

高梯度磁选在某低品位钼钨矿选矿中的应用研究

辛贵强¹, 徐晓萍², 韩兆元², 孟庆波²

1. 西藏酒钢天拓矿业投资有限公司, 西藏 拉萨 851600; 2. 广东省资源综合利用研究所, 稀有金属分离与综合利用国家重点实验室, 广东省矿产资源开发和综合利用重点实验室, 广东 广州 510650

摘 要:针对某高钙低品位钼钨矿, 采用“强磁预处理-浮选”工艺回收钼钨, 相较于“直接浮选”, 钼精矿品位、回收率明显提高, 药剂成本大幅降低。为强化磁选预处理效果, 在磁性分析的基础上, 考察了高梯度磁选机磁感应强度、脉动冲次以及聚磁介质直径对强磁预处理效果的影响。结果表明, 增大磁感应强度、减小脉动冲次, 可提高磁选磁性产品产率, 但钼钨损失随之增大; 适当增大介质直径有利于加强对磁性物的捕捉。经磁选预处理后再浮选钼钨, 钼精矿品位和回收率分别提高 30% 和 16%、药剂成本降低近 50%。

关键词:高梯度磁选; 低品位; 钼钨矿; 磁选预处理

中图分类号:TD952

文献标志码:A

高梯度磁选是一种处理弱磁性矿物的有效分选方法。自 20 世纪 60 年代末 Kolm 等^[1]成功研制出第 1 台高梯度磁选实验装置以来, 高梯度磁选机的研发得到了迅速发展。通过高梯度磁选, 可以预先富集弱磁性有用矿物或抛除弱磁性脉石矿物, 因此在黑色金属、有色金属^[2]及稀有稀土金属^[3]等选矿方面得到了广泛应用。西藏某砂卡岩-斑岩型低品位钼钨矿, 采用“直接粗选”的工艺回收钼钨, 由于矿石入选品位较低, 且含钙脉石矿物量较高, 钼钨分选指标较低。而采用“磁选预处理-浮选”工艺回收钼钨, 分选指标提升明显。本研究通过单因素及多因素交互试验, 考察 SSS-II 型周期式高梯度磁选机^[4]的磁感应强度、脉动冲次以及聚磁介质棒直径对湿式强磁预处理效果的影响, 并通过“磁选预处理-浮选”和“直接浮选”两种方案试验结果对比, 分析说明强磁选预处理该矿样的优越性。

1 矿石性质

试验矿样取自西藏某砂卡岩-斑岩型钼钨矿矿山, 试样多元素分析结果列于表 1, 矿物组成定量检测的结果列于表 2。由表 1、表 2 可知, 该矿样的主要有用元素为钼和钨, 分别主要以白钨矿和辉钼矿的形式存在; 主要脉石矿物为石榴石、透辉石、石英、透闪石、长石, 其次是萤石、绿泥石、云母、方解石、绿帘石等。

2 试验方法

2.1 试验设备

以 SSS-II 型水平磁系周期式高梯度磁选机为试验设备。该设备主要由激磁线圈、磁系部分、转环部分、脉动部分以及给卸矿装置组成, 如图 1 所示。

收稿日期:2017-03-10

作者简介:辛贵强(1969-), 男, 山东济南人, 工程师, 本科。

表 1 原矿化学多元素分析结果
Table 1 The multi-elements analysis of raw ore

元素	WO ₃	Mo	Cu	Pb	Zn	Bi	S	As
含量 w/%	0.25	0.092	0.046	0.013	0.064	0.012	2.31	0.015
元素	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	CaCO ₃	CaF ₂	TFe	P
含量 w/%	44.96	1.93	4.62	16.06	4.73	2.94	15.67	0.021

表 2 试样矿物组成定量检测结果
Table 2 The main contents of minerals for raw ore

矿物	白钨矿	黑钨矿	辉钼矿	辉石	透辉石	透闪石	黑云母	钙铝榴石	钙铁榴石	绿帘石	绿泥石	磷灰石
含量 w/%	0.288	0.007	0.138	2.991	19.381	7.891	0.889	9.998	21.024	0.529	2.4	0.096
矿物	磁黄铁矿	黄铁矿	磁铁矿	菱铁矿	闪锌矿	黄铜矿	石英	长石	萤石	方解石	白云母	其他
含量 w/%	4.898	0.751	2.332	0.448	0.086	0.136	15.748	4.802	3.148	0.832	0.682	0.505

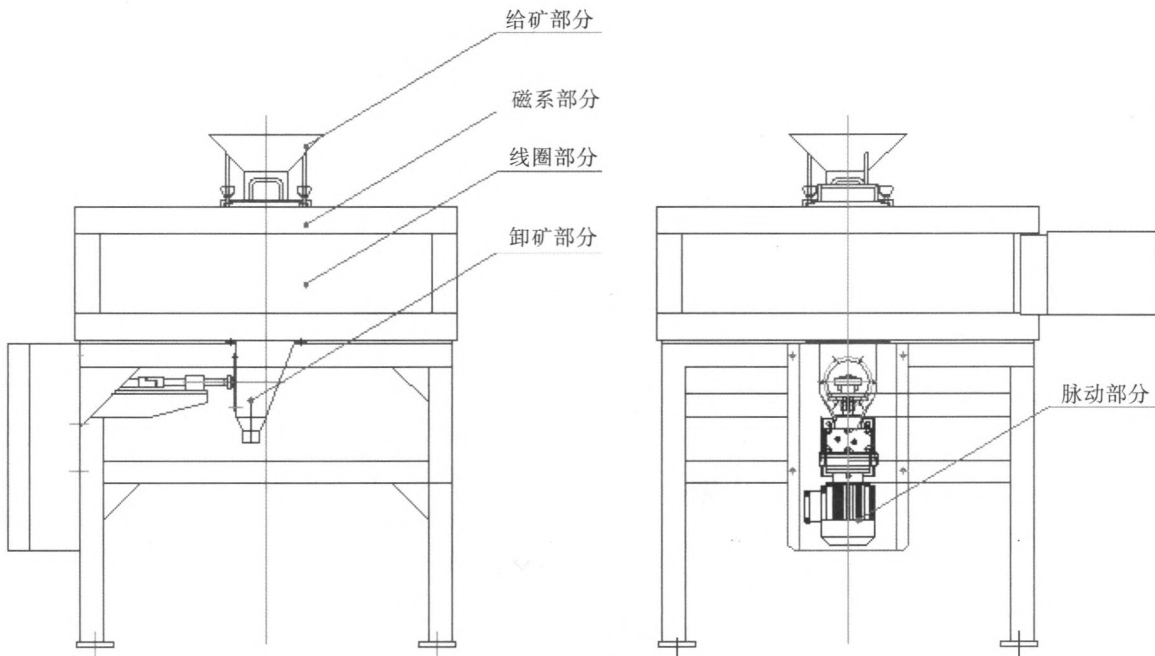


图 1 高梯度磁选机结构示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the high-gradient magnetic separators

2.2 磁性分析

取原矿样 0.074~0.1 mm 粒级作为试验给矿。在梯度磁感应强度下,采用 WCF-3 型电磁分析仪对矿样进行磁性分析。对每次试验获得的磁性产品和非磁性产品称重、计算产率,并采用矿物显微镜对磁性产品的矿物组成进行分析。

2.3 磁选条件试验

试验中开启脉动机构,调整液面至介质盒被浸没并保持液面稳定后,调整激磁电流使背景磁感应强度达到预定值,进行磁选。每次条件试验均需磁感应强度及脉动稳定后再给矿,对每次试验所得的磁性产品和非磁性产品分别烘干称重,分析钨钼品位,计算产率及钨钼回收率。

3 实验结果与讨论

3.1 试样磁性分析

由表 2 可知,试样中约占总矿物质量分数 65% 的石榴子石(钙铁榴石、钙铝榴石)、透闪石、普通辉

石、透辉石、黑云母、绿泥石、绿帘石等脉石矿物均具有弱磁性. 如果通过磁选预先脱除该部分脉石矿物, 不仅能消除这些矿物对浮选过程的影响, 保证生产指标, 降低浮选药剂成本, 提高生产能力, 还可提高钨钼的人选品位. 为此, 对该矿样进行了磁性分析, 分析结果列于表 3.

表 3 试验原矿样矿物磁性分析结果
Table 3 Results of the magnetism analysis for the raw ore

磁感应场强/mT	产品名称	产率/%	主要矿物组成
100	磁性产品	5.81	磁铁矿、磁黄铁矿
300	磁性产品	5.42	磁黄铁矿、绿泥石、少量石榴石、透辉石
500	磁性产品	37.92	黑钨矿、透辉石、透闪石、石榴石、绿泥石
800	磁性产品	24.14	石榴石、少量透辉石、透闪石
1000	磁性产品	4.75	钙铝榴石、少量透闪石
1000	非磁产品	21.96	白钨矿、辉钼矿、黄铁矿、石英、长石、萤石、方解石等

由表 3 可知,当磁感应强度为 1000 mT 时, 75% 以上的脉石矿物分布于磁性产品中,而钨钼矿物在磁性产品中的分布较少. 对磁性产品中的钨、钼进行化学分析, 结果表明损失于磁性矿物中的钨和钼分别占总量的 7.92% 和 6.74%, 钨钼回收率的损失较小. 这说明采用强磁选处理该矿样, 可预先抛除大部分磁性脉石. 但需进一步开展磁选条件试验, 以验证采用强磁选预先脱除部分弱磁性脉石矿物, 提高钨钼入选品位的可行性.

3.2 湿式强磁选影响因素条件试验

3.2.1 磁感应强度对湿式强磁预处理效果的影响

在磨矿细度为-0.074mm 占 68% 的条件下, 设置高梯度磁选机脉动冲次为 50 r/min, 考察磁感应强度对湿式强磁预处理效果的影响. 试验结果如图 2 所示. 由图 2 可知, 随着磁选机背景磁感应强度的增大, 非磁性产品的产率减小、钨品位提高、钨回收率降低. 这说明在较高的磁感应强度下, 部分钨矿物会因夹杂而损失于磁性产品中. 因此, 选择适宜的磁感应强度是保证强磁预处理有效分选的条件之一.

3.2.2 脉动冲次对湿式强磁预处理效果的影响

在磨矿细度为-0.074mm 占 68% 的条件下, 设置高梯度磁选机磁感应强度为 270 mT, 考察脉动冲次对湿式强磁预处理效果的影响. 试验结果(图 3)表明, 随着磁选机脉动冲次的增大, 非磁性产品的产

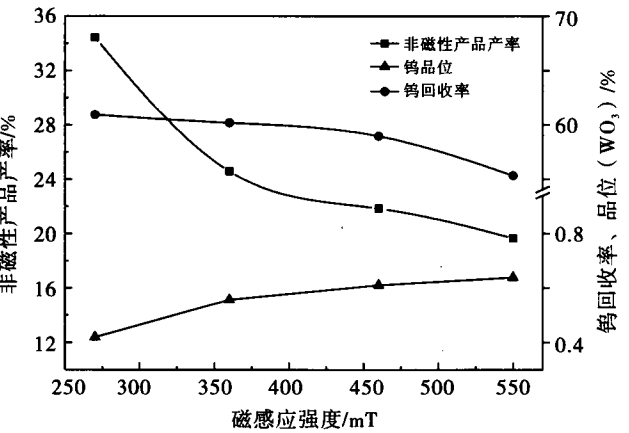


图 2 磁感应强度对湿式强磁预处理效果的影响
Fig. 2 Effects of magnetic field intensity on the magnetic separation

率增加、钨品位降低、钨回收率提高.

3.2.3 磁感应强度、脉动冲次交互作用对湿式强磁预处理效果的影响

单因素试验结果表明, 磁场强度和脉动冲次均对该矿样预先抛尾效果的影响较大. 如果非磁性产品钨钼品位过高, 则其回收率损失较大. 为更好地确认湿式强磁预处理效果, 进行了磁感应强度、脉动冲次的交互试验. 试验条件与结果列于表 4.

由表 4 可知, 磁感应强度越大、脉动冲次越低, 磁性产品产率越大, 钨钼在磁性产品中的损失越大,

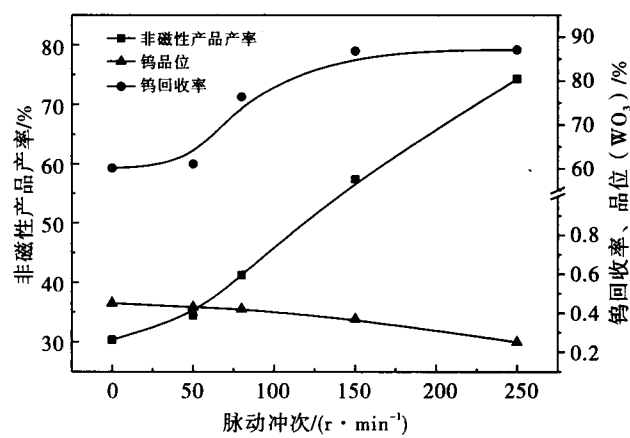


图3 脉动冲次对湿式强磁预处理效果的影响

Fig.3 Effects of pulsating speed on the magnetic separation

经综合考虑磁性产品的产率及有用矿物的品位及损失,确定磁感应强度 640 mT、脉动冲次 150 r/min 为磁选预先抛尾的粗选条件.

3.2.4 相同聚磁介质间隙下介质直径对湿式强磁预处理效果的影响

磁介质直径与磁性矿物颗粒的粒度具有适宜的匹配关系.在单颗粒、单根介质理想的体系下,最佳的磁介质直径与颗粒粒径之比为 2.69.而在实际应用中,磁介质直径与颗粒粒径之比远高于该数值.为考察聚磁介质间隙相同的条件下介质直径对强磁预处理效果的影响,在磨矿细度为-0.074mm 占 68%、磁感应强度为 640 mT、脉动冲次为 150 r/min 的条件下,考察聚磁介质直径分别为 1,2,3mm 时对强磁预处理效果的影响,试验结果列于表 5.

表 4 磁感应强度、脉动冲次的交互试验条件与结果

Table 4 Effects of magnetic field intensity and pulsating speed on the magnetic separation

试验条件		产品名称	产率/%	品位/%		损失率/%	
场强/mT	冲次/(r·min ⁻¹)			WO ₃	Mo	WO ₃	Mo
460	80	磁性产品	71.78	0.090	0.034	28.65	23.59
	150	磁性产品	61.93	0.097	0.027	25.96	19.61
	230	磁性产品	54.65	0.098	0.030	21.16	18.43
550	80	磁性产品	74.88	0.110	0.036	34.23	29.22
	150	磁性产品	67.27	0.089	0.029	26.02	22.11
	230	磁性产品	60.38	0.100	0.029	24.10	18.87
640	80	磁性产品	74.11	0.110	0.037	32.98	29.76
	150	磁性产品	72.77	0.096	0.031	31.04	26.48
	230	磁性产品	66.48	0.100	0.030	27.23	21.29

表 5 介质直径对强磁预处理效果的影响

Table 5 Effects of the rod medium diameter on performance of high-gradient magnetic separation

磁介质直径/mm	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			WO ₃	Mo	WO ₃	Mo
3	磁性产品	64.28	0.08	0.03	23.51	23.43
	非磁产品	35.72	0.48	0.20	76.49	76.57
	合 计	100.00	0.23	0.09	100.00	100.00
2	磁性产品	71.78	0.09	0.03	29.11	23.60
	非磁产品	28.22	0.57	0.28	70.89	76.40
	合 计	100.00	0.23	0.10	100.00	100.00

续表 5

磁介质直径/mm	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			WO ₃	Mo	WO ₃	Mo
1	磁性产品	72.43	0.08	0.03	27.67	24.86
	非磁产品	27.57	0.57	0.27	72.33	75.14
	合 计	100.00	0.22	0.10	100.00	100.00

由表 5 可知,当聚磁介质直径为 2 mm 时,磁性产品的钨品位及回收率均高于磁介质直径为 1,3 mm 的,非磁产品的钨钼品位提高幅度最大.这是由于在介质间隙保持不变的情况下,适当增加介质直径有利于提高充填率,进而提高分选空间的磁感应强度,加强对磁性物的捕捉能力.但介质直径过大,反而会因介质表面的有效吸附面积减少和磁场梯度下降而影响对磁性矿物的捕捉.

3.2.5 强磁预处理试验结果

损失于磁性产品中的钨,其回收率高于 20%,因此需在上述条件试验的基础上进一步试验,以减少钨在磁性产品中的损失,达到预先抛尾的目的.采

用“一粗一精”强磁选工艺对该试样进行预处理试验,试验流程如图 4 所示,试验结果列于表 6.

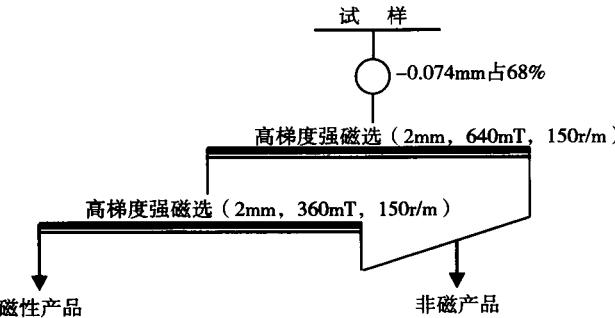


图 4 强磁预处理试验流程

Fig.4 Flowsheet of the high-gradient magnetic separation

表 6 强磁预处理试验结果

Table 6 Results of the high-gradient magnetic separation

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		WO ₃	Mo	WO ₃	Mo
磁性产品	42.63	0.044	0.015	7.97	6.75
非磁性产品	57.37	0.377	0.154	92.03	93.25
试 样	100.00	0.235	0.095	100.00	100.00

由表 6 可知,经一粗一精强磁预处理后,可抛掉占原矿质量分数 42%左右的弱磁性脉石矿物,且钨钼损失率较低.作为浮选作业给矿的非磁性产品,其 WO₃,Mo 品位分别由原矿 0.235%,0.095%提高至 0.38%,0.15%左右,浮选处理量大幅降低.

3.3 强磁预处理对该试样浮选效果的影响

对该试样强磁预处理后,以非磁性产品为给矿进行钨钼浮选回收试验.同时,对矿样不预处理直接进行浮选回收钨钼的试验,试验结果列于表 7.

表 7 “磁选-浮选”方案与“直接浮选”方案试验结果的对比

Table 7 Results of the magnetic-flotation tests and the straight flotation tests

试验方案	药剂成本/(元·t ⁻¹)	产品名称	品位/%		回收率/%	
			WO ₃	Mo	WO ₃	Mo
磁选-浮选	16.32	钨精矿	/	48.85	/	64.86
		钼精矿	65.23	/	74.22	/
直接浮选	30.67	钨精矿	/	40.61	/	67.50
		钼精矿	35.4	/	58.77	/

由表7可知,与“直接浮选”回收钨钼的结果相比,经磁选预处理后再浮选钨钼,钨精矿品位提高30%、回收率提高16%、药剂成本降低近50%,磁选预处理的效果非常理想。这是由于强磁选预处理后,石榴子石(钙铁榴石、钙铝榴石)、透闪石、普通辉石、透辉石等与白钨可浮性相近的含钙脉石矿物被预先脱除,消除了该部分脉石矿物对钨浮选的干扰,使钨精矿品位大幅提高;同时,强磁选预先抛除42%左右的脉石矿物,大大降低了浮选作业的处理量,使浮选药剂成本降低。

4 结 论

(1) 磁选预处理试验结果与磁性分析结果吻合,部分弱磁性脉石矿物通过强磁选可被预先脱除,使钨钼入选品位提高。

(2) 增大磁感应强度、减小脉动冲次,可提高磁选抛尾产率,但钨钼损失随之增大;适当增大介质直

径有利于加强对磁性物的捕捉。

(3) 采用一粗一精的强磁选预处理,可抛除约42%弱磁性脉石矿物,WO₃,Mo品位分别由原矿的0.235%和0.095%提高至0.38%和0.15%左右;经强磁选预处理后,钨钼浮选的分选效果明显改善,钨精矿品位和回收率大幅提高,浮选药剂用量减半。

参考文献:

- [1] KOLM H H, OBERTEUFFER J A, KELLAND D R. High-gradient magnetic separation [J]. Scientific American, 1975, 223(5): 46-54.
- [2] 梁治安, 夏青, 伍红强. 我国几种磁选设备的发展和应用[J]. 金属矿山, 2017, 488(2): 128-134.
- [3] 邓丽红, 周晓彤. 高梯度磁选机回收铋锌铁尾矿中低品位白钨矿的工艺研究[J]. 中国矿业, 2012, 21(1): 103-106.
- [4] 赵明, 许丽敏, 钟森林. SSS-I-2500型高梯度磁选机的研制及工业应用[J]. 矿山机械, 2011, 39(1): 92-95.

Application of high-gradient magnetic separation in the concentration of a low-grade tungsten-molybdenum ore

XIN Guiqiang, XU Xiaoping, HAN Zhaoyuan, MENG Qingbo

1. Tibet Jiuquan Iron & Steel Tiantuo Mining Investment Co., Ltd, Lasa 851600, China; 2. Guangdong Institute of Resources Comprehensive Utilization, State Key Laboratory of Rare Metals Separation and Comprehensive Utilization, Guangdong Provincial Key Laboratory of Development & Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Guangzhou 510650, China

Abstract: For the high-calcium low-grade molybdenum tungsten ore, the use of “high-gradient magnetic separation” process to recover molybdenum tungsten, compared to “direct flotation”, tungsten concentrate grade, the recovery rate increased significantly, the cost of pharmaceuticals significantly reduced. In order to strengthen the pretreatment effect of magnetic separation, the influence of magnetic induction intensity, pulsating pulse and the diameter of the magnetic flux on the magnetic pretreatment of high gradient magnetic separator was investigated on the basis of magnetic analysis. The results show that increasing the magnetic induction intensity and reducing the pulsating pulse times can improve the magnetic product output, but the tungsten and molybdenum losses increase with the increase of the medium diameter. After pretreatment by magnetic separation, the tungsten and molybdenum, tungsten concentrate grade and recovery rate increased by 30% and 16% respectively, and the cost of pharmaceuticals was reduced by nearly 50%.

Key words: high-gradient magnetic separator; low-grade; tungsten-molybdenum ore; pre-magnetic separation