

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2021.02.003

湿法炼锌中锌铁分离方法与运用探讨

张国华,朱北平,陈先友,姚应雄,成世雄,李云,李科

(云锡文山锌铟冶炼有限公司,云南 文山 663701)

摘要:湿法炼锌已成为锌冶炼的主流趋势,铁闪锌矿作为当今锌冶炼的主要原料,铁的分离成为其在湿法炼锌过程中的关键环节,湿法炼锌工艺流程的选择很大程度上就是锌铁分离方法的选择。阐述了铁闪锌矿在湿法炼锌过程中几种主要的锌铁分离方法及其工艺原理、工艺控制条件、主要经济技术指标,并且分析了工艺的优缺点,为湿法炼锌企业锌铁分离方法的选择和运用提供依据。

关键词:挥发法;黄钾铁矾法;针铁矿法;赤铁矿法;铁资源化

中图分类号:TF813

文献标志码:A

文章编号:1007-7545(2021)02-0020-07

Discussion on Separation Method and Application of Zinc and Iron in Zinc Hydrometallurgy

ZHANG Guo-hua, ZHU Bei-ping, CHEN Xian-you, YAO Ying-xiong,
CHENG Shi-xiong, LI Yun, LI Ke

(Yunxi Wenshan Zinc Indium Smelting Co., Ltd., Wenshan 663701, Yunnan, China)

Abstract: Zinc hydrometallurgy has become the mainstream trend of zinc smelting. Sphalerite is main raw material of zinc smelting, iron separation has become a key link in zinc hydrometallurgy. Choice of zinc smelting process is largely choice of zinc-iron separation method. Several main zinc-iron separation methods and process principles, process control conditions, and main economic and technical indicators of zinc hydrometallurgy process of sphalerite were described. Advantages and disadvantages of those processes were analyzed which can provide reference of selection and application of zinc-iron separation methods.

Key words: volatilization method; jarosite method; goethite method; hematite method; iron resource utilization

随着高锌低铁锌资源的不断开发利用,高品质锌资源逐渐减少,高铁复杂锌精矿成为当前锌冶炼的主要原料,同时也势必带来更多的杂质分离问题,包括铁的分离。当前锌冶炼厂85%以上采用湿法炼锌工艺,其工艺过程主要包括常规浸出—渣挥发法、热酸浸出—黄钾铁矾法、热酸浸出/氧压浸出—针铁矿法、还原浸出—赤铁矿法,其关键核心技术为锌铁分离^[1],因此,高铁锌精矿湿法炼锌过程中在锌铁高效分离、铁渣资源化利用、清洁绿色生产方面面临新的挑战。

渣挥发法存在铜、钢等有色金属回收率低、能耗高、环境负担重等问题,窑渣只能堆存或二次处理^[2],目前80%以上湿法炼锌企业采用此法,主要以株洲冶炼厂、驰宏锌锗等为代表;黄钾铁矾法和针铁矿法除铁渣量大、含锌高、含铁低,需要二次挥发处理,黄钾铁矾法以赤峰中色锌业、西北铅锌冶炼厂等为代表,针铁矿法以丹霞冶炼厂、西部矿业等为代表;赤铁矿法除铁渣量小、铁渣含锌低、含铁高,可实现锌精矿中有价金属的高效回收和铁的资源化利

收稿日期:2020-10-13

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC1900402)

作者简介:张国华(1983-),男,云南楚雄人,工程师;通信作者:陈先友(1990-),男,云南曲靖人,工程师

用,是处理高铁复杂锌精矿的有效途径^[3],符合清洁冶炼、节能环保、绿色生产的行业发展方向,赤铁矿法以日本秋田冶炼厂和我国云锡文山锌铟冶炼有限公司为代表。本文对湿法炼锌中典型的几种除铁方法进行阐述和分析对比,为湿法炼锌企业除铁工艺选择和运用提供参考依据。

1 原料中铁的赋存形式

对国内某厂高铁锌精矿与锌浸出渣进行 XRD

分析,结果如图 1 所示。由图 1a 可知,高铁锌精矿中主要矿物为闪锌矿和铁闪锌矿。从图 1b 可知,锌浸出渣中主要矿物为铁酸锌。

对国内某厂高铁锌精矿与锌浸出渣中铁在各物相中的分布进行了分析,其结果如表 1 所示。由表 1 可知,在高铁锌精矿中,铁主要以硫化物形态存在,占总铁量的 94%;在锌浸出渣中,铁主要以赤铁矿和磁铁矿形态存在,分别占总铁量的 82%和 7%左右。

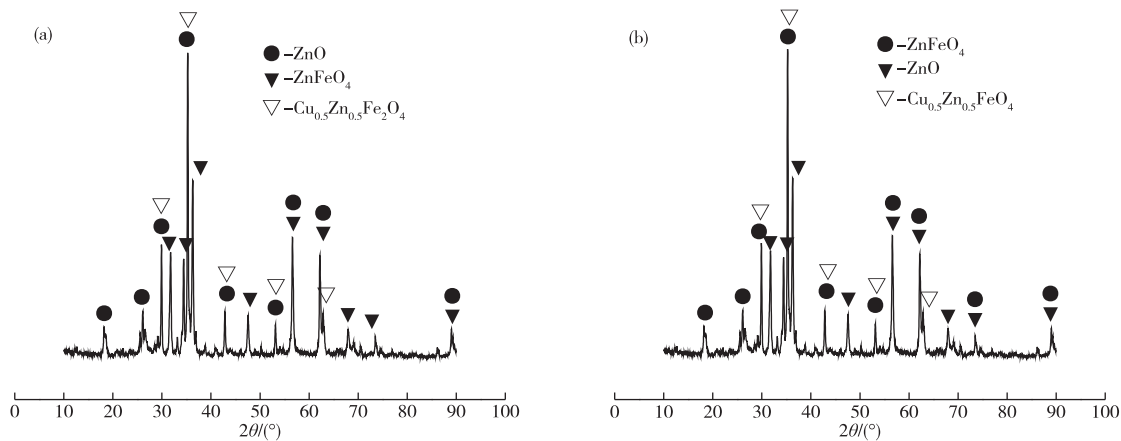


图 1 高铁锌精矿(a)和锌浸出渣(b)的 XRD 谱
Fig. 1 XRD patterns of high-iron zinc concentrate (a) and zinc leaching residue (b)

表 1 高铁锌精矿和锌浸出渣中铁物相的分布

Table 1 Iron phases distribution of high-iron zinc concentrate and zinc leaching residue							/%
名称		磁铁矿	硅酸盐	硫化物	赤铁矿*	其它	合计
高铁锌精矿	含量	0.46	0.13	15.87	0.24	0.12	16.82
	占比	2.73	0.77	94.35	1.43	0.71	100
锌浸出渣	含量	2.38	1.27	0.15	28.47	2.46	34.73
	占比	6.85	3.66	0.43	81.98	7.08	100

注: * 含铁酸锌中铁

2 常规浸出—渣挥发法

常规湿法炼锌工艺指的是锌精矿经过沸腾焙烧脱硫后产出的锌焙烧矿采用一段中性浸出,一段弱酸浸出,浸出渣经过回转窑或者烟化炉还原挥发,产出氧化锌经多膛炉除氟、氯后返回浸出系统^[4]。对于高铁物料,中性浸出和弱酸浸出过程中铁几乎不被浸出,仍留在浸出渣中,主要以铁酸锌形式存在。浸出渣挥发过程其实就是锌铁分离的过程,锌以氧化锌烟尘形式富集回收,铁以氧化铁的形式残留在窑渣中。

回转窑工艺控制条件为:窑温 1 100~1 250 ℃、

窑尾烟气温度 650~800 ℃、焦率 50%、窑内负压 50~80 Pa、压缩风压 0.1~0.2 MPa、窑转速 0.5~1 r/min。

产出窑渣含锌 1.5%~2.5%,铁 30%~40%,碳 10%~20%,铅 0.3%~0.5%,硫 4%~5%,银 200~700 g/t。窑渣经风选回收焦炭,磁选回收铁,浮选回收银后销往水泥厂或堆存^[5]。

株洲冶炼厂配有三种型号的回转窑,分别为 Φ_内2.75 m×44 m,氧化锌产能为 45~50 t/d; Φ_内2.9 m×52 m,氧化锌产能为 60~70 t/d; Φ_内3.6 m×58.2 m,氧化锌产能为 95~120 t/d。其原料和产物主要化学成分如表 2 所示。

表2 株洲冶炼厂回转窑处理锌浸渣原料和产物主要成分

Table 2 Main chemical composition of raw materials and products of zinc leaching residue treated by rotary kiln of Zhuzhou Smelter

物料	Zn	Pb	Cd	Cu	S	As	Sb	C	Ag	In
浸出渣	20~22	3.2~3.5	0.3~0.35	0.83	6~7	0.8~1.0	0.2~0.3	—	0.022~0.03	0.05~0.06
窑渣	1.5~2.5	0.3~0.5	0.1	0.7~1.2	4~5	0.4~0.5	0.06~0.1	15~25	0.015~0.02	0.016~0.026
氧化锌灰	60~62	8~10	1.5~2.5	—	2~3	0.4~0.5	0.06~0.15	2.5~3.5	0.015~0.02	0.15~0.18

回转窑挥发工序中,有价金属回收率分别为: Zn 92%~94%、Pb 82%~84%、In 80%~85%、Ge 32%~35%、Ga 14%、Cd 90%~92%。

渣挥发法主要优点:1)工艺较为成熟,流程短,操作简单,生产稳定,原料适应性强;2)锌铁分离彻底,窑渣含锌低。

渣挥发法主要缺点:1)综合能耗高,运行成本较高;2)窑渣含铁低,不可直接被钢铁厂利用,需二次处理;3)铜、银、铜等有价金属回收率低;4)操作环境不理想,弃渣难定性为无害渣,堆存环保风险大。

3 热酸浸出—黄钾铁矾法

热酸浸出过程的实质是将常规浸出渣(即弱酸浸出渣)采用高温高酸浸出,将铁酸锌及其他化合物溶解,金属回收率显著提高,锌、铁、铜、铜等元素进入溶液,铅、银、锡等金属在渣中得到富集^[6]。若原料为高铁锌精矿,则溶液中的铁高达20~40 g/L,且大部分以三价铁形式存在,若采用常规的中和水解除铁,将形成体积庞大的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体,无法浓缩与过滤。目前,从高铁溶液中有效沉铁的方法主要有黄钾铁矾法 $[\text{KFe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6]$ 、针铁矿法(FeOOH 或 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)、赤铁矿法(Fe_2O_3)。

在常压、温度90~95℃、pH 1.0~1.5、时间3~5 h、添加碱金属离子或铵离子的条件下,热酸浸出液中的三价铁离子可沉淀出 $\text{AFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ 的三价铁化合物,其中A可以是 Na^+ 、 K^+ 或 NH_4^+ 等。研究发现,此化合物化学成分、结构与自然界中的黄钾铁矾和草黄铁矾矿物相似,呈菱形结晶体,且易于沉降和过滤^[7]。这种除铁方法称为黄钾铁矾法。

由于黄钾铁矾晶体的生成比较缓慢,生产中通常返回部分黄钾铁矾渣作为晶种,以缩短诱发期,能显著地缩短铁矾沉淀时间和提高除铁率^[8],黄钾铁矾法除铁率在90%~95%,残留1~2 g/L的铁将在中性浸出过程中被中和水解沉淀除去。

为保持沉铁矿浆pH在1.0~1.5,使反应持续进行,沉铁过程中需加入中和剂中和水解生成的酸,

生产中通常加入焙烧矿,但在pH 1.0~1.5条件下,焙烧矿中有价金属浸出率低,导致铁矾渣含锌在4%~6%,需要进一步回收锌及其他有价金属。为了降低锌、铅、银、铜、铜等有价金属在铁矾渣中的损失并改善矾渣对环境的污染,20世纪90年代澳大利亚电锌公司又研究出了低污染黄钾铁矾法,即在铁矾沉淀前调整溶液成分,使沉矾过程中不需加入中和剂就能达到理想的除铁效果,可通过低温预中和或使用中上清作稀释剂得以实现^[9]。常规黄钾铁矾法和低污染黄钾铁矾法铁矾渣主要化学成分如表3所示。

表3 常规黄钾铁矾法和低污染黄钾铁矾法铁矾渣主要成分

Table 3 Main chemical components of conventional jarosite method and low-pollution jarosite method slag

名称	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb	Ag*
常规法铁矾渣	24~30	4~6	0.2~0.5	0.05~0.2	1~3	10~100
低污染法铁矾渣	25~32	1~3	<0.03	<0.005	<0.05	<5

注: * g/t

用中性浸出液稀释的低污染黄钾铁矾工艺流程如图2所示,低温预中和低污染黄钾铁矾工艺流程如图3所示。

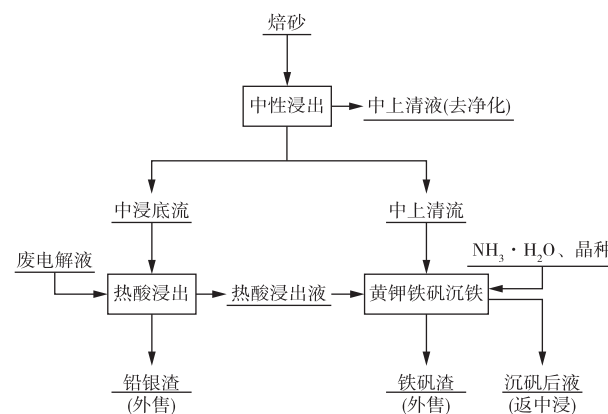


图2 用中性浸出液稀释的低污染黄钾铁矾工艺流程

Fig. 2 Process flow of low-polluting jarosite diluted with neutral leachate

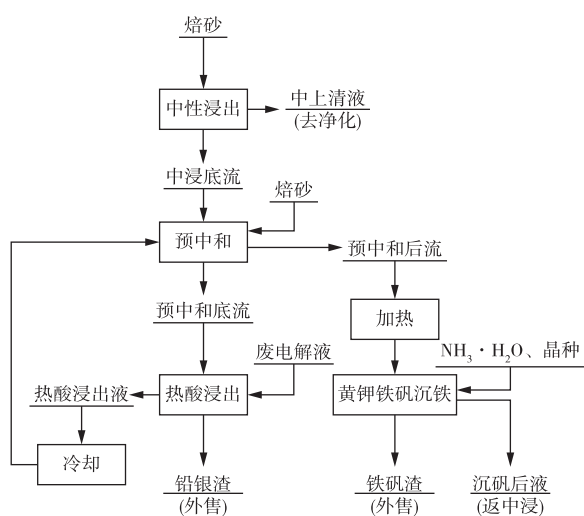


图3 低温预中和低污染黄钾铁矾工艺流程

Fig. 3 Process flow of low-temperature pre-neutralization and low-pollution jarosite

赤峰中色锌业采用热酸浸出—低温预中和低污染黄钾铁矾工艺,使用碳酸氢铵和碳酸氢钠作为沉矾剂,其配比为9:1,分别从1[#]槽和3[#]槽加入,分配比为3:1。为了保证沉矾效果,生产中返回1/4的底流作为晶种加入到1[#]反应槽中,同时加入锰矿粉,保证沉铁后液Fe²⁺含量小于10 mg/L,当沉铁后液Fe²⁺含量大于1 g/L时,可直接加入高锰酸钾。在温度90~95℃,时间3.5~4 h,终酸20~23 g/L(始酸15~18 g/L)的条件下,可将预中和后液中的铁由8~10 g/L除至2~4 g/L。产出铁矾渣作为危废渣堆存,暂未作进一步处理,其主要化学成分(%):Zn 3~4、Fe 26~28、Pb 1~2、Cu 0.2~0.4、Cd 0.02~0.05、SiO₂ 8~12、CaO 1.5~4、MgO 0.01~0.15。

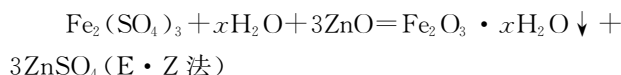
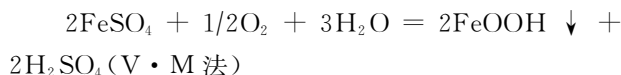
黄钾铁矾法主要优点:1)工艺成熟可靠,流程简单,易于操作控制,投资相对较低;2)铁矾渣带走部分硫酸根,有利于保持酸根平衡;3)铁矾渣仅含有少量Na⁺、K⁺或NH₄⁺,碱试剂消耗少;4)黄钾铁矾法放酸少,pH控制较低(1.0~1.5),中和试剂消耗少。

黄钾铁矾法主要缺点:1)渣量大,渣含铁25%~30%,不便利用,渣的堆存性能不好,对环境保护不利;2)稀散有价金属镓、铟、锗沉于铁矾渣中,不利于综合回收。

4 热酸浸出/氧压浸出—针铁矿法

针铁矿法沉铁是在热酸浸出或氧压浸出后,用还原剂将溶液中的Fe³⁺还原为Fe²⁺,再在pH 3.0~4.5、温度85~90℃、时间3~5 h、加入晶种的条件

下用空气缓慢氧化生成FeOOH沉淀析出,简称V·M法。20世纪70年代澳大利亚电锌公司研究了一种新的针铁矿法,将高Fe³⁺溶液均匀缓慢地加入到温度85~90℃、强烈搅拌、不含铁的溶液体系中,并控制反应系统Fe³⁺浓度始终小于1 g/L(即Fe³⁺加入速率等于针铁矿沉淀速率),不断加入中和剂保持溶液pH 3.0~4.5,使Fe³⁺以类针铁矿沉淀^[10],简称E·Z法。主要化学反应方程式为:



Fe³⁺的还原和Fe²⁺的氧化是针铁矿法沉铁的两个关键过程。生产中通常用ZnS精矿或ZnSO₃作还原剂,ZnS精矿是一种惰性还原剂,还原过程非常缓慢^[11],为了加快反应速率,通常在温度90~95℃、酸度大于50 g/L、ZnS过量15%~20%,时间5~6 h的条件下进行,可实现92%以上的Fe³⁺还原率。空气氧化是通过溶解在溶液中的氧来实现的,为了提高氧化速率和氧化程度,生产中采用高效氧化反应槽和特殊搅拌等,将空气以分散式加压进入溶液,增大氧气与溶液的接触面^[12],也有企业采用氧气或双氧水作为氧化剂。为了加快针铁矿水解沉淀速率,可返回部分针铁矿渣作为晶种。此外,溶液中存在Cu²⁺对Fe²⁺的氧化过程具有良好的催化作用,一般要求Cu²⁺ 0.2~0.5 g/L,且pH>2.5时,可获得理想的催化效果。

为保持沉铁体系pH 3.0~4.5,反应过程中需不断加入中和剂,通常采用低铁焙砂,锌焙砂的加入导致针铁矿渣含锌高达7%~13%,需采用挥发法进一步回收锌。虽然针铁矿渣比铁矾渣含铁高,可达35%~40%,但仍不能作为炼铁原料利用。

针铁矿工艺流程如图4所示。

丹霞冶炼厂采用氧压浸出—针铁矿工艺,一段氧压浸出过程中ZnS精矿过量,实质为还原浸出,保证浸出液中Fe²⁺ 8~12 g/L,Fe³⁺<2 g/L。一段氧压浸出液经过焙砂中和、锌粉置换回收锗后用针铁矿法沉铁,在温度80~85℃,时间4~5 h,压缩空气压力0.3~0.6 MPa,流量40 m³/m³溶液,过程pH 3.0~3.5,硫酸铜0.2~0.5 g/L工艺条件下,可实现87%~92%的沉铁率,沉铁后液含铁小于1 g/L。针铁矿渣进入回转窑进一步挥发回收锌,其主要化学成分为(%):Zn 7~8.5、Fe 38~41、Pb 2~3、Cu 0.4~0.6、Cd 0.05~0.1、Sb 0.05~0.08。

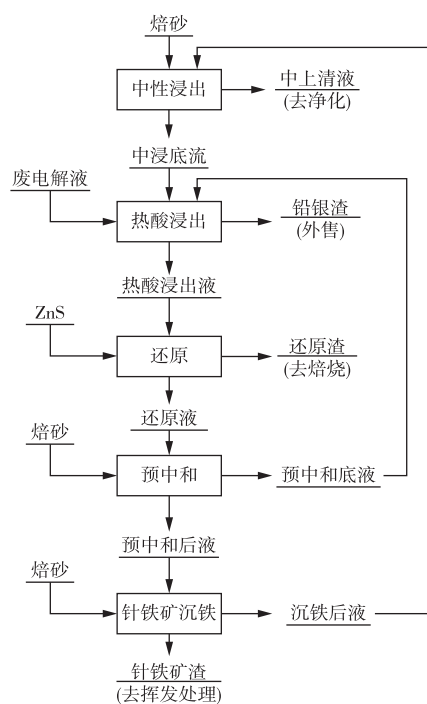


图4 针铁矿工艺流程

Fig. 4 Goethite process flow

针铁矿法主要优点:1)针铁矿沉淀结晶状态良好,易于沉降过滤;2)与黄钾铁矾法相比,不需消耗碱试剂,渣量相对较少,渣含铁相对较高;3)沉铁完全,溶液含 $\text{Fe}^{3+} < 1 \text{ g/L}$;4)沉铁的同时,可有效吸附除去溶液中大部分砷、锑、氟、氯等有害杂质元素^[6],氟的脱除率达60%以上,有利于电解的稳定运行。

针铁矿法主要缺点:1)V·M法需增加还原过程,蒸汽耗量大,增加生产成本;还原渣含锌和硫高,需返回焙烧炉处理;2)沉铁过程添加焙砂作中和剂,针铁矿渣含锌较高,需二次挥发处理,工艺流程相对较长;3)沉铁过程pH的控制较为严格,控制难度大;4)不宜处理含铁超过10%的锌精矿,原料适应性相对较差。

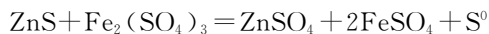
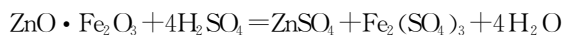
5 还原浸出—赤铁矿法

赤铁矿法由日本同和矿业公司发明,1972年在日本饭岛冶炼厂投入使用,也是全球唯一成功运用赤铁矿法的企业^[13],但由于其实行严密的技术封锁,国内一直未能成功产业化运用。云锡文山锌铜冶炼有限公司历时6年多的自主研发,攻克了赤铁矿工艺的多项核心关键技术,并于2018年建成国内第一家赤铁矿法锌冶炼厂,标志着赤铁矿法炼锌工艺在中国首次成功产业化应用。稳定运行至今,主

要经济技术指标优于日本饭岛冶炼厂。

赤铁矿法沉铁是将含 Fe^{2+} 的溶液在高压釜内于高温($\sim 200^\circ\text{C}$)、高压(1.8~2.0 MPa)条件下通入氧气,停留约3 h,使 Fe^{2+} 氧化生成 Fe_2O_3 沉淀^[14]。赤铁矿法沉铁可实现约90%的沉铁率,沉铁后液含铁小于5 g/L,返回中性浸出;赤铁矿渣含铁57%~60%,含锌小于0.5%,含硫2%~3%,含砷小于0.2%,经焙烧脱硫或配料后可作为炼铁原料。

赤铁矿法沉铁的前提条件是获得含 Fe^{2+} 的溶液,为了简化流程,开发出了锌浸渣的还原浸出工艺:在高温高酸低压条件下,通入 SO_2 或加入 ZnS 精矿作还原剂,充分溶解锌浸渣中铁酸锌、硅酸锌等难溶组分^[15],实现锌、铜、镉、铁等有价值金属的高效浸出的同时,将溶液中的 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} ,即有价值金属溶解和 Fe^{3+} 还原在同一个体系中完成,可实现97%以上的有价值金属浸出率和95%以上的 Fe^{3+} 还原率。主要化学反应方程式如下:



还原浸出液中通常富含铜、镓、铟、锗等有价值金属,因此在沉铁之前需要将这些有价值金属元素从溶液中富集开路,便于综合回收,可采用置换法、硫化法、中和水解法、萃取法等。最终获得仅含有锌和二价铁,且接近中性(pH 4.0~5.0)的赤铁矿沉铁前液。赤铁矿工艺流程如图5所示。

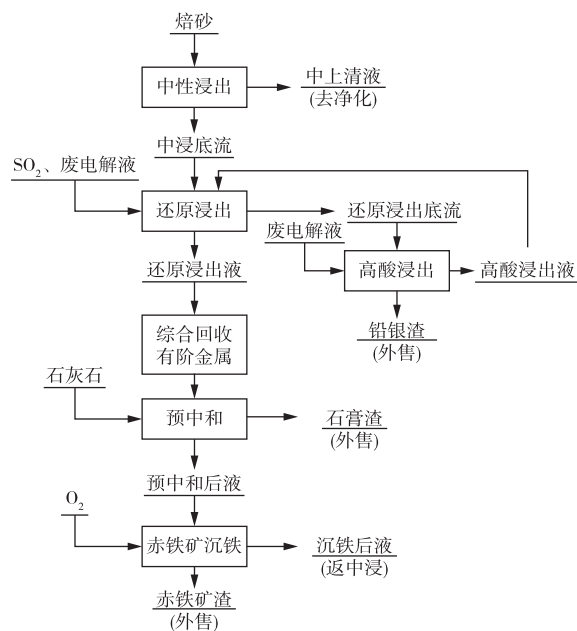


图5 赤铁矿工艺流程

Fig. 5 Hematite process flow

云锡文山锌铟冶炼有限公司采用 SO₂ 还原浸出一赤铁矿工艺,还原浸出液含铁 40~50 g/L,其中 Fe³⁺ 含量小于 3 g/L。还原浸出液经过置换沉铜—预中和—中和沉铟后进入高压釜赤铁矿法沉铁,在温度 180~220 ℃,时间 3 h,压力 1.8~2.0 MPa,终酸 30~60 g/L 的工艺条件下,可实现 88%~92% 的沉铁率,沉铁后液含铁 2~5 g/L。赤铁矿渣作为炼铁原料外售,其主要化学成分为(%):Zn 0.3~0.6、Fe 57~59、S 3~4、In 0.002 0~0.004 0、As 0.1~0.3。

赤铁矿法主要优点:1)渣量小,渣含锌低、含铁高,可作为炼铁原料外售,无需堆存,实现铁渣的无害化、减量化、资源化利用;2)锌及伴生有价金属回收率高;3)赤铁矿沉淀晶型较好,颗粒粗大,液固分离性能好;4)运行成本低,经济效益明显;5)原料适

应性强,可处理不同铁品位的锌资源。

赤铁矿法主要缺点:1)高压釜设备需要特殊材料,建设投资大,维护费用高,蒸汽消耗大;2)高温高压强氧化气氛,工况复杂,装备水平要求高,自动化控制水平高;3)使用 SO₂ 作还原剂,环保要求高,且带入系统酸根离子,酸平衡问题用石灰中和解决,但产生大量的石膏渣;4)使用 ZnS 精矿作还原剂,产出大量硫渣,硫渣处理流程冗长。

6 主要指标对比

根据几种锌铁分离方法在国内的产业化运用情况,对有价金属回收率、能耗、渣量以及铁渣主要成分等关键指标进行综合对比,有价金属回收率和能耗对比情况如表 4 所示,渣量和铁渣成分对比情况如表 5 所示。

表 4 不同工艺有价金属回收率和能耗对比

Table 4 Comparison of valuable metal recovery rate and energy consumption of different process

工艺技术指标		常规浸出— 渣挥发工艺	热酸浸出— 黄钾铁矾工艺	热酸浸出— 针铁矿工艺	氧压浸出— 针铁矿工艺	还原浸出— 赤铁矿工艺
金属回收率或资源利用率	锌回收率/%	92~96	93~96	93~96	94~96	97~98
	铜回收率/%	50~65	未回收	未回收	未回收	70~78
	银回收率/%	45~55	50~60	65~70	65~70	85~90
	铁资源利用率/%	60~75	70~80	70~80	~85	95
		<50	未回收	<50	未回收	90
吨锌主要能耗	电/kWh	3 800~4 100	3 700~4 100	3 800~4 100	4 000~4 300	4 200
	焦煤/t	0.4~0.5	—	—	~0.2	—
	氧气/m ³	0~40	—	—	~220	70
吨锌综合能耗/kgce	无浸出渣火法处理系统	—	700~800	700~800	900~950	682
	有浸出渣火法处理系统	900~1 250	—	—	—	—

注:表中数据为行业平均数据

表 5 不同工艺渣量和铁渣主要成分对比

Table 5 Comparison of slag amount and main components of iron slag of different process

项目		常规浸出— 渣挥发工艺	热酸浸出— 黄钾铁矾工艺	热酸浸出— 针铁矿工艺	氧压浸出— 针铁矿工艺	还原浸出— 赤铁矿工艺	备注
铁渣	吨渣渣量/t	—	~0.91	~0.81	~0.76	~0.52	在行业实际平均渣率基础上,统一锌精矿含铁为 15%进行推算
	渣含 Zn/%	—	3~5	8~10	7~13	0.5~0.6	
	渣含 Fe/%	—	25~32	35~42	39~40	58~60	
铅银渣	吨渣渣量/t	~0.11	~0.40	~0.23	~0.20	~0.15	
	渣含 Zn/%	6~8	5~7	5~7	7~8	2.5~3.5	
吨渣窑渣/t		~1.02	—	—	~0.11	—	以 10 万 t/a 锌产能计
吨渣渣量合计/t		1.13	1.31	1.04	1.07	0.67	

注:表中数据为行业平均数据

表 4~5 表明,还原浸出一赤铁矿工艺相比常规浸出一渣挥发工艺、热酸浸出一黄钾铁矾工艺、热酸浸出一针铁矿工艺,不仅可将锌回收率提升 2~3 个百分点,更显著提升了铜、银回收率,且实现铁 90% 以上的资源利用率,吨锌综合能耗仅有 682 kgce,低于《铅锌行业规范条件》中的准入值 900 kgce,以上指标的提升对增加企业经济效益具有重要意义;此外,产渣量最多的是热酸浸出一黄钾铁矾工艺,约为吨

锌 1.3 t,还原浸出一赤铁矿工艺产渣量相对较低,约为吨锌 0.6 t,其中吨渣铁渣量约为 0.5 t,且铁渣含铁达 58%~60%,可作为炼铁原料外售,实现含铁废渣零堆存,环境友好。

7 结语

渣挥发法、黄钾铁矾法、针铁矿法均能实现较好的锌铁分离效果,但均存在回收率低、能耗高、铁渣

无法资源化利用等问题,已不能满足当前高态势、高标准下的低碳经济、绿色环保以及锌冶炼渣减量化、无害化、资源化的要求。赤铁矿法不仅达到了锌铁分离的目的,且实现了锌精矿中铁的资源化利用,解决了铁渣的堆存问题,环境友好,符合国家生态文明建设的发展理念,此外,在有价金属回收率上也具有明显的优势,经济和社会效益显著,市场竞争力强。随着高品质锌资源的逐步消耗,相信赤铁矿沉铁工艺将逐步在行业内推广运用,处理铁闪锌矿的技术优势、环保优势、经济优势将逐步显现,也必将成为锌冶炼行业的最佳工艺选择。

参考文献

- [1] 李存兄. 湿法炼锌过程除铁方法及发展趋势[J]. 云南冶金, 2020, 49(3): 32-36.
LI C X. Iron removal method and development tendency in the process of zinc hydrometallurgy [J]. Yunnan Metallurgy, 2020, 49(3): 32-36.
- [2] 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): 71-74.
SENG W, SUN H Y, LI Z Y, et al. Progress of research on methods of removing iron from zinc hydrometallurgical process [J]. Mining and Metallurgy, 2013, 22(3): 71-74.
- [3] 刘自亮, 杨建平, 严浩, 等. 湿法炼锌除铁工艺研究[J]. 铜业工程, 2020(2): 51-54.
LIU Z L, YANG J P, YAN H, et al. Research on iron removal process in zinc hydrometallurgy [J]. Copper Engineering, 2020(2): 51-54.
- [4] 潘天宇, 宋红刚. 氧化锌烟尘浸出采用针铁矿法除铁生产实践[J]. 中国有色冶金, 2020, 49(2): 5-9.
PAN T Y, SONG H G. Production practice of iron removal by goethite in leaching process of zinc oxide dust [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2020, 49(2): 5-9.
- [5] 王亮. 针铁矿除铁的研究[J]. 科技经济导刊, 2016(18): 83.
WANG L. Research on removing iron from goethite [J]. Technology and Economic Guide, 2016(18): 83.
- [6] 李玉虎, 高禄鹏, 刘志宏. 湿法炼锌厂针铁矿渣的表征[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2019, 50(2): 257-263.
LI Y H, GAO L P, LIU Z H. Characterization analysis of goethite residue from zinc hydrometallurgy plants [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2019, 50(2): 257-263.
- [7] 杨凡, 邓志敢, 魏昶, 等. 采用赤铁矿去除高铁闪锌矿浸出液中的铁[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(9): 2387-2392.
YANG F, DENG Z G, WEI C, et al. Iron-removal by hematite from leaching liquor of high iron sphalerite [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2014, 24(9): 2387-2392.
- [8] 邓志敢, 魏昶, 朱北平, 等. 工艺参数对湿法炼锌赤铁矿法沉铁行为的影响[J]. 矿冶, 2020, 29(2): 49-53, 116.
DENG Z G, WEI C, ZHU B P, et al. Effect of process parameters on the behavior of hematite precipitation in zinc hydrometallurgy [J]. Mining and Metallurgy, 2020, 29(2): 49-53, 116.
- [9] 刘自亮, 王宇佳, 张岭. 锌湿法冶炼渣处理工艺研究[J]. 铜业工程, 2020(1): 74-77.
LIU Z L, WANG Y J, ZHANG L. Study on treatment scheme of zinc hydrometallurgical process slag [J]. Copper Engineering, 2020(1): 74-77.
- [10] 黄孟阳, 邓志敢, 朱北平, 等. 湿法冶金工艺赤铁矿法除铁技术原理与应用[J]. 有色金属(冶炼部分), 2019(6): 1-6.
HUANG M Y, DENG Z G, ZHU B P, et al. Theory and application of iron removal with hematite precipitation in hydrometallurgy [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2019(6): 1-6.
- [11] 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.
YAN X S, CHEN C L. Discussion on pyrometallurgical process for zinc leaching residues [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2012, 41(5): 58-62.
- [12] 孙明生. 铁闪锌矿湿法冶炼浸出渣的资源综合利用无害化处理技术与应用[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(9): 53-56.
SUN M S. Technology and application of the innocent treatment and comprehensive utilization of the iron sphalerite hydrometallurgical leaching residue [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37(9): 53-56.
- [13] 何耀. 锌冶炼工艺现状及有价金属高效回收利用新工艺[J]. 矿冶, 2020, 29(4): 73-79.
HE Y. Current status of zinc smelting process and new technology for high-efficient recovery and utilization of valuable metals [J]. Mining and Metallurgy, 2020, 29(4): 73-79.
- [14] 戴江洪, 秦明晓. 赤铁矿除铁工艺在锌冶炼生产中的应用[J]. 中国有色冶金, 2020, 49(2): 1-4.
DAI J H, QIN M X. Application of iron removal by hematite in zinc hydrometallurgy [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2020, 49(2): 1-4.
- [15] 吴春香, 李国栋. 某锌冶炼回转窑渣回收碳和铁的试验[J]. 矿山机械, 2018, 46(9): 50-54.
WU C X, LI G D. Test for carbon and iron recovery from slag out of rotary kiln in a zinc smelting process [J]. Mining & Processing Equipment, 2018, 46(9): 50-54.