

生活垃圾掺烧市政污泥现状及分析

黄海彬 崔明康 阮翔 黄筠钧

广东广业投资集团有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i8.2194

[摘要] 作为城市化进程的伴生固体废弃物,生活垃圾和市政污泥一直是此类废弃物处置研究的焦点。随着土地资源日益紧张,可供填埋处置的土地减少,我国生活垃圾行业逐步进入“焚烧为主、填埋托底”的时代。生活垃圾掺烧市政污泥,因其在废弃物减量化、无害化、资源化和稳定化上的协同优势,已成为一种备受推崇的废弃物处置方式。本文将从处理工艺对比、协同模式、精细化管理等方面,探索符合绿色高效、可持续循环策略的生活垃圾掺烧市政污泥的协同路径。

[关键词] 生活垃圾; 市政污泥; 协同掺烧

中图分类号: TU824+.5 **文献标识码:** A

Current Status and Analysis of Co-incineration of Municipal Solid Waste with Municipal Sewage Sludge

Haibin Huang Mingkang Cui Xiang Ruan Junjun Huang

Guangdong Guangye Investment Group Co., Ltd

[Abstract] As concomitant solid wastes in the process of urbanization, domestic garbage and municipal sludge have always been the focus of research on waste disposal. With the increasingly scarce land resources and reduced land available for landfill disposal, China's domestic garbage industry has gradually entered the era of "incineration as the mainstay and landfill as the backup". The co-incineration of domestic garbage and municipal sludge has become a highly praised waste disposal method due to its collaborative advantages in waste reduction, hazard elimination, resource recovery, and stabilization. This article will explore the synergistic path of co-incineration of domestic garbage and municipal sludge that is green, efficient, and sustainable, from the aspects of processing technology comparison, collaboration models, and refined management.

[Key words] Urban Solid Waste; Municipal Sewage Sludge; Co-incineration

引言

生活垃圾和市政污泥作为传统的城市“废弃物”,如何将其有效处理和处置,已成为城市环境管理中的一项重要课题。填埋法处置法,虽操作简便且成本较低,但其弊端亦不容忽视:首先,随着土地资源日益紧张,填埋场选址难度加大。其次,填埋过程会产生大量的渗滤液和恶臭气体,这些污染物富含有毒有害物质(如重金属、硫化氢、甲硫醇等),若处理不当,会对周边环境造成严重污染。再者,填埋场中的有机物在厌氧环境下分解产生甲烷,排放后会加剧全球气候变化。此外,填埋场易滋生病菌和害虫,存在公共卫生隐患。根据住建部发布的统计信息,截止至2022年,我国生活垃圾处理量达2.44亿吨/a,卫生填埋能力为21.52万吨/d,焚烧处置能力为80.47万吨/d;这表明垃圾处理已逐步进入“焚烧为主、填埋托底”的时代。因此,亟需一种绿色高效、可持续循环的策略来解决生活垃圾和市政污泥所带来的环境问题。

1 生活垃圾和市政污泥掺烧

“垃圾是放错了地方的资源,是地球唯一一种不断增长、永不枯竭的资源”,因此,基于填埋处置生活垃圾和市政污泥未能实现资源的有效利用,从环境保护和资源可持续利用的角度出发,笔者将探讨掺烧和回收再利用两种实现资源有效利用的途径(图1)。

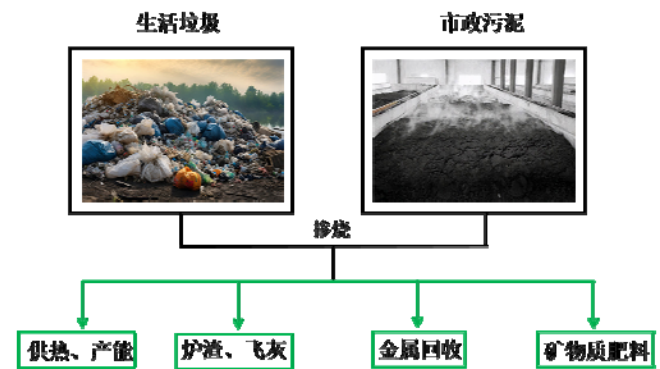


图1 生活垃圾和市政污泥掺烧示意图

目前,我国垃圾焚烧厂平均负荷率为60%,多地的产能存在富余,尤其是广东、浙江等地。污泥与生活垃圾性质相似,焚烧工艺和污染物控制要求相近,具备利用已落地的生活垃圾焚烧线的富余产能、减少建设投资成本的协同处置潜力^[1]。

在政策层面,于2022年发布的《关于加快推进城镇环境基础设施建设指导意见的通知》,明确提出要强化设施的协同高效衔接,推动生活垃圾焚烧设施掺烧市政污泥等废弃物,实现焚烧处理能力的共用共享;同年,《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》也提出,鼓励开展生活垃圾与农林废弃物、污泥等固体废弃物的协同处置,并推广园区化建设模式。基于上述政策导向,掺烧作为一种契合循环经济理念的废弃物处理方法,逐渐成为国内外研究的热点。因此,总结目前国内外生活垃圾和市政污泥掺烧技术的现状及面临的挑战,具有重要的现实意义。

1.1 市政污泥

市政污泥是指污水处理厂运行过程中产生的一种固体凝聚物,由于区域差异性,各地城镇的污水厂产出的市政污泥成分亦各不相同(详见表1)。此外,市政污泥一般含有微量重金属、病原体、虫卵等有毒有害物质,若未经妥善的处理处置,易对环境造成二次污染。目前,主要通过机械法及热干化法降低污泥的含水率,再与生活垃圾协同掺烧^[2]。

表1 多处污水厂市政污泥原料物性分析

污泥来源	工业分析(质量分数%)				元素分析(干基,质量分数%)				
	水分	挥发分	固定碳	灰分	碳	氢	氧	氮	硫
1	78.7	12.17	1.03	8.1	29.25	4.92	22.48	3.86	1.48
2	78.93	12.17	1.03	8.1	22.47	4.13	22.35	3.8	1.52
3	74.24	15.05	1.26	9.44	35.54	5.6	17.35	3.74	1.11
4	78.36	10.27	1.18	10.19	22.84	4.09	20.09	4.13	1.75
5	80.51	10.41	0.77	8.31	26.9	4.61	19.65	4.53	1.66
6	63.69	7.09	0.47	28.75	24.02	4.17	17.89	3.69	1.4
加权平均	77.92	11.43	0.98	9.71	26.62	4.58	20.38	4.07	1.54

1.2 技术现状

(1) 热解焚烧技术: 热解焚烧,其原理是基于高温环境下,废弃物中的有机物质在缺氧条件下分解,产生可燃气体和残留的固体灰渣;其主要依赖于热解反应的温度、时间和环境气氛的控制。在国内,热解焚烧技术的研究呈现出多样化的趋势,能耗低、排放少的反应器设计,热解气体后处理技术的改进等是研究的热点方向。例如,北京工业大学的研究团队开发了一种联合热解焚烧技术,通过优化热解和焚烧过程,实现了垃圾和污泥的高效处理和能源回收。

(2) 流化床焚烧技术: 流化床焚烧,其原理是在预热的气流中,将固体废弃物投入流化床内,通过气体的流动使废弃物悬浮并高效燃烧。流化床内的高温环境有助于减少废弃物产生的有

害物质,同时能够控制废气中的污染物排放。目前在国内,已有相当成熟的、用于废弃物处置的流化床产业链,针对技术优化和性能提升的研究亦在同步开展。华中科技大学的研究表明,通过调整流化床中的操作参数,可有效提高生活垃圾和污泥的掺烧效率,并减少二噁英等有害物质的生成。

(3) 垃圾焚烧发电技术: 垃圾焚烧发电,即利用焚烧过程中产生的热能直接驱动发动机发电。垃圾焚烧发电厂已成为许多城市的标配,而部分城市正推行将市政污泥掺入垃圾中共同焚烧;该举措不仅可最大程度实现上述固体废弃物的减量化、无害化,也可为城市的电力供应提供额外输入。同时,关于如何提高该技术的能源回收率,也是相关研究机构 and 高校的重点课题。

(4) 协同焚烧技术: 协同焚烧技术是将多种废弃物进行混合焚烧的一种方法,常用于处理工业废弃物、生活垃圾和市政污泥的混合物。美国的研究表明,协同焚烧技术不仅可提高焚烧效率,还能通过废弃物的互补特性减少有害物质的生成。例如,美国的一个研究团队开发了一种协同焚烧技术,将市政污泥和造纸厂废弃物进行混合焚烧,取得了良好的处理效果。

2 工艺要点

2.1 污泥掺烧与控制

在协同处置过程中,为实现市政污泥与生活垃圾的均匀混合,需要对污泥进行干化处理,将其含水率控制在35%至45%之间^[3]。在此含水率区间内,污泥的热值与生活垃圾的热值相近,对燃烧系统的冲击较小。根据行业实践经验,当污泥的掺烧比例 $\leq 10\%$ 时,焚烧系统可稳定地运行。建议可在每个污泥炉进料斗前的溜管处设置控制调节阀,以精确控制污泥的掺烧比例。在实际应用中,焚烧厂应根据具体情况调整污泥的掺烧比例和干化程度,以达到最佳运行效果。

2.2 除尘除臭控制

在污泥的储存、干燥及运输过程中,往往会产生臭味和粉尘,为避免对周边大气环境造成污染,必须完善除尘除臭系统的设计。易出现恶臭的处理环节包括湿污泥缓存、污泥储存、污泥干化和干污泥储存等;建议在相应工序位置安装排风设备,利用风管将臭气输送至垃圾池内,最后送入焚烧炉中燃烧,从而实现除臭效果。

污泥干化环节,臭气的主要来源是干化机运行产生的尾气。为此,建议在各处理线安装独立的余气除尘器和尾气冷凝器,以处理该过程产生的尾气,处理后的尾气再由风机排入垃圾池,并作为一次风送入焚烧炉辅助燃烧。同时,系统应设置废水箱以收集冷凝后的废水,并传送至焚烧厂渗滤站进行有效处理。

粉尘的主要来源为干污泥输送系统,建议对全部设备进行密封处理,并在各输送设备中配置相应的抽风系统,以确保粉尘得到有效控制。在实际应用中,污泥处理设施应根据具体情况优化除尘除臭系统设计,以满足生产要求。

2.3 干污泥输送与投料

在生活垃圾掺烧市政污泥的协同处置中,干污泥的投料方

式主要如下:①将干污泥直接卸往垃圾池内混合,再使用垃圾抓斗将混合的燃料送至焚烧炉进料斗。该方式能确保物料的有效混合,然而干污泥极易与垃圾池中的水分再次结合变成湿污泥,且污泥可能淤积到垃圾池底部,影响协同处置效果。②于垃圾池内设置独立的干污泥仓,使用单独的污泥抓斗将污泥送至焚烧炉进料斗。此方式需垃圾抓斗和污泥抓斗交替进料,对操作要求较高。③将污泥给料接口安装至焚烧炉膛的干燥段或燃烧段,直接进料。该方式需投入额外资金改造焚烧炉本体,一般难度较大。在实际应用中,焚烧厂应选择适宜的干污泥输送与投料方式,以保证协同处置效果和经济性。

3 研究热点及调整

3.1 研究热点

目前,关于生活垃圾掺烧市政污泥的技术研究,主要有以下方向:

(1) 高温高压氧化技术:利用高温($>800^{\circ}\text{C}$)和高压($>10\text{MPa}$)条件下,以氧气或氧化剂作为介质,将固体废弃物中的有机物氧化为二氧化碳、水蒸气和固体残渣。国外研究主要集中在如何优化氧化过程,以提高有机物的分解效率和减少有害物质的生成;对于高温高压反应器的设计、热能利用效率的优化,也是此技术关注的重点之一。例如,荷兰的一个研究团队通过实验研究发现,适当的温度和压力条件可显著提高市政污泥的分解效率。

(2) 二噁英控制技术:为保证二噁英的充分分解,常规的焚烧装置,如鼓泡流化床,一般设计燃烧温度 $\geq 850^{\circ}\text{C}$,炉内停留时间 ≥ 2 秒;且为抑制二噁英的再度生成,往往会在烟气降温环节配备急冷装置。

然而,优化燃烧环境只能减少二噁英的产生,无法避免二噁英的生成。因此,前端处理、吸附法以及相关的二噁英分解技术被赋予厚望;现国外研究者致力于开发高效的二噁英控制技术,如催化剂法、吸附法等,以减少焚烧过程中二噁英的生成和排放。例如,瑞典的一个研究团队开发了一种新型催化剂,可在较低温度下高效分解二噁英。

(3) 碳捕集与封存技术:焚烧的末端产物即有二氧化碳,而在“双碳”背景下,如何实现碳减排是目前焚烧行业面对的技术难点之一,碳捕集与封存(CCS)技术应运而生。CCS指通过化学吸收、物理吸附或膜分离等技术,从废气中捕集二氧化碳,主要技术包括氧化还原反应、溶剂吸收和膜分离等。国内现已开发多种二氧化碳吸附剂,但暂未实现对二氧化碳的单一吸附;一些科研团队也致力于通过光催化、电催化等技术,将二氧化碳还原或转化为高附加值的产物(甲烷、乙烯等)。国外研究主要集中于如何将焚烧产生的二氧化碳高效捕集并安全封存。例如,挪威的一个研究团队开发了一种新型吸附剂,可在焚烧炉排气中高效捕集二氧化碳,并将其封存在地下储层中。

3.2 面临的挑战

尽管国内外在生活垃圾掺烧市政污泥技术方面均有进展,但该领域仍面临诸多挑战。

(1) 技术成本:直接掺烧市政污泥容易造成掺混不均匀导致的

制粉系统堵塞或者干燥出力不足等问题。其次,利用烟气或蒸汽对湿污泥进行干化处理,系统较为复杂,且会冲击原有焚烧系统。以烟气为例,未经除尘的烟温高但是含尘量大,经过除尘的烟温较低,达到同样干化效果所需烟气量更多;而蒸汽间接干化虽对锅炉的影响较小,但易产生凝结废水,此类废水的处理难度大。此外,污泥的除臭也需要处理成本。高效的焚烧和污染物控制技术通常需要前期投资和中期运维,成本问题会限制其在一些经济欠发达地区的应用。

(2) 烟气变化:掺烧会影响烟气产生量,这可能由于污泥热值较低,掺烧后降低了入炉物料的总热值,单位物料燃烧所需的风量相应减少,使得单位物料的烟气产生量减少。但由于每日入炉物料质量不一,不同焚烧厂的烟气总量缺少可比性^[4]。此外,焚烧过程中产生的二噁英、重金属和粉尘等有害物质亦是需重点关注。

(3) 资源回收:“十四五”规划中,鼓励污泥在实现稳定化、无害化处置前提下,稳步推进污泥能源资源化回收利用。生活垃圾掺烧市政污泥在资源化回收层面,具备良好的开发前景:污泥热解可产生 CO 、 CH_4 和 H_2 等强还原性气体,既可深加工作为燃料,也可作为部分重金属的还原剂,提高灰渣中金属元素的回收率。

4 展望及结论

4.1 未来发展方向

如今,垃圾和污泥焚烧处理技术正朝着智能化、自动化、新型材料与技术的应用、资源化利用以及政策支持和公众参与等方向快速发展;这些发展趋势不仅有助于废弃物处理效率的提高,还能够促进循环经济的实现,为可持续发展提供重要保障。

(1) 智能化和自动化。智能化和自动化已成为各行业发展的关键趋势,掺烧企业可借助此类技术,设定关键运营指标,如成本效率、资源利用率等,通过实时监控与定期评估,确保运营活动始终处于高效、可控状态;同时,亦能引入智能预警系统,对异常运营数据进行即时反馈,快速响应潜在问题,降低运营风险。

此外,自动化技术在废弃物处理中的应用也日益广泛。自动化进料系统可根据炉膛的燃烧情况,调整进料量,避免因操作不当导致的焚烧不均匀问题。智能化废气处理系统则可根据排放物的成分和浓度,及时切换处理系统的工作状态,从而控制污染物的排放。

(2) 新型材料和技术。新型材料和技术的研究是提高生活垃圾掺烧市政污泥处理效果的另一个重要方向。新型催化剂和吸附剂的应用,可显著提高污染物的去除效率。例如,金属氧化物催化剂在二噁英和氮氧化物的去除中呈现出优异的性能,而高效吸附剂则可用于重金属和有机污染物的去除。

在焚烧技术方面,等离子体焚烧和超临界水氧化等技术展现出广阔的应用前景。等离子体焚烧技术通过产生高温等离子体,可迅速分解废弃物中的有机物,减少有害物质的生成;而超临界水氧化技术则利用超临界状态下的水对有机物进行彻底氧化,尤其适用于处理含水量较高的污泥。

(3)资源化利用。资源化利用是实现废弃物循环利用的重要途径。垃圾和污泥焚烧产生的灰渣中含有可观的金属元素，可通过分离和提取技术，从中回收有价值的金属；此外，灰渣还可用于生产新型建筑材料，如生产混凝土砖等，从而减少资源消耗。

污泥焚烧产生的生物炭也是一种宝贵的资源。生物炭具有丰富的孔隙结构和较高的比表面积，可作为土壤改良剂，提升土壤的肥力和保水性。同时，生物炭还可用于水处理、废气净化等领域，具有广泛的应用前景。

(4)政策支持和公众参与。政策支持和公众参与是推动垃圾和污泥焚烧处理技术发展的重要保障。政府可制定激励导向政策，鼓励企业和科研机构进行技术创新。例如，可通过财政补贴、税收优惠等措施，激励企业投资于高效环保的焚烧处理技术。

公众参与和社会监督对于推动技术应用和提高社会接受度也具有重要作用。通过宣传教育，提高公众对垃圾和污泥焚烧处理技术的认知和理解。而社会监督机制的建立，可有效监督企业和政府的行为，确保废弃物处理过程的公开透明，增强公众的信任感。

4.2结论

生活垃圾掺烧市政污泥的协同处置方式，已逐步被行业认可。此方式不仅能实现废弃物的减量化、无害化、资源化和稳定化，焚烧后废弃物体积可减少至5%-10%，重量可减少至20%-30%，这极大缓解了后续填埋的压力；且焚烧的热能亦可用于发电或供热。掺烧企业应结合实际情况，严格把控市政污泥的含水率等关键参数，对每一道处理工序进行科学管理，以确保协同处置的效益。

为保障市政污泥与生活垃圾的协同处置效率，须考虑以下几个关键因素：

(1)市政污泥的含水率。含水率过高将导致入炉物料的热值

不足，影响燃烧效率，并增加烟气的水蒸气含量，加大尾气系统的处理负担。由此，市政污泥一般会经机械脱水和热干化等预处理，以提高燃烧效率。

(2)混合均匀度问题。混合不均匀会导致燃烧不完全，影响焚烧效率和排放控制。一般可在垃圾卸料平台或垃圾池内配备搅拌机或混合传送带等混合装置，确保理想的燃烧效果。

(3)过程的科学管理。建立完善的操作规程和管理制度，并对操作人员进行专业培训，可确保各环节的高效运行和污染物的有效控制。同时，配备先进的监控设备和自动化控制系统，实现对处理过程的实时监测和智能控制，亦能提高处理效率和安全性。

综上所述，生活垃圾掺烧市政污泥已成为一种行之有效的废弃物处理方式。通过严格控制污泥的含水率，确保其与生活垃圾的充分混合，并对处理工序进行科学管理，不仅有助于节约资源和保护环境，还能提高协同处置的效益。

[参考文献]

[1]张宁.污泥协同处理处置国内外现状及发展趋势分析[J].城市道桥与防洪,2023,(10):23-27+56+13.

[2]黎雄.生活垃圾焚烧与污泥处理协同处置研究[J].化工设计通讯,2023,49(07):171-173.

[3]张铨平,金升益.市政污泥掺烧技术与工艺[J].能源研究与利用,2023,(05):33-39.

[4]李俊成,毛梦梅,龙吉生.掺烧污泥对垃圾焚烧发电厂烟气净化系统的影响——以某污泥协同焚烧项目为例[J].环境卫生工程,2024,32(03):54-58.

作者简介：

黄海彬(1997--),男,汉族,广东省揭阳市人,硕士,研究方向：固体废物处置及资源化利用。