

绿色建筑理念下建筑工程施工废弃物资源化利用

文 / 王安民 中建国际工程有限公司

摘要：随着绿色建筑理念的兴起，建筑废弃物的资源化利用已经成为建筑行业可持续发展的重要方向。阐述了建筑废弃物在绿色施工中的重要意义，对物理、化学、生物处理等技术进行了较为详细的分析。分析建筑废弃物资源化利用面临的技术瓶颈、经济成本、市场认知等问题，提出相应的对策，以期推动我国建筑废弃物资源化利用，促进我国建筑产业向绿色、低碳、可持续发展方向发展。

关键词：绿色建筑理念；施工废弃物；资源化利用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.022

引言

二十世纪中期以来，世界范围内的工业化、都市化加速发展，同时也带来了严重的环境问题。资源短缺、生态破坏、气候变化等问题日益严峻。在这一背景下，提出了可持续发展理念，并提出了“绿色建筑”的概念，其创作体现了建筑业对环境、资源等问题的深刻思考，以及建筑与自然和谐共生的探索。

一、资源化利用的技术与方法

(一) 回收再利用技术

1. 再生骨料生产技术

再生骨料是一种经过破碎、筛分、洗涤等处理后可替代天然骨料的再生骨料，该技术的核心是对废弃材料进行有效处理，从而使其重新成为建筑材料，如图1。在实际操作中，先将收集来的旧混凝土、砖等材料进行预处理，去除其中的杂质，如木材、塑料、金属等^[1]。利用破碎机将大的废料粉碎成更小的颗粒，再通过筛分分厂将其按不同粒度分级，从而达到不同工程项目对骨料粒径的要求。其主要目的是将骨料表面附着的杂质、粉尘清除掉，从而提高再生骨料的质量，再生骨料应用于新型混凝土中，既可减少天然骨料用量，又可有效降低混凝土生产成本，具有显著的经济与环境效益。

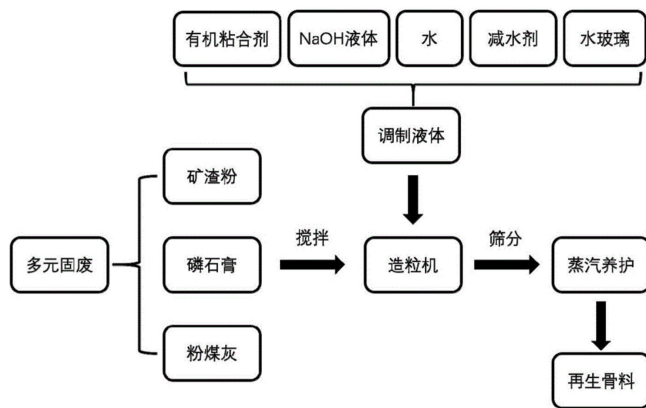


图1 再生骨料生产工艺流程

2. 废金属回收技术

废金属回收技术是指在建筑施工过程中产生的废金属废料，如废铜、铝等，经过熔融加工，使之成为可重

复利用的金属材料，它能有效地降低金属资源的开采，降低能源消耗、节约资源、保护环境。在回收工艺中，先对废料进行分类收集，然后再对不同种类的金属进行分类处理。采用机械破碎、清洗等方法，除去金属表面的油污、铁锈等杂质，提高金属纯度^[2]。再将预处理过的金属废料送入炉内进行熔炼，使之在高温下熔化为液态，从而进一步除去杂质和调节金属组成。根据不同的用途，采用浇铸、轧制及其它加工工艺，生产各种形状和规格的金属材料，如钢板、钢筋、铜管等。再生废钢可用于建筑结构，既可满足建筑用钢需求，又可减少铁矿采炼能耗及环境污染。

(二) 能源回收技术

1. 焚烧发电

燃烧发电是利用废弃木材、包装纸、塑料等可燃组分，燃烧产生热能，并将其转换成电能。该技术既能有效地利用废弃物，又能减少填埋量，为社会提供清洁能源。燃烧发电流程包括垃圾预处理、燃烧、热能转化、发电。首先，对所收集的废弃物进行预处理，除去易燃的杂质及污染物，以提高垃圾的热值及燃烧效率。预处理后的垃圾被送往焚烧炉焚烧，在高温条件下，垃圾中的有机物与氧发生化学反应，释放出大量热量，使焚烧炉内温度升高。所产生的高温烟气流经废热锅炉，并把热能传递给锅炉内的水，使其汽化为高温、高压蒸汽。蒸汽带动涡轮转动，反过来又带动发电机产生电力。在燃烧过程中，应严格控制燃烧条件及烟气排放，采用先进的环境控制技术，如烟气净化装置等，消除有害物质如二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、二恶英等，保证燃烧过程的绿色环保。

2. 生物能源转化

生物质能源转化技术是一种通过微生物分解将建筑废弃物中的有机物转化为生物质能源的过程。该技术充分利用了废弃物中的生物质能，达到了废弃物资源化、能源化利用的目的^[3]。以沼气为例，生物能转换过程主要是在厌氧发酵槽中完成的，收集来的废弃木材、植物纤维和废纸等有机废弃物加入适量的水，制成发酵物料。然后将所述发酵物料送入厌氧发酵槽中，在厌氧环境中，

微生物利用原料中的有机物进行生长、代谢，并将其分解为甲烷、二氧化碳等气体。甲烷与甲烷混合在一起形成了沼气，经过净化，沼气可以作为燃料用于烧饭、取暖和发电。通过调控发酵条件（如温度、pH、C/N比例等），为微生物的生长与代谢创造适宜的环境，从而提高沼气发酵效率。生物能量转化技术还可用于农业生产，如污泥、粪便等作为有机肥用于农田施肥以循环利用。

（三）生物降解与土壤改良技术

1. 有机废弃物的生物降解

有机废弃物的生物降解是指在微生物的作用下，将其分解成无机或小分子有机物的过程。该过程是自然界物质循环的重要一环，可通过人为的干预与调控加快其降解速率，加速其向环境友好型物质转化。生物降解是由细菌、真菌、放线菌等多种微生物共同参与的，这些微生物通过分泌多种酶将有机废弃物中的大分子有机质（如纤维素，半纤维素，木质素，蛋白质，脂肪等）转化成小分子如糖、氨基酸、脂肪酸等，这些小分子被微生物吸收利用，最终转化成无机物如二氧化碳、水、氨等。生物降解过程需要适宜的氧（厌氧降解）和适宜的温湿pH值。同时，还可通过投加某些微生物制剂或营养物等手段，提高其活性及降解效果，在废弃木材处理过程中，加入纤维素分解菌，可加快木质纤维的分解速度。

2. 制作土壤改良剂

土壤改良是指将经过处理的建筑废弃物转变成能改善土壤结构，提高土壤肥力，并能贮存水、肥的产品。利用土壤变异性技术可有效改善土壤质量、促进作物生长、提高农作物产量与品质，实现废物资源化。土壤改良的原料包括堆肥、污泥等生物可降解有机废弃物，也有粉煤灰、沸石等矿物原料。有机垃圾经过堆肥化处理，在堆肥时，微生物分解垃圾，转化成养分，如腐殖质、氮、磷、钾等。在堆肥中掺入适量矿物质，结合土壤实际情况，加入适量的微量元素及调质剂，调节土壤酸碱度及养分平衡^[4]。经过处理后，土壤会发生颗粒状或粉末状的变化。使用的时候，要把土壤调理剂均匀的覆盖在土壤上，然后犁一遍，使其和土壤充分混合。腐殖物质的改变可改善土壤结构，提高土壤孔隙率，提高土壤的通风保水能力，营养物质对植物的生长起着重要的作用。同时，矿物材料对土壤中的污染物也具有吸附作用，对土壤的污染也有一定的抑制作用。

二、资源化利用面临的挑战

（一）技术瓶颈

1. 分选技术的局限性

目前，我国建筑废弃物种类繁多，如混凝土、砖瓦、木材、金属、塑料、玻璃等，给分类工作带来很大挑战。目前的分类方法很难实现复杂组分的准确分离，例如，传统机械筛选法不能有效地分离小颗粒，易造成各组分交叉污染，增加回收处理难度。在对旧混凝土、砖进行

分选过程中，难以将少量木、塑料完全分离，从而影响了再生骨料的质量，降低了其应用于新混凝土的适应性。目前，我国建筑垃圾分类技术的自动化水平还不高，很多建筑垃圾处理设备仍主要依靠人工进行。人工筛选不仅效率低下，而且劳动强度大，易出现误判、漏检等情况。虽然一些新型的自动化分拣系统正在研制中，但其技术的成熟性和经济性还有待提高。半自动化分拣系统很贵，维修费用也很高，小的建筑垃圾处理公司很难负担得起。这些设备不能很好地适应不同种类、不同性质的建筑废弃物，不能满足不同分类需求。对于含水量较高、形状不规则的建筑废弃物，有些自动化分拣系统对其分选效率有很大的影响。

2. 粉碎与再加工技术的不足

破碎是建筑废弃物资源化利用的关键环节，而目前破碎设备对水泥、砖块等硬质物料的处理效率低、能耗高。水泥、砖等材料质地坚硬，粉碎成合适的颗粒尺寸需消耗大量能量，这不仅增加了加工成本，而且制约了加工规模。有些传统碎纸机长期运行后，易出现严重磨损、故障率较高的现象，从而使碎纸效率进一步下降。材料在破碎、加工时易发生性能劣化，例如，旧混凝土经破碎再加工后，其强度及耐久性不能满足再用标准。究其原因，是由于在制备过程中，混凝土内部结构遭到破坏，水泥浆与骨料之间的粘结力减弱，从而导致其性能退化。流程的复杂性也是一个引人注目的主题，粉碎后的物料要经过筛选、洗涤、加工等多道工序才能生产出合格的资源产品。每一种方法都需要投入大量的人力、物力和时间，从而增加了成本 and 管理的难度，在生产再生骨料过程中，必须经过多次筛分清洗，除去其中的杂质，保证骨料的质量，这既繁琐又易造成资源的浪费。

（二）经济压力

1. 初期投资成本高

为使建筑废弃物资源化，必须购置专用设备，如：破碎机、筛、清洗机、压砖机等。这些设备造价昂贵，少则几万，多则几百万，基地的建设也需要大笔资金，包括租用土地，建造厂房，以及基础设施。兴建一座大型建筑废弃物处理厂，需要大量的土地及厂房建造费用，技术与开发在初期投资中也占有很大比重。要提高资源利用效率，提高产品质量，就必须进行技术创新与设备改造，而这又需要长期投入与人才支撑。

2. 运营成本与收益不平衡

资源利用企业在经营过程中面临着较高的能耗成本，由于破碎机、筛分机等生产设备耗电较大，因此电价的波动直接影响到企业的生产成本。人工成本也是一个重要的开支，从垃圾的收集、运输、处理到再加工，每一步都需要专门的操作人员和管理人员、员工的工资、福利及其他费用也在逐年上升。另外，设备的维修保养也要有规律地进行，危险零件的更换及维护的费用是不能

忽视的。与之形成鲜明对比的是，资源类商品的市场价格受多种因素制约，资源类产品在市场上的知名度和接受度不高，在市场上很难卖出去，涨价也很难。与传统建材相比，资源型建材在性能、品牌等方面存在一定差异，在市场竞争中处于不利地位。部分回收砖在强度、外观等方面可能不如传统红砖，消费者对传统产品的偏好也较高，从而限制了其价格，使得企业很难获得足够的利润来弥补运营成本。

三、推动资源化利用的策略与建议

(一) 加强技术研发与创新

1. 政府与企业加大投入

政府要发挥主导作用，建立专项科研基金，对建筑垃圾资源化技术的研究与开发提供稳定的资金支持。根据产业发展需求，结合产业实际，每年加大科研经费投入，保证关键技术研究取得突破。政府也要制定相应的策略，引导金融机构，通过低利率贷款和金融担保等方式，降低中小企业的融资成本，鼓励他们加大科技研发投入。企业作为技术创新的主要力量，应该积极响应政府的需求，把技术研发纳入自己的发展战略中，成立专门的研发部门，或者与高校、科研院所组成联合研发团队。企业应根据自身的发展规划，结合市场需求，合理安排R&D投入，保证每年的R&D投入占企业总产出的一定比重。加强先进设备的引进与更新，提高设备技术水平，为技术研发与创新奠定坚实的物质基础。

2. 产学研合作机制的建立

为推动建筑废弃物资源化利用技术创新，搭建产学研合作平台，政府要发挥主导作用，鼓励高校、科研院所、企业等多方参与，为高校、科研院所、企业搭建交流与合作的桥梁。明确各参与方在平台构建过程中的权利义务，建立合理的合作规则与利益分享机制，以保证合作的公平与可持续。高校、科研院所充分发挥自身人才、技术优势，针对建筑废弃物资源化利用的关键技术难题开展深入研究与探索。加强与企业的交流与沟通，及时掌握企业的实际需求及技术瓶颈，促进科研成果与生产实践的有机结合，增强成果的实用性与可转让性。企业要积极参加行业高等教育的科研项目，为高校、科研院所提供实习场所和数据支撑，使科研成果能够及时转化为生产，实现技术的快速转化与应用。

(二) 优化经济激励政策

1. 财政补贴与税收优惠

对于积极利用建筑废弃物资源的企业，政府应制定专门的税收补贴办法，给予直接的财政补贴。支持标准可根据企业的生产规模，资源利用情况，以及对环境的影响来综合评价，以确保项目的资助能真正起到激励作用。对新建或改造建筑废弃物治理项目给予一定比例的投资补助，降低建设成本。为了提高产品的生产积极性，

提高产品在市场上的竞争能力，对那些生产和消费资源的企业给予补贴。同时，税收优惠政策也是鼓励企业参与建筑废弃物资源化的一个重要途径，政府应制定相应的税收政策，对从事建筑废弃物资源化利用的企业实行税收优惠政策。为企业购置建筑废料处理设备，例如加速折旧、投资贷款等税收激励措施，对企业能源产品的增值税、所得税及其他减免作出规定，为从事建筑废物运输及处置的企业提供适当的税务激励措施，以降低营运成本。

2. 价格调控与市场机制

运用价格管制手段提高建材产品的市场竞争力，是促进资源利用的重要手段。政府可藉由价格杠杆来引导建筑商及消费者对建筑废弃物再循环利用的产品。建立完善的建材价格信息发布机制，及时披露废旧建材及传统建材的价格走势，为市场主体提供决策参考。建筑垃圾资源化利用的市场化机制和开放市场是实现可持续发展的重要途径，鼓励和支持社会资本投资、建设、运营建筑垃圾资源化项目，形成多元化投资主体。加强市场准入管理，制定严格的市场准入标准，保证参与市场竞争的企业具有相应的技术，金融和管理能力。加强市场监管，规范市场组织，打击不正当竞争行为，保护市场主体的合法权益。

结语

建筑废弃物的资源化利用对于节约资源，保护环境，实现可持续发展具有十分重要的意义。目前，资源利用技术已广泛应用于资源的循环利用、能量回收、生物降解及土壤改良等方面。在各个领域中，技术的不断发展与革新，为废物的高效利用提供了技术支撑。为有效地应对这些挑战，本文提出了相应的对策，在科技创新方面，政府与企业要加大投入，建立产学研合作机制，共同应对技术难题。在经济激励方面，通过税收补贴、税收优惠等措施，运用价格调控、市场机制等手段提高资源利用效益。在营销上，透过广告宣传、教育等方式，提升市民对产品品质的认识，在政策、法规和监督上，要完善法规，加大执法力度，为资源的合理利用提供制度保证。

参考文献

- [1] 朱沙仑. 绿色施工理念下市政项目建筑废弃物资源化利用模式创新 [J]. 建筑工程技术与设计, 2022, 10 (29): 154-156.
- [2] 李永生. 基于绿色建造理念的公共建筑装饰装修施工策略 [J]. 中国建筑装饰装修, 2024 (9): 81-83.
- [3] 刘建扬, 荆玉浩, 陈红鹏. 绿色建筑施工的重要作用及优化策略探讨 [J]. 砖瓦世界, 2024 (8): 61-63.
- [4] 杨晓东. 施工过程中固体废弃物源头减量和资源化处理 [J]. 建筑工程技术与设计, 2024, 12 (34): 82-84.

作者简介：王安民，1984年，男，汉，本科，副高，研究方向：建筑工程施工。