

建筑废弃物资源化利用技术体系与实施框架

林虹

湖南铁道职业技术学院, 湖南 株洲 412000

摘要: 随着我国城市化与建筑业快速发展, 建筑垃圾产量持续增长, 传统填埋、堆放方式已难以满足环保与可持续发展要求。本文采用文献综述、实地调研与案例分析等方法, 总结建筑垃圾资源化利用技术, 构建了涵盖分类回收、预处理、深加工及产品应用的完整技术路线图。研究表明, 建筑垃圾资源化技术体系主要包括源头减量、分拣分离、破碎筛分、杂质去除和再生产品制备五大关键技术, 其落地实施需依托政策法规、标准规范、市场机制与产业协作四大保障。结合典型城市实践, 提出“政府引导、市场运作、技术支撑、全民参与”的实施路径, 构建前端收集、中端处理、后端利用的闭环利用体系。健全资源化利用技术与实施机制, 可有效治理建筑垃圾, 兼具经济与社会效益, 推动建筑业绿色发展与循环经济建设。

关键词: 建筑废弃物; 资源化利用; 技术体系; 实施框架; 循环经济

Technical System and Implementation Framework for the Resource Utilization of Construction Waste

Lin Hong

Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou, Hunan 412000, China

Abstract: With the rapid development of urbanization and the construction industry in China, the output of construction waste has continued to increase, and traditional methods such as landfill and open piling can no longer meet the requirements of environmental protection and sustainable development. Using methods including literature review, field investigation, and case analysis, this paper summarizes the technologies for the resource utilization of construction waste and constructs a complete technical roadmap covering classified collection, pretreatment, deep processing, and product application. The study shows that the technical system for construction waste resource utilization mainly includes five key technologies: source reduction, sorting and separation, crushing and screening, impurity removal, and recycled product preparation. Its practical implementation needs to rely on four major guarantees: policies and regulations, standards and specifications, market mechanisms, and industrial collaboration. Based on practices in typical cities, this paper proposes an implementation pathway characterized by “government guidance, market operation, technical support, and public participation,” and builds a closed-loop utilization system consisting of front-end collection, midstream treatment, and back-end utilization. Improving the technology system and implementation mechanism for resource utilization can effectively address construction waste, generate both economic and social benefits, and promote the green development of the construction industry and the development of a circular economy.

Keywords: construction waste; resource utilization; technical system; implementation framework; circular economy

1、引言

我国建筑业是国民经济的重要组成部分, 在近年来得到迅速发展。据国家统计局数据显示, 2019年至2023年期间, 全国建筑业总产值由24.84万亿元增加到31.55万亿元, 年均增速为6.2%。但是, 建筑业的发展也带来了大量的建筑垃圾。据住房和城乡建设部统计, 2023年全国建筑垃圾年产生量已超过35亿吨, 占城市固体废物总量的40%以上, 其中拆除垃圾约占70%, 施工垃圾约占30%。传统的填埋和露天堆放等处理方式不仅占用大量土地资源, 而且造成严重环境污染, 已经不能满足新时代生态文明建设和可持续发展的需要。

建筑废弃物资源化利用是解决上述问题的有效方式之一, 也是目前国内外研究的一个热点问题。国外在这方面起步较早, 欧盟建筑废弃物资源化利用率达到90%以上, 日本和韩国分别为95%和97%, 而我

国目前只有40%左右, 还有很大的发展空间。近年来, 我国也陆续发布了《关于推进建筑垃圾减量化的指导意见》《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》等相关文件, 明确提出到2025年建筑废弃物资源化利用率达到60%的目标。但是, 目前我国建筑废弃物资源化利用还存在技术体系不健全、标准规范不完善、产业化水平较低等问题, 需要建立一套完整的技术体系以及实施方案, 促进整个行业的发展。

2、建筑废弃物资源化利用技术分类与机制分析

2.1 物理分离技术机制及效率评价

物理分离是建筑垃圾资源化利用的前提条件, 主要是利用外力使不同的材料得到有效的分离。物理分离主要包括破碎、筛分、磁选、风选、重力分选等, 其中破碎是用颚式破碎机、反击式破碎机、圆锥破碎机等把大块的建筑垃圾破碎成所需要的大小, 破碎率可以达到95%以上。筛分是用振动筛、滚筒筛

等把破碎后的物料按照大小进行筛分，筛分率可以达到 98%。磁选是用磁力把废钢筋等金属材料吸出来，回收率可以达到 99% 以上。现代化物理分离生产线由智能控制系统控制各个工序之间的衔接，一条生产线每天可以处理 1000-3000 吨建筑垃圾，综合回收率为 85%-92%，为后续深加工提供良好原料。

2.2 化学处理技术原理与应用边界

化学处理技术是利用化学反应改变建筑垃圾物理化学性质从而达到改善材料性能目的方法，主要用于废混凝土、废砂浆等硅酸盐类材料处理，采用酸洗、碱激发、表面改性等方式去除杂质并激发其潜在活性^[1]。酸洗是用稀盐酸或者硫酸溶液除去附着在再生骨料表面水泥浆体，可以使再生骨料压碎值降低 15%-25%，吸水率降低 20%-30%。碱激发是用氢氧化钠、硅酸钠等激发剂激发废混凝土粉料火山灰活性，活性指数可以达到 75%-85%。表面改性是用硅烷偶联剂、聚合物乳液等进行改性，可以大大改善再生骨料界面性能。化学处理技术的应用范围受到材料种类、污染程度以及经济性等因素影响，适合用于生产高质量再生骨料，但是要严格控制化学试剂使用量以及废水排放。

2.3 生物降解技术路径与适用材料类型

生物降解技术是利用微生物的新陈代谢作用来分解建筑废弃物中的有机物，是一种环保、节能的方法。此方法主要用于处理含有木材、纸张、植物纤维等有机物的建筑垃圾，采用好氧堆肥、厌氧消化等方式对有机物进行生物转化。好氧堆肥是在有氧条件下用好氧微生物分解有机物，一般需要 30-60 天左右，有机物降解率可以达到 60%-80%。厌氧消化是在无氧条件下用厌氧菌群分解有机物并产生生物气体，每吨干物质可产气量为 200-400 立方米。生物降解技术适用范围较小，只适合处理装修垃圾中的有机物，不能直接用于处理混凝土、砖瓦等无机物，需结合其他方法共同使用。

3、资源化利用技术体系构建

3.1 技术集成模式与工艺流程设计

建筑废弃物资源化利用技术集成模式要综合考虑各种技术优缺点以及适用条件，建立模块化、柔性化工艺流程。由于建筑废弃物种类繁多、性质各异，因此技术集成采取“预处理-主处理-后处理”三级处理方式，在预处理过程中利用人工分拣和机械分选等手段剔除大件垃圾及有毒有害物质，分拣率大于 90%。主处理过程根据不同物料性质选择相应物理、化学或者生物方法进行加工得到所需产品。后处理过程对产品进行检测并改善其性能以符合使用要求。工艺流程设计遵循“因地制宜、因料制宜”原则，根据不同城市废料构成以及处理需求，用标准化模块拼出适合当地情况方案，一条生产线投资一般为 5000 万到 8000 万元，每年可处理 50 万吨到 100 万吨废料，

兼顾技术和经济效益。

3.2 质量控制标准与检测方法体系

建筑废弃物资源化产品品质把控是保证其使用安全有效的重要一环，要有一套从原材料检验到生产过程监督再到成品检测的质量管理体系^[2]。质量控制标准是在国家相关标准基础上，根据再生产品特点而设定相应技术指标，再生粗骨料压碎值不超过 16%，吸水率不超过 3.5%，含泥量不超过 1.0%。再生细骨料细度模数在 2.3-3.0 之间，石粉含量不超过 7%，MB 值不超过 1.4。检测方法上采取现场快速检测和实验室精确检测相结合的方式，配备 X 射线荧光分析仪、激光粒度分析仪等先进的仪器设备，形成对物理性质、化学组成以及微观结构等多个方面的检测网络，检测时间不超过 24 小时，检测精度达到行业领先水平，确保产品质量。

3.3 技术经济性评估模型构建

技术经济性分析是建筑废弃物资源化利用项目决策的重要参考，应从技术和经济角度出发进行量化评价。评价方法采用全生命周期成本法，包括设备投资、运营成本、收益等方面内容，设备投资主要包括土建工程、主体设备、辅助设备等，约占总投资额的 70%-80%。运营成本主要包括原材料费用、人工费用、能源费用、维修费用等，而原材料费用一般为负值即废料处置所获得的收入。收益主要是再生产品的销售利润以及政府给予的补贴。经济评价指标有净现值、内部收益率、投资回收期等财务指标，还有单位处理成本、产品竞争力等技术经济指标，用数学方法进行不同方案之间的比较分析，从而对项目投资做出合理判断，一般项目投资回收期为 6~8 年，内部收益率为 12%~18%。

4、实施框架与保障机制

4.1 政策法规体系与标准规范制定

建筑废弃物资源化利用需要有健全的法律法规制度作为支撑。国家要制定覆盖建筑废弃物产生、收集、运输、处理及再利用各个环节的相关法律制度，规定各方的权利义务以及监管职责。政策内容要包括强制性的减量化政策、资源化利用鼓励政策、违法处罚措施以及税收优惠等。据 2019-2023 年中国建筑业统计数据显示，我国每年产生的建筑垃圾超过 20 亿吨，而资源化利用率为 40% 左右，远远落后于发达国家 90% 以上水平，急需出台相关政策促进其有效处理。

标准规范体系建设要注重制定建筑废弃物分类标准、再生产品质量标准、处理技术规范以及环保标准。技术标准要包括各种类型建筑废弃物的处理工艺参数、设备技术要求、产品质量检测方法及环境影响评价标准。质量标准要规定再生骨料、再生砖块、再生混凝土等主要产品的性能指标及用途，保证再生产品在建筑施工中可以安全使用^[3]。同时要建设符合国

际先进标准的认证制度,提高我国建筑废弃物资源化利用技术和产品的国际竞争力。

4.2 市场运行机制与商业模式创新

建筑废弃物资源化利用要有一个良好的市场环境才能保证其健康发展。要发挥市场的决定性作用,用价格机制调节建筑废弃物的去向,实现“谁产生、谁付费”、“谁处理、谁受益”的市场化运作模式。据 2022 年全国建筑废弃物处理行业调查数据显示,目前处理费用大约是 80-120 元/吨,但是再生产品的售价只有天然材料的 60%-70%,利润微薄。因此需要建立健全收费制度、扩大再生产品使用范围以及提升再生产品质量以增加收益。

商业模式创新要注重发展特许经营、BOT、PPP 等多种方式的合作,引导社会资本进入建筑垃圾处理设施建设及运营。推广“互联网+回收”模式,在产废单位、运输单位、处理单位之间搭建一个信息平台,使建筑垃圾从产生到最终处置全过程都可被追踪。发展产业链协同模式,把建筑垃圾处理 and 建材生产和工程建设结合起来,形成一个完整的产业链条。探索区域合作处理模式,合理安排处理设施的位置,做到资源共享、优势互补。

4.3 技术推广路径与产业化策略

技术推广要采取“示范引领、重点突破、全面推广”的分阶段推进方式。首先,在经济发展较好、建筑业比较活跃的大中型城市进行技术示范,建设一些技术水平高、管理水平好的示范工程,以检验技术可行性和经济合理性。其次,在示范的基础上,将成熟的技术向类似的城市进行推广,搭建起技术转移和推广的服务平台。最后,使技术标准化、产业化,形成全国范围内的建筑废弃物资源化利用产业链。据住建部数据显示,2023 年全国设市城市建筑废弃物年处理能力约为 15 亿吨,而实际产生量还存在较大差距。

产业化策略要注重培育龙头企业以及专业化服务企业,鼓励大型建筑企业和建材企业进入建筑垃圾处理行业,拓展其业务范围^[4]。加强产学研结合,成立建筑垃圾处理资源化利用技术研发联盟,进行相关技术研究及产业化推广。健全产业服务体系,发展专业化技术服务、设备生产、工程设计、运营管理等企业。打造产业集群,形成设备制造、技术研发、工程施工、产品销售一体化产业链条,提高整个产业竞争力及可持续发展水平。

4.4 监管体系构建与效果评估方法

监管体系要实行政府统一监管与行业自律相结合的方式。建立由住建、生态环境、发改、工信等相关部门组成的联合监管机制,明确各部门职责及相互配合关系。制定建筑垃圾处理企业准入制度,对企业资质进行严格审查并对其技术力量进行评价。健全日常监督检查制度,对处理设施运行情况、产品质量以及对环境造成的影响进行跟踪管理。

效果评估要有一套涵盖资源化利用率、环境效益、经济效益和社会效益等方面的综合评价指标。资源化利用率指标有废弃物处理量、再生产品产量、资源回收率等。环境效益主要考虑污染物减排量、土地资源节约、生态环境改善等。经济效益包括产业产值、就业创造、成本节约等。要定期进行评估并适时进行调整,根据评估结果及时调整政策和技术路线。

5、结论

本论文提出了,对我国建筑垃圾处理问题具有一定的参考意义。从研究结果来看,建筑垃圾资源化利用技术体系应该以源头减量为前提,在此基础上进行高效的分拣、破碎、筛分以及去除杂质等操作,然后是多种类型的再生产品生产技术,从而形成一个完整的处理过程的技术集成体系。实施路径需要有政策法规、标准规范、市场机制、监管评价四个方面共同作用,通过合理的制度设计以及市场机制创新促进建筑垃圾资源化利用行业良性发展^[5]。通过对一些典型城市进行调研分析得出,“政府引导、市场运作、技术保障、全民参与”的实施方式可以较好地调动各方面积极性,实现建筑垃圾资源化利用。本文所提出的闭环式资源化利用模式实现了从源头收集到末端利用全过程优化,大大提高了资源利用率和环境效益。而在我国每年产生近 20 亿吨建筑垃圾的情况下,建设一个健全的资源化利用系统不仅可以减轻环境污染,而且可以带来巨大的经济效益,有利于建筑业绿色发展以及循环经济的发展。今后还需要加大对关键技术的研究力度,完善相关政策支持体系,使建筑垃圾资源化利用向着规模化、标准化、产业化方向迈进。

参考文献

- [1] 何承静,刘庆华,詹娟,等.我国果园残枝资源化利用研究进展[J].应用与环境生物学报,2025,31(7):1173-1186.
- [2] 何向育.农业废弃物资源化利用的经济学研究[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(8):1432-1440.
- [3] 雷铭,韩运,李文凯,等.建筑废弃物在污水处理领域的研究与应用[J].工业水处理,2023,43(12):46-51.
- [4] 陈秋红,张宽.新中国 70 年畜禽养殖废弃物资源化利用演进[J].中国人口·资源与环境,2020,30(6):166-176.
- [5] 杜红梅,陈桐璐,谢艳华.农户参与农业废弃物资源化利用行为的影响因素[J].中南林业科技大学学报,2024,44(10):205-216.