

市政旧桥拆除过程废弃物资源化利用技术路径分析

陈美翔

玉茗建筑科技集团有限责任公司 江西抚州 344100

摘要：随着市政基础设施更新升级步伐加快，大量旧桥面临拆除重建，拆除过程产生的海量废弃物成为生态环境保护与资源高效利用的重要课题。本文围绕市政旧桥拆除废弃物资源化利用展开研究，首先明确废弃物的分类与特性，包括混凝土类废弃物的物理化学特性、钢材类废弃物的回收价值及其他混合废弃物的成分构成；进而系统分析资源化利用的主要技术路径，涵盖废弃混凝土再生利用、废旧钢材回收再加工以及混合废弃物分选与资源化技术；最后探讨技术路径选择的关键影响因素，从废弃物自身特性、再生产品市场需求以及技术经济与环境效益综合考量三个维度提供决策参考。研究旨在为市政旧桥拆除废弃物的科学处理与高效利用提供理论支撑，推动基础设施建设领域实现资源循环与低碳发展。

关键词：市政旧桥；拆除废弃物；资源化利用

引言

市政桥梁作为城市交通网络的重要组成部分，在长期服役后会因结构老化、性能衰退、荷载标准提升等原因，需进行拆除重建或升级改造。旧桥拆除过程中会产生大量废弃物，包括混凝土块、废旧钢材、砖石、木材等，若采用传统填埋或丢弃方式处理，不仅占用大量土地资源，还会引发土壤污染、水体污染等生态问题，同时造成优质建材资源的严重浪费。在“双碳”目标与循环经济发展理念的引领下，废弃物资源化利用已成为基础设施建设领域绿色转型的必然要求。市政旧桥拆除废弃物中蕴含丰富的可回收资源，通过科学的技术手段实现资源化利用，既能减少环境污染，又能降低新建工程的资源消耗，产生显著的经济、社会与环境效益。当前，旧桥拆除废弃物资源化利用仍面临技术水平参差不齐、回收体系不完善、效益平衡难度大等问题，制约了资源化利用的规模化推进。

一、市政旧桥拆除废弃物的分类与特性

（一）混凝土类废弃物的物理化学特性

混凝土类废弃物是市政旧桥拆除废弃物的主要组成部分，占比通常超过60%，其物理化学特性直接决定资源化利用的方向与效果。从物理特性来看，旧桥混凝土废弃物多为块状结构，粒径分布较广，表面附着砂浆、灰尘等杂质，孔隙率相对较高，密度略低于新拌混凝土。不同服役年限的旧桥混凝土，其强度等级存在差异，一般在C30-C50之间，经过长期风化、荷载作用，部分构

件表面会出现裂缝、剥落等现象，但核心部分仍保持较好的结构完整性。

从化学特性来看，混凝土废弃物的主要成分是水泥石水化产物、骨料以及少量外加剂。水泥石水化产物以硅酸钙凝胶为主，具有一定的胶凝活性；骨料包括碎石、卵石等，化学成分以二氧化硅为主，硬度高、耐磨性强，具备再次利用的基础条件。此外，混凝土废弃物中还含有微量的氯离子、硫酸盐等有害物质，其含量与桥梁服役环境相关，沿海地区或冰雪灾害频发地区的旧桥混凝土，氯离子含量可能偏高，需在资源化利用前进行检测与处理。

（二）钢材类废弃物的回收价值

钢材类废弃物是旧桥拆除废弃物中价值较高的可回收资源，主要来源于桥梁的钢筋、型钢、钢板、连接件等结构部件。旧桥钢材经过长期服役，虽然表面可能存在锈蚀、磨损等情况，但核心材质的力学性能仍能满足一定的使用要求，具有显著的回收再利用价值。

从材质来看，旧桥钢材多为普通碳素结构钢或低合金高强度钢，这类钢材具有良好的可加工性、可焊性和再生性，回收后经过除锈、切割、熔炼等处理，可重新加工为各类钢材产品或再生骨料。从数量来看，大型市政桥梁的钢材用量可达数百吨甚至数千吨，即使是中小型桥梁，钢材废弃物数量也较为可观。合理回收利用这些钢材，既能节约铁矿石、焦炭等原生资源的消耗，又能减少钢材生产过程中的碳排放，符合低碳发展要求。此外，钢材回收的经济收益相对稳定，能够为旧桥拆除项目带来额外效益，提升资源化利用的积极性^[1]。

（三）其他混合废弃物的成分分析

市政旧桥拆除废弃物中除混凝土类和钢材类外，还包含砖石、木材、沥青、塑料、玻璃等混合废弃物，这类废弃物成分复杂、种类繁多，占比相对较低，但处理难度较大。砖石类废弃物主要来自桥梁的桥台、桥墩护面、人行道铺装等部位，材质多为砖石、石材，物理性能稳定，硬度较高，但颗粒大小不均，杂质含量较高。

木材类废弃物主要包括桥梁支座、防撞护栏、人行道板等木质构件，经过长期使用，部分木材存在腐朽、虫蛀等问题，力学性能下降，但仍可作为生物质能源或再生板材的原料。沥青类废弃物主要来自桥面铺装层，成分以沥青和骨料为主，具有一定的黏结性和回收利用价值。塑料、玻璃等废弃物多为桥梁附属设施拆解产生，数量较少，但难以自然降解，若处理不当会造成环境污染。混合废弃物的成分复杂性决定了其资源化利用需采用分选、分类处理的方式，根据不同成分的特性选择适宜的利用路径^[2]。

二、旧桥废弃物资源化利用的主要技术路径

（一）废弃混凝土的再生利用技术

废弃混凝土再生利用是旧桥拆除废弃物资源化的核心路径，通过一系列物理、化学处理，将废弃混凝土转化为再生建材，实现资源循环。预处理技术是再生利用的基础环节，主要包括拆解、破碎、筛分和除杂。拆解过程中采用精准拆解技术，避免混凝土块过度破碎，减少细粉产生；破碎环节使用颚式破碎机、反击式破碎机等设备，将大块混凝土破碎为不同粒径的颗粒；通过多层筛分设备分离出不同规格的再生骨料，同时采用磁选、风选等技术去除骨料中的钢筋、杂质，确保再生骨料的纯度。

再生骨料应用技术是实现资源化的关键，根据粒径大小和性能指标，再生骨料可用于不同场景。粗再生骨料（粒径大于4.75mm）可替代天然骨料配制再生混凝土，用于道路基层、垫层、小型构件浇筑等；细再生骨料（粒径小于4.75mm）可用于配制砂浆、制作再生砖、透水砖等建材。此外，通过深度处理技术，如机械活化、化学活化等，提升再生骨料的性能，可将其用于更高强度等级的混凝土配制。废弃混凝土还可通过磨细处理制成再生粉体，作为混凝土掺合料，替代部分水泥，减少水泥用量，降低碳排放。

（二）废旧钢材的回收与再加工技术

废旧钢材的回收与再加工技术主要包括回收分拣、预处理和再生加工三个环节。回收分拣环节需在旧桥拆

除过程中同步进行，采用人工分拣与机械分拣相结合的方式，将钢筋、型钢、钢板等钢材废弃物与其他废弃物分离，按材质、规格进行分类堆放，避免混杂污染。对于附着有混凝土、铁锈的钢材，需进行预处理，通过机械除锈、化学除锈等方式去除表面杂质，提高钢材纯度。

再生加工技术根据钢材废弃物的状态和性能分为两种路径。对于性能良好、锈蚀较轻的钢材，经过除锈、校正、切割等处理后，可直接用于小型构件制作、临时设施搭建等次要受力部位；对于锈蚀严重或性能下降的钢材，则通过熔炼再生技术，将其送入炼钢炉重新冶炼，去除杂质后生产新的钢材产品。熔炼过程中可加入适量的合金元素，调整钢材的化学成分，提升产品性能。此外，废旧钢材还可加工为钢渣骨料，用于道路建设、地基处理等工程，实现全资源利用^[3]。

（三）混合废弃物的分选与资源化技术

混合废弃物成分复杂，需通过高效分选技术实现分类利用，再结合能源化处理技术实现剩余资源的回收。分选技术以物理分选为主，包括筛分、磁选、风选、浮选等多种方法的组合应用。首先通过筛分设备按颗粒大小分离出砖石、木材、塑料等不同组分；然后采用磁选技术进一步回收混合废弃物中遗漏的金属杂质；利用风选技术根据密度差异分离出木材、塑料等轻质组分与砖石等重质组分；对于难以通过物理方法分离的组分，可采用浮选技术实现精准分选。

分选后的混合废弃物根据成分特性选择利用路径。砖石类重质组分经过清洗、破碎后，可作为路基填料、垫层材料或制砖原料；木材、塑料等轻质组分可采用能源化技术处理，通过焚烧发电、热解气化等方式将其转化为电能、热能或生物质燃料。其中，焚烧发电技术通过燃烧废弃物产生蒸汽驱动发电机组发电，实现能源回收；热解气化技术则在缺氧环境下将废弃物分解为可燃气体，用于供热或发电，相比直接焚烧，污染物排放更低。对于无法资源化利用的少量残余废弃物，需进行无害化处理后再进行填埋，确保环境安全。

三、资源化技术路径选择的关键影响因素

（一）废弃物自身特性的影响

废弃物自身特性是技术路径选择的基础前提，直接决定资源化利用的可行性与效果。混凝土类废弃物的强度等级、粒径分布、杂质含量等特性，影响再生骨料的质量和应用场景选择。强度等级较高、杂质含量低的混凝土废弃物，适合采用深度处理技术生产高品质再生骨料，用于混凝土结构工程；而强度较低、杂质较多的则

更适合用于道路基层等次要部位。某市政旧桥拆除项目中，C40强度等级的混凝土废弃物经预处理后，生产的再生骨料满足C30混凝土配制要求，直接用于新建桥梁的附属结构施工，而强度较低的混凝土废弃物则用于周边道路垫层铺设，实现了分类利用。

钢材类废弃物的锈蚀程度、材质规格影响再加工路径选择。锈蚀较轻、材质优良的钢材可直接回收复用，减少加工成本；锈蚀严重的则需采用熔炼再生技术。混合废弃物的成分复杂度、组分占比决定分选技术的组合方式和能源化处理的效率，成分单一、可回收组分占比高的混合废弃物，资源化利用率更高；而成分复杂、有害物质超标的则需优先考虑无害化处理^[4]。

（二）再生产品市场需求的影响

再生产品市场需求直接关系资源化利用的经济效益，是技术路径选择的重要导向。不同地区的工程建设需求、建材市场供给情况存在差异，再生产品的市场接受度和价格也会相应变化。在城市新区建设、道路改造等工程集中的地区，再生骨料、再生砖等建材的市场需求旺盛，选择废弃混凝土再生利用技术路径能够快速实现产品消化，获得稳定收益。某城市在旧桥拆除过程中，针对当地道路建设对骨料的大量需求，将废弃混凝土集中加工为再生骨料，供应给周边市政道路项目，不仅降低了项目采购成本，还为废弃物处理企业创造了可观利润。

再生钢材的市场需求受钢铁行业行情、钢材价格波动影响较大，当钢材市场价格较高时，废旧钢材回收再加工的经济效益显著；而价格低迷时，需综合考量成本与收益。混合废弃物资源化产品的市场需求则与当地能源结构相关，在电力供应紧张、重视可再生能源发展的地区，焚烧发电、热解气化技术具有更好的应用前景。

（三）技术经济与环境效益的综合考量

技术经济与环境效益的综合平衡是技术路径选择的核心原则，需兼顾短期投入与长期收益、经济成本与环境影响。技术经济性方面，需综合评估不同技术路径的设备购置成本、运营成本、加工成本以及再生产品的销售收入。废弃混凝土再生利用技术的设备投入相对较高，但再生骨料的生产成本低于天然骨料，长期来看经济效益显著；废旧钢材回收再加工技术的前期投入较低，回收周期短，适合中小型企业采用；混合废弃物分选与能源化技术的设备投资和运营成本较高，需依托规模化处理才能实现盈利。

环境效益方面，需考量不同技术路径的污染物排放、

能耗水平以及资源节约效果。废弃混凝土再生利用和废旧钢材回收再加工技术能够显著减少原生资源开采和废弃物填埋量，降低碳排放；混合废弃物资源化技术虽然能实现能源回收，但需控制焚烧过程中的废气、废渣排放，避免二次污染。某旧桥拆除项目通过综合对比，选择“废弃混凝土再生利用+废旧钢材回收+混合废弃物热解气化”的组合技术路径，相比传统处理方式，资源回收率提升至85%，碳排放减少40%，投资回收期控制在3年以内，实现了技术经济与环境效益的双赢^[5]。

结语

市政旧桥拆除废弃物资源化利用是推动基础设施建设绿色低碳发展的重要举措，既能解决废弃物处理带来的环境压力，又能实现资源循环利用，具有显著的综合效益。本文通过对废弃物分类与特性的分析，系统梳理了废弃混凝土再生利用、废旧钢材回收再加工、混合废弃物分选与资源化等主要技术路径，明确了废弃物自身特性、再生产品市场需求、技术经济与环境效益综合考量三大关键影响因素。不同技术路径各有优劣，实际应用中需结合项目具体情况，进行科学合理的选择，实现资源利用效率最大化。市政旧桥拆除废弃物资源化利用的推进，需要政府部门、企业、科研机构等多方协同发力，完善相关政策标准，提升技术装备水平，健全回收利用体系。通过各方共同努力，推动旧桥拆除废弃物从“末端处理”向“源头减量、过程控制、资源化利用”转变，为基础设施建设领域的循环经济发展注入动力，助力“双碳”目标实现。

参考文献

- [1] Bettina Sigmund, 李家坤译, 李硕译. 建筑垃圾细碎石制成可回收产品 [J]. 建筑细部, 2020.
- [2] 陈娟. 探究建筑材料中废旧高分子材料的回收应用 [J]. 黑龙江冶金, 2021, 041 (002): 60-61.
- [3] 梁伯全. 旧桥梁结构的加固与回收利用发展趋势 [J]. 四川水泥, 2020 (3): 1. DOI: CNKI: SUN: SCSA.0.2020-03-040.
- [4] 程叙垚, 熊欢, 张腾. 老旧桥梁改造再利用技术 [J]. 施工技术, 2022 (015): 051.
- [5] 熊欢, 程叙垚. 可利用旧桥拆除施工技术研究与应用 [C]//2021年全国工程建设行业施工技术交流会. 成都兴城建设管理有限公司, 2021.