水泥窑协同处置固废的政策适配性与企业实践难点研究

刘春英
安徽职业技术大学建筑工程学院， 安徽 合肥 230011

摘要：随着环保政策和资源循环利用要求的提升，水泥窑协同处置固废技术逐渐成为解决固废问题的重要手段。通过高温氧化与矿物固化相结合，这一技术能够有效地将固废作为替代燃料或原料，减少环境污染并实现资源化。尽管国内外水泥窑技术已取得显著进展，但在实际应用中，仍面临供给不稳定、工艺难以统一、合规管控等挑战。为解决这些问题，企业应在技术、管理和制度层面同步加强，特别是提升固废预处理技术、优化工艺流程及加强全流程监控。同时，推动跨部门合作和政策支持也将助力技术的推广与实施，从而推动水泥行业的绿色低碳转型和可持续发展。

关键词：水泥窑；固废处置；协同处理；可持续发展；企业实践

Research on Policy Adaptability and Practical Difficulties of Cement Kiln Collaborative Disposal of Solid Waste

Liu Chunying

Anhui University of Applied Technology School of Civil Engineering and Architecture, Hefei, Anhui, 230011, China

Abstract: With the enhancement of environmental protection policies and resource recycling requirements, the technology of cement kiln collaborative disposal of solid waste has gradually become an important means to address solid waste issues. By combining high-temperature oxidation and mineral solidification, this technology can effectively utilize solid waste as alternative fuel or raw material, reducing environmental pollution and achieving resource utilization. Although significant progress has been made in cement kiln technology both domestically and internationally, challenges such as unstable supply, difficulty in unifying processes, and compliance control still exist in practical applications. To address these issues, enterprises should strengthen efforts in technology, management, and institutional aspects simultaneously, particularly by enhancing solid waste pretreatment technology, optimizing process flows, and strengthening full-process monitoring. Additionally, promoting inter-departmental cooperation and policy support will also facilitate the promotion and implementation of technology, thereby advancing the green and low-carbon transformation and sustainable development of the cement industry.

Keywords: Cement kiln; Solid waste disposal; Collaborative treatment; Sustainable development; Enterprise practice

DOI: 10.62639/sspis10.20260301

引言

水泥工业具有能源密集、物料闭路循环和高温强碱环境的特点，这些特点使其在固体废物无害化处理与资源化利用方面具备天然的优势。通过将固废作为替代燃料或原料引入水泥熟料系统，不仅能够在同一工序中完成有机成分的热解氧化与无机成分的结构固化，还能实现污染控制与资源回收的双重效益。这种协同处置技术使得固废得到有效利用，从而减轻环境负担并促进资源循环。随着国内产业升级及环境管理要求的不断提升，协同处置技术已成为水泥企业优化能源结构、拓展环保业务边界以及增强企业价值链韧性的关键路径之一。

当前，水泥窑协同处置固废技术在国内逐渐得到应用，但面临着诸如技术机理、产业实践、治理机制和未来发展趋势等方面的挑战。围绕这些关键问题进行系统梳理，将有助于厘清可复制的工程方法与管理模式，降低技术实施中的不确定性，提高处置质量与经济性。因此，进一步探讨协同处置技术的可行性与发展前景，不仅对于促进水泥行业的绿色转型，也对推动固废资源化利用和环境保护具有重要意义。

一、水泥窑协同处置固废的现状与技术

（一）水泥窑协同处置的基本概念

水泥窑协同处置固废的基本概念是指利用水泥生产过程中的高温和化学反应，将固体废物作为替代燃料或原料进行处理。这一技术不仅能够有效减少固废的环境负担，还能实现资源的循环利用。根据研究，水泥窑协同处置固废的可行性体现在其能够保证固废的无害化处置，进而达到

（稿件编号：IS-26-1-1Q002）

作者简介：刘春英（1971-），女，汉族，籍贯：河南方城，安徽职业技术大学建筑工程学院副教授，研究方向：水泥生产新技术新工艺新设备、高性能混凝土、固体废物处理。

基金项目：2022 年安徽省教育厅高校科学研究重点项目：“铜陵龙桥尾矿综合应用研究”（2022AH052055）。
2023 年安徽省教育厅高校科学研究重点项目：“改性黄麻纤维增强水泥基复合材料应用研究”（2023AH051457）。
2023 年安徽职业技术学院质量工程项目：“材料工程技术专业教学创新团队”（YJCXTD05）。

减排的目的。在技术背景上，水泥窑的高温环境使得多种类型的固废能够被安全焚烧，转化为水泥产品的组成部分，从而实现废物的减量化和资源化。

工程路径上，协同处置通常包含预处理、适配性评价、掺配与投加、热工与窑况稳定控制、窑尾与窑头烟气净化、熟料矿化物结构固化等环节。不同类型的固废，对粒径、水分、热值、氯硫碱与重金属赋存形态等指标的敏感性差异较大，需要通过破碎分类、干化或预成型来降低进窑波动。投加点可依据物性与处置目标选择分解炉、三次风口、窑头或原料粉磨系统，实现有机物彻底氧化与无机元素高效固着。窑内强碱性气氛与矿物生成反应，有利于酸性气体被中和、金属元素进入熟料晶格或玻璃相，配合末端高效除尘、脱酸与脱氮装置，构成全过程环境风险防控链条。与独立焚烧或填埋相比，协同处置避免了二次残渣处置与新增灰渣玻璃化等工序，工程集成度高、资源回收路径短，具有投入产出协同的特征。

（二）国内外技术现状比较

国际上，水泥行业协同处置经历了原料替代到成体系处理的长期演进，形成了源头分选—标准化预处理—分级投加—在线监测—全过程合规的工程范式。成分复杂的市政生活垃圾与工业一般固废多通过预处理转化为成型燃料，危废则依赖稳定化、配伍与专用计量给料实现可控投加。排放控制侧更重视全流程指标连续监控与数据透明，促进技术迭代与社会信任累积。国内起步较晚但进展迅速，熟料生产线规模化、系统自动化水平与烟气净化能力为协同处置提供了良好技术底座，处置对象覆盖污泥、一般工业固废、生活垃圾衍生燃料及部分有组织管理的危废。差异主要体现在预处理体系、质量标准与供给稳定性、运行数据共享与第三方评价等环节。

（三）水泥窑协同处置的优势与挑战

水泥窑协同处置固废的技术背景与现状展现出其显著的优势与挑战。一方面，窑内高温强氧化与强碱性环境为固废有机组分的彻底分解提供条件，体积与质量显著减量，同时将无机成分掺入熟料矿物，实现材料循环与能源替代的双重效益。通过部分替代化石燃料与天然原料，可降低开采与运输带来的环境压力，配合精细化热工管理，有助于抑制过程排放，服务可持续发展目标。另一方面，协同处置对原燃料系统稳定性提出更高要求，固废来料热值、水分与卤素元素波动，易引发结皮结圈、气固不均或尾气成分突变，增加窑况调控难度。还需关注持久性有机污染物生成抑制、氮氧化物与酸性气体控制、细颗粒物与重金属捕集的系统协同。技术与管理双维度的成熟度，决定了协同处置的工程边界与环境绩效。

二、政策适配性与企业实践中的难点

（一）企业在实践中遇到的主要问题

企业推进协同处置，往往在供给端、工艺端与合规端同时承压。供给端方面，固废来源多样、季节性波动明显，预处理体系不完善时，来料均质性不足，给投加与热工平衡带来挑战。工艺端方面，增加固废掺入后，原燃系统、分解炉与窑尾余热发电等子系统间的耦合更为紧密，若缺乏跨系统的统筹优化，易出现局部效率提升而总体绩效下降的现象。合规端方面，协同处理固废需要遵循可持续发展的原则，确保废物管理的有效性。然而，现行的管理机制往往存在“命令式”与“流程式”的局限，未能充分考虑到企业的实际需求与操作灵活性，导致一线工作人员在执行过程中面临困境。此外，协同处理的操作需要在法律、环境和安全等多个方面进行综合考量，企业在这些方面的准备和适应能力直接影响到处理效果。信息管理亦常成为薄弱环节，若缺少贯通接收、预处理、投加、排放监测与台账留痕的数字化系统，难以及时识别风险并形成可追溯证据链。人员能力结构不匹配、供应链协同不足与应急处置机制不健全，也会放大运行不确定性。

（二）案例分析与经验教训

行业实践显示，处置项目的成败多取决于“适配性—稳定性—合规性”的协同。某些项目在来料端未建立成分边界与动态预警，导致卤素与碱性成分突然升高，引发结皮与尾气波动，窑线被迫降负荷运行，经济与环保绩效同步下滑。相反，成功案例普遍强化源头分选与均化，采用分质分类与分点投加，结合原燃料优化，维持料气热工平衡，从而在稳定熟料质量的同时实现稳定处置。其次，技术层面的挑战也不容忽视。水泥窑协同处置固废需要综合考虑可持续性、环境保护及技术标准等多方面因素。研究表明，缺乏明确的技术标准和操作指南，使得企业在实施过程中面临诸多不确定性，影响了协同处理的顺利进行。因此，建立健全的技术规范和标准，对于提升企业的操作能力和保障环境安全至关重要。经验还表明，环评与安全评价阶段的边界条件若与运行期不一致，后续变更频繁，易造成管理成本攀升；而在利益分配与风险共担上未形成可操作条款，也会在来料波动或停窑检修时放大经营风险。由此可见，技术可行与商业可行需同步论证，工程化落地依赖跨部门与跨主体的协同治理。

三、优化政策与企业实践的策略

（一）企业实践改进措施

针对上述痛点，企业可从制度、技术与管理三方面同步发力。制度层面，构建覆盖接收、检验、预处理、投加、台账与应急的标准作业体系，细化岗位职责、权限与交接规则，确保流程稳定透明。其次，企业需要提升自身的技术能力，尤其是在固废处理技术方面。根据相关研究，水泥窑协同处置固废的技术可行性已得到验证，企业应积极引进和研发先进的处理技术，以提高处理效率和环保水平。同时，企业应加强员工的培训，提升其对新技术的理解和应用能力，确保技术的有效实施。工艺层面，开展掺配上限与边界条件研究，形成窑系统稳定运行的“操作窗”，通过在线成分识别、动态配伍与前馈控制，实现来料波动的快速消化。末端治理侧，依据处置对象强化除尘、

脱酸与脱氮耦合效率，完善旁路系统以削减挥发性组分富集。管理层面，建立贯通生产、设备、环保与安全的协同指挥机制，运用例行评审与偏差纠正闭环，形成持续改进文化。此外，企业还应探索多元化的盈利模式，以增强其在固废处理项目中的经济可持续性。通过与地方政府、科研机构及其他企业的合作，企业可以共同开发固废处理项目，分享资源与风险，降低单个企业的负担。同时，企业可以考虑将固废处理与其他业务相结合，形成综合性服务，提升整体盈利能力。

（二）技术创新与合作模式

技术进步与合作网络是推动协同处置高质量发展的关键。预处理侧，通过分选、干化与成型燃料工艺的系统优化，可显著提升来料均质性与投加可控性；针对含氯、含硫与高碱来料，结合旁路抽提与原燃料结构优化，降低循环富集风险。窑系统侧，低氮燃烧、梯级助燃、热效率优化及智能控温控风等手段，可在稳定窑况的同时抑制氮氧化物生成；末端侧，选择性还原、干法脱酸与高效布袋除尘的协同，提升污染控制冗余度。其次，合作模式的建立对于推动技术创新和实践应用至关重要。企业可以与科研机构、高校及其他相关单位建立紧密的合作关系，共同开展技术研发和应用示范。这种跨界合作能够整合各方资源，形成合力，促进技术的快速转化与应用。此外，企业还可以通过参与行业协会或联盟，分享经验和技术，推动行业整体的技术进步和标准化发展。围绕供应链协同，构建稳定的收运网络与质量责任边界，配合第三方检测与全过程信息共享平台，有利于降低不确定性，增强公众与市场主体的信任。融资与商业层面，探索绩效导向的付费机制、长期稳定的处置合同与风险共担条款，为持续投入与技术迭代提供保障。

四、水泥窑协同处置固废的未来趋势

（一）全球趋势与国内发展

水泥窑协同处置固废的未来发展趋势，既受到全球环境保护意识提升的影响，也与国内市场需求的变化密切相关。在全球范围内，水泥窑协同处置固废技术逐渐被认可为一种有效的资源利用方式，能够实现固废的无害化处理和资源化利用。根据相关研究，水泥窑的高温环境使其能够有效消灭有害物质，减少固废对环境的影响，从而促进可持续发展。展望未来，固废管理将从末端处理进一步走向全过程治理与价值最大化，源头减量、就地预处理与标准化质量控制将成为供给侧基础设施。协同处置将与城市废弃物综合管理、区域能源结构优化与原材料替代策略协同演进，形成多主体参与、数据驱动与透明可核查的治理生态。国内发展空间体现在处置对象多元化、技术装备成套化与管理体系精细化上，区域间差异将通过标准体系完善、示范项目带动与经验扩散逐步缩小，行业整体向高水平合规与高效益并重的方向迈进。

（二）技术进步对行业的影响

技术进步在水泥窑协同处置固废的过程中发挥着至关重要的作用，推动了行业的可持续发展。首先，现代水泥窑技术的不断创新，使得固废的协同处置变得更加高效和环保。例如，通过优化燃烧技术和提高热效率，水泥窑能够更好地处理多种类型的固废，确保其在高温下实现无害化处置，进而减少环境污染。此外，先进的监测和控制系统的引入，使得固废协同处置过程中的各项指标能够实时监控，确保操作的安全性和合规性。其次，技术进步还促进了固废资源的高效利用。通过对固废成分的分析，水泥企业可以选择适合的固废作为替代燃料或原料，从而降低生产成本，提高经济效益。进一步而言，数字化建模、在线光谱分析与数据驱动的配伍优化，将使来料质量波动得到前馈抑制，热工与窑况控制更加精细，污染控制与能效提升协同增强。标准体系与评价方法也将更加科学，生命周期评价与全成本核算将成为项目决策与绩效评估的重要依据，推动行业在技术路线上做出更稳健的选择。

（三）可持续发展的前景

可持续性是协同处置长期发展的价值底座。面向未来，企业需要在环境绩效、经济可行与社会认可之间取得稳健平衡：在环境维度，强化全过程风险识别与分级管控，完善异常工况的快速处置机制，确保稳定合规；在经济维度，优化处置费结构与能源、原料替代收益的匹配关系，通过规模化、专业化与协作化降低边际成本；在社会维度，提升信息披露的透明度，构建与社区、客户及监管相关方的沟通与反馈机制，增强项目可接受度与长期信任。由此，协同处置将从“项目化”运行走向“体系化”能力建设，形成以标准、数据与能力为核心的竞争力，带动水泥产业向绿色低碳与高附加值转型。

五、结语

水泥窑协同处置固废凭借高温强氧化与强碱性环境、闭路物料循环与成熟的工业化体系，展现出无害化、减量化与资源化同步实现的工程优势。当前实践表明，技术路径已具备可行性，但供给均质、工艺稳定、合规管控与商业模式仍需协同优化。面向未来，完善标准与评价体系、夯实预处理与质量控制基础、深化数字化与智能化应用、构建多方合作与风险共担机制，将是推动行业高质量发展的关键抓手。在此基础上，企业可在保障环境安全与产品质量的前提下，释放协同处置的系统价值，为资源循环与产业绿色转型提供持续动能。

参考文献：

[1] 丘海湾．基于赋权增能理论的中学体育教师工作重塑：内在机制与实现路径 [J]．教育与教法，2025.
[2] 言凤英，张瑞，魏茂等．水泥窑协同处置危险废物产业链浅析 [J]．中国水泥，2021.
[3] 李兵兵；金崇．水泥窑协同处置固体废物技术简介 [J]．工程技术论坛，2025.
[4] 郑秀亮，梁光源．水泥窑协同处置危废，想说爱你不容易 [J]．环境，2019.