

设计经验

餐厨废弃物预处理及厌氧处理工程的运行效果及设计优化

王 静¹, 高 斌²

(1. 苏伊士新创建有限公司, 上海 200092; 2. 上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要: 江苏省某 200 t/d 的餐厨废弃物处理工程采用自动分选+加热搅拌+固液分离+除杂除砂+油水分离+CSTR 湿式厌氧工艺。餐厨废弃物通过预处理后形成粗油脂、有机浆料、残渣三股物料,粗油脂和预处理后的废弃食用油脂一并制取生物柴油;残渣外运填埋处置;有机浆料进行厌氧发酵,厌氧发酵产生的沼气在厂内净化后部分用作锅炉燃料,部分发电上网。该项目投产后 1 年多的实际运行表明,运行效果良好;预处理提油效果好、杂质去除率高、有机质损失率低;CSTR 湿式厌氧消化运行稳定、固相全量厌氧时产沼率高、出水水质好。但是,提油的波动性对厌氧产沼有一定影响,餐厨废弃物的品质对预处理运行的稳定性影响较大,全物料厌氧时系统稳定性不强,仅液相厌氧时系统稳定性强,但产气量下降较多。

关键词: 餐厨废弃物; 设计优化; 厌氧消化; VS 转化

中图分类号: TU993 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)20-0042-05

Optimization Design and Operation of Kitchen Waste Pretreatment and Anaerobic Digestion Project

WANG Jing¹, GAO Bin²

(1. SUEZ NWS Limited, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: A 200 t/d kitchen waste treatment project in Jiangsu Province adopted “automatic sorting + heating and stirring + solid-liquid separation + impurity and sand removal + oil-water separation + CSTR wet anaerobic” process. After the kitchen waste was pretreated, crude oil, organic slurry and residue emerge. The crude oil was used to make biodiesel together with the pretreated waste edible oil and fat; the pretreated residue was disposed by landfill; the organic slurry was treated by anaerobic fermentation. Biogas produced from anaerobic fermentation was partially used as boiler fuel after purification in the plant, and the rest part was used as power generation for the internet. The actual operation for more than one year showed that the process performed well: the pretreatment had good oil extraction effect, high impurity removal rate and low loss rate of organic matter; CSTR wet anaerobic digestion process showed stable operation performance, high production rate of biogas, and high quality of effluent water; while, it was found that the fluctuation of oil extraction had a certain impact on biogas production rate and the quality of kitchen waste had a great influence on the stability of the pretreatment. The stability of the whole material anaerobic system was not strong enough, while liquid phase anaerobic system was much more stable except the gas production decreases more.

Key words: kitchen waste; optimization design; anaerobic digestion; VS conversion

1 项目背景及概况

江苏省某餐厨废弃物处理工程采用“收运处理一体化”BOT 模式建设和运营,服务对象为除居民日常生活外的食品加工、餐饮服务、集体供餐等活动中产生的食物残余和废弃食用油脂,设计规模分别为食物残余 200 t/d、废弃食用油脂 40 t/d。

本项目于 2013 年 10 月通过工程初步设计批复,2015 年 1 月开工建设,2015 年底进料调试并投入试运行,2016 年 9 月食物残余处理线基本达产。主要建设内容包括餐厨废弃物预处理系统、厌氧发酵系统、沼气净化及利用系统、生物柴油制取系统、除臭系统、收运体系、信息化监管系统以及辅助配套系统等。

2 工艺设计

2.1 工艺流程

本工程工艺流程见图 1,食物残余和废弃食用油脂进厂称重后至预处理车间卸料,预处理引进国外进口设备,食物残余通过预处理后形成粗油脂、有机浆料、残渣三股物料,粗油脂和预处理后的废弃食用油脂一并制取生物柴油;预处理残渣外运填埋处置;有机浆料进行厌氧发酵,厌氧发酵产生的沼气在厂内净化后部分用作锅炉燃料,部分发电上网,沼液经脱水后外排至填埋场渗滤液处理站进行处理,脱水沼渣填埋处置。

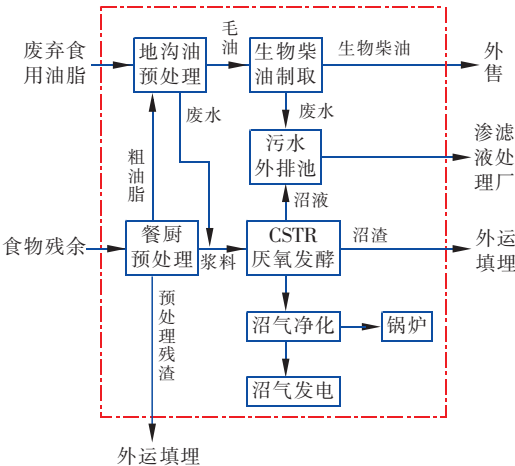


图 1 工艺流程

Fig. 1 Process flow chart

2.2 主要设计参数

根据前期调研分析,食物残余和废弃食用油脂的特性参数分别见表 1、2。结合建设前预处理线的中试效果^[1],本项目工艺设计参数见表 3。

表 1 食物残余特性参数

Tab. 1 Characteristic parameters of food waste

项 目	数值
物理成分	水分/%
	85
	食物残渣/%
	10
物理性质	油脂/%
	2.1
	其他杂物/%
	2.9
物理性质	容重/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
	1 010
物理性质	总有机物/%
	13.5

表 2 废弃食用油脂特性参数

Tab. 2 Characteristic parameters of waste food oil

项 目	数值
酸价/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	140 ~ 150
水含量/%	0.1 ~ 7.0
饱和脂肪酸/%	28.7 ~ 50.4
单元不饱和脂肪酸/%	44.9 ~ 50.8
多元不饱和脂肪酸/%	17.9 ~ 20.6

表 3 工艺设计参数

Tab. 3 Parameters of process design

预处理系统	2 条生产线,处理能力均为 10 t/h
厌氧进水罐	1 座,有效容积 300 m^3 , HRT = 1.5 d
厌氧罐	2 座 CSTR 厌氧罐,有效容积为 3 500 m^3 , HRT = 35 d
厌氧沉淀罐	1 座,表面负荷为 0.295 m^3/h
设计温度/ $^{\circ}\text{C}$	35
容积负荷/($\text{kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)	3.5
COD 去除率/%	≥ 85
CH_4 产率/($\text{Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{COD}$)	0.4

2.3 平面布置

总平面布置如图 2 所示。

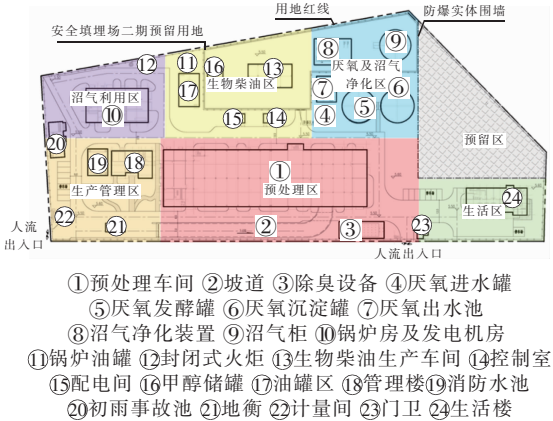


图 2 总平面布置

Fig. 2 General layout plan

本工程总用地面积为 2.71 hm^2 , 其中预留用地面积为 0.34 hm^2 , 用地十分紧张, 因此厂区采用集约化布置, 单体尽可能合建布置, 总体上达到功能分区明晰, 布局合理, 同时沼气利用区域生物柴油区按规范要求设置独立的防爆区。

3 运行效果

本工程于 2015 年底竣工, 2016 年 9 月食物残余处理线基本达产, 根据项目进料负荷的不断增加至满负荷运行一年的情况及相关数据, 分析设计工艺的适应性及餐厨废弃物厌氧发酵的运行效果。

3.1 预处理系统运行效果分析

预处理系统根据来料特性及厌氧进料需求, 设置自动分选机、加热搅拌及固液分离、二次打浆除杂、旋流除砂、油脂分离五个环节, 具体流程如图 3 所示。

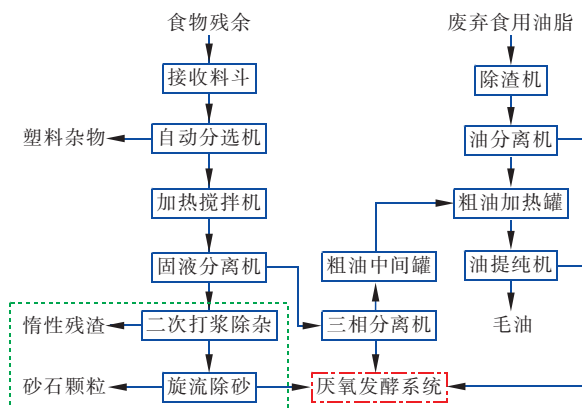


图3 预处理工艺流程

Fig.3 Pretreatment process flow chart

实际运行时, 初期(2016年4月—2016年8月)进料规模不大时, 预处理效果较好(见图4、5), 按设计全物料厌氧运行时残渣率较低、有机质损失率较低、厌氧产气率较高, 但随着规模的不断增加, 垃圾品质逐渐下降, 来料中杂物含量较多, 导致预处理设备的故障率越来越高。因此, 为保障运行的稳定可靠, 满负荷运行后进行工艺调整, 将预处理工艺

流程简化(取消图3中虚线框内的工艺单元, 即调整为液相厌氧), 固液分离后的固渣直接外运处置, 液相除砂、提油后进入厌氧发酵系统处理。通过图4、图5可以发现调整工艺后残渣率明显上升、厌氧产气率降低, 但系统稳定性增强。

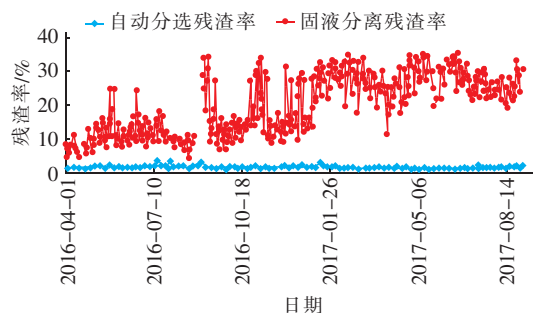


图4 预处理分选残渣量统计数据

Fig.4 Statistics graph of pretreatment sorting residue

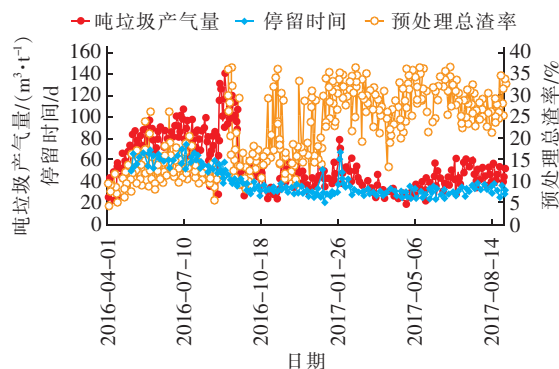


图5 吨垃圾产气量-停留时间-预处理渣率对比

Fig.5 Comparison of gas production, residence time and pretreatment slag rate

数据表明, 预处理过程中自动分选机产生的杂物量为 $0.4\% \sim 3.7\%$, 均值为 1.6% , 主要为塑料袋、塑料瓶等; 工艺调整前固液分离、二次打浆除杂、除砂产生的固相残渣总量为 $4.2\% \sim 35.0\%$, 均值为 19.8% , 含水率约 64.4% ; 工艺调整后固液分离、除砂产生的固相残渣总量为 $7.1\% \sim 35.0\%$, 均值为 23.5% , 含水率约 69.1% 。

预处理后进厌氧物料各项指标如表4所示。

表4 预处理浆液水质指标

Tab.4 Quality indicator of pretreatment slurry water

项目	含固率/%	VS/%	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值	VFA/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	含油率/ %
平均	9.8	84.0	142 047	218	3.7	15 822	27 072	1 518	2 497	15 889	0.8
最小值	7.0	66.1	74 200	120	3.3	8 180	15 970	600	1 610	12 970	0.1
最大值	16.8	99.8	246 600	481	5.9	21 360	39 850	2 560	3 320	19 060	2.2

3.2 厌氧发酵系统运行效果分析

垃圾产气量-停留时间-预处理渣率分析见图 5。可见工艺调整前吨垃圾产气量为 $23.1 \sim 139.2 \text{ m}^3$, 均值为 76.4 m^3 , 工艺调整后吨垃圾产气量为 $18.6 \sim 119.8 \text{ m}^3$, 均值为 44.9 m^3 , 主要原因有两个, 一是 2016 年 9 月前项目没有满负荷运行, 厌氧停留时间较长, 为 $41 \sim 73 \text{ d}$; 二是 2016 年 9 月后预处理工艺调整, 固液分离后的固渣不再进入厌氧发酵, 而这部分固渣的产甲烷潜力是十分大的^[2], 两方面原因对厌氧产气有比较明显的提升作用。

分析项目满负荷运行后的数据, 预处理工艺调整后厌氧系统实际运行 VS 负荷为 $1.4 \sim 3.4 \text{ kgVS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 均值为 $2.1 \text{ kgVS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, COD 负荷为 $2.5 \sim 5.2 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 均值为 $3.6 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, VS 产气率为 $0.07 \sim 1.97 \text{ m}^3/\text{kgVS}$, 均值为 $0.68 \text{ m}^3/\text{kgVS}$, COD 产气率为 $0.20 \sim 0.60 \text{ m}^3/\text{kgCOD}$, 均值为 $0.38 \text{ m}^3/\text{kgCOD}$, VS 降解率为 84% , COD 降解率为 87% 。通过产气率和进水油脂含量对比分析(见图 6), 可以看出, 预处理提油效果对厌氧产气有一定影响, 主要原因是油脂厌氧产气的时间要比蛋白质和糖类长很多, 而本项目厌氧停留时间仅 35 d , 因此当进水油脂含量过高时, 对厌氧反应器造成负荷冲击, 影响产气。同时, 根据产气率、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、VFA 对比分析(见图 7)可知, 产气率与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、VFA 浓度均成反比, 与同类餐厨废弃物的厌氧发酵研究基本一致^[3]。

表 5 厌氧出水水质

Tab. 5 Anaerobic effluent quality

项目	pH 值	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	含油率/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
平均值	7.8	18 508	2 291	2 830	44	13 266	24 648	129
最小值	7.5	13 220	1 370	2 260	0	9 320	19 530	100
最大值	8.2	25 310	2 900	3 610	270	20 610	28 860	260

厌氧后的沼液经过沉淀后清液排至旁边填埋场渗滤液处理厂进行处理, 沉淀污泥进行脱水处理, 但在实际运行过程中沼液仅沉淀处理时对 SS 的去除效果较差。

因此, 为确保渗滤液处理厂的稳定可靠运行, 在运行期间增加了沼液的全量脱水设施, 脱水后的清液再排至附近渗滤液厂进行处理。脱水前、后水质变化见图 8。可见沼液脱水前后 COD、SS 有大幅下降, 对水质有明显改善, COD 去除率为 58% , SS 去

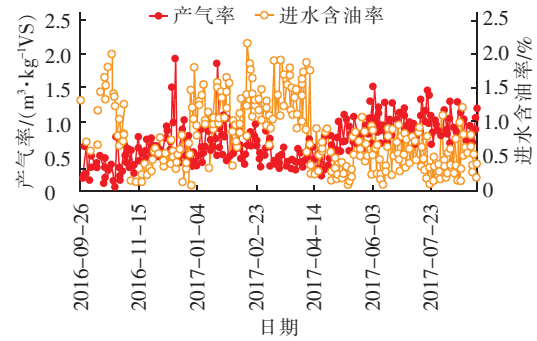


图 6 产气率-进水含油率对比

Fig. 6 Comparison of gas production and influent oil content

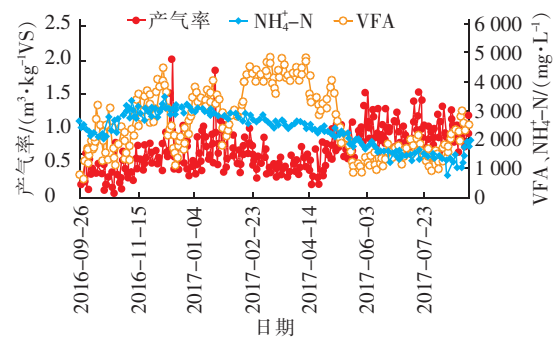


图 7 产气率- $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ -VFA 对比分析

Fig. 7 Comparison of gas production, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and VFA

3.3 厌氧出水处理效果分析

表 5 为有机浆料经厌氧发酵后的沼液的水质数据, 可见厌氧出水 COD 和 SS 浓度较高, 已经超出了附近渗滤液处理厂的设计进水水质要求。

除率为 69% , 总氮和氨氮变化不大。

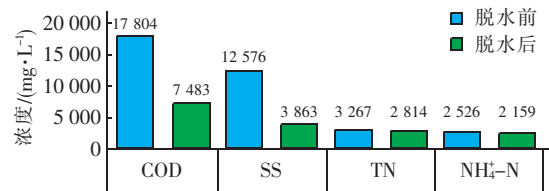


图 8 厌氧沼液脱水前、后水质变化

Fig. 8 Comparison of anaerobic effluent quality before and after dehydration

3.4 总体有机质转化率分析

根据统计数据,项目总体的VS平衡见图9。可以看到,餐厨废弃物中来料的VS有25%被分离出来成为粗油脂,可以作为生物柴油生产的原料,37%在厌氧发酵过程中转化为沼气,9%随沼液排出,剩余29%随预处理残渣流失。总体而言,工艺调整后餐厨废弃物中的有机质转化率大幅降低,主要是预处理系统固相残渣没有进入厌氧发酵系统产沼。根据工艺调整前后数据分析,残渣中约有75%的VS可通过进一步处理进入厌氧发酵系统,按84%的降解率计算折合产沼潜力可提高50%,折合吨垃圾产气量可提高至 68 m^3 ,与工艺调整前的产气率较为接近。

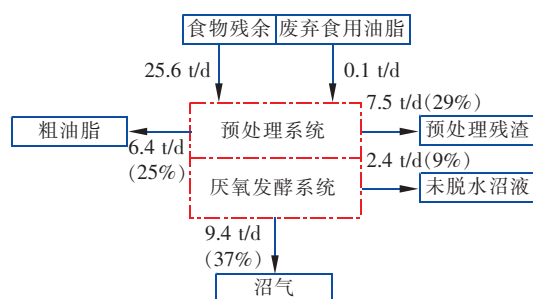


图9 系统VS平衡

Fig.9 VS balance diagram

4 结语

① 本工程设计用地集约化布置,在 2.71 hm^2 地中规划布置400 t/d的食物残余处理及40 t/d的废弃食用油脂处理设施,折合用地指标为 $61.7\text{ m}^2/\text{t}$,与同类型项目相比用地十分集约。

② 餐厨废弃物处理的预处理系统与厌氧系统之间的联系十分紧密,预处理采用的工艺不仅要适应厌氧发酵系统的进料要求,而且要最大化地降低有机质损失率,本工程预处理工艺在降低有机质损失率上还有较大提升空间,需针对固液分离后的固相采用简单可靠的设备进一步进行有机质提取,从而提高厌氧产气量。

③ 餐厨废弃物厌氧发酵过程的波动性较大,主要与来料的不稳定性有关,原料的油脂含量、有机质含量、蛋白质含量等均会影响厌氧发酵的稳定性,因此一方面需在预处理系统中的提油部分留有余地,防止原料油脂含量过高导致厌氧进料含油过高而影响产气,另一方面厌氧罐的停留时间应考虑负

荷波动的影响。

④ 厌氧沼液COD、SS仍较高,为避免对后续污水处理的影响,需进行全量脱水,大幅降低SS。

参考文献:

- [1] 朱卫兵,金慧宁,史东晓,等. 常州市餐厨垃圾应急预处理工程实例分析[J]. 环境卫生工程,2013,21(6): 35-37.
Zhu Weibing, Jin Huining, Shi Dongxiao, et al. Engineering case of food waste emergency pretreatment in Changzhou[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2013, 21(6): 35-37 (in Chinese).
- [2] 高树梅,赵明星,许之扬,等. 餐厨垃圾固渣厌氧发酵产甲烷潜力及Logistic动力学研究[J]. 安全与环境学报,2015,15(1):263-268.
Gao Shumei, Zhao Mingxing, Xu Zhiyang, et al. Study on the methane potential and Logistic kinetics of the solid residual kitchen waste via the anaerobic digestion[J]. Journal of Safety and Environment, 2015, 15(1): 263-268 (in Chinese).
- [3] 许之扬,赵明星,缪恒峰,等. 氨氮质量浓度对餐厨垃圾厌氧消化产沼气的影响[J]. 食品与生物技术学报,2014,33(3):282-287.
Xu Zhiyang, Zhao Mingxing, Miao Hengfeng, et al. Analysis of ammonia inhibition on anaerobic digestion via food waste[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2014, 33(3): 282-287 (in Chinese).



作者简介:王静(1985-),女,陕西安康人,硕士,助理工程师,水处理工艺部工程师,研究方向为污水处理、污泥处理、污水厂的优化运行。

E-mail:4533743@qq.com

收稿日期:2018-04-26