

文章编号:1673-9981(2015)03-0183-06

国外某白钨矿选矿试验研究

杨记平^{1,2}, 张忠汉², 胡红喜²

1.中南大学资源加工与生物工程学院,湖南长沙410083; 2.广州有色金属研究院,广东广州510650

摘要:针对国外某白钨矿矿石中含有大量磁铁矿及少量硫化矿的矿石性质,采用“磁选除铁-白钨粗选-白钨加温精选”的选别流程回收白钨矿.试验无预脱硫作业,白钨粗选段采用Na₂CO₃+改性Na₂SiO₃为调整剂以及GYWA为捕收剂,加温精选作业采用改进的“彼得洛夫法”,以Na₂SiO₃和NS为抑制剂,强化对脉石的抑制及对白钨矿的捕收,实现了白钨矿的充分回收.在原矿WO₃品位为0.47%的条件下,获得WO₃品位66.69%、回收率88.86%的白钨精矿.钨精矿中S品位为0.025%,符合钨精矿的质量标准.

关键词:白钨矿;浮选;GYWA

中图分类号:TD952

文献标识码:A

白钨矿床常伴生钼、铜、铋、铁、铅、锌等硫化矿,这些硫化矿的天然可浮性优于白钨矿,在选矿中一般采用先浮硫化矿再浮钨矿的工艺.国外某钨矿的主要钨矿物为白钨矿,工艺矿物学研究表明该矿石中含有大量的磁铁矿及少量的硫化矿.针对矿石性质,试验中采用“磁选除铁-白钨粗选-加温精选”工艺流程,没有预脱硫作业,实现了白钨矿的充分回收,且白钨精矿的硫杂质含量符合标准.

1 矿石性质

原矿多元素分析结果见表1,主要矿物含量见表2,物相分析见表3.由表1~3可知,原矿中主要回收元素WO₃品位为0.47%,矿石中的钨主要以白钨矿形式存在,另外含有大量的磁铁矿和少量的褐铁矿;脉石矿物除含一定量的方解石和萤石外,还含有

表1 原矿多元素分析结果

Table 1 The chemical analysis results of multi-elements in crude ore

元素	WO ₃	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	Fe	S
含量 w/%	0.47	0.0026	0.0053	0.0145	0.0018	0.012	34.62	0.13
元素	CaCO ₃	CaF ₂	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	P	As	
含量 w/%	2.16	1.38	28.56	5.35	8.92	0.038	<0.01	

表2 原矿主要矿物含量

Table 2 The relative contents of main minerals

矿物	白钨矿	磁铁矿	褐铁矿	透辉石-钙铁辉石	角闪石	钙铁榴	石英	
含量 w/%	0.566	35.362	1.568	23.864	10.638	7.586	1.223	
矿物	方解石	闪锌矿	方铅矿	辉钼矿	绿帘石	绿泥石	滑石	萤石
含量 w/%	1.436	0.001	0.001	0.001	2.443	2.985	4.057	0.01

收稿日期:2015-08-24

作者简介:杨记平(1990-),男,河北邢台人,硕士研究生.

透辉石-钙铁辉石、角闪石、钙铁榴石和滑石等,硫化矿含量相对较少.矿物嵌布粒度见表4.由表4可知,白钨矿的嵌布粒度较细,主要分布在0.002~0.16 mm.磁铁矿的粒度稍粗些,主要分布在0.002~0.2 mm.

表3 钨物相分析
Table 3 Tungsten phase analyses

物相	含量 w/%	分布率/%
白钨矿	0.41	87.23
黑钨矿	0.046	9.79
钨华	0.014	2.98
总计	0.47	100.00

表4 矿物嵌布粒度
Table 4 Grain size of scheelite and magnetite

粒级/mm	分布率/%	
	白钨矿	磁铁矿
+0.32		0.06
-0.32+0.16	2.61	10.76
-0.16+0.08	36.49	35.31
-0.08+0.04	26.92	23.17
-0.04+0.02	11.65	14.45
-0.02+0.01	8.30	8.48
-0.01+0.005	7.09	5.24
-0.005	6.94	2.53
合计	100.00	100.00

2 选矿工艺研究

2.1 试验原则流程

(1)原矿中含有大量的磁铁矿,磁铁矿和白钨矿具有不同的磁性,可先通过弱磁选除去磁铁矿.(2)白钨矿床所含硫化矿的天然可浮性优于白钨矿,故选矿过程中一般先浮硫化矿再浮钨矿^[1,2].但增设硫化矿浮选作业往往导致工艺流程复杂化,并造成回水有效利用的困难.因此,在硫化矿含量不高时,可取消硫化矿浮选作业,对进入白钨粗选精矿的少量硫化矿可通过添加组合调整剂来强化白钨加温精选作业而除去.原矿中硫化矿的含量较少,回收价值低,在加温精选中采用改进的“彼得洛夫法”抑制硫

化矿,故试验中不采用预先脱硫作业.因此,试验原则流程确定为“磁选除铁—白钨粗选—白钨加温精选”,如图1所示.

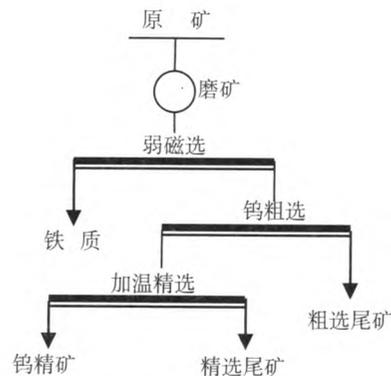


图1 试验原则流程图

Fig.1 The principle flow sheet

2.2 弱磁选试验

原矿所含磁铁矿嵌布粒度较细(0.002~0.2 mm),为使矿物单体解离,需磨矿至一定的细度.另外,磁场强度也是影响磁选结果的重要因素.因此,进行了磨矿细度试验和磁场强度试验.原矿磨矿后经过一次粗选一次精选得到磁选精矿.

2.2.1 磨矿细度对磁选的影响

磁场强度为0.15 T时,磨矿细度对磁选影响的结果如图2所示.由图2可知,随着磨矿细度的增加,磁性产品的铁品位稍稍提高,Fe回收率下降,WO₃损失率降低.当磨矿细度大于-74 μm占80%时,Fe回收率和WO₃损失率的变化减缓.经综合考虑,磨矿细度以-74 μm占80%为宜.

2.2.2 磁场强度对弱磁选的影响

磨矿细度为-74 μm 80%时,磁场强度对磁选影响的结果如图3所示.由图3可知,随着磁场强度的增加,磁性产品Fe回收率上升,Fe品位下降,磁性产品中WO₃的损失上升;当场强大于0.15 T时,磁性产品中WO₃的损失率增加.故磁场强度以0.15 T为宜.

2.2.3 磁选试验结果

在磨矿细度为-74 μm占80%、场强为0.15 T的条件下,进行磁选试验,试验结果列于表5.由表5可知,经过磁选可除去矿石中74.23%的Fe,而WO₃在磁性产品中的损失仅2.0%.同时,通过磁选可获得铁品位较高的铁精矿.

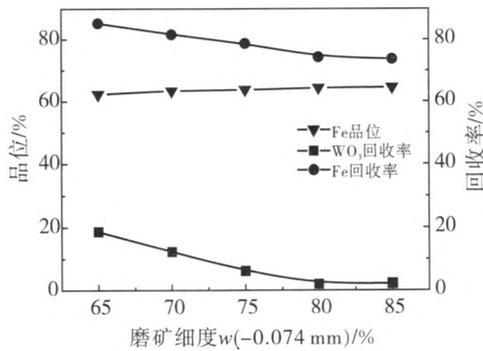


图2 磨矿细度对磁选的影响结果

Fig.2 The results of low-intensity magnetic separation at different grinding fineness

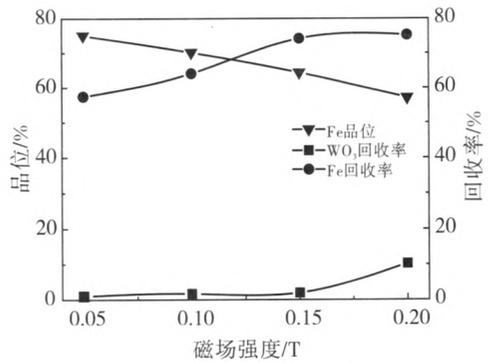


图3 磁场强度对磁选影响的结果

Fig.3 The results of low-intensity magnetic separation at different magnetic field strength

表5 弱磁选试验结果

Table 5 The results of low intensity magnetic separation

产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
		WO ₃	Fe	WO ₃	Fe
磁性产品	38.21	0.027	64.32	2.00	74.23
尾矿	61.79	0.82	13.81	98.00	25.77
给矿	100.00	0.52	33.11	100.00	100.00

2.3 白钨矿粗选试验

磁选尾矿作为白钨矿粗选试验的给矿, 按图4所示的流程进行白钨矿粗选条件试验.

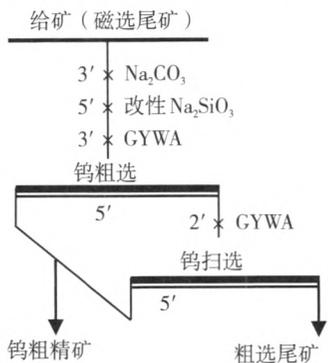


图4 白钨矿粗选试验流程图

Fig.4 The flow sheet of scheelite roughing flotation

2.3.1 粗选调整剂试验

在白钨矿浮选中, 通常采用 NaOH 或 Na₂CO₃ 以及相应的组合来调节矿浆的 pH 值. 为了扩大脉石矿物与白钨矿的可浮性差异, 还需添加以水玻璃或改性水玻璃为主的调整剂来抑制脉石矿物^[9]. 经预选试验, 确定粗选试验中用 Na₂CO₃+改性 Na₂SiO₃ 作为调

整剂. 按图4所示的流程进行 Na₂CO₃ 用量和改性 Na₂SiO₃ 用量对粗选影响的试验, 试验结果如图5和图6所示.

由图5可知, 随着 Na₂CO₃ 用量增加, 钨粗精矿的 WO₃ 品位和回收率上升到一定程度开始下降. 因此, 在粗选段 Na₂CO₃ 用量以 2000 g/t 为宜.

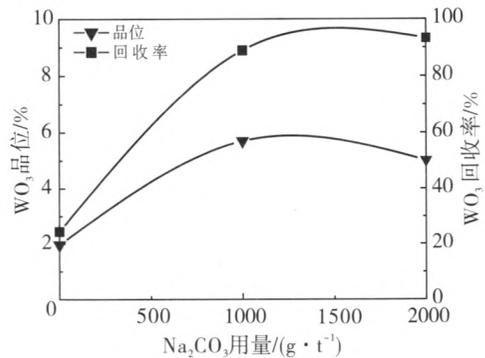


图5 Na₂CO₃ 用量对白钨矿浮选的影响

Fig.5 The results of scheelite flotation with different dosage of Na₂CO₃

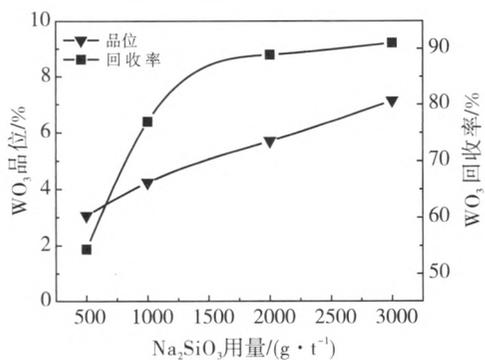


图6 改性 Na₂SiO₃ 用量对白钨矿浮选的影响

Fig.6 The results of scheelite flotation with different dosage of modified Na₂SiO₃

由图6可知,改性 Na_2SiO_3 用量对钨粗选有重要的影响.随着改性 Na_2SiO_3 用量增加,钨粗精矿 WO_3 品位逐渐提高,而回收率上升到一定程度趋于平稳.试验中为了更好地抑制脉石矿物,往往加大水玻璃的用量,但改性 Na_2SiO_3 用量过多,对提高 WO_3 回收率没有意义.因此,在粗选段改性 Na_2SiO_3 的适宜用量为2000 g/t.

2.3.2 粗选捕收剂试验

在粗选段 Na_2CO_3 和改性 Na_2SiO_3 用量均为2000 g/t的条件下,按图4所示的流程进行捕收剂对粗选影响的试验.试验中采用广州有色金属研究院研制的选择性好、捕收力强的GYWA为白钨矿的捕收剂.捕收剂用量对钨粗选影响的试验结果如图7所示.

由图7可知,随着捕收剂总用量增加,钨粗精矿回收率增加,品位下降.当捕收剂GYWA用量超过480 g/t时,回收率上升的幅度减小.故确定粗选段捕收剂GYWA合适的总用量为480 g/t.

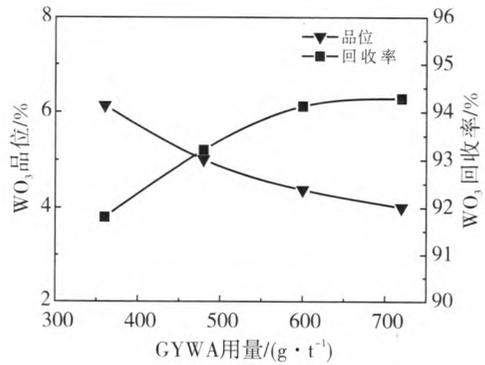


图7 GYWA用量对粗选的影响

Fig.7 The results of scheelite flotation with different dosage of GYWA

2.3.3 粗选闭路试验

白钨矿的浮选给矿为磁选尾矿,其 WO_3 品位为0.82%.按图8所示的流程进行白钨矿粗选闭路试验,经过一粗一精二扫闭路选别,可以获得品位12.14%、作业回收率93.86%的钨粗精矿,试验结果见表6.

表6 粗选闭路试验结果

Table 6 The results of scheelite roughing

产品	产率/%		品位/%	回收率/%	
	对作业	对原矿		对作业	对原矿
钨粗精矿	6.37	3.94	12.14	93.86	91.98
粗选尾矿	93.63	57.85	0.054	6.14	6.02
给矿	100.00	61.79	0.82	100.00	98.00

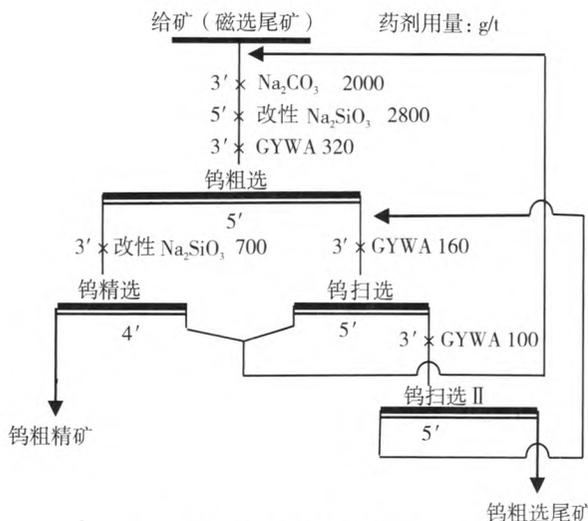


图8 粗选闭路试验流程图

Fig.8 The closed circuit flow sheet of scheelite roughing flotation

2.4 加温精选试验

传统的“彼得洛夫法”主要是将白钨矿粗精矿在高浓度(50%以上)矿浆下,添加大量的水玻璃,进行长时间强烈搅拌,并保持一段时间,然后稀释脱药再进行常温浮选.在本试验中,采用改进的“彼得洛夫法”对白钨粗精矿进行加温精选试验.与传统的“彼得洛夫法”相比,改进后有如下特点:(1)除添加改性水玻璃外,还加入有强烈抑制作用的NS;(2)加温之前加入捕收剂,加温过程中可强化对白钨矿的选择性捕收作用;(3)取消脱药作业,加温后直接浮选^[1].

由于未进行预先脱硫,为避免部分硫化矿进入白钨精矿,所以在加温精选时必须强化对硫化矿的抑制^[4].精选试验中重点考察了 Na_2SiO_3 和NS的用量以及加温的温度对精选结果的影响.

2.4.1 Na₂SiO₃ 用量试验

在白钨矿加温精选中加入大量的水玻璃, 可以强烈的抑制脉石矿物和硫化矿, 提高对脉石矿物的选择性抑制. 以 GYWA 为捕收剂, 在 NS 用量为 2000 g/t 时(相对于给矿, 下同), Na₂SiO₃ 用量对白钨矿精选的影响如图 9 所示. 由图 9 可知, 随着 Na₂SiO₃ 用量增加, 钨精矿品位提高到一定程度, 提高幅度减小. 而回收率逐渐降低, 并在 Na₂SiO₃ 用量高于 63

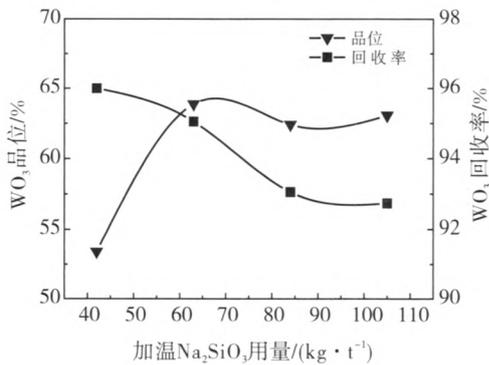


图 9 Na₂SiO₃ 用量对精选的影响

Fig.9 The results of cleaning flotation with different dosage of Na₂SiO₃

kg/t 后, 下降幅度增加. 故加温精选段 Na₂SiO₃ 适宜的用量为 63 kg/t.

2.4.2 NS 用量试验

以 GYWA 为捕收剂, 在 Na₂SiO₃ 用量为 63 kg/t 的条件下, NS 用量对白钨矿精选的影响如图 10 所示. 由图 10 可知, 随着 NS 用量增加, 钨精矿品位提高到一定程度趋于平稳, 而回收率上下波动较大. 故加温精选段 NS 适宜的用量为 1000 g/t.

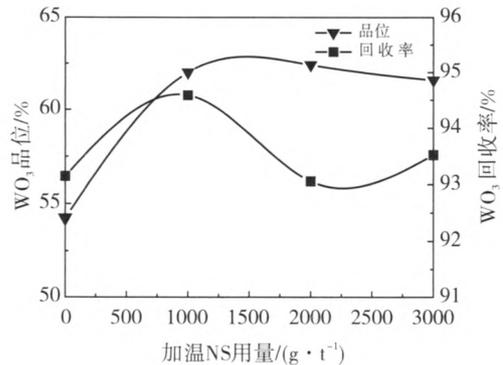


图 10 NS 用量对精选的影响

Fig.10 The results of scheelite flotation with different dosage of NS

2.4.3 加温温度试验

加温可以强化抑制剂对脉石矿物和硫化矿的抑制作用, 所以加温的温度对白钨矿精选影响很大. 加温温度对白钨矿精选影响的试验结果如图 11 所示. 从图 11 可知, 随温度升高, 白钨矿精矿品位下降, 回收率逐渐提高, 但加温温度接近 90 °C 时, 回收率提高幅度较小. 因此, 确定白钨矿精选段加温温度为 90 °C.

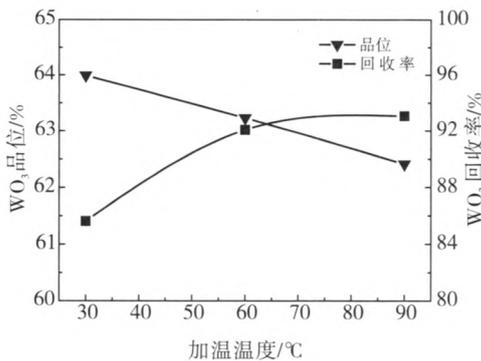


图 11 加温温度对白钨矿精选的影响

Fig.11 The results of cleaning flotation with different heating temperature

2.4.4 加温精选闭路试验

在加温精选条件试验的基础上进行了加温精选闭路试验, 试验流程如图 12 所示, 试验结果见表 7.

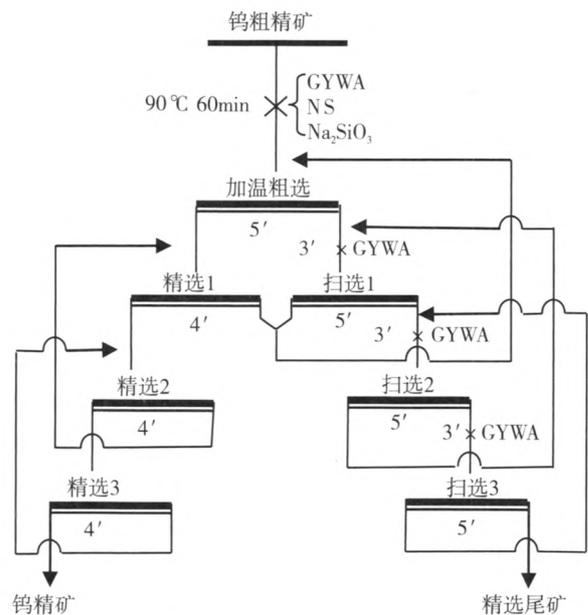


图 12 白钨加温闭路试验流程图

Fig.12 The closed circuit flow sheet of scheelite cleaning flotation

表7 加温精选闭路试验结果
Table 7 The results of scheelite cleaning flotation

产品	产率/%		品位/%	回收率/%	
	对作业	对原矿		对作业	对原矿
钨精矿	17.59	0.69	66.69	96.61	88.86
精选尾矿	82.41	3.24	0.50	3.39	3.12
钨粗精矿	100.00	3.93	12.14	100.00	91.98

经过加温精选闭路试验,获得 WO_3 品位 66.69%、作业回收率 96.61% 的白钨精矿,对原矿回收率为 88.86%。在没有预脱硫作业的情况下,通过对传统的“彼得洛夫法”进行改进,获得了较为理想的试验指标,且白钨精矿中 S 品位为 0.025%,符合白钨精矿质量标准对硫杂质含量的要求。

3 结论

针对该矿石中含有大量磁铁矿及少量硫化矿的矿石性质,不进行预先脱硫,采用“磁选除铁-白钨粗选-加温精选”工艺回收白钨矿。因没有预脱硫作业,简化了工艺流程,减少了钨的损失。改进的“彼得洛夫法”强化了对脉石的抑制及对白钨矿的捕收,简化了操作。在原矿中 WO_3 品位为 0.47% 的条件下,获得

WO_3 品位 66.69%,回收率 88.86% 的白钨精矿。钨精矿中 S 品位为 0.025%,符合钨精矿的质量标准。

参考文献:

- [1] 邱显扬,董天颂. 现代钨矿选矿 [M]. 北京:冶金工业出版社,2012:111-113.
- [2] 张忠汉. 我国钨矿石浮选技术进展 [M]. 2007 年中国稀土资源综合利用与环境保护研讨会论文集. 北京:中国稀土协会,2007: 161-165,169.
- [3] 张忠汉,张先华,林日孝,等. 难选白钨矿选矿新工艺的研究 [J]. 广东有色金属学报,2000, (02): 84-87.
- [4] ZHANG Z,ZHANG P,ZHANG S,et al.Study on the new flowsheet and wastewater recycling for xiaoliuguo copper-bearing low-grade scheelite ore [C].Proceedings of Impc 2010. Brisbane Australia: IMPC Committee,2010:2689-269.

Mineral processing research on scheelite ore from abroad

YANG Jiping^{1,2},ZHANG Zhonghan², HU Hongxi²

1. School of Resources Processing and Bioengineering,Central South University,Changsha 410083,China;

2. Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China

Abstract: A scheelite ore from abroad contains a large number of magnetite and small amounts of sulphide ore. In order to recycle the valuable minerals, a flowsheet of “magnetic separation- WO_3 roughing-heated flotation for WO_3 rough concentrate” is identified. Without desulphurization operation, Na_2CO_3 + modified Na_2SiO_3 are used as combined regulator and GYWA as collector in scheelite roughing stage and the “Improved Petrov Method” is employed in scheelite cleaning stage, by which the scheelite is recovered completely. Meanwhile, Na_2SiO_3 +NS are added as regulator in cleaning stage to intensify depression of gangue and recovery of scheelite. As a result, with the 0.47% of WO_3 for feeding, the scheelite concentrate assays 66.69% WO_3 with recovery of 88.86%. And the sulfur contaminants in scheelite concentrate is 0.025% which meets the quality specification.

Key words: scheelite; flotation; GYWA