

选冶工艺

# 采用高梯度磁选回收某黑钨矿的工艺研究\*

刘清高<sup>1</sup>, 管则皋<sup>2</sup>, 韩兆元<sup>2</sup>, 关通<sup>2</sup>

(1. 青海西部稀有金属有限公司, 北京, 100012; 2. 广州有色金属研究院, 广州, 510650)

**摘要:**采用高梯度磁选作粗选、重选和磁选相结合的精选工艺流程回收某黑钨矿石, 对原矿 WO<sub>3</sub> 品位 0.413% 的给矿, 获得的钨精矿产率 0.472%、钨精矿 WO<sub>3</sub> 品位 66.03%、回收率为 75.46% 的技术指标, 黑钨矿得到了较好的回收。

**关键词:**黑钨矿; 高梯度磁选; 重选

中图分类号: TD954; TD924.1<sup>1</sup> 文献标识码: B 文章编号: 1001-0076(2010)04-0026-04

## Process Study on Recovery of a Wolframite Ore by High-gradient Magnetic Separation

LIU Qing-gao, GUAN Ze-gao, HAN Zhao-yuan, et al.

(Qinghai West Rare&Precious Metals Co. Ltd., Beijing 100012, China)

**Abstract:** The technological flowsheet of high-gradient magnetic separation used as roughing and the combination of gravity concentration and magnetic separation used as cleaning was adopted to recover a certain wolframite ore. As a result, from the ore feed containing WO<sub>3</sub> 0.413%, a wolframite concentrate of WO<sub>3</sub> 66.03% with a recovery of 75.46% and the yield of 0.472% was obtained. And the wolframite was recovered fairly good.

**Key words:** wolframite; high-gradient magnetic separation; gravity concentration

黑钨矿具有比重大(7.2~7.5)、弱磁性(比磁化系数  $39 \times 10^{-6} \sim 189 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ )、性脆、在碎矿磨矿过程中易产生过粉碎的特点。黑钨矿通常结晶粒度较粗, 一般采用重选法作粗选, 如赣南的黑钨矿山。本研究的黑钨矿嵌布粒度呈不均匀状态, 利用黑钨矿具有弱磁性, 高梯度磁选的选别粒度下限要比重选低的特点, 采用全粒级高梯度磁选作粗选、重选和磁选相结合进行精选的工艺流程, 对原矿含钨(WO<sub>3</sub>)0.413%的某黑钨矿石, 取得了钨精矿 WO<sub>3</sub> 品位 66.03%、回收率 75.46% 的选矿技术指标, 简化了中细粒嵌布的黑钨矿石选别工艺流程。

### 1.1 原矿化学多元素分析和钨物相分析

表1 原矿多元素分析结果

元素	WO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mo	Mn	CaCO <sub>3</sub>	CaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BeO
含量/%	0.41	11.19	0.0065	0.090	0.68	0.58	0.026	0.025
元素	MgO	SiO <sub>2</sub>	Bi	Pb	Zn	Fe	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S
含量/%	0.59	76.44	0.0084	0.011	0.014	2.22	<0.005	0.030
元素	Cu	As	Ge	P	Sb	K <sub>2</sub> O	Co	CaF <sub>2</sub>
含量/%	0.08	0.038	<0.005	0.035	0.006	2.66	<0.005	0.52
元素	Na <sub>2</sub> O	In	Cd	Ga	Li <sub>2</sub> O	Au	Ag	
含量/%	0.67	0.053	<0.005	0.002	0.021	<0.1	2.44	

注: Au、Ag 含量单位为 g/t。

## 1 原矿工艺矿物学研究

原矿化学多元素分析和钨物相分析结果分别见

\* 收稿日期: 2010-04-24; 修回日期: 2010-06-02

作者简介: 刘清高(1959-), 男, 湖南连源人, 选矿高级工程师, 双学士, 现从事矿业开发管理与研究工作。

表1和表2。

从表1结果可知,具有利用价值的元素主要是钨。

从表2结果可知,黑钨矿中钨占钨金属量的83.54%。

表2 钨物相分析结果

物相	白钨矿	黑钨矿	钨华	总钨
WO <sub>3</sub> 含量/%	0.035	0.34	0.032	0.407
分布率/%	8.60	83.54	7.86	100.00

## 1.2 原矿物质成分

原矿物组成如下:金属硫化物为极少量黄铁矿、黄铜矿,金属氧化物为磁铁矿、赤铁矿及褐铁矿,钨酸盐矿物主要为黑钨矿及少量白钨矿,脉石矿物主要为白云母、石英、长石,还有少量方解石、萤石、电气石、黑云母等。主要矿物相对含量见表3。

表3 原矿主要矿物相对含量

矿物	黑钨矿	白钨矿	钨华	黄铁矿	黄铜矿	赤铁矿
含量/%	0.451	0.043	0.034	0.085	0.026	0.025
矿物	褐铁矿	磁铁矿	孔雀石	电气石	萤石	方解石
含量/%	0.197	0.037	0.121	0.207	0.502	0.678
矿物	黑云母	白云母	石英\长石	高岭土	合计	
含量/%	0.201	40.584	54.626	2.180	100.00	

## 1.3 黑钨矿物的嵌布粒度

对黑钨矿的嵌布粒度测定结果为0.04~2 mm占96%以上,较适宜磁选和重选回收。

## 1.4 钨矿物解离度测定结果

在磨矿细度-0.074 mm占43.20%时,测定的黑钨矿单体解离情况见表4。

表4 黑钨矿单体解离度测定结果

粒度/mm	产率/%	WO <sub>3</sub> /%	产品解离度/%
+0.4	14.98	0.82	88.39
-0.4+0.2	10.42	0.34	90.51
-0.2+0.1	25.75	0.33	94.50
-0.2+0.074	5.65	0.32	98.96
-0.074+0.038	25.40	0.40	100.00
-0.038+0.020	9.91	0.18	100.00
-0.020+0.010	2.86	0.19	100.00
-0.010	5.03	0.28	100.00
合计	100.00	0.40	94.38(总解离度)

从表4的结果可知,钨矿物在-0.074 mm占43.20%的磨矿细度时具有比较好的单体解离度。

## 1.5 钨在矿石中的赋存状态

经提取单矿物进行钨的含量测定,钨在各主要矿物中的平衡分配如表5。由结果可知,81.24%的钨以黑钨矿矿物形式存在,以白钨矿矿物形式存在的钨仅占8.27%,钨华中的钨占7.53%,分散于褐铁矿和包含于脉石矿物中的钨占2.96%。

表5 钨在各主要矿物中的分配

矿物	矿物含量/%	含WO <sub>3</sub> 量/%	分配率/%
锡石	0.132	/	/
黑钨矿	0.451	75.43	81.24
白钨矿	0.043	80.53	8.27
钨华	0.034	92.79	7.53
黄铁矿、黄铜矿	0.111	/	/
磁铁矿	0.037	/	/
褐铁矿、赤铁矿	0.222	1.26	0.67
石英/长石/白云母等	98.97	0.0097	2.29
合计	100.00	0.419	100.00

## 2 试验研究

### 2.1 高梯度磁选法回收黑钨矿原理

当任何磁性矿物置于磁场中时,受到的磁场力大小为:

$$f_m = m \cdot \chi_0 \cdot H \cdot \text{grad}H$$

其中, $m$ 为矿粒质量, $\chi_0$ 为矿物的比磁化系数, $H$ 为磁场强度, $\text{grad}H$ 为磁场梯度。在高梯度磁选过程中,当矿物受到的磁力大于机械和水流力的合力时,矿物就被吸附到磁介质上,反之,矿物就被机械和水流力的合力带走,从而达到富集矿物的目的。

黑钨矿属于弱磁性矿物,本研究矿石中非磁性的脉石矿物云母、石英、长石、高岭土量97%左右,所以,在一定的磨矿细度下,可以通过调节磁场强度和磁场梯度,使黑钨矿吸附到磁介质上,实现与脉石矿物的分离。

### 2.2 试验原则流程的确定

由于黑钨矿物与矿物量97%左右的云母、石英、长石、高岭土等脉石矿物有一定的磁性和比重差,所以可用磁选法或重选法将其分开。

与重选法相比,高梯度磁选在粗选段具有设备

处理能力大、全粒级入选、单位占地面积少、设备操作方便、用水少等特点,在细粒级的黑钨矿回收方面已逐渐被人们所重视。本研究的黑钨矿嵌布粒度不均匀,在-0.074 mm占43.20%时才能达到较好的单体解离,采用高梯度磁选是非常合适的,故采用高梯度磁选作为粗选,然后再用重选—磁选相结合的精选工艺流程分离出黑钨矿。试验研究原则流程见图1。

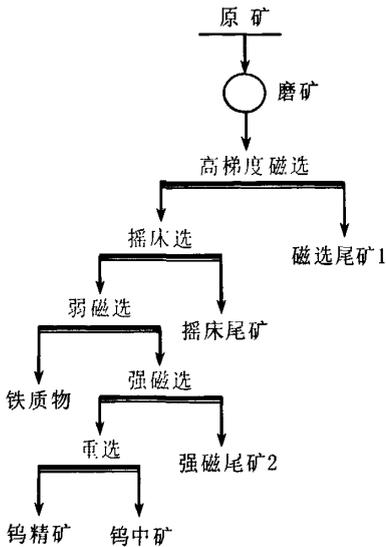


图1 试验研究原则流程

### 2.3 全流程试验结果

表6 全流程试验结果

产品名称	产率/%	WO <sub>3</sub> 品位/%	WO <sub>3</sub> 回收率/%
钨精矿	0.472	66.03	75.46
钨中矿	0.878	2.68	5.75
强磁尾矿2	0.530	1.32	1.69
铁质物	0.05	1.32	0.16
摇床尾矿	3.180	0.67	5.23
磁选尾矿1	94.890	0.051	11.71
给矿	100.00	0.413	100.00

从表6结果可知,采用高梯度磁选作粗选、重选和磁选相结合进行精选的工艺流程,对原矿含钨(WO<sub>3</sub>)0.413%的某黑钨矿石,取得了钨精矿WO<sub>3</sub>品位66.03%、回收率75.46%的选矿技术指标。

## 3 试验结果及讨论

### 3.1 磨矿粒度的确定

选择合理的人选粒度,是确保能否经济有效地利用资源的前提。入选粒度过粗,有用矿物未充分解离,磁选的回收效果差;入选粒度过细,有用矿物过粉碎,造成部分有用矿物泥化而不能用高梯度磁选回收,导致金属流失。

从表4钨矿物单体解离度的测定可以看出,在-0.074 mm占43.20%时,+0.4 mm粒级黑钨矿的单体解离度达到了88.39%,说明黑钨矿已达到了比较好的单体解离度,此时对应的粒度为-0.8 mm。因此,选择磨矿粒度为-0.8 mm,磨机与筛子闭路进行磨矿。

### 3.2 高梯度磁选试验结果

原矿磨到-0.8 mm后,全粒级高梯度磁选,黑钨矿进入磁性产品中,非磁性产品为尾矿。选别的磁场强度为0.8 T,选别结果见表7。

表7 高梯度磁选分选结果

产品名称	产率/%	WO <sub>3</sub> 品位/%	WO <sub>3</sub> 回收率/%
磁性产品	5.11	7.14	88.29
磁选尾矿1	94.89	0.051	11.71
原矿	100.00	0.413	100.00

从表7的分选结果知,经高梯度磁选获得的磁性产品产率为5.11%,钨品位(WO<sub>3</sub>)为7.14%,钨回收率88.29%,说明用高梯度磁选效果好,钨富集比达17倍。

### 3.3 高梯度磁选的磁性产品摇床选别结果

表8 磁性产品摇床分选结果

粒级/mm	产品名称	产率/%	WO <sub>3</sub> 品位/%	WO <sub>3</sub> 回收率/%
	摇床精矿	0.66	28.19	45.05
+0.2	摇床尾矿	0.65	0.37	0.58
	磁性产品	1.31	14.39	45.63
	摇床精矿	1.27	12.36	38.01
-0.2	摇床尾矿	2.53	0.76	4.65
	磁性产品	3.80	4.64	42.66
	合计	5.11	7.14	88.29

高梯度磁选的磁性产品筛分成+0.2 mm和-0.2 mm,分别采用摇床去掉部分具有磁性的脉石矿物,摇床分选结果见表8。从表8的摇床分选结果可知,粗粒摇床分选较好,在尾矿中损失的钨仅为

0.58%;细粒摇床分选结果要比粗粒级差一些,在尾矿中损失的钨为4.65%。这是微细粒级的黑钨矿损失所致,原因是高梯度磁选的选别粒级下限要比摇床选别低。

### 3.4 摇床精矿干式磁选—重选试验结果

摇床精矿分别干燥,然后用0.1 T的干式磁选机先除去铁质物,再用0.6 T的强磁选选出钨粗精矿,钨粗精矿再经摇床选别得最终钨精矿,选别流程见图2,选别结果见表9。

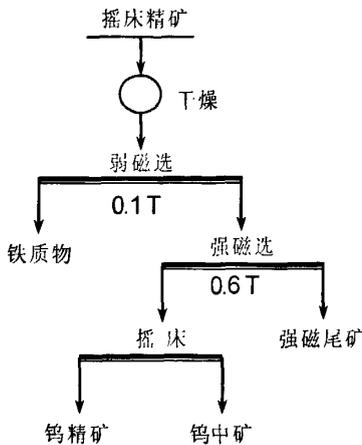


图2 重选精矿干式磁选—重选试验流程

表9 干式磁选—重选试验结果

粒级/mm	产品名称	作业产率/%	WO <sub>3</sub> 品位/%	作业回收率/%
+0.2	铁质物	3.33	1.15	0.13
	钨精矿	40.30	66.43	94.96
	钨中矿	32.73	3.83	4.44
	强磁尾矿	23.64	0.56	0.47
	合计	100.00	28.19	100.00
-0.2	铁质物	2.20	1.48	0.26
	钨精矿	16.22	65.52	85.98
	钨中矿	52.13	2.34	9.87
	强磁尾矿	29.45	1.63	3.89
	合计	100.00	12.36	100.00

从表9的结果可以看出,重选精矿经干式磁选精选,可得到最终钨精矿,对于+0.2 mm粒级,精选作业回收率较高,达到94.96%;对于-0.2 mm粒级,精选作业回收率较低,只有85.98%;钨中矿的WO<sub>3</sub>品位分别为3.83%和2.34%,仍有回收的可能。

## 4 结语

(1)本研究矿石中钨矿物主要为黑钨矿,其次白钨矿和钨华,黑钨矿的钨金属占总钨金属的83.54%,白钨矿中钨占8.60%,钨华中钨占7.86%。矿石中硫化物极少,脉石矿物主要为白云母、石英,其次为长石,少量的萤石、方解石、电气石。非磁性和比重小的矿物量占97%以上;黑钨矿的嵌布粒度范围为0.04~2 mm;本矿石可用磁选和重选相结合的工艺回收黑钨矿。

(2)采用高梯度磁选作粗选、重选—磁选—重选相结合的精选工艺流程,对给矿含钨0.413%的原矿,可以获得钨精矿产率为0.472%,精矿WO<sub>3</sub>66.03%、回收率为75.46%的技术指标,黑钨矿得到了较好的回收。

(3)粗选设备采用了处理能力大、占地面积小、操作方便的高梯度磁选机,可以大大减少厂房的建筑面积,是中细粒级黑钨矿回收的理想设备。

### 参考文献:

- [1] 《选矿设计手册》编委会. 选矿设计手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1987.
- [2] 周晓彤,邓丽红,廖锦. 白钨浮选尾矿回收黑钨矿的强磁选试验研究[J]. 中国矿业,2010,(4):64-67
- [3] 方聃. 湖南钨矿选矿技术研究进展[J]. 矿产保护与利用,2005,(6):36-38.