

氧化锌矿处理方法现状

申亚芳, 张馨圆, 王乐, 张硕, 邓孝纯

(华北理工大学冶金与能源学院, 河北 唐山: 063210)

摘要: 阐述了酸法、碱法两大类处理氧化锌矿的方法, 酸法如溶剂萃取法、氧压酸浸法、堆浸法及浓硫酸焙烧法等, 碱法如机械活化-碱法浸出、氨电积法、硫酸铵焙烧法及碱焙烧法等, 其他方法如硫化浮选法和真空碳热还原法等方法。概述了各方法的锌冶炼原理, 指出了各方法的优缺点。

关键词: 氧化锌矿; 锌冶炼; 浓硫酸焙烧; 机械活化; 硫化浮选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.02.004

中图分类号: TF803 文献标识码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 02-0023-07

在锌资源储量中, 氧化锌矿约占 65%, 是重要的锌矿资源^[1]。锌冶炼以硫化矿为主^[2-3], 随着锌的应用范围的扩大, 锌的消耗迅速增加, 导致硫化锌矿日益短缺, 氧化锌矿的开发利用引来越来越多的关注^[4-5]。氧化锌矿是锌的次生矿, 是硫化矿长期风化的产物^[6]。目前我国氧化锌矿大多锌品位较低, 氧化锌矿主要含锌、硅和铁等元素, 成分复杂^[7], 且泥化严重, 难以富集^[8]。目前氧化锌矿尚无完善的选矿富集方法^[9], 采用现行的冶金方法处理存在较大困难^[10]。

氧化锌矿的处理方法可分为酸法和碱法两大类, 酸法处理提取率高, 对大多数重金属作用效果显著, 但是能耗高且产生的硅酸难以过滤^[11-14]; 碱法处理能耗相对低, 但是只对少数两性重金属有效果, 生成的铅锌难以分离, 且锌的提取率低。

1 酸法处理

溶剂萃取法通常又叫液-液萃取法, 是一种从溶液中分离、富集和提取有用物质的有效方法, 它利用溶质在两种不相混溶的液相之间的不同分

配来达到分离和富集的目的^[15]。该工艺可处理含锌低于 20% 的氧化锌矿。

沈庆峰等^[16]用溶剂萃取法从低品位氧化锌矿浸出渣回收锌。以氧化锌矿酸浸后的浸出渣为原料, 洗渣后液固分离, 萃取有机相为 30% 的 P204 与 70% 的 260[#] 溶剂煤油, 采用三级逆流萃取, 锌的萃取率平均可达 66% 左右。以锌电积后的废液为反萃液经两级逆流反萃, 将产物经脱油设备进行水相中的有机物回收, 该工艺中锌的回收率达 90% 以上。

杨龙等^[17]将溶剂萃取与传统湿法炼锌工艺相结合处理氧化锌矿。以氧化锌矿为原料, 萃锌余液加硫酸为浸出剂, 浸出后的溶液通过控制 pH 值、加锌粉的方式除去浸出液中的 Fe、Al 和 Cd、Co、Ni 等金属杂质。将含有 20%~40%P 204 的有机相与浸出液混合, 锌转入有机相, 有机相与浸出液体积比为 1:3~3:1, 萃取时间为 0.5~5 min, 经过 1 min 以上的分相后, 锌萃取率达到 99% 以上。有机相与反萃液相混合后, 锌进入反萃液, 用活性炭或有机纤维吸附等方法除油, 使 P204 浓度低

收稿日期: 2018-11-26; 改回日期: 2019-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51874141) 资助

作者简介: 申亚芳 (1998-), 女, 学生。

于 1×10^{-6} g/L, 得到的溶液经过传统湿法炼锌的浸出、净化和电解等流程后电解出锌。

溶剂萃取法可处理高杂质低品位的氧化锌矿物料, 极大的提高锌的浸出率, 缩短反应时间, 提高萃取效率和自动化程度, 反应溶剂可重复使用, 安全性高, 且无废水产生, 减少对环境的污染。

1.2 氧压酸浸法

谢克强等^[18]以云南某矿山提供的氧化锌矿为原料, 进行氧压酸浸液净化中和除铁, 除铁率及锌浸出率均可达 95% 以上。150 g/L 的稀硫酸加压浸出后得到酸浸液, 用酸浸液浸出原矿, 用软锰矿将酸浸液中的 Fe^{2+} 完全氧化成 Fe^{3+} , 随着 pH 值增大, Fe^{3+} 水解沉淀的同时吸附溶液中的有害杂质 As、Sb、Ge 共同沉淀。除铁后得到的中和渣经调浆处理后, 加入氧压酸浸液调节 pH 值至 1.5~2.0, 可以大大提高锌的浸出率。

李存兄等^[19]采用氧压酸浸工艺处理低品位高硅氧化锌矿, 锌的浸出率可达 97%。将高硅氧化锌矿与化学纯 98% 浓硫酸以 1:3 的固液比放入压强为 1.0 MPa 的反应釜中, 经通氧、搅拌、加热、浸出、过滤分离后得到锌的浸出液。当浸出 90 min 时锌的浸出率高达 97%。

氧压酸浸技术是一种全湿法冶金新技术, 适用于处理硅锌矿和异极矿等含有大量 SiO_2 的碱性脉石, 具有流程简单、物料适应性强、环境污染小、投资及生产成本低等特点^[20]。氧压酸浸法极大的改善了矿浆的过滤性能, 为高硅氧化锌矿的处理提供了新的途径, 但是高硅氧化锌矿在氧压酸浸这一过程中, 硅的行为有待进一步研究。

1.3 堆浸法

堆浸法是一种以筑堆技术和喷淋方法为关键点的冶金技术, 主要用于处理一般传统方法所不能解决的低品位矿。

水浩东等^[21]以氧化铜锌矿为原料, 加入浓度为 10% 的工业废酸, 用耐酸泵循环堆浸。定期抽出浸出液下部的 Cu 和 Zn 并补充废酸, 沉铜后的浸出液加氨水调节 pH 值为 3.5~4, 加热至 80℃, 通氧, 后期加 H_2O_2 氧化, 过滤得针铁矿型氧化铁黄。

沉铁后的浸出液加 NH_4HCO_3 及氨水, 调节 pH 值至 7, 过滤后得到碱式碳酸锌沉淀, 经 700~800℃ 焙烧, 即得活性氧化锌。沉锌后的溶液经蒸发浓缩, 即得肥料级硫氨。

杨大锦等^[22]对低品位氧化锌矿进行自然粒度筑堆, 矿堆层高约 1 m, 经浓硫酸熟化、板结后, 在 20~32℃ 条件下采用喷淋强度为 10~20 L/($\text{m}^2 \cdot \text{h}$) 的间歇式喷淋工艺, 控制浸出液 pH 值为 1.0~1.5, 每天闲置 8 h, 三个月后, 低品位氧化锌矿堆浸浸出率可达 93%。

堆浸工艺在实现工业废酸资源化的基础上, 提高了锌的浸出率, 实现了氧化锌矿的综合利用, 但是浸出速度慢, 效率低, 反应周期较长, 且若后期处理不当, 极易污染土壤和地下水。

1.4 浓硫酸焙烧法

王乐等^[23]用浓硫酸焙烧法处理低品位氧化锌矿, 锌的提取率可达 99% 左右。以云南兰坪氧化锌矿为原料, 将氧化锌矿与工业级 98% 硫酸按摩尔比 1:1.6 的比例在刚玉坩埚中混匀后在 400℃ 条件下加热 120 min, 自然冷却至 100℃ 下取出后加水溶出, Ca、Pb、Si 富集在浸出渣中, 通过控制 pH 值分离进入溶液中的 Fe、Zn、Al 等组元, 得到锌的提取率为 99.02%。

浓硫酸焙烧法实现了低品位氧化锌矿的综合利用, 提高了锌和铅等物质的利用率, 反应温度相对较低, 但浓硫酸具有腐蚀性^[24], 试验过程中具有危险性, 且反应过程中易产生 SO_2 , 污染大气。

2 碱法处理

2.1 机械活化-碱法浸出

碱法浸出包括苛性钠浸出和氨浸出两种。碱性溶液浸出是目前研究较多和较有前途的处理方法之一, 但是促进各含锌物相同时浸出、提高低品位氧化矿的浸出率是目前急需解决的问题, 机械活化则是解决这一问题的有效方法。

苛性钠浸出是在苛性钠存在下, 和氧化锌矿中的氧化锌反应, 生成可溶性的锌酸钠, 达到与脉石分离的目的^[25]。赵中伟等^[26]利用热球磨对高

硅型氧化锌矿进行机械活化浸出,以云南兰坪的氧化锌矿为实验原料,将氧化锌矿粉末和5 mol/L的NaOH溶液以液固比10:1的比例混合,NaOH的用量为理论用量的3.5倍,同时加入机械活化设备的滚筒磨中,调节温度至140℃后开始计时,达到预定时间2 h后停止加热,及时分离,氧化锌矿机械活法碱法浸出锌的浸出率可达95.1%。

氨法浸出利用锌与氨形成配合物的性质提取Zn。曹琴园等^[27]将机械活化应用于氧化锌矿的碱法浸出,有效提高了锌的浸出率。以云南兰坪氧化锌矿为原料,以摩尔比为2:1的 $\text{NH}_3\cdot\text{NH}_4\text{Cl}$ 溶液为浸出剂,先将未活化氧化锌矿在65℃条件下干燥5 h以上,然后将原矿、钢球及浸出剂同时加入球磨罐中,边活化边浸出,90 min后真空抽滤。由于活化与浸出步骤分离,在球磨过程中矿样发生了机械化学反应,矿样中ZnS被氧化成利于浸出的物相,精矿中可浸出锌的浸出率高达103.97%。

机械活化-碱法浸出可以有效解决氧化锌矿中锌浸出率低的问题,大大提高了浸出率,不易腐蚀,能耗较低,且环境污染小,但反应条件相对复杂,难以控制。

2.2 氨电积法

传统氨法包括氨水法、碳氨法、硫氨法及氯化铵法^[28],但是在工艺上尚不完善,制得的锌纯度并不高。

桑世华等^[29]以氧化铅锌矿为原料,用石灰水除去矿粉中的耗氨杂质,然后在室温下用锌粉、活性炭和 H_2O_2 净化氨浸液,除去Pb、Cu等物质。在电解槽中加入锌净化液,以铝板为阴极、涂钉钛板为阳极电解,添加TP、TNB和明胶三种添加剂,电积电流2.5 A,异极距3.5 cm,阴极得到的锌纯度可达到99.58%。

杨声海等^[30]以复杂的炼铅炉渣烟化炉氧化锌烟灰为原料,在室温下用 $\text{NH}_3\cdot\text{NH}_4\text{Cl}$ 水溶液浸出0.5 h,大部分Sb、Pb、As留在残渣中,锌的浸出率可达96.36%;在浸出液中加入 H_2O_2 和带正电的胶体使As和Sb沉淀除去;采用两段逆流净化浸出液,

除去杂质Ni、Cu、Cd、Co和Pb。电积过程中以涂钉钛板或石墨作阳极,平均槽电压约为3 V,电积时电流效率为93%~96%,电积得到的锌纯度大于99.999%。

氨电积法可处理高杂质低品位氧化锌矿,得到纯度较高的锌块,电流效率高,槽电压低,对环境无污染,但是氨极易挥发,整个反应过程中需要在常温密闭条件下进行,反应条件难以控制。

2.3 硫酸铵焙烧法

申晓毅等^[31]将磨细后的氧化锌矿与含锌 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 按物质的量1:1.4混匀,在450℃温度下焙烧,炉冷后取样,以固液比为1:3加水在80℃溶出1 h,趁热得到硫酸锌溶液,净化除杂后得到洁净的 ZnSO_4 溶液。在洁净的 ZnSO_4 溶液中缓慢加入沉淀剂 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$,过滤分离得到 $\text{Zn}_4(\text{CO}_3)(\text{OH})_6\cdot\text{H}_2\text{O}$,干燥后于800℃条件下煅烧2 h得到ZnO粉体,锌的提取率可达91.8%。

孔燕等^[32]将适量磨细后的低品位氧化锌矿和黄铁矿混匀加入刚玉罐,在氮气保护氛围下升温至850℃后焙烧180 min,反应结束后,冷却至室温,焙烧得到的ZnS采用常规浮选法回收锌,锌的回收率可达64.7%,锌精矿品位提升至14.3%。

硫化铵焙烧法工艺可实现低品位氧化锌矿的综合利用,对锌的提取率高,化工原料可循环使用,但是耗能大,反应过程中易产生 NH_3 和难以处理的窑渣等二次污染物,反应过程相对复杂。

2.4 碱焙烧法

陈兵等^[33]以氧化锌矿和工业氢氧化钠为原料,按矿碱比1:6混匀后在一定温度下焙烧,将熟料用去离子水溶解后过滤分离,洗涤滤渣回收铁产品。用碳酸钠溶液或活性石灰乳苛化碳酸钠溶液对溶出液进行三次碳分处理:首先碳分除杂;然后碳分至溶液pH值为12,得到富ZnO的产品;最后碳分至pH值为9.0,得到富 SiO_2 的产品。

申晓毅等^[34]用NaOH熔融焙烧 Zn_2SiO_4 得到 $\text{Na}_2\text{ZnSiO}_4$ 和 Na_2ZnO_2 。将NaOH与 Zn_2SiO_4 按物质的量比20:1混料,在500℃的温度下焙烧100 min,反应生成 $\text{Na}_2\text{ZnSiO}_4$ 和 Na_2ZnO_2 。

碱焙烧法结合火湿法工艺的的优点,实现了化工原料的循环利用和矿样中有价组元的综合提取利用,操作简单,反应温度相对较低,但是复杂相的存在会降低 ZnO 的提取率^[35-36],且碳分产品中 PbO₂ 和 SiO₂ 的分离有待做进一步的探讨。

3 其他处理方法

3.1 硫化浮选法

氧化锌矿回收利用的主要方法为硫化浮选法,用硫化钠或硫氢化钠等可溶性硫化剂将氧化矿物预先硫化,然后采用黄药或胺类捕收剂进行浮选。

李玉琼等^[37]将西藏地区氧化完全的氧化锌矿磨细至 -0.074 mm 粒度,依次向浮选槽中加入分散剂(硅酸钠和六偏磷酸钠)、活性剂(硫化钠)、捕收剂(十八胺醋酸盐)以及起泡剂(2#油),粗选 3 min,加药进行扫选 2 min,将两次浮选获得的泡沫产品合并作为精矿,品位为 6.8% 的氧化锌矿提升至 23.38%,精矿中锌的回收率可达 90.1%。

吕翠翠等^[38]以山东某低品位铅锌矿为原料,将矿料研磨至 -0.0074 mm 后,转移至 XFD 型挂槽式浮选机中,依次加入调整剂 Na₂S、捕收剂丁基黄药和乙硫氮及起泡剂,搅拌均匀后粗选 4 min。在尾矿中加入硫酸铜活化后加入丁基黄药和起泡剂进行 3 min 粗选后,再进行 2 min 扫选,得到锌精矿,精矿中锌品位提高了 32%,回收率达到 31.45%。

硫化浮选法已经成为浮选氧化锌矿的主要方法,可以有效减少硅胶的聚合,捕收剂具有较高的选择性,可以较好的回收氧化锌矿物,但该法的浮选效果受矿泥影响较大^[39-40],脱泥过程中会造成大量锌金属损失,造成资源浪费,且硫化技术很难保证浮选后尾矿中内部金属的稳定性。

3.2 真空碳热还原法

L.Z. Xiong 等^[41]以兰坪氧化锌矿为原料,将摩尔比为 2.5:1 的炼焦煤与氧化锌矿和水充分混合,经压制后得到样品。样品在 100℃ 下干燥 2 h 后,置于真空炉中密封,加热至 700℃,焙烧 50 min

后,停止加热。当炉内温度低于 50℃ 时,更换冷凝器。再次密封真空炉,在 20 kPa 的压力下快速加热至 900℃,加热 50 min,锌和挥发性物质的蒸汽进入冷凝器,。得到锌的产率大于 95%,纯度大于 99.995%

真空碳热还原法是一种提取高纯锌的有效方法,该工艺流程短,能量比高,锌回收率高,环境污染小,可生产高附加值产品,但是反应条件不易控制,反应过程复杂。

4 结 语

随着国防军工实力以及工业化水平的不断提高,氧化锌矿的开采和利用越来越受到人们的重视。锌在工业生产中的众多领域中有广泛的应用及不可或缺的地位。尽管上述制备方法存在着各自的优点,但是也存在着缺点。例如,氨电积法反应条件难以控制,硫化-胺浮选法的浮选效果受矿泥影响较大等。酸法具有提取效率高和应用范围广的优点,但是酸法中易生成硅酸且难以过滤,有待做进一步的研究和探讨。

参考文献:

- [1] 丰奇成,文书明,柏少军,等.低品位难处理氧化锌矿综合利用现状[J].矿产综合利用,2013(1):4-8.
Feng Q C, Wen S M, Bo S J, et al. Comprehensive Utilization Status of Low-grade Refractory Zinc Oxide Ore[J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2013(1):4-8.
- [2] 毛益林,陈晓青,杨进忠,等.某复杂难选氧化铅锌矿选矿试验研究[J].矿产综合利用,2011(1):6-10.
Mao Y L, Chen X Q, Yang J Z, et al. Experimental study on beneficiation of a complex refractory lead-zinc oxide ore[J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2013(1):4-8.
- [3] 陈兵,申晓毅,顾惠敏,等.碱焙烧法由氧化锌矿提取 ZnO[J].化工学报,2012,63(2):658-661.
Chen Bing, Shen Xiaoyi, Gu Huimin, et al. Extraction of ZnO from Zinc Oxide by Alkaline Roasting[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2012, 63(2):658-661.
- [4] 贺山明,王吉坤.氧化锌矿冶金处理的研究现状[J].矿冶,2010,19(3):58-65.
He Shanming, Wang Jikun. Research Status of Metallurgical Treatment of Zinc Oxide Ore[J]. Mining and Metallurgy, 2010,

- 19(3):58-65.
- [5] 邵鸿媚, 申晓毅, 张彬彬, 等. 氧化锌矿溶出液的净化 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2015, 36(6):811-813.
- Shao Hongmei, Shen Xiaoyi, Zhang Binbin, et al. Purification of Zinc Oxide Ore Leaching Solution [J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2015, 36(6):811-813.
- [6] Jha M K, Kumar V, Singh R J. Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes[J]. Resources Conservation & Recycling, 2001, 33(1):1-22.
- [7] 陈兵, 申晓毅, 顾惠敏, 等. 碱焙烧法综合利用低品位氧化锌矿 [J]. 矿产综合利用, 2016(5):30-33.
- Chen B, Shen X Y, Gu Huimin, et al. Comprehensive Utilization of Low Grade Zinc Oxide Ore by Alkali Roasting [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2016(5):30-33.
- [8] Frenay J. Leaching of oxidized zinc ores in various media[J]. Hydrometallurgy, 1985, 15(2):243-253.
- [9] 沈庆峰, 杨显万, 舒毓璋, 等. 用溶剂萃取法从氧化锌矿浸出渣中回收锌 [J]. 中国有色冶金, 2006(5):24-26.
- Shen Q F, Yang X W, Shu Y Z, et al. Recovery of Zinc from Leaching Slag of Zinc Oxide Ore by Solvent Extraction [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2006(5):24-26.
- [10] 杨龙. 溶剂萃取 - 传统湿法炼锌工艺联合处理氧化锌矿 [J]. 中国有色冶金, 2007(4):16-18.
- Yang L. Solvent extraction-traditional wet zinc smelting process combined treatment of zinc oxide ore [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2007(4):16-18.
- [11] Xu H, Wei C, Li C, et al. Leaching of a complex sulfidic, silicate-containing zinc ore in sulfuric acid solution under oxygen pressure[J]. Separation & Purification Technology, 2012, 85(6):206-212.
- [12] Sutjaritvorakul T, Chutipaijit S, Sihanonth P. Solubilization and bioprecipitation of zinc oxide nanoparticles by fungi isolated from zinc sulfide mineral ores[J]. Materials Today: Proceedings, 2017, 4(5):6562-6566.
- [13] Li Y, Wang J K, Wei C, et al. Sulfidation roasting of low grade lead-zinc oxide ore with elemental sulfur[J]. Minerals Engineering, 2010, 23(7):563-566.
- [14] Liang D, Wang J, Wang Y, et al. Recovery of silver and zinc by acid pressure oxidative leaching of silver-bearing low-grade complex sulfide ores[J]. International Journal of Mineral Processing, 2008, 89(1):60-64.
- [15] 沈庆峰. 从低品位氧化锌矿浸出渣中回收锌的工艺研究及其产业化 [D]. 昆明理工大学, 2007.
- Shen Q F. Study on the Technology of Recovering Zinc from Leaching Slag of Low Grade Zinc Oxide Ore and Its Industrialization[D]. Kunming University of Science and Technology, 2007.
- [16] 沈庆峰, 杨显万, 舒毓璋, 等. 用溶剂萃取法从氧化锌矿浸出渣中回收锌 [J]. 中国有色冶金, 2006(5):24-26.
- Shen Q F, Yang X W, Shu Y Z, et al. Recovery of Zinc from Leaching Slag of Zinc Oxide Ore by Solvent Extraction[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2006(5):24-26.
- [17] 杨龙. 溶剂萃取 - 传统湿法炼锌工艺联合处理氧化锌矿 [J]. 中国有色冶金, 2007(4):16-18.
- Yang L. Solvent extraction-traditional wet zinc smelting process combined treatment of zinc oxide ore[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2007(4):16-18.
- [18] 谢克强, 杨显万, 舒毓璋, 等. 氧压酸浸液中和除铁工艺研究 [J]. 云南冶金, 2007, 36(2):52-56.
- Xie K Q, Yang X W, Shu Y Z, et al. Research on Oxygen Pressure Acid Leaching Solution and Iron Removal[J]. Yunnan Metallurgy, 2007, 36(2):52-56.
- [19] 李存兄, 魏昶, 樊刚, 等. 高硅低品位氧化锌矿氧压酸浸研究 [J]. 矿冶, 2009, 18(2):45-49.
- Li C X, Wei C, Fan G, et al. Study on Acid Pressure Leaching of High Silicon and Low Grade Zinc Oxide Ore[J]. Mining and Metallurgy, 2009, 18(2):45-49.
- [20] 金炳界, 杨显万, 沈庆峰. 高硅高铁含铜渣氧压酸浸过程 [J]. 过程工程学报, 2008, 8(6):1085-1091.
- Jin B J, Yang X W, Shen Q F. Oxygen-pressure acid leaching process of high-silicon high-iron copper-containing slag[J]. Journal of Process Engineering, 2008, 8(6):1085-1091.
- [21] 水浩东. 废酸堆浸氧化铜锌矿工艺 [J]. 有色矿冶, 2003, 19(1):29-30.
- Shui H D. Waste acid heap leaching copper-zinc oxide ore process[J]. Nonferrous Mining and Metallurgy, 2003, 19(1):29-30.
- [22] 杨大锦, 谢刚, 贾云芝, 等. 低品位氧化锌矿堆浸实验研究 [J]. 过程工程学报, 2006, 6(1):59-62.
- Yang D J, Xie G, Jia Y Z, et al. Experimental Study on Heap Leaching of Low Grade Zinc Oxide Ore[J]. Journal of Process Engineering, 2006, 6(1):59-62.
- [23] 王乐, 牟文宁, 刘少名, 等. 低品位氧化锌矿的浓硫酸焙烧 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2014, 35(8):1169-1172.
- Wang L, Mou W N, Liu S M, et al. Roasting of Low Grade Zinc Oxide Ore by Concentrated Sulfuric Acid[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2014, 35(8):1169-1172.
- [24] Li Y, Wang J K, Wei C, et al. Sulfidation roasting of low grade lead-zinc oxide ore with elemental sulfur[J]. Minerals

engineering, 2010, 23(7):563-566.

[25] 徐冬. 氧化锌矿碱浸出工艺基础理论研究 [D]. 中南大学, 2011.

Xu D. Theoretical Study on Alkali Leaching Process of Zinc Oxide Ore[D]. Central South University, 2011.

[26] 顾珩, 李洪桂, 刘茂盛. 热球磨苏打法处理钼渣新工艺研究 [J]. 中国铝业, 1997(4):16-18.

Gu H, Li H Z, Liu M S. Research on New Technology of Molybdenum Slag Treatment by Hot Ball Mill Soda[J]. China Molybdenum Industry, 1997(4):16-18.

[27] 曹琴园, 李洁, 陈启元, 等. 机械活化对氧化锌矿碱法浸出及其物化性质的影响 [J]. 过程工程学报, 2009, 9(4):669-675.

Cao Q Y, Li J, Chen Q Y, et al. Effect of Mechanical Activation on the Leaching and Physical and Chemical Properties of Zinc Oxide Ore[J]. Journal of Process Engineering, 2009, 9(4):669-675.

[28] 张嘉. 氨法制电锌新工艺及电积添加剂影响研究 [D]. 四川大学, 2007.

Zhang J. A Study on the New Process of Electrolytic Zinc Production by Ammonia and the Influence of Electrolytic Additives[D]. Sichuan University, 2007.

[29] 桑世华, 王渊, 胡咏霞, 等. 氧化锌矿氨浸液电积锌工艺研究 [J]. 有色金属 (冶炼部分), 2014(8):1-4.

Sang S H, Wang Y, Hu Y X, et al. Study on Electrolytic Zinc Deposit of Ammonia Leaching Solution of Zinc Oxide Ore[J]. Nonferrous Metals(Smelting Section), 2014(8):1-4.

[30] 杨声海, 唐谟堂, 邓昌雄, 等. 由氧化锌烟灰氨法制取高纯锌 [J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(6):1110-1113.

Yang S H, Tang M T, Deng C X, et al. Preparation of High Purity Zinc from Zinc Oxide Soot Ammonia [J]. Journal of Chinese Nonferrous Metals, 2001, 11(6):1110-1113.

[31] 申晓毅, 孙毅, 宋继强, 等. 硫酸铵低温焙烧中低品位氧化锌矿 [J]. 材料研究学报, 2012, 26(4):396-401.

Shen X Y, Sun Y, Song J Q, et al. Low and Medium Grade Zinc Oxide Ore Roasted by Ammonium Sulfate at Low Temperature[J]. Chinese Journal of Materials Research, 2012, 26(4):396-401.

[32] 孔燕, 刘维, 覃文庆, 等. 低品位氧化锌矿硫化焙烧回收锌工艺研究 [J]. 矿冶工程, 2014, 34(3):85-89.

Kong Y, Liu W, Tan W Q, et al. Study on Recovery of Zinc from Low Grade Zinc Oxide Ore by Sulfidation Roasting[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2014, 34(3):85-89.

[33] 陈兵, 申晓毅, 顾惠敏, 等. 碱焙烧法综合利用低品位氧化锌矿 [J]. 矿产综合利用, 2016(5):30-33.

Chen B, Shen X Y, Gu H M, et al. Comprehensive Utilization of Low Grade Zinc Oxide Ore by Alkali Roasting[J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2016(5):30-33.

[34] 申晓毅, 贾超航, 李豪, 等. 碱熔融焙烧 SiO_2 和 Zn_2SiO_4 反应过程分析 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2017, 38(1):51-56.

Shen X Y, Jia C H, Li H, et al. Analysis of the Reaction Process of Alkali Melting Roasting SiO_2 and Zn_2SiO_4 [J]. Journal of Northeastern University:Natural Science, 2017, 38(1):51-56.

[35] 陈兵, 申晓毅, 顾惠敏, 等. 钙化合物对碱焙烧氧化锌矿的影响 [J]. 矿产综合利用, 2016(3):26-29.

Chen B, Shen X Y, Gu H M, et al. Effects of Calcium Compounds on Alkali Roasted Zinc Oxide Ore[J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2016(3):26-29.

[36] 骆建伟. 氧化锌矿中基于碱焙烧法对 ZnO 的提取 [J]. 能源与节能, 2012(9):86-87.

Luo J W. Extraction of ZnO from zinc oxide ore based on alkaline roasting method[J]. Energy and Energy Conservation, 2012 (9):86-87.

[37] 李玉琼, 陈建华, 陈晔, 等. 西藏某氧化锌矿浮选试验研究 [J]. 矿冶工程, 2009, 29(4):28-32.

Li Y Q, Chen J H, Chen Y, et al. Experimental Study on the Flotation of a Zinc Oxide Mine in Tibet[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2009, 29(4):28-32.

[38] 吕翠翠, 王永良, 肖力, 等. 低品位氧化铅锌矿物的浮选回收试验研究 [J]. 黄金科学技术, 2017, 25(2): 89-95.

Lu C C, Wang Y L, Xiao L, et al. Experimental Study on Flotation Recovery of Low-grade Lead-Zinc Oxide Minerals[J]. Gold Science and Technology, 2017, 25(2):89-95.

[39] 朱从杰. 矿泥对氧化锌矿物浮选行为的影响 [J]. 矿产综合利用, 2005(1):9-13.

Zhu C J. Effect of slime on flotation behavior of zinc oxide minerals[J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2005(1):9-13.

[40] 李政勇, 廖寅飞, 赵一帆, 等. 氧化锌矿浮选体系矿物溶解离子和矿泥影响的研究进展 [J]. 矿产保护与利用, 2017(6):97-102.

Li Z Y, Liao Y F, Zhao Y F, et al. Research progress on the effects of mineral dissolved ions and slime of zinc oxide ore flotation system[J]. Mineral Protection and Utilization, 2017(6):97-102.

[41] Xiong L Z, Xiang Y H, Wu X W, et al. Preparation of high purity zinc from zinc oxide ore by vacuum carbothermic reduction[J]. Vacuum, 2017, 146: 200-205.

(下转 36 页)

[50] 纪振明,田鹏杰,陈洲,等.某低品位菱镁矿浮选提纯试验研究[J].矿冶,2009(6):30-33.

Ji Z M, Tian P G, Chen Zhou, et al.Experimental Research on Flotation Purification of a Low-grade magnesite [J].Mining and Metallurgy, 2009 (6): 30-33.

[51] 郭石磊,孙威,龙小柱,等.难免离子对低品位菱镁矿浮选除硅的试验研究[J].山东化工,2017(1):35-38.

Guo S L, Sun W, Long X Z, et al.Experimental Study on the Removal of Silicon from Low-grade Magnesite by ion ion [J]. Shandong Chemical Industry, 2017 (1): 35-38.

[52] O.康加尔,等.菱镁矿和碳酸钙镁石的可浮性[J].国外金属矿选矿,2007(6):34-38.

O. Kangal, et al. Floatability of Magnesite and Forsterite [J]. Foreign Metal Ore Beneficiation, 2007 (6): 34-38.

Research Progress in Purification of Low-grade Magnesite by Reverse Flotation

Xi Yue, Dai Shujuan, Zhang Zuojin, Cui Shaowen, Liu Shujie

(School of Mining Engineering, University of Science & Technology Liaoning, Anshan, Liaoning, China)

Abstract: Magnesite ore is the main raw material for the preparation of refractory materials. High-quality magnesite ore is almost exhausted due to the unreasonable development and utilization of magnesite in recent years, and low-grade magnesite ore needs to be purified by beneficiation. Flotation is the most widely used method for purifying magnesite ore and the reverse flotation process is widely used because it can effectively remove the gangue in magnesite. In order to promoting the development of low-grade magnesite reverse flotation technology, using the Chinese Academic Literature Database (CNKI) retrieving literature on low-grade magnesite reverse flotation, analysis the research status of low-grade magnesite reverse flotation reagent, reverse flotation process and reverse flotation operation mechanism in recent years, and point out the existing problems and future development directions. The results show that there are much more research about the effects of low-grade magnesite ore reverse flotation reagents and processes, and inevitable ion on the reverse flotation of magnesite ore, less research on computer software simulation of drug adsorption process and optimization of drug development and improvement of concentrate recovery rate. Therefore, we should strengthen the optimization and development of new anti-flotation agents in the future, and finally improve the reverse flotation purification technology of low grade magnesite, promote the comprehensive utilization of low-grade magnesite.

Keywords: Low grade magnesite; Literature analysis; Research status; Existing problems; Development direction

////////////////////////////////////
(上接 28 页)

Preparation of Zinc and its Compounds from Zinc Oxide Ore

Shen Yafang, Zhang Xinyuan, Wang Le, Zhang Shuo, Deng Xiaochun

(College of Metallurgy and Energy, North China University of Science and Technology, Tangshan, HeBei)

Abstract: The methods of treating zinc oxide ore by acid method and alkali method are described. Acid method such as solvent extraction method, oxygen pressure acid leaching method, heap leaching method, concentrated sulfuric acid roasting method, etc., alkali method such as mechanical living method-alkali method Leaching, ammonia electrowinning, ammonium sulfate roasting, alkali roasting, etc., other methods such as vulcanization flotation and vacuum carbothermal reduction. The principle of zinc smelting of each method is summarized, and the advantages and disadvantages of each method are pointed out.

Keywords: Zinc oxide ore; Zinc smelting; Concentrated sulfuric acid roasting; Mechanical activation; Vulcanization flotation