

转底炉处理复杂混杂固废存在的瓶颈与技术突破方向探究

朱军

江苏永钢集团有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i5.3206

[摘要] 针对复杂混杂工业固废资源化率不高和无害化处理难的行业痛点,本文以转底炉技术为例研究了复杂混杂固废转底炉处理的应用现状,并结合生产实践测量分析了其工艺限制。研究表明,复杂的固废成分、炉内传热和传质控制差以及难以提纯副产品、较高的能耗是主要的制约因素,在正常条件下只能达到75%~82%的金属化率。本文针对原料准备、炉内控制、固体废物分类和节能低碳四个方面指出了工艺改进的方向,可以使得处理金属化率达到85%以上,锌脱除率提高到95%。本文旨在为有效处理复杂混杂工业固体废弃物和丰富完善工业固体废物资源化的技术体系提供有益的技术参考。

[关键词] 转底炉; 复杂混杂固废; 固废资源化; 冶炼废渣; 工艺优化

中图分类号: F113.3 文献标识码: A

Study on the Bottleneck and Technical Breakthrough Direction of Complex Mixed Solid Waste Treatment in Rotary Bottom Furnace

Jun Zhu

Jiangsu Yonggang Group Co., Ltd.

[Abstract] Aiming at the industry pain points of low recycling rate and difficulty in harmless treatment of complex mixed industrial solid wastes, this paper takes rotary bottom furnace technology as an example to study the application status of rotary bottom furnace treatment of complex mixed solid wastes, and combined with production practice measurement and analysis of its process limitation. The research shows that complex solid waste composition, poor control of heat and mass transfer in furnace, difficulty in purifying by-products and high energy consumption are the main constraints, and the metallization rate can only reach 75%~82% under normal conditions. This paper points out the direction of process improvement in four aspects: raw material preparation, furnace control, solid waste classification, energy saving and low carbon, which can make the metallization rate of treatment reach more than 85% and the zinc removal rate increase to 95%. The purpose of this paper is to provide useful technical reference for effective treatment of complex and mixed industrial solid waste and enriching and perfecting the technical system of industrial solid waste recycling.

[Key words] Rotary bottom furnace; Complex mixed solid waste; Solid waste recycling; Smelting waste residue; Process optimization

引言

含铁尘泥、冶金废渣、重金属尾渣等复杂混杂工业固废因成分凌乱、重金属富集且性状不稳定,传统的填埋和堆存处理极易造成资源浪费及环境问题。转底炉以其原料适应能力强、还原路径短的特点成为目前混杂固废无害化和资源化处理工艺的主流。目前该工艺实际生产过程中因受混杂特性影响而存在稳定性差、资源回收率低等问题。结合工业化生产参数对转底炉处理混杂固废存在的技术障碍予以系统分析,明确提出了针对性的技术突破,并促进了工业固体废物得到低碳高效处理。

1 转底炉处理复杂混杂固废工艺概况

1.1 工艺基本原理

通过独特的动态回转炉底,将整个反应过程稳定可控地实现于其匀速、低速转动的炉底上,并带动炉料平稳前进,具有很好的稳定性。生产中使用焦炭、焦粉等固体炭作为还原剂,无需配入高纯度助熔剂,在1100~1350℃范围内对复杂混合固废压制球团进行直接还原,不采取高炉及熔炼炉高温熔炼方式。在高温密闭环境下,使固废中的高价铁氧化物逐渐发生逐级还原反应生成单质金属铁。而其中的锌、铅等沸点较低且挥发性强的重金属迅速汽化为金属蒸汽进入烟气系统,经过除尘、冷凝及富

集处理回收制成金属副产品。残留难以分解的硅铝酸盐成分得到惰性化处理,呈高温致密固化状态存在,不存在二次溶出问题。整个过程不需要经过高温冶炼,在一定温度区间内均可实施,容错能力很大,可适用于成分变化极大、种类十分复杂的多类别的混杂工业固废,物料适应能力远强于传统的烧结、回转窑火法工艺。

表1 转底炉处置混杂固废工艺参数对比表

工艺参数	常规工况数值	优化后工况数值
炉内温度/℃	1220~1280	1250~1320
物料停留时间/min	35~45	40~50
金属化率/%	75~82	≥85
锌脱除率/%	83~88	≥95
吨球团能耗/(kgce)	278.56	203.11

1. 2技术应用优势

与竖炉、回转窑等其他固废火法处理装置相比,转底炉的最大特点就是包容性强,对含有钙、碱金属和重金属杂质的复杂混杂固体废弃物适应能力极强,能够实现含铁尘泥和电镀重金属废渣以及冶金尾渣等多种类固体废弃物耦合处理,无需精细筛分单料^[1]。在生产过程中,物料以层铺的形式存在于炉底表面,其厚度分布均匀,且各料块之间没有挤压和高温黏结现象发生,还原环境十分稳定,避免了因结圈和堵料而造成的回转窑和竖炉事故。可以同时实现对有价锌、铅等重金属的富集回收并还原出铁单质,实现固废中有价值金属的协同化回收利用。高温下还原固化处理,实现了固体废弃物的减容处理,体积可缩减60%以上,极大降低堆存占地问题,并产生相应的经济效益,具有较好的工业应用前景及行业推广价值。

2 转底炉处理复杂混杂固废核心瓶颈

2. 1原料预处理体系不完善

复杂混杂固废来源于冶金尘泥、化工尾渣、电镀固体废弃物等不同物料,物料的物理化学特性迥异且物料组成极其不规律。在混合物料中普遍存在钙、硅、碱金属等无益杂质明显富集且变动系数较大,有的混合料中其游离氧化钙甚至可高达8%以上,这些高活性的碱性有害物质在高温状态下极易形成低熔点硅酸盐化合物,严重影响冶炼作业^[2]。目前大多数生产线的预处理工艺技术十分粗放,仅实施了简单的破碎和物理混料,未采取除杂、活化和均质化等处理措施。不能有效消纳其中的碱性有害杂质,使有害杂质持续性积累致使成型后生球团结构疏松,强度普遍达不到入炉的要求,在高温条件下很容易被破坏,入炉后球团破损率长期徘徊在5%~9%。另外由于混杂物料筛分粒度较差,其料度差距很大,并有大量粗颗粒及细颗粒相混叠堆积,导致生产时碳铁配比不易准确量化并加以调节,还原剂不易分

布均匀,影响到炉内固-固还原反应速率,造成成品金属化率震荡幅度偏大,影响生产稳定性。

2. 2炉内反应调控精度不足

转底炉作为间歇式的高温热工设备,存在着辐射换热、对流换热和传导换热的综合复杂作用,形成了一个极其复杂的传质和传热过程,从而构成了温度场、气流场和浓度场相互联系的综合反应场,至今在业内还没有形成较成熟和准确的联动智能化控制模型。由于转底炉的结构特点,以及烧嘴的布局,还有物料铺料层的影响,在通常情况下转底炉横向和纵向的温差达60℃~80℃,存在局部高温点,大于1350℃,使球团表面产生软化熔融现象,导致结壳粘料现象;低温区段热量不足还原条件欠缺,铁氧化物不能得到充分的还原。而炉内烟气通道固定不变,流动紊乱无序,挥发性重金属元素很难随着烟气及时地排除并存在挥发速率大小不一、富集、残留等现象,从而使出炉物料中含锌量较大,在常规条件下脱锌率小于88%,严重地影响了重金属资源回收利用率低,固废综合利用附加值不高^[3]。

2. 3副产品提纯及废渣处置短板

混杂固废含有较多的重金属杂质,如锌、铅、镉等,在高温气化过程中其他金属氧化物同时被气化进烟气,各种物质混合在一起,冷凝成粉尘,使从烟气回收出来的粗制氧化锌粉杂质高、品位低,用普通法生产的氧化锌粉品位为52%~57%,其杂质主要为氧化铅、二氧化硅和碱金属盐,不能满足化工冶炼业深加工的要求,只能卖低端价,经济效益差。还原反应后的残余炉渣内碱金属高度富集,重金属离子活性大,常规堆放容易随雨水浸析扩散,浸出毒性大,对土壤与地下水产生污染的危险。现有烟气净化系统陈旧,黏性大的高温烟尘极易黏结堵塞在管道和除尘器内壁上,设备经常停车清灰,作业率每年大约82%,设备使用维护复杂、材料损耗严重,长时间运行生产成本很高^[4]。

2. 4能耗管控与环保压力突出

转底炉长周期的高温连续性运行导致热量以热辐射、烟气尾气带走热量及物料蓄热的形式流失,其中以转底炉壁面散热量占总能耗的21%。大多数企业采用保温层破损严重的传统转底炉,并配之耐火绝热材料性能降低和传统的空气助燃燃烧技术,燃料不完全燃烧且燃料利用率低下,导致金属化球团吨综合能耗高达278.56kgce,能源成本占生产总成本的比例过高^[5]。另外,含氯元素及有机杂质等复杂混合固废在高温裂解燃烧过程中会产生二噁英类有害气体以及硫化物和氮氧化物等有毒气体,尾气成分复杂且处理难度大。常规的尾气净化设施仅采用单一的净化工艺对复合型有害气体净化效果不佳,为达到尾气排放标准要求需不断地耗费药剂、人力和设备维护费用,环保治理成本不断升高,这种高耗能、高污染的生产模式不利于当今工业低碳生产管控及绿色发展理念。

3 转底炉技术优化突破方向

3. 1构建精细化原料预处理工艺

为了克服混杂固废杂质繁多、成型品质差等不足,通过构建一体化精细化原料预处理工艺体系,优化简单加工工艺流程,创

新设置水洗除碱工艺、机械活化工序及均质混合工序。利用湿法消解原理对固废进行水洗脱碱处理,溶出固废中自由氧化钙、自由氧化钠等有害杂质的含量,将有害杂质总和控制在3%以下,杜绝产生高温结渣问题;增加多级筛分装置科学地控制物料粒度,除去过大结块物料,使原料粒度控制在0.08~0.15mm之间,使物料粒度保持一致;摒弃传统的单一对黏结剂,采用改性淀粉复合黏结剂,并调整成型压力与保湿时间,提高生球团的抗压强度在12N以上,改善了球团热稳定性,可使其入炉破损率降低至2%以下。根据成分检验结果,智能化控制碳铁摩尔比为1.2:1,确保有充分的还原剂且不过量,为还原反应创造合适的条件,使之能顺利有效地进行。

3.2 优化炉内反应调控系统

利用计算流体力学仿真,模拟气流流动、热传递、物质反应,建立一个较精确的炉内传热传质多物理场耦合数学模型,可视化控制温度场、气体流动、浓度场。改变烧嘴的分布形式,采用分段低温预热、中温还原和高温富集的温控方案,合理划分升温段、还原段、冷却段,保证整体炉内温差在25℃以下,获得最佳还原温度1250~1320℃的范围,在确保铁还原的前提下满足重金属气化的热力学要求。改造内部烟道导流板形式,改善烟道流通面积及气体流速,引导重金属烟道排出,实现锌和铅金属气化效果提高明显,锌脱除率可达95%以上。改善炉体密封结构形式,利用高温填充物填充炉体缝隙,减少外界冷空气渗入及避免因高温烟道逸出造成热量损失,全方位提升炉内热利用率。

3.3 升级副产品提纯与固废处置技术

针对副产品质量差、废渣污染严重及设备堵塞等问题,综合提升副产品提纯及固废联合处理技术。烟道末端设计重力+高温布袋+酸洗提纯分级除尘提纯工艺,通过多级筛除较大粒径粉尘、惰性物质和搭配酸性溶液浸出提纯,除去铅、钙、硅伴生元素提高氧化锌粉品位至60wt%以上,使之成为工业深加工原料,大幅提高副产品的附加值;对高温还原后固态残渣添加复合硅基固化剂,采用调质+化学螯合稳定技术固化炉渣内部重金属元素,经过无害化处理的残渣其浸出毒性严格低于国家规定的工业固废标准要求,可进行透水砖制备等二次利用,实现废渣资源转化。烟道管道改型为弧形管道,并配套脉冲式自清灰装置,将管道内的黏性烟尘进行实时消除,解决了设备的堵塞难题,使得设备利用率提高至90%以上,有效降低了设备维护损耗和人工成本。

3.4 节能降碳与环保工艺优化

为了达到节能和减少碳排放及清洁生产的目的,全方位改善了燃烧制度、回收热能、保温材料以及尾气处理系统。以富氧取代空气助燃,将富氧浓度控制在25%~28%,提高了燃料的充分燃烧,使火焰温度升高,热量利用效果提高;采用炉内高温烟气回收装置,提取了炉内的高温可燃挥发性物质,经脱硫净化处理后作为二次燃料使用,可节省20%以上天然气消耗量。采用新型纤维耐高温隔热防火材料,增加保温层厚度,改进密闭及保温结构,使炉壁的热耗低于12%以下,使吨球团耗能降低至203.11kgce以下,综合节能率可达27%。尾气处理配套建立了脱硫脱硝、活性炭吸附、低温脱除二噁英一体化的尾气净化设施,对有毒气体分阶段进行脱硫脱硝、有毒有机物的吸收处理,各种有毒气体的净化率大于99%,实现了转底炉处理混杂固废的低能耗、少污染、清洁化生产的目的。

4 结论与展望

总之,粗放预处理、低精度的炉内控制、难提纯副产物、高能耗是目前采用转底炉处置复杂混杂固废工艺的技术痛点。精细化预处理工艺、炉内多场调控技术、副产品提纯改造措施及节能环保改造举措可以明显地优化生产指标。改造后金属化率和锌脱除率大幅度升高,而能源消耗却降低较多,综合效益有了较大提升。未来应重点考虑智能化和多固废协同/耦合处置,构建数字化监控平台。实现高杂质复杂性固废资源化难题的解决。不断改良低成本改性材料,并完善全量利用的工艺路线,使转底炉工艺朝低碳、智能、高效发展,为工业混杂废弃物无害化处理与再循环利用提供技术支撑。

[参考文献]

- [1]李磊.转底炉球团在储运中升温规律及钝化处理实验研究[D].安徽工业大学,2022.
- [2]赵昕力.转底炉还原含铁尘泥系统的能量预测与配料优化[D].东北大学,2022.
- [3]郑占一.转底炉内含铁尘泥还原过程传热传质模拟研究[D].东北大学,2021.
- [4]徐健祥.厚料层转底炉含铁尘泥直接还原模拟研究[D].东北大学,2021.
- [5]李钰.转底炉处理冶金含铁固废系统的能量分析及优化[D].东北大学,2020.

作者简介:

朱军(1984—),男,汉族,江苏苏州人,本科,中级工程师,研究方向:环境工程。