

改良 AAO 及污泥深度脱水工艺用于城镇污水厂迁建提标

杨祝平, 郭淑琴

(天津市市政工程设计研究院 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津 300392)

摘要: 焦作市第一污水处理厂迁建提标工程为满足一级 A 出水排放标准及污泥脱水含水率 $< 50\%$ 的要求, 污水处理采用“前置缺氧改良 AAO + 高效沉淀 + D 型滤池”工艺, 污泥处理采用板框压滤深度脱水工艺。实际运行表明, 出水水质达到了一级 A 排放标准, 出泥含水率 $< 50\%$ 。工程设计总投资为 2.08 亿元, 处理成本及运行成本分别为 1.12 和 0.84 元/ m^3 , 污泥深度脱水处理费用为 100 元/t 左右(80% 含水率污泥)。

关键词: 前置缺氧改良 AAO; 高效沉淀池; D 型滤池; 污泥深度脱水

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)02-0062-05

Application of Improved AAO and Sludge Deep Dewatering Process in the Relocation and Upgrading of WWTP

YANG Zhu-ping, GUO Shu-qin

(Tianjin Enterprise Key Laboratory of Infrastructure Durability, Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392, China)

Abstract: To meet the requirements of the first level A criteria specified of national standard and the sludge dewatering requirement to the moisture content below 50%, the process of pre-anoxic modified AAO + high efficiency precipitation + D-type filter tank was adopted for wastewater treatment, and deep dewatering with plate and frame filter was adopted for sludge treatment in the relocation and upgrading project of Jiaozuo No. 1 WWTP. The operation results showed that the effluent quality could reach the first level A discharge standard and the sludge water content was $< 50\%$. The total investment of the project design was 208 million yuan, the unit total treatment cost and the unit operation cost were respectively 1.12 and 0.84 yuan/ m^3 , the sludge deep dewatering treatment cost was about 100 yuan/t (discount 80% water content sludge).

Key words: pre-anoxic modified AAO; high efficiency sedimentation tank; D-type filter tank; sludge deep dewatering

1 工程概况

焦作市第一污水处理厂迁建提标工程是由政府筹资按规划迁址并进行水质提标升级而新建的一座城镇污水处理厂, 迁建新址位于现状二厂南侧。工程设计总规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 污泥处理部分兼顾了焦作第二污水处理厂 ($15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 污泥量, 其规模达 200 t/d。

污水处理采用“前置缺氧改良 AAO + 混合絮凝高效沉淀 + D 型滤池 + ClO_2 消毒”主体工艺; 污泥处理采用“机械浓缩 + 污泥调理 + 板框压滤深度脱水”主体工艺。

工程服务范围: 老城区排水区域 36.2 km^2 范围内的污水集中处理, 包括解放区和山阳区。

工程建设目标: ①处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 处

理出水达到国标一级 A 排放标准;②污泥处理规模为 200 t/d(含水率为 80%),出泥含水率达到 50% 以下。

2 设计水质

本工程进水为典型城市生活污水,进水中工业废水含量约 20%,污染物浓度总体适中,工业废水含量少,且均已达到下水道排放标准后入网,工业废水未对城市污水造成冲击,整体处理难度不大。

2015 年污水厂实际运行水质见表 1。

表 1 2015 年实际运行水质

Tab.1 Actual operation water quality in 2015

项 目	进水	出水	设计标准	
			现状二级	迁建后一级 A
COD	285.3	27.4	100	50
BOD ₅	110.9	7.4	30	10
SS	196.3	17.8	30	10
TN	29.3	18.0	—	15
NH ₃ -N	18.3	9.1	25(30)	5(8)
TP	3.87	0.89	3	0.5

迁建提标工程设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。设计进、出水水质见表 2。

表 2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality

项目	进水	出水
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	150	10
COD/(mg·L ⁻¹)	350	50
SS/(mg·L ⁻¹)	260	10
TN/(mg·L ⁻¹)	40	15
NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	30	5(8)
TP/(mg·L ⁻¹)	6.0	0.5
大肠杆菌/(个·L ⁻¹)	—	1 000

3 工艺设计

① 二级处理

针对本工程实际进水碳氮比不高,对出水磷的去除率要求较高的情况,设计采用“前置缺氧改良 AAO”为主体的二级处理工艺^[1](见图 1),利用部分进水(30%~40%)中的有机物反硝化回流污泥中的硝态氮,有效保障厌氧段聚磷菌的磷释放,在进水碳源不十分充足、反硝化程度不很高的情况下仍可获得较好的除磷效果。生化池流态采用典型推流式反应器,设计时适当提高污泥龄,保证氨氮的硝化。二沉池采用表面负荷较高、出水水质好、运行稳定的

周进周出形式。设计中备用了碳源投加设备及化学除磷设备。

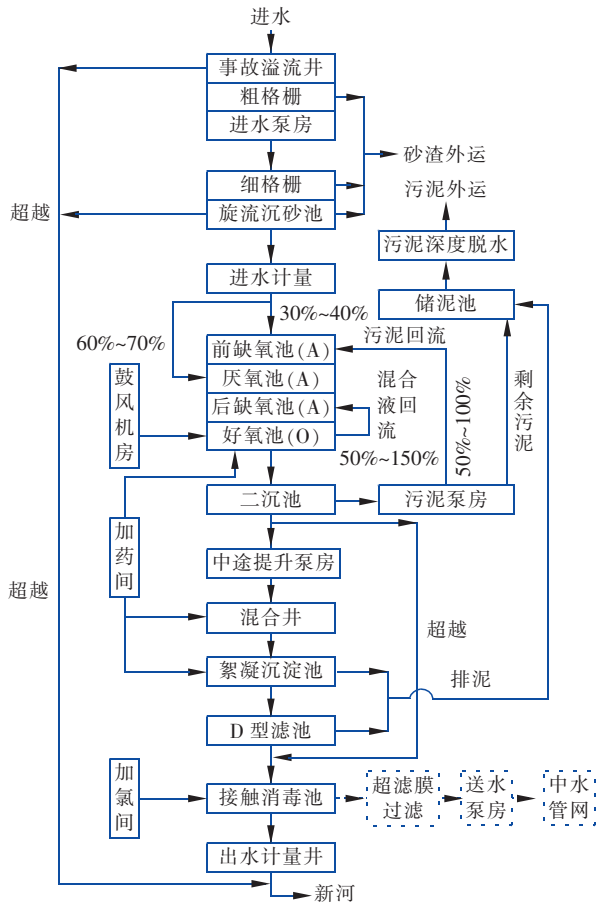


图 1 污水、污泥处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater and sludge treatment process

② 三级处理

三级深度处理采用系统缓冲能力强、反冲洗周期长的“混合+絮凝+沉淀+过滤”工艺。三级强化预处理具体采用机械快速混合、机械絮凝反应和斜管沉淀形式的高效沉淀池,三级滤池采用新型 D 型滤池。

新型 D 型滤池具有过滤精度高($\geq 5 \mu\text{m}$ 的 SS 去除率 $\geq 95\%$)、滤速快(16~25 m/h)、纳污量大(15~35 kg/m³)、反冲洗耗水率低($< 0.5\% \sim 2\%$)、加药量少(常规技术的 1/3~1/2)、运行费用低及占地面积小(常规技术的 1/3)等特点。已在焦作二厂成功运行 5 年以上。

③ 污泥处理工艺

污水处理采用了长泥龄生物脱氮除磷工艺,污泥性质相对较为稳定,剩余污泥量较少。从一、二厂实际泥质检测结果来看,其无机物含量多,有机物含

量及热值偏低,产气效能预期不佳。现状一、二厂剩余污泥泥质灰分大,产生的污泥不经消化直接脱水,效果较好,故设计采用直接浓缩脱水处理工艺。

深度脱水处理污泥含水率低,满足与后续污泥处置衔接的要求:深度脱水后形成的泥饼经适当放置含水率达50%以下,减量化效果明显,符合《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质》(GB/T 23485—2009)的要求,可直接运往垃圾填埋场与生活垃圾进行混合填埋;深度脱水后的污泥可用于制砖;深度脱水泥饼因含水率降低,热值提高,该泥饼还可作焚烧处置,产生的热量可回收利用。

4 核心构筑物设计参数

① 改良 AAO 池

$Q_{\max} = 11.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 2 处理系列 4 池; $V_{\text{总}} = 84\,240 \text{ m}^3$; $V_{\text{单池}} = 21\,060 \text{ m}^3$, 单座内尺寸为 $78 \text{ m} \times 45.9 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$, 有效水深为 6.0 m ; 反应泥龄为 12 d , 总泥龄为 16.5 d ; MLSS 为 $3\,500 \text{ mg/L}$; 设计水温为 12°C ; 污泥负荷为 $0.07 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$; 剩余污泥产率为 $1.274 \text{ kgDS/kgBOD}_5$; 剩余污泥量为 17.84 t/d (均日); 外回流比为 $50\% \sim 100\%$, 内回流比为 $50\% \sim 150\%$; 设计停留时间为 20.1 h , 其中前置缺氧区为 57.5 min (4.8%)、厌氧区为 2.3 h (11.4%)、缺氧区为 4.23 h (21.0%)、好氧区为 12.65 h (62.8%); 实际需氧量 (AOR) 为 $1\,190.7 \text{ kgO}_2/\text{h}$; 标准需氧量为 $1\,639.5 \text{ kgO}_2/\text{h}$; 供气量为 $29\,278 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

主要工艺设备:

曝气装置为 EPDM 膜微孔曝气器, $4\,012$ 根, 充氧能力为 $7 \sim 12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{根})$, $\varnothing 90 \text{ mm}$, $L 1\,000 \text{ mm}$, 氧利用率 $\geq 20\%$ 。混合液回流泵: 潜水泵 8 台, 变频调速, $Q = 300 \sim 900 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 25 \text{ kPa}$ 。混合搅拌: 高速潜水搅拌机 28 台, 前置缺氧区 5.5 kW , 4 台, 厌氧区 4 kW , 8 台, 后缺氧区 5.5 kW , 16 台。空气总管控制阀门: DN500 空气电动调节蝶阀和手动检修蝶阀各 4 台。进水渠控制: 手动调节堰门 8 套, $2\,000 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 。回流污泥渠控制: 手动调节堰门 4 套, $2\,000 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 。ORP 仪 4 台, $-1\,500 \sim +1\,500 \text{ mV}$; DO 仪共 12 台, $0 \sim 10 \text{ mg/L}$ 。MLSS 混合液浓度计 12 台, $0 \sim 10 \text{ g/L}$ 。空气流量计 4 台, 测量范围为 $0 \sim 20 \text{ m}^3/\text{s}$ 。全流程除臭微生物培养箱 40 套, 含箱体、内件、填料等, $\varnothing 1\,200 \text{ mm}$, $H = 2\,000 \text{ mm}$, 配套配电箱、一拖二变频

控制柜等。

② 高效沉淀池

混合反应沉淀池采用第三代“污泥循环型”沉淀池, 由快混池、絮凝反应池及沉淀池组成。

$Q_{\max} = 5\,417 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{\text{ave}} = 10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; 前混合池 2 座, $V_{\text{单池}} = 41.4 \text{ m}^3$, 停留时间为 1 min ; 速度梯度 $> 250 \text{ s}^{-1}$ 。絮凝反应池 2 座, $V_{\text{单池}} = 898 \text{ m}^3$, 停留时间为 20 min ; 速度梯度 $> 50 \text{ s}^{-1}$ 。高密度澄清池 2 座, 单池斜管面积为 225 m^2 , 斜管最大上升流速为 $11 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

主要设备:

前混凝区混合搅拌器 2 套, 立轴折桨式, 变频调速, $N = 22 \text{ kW}$ 。絮凝反应池絮凝搅拌机 4 套, 立轴导流筒轴流叶轮式, 变频调速, $N = 1.5 \text{ kW}$ 。高密度澄清池, 斜管沉淀池刮泥机 2 套, $\varnothing 17 \text{ m}$, $N = 2.2 \text{ kW}$ 。回流污泥螺杆泵 (手动调节) 5 台 (4 用 1 备), $Q = 0 \sim 120 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 2.0 \text{ MPa}$ 。斜板投影面积为 450 m^2 , 含斜板支撑、集水槽及三角堰板, $L = 1.5 \text{ m}$, $\theta = 60^\circ$, 壁厚为 0.8 mm , 斜板间隔为 100 mm ; 手动除油撇渣器 2 台, $\varnothing 17 \text{ m}$ 。出水钢槽含堰板 36 个, 尺寸为 $7\,500 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$; 插板闸 3 台, $1\,600 \text{ mm} \times 2\,490 \text{ mm}$ 。主要仪表: 悬浮固体测量仪 2 套, $0 \sim 4\,000 \text{ NTU}$, $0 \sim 10\,000 \text{ mg/L}$; pH 计及取样器 2 套, $0 \sim 14$; 浮球开关 2 套; 超声波泥位计 2 套, $0 \sim 5 \text{ m}$; 高低液位报警器 2 套; pH 计及取样器 1 套, $0 \sim 14$ 。

③ D 型滤池

$Q_{\max} = 13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 1 座 8 格; 尺寸为 $37.42 \text{ m} \times 29.98 \text{ m} \times (4.5 \sim 7.9) \text{ m}$; 单池过滤面积为 42 m^2 , 滤池 8 格, 设计平均日平均时过滤速度为 13.37 m/h , 高日平均时过滤速度为 15.37 m/h , 高日高时过滤速度为 17.38 m/h , 强制过滤速度为 19.86 m/h ; 反冲洗水冲强度为 $6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 反冲洗气冲强度为 $32 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 过滤精度 $\geq 5 \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒去除率达 95% 以上; 滤床纳污量: $15 \sim 35 \text{ kg/m}^3$; 剩余积泥率 $< 2\%$; 滤料填装密实高度为 0.8 m ; 反冲洗耗水量 $< 0.5\% \sim 2\%$ 。

主要设备:

DT 自适应聚酯纤维滤料 300 m^3 。配水布气系统 8 套, 面积为 42 m^2 , 含滤头、滤板、盖板、盖板支撑等, 包括 $\varnothing 22 \text{ ABS}$ 滤头、混凝土滤板、PP 材质盖板、盖板配套 SS304 盖板支撑、SS304 中梁连接板、

SS304 边梁连接板、SS304 滤板压板、SS304 等边角钢、 $\varnothing 16 \sim \varnothing 32$ 卵石、配套 SS304 螺栓。配套管路阀门,包括各类气动方闸门、伸缩气动蝶阀、伸缩气动蝶阀、可调节开度伸缩气动蝶阀、电动蝶阀、对夹式手动蝶阀、铜制电磁阀、配套管路及辅件等。反洗风机 3 台(2 用 1 备), $Q=44.3 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=50 \text{ kPa}$, $N=55 \text{ kW}$ 。反洗水泵 3 台(2 用 1 备), $Q=454 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=120 \text{ kPa}$, $N=22 \text{ kW}$ 。电控装置 1 套,集控柜 1 台、PLC 控制系统 1 套含软件编程,现场控制台 8 套,以柜内接线端子为界。

④ 深度脱水系统

污泥深度脱水工艺流程见图 2。

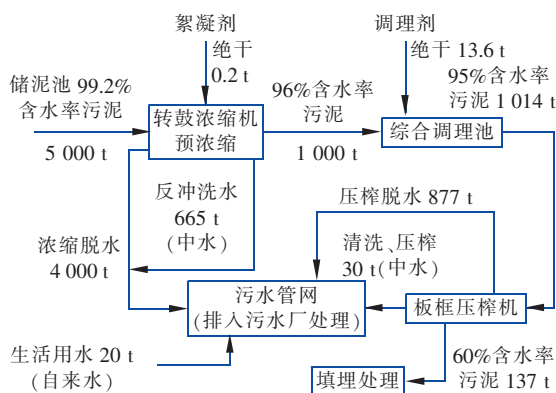


图 2 深度脱水工艺流程及物料平衡图

Fig. 2 Deep dewatering process and material balance diagram

污泥进料系统:污水厂含水率为 99.2% 的污泥通过转鼓浓缩机预浓缩至含水率 96% 左右,进入储泥池,然后通过渣浆泵提升进入综合调理池。污泥调理及药剂储存投加系统:采用 3 套碳钢防腐结构粉状药剂料仓。料仓设料位计,底部配刀闸门,配套计量输送装置。调理剂采用槽罐车运送至调理剂料仓内。调理剂和污泥在综合调理池中充分搅拌混合。工作方式间歇进料、连续搅拌方式。污泥压榨输送系统:进泥泵将经调理的污泥输送至压榨机;压榨机进泥含水率为 95%,出泥含水率为 50%;清洗压榨泵清洗周期:1~3 次/周;干化后的出泥采用 3 级输送机系统。

主要设计参数:

污泥深度脱水处理占地面积约 2514 m^2 ,主体建筑为混凝土框架结构脱水车间厂房(2 层),建筑面积约为 1980 m^2 。生产车间外有调理池、储泥池、缓冲池等构筑物。生产车间(两层)1 间, $43.5 \text{ m} \times 33.5 \text{ m} \times 14.0 \text{ m}$;卸泥间 1 间, $22.5 \text{ m} \times 8.25 \text{ m} \times$

11.3 m ;配电间 1 间, $12.85 \text{ m} \times 12.8 \text{ m} \times 5.7 \text{ m}$;调理池 6 座,单池 $5.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$;清洗水池及压榨水池 1 座, $5.85 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$;浓缩污泥储泥池 1 座, $9.0 \text{ m} \times 9.5 \text{ m} \times 5.35 \text{ m}$;脱水污泥临时堆棚 1 座, $50.0 \text{ m} \times 17.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m}$;储泥池 1 座, $12.5 \text{ m} \times 9.5 \text{ m} \times 5.35 \text{ m}$ 。

深度脱水泥饼平均含水率 $< 60\%$,蠕虫卵死亡率 $> 95\%$,粪大肠菌群菌值 > 0.01 ,横向剪切强度 $> 25 \text{ kN/m}^2$,深度脱水系统年工作时间 $\geq 7800 \text{ h/a}$,每日运行时间为 16 h,压滤机工作压力(二次挤压压力) $\geq 1.5 \text{ MPa}$,压滤机工作周期不超过 3.5 h,滤布寿命(压滤次数)不低于 1300 次,月平均药剂的投加量不超过 8% (以 80% 含水率污泥计)。

主要工艺设备:

污泥提升及预浓缩系统:剩余污泥提升泵 4 台(2 用 2 备), $Q=250 \text{ m}^3/\text{h}$;带式浓缩机 5 台, $Q < 70 \text{ m}^3/\text{h}$,配套反洗水泵 5 台,PAM 加药泵 5 台,自动溶药装置 2 套;浓缩后污泥提升泵 3 台(2 用 1 备), $Q=125 \text{ m}^3/\text{h}$ 。泥药调理系统:调理池共 6 座,单格有效容积约 85 m^3 ,配套 6 台桨叶调理搅拌机, $\varnothing 1500/\varnothing 2000 \text{ mm}$, $P=15 \text{ kW}$;调理剂加药泵 $Q=1 \sim 5 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=0.75 \text{ kW}$,4 台(2 用 2 备),配套 2 个 15 m^3 PE 储药罐,用于投加 1#药剂;料仓 3 个,单仓 $V=30 \text{ m}^3$,配套静态计量投加装置,用于投加 2#药剂。污泥压榨深度脱水系统:污泥专用压榨机 4 台,单台能力为 50 t/d ;压榨机专用进料泵 4 台, $Q \leq 70 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=30 \text{ kW}$;压榨水泵 4 台, $Q < 30 \text{ m}^3/\text{h}$, P 为 18.5 kW ;清洗水泵 3 套(2 用 1 备), $Q < 15 \text{ m}^3/\text{h}$, P 为 $(15+15) \text{ kW}$;气罐 $Q=1.0 \text{ m}^3$, $P=0.80 \text{ MPa}$,3 个,配套 1.2 m^3 空气冷干机 2 台,气罐 $Q=5.0 \text{ m}^3$, $P=0.80 \text{ MPa}$,2 个;空压机各 2 台, $P=0.80 \text{ MPa}$, $Q=5.0/1.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 。深度脱水污泥传输、储存:输送机,配套三级输送设备,输送至储泥斗;碳钢防腐储泥斗 2 个, $V=60 \text{ m}^3/\text{个}$ 。

5 工程调试与运行

本工程于 2016 年 4 月 20 日建设完成,2016 年 8 月 16 日完成交工验收,竣工后即交付进入调试运行阶段,目前正在进行环保验收。

项目于 2017 年 8 月 16 日由市环境保护局进行了环保验收现场检查,进水 COD 为 $167 \sim 228 \text{ mg/L}$ 、氨氮为 $23.3 \sim 29.4 \text{ mg/L}$ 、SS 为 $153 \sim 199 \text{ mg/L}$ 、BOD₅ 为 $63.7 \sim 85.5 \text{ mg/L}$ 、总磷为 $0.932 \sim$

0.955 mg/L、总氮为 24.9 ~ 25.3 mg/L、色度为 32 ~ 64 倍,出水 COD 为 16.3 ~ 19.6 mg/L、氨氮为 0.778 ~ 1.63 mg/L、SS 为 5 ~ 9 mg/L、BOD₅ 为 1.4 ~ 1.7 mg/L、总磷为 0.311 ~ 0.355 mg/L、总氮为 11.7 ~ 12.0 mg/L、色度为 4 倍,达到了一级 A 排放标准。

板框脱水出泥泥饼含水率为 47.5% ~ 48.7%。

6 技术经济分析

该工程的规划总控制用地面积为 12.85 hm²,实际用地为 7.93 hm²,折合用地指标为 0.793 m²/(m³·d⁻¹),厂区绿化率为 37.6%。工程总投资为 2.08 亿元,一类工程费为 1.69 亿元。污水单位处理成本为 1.12 元/m³,单位运行成本为 0.84 元/m³。污水电耗为 0.36 kW·h/m³,其中,污水部分(二级+三级处理)电耗为 0.278 kW·h,污泥深度脱水部分电耗为 0.082 kW·h,年总用电量为 1 314 × 10⁴ kW·h,单位 BOD₅ 能耗为 2.57 kW·h/kgBOD₅。深度处理 PAM(阴离子)消耗量为 36.5 t/a,化学除磷 PAC 消耗量为 1 672 t/a,消毒 ClO₂ 消耗量为 365 t/a(氯酸钠 392 t/a、盐酸 173 t/a)。污泥深度脱水各类调理药剂费、水电费及耗材费用控制在 100 元/t 左右(折 80% 含水率污泥),其中污泥脱水 PAM(阳离子) 40 t/a、固化剂 2 500 t/a、三氯化铁 416 t/a。

7 结论

焦作市第一污水处理厂迁建提标工程设计采用“前置缺氧改良 AAO+混合絮凝高效沉淀+D 型滤池+ClO₂ 消毒”工艺,出水水质达到了一级 A 排放标准。剩余污泥经机械浓缩+污泥调理+板框压滤

深度脱水后达到低于 50% 含水率的预期效果。

参考文献:

- [1] 王晓莲,彭永臻. A²/O 法污水生物脱氮除磷处理技术与应用[M]. 北京:科学出版社,2009.
Wang Xiaolian, Peng Yongzhen. A²/O Wastewater Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Treatment Technology and Application[M]. Beijing: Science Press, 2009(in Chinese).



作者简介:杨祝平(1981—),男,江苏南京人,大学本科,高级工程师,工艺设计室主任,天津市土木工程学会理事,从事市政污水处理、再生水处理、工业污水处理、净水处理、市政综合配套管网以及大型给排水泵站、水环境治理等设计工作,完成各类水专业工程设计项目百余项,曾获全国优秀工程勘察设计奖二等奖一项,省部级优秀勘察设计奖一等奖一项、二等奖三项、三等奖三项,优秀工程咨询成果三等奖一项。

E-mail: 13571793@qq.com

收稿日期: 2018-08-02

依法划定河湖管理范围

严格水域岸线水生态空间管控