

水泥窑协同处置固体废弃物的应用

□ 河北省固体废物污染防治中心 孟宪栋 刘琦 胡小敏
北方工程设计研究院有限公司 刘琦 张杰 王昌鑫 付丽霞

摘要：2019年，我国启动了“无废城市”试点城市建设工作，全国各地相继开展“无废城市”建设。“无废城市”以实现固体废物“减量化、资源化、减量化”为目标。本文分析了在“无废城市”建设及水泥行业产能过剩的背景下，水泥窑协同处置固体废物技术的优势及困境，并对水泥窑协同处置固体废物项目的前景提出展望。

关键词：无废城市 水泥窑协同处置 固体废物 资源化 水泥行业

1 研究背景

1.1 “无废城市”建设

2018年12月，我国国务院办公厅印发《“无废城市”建设试点工作方案》，正式启动了我国“无废城市”建设试点工作，标志着我国固体废物综合治理进入了新的探索阶段。2021年，生态环境部等部门出台《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》，此后，全国各地都着手进行“无废城市”建设。

“无废城市”是一种先进的城市管理理念，是一种城市发展模式，通过深化城市固体废弃物综合管理体系改革，推动形成绿色发展方式和生活方式，持续推进固体废弃物源头减量和资源化利用，最大限度减少填埋量，将固体废弃物环境影响降至最低。“固体废弃物是放错位置的资源”是“无废”的核心理念。一般来说，

“无废城市”建设的主要任务包括四大方面：加快工业生态化转型，促进一般工业固废资源化利用；加强危险废物全过程管理，提升危险废物处置能力；推进城乡生活垃圾、建筑垃圾等分类收集，构建高效处置系统；促进绿色农业发展，提升农业废弃物资源化利用水平^[1]。可见，固体废弃物源头减量、源头分类、提升资源化利用水平，是“无废城市”建设任务的重中之重。以河北省“十四五”时期“无废城市”建设指标任务为例，要求2025年新增大宗固废综合利用率达到95%以上，工业危险废物综合利用率达到70%，强制分类区城市生活垃圾回收利用率达到35%以上，城市重点行业工业企业单位GDP二氧化碳排放下降19%^[2]。

1.2 水泥行业现状

我国是全球水泥制造第一大国，产能约占全球水泥的60%左右，中国的水泥行业生产水平远远领先于国际水平。水泥行业是我国二氧化碳的主要排放源，水泥行业碳排放量占全国碳排放量的13%左右。当前，水泥行业原材料、煤炭、电价等成本大幅度上升，市场需求却明显下降，产能严重过剩，水泥行业同时面临“能耗双控”要求，改革任务既艰巨又紧迫。

2 水泥窑协同处置固危废的应用

2.1 工艺简介

水泥窑协同处置是实现废弃物资源化利用的最主要工艺^[3]。水泥窑协同处置固体废弃物是以水泥回转窑为载体，将

满足入窑要求的固废投入水泥生产过程中。可根据废物类别，可将固体废弃物划分为：可替代原料、可替代燃料、不可替代原燃料三种，可做替代原料指固体废弃物的成分符合水泥的原料要求且含量处于较高水平，可在生料配料系统中作为原料协同利用；可做替代燃料指固体废弃物成分热值较高且稳定，可在水泥窑头高温段燃烧系统内作为燃料利用；不可替代原燃料主要指热值低且不可作为水泥原料的固废，在水泥窑头高温段进行无害化焚烧处置。

2.2 国外水泥窑协同处置固危废现状

水泥窑协同处置城市固废技术最早于20世纪70年代由加拿大学者提出并开展相关研究，目前相关技术工艺较为成熟，已在多个国家得到了推广和应用^[4]。国外水泥窑协同处置应用最广泛的是将生活垃圾分选出若干类可燃固体废弃物，经过处理变为可燃性垃圾固体燃料，即垃圾衍生燃料RDF (Refuse Derived Fuel)^[5]，目前RDF的数量和种类不断扩大，除了由主要的城市固体废弃物MSW制备而成外，还包括废橡胶、废塑料、污泥、生物质燃料等。国外欧洲在水泥行业替代燃料利用率TSR (Thermal Substitution Ratio) 上处于领先地位，其中荷兰高达85%，奥地利68.5%，德国63%，巴西4.5%，北美4.4%^[6]。欧洲国家TSR高的原因得益于其完善的





垃圾分类回收体系,使得水泥企业能够根据废弃物的不同属性进行分别处理^[7]。首先分类回收城市生活垃圾,然后经过一系列预处理工艺,生产出高能源利用率的RDF,作为水泥窑的替代燃料使用。

2.3 国内水泥窑协同处置固危废现状

我国从20世纪90年代开始水泥窑协同处置固体废弃物的研究和实践,对水泥窑协同处置技术的研究起步较晚。据统计数据,截至2020年底,全国已建成水泥窑协同处置生活垃圾、污泥、危险废物线约160余条,占全国新型干法水泥窑线总数的近10%。2010年4月铜陵海螺水泥有限公司5000t/d熟料水泥生产线上投产运行300t/d生活垃圾协同处置线,标志着我国第一条水泥窑协同处置垃圾熟料生产线的诞生。目前,河北石家庄赞皇金隅(8000t/d水泥熟料生产线+2800t/d固废)、河北邯郸金隅太行(4500t/d水泥熟料生产线+500t/d固废)、河北武安新峰(4800t/d水泥熟料生产线+300t/d固废)、湖北华新水泥(5000t/d水泥熟料生产线+300t/d固废)、江苏溧阳天山(5000t/d水泥熟料生产线+450t/d固废)、中材安徽水泥有限公司(4500t/d水泥熟料生产线+500t/d固废)、广西华润红水河(3700t/d水泥熟料生产线+300t/d固废)等多家水泥企业已经建成水泥窑协同处置生

活垃圾、建筑垃圾、市政污泥及危险废物等项目并投产使用,取得了显著成效。

2.4 水泥窑协同处置固体废弃物的优势

(1) 对生产工艺影响小

水泥窑协同处置工艺措施在原水泥窑基础上进行工艺改造,建设周期短。目前,我国用于协同处置固体废弃物的水泥窑工艺主要是新型干窑法,水泥窑协同处置固废对正常水泥

生产线影响小且水泥熟料质量、产量可控^[8]。有研究表明,投入固体废弃物后,通过技术改造、工艺调整等措施,水泥熟料质量较之前无下降,熟料强度甚至略有提高^[9]。大部分重金属的在不同相的分配率也基本不受影响^[10]。

(2) 产生生态效益

垃圾填埋、垃圾堆肥处理需要大量占用土地,且存在二次污染隐患及地质风险,利用水泥窑协同处置固体废弃物则可节约项目占地,有效避免渗滤液对土壤和水体的污染。以某水泥窑协同置换填埋垃圾项目为例,该项目节约土地5.8亩左右,经估算可减少甲烷气排放461万m³(相当于6.8万t二氧化碳气体)。

(3) 产生节能降碳效益

水泥窑协同利用工业固危废,引入各种重金属等微量元素及氟化钙等矿化剂,可大大改善生料易结性,降低熟料煅烧温度。同时可替代水泥生产的原燃材料,对节能降碳具有积极作用^[11]。一吨生活垃圾经过预处理后的垃圾衍生可燃物含有相当于300kg标煤的热值,经水泥窑协同处理后,二氧化碳减排量可达2t左右。

(4) 产生经济效益

目前,我国水泥行业产量过高而需求乏力,2020年我国水泥产量23.77亿t,同比增长1.6%,产能过剩情况未得到有效改善。水泥窑

协同处置是化解水泥过剩产能的重要途径。固危废处置费高于水泥窑协同处置预处理及煤耗成本，给水泥企业带来一定经济效益^[12]，同时水泥企业可以享受到政策红利，避免因政策变动而强制停产造成损失。

3 水泥窑协同处置固危废的困境

3.1 协同处置的定位

欧盟废弃物框架指令（2008/98/EC号指令）将废物治理层按优先选用次序依次分为“预防”（prevention）、“再利用”（preparing for re-use）、“回收再利用”（recycling）、“能源回收等回收方式”（recovery）、“处置”（disposal）等5种方式^[13]。而我国固体废弃物治理梯度依次为“减量化、资源化、无害化”，与国际理念相符。对于固体废弃物的管理和处理，优先采取源头减量和循环再利用，也是城市“无废”建设的要求。

国际公认“协同处置”（co-processing）应该属于“recovery”，即“资源化”。而我国在相关标准中将“水泥窑协同处置”定义为“将满足或经过预处理后满足入窑要求的固体废物投入水泥窑，在进行水泥熟料生产的同时实现对固体废物的无害化处置^[14]。”定义落脚点为“无害化处置”，弱化了水泥窑协同处置的“资源化”作用。水泥窑协同处置固体废物是否属于垃圾资源化利用范畴，对“无废城市”建设相关指标是否达成设定目标有重要影响，需进一步通过出台政策文件进行明确。

3.2 RDF产量较低

目前水泥窑协同运转的项目表明，利用水泥窑协同处置固体废弃物的RDF“续航”能力不足，熟料煤耗有所降低，但节煤效果并不明显。如果可燃物能够持续供应，系统能稳定运行，则项目运转效果更佳。当前制备RDF的工艺层出不穷，制成的RDF品质也差异较大。美国材料与实验协会（ASTM）根据尺寸、用途等一般将RDF

分为7个等级，可以根据不同的应用领域选用相应等级的RDF。我国施行垃圾分类的地区较少，垃圾成分还没有形成统一的等级标准。

表1 美国材料与实验协会RDF分类及定义

分类	内容	备注
RDF-1	将生活垃圾中的大件垃圾除去得到的可燃固体废弃物	疏松RDF
RDF-2	将生活垃圾中去除金属和玻璃，粗碎通过152mm的筛后得到的可燃固体废弃物	疏松RDF
RDF-3	将生活垃圾中去除金属和玻璃，粗碎通过50mm的筛后得到的可燃固体废弃物	疏松RDF
RDF-4	将生活垃圾中去除金属和玻璃，粗碎通过1.83mm的筛后得到的可燃固体废弃物	粉状RDF
RDF-5	将生活垃圾中去除金属和玻璃等粉碎、干燥、加工成型后得到的可燃固体废弃物	成型RDF
RDF-6	将生活垃圾加工成液体燃料	液体燃料
RDF-7	将生活垃圾加工成气体燃料	气体燃料

3.3 与其他固废处理处置产业的竞争

当前我国生活垃圾处理的主要方式为焚烧和填埋。由于国土及生态环保方面不同程度的标准变化，垃圾填埋已经不属于“环境保护”范畴。垃圾焚烧方面，由于国内一直在不断引进和开发垃圾新技术新工艺，并不断实现设备国产化，大大降低了垃圾焚烧成本；同时，我国垃圾发电的优惠政策也极大推动垃圾焚烧发电的发展，与水泥窑协同处置固体废物产生竞争关系。

在水泥窑协同处理危险废物领域，由于水泥窑协同处置危废的建设周期短、运营费用低、危废处理费用低等优势，有业内人士指出水泥窑协同处置危险废物的无序发展会干扰危废市场发展。2023年3月1日，环保企业团体提案《关于保障危险废物处理行业健康发展的提案》（初稿）通过全国工商联审核，拟以团体提案报送全国政协会议。提案指出，水泥窑协同处置危废局限性大、风险高、干扰市场健康发展，在行业发展规划上应明确水泥窑协同处置的定位，强调工

业危险废弃物处置要以集中焚烧处置为主,以协同资源化处置为辅,应当对水泥窑协同处置项目加强资质审核、环境监管和过程管理。

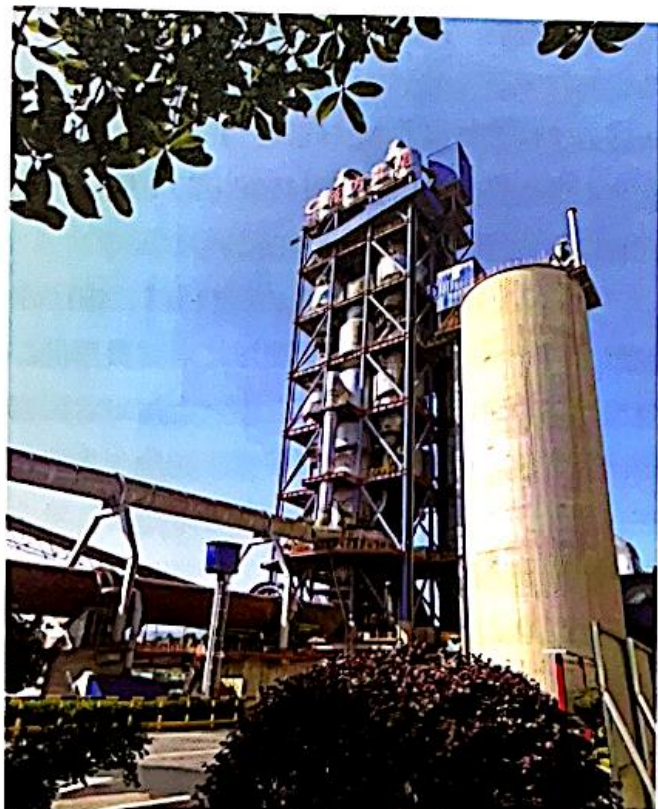
4 水泥窑协同处置固危废项目的展望

1、水泥窑协同处置固危废可促进固废循环利用,助力“无废城市”建设任务指标达成,是建设“无废城市”的重要途径。

2、“无废城市”建设将推动固体废弃物源头分类,加强固废上中下游全过程精细化管理,有助于实现垃圾衍生燃料RDF的分类分级。垃圾分类是生产出质量稳定的高能源RDF的重要前提,也有助于协同处置预处理过程的标准化,进而促进水泥窑协同处置技术推广和应用。

3、我国是全球水泥制造第一大国,而目前水泥行业替代燃料利用率TSR却远低于欧洲水平,水泥窑协同处置固体废弃物潜力巨大。

4、使用RDF替代传统化石燃料,有助于降低二氧化碳排放量,对实现碳达峰碳中和具有积极意义;有助于水泥行业绿色转型,实现循环经济和高质量可持续发展;有助于我国履行国际协定。



5、协同处置固危废,能增加水泥企业收入,缓解水泥行业产能过剩的处境。

6、在我国废弃物管理和水泥行业均面临改革的新业态下,需加强探索固体废弃物全过程管理、资源化处理的新模式新路径。通过市场力量这只“看不见的手”和政府力量这只“看得见的手”,将资源有效配置到相应领域,相信水泥窑协同处置固体废弃物项目的发展潜力将不断释放,固体废弃物也能“各得其所”,实现减量化、资源化和无害化。

参考文献

- [1] 生态环境部等“十四五”时期“无废城市”建设工作方案.马国峰[2021]114号[S].
- [2] 河北省人民政府办公厅.河北省“十四五”时期“无废城市”建设工作方案.冀政办字[2022]37号[S].
- [3] 水泥窑协同处置城市污泥探讨及试生产总结[J].水泥,2022(02):19-23
- [4] YANG L, ZHENG M, ZHAO Y, et al. Unintentional persistent organic pollutants in cement kilns co-processing solid wastes[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 182(10): 109373.1-109373.9.
- [5] 王靖菲,吕学斌,黄永生,等.水泥窑协同处置城市生活垃圾技术研究进展[J].环境生态学,2023(1):99-105.
- [6] 崔源声,方艳欣,王硕.国外水泥工业替代燃料的最新发展趋势[J].水泥,2018(01):9-12.
- [7] SHARMA P, SHETH P N, MOHAPATRA B N. Recent progress in refuse derived fuel (RDF) co-processing in cement production: Direct firing in kiln/calcliner vs process integration of RDF gasification[J]. Waste and Biomass Valorization, 2022, 13(11): 4347-4374.
- [8] 吴火焰,赵香玉,王凯华.水泥窑协同处置固废现状及发展建议[J].河南建材, 2018(5):446-448.
- [9] 颜新传,刘继斌,程稳,等.协同处置生活垃圾对水泥生产线的影晌及控制[J].水泥工程,2016(05):37-38.
- [10] 闫大海,李璐,黄启飞,等.水泥窑共处置危险废物过程中重金属的分配[J].中国环境科,2009(09):977-985.
- [11] 陈龙,冯云,郑金召,等.协同处置危固废过程中熟料频繁结球的分析处置 水泥技术[J]. 2023(01):53-61.
- [12] 王喜佳,吴勇锋,马剑,等.水泥窑协同处置一般污泥类固废的改造[J].建材技术与应,2022(02):73-75.
- [13] 欧盟委员会. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of The Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives[S].
- [14] GB30485-2013.水泥窑协同处置固体废物污染控制标准[S].