

# 贵州某重晶石矿 X 射线预选—浮选试验研究

缪亚兵

长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南长沙 410012

中图分类号: TD975.1; TD925.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2023)02-0117-06  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2023.02.018

**摘要** 贵州某重晶石矿原矿  $\text{BaSO}_4$  含量为 70.82%, 主要脉石矿物为白云石、长石等, 重晶石粒度极不均匀, 且与脉石矿物嵌布关系复杂。选矿试验结果表明: 重选难以获得理想的选矿指标, 对-30+15 mm 粒级样品采用 X 射线智能分选机预选抛尾, 抛废率为 11.07%, 预选精矿合并到-15 mm 粒级样品, 在磨矿细度为-0.075 mm 含量 90% 的条件下, 经一次粗选三次精选的浮选工艺流程, 最终获得了  $\text{BaSO}_4$  品位 92.93%、综合回收率 83.51% 的选别指标, 重晶石精矿密度为 4.34  $\text{g/cm}^3$ , 达到了钻井液用加重剂特级品标准。与采用常规“磨矿—浮选”工艺流程相比, 采用 X 射线预选工艺在最终精矿回收率相当的情况下, 精矿品位提高了 1.11 个百分点, 且减少了磨矿浮选作业处理量, 具有良好的推广应用价值。

**关键词** 重晶石; X 射线; 预选; 智能分选机; 浮选

## 1 前言

重晶石是一种重要的非金属矿物原料。我国重晶石矿资源丰富, 但储量分布极不均衡, 其中贵州省的储量约占全国的 1/3。重晶石具有体积质量大、化学性质稳定等特点, 主要用于石油和天然气钻井泥浆的加重剂以及制成各种含钡化工产品如碳酸钡、硫酸钡、氧化钡及钡白等, 还可作为油漆工业、造纸工业及塑料工业的填料, 也用于防射线水泥、砂浆混凝土及道路建设等<sup>[1-2]</sup>。

重晶石的选别工艺受矿石类型、矿物组成等因素的制约, 目前主要的选别工艺包括手选、重选、磁选、浮选以及联合工艺。手选法适合选别品位高、组成简单及质量稳定的矿石, 但劳动强度大, 生产效率低, 且资源浪费严重; 重晶石密度为 4.3~4.5  $\text{g/cm}^3$ , 与脉石矿物间的密度差异大, 理论上可通过重选实现重晶石的有效富集<sup>[3-4]</sup>, 重选法工艺具有设备简单、稳定性好、不使用选矿药剂、环境污染较小等优点; 对于含磁性铁矿物的重晶石矿石, 常采用强磁选分离含铁矿物; 浮选是处理低品位矿、伴生矿等复杂难选重晶石资源的重要途径, 该工艺对复杂嵌布的重晶石矿具有较好的适应性; 对于矿物组成复杂且嵌布粒度细的难选矿石, 采用单一重选或磁选等工艺回收重晶石效果不理想, 往往需要采用联合工艺以高效回收重晶石<sup>[5-6]</sup>。

X 射线分选技术是利用矿石受到 X 射线照射激发产生特征 X 射线, 从而收集、分析、记录矿石中被选元素或元素组的含量, 借助传感器和计算机技术识别固体物料, 进而以压缩空气或机械装置作为技术手段改变物料运动轨迹而实现分选, 其不受矿石其他性质的影响, 由此开发的 X 射线智能分选机近年来被矿业界所重视, 这类设备常用于矿石预选, 有利于减少选入磨矿石量、提高矿石入选品位, 目前已广泛应用于有色金属、黑色金属、稀有金属、贵金属、非金属等矿石的预选<sup>[7]</sup>。基于重晶石中钡元素的特征 X 射线与其他脉石矿物元素存在较大的差异, 理论上可以利用 X 射线分选技术进行分选。

本文以贵州某重晶石矿为研究对象, 结合矿石工艺矿物学特征, 开展了重选、X 射线选矿和浮选的相关试验研究, 以便为该矿石开发利用提供技术依据。

## 2 试验部分

### 2.1 矿石性质

原矿化学多元素和矿物组成及含量分析结果分别见表 1 和表 2。由表中可知, 矿石中 Ba 含量为 44.22%, 杂质成分主要为  $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaO}$ , 其含量分别为 5.79% 和 4.91%。钡主要以重晶石的形式存在,  $\text{BaSO}_4$  含量为 70.82%, 主要脉石矿物为白云石、长石、石英

表 1 矿石化学多元素分析结果 /%  
Table 1 Chemical multi-element analysis results of the raw ore

成分	Ba	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	S	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
含量	44.22	5.79	4.91	3.08	10.82	0.036	1.84
成分	Sr	Fe	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C	烧失
含量	0.105	0.39	0.42	0.025	0.18	4.91	5.96

及方解石,金属硫化物主要为黄铁矿,但含量较低。

光学显微镜下分析表明,矿石中重晶石的粒度分布极不均匀,与杂质矿物之间的嵌布关系较为复杂,嵌布粒度和解离参数测定结果表明,重晶石属中细粒嵌布。该矿石具有粗选较易富集、精选难以大幅度提高品位的分选特征。

表 2 矿石的矿物组成 /%  
Table 2 Mineral composition of the raw ore

矿物	重晶石	长石	白云石	方解石	钡解石	石英	黄铁矿	炭质物	其他
含量	70.82	9.53	13.48	1.27	0.24	3.42	0.55	0.27	0.42

## 2.2 试剂及仪器设备

试剂:碳酸钠,分析纯;水玻璃,工业品;CY-30,实验室复配药剂,主要成分为脂肪酸和烷基磺酸盐。

仪器设备:XMB—67Φ200 mm×240 mm 棒磨机;XMQ—Φ240×90 锥形球磨机;LYS 型试验摇床;实验室小型跳汰机;JSFX—GDS—XRT&CCD—1400 型智能分选机;XFD—1.5L 挂槽浮选机;XFD—0.5L 挂槽浮选机;DL—5C 型盘式真空过滤机;101—3AB 型电热鼓风干燥箱。

## 3 结果与讨论

### 3.1 重选试验

重选试验采用跳汰、摇床等设备进行。矿样破碎至-20 mm 并进行粒度分级,其中-20+12 mm、-12+6 mm、-6+2 mm 粒级进行跳汰选矿试验,-2 mm 粒级矿样经棒磨机磨矿后进行了不同磨矿细度条件下的摇床重选试验。跳汰和摇床重选试验结果分别见表 3 和表 4。

重选试验结果表明,该重晶石矿石重选选别效果较差。跳汰重选精矿 BaSO<sub>4</sub> 品位偏低,且无法直接丢尾;摇床重选由于对微细粒矿物回收效果差,导致尾矿品位偏高,精矿产率和回收率偏低,分选效果不理想。

### 3.2 X 射线智能选矿试验

试验采用 JSFX—GDS—XRT&CCD—1400 型智能分选机,其根据物质表面的光反射特性、物相、各元素原子能级结构等不同特征,应用 CCD 高清图像、双能 X 射线等检测技术透视和识别物质,利用机器视觉检测技术和神经网络算法、大数据深度学习训练等人工

表 3 跳汰重选试验结果  
Table 3 Test results of jigging gravity separation

给矿粒级 /mm	产品名称	产率 /%	BaSO <sub>4</sub> 品位 /%	回收率 /%	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )
-20+12	精矿	58.79	80.18	67.28	3.92
	中矿	28.76	62.18	25.53	
	尾矿	12.45	40.46	7.19	
	给矿	100.00	70.06	100.00	
-12+6	精矿	46.12	81.11	52.59	4.00
	中矿	30.77	73.38	31.74	
	尾矿	23.11	48.22	15.67	
	给矿	100.00	71.13	100.00	
-6+2	精矿	44.70	82.31	51.41	4.01
	中矿	27.30	74.94	28.59	
	尾矿	28.00	51.13	20.00	
	给矿	100.00	71.57	100.00	

表 4 摇床重选试验结果  
Table 4 Test results of table concentrator gravity separation

磨矿细度 (-0.075 mm 含量) /%	产品名称	产率 /%	BaSO <sub>4</sub> 品位 /%	回收率 /%	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )
60	精矿	38.20	89.62	47.04	4.19
	中矿	27.98	64.52	24.80	
	尾矿	33.82	60.61	28.16	
	给矿	100.00	72.79	100.00	
70	精矿	22.20	92.53	28.21	4.31
	中矿	38.59	70.74	37.49	
	尾矿	39.21	63.68	34.30	
	给矿	100.00	72.81	100.00	
75	精矿	15.98	91.42	20.07	4.27
	中矿	44.88	72.73	44.85	
	尾矿	39.14	65.21	35.08	
	给矿	100.00	72.77	100.00	
85	精矿	11.75	90.76	14.68	4.23
	中矿	48.14	73.62	48.80	
	尾矿	40.11	66.11	36.52	
	给矿	100.00	72.62	100.00	

智能技术,对每块矿石进行准确分析和识别,采用高速气排枪精准打击,从而实现矿石和废石有效分离与分选。由于该设备对细粒级入选物料分选效果较差,入选物料需预先分级。矿样破碎至-30 mm 进行粒度分级,结果见表 5,对-30+15 mm 粒级矿样进行一次粗选一次精选 X 射线选矿试验,结果见表 6。

从表 5 和表 6 可知,原矿-30+15 mm 粒级产率为 60%,BaSO<sub>4</sub> 品位为 69.12%,X 射线智能选矿一次粗选获得产率 18.16%、BaSO<sub>4</sub> 品位 21.75% 的尾矿,可直接丢尾,作业抛废率达 18.16%,相对原矿抛废率为 10.90%;

表 5 矿样粒度分级结果 /%

**Table 5** Particle classification results of ore samples

粒级/mm	产率	BaSO <sub>4</sub> 品位	分布率
-30+15	60.00	69.12	58.65
-15	40.00	73.10	41.35
给矿	100.00	70.71	100.00

表 6 X 射线智能选矿试验结果 /%

**Table 6** Test results of X-ray intelligent beneficiation

产品	产率	BaSO <sub>4</sub> 品位	回收率
精矿	27.66	84.40	33.81
中矿	54.18	77.06	60.47
尾矿	18.16	21.75	5.72
给矿	100.00	69.05	100.00

对预抛精矿进行精选试验, 精矿品位提升幅度不大。因此, 采用 X 射线智能分选机可实现矿物的预选抛废, 欲进一步富集获得合格的重晶石精矿, 需借助其他选矿手段。

### 3.3 浮选试验

为进一步提升精矿产品质量, 将 X 射线智能选矿粗精矿与-15 mm 粒级矿样合并, 破碎至-2 mm 进行磨矿—浮选试验, 试验流程见图 1。

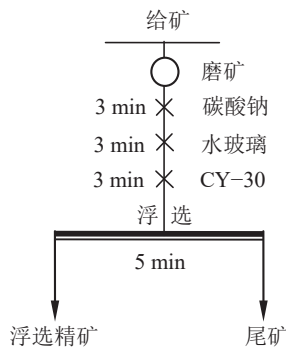


图 1 浮选试验流程  
Fig. 1 Flow chart of flotation tests

#### 3.3.1 磨矿细度试验

解决矿石中目的矿物的单体解离是选矿试验的前提条件, 选择适宜的磨矿细度对获得理想的选别指标至关重要<sup>[8-9]</sup>。固定粗选碳酸钠用量 300 g/t、水玻璃用量 400 g/t、CY-30 用量 500 g/t, 采用球磨机磨矿, 不同磨矿细度条件下浮选精矿结果见图 2。

从图 2 可以看出, 随着磨矿细度的增加, 粗精矿 BaSO<sub>4</sub> 品位逐渐增大, 表明提高磨矿细度有利于精矿品位的提升。当磨矿细度-0.075 mm 含量达到 90.00% 后继续提高磨矿细度, 粗精矿回收率下降幅度较大。综合考虑, 浮选粗选磨矿细度定为-0.075 mm 含量 90% 为宜。

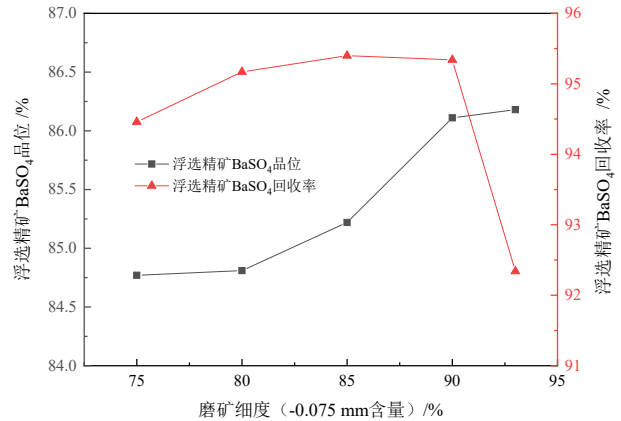


图 2 磨矿细度对浮选精矿指标的影响  
Fig. 2 Effect of grinding fineness on flotation concentrate index

#### 3.3.2 碳酸钠用量试验

在磨矿细度-0.075 mm 占 90% 的条件下, 固定粗选水玻璃用量 400 g/t、CY-30 用量 500 g/t, 改变碳酸钠用量, 浮选试验精矿指标见图 3。

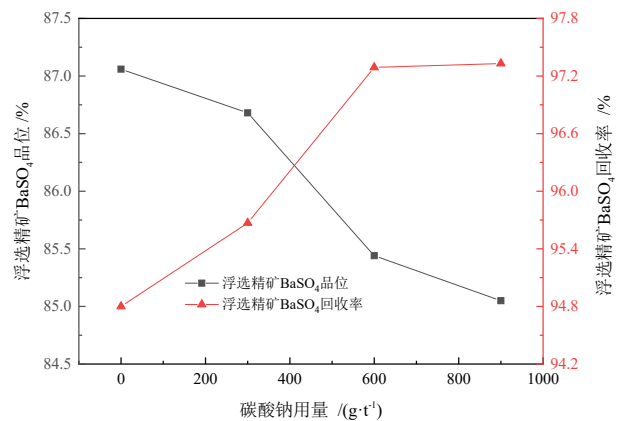


图 3 碳酸钠用量对浮选精矿指标的影响  
Fig. 3 Effect of sodium carbonate dosage on flotation concentrate index

从图 3 可以看出, 随着粗选碳酸钠用量的增加, 粗精矿回收率逐渐增加, 粗精矿品位逐渐下降。综合考虑, 选用碳酸钠用量 300 g/t 为宜。

#### 3.3.3 水玻璃用量试验

在磨矿细度-0.075 mm 占 90% 的条件下, 固定粗选碳酸钠用量 300 g/t、CY-30 用量 500 g/t, 改变水玻璃用量, 浮选试验精矿指标见图 4。

从图 4 可以看出, 随着粗选水玻璃用量的增加, 粗精矿品位逐渐升高, 回收率先增加后逐渐下降。综合考虑, 选用水玻璃用量 600 g/t 为宜。

#### 3.3.4 捕收剂用量试验

在磨矿细度-0.075 mm 占 90% 的条件下, 固定粗选碳酸钠用量 300 g/t, 水玻璃用量 600 g/t, 改变捕收剂用量, 浮选试验精矿指标见图 5。

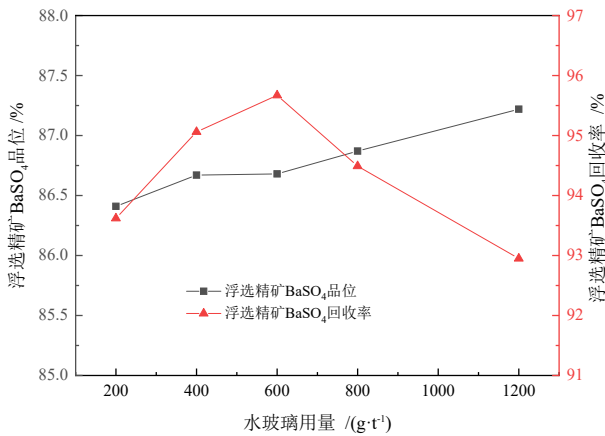


图 4 水玻璃用量对浮选精矿指标的影响  
Fig. 4 The effect of sodium silicate dosage on flotation concentrate index

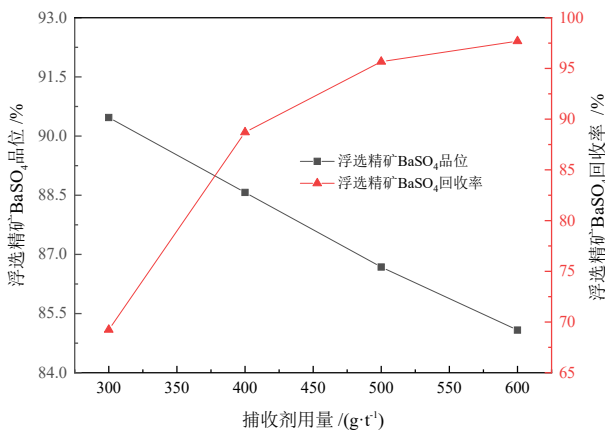


图 5 捕收剂用量对浮选精矿指标的影响  
Fig. 5 The effect of collector dosage on flotation concentrate index

从图 5 可以看出,随着粗选捕收剂 CY-30 用量的增加,粗精矿回收率逐渐增加,粗精矿品位逐渐下降。综合考虑,选用捕收剂 CY-30 用量 500 g/t 为宜。

### 3.4 工艺流程试验

综合以上试验条件及结果,对浮选精选和扫选进行了多次试验,最终浮选采用“一次粗选三次精选—中矿合并扫选”工艺流程。采用“分级—X射线预选—浮选”工艺流程进行闭路试验,闭路试验流程如

表 7 闭路试验结果

Table 7 Close circuit test results

工艺流程	产品名称	产率	BaSO <sub>4</sub> 品位	回收率
分级—X射线预选—浮选	浮选精矿	63.54	92.93	83.51
	浮选尾矿	25.39	36.46	13.09
	预选尾矿	11.07	21.75	3.40
	给矿	100.00	70.71	100.00
直接磨矿—浮选	浮选精矿	64.59	91.82	83.50
	浮选尾矿	35.41	33.11	16.50
	给矿	100.00	71.03	100.00

图 6,在相同药剂制度条件下与原矿采用直接磨矿浮选工艺流程进行对比,结果见表 7。

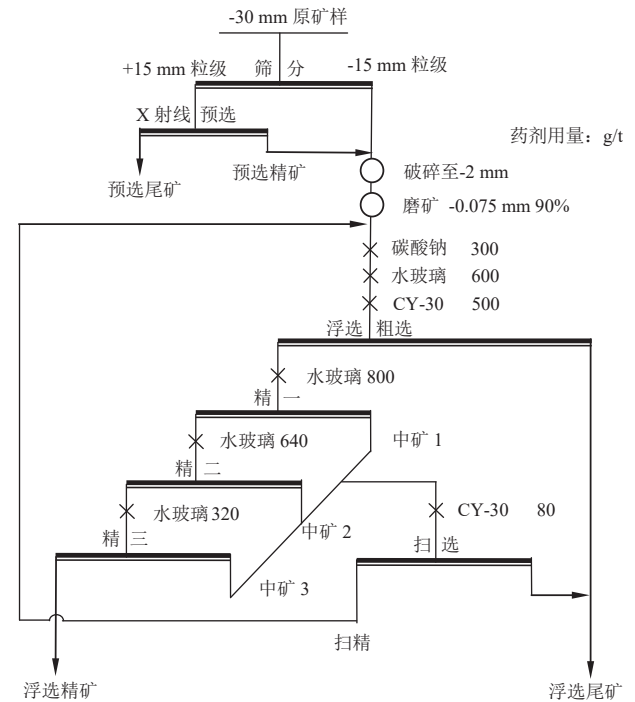


图 6 闭路试验工艺流程  
Fig. 6 Process flow chart of close circuit test

结果表明,采用“分级—X射线预选—浮选”工艺流程,获得了重晶石精矿 BaSO<sub>4</sub> 品位 92.93%、回收率 83.51% 的选别指标,其精矿密度为 4.34 g/cm<sup>3</sup>,达到了钻井液用加重剂特级品标准。对比“直接磨矿—浮选”工艺流程,在精矿回收率相当的情况下,其精矿品位提高了 1.11 个百分点,指标具有一定优势,此外采用 X 射线预选,提前抛出了产率 11.07% 的低品位脉石,减少了后续进入磨矿浮选作业的矿量,有利于降低磨矿能耗,提高原矿处理量,具有显著的优势。

## 4 结论

(1) 矿石中目的矿物重晶石含量为 71%,且粒度分布极不均匀,主要脉石矿物为白云石、长石、石英

及方解石, 矿物间嵌布关系复杂, 具有粗选较易富集、精选难以大幅度提高品位的分选特征。

(2) 采用“分级—X 射线预选—浮选”工艺流程, 闭路试验取得了重晶石精矿  $\text{BaSO}_4$  品位 92.93%、回收率 83.51% 的选别指标, 该精矿密度为  $4.34 \text{ g/cm}^3$ , 达到了钻井液用加重剂特级品标准, 可为开发该类重晶石矿石提供参考依据。

(3) 与常规“直接磨矿—浮选”工艺流程相比, 利用 X 射线预选, 在相同药剂制度条件下, 精矿品位提高了 1.11 百分点, 而精矿回收率基本一致, 且提前抛出产率 11.07% 的低品位脉石, 减少了后续进入磨矿浮选作业的矿量, 有利于降低磨矿能耗, 提高原矿处理量, 具有良好的推广应用价值。

### 参考文献:

- [1] 苟浩然, 张嘉豪, 李玲珂, 等. 贵州邦洞重晶石选矿试验研究[J]. 矿业工程, 2019, 17(3): 34-36.  
GOU H R, ZHANG J H, LI L K, et al. Study of mineral processing tests of barite in Guizhou[J]. Mining Engineering, 2019, 17(3): 34-36.
- [2] 杨敏, 杨晓军, 余新文, 等. 贵州某重晶石选矿试验研究[J]. 化工矿物与加工, 2014, 43(7): 11-13.  
YANG M, YANG X J, YU X W, et al. Research on floatation of barite from Guizhou[J]. Industrial Minerals & Processing, 2014, 43(7): 11-13.
- [3] 张周位, 杨国彬, 张文兴, 等. 贵州天柱重晶石矿重-浮联合选矿研究[J]. 非金属矿, 2022, 45(2): 76-78+81.  
ZHANG Z W, YANG G B, ZHANG W X, et al. Study on beneficiation of a barite ore by gravity separation-flotation combined process in Tianzhu of Guizhou[J]. Non-Metallic Mines, 2022, 45(2): 76-78+81.
- [4] 邓海波, 徐轲, 缪亚兵, 等. 沉积型含白云石复杂难选重晶石矿的选矿工艺研究[J]. 化工矿物与加工, 2015, 44(6): 9-12.  
DENG H B, XU K, MIAO Y B, et al. Research on beneficiation process of complex and refractory sedimentary barite ore containing dolomite[J]. Industrial Minerals & Processing, 2015, 44(6): 9-12.
- [5] 刘洋, 魏志聪, 李梦宇, 等. 重晶石资源现状及选别技术研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(6): 117-123.  
LIU Y, WEI Z C, LI M Y, et al. Research progress of barite separation process and resource overview[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(6): 117-123.
- [6] 范智禹, 赵金铭, 李伟, 等. 重晶石分选技术研究进展[J]. 湿法冶金, 2022, 41(6): 477-483.  
FAN Z Y, ZHAO J M, LI W, et al. Research progress on sorting technologies of barite[J]. Hydrometallurgy of China, 2022, 41(6): 477-483.
- [7] 李建政, 肖健锋, 王军强, 等. X 射线荧光分选机及其应用[J]. 黄金, 2022, 43(2): 81-84.  
LI J Z, XIAO J F, WANG J Q, et al. X-ray fluorescence separator and its application[J]. Gold, 2022, 43(2): 81-84.
- [8] 尚志辉, 王春春. 低品位重晶石选矿试验研究[J]. 化工管理, 2020(30): 52-54.  
SHANG Z H, WANG C C. Experimental study on beneficiation of low grade barite[J]. Chemical Management, 2020(30): 52-54.
- [9] 夏亮, 梁菁菁. 安徽某重晶石矿选矿试验[J]. 现代矿业, 2016(3): 79-80+83.  
XIA L, LIANG J J. Beneficiation test of a barite ore in Anhui[J]. Modern Mining, 2016(3): 79-80+83.

## Experimental Study on X-ray Pre-concentration—Flotation of a Barite Ore in Guizhou

MIAO Yabing

*Changsha Research Institute of mining and metallurgy Co., Ltd., Changsha 410012, Hunan, China*

**Abstract:** A barite ore in Guizhou contains 70.82% BaSO<sub>4</sub> with dolomite and feldspar being the main gangue minerals. The grain size distribution of barite is extremely uneven, and the association between barite and gangue minerals is complex. Beneficiation tests revealed that the gravity separation was not effective. As a result, the process flow of "particle classification—X-ray pre-concentration—flotation" was adopted. The X-ray intelligent separator was applied in pre-concentration operation to remove gauge particles for -30+15 mm of the raw ore, resulting in a discarding rate of 11.07%. The pre-concentration concentrate combined with -15 mm particle size samples was treated by the flotation process of one roughing and three cleanings under the grinding fineness conditions of -0.075 mm 90%. The separation indexes of barite concentrate with a BaSO<sub>4</sub> grade of 92.93% and a comprehensive recovery of 83.51% was finally obtained. The density of the concentrate was 4.34 g/cm<sup>3</sup>, meeting the standard for a special grade weighting agent for drilling fluid. Compared with the conventional process of "grinding—flotation", the X-ray pre-concentration process improved the concentrate grade by 1.11 percentage points and reduced the processing capacity of grinding and flotation operations without affecting the final concentrate recovery rate. Hence, the pre-concentration technology exhibits good promotion and application value.

**Keywords:** barite; X-ray; pre-concentration; intelligent separator; flotation

引用格式: 缪亚兵. 贵州某重晶石矿 X 射线预选—浮选试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(2): 117-122.

MIAO Yabing. Experimental study on X-ray pre-concentration—flotation of a barite ore in Guizhou[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(2): 117-122.

投稿网址: <http://hcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)