

强磁抛尾提高白钨矿入选品位的试验研究

姚建伟

(云南锡业集团卡房分矿,云南 个旧 651000)

摘要:云南某砂卡岩型白钨矿,采用“常温粗选-加温精选”的工艺回收钨,由于矿石入选品位逐渐降低,大量含钙脉石进入到浮选精矿中,导致钨精矿品质下降。为提高白钨矿的入选品位,减少含钙脉石对浮选的影响,在工艺矿物学研究的基础上提出了“强磁抛尾”的技术思路,采用强磁选可在浮选前抛除 54% 左右的磁性脉石矿物,白钨矿的入选品位可从 0.2% 提高至 0.45%;“强磁抛尾-常温粗选-加温精选”的磁浮联合闭路流程,可获得品位 69.35%,回收率 79.29% 的高品质白钨精矿。效果显著,为我国此类低品位白钨矿的处理提供了新的思路和借鉴。

关键词:矽卡岩型;白钨矿;入选品位;强磁抛尾

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2016.01.008

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2016)01-0032-05

截止 2007 年底,我国钨矿查明资源储量 551.55 万 t,其中基础储量为 240.87 万 t,占 43.67%,资源量 310.68 万 t,主要分布在南方地区,其中湖南和江西分布最多。由于多年的强化开采,黑钨矿储量消耗很快,已经形成了以白钨矿为主的局面。我国白钨矿床多为细粒嵌布的钨矿石,主要采用浮选法回收。白钨矿的浮选大致分为粗选和精选两个部分:粗选一般采用碳酸钠和水玻璃作调整剂,用脂肪酸类捕收剂浮选,也有部分选矿厂用螯合捕收剂;白钨粗精矿精选工艺目前主要有两类,一类为加温浮选,一类为常温浮选。其中常温精选法在以石英为主的矽卡岩型白钨矿山得到广泛应用,而加温精选工艺则对萤石、方解石、透辉石-钙铁辉石等含钙脉石较多的矽卡岩型、云英岩型白钨矿石有更好的适应性^[1-6]。

云南某白钨矿是一个大型的含钙脉石较多的矽卡岩型钨矿,选矿厂采用“常温粗选-加温精选”的工艺流程回收钨,但分选效果不理想,精矿品位及回收率逐年降低,严重影响选矿厂的经济效益。为此,本试验首先对选厂生产情况进行了分析,查明了问题所在,通过工艺矿物的研究以及小型试验研究,确定了磁浮联合流程,并最终获得了高品质的白钨精矿。

1 选厂生产现状

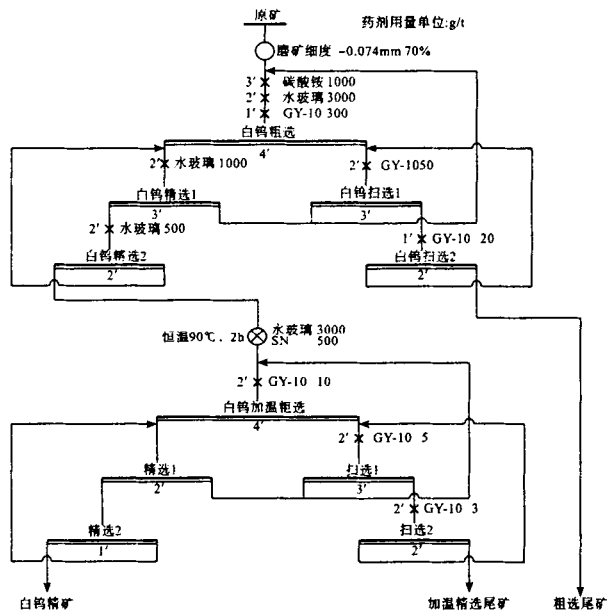


图 1 选厂全工艺流程

Fig. 1 Technical flow chart

选厂采用“常温粗选-加温精选”的工艺流程回收钨,其详细的工艺流程及药剂制度见图1。为查明影响精矿品质的原因,对近几年选厂生产指标进

收稿日期:2015-02-06

作者简介:姚建伟(1967-),男,工程师,主要从事矿山企业管理工作。

行了对比,对比结果见图2,并对白钨精矿(2014年)主要矿物组成进行了查定,结果见表1。

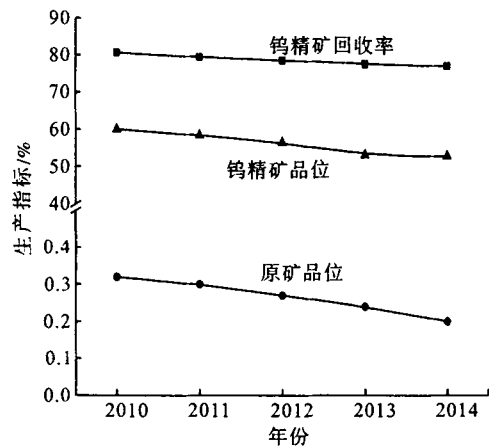


图2 选矿厂年平均生产指标
Fig.2 Average production index

表1 钨精矿主要矿物组成

Table 1 The main mineral composition of tungsten concentrate						
矿物	白钨矿	钙铁辉石	方解石	萤石	石榴石	石英
含量/%	65.37	12.46	8.21	3.46	7.94	0.56

图2表明,当白钨矿入选品位高时,选厂现有工艺流程选别指标较好。但随着入选品位的降低,精矿的品位和回收率也呈下降趋势,表明现有工艺流程对低品位钨矿适应性差。表1精矿的主要矿物组成结果表明,精矿中含钙脉石矿物占矿物量的30%左右,是影响白钨精矿的品质的重要原因。

入选品位低、工艺流程适应性差以及含钙脉石易于进入浮选精矿,是影响白钨精矿品质的重要原因。因此,若能在浮选前抛除含钙脉石矿物,不仅可以提高白钨矿的入选品位,还可以消除其对后续浮选的影响。为探索预先抛尾的可行性,对矿石进行工艺矿物学研究。

2 矿石工艺矿物学特征

2.1 原矿物质组成

为了定量查明矿样中不同组分的含量,对原矿进行了多元素分析以及矿物相对含量的查定,结果分别见表2、3。

由表2、3可知,矿石中主要有价金属为钨,以白钨矿形式存在;主要脉石矿物为透辉石-钙铁辉石系列和石榴石(包括钙铁榴石和钙铝榴石),占矿物量的60%左右。

表2 原矿多元素分析/%

Table 2 Multi-element analysis of the raw ore							
WO ₃	S	Cu	Pb	Zn	Fe	Mo	Al ₂ O ₃
0.20	0.76	0.045	0.0042	0.0071	11.21	0.0086	4.06
CaO	SiO ₂	MgO	As	P	Au*	Ag*	
25.74	39.12	1.66	0.021	0.032	0.26	1.55	

* 单位为 g/t。

表3 原矿主要矿物定量检测结果

Table 3 Quantitative test results of the main minerals							
矿物	白钨矿	黑钨矿	黄铜矿	磁黄铁矿	黄铁矿	萤石	闪锌矿
含量/%	0.241	微量	0.099	0.974	0.650	2.697	0.003
矿物	石英	透辉石-钙铁辉石	钙铁石榴石	钙铝榴石	黑云母	长石	方解石
含量/%	4.261	37.26	16.771	4.014	2.858	6.564	13.947

2.2 白钨矿的单体解离度

为了给选矿工艺合理的磨矿方案提供矿物学依据,测定了在不同磨矿细度下白钨矿的解离度,结果见图3,由测定结果来看,本矿石白钨矿具有良好的解离性,原矿在磨矿细度-0.074 mm 70%时,白钨矿解离度达94%以上。因此,选厂现有的磨矿细度下白钨矿已基本实现单体解离。

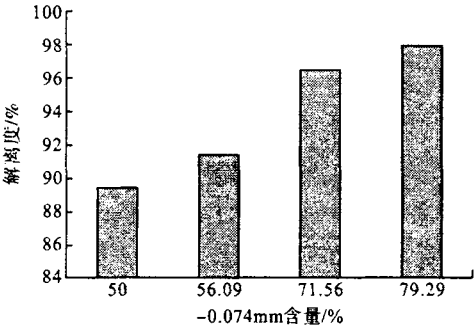


图3 不同的磨矿细度下白钨矿的单体解离度
Fig.3 Single liberation degree of scheelite at different grinding finess

2.3 矿石的矿物学特征分析

2.3.1 透辉石-钙铁辉石

透辉石-钙铁辉石的化学组成中 Mg^{2+} 与 Fe^{2+} 间呈完全类质同象,通常根据铁镁原子比分为四个亚种:透辉石(Fe 原子 $<25\%$)、次透辉石(Fe 原子 $25\% \sim 50\%$)、铁次透辉石(Fe 原子 $50\% \sim 75\%$)、钙铁辉石(Fe 原子 $>75\%$)。透辉石-钙铁辉石呈柱状晶体,具有弱磁性,磁性随含铁量增加而增加,在350~1000 mT 场强进入磁性产品,本矿石以富铁的钙铁辉石为主,因此磁性较强。其化学成分能谱分

析见表 4。

表 4 透辉石-钙铁辉石化学成分能谱测定结果

Table 4 Energy spectrum test results of chemical components of diopside-hebenbergite

测点	化学成分及含量/%							矿物亚种
	MgO	FeO	SiO ₂	CaO	Cr ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	
1	1.26	24.67	50.30	21.19	0.29	1.30	1.05	钙铁辉石
2	1.40	24.27	50.18	21.21	0.27	1.39	1.01	钙铁辉石
3	1.76	23.27	50.96	21.28	0.20	1.81	1.27	钙铁辉石
4	2.02	23.15	51.03	21.35	0.24	1.43	0.72	钙铁辉石
5	2.68	22.60	51.38	21.41	0.16	1.29	0.78	钙铁辉石
6	3.30	21.14	49.80	22.54	0.28	1.09	1.89	钙铁辉石
7	3.81	20.06	51.78	21.74	0.29	1.63	0.69	铁次透辉石
平均	2.32	22.74	50.78	21.53	0.25	1.42	1.06	

2.3.2 钙铝榴石-钙铁榴石

钙铝榴石-钙铁榴石的化学组成中铝与铁之间呈完全类质同象,具有弱磁性,磁性随含钙铁榴石分子数的增加而增强,在 550~1000 mT 场强进入磁性

产品,钙铝榴石磁性较弱,不含铁的钙铝榴石无磁性。其化学成分能谱分析见表 5,测定结果表明,本矿中的钙铝榴石、钙铁榴石均含有铁,因此具有磁性。

表 5 钙铝榴石-钙铁榴石化学成分能谱测定结果

Table 5 Energy spectrum test results of chemical components of grossular-andradite

测点	化学成分及含量/%							矿物亚种
	FeO	MgO	SiO ₂	CaO	Ti ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	
1	7.49	2.45	14.64	34.02	1.37	0.54	39.49	钙铝榴石
2	8.11	1.93	14.72	33.76	1.72	0.31	39.45	钙铝榴石
3	11.88	0	18.99	22.13	0.23	7.32	39.45	钙铝榴石
4	23.89	2.42	18.42	19.37	0	5.73	38.08	钙铁榴石
5	24.6	0	9.1	30.48	0.85	0.73	38.43	钙铁榴石
6	25.31	0	9.17	29.77	1.22	1.03	38.03	钙铁榴石
7	26.36	0	7.16	30.99	0.83	0.73	31.35	钙铁榴石
平均	18.23	0.97	13.17	28.65	0.89	2.34	37.75	

2.4 磁性分析

为查明各有价元素以及矿物的磁性分布,综合考虑矿物的解离度以及磁选有效的粒度范围,选取

原矿中-0.074+0.043 mm 粒级产品进行磁性分析,结果见表 6。

表 6 各磁性段产品钨含量分布

Table 6 Tungsten distribution at different magnetic segments

磁场强度/mT	产品名称	产率%		WO ₃ 品位%		WO ₃ 占有率%		矿物
		个别	累计	个别	累计	个别	累计	
100(弱磁)	磁性产品	1.06		0.018		0.05		磁黄铁矿、磁铁矿
350	磁性产品	0.92	1.98	0.098	0.06	0.25	0.30	辉石、黄铁矿连生体
550	磁性产品	37.04	39.02	0.017	0.02	1.73	2.03	辉石、少量石榴石和角闪石
750	磁性产品	22.07	61.09	0.028	0.02	1.71	3.74	钙铁辉石、榴石、少量角闪石
1000	磁性产品	5.24	66.33	0.055	0.02	0.79	4.53	辉石、石榴石、少量角闪石、云母
	(1000)非磁产品	33.67		1.03		95.47		方解石、石英、长石、白钨矿
	合计	100.00		0.363		100.00		

测定结果表明,白钨矿在 1000 mT 场强的非磁性产品中可有效富集;钙铁辉石、石榴石等脉石矿物集中分布在 350~1000 mT 磁性产品内,磁性产品占

矿物量的 66.33%,而钨的占有率仅为 4.53%。

综上所述,工艺矿物学的研究表明,本矿石有价金属白钨不具有磁性、易于单体解离,而占矿物量

60%左右含钙脉石具有弱磁性,集中分布在 350 ~ 1000 mT 磁性段内,且脉石中钨的占有率仅为 4.53%。因此,采用强磁选可以抛除磁性脉石,实现钨的有效富集。为确定合理的磁场强度和工艺流程,进行了强磁抛尾小型试验。

3 强磁抛尾小型试验

3.1 磁场强度试验

由于矿石中钨矿物在 100 ~ 1000 mT 的不同磁性段内都有分布,且含量不等,因此确定合理的磁场强度不仅能有效的抛除脉石矿物,提高白钨矿的入选品位,也能减少白钨矿在磁性产品中的损失;为此,在磨矿细度-0.074 mm 70% 时,进行磁场强度试验,试验结果见图 4。

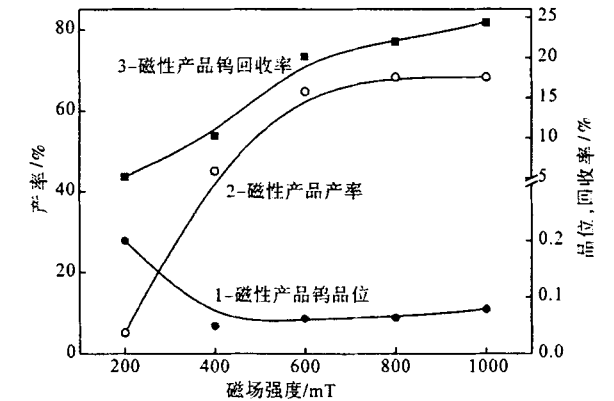


图4 磁场强度试验结果

Fig. 4 Test results of magnetic field intensity

从图 4 的试验数据分析可知,当磁场强度增加时,磁性产品的产率明显增大,钨品位呈减少趋势,当磁场强度达到 600 mT 时,磁性产品的产率可达 64.75%、钨品位为 0.062%;继续增大磁场强度,磁性产品的产率无明显增加,但是钨的损失率增加。因此,适宜的磁场强度为 600 mT。

3.2 强磁抛尾全工艺流程

磁性产品中含钨仍有 0.062%,有必要增加精选作业-最大限度降低钨在磁性产品中的损失。在上述条件试验的基础上,采用“一粗、一精”的强磁选工艺进行了抛尾试验。试验流程见图 5,结果见表 7。

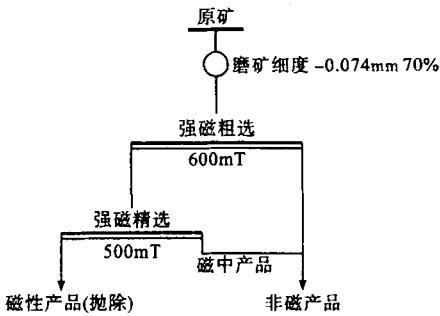


图5 强磁抛尾试验流程

Fig. 5 Test process of high-intensity magnetic discarding tailings

表7 强磁抛尾试验流程结果

Table 7 Test results of high-intensity magnetic discarding tailings

产品名称	产率/%	WO ₃ 品位/%	WO ₃ 回收率/%
磁性产品	58.72	0.026	7.59
非磁性产品	41.28	0.45	92.41
原矿	100.00	0.20	100.00

试验结果表明,采用“一粗、一精”的强磁选工艺,可以抛出产率 58.72% 的弱磁性脉石,钨的入选品位可从 0.20% 富集到 0.45%,而钨的损失不足 8%。

4 全流程闭路试验

在条件试验的基础上,进行了“强磁抛尾-常温粗选-加温精选”磁浮全工艺流程试验,药剂制度及流程见图 6,试验结果见表 8。

试验结果表明,磁浮联合闭路流程,可在浮选前抛除 58.72% 的磁性产品,获得钨品位 69.35%,回收率 79.29% 的钨精矿;采用该工艺可在浮选流程中减少约一半的药剂用量。实现了低品位白钨矿的有效回收。

表8 非磁性产品浮选试验结果

Table 8 Flotation test results of non-magnetic products

产品名称	产率/%	WO ₃ 品位/%	WO ₃ 回收率/%
钨精矿	0.23	69.35	79.29
精选尾矿	1.96	1.96	5.30
粗选尾矿	39.09	0.041	7.82
磁性产品	58.72	0.026	7.59
原矿	100.00	0.20	100.00

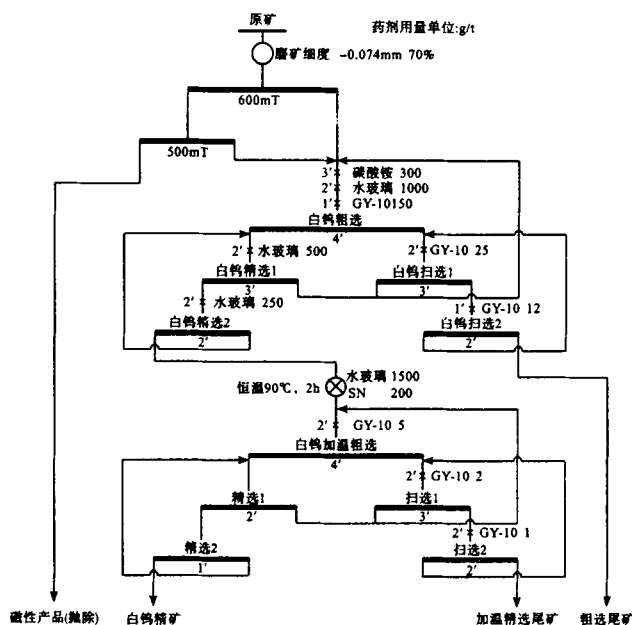


图6 磁浮全工艺流程

Fig. 6 Process of magnetic levitation

5 结 论

(1) 云南某矽卡岩型白钨矿, 由于矿石贫化严重、大量含钙脉石矿物易进入浮选精矿, 现有工艺流程对矿石适应性差, 导致精矿品质逐年下降。

(2) 工艺矿物研究结果表明, 该矿白钨易于实现单体解离, 而占矿物量 60% 左右含钙脉石具有弱磁性, 且集中分布在 350 ~ 1000 mT 磁性段内。采用强磁选可实现预先抛尾。

(3) 强磁抛尾小型试验表明, 采用“一粗、一精”的强磁选工艺, 可以抛出产率 58.72% 的弱磁性脉石, 钨的入选品位可从 0.20% 富集到 0.45%。

(4) “强磁抛尾-常温粗选-加温精选”的磁浮联合闭路流程, 可获得品位 69.35%, 回收率 79.29% 的高品质钨精矿; 相比原工艺流程药剂用量可减少半。

参考文献:

- [1] 孔昭庆. 我国钨业目前的形势和任务[J]. 中国钨业, 2007(01): 1-3, 5.
- [2] 肖英, 罗超. 钨矿企业可持续发展的战略探讨[J]. 中国矿业, 2008(6): 24-26.
- [3] 戚开静, 王斌, 郑勇军, 等. 近 10 年中国钨矿资源开发利用国际比较及建议[J]. 资源与产业, 2009(03): 59-62.
- [5] 王星, 黄光洪, 陈典助. 钨矿选矿工艺研究进展评述[J]. 湖南有色金属, 2010(04): 21-23, 71.
- [6] 邱显扬, 董天颂. 现代钨矿选矿[M]. 北京: 冶金工业出版社.

Study on Improving the Feed Grade of Scheelite by High-intensity Magnetic Discarding the Tailing

Yao Jianwei

(Kafang Mine, Yunnan Tin Group, Gejiu, Yunnan, China)

Abstract: The scheelite in Yunnan province belongs to a skarn type. If the tungsten is recovered by using the process of normal temperature roughing-heating cleaning, due to the feed grade reducing gradually and a large amount of gangue containing calcium into the flotation concentrate, the tungsten concentrate quality would be declined. On the basis of the research of process mineralogy, in order to improve the feed grade of scheelite and reduce the influence of the gangue containing calcium, the technical idea of strong magnetic discarding tailing was proposed. 54% or so magnetic gangue minerals can be discarded and the feed grade of scheelite can be 0.2% up to 0.45% by using magnetic separation before flotation. The high quality scheelite concentrate with the WO_3 grade of 69.35% and the recovery of 79.29% can be obtained by using the magnetic-flotation bulk closed process of strong magnetic discarding tailing-normal temperature roughing-heating cleaning. The effect was remarkable, which provides new ideas and reference for the treatment of this kind of low grade scheelite in China.

Keywords: Skarn type; Scheelite; Feed grade; High-intensity magnetic discarding tailing