

脱硫铅银渣烟化法挥发有价金属的研究

王 胜¹, 张 吉¹, 李德磊², 张得秀², 马菲菲²,
王海波², 卜旭东¹, 朱小峰¹, 赵福俊³

(1. 兰州理工大学 省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050;

2. 白银有色集团股份有限公司 西北铅锌冶炼厂, 甘肃 白银 730900;

3. 白银石晋矿业有限责任公司, 甘肃 白银 730900)

[摘 要] 铅银渣是湿法炼锌热酸浸出工序产出的一种危险废物, 其中有价金属高效富集和回收对促进湿法炼锌行业绿色循环发展具有重要意义。本文采用烟化挥发法从脱硫处理后的铅银渣中回收有价金属, 用 FactSage8.1 热力学软件研究了烟化挥发法挥发锌、铅、镉、镉的可行性, 并分析了烟化挥发过程影响金属挥发率的主要因素。研究表明: 烟化挥发过程 Zn、In、Cd 先还原后氧化, 最终以氧化物富集在烟尘中; 在烟化挥发温度 1 250 ℃、烟化挥发时间 60 min、配碳比 25% 的最佳条件下, Zn、Pb、In、Cd 的挥发率分别为 99.69%、82.26%、99.09%、99.90%, 实现了有价金属的高效富集。SEM 研究表明, 烟化渣含有金属 Fe、铝硅酸钙等, 可通过磁选回收铁资源, 具有再利用价值。该研究为火法冶金处理铅银渣的工业化应用提供理论和数据支撑。

[关键词] 铅银渣; 脱硫铅银渣; 烟化挥发; 资源综合利用; 湿法炼锌; 锌; 铅; 镉; 镉

[中图分类号] TF09; X758 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2023)01-0084-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.01.011

锌冶炼工艺有火法炼锌和湿法炼锌, 其中湿法炼锌的产能占比在 80% 以上^[1-2]。湿法炼锌热酸浸出工序产出的铅银渣属于工业危险废物, 其中富含多种有价金属。目前, 铅银渣仍以堆存或填埋处理为主, 不仅占用大量土地, 还造成资源浪费和环境污染^[3-5]。因此, 铅银渣的高效资源化处置迫在眉睫。

铅银渣的处理工艺主要有火法冶金、湿法冶金、浮选法和联合法等。火法冶金工艺是将铅银渣中难挥发元素富集于冰铜或粗金属相中, Zn、Cd 等易挥发元素在烟尘中富集, Ca、Si 等元素形成炉渣, 有回转窑挥发法、熔池熔炼法、浸没熔炼法、真空还原法等^[6-7]。邸久海等^[8]对含锌固废采用回转窑还原挥

发法, 最终获得含锌 20% 的烟尘, 还原渣中 95% 的 Fe 转化成海绵铁。Carranza 等^[9]采用溶池溶炼法处理铅银渣, Ag 回收率超过 90%。刘洋等^[10]对锌浸出渣采用熔池熔炼法处理后得到高纯度的铁粉。澳大利亚某公司对铅银渣采用浸没熔炼法处理, Zn、Pb、In、Ge 的挥发率分别为 99.5%、99.8%、92.43%、98.96%, 该工艺回收效果好, 已申请技术专利保护^[11]。孙红燕等^[12]采用真空还原工艺处理铅银渣, 通过降低反应体系压力来降低理论反应温度的原理, 在相对较低的温度下, 获得纯度较高的铅粉。湿法冶金工艺是将铅银渣直接浸出, 然后从浸出液中回收有价金属, 主要方法有酸浸、碱浸、盐浸、氨浸等^[13]。Sahin 等^[14]采用碱浸回收铅银渣中铅, 研究表明, 在 NaOH 溶液浓度为 11%、浸出温度为 100 ℃、浸出时间为 60 min 时, 铅的浸出率高达 99.6%。浮选法是根据铅银渣的性质用浮游选矿的方法回收有价金属。Yang 等^[15]提出复合浮选工艺回收铅银渣中银, 硫化钠和二硫代磷酸铵分别作为调节剂和捕收剂, Ag 的浮选回收率为 77.43%。联合法主要有火法-湿法联合法和火法-选矿联合法, 如焙烧-浸出法、焙烧-浮选法等^[16-17]。任杰等^[18]

[收稿日期] 2022-08-03

[作者简介] 王胜(1971—), 男, 甘肃白银人, 副教授, 研究方向为有色冶炼废渣高值化再利用。

[基金项目] 甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2022CYZC-20); 甘肃省科技重大专项项目(19ZD2GD001); 沈阳材料科学国家研究中心-有色金属先进加工与再利用国家重点实验室联合基金(18LHZD001)。

[引用格式] 王胜, 张吉, 李德磊, 等. 脱硫铅银渣烟化法挥发有价金属的研究[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(1): 84-90.

采用硫酸化焙烧-水浸-氯盐浸出法,在最佳的硫酸化焙烧条件下,将得到的焙烧渣水浸,回收锌和铁,Zn和Fe的浸出率分别为92.66%和94.67%,水浸渣用氯盐浸出,回收铅和银,Pb和Ag的浸出率分别为97.89%和94.17%。郑永兴等^[19]采用还原焙烧-浮选法处理铅银渣,还原焙烧过程 PbSO_4 转化率为71.89%, ZnSO_4 转化率为69.76%,焙烧渣通过浮选回收锌、铅和银,Zn、Pb、Ag浮选回收率分别为48.38%、68.23%、77.41%。综合国内外铅银渣处理工艺发现,火法-湿法联合工艺具有流程长、工艺烦琐、终渣难以达到环保要求等缺点;火法工艺可以破坏铅银渣的物相结构,使被包裹的有价金属及其化合物得以释放,可实现有价金属与杂质的高效分离,具有流程短、二次渣满足环保要求的优势。

为了减小硫对有价金属挥发率的影响,将铅银渣先进行脱硫处理。脱硫处理破坏了原有物相结构,使以包裹或伴生形式赋存的有价金属得以释放,再采用烟化挥发工艺可提高有价金属的挥发率。本研究以脱硫铅银渣为对象,采用烟化挥发工艺回收锌、铅、铜和镉,通过热力学计算确定烟化挥发工艺参数,试验研究了烟化挥发温度、烟化挥发时间、配碳比对脱硫铅银渣中锌、铅、铜和镉挥发率的影响规律,确定了最佳工艺条件,为火法处理铅银渣的工业化应用提供理论和数据支撑。

1 试验原料和研究方法

1.1 试验原料

试验用铅银渣由白银有色集团股份有限公司西北铅锌冶炼厂提供。铅银渣经熔融脱硫处理后即为脱硫铅银渣;以固定碳含量80%以上的工业粉煤为还原剂。

脱硫铅银渣的XRD、SEM+EDS分析见图1、图2,化学成分见表1。由图1、图2可见,脱硫铅银渣主要物相为 ZnFe_2O_4 ,分布在大片白色区域中嵌布不规则的小块状黑色区域,O元素在表面均匀分布,Ca、Si元素分布在不规则深色块状区域中,其他元素分布在浅色片状区域中,其中Fe、Zn、O对应区域大面积重叠,结合XRD分析,推断主要成分是 ZnFe_2O_4 。有价金属的赋存形式分析表明,Zn、Pb、In、Cd分别主要以铁酸锌、铅铁矾、三氧化二铜、氧化镉的物相形式赋存。由表1可见,脱硫铅银渣中Zn、Pb、Cd、In含量分别为12.92%、5.74%、0.19%、116 g/t。

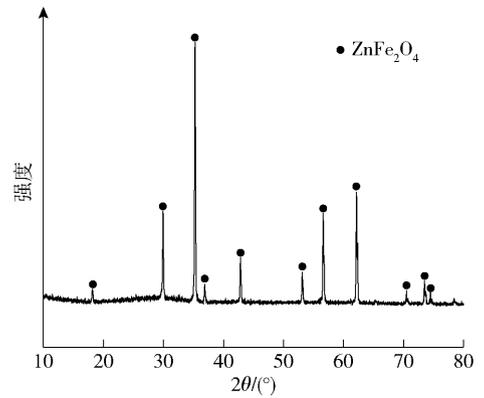


图1 脱硫铅银渣的XRD图

Fig. 1 XRD of desulfurized lead-silver slag

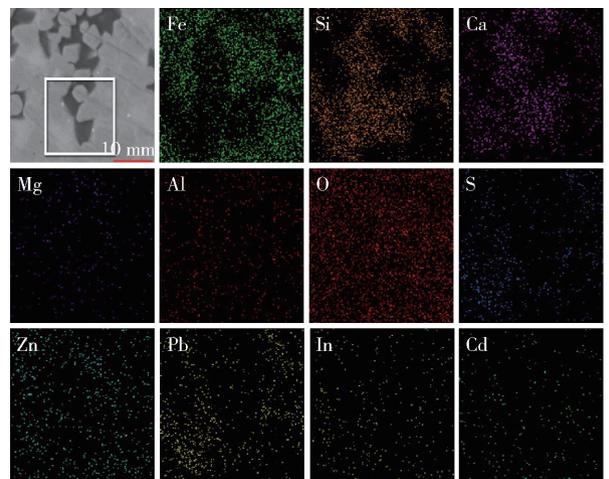


图2 脱硫铅银渣的SEM图及EDS面扫描图
Fig. 2 SEM and EDS scanning of desulfurization lead-silver slag

表1 脱硫铅银渣的化学成分

元素	TFe	Ca	Si	Mg	Al
含量	28.48	4.19	8.48	0.96	3.32
元素	S	Zn	Pb	Cd	In*
含量	0.44	12.92	5.74	0.19	116

注*元素单位为g/t;铅银渣中银含量低,且烟化法银的挥发量小,故文中不做讨论。

1.2 试验仪器和设备

试验设备主要有DZF-6030A型真空干燥箱,GJ-400-1型制样破碎机,8411型电动筛分机,FA2104N型分析电子天平,KSL-1700X-A3型高温

箱式炉,等;分析测试设备主要有 D/max-2400 型 X 射线衍射仪, JSM-6700 型扫描电子显微镜, NexION-2000 型电感耦合等离子体质谱仪, 等。

1.3 研究方法

脱硫铅银渣烟化挥发试验在高温箱式炉中进行, 设备连接见图 3。取干燥、破碎、筛分处理后的脱硫铅银渣 50 g, 配入一定量工业粉煤后在 110 mL 刚玉坩埚中混合均匀, 放入高温箱式炉, 以 10 °C/min 的速率升温到设定温度并保温一定时间, 反应后的渣经空冷、破碎处理。金属挥发率的计算见式(1)。

$$v = \frac{m_2 s_2 - m_1 s_1}{m_2 s_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: v 为某金属 Me 挥发率, %; m_1 为烟化渣质量, g; s_1 为烟化渣 Me 含量, %; m_2 为脱硫铅银渣质量, g; s_2 为脱硫铅银渣 Me 含量, %。

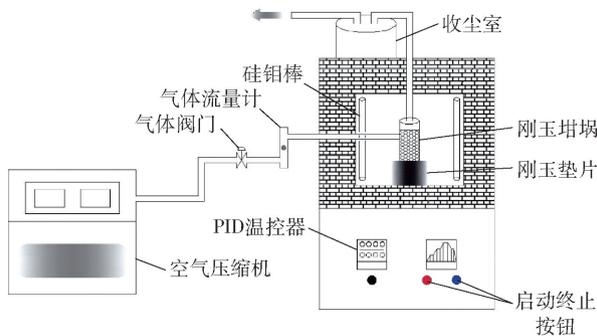
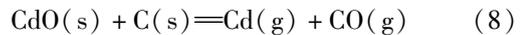
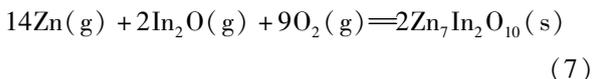
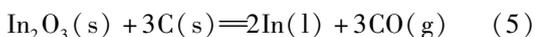
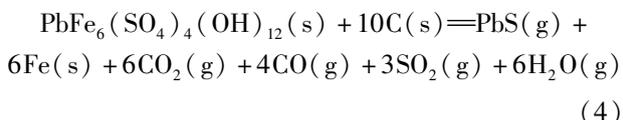
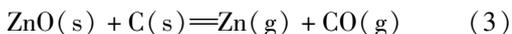
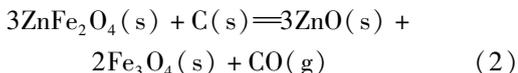


图 3 试验设备连接示意

Fig. 3 Connection diagram of experimental equipment

2 试验原理

结合脱硫铅银渣的理化性质分析, 在烟化挥发过程中主要发生的化学反应见式(2)~(8)。



利用 FactSage8.1 热力学软件绘制的锌、铅、钢、镉及其化合物饱和蒸气压与温度关系曲线见图 4。由图 4 可见, Zn、PbS、In₂O₃、Cd、CdS 分别在 907 °C、1 316 °C、1 250 °C、767 °C、1 260 °C 时的饱和蒸气压为 1 atm^①, 在 1 300 °C 的温度下均能显著挥发; In、ZnO、In₂O₃ 在 1 400 °C 时的挥发性能依然很差, 其中, 钢化合物被还原为金属钢再被氧化为 In₂O, In₂O 以气体形式挥发, 可见烟化挥发过程中足够的还原剂及气氛的控制是提高钢挥发率的关键。综上所述, 温度在 1 300 °C 以下时锌、铅、钢、镉分别以 Zn、PbS、In₂O、Cd 的形式挥发。

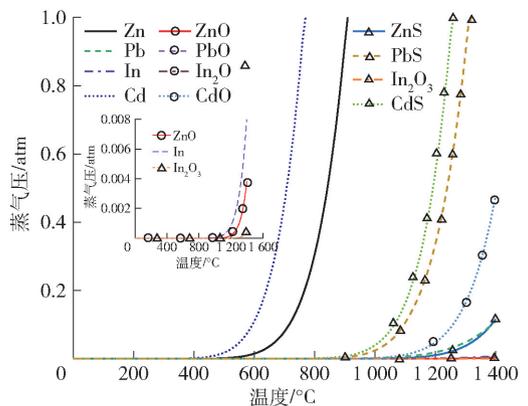


图 4 饱和蒸气压与温度关系

Fig. 4 Relationship between saturated vapor pressure and temperature

3 结果和讨论

3.1 烟化挥发温度对锌、铅、钢、镉挥发率的影响

固定烟化挥发时间为 60 min、配碳比为 20%, 考察烟化挥发温度与金属挥发率的关系, 结果见图 5。由图 5 可知, 随着烟化挥发温度的升高, 锌、铅、钢、镉挥发率均呈增大的趋势。镉在 1 100 °C 时基本完全挥发; 烟化挥发温度超过 1 250 °C 时, 锌、铅和钢挥发率的增加趋于平稳。确定最佳烟化挥发温度为 1 250 °C。

3.2 烟化挥发时间对锌、铅、钢、镉挥发率的影响

固定烟化挥发温度为 1 250 °C、配碳比为 20%, 考察烟化挥发时间与金属挥发率的关系, 结果见图 6。由图 6 可知, 随着烟化挥发时间的增加, 锌、

① 1 atm 表示 1 个标准大气压, 为 1.01×10^5 Pa。

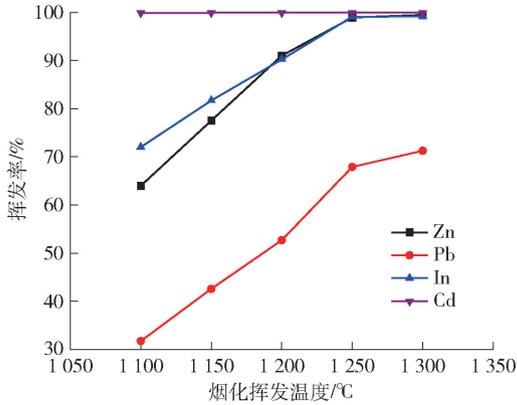


图5 烟化挥发温度对锌、铅、镉、铟挥发率的影响

Fig. 5 Effect of fuming volatilization temperature on volatilization rate of Zn, Pb, In and Cd

铅、镉、铟挥发率均呈增大趋势。镉的挥发率均在99.47%以上;当烟化挥发时间超过60 min时,锌、铅、镉、铟的挥发率均趋于平稳。确定最佳烟化挥发时间为60 min。

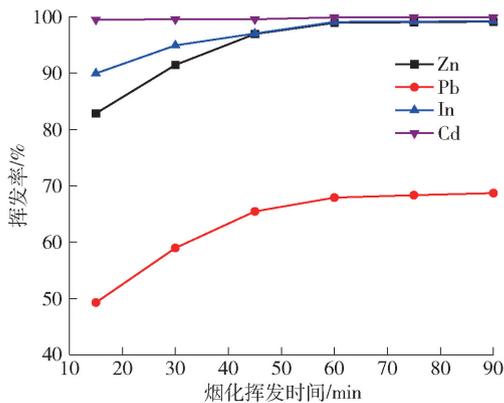


图6 烟化挥发时间对锌、铅、镉、铟挥发率的影响

Fig. 6 Effect of fuming volatilization time on volatilization rate of Zn, Pb, In and Cd

3.3 配碳比对锌、铅、镉、铟挥发率的影响

固定烟化挥发温度为1250 °C、烟化挥发时间为60 min,考察配碳比与金属挥发率的关系,结果见图7。由图7可知,随着配碳比的增加,锌和铅的挥发率增大明显,对镉和铟的挥发率影响不明显。在配碳比低于20%时,锌和铅的挥发率显著增大;配碳比高于20%时,锌挥发率增大趋势不明显,但铅挥发率仍呈增大趋势;配碳比高于25%时,铅挥发率趋于平稳。确定最佳配碳比为25%。

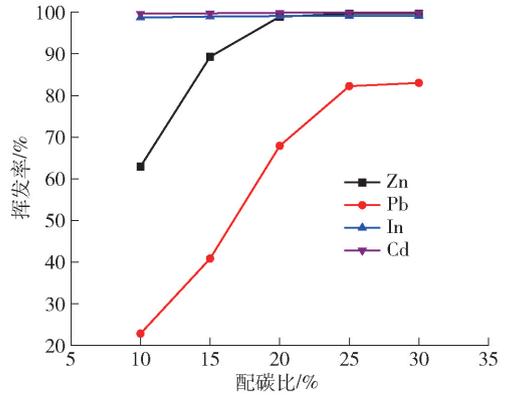


图7 配碳比对锌、铅、镉、铟挥发率的影响

Fig. 7 Effect of carbon ratio on volatilization rate of Zn, Pb, In and Cd

3.4 烟化渣 SEM 研究

在烟化挥发温度1250 °C、烟化挥发时间60 min、配碳比25%条件下,烟化渣的SEM + EDS分析结果见图8。由图8可知,烟化渣中浅颜色区域主要是金属铁,实现了Fe元素的富集;Si、O、Ca、Al元素主要分布在深颜色区域,根据原子百分比推断其物相为铝硅酸钙($\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_4$)。结合烟化渣的特点,可以将磁选回收的铁资源作为炼铁的原料,磁选残渣用于生产水泥等建筑材料,具有再利用价值。

3.5 挥发烟尘 SEM 与 XRD 分析

在烟化挥发温度1250 °C、烟化挥发时间60 min、配碳比25%条件下,烟尘SEM + EDS分析结果见图9。由图9可见,烟尘中主要分布Zn、Pb、In、Cd、O、S等6种元素,表明锌、镉和铟以氧化物的形式富集在烟尘中;铅以PbS的形式富集在烟尘中;Zn、Pb、In、Cd 4种元素的挥发形式与饱和蒸气压计算结果一致。

烟尘的XRD分析见图10。由图10可见,烟尘中主要是ZnO、 $\text{Zn}_7\text{In}_2\text{O}_{10}$ 、CdO 3种物相。烟尘中锌和铟主要以氧化锌和铟氧化物的形式存在;镉以氧化镉的形式存在;此条件下,Pb和PbO饱和蒸气压较小,不易挥发,XRD中未检测到。

4 结论

1) FactSage 8.1 热力学软件计算锌、铅、镉、铟及其化合物饱和蒸气压与温度关系表明,烟化挥发温度在1300 °C以下时,PbS、CdS直接挥发;Zn、Cd化合物需还原为金属后挥发;铟化合物被还原为金属

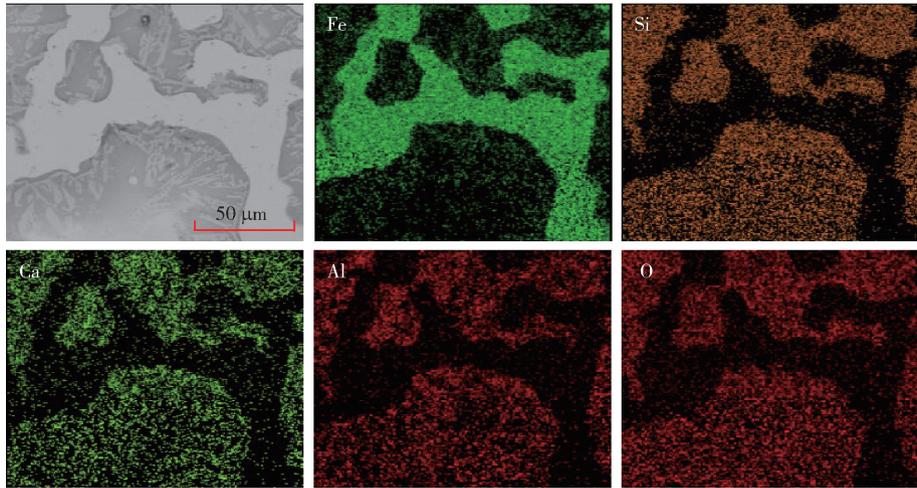


图 8 烟化渣 SEM 图及 EDS 面扫描图

Fig. 8 SEM and EDS scanning of smoke smelting slag

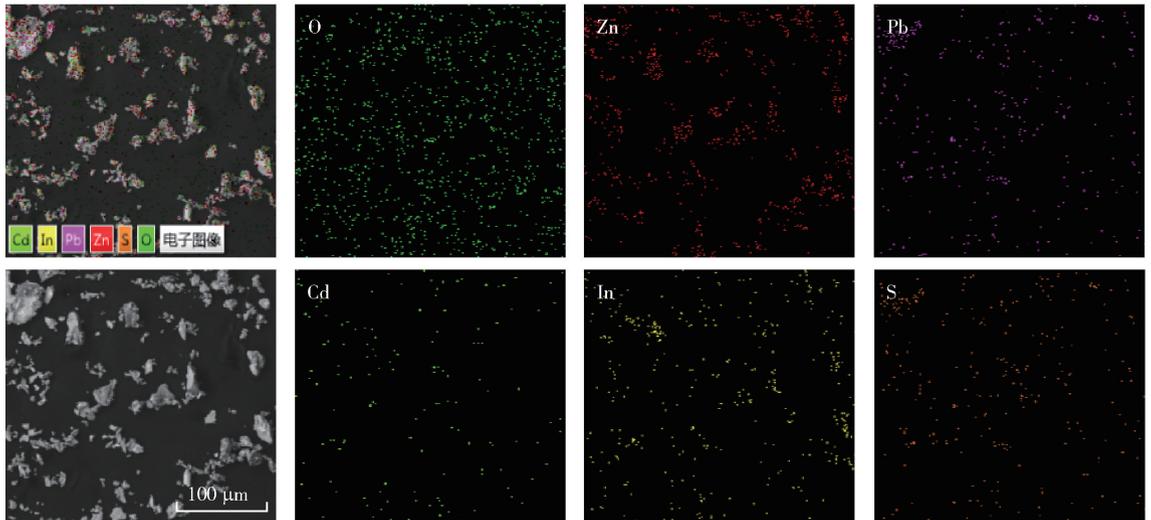


图 9 烟尘 SEM 图及 EDS 面扫描图

Fig. 9 SEM and EDS scanning of smoke dust

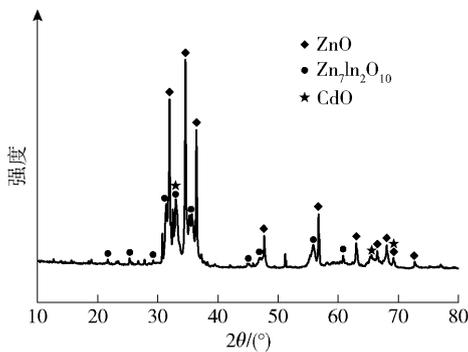


图 10 烟尘 XRD 图

Fig. 10 XRD of smoke dust

钢再被氧化为 In_2O 后挥发; Zn、Pb、In、Cd 的其他化合物难以挥发。

2) 烟化挥发最佳工艺条件为烟化挥发温度 $1250\text{ }^\circ\text{C}$ 、烟化挥发时间 60 min、配碳比 25%，此条件下 Zn、Pb、In、Cd 的挥发率分别为 99.69%、82.26%、99.09%、99.90%。

3) 烟尘中锌和钢以氧化锌和锌钢氧化物的形式赋存; 镉以氧化镉形式赋存。烟化挥发过程 Zn、In、Cd 元素演变规律为先还原后氧化, 最终以氧化物富集在烟尘中。

4) 烟化渣实现了铁资源的富集, 磁选回收的铁资源可作为炼铁的原料, 磁选残渣可用于生产水泥

等建筑材料。

[参考文献]

- [1] ROSHANFAR M, KHANLARIAN M, RASHCHI F, et al. Phyto-extraction of zinc, lead, nickel, and cadmium from a zinc leach residue[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 266(1):1-9.
- [2] TANG L, TANG C, XIAO J, et al. A cleaner process for valuable metals recovery from hydrometallurgical zinc residue[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 201(1):764-773.
- [3] SETHURAJAN M, HUGUENOT D, JAIN R, et al. Leaching and selective zinc recovery from acidic leachates of zinc metallurgical leach residues [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2017, 324(2):71-82.
- [4] JIANG G M, PENG B, LIANG Y J, et al. Recovery of valuable metals from zinc leaching residue by sulfate roasting and water leaching[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2017, 27(5):1180-1187.
- [5] 王凤朝, 马永涛. 锌冶炼渣综合利用与节能减排的工艺探讨[J]. *有色冶金节能*, 2008(1):47-49, 22.
WANG Fengchao, MA Yongtao. Comprehensive utilization of zinc tailings and process exploration for energy saving and emission reduction[J]. *Energy Saving of Nonferrous Metallurgy*, 2008(1):47-49, 22.
- [6] MA Zhiwei, WANG Sheng, DU Xueyan, et al. Microstructures and microwave-absorbing properties of ZnO smoke from zinc leach residue treated by carbothermal reduction[J]. *Archives of metallurgy and materials*, 2021, 66(4):1163-1170.
- [7] 何启贤, 周裕高, 覃毅力, 等. 锌浸出渣回转窑富氧烟化工艺研究[J]. *中国有色冶金*, 2017, 46(3):49-54.
HE Qixian, ZHOU Yugao, QIN Yili, et al. Research on oxygen-enriched fuming process of zinc leaching residue in rotary kiln[J]. *China Nonferrous Metallurgy*, 2017, 46(3):49-54.
- [8] 邸久海, 潘聪超, 庞建明, 等. 直接还原回转窑协同处理含锌固废技术及应用[J]. *中国冶金*, 2019, 29(10):71-74.
DI Jiuhai, PAN Congchao, PANG Jianming, et al. Technology and application of direct reduction rotary kiln co-treatment of zinc-containing solid waste [J]. *China Metallurgy*, 2019, 29(10):71-74.
- [9] CARRANZA F, ROMERO R, MAZUELOS A, et al. Recovery of Zn from acid mine water and electric arc furnace dust in an integrated process[J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, 165(6):175-182.
- [10] 刘洋, 谭军, 刘常青, 等. 碳还原锌浸出渣炼铁过程的热力学分析[J]. *中国有色金属学报*, 2015, 25(7):1978-1986.
LIU Yang, TAN Jun, LIU Changqing, et al. Thermodynamic analysis of iron making process from zinc leaching residue of carbon reduction [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2015, 25(7):1978-1986.
- [11] 赵德铮, 陈炳炎. 浸没熔炼技术及其在锌渣处理上的应用[J]. *株冶科技*, 1989, 17(2):10-15.
ZHAO Dezheng, CHEN Bingyan. Immersion smelting technology and its application in zinc slag treatment [J]. *Science & Technology of Zhuzhou Smelter*, 1989, 17(2):10-15.
- [12] 孙红燕, 森维, 孔馨, 等. 真空碳热还原法处理铅银渣热力学分析及实验研究 [J]. *真空科学与技术学报*, 2017, 37(3):327-331.
SUN Hongyan, SEN Wei, KONG Xin, et al. Thermodynamic analysis and experimental study on treatment of lead-silver residue by vacuum carbon thermal reduction [J]. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 2017, 37(3):327-331.
- [13] MA A, ZHENG X, LI S, et al. Zinc recovery from metallurgical slag and dust by coordination leaching in $\text{NH}_3\text{-CH}_3\text{COONH}_4\text{-H}_2\text{O}$ system [J]. *Royal Society Open Science*, 2018, 5(7):180660.
- [14] SAHIN M, ERDEM M. Cleaning of high lead-bearing zinc leaching residue by recovery of lead with alkaline leaching [J]. *Hydrometallurgy*, 2015, 153:170-178.
- [15] YANG Z C, GE Y Y, ZHANG Y L, et al. Recovery of silver from zinc acid-leaching residue by flotation [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 392:14-23.
- [16] 张帆, 程楚, 王海北, 等. 铅银渣综合利用研究现状 [J]. *中国资源综合利用*, 2015, 33(3):37-41.
ZHANG Fan, CHENG Chu, WANG Haibei, et al. Research status of comprehensive utilization of lead-silver slag [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2015, 33(3):37-41.
- [17] 陈伟军. 湿法炼锌铅银渣有价金属综合回收技术研究 [J]. *中国金属通报*, 2020, 7:88-89.
CHEN Weijun. Research on comprehensive recovery technology of valuable metals from zinc, lead and silver residue in hydrometallurgy [J]. *China Metal Bulletin*, 2020, 7:88-89.
- [18] 任杰, 申开榜, 刘乐, 等. 湿法炼锌铅银渣深度处理及回收工艺 [J]. *中国有色冶金*, 2019, 48(1):39-45.
REN Jie, SHEN Kaibang, LIU Le, et al. Advanced treatment and recovery of zinc lead-silver residue from hydrometallurgy [J]. *China Nonferrous Metallurgy*, 2019, 48(1):39-45.
- [19] ZHENG Y X, LYU J F, LIU W, et al. An innovative technology for recovery of zinc, lead and silver from zinc leaching residue [J]. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 2016, 52(2):943-954.

Study on volatilization of valuable metals from desulfurized lead silver slag

WANG Sheng¹, ZHANG Ji¹, LI Delei², ZHANG Dexiu², MA Feifei²,
WANG Haibo², BU Xudong¹, ZHU Xiaofeng¹, ZHAO Fujun³

- (1. State Key Laboratory of Advanced Processing and Recycling of Non-Ferrous Metals, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;
2. Northwest Lead and Zinc Smelter, Baiyin Nonferrous Metals Group Co., Ltd., Baiyin 730900, China;
3. Baiyin Shijin Mining Co., Ltd., Baiyin 730900, China)

Abstract: Lead-silver slag is a kind of hazardous waste produced in the hot acid leaching process of zinc hydrometallurgy. The clean and efficient enrichment and recovery of valuable metals is of great significance to promote the green recycling development of zinc hydrometallurgy industry. Valuable metals were recovered from lead-silver slag after desulfurization by fuming method. The fuming volatilization method is used to recover valuable metals from lead silver slag after desulfurization. The feasibility of fuming volatilization of Zn, Pb, In and Cd was studied with FactSage 8.1 thermodynamic software. The main factors affecting the metal volatilization rate in the fuming volatilization process were experimentally studied. The results showed that in the process of fuming and volatilizing, Zn, In and Cd were firstly reduced and then oxidized, and finally enriched in smoke and dust as oxides; under the optimum conditions of fuming and volatilization temperature 1 250 °C, fuming and volatilization time 60 min and carbon ratio 25%, the volatilization rates of Zn, Pb, In and Cd were 99.69%, 82.26%, 99.09% and 99.90% respectively, which realized the efficient enrichment and recovery of metals. SEM images showed that the fuming slag contained metal Fe, calcium aluminosilicate, etc., iron resources could be recovered through magnetic separation with re-utilization value. The study provides theoretical and data support for industrial application of pyrometallurgical treatment of lead-silver slag.

Key words: lead-silver slag; desulfurized lead-silver slag; fuming volatilization; comprehensive utilization of resources; zinc hydrometallurgy; zinc; lead; indium; cadmium

铜冶炼行业首个智能工厂诞生

日前,中国恩菲工程技术有限公司(以下简称“中国恩菲”)牵头承建的中色大冶弘盛铜业 400 kt/a 铜智能工厂正式投产,标志着我国铜冶炼行业的首个智能工厂诞生。

该项目占地 1 008 亩,采用世界先进的“闪速熔炼+闪速吹炼”工艺。项目提出了“1+1+N”全新智能工厂科学建设方案,即“1 个智慧中心、1 个工业互联网平台、N 个智慧应用”以及智能装备,实现了全厂生产经营全流程的数字化、集中化、智慧化管理,使企业生产效率大大提升。涉及 23 个智慧应用模块、15 套智能装备系统、10 万个数采点,公司负责配料优化控制、双闪炼铜先进控制、阳极精炼优化控制、电解优化控制、制酸优化控制、渣包优化调度、渣选优化控制、质计管理、能源管理、安全管理、环保管理、营销管理、合同管理、工程管理、智能决策等 15 个智慧应用模块的开发实施,以及私有云的供货安装调试。

(资料来源:中国恩菲)