化池、初沉池等)分期建设。

2.3 工艺流程

废水处理工艺流程包括一级预处理、二级生物处理、三级(深度)处理,具体见图1。

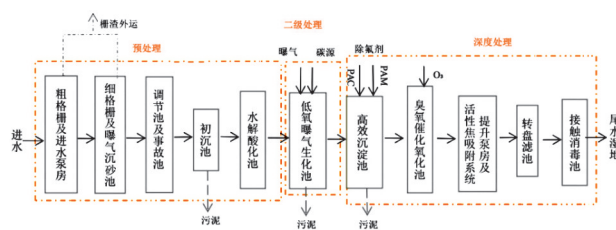


图1 废水处理工艺流程

Fig.1 Process flow chart for wastewater treatment

开发区内的工业废水在各自的厂区处理站处理达标后才排入市政污水管,废水中可生物降解的有机污染物较少,因此需对废水进行强化一级处理,提高废水的B/C,增强废水的可生化性,为后续的二级生化处理提供良好的运行条件。

深度处理进一步去除水中的胶体、悬浮物、总磷及氟化物。高效沉淀池与除氟设施有机结合,通过加入除氟剂、PAC和PAM去除废水中的氟化物及剩余的SS与TP;臭氧催化氧化可将难降解有机物氧化降解为低毒或无毒的小分子物质,甚至直接降解成为CO₂和H₂O,接近完全矿化;生物焦对难降解有机物具有优异的吸附能力,能够实现水质可控,同时凭借比活性炭更低的价格、可循环再生的优势,使废水应用吸附法处理变得可行^[1-3]。

2.4 总平面及高程设计

厂区平面呈菱形,占地约4.49 hm²。按功能分为厂前生活区、预处理区、二级处理区、深度处理区、污泥处理区、辅助生产设施区和远期预留,各区之间有道路连接并用绿化带相隔。厂前区布置在厂区东侧,位于夏季主导风向的上风向,总进水管布置在污水厂的西侧,出水进入北侧的尾水湿地,

整体呈东西方向布置,南侧作为主要污水处理单元,北侧作为深度处理、辅助设施用地,污泥处理区布置在厂区西侧。厂区设置2个出入口,1个主出入口,1个次出入口,厂区鸟瞰图如图2所示。



图2 污水处理厂鸟瞰图

Fig.2 Aerial view of the wastewater treatment plant

污水处理厂的高程设计综合考虑厂区进水标高、末端受纳水体水位、厂区地形、构筑物高度及水头损失、地质条件、工程投资等因素,厂区设计地面标高为17.80 m,污水经两次提升,第一次在粗格栅及提升泵房处(由12.55 m提升至24.4 m),第二次是将除氟高效沉淀池出水提升进入臭氧催化氧化池。各处理构筑物高度设计可基本实现土方平衡。

2.5 处理构筑物设计

2.5.1 预处理

① 格栅井分两组,设反捞式格栅除污机2台,格栅过栅流速0.8 m/s,栅宽1 000 mm,栅隙15 mm,安装角度75°,栅渣通过无轴螺旋输送机收集。设3套铸铁镶铜附壁式闸门。提升泵池内设3台潜水排污泵,采用变频控制。

② 细格栅及曝气沉砂池合建,细格栅渠分两道,每道宽1.3 m,安装阶梯网板格栅除污机1套,栅宽1 200 mm,网孔直径5 mm,配套安装螺旋压榨机1台。曝气沉砂池分2格,单格尺寸16.4 m×3.9 m×4.05 m,有效水深3.10 m,沉砂池停留时间9 min。配套鼓风机2台(1用1备),桥式吸砂机1台,砂水分离器1台。

③ 设调节池1座2组,停留时间8 h,有效水深6 m,设潜水排污泵(变频)近期2台(1用1备),远期增加2台(1用1备), Q 为417 m³/h, H 为70 kPa;设潜水推流器2台(\varnothing 2 300 mm), n 为35 r/min。设事故池1座,停留时间4.0 h,设潜水排污泵2台(1用1

备), Q 为150 m³/h, H 为60 kPa;潜水推流器2台(\varnothing 2 300 mm), n 为35 r/min。

④ 初沉池主要由混凝池和沉淀池组成。设混凝池1座2组,单组由一格混合池和一格絮凝池组成,每组混合池平面尺寸3.0 m×3.0 m,絮凝池为5.1 m×5.1 m,有效水深4.0 m,最大设计流量833.3 m³/h;混合池停留时间5 min,絮凝池15 min。设絮凝搅拌机2台, N 为11.0 kW;混合搅拌机2台, N 为15.0 kW;立式离心泵2台(1用1备,远期增加1台), Q 为50 m³/h, H 为100 kPa;设沉淀池1座,直径 \varnothing 16 m,表面负荷 q 为2.07 m³/(m²·h),池深5.0 m,停留时间2.4 h。配套中心传动刮泥机1套,初沉污泥排至污泥浓缩池。

⑤ 水解酸化池1座2组,总停留时间10.6 h,有效水深7.2 m,池体尺寸29.8 m×23.2 m×8.1 m;混合液回流泵3台;排泥泵2台,1用1备;可调式配水器2套, Q 为5 000 m³/d;涡流布水器128套,直径600 mm。

2.5.2 二级处理

设一座低氧曝气生化池,2组并联运行,池体总尺寸57.9 m×29.4 m×7.0 m。总池深7.0 m,生化区有效水深6.5 m;沉淀区池深6.5 m,有效水深6.0 m。厌氧区停留时间3.65 h,低氧曝气区停留时间8.52 h;沉淀区表面负荷1.2 m³/(m²·h),混合液悬浮固体浓度(MLSS)5~8 g/L,污泥负荷0.062 kgBOD₅/(kgMLSS·d),设计污泥龄19.82 d。池内设可提升微孔曝气软管;空气推流器6台;溶解氧控制系统2套;溶氧仪2台;吸刮泥机2台;潜污泵5台(4用1冷备);出水槽22套;反冲风机2台;潜水推流器4台;剩余污泥泵3台(2用1备);悬浮曝气鼓风机3套(2用1备)。

2.5.3 深度处理

① 设除氟高效沉淀池1座,总尺寸21.85 m×18.35 m×6.5 m,有效水深6 m,混合时间2 min,絮凝时间13.6 min,导流筒内流速0.5~0.6 m/s,导流筒外流速0.1~0.3 m/s,出口区流速0.05~0.1 m/s,沉淀区表面负荷8.4 m³/(m²·h),污泥回流量3%~5%。阴离子PAM投加量0.5 mg/L(投加浓度0.15%),PAC投加量21.9 mg/L(投加浓度10%,液体PAC),除氟剂投加量500 mg/L。

混合搅拌机1台;立式轴式絮凝搅拌机1台;絮凝导流筒1台;中心传动刮泥机1套, D 为8.5 m;剩余

污泥螺杆泵1台(变频), Q 为22 m³/h, H 为200 kPa;回流污泥螺杆泵1台(变频), Q 为22 m³/h, H 为200 kPa;备用污泥螺杆泵1台(变频), Q 为22 m³/h, H 为200 kPa。

② 设一座高级氧化接触池,分两个系列,每个系列分三段投加臭氧;高级氧化反应时间为70 min,臭氧最大投加量60 mg/L。卧式离心泵3台(2用1冷备), Q 为200 m³/h, H 为240 kPa;臭氧发生器3台(2用1备),液氧源,臭氧额定发生量为18 kg/h;专用溶气装置4台;二次高效混合设备3套;尾气破坏器与臭氧发生器配套1个;罗茨风机(气洗风机)1台, Q 为17.0 m³/min;潜水提升泵2台(1用1备),远期增加1台, Q 为420 m³/h, H 为200 kPa。

③ 活性焦吸附系统滤速5.4 m/h,空塔停留时间2 h;池内设备4套,含布水器、筛分洗焦设备、洗焦提升装置,进出水堰板等;活性焦上料子系统含加焦泵2台(1用1冷备), Q 为40 m³/h, H 为250 kPa,框式搅拌机1台,加焦装置1套;活性焦下料子系统含脱水振动筛1台,处理能力6 m³/h;滤液外排子系统,含滤液排出泵2台(1用1备), Q 为40 m³/h, H 为200 kPa,框式搅拌机1台;空压机子系统含空压机2台(1用1备),冷干机2台(1用1备),储气罐3台;再生子系统含再生炉成套设备1台(250 kW),再生量5 t/d,一级循环水冷输送机1台(1.5 kW),二级循环水冷输送机1台(1.5 kW),滚筒筛分机1台,筛径1.5 mm, N 为1.5 kW;烟气处理子系统含高温陶瓷滤管除尘器1台(4 000 m³/h),脱硝装置1套(1 000 m³/h),烟气换热器1台(1 000 m³/h),蓄热式催化氧化箱1套(1 000 m³/h),碱洗喷淋塔1座(4 000 m³/h),筛分除尘装置1套(2 000 m³/h),烟气冷凝器2套(1 000 m³/h),离心风机1台(2 000 m³/h),循环冷却塔系统1套,循环水量40 m³/h,氢氧化钠加药装置1套。

④ 设1座转盘滤池,平面尺寸11.6 m×8.7 m,

有效水深3 m;设转盘1套,含旋转驱动电机1台,过滤面积120 m²,滤速9.4 m/h,反洗周期1 h;反洗泵1台, Q 为50 m³/h, H 为70 kPa。

⑤ 设接触消毒池1座2组(每组2条廊道);巴氏计量槽1台, Q =4.5~630 L/s;回用水泵组(撬装式)1套,含回用水泵(潜污泵)2台(1用1备), Q 为100 m³/h, H 为400 kPa,回用水罐1台,Ø1.0 m, V 为500 L;紫外消毒器1套,共32支320 W灯管及附件。

2.5.4 污泥处理

① 污泥浓缩池及匀质池近期1座,远期增加1座,单座Ø7 m;浓缩池的固体通量取60 kg(干固体)/(m²·d),池边水深4.00 m,池深4.50 m,水力停留时间14.76 h;匀质池的水力停留时间3.06 h,有效水深4.40 m;中心传动浓缩机1套,直径7 m,功率0.55 kW,外缘线速度<2 m/min。

② 污泥脱水机房平面尺寸36.8 m×24.5 m,层高14.7 m;近期污泥绝干泥量2.8 t/d,远期6 t/d,处理后污泥含水量为60%;近期设置板框压滤机1台,远期增加1台,压滤机每天工作2个周期,每个周期4 h,过滤面积250 m²;污泥进料泵变频(螺杆泵),2台(1用1备), Q 为40 m³/h;空压机2台(1用1备), Q 为2.85 m³/min;冷干机1台, Q 为1.5 m³/min;压榨水泵1台, Q 为7 m³/h;高压清洗水泵1台, Q 为15 m³/h;污泥料仓1套, V 为55 m³,直径2.8 m,高14 m。

2.5.5 除臭系统

采用预洗池+生物滤池+离心风机工艺,设1套除臭系统,总处理气量为25 000 m³/h。该系统包含离心风机2台(1用1备), Q 为25 000 m³/h, P 为2 200 Pa;循环水泵2台(1用1备), Q 为16 m³/h, H 为300~400 kPa;加热系统1套。

3 运行效果分析

2024年1月—6月该水厂实际出水水质见表2。

表2 实际出水水质

Tab.2 Actual effluent quality

mg·L⁻¹

指标	COD	NH ₃ -N	TN	TP	SS	BOD ₅	石油类	动植物油	阴离子表面活性剂	氟化物	总铜
涵盖率95%	22.25	0.69	8.46	0.28	8.00	9.86	ND	ND	0.14	0.71	0.07
涵盖率90%	22.00	0.59	7.94	0.27	7.70	9.10	ND	ND	0.14	0.70	0.07
涵盖率85%	21.00	0.53	7.41	0.26	6.00	8.80	ND	ND	0.13	0.69	0.07
最大值	27.00	1.01	8.98	0.29	14.00	10.00	ND	ND	0.15	0.72	0.07
最小值	8.00	0.07	4.99	0.21	3.00	2.60	ND	ND	0.07	0.51	0.07
平均值	17.61	0.32	6.59	0.24	5.37	6.91	ND	ND	0.10	0.61	0.07

注: ND表示未检出。

由表2可知,该污水各项出水指标均能达到江苏省《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 32/4440—2022)一级标准,COD平均去除率为91.03%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均去除率为98.75%,TN平均去除率为75.6%,TP平均去除率为91.97%。

4 技术经济指标

该污水厂近期规模为 $1.0\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,工程费用12 845.13万元,其中建筑工程费6 582.72万元,设备购置费5 008.45万元,安装工程费1 253.96万元。

该项目所需资金按30%自筹、70%贷款考虑(年利率按4.9%计),建设期1年,建设期利息402.36万元,铺底资金按流动资金的30%计算。

该污水厂运营服务期为30年,动力费637.04万元/a,药剂费110.91万元/a,总成本为1 454.23万元/a,单位总成本6.47元/ m^3 ,单位经营成本4.02元/ m^3 。

5 设计亮点

① 该污水厂出水水质执行江苏省《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 32/4440—2022),该标准控制指标更多,出水标准更高,对标长三角地区执行最严的排放限值。

② 采用低氧曝气生化处理技术,出水总氮稳定达到江苏省地方标准DB 32/4440—2022的要求($\text{TN}\leq 10\text{mg/L}$)。低氧曝气生物池的溶解氧控制在 0.5mg/L ,降低了运行能耗;混合液回流比为10~20倍,可降低污泥的冲击负荷,为微生物提供稳定的生长环境;此外,生物池污泥浓度提高至5~8 g/L,提高了除污效率,COD去除率>85%,TN去除率>75%,氨氮去除率>95%。

③ 高效沉淀池与除氟工艺有机结合,既节约占地、节省投资,又高效利用水中碳源,节省成本。

④ 臭氧+活性焦吸附作为深度处理单元保障了出水水质达标的可靠性。

6 结论

江苏某省级经济开发区工业污水厂设计规模近期 $1.0\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,远期 $2.0\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。采用粗格栅及提升泵房+细格栅及曝气沉砂池+调节池及事故

池+初沉池+水解酸化池+低氧曝气生物池+除氟高效沉淀池+提升泵房及臭氧催化氧化池+活性焦吸附系统+转盘滤池+接触消毒池及巴氏计量槽+尾水湿地工艺,处理效果良好且运行稳定,出水水质满足设计标准,尾水可作为厂内及市政回用水加以利用。该污水厂采用的处理工艺合理可靠,自动化程度高,处理效果好,工程投资和运营成本较低,可为同类园区工业污水厂提供参考。

参考文献:

- [1] 胡邦,杨艳坤,张鑫,等.化工园区工业污水“分类分质”处理工艺系统设计[J].中国给水排水,2023,39(6):66-70.
HU Bang, YANG Yankun, ZHANG Xin, et al. Design of industrial wastewater treatment system in chemical industrial park based on classification and quality [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39 (6) : 66-70 (in Chinese).
- [2] 王兴斌,段景晓.湖北省某经济开发区工业污水处理厂工程设计[J].水处理技术,2022,48(10):141-144,148.
WANG Xingbin, DUAN Jingxiao. Engineering design of industrial WWTP in Hubei Province economic development zone [J]. Technology of Water Treatment, 2022, 48(10): 141-144, 148 (in Chinese).
- [3] 朱守超,胡新,鹿守敢,等.江苏省某工业园区污水处理厂设计及运行实例[J].中国给水排水,2020,36(2):109-112.
ZHU Shouchao, HU Xin, LU Shougan, et al. Design and operation example of an industrial park wastewater treatment plant in Jiangsu Province [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 109-112 (in Chinese).

作者简介:任军俊(1984—),女,江苏南京人,硕士,高级工程师,副所长,主要从事给水排水工程设计工作。

E-mail:58059779@qq.com

收稿日期:2023-07-26

修回日期:2023-10-17

(编辑:丁彩娟)