

我国县级地区生活垃圾低碳环保处理的 最佳技术路径 ——制备固体回收燃料

刘海威 王欢

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 推进县级生活垃圾处理是我国强化县域经济和社会发展、基础设施建设的重要环节和基础性工作。本文综述了我国县级地区垃圾处理的重要意义、原则与难点,介绍了固体回收燃料(SRF)概念及其主要技术路线、优势和相关标准情况,从国家政策、实际需求、技术条件、投资成本方面对县级地区垃圾制备SRF进行可行性分析,并结合实际给出我国县级地区生活垃圾制备SRF解决方案。

[关键词] 县级地区;生活垃圾;固体回收燃料;垃圾焚烧;城市固废;无害化处理;有机固废

[中图分类号] X799.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-5122(2023)01-0090-05

DOI: 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2023.01.013

0 前言

自20世纪80年代开始,我国开始加强城镇垃圾无害化处理的工作力度,陆续出台和完善了相关政策、标准及法规。经过40多年的发展,尤其是近20年来,城市环境卫生基础设施建设得到了快速的发展,生活垃圾、建筑垃圾、厨余垃圾等城市固体废物的无害化处理得到全面、系统的推进,城乡生态环境得到显著改善和保障。据国家统计局的数据,全国城市生活垃圾无害化处理率由2004年的52.1%上升至2021年的99.9%;截至2021年底,全国城市已建成生活垃圾卫生填埋无害化处理厂542座、生活垃圾焚烧无害化处理厂583座,生活垃圾无害化处理能力已达105.7万t/d,其中焚烧处理能力为71.95万t/d,我国已成为生活垃圾无害化处理率和焚烧处理规模最大的国家之一。

然而,相对于城市生活垃圾实现了接近100%的无害化处理和较高的焚烧处理比例,县级地区生活垃圾焚烧占比偏低,垃圾处理的“减量化、资源化、无害化”程度有待提高,尤其是村镇的生活垃圾无害化处置率相对较低。根据住建部2021年统计年鉴数据,全国村镇生活垃圾无害化处理率仅为56.6%,亟待进行无害化处理和资源化利用。

针对我国县级地区垃圾量普遍小于300t/d的实际现状,2020年7月31日,国家发展改革委、住建部、生态环境部等三部门联合印发了《城镇生活垃圾分类和处理设施补短板强弱项实施方案》(改环资[2020]1257号),明确提出“全面推进焚烧处理能力建设,在生活垃圾日清运量超过300t的地区,加快发展以焚烧为主的垃圾处理方式,到2023年基本实现原生生活垃圾‘零填埋’;鼓励跨区域建设焚烧处理设施”。这为我国县级地区小规模垃圾处理指明了技术路线和建设模式。

1 县级地区垃圾处理的重要意义、原则与难点

1.1 县级地区垃圾处理的重要意义

我国现有县级市392个、县城1482个,全国近1.6亿人生活在县城,约50%的人口生活在乡镇农村地区。县级地区垃圾处理涉及的地域广、人口多,是全面建设小康社会和推进城乡人居环境整治不容

[收稿日期] 2022-12-12

[作者简介] 刘海威(1968—),男,陕西榆林人,正高级工程师,硕士,主要从事垃圾焚烧发电与烟气净化领域的工程设计、技术研发工作,现任中国恩菲工程技术有限公司副总工程师。

[引用格式] 刘海威,王欢.我国县级地区生活垃圾低碳环保处理的最佳技术路径——制备固体回收燃料[J].绿色矿冶,2023,39(1):90-94,100.

忽视的重要内容。

党的“二十大”报告指出,要坚持“绿水青山就是金山银山”的理念,全方位、全地域、全过程加强生态环境保护,污染防治攻坚向纵深推进,绿色、循环、低碳发展迈出坚实步伐;未来5年,要使城乡人居环境明显改善,美丽中国建设成效显著;要统筹乡村基础设施和公共服务布局,建设宜居宜业和美乡村。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》也提出:推进以县城为重要载体的城镇化建设,加快县城补短板强弱项,推进公共服务、环境卫生、市政公用、产业配套等设施提级扩能。

因此,尽快补齐县级地区垃圾无害化处理短板是改善城乡人居环境、建设美丽中国的有效手段,对实现中国式现代化和践行新发展理念具有重要意义。

1.2 县级地区垃圾处理原则

1) 环保第一原则。生活垃圾是指日常生活或者为生活提供服务的活动产生的固体废弃物。生活垃圾处理要遵循“减量化、资源化、无害化”的原则,采用焚烧、填埋和堆肥等处理方式,均应符合国家相关的环保标准和规定,避免大气、地下水、土壤等生态环境受到污染。

2) 因地制宜原则。县级地区具有数量多、分布广、人口少、经济发展差别大等特点,制定垃圾处理方案时,应综合考虑地域特点、人口、经济发展水平等因素,并宜协同厨余垃圾、污泥等其他垃圾处理,选择技术适用、经济可行、环保达标的处理方式。

3) 能烧尽烧原则。垃圾焚烧处理具有无害化彻底、减量化明显和资源化充分的优势,已成为国内外普遍接受的最佳处理方式。2022年5月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见》,第二十九条中亦明确提出“建设与清运量相适应的垃圾焚烧设施,做好全流程恶臭防治”的指导意见。

焚烧处理,包括制备固体回收燃料(Solid Recovered Fuel, SRF),是县级地区垃圾处理的首选技术手段。卫生填埋应是垃圾处理的兜底手段,只适合于不具备建设小型焚烧处理设施和制备SRF设施条件的县级地区。

4) 统筹规划原则。统筹规划周边市、县、镇、乡的生活垃圾处理设施建设,统筹与生活垃圾特性相似的厨余垃圾、市政污泥、工业垃圾等固体废物协同处理,发挥规模化处理效应,共建共用,提高县级地

区生活垃圾治理水平。

1.3 县级地区垃圾处理难点

县级地区垃圾处理难的核心原因是垃圾量少,导致焚烧处理成本高。据住建部统计的年鉴数据,2021年全国1482个县年垃圾清运量为6791万t,折合平均每个县每天垃圾清运量仅为125.5t,远小于约500t/d的垃圾焚烧发电经济规模;此外,全国392个县级市同样存在垃圾清运量小于约500t/d的垃圾焚烧发电经济规模的问题。一些县级市虽然建设了垃圾焚烧发电厂,但负荷率偏低,经济效益较差;另一些县级市由于垃圾清运量小于300t/d,无法建设垃圾焚烧发电厂。

填埋虽然可以解决垃圾量少的问题,但占用大量土地资源,易造成地下水污染、释放甲烷等温室气体、资源回收利用率低等问题,并不符合“双碳”战略和循环经济理念,因此,填埋应是最后的兜底手段。

1.4 国内外小规模垃圾处理模式现状分析

欧洲、日本等发达国家的城镇无论大小,其生活垃圾基本都进行焚烧处理。如德国出台了相关法规规定,从2005年起禁止原生垃圾直接填埋处理;欧盟委员会出台了可再生废弃物填埋禁令的相关立法草案;日本由于地理条件限制,垃圾处理也以焚烧处理为主。

由于小规模垃圾焚烧发电厂投资成本和运营费用均较高,欧洲、日本的许多规模垃圾焚烧处理厂采取供热的方式进行能量回收利用,如瑞典利用小规模垃圾焚烧厂对附近地区进行供热;在日本约有30%的焚烧设施既不供热也不发电。

我国县级地区生活垃圾处理目前仍以填埋为主,一些地区在积极探索热解气化^[1]、堆肥、资源综合利用等其他方式,但这些方法由于技术成熟度、产品销量、环保等问题一直没有得到大范围的推广应用。

在当前全球范围“碳减排、碳中和”和循环经济发展战略的大背景下,我国县级地区垃圾处理模式既要借鉴发达国家的经验,也要根据我国县城数量多、余热利用场合少、垃圾处理厂远离居民等具体国情,将垃圾填埋作为环保兜底措施和手段,制定切实可行、低碳环保的垃圾处理技术路线。

2 固体回收燃料(SRF)介绍

2.1 固体回收燃料(SRF)概念

根据国际标准化组织ISO给出的定义,固体回收燃料(SRF)是利用非危险废物来源的固体废物制

备而成,且符合 ISO 标准化分类和规范的固体燃料。SRF 的主要原材料为城市固体废物(MSW)、商业和工业废物(CIW)以及建筑和拆迁废物(CDW)^[2],其中非危险废物范畴可依照所属国相关法律规定或《巴塞尔公约》来进行判定。

SRF 可减少垃圾填埋量和温室气体排放,促进循环经济发展,实现生态环境和社会经济的协调发展,被认为是一种替代传统化石燃料的新型燃料^[3]。

SRF 与垃圾衍生燃料(RDF)的显著区别在于 SRF 已标准化,生产需要符合监管机构设定的标准。国际上,特别在欧洲,SRF 的分类和规格遵循专门的质量标准^[4]。

2.2 SRF 主要技术路线

2.2.1 机械和生物干化处理技术(MBT)

基于好氧堆肥技术发展起来的 MBT 技术在欧洲有较为成熟的应用,在我国揭阳等地也有原生垃圾燃料化处理的应用,其主要工艺流程为:机械预处理(破碎)→生物干化(去除水分)→机械分选(分离 PVC/金属)→臭气处理(去除气体污染物/有害颗粒物)→制备燃料(SRF 产品)。

2.2.2 水热碳化技术(HTC)

水热碳化技术的原理是基于德国化学家 Friedrich Bergius 于 1913 提出的高压化学理论,由后人逐渐发展完善形成。国内外学者针对生物质水热碳化处理开展了大量探索,就水热碳化反应过程的影响因素进行了深入地研究。如在污泥水热碳化过

程中,当反应体系反应温度为 220 ℃,反应时间为 2 h, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 浓度为 0.5 mol/L 时,污泥经水热碳化工工艺处理脱水效果最好^[5]。

中国恩菲工程技术有限公司(以下简称“中国恩菲”)于 2019 年基于其湿法冶金压力酸浸核心专长技术(HPAL)进行了污泥脱水相关研究,其主要工艺流程为污泥(80% 含水率)→预热调质→高压反应釜(破坏细胞水结构)→压滤(35% 含水率 SRF 产品)。

2.3 固体回收燃料(SRF)优势

2.3.1 有利高效清洁焚烧

SRF 一般由生活垃圾经干化分选处理后制备而成,其热值为 2 000 ~ 3 500 kcal/kg,是原生垃圾的 2 ~ 3 倍,具有热值高、不可燃物质少、Cl 和 Hg 等污染物含量低等特点,是高品质的固体燃料,对实现清洁高效焚烧十分有利。

2.3.2 垃圾减量化明显

与欧美国家的生活垃圾相比,我国生活垃圾含水量普遍偏高,这与我国经济发展水平和人民生活习惯密切相关。垃圾转变为 SRF 后,含水率可由 50% ~ 60% 降低至 30% ~ 40%,减量化明显,由此可实现更远距离的运输。

2.3.3 有助于产品交易

ISO 国际标准化组织已将 SRF 进行了等级分类(表 1)^[2],SRF 可作为一种可以交易的商品,用于垃圾焚烧发电厂、水泥厂,替代煤炭、石油等化石燃料。SRF 的市场化交易在欧洲已较为成熟。

表 1 ISO 国际标准 SRF 分类

参数	等级				
	1	2	3	4	5
低位热值(平均值)*/MJ·kg ⁻¹	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
氯(Cl)(平均值)**/%	≤0.2	≤0.6	≤1.0	≤1.5	≤3
汞(Hg)(中位数)*/mg·MJ ⁻¹	≤0.02	≤0.03	≤0.08	≤0.15	≤0.50
汞(Hg)(80%位数)*/mg·MJ ⁻¹	≤0.04	≤0.06	≤0.16	≤0.30	≤1.00

注:*表示收到基参数,**表示干燥基参数。

2.4 固体回收燃料(SRF)相关标准

SRF 作为跨域流通的一种可替代燃料,下游用户更加关注其质量和安全性。标准化被视为提高 SRF 安全性、高效使用以及提升市场接受度的有效手段。而基于 ISO 国际标准的统一程序将有助于生产质量一致的 SRF,利于促进国际贸易供应,并实现高环境效益和社会经济目标。2015 年,国际标准化组织 ISO 批准成立 ISO/TC 300 固体回收燃料技术委员会,该委员会由来自芬兰、英国、中国、瑞典、意

大利、荷兰、日本、韩国等全球 37 个国家成员体组成,共同开展 SRF 产品国际标准化活动,旨在减少垃圾填埋,推进非危险废弃物的循环利用,促进能源需求方对 SRF 的接受和使用,实现 SRF 在燃料市场上的商用价值。

在欧洲持续推行其国际标准化战略的背景下,较早开展 SRF 研究和产业推广的欧盟国家积极将欧洲标准委员会(CEN)发布的标准在 ISO/TC 300 内推广转化,用低位发热量(NCV)作为经济参数,

以氯含量作为技术参数,以汞含量作为环境参数建立 SRF 产品质量的分类系统。ISO/TC 300 通过建立一套完整的 SRF 产品标准体系,促进了 SRF 的产业发展。

中国恩菲自 2017 年成为 ISO/TC 300 固体回收燃料技术委员会中国技术对口单位以来,一直积极推动 SRF 标准及产业在中国的发展,已向 ISO/TC 300 秘书处提交了“基于机械和热干化的 SRF 制备方法”(SRF production using mechanical and thermal drying method)和“规范和分类-燃煤电厂耦合发电的一般要求”(Specification and classification—General requirements for coupling power generation by Coal-fired Power Plants)两项 SRF 国际提案,扩大了我国 SRF 技术在国际上的影响。

3 县级地区垃圾制备 SRF 可行性分析

3.1 国家战略政策支持

在战略政策层面,国家高度重视生活垃圾的处理处置。国家“十四五”规划提出,全面推行循环经济理念;协同推进减污降碳,不断改善空气、水环境质量。党的“二十大”报告提到,“坚持‘绿水青山就是金山银山’的理念,全方位、全地域、全过程加强生态环境保护;提升环境基础设施建设水平,推进城乡人居环境整治”。

国务院印发的《乡村振兴战略规划(2018—2022)》中提出,要“推进农村生活垃圾治理,建立健全符合农村实际、方式多样的生活垃圾收运处置体系,有条件的地区推行垃圾就地分类和资源化利用”。

发改委也出台了《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》(发改价格[2006]7号)、《关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知》(发改价格[2012]801号)等一系列垃圾焚烧发电优惠上网电价的政策。

3.2 SRF 生产技术条件日趋成熟

国家科技部于“十二五”、“十三五”期间开始组织“863 计划”、“固废资源化”等科技攻关,形成了系统全面的固废处理及污染物治理关键技术与装备,且 MBT、HTC 专有技术也在国内得到示范应用,为县级地区 SRF 垃圾处理做好了技术与装备的准备。目前垃圾分类和分离技术的发展使混合废物流的使用成为可能,即便在县域垃圾分类不完善的情况下,现有技术依然可以将利用县域垃圾制备 SRF 成为现实。

3.3 县级生活垃圾处置需求显现

国家发改委于 2020 年印发的《城镇生活垃圾分类和处理设施补短板强弱项实施方案》(发改环资[2020]1257号)强调,加快补齐生活垃圾分类和处理设施短板弱项;进一步完善县城生活垃圾处理系统;在生活垃圾日清运量不足 300t 的地区探索开展小型生活垃圾焚烧设施试点。

在县级地区,除生活垃圾外,秸秆、污泥、厨余沼渣等农林废弃物和有机固废也需寻找合适的处理手段,SRF 可将有机固废协同制备生物质燃料,使有机固废得到协同焚烧处理。

3.4 SRF 生产成本优势明显

从投资成本角度考虑,垃圾制备 SRF 的设施投资约 25 万/t,只相当于垃圾焚烧发电厂投资的 1/3 左右,同时,SRF 焚烧发电厂可以省掉渗沥液处理等设施投资运营费用,相比单独建设小型垃圾焚烧发电厂具有较大的经济优势。

4 县级地区 SRF 焚烧解决方案

4.1 工艺路线

以县城为单位,建设垃圾制备 SRF 设施,实现垃圾“减量化、燃料化”;以 SRF 焚烧发电厂(水泥厂、火电厂)等为终端处理设施,实现垃圾的“资源化、无害化”。

4.2 县级地区生活垃圾制备 SRF 解决方案

4.2.1 加强生活垃圾分类体系的建设

科学合理、简便易行的垃圾分类方式是生活垃圾制备 SRF 至关重要的前置手段,县级地区应根据辖区地域特点、经济发展水平、居民生活习惯配置相应的垃圾分类投放设施,加强垃圾分类知识和重要性的宣传;农村地区也应建立符合农村特点的分类方法,分类应围绕前端分类是为了后端更好地处理的基本原则,使有害垃圾分离,使垃圾资源化、无害化处理获得益处。

4.2.2 协同城乡有机固废统筹规划

县级地区覆盖范围包括市(县城)、建制镇和乡村,区域内产生的厨余垃圾、市政污泥、一般工业固废、秸秆等有机固废和农林废弃物应与生活垃圾制备 SRF 项目统筹规划。利用沼渣、脱水污泥、一般有机工业固废、秸秆等城乡有机固废协同生活垃圾制备 SRF,既符合 SRF 的制备理念,还可实现 SRF 项目处理能力共享,提升项目的经济性。

4.2.3 选择经济、环保的技术手段

各地应结合当地垃圾量、垃圾分类效果、气候特

点等因素,合理选择机械分选、生物干化、热干化等切实可行的 SRF 制备技术,并针对我国垃圾特性,推动 SRF 制备技术与装备研发,在实践中尽快形成适用于不同区域、不同类型垃圾制备 SRF 需求的关键技术与装备,降低建设运维成本。

4.2.4 区域共建规模化 SRF 焚烧发电厂

为使 SRF 焚烧发电项目达到环保可靠、经济可行的处理规模,可通过与邻近县级地区以跨区域共建共享方式建设 SRF 焚烧发电处理设施(图 1)。根据我国已建生活垃圾焚烧发电厂的建设运营经验,考虑到 SRF 相比生活垃圾在热值方面有较大的提升,预测 SRF 焚烧发电厂的建设规模在 300 t/d 左右即可实现与生活垃圾焚烧发电厂 500 t/d 项目相同的环保和经济指标。同时,各地需加强统筹协调,健全工作机制,明确共建共享要求,协调推动项目落地。

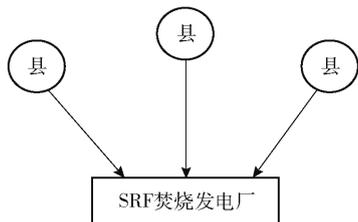


图1 县级地区生活垃圾 SRF 焚烧发电项目建设方式示意图

4.2.5 合理确定运输距离和运行方式

垃圾制成 SRF 之后,垃圾减量化明显,实现了垃圾的燃料产品化转变,因此 SRF 的经济运输距离比生活垃圾的经济运输距离要长,对实现 SRF 区域共建焚烧设施十分有利。但考虑到我国地域广阔,有些区域即使是三地合建一座 SRF 焚烧发电厂也不能达到合理的焚烧发电规模,因此应综合考虑后选择合理的运输方式和确定最佳运输距离,并建设必要的 SRF 产品暂存场所,按合理的时间安排进行运输和焚烧发电处理,保证 SRF 焚烧发电厂在运行期间处于最佳的发电效率和环保效果。

5 建议与展望

SRF 焚烧解决方案符合国家发改委、住建部等五大部门出台的《关于加强县级地区生活垃圾焚烧处理设施建设的指导意见》中提出的因地制宜、系统谋划、技术引领、城乡统筹等基本原则,可与小型焚烧、卫生填埋等技术共同为了解决我国县级地区垃圾处理问题进行探索和实践。

建议加强 SRF 的知识宣传,结合垃圾分类的深

入推进,提高公众对固体回收燃料的认知,引导公众增强环保意识,积极参与垃圾分类,实现源头垃圾减量的同时,提高固体回收燃料制备原料的品质,促进固体回收燃料的发展。

建议将 SRF 焚烧发电设施列入生活垃圾处理设施建设相关专业规划,探索多种垃圾焚烧处理方式,满足县级地区垃圾“减量化、资源化、无害化”处理需求。同步制定相关政策,明确县级地区邻居区域统筹建设垃圾处理设施,统筹考虑焚烧、灰灰填埋问题。

加快完善固体回收燃料标准体系,对接 ISO/TC 300 国际标准,出台一批适应县级地区垃圾特点的固体回收燃料制备、产品规格、成分检测、安全存储等方面标准规范,促进固体回收燃料产业健康发展。

虽然固体回收燃料解决方案是县级地区垃圾低碳环保焚烧处理的最佳技术路径,但由于我国幅员辽阔,不同地区的区域经济、环境状况、气候特性和垃圾量等情况会差别较大,科学合理地选择符合当地实际情况的其他处理方式也应受到重视,不应以一概全,多种处理方式兼顾和共存是县域垃圾处理规划的基本方针。

预计未来我国县级地区将形成以小型焚烧、制备 SRF 和卫生填埋三种技术手段为主的垃圾处理模式,三驾马车齐头并进实现生活垃圾无害化处理,各地在综合考虑地域特点、经济发展因素、可实现的商业模式等情况下,因地制宜地选取最适宜的技术手段,建成与当地经济社会发展相适应的生活垃圾处理体系,使城乡生态环境得到全面改善和保障。

[参考文献]

- [1] 马明生,李兴杰.生活垃圾热解工艺现状[J].中国有色冶金,2018,47(4):35-38.
- [2] X-CEN. Solid recovered fuels—Specifications and classes: ISO 21640:2021[S].
- [3] 任超峰,方朝军,夏小栋,等.城市生活垃圾固体回收燃料在中国的发展前景[J].现代化工,2019,39(9):1-4.
- [4] FLAMME S, Geiping J. Quality standards and requirements for solid recovered fuels: a review[J]. Waste Management and Research,2012,30(4):335-53.
- [5] 徐振佳,陆宇倩,李莲,等.不同反应条件对污泥水热碳化脱水性能的影响[J].环境工程,2019,37(3):1-6,12.

(下转第 100 页)

Research Progress of Municipal Sludge Incineration

HE Zihan, XU Feng

Abstract: Urban sludge contains a large number of pathogenic microorganisms, heavy metals and other pollutants, and its output has increased sharply in recent year. If it is not handled properly, it will pollute the environment and endanger human health. At present, China's urban sludge disposal methods include landfill, compost, land use, incineration, etc. Sludge incineration is currently the most thorough, rapid, safe and effective method for sludge disposal. This paper summarized the research and application progress of sludge incineration from the aspects of the development history, incineration mode and incineration device, systematically sorted out various influencing factors of sludge incineration process, and compared various indexes and parameters of fluidized bed incinerator, multi-chamber incinerator, rotary kiln incinerator, grate incinerator and other incinerators. Under the background of "double carbon" and in combination with the development trend of sludge resource utilization, it is proposed that mixing urban sludge and waste into derivative fuel, developing circular economy and reducing carbon emissions is also an effective way to reuse the surplus value of urban sludge.

Key words: municipal sludge treatment; landfill; incineration alone; domestic waste; blending burning; incineration device; resource utilization; circular economy

(上接第 94 页)

The Best Technical Path of Low-carbon Environmental Protection Treatment of Domestic Waste in County-level Areas of China ——Preparation of Solid Recovered Fuel

LIU Haiwei, WANG Huan

Abstract: Promoting county-level domestic waste disposal is an important link and basic work in strengthening county-level economic and social development and infrastructure construction in China. This paper summarized the significance, principles and difficulties of garbage disposal in county-level areas of China, introduced the concept of solid recovered fuel (SRF) and its main technical routes, advantages and related standards, and analyzed the feasibility of preparing SRF from garbage in county-level areas from the aspects of national policies, actual needs, technical conditions and investment costs. Combined with the actual situation, the SRF solution for domestic garbage preparation in county-level areas of China was given.

Key words: county area; domestic waste; solid recovered fuel; waste incineration; urban solid waste; harmless treatment; organic solid waste