

# 萨尔哈布塔勒蓝晶石矿选矿试验研究

赵建仓, 贾俊伟, 王文丹, 曹刚, 张福德, 李谨善

(酒泉钢铁(集团)有限责任公司地质矿产勘查研究院, 甘肃 嘉峪关 735100)

**摘要:** 萨尔哈布塔勒蓝晶石矿产于石榴蓝晶二云母石英片岩中,成分复杂,给有效分选带来难度。针对这个特点,创新性的采用“原矿-破碎-干磁抛尾-磨矿-螺旋溜槽抛尾-再磨-蓝晶石浮选-磁选除铁”工艺流程方案回收蓝晶石矿,试验结果为:蓝晶石精矿产率 7.15%,  $Al_2O_3$  品位 58.74%,  $Al_2O_3$  回收率 20.97%, 蓝晶石矿物量 95.26%, 矿物回收率 75.53%;溜槽尾矿采用“筛分-重选-磁选”工艺流程回收白云母,干磁尾矿采用“重选-筛分-磁选”工艺流程回收石榴子石、白云母、黑云母。试验结果为:白云母精矿产率 17.57%, 矿物量 98%;黑云母精矿产率 9.48%, 矿物量 90%;石榴子石精矿产率 3.36%, 矿物量 95%。试验表明该矿除蓝晶石矿物可利用外,伴生石榴子石、白云母、黑云母等矿物也可综合回收利用。最终产品蓝晶石精矿质量指标达到 LJ-52 国家标准要求。

**关键词:** 蓝晶石矿;选矿;工艺流程;萨尔哈布塔勒;阿克塞县

doi: 10.3969/j.issn.1000-6532.2017.06.015

中图分类号: TD97; TQ175 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2017)06-0072-06

蓝晶石矿非常稀缺,在我国仅江苏沐阳韩山蓝晶石矿和河南南阳隐山蓝晶石矿选矿有成果报道<sup>[1-8]</sup>。萨尔哈布塔勒蓝晶石矿是近年在甘肃省阿克塞县发现的大型蓝晶石矿床,该矿 2010 年由酒泉钢铁(集团)有限责任公司投资开展地质工作,到目前地质工作全部结束,已进入实质性开发阶段。本次研究的目的是通过选矿试验系列研究,确定出选矿工艺流程方案,为评价该资源开发利用的可行性提供技术支持。通过原矿粒度筛析试验、蓝晶石矿回收试验、伴生矿物回收试验等研究,最终确定采用“原矿-破碎-干磁抛尾-磨矿-螺旋溜槽抛尾-再磨-蓝晶石浮选-磁选除铁”工艺流程方案回收蓝晶石矿。溜槽尾矿采用“筛分-重选-磁选”工艺流程回收白云母,干磁尾矿采用“重选-筛分-磁选”工艺流程回收石榴子石、白云母、黑云母。试验表明该矿蓝晶石矿物可选性较好,除蓝晶石矿物可利用外,伴生石榴子石、白云母、黑云母等矿物也可综合回收利用。对照《中华人民共和国黑色冶金行业蓝晶石、矽线石、硅线石标准》(YB/T 4032—2010),确定蓝晶石精矿质量指标达到 LJ-52 国家标准要求。

## 1 矿石性质

### 1.1 矿石化学组成

原矿化学多项分析结果见表 1。结果表明,原矿中主要有用组分为  $Al_2O_3$ , 含量 19.37%; 主要有害组分为  $SiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ , 次要有害组分为  $TiO_2$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$  等。

表 1 原矿化学多项分析结果/%

Table 1 Main Chemical composition analysis of the raw ore

$Al_2O_3$	CaO	MgO	$SiO_2$	$Na_2O$	$K_2O$	$TiO_2$
19.37	0.57	1.63	63.76	0.92	3.34	0.94
S	$Fe_2O_3$	MnO	$P_2O_5$	$ZrO_2$	LOS	蓝晶石
0.17	7.37	0.11	0.081	0.029	1.7	9.02

### 1.2 矿石物质组成

原矿主要矿物相对含量见表 2。工艺矿物学研究结果表明,赋矿岩石为石榴蓝晶二云母石英片岩。片岩中主要矿物为蓝晶石、黑云母、白云母、石榴子石、石英,次要矿物为斜长石、绿泥石、磁黄铁矿。

收稿日期: 2016-04-13; 改回日期: 2016-08-11

作者简介: 赵建仓(1966-),男,高级工程师,主要研究方向为地质矿产勘查和矿床成因研究。

表2 主要矿物相对含量/%

Table 2 Relative content of main minerals

蓝晶石	黑云母	白云母	石榴子石	石英	斜长石
8.91	23.5	22.3	9.5	31.6	2.3
绿泥石	电气石	十字石	磁黄铁矿	磁铁矿	黄铜矿
1.2	少量	少量	0.3	少量	微量

### 1.3 矿石结构构造

矿石中黑云母、白云母等片状矿物构成鳞片变晶结构。黑云母、蓝晶石和石榴子石中多包裹细小的石英、磁铁矿和白云母,构成包含结构。部分蓝晶石被绢云母交代,部分黑云母蚀变为绿泥石,构成蚀变交代结构。含矿岩石为石榴蓝晶二云母石英片岩,具片状构造。暗色矿物与石英呈条带状产出,构成条带状构造。

### 1.4 矿石中主要矿物嵌布特征和粒度特征

矿石中主要矿物粒度统计结果见表3。结果表明,蓝晶石呈长柱状,与黑云母、白云母紧密共生,粒度 $\geq 1$  mm 90.51%;黑云母与白云母呈片状,与蓝晶石关系密切,粒度接近,粒度 $\geq 1$  mm 89.79%;石榴子石根据X衍射分析结果为铁铝榴石,粒度 $\geq 1$  mm 96.9%。蓝晶石和石榴子石中包裹有石英和磁铁矿,石英和磁铁矿粒度较细,对单体解离增加了难度。

表3 主要矿物粒度统计结果

Table 3 Statistics of particle size of the main minerals

矿物	粒级/mm	>5	5~3	3~2	2~1	<1
蓝晶石	线长/mm	105.8	70.4	45	28.4	26.2
	分布率/%	38.36	25.53	16.32	10.3	9.49
	累计分布率/%	38.36	63.89	80.21	90.5	100
云母	线长/mm	102.3	196.5	87.5	51.6	49.8
	分布率/%	20.98	40.29	17.94	10.58	10.21
	累计分布率/%	20.98	61.27	79.21	89.79	100
石榴子石	线长/mm	142.5	203	87.5	51	15.5
	分布率/%	28.53	40.64	17.52	10.21	3.1
	累计分布率/%	28.53	69.17	86.69	96.9	100

## 2 流程确定

根据矿石性质,确定选矿试验拟定选矿方案为:

(1)对于主要矿物蓝晶石,采用“原矿-破碎-干磁抛尾-磨矿-螺旋溜槽抛尾-再磨-蓝晶石浮选-磁选除铁”工艺流程进行回收;(2)对于溜槽尾矿中的白云母,采用“筛分-重选-磁选”工艺流程回收;(3)对于干磁尾矿中的石榴子石、白云母、黑云母,采用“重选-筛分-磁选”工艺流程进行回收。

## 3 结果与讨论

### 3.1 原矿粒度筛析试验

为了解蓝晶石矿物的富集特征,对原矿进行-3 mm 粒度筛析试验,试验结果见表4。结果表明,蓝晶石矿物在粗粒级别能够得到富集。

表4 原矿-3 mm 粒度筛析试验结果

Table 4 Sieve analysis test results of -3 mm size of the ore

粒度组成/mm	产率/%	品位/%		分布率/%	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石
-3+2	12.81	19.15	9.66	12.90	14.20
-2+1	27.62	19.38	10.28	28.17	32.58
-1+0.5	26.32	19.81	10.86	27.43	32.80
-0.5+0.3	6.59	19.35	8.23	6.70	6.22
-0.3+0.15	18.23	18.53	5.53	17.77	11.57
-0.15+0.074	5.06	16.27	3.07	4.33	1.78
-0.074+0.045	2.05	14.87	2.85	1.60	0.67
-0.045+0.03	0.80	14.08	1.23	0.59	0.11
-0.03	0.52	18.17	1.01	0.50	0.06
原矿	100.00	19.01	8.71	100.00	100.00

### 3.2 蓝晶石回收试验

选矿试验按照“原矿-破碎-干磁抛尾-非磁性物磨矿-螺旋溜槽抛尾-再磨-蓝晶石浮选-磁选除铁”工艺流程进行。具体做法是:采用原矿-3 mm 干磁抛尾,抛掉约40%的磁性物,磨矿至-0.15 mm 含量占47%时采用螺旋溜槽抛尾,抛去约17%的云母矿物与细泥,采用柠檬酸与聚丙烯酰胺组合抑制剂抑制云母、石英等脉石矿物,在酸性条件下直接浮选蓝晶石,然后对浮选精矿通过磁选剔除铁杂质。

#### 3.2.1 干磁抛尾

在磁场强度796 kA/m,滚筒转速30 r/min的条件下对原矿-3 mm 进行干磁抛尾试验,试验结果见表5。结果显示:随着干磁抛尾次数增加,大部分磁性矿物被抛出。经四次干磁抛尾,非磁性矿物中:蓝晶石富集,品位可达13.77%,回收率达90.58%。但Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量仍然较高,含量为2.32%。

表5 原矿-3 mm 直接磁选试验结果

Table 5 Direct magnetic separation test results of -3 mm size of the ore

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
磁性物1	30.78	19.71	1.98	17.23	31.16	6.76	71.84
磁性物2	5.62	20.25	2.15	7.65	5.85	1.34	5.82

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
磁性物3	2.61	21.16	2.48	6.93	2.84	0.72	2.45
磁性物4	1.65	21.68	3.34	5.56	1.84	0.61	1.24
非磁性物	59.34	19.13	13.77	2.32	58.31	90.58	18.65
原矿	100.00	19.47	9.02	7.38	100.00	100.00	100.00

3.2.2 螺旋溜槽抛尾

通过螺旋溜槽抛尾试验来考察不同磨矿细度的分选效果,试验结果见表6。结果显示,随着磨矿细度的增加,溜重蓝晶石品位增加,蓝晶石回收率降低。可见磨矿细度为-0.15 mm 47%时为宜。

表6 螺旋溜槽抛尾试验结果

Table 6 Spiral chute tail test results

磨矿细度 -0.15 mm 含量/%	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石
15	溜重	76.33	19.12	17.63	74.92	97.51
	溜轻	23.67	20.64	1.45	25.08	2.49
	原矿	100.00	19.48	13.80	100.00	100.00
47	溜重	71.01	17.34	18.47	61.14	95.20
	溜轻	28.99	27.00	2.28	38.86	4.80
	原矿	100.00	20.14	13.78	100.00	100.00
64	溜重	59.75	17.20	20.15	50.00	87.48
	溜轻	40.25	25.53	4.28	50.00	12.52
	原矿	100.00	20.55	13.76	100.00	100.00

3.2.3 蓝晶石浮选

表7 浮选精矿磁选试验结果

Table 7 Magnetic separation test results of flotation concentrate

磁场强度/ (kA·m <sup>-1</sup> )	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
358	蓝晶石	97.63	57.26	1.30	98.17	79.29
	磁性物	2.37	44.07	13.99	1.83	20.71
	给矿(浮选精矿)	100.00	56.95	1.60	100.00	100.00
478	蓝晶石	94.96	59.09	0.99	95.93	64.25
	磁性物	5.04	47.28	10.38	4.07	35.75
	给矿(浮选精矿)	100.00	58.49	1.46	100.00	100.00
597	蓝晶石	92.01	60.37	0.89	93.27	57.48
	磁性物	7.99	50.20	7.58	6.73	42.52
	给矿(浮选精矿)	100.00	59.56	1.42	100.00	100.00

对螺旋溜槽精矿再磨,磨矿细度-0.15 mm 75%时进行浮选回收蓝晶石。浮选探索试验结果显示,通过4精2扫,精矿品位和回收率大幅提高,取得较好的分选指标,但精矿中有害组分Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量仍然较高,含量达1.61%。对浮选精矿还须采用磁选方式剔除铁杂质。

在脉动100 r/min的条件下,对浮选精矿进行

磁选除铁,试验结果见表7。结果显示:随着磁场强度的增加,精粉中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位提高,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量明显下降。当磁场强度为478 kA/m时,蓝晶石精矿中Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量<1%。故选择磁场强度为478 KA/m较为合适。

3.2.3.1 捕收剂(Z-401)用量试验

捕收剂用量试验结果见表8。结果显示,随着捕收剂用量增加,粗精矿Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位降低,当捕收剂用量增加至粗选400 g/t,扫选200 g/t时,浮选尾矿Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位反而增加。因此选择捕收剂用量粗选320 g/t扫选160 g/t为宜。

表8 捕收剂用量试验结果

Table 8 Test results of collector dosage

药剂用量 (g·t <sup>-1</sup> )	产品名称	产率/%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
			品位/%	回收率/%
粗选160 扫选80	粗精矿	10.83	30.72	19.23
	扫精	10.90	32.35	20.38
	尾矿	78.27	13.35	60.39
	合计	100.00	17.30	100.00
粗选210 扫选100	粗精矿	30.84	25.99	47.38
	扫精	20.12	19.67	23.40
	尾矿	49.04	10.08	29.22
	合计	100.00	16.92	100.00
粗选400 扫选200	粗精矿	35.44	27.77	56.04
	扫精	24.46	15.40	21.45
	尾矿	40.10	9.86	22.51
	合计	100.00	17.56	100.00
粗选400 扫选200	粗精矿	52.57	22.80	69.17
	扫精	35.17	10.29	20.89
	尾矿	12.26	14.05	9.94
	合计	100.00	17.33	100.00

3.2.3.2 浮选浓度试验

进行的浮选浓度试验结果见表9。结果显示,随着浮选浓度的增大,精矿Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位与回收率都在增加。但当浮选浓度太大时,浮选机会出现沉槽现象,因此选择浮选浓度为30%较为合适。

表9 浮选浓度试验结果

Table 9 Test results of flotation concentration

浮选浓度/%	产品名称	产率/%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
			品位/%	回收率/%
22	粗精矿	29.54	28.00	46.67
	扫精	12.74	25.40	18.26
	尾矿	57.72	10.77	35.07
	合计	100.00	17.72	100.00

浮选浓度/%	产品名称	产率/%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 品位/%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 回收率/%
30	粗精矿	35.44	27.77	56.04
	扫精	24.46	15.40	21.45
	尾矿	40.10	9.86	22.51
	合计	100.00	17.56	100.00
36	粗精矿	35.89	31.74	64.06
	扫精	23.89	13.00	17.46
	尾矿	40.22	8.17	18.48
	合计	100.00	17.78	100.00

3.2.3.3 浮选时间试验

为了了解一次粗选两次扫选工程中较佳浮选时间,进行浮选时间试验,试验结果见表10。结果显示:在第一时间段浮选精矿 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位较高,但随着浮选时间的延长精矿 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位逐渐降低。浮选时间:粗选6 min、扫选一4 min、扫选二2 min为宜。

表10 浮选时间试验结果

Table 10 Test results of flotation time

产品名称	浮选时间/min	作业产率/%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 品位/%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 作业回收率/%
粗精矿1	2	20.60	35.71	40.45
粗精矿2	2	6.66	27.73	10.16
粗精矿3	2	2.51	22.16	3.06
扫精1	2	7.54	27.14	11.25
扫精2	2	1.81	18.92	1.88
扫精3	1	5.32	23.48	6.87
扫精4	1	1.64	16.44	1.48
尾矿	-	53.92	8.38	24.85
合计		100.00	18.18	100.00

3.2.3.4 精选段抑制剂用量试验

在精选段再行进行抑制剂柠檬酸用量试验,试验结果见表11。结果显示:当蓝晶石精选抑制剂用量为80 g/t时,蓝晶石精矿中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位为58.74%,蓝晶石品位95.26%,精矿中 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位为0.85%,达到较好的分选指标。

表11 精选试验结果

Table 11 Test results of cleaning separation

产品名称	作业产率/%	品位/%			作业回收率/%		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
蓝晶石	17.27	58.74	95.26	0.85	59.33	87.77	15.34
磁性物	1.11	41.21	49.33	14.67	2.68	2.92	17.02
中矿4	0.98	19.42	7.21	8.97	1.11	0.38	9.19
中矿3	2.36	14.32	6.68	6.06	1.98	0.84	14.95
中矿2	5.78	11.59	4.95	2.27	3.92	1.53	13.72
中矿1	17.48	8.88	2.95	0.78	9.08	2.75	14.25
尾矿	55.02	6.81	1.30	0.27	21.91	3.82	15.53
合计	100.00	17.10	18.74	0.96	100.00	100.00	100.00

3.2.4 蓝晶石回收综合条件试验

在确定的较佳条件试验的基础上进行综合条件验证试验,最终确定采用“原矿-破碎-干磁抛尾-磨矿-螺旋溜槽抛尾-再磨-蓝晶石浮选-磁选除铁”工艺流程方案回收蓝晶石矿,试验流程见图1,试验最终结果见表12,精矿产品检查见表13。由表12可以看出,蓝晶石精矿产率7.15%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位58.74%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>回收率20.97%,蓝晶石矿物量95.26%,蓝晶石矿物回收率75.53%。通过对蓝晶石精矿进行化学多项分析,有害组分 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>等大幅下降,表明该流程完全适宜于该矿蓝晶石矿的回收。

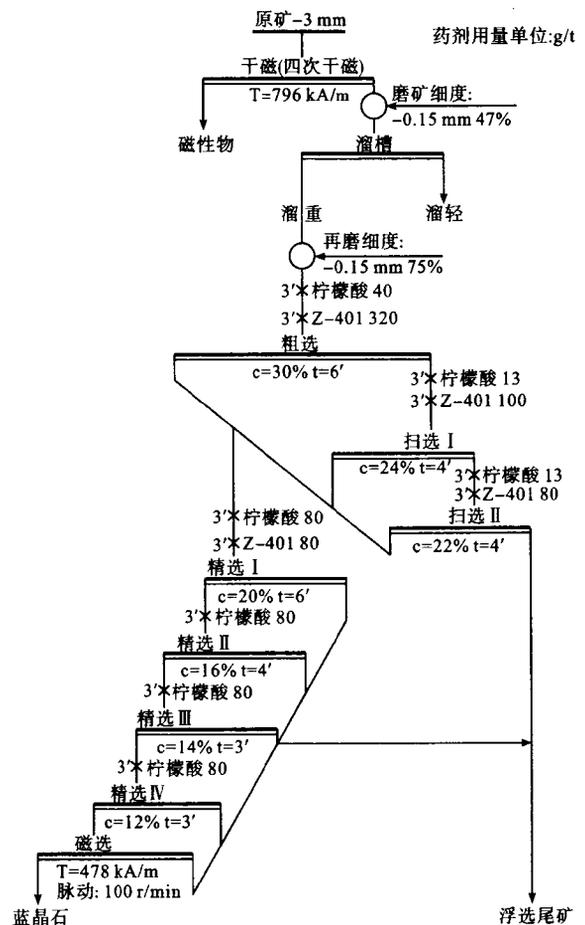


图1 蓝晶石选矿工艺流程

Fig. 1 Kyanite mineral processing technological process

表12 蓝晶石回收指标

Table 12 Recovery index of kyanite

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石
蓝晶石	7.15	58.74	95.26	20.97	75.53
浮选尾矿	34.27	8.41	2.77	14.37	10.55
溜轻	16.91	27	2.28	22.28	4.28

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	蓝晶石
干磁磁性物	41.67	20.14	2.09	41.88	9.66
原矿	100	20.04	9.02	100	100

表 13 蓝晶石精矿化学多项分析结果/%

Table 13 Chemical composition analysis results of kyanite concentrate

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
58.74	0.85	36.39	0.2	0.18	0.23	0.91
MnO	Na <sub>2</sub> O	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	烧失	蓝晶石
0.01	0.27	0.27	0.29	0.013	0.64	95.26

对照《中华人民共和国黑色冶金行业蓝晶石、矽线石、硅线石标准》(YB/T 4032—2010),该矿蓝晶石精矿有害组分 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 0.85%,直接影响着工业品级的提高,尽管 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位高达 58.74%,有害组分 TiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O 不超标,也只能确定蓝晶石精矿属于工业品级 LJ-52,如果能将 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 控制在 0.70% 以内,精矿质量指标有望达到最高工业品级 LJ-56。

3.3 伴生矿物回收试验

3.3.1 螺旋溜槽轻矿物回收白云母试验

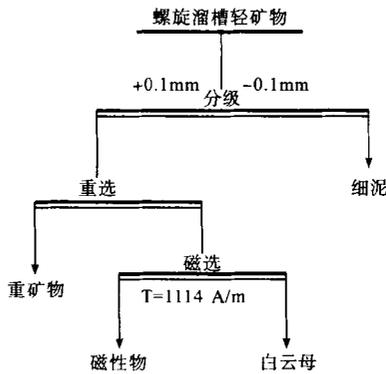


图 2 螺旋溜槽轻矿物回收试验流程

Fig. 2 Spiral chute light mineral recovery test process

螺旋溜槽轻矿物中主要为大鳞片状白云母与细泥。显微镜下观察,-1 mm 粒级以细泥为主,云母含量较少,约在 3% 以下。+0.1 mm 粒级主要矿物为云母,另外含有少量的石英,长石,黑云母,石榴子石等矿物,采用摇床将颗粒状的石英与长石等脉石矿物选出,通过磁选将黑云母与石榴子石等弱磁性矿物抛掉,最终得到较纯的白云母精矿,试验流程见图 2,试验结果见表 14。试验结果显示云母精矿产率 8.89%,显微镜下观察白云母矿物量达到 98%。

表 14 螺旋溜槽轻矿物回收试验结果

Table 14 Spiral chute light mineral recovery test results

产品名称	作业产率/%	产率/%	显微镜下矿物含量/%
白云母	52.57	8.89	98
磁性物	4.51	0.76	
摇重	4.60	0.78	
细泥	38.32	6.48	
合计	100.00	16.91	

3.3.2 干磁尾矿回收石榴子石、黑云母、白云母试验

干磁磁性物中的矿物主要为黑云母、石榴子石、白云母等,采用重选工艺回收石榴子石矿物,石榴子石尾矿分级,细泥做为尾矿直接抛弃,粗级别采用磁选工艺分离黑云母与白云母。试验流程见图 3,试验结果见表 15。试验结果显示:石榴子石精矿产率为 3.36%,白云母精矿产率 8.68%,黑云母精矿产率 9.48%。显微镜下观察,石榴子石精矿矿物量为 95%,黑云母为 90%;白云母为 98%。表 18。经过螺旋溜槽尾矿和干磁尾矿两次对白云母回收,白云母精矿总产率达到 17.57%。

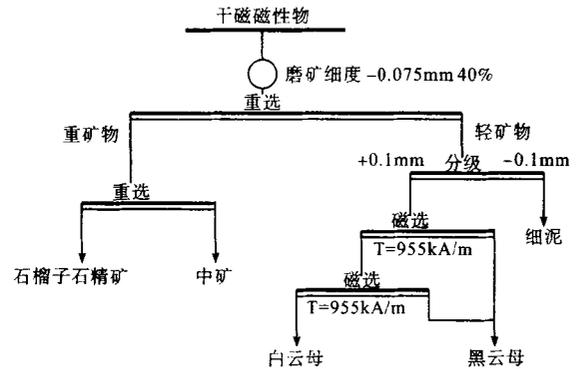


图 3 干磁磁性物回收试验流程

Fig. 3 Dry magnetic magnetic material recycling test process

表 15 干磁磁性物回收试验结果

Table 15 Dry magnetic magnetic material recycling test results

产品名称	作业产率/%	产率/%	显微镜下矿物含量/%
石榴子石	8.26	3.36	95
中矿	1.55	0.63	
白云母	21.54	8.68	98
黑云母	23.31	9.48	90
细泥	45.52	18.51	
合计	100.00	40.66	

## 4 结 论

(1)该矿石组成较为复杂,主要回收矿物蓝晶石矿物量9%左右,伴生矿物黑云母、白云母、石榴子石都可综合回收。

(2)岩矿鉴定结果表明:该矿石属石榴蓝晶二云母石英片岩石,非金属矿物主要有蓝晶石、黑云母、白云母、石英、石榴子石和少量的斜长石、绿泥石,金属矿物含量较低,主要是磁铁矿、磁黄铁矿。蓝晶石、白云母、黑云母、石榴子石粒度较粗,为矿石分选提供了有利条件。

(3)根据该矿石特点,选矿试验进行了系统研究,在将矿石破碎至-3 mm的情况下最终确定了“原矿-破碎-干磁抛尾-磨矿-螺旋溜槽抛尾-再磨-蓝晶石浮选-磁选除铁”工艺流程方案回收蓝晶石,试验结果为:蓝晶石精矿产率7.15%, $Al_2O_3$ 品位58.74%, $Al_2O_3$ 回收率20.97%,蓝晶石矿物量95.26%,矿物回收率75.53%。

(4)溜槽尾矿采用“筛分-重选-磁选”工艺流程回收白云母,干磁尾矿采用“重选-筛分-磁选”工艺流程回收石榴子石、白云母、黑云母。试验结果为:白云母精矿产率17.57%,矿物量98%;黑云母精矿产率9.48%,黑云母矿物量90%;石榴子石精矿产率3.36%,矿物量95%。

(5)对照《中华人民共和国黑色冶金行业蓝晶石、矽线石、硅线石标准》(YB/T4032—2010),本流程回收的蓝晶石精矿,其质量指标达到国标LJ-52指标要求。

(6)对蓝晶石精矿进行了磁选除铁试验,总体效果较好,但蓝晶石精矿中 $Fe_2O_3$ 含量偏高,影响精矿质量,有待深入研究。

## 参考文献:

- [1]虞其金.江苏省沐阳县韩山蓝晶石矿扩大连续选矿试验研究报告[R].南京:江苏省地矿局中心实验室,1985.2.
- [2]王芳.江苏低品位难选蓝晶石矿选矿试验研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.
- [3]路洋,高惠民,王芳,等.江苏某难选蓝晶石矿石选矿试验[J].金属矿山,2013(8):66-69.
- [4]杨大兵,张一敏,赵自光.隐山蓝晶石矿选矿工艺流程及综合利用研究[J].矿产保护与利用,2003(03):17-19.
- [5]郭珍旭,吕良,岳铁兵,等.蓝晶石提纯工艺技术研究[J].矿产保护与利用,2008(6):34-36.
- [6]钱定福,孙红惠.南阳蓝晶石矿的工艺矿物学研究.矿产综合利用[J],1990(1):43-48.
- [7]刘国举.南阳某低品位蓝晶石选矿工艺研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.
- [8]张晋霞,牛福生,张大勇,等.低贫复杂难选蓝晶石矿的超纯化制备工艺研究[J].非金属矿,2012(5):34-36.

## Experimental Study on Mineral Processing of Kyanite Ore in Saerhabutale in Gansu Province

Zhao Jiancang, Jia Junwe, Wang Wendan, Cao Gang, Zhang Fude, Li Jinshan  
(Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Jiuquan Iron and Steel (Group) Co., Ltd., Jiayuguan, Gansu, China)

**Abstract:** The Saerhabutale kyanite deposit in Gansu Province originates from garnet kyanite two-mica quartz schist, whose complicated component brings large difficulty to achieve effective separation. According to the characteristics of the deposit, we innovatively used the following technical process to recycle kyanite ore: “crude ore-crushing-dry magnetic tailings discarding-grinding-tailing discarding via spiral chute-grinding again-kyanite flotation-iron removal” by magnetic separation. The result was that the kyanite concentrate yield was 7.15%, the grade of  $Al_2O_3$  was 58.74% with the recovery of 20.97% and the kyanite mineral amount was 95.26% with the recovery of 75.53%. Chute tailings were adopted “sieving-reelection-magnetic separation” process to recycle muscovite (white mica), while the dry magnetic tailings were adopted “reelection-sieving-magnetic separation” to recycle garnet, muscovite and biotite (black mica). The result was that the muscovite concentrate rate was 17.57% with the mineral amount of 98%, the biotite concentrate rate was 9.48% with the mineral amount of 90% and the garnet concentrate yield was 3.36% with the mineral amount of 95%. The test shows that, except the kyanite is available to exploit, associated minerals as garnet, muscovite and biotite could also be comprehensively recovered and utilized in this deposit. The quality standard of the final product of kyanite concentrate meets the national standard LJ-52.

**Keywords:** kyanite ore; Ore dressing; The process flow; Saerhabutale; Akesai county