

危险废弃物焚烧处理技术研究

邓勇新, 吴 锴, 巫涛飞, 谢飞航, 蒋 英

乳源东阳光电化厂 广东韶关

【摘要】危险废弃物焚烧处理是实现其无害化、减量化与资源化的关键手段, 其中回转窑技术因其适应性强、处理效率高而成为主流工艺。目前, 危险废弃物产量持续增长, 其不当处置对生态环境与人体健康构成严重威胁, 亟需高效安全的处置技术。本文系统阐述了回转窑焚烧系统的完整工艺流程, 包括预处理配伍、多形态进料、分级燃烧、余热回收及多级烟气净化等核心环节, 并重点分析了二噁英、重金属等二次污染物的生成机理与控制措施。研究表明, 通过优化燃烧参数、强化末端治理与副产物安全处置, 可有效实现污染控制与能源回收。结论指出, 回转窑焚烧技术具有处理范围广、减容效果好、能源回收率高等综合优势, 是当前危险废弃物安全处置的重要技术支撑, 未来应进一步向智能化、低碳化与资源高值化方向发展。

【关键词】危险废弃物; 焚烧处理; 回转窑; 二噁英控制; 烟气净化; 资源化利用

【收稿日期】2025 年 5 月 8 日

【出刊日期】2025 年 6 月 18 日

【DOI】10.12208/j.aes.20250017

Research on incineration treatment technology for hazardous waste

Yongxin Deng, Kai Wu, Taofei Wu, Feihang Xie, Ying Jiang

Ruyuan Dongyang Electrochemical Factory, Shaoguan, Guangdong

【Abstract】Incineration treatment of hazardous waste is a key means to achieve its harmlessness, reduction and resource utilization. Among them, rotary kiln technology has become the mainstream process due to its strong adaptability and high treatment efficiency. At present, the output of hazardous waste is continuously increasing, and its improper disposal poses a serious threat to the ecological environment and human health. There is an urgent need for efficient and safe disposal technologies. This paper systematically expounds the complete process flow of the rotary kiln incineration system, including core links such as pretreatment matching, multi-form feeding, staged combustion, waste heat recovery and multi-stage flue gas purification, and focuses on analyzing the generation mechanism and control measures of secondary pollutants such as dioxins and heavy metals. Research shows that by optimizing combustion parameters, strengthening end-of-pipe treatment and the safe disposal of by-products, pollution control and energy recovery can be effectively achieved. The conclusion indicates that rotary kiln incineration technology has comprehensive advantages such as a wide processing range, good volume reduction effect, and high energy recovery rate. It is an important technical support for the current safe disposal of hazardous waste. In the future, it should further develop towards intelligence, low carbonization, and high-value resource utilization.

【Keywords】Hazardous waste; Incineration treatment; Rotary kiln; Dioxin control; Flue gas purification; Resource utilization

引言

随着工业化进程不断推进, 全球危险废弃物产生量持续攀升, 其不当处置对生态环境和公众健康构

成严重威胁。高效、安全的危险废弃物处理技术已成为环境保护领域的迫切需求。在众多处置方法中, 焚烧技术因其能同时实现废物无害化、减量化和资

作者简介: 邓勇新 (1978-) 男, 汉, 湖南常德人, 本科, 广东乳源东阳光电化厂中级工程师, 主要从事化工技术、节能环保技术研究方向。

源化而备受关注。回转窑焚烧作为主流工艺, 具有适应性强、处理效果稳定等优势。本文基于危险废弃物管理的现实需求, 系统分析回转窑焚烧技术的工艺流程、污染控制措施及资源化途径, 旨在为提升危险废物处置水平提供理论参考和技术支持。

1 危险废物的定义、来源与分类

危险废物是指列入《国家危险废物名录》或经鉴别具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性、感染性等一种或多种危险特性的固体废物(包括液态废物)。我国实行“名录+鉴别”的管理模式, 2025 年版名录将危险废物分为 46 大类共 467 种。这些废物主要来源于化工、制药、冶金、医疗等行业, 2022 年全国产生量约 6500 万吨, 其中工业源占主导地位。根据危险特性, 危险废物可分为以下几类: 腐蚀性废物(如废酸、废碱, 可腐蚀生物组织或金属); 易燃性废物(如废溶剂、废油, 易引发火灾爆炸); 反应性废物(如废弃过氧化物、氰化物, 不稳定易发生剧烈反应); 毒性废物(含重金属、有机毒物等, 对生态环境和人体健康危害最大)。该分类体系为危险废物的安全处置与监管提供了基本依据。

2 危险废物的危害

危险废物若处置不当, 会对生态环境和人体健康造成严重且持久的危害。其含有的重金属、持久性有机污染物 (POPs) 等有害成分, 可通过挥发、淋溶、渗滤等途径进入大气、水体和土壤。环境污染方面, 危险废物可导致区域性大气污染(如 VOCs、二噁英的扩散)、水体污染(如重金属通过食物链富集放大)以及难以修复的土壤污染, 破坏生态系统平衡。人体健康方面, 有毒物质可通过呼吸、饮食、皮肤接触等途径进入人体, 引发急性或慢性中毒, 并具有致癌、生殖发育毒性及遗传毒性等长期健康风险。历史公害事件表明, 相关危害潜伏期长、治理成本高, 对社会经济发展构成严峻挑战。因此, 对危险废物进行安全、有效的处置是保护环境和公众健康的迫切需求。

3 危险废物焚烧处理工艺及优势

3.1 焚烧技术原理与发展历程

危险废物焚烧是通过高温热化学反应, 使废物中的有机组分彻底氧化分解为二氧化碳、水等无害物质的过程。焚烧过程主要包括干燥、热解、气化和燃烧四个阶段, 涉及复杂的物理化学反应。目前, 主

流的危险废物焚烧技术包括回转窑焚烧、流化床焚烧、液体喷射焚烧和固定床焚烧等, 其中回转窑焚烧技术因其适应性强、处理范围广而成为应用最广泛的技术。

3.2 回转窑焚烧系统工艺流程

回转窑焚烧系统是目前技术最成熟、适应性最广的危险废物焚烧处置技术, 其核心工艺流程包括预处理、进料、焚烧、余热回收和烟气净化五个主要环节。

3.2.1 预处理与配伍系统

预处理是保障焚烧系统稳定、安全、高效运行的关键环节, 其核心流程包括废物的接收鉴别、分类贮存、物理预处理及科学配伍。废物进厂后需经过严格检查与快速分析, 确保符合入炉标准, 并按其物理形态与危险特性分区贮存于防渗防爆设施中。物理预处理环节通过破碎、搅拌、混合等操作, 将固态废物破碎至适宜粒径, 调整液态废物粘度, 使物料均质化以提升燃烧效率。配伍作为预处理的核心, 通过将不同热值、成分的废物按比例混合, 使入炉物料的热值、氯、硫及重金属含量等关键指标控制在适宜范围内, 从而优化燃烧工况、抑制污染物生成、减轻设备腐蚀, 最终确保系统连续稳定运行。

3.2.2 进料系统

进料系统负责将各类废物连续、稳定且密封地送入回转窑, 其设计依废物形态而异。对于固态废物, 通常经破碎与配伍后, 通过液压推杆机构从窑头送入, 并采用双重密封阀结构维持窑内负压, 防止烟气外泄。液态或半固态废物则通过泵送系统, 由雾化喷嘴喷入窑内或二燃室, 雾化粒径需精细控制以保证燃烧效率。桶装废物则通过专用设备整体送入, 确保包装完整, 避免泄漏。所有进料过程均需与燃烧工况联动, 实现自动调节, 保障系统运行的稳定性与安全性。

3.2.3 焚烧系统(回转窑+二燃室)

焚烧系统采用“回转窑+二燃室”的组合形式, 是危险废物无害化处置的核心环节。回转窑作为一级燃烧室, 以缓慢旋转方式使废物在 800 - 950℃ 温度下充分经历干燥、热解与燃烧过程, 物料停留时间长, 对各种形态的废物均具有良好的适应性。未完全燃烧的气相产物随后进入二燃室, 在温度不低于 1100℃、停留时间 ≥ 2 秒的条件下进行彻底燃烧,

确保有机物完全分解, 并有效抑制二噁英等污染物的生成。二燃室通过优化气流组织与助燃方式, 强化湍流混合, 实现高效燃烧与低氮排放。两级燃烧相结合, 共同保障了危险废物的彻底焚毁与污染控制效果。

3.2.4 余热回收系统

从二燃室排出的高温烟气(约 1100℃)进入余热锅炉进行能量回收。该系统核心功能为回收热能生产蒸汽或发电, 同时将烟气冷却至适宜温度, 为后续净化环节创造条件。锅炉需采用防腐设计并控制管壁温度高于酸露点, 以应对烟气中 HCl、SO₂等腐蚀性组分。所产生的蒸汽可用于驱动汽轮发电或对外供热, 实现能源综合利用, 显著提升全流程的经济性与资源效率。

3.2.5 烟气净化系统

烟气净化系统是确保焚烧尾气达标排放的关键环节, 采用多级组合工艺对污染物进行协同控制。系统首先通过半干法或干法脱酸工艺有效去除 HCl、SO₂等酸性气体; 随后喷入活性炭吸附气相中的重金属及二噁英类污染物; 最终通过高效袋式除尘器实现颗粒物、反应产物及吸附剂的有效捕集, 确保烟气中各类污染物浓度满足环保排放要求。该集成化净化流程显著提升了系统的整体环境相容性与运行可靠性。

3.3 技术优势

回转窑焚烧技术在处理危险废物方面展现出显著的综合优势。该技术具有广泛的物料适应性, 能够同时有效处理固态、液态、半固态乃至桶装废物, 操作弹性大, 可通过调节窑速和温度等参数灵活应对废物组分波动, 处理规模可从每日数吨至上百吨。其核心优势在于焚烧彻底性, 通过“回转窑+二燃室”的组合设计, 确保有害物质充分分解, 破坏去除率(DRE)超过 99.99%。在减容减量方面, 该技术可实现 90%以上的体积削减率和 70%以上的重量减少率。同时, 系统集成余热回收装置, 将焚烧产生的高温烟气转化为蒸汽或电能, 显著提升过程经济性。此外, 高度自动化的控制系统保障了运行的稳定与可靠, 减少了人工干预需求。这些特点共同奠定了回转窑焚烧技术在危险废物无害化、减量化与资源化处置领域的核心地位。

4 二次污染控制技术

为有效控制焚烧过程中产生的二次污染, 需对二噁英、重金属等污染物及飞灰、炉渣等副产物采取针对性措施。二噁英的控制主要围绕其生成机理展开: 其可通过高温气相反应或飞灰表面低温合成生成。关键控制技术包括: 在燃烧阶段严格遵循“3T+E”原则, 确保二燃室高温($\geq 1100^{\circ}\text{C}$)和足够停留时间以从源头抑制生成; 随后通过急冷技术使烟气快速越过二噁英再合成的温度区间(250-450℃); 末端则采用活性炭吸附并结合袋式除尘器进行高效去除。

对于重金属污染, 需根据其挥发性差异(如 Hg、Cd 易挥发, Pb、Zn 半挥发, Cr、Ni 难挥发)采取组合策略。主要通过烟气冷却促进重金属冷凝, 并喷入活性炭等吸附剂进行捕集, 再辅以高效袋式除尘器实现最终去除。

产生的飞灰因富含重金属和二噁英, 需经过水泥固化、化学稳定化或熔融玻璃化等处理后才可进行安全填埋。炉渣则相对稳定, 经检测达标后可资源化利用于建材等领域, 不合格者亦需稳定化后填埋。通过上述全过程控制, 可确保焚烧过程的环境安全性。

5 结论

本文系统研究了危险废物焚烧处理技术, 重点探讨了回转窑工艺的技术特点、工艺流程及污染控制方法。研究表明, 回转窑焚烧技术凭借其广泛的物料适应性、高效的燃烧效率和完善的污染控制体系, 已成为实现危险废物无害化、减量化和资源化处置的核心技术。通过“回转窑+二燃室”的组合设计, 结合科学的预处理配伍、多形态进料系统、余热回收和多级烟气净化等环节, 可确保有害物质的彻底分解和能源的有效回收, 同时实现对二噁英、重金属等污染物的有效控制。然而, 当前技术仍面临能耗较高、副产物资源化利用率不足等挑战。未来研究应重点关注以下方向: 一是开发智能控制系统, 通过大数据和人工智能技术实现燃烧过程的精准优化; 二是研发低能耗烟气净化技术和碳捕获利用技术, 推动工艺向低碳化发展; 三是深化飞灰、炉渣等副产物的高值化利用途径, 实现从末端治理向循环经济的转变; 四是加强多种处理技术的集成创新, 形成针对不同废物的最佳可行技术体系。通过持续的技术创新和系统优化, 危险废物焚烧技术将在保

障环境安全、促进资源循环利用方面发挥更加重要的作用, 为构建可持续发展的废物治理体系提供有力支撑。

参考文献

- [1] 翟罗中,程芳.化工危险废弃物的焚烧与烟气处理工艺[J].化工设计通讯,2019,45(04):229+235.
- [2] 池涌,王波,严建华,等.有机危险废液焚烧处理技术[J].电站系统工程,2006(06):8-10+15.
- [3] 李金惠,刘丽丽,黄启飞.我国危险废物焚烧处置设施现状及发展趋势分析[J].环境科学研究,2018,31(1):1-8.
- [4] 李爱民,严建华,池涌,等.医疗废物回转窑热处置技术的试验研究[J].热力发电,2004,33(11):20-23.
- [5] 李润东,聂永丰.危险废物焚烧系统中二噁英的生成与控制[J].燃料化学学报,2005,33(4):394-400.
- [6] 李春雨,蒋旭光,严建华.危险废物焚烧飞灰的处理与处置技术[J].环境污染与防治,2007,29(5):382-386.
- [7] 王伟,蒋建国,袁光钰.危险废物处理技术进展[J].环境工程,2019,37(3):1-6.
- [8] 刘阳生,陈鲁言,李润东.危险废物焚烧二噁英排放控制技术的研究进展[J].环境科学,2020,41(5):1-12.
- [9] 赵由才,牛冬杰.危险废物处理与处置技术手册[M].北京:化学工业出版社,2019.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS