

节能减排

回转窑焚烧与侧吹炉熔炼协同处理危险废物的工艺研究

雷日华¹ 王恒辉² 陈萃² 周晓源²

(1. 韶关东江环保再生资源发展有限公司, 广东 韶关 512600;

2. 长沙有色冶金设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410019)

[摘要] 本文针对回转窑焚烧危废二次污染的成因进行分析,提出“回转窑焚烧+侧吹炉熔炼”协同处理危废的工艺方案,以消除回转窑焚烧工艺产生的二次污染,并对此治理方案的环保、投资及经济效益进行了研究。研究表明,焚烧危废二次污染的主要成因是危险废物的成分复杂,回转窑焚烧操作温度较低,无法达到部分熔点较高的物料玻璃化需要的温度。采用“回转窑焚烧+侧吹炉熔炼”工艺处理危废,产出的熔渣已被玻璃化,属于一般固废,其中的有害元素被固化在玻璃体内,在自然环境中不会渗漏,有效解决了回转窑焚烧危废二次污染的问题,在回转窑焚烧系统配置的基础上追加约10%投资,即可获得较好的环境效益和经济效益。

[关键词] 回转窑焚烧;富氧侧吹炉熔炼;危险废物处理;二次污染;玻璃化;重金属

[中图分类号] X705 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-5122(2022)02-0018-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.02.005

0 前言

回转窑焚烧工艺是目前处理危险废物广泛使用的环保工程工艺^[1-6]。据不完全统计,国内采用该工艺已建成投产的企业有数十家之多。此工艺主要针对石油、化工、制药、医疗、冶炼等行业的有机类危险废物,具有机械化程度高、维护及操作简单、建设投资相对经济等优点;不足之处是焚烧过程产出的焚烧渣和烟尘仍属于危险废物,需要进一步处理,即采用回转窑焚烧工艺处理有机类危险废物不能一次

性处理到位,会留下环境隐患。如何对回转窑焚烧危险废物的工艺进行补充与完善,治理其过程产出的二次污染物是新建和已在使用回转窑焚烧工艺处理危险废物的企业所必须面对的问题。

1 焚烧危废二次污染成因

可采用回转窑焚烧工艺处理的危险废物种类繁多,一般包括医疗废物、农药废物、有机溶剂废物、氰化物废物、含有机卤化物废物、废催化剂等。这些危险废物的特点是含有机物、氟、氯等气化挥发物量较大,因此,危险废物在焚烧过程中产出的焚烧渣和烟尘量相对较少。

某危废处理企业采用回转窑焚烧工艺(图1),危废物料处理量为100 t/d。

入窑危废物料成分分析结果见表1;焚烧窑产出的固废和烟气产生情况见表2;对窑渣和烟尘分别进行了XRF荧光成分分析,结果见表3和表4。

对比表1和表3、表4可知,焚烧后产生的窑渣和烟尘中氧含量明显升高,这表明在危险废物中,绝

[收稿日期] 2021-12-21

[作者简介] 雷日华(1965—),男,高级工程师,主要从事有色金属冶炼研究工作。

[通讯作者] 王恒辉(1989—),男,博士后,高级工程师,主要从事有色金属绿色高效提取及固废资源化无害化处置研发和设计工作。

[引用格式] 雷日华,王恒辉,陈萃,等.回转窑焚烧与侧吹炉熔炼协同处理危险废物的工艺研究[J].有色冶金节能,2022,38(2):18-22.

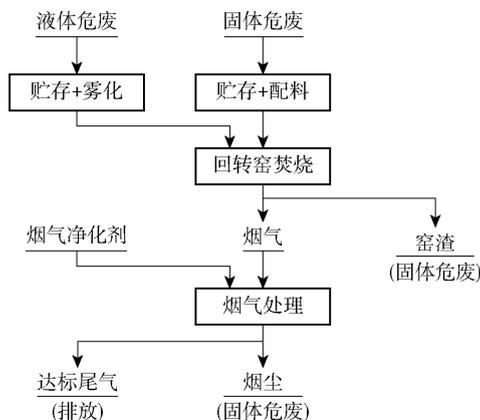


图1 回转窑焚烧工艺流程

大部分有害物质经过高温焚烧后已转化为氧化物。这些氧化物并未得到完全的玻璃化解毒,这可能是由于危险废物的成分复杂,回转窑焚烧操作温度较低,无法达到部分熔点较高物料玻璃化需要的温度,导致这部分危险废物无法熔融形成满足一般固废要求的玻璃体。此外,进入窑内的部分危废因颗粒细小,被直接抽入烟气收尘系统,没有得到解毒。因此,回转窑焚烧后的窑渣和烟尘所含的有害元素在自然界中仍有渗出的可能,虽然回转窑焚烧能够起到危废减量化的作用,但仍改变不了需要按危废标准对回转窑焚烧危废进行填埋处理的现状。

表1 某企业危废处理项目焚烧窑入窑危废物料成分分析

组分	C	H	O	N	S	Cl	F	H ₂ O	灰分
含量/%	38.70	3.03	10.94	1.27	2.00	3.00	0.80	20.79	20.10

表2 某企业危废处理项目焚烧窑固废及烟气产生情况

类别	产生量/ t·a ⁻¹	产生工序及装置	主要成分	可能的有害成分	治理措施
炉渣	3 247.2	焚烧窑	焚烧残渣	铅、铬、汞、镉、砷、镍等	危废减量、填埋
烟尘灰	1 952.78	余热锅炉、布袋除尘器	含有重金属的颗粒物	铅、铬、汞、镉、砷、镍等	
烟气/Nm ³ ·h ⁻¹	51 270	焚烧窑烟气	颗粒物、酸性气体、 重金属、有机物等	SO ₂ 、HF、HCl、NO _x 、 二噁英等	

表3 焚烧渣 XRF 成分分析

元素	O	Si	Al	Fe	Ca	Na	S	Cl	K	Ba	Ti
含量/%	29.2	14.84	5.27	4.33	3.94	1.89	1.31	0.72	0.71	0.69	0.67
元素	Zn	Mg	P	Cu	Mn	Cr	Pb	Ni	Sr	Zr	
含量/%	0.61	0.51	0.37	0.15	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	

表4 焚烧飞灰的 XRF 成分分析

元素	O	Ca	Cl	Na	S	Zn	F	Fe	K	Si	Pb
含量/%	23.8	15.06	13.44	12.24	9.99	6.39	3.53	2.58	2.18	1.65	0.96
元素	Al	Ti	Mg	P	Cu	Ba	Sn	Bi	Br	Mo	Sr
含量/%	0.88	0.55	0.53	0.39	0.32	0.29	0.26	0.17	0.09	0.04	0.03
元素	Mn	Cr	Ni	As	Cd	Se	Ge				
含量/%	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01				

2 二次污染治理

2.1 侧吹炉熔炼工艺

在高温处理危废物料的过程中配入相应的硅钙物质并使其熔融,使产生的固相熔炼渣形成玻璃体

是避免回转窑焚烧危废工艺产生二次污染的方法之一,即熔炼技术的运用是解决回转窑焚烧二次污染的有效途径。但是在焚烧过程中直接配入硅钙物质,使其与危废物料一起在回转窑内熔融,势必会形成结窑,最终导致死窑停车。因此,处理回转窑焚烧

二次污染的熔炼技术,难以在回转窑焚烧过程中实现,应当引入其他设备来实现对回转窑产出的二次污染物进行熔炼处置。

最常见的物料高温熔炼设备是熔炼炉。熔炼炉样式繁多,其中较为适合处理回转窑焚烧二次污染物的是近年来在有色冶金领域广泛应用的侧吹炉。

侧吹炉主要由炉缸、熔炼室、炉顶、渣口、风口、进料口、烟道等部件组成,其结构示意图如图 2 所示。它是实现侧吹熔炼技术的关键设备,具有如下的优点:

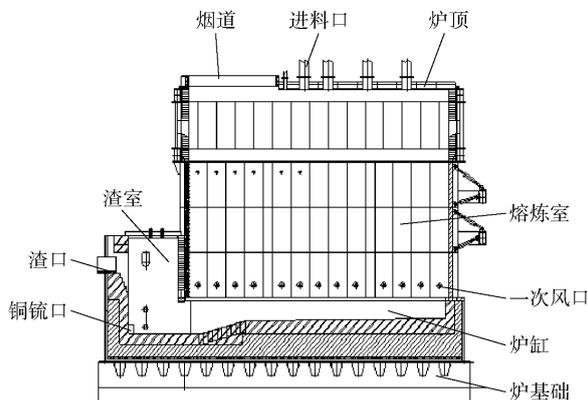


图 2 侧吹炉结构示意图

- 1) 备料简单,对入炉料水分和粒度没有严格的要求。
- 2) 熔炼强度大,可采用富氧强化熔池熔炼。
- 3) 炉子结构简单,寿命长。
- 4) 炉子密封性好,现场工作环境比较好。
- 5) 燃料适应性广,可采用固体燃料,也可采用气体和液体燃料。

据有关文献报道^[7-11],侧吹熔炼技术中的富氧侧吹熔池熔炼技术目前已在液态铅渣还原、废铅酸蓄电池铅膏、锌浸渣、铜精矿等固体废物和有价值金属

回收等领域实现了工业化应用,对有色金属冶炼、节能环保等领域的技术进步起到了重要的推进作用。

2.2 治理方案

将回转窑焚烧系统和富氧侧吹炉熔池熔炼系统有机结合,是治理回转窑焚烧所产危废的理想工艺方案,可使回转窑焚烧产出的二次污染物熔融形成玻璃体相,进而使其中的有害元素被玻璃体固化,无法渗出,从而使回转窑焚烧产出的二次污染物转变为一般固废。“回转窑焚烧 + 侧吹炉熔炼”工艺流程如图 3 所示。

回转窑焚烧烟尘中残留的有机物于侧吹炉内高温分解气化,生成的可燃气体再与由侧吹炉熔池两端喷嘴鼓入的富氧发生燃烧反应,最终生成 CO₂、H₂O、HCl、HF 等气体,焚烧渣与硅钙物质在侧吹炉高温下反应生成性质稳定、浸出毒性非常低的玻璃体。若回转窑焚烧烟尘和焚烧渣中铜、铅、锌等重金属含量较高,可通过炉料配比和反应气氛调节,以铜硫、氧化物烟尘等形式实现铜、铅、锌等有价元素的回收富集,同时大幅降低玻璃体中重金属含量。

因此,“回转窑焚烧 + 侧吹炉熔炼”工艺与单独的“回转窑焚烧”工艺相比,回转窑焚烧产生的烟尘和侧吹炉产生的烟尘都可进入熔炼炉熔融,侧吹炉产出的烟尘自行循环不外排,产出的熔炼渣是被玻璃化的一般固废,达到了消除二次污染的目的。

在实施回转窑焚烧 + 侧吹炉富氧熔池熔炼系统的工业化配置时,根据企业的建设条件,通常可采用如下两套建设方案:

1) 回转窑的出料端与侧吹炉的进料端直接连接配置。这种配置的优点是回转窑和侧吹炉共用一套烟气收尘净化系统,可最大程度地节约能源和部分投资;不利之处是现场的操作空间可能受限。

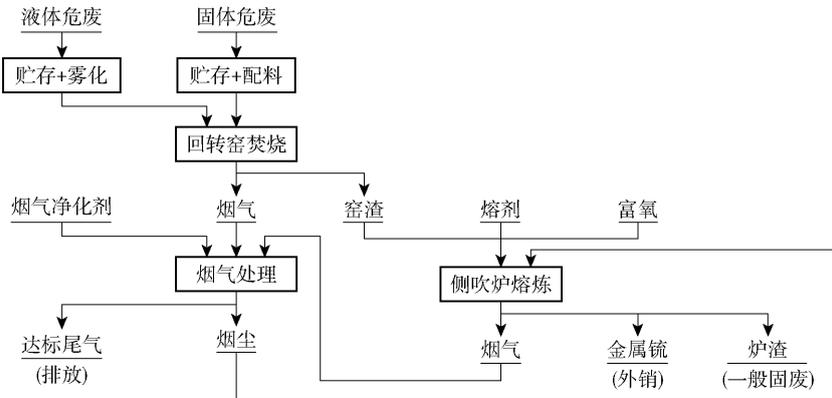


图 3 回转窑焚烧 + 侧吹炉熔炼工艺流程图

2) 回转窑和侧吹炉分别配置, 将回转窑产出的窑渣先放出冷却, 然后运往侧吹炉工序参与配料, 最后送入熔炼炉熔炼。这种配置的优点是现场操作空间较大; 不利之处是回转窑产出的窑渣冷却后再送入熔炼炉熔炼, 其热能没有得到有效的利用。

从节省投资和节约能源的角度出发, 第一套方案明显要优于第二套方案, 它通常是新建工程所采用的建设方案; 对于在已有回转窑焚烧系统基础上进行技术改造的工程, 第二套方案可能更有优势, 因为在已建回转窑焚烧系统基础上进行回转窑的出料端与侧吹炉的进料端直接连接配置的技术改造, 不仅工程量过大, 而且可能存在安全隐患。总之, “回转窑焚烧 + 侧吹炉熔炼” 的建设方案应因地制宜来实施。

3 治理效果

3.1 环保

采用“回转窑焚烧 + 侧吹炉熔炼”技术处理危废, 基本无烟尘外排, 产出的熔渣已被玻璃化, 属于一般固废, 其中的有害元素被固化在玻璃体内, 在自然环境中不会渗漏, 基本消除了回转窑焚烧处理危废过程产生的二次污染。

3.2 投资

项目的投资与项目的规模有关。以某企业所建设的危险废物综合利用及处理项目为例, 其回转窑焚烧危废的处理能力为 100 t/d, 投资(包括其配套设施)在 1 亿元以上。若在此基础上进行“回转窑焚烧 + 侧吹炉熔炼”的技术改造, 新增加的侧吹炉熔炼系统含有与回转窑配套的相关设施, 投资可控制在 1 000 万元以下, 即新增投资 10% 左右。

3.3 经济效益分析

1) 回转窑焚烧危废所产出的窑渣和烟尘是二次污染物, 若不自行处理, 则需要交由其他企业治理, 按现行政策需要支付一定费用, 而自行投资建设或进行技术改造则无需对外支付费用, 从而增加经济效益。

2) 焚烧产生的二次污染物经熔炼后所得的熔渣为玻璃体态产物, 经过《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB5085.3—2007) 鉴别后, 不属于危险废物, 可作为水泥等建筑材料的添加剂, 也可作为铺路的基材, 为企业带来一定的经济效益。

3) 在二次污染物的熔炼过程, 其有价元素富

集, 可能产出有经济价值的产品(如铜铕等), 也可外销到相关企业, 从而产生一定的经济效益。

4) 对熔炼过程产生的高温烟气进行余热回收产出蒸汽, 也能为企业带来一定的经济效益。

4 结束语

回转窑焚烧能够起到危废减量化的作用, 但回转窑中物料受热并不充分, 无法全部熔融形成满足一般固废要求的玻璃体相, 因此回转窑焚烧产物仍为危险废物, 需要按危险废物标准进行填埋处理。

回转窑焚烧与侧吹炉熔炼系统协同处理危险废物的工艺是回转窑焚烧危险废物工艺的新方向, 仅需在回转窑焚烧实施投资的基础上追加约 10% 的投资, 就能实现此套技术的升级, 不仅有效地解决焚烧危废二次污染的问题, 同时也给企业带来一定的经济效益。

[参考文献]

- [1] 高明智. 炼化油泥回转窑焚烧工艺设计[J]. 中国环保产业, 2014(3):44-47.
- [2] 朱桂珍. 利用水泥回转窑焚烧处理危险废物的评价研究[J]. 环境保护, 2000(3):14-16,22.
- [3] 肖燕, 李军, 伍长青. 回转窑焚烧炉在某县危废焚烧处理中的应用[J]. 环境卫生工程, 2015,23(5):74-77.
- [4] 卢青. 医疗废物回转窑焚烧线中二恶英的生成[J]. 环境工程学报, 2013, 7(2):743-746.
- [5] 唐续龙. 危险废物富氧侧吹熔池熔炼与回转窑焚烧处置工艺的对比分析[J]. 有色冶金节能, 2020,36(5):19-22.
- [6] 鲍国顺, 仇兴欢. 危险废物焚烧处置厂技术改进研究[J]. 资源节约与环保, 2020(8):77.
- [7] 张立, 蔺公敏, 宾万达, 等. 氧气侧吹还原炉及高铅渣熔融还原过程研究[J]. 中国有色冶金, 2012, 41(2):12-14,19.
- [8] 汤裕源. 侧吹炉加锌精矿-烟化炉挥发法处理锌浸出渣工艺探索[J]. 中国有色冶金, 2019, 48(6):23-26.
- [9] 刘生长. 富氧侧吹炉处理铅锌氧化原矿工艺的设计研究[J]. 湖南有色金属, 2018, 34(3):24-26.
- [10] 李栋. 高铅渣直接还原炉的研发设计[J]. 中国有色冶金, 2012, 41(1):35-37.
- [11] 黄文华, 刘涛. 侧吹炉的应用现状和发展前景[J]. 铜业工程, 2017(3):54-59.

Study on Cooperative Treatment of Hazardous Waste by Rotary Kiln Incineration and Side-blowing Furnace Smelting

LEI Ri-hua, WANG Heng-hui, CHEN Cui, ZHOU Xiao-yuan

Abstract: In this paper, the causes of secondary pollution resulting from hazardous wastes incineration in rotary kiln were analyzed, and a cooperative hazardous wastes treatment scheme by “rotary kiln incineration + side blowing furnace smelting” was proposed to eliminate the secondary pollution resulting from rotary kiln incineration; finally, a study was made on the scheme from the aspects of environmental protection, investment and return on investment. The study shows that the secondary pollution is mainly caused from the complex compositions of hazardous wastes, the incineration temperature of rotary kiln is relatively low and can't reach the value needed for vitrification of those materials with high melting points. While in the process of “rotary kiln incineration + side blowing furnace smelting”, the smelting slag has been vitrified, the hazardous elements therein have been solidified in the vitreous slag, without permeation into the natural environment, and the smelting slag becomes general solid waste. The process has efficiently solved the secondary pollution caused by rotary kiln incineration. By adding cost of about 10% on the basis of the rotary kiln incineration system, good environmental and economic benefits can be obtained.

Key words: rotary kiln incineration; side-blowing furnace smelting; hazardous waste treatment; secondary pollution; vitrification; heavy metal

(上接第 17 页)

Research on the Comprehensive Utilization of Gypsum as Byproduct from Copper Smelting Waste Acid Treatment

LIU Jing-shi, WEI Dong, LIU Shi-xiang, HAN Yao-qiang

Abstract: A large amount of gypsum produced during the waste acid treatment of a copper smelter is disposed as for sale, producing minimal benefit. In this paper, the production process of gypsum during acid making process was introduced; based on the property of gypsum that CaSO_4 as its main composition is decomposed into CaO , SO_2 and O_2 , and combining the high temperature conditions of flash converting furnace, the comprehensive utilization of gypsum was conducted; moreover, the influence of gypsum blending on flash furnace process, problems in gypsum recycling and corresponding optimization measures were set forth. The calcium oxide produced in the pyrolytic reaction of the blending of gypsum and pulverized coal in the flash furnace can be used to replace the quick lime required for production; the sulfur dioxide produced in the reaction is converted to sulfuric acid during the follow-up off-gas acid making process, increasing the output of sulfuric acid as a byproduct; the oxygen produced in the reaction can reduce the oxygen consumption in copper smelting. The comprehensive utilization of gypsum not only solves the environmental protection related issues of enterprises but also brings considerable economic benefits.

Key words: gypsum; flash furnace; quick lime; pyrolysis; sulfuric acid; waste acid treatment