

回转窑处理锌浸出渣生产实践研究

李博文 陈鹏 林志富 张新振

(巴彦淖尔紫金有色金属有限公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015543)

[摘要] 某锌冶炼公司针对湿法系统所产浸出渣,采用回转窑法进行锌的再次回收。本文介绍国内某大型回转窑生产系统工艺原理、流程及浸出渣、焦粉的成分管控标准,进一步引申出回转窑窑尾温度、系统压力对生产的影响及控制要领,并深入讨论回转窑中后部结圈的形成原理、对生产的影响及化窑消除结圈操作方法。此外,分析了回转窑后续处理工序,即余热锅炉、电收尘及氧化锌脱硫工序的关键设备及工艺参数,指出生产中易出现的问题及解决办法,以期对锌冶炼行业的回转窑生产系统提供切实可行的设备、工艺、操作方面的经验。

[关键词] 回转窑; 锌回收; 结圈; 工艺设备; 生产操作

[中图分类号] TF813 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-2423(2023)06-0058-04

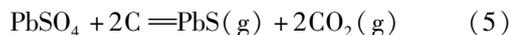
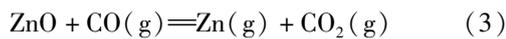
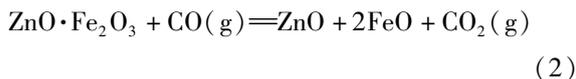
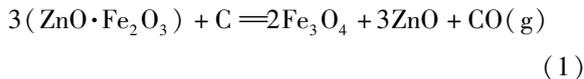
DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.06.011

0 前言

国内外一般采用“火法+湿法”的方式进行锌冶炼,而湿法处理后产生的锌浸出渣含有大量锌及其他有价金属,如铜、金、银、钢等。为了回收、利用资源及减轻环境污染,可采用火法或湿法工艺对浸出渣进行处理^[1],其中火法工艺中的回转窑法因具有投资低、处理规模大等优点而广泛应用于各大锌冶炼厂。本文基于国内某大型锌冶炼公司的生产实践,从原料、工艺数据、操作参数及烟气处理方面系统分析了回转窑生产流程及问题解决方案,为相关企业提供生产经验及参考数据。

1 回转窑生产原理与流程

入窑混合物料为浸出渣、焦粉、石灰石。焦粉作为还原剂,同时其燃烧为系统提供热量。生产过程中窑内物料温度可达700~1300℃,在还原气氛下,铅和锌的化合物转化为气体单质,在气相中进一步被氧化,氧化锌烟尘后续在收尘器中被捕集,从而产生提纯效果。主要反应见式(1)~(6)。



产生的烟气经过余热锅炉冷却、电收尘器收尘、脱硫净化后排空。回转窑处理锌浸出渣的主要流程如图1所示。

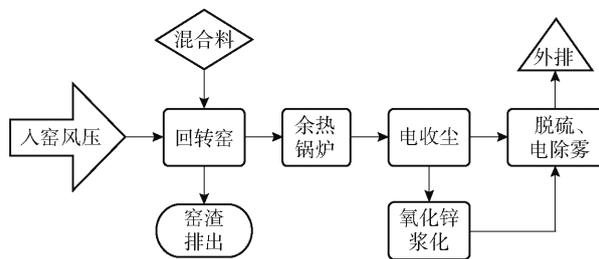


图1 回转窑生产流程图

2 回转窑生产工艺控制

2.1 原料、燃料性质与配比

浸出渣的含水率对生产影响较大。当渣中含水率超过25%时,窑内温度过低,浸出渣容易在窑内团聚成球状,影响锌挥发,回收率降低;当含水率较低时,物料容易发散,且窑内温度过高,尾气中颗粒物排放浓度易波动。浸出渣含水率一般以15%~20%为宜。

[收稿日期] 2023-07-04

[作者简介] 李博文(1990—),男,内蒙古满洲里人,本科,冶金工程师,主要从事锌冶炼的焙烧、浸出、电积,浸出渣无害化处理及稀贵金属回收等。

[引用格式] 李博文,陈鹏,林志富,等. 回转窑处理锌浸出渣生产实践研究[J]. 绿色矿冶,2023,39(6):58-61,80.

综合考虑生产成本、窑内温度与锌还原挥发率,配料时浸出渣与焦粉比例一般为1:(0.46~0.5)。某生产日入窑混合物主要成分见表1,其中SiO₂与CaO配比为1:0.71。在此比例下,炉料黏度适宜。

表1 混合物各主要成分比例

成分	Zn	H ₂ O	Fe	C	SiO ₂	CaO	Ag/g·t ⁻¹
含量/%	14.03	16.9	18.64	17.43	6.52	4.69	55.78

焦粉的粒度要求为:小于5 mm ≤ 30%, 5 ~ 15 mm ≥ 50%, 大于15 mm ≤ 20%。因为焦粉粒度过大时,炉料容易软化,黏度增加,锌易被包裹在大块窑渣内部,导致窑渣含锌量升高,窑尾温度升高;而当焦粉粒度过小时,炉料产生分层现象,透气性下降,燃烧不充分,造成窑尾烟气温度下降,窑渣含锌量升高^[2]。

2.2 回转窑设备规格

国内外回转窑长径比一般为13~20,因为长径比过小时易造成窑热效率降低,锌回收率差;而长径比过大时易造成窑尾温度过低,不利于生产^[3]。该厂回转窑窑体尺寸为Φ4.3 m × 62 m,长径比为14.42,倾斜度为5%,转速为0.4~1.5 r/min。入窑风压由空压机提供,输送到窑头风管出口,起强制鼓风作用,可加快铅锌挥发效率与流动速度。风管直径为0.105~0.115 m,入窑风压为0.12~0.20 MPa。

2.3 回转窑生产工艺参数与操作

2.3.1 窑尾烟气温度、系统压力对生产的影响

2.3.1.1 窑尾烟气温度

回转窑内部烟气与炉料温度分布如图2所示。窑尾烟气温度是回转窑生产的核心工艺参数,反映了回转窑内部反应的热效率与化学反应程度,且是影响余热锅炉与电收尘设备烟气捕集效果的主要因素。常规情况下回转窑窑尾烟气最佳温度为600~700℃。在此操作条件下,窑内结圈较少,且排渣平稳,金属回收率也可得到保证。

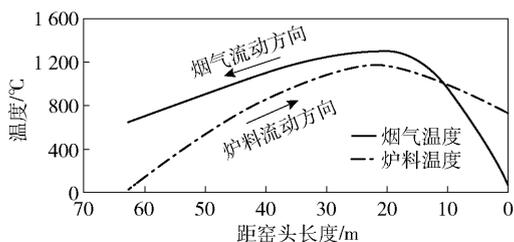


图2 回转窑内部烟气与炉料温度分布

当窑尾烟气温度过低时,窑渣中焦粉含量升高,锌挥发效果差导致窑渣含锌量高,金属回收率低。在这种情况下,要遵循“三同时”原则,即风管下压料面、降低回转窑转速与降低进料速率,待温度稳定提升时,再缓慢恢复原有操作参数^[4]。反之,当窑尾烟气温度过高时,窑内还原气氛增强,铁元素易形成液态金属相,窑内易形成结圈和结块,且容易导致后续电收尘及脱硫设备损耗加快。此时,要遵循“三不同时”原则,即减小入窑风管与料面之间的角度、提高回转窑转速与加快进料速度,从中选择一种方式进行调整,避免窑尾烟气温度陡降造成可操作空间减小。

2.3.1.2 压力

生产系统压力反映烟尘、烟气的流动通畅程度,由窑头鼓风机及电收尘末端通往脱硫的高温风机共同作用体现。系统主要气体压力监控点为:窑尾沉降仓、余热锅炉入口及电收尘出口,这三处的压力控制范围分别为:-50~100 Pa、-50~-120 Pa和-260~-350 Pa。监测点位的压力偏离可指示系统内气体的流动性是否良好,以此可判断堵塞现象产生的位置。

2.3.2 窑内结圈消除与化窑操作

根据结圈部位,可分为窑头结圈与窑中后部结圈。

窑头结圈原因为铁被还原时与渣在窑头被冷风冷却而粘附在窑壁上,或者排渣不正常导致窑头温度过低而造成渣粘结。窑头结圈可起到延缓排渣的效果,对窑内温度的保持与提升具有积极的影响,必要时,可使用长钎子进行清理。

相对而言,窑中后部结圈对生产影响较大,主要体现在:结圈导致窑内容积减小,炉料向前移动及烟气向后移动受阻,影响窑尾温度,粘接处窑砖寿命下降,窑况恶化等^[5]。窑中后部结圈底层的成分主要为ZnS,中间层为FeS与ZnS,表层为FeO、FeS及SiO₂等。从结圈底层到表层,Fe含量逐渐升高,而Zn含量逐渐下降。

窑中后部结圈主要是烟气温度控制不当,以及原料、燃料的质量不佳所致。解决方法如下所述。

1) 均匀、合理配料。生产中,应合理搭配新旧浸出渣,确保颗粒度与水分均匀、适宜;同时加大检测频率,根据化验结果及时调整。

2) 控制焦粉质量和粒度。严格控制焦粉适宜颗粒度如上文所述;质量方面,要求焦粉固定碳含量 ≥

82%,挥发分含量 $\leq 1.8\%$,灰分含量 $\leq 15\%$,高位热值 ≥ 6700 kcal/kg,含水率 $\leq 14\%$ 。

3)调整窑渣渣型。渣型主要调整方法为:调整石灰石加入量,利用CaO与SiO₂含量之比调整窑渣黏度。当CaO/SiO₂为0.4~0.5时,窑渣黏度较小;当CaO/SiO₂为0.5~0.65时,窑渣黏度激增。考虑到生产成本,可在此范围内调整石灰石加入量。

4)延长反应带,移动高温梯度区域。温度梯度即温差/长度,反应带与预热带交界处一般为高温梯度区。可通过将风管风口向内移、更换小口径风管的方法,使反应带后移1~2 m,从而使原结圈区域温度升高,结圈发生膨胀及熔化,随物料冲刷掉落。

结窑时,可采取连续化窑操作消除结圈。化窑周期内,将焦渣比(入窑焦粒与浸出渣的质量比)由46%~47%提高至50%以上。为提高结圈消除效果,可连续化窑7天以上。高焦渣比不仅可以保持较高的窑内温度,还可增强窑内还原性气氛,使结圈表层的Fe元素转化为单质,在物料流动冲刷与风压冲击作用下,结圈顶部逐渐消除;结圈中间层的FeS、ZnS与高温还原物接触后,Zn与Fe元素部分转化为单质,再经过高温物料冲刷,结圈尺寸不断减小。结圈平衡结构被破坏后,可能出现大范围垮塌现象。由于结圈附着在窑内衬耐火材料上,相当于在高温物料与筒体间增加了一层“隔热”层,结圈厚度越大,隔热效果越明显,高温物料散发到筒体的温度越低。因此,如果结圈大面积脱落,窑内热量传递到表面的速度会加快,需做好窑皮温度监测,必要时进行加淋操作。

2.3.3 窑渣含锌量控制

窑渣含锌量为重要的经济指标,锌的还原挥发程度直接影响最终的锌回收率。窑渣中,锌主要以ZnFe₂O₄、ZnO及少量ZnS形式存在。ZnFe₂O₄在温度超过880℃时即可被C还原为Zn,且反应剧烈;ZnO在温度高于960℃时易被直接还原成锌蒸汽;而ZnS在温度高于1100℃且反应时间超过4 min时,锌还原率才能达到90%以上^[6]。

表2为窑渣不同部位的Zn、Fe、C含量,其中1#窑渣样品为球状,平均直径约为2 cm,在生产中所占比例较高;2#窑渣样品为大型块状,平均直径约为25 cm。由表2可知,大块窑渣的整体Zn含量高于小块窑渣。其中1#小块窑渣由表面至1/4厚度处,

Zn含量增加95.0%,Fe含量减少了19.3%;1#窑渣中心的Zn含量较1/4厚度处提高37.8%,Fe含量升高17.6%。由此可以推断,1#窑渣1/4厚度处附近残留的Zn元素主要以ZnS形式存在,且存在少量ZnO;1#窑渣中心残留的ZnFe₂O₄含量较高,且表面Fe多以单质及氧化物形式存在。相比于1#窑渣,2#窑渣整体Zn含量增加3倍以上,由此说明大块窑渣的形成导致Zn的整体回收率损失较大。2#窑渣1/4厚度处Zn含量略高于表面,但Fe含量低于表面,由此可见大块窑渣形成过程中,ZnO与ZnS被大量包裹在窑渣次表层,外壳阻隔了热量的同时也阻止ZnO与ZnS挥发与还原反应,导致Zn元素直接由窑口排出。

因此,减少生产中窑内的造块行为是降低渣含锌量、提高锌回收率的关键。为了减少窑内物料造块行为,应控制入窑混合料粒度。锌浸出渣经压滤后形成滤饼,经下料格栅切割后形成大小不一的块状物料,加上新产出的锌浸出渣不会第一时间被消耗,短时间积压也会形成结块,因此在配料入窑前,要关注锌浸出渣粒度情况,避免大块物料进入回转窑。

表2 窑渣成分 %

样本取样点	Zn	Fe	C
1#窑渣表面	1.79	32.22	4.53
1#窑渣1/4厚度处	3.49	25.99	9.76
1#窑渣中心	4.81	30.57	5.92
2#窑渣表面	12.83	31.62	6.64
2#窑渣1/4厚度	15.34	29.44	3.79
2#窑渣中心	12.63	27.82	6.77

3 回转窑余热锅炉与电收尘控制

3.1 余热锅炉

余热锅炉不仅是回转窑余热回收利用、降温的热力设备,更是锌冶炼中必不可少的金属回收设备^[7],具备以下特性。

1)锅炉前段辐射冷却室与后段表面冷却器需采用分段冷却的方式,且其空间布置与尺寸需匹配回转窑产出的烟气烟尘量、温度、烟尘成分与粒度,应设置振打器与可燃气体爆破器,尽可能减少受热面的积灰。

2)余热锅炉内部需保持合适的温度。温度低于

240℃时,烟气中HCl与SO₂会对受热面产生低温腐蚀,降低余热锅炉的使用寿命;温度过高时,会使锅炉换热盘管内部压力增加,流速增加,加快锅炉管道氧腐蚀;另外,对于老旧锅炉,盘管内部压力过大增加了爆管风险,对安全运行也有一定影响。同时,锅炉内部温度高,排烟温度高同样会影响电收尘回收效果。该厂回转窑工艺一般控制余热锅炉入口烟气温度600~750℃,出口烟气温度320℃±20℃。

3)由于烟尘中氧化锌、氧化铅含量高,余热锅炉在选型及设计方面应充分考虑烟气流速对管壁的冲刷磨损作用,同时采用必要的防磨措施,如管束前两排采用厚壁管并加防磨瓦。另外应合理组织烟气动力场,避免由于烟气产生偏流或涡流造成的局部磨损。

3.2 电收尘器

电收尘系统的额定烟气量为53180Nm³/h,进、出口额定温度为320℃±20℃。

电场部分是电收尘器的核心,其工作状态对电收尘器使用效果影响很大^[8],其中电晕线结灰问题会显著降低电晕电流,使电收尘器工作状态恶化,其主要原因有阴极振打器力度过小或振打器失灵,漏风量大,使粉尘受潮后黏性增大,沉积在电晕线上。采取措施主要为:及时进行振打器维修和调整,使振打器准确有力,同时做好密封堵漏工作,加强内部保温。

灰斗堵塞同样对收尘效果影响较大,因为放灰周期长和灰斗下灰不畅,易导致电场形成短路,打火率偏高、电压升不上去。其处理方法的核心为灰斗的连续顺畅放灰,因此要及时清理内壁积灰,同时灰斗振打力度与料仓结构强度也要得到保证,但要避免振打将料仓撕裂,造成漏气现象而导致氧化锌板结。

4 氧化锌脱硫

氧化锌脱硫工艺的技术原理为:将氧化锌浆液从一、二级吸收塔顶部自上而下进行逆喷,从而确保氧化锌充分与烟气接触,ZnO与烟气中的SO₂反应生成亚硫酸锌,继续被氧化为硫酸锌,然后返回电解工序。该工艺优点为:充分利用系统内中间产品,不存在原料来源和产品处置困难的问题,也不存在原材料采购及产品运输问题,没有二次污染,且氧化锌

脱硫效率可达98%以上^[9]。

氧化锌脱硫吸收浆液利用电收尘的氧化锌烟尘配制成,其上清液pH值要严格控制在4.5~5.0,浆液浓度控制为4.5%~6.0%(质量比)。

核心工艺指标为:一级、二级循环槽含固体积量≤20%,洗涤塔、除尘器、除雾塔固液体积比<1/20。一级循环槽液位为2.5~4.5m,循环液pH值为4.0~4.5;二级循环槽液位为2.5~4.5m,循环液pH值为4.5~5.0。

5 结束语

本文详细介绍了国内某大型回转窑生产系统工艺原理、流程及浸出渣、焦粉的成分管控标准,从而进一步引申出回转窑窑尾烟气温度、系统压力对生产的影响规律,并深入讨论回转窑中后部结圈的形成原理、对生产的影响及化窑消除结圈操作方法。

此外,本文分析回转窑后续处理工序,即余热锅炉、电收尘及氧化锌脱硫关键设备及工艺参数特性,介绍了一些经验工艺操作参数,可为国内外锌冶炼行业的回转窑生产系统提供参考。

[参考文献]

- [1] 彭容秋. 锌冶金[M]. 长沙:中南大学出版社, 2005: 74-78.
- [2] 史红艳,王成. 浅谈回转窑法处理锌浸出渣工艺中燃料对生产的影响[J]. 科技视界, 2014(16):281.
- [3] 易文. 锌浸出渣挥发窑生产工艺与节能[J]. 有色冶金节能, 2000, 36(1):11-14.
- [4] 徐华军,蒋文,曾庆辉,等. 大型回转窑处理锌浸出渣的生产实践[J]. 有色冶金节能, 2020, 36(4):31-33, 24.
- [5] 赵琪昌,梅毅. 回转窑中部结圈的原因分析与解决措施[C]//全国“十二五”铅锌冶金技术发展论坛暨驰宏公司六十周年大庆学术交流会议论文集, 2010:6.
- [6] 张长伟,王吉坤. 硫化锌精矿直接还原挥发锌[J]. 有色金属(冶炼部分):1995(4):5-6,4.
- [7] 黄留云. 锌回收回转窑尾气余热锅炉的开发设计[J]. 节能, 2011, 30(S1):138-139,6.
- [8] 贾志军. 回转窑电收尘器常见故障与维修[J]. 中国设备工程, 2010(11):44-45.
- [9] 王成. 氧化锌资源化处理回转窑尾气二氧化硫[J]. 广州化工, 2012, 40(18):175-177.

Quantitative Evaluation of Tailings Pond Anti-seepage Scheme Based on Water Balance Model and Water Quality Model

HU Miao, ZHENG Wei, LI Haojia, ZHU Xuesheng

Abstract: In this paper, a water balance model and a water quality model were constructed to quantitatively analyze the impact of seepage water from a tailings pond on the downstream surface water quality, and to provide a basis for the construction of the seepage control facilities. First, a two-dimensional seepage analysis of the tailings dam was conducted, and the calculated seepage was used in the water balance and water quality models. Then the water balance model and water quality model of the tailings facility were established to simulate the water quality of the tailings seepage water, surplus water in the pond and downstream river water under different schemes, i. e. with or without seepage control facilities. By comparing and analyzing the results of water quality prediction, it shows that the leakage of tailings pond has a significant impact on the water quality of downstream river, and it is recommended that a horizontal seepage control scheme for the whole facility should be adopted, with HDPE geomembrane liner installed on the upstream embankment, and a 1 m thick soil liner over the basin and side slopes of the facility, and the basin soil liner should be well compacted to reach a permeability of $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/s, and the width of the tailings beach should be greater than 200 m, and the cleaner and rougher tailings should be discharged separately, with cleaner tailings kept submerged.

Key words: tailings pond leakage; water balance model; water quality model; seepage control facilities

(上接第 61 页)

Study on Production Practice of Zinc Leaching Residue Treatment in Rotary Kiln

LI Bowen, CHEN Peng, LIN Zhifu, ZHANG Xinzhen

Abstract: A zinc smelting company uses a rotary kiln method to recover zinc from the leaching residue produced by the wet system. This paper introduced the process principle, process flow and composition control standards of leaching residue and coke powder in a large rotary kiln production system in China, and further extended the influence of rotary kiln tail temperature and system pressure on production and control essentials. The formation principle of the middle and rear coking of the rotary kiln, the influence on production and the operation method of eliminating the ringing of the chemical kiln were discussed in depth. In addition, the key equipment and process parameters of the subsequent treatment process of rotary kiln, namely waste heat boiler, electric dust collection and zinc oxide desulfurization process, were analyzed, and the problems and solutions that were easy to occur in production were pointed out, in order to provide practical equipment, process and operation experience for the rotary kiln production system of zinc smelting industry.

Key words: rotary kiln; zinc recovery; cokings; process equipment; production operation