

含油污泥中应用水泥窑协同处置技术的可行性研究

张元刚 普连仙

云南省建筑材料科学研究设计院有限公司, 云南省昆明市, 650221;

摘要: 含油污泥的成分较为复杂, 其中的重金属和有机物的降解难度大, 如果处置不当会对周边环境带来较大的污染影响, 因此被划分为危废处置类目。水泥窑协同处置技术是通过高温煅烧和资源化利用的方式对含油污泥中的难降解有机物进行氧化分解, 对重金属进行固化处理, 可有效提升含油污泥处置的实效性。基于此, 本文在对含油污泥的特性与处置现状进行分析后, 探究水泥窑协同处置的原理和关键流程, 并结合实际案例进行可行性分析, 以期明确水泥窑协同处置技术的应用优势和价值, 使其在含油污泥的规模化处置工作中发挥应有的作用。

关键词: 含油污泥; 水泥窑协同处置技术; 重金属

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.036

我国石化产业的高速发展使得含油污泥的产出量也逐渐增多, 相关统计数据显示, 国内产出的含油污泥年产量已经超出千万吨, 含油污泥的处置安全与否直接关系到行业发展水平。传统的含油污泥处置技术以填埋、热解和固化为主, 不仅会占用大量的土地资源, 还存在二次污染的弊端, 同时资源化利用率极低, 很难达成减污降碳的环保要求。而水泥窑协同处置技术可以在不影响熟料质量的前提下有效降解含油污泥中的有机物, 且对重金属进行固化稳定处理, 能够同时满足环保效益和经济效益。为此, 对含油污泥中应用水泥窑协同处置技术的可行性展开研究具有重要意义。

1 含油污泥的特性与处置现状

含油污泥指的是在石油开采、油气输送、石油炼制等生产工艺中产生的污泥, 其成分主要包括胶体、重金属、原油、悬浮物和多环芳烃等难以降解的有机物; 具备一定的危险性, 呈现出易燃和腐蚀性特征, 属于危险废弃物的范畴, 如果不做处理随意排放会造成严重的土壤污染, 甚至引发区域大气污染; 含水率和含油率分别是 30%~90% 和 1%~60%, 具备显著的热值差异, 部分情况下可替代燃料使用; 含油污泥的处置难度较大, 单纯依靠常规处置方式很难降解有机物和浸出重金属。

传统的处置技术存在很多局限性, 具体表现如下: 一是采取卫生填埋方式会导致占用大量土地资源, 且发生渗流后影响地下水环境, 需要消耗大量的精力对填埋位置进行长期监管, 资源转化率为零; 二是采取焚烧处置方式时需要配置一套尾气处置系统, 前期投入偏高, 焚烧过程中还会产生 SO_2 和 NO_x 等, 带来二次污染,

焚烧后产生的残渣还需再次处理; 三是采取固化稳定处理方式时的药剂需求量偏大、成本偏高, 固化后仍需进行掩埋, 其中的重金属是否能够长期保持稳定状态属于未知数; 四是生物处理方式的周期偏长、效率低下, 加之受到盐分、温度和毒性等的影响, 很难有效处理一些含油率大和重金属含量较大的污泥。

2 水泥窑协同处置技术的原理和关键流程

2.1 技术原理

水泥窑协同处置技术实际上就是将经过预处理的含油污泥放入干法预分解的水泥窑系统中, 在水泥的高温作用下, 形成碱性环境, 实现对污染物的有效降低, 协同处置原理如下: 通过高温氧化分解作用将含油污泥中难以降解的有机物分解成 CO_2 与 H_2O , 当水泥窑中的温度达到 $1450^\circ C$ 以上时, 分解炉内的温度可被提升至 $850^\circ C$ 以上, 此时气体的停留时间在 4s 左右, 固体的停留时间在 15min 以上, 可有效氧化分解有机物; 通过碱性固化的方式抑制污染物排放, 在水泥窑中产生的 CaO 和 $CaCO_3$ 等对酸性气体可起到中和作用, 从而有效抑制酸性污染物的排放, 与重金属反应后又能生成较为稳定的硅酸盐和铝酸盐等, 可将重金属直接固化于熟料晶格内, 重金属的浸出率被控制在限值范围内; 发挥资源协同作用, 含油污泥中的部分成分与水泥原料相匹配, 可有效替代黏土和砂岩原料, 高油污泥中的组分在燃烧时会释放部分热量, 代替煤粉发热可降低能源消耗。

2.2 关键工艺流程

含油污泥中应用水泥窑协同处置技术时的关键流程如下: 1) 含油污泥贮存。使用密封性较好的储罐进

行贮存并设置好防渗、防雨和除臭装置；2) 预处理。通过离心脱水、热风干化、破碎、均质等方式对其进行预处理，使其含水率被控制在20%以下，含油率控制在2%以下，符合《含油污泥利用与处置污染控制技术规范》(DB62/T5172-2025)标准要求；3) 适量投加。按照标准要求取适量固态污泥投入分解炉，呈现半固态和液态的污泥可利用高压雾化装置分3次喷入分解炉，保障污泥燃烧的均匀性；4) 窑内煅烧。在不改变熟料生产原理的前提下，灰分可直接参与燃烧，此举能够成功替代部分燃料产生热量，实现资源化利用；5) 尾气控制。处理过程中所产生的废气需经过布袋除尘、脱硝、脱硫处理后，使其中的SO₂和重金属含量符合排放标准。

3 水泥窑协同处置技术的可行性分析

3.1 工艺适配度

第一，设备适配。新型干法水泥窑中配置了较为成熟的配套装置，统计数据显示，单线熟料的产能可达2500t/d以上，其中的分解、除尘和在线监测系统功能完善，进行含油污泥处理时仅需增设预处理、计量投加和除臭装置即可，相对来说前期投入较低，改造工期也较短；第二，物料适配。含油污泥的灰分中氧化物含量超出80%，这与水泥生料的组分相匹配，在处置中只需将掺加量控制在生料投入料的5%~15%内即可，投入水泥窑后并不会影响熟料强度与稳定性；第三，工况适配。借助智能化技术采取多点喂料和分层燃烧的措施，可以有效稳定窑内温度和通风等关键工艺参数，避免出现堵塞和结皮等问题；第四，标准适配。含油污泥处置过程中的尾气排放和熟料质量等均与行业标准和国家标准相符，可成功通过环保部门和危废资质等的审核。

3.2 环境安全性分析

含油污泥贮存时在场内地内设置了雾化喷淋装置，可以有效抑制尘土，同时对于筛分场地进行封闭处理，可避免颗粒物的排放，加之设有防渗装置，不会对地下水和土壤造成污染影响；运输含油污泥时在上部覆盖了封闭苫布，且对运输路线进行了精细规划，优先选择高速公路同时避开了环境敏感点，基本不会对沿途环境构成威胁；将含油污泥投入水泥窑进行煅烧可以替代部分水泥原料，经过系统分析后发现，水泥窑尾气中的污染物含量和排放量并未发生明显变化。同时增湿塔和水泥熟

料等对重金属还具备较好的封闭固化作用，无需担心重金属超标排放的问题。水泥在投入使用后，还能将部分有害元素直接封存固化在混凝土结构中，对环境 and 人体的影响可以忽略不计。

3.3 污染物控制分析

水泥窑协同处置过程中可促进含油污泥中污染物的有效迁移与转化，其中的有机物可在高温作用下被100%矿化，处理后无VOCs和多环芳烃残留，尤其是二恶英排放浓度小于0.1ng TEQ/m³，低于国际限值；其中的Pb、Cd等重金属可在碱性环境下形成稳定的矿物相，重金属固化率可达99%，熟料的浸出浓度与《生活垃圾填埋场污染控制标准》相符，可以被投入在建筑项目中使用；酸性气体可与CaO反应生成CaSO₄和CaF₂等固定在熟料中，使得气体排放标准达标；使用布袋除尘的手段可以去除绝大部分颗粒物，排放浓度在10mg/m³以下，与排放要求相符。

3.4 经济效益和社会效益分析

(1) 经济效益。主要涉及成本投入、资源收益和政策收益等，在成本投入方面，与专用焚烧炉相比水泥窑协同处置时无需另外采购焚烧炉装置，可将含油污泥处置的前提投入节约50%左右，运行成本也可降低约30%，此外，水泥窑协同处置时的费用低于焚烧和热解的费用，环保方面的费用支出也相对较少，可以杜绝因气体排放不达标造成的罚款；在资源收益方面，利用含油污泥可以替代部分煤粉和原料，一定程度上节约了水泥生产的成本，且一些高含油量的污泥发挥了显著的热值效应；在政策收益方面，采取水泥窑协同处置手段不仅可以达到危废处置标准，还能享受对应的处置补贴，同时享有资源综合利用增值税即征即退的优惠政策，有效提升了相关企业的经济效益。

(2) 社会效益。主要涉及生态、资源、行业和社会价值几个方面，在生态效益方面的表现是可以实现对含油污泥的无公害化处理，避免出现土壤污染、地下水污染和大气污染等问题；在资源效益方面的表现是对固废进行资源化利用，缓解矿产资源开采的压力，实现低碳生产的目标；在行业效益方面的表现是可以突破石化与水泥制造业的行业壁垒，通过协同处置的方式进行跨行业合作，强化生产过程的低碳环保水平；在社会价值方面的表现是能够解决危废处置的难题，降低环境污

染风险，帮助企业树立良好的社会形象。

4 含油污泥水泥窑协同处置案例

4.1 项目案例

某水泥有限公司协同处置含油污泥项目，单线熟料的产能约为3000t/d，为能实现协同处理含油污泥的目标配置了脱水装置、干化装置和计量投加系统，每日处置的含油污泥量接近150t，经过预处理后的含水率小于20%，含油率小于2%，将其投入分解炉中可以替代5%~8%的粉煤，熟料质量符合标准要求，且尾气排放达标，通过协同处理实现了对含油污泥的资源化处理 and 利用，同时可降低水泥生产的原料用量。

某水泥有限公司在协同处置含油污泥时应用了烟气余热干化和多点喂料技术，将含油污泥的处置效率提升了45%以上，年均含油污泥的处置量在5万t左右，节约煤粉约3000t，同时大幅度降低了CO₂的排放量，表现出较好的生态效益和经济效益。

4.2 现存问题与优化措施

水泥窑协同处置技术应用中还需面临如下几点问题：一是污泥组分波动，因不同来源的含油污泥无论是含水率、含油量还是重金属含量等均存在显著差异，在水泥窑中煅烧时可能造成窑内结皮的状况，同时产生系列工况波动；二是在含水率偏大的含油污泥预处理环节中的能耗偏高，一定程度上增加了含油污泥的处置成本；三是氯、碱和硫等在水泥窑中的过量添加会对熟料质量和水泥窑运行质量带来一定影响；四是公众对危废协同处置的认识度不足。

上述协同处置问题的优化措施：一是采取均质配伍的方式降低污泥组分波动带来的影响，主要方法为建立污泥检测系统，对污泥进行分类贮存和均质配伍，确保入窑组分的稳定性；二是采取水泥窑废气余热干化的手段调节污泥中的含水率，此举可以有效降低污泥预处理时的能耗；三是引入智能控制系统，借助智能控制手段对投加点和投加量及相关燃烧参数进行动态调节，保障窑内工况的稳定性；四是严控有害元素投加量，从根本上避免窑内结皮堵塞的情况；五是做好科普宣传工作，适时公开一些监测数据，提高社会公众对水泥窑协同处置技术的认可度。

5 可行性研究总结

(1) 技术方面：水泥窑长期处于高温状态，可打造碱性环境，且物料在其中长时间停留可有效降解含油污泥中的有机物，并对重金属起到固化封存的作用，在工艺方面的适配度也较高，只需对新型干法水泥窑进行简单改造便可实现协同处置含油污泥的目标；(2) 环保方面：协同处置过程中的污染物排放以及产品质量均满足标准要求，且在处置时不会产生二次污染，整个过程的环境风险可控，具备较好的生态效益；(3) 经济方面：前期投入和后期运行时的成本偏低，通过资源化利用还能获取部分收益，与传统的处置方式相比经济效益明显；(4) 合规性方面：与国家危废处置和环保排放的标准相符，享受相关政策制度的扶持；(5) 推广价值方面：基于已有的水泥生产线能够快速实现模块化处置的目标，满足石化企业和油田企业的含油污泥处置需求，具备一定的推广应用价值。

6 结语

含油污泥的有效处置不仅可以降低其对环境的污染影响，还能实现资源化利用目标，与低碳环保生产理念不谋而合。然而，水泥窑协同处置技术的应用既可减少处置成本，还能避免对周边环境带来不良影响，同时可替代部分煤粉，起到降低水泥生产能耗的重要作用。因此，在今后的含油污泥处置工作中可优先选取水泥窑协同处置技术。特别是在“双碳”战略逐渐推进的形势下，提出了更高标准的环保要求，可在水泥窑协同处置过程中引入多种数智化技术，利用智能控制手段提升含油污泥的处置效率。

参考文献

- [1] 叶锐, 郑婉, 石碧. 含油污泥处理技术研究进展与展望[J]. 石油与天然气化工, 2025(6): 138-145.
- [2] 高鸣, 汤红健, 马志盼, 等. 基于数据驱动的区域污染土壤碳减排关键因素研究——以水泥窑协同处置技术为例[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2025, 55(3): 903-911.
- [3] 王天宇. 水泥窑协同处置技术在江苏某地块中的应用[J]. Hans Journal of Soil Science, 2024, 12(02): 78-82.
- [4] 廖敏劼, 刘理祥, 王晨莹. 广东省污染土壤水泥窑协同处置技术应用研究[J]. 广东化工, 2024, 51(7): 127-131.