

“无废城市”试点下工业固废资源化对土壤改良的促进作用

赵亚新，张莹

摘要：“无废城市”建设是我国生态文明建设的重要举措，核心在于推动固体废物减量化、资源化与无害化。工业固废作为固体废物的主要组成部分，其堆存不仅占用大量土地资源，还易引发土壤污染与退化问题。在“无废城市”试点政策引导下，工业固废资源化利用成为破解上述困境的关键路径，同时为土壤改良提供了全新解决方案。本文阐述“无废城市”试点内涵与工业固废资源化现状，分析工业固废资源化用于土壤改良的核心技术路径，探讨其对土壤理化性质、养分状况及生态功能的促进作用，为“无废城市”建设与土壤生态修复协同发展提供理论支撑与实践参考。

关键词：无废城市；工业固废；资源化利用；土壤改良；生态修复

1 “无废城市”试点与工业固废资源化概况

1.1 “无废城市”试点核心要求

“无废城市”并非无固体废物产生，而是通过制度创新、技术支撑与管理优化，实现固体废物产生量最小化、资源化利用最大化、无害化处置最优化，构建“资源-产品-废弃物-再生资源”的闭环发展模式。试点建设重点聚焦工业固废、生活垃圾、农业废弃物等各类固体废物的资源化利用，其中工业固废资源化是重中之重，要求试点城市完善固废资源化利用体系，推动固废在生态修复、土壤改良等领域的规模化应用，实现环境效益、经济效益与社会效益的协同统一。

1.2 工业固废资源化现状

我国工业固废种类繁多，主要包括尾矿、煤矸石、粉煤灰、冶炼渣、工业副产石膏等，不同类型固废的成分与特性差异较大，为其资源化利用提供了多样化路径。2023年我国大宗工业固废综合利用率为53.32%，其中尾矿综合利用率仅30.13%，仍有大量固废处于堆存状态，资源化潜力巨大。

在“无废城市”试点政策推动下，工业固废资源化技术快速发展，形成了

建材化利用、有价元素提取、生态化利用等多元化路径。其中，生态化利用中的土壤改良应用，凭借消纳量大、适配性强、生态效益显著等优势，成为试点城市重点推广的资源化路径之一，既解决了工业固废堆存难题，又实现了土壤质量的提升，契合“无废城市”建设的核心目标。

2 工业固废资源化用于土壤改良的核心技术路径

2.1 固废无害化改性技术

工业固废中部分含有重金属、酸性或碱性物质，直接用于土壤改良会引发二次污染。因此，无害化改性是工业固废用于土壤改良的前提。试点城市主要采用物理改性、化学改性与生物改性三种方式，去除固废中的有害成分，调节其理化性质。物理改性通过破碎、筛分、研磨等工艺，优化固废颗粒级配，提高其与土壤的融合性；化学改性通过添加中和剂、稳定剂等，调节固废酸碱度，固化重金属离子；生物改性利用微生物作用，降解固废中的有害有机物，转化重金属形态，降低其环境风险。

2.2 营养型固废资源化利用技术

部分工业固废富含氮、磷、钾、硅、钙等营养元素，经无害化处理后，可作为土壤改良剂，补充土壤养分，改善土壤肥力。例如，工业副产石膏富含钙、硫元素，可用于改良酸性土壤，补充土壤钙素，促进作物生长；粉煤灰含有丰富的硅、铝等元素，可改善土壤颗粒结构，提高土壤保肥保水能力；冶炼渣经改性处理后，可释放铁、锰等微量元素，弥补土壤养分短板。

2.3 结构改良型固废资源化利用技术

针对土壤板结、透气性差、保水性不足等问题，试点城市利用工业固废的颗粒特性，开发结构改良型资源化技术。例如，煤矸石、尾矿经破碎筛分后，可作为土壤疏松剂，掺入板结土壤中，增加土壤孔隙度，改善土壤透气性与透水性；粉煤灰与黏土混合改良为种植土，可实现地形塑造与土壤结构优化，同时降低改良成本，如南昌高新区采用“固化粉煤灰种植土”技术，将粉煤灰与黏土混合，形成缓冲层与种植层，有效改善了粉煤灰堆场的土壤条件。

3 工业固废资源化对土壤改良的促进作用

3.1 改善土壤理化性质

土壤理化性质是土壤质量的核心指标，直接影响土壤的保肥、保水能力与作物生长环境。工业固废经资源化改性后，掺入土壤中可有效调节土壤酸碱度，改善土壤颗粒级配，降低土壤容重，增加土壤孔隙度。例如，工业副产石膏用于酸性土壤改良，可中和土壤酸度，调节土壤 pH 值至适宜范围；煤矸石、尾矿等颗粒状固废掺入板结土壤，可打破土壤团聚体结构，降低土壤容重，提高土壤透气性与透水性，缓解土壤板结问题。同时，固废中的无机矿物成分可与土壤颗粒形成稳定的团聚体，增强土壤结构稳定性，减少土壤侵蚀。

3.2 补充土壤养分，提升土壤肥力

土壤肥力不足是制约农业生产与生态恢复的重要因素，工业固废中蕴含的多种营养元素，为土壤养分补充提供了重要来源。营养型固废经无害化处理后，其含有的氮、磷、钾等大量元素可被作物直接吸收利用，硅、钙、铁、锰等微量元素可弥补土壤养分短板，改善土壤养分平衡。例如，粉煤灰中的硅元素可促进作物细胞壁发育，提高作物抗逆性；工业副产石膏中的钙、硫元素可促进作物根系生长，提升作物产量与品质。同时，固废资源化过程中，通过添加微生物菌剂，可促进土壤中养分的转化与释放，提高土壤养分利用率，进一步提升土壤肥力。

3.3 修复土壤生态功能，提升环境承载力

工业固废资源化用于土壤改良，不仅能改善土壤理化性质与养分状况，还能修复土壤生态功能，提升土壤环境承载力。一方面，固废中的有机成分与微生物菌剂可促进土壤微生物群落结构优化，增加土壤微生物多样性，增强土壤的生物活性，促进土壤物质循环与能量流动；另一方面，对于重金属污染土壤，工业固废经改性处理后，可通过吸附、固化等作用，降低土壤中重金属离子的活性，减少其迁移扩散，降低重金属对作物与生态环境的危害。例如，赤泥经稳定化、酸碱调控等技术处理后，用于重金属污染土壤改良，可有效固化重金属离子，恢复土壤自然生态功能。此外，工业固废资源化土壤改良还能促进植被恢复，增加土壤碳汇量，助力“双碳”战略实现。

4 结论

“无废城市”试点建设为工业固废资源化利用提供了政策支撑与发展机遇，工业固废资源化作为“无废城市”建设的核心内容，与土壤改良的结合，实现了固废消纳与土壤修复的双重效益。工业固废经无害化改性与资源化利用，可有效改善土壤理化性质，补充土壤养分，修复土壤生态功能，提升土壤环境承载力，为土壤改良提供了全新的资源化路径。

当前，“无废城市”试点下工业固废资源化土壤改良取得了一定成效，但仍存在技术适配性不足、标准体系不完善、推广力度不够等问题。未来，需通过加强技术创新、完善标准体系、加大政策扶持、健全环境风险管控体系等措施，优化工业固废资源化土壤改良的应用模式，推动工业固废资源化与土壤改良深度融合，为“无废城市”建设与生态文明建设提供有力支撑。

参考文献

- [1] 杨然然.基于“无废”理念导向的城市固废资源化利用途径研究[J].华东纸业,2025,55(6):76-78
- [2] 孙振红,马健,康鑫,王鑫.“无废城市”建设及“无废”理念背景下固废资源化利用探析[J].再生资源与循环经济,2024,17(8):24-26