

Research on the application of solid waste recycling in the production of new green building Materials

Zhanguo Gao

Beijing Jinyu Polytechnic, Beijing, 102403, China

Abstract

With the rapid development of industrialization and urbanization, the output of solid waste has been increasing year by year, exerting tremendous pressure to the environment. The resource utilization of solid waste, especially its application in the production of new green building materials, has become an important way to address environmental issues and promote circular economy. Starting from the current situation of solid waste recycling, this paper explores its application value, specific application fields, as well as the challenges and countermeasures in green building materials. By analyzing the application of solid waste in the fields of recycled aggregates, alkali-activated materials, and foamed concrete, this paper reveals its potential in energy conservation, emission reduction and reducing environmental pollution. In response to the existing challenges at the technical, economic, and management levels, corresponding solutions are also put forward.

Keywords

solid waste; recycling; green building materials; circular economy; sustainable development

固体废弃物资源化在新型绿色建材生产中的应用研究

高占国

北京金隅科技学校, 中国 · 北京 102403

摘要

随着工业化和城镇化的快速发展, 固体废弃物的产生量逐年增加, 给环境带来了巨大压力。固体废弃物的资源化利用, 尤其是在新型绿色建材生产中的应用, 成为解决环境问题和推动循环经济的重要途径。本文从固体废弃物的资源化现状出发, 探讨其在绿色建材中的应用价值、具体应用领域以及面临的挑战与对策。通过分析固体废弃物在再生骨料、碱激发材料、泡沫混凝土等领域的应用, 本文揭示了其在节能减排、降低环境污染方面的潜力, 针对现存技术、经济和管理层面的挑战, 提出了相应的解决思路。

关键词

固体废弃物; 资源化; 绿色建材; 循环经济; 可持续发展

1 引言

固体废弃物的处理及其资源化利用已成为环境保护与资源管理领域的一个关键议题。随着工业化步伐加快及城市化进程的推进, 固体废弃物累积量日益增加, 传统处置手段如填埋和焚烧已难以适应可持续发展的需要。将这类废弃物转化为资源, 特别是应用于新型环保建筑材料的生产中, 不仅能有效减轻环境负担, 还能促进资源循环使用, 加速低碳经济模式的发展。本文致力于探索固体废弃物资源化在绿色建材领域的潜在价值、具体应用实例以及所面临的障碍, 旨在为该领域的研究与实践提供坚实的理论依据。

【作者简介】高占国 (1980-), 男, 中国河北魏县人, 高级工程师, 从事建筑工程施工、建筑材料检验以及工程项目管理研究。

2 固体废弃物资源化的现状与意义

2.1 固体废弃物的产生与处理现状

随着全球工业化和城市化进程的加快, 固体废物的产量呈现出显著的增长趋势。依据世界银行发布的《全球固体废物管理展望》报告预测, 到 2050 年, 全球每年产生的固体废物总量将从 2016 年的 20.1 亿吨上升至 34 亿吨 (表 1)。这类废弃物大致可以分为三类: 工业固体废物、建筑废料以及生活废弃物 (图 1)。其中, 工业固体废物主要包括冶金残渣、燃煤灰渣及尾矿等; 建筑废料则由混凝土块、砖石材料、木材碎片等构成; 而生活废弃物中则含有有机物质、塑料制品与纸质垃圾等多种成分。长期以来, 对于固体废弃物的传统处理方法主要依赖于填埋和焚烧两大手段, 然而这两种方式均存在明显的局限性。例如, 填埋不仅耗费大量宝贵的土地资源, 而且有可能引发土壤与地下水资源污染问题, 特别是重金属污染物及有机化合物通过渗滤作用对环境

境造成长远的危害。另一方面，尽管焚烧能够在一定程度上减少废物体积，但此过程会产生二噁英、氮氧化物（NO_x）及硫氧化物（SO_x）等一系列有毒气体，进而对大气造成二次污染。此外，焚烧过程中生成的飞灰和底渣仍需进行额外处理，这无疑增加了环境污染的风险。鉴于上述情况，传统的固体废弃物处置策略已难以适应可持续发展的要求，探索更加环保且高效的替代方案变得尤为迫切。

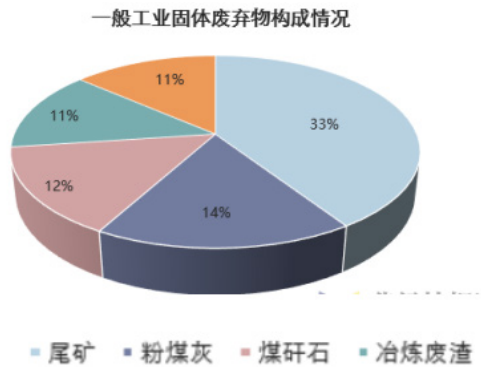


图 1：废弃物构成

表 1：全球固体废弃物的产生与处理现状

指标	2019 年	2050 年预测
全球固体废弃物产生量	20.1 亿吨	34 亿吨
固体废弃物分类		
工业固体废物	8 亿吨	15 亿吨
建筑废料	5 亿吨	10 亿吨
生活废弃物	7.1 亿吨	9 亿吨
传统处理方法		
填埋	12 亿吨	18 亿吨
焚烧	6 亿吨	10 亿吨
其他处理方法		
回收利用	2 亿吨	6 亿吨
堆肥	0.1 亿吨	0.5 亿吨

数据来源：百度

2.2 固体废弃物资源化利用的必要性与意义

固体废弃物的再利用是实现“减量化、无害化、资源化”目标的关键方法，同时也是促进循环经济和低碳经济发展的有力工具。通过这种途径，不仅可以有效地减少固废堆积量及其对环境造成的污染，而且能够通过物质循环降低对原始材料的需求，从而达到资源可持续使用的理想状态。以环保建筑材料为例，将废弃物转换为再生集料、碱激活材料以及泡沫混凝土等新型建材，不仅减少了对于天然石材与黏土这类不可再生资源的开采需求，同时还能大幅削减建材生产过程中的能耗及碳排放量。比如，采用建筑垃圾制作再生集料可使碳排放减少约 30%，而使用粉煤灰制造碱激活材料则能节省超过 50% 的能量消耗。此外，废物转化还带来了显著的经济和社会效益。从经济角度看，它有助于降低成本，增强企业的市场竞争力；从社会效益来看，则有利于改善居

住条件，满足公众对健康舒适生活环境的期待。综上所述，固体废弃物的再利用不仅是应对环境污染的有效手段，也是推动经济社会与自然和谐共存的重要措施之一。借助科技创新、政策扶持以及社会各方力量的共同努力，该领域的发展将为全球范围内推进可持续发展目标做出重大贡献。^[1]

3 固体废弃物在绿色建材中的应用价值

3.1 节能减排与环境保护

固体废弃物在绿色建筑材料中的应用是达成节能减排与环境保护目标的关键方法之一。通过将废弃物转化为可再利用率高的建材，可以大幅度减少能源消耗及碳排放量，进而减轻对自然环境的压力和对原始资源的需求。例如，建筑废弃物经过一系列处理步骤如粉碎、筛选及分类后，能够被加工成再生骨料，作为天然石材的替代品用于混凝土生产。研究指出，每使用一吨再生骨料大约可以减少 0.6 吨二氧化碳排放，并节省约 1.5 吨的天然石料^[2]。除此之外，诸如粉煤灰和矿渣之类的工业固废材料，通过碱性激活技术可以制备出性能优良的胶结物，相较于传统水泥制造过程，这种方法能够降低超过一半以上的碳足迹。对于固体废弃物进行有效管理和循环利用，不仅有助于减少因填埋或焚烧而产生的环境污染问题，还促进了整个生命周期内的环境影响最小化，为推动实现全球碳中和愿景贡献了宝贵的技术解决方案。

3.2 经济效益与社会效益提升

固体废弃物的循环利用在经济与社会效益上展现出明显的优势。从经济角度考量，将固体废弃物转化为绿色建材不仅能有效降低原料成本，减少对自然矿产资源的需求，还能增强企业的市场竞争力。以再生骨料为例，其生产成本相较于天然骨料降低了 20% 到 30%，而碱激活材料的成本仅为传统水泥的大约 60% 至 70%。此外，这一过程还促进了诸如建筑垃圾回收处理及环保建材制造等相关产业链的发展，为经济增长带来了新的动力。就社会影响而言，采用此类绿色建筑材料可以显著提高建筑物的生态友好度，降低室内外污染物水平，改善居住环境的质量。例如，用固体废物制成的泡沫混凝土具有优良的保温隔热性能，有助于减少建筑能耗，并且能够减少室内甲醛以及挥发性有机化合物等有害物质的排放，更好地满足了人们对健康生活环境的需求。

4 固体废弃物在绿色建材中的具体应用领域

4.1 再生骨料及其在混凝土中的应用

经过一系列工艺流程，包括破碎、筛选、清洁以及分类处理后，建筑废弃物能够转化成一种环保型建筑材料——再生骨料（图 2），这种材料主要用于生产再生混凝土。通过上述过程处理后的混凝土块与砖瓦等成分可以作为天然骨料的替代品，在混凝土制造中发挥作用。研究发现，再生骨料在物理和机械特性方面与传统骨料相当接近；而且，通过对混合比例进行优化，并加入如粉煤灰或硅灰之类的矿物

添加剂,可以使再生混凝土在抗压强度、抗弯强度及耐久性等方面达到甚至超越常规混凝土的标准。比如,使用再生骨料制成的混凝土在 28 天时的抗压强度可超过 40MPa,同时其干燥收缩率和抵抗氯离子渗透的能力也得到了明显提升。采用再生骨料不仅有助于减少对自然石材资源的需求,从而减轻了对环境造成的损害,还有效地减少了建筑废料的堆放量,显示出显著的环境与经济效益。如今,再生骨料混凝土已经被广泛应用于道路基础建设、非承重墙结构以及城市公共设施等多个领域,预示着其未来有着巨大的发展潜力。^[2]

4.2 碱激发材料及其在建筑材料中的应用

碱激发材料是一种以诸如高炉矿渣、粉煤灰及钢渣等工业固体废弃物为主要原料,通过特定的碱性激活过程制备

而成的新一代胶凝材料(图 3)。在制备过程中,采用氢氧化钠或水玻璃等碱性激活剂与固废中的活性硅铝酸盐成分相互作用,形成具备高强度特性的凝胶结构。这种材料以其初期强度大、持久性能优良以及对抗化学侵蚀能力突出而著称,其抗压强度可以超过 70 兆帕,并且即使在高盐度或酸性环境中也能保持良好的稳定性。值得注意的是,相较于传统水泥,碱激发材料的生产消耗能量较少,大约是前者的 30% 到 40%,同时二氧化碳排放量减少了超过一半,因此被视为一种典型的低碳建筑材料。目前,此类材料已被广泛应用于道路建设、建筑物结构加固及海洋工程项目中,在那些对耐久性有特别要求的应用场景下展现出了尤为显著的优势。



图 2: 骨料分类来源

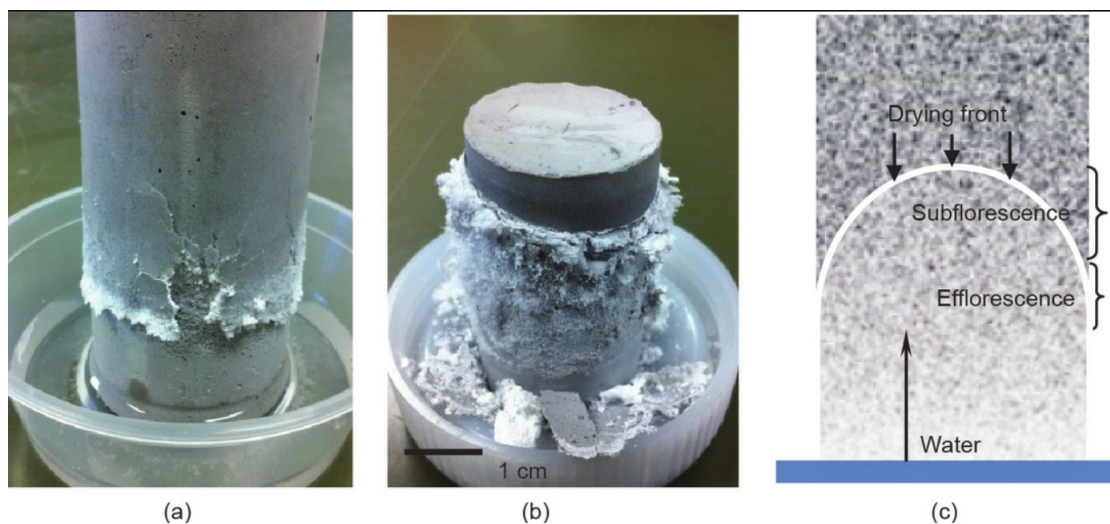


图 3: 碱激发材料

(a) 原料混合阶段 (b) 碱性激活反应阶段 (c) 碱激发材料应用阶段

4.3 泡沫混凝土及其在保温材料中的应用

泡沫混凝土是一种以水泥、粉煤灰等胶凝材料为基础，通过添加发泡剂而形成的轻质多孔建筑材料。这种材料的密度一般在 300 至 1600 千克/立方米之间，具有重量轻、保温隔热性能好、隔音效果佳以及良好的防火特性。利用固体废弃物（比如粉煤灰或矿渣）作为原料之一，不仅有助于降低制造成本，还能提升产品的机械强度和持久性。特别地，将粉煤灰加入到配方中能够增强最终制品在长时间使用后的硬度，并减少因干燥而导致的裂纹现象。与传统混凝土相比，泡沫混凝土的热传导率通常仅为 0.06 至 0.20 瓦特每米开尔文，表明它是一种非常优秀的建筑保温材料。如今，在墙体构建、屋顶保温处理、地面加热系统填充物及隧道工程回填等方面，该种材料已经得到了广泛应用，其低密度特点加上高效的保温能力对于减少建筑物能耗、提高能源效率起到了关键作用。

5 固体废弃物资源化在绿色建材生产中的挑战与对策

5.1 技术层面的挑战与对策

固体废弃物的资源化利用面临着一系列技术上的挑战。首先，固体废弃物的组成成分复杂且高度不均匀加大了分选处理难度。例如，建筑废料中常常混有混凝土、砖石、木头和塑料等多种材料；工业固体废物如粉煤灰与矿渣等则包含不同比例的硅、铝及铁氧化物。在分选过程中，传统的物理方法（比如筛分或磁性分离）往往无法达到理想的分离效果，从而影响了回收材料的质量及其后续应用价值。因此，开发出更加高效的筛选技术显得尤为必要，比如基于人工智能的光电识别技术和智能机器人分拣系统，可以提高分类精度与效率。其次，绿色建筑材料的性能提升及质量保障技术亟待关注。举例来说，通过调整配方、加入矿物添加剂（例如硅灰或纳米级二氧化硅）以及采用化学改性手段（比如表面活性剂的应用），可以有效改善再生骨料混凝土在强度、耐久度及施工性能方面的表现。

5.2 经济层面的挑战与对策

固体废弃物的资源化利用在经济上面临着初期投资成本高和市场接受度低两大难题。一方面，对于固体废弃物的收集、运输、分类及处理过程而言，需要建设专门的设施与

购置相关设备，例如破碎机、分选线以及反应釜等，这些基础设施建设和日常运营所需的费用相对较高，给企业带来了较大的财务负担。另一方面，绿色建筑材料在市场上受到的认可程度不高，部分消费者和企业对其性能稳定性和质量存在质疑，导致市场需求量不足。为解决上述问题，政府可以通过实施一系列支持性政策措施来减轻企业的初始投入风险，比如设立专项基金以促进绿色建材的研发及其产业化进程，同时提供税收优惠和低利率贷款等激励措施。^[1]

5.3 管理与政策层面的挑战与对策

固体废弃物的循环利用在管理和政策层面遭遇了多部门协作不足以及政策体系不够健全的问题。从收集、运输到处理和再利用，这一过程涉及住房和城乡建设、环境保护以及工业和信息化等多个政府部门，由于缺乏统一的协调机制，导致了资源转化效率不高。为此，建议构建跨部门的管理协调框架，明确各机构的具体职责，形成协同推进的工作模式。同时，还应进一步完善相关政策法规，制定固体废弃物回收利用的技术标准与规范，并明确规定绿色建筑材料的性能指标及其适用范围。

6 结论

固体废弃物的再利用在新型环保建筑材料的制造中有着显著的应用潜力和发展空间。借助于技术创新、政策扶持以及社会各方面的积极参与，能够有效克服在固体废物处理及再利用过程中遇到的各种难题，促进绿色环保建材行业的持续进步，进而对实现循环经济与低碳经济的目标做出积极贡献。

参考文献

- [1] 秦全德,周洁莹,张琨婷. 面向无废城市建设的固体废弃物资源化利用: 跨主体协同治理机制研究 [J/OL]. 中国地质大学学报(社会科学版), 1-16[2025-01-07]. <https://doi.org/10.16493/j.cnki.42-1627/c.20241224.001>.
- [2] 刘成丰,穆智贤,唐家桓,等. 有机固体废物制备腐殖酸及其应用的研究进展 [J/OL]. 应用化工, 1-9[2025-01-07]. <https://doi.org/10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20241219.001>.
- [3] 孔庆新,陈思帆,陈思佳,等. 项目群施工现场固体废物减量管控 [J/OL]. 施工技术(中英文), 1-12[2025-01-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1768.TU.20241219.1248.005.html>.