

Research on solid waste resource utilization technology in environmental protection engineering

Yang Yanqing Zhang Fuyun Mu Yanli

Yunnan Yizuo Environmental Technology Co., Ltd., Xiangyun, Yunnan, 672100, China

Abstract

With the acceleration of urbanization, the amount of solid waste generation is increasing, the traditional landfill and incineration treatment methods are facing challenges such as environmental pollution and resource waste, and solid waste resource utilization technology as a sustainable environmental protection treatment scheme has become the focus of global attention. Innovative technologies such as efficient incineration and gasification and bioconversion can improve resource efficiency and reduce environmental impact, while intelligent and automated technologies such as the Internet of Things, big data and artificial intelligence also provide an optimized path for solid waste treatment, improve system operation efficiency and reduce pollution emissions through real-time monitoring and data analysis.

Keywords

solid waste recycling, environmental protection engineering, technological innovation, circular economy

环保工程中的固废资源化利用技术研究

杨彦青 张富运 沐艳丽

云南翊佐环境科技有限公司, 中国 · 云南 祥云 672100

摘要

固体废物的产生量随着城市化进程的加快而不断增加, 传统的填埋和焚烧处理方式面临环境污染和资源浪费等挑战, 固废资源化利用技术作为一种可持续的环保处理方案已成为全球关注的重点, 本文系统梳理固废资源化的技术现状与发展趋势并分析物理、化学和生物处理技术的应用现状及局限性, 同时探讨绿色化学、高效焚烧与气化以及生物转化等创新技术路径以提高资源化效率、降低环境影响, 智能化与自动化技术如物联网、大数据与人工智能也为固废处理提供优化路径, 通过实时监控和数据分析提高系统运行效率减少污染排放。

关键词

固废资源化; 环保工程; 技术创新; 循环经济

1 引言

固废处置中传统填埋、焚烧等处理方式面临土地资源紧张、环境污染等严峻挑战, 而固废资源化利用作为破解“垃圾围城”困境、实现可持续发展的关键途径已成为全球关注的焦点, 本文聚焦环保工程领域, 系统梳理固废资源化利用技术现状及发展趋势并探讨构建循环经济新范式的路径选择, 为推动固废资源化利用技术创新促进循环经济发展提供参考。

2 固废资源化的技术现状与问题

随着城市化进程的加速和工业化程度的提高固体废物的产生量逐年攀升, 传统的填埋和焚烧处理方式已难以满足

可持续发展的需求, 固废资源化利用技术作为一种环境友好型处理方式逐渐成为研究热点。

2.1 当前主流固废处理技术

固废的转化利用是实现资源化利用的关键环节, 包括物理转化、化学转化和生物转化等多种方法。[1] 主要通过分选、破碎、压实等物理手段, 将固废转化为可再利用的材料如废旧金属的回收、塑料的再生利用等, 更进一步通过化学反应将固废转化为高附加值产品如废油再生、废酸回收等, 或者采用生物处理则利用微生物的代谢作用将有机固废转化为肥料或能源, 如堆肥、厌氧消化等。

2.2 存在的问题与技术瓶颈

这些主流技术在实际应用中仍存在诸多问题, 首先技术成本较高导致许多资源化技术的经济性较差难以大规模推广, 其次技术适用性有限, 不同种类的固废需要不同的处理技术, 而现有技术往往难以应对复杂的固废成分。资源化产品的市场接受度较低, 许多再生材料在性能和质量上无法

【作者简介】杨彦青 (1989-), 男, 中国云南祥云人, 工程师, 从事生态环境工程与咨询研究。

与原生材料竞争,导致资源化产品的销路不畅,同时现有技术标准不完善,缺乏统一的资源化技术规范 and 评价体系影响技术的规范化和产业化发展,一般的固废处理如图1所示:^[1]

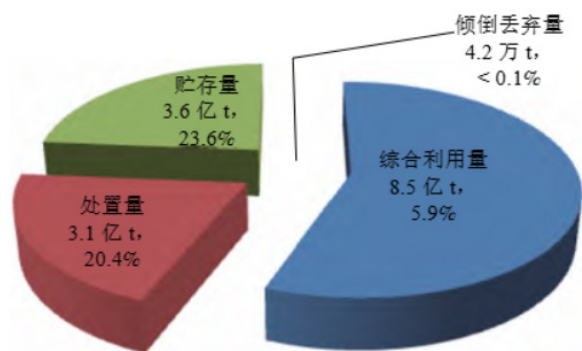


图1：一般固废利用、处置情况

2.3 技术的局限性分析

现在许多新兴技术仍处于实验室或中试阶段导致尚未实现大规模工业化应用,同时现有技术集成度低,单一技术往往难以实现固废的全量资源化需要多种技术的协同配合,而现有技术集成体系尚不完善;环境影响同样难以完全消除,部分资源化技术在处理过程中仍会产生二次污染如废气、废水的排放问题,为了解决现有技术的局限性,探索创新技术路径成为了推动固废资源利用的必经路径。

3 创新技术路径：新型固废处理技术的探索

科研人员不断探索新型固废处理技术,旨在提高资源化效率、降低环境影响并实现经济效益的最大化,本章将重点介绍绿色化学技术、高效能垃圾焚烧与气化技术以及生物转化技术等创新技术路径,分析其原理、优势及潜在应用前景,从2009年创新技术应用后,重点城市固废利用如图2所示:^[2]

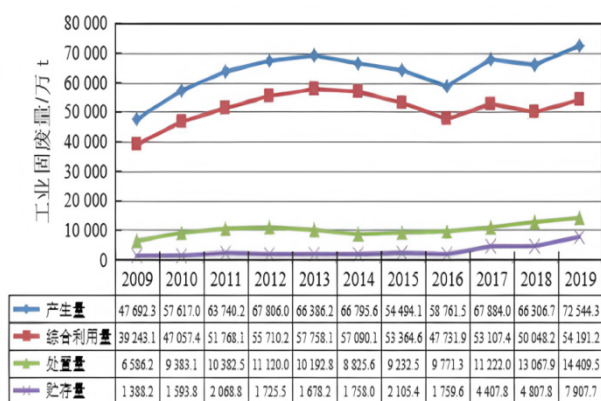


图2 全国重点城市固废利用逐年变化

3.1 绿色化学技术

绿色化学技术是一种以环境友好为核心的新型化学处理技术其通过减少或消除有害物质的使用和产生实现固废

的高效资源化,同时减少或避免有害物质污染环境。

1. 绿色溶剂: 绿色溶剂(如离子液体、超临界流体等)具有低毒性、可降解性和可回收性能够显著减少环境污染,比传统的化学催化剂具有更好的实用性例如超临界二氧化碳可用于废旧塑料的降解和再生实现资源的高效回收。

2. 绿色催化剂: 绿色催化剂(如生物酶、纳米催化剂等)具有高效、选择性强的特点能够在温和条件下实现固废的转化,现有的工艺中利用酶催化剂处理有机固废可将其转化为生物燃料或高附加值化学品。

3. 原子经济性反应: 在处理之前设计高效的化学反应路径最大限度地利用原料中的原子减少副产物的生成,例如在废油再生过程中采用原子经济性反应可提高再生油的产率和质量。

3.2 高效能垃圾焚烧与气化技术

高效能垃圾焚烧与气化技术作为固废处理的重要方法,通过热化学过程将废弃物转化为能源或化学品兼具高效处理、减容和能源回收的优势,本节将重点介绍高效能焚烧、气化和热解三种技术分析其原理、特点及应用探讨其在降低污染物排放、提高能源利用率等方面的进展与潜力,为固废资源化提供技术支撑。

1. 高效能垃圾焚烧技术: 传统垃圾焚烧技术存在二噁英、重金属等污染物排放问题,而高效能焚烧技术通过优化燃烧条件(如高温、富氧燃烧)和引入先进的烟气净化系统能显著降低污染物的排放,此外焚烧过程中产生的热能可用于发电或供热实现能源的回收利用,如现有的流化床焚烧技术能够处理多种类型的固废,并且能很好地解决焚烧残留与污染排放问题

2. 气化技术: 气化技术是在缺氧或限氧条件下将固废转化为合成气(主要成分为CO和H₂)的过程。合成气可作为燃料或化工原料,用于生产甲醇、氢气等高附加值产品。与焚烧技术相比,气化技术的污染物排放更低,且能够处理含水率较高的固废。例如,等离子体气化技术利用高温等离子体将固废彻底分解,几乎不产生二次污染。

3. 热解技术: 在缺氧环境下通过加热将固废转化为固体炭、液体油和可燃气体,与焚烧和气化技术相比热解技术的优势在于能够有效减少有害物质的产生并能够处理含有高水分或高有机物的固废,通过适当的温度控制热解可以优化产物的质量特别是在产生高质量的液体油(如生物油)方面具有潜力。

3.3 生物电能转化与物质提炼技术

物质提炼技术在原有的物理蒸发结晶的基础上进行定向处理,得到所需要的物质,2019年威立雅利用其先进的HPD蒸发和结晶技术帮助丰田汽车公司提炼电池级氢氧化锂,用于制造动力电池。^[3]

生物转化技术则是利用微生物或酶的代谢作用将有机固废转化为能源或高附加值产品的技术,主要包括厌氧消化

和微生物燃料电池等。

1. 厌氧消化：厌氧消化是在无氧条件下利用微生物将有机固废分解为沼气（主要成分为 CH_4 和 CO_2 ）和消化液的过程，沼气可作为清洁能源使用而消化液则可作为有机肥料，该技术适用于处理厨余垃圾、农业废弃物等高有机质固废，如两相厌氧消化技术通过优化反应条件提高沼气的产率和稳定性。

2. 微生物燃料电池：该技术利用微生物的代谢作用产生电子，并通过外电路传递形成电流。例如，利用微生物燃料电池处理污水厂污泥，不仅能够实现污泥的减量化，还能回收电能。

4 智能化与自动化技术推动固废资源化

4.1 物联网与大数据应用

物联网（IoT）通过传感器、无线网络等设备实时监控固废的处理过程，使信息透明化便于管理者进行数据分析和决策支持，在垃圾分类、存储、运输过程中物联网设备可以监控垃圾的种类、数量、位置等信息确保垃圾能够高效、合理地分类与转运。同时物联网技术还能够通过实时监控设备状态，预警潜在故障并减少设备停运时间以此提升系统运行的稳定性。

使用物联网的同时采用大数据技术分析海量的历史数据为固废资源化过程提供科学依据，基于大数据分析能够预测固废处理的趋势、评估不同处理路径的效果从而优化资源配置，例如在垃圾焚烧过程中大数据可以帮助预测垃圾的热值、湿度等特性，调整焚烧炉的工作参数以达到更高的处理效率，减少污染排放。

4.2 人工智能的优化路径

在固废资源利用过程中加入算法优化与机器学习，AI能够动态调节固废分类与处理工艺显著提升智能化水平，在固废分类方面通过计算机视觉与图像识别技术，能够快速准确地识别和分类不同种类的垃圾，如塑料、金属、纸张等，相比传统的人工分类不仅提高准确性，还大大提高处理效率减少人工成本，降低出错率。

系统还能通过训练模型，在不断处理数据的过程中优化分类算法进一步提高固废处理的精准度，在处理过程中AI还通过实时监控温度、湿度、烟气成分等参数分析并优化垃圾焚烧的燃烧条件，提升能源利用效率来减少有害气体的排放。兴起的深度学习和模式识别能够分析固废资源化过程中的各类变量关系，建立智能决策系统帮助管理者实时评估与调整处理方案，例如，垃圾填埋场通过监测地下水、气体排放和土壤质量能够提供污染风险降低的优化方案。

4.3 智能化设备的应用前景

现有的自动化分拣、智能压缩、自动化焚烧和智能监控等设备正在逐步取代传统的人工操作，智能分拣设备通过高精度传感器、图像识别技术和机械臂等能够自动完成垃圾

的分类工作，相较于人工分拣智能设备不仅效率更高而且减少二次污染，智能压缩设备则能够根据固废的种类与体积自动调整压缩方式提高运输效率，减少占用的存储空间降低运输成本。

在垃圾焚烧领域自动化焚烧设备能够减少人工干预，通过自动调节焚烧温度、空气流量等参数优化燃烧效果，智能监控设备通过实时监测固废处理的各个环节确保设备的正常运行，随着新型利用技术的普及与智能化技术的应用，

4.4 我国固废资源利用现状

随着需求的增加和技术的不断发展及人工智能应用固废资源处置与资源化行业的营业收入近年呈现稳步增长趋势，从2017年至2021年该行业的营业收入逐年增加反映出市场对固废处理与资源化需求的持续上升，同时固废处理处置与资源化在环保产业总营业收入中的占比也保持稳定表明其在环保产业中的重要地位，这一趋势不仅体现行业的技术进步和政策支持也预示着未来固废处理与资源化市场的进一步扩展潜力，如图3所示：

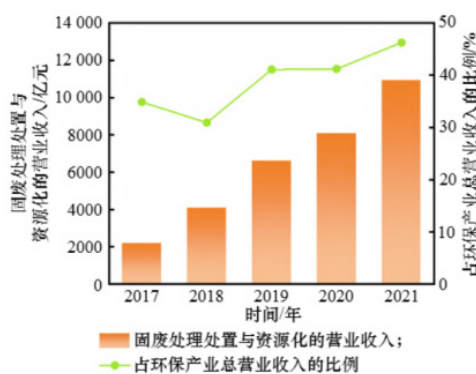


图3 2017-2021 固废处置营收

5 结论

固废资源化利用技术在环保工程领域扮演着至关重要的角色，随着技术的不断进步，物理、化学和生物处理方法为固废转化提供多样的解决方案，然而现有技术仍面临成本高、技术适应性差及市场接受度低等挑战。未来通过绿色化学技术、高效能垃圾焚烧与气化技术、生物转化技术等创新路径的探索，有望提高资源化效率并减少环境污染，同时物联网、大数据和人工智能的应用将推动固废资源化的智能化与自动化进程，提升资源回收率和处理效率以降低成本和污染。

参考文献

- [1] 邵剑明.工业固废资源化利用及其环境影响评价.工程科技I辑, 2024,41 (01)
- [2] 包永鹏.工业固废资源化利用综合利用的策略.工程科技I辑, 2024,52 (03)
- [3] 张婷婷.碳中和背景下我国固废资源化利用产业发展研究, 2024,26 (01)