维普资讯 http://www.cqvip.com

华南某钼铜矿浮选工艺研究

叶从新，魏党生，韦华祖，罗新民

（湖南有色金属研究院，湖南 长沙 410015）

摘 要：文章从试样工艺矿物学研究入手，在查明试样的化学成份、矿物组成、结构构造、粒度特性、嵌镶关系和赋存状态的基础上，依据矿石性质进行了探索试验以确定试验方案。然后进行了详细的条件试验，确定最佳的工艺参数，并以闭路试验进行验证，取得了满意的分选指标，为合理利用矿产资源，提供了详实的设计依据。

关键词：有色金属；钼铜矿；浮选工艺；试验研究

中图分类号：TD913 **文献标识码**：A **文章编号**：1003－5540(2008)04－0004－06

随着全球经济一体化的飞速发展，工业生产和民用生活对有色金属的需求与日俱增。从而刺激了矿业界相关产业的发展与选矿技术的迅速提升。华南某钼铜矿具有较高的回收利用价值，受矿方委托湖南有色金属研究院对该矿进行了浮选工艺研究，其目的是为今后工业化生产、合理利用不可再生的国家矿产资源，提供选矿厂建厂设计所需的、详实可靠的资料。

1 试样工艺矿物学研究

1.1 试样多元素分析

试样多元素分析结果列于表1。

表1 试样多元素分析结果 %

元素	Cu	Mo	Re	S	As	TFe
含量	0.38	0.026	0.000 02	1.21	0.019	2.34
元素	SiO_2	Al_2O_3	Au	Ag	MgO	CaO
含量	68.56	9.73	<0.1	4.5	3.07	3.15
元素	Pb	Zn	Mn	Sb	WO_3	Cd
含量	0.005	0.024	0.04	0.003	0.023	0.003
元素	Bi	Sn	K_2O	Na_2O	CaF_2	
含量	0.001	0.024	1.82	0.38	0.43	

注：Au、Ag的单位为g/t。

从表1分析数据可知，试样中可回收的有价组份为Cu、Mo、S，有害杂质As含量甚微，不会对产品质量造成影响。主要造岩元素为二氧化硅、氧化钙、氧化镁和三氧化二铝。

1.2 试样的物相分析与矿物组成

试样铜的物相分析结果列于表2，钼的物相分析结果列于表3，主要矿物组成及相对含量列于表4。

表2 铜的物相分析结果 %

名称	铜物相				合计
	原生硫化铜	次生硫化铜	自由氧化铜	结合氧化铜	
含 量	0.334	0.032	0.01	0.004	0.38
占有率	87.89	8.42	2.64	1.05	100.00

表3 钼的物相分析结果 %

名 称	钼物相		合计
	硫化钼	氧化钼	
含 量	0.025	0.001	0.026
占有率	96.15	3.85	100.00

表4 铜钼原矿主要矿物组成及其相对含量 %

矿物名称	相对含量	矿物名称	相对含量
黄铁矿	2.30	石英	56.5
辉钼矿	0.05	长石	8
闪锌矿、方铅矿	0.03	角闪石	0.5
毒 砂	微	方解石	5
黄铜矿	1.12	绿泥石	13
磁铁矿	0.5	云母	12
白钨矿	微	萤石	0.4
金红石	0.1	其他	0.5

1.3 试样的结构构造

1.3.1 试样的结构

试样主要有自形晶粒状、它形晶粒状、半自形粒

作者简介：叶从新（1969－），男，高级工程师，主要从事有色金属选矿工艺研究工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

状、鳞片状结构以及叶片状结构。还有包含结构、交代侵蚀结构、交代残余结构等。

1.3.2　试样的构造

试样主要有细脉状构造、浸染状构造、角砾状构造以及斑点状构造。还有马尾丝细脉状构造、网脉状构造和褶皱状构造等。

1.4　主要回收矿物赋存状态及嵌布特性

1. 辉钼矿。辉钼矿是主要的含钼矿物,辉钼矿结晶形态多为鳞片状,部分呈板状、条状,不规则粒状,偶见其聚合体呈菊花状、放射状、集束状、指掌状。辉钼矿主要呈片状、弯曲片状、板状等形态。晶形宽度 0.002 ~ 0.07 mm 不等,长度 0.02 ~ 0.3 mm 不等。嵌布粒度不均匀,部分辉钼矿呈放射虫状、指掌状,其中央粗大部分可达 0.2mm 以上,而其延展放射部分宽度最细者不足 0.002 mm,延伸长度 0.005 ~ 0.1 mm 不等。呈细脉状分布的辉钼矿及其集合体嵌布粒度相对较粗,而呈浸染状分布的辉钼矿嵌布粒度相对略细。

2. 黄铜矿。黄铜矿是试样中除辉钼矿外最有价值的金属矿物,多存在于黄铁矿边部,主要呈散粒状分布,较少与黄铁矿毗连嵌生。黄铜矿主要呈星散浸染状分布,散粒状、填隙状嵌生于脉石矿物晶粒间,嵌布粒度不均匀,均匀度比辉钼矿差,粗粒者可达 0.5 mm,细粒者不足 0.005 mm,总体上属细粒嵌布,多在 0.05 ~ 0.12 mm 之间。

3. 黄铁矿。黄铁矿是矿石中主要的硫化矿物,主要呈细脉状分布或呈散粒浸染状分布于矿石各处。他形晶粒状结构为主,小部分黄铁矿呈半自形晶粒状结构。呈细脉状分布的黄铁矿及其集合体嵌布粒度相对较粗,而呈浸染状分布的黄铁矿嵌布粒度相对略细。总体上嵌布粒度相对较粗,粗粒者可达 1.5 mm 以上,一般 0.07 ~ 0.2 mm。

2　浮选工艺研究

2.1　浮选方案的选择

浮选方案的确定主要取决试样的矿石性质,其中包括目的矿物之间的共生关系,亦包括目的矿物与非目的矿物之间的嵌镶关系,以及目的矿物赋存状态、粒度特征、可浮性的好坏等。可供选择的浮选工艺流程有:(1)优先浮选。这种浮选工艺流程适宜目的矿物嵌布粒度较粗的矿石类型;(2)硫化矿全浮。这种浮选工艺流程适宜目的矿物以集合体形式存在的矿石类型;(3)部分混浮。这种浮选工艺流程适宜目的矿物有二种矿物可浮性接近的矿石类型;(4)等可浮。这种浮选工艺流程适宜目的矿物可浮性居第二的矿物部分与可浮性居第一的矿物可浮性一致的矿石类型;(5)分支串流浮选。这种浮选工艺流程适合试样原矿品位较低的矿石类型。根据试样工艺矿物学研究结果,参考众多选矿科研工作者的研究成果[1~5],结合笔者多年从事选矿工艺研究的经验,对该试样宜采用硫化矿全浮的试验方案。硫化矿全浮原则流程如图 1 所示。

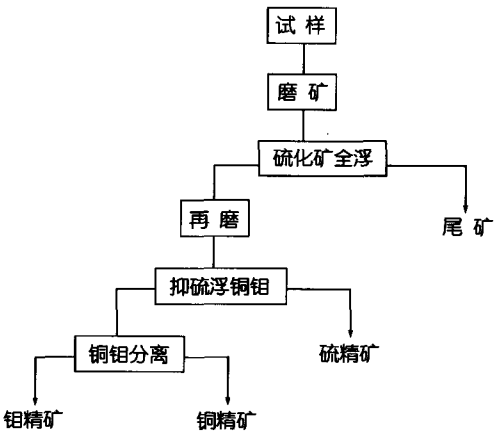

图 1　硫化矿全浮原则流程

2.2　浮选条件试验

条件试验方法采用传统的析因试验方法,单元试验在固定其他因素的前提下,变动一个因素,并将所得的试验数据绘制成平面曲线,并从曲线中找出最佳值所对应的工艺参数。条件试验主要进行了硫化矿全浮;抑硫浮铜钼;铜钼分离等。

2.2.1　硫化矿全浮条件试验

2.2.1.1　磨矿细度条件试验

磨矿细度条件试验工艺流程如图 2 所示。药剂制度(单位为 g/t)为:石灰 500;丁黄药 30;MZ 10;煤油 50;2# 油 20,磨矿细度为变量。试验结果如图 3 所示。

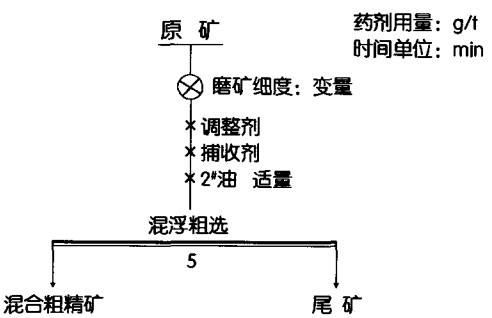

图 2　硫化矿全浮条件试验工艺流程

维普资讯 http://www.cqvip.com

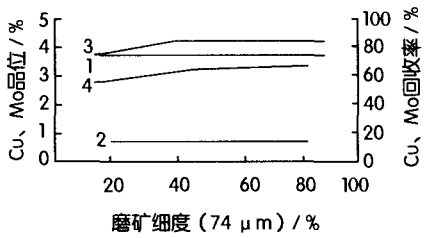

图 3 磨矿细度试验结果

1 - Cu 品位;2 - Mo 品位;3 - Cu 回收率;4 - Mo 回收率

从图 3 曲线可知,随着磨矿细度的增加,铜钼的回收呈上升的趋势,适宜的磨矿细度 74 μm 占 70%。

2.2.1.2 硫化矿全浮石灰用量条件试验

石灰用量条件度工艺流程如图 2 所示,药剂制度(单位为 g/t)为:丁黄药 30;MZ 10;煤油 50;2# 油 20,磨矿细度为 74 μm 占 70%,石灰用量为变量。试验结果如图 4 所示。

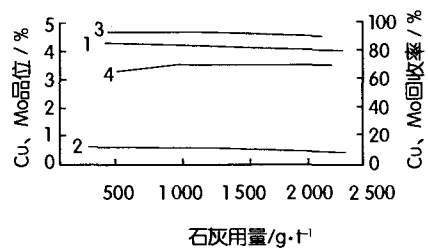

图 4 硫化矿全浮石灰用量条件试验结果

1 - Cu 品位;2 - Mo 品位;3 - Cu 回收率;4 - Mo 回收率

从图 4 曲线可知,随着石灰用量的增加,粗精矿产率增加,铜钼品位下降,铜钼回收率基本接近,适宜的石灰用量为 500 g/t。

2.2.1.3 硫化矿全浮捕收剂种类条件试验

捕收剂种类试验工艺流程如图 2 所示。药剂制度(单位为 g/t)为:石灰 500;2# 油 20,磨矿细度为 74 μm 占 70%;捕收剂种类为变量。试验结果列于表 5。

从表 5 试验结果可知,煤油对提高钼回收率作用不明显,且对铜矿物稍有抑制作用,综合考虑捕收剂采用丁黄药 + MZ 组合为宜。

2.2.1.4 硫化矿全浮丁黄药用量条件试验

丁黄药用量条件试验工艺流程如图 2 所示。药剂制度(单位为 g/t)为:石灰 500;MZ 10;2# 油 20;磨矿细度为 74 μm 占 70%;丁黄药用量为变量。试验结果如图 5 所示。

从图 5 曲线可知,随着丁黄药用量的增加,铜、钼回收率增加,当丁黄药用量增加至 30 g/t 时,混合精矿铜、钼指标无明显提高,适宜的丁黄药用量以 30 g/t 为宜。

表 5 硫化矿全浮捕收剂种类条件试验结果

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%		捕收剂与用量/g·t⁻¹
		Mo	Cu	Mo	Cu	
混合精矿	5.96	5.74	0.35	91.45	78.71	乙硫氮 40
尾矿	94.04	0.034	0.006	8.55	21.29	
原矿	100.00	0.37	0.027	100.00	100.00	
混合精矿	7.37	4.82	0.30	92.97	82.68	丁黄药 40
尾矿	92.63	0.029	0.005	7.03	17.32	
原矿	100.00	0.38	0.027	100.00	100.00	
混合精矿	7.73	4.67	0.29	93.99	82.93	丁黄药 30
尾矿	92.27	0.025	0.005	6.01	17.07	MZ 10
原矿	100.00	0.38	0.027	100.00	100.00	
混合精矿	6.76	5.05	0.31	91.73	78.93	煤油 50
尾矿	93.24	0.033	0.006	8.27	21.07	乙硫氮 30
原矿	100.00	0.37	0.027	100.00	100.00	
混合精矿	6.84	5.16	0.30	92.66	78.59	煤油 50
尾矿	93.16	0.03	0.006	7.34	21.41	乙硫氮 40
原矿	100.00	0.38	0.026	100.00	100.00	MZ 10
混合精矿	7.64	4.42	0.29	91.95	82.75	煤油 50
尾矿	92.36	0.032	0.005	8.05	17.25	丁黄药 30
原矿	100.00	0.37	0.027	100.00	100.00	MZ 10
混合精矿	7.91	4.18	0.29	90.66	83.28	煤油 100
尾矿	92.09	0.037	0.005	9.34	16.72	丁黄药 30
原矿	100.00	0.36	0.028	100.00	100.00	MZ 10

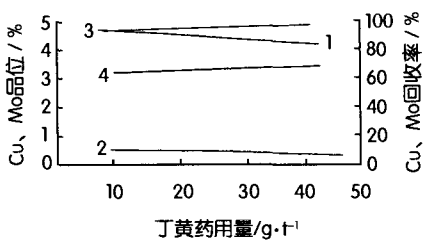

图 5 硫化矿全浮丁黄药用量条件试验结果

1 - Cu 品位;2 - Mo 品位;3 - Cu 回收率;4 - Mo 回收率

2.2.1.5 硫化矿全浮 MZ 用量条件试验

MZ 用量条件试验工艺流程如图 2 所示。药剂制度(单位为 g/t)为:石灰 500;丁黄药 30;2# 油 20;磨矿细度为 74 μm 占 70%;MZ 为变量。试验结果如图 6 所示。

维普资讯 http://www.cqvip.com

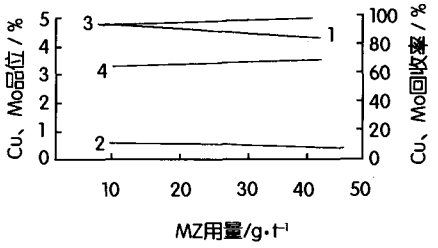

图 6　硫化矿全浮 MZ 条件试验结果

1－Cu 品位；2－Mo 品位；3－Cu 回收率；4－Mo 回收率

从图 6 曲线可知，MZ 可明显提高铜、钼的回收率，随着 MZ 用量的增加，铜品位逐渐降低，适宜的 MZ 用量为 10 g/t。

2.2.2　抑硫浮铜钼条件试验

从硫化矿全浮粗精矿产品检查可知，黄铁矿与黄铜矿的嵌布粒度较细，存在嵌镶共生关系，所以在抑硫浮铜钼条件试验时，主要考虑硫化矿全浮粗精矿再磨细度条件试验，石灰用量及煤油用量条件试验。

2.2.2.1　抑硫浮铜钼再磨细度条件试验

再磨细度条件试验工艺流程如图 7 所示。药剂制度（单位为 g/t）为：石灰 350；煤油 5；再磨细度为变量。试验结果如图 8 所示。

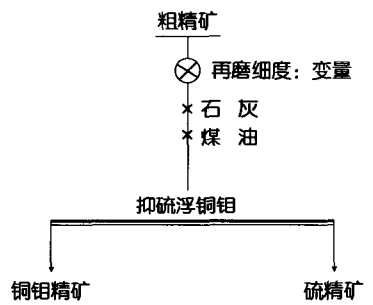

图 7　抑硫浮铜钼工艺流程

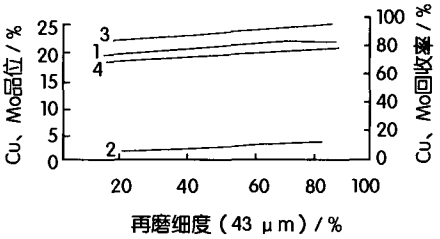

图 8　再磨细度试验结果

1－Cu 品位；2－Mo 品位；3－Cu 回收率；4－Mo 回收率

从图 8 曲线可知，随着再磨细度的增加，铜钼的品位与回收率呈上升趋势，适宜的再磨细度为 43 μm 占 80%。

2.2.2.2　抑硫浮铜钼石灰用量条件试验

经典的抑硫方法为石灰法，该方法既可在黄铁矿的表生成 $Fe(OH)_2$ 亲水薄膜，亦会有 Ca^{2+} 的离子参与竞争吸附，从而达到抑制黄铁矿的目的。抑硫浮铜钼石灰用量条件试验工艺流程如图 7 所示。药剂制度（单位为 g/t）为：煤油 5；再磨细度为 43 μm 占 80%。石灰用量为变量，试验结果如图 9 所示。

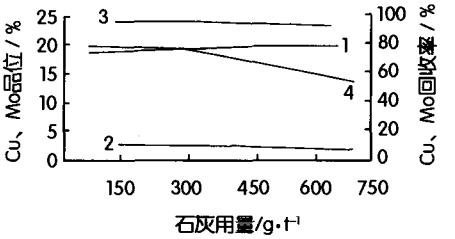

图 9　抑硫浮铜钼石灰用量条件试验结果

1－Cu 品位；2－Mo 品位；3－Cu 回收率；4－Mo 回收率

从图 9 曲线可知，随石灰用量的增加，硫可以得到有效抑制，同时造成钼回收率的下降，适宜的石灰用量为 350 g/t。

2.2.2.3　抑硫浮铜钼煤油用量条件试验

抑硫浮铜钼煤油用量条件试验工艺流程如图 7 所示。药剂制度（单位为 g/t）为：石灰 500；再磨细度为 43 μm 占 80%。煤油用量为变量，试验结果如图 10 所示。

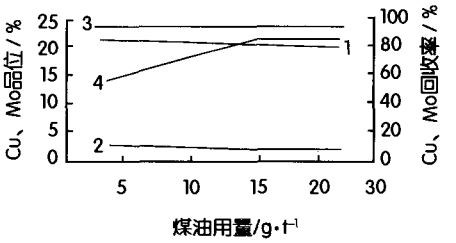

图 10　抑硫浮铜钼煤油用量条件试验结果

1－Cu 品位；2－Mo 品位；3－Cu 回收率；4－Mo 回收率

从图 10 曲线可以看出，随着煤油用量的增加，钼的回收率呈上长的趋势，适宜的煤油用量为 5 g/t。

2.2.3　铜钼分离条件试验

目前铜钼分离的方法可分为两大类，即抑铜浮钼或抑钼浮铜。前者是主要方法，一般有：(1) Na_2S 法；(2) Na_2S + 蒸气回温法；(3) 氰化法；(4) 氰化钠 + Na_2S_3；(5) 铁氰及亚铁氰化物法；(6) 次氯酸钠 + 双氧水法；(7) 硫基乙醇等有机抑制法。后者只有少数选厂采用，主要是浮精抑制辉钼矿。研究采用经

维普资讯 http://www.cqvip.com

典的 Na_2S 法。

2.2.3.1 铜钼分离 Na_2S 用量条件试验

抑铜浮钼 Na_2S 用量条件试验工艺流程如图 11 所示。药剂制度(单位为 g/t)为:水玻璃 20;煤油 4.5;Na_2S 用量为变量,试验结果如图 12 所示。

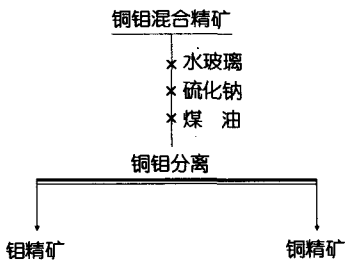

图 11 抑铜浮钼工艺流程

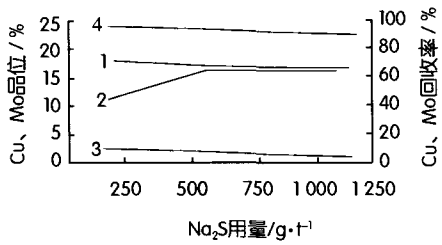

图 12 抑铜浮钼 Na_2S 用量条件试验结果

1 - Cu 品位;2 - Mo 品位;3 - Cu 回收率;4 - Mo 回收率

从图 12 曲线可知,铜钼分离适宜的硫化钠用量为 500 g/t。

2.2.3.2 铜钼分离煤油用量条件试验

抑铜浮钼煤油用量条件试验工艺流程如图 11 所示。药剂制度(单位为 g/t)为:水玻璃 20;Na_2S 500;煤油用量为变量,试验结果如图 13 所示。

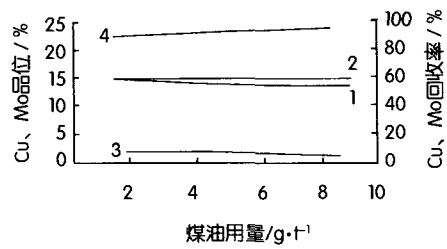

图 13 抑铜浮钼煤油用量条件试验结果

1 - Cu 品位;2 - Mo 品位;3 - Cu 回收率;4 - Mo 回收率

从图 13 曲线可知,铜钼分离必须添加煤油方可保证钼的回收率,适宜的煤油用量为 7 g/t。

2.3 浮选闭路试验

浮选闭路试验是在浮选条件试验所确定的最佳工艺参数前提下,利用实验室静态的单元浮选试验模拟生产现场连续动态的生产过程,从而考察中矿的分配,药剂累积的变化,以及可能获得的最终分选指标。试样磨矿至 74 μm 占 70%,进行硫化矿全浮,全浮作业为一粗三精二扫。然后全浮粗精矿再磨矿到 43 μm 占 80%的情况下,用石灰抑制黄铁矿,进行铜钼与硫分离,作业为一粗一精二扫,得硫精矿。最后采用 Na_2S 抑铜进行铜钼分离,铜钼分离作业采用一粗七精二扫,分别得铜精矿、钼精矿。浮选闭路试验工艺流程和药剂制度如图 14 所示,试验结果列于表 6。

表 6 全流程闭路试验结果 %

产品名称	产率	品位			回收率		
		Cu	Mo	S	Cu	Mo	S
钼精矿	0.041	0.28	45.96	31.08	0.03	69.80	1.00
铜精矿	1.650	21.44	0.120	33.27	93.09	7.33	43.18
硫精矿	1.541	0.24	0.085	38.52	0.97	4.85	46.69
尾 矿	96.768	0.023	0.0050	0.12	5.90	18.02	9.13
原 矿	100.000	0.38	0.027	1.27	100.00	100.00	100.00

注:浓缩脱水的金属损失忽略不计。

3 结 语

1. 浮选闭路试验表明,采用铜钼硫硫化矿全浮—抑硫浮铜钼—铜钼分离的浮选工艺,所得的分选指标较好。技术指标稳定、重现性好,对同类型铜钼具有广泛的借鉴意义。

2. 鉴于日益增长的国民经济建设所带来的有色金属供需矛盾,建议政府决策部门,在加大地质、勘探前期投入的同时,加强选矿工艺研究,提高选矿生产技术经济指标,确保我国国民经济有色金属可持续性发展的需要。

参考文献:

[1] 许时 . 矿石可选性研究[M]. 北京:冶金工业出版社,1989.

[2] 田松鹤,罗新民,刘忠荣 . 高效捕收剂 Y - 89 对某金矿浮选工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分),2003,(6):24 - 26.

[3] 罗新民 . 康家湾铅锌金矿浮选工艺研究[J]. 湖南有色金属,2006,22(6):4 - 8.

[4] 罗新民,魏党生,叶从新,等 . 安徽马山金矿浮选降砷工艺研究[J]. 湖南有色金属,2007,23(5):6 - 8.

[5] 魏党生,叶从新,罗新民,等 . 湖南平江铜铅锌萤石多金属矿浮选工艺研究[J]. 湖南有色金属,2008,24(1):9 - 12.

收稿日期:2008 - 04 - 17

维普资讯 http://www.cqvip.com

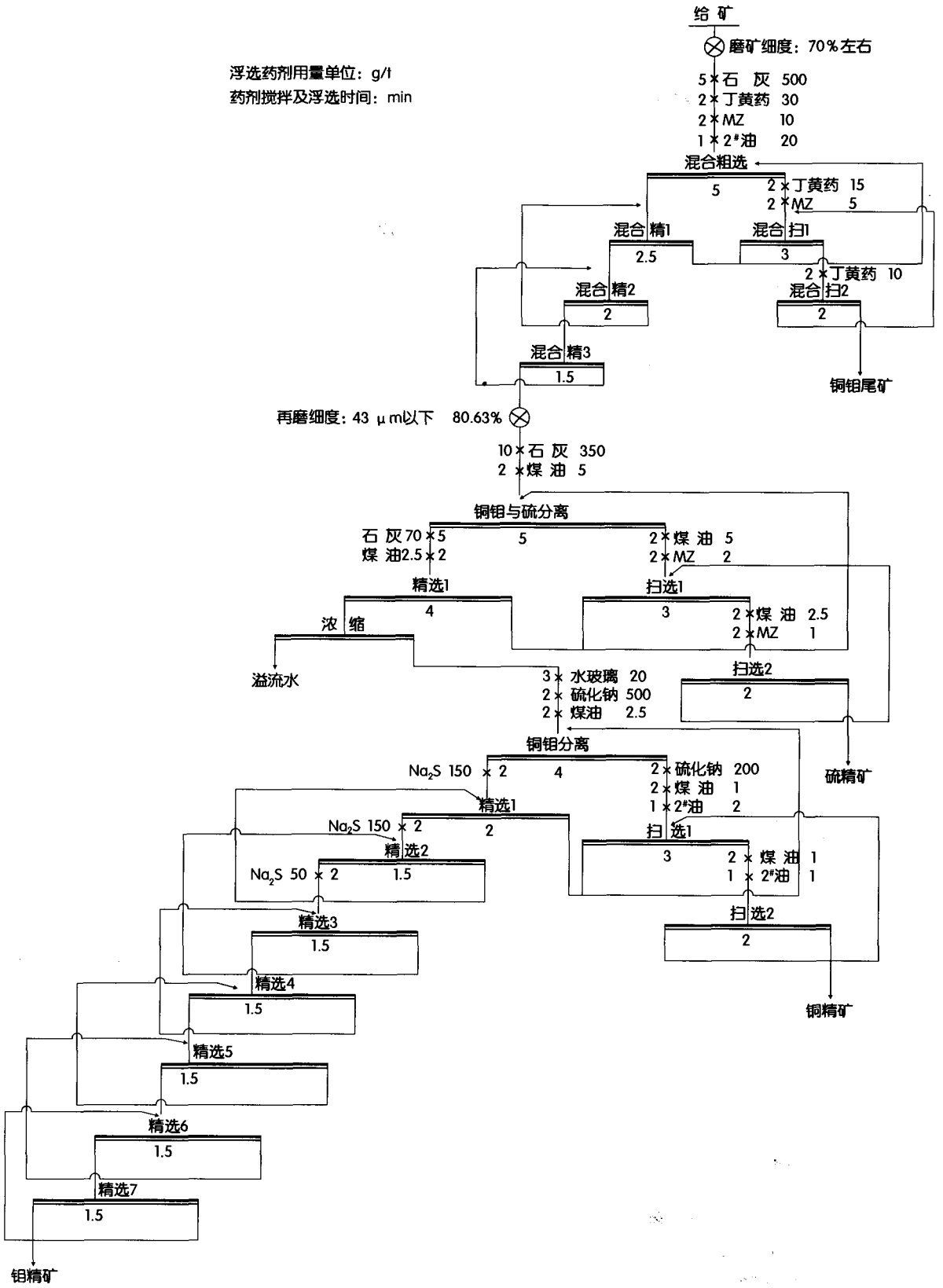

图 14　全闭路试验工艺流程

(下转第 61 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

~0.02 mm 的误差,误差的原因主要是轧制过程中由于摩擦产生热量使轧辊的温度升高,轧辊产生热膨胀导致轧辊不断磨损,轧辊轴承座、垫板、压下螺丝等轧机各部件之间存在一定的间隙和接触不均匀,使轧制力测量产生误差等。

由此可以得出本次测试试验所得的轧机刚度基本符合实际,从而可以得到轧机的刚度为 K = 1 182.5 kN/mm。

4　结　论

通过板带轧机轧制铝板的试验,对轧机进行刚度测试,运用板带轧机刚度测试的基本方法,进行大量实验数据的计算,可得出板带轧机的刚度,并对得出的刚度值进行验证,得出以下结论:

1. 计算的结果和实验测得的结果具有一致性,表明通过实测法求轧机刚度的方法实用可靠。

2. 本文通过建立机架和辊系模型可以分别计算机架和辊系的纵向变形,因而可以对优化机架结构提供参照。

3. 利用直接压板法固定辊缝的方法测量轧机刚度比有限元分析方法和材料力学等计算方法更加简单,求解精度更高,对最终测量的结果进行验证性试验,可以证明误差非常小。

参考文献:

[1] 崔青玲,赵民. 四辊轧机刚度的计算分析[J]. 重型机械,2007,1:53-56.

[2] 黎景全. 轧制工艺参数测试技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.

[3] 赵志业,王国栋. 现代塑性加工力学[M]. 沈阳:东北工学院出版社,1986.

[4] 喻廷信. 轧制测试技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.

收稿日期:2008-04-15

Stiffness Coefficient Determination of Four-high Reversing Mill

SUN Bin, WANG Sheng-zhao

(*Hunan Metallurgical Professional Technology College, Zhuzhou* 412000, *China*)

Abstract: Stiffness coefficient of rolling mill was calculated and indentified surveying rolling pressure by installing the resistance strain sensor on four-high reversing mill. Establishing mathematical model of steel plate thickness and rolling pressure provides the basis for steel plate thickness automatic control.

Key words: stiffness coefficient; rolling pressure; sensor; four-high reversing mill

(上接第 9 页)

Study on Mo-Cu Ore Floation Technology in South of China

YE Cong-xin, WEI Dang-sheng, WEI Hua-zu, LUO Xin-min

(*Hunan Research Institute of Nonferrous Metals, Changsha* 410015, *China*)

Abstract: The passage studied on the technological mineralogy of the ore, some project of test and a great deal of flotation condition experiments have been done on the basis of the chemical composition, the mineral composition, the configuration, the granularity, the occurrence and the embedded characteristics of the ore. According to the experiments, the optimum technological parameters and processes have been chosen and the closed-circuit fluid tests have been operated, which have a wonderful separation indexes. It was beneficial to utilize fully the limited mineral resources of the state and offer trustiness considerations for designing.

Key words: non-ferrous metals; Mo-Cu ore; flotation technology; tests research