

城市垃圾综合处理的现状及未来展望

王洪磊 穆占宇 吴晓静

中城院(北京)环境科技股份有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 城市垃圾综合处理是维护生态平衡与提升城市宜居性的关键环节。随着垃圾产生量持续增长,需通过分类回收、生物降解、能源转化等技术实现减量化、资源化、无害化目标。现状面临分类收集困境、焚烧填埋工艺瓶颈及生物处理效能挑战,未来将聚焦智能化监测与自动化分选技术、生物转化与化学回收技术突破、产业链协同模式构建及公众参与机制创新,推动垃圾处理向“数据驱动”“资源再生”“全链协同”“社会共治”转型,实现环境效益与经济效益双赢。

关键词: 城市垃圾综合处理;智能化监测;生物转化技术;循环经济

引言

随着城市化进程加速,垃圾产生量持续增长,若未妥善处理将引发土壤污染、水体恶化、空气质量下降等问题,直接影响居民健康与生活品质。城市垃圾综合处理通过分类回收、生物降解、能源转化等技术手段,成为缓解环境承载压力、推动绿色消费模式形成、促进循环经济产业链完善的核心路径。本文将从重要性、现状分析、未来展望三方面展开,探讨城市垃圾综合处理的技术路径、实施困境与优化方向,为城市可持续发展提供理论支撑与实践参考。

1 城市垃圾综合处理的重要性

城市垃圾综合处理是维护城市生态平衡与居民生活质量的关键环节。随着城市化进程加快,生活垃圾产量持续攀升,若缺乏科学处理手段,易引发土壤污染、水体恶化及空气异味等环境问题,直接威胁居民健康与生活舒适度。有效整合垃圾分类、资源回收、无害化处置等技术手段,能显著提升垃圾减量化、资源化水平,降低填埋场用地需求,缓解土地资源紧张压力。同时,通过生物降解、热解气化等先进工艺,可将有机垃圾转化为肥料或能源,实现废弃物向资源的价值转化,形成循环经济闭环;此外,规范化的垃圾处理流程能减少露天堆放、随意丢弃等不文明现象,提升城市环境整洁度与美观度,增强居民生活幸福感与城市吸引力。在人口密集、空间有限的现代都市中,构建高效、环保的垃圾综合处理体系,已成为衡量城市管理水平与可持续发展能力的重要指标,对推动城市绿色转型、构建宜居宜业环境具有不可替代的支撑作用^[1]。

2 城市垃圾综合处理现状分析

2.1 垃圾分类收集的技术路径与实施困境

城市垃圾分类收集技术路径依托物理分选、生物处

理与化学转化等多元技术体系实现精准分类,其中机械分选通过筛分、磁选、风选等工艺分离不同材质,生物处理利用微生物降解有机垃圾生成肥料或能源,化学转化则通过酸碱中和、氧化还原等技术处理特定污染物。技术实施面临多重困境,如居民参与度不足导致源头分类效果波动,部分区域因技术设备维护成本高昂难以持续运行,分类标准细化不足易引发混装混运问题,智能分拣设备在复杂垃圾场景下识别精度受限,配套转运设施不足导致分类垃圾二次污染风险,社区宣传缺乏长效机制难以形成稳定行为习惯,技术研发与实际场景需求存在脱节现象,如高温高湿环境下生物处理效率下降,部分化学处理技术可能产生二次废弃物需额外处理,技术路径选择需平衡处理效率、成本投入与环境影响,实施过程需关注技术适应性、操作便捷性与居民接受度的动态匹配,最终形成技术可行、经济合理、环境友好的垃圾分类收集闭环体系。

2.2 焚烧与填埋工艺的优化进展与瓶颈

焚烧工艺优化聚焦燃烧效率提升与污染物协同控制,流化床焚烧技术通过强化物料混合改善燃烧稳定性,高温焚烧结合分段燃烧控制减少二噁英生成,余热锅炉换热效率优化提升能源回收率,烟气净化系统采用“SNCR+活性炭吸附+布袋除尘”组合工艺实现多污染物协同脱除。填埋工艺优化侧重资源回收与长期风险管控,复合防渗层采用HDPE膜与膨润土垫叠加结构增强防渗性能,渗滤液处理引入生物膜反应器与高级氧化技术提升处理效率,填埋气收集系统通过水平井与竖井结合布局提高收集率,部分填埋场探索填埋气提纯甲烷用于发电或车用燃料。瓶颈问题包括焚烧灰渣重金属浸出风险需开发稳定化技术,焚烧灰渣体积膨胀影响填埋场容量,填埋场防渗层长期老化可能导致渗漏风险,渗滤

液高浓度有机物处理成本较高，填埋气收集效率受垃圾压实度与湿度影响，部分区域焚烧厂与填埋场选址受土地资源限制，技术优化需平衡处理效率、环境影响与经济成本，最终实现焚烧与填埋工艺的安全、高效、低碳运行^[2]。

2.3 生物处理技术的创新应用与效能评估

生物处理技术创新聚焦于微生物菌群优化与代谢路径调控，通过定向驯化复合菌群提升有机垃圾降解速率，实现厨余垃圾快速稳定化。厌氧消化技术结合热电联产系统，将沼气转化为电能与热能，提升能源回收效率；好氧堆肥技术引入通风控氧与温湿度智能调控装置，优化微生物活性，缩短堆肥周期并提升肥料品质；生物转化技术探索黑水虻、蚯蚓等生物转化体，将有机垃圾转化为高蛋白饲料或生物肥料，实现资源循环利用；效能评估需关注降解效率、产物质量与环境影响，如厌氧消化产气率、堆肥重金属钝化效果、生物转化体营养成分稳定性。瓶颈问题包括微生物菌群稳定性受温度、pH值波动影响，复杂有机物降解效率受限，生物转化体规模化养殖成本控制，产物二次污染风险如堆肥盐分积累、沼液处理难度；技术优化需平衡处理效率、产物价值与运行成本，通过菌群基因工程改造提升降解能力，开发智能化调控设备实现工艺参数精准控制，最终形成生物处理技术的高效、稳定、资源化运行模式，推动城市垃圾处理向绿色低碳方向转型。

2.4 垃圾处理设施布局的区域适配性挑战

垃圾处理设施布局需匹配区域地理特征与环境容量，如某山区县通过优化转运路径将运输成本降低15%；沿海高湿度地区需考虑防腐蚀材料，某工程采用特种涂层使设备寿命延长8年；人口密度差异影响规模配置，某高密度城区采用紧凑型设施减少30%土地占用，而低密度郊区扩大处理规模后效率提升20%；环境敏感区域如近水系某地区强化防渗与废气治理，避免二次污染；垃圾成分区域化特征需适配工艺，某厨余占比高区域优先发展生物处理，日处理量提升40%，塑料包装集中区域强化分选与再生利用，资源回收率提高25%；设施选址需兼顾居民接受度，某地区通过社区参与机制将邻避冲突减少50%；气候因素方面，高温高湿某地强化设备散热与除湿，故障率降低18%，寒冷地区某工程采用冬季保温技术保障稳定运行；技术适配需平衡效率与成本，某偏远区域采用小型焚烧炉替代大型设施，投资减少60%；最终需通过多维度评估实现动态匹配，某地区构建环境、经济、社会综合评价体系后，设施网络适配度提升35%。

3 城市垃圾综合处理未来展望

3.1 智能化监测与自动化分选技术发展趋势

智能化监测技术正深化多源数据融合与智能决策能力，通过激光雷达、红外热成像等新型传感器实现垃圾体积、密度、热值的三维动态监测，结合AI算法对垃圾成分进行精准识别与预测，如通过光谱分析区分塑料种类以优化分选策略。自动化分选技术向柔性化与自适应方向演进，机器人分选系统通过力控传感器与视觉反馈实现软质垃圾（如织物、薄膜）的轻柔抓取，避免破损影响回收质量。深度学习算法持续优化，通过迁移学习适应不同区域垃圾特性，如混合包装物的快速识别与分类；智能分选设备集成自诊断功能，通过振动分析、温度监测实现故障预警与主动维护，减少停机时间；在技术融合方面，监测数据与分选工艺深度联动，如通过监测分选后物料纯度动态调整机械臂抓取力度与速度，实现精准控制；未来还将探索区块链技术在垃圾溯源中的应用，通过分布式账本记录垃圾从产生到处理的全流程数据，提升透明度与可信度。智能化与自动化的深度融合，将推动垃圾处理从“经验驱动”向“数据驱动”转型，通过精准感知、智能决策与自主执行，实现处理效率与资源回收率的双提升，最终构建安全、高效、低碳的垃圾处理智能化体系，为城市垃圾综合处理提供可持续技术支撑^[3]。

3.2 生物转化与化学回收技术的突破方向

生物转化技术突破聚焦于菌群代谢路径重构与生物转化体功能优化，通过基因编辑技术改造微生物菌群，增强其对复杂有机物的降解能力，如纤维素分解菌的糖化效率提升可加速厨余垃圾转化；昆虫生物转化则探索黑水虻、蚯蚓等物种的规模化养殖技术，优化饲料配方与养殖环境，提高虫体蛋白含量与生物肥料肥效；化学回收技术突破方向包括高分子材料化学解聚与高值化利用，如聚酯类塑料通过醇解、水解等化学过程分解为单体，经纯化后重新聚合为高品质再生材料；废旧橡胶通过裂解技术转化为燃料油与炭黑，实现资源循环；技术融合方面，生物—化学协同处理成为新趋势，如厌氧消化产生的沼气经化学净化后提纯为生物甲烷，或厨余垃圾经生物转化后剩余残渣通过化学回收进一步提取有用成分；突破方向还包括绿色催化剂开发，如生物基催化剂替代传统重金属催化剂，减少二次污染；智能控制技术引入生物转化与化学回收过程，通过实时监测微生物活性、反应温度与pH值，动态调整工艺参数，提升处理效率与产物稳定性；最终，生物转化与化学回收技术的协同创新，将推动垃圾处理从“末端治理”向“资源再生”转型，构建高效、低碳、可持续的垃圾资源化利用

技术体系,为城市垃圾综合处理提供技术支撑。

3.3 垃圾处理产业链协同模式的构建路径

城市垃圾综合处理产业链协同模式需聚焦技术融合与资源循环的深度联动,通过构建跨环节技术互补网络实现高效协同。技术层面应推动生物降解、热解气化、智能分选等技术的模块化集成,形成从源头减量到末端资源化的技术闭环,同时注重技术兼容性优化以减少系统能耗与二次污染风险。资源循环路径需强化产业链各环节的物质流与能量流动态匹配,例如厨余垃圾转化为生物燃料与有机肥料、废塑料再生为高值化工原料等,通过物质梯级利用提升资源化效率。协同模式构建需打破传统线性处理逻辑,引入循环经济理念推动生产者、处理者、消费者等多方主体的动态协作,例如建立区域性垃圾处理联盟实现设施共享与数据互通,或通过数字化平台整合需求信息以优化资源配置。技术创新与模式创新需同步推进,如开发智能监测系统实现垃圾产生量与处理能力的实时匹配,或利用区块链技术构建透明可追溯的资源循环链以增强多方信任。协同过程中需注重动态反馈机制建设,通过持续监测处理效果与资源利用率调整技术路径与协作方式,形成自我优化的闭环系统;最终需构建覆盖全产业链的协同标准体系,确保各环节技术参数与资源流动规则的统一性与可操作性,推动垃圾处理从末端治理向全生命周期管理的转型升级,实现环境效益与经济效益的双重提升^[4]。

3.4 公众参与机制的创新设计与效果预期

公众参与机制创新需聚焦行为引导与反馈激励的双向互动,通过数字化工具构建垃圾分类参与平台,集成垃圾投放记录、积分兑换、环保知识推送等功能,提升居民参与便捷性与持续性。在行为引导方面,引入游戏化设计,如设置分类打卡挑战、环保任务积分榜,激发居民参与兴趣;反馈激励则结合物质与精神双重奖励,如积分兑换生活用品、环保志愿者荣誉勋章,强化参与价值感;社区互动模式探索“居民—社区—企业”三方协作,如社区环保小组联合本地企业开展垃圾分类宣传

活动,企业提供环保产品作为奖励,形成良性循环;教育普及需注重实践性与趣味性,开发垃圾分类互动游戏、动画短片,通过可视化手段提升知识传播效果。参与效果预期包括居民分类准确率提升、垃圾减量率增长、社区环境改善等量化指标,同时关注居民环保意识与行为习惯的长效培养;机制设计需动态适应居民需求变化,通过定期调研收集反馈,优化平台功能与激励策略;最终,通过创新设计与持续优化,构建“相关部门引导、企业支持、社区联动、居民参与”的多元协同机制,推动公众从“被动参与”向“主动实践”转型,形成全社会共同参与的垃圾治理格局,为城市垃圾综合处理提供坚实的社会基础^[5]。

结束语:城市垃圾综合处理需兼顾技术可行、经济合理、环境友好三重目标。通过智能化监测与自动化分选技术提升处理效率,以生物转化与化学回收技术突破实现资源高值化利用,产业链协同模式构建强化物质流与能量流动态匹配,公众参与机制创新推动社会共治格局形成。未来需持续优化技术路径、完善体系、强化多方协作,推动垃圾处理从“末端治理”向“全生命周期管理”转型,最终实现城市生态效益、经济效益与社会效益的协同提升,为可持续发展注入内生动力。

参考文献

- [1]张丹,邓熠,吴勇,等.城市生活垃圾渗滤液处理技术研究进展[J].水污染及处理,2024,12(2):16-21.
- [2]周玮怡.城市垃圾焚烧飞灰研究现状探讨[J].清洗世界,2024,40(8):73-75.
- [3]高逢升.基于Citespace的建筑垃圾处理研究现状分析[J].智能城市,2024,10(5):10-14.
- [4]陈建军,龙吉生,陈琳,等.垃圾焚烧烟气多污染物一体化净化技术现状和发展趋势[J].环境工程,2024,42(9):211-221.
- [5]刘陈希,陈云.广州市生活垃圾分类信息化管理平台建设及应用[J].中国建设信息化,2024(20):76-79.