

建筑垃圾资源化处理技术及生产实践

□ 首钢环境产业有限公司熙凤 梁勇 孙丽蕊 马刚平

摘要

本文主要介绍了建筑垃圾资源化处理的相关技术以及首钢建筑垃圾资源化处理项目，理论与实践相结合，为我国建筑垃圾资源化处理工艺技术及产品应用提供了参考和借鉴。

关键词

建筑垃圾；资源化处理技术；生产实践



首钢建筑垃圾资源化处理厂区

1、前言

随着我国经济社会的迅速发展和城镇化的快速推进，既有建筑拆除与新建建筑激增，导致我国建筑垃圾产生量不断增长。目前，我国建筑垃圾产生量还未有准确的官方统计数据，据估算，年产生量已超过15亿吨，2020年预计将超过20亿吨。目前，我国建筑垃圾资源化利用率不足5%，大部分建筑垃圾仍采用露天堆存、填埋等粗放处理方式，存在占用土地、污染环境、影响市容卫生、导致安全隐患等问题，实现建筑垃圾的资源化处理与利用迫在眉睫。

在“首都设计产业提升项目”的支持下，首钢自主集成开发了适合我国建筑垃圾高混杂特性的资源化处理技术，依托该技术成果在北京建成投产了首钢100万吨/年建筑垃圾资源化处理厂，无机混合料、混凝土、PC砖、砂浆等再生产品大规模应用于长安街西延线、北京冬奥广场等重点工程，取得了显著的综合效益。

2、建筑垃圾资源化处理技术

建筑垃圾资源化处理利用可划分为原料存储、资源化处理、再生骨料存储、建材加工等工序，其中资源化处理工序是整个建筑垃圾资源化处理厂的核心。通过资源化处理，实现建筑垃圾中各类杂物的分离，并根据后续建材产品的原料要求生产出不同规格的再生骨料，按处理功能可划分为：分选除杂、破碎整形、筛分、骨料强化等环节。建材加工工序基本可沿用现有成熟工艺及设备，以下重点介绍资源化处理工序的相关工艺技术。

2.1 分选除杂技术

建筑垃圾的分选除杂可分为人工和机械分选两种途径：机械分选根据建筑垃圾中杂物在尺寸、磁性、比重等物理特性的不同进行高效分离，主要包括筛选、风选、磁选、水力浮选等；人工分选主要针对一般机械手段难以分离的大尺寸杂物。在建筑垃圾处理过程中，因其所含杂质种类繁多，除杂过程往往是多种分选方法并用。

(1) 风选：风力分选是重力分选的一种常用方法，其以空气为分选介质，在气流作用下使固体废物按比重和粒度大小进行分选的方法，按气流作用的方向可分为吸风式和鼓风式两种。吸风式风选原理与除尘器类似，在建筑垃圾输送或筛分过程中设置吸风口，利用负压实现轻质物、细微颗粒等的分离，再经过旋风除尘器等实现杂物捕集。鼓风式风选基本原理是气流能将较轻的物料向上带走或水平方向带向较远的地方，而重物料则由于上升气流不能支持而沉降，或由于惯性在水平方向抛出较近的距离，被气流带走的轻物料再进一步从气流中分离出来。

(2) 磁选：建筑垃圾中的磁性物以废钢筋为主。建筑物拆除后，裸露的废钢筋、较大体积的钢板、钢梁、地脚螺栓等可气割处理后人工分拣，包裹夹杂在混凝土块中的废钢筋则需要经过破碎处理后，通过磁选的方法实现分选。建筑垃圾磁选工艺一般安排在各级破碎工序后，以跨带式磁选机与永磁滚筒磁选机相配合的实现磁选。

(3) 水力浮选：建筑垃圾中混杂的废塑料、废木材、废纸

DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2016.23.006

张、加气混凝土等轻质物比重小于水，利用其在水中的可浮性与混凝土、砖瓦等分选。区别于选矿行业的浮选工艺，建筑垃圾浮选并不需要添加浮选药剂改变可浮性，通过自然可浮性的差别即可实现分选。建筑垃圾从浮选设备中部进料，不可浮的重质物沉入浮选设备底部的输送装置上，由该输送装置向一侧运出，输送过程中一并沥水；轻质杂物浮于水面上，由上部的桨叶装置从浮选设备另一侧刮出（如图1所示）。建筑垃圾浮选的特点是处理能力强，分选效率高，除杂效果好。但由于建筑垃圾中含有一定量的渣土，需配套水循环系统，降低水中的泥沙含量。为避免泥沙快速堆积，进入浮选工艺的建筑垃圾原料中渣土含量不宜过高，且粒度适中，因此，浮选前应进行初级破碎及渣土预筛分。同时，浮选应与人工拣选、风选、磁选等除杂工艺相配合，不宜承担过高的除杂负荷。

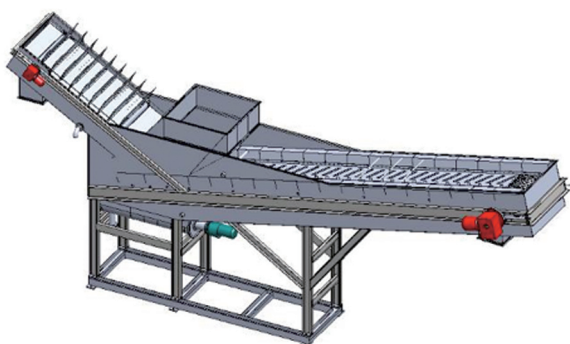


图1 建筑垃圾水力浮选机示意图

2.2 破碎整形

破碎是建筑垃圾再生骨料生产技术的核心之一，不仅关系到生产能力、功率与能源消耗，更关系到建筑垃圾再生骨料的粒度分布、粒形、粉料率等，都直接影响到再生骨料产品的质量和经济效益。

物料的破碎方法主要根据物料的物理机械性质、物料块入料的尺寸和所要求的破碎比来选择。建筑垃圾物料强度中等偏软，裂缝较多，破碎方法可以选择挤压式、冲击式破碎，常见的挤压式破碎机有颚式破碎机、圆锥破碎机等，冲击式破碎有反击式破碎机、立式冲击破碎机、锤式破碎机等。

建筑垃圾破碎工艺中，颚式破碎机通常可用于初级破碎，具有入料粒度大、生产能力高、破碎效率高、损耗低等优点；圆锥式破碎机可用于中级破碎和细碎，相较于冲击式破碎，其破碎后产品中粉料含量少，但针片状颗粒含量较高；反击式破碎机常被用作于单段式破碎或与颚式破碎机联合使用，其优点是入料粒度大，破碎效率高，产品粒形好，可减少破碎级数，简化生产流程，但存在损耗高、产品粉料率高、噪音大等问题；立轴冲击式破碎机具有细碎、粗磨功能，可用于细碎或骨料整形，优点是破碎效率高，通过非破碎物料能力强，受物料水份含量影响小，产品粒形优异，针片状颗粒含量较低。

2.3 筛分

在建筑垃圾再生骨料生产技术中，筛分的功能一般体现在两个方面：一是用于建筑垃圾中渣土等杂物的分离；二是用于破碎后骨料的分级。常用设备主要包括振动筛、滚筒筛、棒条筛等。

2.4 骨料强化

骨料强化的目的是进一步提高建筑垃圾再生骨料的综合性能，主要包括微粉去除、砖砗分离、水泥包浆剥离等。

(1) 微粉去除：建筑垃圾再生骨料在破碎、筛分、强化及整形等工艺处理时，会产生一定量的微粉，再生骨料用于制备混凝土或砂浆时，微粉含量过多会影响再生混凝土的强度及耐久性。我国再生骨料标准将其定义为粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的细微颗粒，并对微粉在再生骨料中的含量有严格限定。在机制砂行业，国内普遍使用湿式洗砂机去除微粉，需配套水循环系统，存在着投资高、占地大、处理成本高、二次污染等问题。为解决上述问题，气力分级机与振动风筛等干式设备在国内外已成功应用，是微粉去除工艺技术装备的发展趋势。（图2）

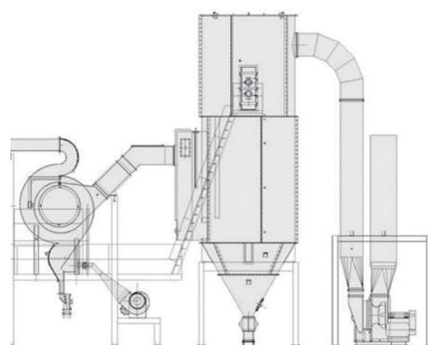


图2 微粉气力分级机示意图

(2) 砖砗分离：我国建筑垃圾中砖瓦比例较高，而混凝土含量较低。在生产实践中，建筑垃圾中砖瓦与混凝土混杂情况较多，从而导致加工生产的再生骨料中砖与砗混杂，二者的综合性能与应用方式差异较大，因此有必要进行砖砗分离处理。目前，我国相关技术尚处于研发测试阶段，主要通过砖与砗在比重、颜色、强度等方面的差异实现分离。

(3) 水泥包浆剥离：破碎工艺生产的再生骨料针片状颗粒较多、表面粗糙且包裹水泥砂浆，再加上混凝土块在破碎过程中在内部产生大量微裂纹，性能劣于天然骨料。因此，国外对破碎后的骨料颗粒进一步进行强化处理。再生骨料强化有化学和物理两种方法。化学强化法利用酸液实现骨料强化，处理成本过高，同时存在二次污染风险，尚不具备工业化应用条件。目前，国外广泛采用物理强化法，使用机械设备手段，通过骨料之间的相互撞击、磨削等机械作用除去表面黏附的水泥砂浆和颗粒棱角。物理强化法主要有立式冲击整形法、卧式回转研磨法、加热研磨法等。在国内，由于处理成本较高，而尚未实现工业化应用。

3、首钢建筑垃圾资源化处理生产实践

3.1 项目概况

2013年4月17日北京市人民政府印发《北京市生活垃圾处理设施建设三年实施方案（2013-2015年）》（京政发[2013]12号），明确提出到2015年，新建石景山区（首钢）、大兴区、朝阳区、海淀区、丰台区5个建筑垃圾资源化处理项目，全市建筑垃圾资源化处理能力达到800万吨/年。首钢建筑垃圾资源化处理厂设计处理能力100万吨/年，位于首钢北京石景山厂区内，总占地面积152亩。采用了首钢自主集成开发的建筑垃圾资源化处理及再生产品生产成套工艺技术。

该项目作为北京市第一个建成投产的建筑垃圾资源化处理示范项目，实现了首钢石景山厂区及周边城区建筑垃圾就地拆除、就地处理、就地利用，打造首钢集团建筑垃圾资源化处理的“闭路循环”模式，发挥重点园区中重点项目的示范效能。（图3）



图3 首钢建筑垃圾资源化处理的“闭路循环”模式

3.2 处理工艺

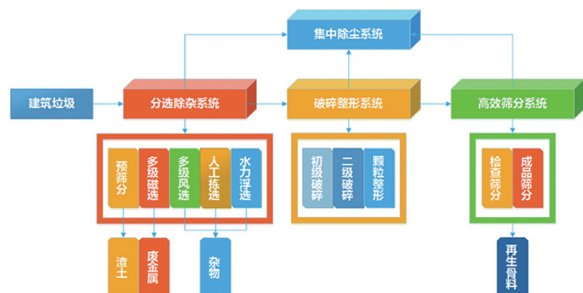


图4 建筑垃圾处理生产工艺流程图

首钢建筑垃圾资源化处理厂的主要工艺流程如下：运输至处理现场的建筑垃圾，经分类堆存后为废混凝土类和废砖瓦类两种类型建筑垃圾，分批次上料至受料斗，通过棒条振动给料机，均匀给料至颚式破碎机进行建筑垃圾的初级破碎。初破后物料经

人工拣选、一级磁选选出部分杂物和废金属后，输送至振动筛进行渣土的筛分。筛下渣土输送至渣土堆场，筛上物经风选选出轻质垃圾后，进入水力浮选完成进一步深度的除杂分选环节。经初破、分选后的物料进入反击式破碎机，实现二级破碎和颗粒整形的功能。破碎后物料经二级磁选后，送至筛分机，筛上物返回二级破碎机继续破碎。筛下物根据原料品质及后续再生建材制品的需求，调整筛分功能，可筛分出不同粒级、不同品质的再生骨料供给后续再生建材制品生产线，产品涉及无机混合料、混凝土、干混砂浆等多个方向。（图4）

3.3 再生产品应用

首钢建筑垃圾资源化处理厂自运营投产以来，形成了在无机混合料、混凝土、PC砖、干混砂浆等多领域的资源化利用技术，并通过示范工程，实现了建筑垃圾再生建材产品的体系化、成熟化应用，目前已在长安街西延、北京冬奥广场、中国建筑设计研究院科研办公楼等重点工程中实现工程化应用近百项。（图5~12）



图5 混凝土类再生骨料

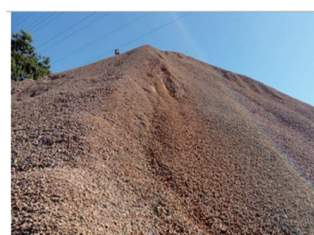


图6 砖混类再生骨料



图7 长安街西延道路工程
（水泥稳定再生无机混合料）



图8 冬奥广场周边道路工程
（二灰稳定再生无机混合料）



图9 中国建筑设计研究院科研办公楼
（再生混凝土C30，P8）



图10 首钢土壤修复气膜大棚工程
（再生混凝土C20，P12）

（下转36页）

温拌橡胶沥青混合料面层	4cm
温拌再生沥青混合料面层	8cm
泡沫沥青冷再生柔性基层	12cm
水泥稳定再生骨料基层	18cm
水泥稳定渣土底基层	16cm
水泥稳定渣土底基层	16cm
路床处理	

图10 典型的全厚式再生型路面结构

4、结语

建筑垃圾是可以循环利用的宝贵资源，将各种不同成分的建筑垃圾通过合理的技术途径进行资源化利用，并集成应用于道路工程建设中，使得道路工程在全寿命周期内，最大限度地节约资源、保护环境，达到节能减排和提高道路使用性能的双重效果，促进道路建设的可持续发展。C

参考文献：

[1] JTG/T F20-2015，公路路面基层施工技术细则[S]．北京：人民交通出版社股份有限公司，2015．
[2] CJJ 1-2008，城镇道路工程施工质量验收规范[S]．北京：中国建筑工业出版社，2008．
[3] JTG E51-2009，公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S]．北京：人民交通出版社，2009．
[4] JTG F41-2008，公路沥青路面再生技术规范[S]．

北京：人民交通出版社，2008．
[5] JC/T 2281-2014，道路用建筑垃圾再生骨料无机混合料[S]．北京：中国建材工业出版社，2014．
[6] DB 13(J)/ T155-2014，建筑垃圾再生集料路面基层施工技术规范[S]．北京：中国建材工业出版社，2014．
[7] 吴英彪，石津金，张秀丽，张瑜．建筑垃圾再生集料在道路工程中的应用[J]．建设科技，2014．
[8] Yingbiao Wu, Yanfang Guo, XiuliZhang. Application of Recycled Brick-Stone Aggregate in Road Base [C]. Material,Design,Construction,Maintenance,and Testing of Pavement, 2009.
[9] 薛雪．建筑垃圾作为道路材料的再生加工技术研究[D]．长安大学，2014．
[10] 孔忠良．建筑渣土在上海世博会园区道路中的再生利用[J]．城市道桥与防洪，2012．
[11] 林翔．沥青路面再生利用关键技术研究[D]．北京工业大学，2010．

作者简介：吴英彪，男，汉族，1964年生，河北省黄骅市人，1983年毕业于河北工学院公路工程专业，大学本科学历，工商管理硕士学位，正高级工程师。武汉工程大学、河北工程技术高等专科学校兼职教授，河北省新世纪“三三三人才工程”第三层次人选，2004年度河北省有突出贡献中青年科学、技术、管理专家。2008年经省人事厅推荐，作为交流访问学者赴美国德克萨斯农工大学进行为期6个月的交流访问，接受了世界一流道路建设培训。作为项目负责人，主研科研课题20余项，并多次在省、市获奖，在国内、外学术刊物上发表论文20多篇。

(上接32页)



图11 北京冬奥西十广场
(再生广场坪石、再生干混砂浆)



图12 北京凉水池东路
(二灰稳定再生无机混合料、再生透水混凝土、再生透水砖)

各种再生产品的检测结果完全满足相关标准规范的要求，产

品质量获得客户高度认可，各项工程应用均取得了良好的效果。

4、结语

大力推行建筑垃圾资源化处置是可持续发展战略的必然要求和主流趋势，再生骨料制备技术及装备是建筑垃圾资源化处置的关键。针对中国建筑垃圾基本无源头分类、组分复杂的国情，必须充分重视分选除杂工艺，并结合再生产品的应用形式，选择合适的生产工艺手段，保证建筑垃圾再生产品符合相关标准要求，更好地实现建筑垃圾再生产品的规模化和产业化应用。C