某镍钼矿浮选试验研究*

孙 伟 王 振 曹学锋 黄 华 徐龙华
(中南大学资源加工与生物工程学院)

摘 要 研究了张家界某镍钼矿1段磨矿细度和粗浮药剂制度,简述了磨矿、浮选流程的确定。粗磨产品2粗3精浮选、再磨的中间精矿2次精选、中矿顺序返回闭路流程处理该矿石,可以获得钼品位为2.21%、回收率为84.53%的钼精矿。用盐酸溶解钼精矿中的磷灰石,可获得钼品位为5.73%、作业回收率为93.34%的钼精矿。

关键词 镍钼矿 浮选 再磨

Experiment Study on Flotation of Nickele-Molybdenum Ore

Sun Wei Wang Zhen Cao Xuefeng Huang Hua Xu Longhua
(*School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University*)

Abstract A Nickele-Molybdenum Ore in Zhangjiajie was reasearched, focusing on grinding fineness in single-stage grinding and flotation reagent system of roughing. The grinding and flotation flowsheet was introduced. A closed circuit test was carried out by the production of rough grinding floated by two roughing and three cleaning, the intermediate concentrate of regrinding production floated by two cleaning and middlings returned in order. The flotation concentration containing 2.21% of Mo with molybdenum recovery of 84.53% was obtained. Phosphorite contained the flotation concentration was dissolved by hydrochloric acid, then the grade and recovery of Mo concentration could reach to 5.73% and 93.34% respectively.

Keywords Nickele-Molybdenum Ore, Flotation, Regrinding

镍钼矿为我国特有的一种多金属复杂矿物资源,在我国贵州遵义和湖南张家界地区储量较大,且镍钼品位较高。尽管该种矿石镍钼品位均远高于工业开采品位,但由于其含有机碳量大、嵌布粒度细,成分复杂,成为当前公认的难选矿石[1]。

目前,该资源的利用仅限于对含钼3%以上矿石的直接冶炼提钼、镍,对钼品位在0.4%左右的贫矿则处于待开发利用状态。由于该贫矿中钼品位远高于以辉钼矿为主的钼资源的工业品位,因此,开展该贫矿的开发利用研究,将精矿钼品位提高到3%以上的可冶炼品位意义重大。

1 矿石性质

张家界某镍钼矿主要成分有SiO_2、Fe_2O_3、CaO、P_2O_5和大量有机碳,主要赋存于黑色页岩型矿体中,镍钼主要赋存于一种非晶质胶状硫化物中,少量以矿物形式存在。金属矿物主要有黄铁矿、辉砷镍矿、辉钼矿、辉镍矿,次要矿物有砷黝铜矿、黄铜矿、方铅矿、白铁矿等[2]。脉石矿物有磷灰石、碳质物、白云石、长石、云母等。原矿主要化学成分分析结果见表1。

表1 原矿主要化学成分分析结果 %

成 分	TFe	Mo	Ni	C	S	P
含 量	8.30	0.40	0.07	12.30	13.27	6.87
成 分	Cu	Pb	Zn	As	V_2O_5	Na_2O
含 量	0.11	0.038	0.43	1.16	0.41	0.039
成 分	K_2O	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2	其他
含 量	0.85	3.08	18.36	1.34	18.94	14.033

从表1可以看出,原矿中有用元素为钼,其他元素没有回收利用价值。

2 浮选试验研究

2.1 磨矿细度试验

磨矿细度试验的分散剂六偏磷酸钠用量为60 g/t,捕收剂X、Y用量分别为800、60 g/t,起泡剂松油醇用量为30 g/t,试验流程见图1,试验结果见图2。

* 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(编号:2007AA06Z129)。

孙 伟(1974—),男,教授,博士,410083 湖南省长沙市岳麓区。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

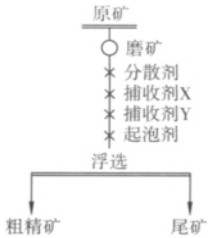

图 1　条件试验流程

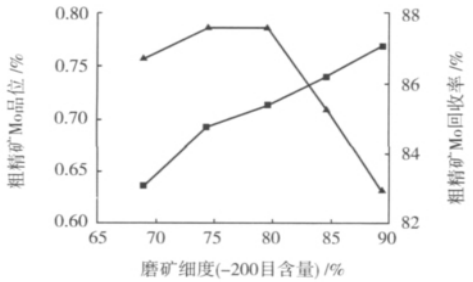

图 2　磨矿细度试验结果

▲—品位;■—回收率

由图 2 可知,随着磨矿细度的提高,粗精矿钼回收率升幅由快变慢,粗精矿钼品位先小幅升高后快速下降。综合考虑,确定后续钼粗选试验的磨矿产品细度为 -200 目占 80%。

2.2　分散剂六偏磷酸钠用量试验

分散剂六偏磷酸钠用量试验的磨矿产品细度为 -200 目占 80%,捕收剂 X、Y 用量分别为 800、60 g/t,起泡剂松油醇用量为 30 g/t,试验流程见图 1,试验结果见图 3。

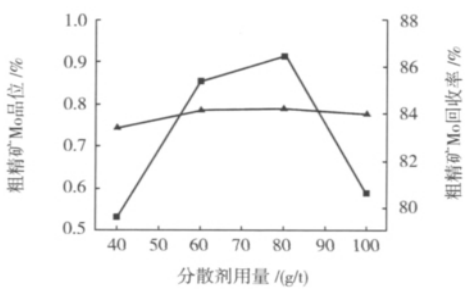

图 3　分散剂用量试验结果

▲—品位;■—回收率

由图 3 可知,粗精矿钼品位受六偏磷酸钠用量的影响较小,粗精矿钼回收率随六偏磷酸钠用量的增加先快速升高、后快速下降,回收率的高点在六偏磷酸钠用量为 80 g/t 时。因此确定后续试验的六偏磷酸钠用量为 80 g/t。

2.3　捕收剂 X 用量试验

捕收剂 X 用量试验的磨矿产品细度为 -200 目占 80%,六偏磷酸钠用量为 80 g/t,捕收剂 Y 用量为 60 g/t,起泡剂松油醇用量为 30 g/t,试验流程见图 1,试验结果见图 4。

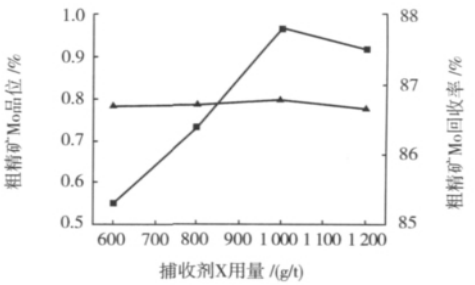

图 4　捕收剂 X 用量试验结果

▲—品位;■—回收率

由图 4 可知,粗精矿钼品位受捕收剂 X 用量的影响较小,粗精矿钼回收率随捕收剂 X 用量的增加先快速升高后明显下降,回收率的高点在捕收剂 X 用量为 1 000 g/t 时。捕收剂 X 用量超过 1 000 g/t,粗精矿钼回收率下降的原因可能是过量的捕收剂有一定的消泡作用,影响了气泡形成和发展,因此确定后续试验捕收剂 X 用量为 1 000 g/t。

2.4　捕收剂 Y 用量试验

捕收剂 Y 用量试验的磨矿产品细度为 -200 目占 80%,六偏磷酸钠用量为 80 g/t,捕收剂 X 用量为 1 000 g/t,起泡剂松油醇用量为 30 g/t,试验流程见图 1,试验结果见图 5。

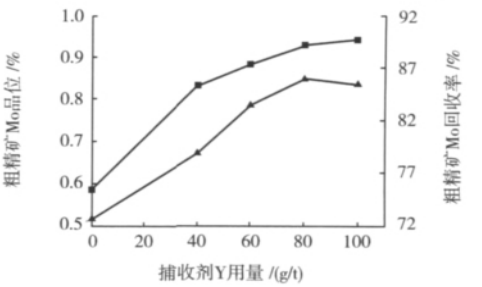

图 5　捕收剂 Y 用量试验结果

▲—品位;■—回收率

由图 5 可知,随着捕收剂 Y 用量的增加,粗精矿钼品位和回收率均呈现先快速升高而后走平的趋势,当捕收剂 Y 用量为 80 g/t 时,粗精矿钼品位和回收率同时达到最高,因此,确定后续试验捕收剂 Y 用量为 80 g/t。

2.5　起泡剂松油醇用量试验

起泡剂松油醇用量试验的磨矿产品细度为 -200 目占 80%,六偏磷酸钠用量为 80 g/t,捕收剂 X、Y 用量分别为 1 000、80 g/t,试验流程见图 1,试验结果见图 6。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

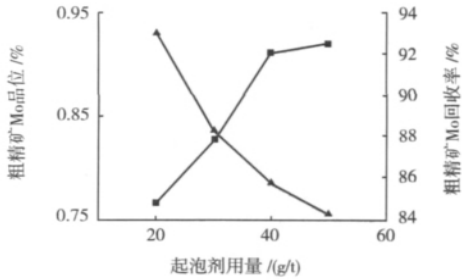

图 6　起泡剂用量试验结果

▲—品位; ■—回收率

由图 6 可知,随着松油醇用量的增大,粗精矿钼品位明显下降,回收率先快速上升后上升趋缓。从确保粗选钼回收率的角度考虑,松油醇用量应以 40 g/t 为宜。

2.6　浮选流程研究

根据钼粗选条件试验结果,进行了钼 2 次粗选试验,第 2 次粗选的药剂用量为第 1 次粗选之半; 混合粗精矿进行了 5 次开路精选试验,各次精选均加入脉石矿物抑制剂酒石酸 80 g/t,试验研究结果表明,3 次精选即可获得钼品位为 1.4% 左右的钼精矿,再直接精选精矿钼品位不再提高。

钼 3 精显微镜下分析结果表明,该精矿中钼镍矿物与脉石矿物结合紧密,以钼矿物的连生体为主,要获得较高品位的钼精矿,需对钼 3 精进行再磨再选,研究确定的合适磨矿细度为 -325 目 90%,再磨产品经 2 次精选(再磨作业加入调整剂 A、B 分别为 10 kg/t、100 g/t,第 4、5 次精选捕收剂 X 用量均为 50 g/t) ,可获得钼品位为 2.23%、回收率为 70.10% 的钼精矿。

2.7　浮选闭路流程试验研究

根据浮选流程研究结果,对该矿石进行了浮选闭路流程试验研究,试验流程见图 7,试验结果见表 2。

由表 2 可知,该矿石 1 段粗磨至 -200 目占 80%、2 粗 3 精浮选、钼 3 精再磨至 -325 目占 90%、再经 2 次精选,可获得钼品位为 2.21%、回收率 84.53% 的钼精矿。

2.8　进一步提高钼精矿品位的探索

为获得更高品位的钼精矿,对浮选闭路流程精矿进行了 XRD 光谱分析,结果显示,精矿中的脉石矿物主要为磷灰石和黄铁矿,若能除去浮选精矿中大部分的磷灰石,精矿钼品位将得到显著提升。因此,在实验室进行了盐酸处理浮选精矿探索性试验。

取 5 g 浮选精矿置于 100 mL 烧杯中, 加入过量的浓盐酸,密封,10 h(充分反应) 后过滤,将残留物过滤烘干、化验。试验结果见表 3。

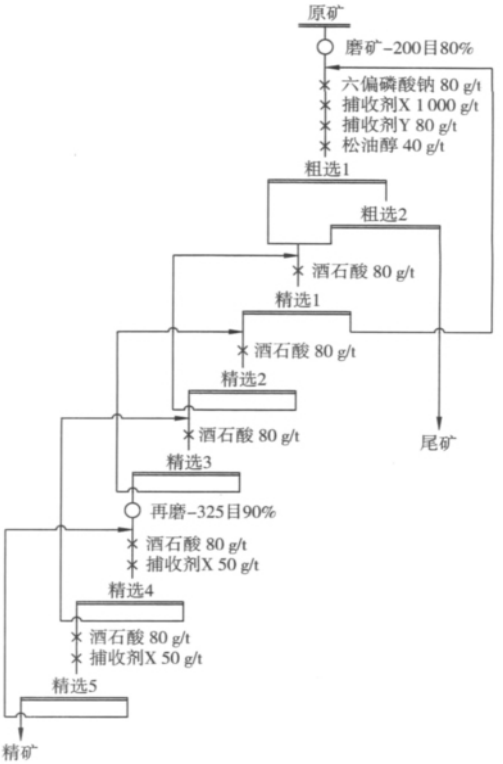

图 7　浮选闭路试验流程

表 2　闭路试验结果　　%

产　品	产　率	Mo 品位	Mo 回收率
钼精矿	15.30	2.21	84.53
尾　矿	84.70	0.073	15.47
原　矿	100.00	0.40	100.00

表 3　盐酸处理试验结果　　%

产　品	作业产率	Mo 品位	Mo 作业回收率
酸处理后	36.00	5.73	93.34
酸处理前	100.00	2.21	100.00

由表 3 可知,盐酸处理浮选钼精矿,可以将钼品位从 2.21% 提高至 5.73%,作业回收率为 93.34%,因此,盐酸溶解钼精矿中的磷灰石是提高精矿钼品位的有效手段,最佳工艺技术方案有待进一步研究。

3　结　论

(1) 张家界某镍钼矿在 1 段磨矿细度为 -200 目 80% 时,大部分含钼矿物得到单体解离,在此磨矿细度和研究确定的药剂制度下经 2 粗 3 精浮钼,钼 3 精再磨至 -325 目 90% 后经 2 次精选,可获得钼品位为 2.21%、回收率为 84.53 的钼精矿。

(下转第 135 页)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

些动态的特性,为矿床真 3D 模型的实时更新提供了可靠的技术支持。在实现对模型的实时更新与细化后,进一步研究约束 D－TEN 的算法,向矿床真 3D 模型中加入断层、矿床边界及岩层界限等约束,可实现对真 3D 模型更详尽的表达,同时,在真 3D 模型的基础上进行开采开挖设计也成为可能。

参　考　文　献

[1] Joe Barry. Construction of three-dimensional Delaunay triangulations using local transformations [J]. Computer Aided Geometric Design,1991,8(2):123-142.

[2] 吴江斌,朱合华. 基于 Delaunay 构网的地层 3D TEN 模型及建模 [J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(24):4581-4587.

[3] 吴立新,张瑞新,戚宜欣,等. 三维地学模拟与虚拟矿山系统 [J]. 测绘学报,2002,31(1):28-33.

[4] 吴立新. 真 3 维地学构模的若干问题 [J]. 地理信息世界,2004,2(3):13-18.

[5] 余　杰,吕　品,郑昌文. Delaunay 三角网构建方法比较研究 [J]. 中国图象图形学报 A,2010,15(8):1158-1167.

[6] 祝志恒,傅鹤林,蒲　浩,等. 构建 Delaunay 三角网的一种新型生长法——壳外插入法 [J]. 铁道科学与工程学报,2007,4(6):67-72.

[7] 吕广宪,潘　懋,吴焕萍,等. 面向真三维地学建模的海量虚拟八叉树模型研究 [J]. 北京大学学报,2007,43(4):496-501.

[8] 徐永安,杨　钦,吴壮志,等. 三维约束 Delaunay 三角化的实现 [J]. 软件学报,2001,12(1):103-110.

[9] Mark De Berg,Otfried Cheong,Marc van Kreveld,et al. Computational Geometry: Algorithms and Applications [M]. 3rd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag,2008.

[10] 熊　磊,杨　鹏,李贺英. 基于不规则四面体的矿床三维体视化模型 [J]. 北京科技大学学报,2006,28(8):716-720.

(收稿日期　2011-10-21)

(上接第 79 页)

下,H_2 具有比 CO 好得多的还原效果,试验所获得的铁精矿品位为 74.92%、回收率为 96.82%,精矿品位和回收率分别提高 8.11、6.76 个百分点。

从图 3 可以看出,还原产物呈现多孔、疏松状,是还原反应过程中赤铁矿物被 CO 还原脱氧所造成的;从图 4 可以看出,H_2 的还原产物与 CO 的还原产物的形貌相似,呈海绵状,但孔洞更多,说明在相同条件下,H_2 比 CO 脱氧更充分。

3　结　论

(1)利用竖直管式电阻炉模拟流化床对赤铁矿粉进行还原,可以得到含一定单质 Fe 的还原熟料。还原气体流量和还原气体种类对赤铁矿粉还原程度影响最大,还原气体流量增大,还原氛围改善,还原速率和还原效果提高;在 950 ℃下 H_2 还原能力明显强于 CO;另外,较长的还原时间、较高的还原温度和较细的赤铁矿粉粒径均有利于提高还原产物中单质 Fe 的含量。

(2)该赤铁矿粉较理想的直接还原条件:粒径为 160 ~ 40 μm、还原气体为 H_2、反应温度为 950 ℃、反应时间为 60 min、还原气体流量为 0.36 m^3/h,在此条件下,可以获得铁品位为 74.92%、回收率为 96.82% 的铁精矿。

参　考　文　献

[1] 侯娜娜,高金涛,李　瑾,等. 超细赤铁矿粉还原实验研究 [J]. 过程工程学报,2009,9(1):161-164.

[2] 陈　津,林万明,赵　晶. 非焦煤冶金技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2007.

[3] Daniel R P, Miguel A L. Modeling of counter current moving bed gas-solid reactor used in direct reduction of iron ore [J]. Chemical Engineering Journal,2004,104:35-43.

[4] Zhao P,Guo P M. Fundamentals of fast reduction of ultrafine iron ore at low temperature [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing,2008,15(2):104-109.

[5] Christoph P,Stefan S,Norbert E,et al. Reduction of iron ore fines with CO-rich gases under pressurized fluidized bed conditions [J]. ISIJ International,2007,47(2):217-225.

[6] 孙永升,李淑菲,史广全,等. 某鲕状赤铁矿深度还原试验研究 [J]. 金属矿山,2009(5):80-83.

(收稿日期　2011-10-02)

(上接第 99 页)

(2)矿石中的磷灰石含量较大,天然可浮性较好,给浮选提高精矿钼品位造成了很大的困难。用盐酸溶解磷灰石的方法,可显著提高精矿钼品位至 5.73%,钼作业回收率达 93.34%,提钼效果较好,但最佳工艺技术方案有待进一步研究。

参　考　文　献

[1] 夏文堂,任正德. 难选镍钼矿的预处理试验研究 [J]. 矿冶,2010,19(2):34-37.

[2] 董允杰,缪加坦. 我国钼镍矿及生产现状 [J]. 中国钼业,2008(2): 60.

(收稿日期　2011-10-02)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net