

高硅低杂锌资源冶炼工艺的研究及应用

张 存¹, 刘冰冰¹, 季常青²

(1. 西藏阿里拉果资源有限责任公司, 西藏 阿里 859000; 2. 厦门紫金矿冶技术有限公司, 福建 厦门 361000)

[摘 要] 新疆某新建锌冶炼厂使用的原料锌精矿具有含硅高及其他杂质低的特点, 由于高硅矿在锌冶炼火法系统会产生焙烧炉烧结、回转窑结圈, 在湿法系统导致浸出后固液难以分离等情况, 将严重影响生产系统的正常运行。基于此, 分析和研究硅的存在形态、冶金行为及对锌冶炼各系统的影响, 考察硅对锌冶炼不同阶段(焙烧、制酸、浸出、回转窑处理)的影响及控制措施。结果表明: 通过控制焙烧温度 880 ± 20 °C, 回转窑炉料硅钙比 4:1, 浸出酸浸终点 pH 值 0.5 ~ 1.5, 并利用中浸和酸浸上清液对相应反应后液稀释 1 倍等措施, 可防止回转窑窑尾结圈, 保证冶炼系统的正常稳定运行, 并将产生良好的经济效益。

[关键词] 硅; 锌精矿; 冶炼; 回转窑; 控制措施; 浸出; 焙烧

[中图分类号] TF813 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2023)03-0026-08

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.03.005

新疆某冶炼企业原料锌精矿具有锌含量高、硅含量高、铁含量低、杂质含量低等特点, 根据公司规划, 拟在矿山附近新建生产规模为 10 万 t/a 的锌冶炼厂, 目前已完成 10 万 t 锌冶炼厂的达产达标工作。该项目依据锌精矿原料的特点, 采用火法焙烧和常规湿法工艺流程进行生产, 锌精矿送焙烧炉焙烧, 焙砂送浸出车间进行中性浸出, 浓密溢流送净液车间, 底流送酸性浸出, 浸出渣进入回转窑处理^[1]。

锌精矿原料全部来自新疆某铅锌矿, 该铅锌矿是国内第二大铅锌矿山, 已探明铅锌资源储量

594 万 t, 其中锌金属储量 508 万 t, 在现有矿山规模下可年产锌金属量 10 万 t, 完全可满足冶炼项目需求^[2-3]。但矿山产出的锌精矿含硅平均为 7% ~ 11%, 远高于国内、外锌冶炼厂入炉矿含硅 4% 的标准, 目前国内尚无处理经验。该企业开展了相关试验研究, 系统分析了硅含量对锌冶炼的影响, 并探索出解决方案, 保证了该项目生产系统的正常运行。

1 原料特点及硅的存在形态

1.1 原料成分及特点

混合锌精矿主要元素成分及粒度分布见表 1。

表 1 锌精矿元素分析结果

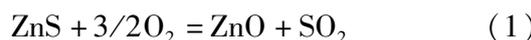
Table 1 Element analysis results of zinc concentrate

成分	Zn	S	Fe	Pb	Cu	Cd	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Co	F	Cl
含量	56.82	30	3.9	0.85	0.05	0.28	0.6	1.6	0.2	8.08	0.01	0.02	0.07

从表 1 可以看出, 混合锌精矿含锌、二氧化硅较高, 含铁、铜、铅、氟、氯等杂质元素含量较低。

1.2 硅的存在形态及冶金行为

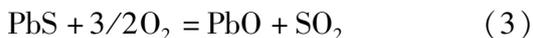
在混合锌精矿中硅的主要存在形态为游离态 SiO₂ (石英)。在焙烧炉中, 精矿中的 SiO₂ 按照反应式(1) ~ (4)生成以 Zn₂SiO₄ 和 PbSiO₃ 为主的硅酸盐化合物^[4]。



[收稿日期] 2022-12-10

[第一作者] 张存(1985—), 男, 山东菏泽人, 本科, 工程师, 主要从事化工冶炼技术研究及管理工作。

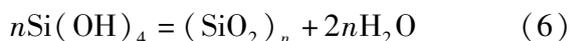
[引用格式] 张存, 刘冰冰, 季常青. 高硅低杂锌资源冶炼工艺的研究及应用[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(3):26-33.



焙烧过程中产生的 Zn_2SiO_4 易溶于硫酸溶液中。按照反应式(5)生成单体硅酸。



这种单体硅酸属于一种弱酸,且性能极不稳定,在不同工艺条件下会形成不同形态的硅凝胶。在 pH 值为 2.0 的条件下,单体硅酸发生聚合反应,聚合为二聚硅酸、三聚硅酸、四聚硅酸、五聚硅酸等多聚硅酸,多聚硅酸之间同时会发生缩合脱水反应,生成二氧化硅溶胶;溶胶胶粒逐渐聚集长大,最后生产无流动性的凝胶^[5]。单体硅酸凝胶过程按照反应式(6)进行。



2 硅对锌冶炼的影响及控制措施

2.1 锌冶炼工艺流程

锌精矿经过焙烧炉在 900 ~ 1 000 °C 焙烧后产出锌焙砂,中性浸出通过 4 台大型机械搅拌槽经溜槽连接进行多级串联反应。焙砂经计量皮带通过加料溜斗加入中性浸出反应槽中,经过 4 级串联反应使得中性浸出终点 pH 值控制在 5.0 ~ 5.4。反应完成后的矿浆由最终浸出槽自流入中浸浓密机中,其中中浸浓密机的溢流液即为中上清液,合格的中上清液泵送至净液车间的中上清液储槽,待进入净液置换反应,中浸浓密机经浓缩沉降后的中浸底流经泵送至酸性浸出。酸性浸出也是 4 级反应槽串联反应。中浸底流进入第一级反应槽,在底流进入的同时加入废电解液和浓硫酸,通过多级反应控制酸性浸出终点 pH 值为 2.0 ~ 3.0。酸性浸出矿浆由最后一级反应槽自流入酸性浸出浓密机中,其中酸性浸出浓密机溢流返回至混合液槽作为氧化液配置液使用,其浓密底流经泵送到酸浸渣过滤车间。来自浸出车间的中上清液,由泵送入净液车间经过三段净化进行净化处理,产出新液送电解车间进行处理产出阴极锌,阴极锌送到熔铸车间,经过 480 °C 左右铸锭机铸锭,机械人堆垛、捆扎产生锌锭。该流程见图 1。

酸浸渣由料仓底部的圆盘给料机均匀加到回转窑内,窑内物料会经过干燥、预热、氧化还原反应及冷却等多个过程,固体混合物料随着回转窑的转动向窑头运动,与窑内的热空气逐步接触并被加热。物料中的水在干燥和预热过程中蒸发,窑内反应过

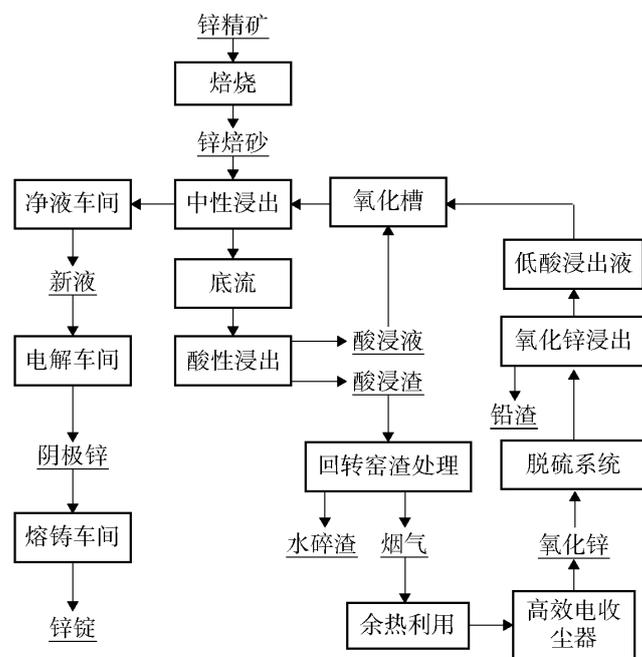


图 1 锌冶炼简要工艺流程

Fig. 1 Brief process flow of zinc smelting

程温度达到 1 100 ~ 1 400 °C 时,物料开始发生氧化还原反应,反应后的窑渣从窑头排出,经冷水冷却后冲入水碎渣池,水碎渣作为弃渣进行堆存或外售。

空气从回转窑的另一端鼓入窑内,在与物料接触后使得物料中的焦炭与空气中的氧气剧烈燃烧反应并放热。在高温条件下,混合物料的锌、铅、镉、银等有价金属氧化物发生还原反应产生金属蒸气,后又与烟气中的氧发生氧化反应,生成固体氧化物,并随烟气进入收尘系统。烟气中的烟尘经沉降室、余热锅炉、电收尘回收,其中沉降室的粗烟尘将重新返回至回转窑,合格氧化锌经烟气脱硫系统后产生亚硫酸锌溶液,亚硫酸锌浆液泵送氧化锌浸出车间进行低酸和高酸浸出,最终的低酸浸出液输送至氧化槽,高酸浸出液经压滤后液体送至低酸浸出槽,压滤产生的渣为铅渣。

2.2 焙烧过程硅的影响及控制措施

在混合锌精矿焙烧过程中会生成部分硅酸铅,结构组成为 $x\text{PbO} \cdot y\text{SiO}_2$,该物质熔点为 750 ~ 780 °C,低于焙烧炉正常操作温度^[6]。这类低熔点硅酸铅对焙烧过程的影响包括以下几方面:焙烧过程中,易熔的硅酸铅将锌精矿颗粒包裹起来,使氧化反应不易进行,影响脱铅和脱硫效果;硅酸铅还会黏结在空气分布板上,导致焙烧炉底烧结,妨碍固体物料的正常流态化;硅酸铅在冷却盘管表面凝结成致密物质,降低焙烧炉冷却盘管的换热效果;另外,含低熔点硅酸铅焙烧炉烟尘进入余热锅炉和电收尘系统时也会在

锅炉管壁形成节瘤,影响锅炉的安全运行。

混合锌精矿的粒级对硅含量有影响。在检测混合锌精矿不同粒级的主要元素成分时,发现粗粒级中硅含量高,锌含量相应有所降低^[7]。当粒度为 106 ~ 150 μm 时,二氧化硅含量为 21.47% ~ 36.58%。因此,应进一步加强选矿,降低锌精矿粒级,使部分游离态硅得以解离,在浮选中实现锌硅的分离,从而降低锌精矿产品中硅含量,减少对焙烧过程的影响^[8]。

温度对焙烧过程中硅的转化率也有影响。硅的转化率指由游离态硅转化为低熔点硅酸盐的比率。焙烧温度越高,低熔点硅酸盐的生成率也会越高,对

锌精矿的焙烧过程影响越大。因此,应将焙烧温度控制在较低范围内,尽量减少硅酸铅等低熔点化合物的转化。硅的转化率计算见式(7)。

硅转化率 =

$$\text{焙砂中硅酸铅的含硅量} / \text{焙砂中总硅含量} \times 100\% \quad (7)$$

在不同温度条件下对该混合锌精矿进行硅转化率焙烧试验,焙烧温度值主要来自于焙烧炉主控显示温度,结果见表 2。结果表明,在焙烧温度为 850 ~ 880 °C 时,硅转化率为 40%,效果较好。一般情况下,焙烧温度控制在 880 ± 20 °C 可保证焙烧炉的正常操作及焙砂质量。

表 2 不同温度下硅的转化率

Table 2 Conversion rates of silicon under different temperatures

焙烧炉温度/°C	850 ~ 880	880 ~ 920	920 ~ 970	980 ~ 1 000	> 1 020
硅的转化率/%	40	45 ~ 60	60 ~ 70	70 ~ 80	90%

其他降低低熔点硅酸盐影响的重要措施还包括:加大焙烧炉鼓风量(一般富余量为正常量的 0.2% ~ 1%)以提高流态化效果,减少炉底烧结;在焙烧炉底部加料口和溢流口各设 1 个排料口,缩短炉底排渣时间可有效将炉底大颗粒排出,降低炉底压力,提高流态化效果。

该项目还对焙烧炉进行了针对性的改进,焙烧炉分下直段、扩大段和上直段,将上直段增加 2 m,增加了焙烧炉烟尘停留时间,减少了进入余热收尘系统烟尘量。

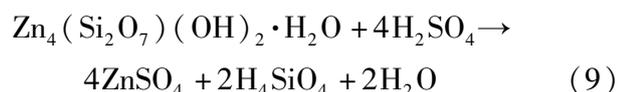
2.3 制酸过程硅的影响及控制措施

高硅矿对制酸影响较小,主要是高硅烟尘附着在电除雾器阴极管壁,影响除雾效果;覆盖触媒影响触媒活性,对硫酸质量可能会造成一定影响。

可采取增加制酸净化用水量,提高烟气清洗效果,以避免高硅烟尘进入制酸系统。

2.4 浸出系统硅的影响及控制措施

锌焙砂的主要成分易被稀硫酸溶解,在锌溶解的同时部分 Si 也进入溶液,主要反应见式(8) ~ (9)。



式(8) ~ (9)表明,锌焙砂中的硅会以 H_4SiO_4

的形式进入溶液,进入溶液中的 H_4SiO_4 在浸出反应条件下发生聚合反应,反应产生的聚合物会随着溶液中 SiO_4^{4-} 浓度的逐步增加,形成胶凝过程而成为水凝胶,此类水凝胶流动性极差,使得固液分离困难甚至无法进行固液分离,导致浸出过程浓密系统和压滤系统无法运转,难以产出合格上清液。

硅酸是带电的,通常认为原硅酸的等电点在 $\text{pH} = 2.0$ 附近。随着溶液 pH 值的不同会发生不同形式的反应,在 $\text{pH} > 2.0$ 时,会形成带负电荷的硅酸二聚体,并在二聚体的基础上发展成多聚硅酸。在 $\text{pH} < 2.0$ 时,会形成带正电荷的硅酸二聚体,并在此基础上形成多聚硅酸。但不管哪种形式的多聚硅酸,都会逐步产生硅溶胶。具体反应过程如下:

在 $\text{pH} > 2.0$ 时,部分原硅酸按式(10)离解。



在 $\text{pH} < 2.0$ 时,原硅酸与溶液中的 H^+ 结合,见式(11)。



一般行业内认为,随着硅酸在溶液中反应程度的不同,会形成多种存在形态。在 $\text{pH} = 2.0$ 左右时以原硅酸或简单的偏硅酸的形式存在,不影响固液分离。在 $\text{pH} > 2.0$ 或 $\text{pH} < 2.0$ 时形成多聚硅酸,一般达到原硅酸形态的 350 倍左右,该种形态会造成固液分离困难。在 $\text{pH} = 5.6$ 左右时会形

成高聚硅酸,该种形态易于沉降,不会对固液分离产生影响。

因此,当浸出溶液中硅含量较高时,在不同溶液条件,会出现不同的反应和固液分离现象。当 $\text{pH} = 2.0$ 左右时,以稳定的硅酸溶液存在,原硅酸分散于溶液中,不发生或很少发生聚合反应,对固液分离影响较小。在 pH 较高时,聚合为疏松网状结构的凝胶,对溶液固液分离产生不利影响。在高温、高 pH 值、高离子强度、絮凝剂和相反电荷等条件下急速聚合,会絮凝成胶体颗粒紧密堆积的沉淀物,反而对固液分离有利。一般认为,采用比较合适的温度、 pH 值、离子浓度、絮凝剂等使得硅酸迅速聚合对控制固液分离有利。

3 浸出工艺参数对硅浸出率的影响

为探究中性浸出和酸性浸出合理的浸出工艺参数,考察 pH 值、反应时间、温度、液固质量比等对硅的浸出率的影响,进行条件试验。

3.1 pH 值的影响及控制措施

合理控制中浸和酸浸过程 pH 值,可有效控制和减少硅酸出现凝胶现象。其中,中浸过程控制反应终点 pH 值 $4.8 \sim 5.2$,将中浸 1[#]槽集中加料改为

中浸 1[#]、2[#]槽分别加料各 50%,可跨过 $\text{pH} = 2.0$ 的酸度区间(加入酸过量会导致 pH 值接近 2.0),以控制硅酸形成凝胶物。中性浸出液经过浓密机后底流通过泵打到中性反应槽加酸进行酸性浸出,酸浸过程控制反应终点 $\text{pH} = 0.5 \sim 1.5$,并在酸浸最终反应槽添加碱调节 pH 值,可越过硅胶稳定区,控制凝胶出现^[9]。

3.2 中性浸出反应条件的确定

为考察反应时间、温度、液固质量比等因素对中浸反应过程中锌浸出率和硅浸出率的影响,进行条件试验。

在控制反应温度 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 、液固质量比 8:1 的条件下,考察锌浸出率和硅浸出率随反应时间变化见图 2。通过图 2 的曲线趋势变化可以看出,锌浸出率在中性条件浸出过程中随时间变化影响不大;浸出反应时间为 2.5 h 左右时,锌浸出率能够达到 35%,继续增加反应时间锌浸出率变化不大;但通过图 2(b)可以看出随着反应时间的延长时间对硅浸出率具有一定的影响,延长时间可以使溶液中硅浓度升高。综合考虑锌浸出率和硅浸出率,浸出反应时间 2 h 为宜,此时,锌浸出率为 33.75%,硅浸出率为 7.6%,硅在溶液中的浓度为 2.89 mg/L。

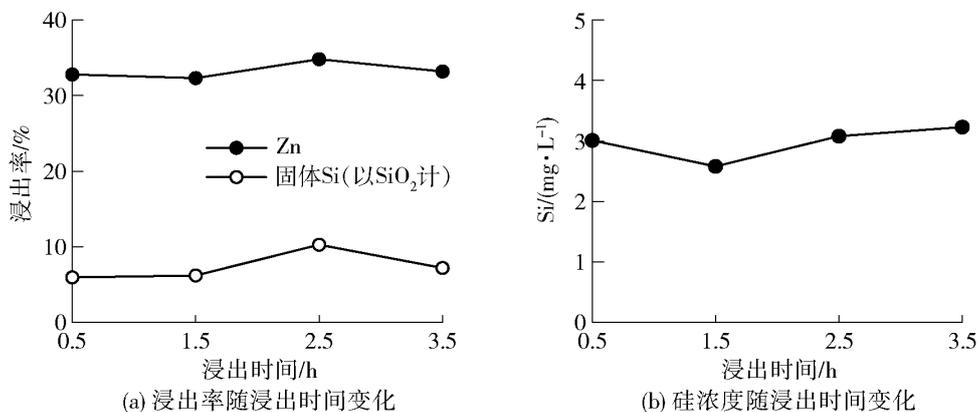


图 2 中性浸出时间对锌和硅浸出率的影响及不同浸出时间下浸出液硅的变化

Fig. 2 Influence of neutral leaching time on zinc and silicon leaching rates and the change of silicon in the leaching solution under different leaching times

在反应温度 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 、反应时间 2 h 的条件下,考察锌浸出率和硅浸出率的受液固质量比的影响,试验结果见图 3。由图 3 可以看出,锌浸出率受液固质量比的影响较大,在液固质量比逐步增大时,锌浸出率不断升高,从 30% 升高至 65%;但从图形趋势变化中可以看出液固质量比对硅的浸出率的影响不大,但溶液中硅含量明显不断增大。考虑到液固质

量比增大,浸出反应时间缩短,中性浸出液固质量比以 10:1 为宜。

在浸出液固质量比 10:1、浸出时间 2 h 的条件下,考察锌浸出率和硅浸出率随反应温度的影响,试验结果见图 4。由图 4 可以看出,锌浸出率随浸出反应温度的升高而升高,但总体增幅较小^[10]。硅浸出率受反应温度影响变化较大且没有明显规律,因

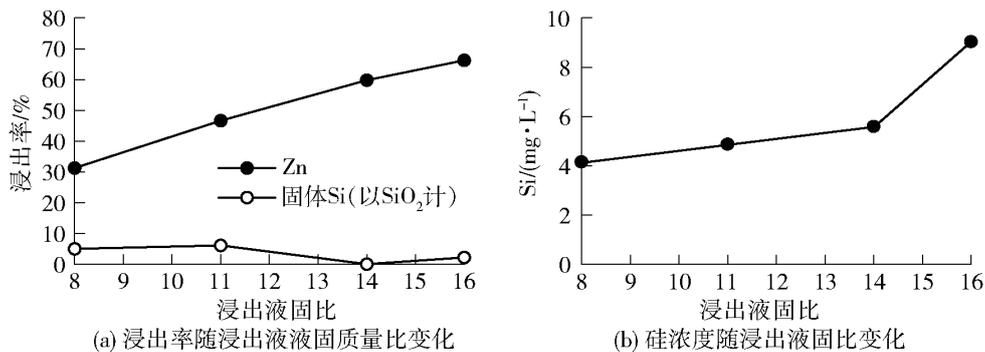


图3 中性浸出液固质量比对锌和硅浸出率的影响及不同液固质量比条件下浸出液含硅变化

Fig. 3 Influence of neutral liquid-solid ratio on zinc and silicon leaching rates and change of silicon content in the leaching solution under different liquid-solid ratio conditions

此,中浸浸出温度以 70 ℃ 为宜。

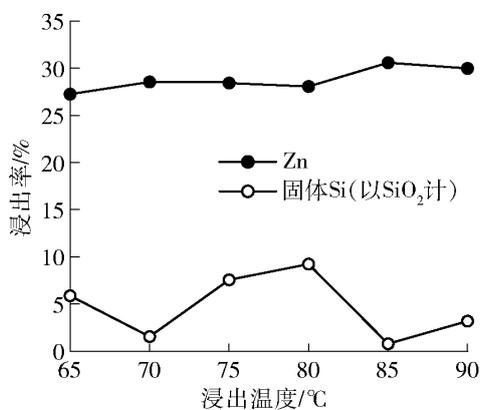


图4 中性浸出温度对锌和硅浸出率的影响及不同温度条件下浸出液含硅变化

Fig. 4 Influence of neutral leaching temperature on zinc and silicon leaching rates and the change of silicon content in the leaching solution under different temperature conditions

通过上述试验,最终确定中性浸出反应条件为浸出时间 2 h、液固质量比 10:1、浸出温度 70 ℃。

3.3 酸性浸出反应条件的确定

为考察反应时间、温度、液固质量比等因素对酸浸反应过程中锌浸出率和硅浸出率的影响,进行条件试验。

浸出温度为 75 ℃,液固质量比为 4:1 时,取反应时间分别为 2 h、3 h、4 h 和 5 h,浸出反应时间对酸浸过程中锌和硅浸出性能的影响见图 5。由图 5 可以看出,锌浸出率随反应时间影响不大,反应时间为 2 h 时,锌浸出率能够达到 96% 以上,继续延长时间,锌浸出率不发生明显变化;硅浸出率受时间变化影响,当浸出时间为 2~4 h 时,浸出率基本保持在 28% 左右,固液分离性能不好;时间进一步延长至

5 h 后,硅浸出率降低至 15% 左右,受硅浸出率下降影响溶液固液分离性能明显提高。因此,由于硅浸出率受到温度、时间、液固质量比等的影响,建议酸浸反应时间为 4~5 h。

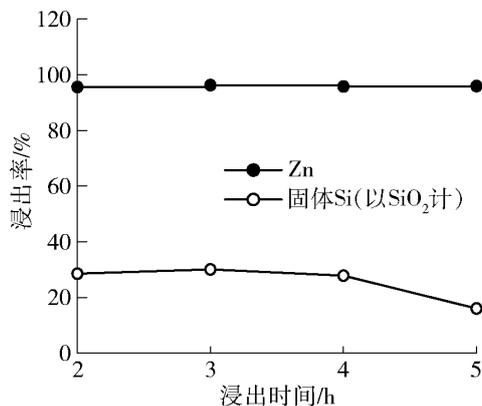


图5 酸浸温度条件试验

Fig. 5 Conditional test of acid leaching reaction time

锌和硅浸出性能在酸性浸出过程中受反应温度的影响见图 6。由图 6 可以看出,锌浸出率随反应温度变化不大,温度逐步升高时,锌浸出率基本上保持在 90% 以上;但硅浸出率随着温度升高而降低,反应温度升高至 85 ℃ 时,硅浸出率从 14% 降低至 0.3% 左右,浸出反应温度进一步升高时,硅浸出率不再有明显变化;同时随着反应温度的升高,溶液固液分离性能也逐渐变好,因此,酸性浸出反应温度为 85 ℃ 为宜。

液固质量比对酸性浸出过程锌和硅浸出性能的影响见图 7。由图 7 可以看出,锌和硅浸出率随着浸出液固质量比变化而变化,锌和硅浸出率随着液固质量比增大而增大;液固质量比逐步增大至 4:1 时,锌浸出率由 55% 升高至 95% 以上,继续增大锌浸出率变化不大;液固质量比为 2:1 时,硅几乎不浸

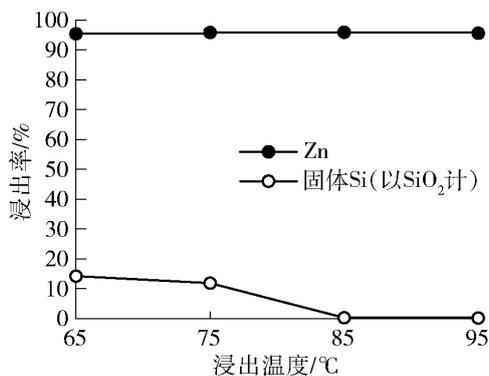


图6 酸浸温度条件试验

Fig. 6 Acid leaching temperature test

出,随着液固质量比增大,硅浸出率迅速增加,液固质量比达到6:1时,硅浸出率甚至达到25%,固液分离出现困难。因此,为减少硅的浸出,同时保证锌浸出率,避免出现固液分离困难的情况,选择液固质量比4:1为宜。

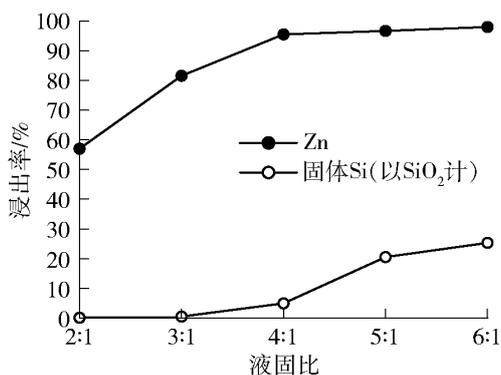


图7 酸浸液固质量比条件试验

Fig. 7 Acid leaching liquid solid ratio condition test

通过上述试验,最终确定酸性浸出反应条件为浸出时间4~5 h、液固质量比4:1、浸出温度85℃。

3.4 溶液稀释的影响及控制措施

生产实践表明,返回溶液对中性浸出和酸性浸出反应后液的固液混合矿浆具有稀释作用,可降低硅酸在溶液中的浓度,避免硅酸在溶液中的富集。因此,在不影响液体周转效率的前提下,适当提高浸出反应过程的液固质量比来改善澄清及过滤速度。

为考察稀释、絮凝剂和振荡对沉降效果的影响,开展了4组对比试验。试验1:取浸出矿浆50 mL进行絮凝沉降;试验2:取浸出矿浆50 mL,加入50 mL 浸出液混合后进行絮凝沉降;试验3:取矿浆50 mL,加入50 mL 浸出液混合后再加入5 mL的12E(聚丙烯酰胺)絮凝剂(0.1%),上下摇晃3次后静置,观察其沉降效果;试验4:取浸出矿浆50 mL,

加入浸出液50 mL混合后再加入5 mL絮凝剂,上下摇晃15次后静置,观察其沉降效果摇晃。

通过试验发现,对浸出矿浆返回溶液稀释1倍并加入适量絮凝剂后,沉降速度明显加快,沉降性能变好,沉降情况见图8。因此,在本项目浸出工艺设计时在中性浸出和酸性浸出后液溜槽处分别增加1台稀释槽和2台稀释泵,将中浸上清液和酸浸上清液分别返回中浸和酸浸稀释槽对反应后液稀释1倍以提高固液分离性能。



注:上图左起为试验1#~4#,1#-矿浆50 mL;2#-矿浆50 mL+浸出液50 mL(3 mL絮凝剂+摇晃3次);3#-矿浆50 mL+浸出液50 mL(5 mL絮凝剂+摇晃3次);4#-矿浆50 mL+浸出液50 mL(5 mL絮凝剂+摇晃15次)。

图8 矿浆不稀释与稀释对比效果

Fig. 8 Comparison effect of pulp without dilution and dilution

4 回转窑渣处理过程硅的影响及控制措施

高硅矿对回转窑渣处理的影响主要体现在浸出渣含硅过高,浸出渣的硅含量为7.82%,大部分硅以游离SiO₂形式存在,在浸出渣还原挥发过程中需要与更多的碱性氧化物结合,导致炉渣渣型变化,容易导致窑尾结圈,结圈主要成分为硅酸锌和硅酸铁,锌因以硅酸锌存在窑渣中,还原为锌蒸气的难度增加而影响锌的挥发,从而导致渣含锌较高。

采取的技术措施主要为通过浸出渣配料加石灰来调整回转窑渣型,通过添加石灰,CaO与渣中SiO₂、Al₂O₃等成分结合形成二元或三元化合物从而消除SiO₂的影响,以调整回转窑渣型、减弱甚至消除因SiO₂偏高造成锌还原挥发困难。配入石灰量按照入炉SiO₂/CaO比值为4:1进行加入,按其他冶炼厂生产经验即可保证回转窑的正常运行。

5 结论

本文以高硅低杂锌精矿为研究对象,针对高硅矿冶炼过程中出现的问题,进行了硅影响控制实践与硅含量控制试验,得到如下结论。

1) 焙烧阶段硅的影响及控制措施。高硅低杂锌精矿粒度对硅含量有影响,减小粒度有助于降低精矿中硅含量;焙烧温度对硅的转化率有影响,控制焙烧温度 880 ± 20 °C 可保证焙烧炉的正常操作及焙砂质量;加大焙烧炉鼓风量可提高流态化效果,减少炉底烧结,风量过量系数选取 1.02 ~ 1.1 合适;通过增加焙烧炉上直段距离,可以延长烟尘停留时间,减少了进入余热收尘系统烟尘量,减少硅对预热系统的影响;在焙烧炉底部加料口和溢流口各设 1 个排料口,可缩短炉底排渣时间,有效将炉底大颗粒排出,提高流态化效果。

2) 制酸过程硅的影响及控制措施。高硅锌精矿对制酸影响较小,通过增加烟气清洗效果,可以减少高硅烟尘进入制酸系统。

3) 浸出系统硅的影响及控制措施。浸出过程中,硅以硅酸的形式进入溶液,且在 pH 值为 2.0 时易形成多聚硅酸、硅溶胶、水凝胶,导致浸出过程浓密系统和压滤系统无法运转;控制中浸 pH 值 4.8 ~ 5.2、酸浸 pH 值 0.5 ~ 1.5,可以跨过硅胶稳定区,控制凝胶出现。中性浸出时控制在温度 70 °C、液固质量比 10:1、浸出时间 2 h 的条件下,得到的锌浸出率为 33.75%,硅浸出率为 7.6%;酸性浸出控制在浸出时间 4 ~ 5 h、液固质量比 4:1、浸出温度 85 °C 的条件下,硅浸出率降低至 16.04%,并利用中浸和酸浸上清液稀释反应后液 1 倍等措施,可保证浸出工艺的稳定运行。

4) 回转窑工艺硅的影响及控制措施。CaO 可与渣中 SiO_2 、 Al_2O_3 等生成二元或三元化合物从而消除 SiO_2 的影响,在硅钙比为 4:1 时,可防止回转窑窑尾结圈。

[参考文献]

[1] 宋言,许良,吴卫国. 锌冶炼先进工艺技术及应用实践[J]. 中国有色冶金,2022(5): 23-29.
SONG Yan, XU Liang, WU Weigu. Advanced industrial technological innovation and application practice of zinc smelting[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2022(5): 23-29.

- [2] 中国恩菲工程技术有限公司. 新疆某冶炼企业新建 10 万 t/a 锌冶炼项目可行性研究报告[R]. 北京: 中国恩菲工程技术有限公司, 2017.
China ENFI Engineering Corporation. Feasibility study report of a new 100,000 t/a zinc smelting project in a smelting enterprise in Xinjiang [R]. Beijing: China ENFI Engineering Corporation, 2017.
- [3] 王小强,俞兵,马邵斌. 铅锌联合冶炼的优势与愿景[J]. 中国有色冶金, 2019, 48(2): 18-22.
WANG Xiaoqiang, YU Bing, MA Shaobin. Advantages and prospects of lead-zinc combined smelting [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2019, 48(2): 18-22.
- [4] 梅光贵,王润德,王辉,等. 湿法炼锌学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2001.
MEI Guanggui, WANG Runde, WANG Hui, et al. Zinc hydrometallurgy [M]. Changsha: Central South University Press, 2001.
- [5] 彭容秋. 锌冶金[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005.
PENG Rongqiu. Zinc Metallurgy [M]. Changsha: Central South University Press, 2005.
- [6] 程文军,张博,张富兵. 高杂锌精矿的沸腾焙烧研究与实践[J]. 世界有色金属,2012(12): 44-45.
CHENG Wenjun, ZHANG Bo, ZHANG Fubing. Research and practice on boiling Roasting of high impurity zinc Concentrate [J]. World Nonferrous Metals, 2012 (12): 44-45.
- [7] 胡敏,唐远,吴双桥. 高硅锌精矿提质降硅浮选试验研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2015(6): 26-30.
HU Min, TANG Yuan, WU Shuangqiao. Experimental study on flotation for high silicon zinc concentrate [J]. Nonferrous Metals (Smelting Part), 2015 (6): 26-30.
- [8] 刘凤林,金作美,王励生. 高硅硫化锌精矿氧化焙烧中硅酸锌生成反应的动力学[J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(3): 514-517.
LIU Fenglin, JIN Zuomei, WANG Lisheng. Kinetics of zinc silicate formation during oxidation roasting of zinc sulfide concentrate with high silicon content [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(3): 514-517.
- [9] 刘三平,秦树辰,郑朝振,等. 锌焙砂中性浸出渣低酸浸出固液分离试验[J]. 有色金属(冶炼部分), 2020(1): 1-4.
LIU Sanping, QIN Shuchen, ZHENG Zhaozhen, et al. Solid-liquid separation experiment of neutral leaching residue of zinc calcine with low acid leaching [J]. Nonferrous Metals (Smelting Part), 2020(1): 1-4.
- [10] 王志军,苏立峰,刘三平. 新疆某高硅锌焙砂酸浸工艺优化[J]. 中国资源综合利用,2018(2): 19-21.
WANG Zhijun, SU Lifeng, LIU Sanping. Optimization of acid leaching process of high silicon zinc calcine from Xinjiang [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2018 (2): 19-21.

Research and application of pyrometallurgical and hydrometallurgical processes for high silicon and low impurity zinc resources

ZHANG Cun¹, LIU Bingbing¹, JI Changqing²

(1. Tibet Ngari Laguo Resources Co. Ltd., Ngari 859000, China;

2. Xiamen Zijin Mining & Metallurgy Technology Co. Ltd., Xiamen 361000, China)

Abstract: The raw material zinc concentrate used in a new zinc smelter in Xinjiang has the characteristics of high silicon content and low other impurities. Because the high silicon ore will produce sintering in the roasting furnace and ring formation in the rotary kiln in the pyrometallurgical system of zinc smelting, the solid and liquid is difficult to separate after leaching in the wet system, and the above situation will seriously affect the normal operation of the production system. Based on this, the existing form, metallurgical behavior and impact on various zinc smelting systems of silicon were analyzed and studied, and the influence of silicon on different stages of zinc smelting (roasting, acid making, leaching, rotary kiln) and control measures is investigated. The results show by controlling the roasting temperature of 880 ± 20 °C, the ratio of silicon to calcium of rotary kiln material is 4:1, the pH value of acid leaching end point is 0.5 ~ 1.5, and using the intermediate leaching and acid leaching supernatant to dilute the corresponding reaction solution 1 time, the combined fire and wet process for treating high silicon and low impurity zinc concentrate is established, which can ensure the normal and stable operation of smelting system and will produce good economic benefits.

Key words: silicon; zinc concentrate; smelting; rotary kiln; control measures; leaching; roasting

开发“城市矿山”构建资源循环体系

目前,全球产生的废旧电子产品中所含有的有色金属积蓄总量已经大到可以用“矿山”来形容。经测算,如果将这些金属加以回收利用,可超过在自然界中发掘的新资源。因此,开发利用“城市矿山”,从废弃电器、废旧电子产品中提炼稀有金属等宝贵资源,就成为实现资源循环利用产业化的有效途径。

2021年7月1日,国家发展改革委印发《“十四五”循环经济发展规划》(以下简称《规划》)。《规划》指出,发展循环经济是我国经济社会发展的一项重大战略。“十四五”时期,我国进入新发展阶段,开启全面建设社会主义现代化国家的新征程。大力发展循环经济,推进资源节约集约利用,构建资源循环型产业体系和废旧物资循环利用体系,对保障国家资源安全,实现碳达峰、碳中和,促进生态文明建设具有重大意义。

《规划》提出了主要目标:到2025年,循环性生产方式全面推行,绿色设计和清洁生产普遍推广,资源综合利用能力显著提升,资源循环型产业体系基本建立。废旧物资回收网络更加完善,再生资源循环利用能力进一步提升,覆盖全社会的资源循环利用体系基本建成。

同时,针对循环经济领域亟待解决的重点难点问题,《规划》提出了针对性举措,部署了五大重点工程和六大重点行动,包括城市废旧物资循环利用体系建设、园区循环化发展、大宗固废综合利用示范、建筑垃圾资源化利用示范、循环经济关键技术与装备创新等五大重点工程,以及再制造产业高质量发展、废弃电器电子产品回收利用、汽车使用全生命周期管理、塑料污染全链条治理、快递包装绿色转型、废旧动力电池循环利用等六大重点行动。

(资料来源:中国有色金属报)