

# 工业固废处理及资源化技术研究

种晓健

中机国际工程设计研究院有限责任公司 陕西 西安 710075

**摘要：**工业固废处理及资源化对环保与资源循环意义重大。本文先阐述工业固废核心类别与基础特性，涵盖类别划分、物理化学特性、产生环节与存量特征。接着介绍处理核心技术类型及原理，包括物理、化学、生物和热处理技术。随后说明资源化核心技术及应用路径，涉及建材化、能源化、回收再利用和农业化。最后提出处理及资源化技术的优化方向，涵盖现有技术升级、创新研发、协同优化及工艺完善，推动工业固废处理与资源化产业进步。

**关键词：**工业固废；处理技术；资源化技术；优化方向；协同发展

引言：工业快速发展使工业固废产量与日俱增，其成分复杂，处理不当会严重污染环境、浪费资源。合理处理与资源化利用工业固废，既能减少对自然资源的依赖，降低环境压力，又可创造经济价值。当前，工业固废处理及资源化技术不断发展，但不同类别固废特性差异大，现有技术在效率、能耗、协同性等方面存在不足。因此，深入研究工业固废处理及资源化技术，探索优化方向，具有重要的现实意义。

## 1 工业固废的核心类别与基础特性

### 1.1 工业固废的主要类别划分

工业固废类别划分依托产生来源、物质特性及危害程度等核心依据，遵循行业通用分类原则，形成系统且明确的分类体系。分类需兼顾工业生产工艺差异与固废后续处理、资源化适配需求，摒弃单一分类标准的局限性<sup>[1]</sup>。常见分类涵盖冶金固废、化工固废、矿业固废、电力固废及其他行业固废，分类过程需体现各类固废的本质差异，为后续技术适配、处理处置及资源化利用提供清晰的分类依据，契合工业固废分类的基础学术规范与行业实践逻辑。

### 1.2 不同类别工业固废的物理特性

不同类别工业固废的物理特性差异显著，主要体现在粒度、密度、硬度、含水率及外观形态等方面，这些特性直接影响处理技术选择与资源化利用方向。冶金固废多呈现块状、粒状，硬度较高且密度较大，含水率较低；化工固废形态多样，涵盖粉末状、絮状等，部分具有吸湿性与黏结性；矿业固废以颗粒状为主，粒度分布不均，硬度随矿物组成不同存在明显差异；电力固废多为粉末状，粒度细小且比表面积较大。物理特性的差异决定固废的处理难度与资源化潜力，是技术适配的核心考量因素。

### 1.3 不同类别工业固废的化学组成

工业固废的化学组成与产生行业、生产工艺密切相关，不同类别固废的化学组分差异明显，核心组分涵盖金属氧化物、非金属氧化物、盐类及有机质等。冶金固废富含铁、铝、钙等金属氧化物，同时含有少量杂质元素；化工固废化学组成复杂，可能含有各类无机化合物、有机污染物及微量有害元素；矿业固废以硅酸盐、碳酸盐等非金属氧化物为主，部分伴生有价金属元素；电力固废主要成分为二氧化硅、氧化铝等，化学性质相对稳定。化学组成直接决定固废的资源化价值与环境风险，是后续处理与资源化技术选择的核心依据。

### 1.4 工业固废的产生环节与存量特征

工业固废的产生环节与工业生产全流程紧密相关，不同行业固废的产生环节具有明确指向性，存量特征则受产生量、处理效率及堆积时间影响。冶金固废主要产生于冶炼、轧制等环节，产生量集中且存量规模较大；化工固废产生于原料加工、反应合成等环节，产生环节分散且成分复杂；矿业固废源于采矿、选矿等环节，存量庞大且分布广泛；电力固废主要产生于燃料燃烧、烟气处理环节，产生量稳定且集中堆放。存量特征呈现区域分布不均、成分混杂等特点，需结合产生环节与存量现状，优化处理与资源化方案，贴合工业固废存量管控的实际需求。

## 2 工业固废处理核心技术类型及技术原理

### 2.1 物理处理技术及技术原理

物理处理技术以工业固废的物理特性为核心依托，通过物理手段改变固废的粒度、形态、密度等物理参数，实现固废的分选、富集与预处理，为后续处理或资源化利用奠定基础。技术核心原理基于不同物质的物理性质差异，通过筛分、破碎、分选、压实等工艺，分离固废中不同组分，去除杂质并优化固废形态<sup>[2]</sup>。筛分依托粒度差异实现固废分级，破碎通过机械力破坏固废结构

减小粒径,分选利用密度、磁性等差异分离有价值组分与杂质,压实则通过外力压缩固废体积,降低储存与运输成本,所有工艺均遵循物理力学与物质分离的基础理论。

## 2.2 化学处理技术及技术原理

化学处理技术通过化学反应改变工业固废的化学组成与性质,实现固废的无害化、稳定化处理,或转化为可利用的化学物质。技术原理基于物质的化学性质与反应规律,通过氧化还原、酸碱中和、沉淀、络合等化学反应,破坏固废中有害组分的化学结构,降低有害性或转化为稳定形态。氧化还原反应可分解固废中的有机污染物与还原性有害成分,酸碱中和用于调节固废酸碱度,减少腐蚀性与溶解性,沉淀与络合反应则将有害离子转化为难溶性物质,降低环境迁移风险,技术应用贴合无机化学与环境化学的核心理论。

## 2.3 生物处理技术及技术原理

生物处理技术利用微生物的代谢作用,分解工业固废中的有机组分,实现固废的无害化与资源化,适用于含有机质的工业固废处理。技术原理基于微生物的代谢特性,微生物通过自身生命活动,将固废中的有机污染物分解为无害的二氧化碳、水等物质,或转化为自身代谢产物,实现有机组分的降解与稳定化。该技术依托微生物学与环境工程学理论,通过培育适配的微生物群落,优化温度、湿度等代谢环境,强化微生物对有机固废的降解效率,实现固废的环境友好型处理。

## 2.4 热处理技术及技术原理

热处理技术通过高温作用改变工业固废的物理、化学性质,实现固废的无害化、减量化处理,同时可回收热能或有机组分。技术原理基于物质在高温环境下的物理变化与化学反应,通过焚烧、热解、焙烧等工艺,使固废中有机组分分解、无机组分熔融或固化。焚烧通过高温氧化分解有机污染物,实现固废减量化与无害化,同时回收热能;热解在无氧或缺氧环境下将有机固废分解为气体、液体与固体产物;焙烧则通过高温使固废中矿物组分发生相变,便于后续有机组分提取,技术应用遵循热工学与材料科学的基础规律。

# 3 工业固废资源化核心技术及应用路径

## 3.1 建材资源化技术及应用路径

建材资源化技术依托工业固废的物理化学特性,将固废转化为建筑材料原料,实现固废减量化与资源化双重目标,技术核心是通过物理、化学改性优化固废性能,适配建材生产需求<sup>[1]</sup>。应用路径需结合固废组分与建材类型精准适配,先对固废进行预处理,去除杂质、调节粒度与成分,再通过配比、成型、养护等工艺,将固

废融入水泥、混凝土、墙体材料等产品生产。该技术依托材料科学与土木工程相关理论,适配不同类别固废的特性选择对应改性工艺,推动固废替代传统建材原料,降低建材生产对天然资源的消耗,实现固废资源化与建材行业绿色发展的有机衔接。

## 3.2 能源化资源化技术及应用路径

能源化资源化技术聚焦含有机质或高热值的工业固废,通过能量转化工艺提取固废中的热能或转化为可利用能源,实现能源回收与固废无害化同步推进。技术核心是利用固废的能量属性,通过焚烧、热解、气化等工艺,将固废中的有机组分转化为热能、电能或可燃气。应用路径需先对固废进行组分筛选,分离出具备能源利用价值的部分,再根据固废特性选择适配的能量转化工艺,优化工艺参数提升能源转化效率,同时对转化过程中产生的污染物进行同步处理,契合能源工程与环境工程的协同发展理念,实现固废能源化的高效、清洁利用。

## 3.3 回收再利用资源化技术及应用路径

回收再利用资源化技术以工业固废中的有机组分提取与二次利用为核心,通过物理、化学或生物方法,分离回收固废中的金属、非金属等有用成分,实现资源循环利用。技术核心是基于固废的化学组成差异,通过分选、浸出、提纯等工艺,将有机组分从固废中分离并净化,恢复其使用价值。应用路径需先对固废进行成分检测,明确有机组分种类与含量,再选择适配的分离提纯工艺,优化工艺条件提升回收纯度,回收后的组分可直接回用于原工业生产或应用于其他行业,依托资源循环利用理论,实现固废中有机资源的高效回收,减少资源浪费。

## 3.4 农业资源化技术及应用路径

农业资源化技术适用于富含营养元素或可改良土壤的工业固废,通过改性处理将固废转化为农业生产所需的肥料、土壤改良剂等产品,实现固废资源化与农业绿色发展的结合。技术核心是通过物理活化、化学改性等手段,去除固废中的有害成分,激活其中的营养元素,优化固废的理化性质,使其适配农业应用需求。应用路径需先对固废进行无害化处理,确保有害成分含量符合农业应用要求,再根据土壤类型与作物需求,调整固废改性参数,将其加工为有机肥、土壤改良剂等产品,应用于农田土壤改良、作物培育等环节,依托农业生态学与环境科学理论,实现固废资源化与农业可持续发展的协同推进。

## 4 工业固废处理及资源化技术的优化方向

#### 4.1 现有处理技术的优化升级

现有处理技术的优化升级需立足当前技术应用短板,结合工业固废特性差异,聚焦技术效率提升与能耗降低,推动传统处理技术迭代完善<sup>[4]</sup>。针对物理处理技术,优化破碎、筛分等工艺参数,细化粒度分级标准,提升固废分选精度与处理效率,降低机械运转损耗与能源消耗,延长设备使用寿命。对于化学处理技术,优化反应温度、压力等核心条件,研发高效环保药剂,减少药剂用量,降低处理过程中污染物产生量,提升无害化处理水平。依托环境工程与材料科学相关理论,融合新型辅助技术,弥补传统处理技术的局限性,强化技术对不同类别工业固废的适配性,推动处理技术向高效、节能、清洁方向升级,适配存量固废处理的实际需求,破解传统技术处理效率低、能耗高的痛点。

#### 4.2 资源化技术的创新研发

资源化技术的创新研发需聚焦固废资源化潜力挖掘,突破现有技术瓶颈,开发适配不同类别工业固废的新型资源化技术。围绕有价值组分提取,研发高效、低耗的分离提纯技术,优化提取工艺路径,提升资源回收纯度与回收率,降低回收成本。针对建材化、能源化等核心资源化路径,创新改性技术与转化工艺,优化固废与其他原料的配比,拓展固废资源化应用场景,提升资源化产品附加值,增强资源化技术的市场竞争力。结合材料科学、能源工程等多学科理论,推动跨学科技术融合,研发绿色、高效的新型资源化技术,破解低价值固废资源化难度大、利用率低的问题,丰富固废资源化路径,提升资源化技术的实用性与经济性,助力资源循环利用体系完善。

#### 4.3 处理与资源化技术的协同优化

处理与资源化技术的协同优化需打破两项技术脱节困境,构建“处理-资源化”一体化协同体系,实现固废处理与资源化的有机衔接。优化技术应用时序,将处理技术作为资源化的前置环节,通过精准预处理去除固废中的杂质,提升固废资源化潜力,同时结合资源化需求优化处理工艺参数,避免处理过程破坏固废中的有价值组分,保障资源化效率。梳理不同类别固废的处理与资源化适配逻辑,针对不同组分、不同特性的固废,构建个性化协同方案,推动处理技术与资源化技术精准适配,

提升固废处理与资源化的整体效率。立足资源循环利用核心理念,实现固废减量化、无害化与资源化的协同推进,推动工业固废处理与资源化产业高质量发展。

#### 4.4 技术应用工艺的完善

技术应用工艺的完善需聚焦实际应用中的实操痛点,优化工艺流程,规范操作环节,提升技术应用的稳定性与可靠性。梳理现有技术应用流程中的衔接漏洞,简化冗余操作环节,优化工艺时序,降低操作难度与人工成本,提升工艺应用的便捷性。针对工艺应用中的不稳定因素,完善工艺控制体系,优化工艺参数的调控方法,建立动态调控机制,提升工艺运行的稳定性,减少工艺波动对处理与资源化效果的影响<sup>[5]</sup>。依托工业生产工艺优化理论,结合固废处理与资源化的实际场景,完善工艺配套措施,规范设备操作与维护流程,推动技术应用工艺标准化、规范化,确保技术能够高效落地,充分发挥技术的实际价值,为工业固废资源化产业发展提供支撑。

#### 结束语

工业固废处理及资源化技术的不断探索与创新,为解决工业固废难题提供了多元路径。通过优化现有处理技术、创新资源化技术、实现处理与资源化协同以及完善技术应用工艺,可有效提升工业固废处理效率与资源化水平,减少对环境的负面影响,提高资源利用效率。持续推动技术进步与应用实践,有助于构建完善的工业固废处理与资源化体系,为工业可持续发展和生态环境保护提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]顾冰.工业固体废物收集处理及资源化利用技术研究[J].造纸装备及材料,2024,53(3):144-146.
- [2]范俊.工业固废资源化处理技术及优化策略研究[J].造纸装备及材料,2024,53(4):137-139.
- [3]万宇超,崔锡舰.工业园区固废资源化处理及综合利用技术[J].砖瓦,2024(8):46-49.
- [4]邓李刚.工业固体废物的收集处理与资源化利用技术研究[J].造纸装备及材料,2022,51(4):165-167.
- [5]傅雄,戚扬波,王浙锋.浅析工业固废收集、处理与资源化利用技术及应用[J].科技视界,2022(34):55-58.