

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.026

# 套子湾污水处理厂污泥消化系统的启动调试与运行

徐晓波

(烟台市城市排水服务中心, 山东 烟台 264000)

**摘 要:** 烟台市套子湾污水处理厂污泥消化系统采用单级中温厌氧消化工艺,在长期闲置后进行整改、启动和调试,并正式运行,实现了污泥的减量化、无害化处理。介绍了厌氧消化系统工艺流程,着重分析了项目启动前的土建、工艺、消防等设施的整改工作、调试进程及运行效果,并提出了运行中需要注意的安全、堵塞等问题。

**关键词:** 污泥消化; 中温厌氧消化; 启动调试

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0133-05

## Commissioning and Operation of Sludge Digestion System in Taoziwan WWTP

XU Xiao-bo

(Yantai Urban Drainage Service Center, Yantai 264000, China)

**Abstract:** A single-stage, mesophilic anaerobic digestion process is adopted in the sludge digestion system at the Taoziwan WWTP in Yantai City. After idle for a long period, it underwent rectification, commissioning, and official operation, achieving sludge reduction and harmless treatment. The process flow of the anaerobic digestion system was introduced, focusing on the analysis of construction, process and firefighting rectification before the start of the project, the commissioning process and the operation effect. The safety, blocking and other issues that need attention in the operation were put forward.

**Key words:** sludge digestion; mesophilic anaerobic digestion; start-up and commissioning

目前我国大多数城镇污水处理厂污泥处理采用浓缩脱水工艺,产生的脱水污泥量大且含有大量有机污染物质,给后续的污泥处置带来了较大压力。采用污泥厌氧消化可以实现一定的减量化、无害化处理,减小污泥处置的压力<sup>[1]</sup>。对烟台市套子湾污水处理厂闲置的污泥消化系统的重新启动运行情况进行总结,可为类似城镇污水处理厂污泥消化工艺的启动调试及运行提供经验。

### 1 项目概况

烟台市套子湾污水处理厂一期工程污泥消化系统于 2000 年建成,但一直未投入使用<sup>[2]</sup>。为使已建成的污泥消化系统发挥应有的作用,实现污泥的减量化、无害化处理,套子湾污水处理厂于 2009 年—

2013 年进行了消化池的土建设施和相关设备(包括消化池配套设备、沼气锅炉和沼气柜)的采购安装和调试、工艺管道的改造完善以及消化池体、管线的密闭性试验;于 2014 年—2016 年进行了污泥消化系统的消防设施改造、验收以及现状安全评价。2017 年 5 月,污泥消化系统正式启动调试,目前已正常运行。

### 2 污泥消化系统工艺流程

套子湾污水处理厂污泥消化系统采用单级中温厌氧消化工艺,运行温度为 35 ℃,采用沼气搅拌方式进行污泥搅拌混合,污泥来源为 20% 剩余污泥和 80% 初沉污泥。

污泥经过前浓缩池重力浓缩后进入消化池进行

厌氧消化;消化后的污泥进入后浓缩池再进行后续污泥处理;产生的沼气用于锅炉燃烧给消化池加热,经过压缩后给消化池搅拌、驱动沼气鼓风机。工艺流程如图1所示。

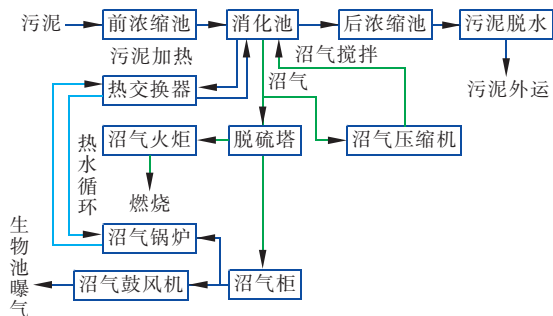


图1 污泥消化系统工艺流程

Fig.1 Flow chart of sludge digestion process

该系统主要设施、设备:前浓缩池2座,容积为 $1\,400\text{ m}^3/\text{座}$ ;后浓缩池2座,容积为 $1\,400\text{ m}^3/\text{座}$ ;消化池2座,容积为 $11\,000\text{ m}^3/\text{座}$ ,污泥有机物分解率不低于40%<sup>[3]</sup>;低压沼气柜1个,容积为 $2\,500\text{ m}^3$ ;沼气火炬,容量为 $500\text{ m}^3/\text{h}$ ;2台功率为 $1\,350\text{ kW}$ 的沼气锅炉用于加热,2台功率为 $38\text{ kW}$ 的沼气压压缩机用于沼气搅拌,2台功率为 $200\text{ kW}$ 的沼气鼓风机用于生物池曝气。

### 3 工程启动前的整改

套子湾污水处理厂污泥消化系统因闲置时间较长,在启动前对土建设施、设备、管道及消防设施等进行了大量整改工作。

#### 3.1 土建设施

##### 3.1.1 存在的问题

① 消化池部分墙体开裂、脱落,存在渗漏问题;池内壁防腐层开裂、脱落。

② 部分工艺管道变形、破损,不满足运行需要;工艺管道没有做保温处理;大部分工艺阀门无法正常启闭;观察窗破裂,冲洗消泡系统及浮渣排放闸门损坏,且原设计中浮渣井、检查井、取样监测系统等工艺设施均不完善,缺少浮渣井格栅、检查井操作平台、污泥和沼气取样口等。

③ 消化池体及工艺管线的密闭性需检测。

##### 3.1.2 整改措施

① 消化池土建整修、外壁堵漏及内壁防腐。外壁堵漏采用向混凝土注入注浆液的方式;内壁防腐采用环氧树脂多层涂刷的方式。

② 对破损及不满足运行需求的工艺管道进行

更换改造;对所有工艺管道进行保温;对工艺阀门进行更换检修,实现正常启闭;更换观察窗、集气罩冲洗消泡喷头,检修浮渣排放闸门,增设浮渣井格栅、检查井操作平台、污泥及沼气管线上的取样口等。

③ 委托有资质的单位采用分段封堵打压的方式进行消化池及所有工艺管线的闭水、闭气试验。

#### 3.2 工艺设备

##### 3.2.1 存在的问题

① 沼气锅炉损坏无法使用;双膜式沼气柜外膜老化多处破裂,且柜位计缺失。

② 污泥循环泵电机受潮无法运行;锅炉热水循环泵叶轮锈蚀卡阻无法转动;沼气增压风机叶轮与外壳不匹配无法转动;热交换器充水检测多处漏水;沼气过滤器滤布老化无法使用,且不利于维护保养。

③ 原设备安装不完善,沼气压压缩机、沼气火炬、脱硫塔均无法运转。

④ 沼气管线上缺少冷凝水收集排放装置。

##### 3.2.2 整改措施

① 将原有沼气锅炉、沼气柜拆除,并根据工艺需要,重新采购2台燃气热水锅炉(单台功率 $1\,350\text{ kW}$ ,压力 $0.6\text{ MPa}$ ,出水温度 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ )和1座双膜式沼气柜(容积 $2\,500\text{ m}^3$ ,压力 $0.002\text{ MPa}$ )。利用原有设备基础、管道等设施重新安装设备及控制系统。沼气锅炉使用液化石油气进行调试,并委托当地锅检所进行验收;沼气柜采用鼓风机充气调试。

② 将3台污泥循环泵电机拆卸烘干并全面清理后恢复正常(单台功率 $7.5\text{ kW}$ ,流量 $180\text{ m}^3/\text{h}$ );将4台热水循环泵叶轮拆卸清理,手动盘车后恢复正常(单台功率 $3\text{ kW}$ ,流量 $57\text{ m}^3/\text{h}$ );将2台沼气增压风机外壳拆卸打磨,更换油封并全面清理后恢复正常(单台功率 $5.5\text{ kW}$ ,流量 $540\text{ m}^3/\text{h}$ ,增压 $0.01\text{ MPa}$ );进行热交换器漏点补焊,并安装自动排气阀(热接触面积 $52\text{ m}^2$ );沼气过滤器进行内部改造,粗过滤器改为砾石过滤方式,细过滤器改为陶瓷棒过滤方式,并增设自动排水装置(粗过滤器通气量 $500\text{ m}^3/\text{h}$ ,细过滤器通气量 $1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ )。

③ 沼气压压缩机重新完善电气接线并试运转,更换润滑油及滤网后恢复正常(单台功率 $38\text{ kW}$ ,流量 $358\text{ m}^3/\text{h}$ );2台沼气火炬重新进行电气布线,控制柜返厂重新做程序,并更换点火电极及探头后恢复正常(单台燃烧能力 $250\text{ m}^3/\text{h}$ );脱硫塔进行控制

柜检修,更换控制芯片,增设卸料插板阀,更换出气口过滤器后恢复正常(通气量  $370 \text{ m}^3/\text{h}$ )。

④ 通过测量沼气管线标高,在沼气柜、沼气火炬、沼气增压风机前端沼气管线上的3处低点增设了水封型冷凝水自动排放装置,并建造了集水井,安装了排水泵。

### 3.3 消防安保

#### 3.3.1 存在的问题

① 消化区域缺少消防、报警等安全设施,且按照消防部门现行规范要求,必须通过消防验收;原有避雷设施不完善,且部分老化破损。

② 消化区域没有明显界区,没有相关的管理制度及安全操作规程。

#### 3.3.2 整改措施

① 委托有资质的专业单位对消化区域整体消防系统进行设计、施工,增设了消防控制室、应急消防水池、消防水炮、消防栓、灭火器、室内消防喷头等安全设备设施,并按照规定要求通过了消防验收;在重要点位增设了烟感、温度、可燃、有害气体报警探头及声光报警器;对消化池及周边构筑物重新进行避雷带施工,在消化池顶增设避雷针,在沼气柜周围增设避雷塔。

② 在消化区域的安全距离以外建设防护围墙并安装门禁系统,制定消化区域出入管理规定;编制消化区域安全管理制度、现场运行安全操作规程、应急预案,并对相关人员进行安全培训、演练。

③ 在完成上述整改工作的基础上,委托专业单位进行了消化区域的现状安全评价,评价结果满足安全生产要求。

## 4 系统的启动调试

采用先启动调试一座消化池,培养厌氧消化菌种,待稳定运行后再进行另一座消化池污泥接种启动的方式。消化池进泥含水率约94.8%,绝干污泥有机物含量约55.8%。

### 4.1 第一座消化池启动调试

首先启动消化池B。先利用污水处理厂的二沉池出水向消化池B注水  $8\,000 \text{ m}^3$ ,利用液化石油气燃烧锅炉给消化池内的水体加热。锅炉点火加热后第7天,消化池B达到工艺温度( $35^\circ\text{C}$ )。液化石油气消耗量及消化池内水温变化情况如图2所示。

常规运行情况下,每座消化池对应1台热交换器进行热量置换。在消化池B的加热过程中,通过

工艺阀门切换,同时利用2台热交换器给该消化池加热,因此在短时间内就加热到了工艺温度。调试期间的投泥量及工艺参数变化如图3所示。

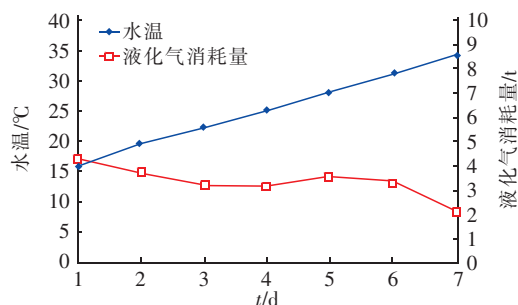


图2 液化石油气消耗量及水温变化

Fig. 2 Liquefied petroleum gas consumption and changes of water temperature

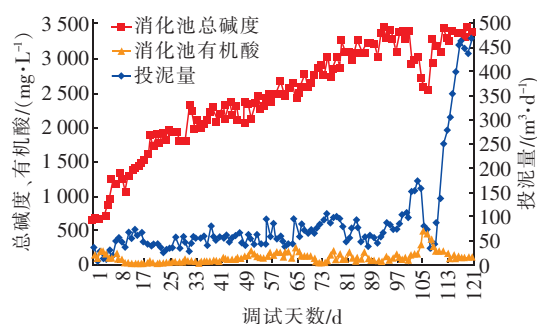


图3 调试期投泥量及工艺参数变化

Fig. 3 Sludge dosage and process parameters during the commissioning period

投泥调试开始后,初始投泥量较少,平均  $23 \text{ m}^3/\text{d}$ ;第7~10天,消化池混合液的总碱度和有机酸出现明显变化,说明厌氧消化菌种开始形成;第8~55天,投泥量保持在平均  $53 \text{ m}^3/\text{d}$ ,消化池混合液总碱度由  $1\,200 \text{ mg/L}$  上升至  $2\,300 \text{ mg/L}$ <sup>[4]</sup>,有机酸由  $38 \text{ mg/L}$  上升至  $150 \text{ mg/L}$ ,此时消化池已能生产出合格沼气,沼气中甲烷含量约占65%,但系统仍不太稳定;第56~101天,根据总碱度和有机酸变化情况,在  $40 \sim 110 \text{ m}^3/\text{d}$  范围内适当增减投泥量,投泥量总体呈逐渐增加趋势,消化池混合液总碱度上升至  $3\,300 \text{ mg/L}$  左右,有机酸保持在  $50 \sim 150 \text{ mg/L}$ ;在低投泥量能基本保持系统稳定运行的情况下,第102天开始加大投泥量至  $160 \text{ m}^3/\text{d}$ ,消化池混合液有机酸出现大幅上涨,相应总碱度出现大幅下降,因系统保持了较高的总碱度,有较强的抗冲击能力,故在减小日均投泥量后,系统逐渐恢复正常。第112~121天,逐渐增加日投泥量至系统设计投配率5%,消化池混合液总碱度和有机酸分别稳定在



3 300、130 mg/L,表明系统已稳定运行。至此,开始利用产生的沼气燃烧锅炉,消化池 B 启动成功。

#### 4.2 第二座消化池启动调试

消化池 B 稳定运行后,用相同方法将消化池 A 加热到工艺温度,再将 B 池中的部分污泥分两天稳定注入消化池 A 进行污泥接种,接种污泥量共计 3 600 m<sup>3</sup>,然后消化池 A 开始进行投泥调试,平均投泥量 400 m<sup>3</sup>/d。由于接种污泥的注入,消化池 A 的启动调试时间大大缩短,只用 7 天 A 池便产出合格沼气。

### 5 消化系统的正式运行

#### 5.1 运行效果

污泥厌氧消化系统稳定运行 2 个月数据如图 4、5 所示。

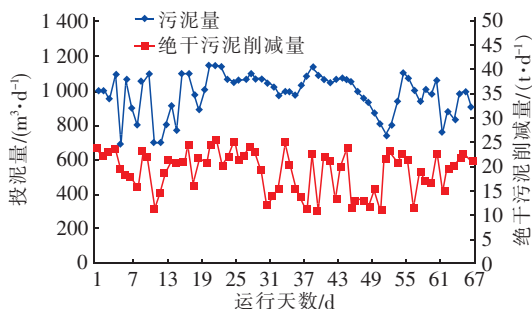


图4 投泥量和绝干污泥削减量变化

Fig.4 Sludge dosage and dry sludge reduction

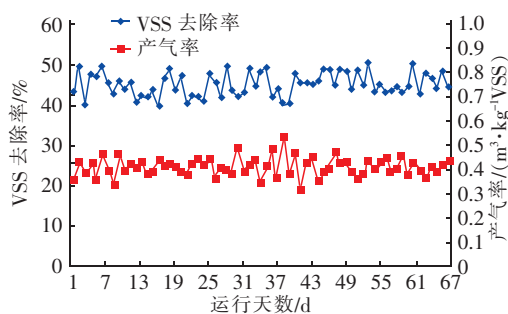


图5 VSS 去除率及产气率变化

Fig.5 VSS removal rate and gas production rate

消化系统稳定运行后,平均投泥量 983 m<sup>3</sup>/d,平均绝干污泥削减量为 19.15 t,平均 VSS 去除率 45.22%,平均产气率为 0.41 m<sup>3</sup>/kgVSS,平均沼气产量 7 300 m<sup>3</sup>/d,实现了污泥的减量化、无害化处理。

#### 5.2 运行中需注意的问题

① 污水处理系统内的砂在前浓缩池堆积,最终通过消化喂料泵进入消化池。由于消化喂料泵磨

损严重,造成投泥量下降;砂在消化池底堆积,影响消化池正常运行。采取的解决措施:a.加强前端预处理除砂工序的处理效果,减少进入后续工序的砂量;b.定期排放前浓缩池底的淤砂,加大清洗破碎机滤筒的频次,减少进入喂料泵的砂量;c.给消化喂料泵更换耐磨的定转子,延长使用寿命;d.定期排放消化池底部的淤砂。

② 消化池运行时产生的浮渣会对运行造成一定影响,日常运行要做好浮渣的清除工作。消化池采用气体搅拌,由于压缩气体在池内液体表面大面积扩散,所以较机械搅拌方式的消化池产生的浮渣量少。为进一步减小浮渣量,本项目保持沼气搅拌系统连续运行。

③ 采用双膜式沼气柜,平时靠鼓风机鼓风保持沼气柜外膜充气状态,内膜储存沼气。为防止外膜在失压时塌陷对内膜造成影响,设置 2 台鼓风机互为备用,同时预备一台柴油发电机,用于停电时为鼓风机供电。

④ 消化后的滤液中氨氮、总磷浓度较高,平均分别为 285、30 mg/L,滤液随排水管道进入污水厂进水口,可能对污水处理系统的运行造成一定影响,需加以关注。

⑤ 污泥管路可能会发生污泥堵塞、管壁结垢等问题,尤其是弯头、变径等处,造成流量逐渐减小,因此需加强巡查、定期疏通冲洗污泥管路。

⑥ 正式运行产生的沼气余量较多,需利用沼气火炬燃烧,有待进一步探讨沼气的资源化利用。

### 6 结论

烟台市套子湾污水处理厂污泥消化系统建成后长期闲置,经设施、设备、安全等一系列整改工作后,开始启动调试。采用先启动调试一座消化池,再接种启动另一座消化池的方式,可以节省调试时间和费用。

该工程投运后,实现了污泥的部分减量化、稳定化处理,产生的沼气用于发电,实现了污泥处理的资源化。

#### 参考文献:

- [1] 唐建国,林洁梅. 对城镇污水处理厂污泥处理处置技术路线选择的思考[J]. 给水排水, 2011, 37(9): 54 - 57.

Tang Jianguo, Lin Jiemei. Probe into the technical route

selection of municipal wastewater treatment plant sludge treatment and disposal [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(9): 54-57 (in Chinese).

- [2] 吴静,姜洁,周红明,等. 我国城市污水厂污泥厌氧消化系统的运行现状[J]. 中国给水排水, 2008, 24(22): 21-24.

Wu Jing, Jiang Jie, Zhou Hongming, *et al.* Current operation status of sludge anaerobic digestion system in municipal wastewater treatment plants in China [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(22): 21-24 (in Chinese).

- [3] 戴前进,李艺,方先金. 污泥厌氧消化工艺设计与运行中值得探讨的问题[J]. 中国给水排水, 2007, 23(10): 18-20.

Dai Qianjin, Li Yi, Fang Xianjin. Several points need to be discussed on design and operation of sludge anaerobic digestion process [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(10): 18-20 (in Chinese).

- [4] 蒋玲燕,杨彩凤,胡启源,等. 白龙港污水处理厂污泥厌氧消化系统的运行分析[J]. 中国给水排水, 2013, 29(9): 33-37.

Jiang Lingyan, Yang Caifeng, Hu Qiyuan, *et al.* Operation analysis of sludge anaerobic digestion system at Bailonggang Wastewater Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(9): 33-37 (in Chinese).



作者简介:徐晓波(1970-),男,山东烟台人,硕士,教授级高级工程师,主要从事排水工程管理工作。

E-mail: xuxiaobo1970@sina.com

收稿日期:2020-01-20

(上接第120页)

precipitation integrated rectangular airlift loop reactor [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(10): 2244-2248 (in Chinese).

- [3] 刘旭,刘淑杰,段美娟,等. 反应沉淀一体式矩形环流生物反应器处理屠宰废水[J]. 工业用水与废水, 2018, 49(4): 26-31.

Liu Xu, Liu Shujie, Duan Meijuan, *et al.* Treatment of slaughter wastewater using reaction-precipitation integrated rectangular airlift loop bioreactor [J]. Industrial Water & Wastewater, 2018, 49(4): 26-31 (in Chinese).

- [4] 许忠凤,戴海平,孙磊,等. 多级 A/O-MBR 工艺对生活污水脱氮除磷的工艺研究[J]. 水处理技术, 2019(11): 117-121, 126.

Xu Zhongfeng, Dai Haiping, Sun Lei, *et al.* Study on multistage A/O-MBR process for nitrogen and phosphorus removal from domestic sewage [J]. Technology of Water Treatment, 2019(11): 117-121,

126 (in Chinese).



作者简介:林佩斌(1976-),男,江西南昌人,大学本科,高级工程师,主要从事市政设计及水环境治理工作。

E-mail: 304448473@qq.com

收稿日期:2020-01-13