

磨矿对方铅矿矿浆电位及浮选行为的影响*

江宏强^{1,2}, 李茂林^{1,2,3}, 崔瑞^{1,2}, 梁华^{1,2}

(1. 武汉科技大学 资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081; 2. 冶金矿产资源高效利用与造块湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430081; 3. 长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012)

摘要: 针对方铅矿单矿物, 在铁球和瓷球介质下, 改变磨矿条件进行磨矿浮选试验, 考察磨矿对方铅矿矿浆电位及浮选行为的影响。磨矿试验表明, 不同的磨矿介质或不同的磨矿条件(如磨矿时间、磨矿浓度、pH、CaO用量)都会使方铅矿矿浆电位产生较大的差异。浮选试验表明, 矿浆电位会直接影响方铅矿的浮选回收率, 矿浆电位过高或过低都不利于浮选。当矿浆电位值保持在元素硫存在的电位区间内时, 浮选回收率会出现最大值。

关键词: 方铅矿; 磨矿; 矿浆电位; 浮选

中图分类号: TD921+.4; TD952.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2018)06-0041-05

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2018.05.031

Effect of Grinding on the Pulp Potential and Flotation Behavior of Galena

JIANG Hongqiang^{1,2}, LI Maolin^{1,2,3}, CUI Rui^{1,2}, LIANG Hua^{1,2}

(1. College of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China; 2. Hubei Key Laboratory for Efficient Utilization and Agglomeration of Metallurgical Mineral Resources, Wuhan 430081, China; 3. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Limited Liability Company, Changsha 410012, China)

Abstract: Taking galena single mineral as the research object, the effect of grinding on the slurry potential and flotation behavior of galena was investigated by changing grinding conditions with iron sphere and porcelain sphere media. Grinding experiments showed that different grinding media or different grinding conditions (such as grinding time, grinding concentration, pH, CaO dosage) could dramatically change the pulp potential of galena. Flotation experiments showed that the pulp potential directly affected the flotation recovery of galena, and excessively high or low pulp potential is not conducive to flotation. When the potential value of the slurry was kept within the potential range of elemental sulfur, the maximum flotation recovery was achieved.

Key words: galena; grinding; pulp potential; flotation

磨矿是选矿过程中的一个重要环节, 尤其是对硫化矿来说, 磨矿会使其矿浆性质(如矿浆电位、pH)产生较大的改变^[1], 这些改变对浮选回收率起着至关重要的作用。因此, 磨矿对方铅矿矿浆电位及浮选行为影响的研究十分必要。

王琴琴等^[2]研究了磨矿介质对黄铜矿磨矿体

系矿浆电位的影响, 结果表明黄铜矿矿浆电位的变化是矿浆 pH、离子种类及浓度、溶氧量等因素综合影响的结果, 并且相比于瓷介质磨矿, 在铁介质磨矿条件下, 矿浆电位变化更为明显。何发钰等^[3]研究表明, 磨矿环境对方铅矿、闪锌矿的矿浆性质会产生很大的影响。S·钱德尔^[4]也阐述了硫化矿浮选中矿浆

* 收稿日期: 2018-03-20

作者简介: 江宏强(1992-), 男, 湖北宜昌人, 在读硕士研究生, 从事磨矿分级研究。

电位的研究现状,简要分析了磨矿与矿浆电位的关系,制定了解释矿浆电位的合理方法。这些研究都表明,矿浆电位与磨矿条件有着密不可分的联系。

本研究为考察磨矿对方铅矿矿浆电位及浮选行为的影响,在不同的磨矿条件下,以普通生铁球和刚玉瓷球作为磨矿介质,进行了相关试验研究,并对矿浆电位与方铅矿浮选回收率的关系进行了探索,从矿浆化学角度解释了试验现象,以期为矿山实际生产提供改进思路。

1 试验样品及研究方法

1.1 样品

方铅矿块矿取自广东某铅锌铁硫化矿,手捡结晶度和纯度高的块矿,经磁选和重选除杂作试验用纯矿物,其化学多元素分析结果见表 1, X 射线衍射图谱见图 1。

表 1 矿样主要化学成分分析结果 /%

Table 1 Chemical composition analysis of ore simple

名称	Pb	Zn	Fe	S	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Ag
含量	82.28	0.48	2.16	11.27	2.52	0.54	0.07	0.16	0.32

注:Ag 单位为 g/t。

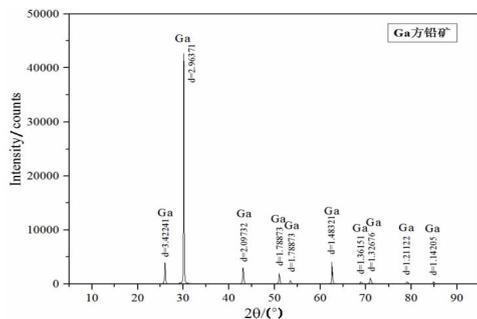


图 1 方铅矿 X 射线衍射图谱
Fig. 1 XRD pattern of galena

由检测结果可知,所用方铅矿单矿物 Pb 品位为 82.28%,折合纯度为 95.01%,满足纯试验要求。

原矿经对辊破碎机破碎至 1.7 mm 以下,混匀后称取若干份 100 g 装入试样袋置于广口瓶中低温保存,防止氧化。

1.2 磨矿介质

试验采用了两种磨矿介质:一种是生铁球,一种是刚玉球,主要成分见表 2。

在磨矿过程中磨矿介质会发生冲击磨损、腐蚀磨损、磨蚀磨损、疲劳磨损等多种磨损。对于刚玉球

表 2 磨矿介质主要成分

Table 2 Main components of grinding media

磨矿介质类型	球径	主要成分	生产厂家
生铁球	10 mm, 15 mm	Fe	宜兴浩强
刚玉球	10 mm, 15 mm	Al ₂ O ₃	长沙弗卡斯

而言,属于惰性介质,因而磨矿时不与方铅矿发生反应,对矿物及矿浆电位影响较小。但生铁球容易氧化,并且磨矿时会与方铅矿发生电化学反应,进而会影响矿浆电位等性质。对生铁球及磨矿产生的铁屑进行扫描电镜能谱分析,考察其磨矿前后的变化,结果如图 2 和图 3 所示。由结果可以看出,铁屑中 O 元素明显增多,这是因为铁球在磨矿过程中发生某种化学反应,生成铁的含氧化合物,这与 Yongjun Peng 等人^[5]的研究结果相符。

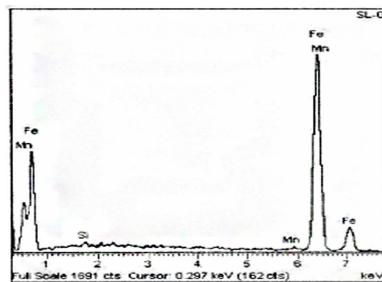


图 2 铁球表面的能谱
Fig. 2 EDX Spectrum of iron ball surface

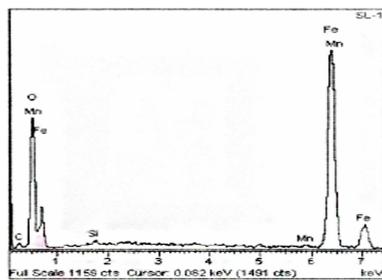


图 3 铁屑的能谱
Fig. 3 EDX Spectrum of iron chips

1.3 磨矿试验

试验流程如图 4 所示。试验取矿样 100 g 装入球磨机中,再加入铁球或瓷球,向磨罐中倒入一定量的 CaO 和去离子水(或 pH 缓冲液)。其中,CaO 和去离子水(或 pH 缓冲液)用量根据试验相应改变。将罐口封好后在 83 r/min 的转速下开始磨矿,根据试验需要确定磨矿时间。磨矿完静置 1 min 后,直接在磨罐中测量矿浆电位,测量时间为 2 min。

浮选时加入石灰、硫酸及氧化还原剂调浆,保持 pH 和矿浆电位为一定值,进行浮选试验,浮选时间

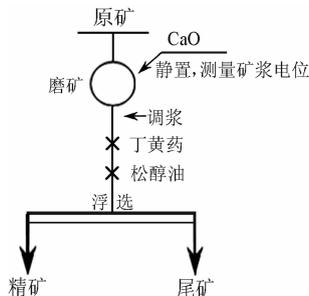


图 4 试验流程

Fig. 4 Experimental flowsheet

为 4 min,对得到的精矿和尾矿抽滤后进行烘干、称重,以公式(1)计算浮选回收率:

$$R = \frac{m_{\text{精矿}}}{m_{\text{精矿}} + m_{\text{尾矿}}} \times 100\% \quad (1)$$

$m_{\text{精矿}}$ 和 $m_{\text{尾矿}}$ 分别为干燥后的精矿、尾矿质量。

1.4 电位测定

本试验矿浆电位的测量采用 PHSJ-4F 型 pH 计,在 PHSJ-4F 型 pH 计上采用铂片电极作指示电极,将相对于 232 型饱和甘汞电极的电位换算为标准氢电极电位,则为矿浆电位^[6]。每次测试之前都要采用 600 号金刚砂纸对铂电极进行打磨,再用蒸馏水反复清洗,用滤纸擦干,保持铂片干净光鲜,减少试验误差。

浮选时将金片电极放置于浮选槽底部,铂电极和甘汞电极分别插入到浮选槽中,并与 ZF-9 恒电位仪相连,在浮选过程中实现矿浆电位的测定与调控。

2 结果与讨论

2.1 磨矿时间对方铅矿矿浆电位的影响

固定 CaO 用量为 2 000 g/t,去离子水 100 mL,磨矿质量浓度(简称磨矿浓度)则为 50%,磨矿时间对方铅矿矿浆电位的影响如图 5 所示。

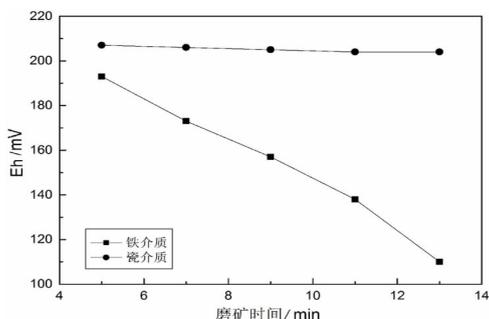


图 5 磨矿时间对方铅矿矿浆电位的影响

Fig. 5 Effect of grinding time on the potential of galena pulp

由图 5 可以看出,在采用瓷介质磨矿时,方铅矿矿浆电位基本保持不变。但铁介质磨矿条件下,方铅矿矿浆电位要比瓷介质磨矿时的低,并且随着磨矿时间的延长,矿浆电位急剧下降。产生这种差异的原因是,铁介质磨矿时,随着磨矿时间的延长,铁介质磨蚀磨损加剧,生成的铁粉具有还原性,改变了矿浆氧化还原气氛,从而降低了矿浆电位。但是,瓷介质磨矿过程中,没有铁质物质参与反应,因而矿浆电位没有明显的变化。

2.2 磨矿浓度对方铅矿矿浆电位的影响

为考察磨矿浓度对方铅矿矿浆电位的影响,在 CaO 用量 2 000 g/t 情况下,分别加入不同量的去离子水,调整磨矿浓度分别为 40%、45%、50%、55% 和 60%,磨矿 6 min,测定矿浆电位,结果如图 6 所示。

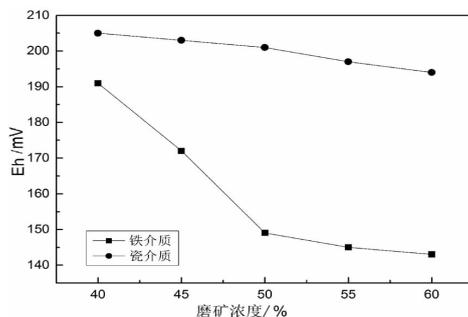


图 6 磨矿浓度对方铅矿矿浆电位的影响

Fig. 6 Effect of grinding concentration on the potential of galena pulp

由图 6 试验结果可以看出,随着磨矿浓度的增加,不论是铁介质磨矿还是瓷介质磨矿,方铅矿矿浆电位都呈下降趋势,但方铅矿矿浆电位在铁介质磨矿时要远低于瓷介质磨矿,且当磨矿浓度继续增加时,矿浆电位下降趋势逐渐平缓。这是因为,在磨矿过程中矿物表面会发生局部电池作用,随着磨矿浓度的增加,消耗溶解氧含量增加,因此两种介质下矿浆电位都会下降。同时,在铁介质磨矿下会产生较多的铁质进入矿浆,使得矿浆电位的下降更为剧烈。

2.3 pH 对方铅矿矿浆电位的影响

磨矿时加入 2 000 g/t CaO 后,再分别加入 100 mL 不同 pH 值的缓冲液,磨矿 6 min 后考察 pH 对方铅矿矿浆电位的影响,试验结果见图 7。

结果表明,当瓷介质磨矿时,随着 pH 值升高,方铅矿矿浆电位逐渐下降。但在铁介质磨矿下,随

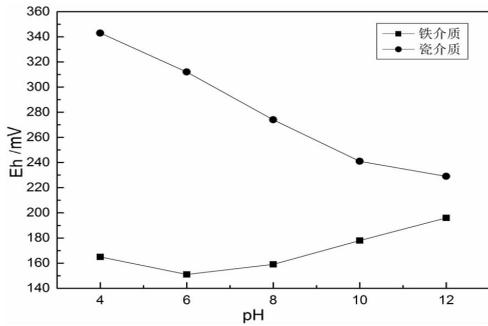


图7 pH 对方铅矿矿浆电位的影响

Fig. 7 Effect of pH on the potential of galena pulp

随着 pH 值升高,方铅矿矿浆电位先略微下降,而后逐渐上升,且两种介质矿浆电位的差值随 pH 的升高而减小。因为当瓷介质磨矿时,方铅矿表面一直存在局部电池作用,消耗了溶解氧含量,磨矿系统氧化性越来越弱,导致矿浆电位下降。而当铁介质磨矿时,不仅矿物自身氧化溶解,存在局部电池作用,铁球介质还会发生氧化反应生成 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} ,在低 pH 值情况下矿浆电位降低是两者的综合作用结果。但是随着 pH 值的升高,铁介质氧化加剧,不断生成高价铁离子,矿浆电位又会迅速上升。

2.4 石灰用量对方铅矿矿浆电位的影响

图 8 为 1 000、2 000、3 000、4 000、5 000 g/t 不同石灰用量对方铅矿矿浆电位的影响结果,试验时选用 100 mL 去离子水,磨矿 6 min。

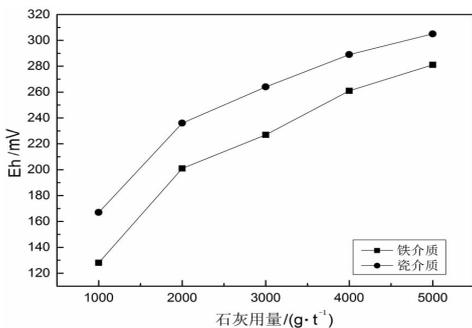
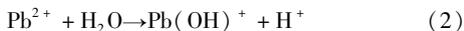


图8 石灰用量对方铅矿矿浆电位的影响

Fig. 8 Effect of lime dosage on the potential of galena pulp

从石灰用量对方铅矿矿浆电位影响的试验结果可以得出,随着石灰用量的增加,无论是采用铁介质磨矿,还是瓷介质磨矿,方铅矿矿浆电位都是逐渐上升,但铁介质磨矿时矿浆电位始终低于瓷介质磨矿。这是由于随着 CaO 用量的增加,方铅矿阳离子水解作用强烈,形成羟基络合物,如公式(2)所示:



而生成的羟基络合物会吸附在方铅矿表面,使矿物表面的氧化减弱,放电能力减弱,矿浆电位则会升高^[7]。在铁介质磨矿时,同时又存在 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 水解作用,因而矿浆电位要低于瓷介质磨矿。

2.5 矿浆电位对方铅矿浮选回收率的影响

在自然 pH 下磨矿,矿浆电位对方铅矿浮选回收率影响的关系结果如图 9 所示,图 10 为方铅矿 - 水体系的电位 - pH 图。

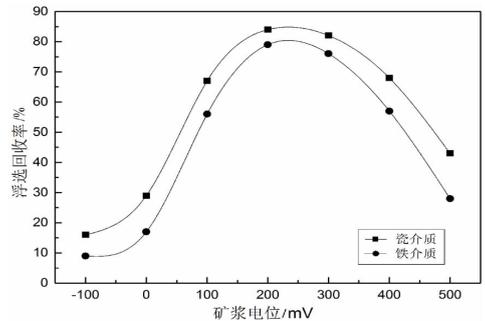


图9 矿浆电位对方铅矿浮选回收率的影响

Fig. 9 Effect of pulp potential on the flotation recovery of galena

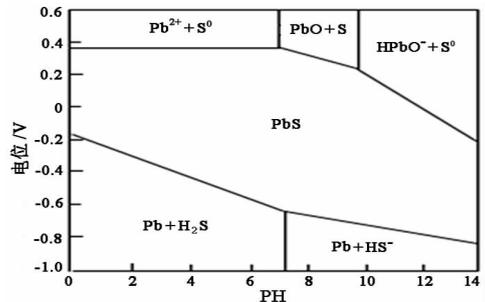


图10 方铅矿-水体系的电位-pH图(25 °C,1 标准大气压)
Fig. 10 Eh - pH diagram of the galena - water system (25 °C, 1 atm)

由图 9 可见,在瓷磨条件下,当矿浆电位在区间 180 ~ 260 mV 时,方铅矿回收率最大,为 82% 左右。当铁磨条件时,方铅矿矿浆电位在区间 190 ~ 240 mV 达到最大回收率 78%。而当矿浆电位小于 180 mV 或 190 mV 时,不论是瓷磨,还是铁磨,随着矿浆电位的升高,方铅矿浮选回收率逐渐增大。矿浆电位超过 249 mV 或 260 mV,矿浆电位继续升高,方铅矿浮选回收率却不断减小。这说明两种磨矿介质下,在适当的矿浆电位范围内,方铅矿都具有很好的可浮性。当矿浆电位过低或过高时,都会使方铅矿失去可浮性,浮选回收率会相应减小。

结合图 9、图 10 可以得到,方铅矿具有较好浮选回收率的矿浆电位区间与元素硫存在的电位 -

pH 区间大致重合,这是因为在此区间内生成的元素硫具有良好的疏水性,从而提高了方铅矿浮选回收率。当矿浆电位过低时,溶液具有强还原性,此时硫元素会被还原成亲水性的两性离子 HS^- ,使矿物疏水性减弱,回收率降低。当矿浆电位过高时,溶液呈强氧化性,会生成 PbO ,形成亲水钝化层^[8],同样会影响方铅矿浮选,使回收率降低。

综上所述,在方铅矿磨矿浮选流程中,必须选择合适的磨矿条件,确保适宜的矿浆电位,使矿物表面生成尽可能多的疏水性元素硫,同时,减少亲水性物质的生成,这样才能保证较高的浮选回收率。

3 结论

(1)磨矿对方铅矿矿浆电位及浮选回收率产生较大影响。

(2)矿浆电位会直接影响方铅矿浮选回收率,其值过高或过低都不利于浮选。

(3)矿浆调控过程中应使矿浆电位值保持在元素硫存在的电位区间内,此时浮选回收率会出现最

大值。

参考文献:

- [1] 钟素姣. 磨矿对方铅矿和闪锌矿浮选行为的影响研究[D]. 长沙:中南大学,2006.
- [2] 王琴琴,宋永胜,李文娟. 磨矿介质对黄铜矿磨矿体系矿浆电位的影响[J]. 金属矿山,2010(3):113-115.
- [3] 何发钰,孙传尧,宋磊. 磨矿环境对方铅矿和闪锌矿矿浆化学性质的影响[J]. 金属矿山,2006(8):30-33.
- [4] S·钱德尔,洪崔山,雨田. 硫化矿浮选中的矿浆电位简述[J]. 国外金属矿选矿,2004,41(4):4-9.
- [5] Peng Y, Grano S, Fornasiero D, et al. Control of grinding conditions in the flotation of chalcopyrite and its separation from pyrite[J]. International journal of mineral processing, 2003, 69(1):87-100.
- [6] 覃文庆,姚国成,顾幅华,等. 硫化矿物的浮选电化学与浮选行为[J]. 中国有色金属学报,2011,21(10):2669-2677.
- [7] 徐秉权. 磨矿过程对硫化矿矿浆电位的影响[J]. 湖南有色金属,1995(3):21-27.
- [8] 陈蕊,冯其明,李世锷. 方铅矿无捕收剂浮选行为的研究[J]. 有色金属工程,1986(2):36-42.

引用格式:江宏强,李茂林,崔瑞,等. 磨矿对方铅矿矿浆电位及浮选行为的影响[J]. 矿产保护与利用,2018(6):41-45.

JIANG Hongqiang, LI Maolin, CUI Rui, et al. Effect of grinding on the pulp potential and flotation behavior of galena[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2018(6):41-45.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn

(上接第40页)

- [7] 赵昌明,翟玉春. 从红土镍矿中回收镍的工艺研究进展[J]. 材料导报,2009,23(6):73-76.
- [8] Stamboliadis E, Alevizos G, Zafiratos J. Leaching residue of nickeliferous laterites as a source of iron concentration[J]. Minerals engineering, 2004, 17:245-252.
- [9] Whittington B I, McDonald R G, Johnson J A, et al. Pressure acid leaching of arid-region nickel laterite ore (Part I): effect of water quality[J]. Hydrometallurgy, 2003, 70(1):31-46.
- [10] Kar B B, Swamy Y V. Some aspects of nickel extraction from chromiferous overburden by sulphatization roasting[J]. Minerals engineering, 2000, 13(14):1635-1640.
- [11] ZHU Deqing, CUI Yu, Hapugoda S, et al. Mineralogy and

crystal chemistry of a low grade nickel laterite ore[J]. Transactions of nonferrous metals society of China, 2012, 22(4):907-916.

- [12] 石剑锋,王志兴,胡启阳,等. 硫酸氢铵硫酸化焙烧法红土镍矿提取镍钴[J]. 中国有色金属学报,2013,23(2):510-515.
- [13] LIU X W, FENG Y L, LI H R, et al. Recovery of valuable metals from a low-grade Nickel ore using an ammonium sulfate roasting-leaching process[J]. International journal of minerals, metallurgy and materials, 2012, 19(5):377-383.
- [14] 张云芳,李金辉,高岩,等. 红土镍矿的硫酸铵焙烧过程[J]. 中国有色金属学报,2017,27(1):155-160.

引用格式:李洁,徐玉君,沈洪涛,等. 红土镍矿-硫酸铵焙烧熟料铁溶出动力学[J]. 矿产保护与利用,2018(6):37-40,45.

LI Jie, XU Yujun, SHEN Hongtao, et al. Digestion kinetics of Fe during leaching from roasting materials of laterite nickel ore and ammonium sulfate[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2018(6):37-40, 45.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn