

危险废物处理与资源化技术进展

陈 平

河南中环信环保科技股份有限公司 河南 郑州 450000

摘要：危险废物具多种危害特性，来源广泛且成分复杂，严重威胁生态环境与人体健康。物理、化学、生物及热处理技术是当前处理危险废物的主要手段，各有优势与适用范围。资源化技术通过材料回收、能源回收及建材化利用，实现废物的循环利用。未来，智能化与信息化融合、协同处理与循环经济、低碳化与绿色技术创新，将引领危险废物处理与资源化技术迈向新高度，助力环保产业可持续发展。

关键词：危险废物处理；资源化技术；进展

引言

在工业生产与社会活动持续发展的进程中，危险废物的产生量不断攀升，其独特的危害特性，如腐蚀性、毒性等，对生态系统稳定性及人类健康构成严峻挑战。妥善处理危险废物，已成为环境保护领域亟待攻克的关键难题。本文全面剖析了危险废物处理与资源化技术的现状，深入探讨各类技术原理与应用场景，旨在明晰现有技术优势与局限，同时展望未来发展趋势，为相关领域技术革新与产业升级提供理论支撑与实践参考。

1 危险废物概述

危险废物是指因具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性或感染性等一种或多种危险特性，若处置不当可能对生态环境和人体健康造成潜在危害的固态、液态或气态废弃物，其形态的多样性与危害特性的复合性，使其成为环境治理领域中极具挑战性的治理对象。这类废弃物广泛来源于化工生产过程中产生的残渣、医药制造中的过期原料、电子行业的废弃元件、金属加工的切削废液等，不同行业排放的危险废物在成分、浓度和物理形态上存在显著差异，这为精准识别与分类管理提出了更高要求。危险废物的危害具有隐蔽性和长期性，部分物质可通过土壤渗透污染地下水，或经大气扩散进入食物链，对生态系统的循环平衡构成持续威胁，即使在低浓度暴露下，某些毒性成分也可能在生物体内累积，经过漫长时间逐渐显现出致畸、致癌等健康风险。针对这些特性，对危险废物的处理处置需要构建从产生源头到最终消纳的全链条管控体系，通过预处理技术如固化稳定化降低其危险性，再结合高温焚烧、安全填埋等终端手段实现无害化处置，同时注重资源回收利用，例如从含重金属的污泥中提取有价金属，在减少环境污染的同时提升资源利用效率。随着工业生产模式的升级和新兴行业的兴起，危险废物的种类和排放量也在不断发生变

化，新型复合材料废弃物、废弃动力电池等具有复杂成分的危险废物逐渐增多，这要求处理处置技术持续创新，通过引入智能化识别设备提升分类精度，采用协同处置工艺提高处理效能，以适应不断变化的治理需求，确保危险废物的环境风险得到有效控制，为生态环境的可持续发展提供保障。

2 危险废物处理技术

2.1 物理处理技术

物理处理技术作为危险废物处理的基础环节，凭借对废物物理特性的精准把控，实现高效的分离、浓缩与预处理。通过粉碎、筛分等机械操作，可将大块危险废物细化，提升后续处理的接触面积与反应效率，为深度处理筑牢根基。磁选、浮选等分离手段，依据废物的磁性、密度差异，精准分离出金属、有机物等不同组分，不仅实现了资源的初步回收，还显著降低了后续处理的复杂性。对于含油废水、乳化液等，利用相分离技术，通过重力沉降、离心分离等方式，有效分离油相和水相，降低污染物浓度，为后续处理减轻负担。物理处理技术以其操作简便、成本可控的优势，广泛应用于危险废物处理的前端流程，为后续化学、生物处理创造有利条件，成为危险废物处理体系中不可或缺的重要组成部分。

2.2 化学处理技术

化学处理技术凭借对危险废物化学成分的精准调控，实现有害物质的转化与无害化。酸碱中和作为常见手段，能够有效调节废物的酸碱度，降低腐蚀性风险，确保后续处理的安全性。氧化还原反应则通过改变物质的价态，将高毒性物质转化为低毒或无毒形态，显著削减危害程度。沉淀反应利用特定化学试剂，使废水中的重金属离子形成难溶性沉淀，实现重金属的高效去除与回收。化学浸出技术可针对特定有价金属，通过化学反应将其从复杂废物基质中溶解提取，提升资源利用率^[1]。

在处理含氰废水、含重金属污泥等危险废物时，化学处理技术展现出强大的针对性与高效性，能够快速、精准地实现有害物质的转化与分离，为危险废物的深度治理提供了关键技术支撑。

2.3 生物处理技术

生物处理技术以其绿色、可持续的独特优势，在危险废物处理领域崭露头角。微生物凭借自身强大的代谢能力，能够将有机危险废物逐步分解为二氧化碳、水等无害物质，实现无害化处理。在处理高浓度有机废液、制药废渣等难降解废物时，通过筛选、培育特定微生物菌群，能够显著提升降解效率，确保处理效果。相较于传统处理方式，生物处理技术在温和条件下即可运行，有效降低了能耗与设备成本，同时避免了高温焚烧产生的二次污染风险。生物修复技术还可用于受污染土壤的治理，通过微生物的代谢活动，将土壤中的有害物质逐步降解，恢复土壤生态功能。随着生物技术的不断创新与发展，生物处理技术在危险废物处理中的应用前景愈发广阔，有望成为未来危险废物治理的核心技术之一。

2.4 热处理技术

热处理技术作为危险废物处理的强效手段，借助高温环境实现废物的无害化、减量化与资源化。焚烧作为最常见的热处理方式，通过高温氧化将可燃性危险废物彻底分解，有效削减体积，同时释放的热能可回收利用，实现能源的梯级利用。热解技术则在缺氧或无氧环境下，使废物中的有机物受热分解为小分子气体、液体和固体残渣，其中气体和液体产物可作为能源或化工原料回收利用，固体残渣经处理后可作为建筑材料等使用。等离子体高温熔融技术更是凭借极高的温度，将危险废物中的无机物熔融成稳定的玻璃态物质，有效固定重金属等有害物质，防止其二次污染，同时产生的合成气可作为清洁能源使用^[2]。在处理医疗废物、持久性有机污染物等高危废物时，热处理技术以其高效、彻底的处理效果，成为保障环境安全的关键防线。

3 危险废物资源化技术

3.1 材料回收技术

在危险废物资源化进程中，材料回收技术是实现资源循环利用的关键路径。针对含重金属的危险废物，如电子废弃物中的印刷电路板，运用先进的物理分选与化学浸出联合工艺，可精准提取金、银、铜等贵金属。通过粉碎、筛分初步处理后，借助高效的溶剂萃取体系，在温和条件下实现贵金属与其他杂质的高效分离，有效提升贵金属回收率，减少资源浪费。对于废弃塑料类危险废物，采用热解聚合法，在特定温度和压力环境下，

将复杂大分子聚合物分解为单体或低聚物，这些产物可作为优质原料重新投入塑料生产流程，不仅解决了塑料废物的环境难题，还降低了对原生塑料原料的依赖。在处理废弃纤维材料时，利用生物酶解与机械梳理相结合的创新技术，将废弃纤维降解为可再利用的小分子物质，经重新纺丝等工序，制成性能优良的新型纤维材料，实现从“废纤维”到“新原料”的华丽转身，为纺织行业提供可持续发展的原料保障，在降低生产成本的同时，显著减少危险废物对环境的潜在危害。

3.2 能源回收技术

能源回收技术在危险废物资源化利用中扮演着重要角色，可将废物中的潜在能量转化为可利用的能源形式。对于有机成分丰富的危险废物，如废有机溶剂、废油等，采用先进的催化裂解技术，在特定催化剂作用下，于适宜温度区间将其裂解为高品质的燃料气和轻质油品。这些燃料气可直接用于工业窑炉的燃烧供热，替代传统化石燃料，减少碳排放；轻质油品经进一步精制，可作为发动机燃料或化工原料，实现能源的高效梯级利用^[3]。针对生物质类危险废物，如废弃木材、农作物秸秆等，运用厌氧发酵技术，在无氧环境下，通过微生物的代谢活动将其转化为沼气。沼气富含甲烷，经过提纯处理后，可作为清洁能源用于发电、供暖等领域，为周边社区或工业生产提供稳定的能源供应，不仅实现危险废物的无害化处理，还创造了可观的能源收益，有效推动能源结构向绿色、低碳方向转型，助力可持续发展目标的实现。

3.3 建材化利用技术

建材化利用技术为危险废物的大规模资源化提供了有效途径，可将危险废物转化为具有实用价值的建筑材料。以垃圾焚烧飞灰为例，采用“水洗脱盐-高温烧结”一体化工艺，先通过水洗去除飞灰中的可溶性盐分及部分重金属，降低其潜在污染风险，再将水洗后的飞灰与适量辅助原料混合，经高温烧结制成性能优良的建筑陶粒。这种陶粒具有轻质、高强、保温等特性，可广泛应用于混凝土骨料、轻质墙体材料等领域，既解决了飞灰的处置难题，又为建筑行业提供了新型环保材料。对于钢铁冶炼过程中产生的含铬废渣，通过与水泥熟料、添加剂等合理配比，经粉磨、煅烧等工序，制备出具有特殊性能的水泥基材料。该材料不仅能有效固化废渣中的重金属，防止其二次污染，还可提高水泥的抗侵蚀性、耐久性等性能，在道路、桥梁等基础设施建设中发挥重要作用，实现危险废物从“环境负担”到“建筑资源”的转变，促进建筑行业的绿色可持续发展。

4 危险废物处理与资源化技术的发展趋势

4.1 智能化与信息化技术融合

(1) 借助物联网技术,在危险废物处理设施关键部位部署传感器,对处理过程中的温度、压力、流量等参数进行实时精准采集,构建起全方位、无死角的运行数据监测网络。通过数据的实时传输与分析,能快速察觉设备运行异常,提前预警潜在故障,大幅提升设备的稳定性与可靠性,减少因设备故障导致的处理中断与安全风险。(2) 运用大数据分析手段,整合危险废物从产生源头、运输轨迹到处理处置全流程数据,深度挖掘其中关联。以此为基础,优化危险废物的收运路线规划,提升运输效率,降低物流成本;依据历史处理数据,精准调配处理资源,提高处理设施的利用率,实现资源的高效配置。(3) 引入数字孪生技术,为危险废物处理工厂构建虚拟模型,与实际工厂实时同步运行。在虚拟模型中,能细致模拟高温高压等不同工况及多种处理方案,精准分析处理效率、质量等效果,据此优化工艺参数,为实际生产提供科学指导,加速工艺创新,助力危险废物处理智能化、精准化升级。

4.2 协同处理与循环经济模式推广

(1) 与周边不同行业企业建立紧密合作关系,搭建协同处理平台。例如与钢铁企业合作,利用其高温炉窑协同处置部分危险废物,借助钢铁生产的高温环境实现危险废物的无害化处理,同时钢铁企业可回收部分有价值的物质,降低自身生产成本,实现双方互利共赢。(2) 构建危险废物循环经济产业链,以废有机溶剂处理为例,通过精馏提纯等技术将其转化为可再次使用的有机溶剂,供应给相关生产企业;对处理过程中产生的残渣,进一步探索其资源化利用途径,制成建筑材料或其他工业原料,实现从“废”到“资源”的多环节转化,提升资源利用效率。(3) 积极参与区域循环经济体系建设,与上下游企业搭建起紧密的合作桥梁,全方位共享资源、技术与信息。把自身处理危险废物过程中产生的余热、余压等能源,通过合理管道设计输给周边有需求的企业;积极携手其他环保企业联合研发新技术,集中智慧与力量共同攻克危险废物处理难题,推动区域内循

环经济模式的规模化、高效化发展。

4.3 低碳化与绿色技术创新

(1) 大力研发与应用节能型危险废物处理设备与技术,如在焚烧环节,采用先进的高效燃烧器与余热回收系统,提升燃烧效率,回收更多热量用于发电或供热,减少对外界能源的依赖,降低单位处理量的能耗与碳排放。(2) 探索开发新型绿色处理工艺,例如利用微生物燃料电池技术处理有机危险废物^[4]。该技术借助特定微生物的代谢活动,分解废物中的有机物,在实现无害化处理的同时,高效地将废物中的化学能转化为电能。这一创新举措既减少了传统处理方式高能耗、高污染的问题,又开辟了清洁能源获取新途径,推动危险废物处理向低碳、清洁方向发展。(3) 加强对危险废物中二氧化碳等温室气体减排技术的研究,通过优化处理流程、添加特定催化剂等手段,降低处理过程中温室气体的产生;探索将捕获的二氧化碳用于生产建筑材料、化工产品等,实现二氧化碳的资源化利用,助力达成“双碳”目标,为绿色可持续发展贡献力量。

结束语

综上所述,危险废物处理与资源化技术在当前已取得一定进展,但仍面临诸多挑战。随着智能化、信息化技术的深度融合,协同处理与循环经济模式的大力推广,以及低碳化与绿色技术的持续创新,有望突破现有困境,实现危险废物的高效、环保处理与资源化利用。这不仅能降低环境风险,还将推动资源的循环利用,助力经济社会向绿色、可持续方向转型,为构建美丽生态环境奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 颜菲.危险废物处理与资源化技术进展[J].科技创新与应用,2022,12(19):154-157.
- [2] 羊建波,常青,杨逸,等.危险废物处理技术现状及发展趋势[J].绿色矿冶,2023,39(4):66-71.
- [3] 宋魁静.铅锌冶炼危险废物处理与资源化利用途径[J].建筑工程与设计,2024,3(9):94-95.
- [4] 李芬.石化行业危险废物处理处置途径分析与探究[J].资源节约与环保,2020(8):88.