

固体废物资源化利用的环境效益与工程可行性

邓广才

广州诺登环保工程有限公司，广东 广州 511440

DOI:10.61369/EAE.2025030007

摘 要： 固体废物资源化利用是应对资源短缺与环境污染双重挑战的重要途径。本文系统分析了固体废物资源化在减少环境污染、降低碳排放、节约自然资源等方面的环境效益，从技术成熟度、经济成本、政策支持及产业链协同等角度探讨了其工程可行性，并提出优化技术路径、完善政策体系、强化市场驱动等推进策略，为推动固体废物资源化利用的可持续发展提供参考。

关 键 词： 固体废物；资源化利用；环境效益

Environmental Benefits and Engineering Feasibility of Resource Utilization of Solid Waste

Deng Guangcai

Guangzhou Nuodeng Environmental Protection Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 511440

Abstract： Resource utilization of solid waste represents a crucial approach to addressing the dual challenges of resource scarcity and environmental pollution. This paper systematically analyzes the environmental benefits of solid waste resource utilization in terms of reducing environmental pollution, lowering carbon emissions, and conserving natural resources. It explores the engineering feasibility from the perspectives of technological maturity, economic costs, policy support, and industrial chain collaboration. Furthermore, it proposes strategies such as optimizing technological pathways, improving policy frameworks, and strengthening market-driven approaches to promote the sustainable development of solid waste resource utilization, providing references for advancing this field.

Keywords： solid waste; resource utilization; environmental benefits

引言

随着工业化和城市化加速，固体废物产生量持续增长，传统“末端处置”模式占用土地且易引发污染，威胁生态与人类健康。在此背景下，固体废物资源化利用作为“3R”原则核心实践，通过将废弃物转化为再生资源实现“变废为宝”，成为全球可持续发展重要共识。近年来，我国重视固体废物资源化工作，出台相关政策文件推动技术创新与产业升级。然而，固体废物成分复杂、处理难、成本效益不平衡等问题制约其工程应用。因此，深入评估其环境效益，系统分析工程可行性，对突破技术瓶颈、优化产业布局、提升资源利用效率有重要理论与实践意义。

一、固体废物资源化利用的环境效益分析

（一）资源减耗效益

固体废物的资源化利用，其核心价值之一在于能够替代部分原生资源，从而减少对矿产、森林、土地等自然资源的开采与消耗。当工业废渣、城市垃圾等被转化为可再利用的材料时，对自然界原始物质的索取便相应降低。例如，粉煤灰作为一种燃煤电厂的副产品，经过适当处理后，可以部分替代水泥作为混凝土的掺合料。这种替代不仅直接减少了水泥生产所需石灰石等原料的开采量，还降低了水泥生产过程中的能耗^[1]。

（二）污染减排效益

资源化利用在减少污染方面同样具有显著效益。它能够有效降低固体废物在收集、运输、处理（如填埋、焚烧）等环节中产生的环境负担。在收集和运输过程中，废物量的减少直接意味着运输车辆行驶里程和燃油消耗的降低，从而减少了相应的尾气排放和交通拥堵。在处理环节，将废物资源化处理通常比填埋或焚烧产生更少的温室气体。例如，填埋有机废物会产生甲烷，这是一种强效温室气体；而通过堆肥或厌氧消化等资源化方式处理，可以捕获并利用这些气体，或将其转化为相对无害的物质。填埋场还会产生渗滤液，污染土壤和地下水，而资源化利用则避免了

大量废物进入填埋场，减少了渗滤液的产生量。焚烧处理虽然能减少体积，但会产生扬尘和多种有害物质，如二噁英、重金属等，需要复杂的烟气处理系统。资源化利用则从根本上减少了需要焚烧的废物量^[2]。

（三）土地节约效益

资源化利用对于土地资源的节约同样意义重大。它通过减少最终需要进入填埋场的废物总量，直接保护了宝贵的土地资源。填埋场占用了大量的土地面积，并且这些土地往往位于城市周边或交通便利的区域，具有很高的潜在利用价值。当更多的废物被回收、再利用或转化为其他有用物质时，对新增填埋场的需求就会减少，现有填埋场的使用寿命也能得到延长。更进一步，一些资源化产品可以直接应用于土地工程中，促进土地的可持续利用。

（四）综合环境效益评价

固体废物资源化利用所带来的环境效益是多方面的、系统性的。它不仅体现在单一环节的资源节约或污染减排上，更在于其对传统“产生—丢弃”处理模式的根本性改善。这种改善覆盖了从资源开采、生产制造、使用消费到最终处置的整个链条，推动形成了更为闭合和高效的物质循环。因此，评价资源化利用的环境效益时，必须强调其综合性和系统性，认识到各项效益之间的相互关联和协同作用。同时，评估过程需要采取全生命周期的视角，全面考量资源化过程本身可能产生的环境负荷（如收集运输的能耗、处理加工的排放等），并将其与不进行资源化处理（即采用传统方式）所造成的环境影响进行对比。

二、固体废物资源化利用的工程可行性探讨

（一）技术成熟度与适用性

在探讨固体废物资源化利用的工程可行性时，首先需要评估相关技术的成熟程度及其适用范围。针对不同类型的固体废物，存在多种资源化技术路径，例如物理分选、机械破碎、高温熔融、化学转化或生物降解等。这些技术并非万能，其成熟度各不相同。某些技术，如针对特定塑料的物理回收或金属的电磁分选，已经发展较为成熟，应用广泛。而另一些技术，如复杂有机废物的化学解聚或特定工业废渣的高值化利用，可能仍处于研发或小规模试验阶段，技术稳定性有待验证。技术选择并非随意，必须与待处理废物的具体物理化学特性紧密匹配。例如，湿式分选技术适用于含水量较高的废物，而干式破碎则对含水率有特定要求^[3]。

（二）工艺流程与设备要求

典型的固体废物资源化利用工艺流程通常包含多个关键环节和相应的设备构成。以建筑垃圾再生骨料生产为例，其流程一般包括原料的接收与初步分拣、破碎、筛分、磁选除铁、清洗等步骤。每个环节都需要特定的设备，如颚式破碎机、反击式破碎机、振动筛、磁选机、洗石机等。这些设备共同构成了完整的处理线。在工程实践中，设备的运行稳定性、可靠性至关重要，这直接关系到处理线的连续作业能力和处理效率。自动化程度也是

重要考量，高度自动化的系统可以减少人为干预，保证产品质量的均一性，并降低对操作人员的数量需求。

（三）运行成本与经济性

资源化利用项目的经济性是决定其能否可持续运行的关键因素。这涉及到初始的投资成本，包括土地购置或租赁、厂房建设、工艺设备采购与安装等费用，以及后续的运行维护成本，如日常能耗（电力、燃料）、化学药剂消耗、人工工资、设备定期维护和更换备件费用等。这些成本构成了项目的总投入。另一方面，项目的经济性也取决于其产出产品的市场接受度和销售价格。如果再生产品能够获得市场认可，以合理的价格销售出去，就能带来收入，抵消部分甚至全部成本。然而，市场对再生产品的偏好、价格敏感度、以及与传统原生材料的竞争关系，都直接影响着产品的销售情况和项目整体的盈利能力。成本效益的平衡往往充满挑战，例如，某些高值化利用技术虽然产品价值高，但投资和运行成本也相应增加；而一些低成本的简单处理技术，产品附加值可能较低，市场空间有限。如何在技术先进性、处理效果与经济可行性之间找到平衡点，是资源化工程面临的重要难题。

（四）运行安全与风险控制

固体废物资源化利用的工程实践中，运行安全与风险控制是不可忽视的重要环节。处理过程中可能存在多种安全风险。例如，在处理含有可燃物的废物时，如废弃塑料或生物质，干燥或破碎过程中产生的粉尘可能达到爆炸极限，引发粉尘爆炸。某些废物在高温处理或化学处理过程中可能释放出有毒有害气体，如二噁英、重金属蒸汽等，对操作人员和环境造成危害。此外，破碎、剪切等机械设备也可能导致机械伤害。为了控制这些风险，工程实践中需要采取多方面的措施。通过优化工艺设计，如设置防爆泄压装置、改进通风除尘系统，可以从源头上减少风险因素。选择符合安全标准的设备，如带有安全防护罩的机械，也能降低事故发生的概率。制定并严格执行标准操作规程，对操作人员进行充分的安全培训，提高其安全意识和应急处理能力同样重要。同时，必须制定完善的应急预案，明确在发生泄漏、火灾、爆炸等紧急情况时的应对流程和责任分工，确保能够迅速有效地控制事态，减少损失。这些措施共同构成了资源化工程安全运行的保障体系^[4]。

三、环境效益与工程可行性的耦合关系

（一）环境效益对工程可行性的影响

显著的环境效益能从多个维度提升资源化项目的工程可行性。在政策支持方面，当项目具有明确的碳减排贡献，如某垃圾焚烧发电项目经测算每年可减少二氧化碳排放 50 万吨，这类项目更容易符合国家及地方的绿色发展政策导向，从而获得审批流程简化、税收减免等实际支持。根据生态环境部 2024 年发布的《绿色项目认定标准》，碳减排量达到每年 10 万吨以上的资源化项目，在省级审批环节的平均耗时较普通项目缩短 30%。在社会认可度上，具备资源替代价值的项目，如利用工业废渣生产新型建

材替代传统水泥，能直观减少天然矿产资源的开采，这类项目往往能获得社区居民和环保组织的支持，降低项目落地后的舆情风险。而在市场价值层面，随着碳交易市场的完善，项目产生的碳减排量可作为商品交易，为项目带来额外收益。例如，某生物质能发电项目通过出售碳减排额度，每年新增收入约 800 万元，提升了项目的投资回报率，使其在融资过程中更易获得金融机构的青睐。

反之，环境效益的量化难度或不明确性会给项目带来障碍。部分资源化项目的环境效益涉及生态修复、生物多样性保护等难以用具体数值衡量的领域，如湿地净化工程对区域生态系统的改善作用，由于缺乏统一的量化标准，在项目立项时难以通过成本效益分析说服投资方，导致融资困难。据中国环境保护产业协会 2023 年的数据，因环境效益量化不明确而导致立项失败的资源化项目占比达 22%。

（二）工程可行性对环境效益实现的影响

工程可行性是环境效益落地的基础，技术、工艺、设备等方面的问题会直接削弱环境效益。若资源化项目采用的技术不成熟，如某垃圾填埋气回收项目因气体提纯技术不过关，导致甲烷回收率仅为 30%，远低于设计的 60%，不仅无法实现预期的碳减排目标，还造成了能源浪费。工艺不稳定同样会引发问题，某电镀废水资源化项目因处理工艺参数波动，导致出水水质时而超标，产生二次污染，原本预期的水资源循环利用效益被污染治理成本抵消。设备故障的影响也不容忽视，某光伏电站因逆变器频繁故障，全年有效发电时间减少 150 小时，对应的碳减排量较计划降低约 12%。

工程实践中的成本控制和安全管理虽不直接产生环境效益，却是环境效益持续稳定实现的保障。某秸秆生物质发电项目通过优化燃料运输路线降低物流成本，将节省的资金用于设备维护，确保机组全年稳定运行，使碳减排量连续三年达到设计值的 95% 以上。而某化工废渣资源化项目因忽视安全管理，发生有毒物质泄漏事故，不仅造成周边环境污染，项目也被责令停产整改，前期投入的环保设施无法发挥作用，环境效益化为泡影^[5]。

（三）实现环境效益与工程可行性协同优化的路径

技术创新和工艺改进是协同优化的核心手段。某钢铁企业

通过研发转炉煤气高效回收技术，将煤气回收率从 70% 提升至 90%，在不增加设备投资的前提下，年减少二氧化碳排放 20 万吨，同时通过煤气发电创造经济效益 3000 万元，实现了环境效益与工程可行性的双赢。管理提升也能发挥重要作用，某城市生活垃圾焚烧项目引入智能运维系统，实时监控设备运行状态和污染物排放数据，提前预警并排除故障，使项目连续五年保持 98% 的运行负荷率，垃圾无害化处理率和发电量均稳定在设计水平。

协同优化需要综合权衡多重因素。在某厨余垃圾处理项目规划中，技术团队对比了厌氧发酵产沼和饲料化两种工艺：厌氧发酵环境效益更优（甲烷回收率高），但设备投资高；饲料化工艺成本较低，但需严格控制重金属含量。最终结合当地农业需求，采用“预处理 + 部分厌氧发酵”组合工艺，既保证 90% 以上的有机物降解率，又将投资控制在预算内，实现技术、经济、环境的平衡。此外，还需考虑社会因素，某工业固废填埋场在扩容阶段充分征求周边社区意见，增设防渗与废气处理设施，获得居民支持后顺利推进，项目投用后年消纳固废 15 万吨，二次污染控制达标率 100%。

四、结语

固体废物资源化利用有显著环境效益与工程可行性，但实现可持续发展仍面临挑战。环境效益上，虽在资源减耗等方面优势明显，但综合效益量化与评估需更科学方法和标准。工程可行性方面，技术成熟度等问题待优化解决。未来，推动其发展需政府、企业和社会各方共同努力。政府要完善政策体系，加大项目支持，引导资金投入，加强监管。企业作为实施主体，应加大技术研发投入，优化流程，降低成本，提升竞争力，强化安全管理。社会要加强环保宣传，提高公众认识与支持，营造良好氛围。通过各方协同合作，有望实现环境效益与工程可行性协同优化，为全球可持续发展作贡献。相信不久后，固体废物资源化利用将成解决资源与环境问题重要手段，推动社会走向绿色、循环、低碳发展道路。

参考文献

- [1] 袁梦娇, 何冰流, 夏玮. CFB 锅炉燃料耦合资源化综合利用可行性分析 [J]. 石油石化绿色低碳, 2021, 6(04): 35-41.
- [2] 姚梦茵, 程亮. 固体废物污染防治中绿色基础设施建设问题诊断研究 [C]// 中国环境科学学会 2021 年科学技术年会. 中国环境科学学会, 2021.
- [3] 凌辉勋. 一般工业固体废物治理及资源化利用策略分析 [J]. 华东科技 (综合), 2021, 000(006): P.1-1.
- [4] 杜洪彪, 梁扬扬, 李金惠, 等. 工业园区固体废物协同利用技术评价方法——以包头铝业园区为例 [J]. 环境科学研究, 2023.
- [5] 张宁宁, 石忠钰, 韩瑞, 等. 粉煤灰“工程型”及“产品型”资源化利用研究进展 [J]. 金属矿山, 2022, (05): 26-36.