

湿法炼锌三段类黄钾铁矾法浸出工艺应用探究

王红吉 王昕 金忠 王张斌 李亚东 王鹏 赵利兵

(甘肃厂坝有色金属有限责任公司成州锌冶炼厂, 甘肃 陇南 742500)

[摘要] 本文以湿法炼锌浸出工艺配套回转窑无害化处理锌浸出渣的经济性、环保性等为切入点,提出了三段类黄钾铁矾法浸出工艺。探究该工艺产出的中上清液质量、工艺过程控制中 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 H^+ 等含量变化,研究该工艺的锌浸出率、渣率、渣含锌量等经济技术指标的特性,分析配套回转窑无害化处理锌浸出渣的优势。根据生产实践,三段类黄钾铁矾工艺产出的中上清液质量与常规法、黄钾铁矾法产出的中上清液质量相近,能满足湿法炼锌净化工序的要求,三段类黄钾铁矾工艺锌浸出率为 94.67%、渣率为 37.27%、渣含锌量和含硫量分别约为 8% 和 10%,且液固分离效果良好。三段类黄钾铁矾法浸出工艺具有流程短、能源消耗低、渣率较小、产出的浸出渣含锌量适中、含硫量较低,适宜于配套回转窑无害化处理的特点。

[关键词] 黄钾铁矾法; 针铁矿法; 喷淋除铁法; 转化法; 锌浸出渣; 除铁; 回转窑

[中图分类号] TF813

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2022)06-0026-05

DOI: 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.06.006

0 前言

随着国家环保要求的日趋严格,新建锌冶炼废渣堆场难度的日趋加大,传统湿法炼锌企业均不同程度地面临着浸出渣堆存的难题。将锌浸出渣进行减量化和火法无害化处理,并回收其中的锌、铜、锗等有价值金属,使其转变为一般固废渣已成为必然,而湿法炼锌浸出工艺的选择对火法无害化处理锌浸出渣有着至关重要的影响。

目前行业内火法处理锌浸出渣的方法主要有回转窑挥发法、烟化炉法、Ausmelt 法、Kivcet 方法^[1]。回转窑挥发法因其起步早、推广时间长、工艺成熟、操作简单、原料适应性强等特点而被广泛应用,但回转窑挥发法必须要考虑配套烟气脱硫设施的运行状况,如果湿法浸出工艺产生的浸出渣量过大或渣中含硫量过高,势必会造成回转窑系统处理负荷过重、成本增加,同时烟气中二氧化硫浓度升高,使烟气脱硫系统的运行控制压力增大。回转窑处理锌浸出渣的烟气脱硫工艺大多选取回转窑挥发产生的次

氧化锌作为脱硫剂,如果烟气中 SO_2 浓度高,脱硫剂次氧化锌消耗量必然会增加,这就要求浸出渣的含锌量较高,以保证回转窑产出的次氧化锌满足脱硫的需求,但如果浸出渣的含锌量升高,会导致湿法锌冶炼流程延长,加工成本上涨,同时加大锌金属的损失,使其回收率降低,因此寻求浸出渣渣率适宜、含硫量较低、含锌量适当的湿法炼锌浸出工艺用以配套回转窑处理成为行业的迫切需要。

目前湿法炼锌工业中锌焙砂浸出的方法主要有常规浸出法和热酸浸出法。常规浸出法存在渣量大、渣含锌量高、生产率和回收率低、生产成本高的问题;热酸浸出法的锌浸出率可达到 90% 以上,但铁等杂质也进入浸出液中,使其中的铁含量可达到 30 g/L 以上,必须配套相应除铁工艺,如黄钾铁矾法、转化法、针铁矿法、喷淋除铁法等^[2],但上述几种浸出除铁工艺均未对浸出渣含硫量高的问题作更多的分析。

本文通过在浸出工艺过程中控制合理的酸性浸出条件,有效控制铁酸锌的裂解深度,开发出浸出渣渣率适宜、含硫量较低、含锌量适当的三段类黄钾铁矾法浸出工艺,满足回转窑无害化处理要求。

1 三段类黄钾铁矾法浸出工艺

1.1 工艺流程和原理

三段类黄钾铁矾法浸出工艺流程如图 1 所示。

[收稿日期] 2022-06-05

[作者简介] 王红吉(1986—),男,甘肃秦安人,本科,工程师,主要从事湿法锌冶金技术研究工作。

[引用格式] 王红吉,王昕,金忠,等.湿法炼锌三段类黄钾铁矾法浸出工艺应用探究[J].有色冶金节能,2022,38(6):26-30,45.

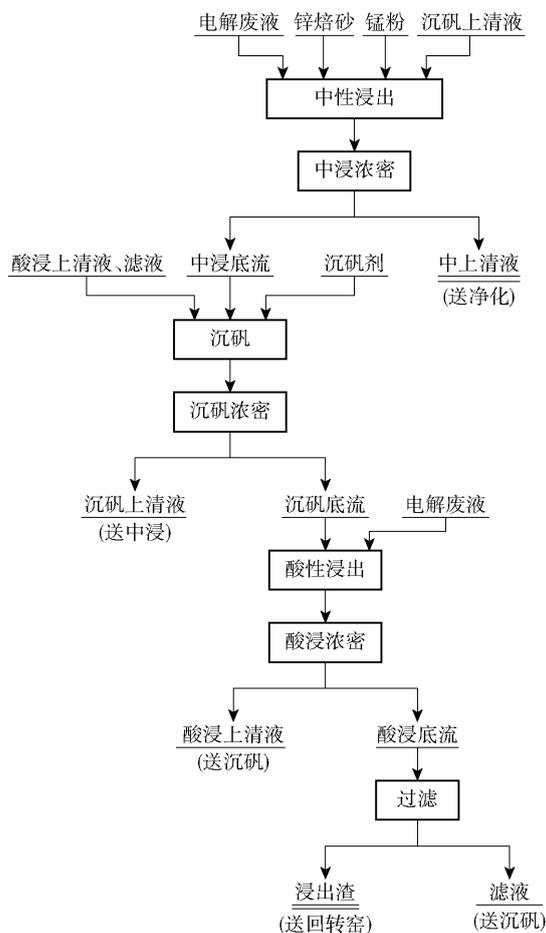
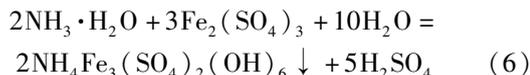
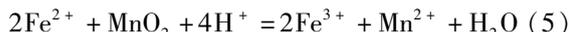
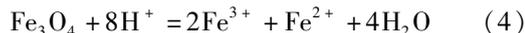
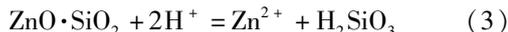
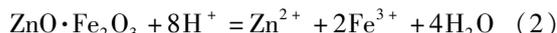
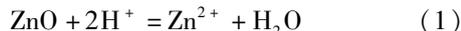


图1 三段类黄钾铁矾法浸出工艺流程图

锌焙砂中的锌主要以 ZnO 形态存在,其次为结合状态的铁酸盐与硅酸盐。经过传统中性浸出后,锌焙砂中的锌及其他金属以离子态的形式溶解在硫酸溶液中,在控制中性浸出终点 pH 值 4.8~5.2 的条件下,溶解的铁、砷、锑等杂质元素发生水解沉淀反应,以沉淀物的形式进入中浸底流,经过浓密处理后产出符合企业生产标准的中上清液(送至后续净化工序),而中浸底流中仍有未完全溶解的锌化合物,它们进入沉矾工序后,继续与酸浸上清液中的酸进一步发生中和反应溶解,达到沉矾终点 pH 值 1.5~2.0 的条件,同时溶液中的 Fe^{3+} 与沉矾剂反应形成矾渣,从而除去。由于沉矾工序形成的黄钾铁矾是一种纯黄色结晶铁的复式硫酸盐,不溶于硫酸,经过浓密澄清后,沉矾底流进入酸性浸出工序,在适宜的温度、酸度条件下,其中的铁酸锌、硅酸锌等物质溶解,提高焙砂中锌的浸出率,同时形成的矾渣稳定性好,不易溶解,随溶解后的锌焙砂残余渣一起进入浓密机,形成过滤性好、易于沉降的矿浆,随后进行液固分离。主要化学反应方程式如下:



与常规法浸出和热酸浸出工艺相比,三段类黄钾铁矾法不同点在于将酸性浸出的温度、酸度适当调整,初始酸度控制在 50~80 g/L,终点酸度控制在 30~50 g/L,温度控制在 80℃ 以上,有效控制铁酸锌、硅酸锌的裂解深度;与黄钾铁矾法比,三段类黄钾铁矾法去掉中和工序,将四段改成三段,沉矾过程中产生的游离酸中和剂由焙砂改为中性浸出底流,用中性浸出底流中和酸性浸出上清液并沉铁,形成的矾渣底流再进行酸性浸出,在保证合适回收率的同时缩短流程。

1.2 工艺技术条件

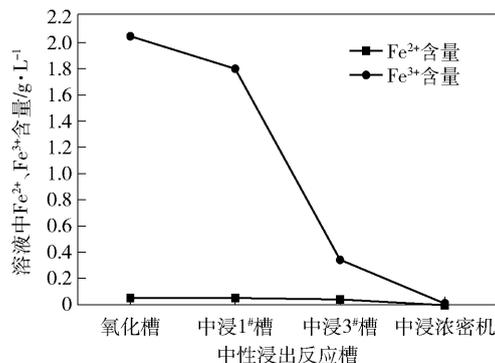
1) 中性浸出的工艺技术条件为:反应时间 2 h,初始酸度 50~80 g/L,终点 pH 值 4.8~5.2。

2) 沉矾工序的工艺技术条件为:反应时间 5 h, pH 值 1.5~2.0,温度 >85℃。

3) 酸性浸出的工艺技术条件为:反应时间 4 h,初始酸度 50~80 g/L,终点酸度 30~50 g/L,温度 >80℃。

2 三段类黄钾铁矾法各中间流程铁含量的变化分析

抽样分析中性浸出氧化槽、1#槽、3#槽、浓密机的矿浆,沉矾工序中 1#槽、3#槽、浓密机的矿浆,酸性浸出中 1#槽、浓密机的矿浆,其 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 含量变化趋势分别如图 2、图 3、图 4 所示。

图2 三段类黄钾铁矾法中性浸出 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 变化趋势图

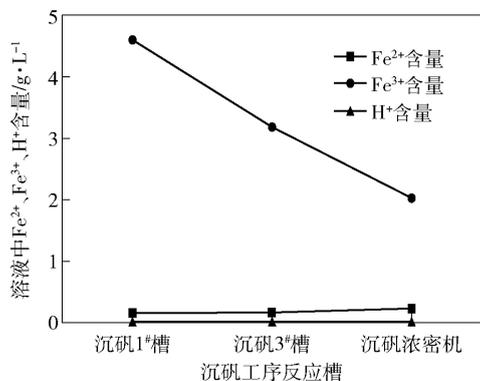


图3 三段类黄钾铁矾法沉矾过程 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 及 H^+ 变化趋势图

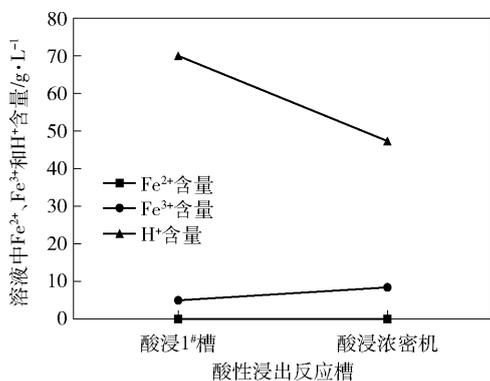


图4 三段类黄钾铁矾法酸性浸出 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 及 H^+ 变化趋势图

从图2~图4可知:

1) 在中性浸出工序中,从氧化槽到中性浸出1#槽再到浓密机,加入的锰粉与溶液中的 Fe^{2+} 发生氧化反应,使 Fe^{2+} 含量逐步降低,且中性浸出反应过程中 Fe^{2+} 含量均小于 0.1 g/L 。在沉矾工序中,沉矾1#槽到3#槽溶液中的 Fe^{2+} 含量基本稳定,而沉矾浓密机的 Fe^{2+} 含量出现上涨的趋势,说明焙砂中

的残硫与溶液中部分 Fe^{3+} 发生反应,使 Fe^{3+} 转变为 Fe^{2+} ,进而使溶液中 Fe^{2+} 含量上升,且在沉矾整个过程中 Fe^{2+} 含量均小于 0.5 g/L 。在酸性浸出过程中, Fe^{2+} 含量基本稳定。从中性浸出到沉矾工序,虽然 Fe^{2+} 含量上升,但由于锰粉的作用,沉矾上清液中进入中性浸出的 Fe^{2+} 被氧化,因而能保证中上清液的 Fe^{2+} 含量合格。

2) 中性浸出过程中,随着反应的进行, Fe^{3+} 含量呈下降趋势,说明在终点 pH 值 $4.8 \sim 5.2$ 的条件下, Fe^{3+} 水解沉淀入渣。沉矾工序中 Fe^{3+} 含量亦呈下降趋势,说明溶液中 Fe^{3+} 以铁矾的形式脱除。而酸性浸出中 Fe^{3+} 含量呈上升趋势且可控,最后稳定在 8 g/L 左右,说明沉矾底流中未被溶解的铁酸锌等开始溶解,已经形成的矾渣稳定存在。酸性浸出上清液中 Fe^{3+} 含量为 8 g/L 左右,经沉矾后降到 2 g/L 左右,进一步说明铁的脱除达到工艺要求。

3) 酸性浸出中,随着反应的进行,酸度逐渐降低,说明未溶解的铁酸锌在温度大于 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下被酸溶解;酸浸工序中酸度 $30 \sim 50 \text{ g/L}$ 的上清液返回沉矾工序后,与中性浸出底流中的氧化锌、铁酸锌等发生中和反应,使沉矾过程的酸度始终维持 $15 \sim 25 \text{ g/L}$,满足控制要求。

3 三段类黄钾铁矾法浸出工艺与其他工艺对比

3.1 中上清液质量对比分析

西北某厂进行了三段类黄钾铁矾法浸出工艺的生产实践探究,对比了该工艺与常规浸出工艺、黄钾铁矾工艺产出的中上清液中的各元素含量,结果见表1。

表1 西北某厂三段类黄钾铁矾法、黄钾铁矾法、常规浸出工艺的中上清液成分对比

工艺	Zn/g·L ⁻¹	Cu	Sb	Co	Cd	Fe _全	pH	Mn/g·L ⁻¹	F ⁻	Cl ⁻	Fe ²⁺
三段类黄钾铁矾法	161.18	375.93	0.98	12.78	599.59	5.44	4.87	5.28	8.13	343.23	1.74
黄钾铁矾法	153.53	254.38	1.27	11.95	583.73	5.14	4.87	4.87	7.37	332.23	1.74
常规法	179.72	322.93	0.61	10.10	616.32	7.43	4.87	4.05	14.01	271.57	1.63

从表1可知:

1) 三段类黄钾铁矾法产出的中上清液质量与黄钾铁矾法、常规法产出的中上清液相近,符合湿法炼锌企业的标准,满足净化工艺要求。

2) 三段类黄钾铁矾法与黄钾铁矾法产生的中上清液的锌浓度基本相近,而常规浸出过程中加入

的硫酸根离子开路受到限制,故其中上清液中的锌浓度较三段类黄钾铁矾法、黄钾铁矾法高。

3) 中上清液中的铜、镉、钴含量主要随原料锌精矿的含量不同而有所差异;锰、氟、氯含量在湿法炼锌中受到全过程的控制,受多种因素(如电解废液等)的影响。常规法只有中性浸出过程进行水

解沉淀除铁,因而其中上清液的全铁含量较其他两种工艺高。三段类黄钾铁矾法中铁以铁矾的形态入渣,具有与黄钾铁矾法相同的特点,故三段类黄钾铁矾法与黄钾铁矾法两种工艺的 Fe^{2+} 含量差异较小。

3.2 主要经济技术指标及特点对比

湿法炼锌工业中应用较广泛的浸出及除铁工艺包括黄钾铁矾法、针铁矿法、喷淋除铁法、转化法等。西北某厂的三段类黄钾铁矾法浸出工艺投入工业化生产后,与上述方法的技术指标及特点对比见表2。

表2 不同除铁方法技术指标及特点对比

工艺名称	锌浸出率/%	浸出渣率/%	渣含锌量/%	工艺特点
针铁矿法	98.4 ^[3]	32.7 ^[3]	5 ^[4]	其优点是综合回收率高,有价金属充分分离和富集,金属回收率高,除杂效果好,渣量小。缺点为氧化-还原流程长,难于控制,高温过程长,酸度较高,要消耗较多的蒸汽和较好的防腐材料,空气利用率不高 ^[3]
喷淋除铁法	96.18 ^[3]	35~44 ^[4]	13 ^[4]	具有工艺流程短、设备简单、效果好、投资省、操作方便、无需碱试剂、对锌精矿适应性强(尤其是能处理二氧化硅、铁、砷、锑含量高的锌精矿)等优点,但存在着硫酸根富集,且渣含锌量较高,锌金属回收率偏低的缺点 ^[4-5]
黄钾铁矾法	98 ^[7]	40 ^[6]	3~6 ^[4]	其优点是易澄清、过滤、分离,金属回收率高,碱试剂和中和剂消耗量少,铁矾带走一定的硫酸根,有利于保持酸的平衡。缺点为硫酸消耗量大;脱砷和锑的效果不佳;渣量大,渣含铁量低,难回收利用,易污染环境 ^[6] 。铁矾渣中有价金属损失减少,可减弱对环境的污染,但氟、锑和镓等杂质的去除效果较差,且补加酸量较多 ^[7-8]
转化法	97.5 ^[2]	-	-	其优点是流程简单、投资少、见效快;但铅、银及稀散金属与铁渣均进入转化渣中,不利于综合回收,金属回收率低。该工艺适用于处理稀贵金属含量很少的原料 ^[7]
三段类黄钾铁矾法	94.67	37.27	8	具有流程短、操作简单、能源消耗低、锌浸出率较高、渣率较小、渣含锌量适中、渣含硫量较低、产出的浸出渣满足采用回转窑挥发法处理工艺的要求,且回转窑渣处理量少,脱硫压力小,回转窑运行经济可靠

3.2.1 锌浸出率

根据生产实践锌焙砂加入量、焙砂含锌量、渣含水率、渣含锌量及渣量,三段类黄钾铁矾工艺的锌浸出率为94.67%,较针铁矿法、喷淋除铁法、黄钾铁矾法工艺的锌浸出率均有所降低,但较常规浸出工艺80%~87%锌浸出率明显升高。锌浸出率的略微降低既能保障湿法炼锌主系统锌的回收率,减少过量的金属锌进入浸出渣处理系统造成金属损失,提高锌金属回收率,又能保障浸出渣回转窑系统运行的经济可靠。

3.2.2 浸出渣率

根据生产中锌焙砂的加入量、渣含水率及渣量,三段类黄钾铁矾工艺浸出渣率为37.27%,较喷淋除铁法、黄钾铁矾法降低,而较针铁矿法高,而针铁矿法因其本身的特点及硫酸根富集的问题,采用该工艺的企业有限。三段类黄钾铁矾工艺的浸出渣率较黄钾铁矾工艺降低,可有效缓解浸出渣处理系统压力,降低渣处理系统的生产成本。

3.2.3 浸出渣含锌量及含硫量

在生产实践中,每15天化验分析浸出渣的含锌量和含硫量,取平均值绘制曲线,如图5所示。

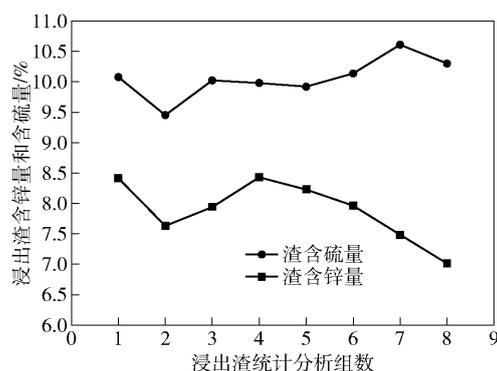


图5 三段类黄钾铁矾法浸出渣含锌量、含硫量变化趋势图

从图5可知:

1) 三段类黄钾铁矾工艺产出的浸出渣含锌量基本稳定在8%左右,这个水平既能确保湿法炼锌主系统的锌回收率,缩短大部分锌金属的冶炼流程,提高锌回收率,又可使浸出渣回转窑处理系统经济运行,产出足量的次氧化锌满足烟气脱硫的需求。

2) 三段类黄钾铁矾工艺产出浸出渣含硫量基本稳定在10%左右,较黄钾铁矾工艺渣含硫量降低3%,可大幅减缓回转窑挥发法烟气脱硫的环保压力。

3) 转化法采用中性浸出底流中和热酸浸出液, 三段类黄钾铁矾法亦采用中性浸出底流中和和沉矾工序中的酸浸上清液, 因而与转化法一样具有减少设备使用和节约能耗的优势, 但该工艺较四川西昌炼锌厂采用的转化法流程更短^[7]。根据生产实践, 因三段类黄钾铁矾工艺的流程更短且工艺控制温度较低, 蒸汽消耗不高, 沉矾和酸性浸出温度在冬季蒸汽不足时仍可达到工艺要求, 节约能源效果显著。

4) 浸出渣含水率维持在 25% 左右, 且现场液固分离过滤实践显示, 液固分离效果良好, 与黄钾铁矾工艺液固分离效果相近。

通过上述对比可知, 针铁矿法、喷淋除铁法在除铁过程中形成的 FeOOH 本身不带入硫, 只是针铁矿渣中水分会夹带部分硫酸根, 虽然渣含硫量有限, 但产出的铅银渣会夹带较大硫酸根, 使浸出渣含硫量升高, 增加回转窑烟气脱硫系统的压力, 且针铁矿法采用的硫化锌或硫化铅还原 Fe^{3+} 形成的硫渣, 需要返回焙烧再处理, 流程较长, 会增大焙烧炉的运行压力; 传统黄钾铁矾法为最大限度地降低浸出渣含锌量, 提高锌的浸出率, 铁酸锌等被完全裂解, 导致铁等杂质大量进入浸出液中, 而铁主要以铁矾的形式除去, 由于形成的矾渣夹带大量的硫酸根, 因而浸出渣含硫量更高(约为 13%), 无形中增大回转窑处理浸出渣过程中的脱硫压力, 且该工艺浸出渣含锌量较低, 回转窑处理后产出的次氧化锌较少, 无法满足氧化锌脱硫工艺的需求; 转化法是改进的黄钾铁矾法, 形成的浸出渣含硫量仍较高, 同样具有传统黄钾铁矾法本身存在的问题。相比之下, 三段类黄钾铁矾法产出的浸出渣具有适宜于回转窑无害化处理的的优势及特点。

4 三段类黄钾铁矾法工艺优势及特点

三段类黄钾铁矾法汲取了黄钾铁矾法除铁效率高, 形成的铁矾晶体过滤性能好的优点, 解决了传统黄钾铁矾法沉矾过程添加焙砂中和剂造成的锌金属损失及环境污染的问题, 解决了针铁矿法硫酸根富集的难题, 同时也解决了常规法锌浸出率低、渣量大、火法处理成本高的弊端, 回避了黄钾铁矾法渣含硫量高, 浸出渣火法处理脱硫压力大的缺点。三段类黄钾铁矾工艺具有流程短、操作简单、能源消耗低、锌浸出率较高、渣率较小、渣含锌量适中、渣含硫量较低等特点, 且更为突出的优势是满足采用回转窑挥发法处理该工艺产出的浸出渣的要求, 实现回

转窑渣处理量少, 脱硫压力小, 回转窑运行经济可靠。该工艺虽存在与转化法类似的铅、银及稀散金属与铁渣均进入浸出渣中, 不利于综合回收的缺点, 但该浸出渣经回转窑挥发后产出次氧化锌, 再进入回转窑进行脱氟、脱氯及铅锌分离, 有价金属铅以铅烟尘的形式产出回收, 亦不会造成有价金属的不正常损失。

5 结论

1) 三段类黄钾铁矾工艺产出的中上清液质量与常规法、黄钾铁矾产出的中上清液质量相近, 能满足湿法炼锌净化工序的要求。

2) 采用中性浸出底流中和酸性浸出上清液的酸, 能进一步提高锌浸出率, 同时能保证沉矾工序 pH 值 1.5 ~ 2.0 的要求。

3) 三段类黄钾铁矾工艺锌浸出率为 94.67%、渣率为 37.27%、渣含锌量和含硫量分别约为 8% 和 10%, 且液固分离效果良好, 产出浸出渣含水率约为 25%。

4) 三段类黄钾铁矾工艺具有流程短、能源消耗低、渣率较小、渣含锌量适中、渣含硫量较低、渣火法无害化处理脱硫压力小等特点, 更适宜于配套回转窑挥发法处理浸出渣的工艺, 能满足当前愈来愈苛刻的环保要求。

[参考文献]

- [1] 晏祥树, 陈春林. 锌浸出渣火法处理工艺探讨[J]. 中国有色冶金, 2012, 41(5): 58-62.
- [2] 彭容秋. 锌冶金[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005: 33-49.
- [3] 胡鹏飞. 湿法炼锌的热酸浸出工艺流程综述[J]. 工程设计与研究(长沙), 1998(1): 12-16.
- [4] 王运健. 喷淋沉淀除铁工艺的应用[J]. 有色冶炼, 1999, 28(4): 9-12.
- [5] 马骏. 湿法炼锌中的除铁问题[J]. 湖南有色金属, 1993(3): 161-164.
- [6] 森维, 孙红燕, 李正永, 等. 锌湿法冶炼过程中除铁方法的研究进展[J]. 矿冶, 2013, 22(3): 71-73.
- [7] 梅光贵, 王德润, 周敬元, 等. 湿法炼锌学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2001: 198-220.
- [8] 魏甲明, 杨斌, 李若贵. 西北铅锌厂 152 m² 流态化焙烧炉与改良黄钾铁矾法炼锌项目的创新[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(2): 11-13, 83.

Research on Effect Regularity of Anode Replacement on Aluminum Level at Furnace Gate

ZHANG Lie-rong

Abstract: Through statistical analysis of aluminum levels at the furnace gate of 140 sets of 350 kA electrolysis cells, the variation regularity of aluminum level with the position of the anode replacement was studied. A correction model was developed to eliminate the effect from anode replacement and verified by actual electrolytic cells. The research methods are as follows: first, count the median aluminum level corresponding to each rotating pole single cell, then count the difference between the aluminum level when replacing anodes at different positions and the median aluminum level of this rotating pole, and the median aluminum level deviation of different electrolytic cells when replacing anodes at the same position. Analysis results indicate that the aluminum level changes periodically with the change of pole changing position: when changing anodes at different positions in each round, the aluminum level deviation first increases, then decreases, and then maintains the same level; The aluminum horizontal deviation at the incoming and outgoing terminals shows obvious antisymmetry with the pole changing position. The aluminum level deviation interquartile spacing (10 mm) can be used as the corresponding maximum deviation reference value to correct the aluminum level. It is proved that the fluctuation of aluminum level becomes smaller after correction, which is more conducive to guiding production.

Key words: electrolytic aluminum; anode replacement; aluminum level; electromagnetic field; regularity analysis

(上接第30页)

Exploration on the Application of Three-Stage Jarosite Leaching Process for Zinc Hydrometallurgy

WANG Hong-ji, WANG Xin, JIN Zhong, WANG Zhang-bin, LI Ya-dong, WANG Peng, ZHAO Li-bing

Abstract: In this paper, the three-stage jarosite leaching process was proposed based on the economy and environmental protection of the harmless treatment of zinc leaching residue in rotary kiln equipped with zinc hydrometallurgy leaching process. The quality of the supernatant produced by the process and the change of Fe^{2+} , Fe^{3+} , H^+ and other contents in the process control were investigated. The characteristics of the economic and technical indicators of the process, such as zinc leaching rate, slag rate, zinc content in slag, were studied. The advantages of supporting rotary kilns in harmless treatment of zinc leaching slag were analyzed. According to the production practice, the quality of the medium and supernatant produced by the three-stage potassium jarosite process is similar to that produced by the conventional method and potassium jarosite, which can meet the requirements of the purification process of zinc hydrometallurgy. The zinc leaching rate of the three-stage potassium jarosite process is 94.67%, the residue rate is 37.27%, the zinc content and sulfur content of the residue are about 8% and 10% respectively, and the liquid-solid separation effect is good. The three-stage potassium jarosite leaching process has the advantages of short process, low energy consumption, low residue rate, moderate zinc content and low sulfur content in the leached residue, which is suitable for the harmless treatment of rotary kiln.

Key words: jarosite leaching process; goethite method; spray iron removal method; transformation method; zinc leaching residue; iron removal; rotary kiln