高梯度磁选分选白云鄂博萤石矿物研究*

卢方宏[1], 裴 斌[2], 张 荣[1], 曾永杰[1]

(1. 包头钢铁(集团)有限责任公司宝山矿业公司, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司巴润矿业分公司, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 白云鄂博萤石浮选精矿经超导磁分离技术处理后, 超导精矿中萤石品位从85.21%提高至96.84%, 稀土品位从5.29%降低至0.11%。利用超导高梯度磁选方法, 可以有效提高白云鄂博矿萤石浮选精矿中萤石品位和降低稀土矿物含量, 可缩短萤石精矿的浮选流程, 减少药剂用量, 降低其他功耗, 有效的节约了成本。

关键词: 超导磁选; 萤石; 分选

中图分类号: TD97; TD924 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2021)04-0004-06

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.04.002

Study on Separation of Fluorite Mineral for Bayan Obo Iron Mine with High Gradient Magnetic Separation

Lu Fang-hong[1], *Pei Bin*[2], *Zhang Rong*[1], *Zeng Yong-jie*[1]

(1. *Baoshan Mining Co. of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Barun Mining Branch Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The grade of fluorite in superconducting concentrate is increased from 85.21% to 96.84% and the grade of rare earth is decreased from 5.29% to 0.11% after the fluorite flotation concentrate of Bayan Obo Iron Mine is processed by superconducting magnetic separation technology. The grade of fluorite in fluorite flotation concentrate of Bayan Obo Iron Mine can be effectively improved, content of rare earth is decreased, flotation process of fluorite concentrate is shortened, amount of reagents and other power consumption are reduced with the superconducting high gradient magnetic separation so that the costs are effectively saved.

Key words: superconducting magnetic separation; fluorite; separation

白云鄂博矿是我国著名的特大型铁、稀土、铌等多金属共伴生矿, 资源丰富, 为世界罕见, 伴生有丰富的萤石资源[1-4]。由于矿石中矿物种类多, 矿石性质复杂, 而其中萤石矿物品位低、嵌布粒度细, 对萤石资源的有效分离回收造成很大困难[5-8]。包钢采用"弱磁选—强磁选—浮选"的工艺流程回收铁矿物与稀土矿物的同时, 对稀土尾矿进行萤石回收。经过多年研究, 包钢(集团)宝山矿业公司萤石生产线的萤石生产攻关取得了很多成果, 但因稀土矿物与脉石矿物可浮性极好, 在药剂方面没有较大突破的情况下, 萤石和稀土矿物的浮选分离很难取得进一步成果。与稀土矿物比较, 萤石属于无磁性矿物,

* **收稿日期**: 2021-03-05

作者简介: 卢方宏(1986-), 男, 内蒙古包头市人, 工程师, 现从事选矿技术研究工作。

利用高梯度超导磁选有可能将它们分离[9-10]。

1　试验矿样及设备

矿样取自宝山矿业公司萤石浮选生产线，为萤石浮选精矿。试样的主要化学成分、矿物组成见表 1、表 2。

表 1　原矿化学成分(质量分数)　%

TFe	REO	Nb_2O_5	Sc_2O_3	ThO_2	S	CaO	Al_2O_3	MgO	SiO_2	CaF_2	BaO	Zn	K_2O	Na_2O	MgO
1.50	5.29	0.052	0.009	0.057	0.598	62.24	0.046	0.25	0.41	85.27	2.55	0.011	0.038	0.056	0.25

由表 1 可知，原矿铁品位为 1.50%、萤石品位为 85.27%、稀土品位为 5.29%，其中稀土(REO) 含量较高，对萤石精矿影响较大，应尽量抛除。

表 2　原矿矿物组成分析(体积分数)　%

样品名称	萤石	铁矿物	白云石	稀土矿物	重晶石	磷灰石	其它
浮选七精	81.23	2.42	1.19	9.56	0.50	1.71	2.59

从表 2 可知，原矿矿物组成主要以萤石为主，脉石矿物主要有稀土矿物、重晶石、磷灰石、白云石。其中，稀土矿物最多，占 9.56%。

将试验矿样制成油浸薄片，矿物组织结果见图 1、图 2。

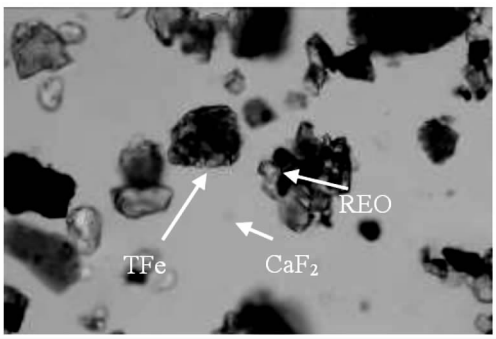


图 1　萤石与稀土的连生体

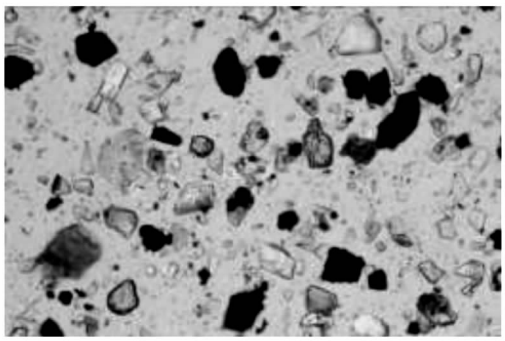


图 2　萤石与铁矿物包裹体

从图 1、图 2 可知，矿样中萤石粒度较小，25 μm 以下颗粒占 70% 以上，且与稀土、铁存在着大量的连生体与包裹体，单体较少。重晶石、磷灰石多以粒度较小单体出现。

本试验采用某厂家串罐往复式低温高梯度超导磁选机进行磁选试验，磁选机介质为钢毛，按照钢毛直径分为 A_2: 0.07 mm、A_3: 0.08 mm、A_4: 0.09 mm、A_5: 0.10 mm。

2　结果与讨论

试验采用图 3 流程进行。

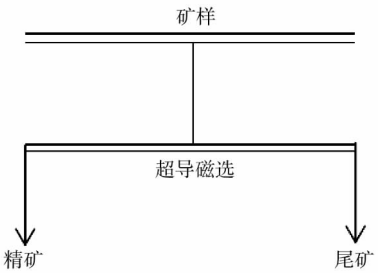


图 3　磁选试验流程

2.1　不同品位萤石矿物磁选试验

固定给矿浓度 20%，磁场强度 5 T，磁介质 $A_2 + A_4$，取品位为 85.24% 和 78.79% 的萤石精矿矿样各 1 kg，试验编号为 1#、2#，对其进行磁选试验，结果见表 3、表 4。

表3 萤石矿物磁选对比试验结果

试验编号	试样名称	质量/g	产率/%	萤石品位/%	回收率/%
1#	原矿	973.50	100.00	85.24	100.00
	磁选精矿	611.00	62.76	97.04	71.45
	磁选尾矿	362.50	37.24	65.35	28.55
2#	原矿	978.05	100.00	78.79	100.00
	磁选精矿	547.25	55.95	96.70	68.67
	磁选尾矿	430.80	44.05	56.05	31.33

表4 稀土矿物磁选对比试验结果(质量分数) %

试验编号	试样名称	产率	稀土品位	回收率
1#	原矿	100.00	5.28	100.00
	磁选精矿	62.76	0.10	1.19
	磁选尾矿	37.24	14.00	98.81
2#	原矿	100.00	6.33	100.00
	磁选精矿	57.02	0.18	1.62
	磁选尾矿	42.98	14.50	98.38

由表3可知,萤石品位为85.24%,超导磁选后萤石精矿品位可达到97.04%,回收率高达71.45%。由表4可知,稀土品位在超导磁选精矿中明显降低。

2.2 磁选强度对矿物分选影响试验

固定给矿浓度20%,萤石品位为85.25%,稀土品位为5.32%,磁介质 $A_2 + A_4$,磁场强度分别调至3 T、5 T和7 T进行试验,试验结果见表5、表6。

表5 磁选强度对萤石矿物分选影响

磁场强度/T	试样名称	质量/g	产率/%	萤石品位/%	回收率/%
3	原矿	974.50	100.00	85.25	100.00
	磁选精矿	615.00	63.11	94.80	70.18
	磁选尾矿	359.50	36.89	68.90	29.82
5	原矿	973.50	100.00	85.25	100.00
	磁选精矿	611.00	62.76	97.05	71.45
	磁选尾矿	362.50	37.24	65.35	28.55
7	原矿	976.23	100.00	85.25	100.00
	磁选精矿	601.11	61.57	96.19	69.44
	磁选尾矿	375.12	38.43	67.82	30.56

表6 磁选强度对稀土矿物分选影响

磁场强度/T	试样名称	质量/g	产率/%	稀土品位/%	回收率/%
3	原矿	974.50	100.00	5.32	100.00
	磁选精矿	615.00	63.11	0.13	1.54
	磁选尾矿	359.50	36.89	14.2	98.46
5	原矿	973.50	100.00	5.32	100.00
	磁选精矿	611.00	62.76	0.10	1.19
	磁选尾矿	362.50	37.24	14.02	98.81
7	原矿	976.23	100.00	5.32	100.00
	磁选精矿	601.11	61.57	0.09	1.05
	磁选尾矿	375.12	38.43	13.6	98.95

由表5试验结果可知,随着磁场强度的升高,磁选萤石精矿品位和回收率呈现先升高后降低的趋势。表6试验结果表明,由于稀土矿物与其他矿物的伴生和共生影响,磁选尾矿的稀土品位随着磁场强度的升高而降低,回收率逐渐升高,综合考虑萤石精矿指标和回收率,确定5 T场强为最佳试验结果。

2.3　磁介质对矿物分选影响试验

固定给矿浓度 20%，萤石品位为 85.26%，稀土品位为 5.25%，磁场强度为 5 T，更换磁选机介质，试验结果见表 7，表 8。

表 7　磁介质对萤石矿物分选影响

磁介质	试样名称	质量/g	产率/%	萤石品位/%	回收率/%
$A_2 + A_4$	原矿	977.5	100.00	85.26	100.00
	磁选精矿	615.0	62.92	97.03	71.60
	磁选尾矿	362.5	37.08	65.30	28.40
$A_3 + A_5$	原矿	977.4	100.00	85.26	100.00
	磁选精矿	620.2	63.45	95.06	70.76
	磁选尾矿	357.2	36.55	68.20	29.24

表 8　磁介质对稀土矿物分选影响

磁介质	试样名称	质量/g	产率/%	萤石品位/%	回收率/%
$A_2 + A_4$	原矿	977.5	100.00	5.25	100.00
	磁选精矿	615.0	62.92	0.10	1.20
	磁选尾矿	362.5	37.08	14.00	98.80
$A_3 + A_5$	原矿	993.5	100.00	5.25	100.00
	磁选精矿	629.8	63.39	0.16	1.93
	磁选尾矿	363.7	36.61	14.11	98.07

表 7、表 8 试验结果表明，当超导磁选机换介质后，超导磁选萤石精矿品位和回收率有所下降，稀土品位从 0.10% 提高至 0.16%，回收率从 1.20% 提高至 1.93%，不利于萤石精矿的后续产业应用。

2.4　矿浆浓度对矿物分选影响试验

固定给矿浓度 20%，萤石品位为 85.20%，磁场强度为 5 T，磁介质 $A_2 + A_4$，给矿浓度调为 14%、17%、20% 进行试验，试验结果见表 9。

表 9　矿浆浓度对萤石矿物分选影响

矿浆浓度/%	试样名称	质量/g	产率/%	萤石品位/%	回收率/%
14	原矿	967.60	100.00	85.20	100.00
	磁选精矿	633.70	65.49	94.50	72.64
	磁选尾矿	333.90	34.51	67.55	27.36
17	原矿	976.49	100.00	85.20	100.00
	磁选精矿	628.55	64.37	97.02	73.17
	磁选尾矿	347.94	35.63	64.28	26.83
20	原矿	967.56	100.00	85.20	100.00
	磁选精矿	621.40	64.22	97.04	73.28
	磁选尾矿	346.16	35.78	63.99	26.72

表 9 试验结果表明，随着给矿浓度升高，萤石精矿品位逐渐升高，当给矿浓度为 17% 与 20% 时，萤石精矿品位与回收率相差不大，为符合生产要求，将给矿浓度定为 20%。

2.5　稳定试验

综合考虑萤石浮选精矿超导磁选中萤石精矿品位和回收率指标，固定给矿浓度 20%，萤石品位为 85.21%，稀土品位为 5.29%，磁场强度为 5 T，磁介质 $A_2 + A_4$，进行稳定试验，试验结果见表 10—表 13。

表10 萤石矿物稳定试验

序号	试样名称	质量/g	产率/%	萤石品位/%	回收率/%
1	原矿	973.5	100.00	85.15	100.00
	磁选精矿	611.3	62.79	96.80	71.38
	磁选尾矿	362.2	37.21	65.50	28.62
2	原矿	977.6	100.00	85.17	100.00
	磁选精矿	614.2	62.83	96.20	70.97
	磁选尾矿	363.4	37.17	66.52	29.03
3	原矿	974.0	100.00	85.22	100.00
	磁选精矿	609.8	62.61	97.03	71.28
	磁选尾矿	364.2	37.39	65.45	28.72
4	原矿	973.6	100.00	85.38	100.00
	磁选精矿	607.9	62.44	97.12	71.02
	磁选尾矿	365.7	37.56	65.87	28.98
5	原矿	979.1	100.00	85.12	100.00
	磁选精矿	612.5	62.56	97.07	71.34
	磁选尾矿	366.6	37.44	65.16	28.66

萤石矿物稳定试验平均结果见表11。

表11 萤石矿物稳定试验平均结果(质量分数) %

	原矿品位	磁选精矿品位	磁选精矿回收率
平均	85.21	96.84	71.20

表12 稀土矿物稳定试验(质量分数) %

序号	试样名称	产率	稀土品位	回收率
1	原矿	100.00	5.29	100.00
	磁选精矿	62.79	0.12	1.43
	磁选尾矿	37.21	14.01	98.57
2	原矿	100.00	5.29	100.00
	磁选精矿	62.83	0.12	1.43
	磁选尾矿	37.17	14.03	98.57
3	原矿	100.00	5.30	100.00
	磁选精矿	62.61	0.10	1.18
	磁选尾矿	37.39	14.01	98.82
4	原矿	100.00	5.30	100.00
	磁选精矿	62.44	0.11	1.30
	磁选尾矿	37.56	13.93	98.70
5	原矿	100.00	5.29	100.00
	磁选精矿	62.56	0.09	1.06
	磁选尾矿	37.44	13.97	98.94

稀土矿物稳定试验平均结果见表13。

表13 稀土矿物稳定试验平均结果(质量分数) %

	原矿品位	磁选精矿品位	磁选精矿回收率
平均	5.29	0.11	1.28

表11、表13试验化验平均结果表明,萤石给矿品位平均为85.21%,稀土给矿品位平均为5.29%,萤石精矿回收率以71.20%为标准,稀土精矿回收率以1.28%为标准,平均数据回收率相差不大,都符合化验规程误差要求,试验数据准确,由此可得,调浆至给矿浓度20%,磁场强度5 T,磁介质 A_2 + A_4 的磁选条件下,可获得品位为96.84%、回收率为71.20%的萤石精矿,稀土品位从5.29%降至0.11%。

3 结论

(1) 在萤石品位为85.21%、稀土品位为5.29%的原矿条件下,通过高梯度超导磁选,可获得萤石品位96.84%、稀土品位0.11%的萤石精矿。

(2) 超导磁选技术可实现弱磁性稀土矿物与无磁性萤石矿物的有效分离,从而降低可浮性相近的稀土矿物对萤石精矿的不利影响。

参 考 文 献

[1] 余永富. 我国稀土矿选矿技术及其发展[J]. 中国矿业大学学报,2001,30(6):537-542.

[2] 李梅,高凯,柳召刚. 白云鄂博尾矿萤石浮选工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分),2014,(6):55-58.

[3] 余永富. 白云鄂博矿稀土、铌资源综合利用研究意义重大[J]. 稀土信息,2007,(8):8-9.

[4] 程建忠,侯运炳,车丽萍. 白云鄂博矿床稀土资源的合理开发及综合利用[J]. 稀土,2007,28(1):70 –74.
[5] 马鹏起. 稀土报告文集[M]. 北京: 冶金工业出版社,2012.
[6] 曹永丹,曹钊,李解,等. 白云鄂博稀土浮选研究现状及进展[J]. 矿山机械,2013,41(1):93 –96.
[7] 李春龙,李小钢,徐广尧. 白云鄂博共伴生矿资源综合利用技术开发与产业化[J]. 稀土,2015,36(5):151 –158.
[8] 马莹,李娜,王其伟,等. 白云鄂博矿稀土资源的特点及研究开发现状[J]. 中国稀土学报,2016,34(6):641 –649.
[9] 余运佳. 超导磁分离技术的发展[J]. 矿冶工程,1990,10(8):57 –60.
[10] 黄万抚,洪波,王兆连,等. 超导磁选技术提纯高岭土试验研究[J]. 有色金属科学与工程,2017,8(2):79 –82.

信息

本表收录较为常见的按国家规定已停止使用的计量单位,按中文名称音序排列。“含义”栏或说明该计量单位的属性及其与法定计量单位的换算方式,或说明与规范名称的相互关系。

中文名称	英文	含义
盎司	ounce; oz	质量的英制单位,为 28.349 5 克。
磅	pound; lb	质量的英制单位,为 453.592 37 克。
磅力	pund – force; lbf	力的英制单位,为 4.448 22 牛顿。
磅力每平方英寸	pound – force per square inch; lbf/in^2	压力的英制单位,为 6 894.76 帕斯卡。
磅每立方英尺	pound per cubic foot; lb/ft^3	体积质量的英制单位,为 16.018 5 千克每立方米。
磅每平方英尺	pound per square foot; lb/ft^2	面积质量的英制单位,为 4.882 43 千克每平方米。
磅每英尺	pound per foot; lb/ft	线质量的英制单位,为 1.488 16 千克每米。
标准大气压	standard atmosphere; normal atmosphere; atm	液体压力的非法定计量单位,为 101 325 帕斯卡。
标准煤	coal equivalent	能量量值的非法定计量单位,是设想 1 千克煤具有 7 000国际蒸汽表卡的能量。
长吨	long ton; l ton	“英吨”为 1 016.05 千克时的异名。
尺		长度的市制单位,为 1/3 米。
呎		“英尺”的异名。
寸		长度的市制单位,为 1/30 米。
吋		“英寸”的异名。
达因	dyne; dyn	力的厘米克秒制单位,为 0.000 01 牛顿。