

100 t/d 餐厨垃圾预处理工艺优化与运行分析

刘海园, 李善强, 吴念鹏, 于涵同*, 沈传星
(北京碧水源科技股份有限公司, 北京 102206)

摘要:以延吉市某餐厨废弃物资源化利用和无害化处理厂为研究对象,介绍了工艺优化后的各工艺单元,并分析运行现状及存在的问题。延吉市餐厨垃圾项目设计处理规模为100 t/d,经过预处理工艺优化后,采用“破碎+分选制浆+高温湿解”作为预处理主要工艺路线。优化后的工艺在运行稳定性和经济效益方面均有显著提升,餐厨垃圾的产油率从2.8%提高到4.8%,而产渣率从35%降低到10.2%,厌氧消化系统产生的沼气产量能够满足项目生产日常需求。

关键词:餐厨垃圾;破碎;分选制浆;高温湿解;厌氧消化

中图分类号:TK6

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2025)05-0251-06

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2025.05.042

Optimization and operation analysis on 100 t/d kitchen waste pretreatment process

LIU Hai-yuan, LI Shan-qiang, WU Nian-peng, YU Han-tong*, SHEN Chuan-xing
(Beijing Origin Water Technology Co., Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: Taking a kitchen waste re-utilization and harmless treatment plant in Yanji city, China as the research object, each process unit after process optimization is introduced, and the operation status and problems are analyzed. This plant has a design scale of 100 t/d. After optimizing the pretreatment process, the plant adopts “crushing+sorting pulp+high-temperature wet decomposition” as the main pretreatment process route. The optimized process has a significant improvement in both the operational stability and economic efficiency, the oil production rate of kitchen waste increases from 2.8% to 4.8%, while the residue production rate reduces from 35% to 10.2%, and the biogas produced by the anaerobic digestion system in this plant is able to meet the daily demand from the production of the plant.

Key words: kitchen waste; crushing; sorting and pulping; high temperature wet digestion; anaerobic digestion

随着我国经济的持续发展,中国餐饮行业的规模也随之扩大,伴随而来的是我国餐厨垃圾量的爆发式增长^[1]。根据《中国城乡建设统计年鉴2020》的数据,2020年我国城市餐厨垃圾的总产量约为1.2775亿t^[2]。面对如此庞大的餐厨垃圾量,我国的餐厨垃圾处理能力严重滞后,资源化处理效率仅有12%,处理能力仍面临着巨大的缺口^[3]。

目前餐厨垃圾的处理方式主要分为常规处理方式和资源化处理方式。常规处理方法包括粉碎直排、卫生填埋和焚烧等。资源化处理方法包括厌氧消化、好氧堆肥、干燥热处理、湿热水解、生物饲料和昆虫养殖等。其中,厌氧消化技术已成为我国处理餐厨垃圾的主流技术^[4]。

本文中着重介绍延吉某餐厨废弃物资源化利用和无害化处理项目各工艺单元,分析其运行情况,以为餐厨垃圾的高效资源化利用和有效管理提供有益的经验借鉴。

1 工艺概况

延吉市作为第二批国家餐厨废弃物资源化利用

和无害化处理试点城市,某餐厨废弃物资源化利用和无害化处理厂于2015年正式开工建设,2019年12月10日正式投入商运。运行期间设备老化严重,处理效率低,运行风险逐渐增大。为了解决生产运行问题,于2023年11月完成了预处理工艺改造。

项目原始设计日餐厨垃圾处理规模为100 t,设计日产工业粗油脂2 t。目前,实际每日收运的餐厨垃圾量约为40 t,日产工业粗油脂仍为2 t。延吉市主要生活垃圾成分见表1^[5]。

表1 延吉市生活垃圾主要成分分析表 %

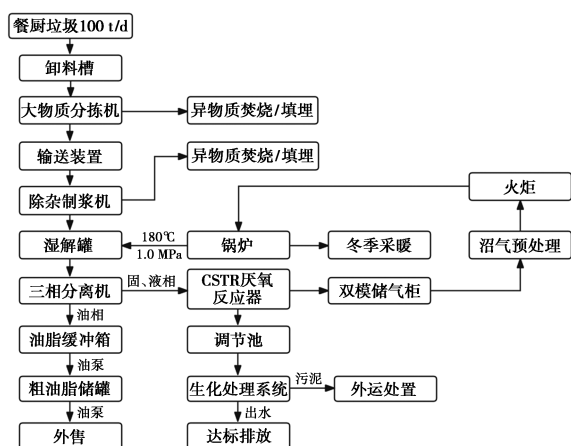
主要成分	餐厨垃圾	玻璃、石块	杂物	废纸	
所占比重	36.9	20.3	14.9	13.16	
主要成分	塑料	草木	金属	织物	橡胶
所占比重	10.9	2.8	0.9	0.1	0.04

延吉市某餐厨废弃物资源化利用和无害化处理厂主要处理单元包括预处理单元、三相分离单元、厌氧消化单元、沼气净化单元、水处理单元。改造前预

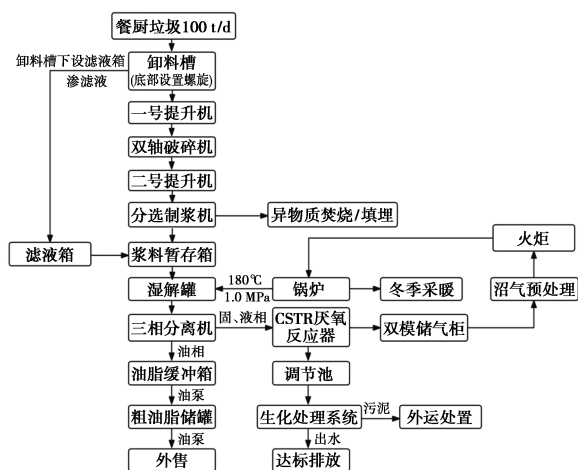
收稿日期:2024-08-30;修回日期:2025-03-18

作者简介:刘海园(1986-),男,本科,工程师,从事污水处理项目运营管理工作, hai272823859@163.com;于涵同(1998-),男,硕士,工程师,从事污水处理项目运营管理工作,通讯联系人, yuhantune@163.com。

处理单元工艺为“大物质分选+破碎”。此种工艺在项目实际运行中暴露出来一系列问题,首先除杂效果不佳,无法有效分离出无机杂质,容易导致后续设备磨损。其次,分拣效果差,影响工艺产油率,导致整体工艺经济效益不理想。针对上述问题,对预处理工艺进行了工艺优化,改造后预处理单元工艺为“破碎+分选制浆”。改造后餐厨垃圾产油率由 2.8% 提升至 4.8%,餐厨垃圾产渣率由 35% 降低至 10.2%,整体工艺的处理效率得到显著提高。两者工艺路线见图 1。



(a) 改造前流程



(b) 改造后流程

图 1 改造前后工艺路线

具体处理工艺如下:餐厨垃圾专用收运车将收集的餐厨垃圾送至预处理车间的卸料槽。餐厨垃圾经过多次沥水、破碎与分选后,无机杂质被分离出去,有机浆料则进入湿热水解罐进行湿解。湿解后的浆料进入三相分离系统提取油脂。经三相分离后,固体渣料与液体浆料被充分搅拌混合后,送入高效厌氧反应设备,进行厌氧发酵产生沼气。沼气经过增压和净化处理后,存储在双膜储气柜中,用于为

预处理车间内的湿热水解罐及厂区暖气系统提供热能。厌氧处理后的出水经板框压滤机过滤出固体渣料,剩余污水继续通过厂区内部的水处理系统进一步处理,确保达到排放标准。

2 主要工艺单元

2.1 预处理单元

2.1.1 卸料除杂系统

(1) 集料仓

集料仓的作用实现物料收集暂存功能及滤液功能。项目采用了容量为 15 m³ 的不锈钢集料仓,可存储约 10 t 餐厨垃圾。集料仓底部设有滤液箱,用于收集和滤液,同时,底部的滤液螺旋输送机将固体物料输送至自动分选系统。为了控制气味扩散,集料仓顶部安装了集气罩,并配备快速卷帘门,在非卸料期间可以快速关闭,有效防止臭气外溢。

(2) 螺旋输送机

螺旋输送机采用大螺距设计,具备调向等功能,能够适应餐厨垃圾中复杂物料的输送要求。输送机的安装角度控制在 30°~45°,这样的设计不仅有助于物料的顺畅输送,还能有效实现餐厨垃圾的沥水处理,提高后续工艺的效率。

2.1.2 破碎系统

双轴细碎机利用 2 个耐磨撕碎齿辊的相对旋转,形成一个 V 型撕碎腔,通过产生的剪切力来破碎物料。物料进入 V 型破碎腔后,受到齿辊相对旋转的剪切作用,被撕扯并剪切至所需粒度,最终通过排料口排出。本项目选用直径 160 mm、厚度 20 mm 的刀具,并采用迷宫式密封结构的轴承座,以阻隔异物或液态物质进入轴承,确保设备的稳定性。破碎机通过优化刀盘安装角度,形成螺旋式布置,前后 2 对齿轮进行阶段性多次破碎,能高效剪切和撕裂大块物料。经过试验验证,破碎机能够将物料粒径控制 10 mm 以下,这一粒径有助于后续生化处理环节的效率提升,并且极大地减少了后续设备的磨损程度^[6]。双轴破碎机具有反向运转功能,当物料卡涩时,破碎机可以反向运转,将堵塞物料清理掉,确保破碎过程的高效性。

2.1.3 分选系统

在分选制浆机中,物料通过主轴刀片以 900 r/min 的转速,实现有机物料和无机物料的分选,有机物料被甩至下部筛网进行过滤,而无机物料则随搅拌轴送至尾部的无机物料出口。分选制浆机配备有风选

和重力筛选装置,能够有效分离出塑料、金属、玻璃和其他硬质材料。制浆机主体采用 10 mm 不锈钢网孔设计,浆料在分选过程中经过网孔过滤,滤出的浆液被输送至浆液暂存箱。分选制浆机的这些功能协同作用,使得餐厨垃圾在这一阶段得到充分的分离和细化,极大地提高了后续生物处理和资源化利用的效率^[7]。

2.1.4 湿解系统

湿解系统是餐厨废弃物预处理系统的核心环节,湿解处理是将餐厨废弃物中的渗沥液在高温高压条件下进行湿热处理,将餐厨废弃物中的有机物质进行降解^[8]。通过湿解处理,在蒸气的作用下,黏稠物料中的动植物油可以被充分分离出来。同时,渗沥液的黏度降低,流动性得到显著改善^[9]。湿热处理不仅降低了后续工艺的处理难度,还通过高温加热有效地灭杀垃圾中的病原微生物和寄生虫,大大提高了处理后浆料的安全性^[10]。

本项目采用 6 个有效容积 10 m³ 的不锈钢材质湿解罐,处理餐厨垃圾时按顺序逐个进料。湿解罐转速设定为 20 r/min,确保物料的均匀搅拌和加热。湿解罐配备了温度和压力监控系统,加热系统通过内部盘管进行蒸气直接加热,操作温度控制在 80℃,操作压力为 0.5 MPa,且加热时间不少于 2 h,以确保物料在最佳条件下进行湿解反应。外部配备聚氨酯保温层,提高了湿解罐的热效率。进出口管径均为 200 mm,保证物料的顺畅流动。湿解反应完成后,物料通过泵输送至三相分离机进行进一步处理。预处理系统主要设备清单见表 2。

表 2 预处理系统主要设备清单

设备名称	主要参数	用途
卸料槽	有效容积 15 m ³ ,物料接触部分采用 SUS304 材质,液压驱动	收集餐厨垃圾,并对餐厨垃圾加热和沥干水分
螺旋输送机	无轴 U 型, SUS304, L=6500 mm, 安装角度 30°~45°	用于传输物料及沥水
双轴破碎机	合金刀片 46 片, 细碎能力 ≤10 mm	将大粒径垃圾破碎成小粒径,减少了后续处理成本
分选制浆机	功率 55 kW, 处理能力 8~12 t/h, 滤网滤孔直径 10 mm	将塑料、玻璃等无机物质分离,其余餐厨垃圾均匀混合
湿解罐	V=10 m ³ , 设计压力 0.6 MPa	将餐厨垃圾中的大分子有机物分解成小分子结构,并对餐厨垃圾进行灭菌

2.2 三相分离系统

三相分离单元由卧式三相分离机及附属罐体组成。湿解后的浆料通过转子泵全部输送至卧式三相分离机,转子泵采用变频控制,以确保流量的稳定,并在出口配置了流量计以监测和调节进料量。卧式三相分离机通过高速旋转将物料分离成油、水、渣 3 部分,其中含油率大于 95% 的油相自流进入粗油脂缓冲罐,再通过油泵输送至油脂暂存罐,作为工业粗油脂,后续出售给具有专业资质的油脂处理公司,避免餐厨油脂再次回流到居民餐桌,确保居民饮食安全。液相部分则被输送至隔油池进一步处理,确保水中残留的油脂被彻底分离,减少油相进入厌氧系统,对厌氧设备造成影响。固相进入调配罐,作为后续工艺的物料。三相分离工艺实现了高效的固液油分离,大幅减少了废物的排放量,提升了整个系统的资源回收效率,为整个处理系统的高效运行提供了重要保障。

2.3 厌氧消化系统

本项目厌氧消化系统采用全混合厌氧反应器 (continuous stirred tank reactor, CSTR),工艺主体为直径 12 m、高 24 m 的圆柱罐体,罐体有效处理容积 2 700 m³。罐内包含进料系统、搅拌系统、气体收集系统以及出料系统等多个关键组件。

预处理后的餐厨垃圾浆料经过进料系统均匀分布到 CSTR 系统底部,浆料在厌氧罐内逐渐向上移动,经过搅拌系统的持续搅拌,与厌氧罐内污泥充分混合,确保有机物与厌氧微生物充分接触,使厌氧过程更高效。厌氧消化产生的沼气通过沼气收集系统收集,经过后续沼气净化车间净化处理供厂区使用。经过处理后的废水,在向上过程中固体物质不断沉淀,最终经过出料系统排出。厌氧消化前的餐厨垃圾浆料 COD 浓度范围在 7×10⁴~1.2×10⁵ mg/L,经过厌氧消化后出水 COD 浓度范围在 5 000~8 000 mg/L,结果表明,有机物在厌氧消化过程中得到有效降解。

CSTR 系统通过持续搅拌和均质化功能,使餐厨垃圾与厌氧微生物充分接触,促进有机物的分解和厌氧消化过程。通过厌氧消化系统,不仅将有机物转化为可再生能源沼气,还显著降低了废水当中的有机污染负荷,实现废水的净化处理^[11]。

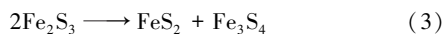
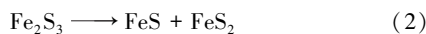
2.4 沼气净化增压系统

本项目经厌氧系统平均每日产出沼气 2 300 m³,沼气净化单元的处理规模为 200 m³/h,产出的沼气中 H₂S 含量为 0.8~2 g/m³。硫化氢是一种具有高

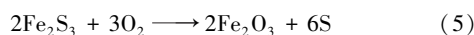
毒性的气体,即使低浓度接触也会对人体产生较大危害。同时,硫化氢在与水和氧气接触后会形成硫酸(H_2SO_4),对金属设备、管道及仪表造成腐蚀^[12]。

为确保沼气的品质及后续利用,沼气脱硫前需要通过冷凝冷干脱水以及精密过滤器除杂。本项目采用了装有氧化铁(Fe_2O_3)的脱硫塔对沼气进行脱硫处理,反应机理包括吸收反应和催化再生反应^[13]。氧化铁的脱硫产物为 Fe_2S_3 , Fe_2S_3 化学性质不稳定,易分解为 FeS 和 FeS_2 或 FeS_2 和 Fe_3S_4 ^[14]。主要反应方程式如下。

吸收反应:



催化再生反应:



2.5 水处理系统

本项目污水主要是餐厨垃圾发酵处理后的消化液,具有 COD 浓度高、氨氮浓度高、含盐含油量高的特点。厌氧消化出水首先进入调节池,实现水质和水量的均衡处理。然后出水流入初次沉淀池进行沉砂处理,以去除较大颗粒物质。水流经混凝气浮池,通过沉降分离去除污水中的大颗粒杂质及动植物油,这一过程有助于防止颗粒固体和动植物油进入后续处理单元,从而降低后续处理单元的运行负荷,并对内置式 MBR 系统提供保护。为了提高两级 A/O-MBR 系统对 COD 的去除效率,在一级 A/O 池前设置了水解酸化池。这一步骤提高了水质的可生化性,并在一定程度上降解了部分污染物。经过混凝气浮和水解酸化处理的高氨氮有机废水接着进入两

级 A/O-MBR 系统,好氧微生物通过代谢作用降解有机污染物,同时通过硝化菌和反硝化菌的作用去除氨氮,具体流程见图 2。

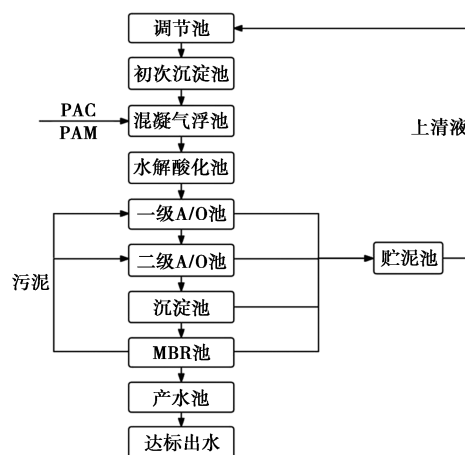


图 2 水处理工艺流程

3 现运行状况及存在问题

3.1 运行情况

3.1.1 厌氧系统

本项目自 2023 年 11 月完成工艺优化以来,整体工艺运行较为稳定。为了评估整体工艺的实际运行效果,选取了 2024 年 6 月连续 7 d 厌氧工艺前后各单元运行数据。表中数据反映了在相对稳定的运行工况下,各项指标的变化情况。从表 3 数据中可以看出,各项指标去除效果较好,COD 的沼气产量达到设计要求,日产量均超过 $2\ 100\ \text{m}^3$,沼气最高日产量超过 $2\ 400\ \text{m}^3$ 。所产沼气经过沼气车间净化后满足锅炉使用要求,甲烷(CH_4)浓度占比稳定在 65%以上,硫化氢(H_2S)含量控制在 $200\ \text{mg}/\text{m}^3$ 以下,满足锅炉设备使用要求。

表 3 2024 年 6 月 6—12 日运行数据

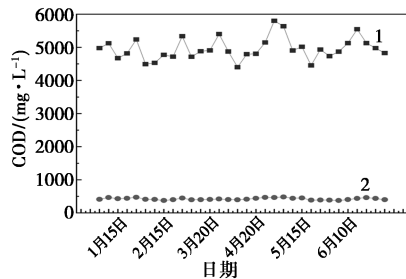
日期	进料量/ m^3	进水 COD/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水 COD/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	厌氧罐 pH	VFA/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	ALK/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	沼气产量/ m^3	H_2S 含量/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$
2024. 6. 6	25	87382	4255	7. 75	327	16166	2367	2206	154
2024. 6. 7	25	84563	4890	7. 78	333	14825	2501	2357	106
2024. 6. 8	27	88712	5312	7. 76	297	14627	2408	2271	127
2024. 6. 9	25	82067	5017	7. 76	303	15008	2449	2388	125
2024. 6. 10	25	79061	5525	7. 70	330	14931	2106	2273	160
2024. 6. 11	27	81046	5072	7. 71	327	16071	2372	2448	181
2024. 6. 12	27	88023	5365	7. 70	336	15966	2258	2410	108

3.1.2 水处理系统

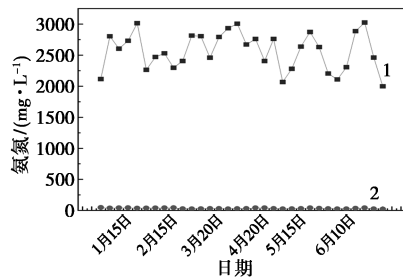
通过对 2024 年 1—6 月水处理系统的生产数据

进行分析,结合图 3 的水处理数据对比图,可以清晰地看到各项关键指标的变化情况。数据显示,出水

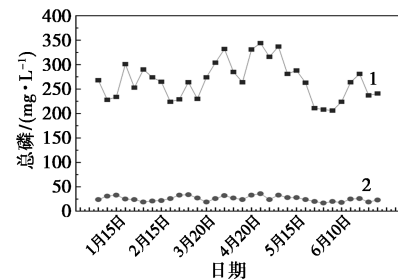
的COD含量始终保持在500 mg/L以下,氨氮含量在50 mg/L以下,总磷含量在40 mg/L以下,SS浓度控制在200 mg/L以下,表明工艺系统在各项污染物的处理上达到了既定的排放标准。



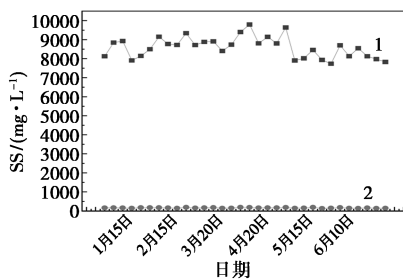
(a) 进出水 COD



(b) 进出水氨氮



(c) 进出水总磷



(d) 进出水 SS

1—进水;2—出水

图3 水处理数据对比图

3.2 经济效益

延吉餐厨项目经过工艺优化后,整体经济效益显著提升,餐厨垃圾收益增加了30%以上。具体来看,2023年1—6月,平均餐厨垃圾产油率为2.8%,平均餐厨垃圾产渣率为34.7%。技改优化后,2024年1—6月,平均餐厨垃圾产油率提高至4.8%,平均

餐厨垃圾产渣率为10.2%,意味着每吨餐厨垃圾增加20 kg油脂,每吨餐厨减渣约245 kg。以上数据表明,延吉项目通过工艺优化,项目不仅在经济效益上有了显著提升,还在资源利用方面也取得了进步。产油率的提高和无机渣料的减少,意味着更多的资源得到了有效利用,同时减少了废弃物的处置压力。具体工艺优化后餐厨废弃物对比见表4。

表4 2023与2024上半年餐厨废弃物收运比例分析表

日期	工业粗油脂	无机渣	污水	污泥
2023年1—6月	2.8	34.7	56.1	6.4
2024年1—6月	4.8	10.2	79.4	5.6

3.3 存在问题

3.3.1 预处理阶段

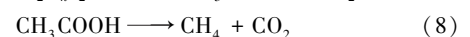
延吉地区餐厨垃圾种类繁多,贝壳类、骨头等硬质杂物较多,导致预处理阶段机器设备磨损较为严重,设备故障率较高。此外,餐厨垃圾分类不到位,像衣服、麻袋等生活垃圾常常混入餐厨垃圾中,在预处理过程中缠绕设备,进一步加剧设备的损坏和故障率。这些问题不仅影响了垃圾处理的效率,也增加了运营成本和维护难度。

针对这些问题,首先项目在技改中对预处理工艺进行优化升级,通过引入双轴破碎机和分选制浆机,高效分离硬质杂物,减少对后续处理设备的损害。在设备运行过程中,加强设备巡查和清洁维护措施,每周对关键设备进行彻底清掏防止堵塞。建立严格的设备巡查制度,定期检查设备的运行状态,及时发现和处理潜在问题。制定设备的预防性维护计划,定期对设备进行保养和维修,更换磨损的零部件,确保设备长期稳定运行。

3.3.2 厌氧系统

(1) 高含油量

在厌氧消化条件下,油脂类化合物在水解酶和各类胞外酶的作用下被分解为长链脂肪酸(LCFA)和甘油^[15]。甘油在糖酵解的作用下直接分为挥发性脂肪酸,在产氢产乙酸菌的作用下分解成乙酸和氢气。而LCFA在产乙酸菌的作用下通过 β -氧化降解为乙酸和氢^[16],最终在产甲烷菌的作用下分解成甲烷和水。废弃油脂在厌氧过程中的降解化学式如下:



LCFA 由于容易被吸附在微生物表面,阻碍可溶性有机物与细胞之间进行物质传递,可溶性中间体无法进行细胞分解,产酸菌和产甲烷菌的活性会受到抑制,最终导致厌氧反应效率大大降低^[17]。因此,油脂的提取对厌氧反应尤为重要,低油脂含量的浆料进入厌氧系统才能保证后续设备平稳运行。

本项目前端工艺采用“破碎+分选制浆+湿解+三相分离”的处理模式,餐厨垃圾提油率为 4.8%,油脂回收率达到 90% 以上。在后续的厌氧技改中,会再投入有效容积 380 m³ 的 UASB 厌氧反应罐参与反应,有效缓解厌氧段压力,避免油脂超负荷进入厌氧系统。

(2) 酸化问题

餐厨垃圾中含有大量的有机物,有机物在厌氧消化过程中会被厌氧菌群水解成挥发性脂肪酸(VFAs)^[18]。当 VFAs 的生成速度超过产甲烷菌的分解速度时,罐内的 pH 会迅速下降,导致酸化现象产生。酸化现象会抑制产甲烷菌的活性,降低甲烷产量,并导致有机物的积累,影响厌氧系统的效率和稳定性。

本项目为了保证厌氧系统平稳运行,采取了一系列措施防止和控制酸化现象。首先,在每日厌氧进料前,对浆料进行 pH 检测,保证 pH 符合进料标准,维持在适宜的 pH 范围内。其次,为了防止进料后 pH 的潜在波动,在进料后也会保证 2 次 pH 测定,通过调整进料量,确保厌氧系统平稳运行。在后续的技改中,计划对厌氧系统引入自动化监测和调节设备,优化厌氧系统的整体效率。

4 结语

延吉餐厨项目是延吉市作为国家第二批餐厨废弃物资源化利用和无害化处理试点城市的具体实施项目。该项目于 2023 年 11 月完成预处理车间的工艺升级改造,改造后餐厨垃圾产油率提高至 4.8%,餐厨垃圾产渣率降低为 10.2%,沼渣含水率降至 65%。

延吉项目采用了先进的监控和管理系统,包括建立餐厨垃圾收运平台,配备监控和称重系统的收运车辆,以及带有定位和称重芯片的垃圾桶,实现了全流程智能化管理,极大提高了运营效率和环保效益。同时,项目还加强了对地沟油及煎炸油市场的开发监管,防止劣质油回流到居民餐桌,对居民健康造成危害。

延吉餐厨项目有效缓解了延吉市餐厨垃圾带来

的污染问题,不仅助力延吉市成功建设“旅游城市”,也为其他城市提供了宝贵的经验和可借鉴的模式。未来,延吉餐厨项目将继续优化处理工艺,提升管理水平,致力于成为全国餐厨废弃物处理和资源化利用的标杆项目,为推动绿色环保事业做出更大贡献。

参考文献

- [1] 史东晓,汤晓艳,陆祥昕,等.餐厨垃圾有机残渣资源化利用方式比较研究——以常州市餐厨废弃物综合处置项目(一期)为例[J].环境卫生工程,2022,30(5):55-59,66.
- [2] 张晟义,谢亚红,刘思明.中国主要城市餐厨垃圾处理:现状、问题与对策[J].兵团党校学报,2023,(1):98-103.
- [3] 邴君妍,罗恩华,金宜英,等.中国餐厨垃圾资源化利用系统建设现状研究[J].环境科学与管理,2018,43(4):39-43.
- [4] 任海静,马一祎,王攀.我国城市餐厨垃圾处理与再生利用技术发展分析[J].建设科技,2021,(17):26-30.
- [5] 金丽君.延吉市城市生活垃圾分类回收问题研究[D].延吉:延边大学,2019.
- [6] 池永亮,刘锡尧.餐厨垃圾高温堆肥原料预处理优化研究[J].现代农业科技,2023,(9):154-158.
- [7] 褚祺,丁乃初,宦兆军,等.国内餐厨及厨余垃圾处理工艺综述[J].广东化工,2023,50(22):103-105,150.
- [8] 唐建恒,许传阳,许晴,等.餐厨垃圾水热制肥研究[J].应用化工,2023,52(4):1121-1125.
- [9] 许凤智.基于水热法的餐厨垃圾资源化方式及产业化研究[D].焦作:河南理工大学,2022.
- [10] Agrawal A, Chaudhari P K, Ghosh P. Hydrolysis of the kitchen waste through dry anaerobic digestion-A sustainable environmental practice for its effective management[M].Research Square, 2021.
- [11] 潘翔,张铭,张焦,等.餐厨垃圾厌氧处理技术研究进展[J].广东化工,2024,51(5):113-115.
- [12] 侯盾,周夏海.生物+同步再生干法脱硫在沼气处理中的应用[J].中国给水排水,2022,38(14):25-32.
- [13] 宫亚斌,陈智远,姚建刚,等.200 t/d 餐厨垃圾厌氧产沼工程调试与运行分析[J].可再生能源,2017,35(10):1443-1447.
- [14] 唐朝勇,闫飞飞,练以诚,等.常温干法脱硫剂研究进展与展望[J].低碳化学与化工,2024,49(10):56-65.
- [15] 郝梓雯,吴丽杰,吕永康.厌氧消化含油脂废物的抑制缓解技术研究进展[J].环境污染与防治,2022,44(9):1241-1247.
- [16] Weng C, Jeris J S. Biochemical mechanisms in the methane fermentation of glutamic and oleic acids[J]. Water Research, 1976, 10(1):9-18.
- [17] Elsamadony M, Mostafa A, Fujii M, et al. Advances towards understanding long chain fatty acids-induced inhibition and overcoming strategies for efficient anaerobic digestion process[J]. Water Research, 2021, 190:116732.
- [18] Nikitina A A, Ermoshin A A, Zhuravleva E A, et al. Application of polyacrylamide flocculant for stabilization of anaerobic digestion under conditions of excessive accumulation of volatile fatty acids[J]. Applied Sciences, 2020, 11(1):100. ■