

固废协同处置视角下水泥厂工艺优化策略研究

刘尧

天水中材水泥有限责任公司 甘肃 天水 741000

摘要: 固废协同处置为水泥工业资源化利用提供新路径。本文分析固废协同处置与水泥厂工艺在物质转化、能量利用层面的适配性,从原料处理、煅烧、粉磨及尾气处理等环节,探讨现有工艺对固废的兼容性。提出工艺优化核心方向,涵盖原料预处理、煅烧环节、粉磨系统及固废处置与水泥生产的协同优化。给出工艺优化实施路径,包括流程梳理规范、技术适配调整、流程衔接保障。通过系统性优化,实现固废高效处置与水泥生产稳定运行的双重目标,推动水泥工业绿色转型。

关键词: 固废协同处置;水泥厂工艺;工艺优化;资源化利用;绿色转型

引言: 随着固废产生量持续增长,传统处置方式面临资源消耗大、二次污染风险高等问题。水泥工业因其生产过程的高温、碱性环境及多环节物质转化特性,成为固废资源化利用的重要载体。固废协同处置不仅可替代部分天然原料与燃料,降低生产成本,还能通过高温焚毁、碱性固化等机制实现固废无害化处置。然而,固废成分复杂、性质波动大,对水泥厂现有工艺的稳定性与适应性提出挑战。因此,从固废协同处置视角出发,系统分析水泥厂工艺的适配性,提出针对性优化策略,对提升固废处置效率、保障水泥生产质量具有重要意义。

1 固废协同处置与水泥厂工艺的内在关联

1.1 固废协同处置与水泥厂工艺的适配性

固废协同处置与水泥厂工艺的适配性源于二者在物质转化与能量利用层面的天然契合。水泥生产的核心流程涵盖原料处理、煅烧、粉磨及尾气净化,这些环节为固废资源化提供了多维度接入点。原料处理阶段,破碎与筛分设备可兼容建筑垃圾、废旧混凝土等块状固废,通过调整设备参数实现粒径控制;黏土质原料预处理系统对污泥、生物质等软质固废具有良好适应性,通过优化磨机转速与压力,可完成不同含水率物料的均质化处理^[1]。煅烧环节中,水泥窑内高温环境与碱性气氛为固废无害化处置创造理想条件,有机物在分解炉内完全燃烧,重金属在回转窑内固化稳定,形成与水泥熟料矿物相容的稳定化合物。粉磨系统通过设备选型与工艺参数调整,可实现固废掺入后的产品性能调控,立式磨机对物料水分与硬度的宽容度,以及辊压机终粉磨技术对颗粒级配的精准控制,均为固废资源化利用提供了技术支撑。尾气处理环节则通过电除尘、布袋除尘与脱硫脱硝装置的协同作用,实现固废处置过程中颗粒物、酸性气体及氮氧化物的达标排放。

1.2 固废协同处置对水泥厂工艺的影响维度

固废协同处置对水泥厂工艺的影响体现在物质流、能量流与信息流三个维度。物质流层面,固废掺入改变了原料化学组成与物理特性,需通过调整配料方案与均化制度维持生料成分稳定性,例如含硫固废的引入可能改变硫碱比,需优化石灰石与校正原料配比以避免窑内结皮。能量流层面,固废热值差异影响窑系统热平衡,高热值固废可替代部分燃料,降低煤炭消耗;低热值固废则需与煤粉混合使用,通过在线氧浓度监测反馈调节燃烧器参数,确保分解炉温度与火焰形状满足煅烧需求。信息流层面,固废特性数据库的建立与智能控制系统的应用成为关键,通过实时采集固废成分、粒度与水分等参数,可动态优化工艺控制策略,例如根据污泥含水率自动调整磨机液压系统压力,或依据废轮胎热值调节二次风量以稳定燃烧过程。此外,固废处置产生的特征污染物对尾气处理系统提出更高要求,需通过增设活性炭吸附装置、优化脱硫剂喷入量等措施,构建覆盖源头抑制、过程控制与末端治理的全链条污染防控体系。

2 固废协同处置视角下水泥厂现有工艺的适配性分析

2.1 水泥厂原料处理工艺的适配性

水泥厂现有原料处理工艺在固废协同处置中展现出良好的兼容性。传统原料制备系统包含的破碎、筛分、均化等环节,与固废预处理需求形成自然衔接^[2]。建筑垃圾、废旧混凝土等块状固废经颚式破碎机初步破碎后,可通过反击式破碎机进行二次整形,使粒径分布满足生料配料要求。黏土质原料处理常用的辊式磨机,对污泥、生物质等软质固废具有天然适应性,通过调节磨辊压力与转速,可实现不同含水率物料连续粉磨。原料均化库的存储与混合功能,为固废与天然原料的成分调和提供了缓冲空间,通过优化取料机行走轨迹与堆料层数,可

有效平滑固废掺量波动对生料化学成分的影响。值得注意的是,染料污泥等含有机杂质的固废需增设磁选与风选装置,以避免金属与轻质杂质影响后续工艺稳定性。

2.2 水泥厂煅烧工艺的适配性

水泥窑系统的高温环境与长停留时间特性,为固废无害化处置创造了理想条件。分解炉内850℃以上的温度区间,既能满足有机物完全燃烧需求,又可抑制二噁英类物质生成,对含有机成分的固废具有显著处理优势。回转窑内1450℃以上高温与碱性环境,可实现重金属的固化与稳定化,通过调整燃烧器喷口角度与二次风比例,可优化火焰形状以延长固废在高温区停留时间。当掺入低热值固废时,需与煤粉混合使用以维持窑内热工制度稳定,通过在线氧浓度分析仪反馈调节燃料投加量,可确保分解炉出口氧气含量处于适宜范围。针对含硫固废,需控制原料中硫碱比以避免窑内结皮,或通过增设硫捕捉装置减少硫循环积累对工艺的影响。

2.3 水泥厂粉磨工艺的适配性

粉磨系统对固废掺入的适应性体现在设备选型与工艺参数的协同调整。立式磨机在生料粉磨环节表现出对物料水分与硬度的良好宽容度,可处理含水率较高的混合原料,通过调节磨盘转速与液压系统压力,可补偿固废掺入导致的易磨性变化。球磨机系统需增设烘干仓以应对高水分固废,同时优化钢球级配与填充率,可维持粉磨效率稳定。在水泥粉磨阶段,辊压机终粉磨技术对固废掺入具有更好适应性,通过调整辊压间隙与分级机转速,可精准控制水泥比表面积,满足强度发展需求。对于粉煤灰等细颗粒含量较高的固废,需通过添加助磨剂改善颗粒分散性,以避免粉磨效率下降。

2.4 水泥厂尾气处理工艺的适配性

现有尾气处理系统需针对固废处置产生的特征污染物进行功能强化。电除尘器与布袋除尘器的组合工艺对颗粒物具有高效去除能力,但需定期检查布袋材质耐腐蚀性,以应对含氯固废焚烧产生的酸性气体侵蚀。半干法脱硫系统通过优化石灰乳喷入量与反应塔温度,可实现二氧化硫的高效脱除。针对氮氧化物控制,选择性非催化还原技术需根据固废燃烧特性调整氨水喷入位置,以确保分解炉出口氮氧化物浓度达标。对于二噁英类物质,需通过控制分解炉温度与烟气停留时间实现源头抑制,同时增设活性炭吸附装置作为二级保障措施,形成完整的污染物控制链条。

3 固废协同处置视角下水泥厂工艺优化的核心方向

3.1 原料预处理工艺优化

在固废协同处置背景下,原料预处理工艺优化需聚

焦于固废特性分析与预处理技术升级。不同固废成分波动范围大,物理性质差异显著,需建立固废成分快速检测体系,利用近红外光谱、X射线荧光分析等技术,实现固废成分实时监测与动态配比^[3]。针对高水分固废,开发低温干燥与热能回收一体化装置,通过余热利用降低能耗;对硬度较高的固废,采用高压辊磨与筛分分级技术,提高破碎效率与粒度均匀性。预均化工艺需向智能化方向发展,构建三维物料分布模型,通过智能取料系统实现固废与天然原料的精准混合,减少成分波动对生料质量的影响。

3.2 煅烧环节工艺优化

煅烧系统优化需聚焦燃烧效率与污染物控制的双重目标。针对低热值固废,分级燃烧技术可提升燃烧稳定性,通过在分解炉不同高度设置燃料喷入口,形成温度梯度场,延长固废在高温区停留时间至3秒以上,确保有机物完全分解。燃烧器改造采用低氮设计,通过优化旋流强度与空气分级比例,降低火焰峰值温度,抑制热力型氮氧化物生成。针对含硫固废,在回转窑尾部增设硫捕捉装置,利用氧化钙在高温下与二氧化硫反应生成硫酸钙的特性,实现硫元素固化。煅烧过程监控需强化数据驱动,通过在分解炉、回转窑关键部位布置温度、压力、气体成分传感器,构建实时反馈控制系统,动态调整燃料投加量与一次风比例,维持燃烧工况稳定性。

3.3 粉磨系统工艺优化

粉磨工艺优化需平衡能效提升与产品质量保障。生料粉磨阶段,采用辊压机终粉磨系统替代传统球磨机,可显著降低电耗,同时通过调整辊压间隙与分级机转速,控制生料比表面积在合适范围,满足煅烧反应动力学要求。针对固废掺入导致的物料易磨性变化,开发复合型助磨剂,通过引入三乙醇胺与木质素磺酸盐的协同作用,改善颗粒表面电荷分布,减少粉磨过程中的团聚现象。熟料粉磨环节需优化选粉机结构,采用动态涡流选粉技术,提高细粉收集效率,确保水泥成品比表面积稳定在合适数值左右,同时控制颗粒级配分布,提升水泥强度发展速率。

3.4 固废处置与水泥生产工艺的协同优化

协同优化需构建物质-能量-信息三重耦合机制。物质循环层面,建立固废成分数据库,通过线性规划算法优化配料方案,实现钙、硅、铝等元素的精准匹配,例如利用钢渣中的氧化钙替代30%石灰石,用粉煤灰中的氧化硅补充黏土用量。能量利用层面,开发余热梯级利用系统,将窑头熟料冷却废气(温度约350℃)用于固废干燥,窑尾预热器废气(温度约220℃)驱动溴化锂制冷机

组,为控制室提供冷源,形成能量闭环^[4]。信息交互层面,部署工业互联网平台,整合原料检测、生产监控、质量分析等模块数据,通过机器学习算法预测固废掺入对工艺参数的影响,提前调整控制策略,实现从被动响应到主动优化的转变。

4 固废协同处置视角下水泥厂工艺优化的实施路径

4.1 工艺优化的流程梳理与规范

工艺优化的首要任务是构建覆盖全流程的标准化操作框架。需从原料接收环节开始,针对不同类型固废的物理化学特性制定差异化预处理规范。例如,高含水率污泥需通过间接热力干燥将水分降至合理范围,而粒径较大的建筑垃圾则需经过多级破碎与筛分实现粒度均一化。生料制备阶段应建立基于化学成分的动态配料模型,通过实时监测固废与天然原料的钙硅比、铝铁比等关键参数,自动调整各组份投加比例,确保生料化学成分稳定性。煅烧过程需细化温度控制标准,分解炉温度波动范围应控制在 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内,以保障熟料矿物相均匀形成。熟料冷却环节需优化篦冷机风量分配,通过分段调节高压风与中压风比例,实现熟料急冷与余热回收的双重目标。

4.2 工艺优化的技术适配与调整

技术适配需聚焦关键设备改造与工艺参数优化。燃烧器改造是提升固废燃烧效率的核心环节,可通过采用多通道燃烧器设计,实现煤粉与固废的分层喷射与梯度燃烧,强化火焰湍流强度以促进低热值固废完全燃烧。分解炉结构优化需考虑固废投加点的合理布局,在分解炉锥部增设侧向投料口,可延长固废在高温区的停留时间,确保有机物充分分解。针对重金属固化需求,可在回转窑尾部增设矿化剂喷入装置,通过添加磷酸盐或硫化物促进重金属向稳定矿物相转化。余热利用系统升级应采用梯级利用策略,高温段余热优先用于固废干燥,中温段余热驱动汽轮机发电,低温段余热通过热泵技术提升温度后用于厂区供暖,形成能量闭环。

4.3 工艺优化的流程衔接与保障

流程衔接需构建跨环节的协同控制机制。原料预处理

与生料制备环节应建立物料缓冲系统,通过设置中间仓平衡固废处理量与生料消耗量的波动,避免因固废供应中断导致生产停滞。煅烧系统与废气处理环节需强化数据交互,将分解炉出口烟气成分(如 O_2 、 CO 、 NO_x 浓度)实时反馈至燃烧控制系统,动态调整燃烧器参数与SNCR脱硝剂喷入量。质量监控体系应贯穿全流程,在原料库、生料均化库、熟料库等关键节点设置在线分析仪,对化学成分、粒度分布等指标进行连续监测,数据异常时自动触发预警并启动调整程序^[5]。人员能力建设是保障流程稳定运行的基础,需定期组织操作人员参与固废处置专项培训,重点掌握多源固废特性识别、设备异常处理、应急预案执行等技能,形成标准化操作与灵活性应对相结合的生产模式。

结束语

固废协同处置视角下水泥厂工艺优化是推动行业绿色发展的关键举措。通过原料预处理、煅烧环节、粉磨系统及全流程协同优化,可有效提升固废掺入比例与处置效率,同时保障水泥产品质量与生产稳定性。实施路径中,流程梳理规范、技术适配调整与流程衔接保障的有机结合,为工艺优化提供了可操作的框架。系统性工艺优化不仅能实现固废的资源化利用,还能降低水泥生产对天然资源的依赖,减少污染物排放,为水泥工业可持续发展提供技术支撑。

参考文献

- [1]于健.水泥厂球磨机电气及自动化设计缺陷及优化方式深入探讨[J].科技资讯,2025,23(19):88-90.
- [2]杨勇.水泥厂斗式提升机的优化改造[J].新世纪水泥导报,2023,29(2):67-69.
- [3]于洁.水泥厂原料配料库的工艺优化设计[J].精品,2021(13):238.
- [4]王阳,段林.水泥厂原料喂料系统的优化研究[J].水泥,2025(7):46-49.
- [5]郭鹏祥.水泥熟料烧成中的节能工艺研究[J].建筑·建材·装饰,2022(11):7-9.