固体废物处理与资源化利用途径探索

李　翔
宁夏宁东科技创业投资有限公司　宁夏　银川　750000

摘　要：固体废物分生活、工业、农业三类，特性各异。资源化处理先经破碎、压实等预处理与分选技术，再通过物质、能量回收利用及转化利用等路径，如再生资源回收、焚烧发电等实现资源化。资源化系统需源头减量与分类收集，协同多种处理技术，并加强全过程环境风险管理，控制焚烧烟气、渗滤液、残渣等二次污染，实现经济与环境效益双赢。

关键词：固体废物；资源化利用；预处理技术；资源化系统

引言：固体废物作为环境治理的重要议题，其科学分类与特性分析是资源化利用的基础。生活垃圾成分复杂，工业固废种类繁多且特性各异，农业固废有机质丰富，均蕴含资源潜力。通过预处理与分选技术提升处理效率，借助物质、能量回收及转化利用等技术路径实现资源循环，同时整合源头减量、技术协同及环境风险管理等策略，可推动固体废物资源化系统高效绿色发展。

1 固体废物的分类与特性

1.1 生活垃圾

生活垃圾是日常生活中产生的固体废物，成分极为复杂。其中，厨余垃圾富含有机物，易腐烂变质；塑料具有质轻、耐腐蚀等特点，但难以自然降解；纸张可回收再利用，不过其品质受污染程度影响较大；玻璃化学性质稳定，可多次循环使用；金属具有较高的回收价值，通过再熔炼等工艺可重新制成金属制品；纺织物则根据材质不同，处理和资源化方式也有所差异。

1.2 工业固体废物

工业固体废物是在工业生产活动中产生的，种类繁多且特性各异，以下着重介绍一般工业固体废物。（1）粉煤灰：燃煤电厂排放，具火山灰活性，含二氧化硅等成分。在建材领域应用广泛，作水泥混合材可改善性能、提高强度与耐久性；生产粉煤灰砖能节约黏土、降低成本。（2）炉渣：冶金、化工等行业熔炼产生，成分复杂。部分有潜在资源价值，处理后可提取有价金属，或作建筑材料原料，如生产矿渣棉、微晶玻璃。（3）气化渣：煤化工气化产生，分粗渣和细渣。含残碳和无机矿物质，分选后残碳可作燃料或化工原料，无机矿物质可生产建材或作土壤改良剂。（4）脱硫石膏：燃煤电厂烟气脱硫副产物，主要成分二水硫酸钙，纯度高，可生产石膏板等建材，也可作水泥缓凝剂。（5）煤矸石：采煤和洗煤排放，含碳及多种矿物质。分选可回收煤炭，剩余部分可发电、制砖等，还能填坑造地。（6）工业污水处理厂污泥：处理废水产生，含有机物等，经处理可用于土地、建材利用或焚烧发电。（7）工业废盐：工业废盐作为化工生产过程中产生的含盐废物，成分极为复杂，常含有多种重金属离子、有机物等有害物质。由于其本身虽为固态，但可通过加水溶解的方式转化为盐溶液。之后利用蒸发结晶工艺，在特定温度和压力条件下，使水分蒸发，盐分以晶体形式析出。通过这一系列处理，不仅能有效回收盐分实现资源再利用，还能大幅降低废盐对环境的污染风险[1]。

1.3 农业固体废物

农业固体废物主要在农业生产各环节产生，以农作物秸秆、畜禽粪便、林业剩余物等最为典型，其显著特点是有机质含量丰富。农作物秸秆资源化利用途径多样，既能经粉碎等处理后作为畜禽饲料，也可通过堆肥化处理转化为优质有机肥料还田，还能借助气化、燃烧等技术制成生物质能源。畜禽粪便富含氮、磷、钾等大量养分，经发酵等无害化处理后，可制成高效有机肥料。林业剩余物同样具备利用价值，可用于生产人造板材，还能加工成生物质燃料，实现资源的高效利用。

2 固体废物的预处理与分选技术

2.1 破碎与压实

（1）破碎作业：借助挤压、冲击、剪切等机械力减小固体废物尺寸。经破碎，废物粒度更均匀，利于运输、分选与后续处理，还能增加容重。以建筑垃圾处理为例，大型破碎机将大块混凝土、砖块破碎成小颗粒，运输装载更高效，降低运输次数与成本，且后续分选时各组分更易准确分离。对于炉渣、气化渣等工业固体废物，破碎处理可使其颗粒尺寸符合资源化利用要求，提升反应活性。（2）压实操作：对废物进行压缩以减小体积、提高密度，适用于松散、体积大的废物，如废纸、

废塑料、工业废盐等。压实后，废物存储空间大幅缩减，运输效率提升，还能改善物理性质。如废纸压实打包便于搬运存储，制浆时分散更均匀，提高制浆质量；工业废盐压实后，可降低储存运输中的泄漏风险，便于后续处理与资源化利用。

2.2 分选技术

分选技术是资源回收的关键环节，可借助物理或化学方法分离固体废物中的有用与无用组分，实现资源高效利用。（1）筛分：依据颗粒粒度大小分离，通过不同孔径筛网将废物分成不同粒级。处理砂石废物时，振动筛可筛出粗、中、细砂；处理煤矸石，能分离不同粒径颗粒用于不同资源化途径。（2）磁选：用于回收铁系金属，利用磁性物质在磁场中的受力特性，分离铁、镍、钴等。在废旧电子产品和工业废渣回收中，可有效回收铁质零件和铁元素，提高资源回收率。（3）涡电流分选：专注回收铝、铜等有色金属，含此类废物的物体通过交变磁场时，有色金属因涡电流受洛伦兹力被分离，适用于废旧汽车拆解物等。（4）风选：利用密度差异，借助气流分离轻重物料，可用于生活垃圾和工业固体废物处理。（5）光学分选：借助近红外光谱等技术，精确识别分选塑料、玻璃等，提高资源回收纯度和质量[2]。

2.3 脱水与干燥

针对高含水率的废物，如污泥、厨余垃圾、工业污水处理厂污泥等，脱水与干燥处理是必不可少的环节。通过机械或热能方式降低其含水量，不仅能有效减少废物的体积和重量，降低运输和存储成本，还能显著提高后续处理效率和资源化产品的品质。机械脱水主要利用过滤、离心等原理，将废物中的水分挤出。例如，板框压滤机可通过施加压力，使污泥中的水分透过滤布排出，得到含水率较低的污泥饼；离心脱水机则利用离心力将水分与固体分离，适用于处理颗粒较细的污泥。热能干燥则是通过加热的方式，使废物中的水分蒸发。干燥设备可根据废物的特性和处理要求，选择合适的加热方式和温度，确保废物在干燥过程中不发生变质，同时达到理想的干燥效果，为后续的资源化利用提供优质原料。

3 固体废物的资源化处理技术路径

3.1 物质回收利用

物质回收利用是固体废物资源化处理的主要渠道，可挖掘废物潜在价值，实现资源循环利用。（1）再生资源回收：分选出的废塑料、废纸、废金属、废玻璃等再生资源，经专业工艺处理可再利用。废塑料清洗后造粒，制成塑料制品原料；废纸经脱墨、打浆等处理重新制纸；废金属熔炼去杂质后重铸；废玻璃清洗破碎后作玻璃生产原料。工业废金属分类回收再加工，能减少对原生金属矿产的依赖。（2）有机废物堆肥化：厨余垃圾、园林垃圾等有机废物，利用微生物分解转化为稳定腐殖质—— 堆肥。堆肥可改善土壤结构、增加肥力，用于农业施肥，减少化学肥料使用，推动绿色农业发展。工业有机废水处理产生的污泥，稳定化处理后也可堆肥，但要严控重金属等有害物质含量。（3）建筑废物再生：废混凝土、废砖瓦等建筑废物，经破碎、筛分处理成再生骨料，用于生产再生砖、再生混凝土等建材，或作道路基层材料，降低成本。工业建筑拆除产生的废钢材、废木材等也可回收再利用，提高资源利用率。

3.2 能量回收利用

能量回收利用是固体废物资源化处理的关键路径，可挖掘废物能量价值，实现能源再利用，缓解能源紧张并降低污染。（1）焚烧发电/供热：通过高温氧化分解废物，释放大量热能。热能可用于驱动蒸汽轮机发电，为电网供能；也可直接供暖，满足周边需求。焚烧能使废物体积大幅缩减，减容率达80%-90%，减少填埋量，节约土地资源。工业固体废物中的可燃废物，如部分废塑料、废橡胶、废木材等，可通过此技术实现能量回收与减量化处理。（2）热解气化：在厌氧或缺氧条件下加热有机废物，使其转化为合成气（主要含CO、H_2）、生物油和焦炭。合成气可作清洁燃料用于发电、供热或生产化学品；生物油精制后可得高品质液体燃料；焦炭可用于冶金等行业。工业有机废物如废轮胎、废有机溶剂等可用此技术实现能量回收与资源化利用。（3）厌氧消化：在无氧环境中，微生物分解有机废物产生沼气，可用于发电或提纯为生物天然气并入管网。消化渣富含养分，可作有机肥用于农业，实现资源循环利用。工业有机废水污泥、食品加工废料等适用此技术[3]。

3.3 转化利用

转化利用为固体废物资源化开辟了多元且高效的途径，能深度挖掘废物潜在价值，实现变废为宝。（1）建材化利用：粉煤灰、冶金渣、脱硫石膏、煤矸石等工业废渣，在传统观念里是废弃物，但实则蕴含着丰富的建材原料特性。将它们作为主要原料投入生产，可制造出水泥、砖块、陶粒、微晶玻璃等多种建筑材料。以粉煤灰制水泥为例，其能改善水泥性能，提升强度与耐久性；用冶金渣生产砖块，不仅节约了黏土资源，还降低了生产成本；脱硫石膏制成的石膏板，具有质轻、防火、隔音等优点，在建筑领域应用广泛；煤矸石可用于生产空心砖、砌块等建筑材料，实现资源的综合利用。

（2）化学提取技术：则聚焦于特定废物。电子废物和废催化剂中往往含有金、银、铂等有价金属元素。通过先进的化学提取工艺，如湿法冶金、火法冶金等，能将这些金属元素高效分离出来，实现资源的循环利用，减少对原生矿产资源的依赖，同时降低废物对环境的潜在危害。

4 固体废物资源化系统的整合与优化

4.1 源头减量与分类收集

源头减量与分类收集作为固体废物资源化系统中最具成效且经济合理的途径，对于推动资源循环利用、降低环境负荷意义重大。（1）源头减量层面：产品生态设计是关键一环。企业在产品设计阶段，就应充分考虑产品的全生命周期，选用环保、可回收材料，优化产品结构，减少不必要的包装，从而降低产品废弃后产生的固体废物量。同时，大力推广绿色消费理念也必不可少。通过宣传引导，增强消费者的环保意识，促使其优先选择绿色、可持续的产品，减少过度消费和一次性用品的使用。（2）建立完善的分类投放体系：则是提高后续资源化效率的重要保障。依据废物的性质、成分和可回收利用价值，制定科学合理的分类标准，设置清晰明确的分类投放设施，引导公众准确分类投放。对于工业固体废物，企业应根据废物的种类和特性进行分类收集和储存，为后续处理提供便利。这样，不同类别的废物能在后续处理中得到针对性、高效性的资源化利用，大幅提升资源回收率和利用质量。

4.2 技术路线的协同与耦合

在固体废物资源化系统中，将多种处理技术进行科学、合理的优化组合，形成协同与耦合效应，是提升资源化效率和效益的关键举措。以工业固体废物处理为例，可采用“分类回收+预处理+多技术联合资源化”的组合模式。分类回收作为前端环节，能依据废物的特性、成分及利用价值进行精准分类，为后续处理提供优质“原料”，提高资源回收的针对性。经分类后的工业废渣，如粉煤灰、炉渣等，先进行破碎、筛分等预处理，然后根据其成分和特性选择合适的资源化技术，如用于生产建材、提取有价金属等。对于含有多种成分的复杂工业废物，可采用多种技术联合处理的方式，实现物质与能量的最大化回收，降低处理成本，减少环境污染，推动固体废物资源化系统向高效、绿色、可持续方向发展[4]。

4.3 全过程环境风险管理

在固体废物资源化的全流程中，环境风险管理是保障其可持续、绿色发展的关键环节，必须对二次污染的产生与排放实施严格且精细的控制。（1）焚烧环节：作为资源化处理的重要方式之一，其产生的烟气中含有大量有害物质，如二噁英、重金属颗粒、酸性气体等。因此，需配备先进的烟气净化系统，采用活性炭吸附、布袋除尘、湿法脱酸等多级净化工艺，确保烟气达标排放，最大程度降低对大气环境的危害。（2）渗滤液处理：固体废物在堆放、处理过程中产生的高浓度有机废水，若处理不当，会严重污染土壤和地下水。对于工业固体废物堆场产生的渗滤液，需运用生物处理、膜分离等组合技术，对其进行深度处理，使其达到回用标准或安全排放标准。（3）残渣处理：对于资源化处理后产生的残渣，要进行安全性评估，根据其特性选择合适的处置方式，如安全填埋或进一步资源化利用，防止残渣中的有害物质泄漏，确保整个资源化过程的环境友好性，实现经济效益与环境效益的双赢。

结束语

综上所述，固体废物处理与资源化利用是一项复杂且意义重大的系统工程。通过精准分类与特性剖析，采用科学预处理与分选、多元化资源化处理技术，并整合优化资源化系统，从源头减量、技术协同到全过程环境风险管理，全方位推进。这不仅可实现废物的高效利用与减量化、无害化，还能缓解资源短缺、降低环境污染，推动循环经济发展，为构建绿色可持续的生态环境与资源节约型社会提供坚实支撑。

参考文献

[1]郭健,王海勇,孙久振,等.城市固体废物处理及资源化利用的有效途径[J].皮革制作与环保科技,2021,2(23):77-78+81.

[2]潘跃勇.城市固体废物处理及资源化利用途径[J].皮革制作与环保科技,2021,2(23):103-105.

[3]张琰.城市固体废物处理及资源化利用有效途径[J].资源节约与环保,2021,(02):73-74

[4]马丽丽.固体废物的处理技术与资源化利用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(11):151-153.