

# 厨余垃圾干式厌氧发酵及发酵剩余物脱水工艺探讨

陈严华, 廖德荣, 曾 蒸, 柴福良, 况 前

(重庆市环卫集团有限公司, 重庆 401120)

**摘 要:**为降低厨余垃圾处理期间的脱水药剂使用量和脱水滤液悬浮物浓度,提高脱水系统运行稳定性,优化工艺经济效益,本文对厨余垃圾干式厌氧发酵技术主要工艺进行研究,针对厨余垃圾经过干式厌氧发酵后进入脱水系统的剩余发酵物浓度高、粘度大、重杂质多、细砂多等情况,结合案例提出厨余垃圾干式厌氧发酵技术优化措施,以期在保证工艺处理质量的前提下合理减少药剂使用量,增强整套工艺的经济效益和社会效益,推动厨余垃圾干式厌氧发酵剩余物脱水系统工艺的应用推广。

**关键词:**厨余垃圾;干式厌氧;发酵剩余物;脱水工艺

**中图分类号:**X799

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-7344(2022)44-0124-03

## 1 概况

2019年12月《生活垃圾分类标志》(GB/T 19095—2019)中生活垃圾分为可回收物、有害垃圾、厨余垃圾、其他垃圾等四大类。其中厨余垃圾是指人日常生活中丢弃的剩菜剩饭,包含家庭厨余垃圾和农副产品集贸市场产生的有机垃圾<sup>[1]</sup>,其成分和性质随地域、居民饮食习惯、季节的变化而变化,但总体上具有含水率高、有机质占比高、易生化降解等特点。随着居民生活水平的提高,厨余垃圾产生量也日益增大,厨余垃圾如不及时有效处理,则容易滋长病原微生物、霉菌毒素等有害物质。由于各类环境问题的突显,人们对生存环境要求越来越高,环境保护的意识越来越强,城市垃圾的处理直接影响到城市的人居环境,近些年,城市垃圾或废弃物的处理越来越受重视,而且分类越来越细化,尤其是针对城市垃圾中的有机部分的处理从处理处置政策上要求要实现资源化或能源化的利用。目前,城市有机垃圾主要分为餐饮垃圾、厨余垃圾,由于其来源和特性不同,因此在处理技术路线上也有差异。目前,厨余垃圾的处理方法主要有焚烧、填埋、好氧堆肥和厌氧消化等。厨余垃圾厌氧消化产沼气技术代表了目前主流发展方向,相对传统的好氧堆肥技术,厌氧消化主体反应于密闭环境中进行,环境影响相对较小,且其在国家政策的鼓励、对周边环境的影响及其最终产品的利用上都具有较大优势,从生态可持续发展高度出发,还能提供

清洁的可再生能源,从而实现垃圾的资源化处理和碳减排、碳中和,厨余垃圾处理工艺推荐采用厌氧消化技术。厌氧消化技术能够把垃圾转化为有用的资源,已经成为解决城市环境、能源和低碳绿色问题的研究热点。

厌氧消化技术可以广泛地利用农业有机垃圾,餐厨(厨余)垃圾和城市市政污泥等各种生物质废弃物。从资源利用方面,厌氧消化技术的产物即沼气可以作为一种环保、清洁的可再生能源,沼气作为生物质能源用于生产和生活中,作为清洁能源的补充,符合国家循环经济产业政策,发酵剩余物可作为有机肥料,用来缓解日益紧张的能源危机<sup>[2]</sup>。所以,厌氧消化技术处理城市有机固体废弃物已经受到国外发达国家的青睐<sup>[3]</sup>。此外,厌氧消化技术凭借其资源回收率高、能耗低、工艺成熟等优势成为当前应用最广泛的处理技术,特别是欧洲国家已经应用了近四十年,从处理有机废弃物方面,厌氧消化技术是厨余垃圾等有机废弃物“减量化、无害化、资源化”有效的方式之一。厌氧消化技术主要分为干式厌氧和湿式厌氧消化技术。

干式厌氧消化技术是指固体浓度TS达到20%~30%<sup>[4]</sup>为原料,没有或几乎没有自由流动水的条件下进行的有机质进行厌氧产沼气的一种工艺<sup>[5]</sup>,是一种优异的有机固废循环利用的方法。在欧洲,干式厌氧发酵工程数量比湿式厌氧发酵工程较多,其中干式厌氧发酵工艺约占54%,且逐步增多<sup>[6]</sup>,而干式厌氧发酵技术在

国内应用时间不长<sup>[7]</sup>。程序<sup>[8]</sup>等对我国城市有机固体废弃物、农业有机废弃物和有机废水的沼气开发潜力进行估算,沼气产量巨大。

干式厌氧发酵技术主要工艺为进料系统+干式厌氧发酵系统+脱水系统。干式厌氧发酵剩余物经脱水系统后的脱水滤液设计上一般进入污水系统处理,但在实践中运行中发现,经脱水系统处理后的脱水滤液具有高 COD,悬浮物含量高以及絮凝剂用量大的问题,对后续的污水处理系统要求较高,经济性较差。本文简介了一种厨余垃圾干式厌氧发酵及发酵剩余物脱水系统工艺,能够提高脱水效率和改善水质,系统运行更加稳定,经济性较好。

## 2 厨余垃圾干式厌氧发酵技术相关概述

### 2.1 概念

根据投入原料或发酵罐内固形物干燥质量换算浓度(TS 浓度),厌氧发酵大致可以分为湿式(投入 TS 浓度小于 15%,发酵罐中 TS 浓度小于 8%)和干式(投入 TS 浓度大于 15%,发酵罐中 TS 浓度大于 10%)。干式厌氧发酵是适用于固形物浓度极高的有机物处理技术。干式厌氧发酵运用中重要的是选择有合适含水率的固体有机物作为原料,并且在运行时需要将原料水分控制在一定范围,合适 TS 范围一般在 15%~45%。采用干式厌氧发酵制气等多元化工工艺来处理高含固率较高的厨余垃圾、市政污泥等城市有机固体废弃物,将提高城市有机固废垃圾的处理效率,同时提高沼气总产量。

### 2.2 干式厌氧发酵的优点

干式厌氧发酵工艺可以降低厨余垃圾预处理的要求,可以容忍一定数量的杂质,可以接收多种类型的有机垃圾,处理范围广,不易造成工艺故障,比如沉淀、浮渣、堵料等,从而保证生产的连续稳定。有机物处理过程中含固量高,有机质降解率高,厌氧发酵罐体积减少 50%以上,占地面积少,具有容积产气率高、节约用水等优点,从而提高厨余垃圾的资源化利用率。而且,高温干式厌氧发酵工艺可以有效消杀沼渣中的虫卵和病原体,提高了后端沼渣堆肥的卫生化、无害化水平。

### 2.3 国内干式厌氧案例

#### 2.3.1 厦门某项目 BRV 干式厌氧消化工艺

处理规模:500t 生活垃圾/日,其中干式厌氧系统进料量为 150t/d。工艺简述:原始生活垃圾进入垃圾分拣线,经过破袋和人工预分拣后进行滚筒筛进行筛分;筛上物再经过弹跳、光电分选、磁选后将可回收物进行回

收,其余垃圾进入焚烧系统进行焚烧处理;筛下物经人工分拣去除干扰物后,磁选、破碎、小于 55mm 的物料然后进入储料设施进行沥水,然后经过螺旋输送机送至干式厌氧发酵系统;消化残余物经过螺杆压缩脱水机进行初步脱水,脱水后的沼渣进行好氧发酵利用、污水外排;产生的沼气进行发电。设计沼气产量:16500m<sup>3</sup>/d,即 688m<sup>3</sup>/h。消化温度:55℃。设计容积负荷:6.63kgTS/(m<sup>3</sup>有效容积·d)。设计停留时间:25d。工艺流程如图 1 所示。

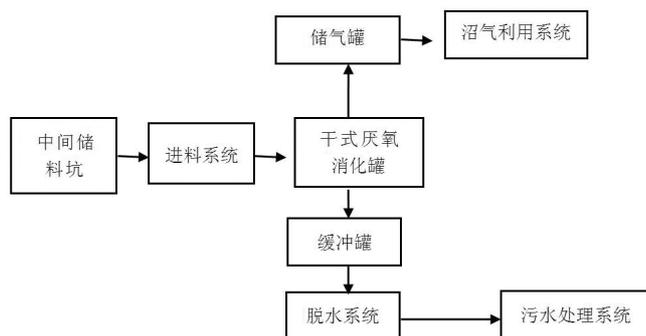


图 1 厦门某项目干式厌氧消化工艺流程

#### 2.3.2 北京某项目 valorga 干式厌氧消化工艺

处理规模:680t 生活垃圾/d。工艺简述:生活垃圾经分选预处理后,有机垃圾进入干式厌氧发酵罐,厌氧消化产生的沼气供生物气发电机发电,并利用余热产生蒸汽供消化物料加热使用,发电产生的电能并网。消化残余物经脱水后送转运区。设计沼气产量:70535m<sup>3</sup>/d,即 2939m<sup>3</sup>/h。消化温度:55℃。设计容积负荷:5.5kgVTS/(m<sup>3</sup>有效容积·d)。设计停留时间:≥20d。

#### 2.3.3 杭州某项目 DRANCO 干式厌氧消化工艺

处理规模:200t 厨余垃圾/日。工艺简述:厨余垃圾经受料斗接料+板式给料机输送+人工手选+磁选+生物质分离器+塑料及纸张打包外卖的全量化预处理后,有机质输送至干式厌氧发酵产沼气系统。沼气湿法脱硫后,在满足本厂用热后的富余沼气送至填埋场沼气发电机组发电。沼渣采用二级旋流除砂+板框脱水工艺脱水后填埋。脱水后的污水经过混凝沉淀后通过管道输送至填埋场调蓄池。设计沼气产量:16000m<sup>3</sup>/d,即 667m<sup>3</sup>/h。消化温度:53℃。设计容积负荷:4.3kgTS/(m<sup>3</sup>有效容积·d)。设计停留时间:26d。设计回流比:8:1(湿基比)。

## 3 脱水系统工艺

厨余垃圾干式厌氧剩余发酵物脱水工艺包括依次连接的挤压脱水装置、压滤脱水装置、除砂装置和离心

脱水装置,挤压脱水装置的进料口与干式厌氧消化罐出料口的泵连接,泵输送进入挤压脱水装置,挤压脱水装置的液相进入压滤脱水装置,压滤脱水装置的液相进入离心脱水装置,在挤压脱水装置、压滤脱水装置和除砂系统的固相用螺旋统一接收后外运填埋或焚烧处置,离心脱水装置的固相进行堆肥处理,离心脱水装置的脱水滤液进入污水处理系统。工艺流程图如图2所示。

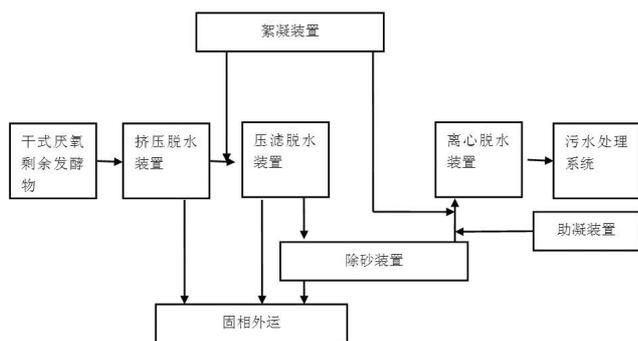


图2 脱水系统工艺流程

(1)厨余垃圾干式厌氧剩余发酵物脱水工艺在进入压滤脱水装置前增加了絮凝装置,能够将细小的颗粒物絮凝后在进入压滤脱水装置,能够较大程度的使得进入离心脱水装置的含固率降低,提高去除效率。同时,经过絮凝并压滤脱水后的物料含固率和粘度将进一步降低,提高除砂系统的处理效率。

(2)厨余垃圾干式厌氧剩余发酵物脱水工艺在压滤脱水装置和离心脱水装置新增了除砂系统,除砂系统为两级旋流除砂装置,经过压滤脱水装置的物料通过泵输送至一级旋流除砂器和二级旋流除砂器,固相进入砂水分离器通过螺旋外运,液相通过泵送进入离心脱水装置。旋流除砂装置能够进一步的去除沼液中的浮渣,以减轻后续离心脱水装置的压力,提高离心脱水效率,保证离心脱水装置的稳定运行。

(3)厨余垃圾干式厌氧剩余发酵物脱水工艺在经过两级旋流除砂装置后新增加了助凝和絮凝装置,对助凝和絮凝配比有一定要求,助凝装置包括缓冲罐,在该缓冲罐上部设有进液管,下部设有出液管,出液管通过隔膜泵送至离心脱水装置进料管道。絮凝剂加注装置包括搅拌装置、螺杆泵和静态混合器,粉末状絮凝剂和自来水通过静态混合器均匀混合后泵输送至离心脱水装置管道,助凝剂、絮凝剂和经过除砂系统的物料共同进入离心脱水装置进行固液分离,助凝剂和絮凝剂进入管道位置需要充分考虑,保障三种物质混合均匀和絮凝完成,离心脱水装置还配置了增压给水装置,当

停机时候用自来水进行冲洗。增加的助凝和絮凝装置进一步提高了沼液中悬浮物的聚集沉淀,从而提高离心脱水装置的固液分离效率,使得处理后的沼液中悬浮物含量较低,降低对污水处理系统的要求。

#### 4 结语

根据目前国内厨余垃圾干式厌氧发酵至沼气工艺运行的实际情况,对干式厌氧发酵制气的工艺系统进行了介绍,对现有干式厌氧发酵剩余物的脱水系统工艺提出了优化方案建议,主要是起到了降低外排脱水滤液的悬浮物浓度,减少了絮凝剂和自来水的用量,对设备稳定运行能够起到一定的效果,但是该脱水系统工艺流程较长,后期需进一步研究脱水系统工艺,简化工艺流程,减少设备投资。

#### 参考文献

- [1] 崔文静,丁晓,陆敏博.厨余垃圾处理项目生化工艺设计分析[J].中国资源综合利用,2022(6):40-42.
- [2] 刘建伟,夏雪峰,葛振.城市有机固体废弃物干式厌氧发酵技术研究和应用进展[J].中国沼气,2015,33(4):10-17.
- [3] Weiland. Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany[J]. Engineering in Life Sciences, 2006, 6(3): 302-309.
- [4] D Bolzonella, L Innocenti, P Pavan, et al. Semi-dry thermophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste:focusing on the start-up phase [J]. Bioresource Technology, 2003(86): 123-129.
- [5] De Baere L. Anaerobic digestion of solid waste: State-of-the-art[J]. Water Science Technology, 2000, 41(3): 283-290.
- [6] Baere. Partial stream digestion of residual municipal solidwaste[J]. Water Science & Technology, 2008, 57(7): 1073-1077.
- [7] 李冰峰,张大雷.干式厌氧发酵技术现场与国内应用项目简介[J].可再生能源,2021,39(3):294-299.
- [8] 程序,梁近光,郑恒受,等.中国产业沼气的开发及其应用前景[J].农业工程学报,2010,26(5):1-6.

**基金项目:** 国家住房和城乡建设部城镇绿色技术创新专项(2021-K-126)及重庆市科技型企业技术创新与应用发展专项(cstc2021kqjscx-phxm0065)。

**作者简介:** 陈严华(1988—),男,汉族,重庆人,硕士研究生,工程师,主要从事有机固废垃圾资源化利用研究工作。