

张洋, 刘君, 岳中秋, 等. 某高标准出水综合污水处理厂设计案例分析[J]. 净水技术, 2025, 44(2): 189-197.

ZHANG Y, LIU J, YUE Z Q, et al. Case study of design for an integrated WWTP under stricter effluent standard[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(2): 189-197.

某高标准出水综合污水处理厂设计案例分析

张洋, 刘君, 岳中秋*, 徐学池

(湖南航天凯天水务有限公司, 湖南长沙 410000)

摘要 【目的】 文章通过对山东省某高标准出水综合污水处理厂设计进行分享与探讨, 以为污水处理行业从业人员提供借鉴与参考。【方法】 该污水处理厂设计规模为 4.0 万 m^3/d , 其中工业污水规模为 1.0 万 m^3/d , 主要为印染和食品加工类废水。设计出水标准较高, 除总氮外其余常规指标均达到地表 IV 类水标准。【结果】 污水处理采用“预处理+五段式缺氧/好氧(AO)生物池+二沉池+高效沉淀池+反硝化滤池+臭氧催化氧化池+生物炭滤池+接触消毒”。其中, 生活污水预处理工艺为“粗细格栅+曝气沉砂池”; 工业污水预处理工艺为“调节池+水解酸化池+气浮池+初沉池”, 两部分污水分开预处理后合并进入后续处理系统, 污泥处理采用“重力浓缩+高压隔膜板框”工艺, 污泥含水率压至 60% 以下外运统一处置。项目多处设置超越管(渠), 运行过程中可根据进出水条件的变化灵活调整。【结论】 该污水处理厂执行出水标准较高, 对设计、建设、运营等提出了更高的要求。

关键词 综合污水处理厂 高标准出水 长流程工艺 分质预处理 运行模式

中图分类号: TU992 文献标志码: B 文章编号: 1009-0177(2025)02-0189-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.02.022

Case Study of Design for an Integrated WWTP under Stricter Effluent Standard

ZHANG Yang, LIU Jun, YUE Zhongqiu*, XU Xuechi

(Hunan Aerospace Kaitian Water Service Co., Ltd., Changsha 410000, China)

Abstract [Objective] This paper shares and discusses the design of an integrated wastewater treatment plant (WWTP) with high-standard effluent, in hope of offering an insight and reference for the practitioners. [Methods] The design scale of an integrated WWTP in Shandong Province is 40 000 m^3/d , of which industrial wastewater 10 000 m^3/d , primarily originated from printing and dyeing as well as food processing wastewater. The designed effluent standard is relatively high, with conventional indices except total nitrogen all meeting the standard class IV of surface water. [Results] For this purpose, the wastewater treatment adopts “pretreatment+phoredox anoxial oxic (AO) biological tank+secondary sedimentation tank+high efficiency sedimentation tank+denitrification filtration tank+ozone catalytic oxidation tank+biochar filtration tank+sodium hypochlorite disinfection”, of which the domestic wastewater pretreatment process is “dense and sparse grid+aerated sand settling tank” and industrial wastewater pretreatment process is “adjusting tank+hydrolytic acidification tank+air flotation tank+primary settling tank”, and the two components combined into the subsequent system after pretreating separately. The sludge treatment process incorporates the combination of gravity concentration and high-pressure diaphragm plate frame with the sludge moisture content less than 60%, and then transported for unified disposal. This project are equipped with overrunning pipes (canals), which can be flexibly modified according to influent and effluent during operation. [Conclusions] The WWTP meets the high-standard effluent, which puts forward higher requirements of design, construction and operation.

Keywords integrated WWTP stricter effluent standard prolonged process flow different pretreatment operation mode

[收稿日期] 2024-03-14

[作者简介] 张洋(1993—), 男, 硕士, 注册公用设备工程师(给水排水), 研究方向为给水排水, E-mail: whuzhangy@126.com。

[通信作者] 岳中秋(1968—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为环境治理, E-mail: yuezhongqiu@hktsw.com

近些年来,随着工业化进程的加快,本项目所在地发展日益加快,已形成大规模工业开发的趋势,用水及污水量大量增加,现有环保政策对污水排放要求日趋严苛,该地现有污水处理设施在水量水质上均不能满足要求,建设新的高标准污水处理厂迫在眉睫。

将重污染的工业企业集中在一个工业园区,设立集中污水处理厂,是城市工业发展的重要举措,在收集工业污水的同时,也可将周边范围内的生活污水一并纳入处理。此举既可为企业的发展创造良好的生产条件,也可避免生活污水对周边环境的影响,创造更好的经济发展环境。但相比市政污水,工业污水水质成分更复杂、浓度更高、水质差异更大,常含有难降解有机物,对处理工艺的要求更高。文章从工程实际案例出发,对高标准出水综合污水处理厂的设计水质、工艺流程、核心工艺的比选及设计参数进行分享与探讨,以期为污水处理行业从业人员提供借鉴与参考。

1 项目概况

山东省某综合污水处理厂设计规模为 4.0 万 m³/d,其中工业污水规模为 1.0 万 m³/d,主要为纺

织和食品加工及其他类废水,设计出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅳ类水标准[悬浮物质(SS)、总氮(TN)除外]。污水处理采用“预处理+五段式缺氧/好氧(AO)物池+二沉池+高效沉淀池+反硝化滤池+臭氧催化氧化池+生物炭滤池+接触消毒池”,其中生活污水预处理工艺为“粗细格栅+曝气沉砂池”;工业污水预处理工艺为“调节池+水解酸化池+气浮池+初沉池”,两部分污水分开预处理后合并进入后续处理系统;污泥处理采用“重力浓缩+高压隔膜板框”工艺,污泥含水率压至 60%以下外运统一处置;除臭主体工艺为生物滤池,风量为 30 000 m³/h。污水处理厂投资为 19 519 万元,运行费用为 1.77 元/m³,项目正处于建设阶段。

2 工艺方案论证

2.1 设计进出水水质

工业污水主要来自纺织、食品加工和其他行业,其中纺织废水执行《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012),其他废水执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)并结合实际水质数据及远期发展。具体指标如表 1 所示。

表 1 设计进水水质(工业污水)

Tab. 1 Designed Water Quality of Influent (Industrial Wastewater)

项目	水量/ (m ³ ·d)	化学需氧量 (COD _{Cr})/(mg·L ⁻¹)	五日生化需氧量 (BOD ₅)/(mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷(TP)/ (mg·L ⁻¹)
纺织	5 550	200	50	100	30	20	1.5
食品	1 000	300	150	100	35	30	3
其他	3 450	500	180	200	70	45	8
加权	/	314	145	164	44	35	5
设计	/	≤350	≤150	≤180	≤50	≤40	≤6

生活污水进水指标参照当地其他污水处理厂,设计出水指标执行《地表水环境质量标准》(GB

3838—2002)中Ⅳ类水标准(SS、TN 除外)。具体指标如表 2 所示。

表 2 设计进出水水质(单位:mg/L)

Tab. 2 Designed Water Quality of Influent and Effluent (Unit: mg/L)

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
设计进水水质(工业)	≤350	≤150	≤180	≤50	≤40	≤6
设计进水水质(市政)	≤350	≤150	≤300	≤55	≤45	≤6
设计出水水质	≤30	≤6	≤10	≤10(12)	≤1.5(3)	≤0.3

注:当水温≤12℃时,执行括号内指标。

2.2 进出水分析

(1) 水质水量波动性

工业污水受企业产品产量变化的影响较大,

水质水量会存在一定的波动性,本项目在设计阶段应充分考虑工业污水冲击负荷和运行的灵活性。

(2) 水质水量差异性

工业污水进入污水处理厂之前各企业均已对污水进行预处理,造成进厂工业污水的可生化性较低,与生活污水差异性较大。针对这一问题,考虑预处理效果、投资及运行费用和运行的灵活性等因素,本次设计拟对污水进行分类收集、分质处理,不同的污水采用不同的预处理方案,处理完后合并进入生物处理系统。

(3) 进出水指标

本项目设计 COD_{Cr} 去除率为 91.43%, BOD_5 去除率为 98%, SS 去除率为 96.30%, TN 去除率 81.40%, 氨氮去除率为 96.57%, TP 去除率为 95%, 出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 中 IV 类水标准(SS、TN 除外)。根据进水水质分析, COD_{Cr} 、SS、TN 和 TP 仍需进一步深度处理。

2.3 预处理工艺选择

通过对两部分污水进行分析,设计拟采用分质预处理,市政污水预处理采用“粗细格栅+曝气沉砂池”,工业污水预处理的主要目的为:调节水量水质、去除污水中较大纤维及提高其可生化性;采用“调节池+气浮池+水解酸化池+初沉池”。

2.4 深度处理工艺选择

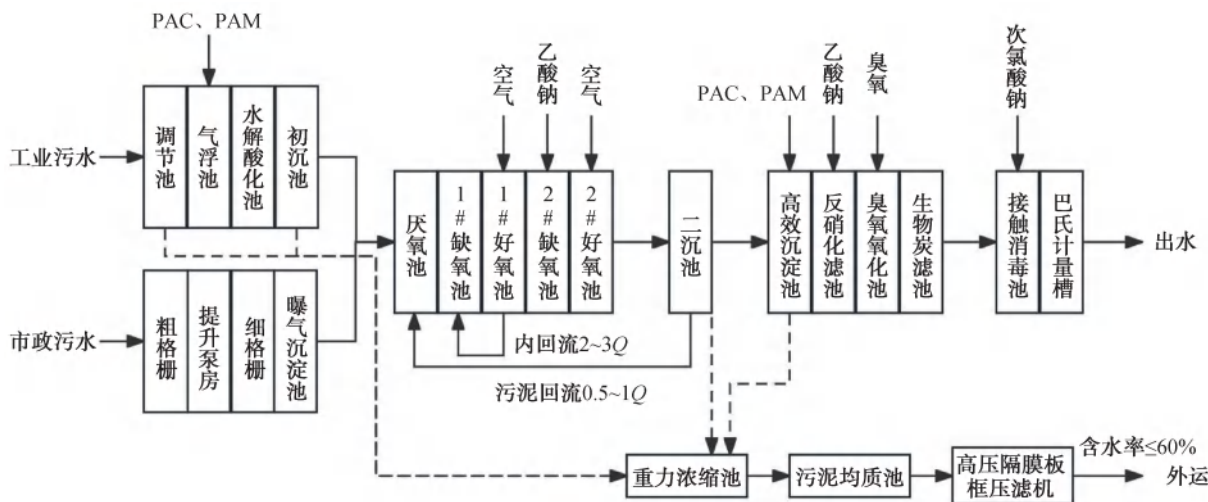
现阶段污水处理厂深度处理普遍采用物化处理,技术路线以絮凝沉淀、过滤、活性炭吸附为主。本项目出水对 TN 要求较高且工业污水中含有部分难降解微生物,深度处理需考虑脱氮和去除难降解 COD_{Cr} 等功能。综上所述,深度处理采用“高效沉淀池+反硝化滤池+臭氧催化氧化池+生物炭滤池”,确保出水稳定达标。

3 工程总体设计

3.1 工艺流程

本工程各处理环节采用的主要工艺有以下几点,具体如图 1 所示。

- (1) 工业污水预处理:调节池+气浮池+水解酸化池+初沉池。
- (2) 市政污水预处理:粗细格栅+曝气沉砂池。
- (3) 生物处理:五段式 AO 生物池+二沉池。
- (4) 深度处理:高效沉淀池+反硝化滤池+臭氧催化氧化池+生物炭滤池。
- (5) 消毒处理:接触消毒池。
- (6) 污泥处理:重力浓缩池+高压隔膜板框压滤机。
- (7) 除臭:生物滤池。



注: PAC 为聚合氯化铝, PAM 为聚丙烯酰胺, Q 为污水流量。

图 1 污水、污泥处理工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Wastewater Treatment and Sludge Disposal

3.2 工程分组

污水厂内水处理构筑物分组数均不小于 2 组,其中工程主体处理构筑物中,生化池 1 座 4 组,二沉池 2 座,高效沉淀池 1 座 2 组,反硝化滤池 1 座 8 组,臭氧催化氧化池 1 座 4 组,生物炭滤池 1 座 6

组,并在适当位置设置超越,便于检修维护,同时可使运行更为可靠、灵活和合理。

3.3 厂区总平面布置

污水处理厂总占地面积为 48 305 m²,其中构筑物占地面积为 19 684 m²,建筑密度为 40.75%。

从南向北依次是厂前区、附属生产区、二级及深度处理区、预处理区及污泥脱水区,其中工业污水预处理和生物池合建组成1#组合池,深度处理系统合建组成2#组合池。厂内水流呈U型走向,水力流程简洁;厂前区单独布置,其东侧预留远期中水回用区域,在保障办公区的优良环境的同时,也让该污水处理厂具备远期发展的潜力。具体如图2所示,图中构建筑物编号如表3所示。

4 工艺设计

地下箱体主要构筑物如表3所示,其中序号1~15为主要生产区,序号16~25为辅助生产区,主要构建筑工艺设计参数详见下文。

4.1 市政污水预处理系统

市政污水预处理系统主要单元有粗格栅、污水提升泵房、细格栅和曝气沉砂池。

粗格栅采用旋转式格栅机,共2台,栅条间隙为20 mm,安装角度为75°;污水提升泵采用潜污泵,单



图2 污水厂区总平面布置
Fig. 2 Layout Plane of WWTP

表3 污水处理厂主要构筑物
Tab. 3 Main Structure and Buildings of WWTP

序号	名称	规模/(m ³ ·d ⁻¹)	结构形式	数量	备注
1	粗格栅及进水泵房	3.0万	钢筋砼	1座1组	
2	细格栅及曝气沉砂池	3.0万	钢筋砼	1座2组	
工业污水预处理系统					
3	调节池	1.0万	钢筋砼	1座1组	合建(除气浮池)
4	事故池	1.0万	钢筋砼	1座1组	
5	气浮池	1.0万	钢筋砼基础	2座	
6	水解酸化池	1.0万	钢筋砼	1座2组	
7	初沉池	1.0万	钢筋砼	1座2组	
污水生物处理系统					
8	生化池	4.0万	钢筋砼	1座4组	
9	二沉池	4.0万	钢筋砼	2座	
污水深度处理系统					
10	高效沉淀池	4.0万	钢筋砼	1座2组	合建
11	反硝化滤池	4.0万	钢筋砼	1座8组	
12	臭氧催化氧化池	4.0万	钢筋砼	1座4组	
13	生物炭滤池	4.0万	钢筋砼	1座6组	
14	接触消毒池	4.0万	钢筋砼	1座2组	
15	巴士计量槽	4.0万	钢筋砼	1座1组	
污泥处理系统					
16	污泥浓缩池	4.0万	钢筋砼	1座2组	
17	污泥均质池	4.0万	钢筋砼	1座2组	

(续表3)

序号	名称	规模/(m ³ ·d ⁻¹)	结构形式	数量	备注
18	污泥脱水车间 附属公共用房	4.0万	框架	1座	
19	鼓风机房、变配电间与加药间	4.0万	框架	1座	
20	臭氧发生间	4.0万	框架	1座	
21	进水监测间	4.0万	框架	1座	与细格栅合建
22	危废间	4.0万	框架	1座	
23	出水监测间 办公用房	4.0万	框架	1座	
24	办公楼		框架	1座	
25	传达室		框架	1座	

台 $Q=700\text{ m}^3/\text{h}$,共4台(3用1备,2台变频);细格栅采用内进流细格栅,共2台,栅条间隙为3 mm,配置中压和高压反冲洗系统;曝气沉砂池为1座2组,有效水深为3.2 m,曝气量为 $0.2\text{ m}^3\text{ 空气}/(\text{m}^3\text{ 污水})$,采用罗茨风机单独供气。

4.2 工业污水预处理系统

工业污水预处理系统主要单元有调节池(事故池)、气浮池、水解酸化池、初沉池。

调节池1座1组,有效池容为 $4\,800\text{ m}^3$,有效水深为5.5 m,设计停留时间为11.5 h,主要设备为潜污泵(3台,2用1备,单台 $Q=225\text{ m}^3/\text{h}$)和潜水搅拌机(4台);事故池1座1组,有效池容为 $3\,465\text{ m}^3$,有效水深为5.5 m,设计停留时间为8.3 h,主要设备为潜污泵(2台,单台 $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$)和潜水搅拌机(4台);气浮池2座,采用浅层气浮,为钢制一体化设备,设计表面负荷为 $4.2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,设计污泥回流比为10%~25%,设置超越管道,投加药剂为PAC、阴离子PAM;水解酸化池1座2组,总有效池容为 $4\,167\text{ m}^3$,有效水深为5.5 m,设计停留时间为10.0 h,主要设备为立式搅拌机[共6台,转速为 $30\sim 50\text{ r}/\text{min}$,直径(D)= $3\,500\text{ mm}$];初沉池2座, $D=10\text{ m}$,采用中进周出形式,设计高时表面负荷为 $2.7\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,主要设备为中心传动刮泥机。

4.3 污水生物处理系统

污水生物处理系统主要单元有生化池、二沉池。

(1)生化池

生物处理工艺为五段式AO工艺,生化反应池共设计1座4组,单组规模为 $1.0\text{ 万 m}^3/\text{d}$,总有效池容为 $37\,528\text{ m}^3$,有效水深为5.5 m,设计停留时间

为22.4 h。污泥负荷为 $0.05\text{ kg BOD}_5/(\text{kg MLSS}\cdot\text{d})$,设计污泥质量浓度为 $4\,000\text{ mg}/\text{L}$,剩余污泥量为 $5.45\text{ t DS}/\text{d}$,最大供气量为 $221.7\text{ m}^3/\text{min}$,硝化液回流比为200%~300%,污泥回流比为50%~100%。其中,厌氧区有效容积为 $3\,000\text{ m}^3$,停留时间为1.8 h,主要设备为立式搅拌机(共4台,转速为 $30\sim 50\text{ r}/\text{min}$, $D=3\,500\text{ mm}$);1#缺氧区有效容积为 $9\,000\text{ m}^3$,停留时间为5.4 h,主要设备为立式搅拌机(共8台,转速为 $30\sim 50\text{ r}/\text{min}$, $D=3\,500\text{ mm}$);1#好氧区有效容积为 $18\,870\text{ m}^3$,停留时间为11.3 h,主要设备为膜式曝气管[共1 512根,单根长度(L)= 1 m ,曝气量为 $6\sim 8\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$];2#缺氧区有效容积为 $4\,858\text{ m}^3$,停留时间为2.9 h,主要设备为立式搅拌机(共16台,转速为 $30\sim 50\text{ r}/\text{min}$, $D=2\,000\text{ mm}$)和混合液回流泵[共6台,4用2备,单台(Q)= $1\,250\text{ m}^3/\text{h}$,扬程(H)= 0.8 m],设置碳源投加点;2#好氧区有效容积为 $1\,800\text{ m}^3$,停留时间为1.0 h,主要设备为膜式曝气管[共224根,单根 $L=1\text{ m}$,曝气量为 $6\sim 8\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$]。

(2)二沉池

二沉池共2座,采用周进周出形式, $D=40\text{ m}$,设计高时表面负为 $1.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,主要设备为周边传动刮泥机。

4.4 污水深度处理系统

污水深度处理系统主要单元有高效沉淀池、反硝化滤池、臭氧催化氧化池、生物炭滤池等,同时设置超越渠道,在运行过程中可选择超越臭氧催化氧化池和生物炭滤池。组合池中各单元间均设置廊道与外界相通,便于设备安装和日常检修维护。

(1) 高效沉淀池

高效沉淀池共设计1座2组,投加药剂为PAC、阴离子PAM,设计去除SS 10 mg/L,去除TP 1.7 mg/L,沉淀区设计高时表面负荷为 $7.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。主要设备为搅拌机、导流筒、刮泥机、斜管、污泥泵等,以工艺包形式采购、安装和调试。

(2) 反硝化滤池

反硝化滤池共设计1座8组,投加药剂为碳源,设计去除TN 5 mg/L。单格滤池面积为 40.2 m^2 ,总过滤面积为 321.5 m^2 ,滤层厚度为1.8 m,设计滤速(v)=5.0 m/h,强制 $v=6.0 \text{ m/h}$,脱氮负荷为 $0.33 \text{ kg 硝氮}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。反冲洗气强度为 $25 \text{ L}/(\text{m} \cdot \text{s})$,反冲洗水强度为 $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,反冲洗废水回流至高效沉淀池进水端。设计采用滤砖进行布水布气,主要设备为布水布气系统、石英砂填料、反洗系统等,为以工艺包形式采购、安装和调试。

(3) 臭氧催化氧化池

臭氧催化氧化池共设计1座4组,投加药剂为臭氧,设计去除 COD_{Cr} 10 mg/L,停留时间为1.0 h,设计臭氧投加质量浓度为30 mg/L。催化剂为流化床填料, $H=1.5 \text{ m}$ 。设计采用滤头进行布水布气,主要设备为布水布气系统、循环泵、催化剂填料、尾气破坏系统等,以工艺包形式采购、安装和调试。

(4) 生物炭滤池

生物炭滤池共设计1座6组,设计去除 COD_{Cr} 5 mg/L,去除SS 5 mg/L。单格滤池面积为 46.8 m^2 ,总过滤面积为 280.5 m^2 ,滤层厚度为2.5 m,设计 $v=5.9 \text{ m/h}$,强制 $v=7.1 \text{ m/h}$ 。反冲洗水强度为 $11 \sim 13 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。反冲洗废水回流至高效沉淀池进水端。设计采用滤头进行布水布气,主要设备为布水布气系统、生物炭填料、反洗系统等,以工艺包形式采购、安装和调试。

4.5 污泥处理系统

污水深度处理系统主要单元有污泥浓缩池、脱水车间等。

(1) 污泥浓缩池

污泥浓缩池共设计2座,单池有效池容为 784 m^3 ,有效水深为4.0 m,主要接纳生物污泥(初沉池、二沉池)和化学污泥(气浮池、高效沉淀池),其中设计生物污泥为 6000 kg/d ,化学污泥为 3600 kg/d 。设计单日设计最大进泥量为 1731 m^3 (按含水率为99.3%计),出泥量为 $480 \text{ m}^3/\text{d}$ (按含水

率为98%计),污泥固体负荷为 $50 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,停留时间为21.7 h。

(2) 污泥脱水车间

污泥脱水车间设计1座,框架结构,调理药剂为三氯化铁和阳离子PAM。设计处理绝干污泥 9600 kg/d ,脱水后污泥含水率 $\leq 60\%$,配置2台高压隔膜板框压滤机,单机面积为 350 m^2 ,2台压滤机并联使用,单个周期为4 h,每天工作3个班次。

4.6 附属公共用房

附属公共用房主要单元有鼓风机房、加药间、臭氧发生间等。

(1) 鼓风机房

鼓风机房与加药间合建,设计1座,框架结构。鼓风机房采用廊道式进风,设计2大2小4台磁悬浮鼓风机,其中2台(1用1备)大型风机性能参数为 $Q=111 \text{ m}^3/\text{min}$,出口风压为70 kPa;2台(2用)小型风机性能参数为 $Q=55 \text{ m}^3/\text{min}$,出口风压为70 kPa,风量均为50%~100%可调。

(2) 加药间

加药间药剂种类主要有PAC、阴离子PAM、碳源、次氯酸钠和粉末活性炭。

PAC和阴离子PAM投加的位置为气浮池和高效沉淀池,其中阴离子PAM设计投加质量浓度为1.0 mg/L;碳源投加的位置为2#缺氧池、反硝化滤池,按需要去除碳源的量进行投加;次氯酸钠投加的位置为接触消毒池,设计投加质量浓度为10 mg/L;粉末活性炭为应急投加,投加的位置为生物池前端、高效沉淀池。

(3) 臭氧发生间

污泥脱水车间设计1座,框架结构。设计氧气管臭氧发生器3台(2用1备),单台臭氧制备量为 25 kg/h ,设计总制备量为 50 kg/h 。

4.7 办公用房

办公用房主要单元有办公楼、传达室。

5 讨论

5.1 分质预处理

本污水处理厂进水主要为工业污水和市政污水。由于来源不同,2类污水水质差别较大,其中以纺织印染工业废水为代表水质最为复杂,且难处理^[1]。考虑到如下因素:①工业污水水量、水质波动大、污染物成分复杂、不可预见性强;②节省投资

及运行费用;③运行的灵活性等。本次设计拟对污水进行分类收集、分质处理,针对不同的污水采用不同的工艺方案。

5.2 高效沉淀池

《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)规定,高效沉淀池表面水力负荷宜为 $6 \sim 13 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;《城镇污水再生利用工程设计规范》(GB 50335—2016)规定,高效沉淀池表面水力负荷宜为 $10 \sim 20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。沉淀区表面水力负荷作为高效沉淀池重要设计参数,是影响沉淀效果的关键因素,结合标准要求及工程经验,建议沉淀区最大流量时表面水力负荷不宜过大^[2-3]。

5.3 反硝化滤池

上向流反硝化滤池作为反硝化滤池的一种,具有滤速高、TN去除率高,无需专门驱氮措施,纳污量大、上层为清水,出水感官好等多个优点,尤其在深度处理工程中还具有碳源投加省、纳污量大无需前置高效沉淀池2个优点,明显节省了投资运行费用,减少了工程占地,具有很好的社会效益^[4]。上向流反硝化滤池在国内已有上百项的工程应用业绩,中国城镇供水排水协会于2023年发布团体标准《上向流反硝化滤池设计标准》(T/CUWA 50053—2023),可为其合理化规范化设计施工提供依据,提高工程质量,实现最佳经济和环境效益。

5.4 生物炭滤池

生物炭滤池采用深床过滤,与普通深床滤池单一滤料不同,生物炭滤池采用颗粒活性炭和石英砂双层滤料,活性炭滤料上生长和附着大量的微生物,使滤池同时具有过滤、吸附和曝气三重功能。因此,生物炭滤池可减少活性炭的消耗量,具有出水水质优良、运行维护费用低廉^[5]的特点,一般置于深度处理末端,保障出水稳定达标。

5.5 污泥浓缩脱水滤液

本工程采用生物同步除磷脱氮工艺,剩余污泥浓缩采用重力浓缩。但重力浓缩池因水力停留时间长,污泥在池内会发生厌氧放磷,如果将污泥水直接回流至污水处理系统,会增加污水处理的磷负荷,降低生物除磷的效果^[6]。

《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)规定,当采用重力浓缩污泥池时,宜对污泥水进行除磷处理。因此,建议对重力浓缩过程中产生的污泥水进行除磷后再返回污水处理厂前端进行处理,除磷可

采用混凝沉淀工艺。

5.6 经营成本分析

投产期内,经营成本主要包含外购药剂费、外购燃料及动力费、员工工资及福利费、修理费、污泥运输费及其他费用。

(1)外购药剂费:主要药剂为PAC、阴离子PAM、阳离子PAM、次氯酸钠、复合碳源及液氧,年均均为1 066.80万元。

(2)外购燃料及动力费:主要为电费,电价按 $0.66 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计,年均均为600.59万元。

(3)员工工资及福利费:定员30人,人均工资及福利费按 $7.2 \text{ 万元}/(\text{人} \cdot \text{年})$ 计,年均均为216万元。

(4)修理费:按固定资产原值的1.2%计,年均均为472.00万元。

(5)污泥运输费:污泥运输按 $50 \text{ 元}/\text{t}$ 计,年均均为37.78万元。

(6)其他费用:按(1)~(5)的8%计,年均均为191.45万元。

综上所述,投产期内年均经营成本为2 584.62万元,吨水成本为1.77元。

5.7 运行建议

本项目工艺流程较长,在气浮池、臭氧催化氧化池、生物炭滤池处均设置超越管(渠),使得整个工艺流程灵活可变,在确保出水稳定达标的前提下可根据进出水条件的变化灵活调整。

(1)模式一:全流程。当进水为设计水质的情况下,所有工艺单元按照设计正常运行,如图3所示。

(2)模式二:超越气浮池。当工业污水SS和TP浓度较低时,气浮池可超越,调节池污水直接进入水解酸化池,如图4所示。

(3)模式三:超越臭氧催化氧化池和生物炭滤池(全部或其一)。当反硝化滤池出水已达标,可超越催化氧化池和生物炭滤池,反硝化滤池出水直接进入消毒池,如图5所示。

以上3种运行模式供参考,运行人员需根据进水水质结合实际情况,进行运行模式的进一步调整和优化,减少运行费用。

6 结论

(1)市政污水和工业污水水质差别较大,考虑

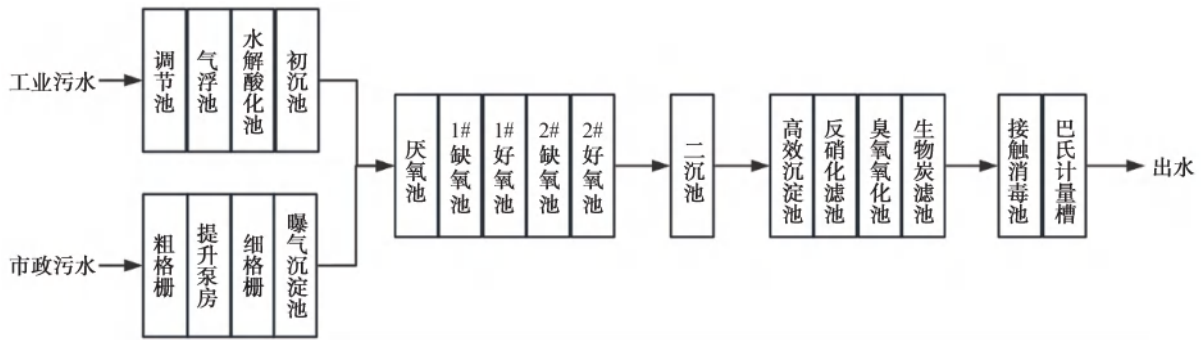


图3 模式一:全流程

Fig. 3 Mode 1: Full Process

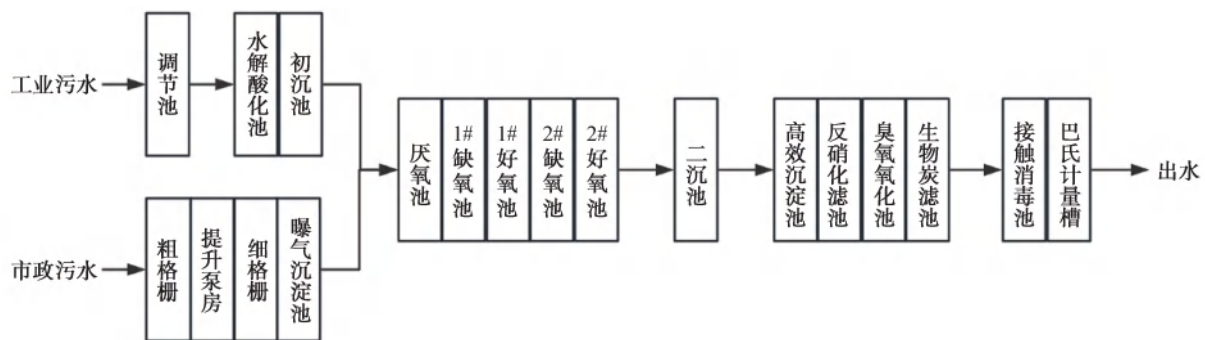


图4 模式二:超越气浮池

Fig. 4 Mode 2: Overpass of Air Flotation Tank

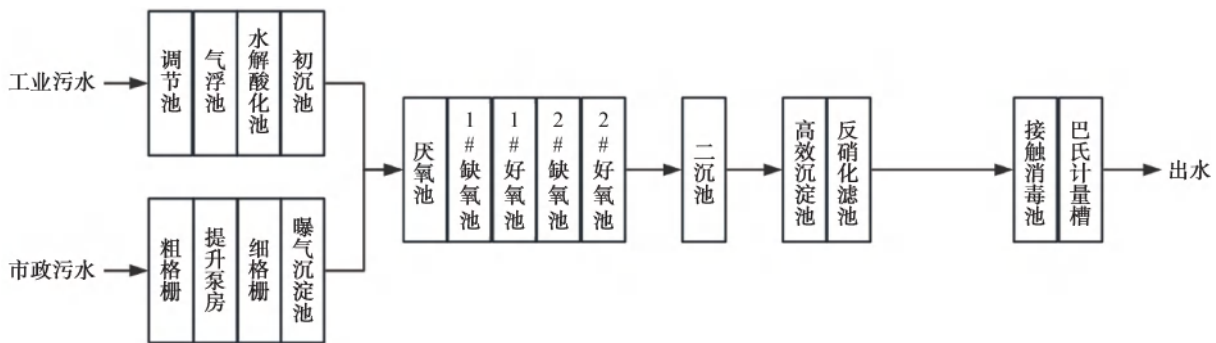


图5 模式三:超越臭氧催化氧化池和生物炭滤池

Fig. 5 Mode 3: Overpass of Ozone Catalytic Oxidation and Biochar Filtration Tank

预处理效果、投资及运行费用和运行的灵活性等因素,本次设计拟对污水进行分类收集、分质处理,针对不同的污水采用不同的工艺方案。

(2)工业污水预处理采用“调节池+水解酸化池+气浮池+初沉池”,深度处理采用“高效沉淀池+反硝化滤池+臭氧催化氧化池+生物炭滤池”工艺,在保障出水稳定达标的同时设置超越渠道,可选择超越部分工艺单元,增加运行中的灵活性并减少运行费用。

(3)项目正处于建设中,尚未投入运营,计算投产期内年均经营成本为2 584.62万元,吨水成本为1.77元。

(4)本污水处理厂执行出水标准较高,对设计提出了更高的要求,本文分析和讨论了实际工程设计及相关问题,以为污水处理行业从业人员提供参考。

参考文献

[1] 赵红兵,陈黎明,詹键,等. 水解酸化/改良芬顿技术在印染

- 工业废水处理厂的设计应用[J]. 净水技术, 2023, 42(3): 120-126.
- ZHAO H B, CHEN L M, ZHAN J, et al. Design and application of hydrolytic acidification/improved Fenton technology in printing and dyeing WWTP [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(3): 120-126.
- [2] 陈燕波, 张锋, 淦方茂. 高效沉淀池在污水深度处理工程的应用优化[J]. 给水排水, 2022, 48(7): 46-50, 56.
- CHEN Y B, ZHANG F, GAN F M. Application optimization of high efficiency settling tank in wastewater advanced treatment project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(7): 46-50, 56.
- [3] 李慧, 李涛, 王文. 高效沉淀池的工艺设计与应用案例[J]. 净水技术, 2012, 31(2): 84-87.
- LI H, LI T, WANG W. Design and application cases of technological processes for high-efficiency sedimentation tank [J]. Water Purification Technology, 2012, 31(2): 84-87.
- [4] 崔朋, 万年红, 吴瑜红, 等. 污水处理厂上向流反硝化滤池极限脱氮效能研究[J]. 给水排水, 2022, 48(s1): 196-201.
- CUI P, WAN N H, WU Y H, et al. Study on the maximum nitrogen removal efficiency of upflow denitrification filter in wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(s1): 196-201.
- [5] 陈龙, 刘忠生, 王竞, 等. 某经济开发区污水处理厂工程设计案例分析[J]. 净水技术, 2019, 38(9): 33-38, 53.
- CHEN L, LIU Z S, WANG J, et al. Case study of engineering design for wastewater treatment plant in an economic development zone[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(9): 33-38, 53.
- [6] 彭信子, 刘志刚, 周思琦, 等. 市政污泥中磷的释放研究进展综述[J]. 净水技术, 2017, 36(1): 27-32.
- PENG X Z, LIU Z G, ZHOU S Q, et al. Review of research and progress on phosphorus release from urban sewage sludge [J]. Water Purification Technology, 2017, 36(1): 27-32.

(上接第 188 页)

(3)该工程改造难度虽然较大,MBR 工艺相比传统“改良 AAO+二沉池”工艺,维护工作及能耗更大,但该工程改造效益十分明显,仅仅利用厂区 4 033 m² 空地,在总投资为 17 646.75 万元情况下,实现了 4.5 万 m³/d 规模的污水扩容,该工程可为类似极限用地条件下污水厂的扩容改造提供借鉴经验。

参考文献

- [1] 蒙小俊. 城镇污水处理厂升级改造分析[J]. 环境污染与防治, 2021, 43(11): 1439-1445.
- MENG X J. Analysis of upgrading and reconstruction of urban sewage treatment plants[J]. Environmental Pollution & Control, 2021, 43(11): 1439-1445.
- [2] 姚亮, 张强, 李鹏. 多级 AO+MBR 工艺在污水处理厂高排放标准提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(3): 164-173.
- YAO L, ZHANG Q, LI P. Application of multistage AO + MBR processes in upgrading and reconstruction of stricter discharge standard of WWTP [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(3): 164-173.
- [3] 都雪晨, 黄华玲, 靳斌斌, 等. MBBR 和 MBR 工艺在南方某用地受限污水处理厂扩建及提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(5): 164-171.
- DU X C, HUANG H L, JIN B B, et al. Application of MBBR and MBR processes in extension and upgrading project of a southern WWTP under limited land use [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5): 164-171.
- [4] 李一龙, 包宇. UCT-MBR 工艺在北京市某污水处理厂提标扩容改造中的设计及运行[J]. 净水技术, 2022, 41(1): 147-152.
- LI Y L, BAO Y. Design and operation of UCT-MBR process in upgrading and expansion project of a WWTP in Beijing city [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(1): 147-152.
- [5] 李亮, 汪德金, 等. 大型污水处理厂采用 MBR 工艺不停产扩能提标改造[J]. 中国给水排水, 2019, 35(14): 52-58.
- LI L, WANG D J. Practice of reconstruction without shutdown with MBR for capacity expansion and standard upgrading in large-scale sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14): 52-58.
- [6] 杨磊, 赵健, 郭瑜, 等. MBR 在更严格排放标准污水处理厂不停产提标扩能改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(10): 166-172.
- YANG L, ZHAO J, GUO Y. Application of MBR in upgrading and reconstruction of stricter discharge standard WWTP under non-stop operation [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(10): 166-172.