

工程实例

DOI: 10.19965/j.cnki.iwt.2022-0648

开放科学(资源服务)
标识码(OSID):



两级 A²/O+磁混凝工艺处理农村生活污水工程实例

丁付革, 沈志伟, 张 骏, 甘雁飞

(中交上海航道局有限公司江苏交通建设工程分公司, 江苏南京 210000)

[摘要] 为有效解决农村污水乱排和污水水质难以达标的问题, 采用两级 A²/O+磁混凝工艺处理安徽省某村 50 t/d 的生活污水。介绍了工程背景、工艺流程、构筑物设计、设备运行效果、工程投资和运行成本。运行结果表明, 进水量平均达到 46.1 t/d, 出水 COD、氨氮、TN、TP、SS 分别降低至 36.8、4.2、12.5、0.21、3.3 mg/L, 去除率分别达到 88.6%、86.1%、71%、95.9%、97.9%, 出水水质指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 排放标准。总建设费用为 154.9 万元, 运行成本为 1.196 元/m³。临近节假日会导致农村生活污水水量变多、水质变差, 但该处理系统抗冲击负荷能力强, 对农村生活污水的处理效果良好, 其中对 TP 和 SS 的去除效果尤为显著, 并且出水保持相对稳定达标的状态。

[关键词] 农村生活污水; 两级 A²/O; 磁混凝; 运行效果; 成本分析

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2023)05-0162-06

An engineering case of rural domestic sewage treatment by two-stage A²/O+magnetic coagulation process

DING Fuge, SHEN Zhiwei, ZHANG Jun, GAN Yanfei

(CCCC SDC Jiangsu Communications Construction Engineering Company, Nanjing 210000, China)

Abstract: In order to effectively solve the problem of disorderly discharge of rural domestic sewage and the worse sewage quality below the standard, a two-stage A²/O and magnetic coagulation process were used to treat 50 t/d domestic sewage from a village in Anhui Province. The project background, process flow, structure design, equipment operation effect, project investment and operation cost were introduced. The operation results showed that the mass concentrations of COD, ammonia nitrogen, TN, TP and SS in the effluent were reduced to 36.8, 4.2, 12.5, 0.21 and 3.3 mg/L respectively, and the removal rates were 88.6%, 86.1%, 71%, 95.9% and 97.9% respectively. The effluent quality indexes met the first level A criteria specified in the Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918—2002). The total construction cost was 1.549 million yuan, and the operation cost was 1.196 yuan/m³. The adjacent holidays will lead to more water volume and worse water quality of rural domestic sewage. However, the treatment system had strong resistance to impact load, and had good treatment effect on rural domestic sewage, in which TP and SS removal effects were particularly significant, and the effluent was relatively stable and up to standard.

Key words: rural domestic sewage; two-stage A²/O; magnetic coagulation; operation effect; cost analysis

近年来,随着国家乡村振兴政策的大力推行,农村生活污水处理已是当前较为重要的一项工作。农村生活污水主要包括卫生间污水和餐厨污水等,污水中含有大量有机、无机污染物、病原微生物,氮磷和 COD 浓度较高。农村生活污水随处乱排现象非常明显,极易造成严重的环境污染问题^[1]。

目前,用于农村生活污水处理的工艺一般有 MBR、MBBR、人工湿地、稳定塘、A²/O 等^[2-3]。其中 A²/O 工艺依次通过厌氧池、缺氧池和好氧池内培养的微生物,降解污水中的有机污染物、氮和部分磷,但出水 TP 无法达到 GB 18918—2002 一级 A 排放标准;当直接在 A²/O 工艺系统内投加混凝剂后,出

[基金项目] 中交上海航道局科技研发项目(SHJKJ-2020-023)

水TP能够达到GB 18918—2002一级A排放标准,但由于混凝剂对微生物会造成不利影响,导致污水中有机污染物和氮的降解效果不理想^[4]。另有研究表明^[5-7],磁混凝工艺通过在混凝池内投加磁粉、PAC、PAM,使污水中含磷的细小颗粒与磁粉发生化学反应,生成絮体沉淀物,从而能有效降低污水的TP浓度。

笔者对安徽省某自然村生活污水(排水量为50 t/d),设计采用两级A²/O+磁混凝工艺对其进行处理,取得了较好处理效果。该工程实践可为其他农污处理项目提供参考和依据。

1 工程概况

1.1 工程背景

经现场踏勘发现,安徽省某市农村生活污水处理设施严重不足,大部分居民家生活污水直排河道,从而造成严重的环境污染。根据政府采购需求,安徽省某市农村污水治理项目实现全市覆盖。根据设计文件,对于2~3人家庭,用水量较少,人均用水量一般为60~80 L/d;对于4~5人家庭,用水量较多,人均用水量一般为80~100 L/d,综合考虑后,人均用水量按照80 L/d计,再根据村庄居民实际状况,考虑排放系数为0.9,污水收集率为0.84,最终确定村庄生活污水排水量取60 L/(人·d),50 t/d污水处理系统可惠及200户,约800位居民。再根据设计要求,每户分别安装1个化粪池和1个隔油池,对居民家中的生活污水全部收集汇总至处理系统集中治理,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准^[8]。

1.2 设计水质

安徽省某自然村50 t/d农村生活污水中含有黑色悬浮物,带有刺激性气味,设计进、出水水质如表1所示。

Table 1 Design influent and effluent quality						
项目	pH	COD/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)
设计进水	6~9	130~420	25~50	30~60	3.0~7.0	70~200
设计出水	6~9	50	5(8)	15	0.5	10

注:括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

1.3 检测方法

水质检测方法^[9]如表2所示。

Table 2 Methods of water quality detection	
项目	检测方法
pH	玻璃电极法
COD	重铬酸钾法
氨氮	纳氏试剂分光光度法
TN	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
TP	过硫酸钾消解钼锑抗分光光度法
SS	重量法

2 工艺流程与特点

2.1 工艺流程

首先将村民家中卫生间污水经过化粪池进行厌氧水解预处理,提升污水可生化性;厨房污水经过隔油池进行预处理,去除油污杂质。经预处理后的出水通过管网集中输送至格栅井,将大颗粒污染物和其他悬浮物、漂浮物截留分离,防止对调节池内水泵和处理系统造成损坏;然后,污水进入调节池进行水质水量均衡,通过浮球液位控制水泵自动启停将污水提升至两级A²/O处理系统进行生物处理;接着,生物处理出水进入磁混凝池,同时在磁混凝池内加入磁粉、PAC、PAM发生化学反应,进一步去除污染物,出水达标排放,磁粉可回收重复利用。产生的剩余污泥和化学污泥通过污泥浓缩池深度脱水后再进行处理处置,并将浓缩液回流至调节池继续处理,工艺流程如图1所示。

2.2 工艺特点

(1)本工艺将农村每家每户产生的生活污水统一收集,先后通过两级A²/O(由一级厌氧池、一级缺氧池、一级好氧池、二级缺氧池、二级厌氧池、二级好氧池构成)和磁混凝池的生物-化学处理,HRT较长,反应充分,确保出水水质满足设计要求。

(2)两级A²/O中的一级厌氧池污水来源于调节池,调节池内设有提升泵和回流系统,导致进入一级厌氧池内的污水存在部分溶解氧,溶解氧会影响聚磷菌厌氧释磷效果,因此发生部分释磷,同时微生物将大分子有机物分解成小分子有机物;一级缺氧池内反硝化菌利用污水中部分有机物作为电子供体,利用污泥回流部分硝酸盐作为电子受体,发生反硝化反应生成氮气,实现脱氮;一级好氧池内能够大量降解小分子有机物,氨氮发生硝化反应生成硝酸盐,同时聚磷菌将污水中的磷转移至污泥内;二级缺氧

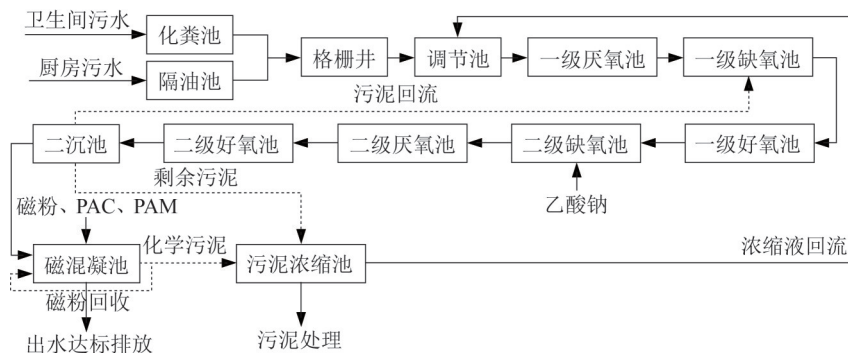


图1 工艺流程

Fig. 1 Process flow diagram

池内反硝化菌利用污水中剩余有机物和乙酸钠作为电子供体,利用一级好氧池内的硝酸盐作为电子受体,发生反硝化反应生成氮气,强化脱氮效果;因此流入二级厌氧池内的硝酸盐显著降低,此时聚磷菌厌氧释磷效果良好;污水再进入二级好氧池,一方面能够深度降解剩余有机物,剩余氨氮发生硝化反应生成硝酸盐;另一方面聚磷菌将污水中的磷转移至污泥体内,通过排放剩余污泥从而实现生物除磷。

(3)磁混凝是在混凝池内投加磁粉、PAC、PAM,通过混合搅拌使污水中的污染物、细微颗粒和胶体离子发生脱稳、聚集、混凝反应,形成高密度的矾花絮体沉淀物,在自身重力作用下沉入磁粉回收系统,然后通过高剪机的剪切作用和磁粉分离机的磁场力作用,将磁粉从矾花絮体中分离出来,通过磁粉投加机重复利用,剩余矾花絮体(化学污泥)通过污泥泵打入污泥浓缩池处理,出水达标排放。

3 核心构筑物设计

(1)化粪池。200座,玻璃钢材质,整体埋入地下,通过PVC管道(De110)从卫生间内接出,PVC管道采用U型连接,通过水封措施防止卫生间返臭,规格型号为1 m³,池内设有2道隔板,将化粪池划分为3个区域,隔板上设有通水孔,便于粪便厌氧消化分解后上清液顺利流入管网,整个化粪池处于全封闭状态,仅在PVC管道安装有透气帽,透气帽离地高度为2.0 m,保持与大气相通,防止出现沼气爆炸事故发生,并在透气帽上部安装活性炭吸附材料,用于吸附释放的臭气,以减轻对村民生活环境的影响。化粪池内存积的排泄物由村民自行回收利用。

(2)隔油池。200座,PE材质,整体埋入地下,通过PVC管道从厨房接出,规格型号为D315,池内设

置隔油网和提升篮,将油污杂质进行拦截去除。

(3)格栅井。1座,地下式钢筋混凝土结构,具备抗渗防腐性能,设计流量为50 t/d,尺寸4.0 m×3.6 m×3.8 m,有效深度为3.6 m,有效容积为51.84 m³。池内设有2道304不锈钢材质的格栅栏,分别为粗格栅和细格栅,其中粗格栅栅条宽15 mm、间隙为5 mm;细格栅栅条宽10 mm、间隙为2 mm,将大颗粒污染物和其他悬浮物、漂浮物截留分离。

(4)调节池。1座,玻璃钢材质的一体化调节池,防腐性能良好,整体埋入地下,设计流量为50 t/d,尺寸3.6 m×3.5 m×4.0 m,有效深度为3.8 m,有效容积为50.4 m³。池内设有电磁流量计1套,提升泵2台(1用1备),单台提升泵的功率为0.5 kW,流量为2.0 m³/h,扬程为15 m,池内还设有浮球液位控制系统和回流系统,通过液位高低自动控制提升泵的启停,内设搅拌设施。

(5)一级厌氧池。1座,设计流量为50 t/d,玻璃钢材质,尺寸1.0 m×3.0 m×3.3 m,有效深度为3.0 m,有效容积为9.0 m³。池中布置悬浮球填料,便于微生物附着,在厌氧环境下,微生物将大分子有机物分解成小分子有机物,但由于调节池内存在部分溶解氧,只能进行部分释磷。

(6)一级缺氧池。1座,设计流量为50 t/d,玻璃钢材质,尺寸1.0 m×3.0 m×3.3 m,有效深度为3.0 m,有效容积为9.0 m³。池中布置组合填料,在缺氧环境下,反硝化菌利用污水中部分有机物作为电子供体,消耗部分有机物,同时利用污泥回流部分硝酸盐作为电子受体,脱除部分总氮。

(7)一级好氧池。1座,设计流量为50 t/d,玻璃钢材质,尺寸1.0 m×3.0 m×3.3 m,有效深度为3.0 m,有效容积为9.0 m³。池中布置多金属复合填料,在

好氧条件下(DO为2~3 mg/L),多金属复合填料与污水充分混合接触,使得污泥活性和浓度增大,从而大量降解小分子有机污染物,同时氨氮发生硝化反应生成硝酸盐,由于硝酸盐浓度增大,好氧聚磷菌吸磷效果有限。

(8)二级缺氧池。1座,设计流量为50 t/d,玻璃钢材质,尺寸1.0 m×3.0 m×3.3 m,有效深度为3.0 m,有效容积为9.0 m³。池中布置组合填料,投加适量乙酸钠作为碳源,在缺氧环境下,反硝化菌利用污水中剩余有机物和乙酸钠作为电子供体,同时利用一级好氧池引入的硝酸盐作为电子受体,强化反硝化脱氮效果,同时避免了硝化液内回流的设置。

(9)二级厌氧池。1座,设计流量为50 t/d,玻璃钢材质,尺寸1.0 m×3.0 m×3.3 m,有效深度为3.0 m,有效容积为9.0 m³。池中布置悬浮球填料便于微生物附着,在厌氧环境下,避免了溶解氧和硝酸盐对厌氧环境下的聚磷菌释磷造成影响,所以能够强化厌氧释磷效果。

(10)二级好氧池。1座,设计流量为50 t/d,玻璃钢材质,尺寸1.0 m×3.0 m×3.3 m,有效深度为3.0 m,有效容积为9.0 m³。池中布置多金属复合填料,在好氧条件下(DO为2~3 mg/L),多金属复合填料与污水充分混合接触,深度降解剩余有机污染物,同时剩余氨氮发生硝化反应生成硝酸盐,由于在二级厌氧池内强化了厌氧释磷效果,此时好氧吸磷效果非常显著。

(11)二沉池。1座,玻璃钢材质,二级好氧池内固液混合物进入二沉池后进行固液分离,上清液进入磁混凝池继续处理,30%污泥回流至一级缺氧池以保证系统内污泥浓度足够,剩余污泥排放至污泥浓缩池,从而实现生物脱磷。

(12)磁混凝池。1座,设计流量为50 t/d,钢结构,属于深度处理工艺。2个处理站点配备相同的主要设备:磁粉分离机1台, $Q=2\text{ m}^3/\text{h}$, $P=0.75\text{ kW}$;高剪机1台, $Q=2\text{ m}^3/\text{h}$, $P=0.5\text{ kW}$;磁粉投加机1台,0~5 kg可调;污泥泵1台, $Q=2\text{ m}^3/\text{h}$, $P=0.75\text{ kW}$ 。设计磁粉投加量为5 mg/L,PAC投加量为30 mg/L,PAM投加量为1 mg/L,进一步降低污水中的COD、SS和TP浓度,确保水质能达到设计要求。

(13)污泥浓缩池。1座,将二沉池产生的剩余污泥和磁混凝池产生的矾花絮体(化学污泥)统一浓

缩处理,最终将污泥进行处理处置,浓缩液回流至调节池继续处理。

4 实际运行效果

本工程于2021年6月完成土建施工作业,然后顺利进入调试运行阶段。通过近一年的连续运行,考察进水量随时间的变化情况,结果如图2所示。

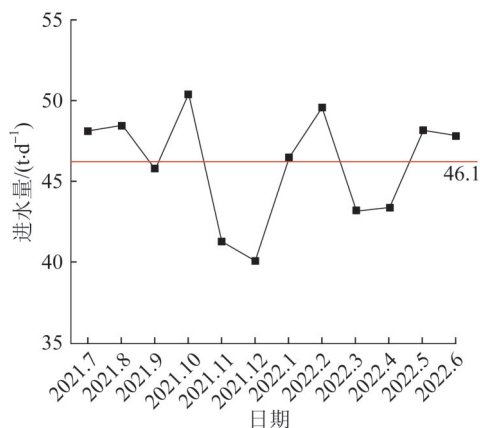


图2 进水量变化情况

Fig. 2 Change of water inflow

由图2可知,平均进水量为46.1 t/d。

水质检测结果如图3所示。

由图3可知,该设备从2021年7月一直连续运行至2022年6月,设备运行工况良好。在2021年10月、2022年1月和2022年5月时,进水COD、氨氮、TN、TP、SS质量浓度均较高,这可能是因为国庆节、劳动节以及春节的原因,导致农村居民增多,农村生活污水水质变差,但出水能够保持相对稳定的状态,这说明该设备抗冲击负荷能力强。

通过近一年的连续运行得知,进水平均COD、氨氮、TN、TP、SS分别为323.2、30.3、43.2、5.11、155.6 mg/L,出水平均COD、氨氮、TN、TP、SS分别降低至36.8、4.2、12.5、0.21、3.3 mg/L,去除率分别达到88.6%、86.1%、71%、95.9%、97.9%,出水优于GB 18918—2002一级A排放标准。由此可见,该工艺对农村生活污水的处理效果非常显著,并且装置运行稳定。

5 工程投资及成本分析

5.1 建设成本

该50 t/d污水处理系统建设成本组成主要为隔油池、化粪池、管网和处理系统等所产生的费用。其中隔油池建设费用约为80元/个,化粪池建设费用约为

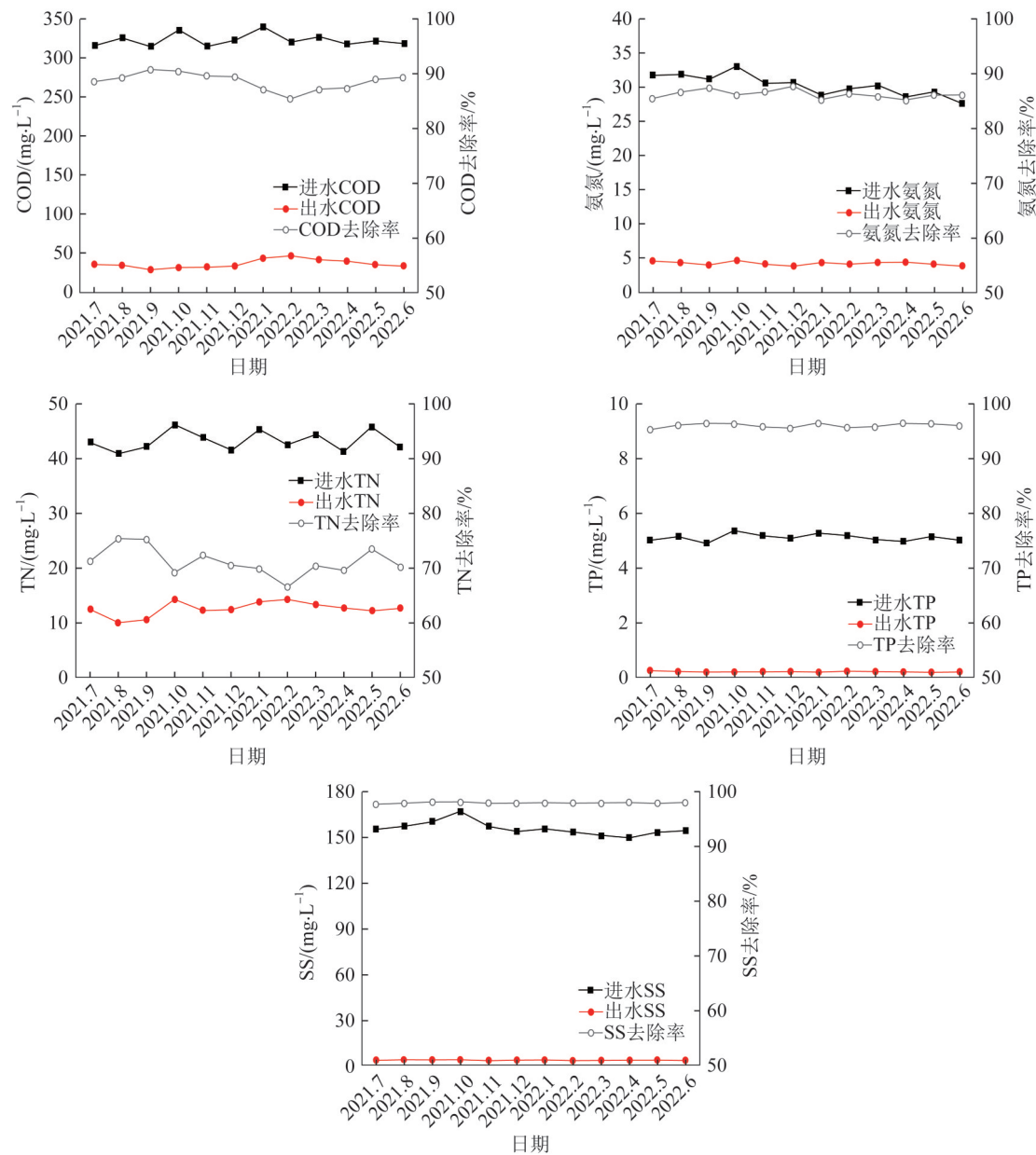


图3 运行期间COD、氨氮、TN、TP及SS变化

Fig. 3 Changes of COD, ammonia nitrogen, TN, TP and SS concentrations during operation

1 500 元/个,每户(共200户)均安装1个隔油池和化粪池;管网建设费用约为350元/m,管网长度为1 237 m;处理系统(含磁混凝池)建设费用约为80万元/座,通过计算得出总建设费用为154.9万元。

5.2 运行成本

该50 t/d污水处理系统运行成本为1.196元/m³,主要包括电费、人工费、药剂费等,具体如表3所示。

由表3可知,本工艺与倒置A²O-MBBR组合工艺^[10]相比,污水处理效果区别不大,但运行成本更

表3 运行成本

Table 3 Operation cost

项目	消耗量	单价	运行成本/(元·m ⁻³)
电	42 (kW·h)/d	0.53元/(kW·h)	0.484
兼职工	1人	10 000元/a	0.596
磁粉	5 mg/L	2.8元/kg	0.014
PAC	30 mg/L	1元/kg	0.03
PAM	1 mg/L	16.8元/kg	0.017
乙酸钠	25 mg/L	2.2元/kg	0.055
合计			1.196

低;本工艺与常见稳定塘、人工湿地以及土地渗滤技术等^[11]相比,污水处理效果更好,但运行费用较高。因此需要根据实际情况,综合考虑出水标准和投资成本等主要因素,选择合适的污水处理工艺。

6 结论

农村生活污水排放与居民生活习惯息息相关,导致污水的水质水量变化幅度较大,通过采用“两级A²/O+磁混凝工艺”处理农村生活污水,不仅施工安装简单,运行管理方便,而且能够有效解决农村生活污水达标排放的问题。其中两级A²/O工艺具有脱氮除磷除碳的作用,水力停留时间更长,生物降解反应更加充分,能够有效抵抗冲击负荷,运行成本较低,磁混凝工艺对TP和SS去除效果具有显著的提升作用。通过两级A²/O和磁混凝工艺的结合,在进水平均COD、氨氮、TN、TP、SS为323.2、30.3、43.2、5.11、155.6 mg/L的情况下,出水COD、氨氮、TN、TP、SS能够分别降低至36.8、4.2、12.5、0.21、3.3 mg/L,出水能够稳定达到GB 18918—2002一级A排放标准,有效解决了常规工艺对TP去除较难的问题。

参考文献

- [1] 谢林花,吴德礼,张亚雷.中国农村生活污水处理技术现状分析及评价[J].生态与农村环境学报,2018,34(10):865-870.
XIE Linhua, WU Deli, ZHANG Yalei. Analysis and evaluation of China's rural domestic sewage treatment technology[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34(10): 865-870.
- [2] 胡明,刘英豪,朱仕坤,等.农村分散污水处理技术评价研究进展[J].中国给水排水,2015,31(12):16-21.
HU Ming, LIU Yinghao, ZHU Shikun, et al. Assessment of rural decentralized sewage treatment technology[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(12): 16-21.
- [3] 陈娟,王超,王沛芳,等.基于人口分散度的农村生活污水处理模式选择[J].中国给水排水,2020,36(23):81-88.
CHEN Juan, WANG Chao, WANG Peifang, et al. Choice of rural domestic sewage treatment mode based on dispersion degree of rural resident[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(23): 81-88.
- [4] 王昶,王力,曾明,等.我国农村生活污水治理的现状分析和对策探究[J].农业资源与环境学报,2022,39(2):283-292.
WANG Chang, WANG Li, ZENG Ming, et al. Status and counter-
- measure for the treatment of rural domestic sewage in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(2): 283-292.
- [5] 李政,高健磊,周子鹏.磁混凝工艺在化工废水预处理段的应用[J].工业水处理,2021,41(10):141-144.
LI Zheng, GAO Jianlei, ZHOU Zipeng. Application of magnetic coagulation in the pretreatment section of chemical wastewater[J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(10): 141-144.
- [6] 王旭阳,刘天顺,陈伟楠.磁混凝沉淀池在某污水处理厂升级改造中的应用[J].中国给水排水,2018,34(4):73-75.
WANG Xuyang, LIU Tianshun, CHEN Weinan. Application of magnetic coagulation sedimentation tank in upgrading of a wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(4): 73-75.
- [7] 刘强.前置缺氧池+CAST+磁混凝工艺用于紧凑型污水厂提标改造[J].中国给水排水,2021,37(24):69-73.
LIU Qiang. Application of pre-anoxic tank/CAST/magnetic coagulation process in upgrading of a compact wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(24): 69-73.
- [8] GB 18918—2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
GB 18918—2002 Discharge standard of pollutants for urban sewage treatment plants[S].
- [9] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002:102-185.
State Environmental Protection Administration. Methods for monitoring and analysis of water and wastewater[M]. 4th ed.. Beijing: China Environmental Press, 2002: 102-185.
- [10] 魏爱书,巴德鹏,周勇,等.乡镇生活和工业融合污水处理站改造设计及运行[J].工业水处理,2022,42(10):171-175.
WEI Aishu, BA Depeng, ZHOU Yong, et al. Design and operation of township domestic and industrial integrated sewage treatment station reconstruction[J]. Industrial Water Treatment, 2022, 42(10): 171-175.
- [11] 董丽伟,张伟,白璐,等.我国农村生活污水资源化利用现状及模式分析[J].环境工程技术学报,2022,12(6):2089-2094.
DONG Liwei, ZHANG Wei, BAI Lu, et al. Analysis on current situation and model of resource utilization of rural domestic sewage in China[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(6): 2089-2094.

[作者简介] 丁付革(1981—),高级工程师。E-mail:dingfuge123@163.com。通讯作者:甘雁飞,硕士。E-mail:ganyanfei930@163.com。

[收稿日期] 2023-03-15(修改稿)