

热解气化技术在我国村镇生活垃圾处理的应用现状

叶美瀛¹, 陈王觅^{1,2}, 侯佳奇¹, 戴昕³, 李鸣晓¹, 孟繁华¹, 席北斗¹, 童英伟⁴

- (1. 中国环境科学研究院, 北京 100012;
2. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072;
3. 南京万德斯环保科技股份有限公司, 南京 211100;
4. 北京林美生态环境技术有限公司, 北京 102208)

摘要: 国家高度重视农村生态环境保护, 多举措全面推进村镇生活垃圾治理, 热解气化技术作为当前村镇垃圾处理模式的重要补充受到了广泛关注, 并建立了大量的工程实例。文章介绍了热解气化技术的原理、相关标准规范和工程应用现状等, 并对工程项目分布、数量情况进行了统计分析。通过检索调研, 2010—2021 年期间共实施 1 004 个生活垃圾热解气化处理项目, 主要集中在华南、西南和西北地区, 87.1% 的项目主要于“十三五”期间新增; 同时, 总结了已有热解气化工程项目特点及需要解决的问题, 以期为我国村镇生活垃圾处理提供借鉴与参考。

关键词: 村镇; 生活垃圾; 热解气化; 工程应用

中图分类号: X705; TK09

文献标志码: A

DOI: [10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022080017](https://doi.org/10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022080017)

Application status of pyrolysis and gasification technology in rural domestic waste treatment

YE Meiyang¹, CHEN Wangmi^{1,2}, HOU Jiaqi¹, DAI Xin³, LI Mingxiao¹, MENG Fanhua¹, XI Beidou¹, TONG Yingwei⁴
(1. Chinese Research Academy of Environment Sciences, Beijing 100012, China; 2. School of Environment Science & Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Nanjing Wondux Environment Protection Technology Co. Ltd., Nanjing 211100, China; 4. Beijing Linmei Ecological Environment Technology Co. Ltd., Beijing 102208, China)

Abstract: Our country attaches great importance to the protection of the rural ecological environment, and takes various measures to comprehensively promote the treatment of the rural domestic waste. Pyrolysis and gasification technology as an important supplement of the current rural waste treatment mode had attracted extensive attention, and a large number of engineering examples had been established. This paper summarized the principle, relevant standards and specifications and engineering application status of pyrolysis and gasification technology, and made a statistical analysis of the distribution and quantity of engineering projects. Through searching and survey, a total of 1,004 domestic waste pyrolysis and gasification treatment projects were implemented during 2010—2021, mainly in south, southwest and northwest of China. 87.1% of the projects were newly added during the "Thirteenth Five-Year Plan" period. At the same time, the characteristics of pyrolysis and gasification project and the problems that need to be solved were summarized, in order to provide a reference for the treatment of domestic waste in villages and towns in China.

Keywords: villages; domestic waste; pyrolysis and gasification; engineering applications

CLC number: X705; TK09

生活垃圾处理处置是提高人居环境质量, 关系民生福祉的重要工作。“十三五”期间, 各级管理部门积极推进生活垃圾处理设施建设并取得显著成

果, 全国城镇生活垃圾处理能力显著增强, 生活垃圾无害化处理率达 99.2%, 同时, 全面推进农村生活垃圾收运处置体系建设, 现已覆盖 90% 以上的行政

收稿日期: 2022-08-11

录用日期: 2022-09-16

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1100305; 2019YFC1903904)

作者简介: 叶美瀛(1990-), 男, 硕士、工程师。研究方向: 固废处理处置。E-mail: ymgau@sina.com

通信作者: 孟繁华(1979-), 男, 硕士、高级工程师。研究方向: 固废处理处置。E-mail: mfhappy@163.com

引用格式: 叶美瀛, 陈王觅, 侯佳奇, 等. 热解气化技术在我国村镇生活垃圾处理的应用现状[J]. 环境保护科学, 2023, 49(2): 31-37.

村^[1-2]。但当前村镇生活垃圾处理设施还存在处理能力不足、区域发展不平衡等问题,据《2020 年中国城乡建设统计年鉴》资料显示,截至 2020 年底,建制镇生活垃圾处理率 89.18%,无害化处理率 69.55%,乡生活垃圾处理率 78.60%,无害化处理率 48.66%,特别是部分西部及东北部等人口稀疏、位置偏远的村镇生活垃圾无害化处理率仍低于 30%,受经济条件、人口数量和运输条件等限制,这些地区尚未探索出与当地经济发展水平相适应的成熟高效、经济适用的垃圾处理模式^[3-4]。

当前,我国村镇生活垃圾处理模式包括就地就近集中处理、城乡一体化处理、分散式家庭处理和分散+城乡一体化处理 4 种模式,广泛采用的处理技术包括焚烧、卫生填埋、简易填埋和生物处理(好氧堆肥、厌氧发酵)等^[5]。这些处理技术在村镇垃圾处理的应用都存在局限,如垃圾焚烧要求处理规模足够,投资大;填埋技术占地面积大、选址难,渗滤液、填埋气等污染潜在危害较大;生物处理技术处理对象主要是易腐垃圾,无法处理塑料、织物等难降解物质,处理周期长。为了解决农村居住分散、基础设施滞后、运距远和垃圾运输处理成本高等问题,亟须发展分散生活垃圾就地或就近快速全量无害化减量处理技术。热解气化技术是对当前村镇生活垃圾处理模式的重要补充,可填补对偏远、分散和收运体系不能覆盖的农村垃圾的处置问题的空白,近年来备受瞩目。我国村镇生活垃圾处

理的工程应用案例逐年增加,可有效解决农村垃圾无害化处理的难题^[6-7]。本研究系统综述了当前热解气化技术的原理、标准规范和其在国内村镇生活垃圾处理工程中的应用现状,分析了现有热解气化技术在工程化推广过程中存在的问题及不足,以期为我国村镇生活垃圾处理提供借鉴与参考。

1 热解气化的原理

固体废物热解气化是指在缺氧、高温的条件下,固体废物中的有机组分与气化剂作用发生一系列脱附、裂解、氧化和还原等反应,将有机组分转化为混合可燃气、焦油和焦炭的过程^[8]。热解气化是一个复杂的物理化学变化过程,在高温条件下发生一系列多相连续吸热和放热反应,涉及化学反应众多且不固定。

固体废物热解气化主要的反应阶段,见图 1,在高温条件下,物料在反应器内进行的反应过程包括废弃物的干燥及热解与挥发物的燃烧气化、固体颗粒(半焦)与气化剂(氧气、水蒸气)间的反应、生成的气体(CO_2 、 H_2)与固体颗粒(半焦)间的反应、反应生成气体(CO_2 、 H_2 、 H_2O 和 CH_4)彼此间的反应、碳和氧的氧化反应等,生成可燃气体主要含 CO 、 H_2 、 CO_2 和 CH_4 等,焦炭、部分可燃挥发分气体和氧的燃烧氧化反应产生的热量为上述的干燥、热解和气化提供了热源^[9-10],其主要化学反应见表 1。

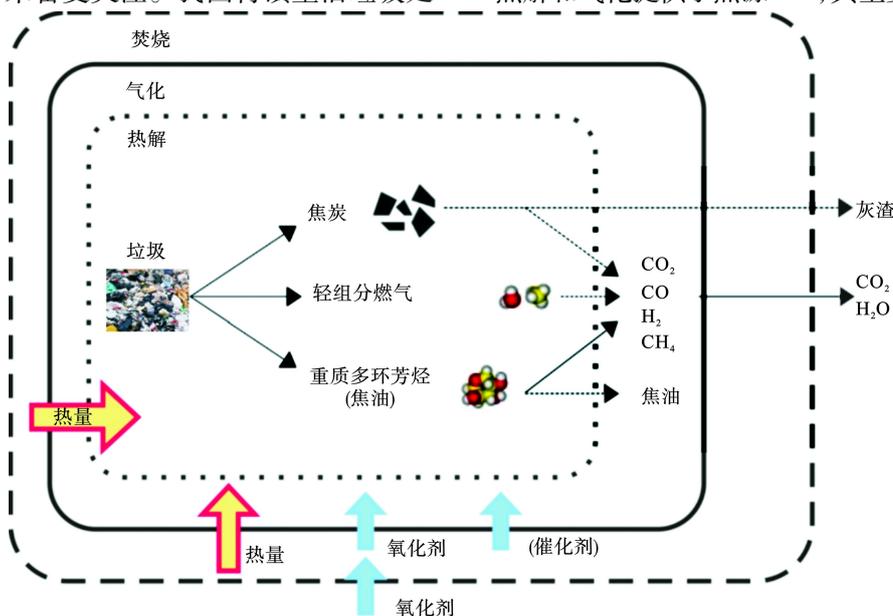


图 1 气化过程中热解、气化和焚烧阶段示意图

Fig. 1 The schematic diagram of pyrolysis, gasification and incineration stages in gasification process

表1 固体废弃物热解气化工艺主要的反应过程
Table 1 The main reaction processes of solid waste pyrolysis gasification process

反应内容	反应方程	摩尔生成焓	备注
氧化反应	$C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$	$-111 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	碳部分氧化
	$CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$	$-283 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	CO氧化
	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$-394 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	碳氧化
	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$	$-242 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	H ₂ 氧化
	$C_nH_m + \frac{n}{2} O_2 \rightarrow n CO + \frac{m}{2} H_2$	放热	C _n H _m 部分氧化
水蒸气参与的气化反应	$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	$+131 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	水煤气反应
	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	$-41 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	水气转化反应
	$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$	$+206 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	蒸汽甲烷转化
	$C_nH_m + n H_2O \leftrightarrow n CO + (n + \frac{m}{2}) H_2$	吸热	水蒸气转化
氢气参与的气化反应	$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$	$-75 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	加氢气化
	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	$-227 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	甲烷化
二氧化碳参与的气化反应	$C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$	$+172 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	Boudouard反应
	$C_nH_m + nCO_2 \leftrightarrow 2nCO + \frac{m}{2} H_2$	吸热	干气重整
焦油、碳氢化合物裂解反应	$pC_xH_y \rightarrow qC_nH_m + rH_2$	吸热	脱氢
	$C_nH_m \rightarrow nC + \frac{m}{2} H_2$	吸热	碳化

注：C_xH_y表示热裂解产生的大分子碳氢化合物，C_nH_m表示小分子碳氢化合物。

2 热解气化技术的类型

热解气化技术按照气化剂的不同,可分为空气气化、富氧气化、纯氧气化、水蒸气气化和空气(氧气)/水蒸气气化等,主要产物为CO、CO₂、H₂、CH₄和焦油。空气气化最为经济、简单,但燃气产物热值较低,品质较差;氧气气化(富氧气化和纯氧气化)可提升燃气品质,加快反应速率,但气化成本较高;水蒸气气化难以提供足够的热源,一般不单独使用,而是与氧气(或空气)气化联合采用,可产生较高组分的氢气和烷烃含量,燃气热值较高^[11]。根据反应器的不同,热解气化反应器可分为固定床、流化床和回转窑等^[12-13]。固定床气化炉最大优点是设备结构简单、造价低、运动部件少和操作简单,但同时存在炉内垃圾混合及传热效果差、单机处理较低等缺点;流化床气化炉具有优良的物料混合和温度均匀性,气固接触混合良好,具有物料适用性广、转化效率高和气化强度高优点,但其热

量利用率相对较低,且垃圾破碎前处理要求较高,对物料颗粒直径要求严格,工艺控制较为复杂;回转窑气化炉具有广泛物料适应性、控制方便及操作简单等优点,但其缺点是占地面积较大、热效率较低和处理能力低等^[9,12]。

目前,国内生活垃圾热解气化工程应用项目主要采用立式固定床气化炉^[14],见图2,该炉型具有设备结构简单、造价低和操作简单等优势,备受国内中小规模垃圾处置技术装备制造企业推崇。常见的炉型为上吸式固定床气化炉^[9],炉内从顶部到炉膛底部依次为干燥层、热解层、还原层、氧化层和灰室,垃圾依靠重力下行,在热解气化炉内裂解、氧化和还原等反应产生大量可燃气,并从炉体排出进入二燃室高温燃烧。大多数热解气化工艺采用空气作为气化介质,减少运行成本,但空气气化工艺产生的燃气由于含有大量N₂导致燃气质量品位较低。

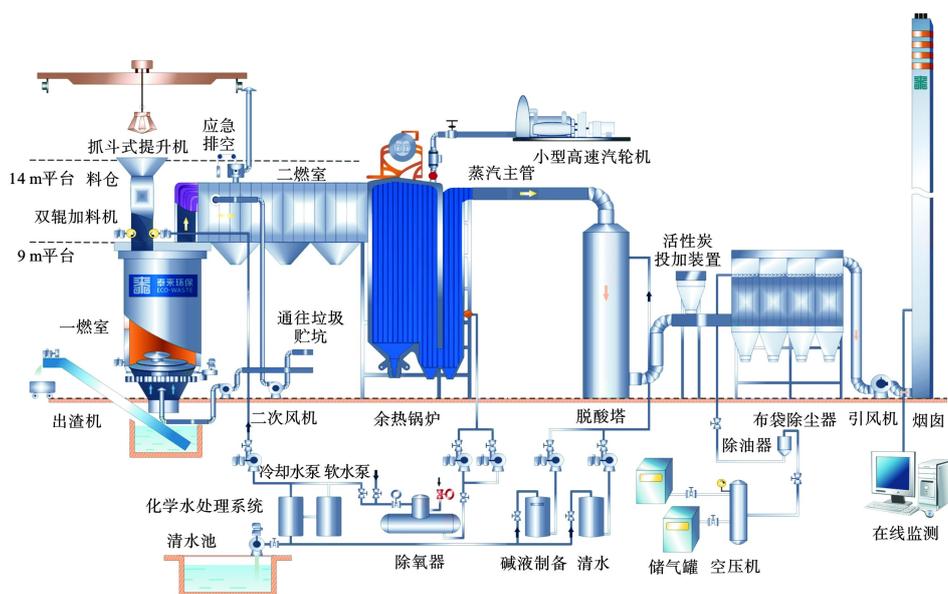


图 2 某企业立式旋转热解气化系统流程

Fig. 2 The flow chart of vertical rotary pyrolysis and gasification system of an enterprise

3 垃圾热解气化技术相关的标准规范

热解气化技术作为 21 世纪兴起的新型垃圾处理技术,在“十二五”“十三五”期间,国内垃圾热解气化工程应用案例逐年增多。随着技术的成熟,为了规范垃圾热解气化设备的设计、制造、安装、调试和验收等,国内近年来制定了一些标准规范文件,实现零的突破,如《垃圾裂化焚烧装置:GB/T 35251—2017》^[15]、《固体废物处理处置工程技术导则:HJ2035—2013》^[16]、《生活垃圾小型热解气化处理工程技术规范:DB63/T 1773—2020》^[17]、团标《有机固体废物热解气化处理装备技术规范:T/CAMIE 15—2020》^[18]和《有机固体废物热解处理工艺评价导则:T/CAEE 004—2021》^[19]。为了切实发挥标准规范引领作用,生活垃圾热解气化技术标准规范体系亟须建立完善。

GB/T 35251—2017 适用于 20~250 t/d 范围的垃圾裂化焚烧装置,要求垃圾低位热值大 >4.18 MJ/kg;DB63/T 1773—2020 适用于日处理量 ≤ 50 t、单条生产线日处理量 ≤ 25 t 的生活垃圾小型热解气化处理工程;T/CAMIE 15—2020 适用于单台处理能力 1~150 t/d(生活垃圾、农业固废和工业有机固废)的热解气化装备,有机固体废物要求低位热值宜 >4.18 MJ/kg,灰分含量宜 $\leq 25\%$,水分含量宜 $\leq 50\%$;HJ2035—2013 对有机固体废物热解处理的接收鉴别贮存系统、预处理和进料系统、热解系统、热解气体产物净化系统及冷凝分离系统等工艺环

节进行了指导。2021 年,为规范农村生活垃圾处理设施建设,云南省住房和城乡建设厅、生态环境厅结合云南省实际情况及实地调研,制定了《云南省农村生活垃圾处理技术指南(试行)》,规定了热解处理技术的适用性,热解处理工艺厂址选择、总体设计、处理环节设计要求、主要设备与材料、检测、过程控制与报警,污染控制及运行维护等方面内容提出了明确要求^[20]。

4 热解气化技术在我国生活垃圾处理工程的应用

4.1 典型垃圾热解气化处理工程应用案例

经过 10 多年的探索与实践,热解气化技术在国内垃圾处理应用得到快速发展,形成了一批具有核心技术装备的环保企业,并在我国县级、乡镇和农村生活垃圾处理中开展了大量的工程应用。列出了国内部分热解气化技术在垃圾处理工程的应用案例,见表 2。

按设备处理能力分类,单线处理能力 >50 t/d 的热解气化处理设备大多应用于县级或较大人口规模乡镇的生活垃圾处理,如龙游县生活垃圾热解净化项目、湖南麻阳苗族自治县岩门镇垃圾热解净化项目等;单线处理能力为 10~30 t/d 的热解气化处理设备主要应用于乡镇规模的垃圾处理,如北京市房山区张坊镇人民政府生活垃圾热解气化处理项目、浙江舟山市嵊泗县嵊山镇生活垃圾处理项

目、甘肃省甘沟镇生活垃圾处理项目、广西龙脊镇生活垃圾片区处理中心项目和云南东川垃圾无害化处理站项目等；单线处理能力 $<10\text{ t/d}$ 的热解气化处理设备主要应用于村级生活垃圾处理，在广西、云南、贵州、四川、甘肃、陕西、青海、内蒙古、辽宁、湖北、江西、湖南、浙江、广东和海南等省(自治区)当地农村地区皆有大量应用案例，其中广西、云南省(自治区)应用最多。炉型方面，主要有固定床、立式旋转炉和卧式回转炉等。

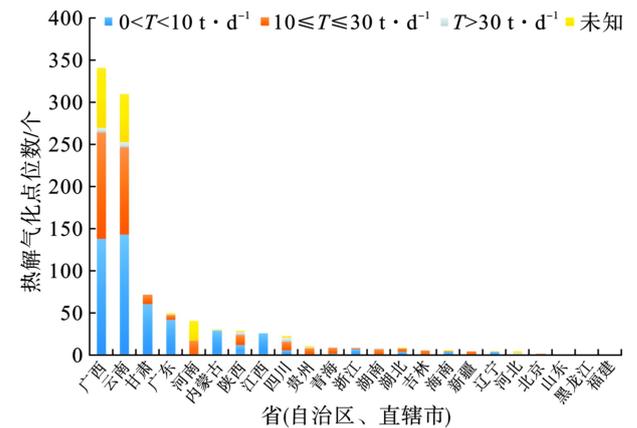
表 2 国内典型热解气化垃圾处理工程应用案例
Table 2 The typical application cases of domestic pyrolysis gasification waste treatment projects

省(自治区、直辖市)	项目名称	设计规模/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$	建设时间/a
浙江	龙游县生活垃圾热解气化处理项目	150×2	2016
湖南	麻阳苗族自治县岩门镇垃圾热解净化项目	60×2	2016
四川	九寨沟县生活垃圾处置项目	75×2	2019
浙江	浙江舟山市嵊泗县嵊山镇生活垃圾处理项目	25	2014
甘肃	甘肃省甘沟镇生活垃圾处理项目	10	2018
广西	广西龙脊镇生活垃圾片区处理中心项目	20	2018
云南	云南东川垃圾无害化处理站项目	10	2020
北京	北京市房山区张坊镇人民政府生活垃圾热解气化处理项目	10	2021
云南	江城县勐烈镇生活垃圾热解处理工程项目	25×2	2017
广东	广东珠海外伶仃岛垃圾处理站	5	2018

4.2 国内生活垃圾热解气化技术应用情况

本研究通过中国及各省政府采购网、政府网站和企业对“热解”“气化”等关键词对垃圾热解气化设施进行检索，统计了自 2010 年 1 月—2021 年 12 月底垃圾热解气化处理工程项目已建设或拟建设的情况。据不完全统计，期间全国共 23 个省(自治区、直辖市)1 004 个项目(1 个项目指 1 个点位)采取热解气化工艺处理生活垃圾(其中 2020 年、2021 年有部分项目正处于前期阶段)，共约 1 037 条垃圾处理生产线(1 套热解气化处理装备代表 1 条生产线)。其中，已知规模的热解气化处理生产线约 841 条，累计处理规模达 10 868 t/d ；未知规模热解气化处理生产线约 163 条，大多处理规模低于 10 t/d 。总的来说，热解气化技术在我国村镇垃圾处理工程应用达到了较大数量与规模。

4.2.1 不同省(自治区、直辖市)生活垃圾热解气化技术应用情况 不同省(自治区、直辖市)生活垃圾热解气化技术应用点位数量的统计结果，见图 3。当前我国生活垃圾热解气化工程项目主要集中在华南、西南和西北地区，分别占总统计数的 38.9%、34.3% 和 11.6%。其中，广西、云南和甘肃 3 省(自治区)项目应用点位数量最多，分别为 341 个、310 个和 72 个，占总数的 34.0%、30.9% 和 7.2%。这些地区具有经济能力较弱、地形地貌多为山地和丘陵、镇域范围广和居民分布散等共性特点，造成垃圾集中收运处理难度大、经济成本高，导致农村生活垃圾收运处理面临巨大挑战。热解气化处理技术可实现垃圾就地就近无害化处理，是对偏远、分散和收运体系不能覆盖的农村垃圾处理处置的重要补充，备受政府青睐。



注：T 表示垃圾热解气化单线处理能力， $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

图 3 2010—2021 年不同省生活垃圾热解气化技术应用情况

Fig. 3 Different provinces' application of domestic waste pyrolysis and gasification technology from 2010 to 2021

处理规模方面，根据不完全统计数据，垃圾热解气化单线处理能力(T) $>30\text{ t/d}$ 、 $10\sim 30\text{ t/d}$ 和 $<10\text{ t/d}$ 的点位数量分别为 33 个、326 个和 482 个，有 163 个项目未明晰具体处理规模(皆 $<30\text{ t/d}$)，主要应用于乡镇和村级垃圾处理。

4.2.2 不同年份生活垃圾热解气化技术应用情况

历年生活垃圾热解气化技术应用点位数量的统计结果，见图 4 和图 5。2011 年国内开始有生活垃圾热解气化示范工程建立，“十二五”期间的农村垃圾无害化处理小型热解气化工程示范主要在广西自治区建立，并于“十三五”期间得到快速发展，国内新增垃圾热解气化项目点位数量于 2017 年达到最大，约 272 个；2018—2021 年期间，每年都有超

100 个热解气化项目在国内不同乡镇及农村建立或准备建立(2020 年、2021 年有部分项目正处于前期阶段)。其中,热解气化技术应用工程在广西、云南 2 省(自治区)剧增最为明显,广西壮族自治区生活垃圾热解气化项目数量于 2017 年达到最大,总共 213 例,2018 年以后,每年应用案例增加数急剧减少;云南省垃圾热解气化案例新增数于 2016 年达到最大,约 96 个,之后每年新增点位数量均超 30 个。

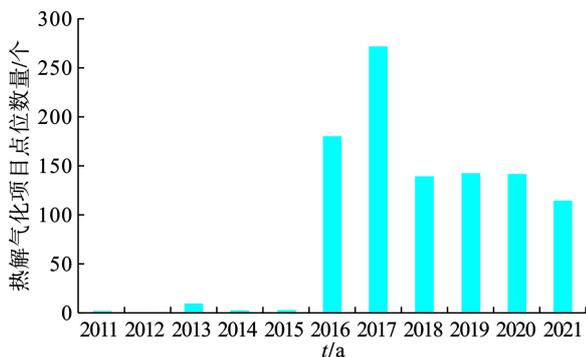


图 4 2010—2021 年不同年份生活垃圾热解气化技术应用情况

Fig. 4 The application of pyrolysis and gasification technology of domestic waste in different years from 2010 to 2021

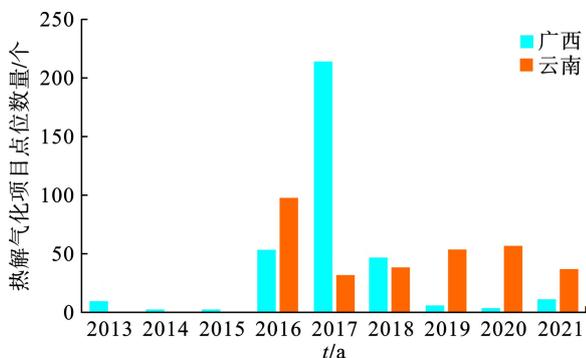


图 5 2013—2021 年广西、云南 2 省(自治区)不同年份生活垃圾热解气化技术应用情况

Fig. 5 The application of domestic waste pyrolysis and gasification technology in Guangxi and Yunnan in different years from 2013 to 2021

“十三五”期间,生活垃圾热解气化项目新增总数约 874 个,占总数的 87.1%。这与国家对农村生活垃圾治理工作的重视与大力推进有关,2014 年年底,国家启动了农村生活垃圾治理专项行动;2015 年 11 月 3 日,住房和城乡建设部等 10 个部委联合发布了《住房城乡建设部等部门关于全面推进农村垃圾治理的指导意见》;“十三五”期间,国家密集出台了《全国农村环境综合整治“十三五”规划》《“十

三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》《农村人居环境整治三年行动方案》等政策,极大推进了农村生活垃圾的治理,促进了热解气化等小型化垃圾处理技术的发展,并建立大量的工程示范。

4.3 热解气化技术应用特点

已有的工程案例中,绝大部分垃圾热解气化处理成套装备为中小吨位设计,处理能力多为 2~10 t/d,主要服务于村级、乡镇垃圾处理,垃圾运输距离短,可实现垃圾就地或就近无害化减量处理,同时可协同处置部分渗滤液,免去转运站建设运营,大大降低了垃圾无害化处理的前端费用。处理工艺以“热解气化炉-二燃室”工艺为主,其产品再利用和能量回收的较少,以实现垃圾无害化处理为主要目的。

与集中焚烧、填埋等传统垃圾处理方式相比,垃圾热解气化技术在占地、选址、成本和工期等多方面皆有显著优势,选址简单,占地小,易布置,工程建设周期短,设备从生产到现场安装调试时间短;建设规模小,规格多样,单线处理规模范围为 1~150 t/d,可根据实际情况建设相对集中式或分布式的垃圾处理站;设备投资小,维护成本较低。

热解气化技术作为当前村镇垃圾处理模式的重要补充,尤其适用于人口稀疏、位置偏远和交通不便等特殊地区,如山区、高原地区和海岛等地的垃圾就地处理,有效解决了这些地区生活垃圾运输成本高、填埋难和易污染的难题。

4.4 热解气化工程存在的问题

生活垃圾热解气化技术在“十三五”期间得到快速发展,目前仍存在一些问题亟待完善,如:(1)生活垃圾热解气化技术缺乏明确的政策指引和标准规范,相关标准规范主要参照生活垃圾焚烧处理执行;(2)热解气化项目的建设运行模式多为政府设备采购后自行运行,早期部分项目存在环评手续缺失、未开展验收、设备运行不稳定和运行成本高等问题,部分建设热解气化设施已停运、拆除;(3)目前国内热解气化技术设备厂家多达几十家,技术设备参差不齐,缺少全面的评价评估标准。

工艺设备运维方面,工艺设计合理、装备成熟可靠、反应条件适宜、物流连续稳定和物料均质,是保证整个热解气化系统安全稳定运行的关键。但由于农村垃圾规模小、组分复杂,每日垃圾成分变化、产生量波动大,易造成热解气化系统运行稳定性差,早期小规模热解气化炉易存在建设水平偏

低、技术工艺不成熟、系统难稳定运行、设备易腐蚀、故障率偏高和烟气难以持续稳定达标等问题。热解气化技术较复杂,小型化设施调控难度较大,同时大多项目缺少专业运维技术人员,尚未形成规范运行操作流程,对热解气化项目稳定运行及污染物达标排放带来巨大的挑战,有必要加强现有工程项目的规范管理、运行跟踪及评估,加强大中规模热解气化设备研发,并完善标准体系建设。

5 结论与展望

热解气化技术是对当前我国村镇生活垃圾处理模式的重要补充,随着国家对农村生活垃圾治理工作的重视,该技术在“十三五”期间得到快速发展,在华南、西南和西北等地区村镇就地就近建立了1 004余例垃圾热解气化处理项目,单套装备处理能力以<30 t/d为主,有效解决了人口稀疏、位置偏远和交通不便等地区生活垃圾无害化处理问题,助推了我国生活垃圾处理技术的创新和探索。“十四五”期间,村镇生活垃圾处理模式的选择要求遵循技术适用、经济可承受和效果达标原则,科学合理选择处理技术路线、处置方式和实施路径,各地鼓励因地制宜探索农村生活垃圾就地就近小型化、分散化和无害化处理模式。热解气化处理技术是农村生活垃圾处置模式主要选择之一,发展态势良好,但在政策制定、标准完善、工程实施和规范运维等方面存在明显短板,“十四五”期间,亟待建立较为完善的热解气化技术应用政策和技术标准体系,强化项目规范运维管理、运行跟踪及评估,加强关键技术装备和系统解决方案的创新突破,规范日常监测,从而推动热解气化产业快速化、规模化高质量发展。

参考文献

- [1] 国家发展改革委,住房和城乡建设部.关于印发《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》的通知[EB/OL].(2021-05-06)[2022-06-11].https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202105/t20210513_1279763_ext.html.
- [2] 中国农业绿色发展研究会,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所.中国农业绿色发展报告:2020[M].北京:中国农业出版社,2021.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.2020中国城乡建设统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [4] 童琳,刘畅,宋薇.农村生活垃圾处理现状及问题浅析[J].*建设科技*,2021(7):50-55.
- [5] 张国治,魏璐宇,葛一洪,等.我国农村生活垃圾处理现状及其展望[J].*中国沼气*,2021,39(4):54-61.
- [6] 房科靖,熊祖鸿,鲁敏,等.分散式垃圾热解气化处理工程示范—乡村垃圾解决方案[J].*新能源进展*,2021,9(4):288-293.
- [7] 袁国安.生活垃圾热解气化技术应用现状与展望[J].*环境与可持续发展*,2019,44(4):66-69.
- [8] KLINGHOFFER N B, CASTALDI M J. Gasification and pyrolysis of municipal solid waste (MSW)[J]. *Waste to Energy Conversion Technology*, 2013, 45(15): 146-176.
- [9] 岑可法.可燃固体废弃物资源化利用技术[M].北京:化学工业出版社,2016.
- [10] ARENA U. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review[J]. *Waste Management*, 2012, 32(4): 625-639.
- [11] 朱锡锋,陆强.生物质热解原理与技术[M].北京:科学出版社,2014.
- [12] 孙立,张晓东.生物质热解气化原理与技术[M].北京:化学工业出版社,2013.
- [13] SADIADA M A, CALDERON A. Comparative analysis of existing waste-to-energy reference plants for municipal solid waste[J]. *Cleaner Environmental Systems*, 2021(3): 100063.
- [14] 泰来环保科技股份有限公司.立式旋转热解气化技术工艺特点[EB/OL]. [2021-03-20]. <http://www.eco-waste.cn/Products.aspx?proid=18>.
- [15] 全国环保产业标准化技术委员会.垃圾裂化焚烧装置:GB/T 35251—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [16] 环境保护部科技标准司.固体废物处理处置工程技术导则:HJ 2035—2013[S].北京:中国环境出版集团有限公司,2013.
- [17] 青海省生态环境厅.生活垃圾小型热解气化处理工程技术规范:DB63/T 1773—2020[S/OL].(2020-01-20)[2022-03-20]. http://sthjt.qinghai.gov.cn/zwgk/xxgkml/dfsthjghbz_272/dfsthjzbz_277/202104/t20210408_113807.html.
- [18] 中国环保机械行业协会.有机固体废物热解气化处理装备技术规范:T/CAMIE 15—2020[S/OL].(2020-12-29)[2022-03-20]. <http://www.camie.org.cn/news/351.html>.
- [19] 中国电子装备技术开发协会.有机固体废物热解处理工艺评价导则:T/CAEE 004—2021[S/OL].(2021-07-05)[2022-03-20]. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/47987/>.
- [20] 云南省住房和城乡建设厅,云南省生态环境厅.云南省农村生活垃圾处理技术指南(试行)[S/OL].(2022-02-21)[2022-03-20]. <https://zfcxjst.yunnan.gov.cn/yunnanshengtishengchengxiangrenjuhuanjingxingdong8658/zhengcewenjian8659/286539.html>.