

城镇给排水工程设计案例专栏

赵兴兴. 某市政污水与餐厨垃圾协同处理工程设计[J]. 净水技术, 2022, 41(7):138-143.

ZHAO X X. Engineering design of joint facility construction for municipal wastewater and food waste treatment [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(7):138-143.

扫我试试?

某市政污水与餐厨垃圾协同处理工程设计

赵兴兴

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要 原苏州市某污水处理厂是一座处理规模为 2 万 m^3/d 的市政污水处理厂, 本次工程设计方案考虑利用厂区预留用地, 将市政污水处理规模扩建至 4 万 m^3/d , 并同时新建一组处理规模为 200 t/d 的餐厨垃圾处理单元。通过市政污泥与餐厨垃圾混合厌氧消化提高了系统运行稳定性, 厌氧消化产生的沼气经发电回用大大减少全厂运行电耗, 厌氧消化产生的沼液在预处理后依托市政污水处理部分指标达到地表Ⅳ类水标准(TN 除外), 市政污水处理后的尾水作为再生水回用于餐厨垃圾处理。两者合建实现了优势互补, 可提高土地利用率、节省工程总投资、降低运行成本, 可作为有机废弃物处理工程建设的推荐模式。

关键词 市政污水处理 餐厨垃圾处理 合建工程 沼气发电 尾水利用

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2022)07-0138-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.07.020

Engineering Design of Joint Facility Construction for Municipal Wastewater and Food Waste Treatment

ZHAO Xingxing

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract A wastewater treatment plant (WWTP) in Suzhou City is a municipal WWTP with treatment scale of 20 000 m^3/d . The reserved land of the plant is considered to expand the municipal wastewater treatment scale to 40 000 m^3/d , as well as construct a food waste treatment unit with 200 t/d treatment scale. The operation stability of system is raised by the anaerobic digestion of mixture of municipal sludge and food waste. The operation power consumption of plant is highly reduced by the reclamation of biogas power generation by anaerobic digestion. Part indices of the effluent of biogas slurry is up to surface water class IV water standard (except TN) by the enhanced treatment of municipal wastewater unit after pre-treatment. The tail water of municipal wastewater treatment unit can be reused for the food waste treatment. The joint construction can reinforce complementary advantages. The land use capability can be improved, the project investment can be saved, and the operating costs can be reduced. It can be recommended as the construction mode of organic waste treatment.

Keywords municipal wastewater treatment food waste treatment joint facility construction biogas power generation tail water reuse

目前,我国市政污水处理行业已较为成熟,截至

2020 年 1 月,全国共有超过 10 000 座污水处理厂,处理能力超过 22 000 万 m^3/d ,出水标准多为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 或一级 B 标准。近年来,随着水环境治理工作

[收稿日期] 2021-05-05

[作者简介] 赵兴兴(1987—),男,工程师,主要从事污水处理工作, E-mail:28249082@qq.com。

的大力开展,各地陆续颁布地方污水排放新标准,部分市政污水处理厂出水标准已提升至接近地表Ⅳ类水标准,占比约为 7%。一方面,为达到较高的排放标准,市政污水处理工艺日趋复杂,电耗不断提高,其能源消耗的影响降低了水污染治理产生的环境效益;另一方面,市政污水处理后较高品质的尾水资源化回收利用程度较低,造成了大量的资源浪费。

目前,我国餐厨垃圾处理正处于快速发展阶段,预估全国已投运的餐厨垃圾处置项目已达到 3 万 t/d,但与理论产生量(约 9 万 t/d)相比,仍有较大缺口。由于餐厨垃圾有机质含量高,将其资源化利用是处理的必然选择,餐厨垃圾资源化处理主要有 3 种模式:厌氧发酵、好氧堆肥、饲料化。据统计,“预处理+厌氧发酵”技术为国内餐厨垃圾处置的主流技术;微生物好氧发酵技术、好氧堆肥技术、饲料化等因占地面积大、资源化产品销路问题、同源性污染问题等而较少被采用。受制于国人的饮食习惯,国内餐厨垃圾盐分高、含油量大,可能会对厌氧微生物有一定抑制作用,影响系统的运行稳定性,降低资源回收效率。而厌氧消化后的剩余沼液污染物浓度高、处理难度大,成为影响餐厨处理项目获得环保审批的重要因素之一。

随着市政用地越发紧张,处理单元的高度集约化布置已成趋势,有必要打破污水系统和环卫系统的部门壁垒,探索市政污水处理、餐厨垃圾处理等环保行业新建思路。

目前,国内已有将诸如餐厨垃圾、市政污泥、市

政污水等有机废弃物处理单元建设在一起的案例,如镇江餐厨废弃物处理工程建设在京口污水处理厂内^[1];苏州工业园区将餐厨垃圾处理、市政污水处理、市政污泥干化焚烧处理,并集中建设在园区静脉产业园内^[2]。但上述工程的建设并未提前统一布局,不同处理单元建设属于不同工程,基本为独立建设,其中市政污水处理出水标准均为一级 A 标准,总体上有机废弃物协同处理、高品质资源回收利用的布局并未完全形成。

1 项目背景

苏州市某污水处理厂是一座市政污水处理厂,现状处理规模为 2 万 m³/d。本次工程在现状 2 万 m³/d 出水达到一级 A 标准基础上改扩建达到 4 万 m³/d,尾水排放全面达到苏州特别排放限值(相当于地表Ⅳ类水标准,TN 除外)。餐厨垃圾处理单元考虑利用污水处理厂预留地建设,处理对象为餐馆、饭店、单位食堂等产生的餐饮垃圾,处理规模为 200 t/d。本工程为国内首个集高标准市政污水处理与餐厨垃圾处理于一体的有机废弃物处理项目,项目已于 2020 年开工建设。通过市政污水处理单元与餐厨垃圾处理单元合建,旨在将两者处理后产生的优质资源充分回收利用,减少污染物排放的同时节省用地,降低处理成本。

2 工艺流程

2.1 市政污水处理单元

本次工程市政污水处理单元设计进出水水质如表 1 所示。

表 1 设计进出水水质
Tab. 1 Designed Water Quality of Influent and Effluent

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)
进水	≤320	≤180	≤180	≤50	≤40.0	≤5.0
出水	≤30	≤10	≤10	≤10	≤1.5	≤0.3

由于进水 TN 较高,为了提高脱氮的效果,生化池采用多级多段 AO 工艺,深度处理采用混凝反应沉淀池以强化化学除磷作用,确保出水 TP 达标,末

端采用砂滤池深度去除水中 SS。消毒工艺采用次氯酸钠消毒,消毒后尾水可作为再生水回收利用。工艺流程如图 1 所示。



图 1 市政污水处理工艺流程

Fig. 1 Treatment Process of Municipal Wastewater

2.2 餐厨垃圾处理单元

由于本工程占地面积小,距离居民区较近,厂界敏感性高,主体工艺采用工艺可靠、环境风险小的厌氧消化工艺。且由于餐厨垃圾中有机质成分较高,消化的沼渣经脱水至含水率为 80%左右,送至附近

污泥干化厂干化后再送至电厂协同焚烧处理。厌氧消化产生的沼气可作为能源回收利用,沼液经预处理后进入市政污水处理单元进一步处理排放。总体工艺流程如图 2 所示。

餐厨垃圾处理单元子系统众多,包括餐厨垃圾

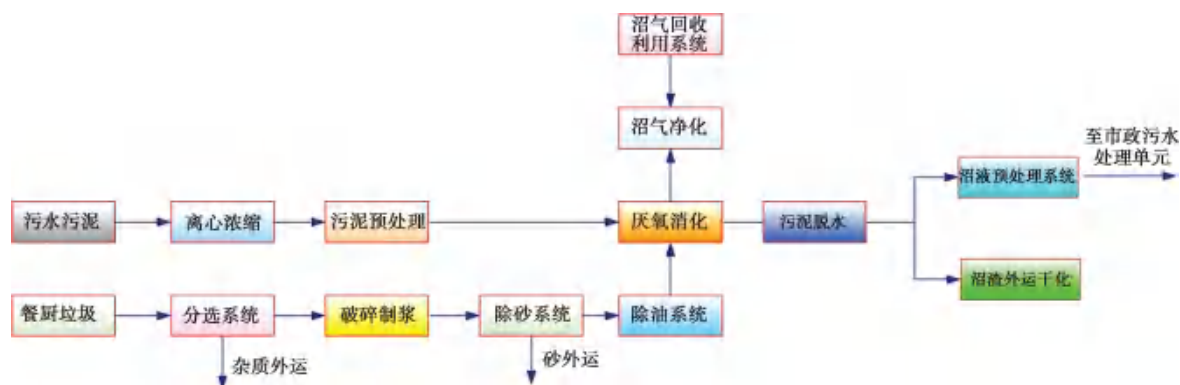


图 2 餐厨处理工艺流程

Fig. 2 Treatment Process of Food Waste

预处理系统、厌氧消化系统、沼气处理及回收利用系统、沼渣脱水系统、沼液预处理系统。

3 总平面布置

餐厨垃圾处理单元和污水处理单元利用厂区东侧预留用地,并拆除现状部分建构筑物,总用地面积仅为 24 500 m²。由于用地较小,所有建构筑物尽量合建(图 3)。

餐厨垃圾预处理车间:按照工艺流程的顺序,保证预处理工艺流程和物料输送畅通,并具有良好的通风和采光条件。

厌氧消化区^[3]:主要包括厌氧消化系统、沼气贮柜、沼气处理系统、余气燃烧塔等。厌氧消化区涉及防火防爆问题,需远离其他构(建)筑物布置。

锅炉房:根据规范要求,锅炉房为独立建筑物,用于沼气回收利用。

污水处理区:沼渣脱水产生的上清沼液经预处理基本达到纳管标准,接着送入市政污水处理单元。沼液预处理水池与市政污水处理系统合建。

辅助用房:除臭系统、沼液预处理设备、沼渣脱水系统集中布置在辅助车间内。

4 设计特点

4.1 餐厨垃圾和市政污泥协同厌氧消化

餐厨垃圾中有机质含量高,具有很好的厌氧消化产甲烷潜能,但餐厨垃圾中盐分较高,单独厌氧消

化过程中容易发生酸抑制和氨氮抑制现象,造成消化过程进行缓慢,甚至导致启动运行失败。市政污水处理产生的污泥有机质含量较低,单独厌氧消化普遍存在 C/N 偏低、产气率低的问题,但市政污泥中含有丰富的微生物种群和较高的碱度,有利于提高厌氧消化系统的处理效率和运行稳定性。两者混合厌氧消化能够稀释盐分浓度^[4],促进物料的营养平衡,提高消化池的容积利用效率,获得更高的单位体积进料产气量。

本工程餐厨浆料量约为 16 788 kg DS/d,挥发性固体含量为 90%,含水率为 90.3%;市政污水处理产生剩余污泥量约为 7 118 kg DS/d,挥发性固体含量为 50%,含水率为 99.2%。市政污泥经浓缩至含水率为 90%后,与餐厨浆料混合进入消化池^[5]。

本工程采用中温厌氧消化工艺,消化温度为 33~35 ℃。根据处理规模,考虑工艺安全性,配置 2 座 CSTR 厌氧消化罐。挥发性固体容积负荷为 1.2 kg VSS/(m³·d),消化时间约为 50 d,投配率为 2%,消化罐总容积为 15 960 m³。

4.2 沼气回收利用

餐厨垃圾挥发性固体消化去除率约为 80%,市政污泥挥发性固体消化去除率约为 40%,沼气产率取 0.8 m³/(kg VS),厌氧消化可产生沼气体积约为 10 808 Nm³(参考热值为 21 520 kJ/Nm³),餐厨垃圾

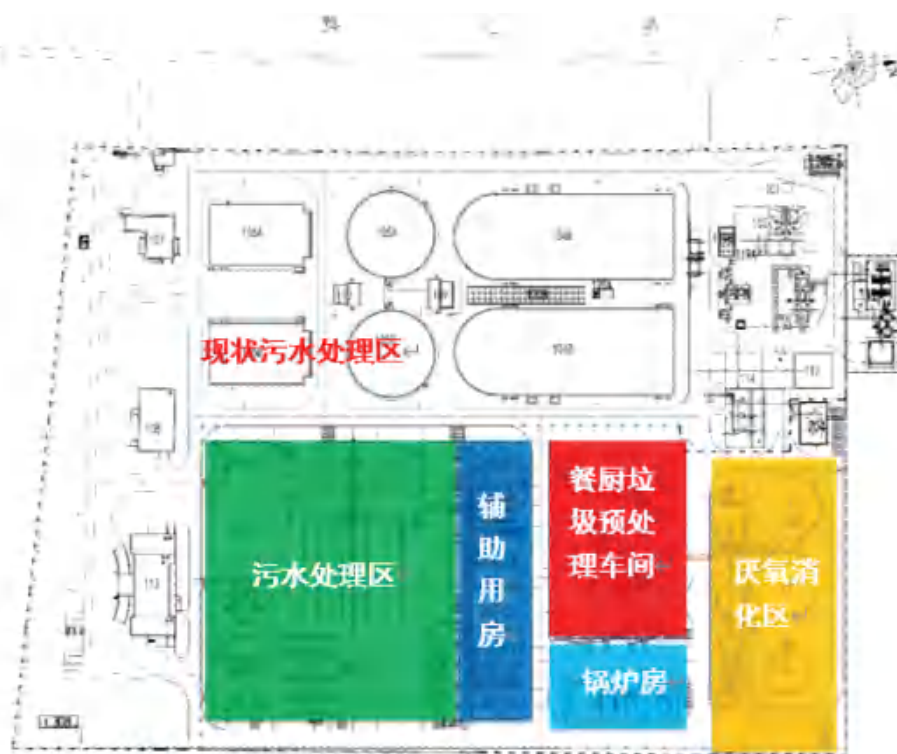


图3 厂区总平面布置

Fig. 3 General Layout of the Plant

处理单元每天用电量约为 $10\,437.00\text{ kW}\cdot\text{h}$, 沼气发电量按照 $2.10\text{ kW}/\text{Nm}^3$ 考虑, 消耗沼气体积为 $4\,970\text{ Nm}^3$ 。经理论计算, 200 t 餐厨垃圾除杂后剩余约 175 t , 从 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 加热至 $75\text{ }^\circ\text{C}$ 需 $4.3\times 10^6\text{ kJ}$ 的能量 (换热效率按照 95% 考虑), 须消耗约 $1\,970.76\text{ Nm}^3$ 的沼气。

因此, 沼气在供给餐厨垃圾处理加热和发电能源后, 理论上每天仍有 $3\,867.24\text{ Nm}^3$ 剩余, 而本工程 $4\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 市政污水处理每天用电量约为 $17\,959.50\text{ kW}\cdot\text{h}$, 剩余沼气可产生 $8\,121.20\text{ kW}\cdot\text{h}$ 电量, 满足市政污水处理约 45.2% 的用电需求, 沼气回收利用可大大节省全厂电耗。

通过沼气资源回收利用, 可节约电耗为 $677.4\text{ 万 kW}\cdot\text{h}/\text{a}$, 相当于节约标煤 $2\,167.60\text{ t}$ [火电煤耗按 $320\text{ g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 计], 总体降低碳排放约 $1\,842.5\text{ t}/\text{a}$, 相当于减少温室效应二氧化碳 $6\,753.42\text{ t}/\text{a}$, 减排有害气体二氧化硫 $203.2\text{ t}/\text{a}$ 、氮氧化物 $101.60\text{ t}/\text{a}$ 。

4.3 沼液与市政污水混合高标准排放

餐厨垃圾和市政污泥厌氧消化后剩余沼液污染物浓度高, 处理难度大。本次工程沼液预处理采用

“气浮池+MBR生化系统+纳滤系统”。由于纳滤浓缩液中 COD_{Cr} 质量浓度可达到 $4\,000\sim 6\,000\text{ mg/L}$, 且大部分为难生物降解有机物, 本次工程中纳滤浓缩液采用“混凝沉淀预处理+中温 Fenton 催化氧化”组合工艺, 该组合工艺在处理垃圾膜滤浓缩液时取得较好效果^[6]。纳滤出水与处理后的浓缩液混合, 达到纳管标准后再进入市政污水处理单元, 根据现阶段市政污水量, 最不利工况为 $2\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的市政污水与 $250\text{ m}^3/\text{d}$ 的沼液混合, 混合后的水质情况如表 2 所示。

沼液经预处理后剩余成分基本属于较难降解物质, 但水质已达到较高排放标准, 与市政污水混合后对进水水质影响较小, 因此, 最终尾水排放要达到苏州特别排放限值要求无须再设置其他针对性处理工艺。

市政污水处理单元设生化池, $1\text{ 座 }2\text{ 组}$, 采用多级多段 AO 形式, 总停留时间为 21.0 h , 其中预缺氧段和厌氧段停留时间为 1.5 h , 缺氧段停留时间为 5.5 h , 好氧段停留时间为 10.0 h , 后缺氧段停留时间为 3.5 h , 脱气段停留时间为 0.5 h 。设计污泥质量浓度为 4 g/L , 污泥负荷为 $0.051\text{ kg BOD}_5/(\text{kg MLSS}\cdot\text{d})$,

表 2 市政污水与沼液混合水质

Tab. 2 Mixed Water Quality of Municipal Wastewater and Biogas Slurry

项目	进水量 $/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	COD_{Cr} $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	BOD_5 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	SS $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	TN $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	氨氮 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	TP $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
污水设计值	20 000	320.0	180.00	180.0	50.00	45.000	5.000
沼液设计值 ^[7]	250	18 000.0	6 000.00	5 000.0	4 000.00	3 000.000	150.000
沼液经过 MBR 处理后设计值	250	450.0	100.00	100.0	70.00	45.000	20.000
沼液经过 MBR 处理后混合值	20 250	322.0	179.00	179.0	50.00	45.000	5.200

总污泥龄为 21.8 d。设平流式二沉池,1 座 4 组,表面负荷为 $0.87 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,固体负荷为 $139.7 \text{ kg SS}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。设混凝沉淀池,1 座 2 组,内设机械混合区、机械絮凝区和斜管沉淀区,沉淀区表面负荷为 $14.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。设砂滤池,1 座 4 组,采用 V 型滤池,高峰滤速为 8.58 m/h 。

沼液预处理后与市政污水混合,经过市政污水强化处理,实现了高标准排放。

4.4 高品质尾水回用

餐厨垃圾处理过程中需要用到大量再生水,主

要用于餐厨垃圾浆料降温至中温厌氧消化合适温度、沼液预处理过程中冷却沼液,总用水量约为 $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。本工程市政污水处理后的尾水除 TN 外,其他水质指标达到Ⅳ类水标准,是优质的再生水源,用于餐厨垃圾处理可节省相关用水费用。

4.5 工程运行情况

工程于 2021 年底基本完成调试,已进入试运行阶段。目前,市政污水处理单元处理量为 $8\,000 \sim 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,单组或一半处理单元运行,经全流程处理后出水达到苏州特别排放限值(表 3)。

表 3 市政污水处理单元实际进出水水质

Tab. 3 Actual Quality of Influent and Effluent of Biogas Slurry Treatment Unit

项目	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{BOD}_5/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	SS/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	TN/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	TP/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
平均进水	264.3	94.90	184.7	29.70	23.000	2.310
平均出水	15.2	1.34	3.7	6.77	0.127	0.127

目前,平均运行电耗约为 $4\,260.00 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{d}$,混凝剂聚合氯化铝(PAC)(8%商品溶液)平均用量约为 $0.85 \text{ m}^3/\text{d}$,絮凝剂阴离子聚丙烯酰胺(PAM)粉末平均投加量约为 $6 \text{ kg}/\text{d}$ 。由于进水中 BOD_5 较低,须适量补充碳源确保出水 TN 达标,醋酸钠(20%商品溶液)平均投加量约为 $0.81 \text{ m}^3/\text{d}$ 。市政污水总平均处理量约为 $2.7 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,产生污泥量约为 $33.8 \text{ m}^3/\text{d}$ (90%含水率)

餐厨垃圾处理单元平均日处理量约为 $120 \text{ t}/\text{d}$,

经除杂处理后进入厌氧消化单元的平均浆料量约为 $75.2 \text{ m}^3/\text{d}$,含水率约为 87%。餐厨浆料与市政污泥进入厌氧消化后平均产气量约为 $5\,700 \text{ m}^3/\text{d}$,低于设计值,主要是餐厨垃圾进料中杂质较多,导致进入厌氧消化的浆料量低于预期。厌氧消化后平均剩余沼液量约为 $96.8 \text{ m}^3/\text{d}$,含固率约为 2.78%。脱水产生的平均沼渣量约为 $13.1 \text{ t}/\text{d}$ (80%含水率)。沼液处理单元平均处理量约为 $90.9 \text{ t}/\text{d}$,经全流程处理后进出水水质如表 4 所示。

表 4 沼液处理单元实际进出水水质

Tab. 4 Actual Quality of Influent and Effluent of Municipal Wastewater Treatment Unit

项目	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	SS/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	TN/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	TP/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
平均进水	6 247.8	7 915.6	1 746.50	1 633.900	30.800
平均出水	148.7	8.0	122.40	2.530	2.790

经气浮处理后,沼液中的 COD_{Cr} 质量浓度降低至 $2\,000 \text{ mg/L}$ 以下,对于沼液处理生化系统碳源严

重不足的问题,TN 主要依靠外加葡萄糖解决,葡萄糖粉末投加量约为 $1.51 \text{ t}/\text{d}$ 。餐厨垃圾处理单元总

体平均电耗约为 $7\,456.30\text{ kW}\cdot\text{h/d}$ 。市政污泥浓缩及沼渣脱水阶段 PAM 投加量约为 19.6 kg/d 。

根据目前沼气产量,每天平均约 $1\,100\text{ m}^3$ 的沼气用于产生蒸汽,剩余约 $4\,600\text{ m}^3$ 的沼气中,约 80% 用于发电,每天发电量约为 $7\,728.00\text{ kW}\cdot\text{h}$,用

于补贴生产电耗。

4.6 经济性分析

与分开单独建设相比,市政污水处理与餐厨垃圾处理单元合建具有节约工程投资和成本的优势,具体对比如表 5 所示。

表 5 市政污水处理单元和餐厨垃圾处理单元建设经济性对比
Tab. 5 Economic Comparison of Construction between Municipal Wastewater and Food Waste Treatment Units

项目		合建	分建
工程费用	市政污水处理单元/万元	15 338.98	15 972.01
	餐厨垃圾处理单元/万元	16 459.34	17 933.49
	合计/万元	31 798.32	33 905.50
单位处理成本	市政污水处理单元/(元· m^{-3})	1.90	2.25
	餐厨垃圾处理单元/(元· t^{-1})	284.24	302.37
经营成本	市政污水处理单元/(元· m^{-3})	1.12	1.33
	餐厨垃圾处理单元/(元· t^{-1})	139.70	146.73

5 结论

将诸如市政污水、餐厨垃圾等有机废弃物处理单元合建可有效提高土地利用率,节省工程总投资,降低运行成本,对于资源的回收利用可大大减少碳排放,在双碳背景下对环保行业起到了良好的示范作用,可作为有机废弃物处理工程推荐建设模式。

(1) 将市政污泥与餐厨垃圾混合厌氧消化调节发酵底物中的盐度和有机营养成分,维持系统微生物种群较高活性,有利于系统运行的稳定性。

(2) 餐厨垃圾处理产生的沼气经发电回用可大大减少全厂运行电耗,具有更好的经济效益,有效减少碳排放。

(3) 厌氧消化产生的沼液在预处理后可依托市政污水处理厂处理至较高标准,减少废水排放对环境的影响。

(4) 市政污水处理后尾水回用于餐厨垃圾处理,节省用水费用。

(5) 两者合建后,供配电、安防、交通等公辅单元共用,节省了相关费用。

现阶段垃圾分类工作已在全国多个城市开展,将市政污水、餐厨垃圾等有机废弃物处理单元合建建议结合垃圾分类实施情况论证,提高两者合建的经济效益和环境效益。

参考文献

- [1] 陈小华. 污泥和餐厨垃圾协同处理工程厌氧消化系统的启动调试[J]. 净水技术, 2018, 37(6): 94-98.
- [2] 张小妹. 循环经济产业园,解码垃圾处理的“园区模式”[J]. 现代苏州, 2019(18): 48-49.
- [3] 崔开放. 餐厨垃圾厌氧处理工程总图布局要点解析[J]. 广东化工, 2018, 45(7): 225-227.
- [4] 刘研萍, 王玮, 陈雪, 等. 盐分对餐厨垃圾厌氧消化的影响[J]. 中国沼气, 2016, 34(2): 55-59.
- [5] 葛元. 餐厨垃圾与城市剩余污泥混合厌氧发酵研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019.
- [6] 王云海, 张瑞娜, 楼紫阳, 等. Fenton 氧化处理垃圾膜滤浓缩液[J]. 环境化学, 2017, 36(5): 1104-1111.
- [7] 耿震, 王罕. 餐厨废弃物厌氧消化沼液处理工艺设计[J]. 中国给水排水, 2019, 35(22): 62-65.