

危险废物逆流式回转窑焚烧工艺探讨

仇云飞 赵发敏 刘 栋

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 回转窑焚烧炉是一种适应性强、能焚烧多种液体和固体废物的多用途焚烧炉。逆流式回转窑以其热解为主的焚烧工艺特点在危险废物处置领域的应用逐步增多。由于危险废物来源多样,成分复杂,回转窑焚烧处理过程中的物料配伍、炉渣热灼减率、结焦是行业内较为关注的问题。本文结合中国恩菲孝感固废处置中心项目的运行经验,对逆流式回转窑的工艺进行探讨,包含焚烧配伍比例、进料过程中的工艺控制要点、炉渣热灼减率控制方式、焚烧系统各部位结焦成因及防控措施等,以为行业内逆流式回转窑长期稳定运行提供参考和借鉴。

[关键词] 危险废物; 逆流式回转窑; 结焦; 脱酸; 热灼减率

[中图分类号] X758 [文献标志码] B [文章编号] 2097-2423(2023)03-0063-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.03.013

0 前言

近年来,随着我国工业化的逐步深入,人民生活水平的提高,大量的废弃物产生,危险废物在众多废弃物中占有较大比重。如果这些废弃物得不到合适的处置,将会对人体健康和社会环境造成巨大的危害。目前危险废物处置方式主要包括焚烧、安全填埋及综合利用等。焚烧处置方式包括回转窑焚烧、液体注射炉焚烧、流化床炉焚烧、固定床炉焚烧和热解焚烧等^[1],其中回转窑焚烧是目前主要采用的方法。回转窑焚烧根据物料在窑内的流动方向,可分为顺流式和逆流式两种,目前国内大多数危废焚烧处置采用顺流式回转窑^[2]。相对顺流式回转窑,逆流式回转窑可以提供更充分的气、固接触混合空间,热传导效率更高,更有利于废物的焚烧^[3]。

中国恩菲工程技术有限公司(下称“中国恩菲”)依托冶炼炉窑技术优势并结合有色冶炼渣逆流式回转窑高温焚烧技术特点,自主开发新工艺、新技术,开发了具有自主知识产权的危险废物逆流式回转窑热解焚烧技术^[4-5]。中国恩菲独立设

计的湖北省孝感固废处置中心项目的焚烧系统即采用逆流式回转窑焚烧技术,目前已稳定运行两年多。由于危险废物来源多样、种类复杂,其处置过程中的物料配伍、炉渣热灼减率、系统结焦等一直是行业内较为关注的问题,本文结合恩菲孝感逆流式回转窑的运行对此类要点痛点问题进行分析探讨。

1 逆流式回转窑焚烧工艺流程

焚烧生产线主要包括预处理系统、焚烧系统、余热利用系统、烟气处理系统及其他辅助系统,其工艺流程如图1所示。

预处理系统主要包括破碎和配伍等部分,目的是保证危险废物入炉顺畅,控制入炉物料热值稳定。桶装及袋装废物经破碎、配伍后进入回转窑焚烧;对于不需要破碎的废物,直接进行配伍焚烧。

焚烧系统主要包括进料系统、逆流式回转窑、二燃室、出渣系统等。进料系统以链板输送机配合推料器进料为主,辅以废液喷射进料系统。危险废物随着回转窑转动逐渐向窑尾移动时发生如下变化:首先,在窑头高温烟气作用下,危险废物干燥且发生部分热解反应;干燥后的废物在窑中前部与氧含量低的烟气接触发生热解反应,大部分热解气体随烟气从窑头烟道进入二燃室,少部分直接燃烧以保持窑内温度;在窑中后部,热解残渣与助燃风充分混合燃烧;炉渣在窑尾与助燃风换热后冷却。危险废物

[收稿日期] 2023-02-07

[作者简介] 仇云飞(1993—),男,山西运城人,硕士,工程师,主要从事固废咨询设计相关工作。

[引用格式] 仇云飞,赵发敏,刘栋. 危险废物逆流式回转窑焚烧工艺探讨[J]. 绿色矿冶,2023,39(3):63-67.

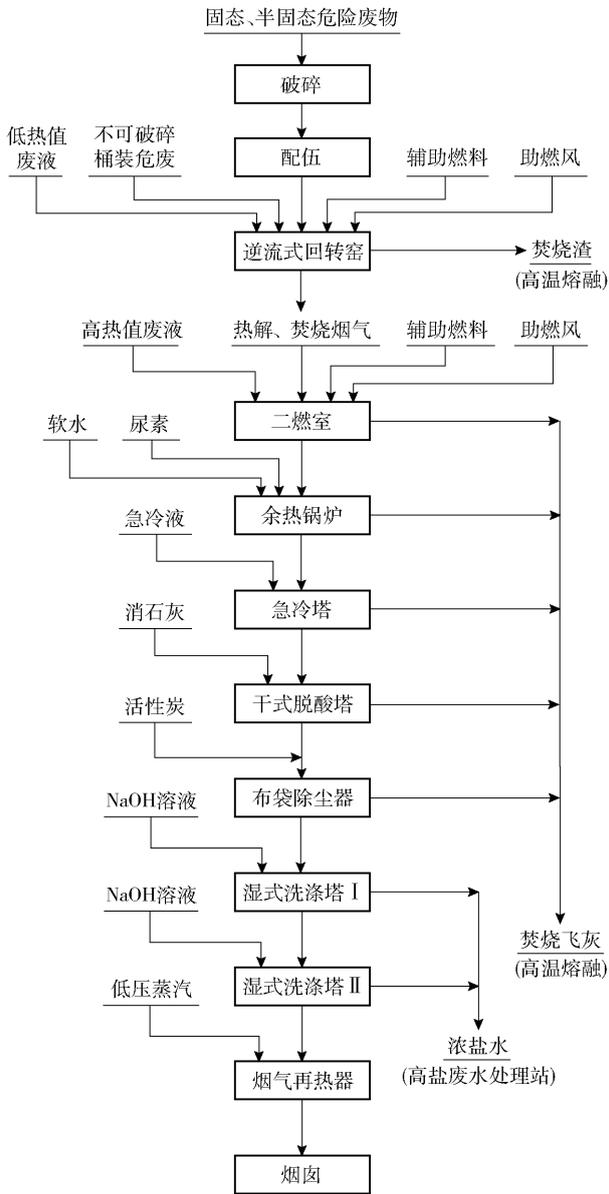


图1 工艺流程图

在逆流式回转窑内经过“干燥-热解-燃烧-冷却”工序后通过出渣器排出,热解产生的可燃气体、焚烧产生的烟气及粉尘进入二燃室内继续燃烧。

余热利用系统主要包含余热锅炉系统、助燃风加热系统、布袋除尘器保温、烟气加热系统等,换热后的冷凝水循环再用。

烟气处理系统包括 SNCR 系统、急冷系统、干式脱酸系统、除尘系统、湿式脱酸系统等。为避免二噁英在低温时再次合成,烟气在急冷塔内迅速从温度 550 ℃左右降至 200 ℃以下,急冷喷液量根据烟气出口温度自动调节。项目采用两级湿式洗涤塔进行脱酸,确保达到排放要求,烟气经一级洗涤塔后温度

降至 70 ℃左右,然后进入二级洗涤塔中进行深度脱酸,湿式脱酸系统采用 NaOH 溶液中吸收烟气中的酸性气体。

2 焚烧工艺控制重点

2.1 配伍与进料

危废物料配伍是结合各焚烧物料的物理化学性质,合理对物料成分、形态及热值等作均质化处理,以达到焚烧成分稳定可控、均匀平衡焚烧的目的^[6]。配伍须在保证物料相容性的前提下,满足配伍后的物料热值在合理的区间,以及敏感物料成分占比在合理的区间。常见的不相容废物见表 1。

表 1 常见的不相容废物

不相容的废物		混合时会产生危险
甲	乙	
氰化物	非氧化性酸类	产生氰化氢,吸入少量可能会致命
次氯酸盐	非氧化性酸类	产生氯气,吸入可能会致命
铜、铬及多种重金属	氧化性酸类,如硝酸	产生二氧化氮、亚硝酸烟,易刺激眼睛及灼伤皮肤
强酸	强碱	可能引起爆炸性的反应及产生热能
铵盐	强碱	产生氨气,吸入会刺激眼目及呼吸道
氧化剂	还原剂	可能引起强烈及爆炸性的反应及产生热能

合理的热值可以避免窑内温度超过设计值,从而延长耐火材料寿命,以及减缓设备损耗。同时可以避免温度过低,减少辅助燃料的消耗,从而降低生产运行成本,避免焚烧系统温度波动引起烟气排放不达标。

敏感物料成分主要有酸性物质、卤族化合物、重金属、碱金属等。合理控制以上几种敏感物料成分的占比,可减缓烟气对设备的腐蚀,降低烟气净化系统的负担,改善焚烧系统敏感部位的结焦状态。

在生产过程中,危险废物专用运输车辆入场后,首先对废物抽样化验,再进行称量登记和储存,而后进一步分析确定废物热值、主要成分等。不同成分、热值的固态、半固态物料在料坑内分区存放,由行车抓斗计量配伍,满足配伍设计要求,最终经链板输送机、推料机构进入回转窑焚烧。

为确保焚烧系统和烟气净化系统的稳定运行,配伍后物料需到达一定指标后方可入炉^[7]。结合生产实践,入炉物料指标设计值及实际运行指标波动范围见表 2。

需要注意的是,部分危险废物采用钢桶、塑料桶等一类包装容器,以及编织袋包装的一类松散物料进行配伍。一类容器在破碎后通常呈一定大小的条状、块状,在配伍和每次上料过程中,需控制此类包装容器和物料的质量比,防止在上料过程中出现链板输送机卡死的情况,同时需及时清理链板机上积存的物料。

表2 焚烧系统入炉物料指标

成分	设计值/%	实际范围/%
C	34.12	28.15 ~ 40.36
H	4.27	3.36 ~ 8.57
O	6.66	1.04 ~ 10.32
N	0.95	0.00 ~ 2.17
S	1.50	0.05 ~ 3.85
Cl	2.00	0.01 ~ 3.32
F	0.05	0.00 ~ 1.03
水分	26.45	19.34 ~ 28.95
灰分	24.00	20.69 ~ 26.37
低位热值/ $\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$	3 600	3 496.28 ~ 3 963.26

2.2 焚烧

由于逆流式回转窑与顺流式回转窑焚烧原理上的差别,逆流式回转窑的长径比若不合适,加之焚烧工艺参数控制不当,容易出现渣热灼减率高的问题,因此对于逆流式回转窑焚烧工艺,窑尾灰渣热灼减率的控制尤其重要。

在实际运行过程中,需要通过合理配伍,将不同物料的燃烧特性进行相互融合,才能控制炉渣热灼减率,实现持续、稳定的焚烧。在满足配伍热值及其他理化指标的前提下,提高高挥发分物料入窑比例,有利于保证窑头温度不低于 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$,促进物料的一步热解与后续燃烧。由表1可知,实际入炉物料指标通常在设计值上下波动,反映在中控面板上通常为设备温度、压强及烟囱排放数值的变化,值班人员需要根据这些数值的变化适时调整设备及物料的参数,如二燃室出口温度低于标准值时,可通过增加高热值废液的投加量或提高辅助燃烧器的功率来解决。

焚烧过程中,控制回转窑转速在 $0.10\sim 0.25\text{ r/min}$,保证物料停留时间,以降低灰渣热灼减率。可通过观察窑尾灰渣状态做出大致判断,若窑尾灰渣为暗红色或无火星时,说明热灼减率合格;若灰渣仍在燃

烧或伴有火星,说明灰渣热灼减率偏高。热灼减率偏高时,可适当降低回转窑转速,同时在满足各设备进出口烟气温度条件下,适当增大窑尾供风量。低热值废液主要是在回转窑温度高且稳定时从窑尾投加,投加量以不对窑头温度产生较大波动为前提。回转窑内热解气体与燃烧烟气混合一同进入二燃室进行二次燃烧。往二燃室内喷入高热值废液和辅助燃料,确保出口温度不低于 $1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,二次燃烧后的烟气在二燃室内停留时间大于 2 s 。

2.3 急冷与脱酸

烟气在急冷塔内迅速从温度 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右降至 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,急冷喷液量根据烟气出口温度自动调节。需要注意的是,对于急冷喷液量调节阈值,不同项目可根据实际运行情况调整温度设置,防止喷液过少导致后续工艺的波动,以及喷液过多导致急冷塔内飞灰泥浆化。

湿式脱酸系统采用两级洗涤塔串联的方式进行脱酸,确保烟气达到排放要求。烟气中的酸性气体被碱液吸收,吸收了酸性物质的稀碱液在预冷和洗涤池中调节pH值后,经预冷及洗涤泵打到塔内再次循环喷淋。经过多次循环喷淋洗涤,碱液中的含盐量逐渐增大,依据理论和生产实践,为防止脱酸塔内大量晶体析出导致喷淋装置堵塞,当脱酸溶液密度达到 1.08 g/mL 时,水池内碱液将进行开路外排至高盐废水处理站,同时将溶液电导率作为参考指标。

3 结焦问题

实践表明,顺流式回转窑实际运行期间,窑内存在较为严重的结焦问题。回转窑内结焦形式主要有以下几种:1)回转窑窑头处结焦。主要原因是当物料中低分子有机物相对较多时,物料进入回转窑后迅速热解燃烧,窑头温度迅速升高,物料与窑头的助燃风冷空气接触以后容易在窑内壁处形成结焦。2)窑内耐火材料结焦。当回转窑内部采用的耐火浇注料往往孔隙率较大,致密性差,在焚烧过程中,低熔点盐熔化,不断侵蚀浇注料,与冷空气接触后容易粘结在耐火材料上。3)窑尾及二燃室底部结焦。此类结焦是顺流式回转窑最常见的结焦形式,主要成因是废物焚烧后的灰分中含有较多的碱金属,导致灰渣的熔点降低,灰渣在高温段熔融移动至低温段时,熔渣逐渐冷凝形成焦状大块炉渣,同时窑尾处冷风进入,高温熔渣遇冷更易结焦^[8]。

逆流式回转窑因工艺原理上的不同可以在很大程度上减弱顺流式回转窑产生的结焦问题。实际运行过程中,物料通过推料器进入回转窑窑头位置,而逆流式回转窑窑头通常为900℃左右的高温区段,物料与从窑尾方向而来的高温烟气直接接触,实现热量的逆向传递,在缺氧的环境下,物料中的有机物迅速热解成可燃气体,随烟气流向二燃室。

在使用回转窑处置危险废物的过程中,结焦的问题通常很难完全避免,为了减缓窑内结焦问题,延长设备运行时间,降低停机检修频率,可采取如下必要措施:1)对进入回转窑内的物料进行合理的配伍,在热值满足要求时,对易燃物料、含高分子有机物的物料、相对惰性的物料进行搭配,使物料有阶段性较明显的热解着火过程,避免火焰前移,造成烟气携带高温熔融液滴而堆积在烟道侧壁,如热值较高的废活性炭可以与热值较低的一类高含水率油水混合物配伍焚烧,同时可以掺杂部分精馏残渣,因为精馏残渣中含氯代有机物,但须根据化验中心化验结果适量掺烧,以控制烟气中卤族化合物的含量,减缓设备腐蚀,同时减缓结焦;2)通过调控使助燃空气进入回转窑的风量及风速,使物料在窑头处于还原性气氛中,推迟物料着火时间。

针对窑内耐火砖结焦问题,可采取如下措施进行解决:1)选择合适的耐火材料,如在重要区段采用锆铝刚玉耐火砖,避免耐火材料与熔融碱性灰分结合形成熔渣;2)改善窑内耐火砖结构,从而改变窑内物料运动状态,使物料充分搅拌;3)合理配伍,控制物料中碱性灰分的含量^[9]。

对于逆流式回转窑来说,窑尾出渣段结焦并不严重,在加强清理的同时,可以采取有效的措施来尽量避免结焦:1)合理配伍,控制物料中碱金属的含量不超过5%,若物料中含有较多的钠、钾等碱金属,与物料中的灰渣成分形成熔点较低的物质,在高温段熔融后,行至窑尾低温段后冷凝结焦;2)改进窑尾密封结构,降低设备漏风率^[10],通常采用鱼鳞片形式结合特殊防漏风结构,控制漏

风率小于3%。

4 结束语

与传统顺流式回转窑相比,逆流式回转窑具有一定的优势,但需要在运行过程中合理控制参数来实现。配伍和焚烧过程作为焚烧处置工艺的核心阶段,工艺调整不是靠简单地控制一个参数就能实现的,而是多个参数相互关联、互相制约。为保证处置线稳定高效运行,需要操作人员根据物料种类、状态、窑内焚烧状态、灰渣状态等情况进行调整。逆流式回转窑的成功运行,为我国危险废物、医疗废物处置领域技术提供了新的选择,推动了环保产业的发展与技术进步。

[参考文献]

- [1] 张绍坤. 回转窑处理危险废物的工程设计[J]. 冶金设备,2010(2):58-62.
- [2] 薛元德. 回转窑焚烧系统在危险废物处理中的应用[J]. 化工管理,2017(3):169.
- [3] 单学林,陈燕,许继云,等. 逆流式回转窑危险废物焚烧处置工艺运行调整的探讨[C]//2019年中国环境科学学会科学学术年会论文集(第二卷),2019:1060-1064.
- [4] 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.
- [5] 姚建明,陈德喜. 危险废物逆流焚烧-高温熔融新工艺[J]. 中国有色冶金,2020,49(4):58-60,65.
- [6] 李琪,王旭. 危险废物焚烧配伍研究及基于VBA实现的配伍设计与应用[J]. 化工管理,2022(29):44-47.
- [7] 付强,刘润伟. 危险废物配伍对回转窑焚烧系统的运行影响研究[J]. 中国资源综合利用,2020,38(4):169-171.
- [8] 邓雅清. 危险废物回转窑焚烧系统的工艺设计[J]. 建材发展导向,2015,13(10):282-283.
- [9] 丁朝阳,刘丹,全磊. 回转窑危废焚烧系统中的结焦防控[J]. 能源与节能,2020(7):43-45.
- [10] 卢卫凌,黄开东. 危险废物回转窑焚烧系统的工艺探讨及优化[J]. 工业加热,2020,49(5):21-24.

Discussion on Incineration Process of Hazardous Waste in Countercurrent Rotary Kiln

QIU Yunfei, ZHAO Famin, LIU Dong

Abstract: Rotary kiln incinerator is a multi-purpose incinerator with strong adaptability and can burn a variety of liquid and solid waste. The application of reverse flow rotary kiln in the field of hazardous waste disposal is gradually increasing due to its pyrolysis-based incineration process. Due to the diverse sources and complex composition of hazardous waste, the material combination, slag burning reduction rate and coking in the process of rotary kiln incineration are the issues of concern in the industry. Based on the operation experience of China ENFI Xiaogan Solid Waste Disposal Center project, this paper discusses the process of countercurrent rotary kiln, including the proportion of incineration, the key points of process control in the feeding process, the control method of slag thermal burning rate, the causes of coking in each part of incineration system and the prevention and control measures, in order to provide reference for the long-term stable operation of countercurrent rotary kiln in the industry.

Key words: hazardous waste; countercurrent rotary kiln; coke; acid removal; burning reduction rate

(上接第 49 页)

increase production costs. On the basis of introducing the composition and phase of scab, the cause and harm of scab, this paper analyzed the problems existing in the removal of scab in the high pressure dissolution process of Zunyi Aluminum Co., Ltd., and optimized and improved the existing high pressure water removal method. There are great differences in the mechanism and phase composition of the formation of high pressure dissolution pipeline scab. The low temperature section scab is mainly sodium silicon slag, and the high temperature section scab is mainly perovskite and hydroxyl perovskite. For low-temperature casing, scab removal can be achieved by increasing the cleaning pressure; for the high temperature section, the method of molten salt heating dry burning combined with high pressure water removal can be used to eliminate the scab. The production practice showed that under the conditions of salt dry burning for 3 ~ 4 h, temperature of 300 ~ 320 °C and cleaning pressure of 150 MPa, the cleaning effect of casing scar in high temperature section is obviously improved, and the heat transfer coefficient is obviously improved, with an average value of 900 W/m²·°C. The optimization method has achieved good cleaning effect.

Key words: alumina; high pressure dissolution; scab; high pressure water cleaning