

# 四川某稀土矿分选技术研究

Research on the Separation Technology for a Rare-earth Minerals in Sichuan

王鑫, 康金星, 刘志国, 王亚运(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**摘要:**针对四川某稀土矿选矿工艺存在的稀土回收率低的问题,采用“混合浮选-强磁选”工艺,开展了选矿试验研究。浮选试验结果表明,在矿浆浓度为30%,粗选NaOH用量为300 g/t,水玻璃用量为400 g/t,捕收剂H205+LD用量为300+300 g/t,起泡剂用量为50 g/t条件下,采用一次粗选、四次精选、两次扫选,中矿顺序返回的选矿流程,可获得REO品位为13.82%,浮选作业回收率为84.19%的稀土浮选混合精矿。稀土浮选混合精矿经强磁选抛除重晶石和萤石,可获得稀土精矿的品位为46.63%,作业回收率为89.22%,对原矿的回收率为75.11%。

**关键词:**稀土; 浮选工艺; 磁选工艺; 回收

**中图分类号:** TD955 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)03-0080-05

**Abstract:** Experimental study is investigated in the rare-earth minerals in Sichuan, in view of the low recovery. And the “Bulk Flotation-High intensity magnetic separation” process was adopted. The flotation results indicated that, under conditions of the pulp concentration of 30%, NaOH dosage of 300 g/t, silicate sodium dosage of 400 g/t, H205 + LD dosage of 300 + 300 g/t, frother dosage of 50 g/t, the rare earth concentrate was obtained by using of one roughing, four cleaning, two scavenging, and middles back to the flowsheet in turn. The rare earth flotation mixed concentrate was obtained with REO grade and operating recovery of 13.82% and 84.19%, respectively. The high intensity magnetic separation was used to removing barite and fluorite from the rare earth flotation mixed concentrate. The final concentrate REO grade, operating recovery and total recovery was 46.63%, 89.22% and 75.11% respectively.

**Key words:** rare earth; flotation process; high intensity magnetic separation; recovery

## 1 前言

稀土是当今世界改造传统产业、发展高新技术和国防尖端技术不可或缺的战略资源<sup>[1-2]</sup>。随着我国科技的不断进步,对稀土的需求量也越来越大。氟碳铈矿是提取轻稀土元素的主要矿物<sup>[3]</sup>。我国此类稀土资源较为丰富,分布面广又相对集中,主要分布在内蒙古的白云鄂博、四川的凉山地区和山东微山等地<sup>[4-5]</sup>。

氟碳铈矿常用选矿方法有重选、磁选和浮选或者联合选别工艺<sup>[6-10]</sup>。氟碳铈矿与方解石、萤石及重晶石等同属于盐类矿物,常常互相紧密伴生,物理化学性质相近<sup>[11-12]</sup>。因此,难以获得理想分选效果。目前,国内国有稀土矿山的资源稀土回收率一般为60%,民营矿山普遍不足40%<sup>[13]</sup>。未合理回

收利用的矿物,如氟碳铈矿,不仅造成资源的浪费,还可能引发尾矿库区及周边地区的重金属污染和扬尘放射性超标等问题<sup>[14-15]</sup>。

通过分析四川某稀土矿的有用矿物组成成分,其有用矿物为稀土矿物,其与重晶石和萤石的可浮性相近,但磁性存在差异。有学者研究发现:稀土矿物的晶格能为419~519 J,萤石的晶格能为600~1000 J,相差不大,都属于易浮矿物,同时,稀土和萤石这两种矿物的表面物理和化学性质形似,作用于这两种矿物表面的捕收剂和抑制剂的行为相似,在采用浮选工艺时,难以实现其经济高效分离。稀土是弱磁性矿物,其比磁化系数为 $10 \sim 70 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}^{-1}$ ,在磁场强度为0.6~1.5 T就能将其分离出来,而萤石与重晶石为非磁性矿物。因此,可以采用强磁工艺可以将稀土与重晶石和萤石分开,从而获得稀土精矿。

根据矿石中稀土矿物与重晶石和萤石的物理化学性质表现出的性质及明显差异,本文作者拟采用“稀土、萤石、重晶石混合浮选—稀土与重晶石/萤石强磁选分离”工艺,即通过采用混合浮选

[作者简介] 王鑫(1988—),男,山西运城人,高级工程师,博士,主要从事资源综合利用。

[引用格式] 王鑫,康金星,刘志国,等.四川某稀土矿分选技术研究[J].中国矿山工程,2023,52(3):80-84.

工艺,获得稀土矿物、重晶石和萤石浮选混合精矿,然后采用磁选工艺将所获得的混合精矿中稀土矿物与重晶石和萤石分离,从而获得高品质稀土精矿,以实现稀土有效回收。磁选尾矿主要为重晶石和萤石,可以作为生产重晶石和萤石精矿产品的原料,从而实现资源有效利用。通过本研究,可以为含重晶石和萤石的稀土矿资源利用提供重要技术支持。

## 2 试样

本研究用矿样取自四川某选厂旋流器溢流综合样矿样。首先经过过滤脱水,然后自然风干,风干后的矿样经碾碎除去结块。采用移锥法将矿样混匀3

次,再用割环法均匀缩分,装袋备用。

为了研究影响氟碳铈矿选矿回收的矿物学性质,对该矿样进行了相关矿物学性质研究。主要研究了矿样的化学成分组成,矿样的矿物组成和含量。

试样的主要化学成分分析结果见表1,矿样的矿物组成和含量分析结果见表2。由表1可知,该稀土中主要回收对象稀土氧化物 REO 品位为 1.93%。造岩组分以  $\text{SiO}_2$  为主,含量高达 45.27%。由表2可知,该矿样主要有用为稀土矿物,脉石矿物种类较多,主要有石英、萤石、重晶石、方解石、长石、白云母等。此外,有金红石、锆石、铁质物及伊利石等黏土矿物。

表1 试样主要化学成分分析结果

元素	REO	Cu	Pb	Zn	Bi	Sr	TFe	FeO	Mo	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
含量/%	1.93	0.017	0.89	0.066	0.007	0.24	2.46	0.34	0.023	0.18	45.27	6.07
元素	CaO	MgO	MnO	Cr	BaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	S	P	F	C	Ig
含量/%	9.03	0.65	0.55	0.016	6.92	2.30	1.96	4.38	0.15	9.75	0.74	6.06

表2 试样中主要矿物的含量

矿物	氟碳铈矿	赤、褐铁矿	铅矾	金红石	石英	重晶石	萤石	长石	方解石	云母	角闪石	其他
含量/%	1.9	3.2	1.0	0.2	52.3	9.4	4.2	14.3	8.5	6.2	2.4	1

## 3 结果与讨论

### 3.1 浮选试验及结果

#### 1) NaOH 用量试验

矿浆 pH 是影响稀土矿物浮选效果的重要因素,其对矿粒表面的亲水性及电性的影响。矿浆在矿浆 pH 较大的情况下,会使矿粒表面亲水性增大并阻碍捕收剂阴离子的吸附。矿浆 pH 也影响到矿粒表面的电性其直接影响着浮选药剂与矿物表面的作用效果。因此,确定合适的矿浆 pH 值非常重要。在浮选试验条件为:浮选矿浆浓度为 30%,水玻璃用量为 400 g/t,捕收剂 H205 + LD 用量为 300 + 200 g/t,2 号油用量为 50 g/t 条件下,考察 NaOH 用量对稀土浮选指标的影响,结果如图 1 所示。

由图 1 结果可知,随着矿浆 pH 调整剂 NaOH 用量的增大,粗精矿 REO 回收率呈现快速增加,当 NaOH 用量增加至 300 g/t 后,REO 回收率的上升趋势变慢;REO 品位随 NaOH 用量增加而快速增加,当 NaOH 用量增加至 300 g/t 后,REO 品位逐渐下降。综合考虑,pH 调整剂 NaOH 的适宜用量为 300 g/t。

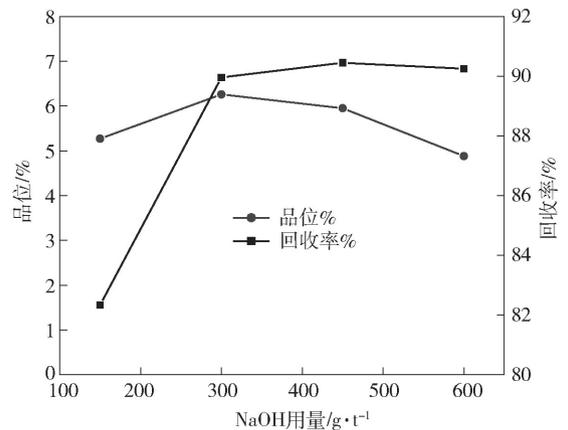


图1 NaOH 用量试验结果

#### 2) 水玻璃用量试验

水玻璃是浮选过程中常用的脉石矿物石英的有效抑制剂,其常常作为浮选分散剂,以改善泡沫发黏现象,提高精矿品位,特别对于原矿中含泥量较多的矿浆中十分有用。但是,水玻璃添加量过多,会使浮选产品,即浮选精矿和尾矿的过滤变的比较困难。因此,其适宜的水玻璃用量大小对稀土浮选指标有重要影响。在浮选试验条件为:浮选矿浆浓度为

30%, NaOH 用量为 300 g/t, 捕收剂 H205 + LD 用量为 300 + 200 g/t, 2 号油用量为 50 g/t 条件下, 考察水玻璃用量对稀土浮选指标的影响, 结果如图 2 所示。

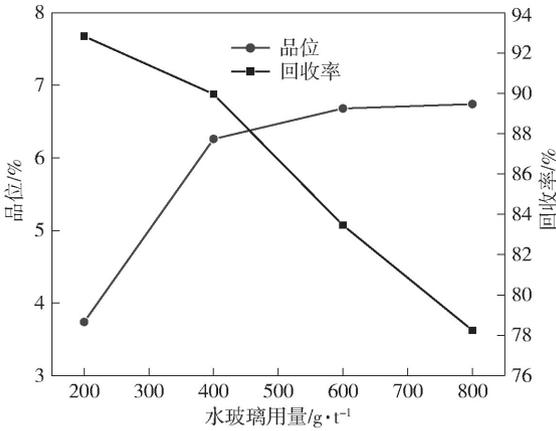


图 2 水玻璃用量试验结果

由图 2 结果可知, 当水玻璃的用量由 200 g/t 增大至 400 g/t, 粗精矿 REO 品位迅速增加, 当水玻璃用量超过 400 g/t 后, REO 品位的上升趋势变慢; 而 REO 回收率则随着水玻璃用量增加持续下降, 且当水玻璃用量超过 400 g/t 后, REO 回收率呈断崖式下跌。综合考虑, 粗选水玻璃适宜用量为 400 g/t。

### 3) H205 用量试验

试验以 H205 与 LD 组合为稀土矿物浮选的复合捕收剂, 其中 H205 为以羟肟酸为主要有效成分的捕收剂, 其对稀土矿物的选择性较强而捕收能力差, 而 LD 为脂肪酸类捕收剂, 其具有较强的捕收能力。在浮选试验条件为: 浮选矿浆浓度为 30%, NaOH 用量为 300 g/t, 水玻璃用量为 400 g/t, 捕收剂 LD 用量为 200 g/t, 2 号油用量为 50 g/t 条件下, 考察 H205 用量对稀土浮选指标的影响, 结果如图 3 所示。

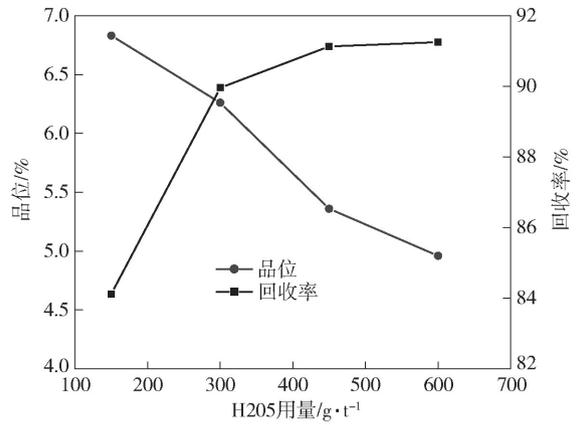


图 3 H205 用量试验结果

所示。

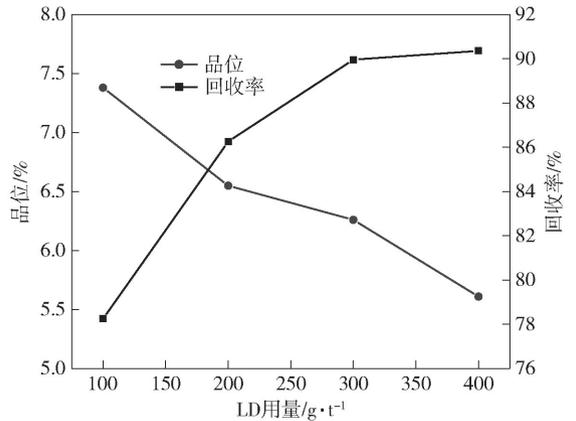


图 4 LD 用量试验结果

由图 4 结果可知, 随着 LD 的用量增大, 粗精矿 REO 回收率呈现快速增加, 当 LD 的用量增加至 300 g/t 后, REO 回收率的上升趋势变慢; REO 品位随 LD 的用量增加持续下降, 且当 H205 用量达到 400 g/t 后, REO 品位仅为 5.61%。综合考虑, 粗选 LD 适宜用量为 300 g/t。

### 5) 起泡剂用量试验

浮选矿浆浓度为 30%, NaOH 用量为 300 g/t, 水玻璃用量为 400 g/t, 捕收剂 H205 + LD 用量为 300 + 300 g/t, 考察起泡剂 2#油用量对稀土浮选指标的影响, 结果如图 4 所示。

由图 5 试验结果可知, 当起泡剂用量小于 50 g/t 时, 随着起泡剂用量增多, REO 粗精矿的回收率快速增加, 起泡剂用量超过 50 g/t 时, REO 粗精矿的回收率变化不大; REO 粗精矿的品位随起泡剂用量增加持续下降, 且当起泡剂用量达到 60 g/t 后, REO 品位仅为 5.43%。综合考虑, 粗选起泡剂适宜用量为 50 g/t。

### 4) LD 用量试验

在浮选试验条件为: 浮选矿浆浓度为 30%, NaOH 用量为 300 g/t, 水玻璃用量为 400 g/t, 捕收剂 H205 用量为 300 g/t, 2 号油用量为 50 g/t 条件下, 考察 LD 用量对稀土浮选指标的影响, 结果如图 4

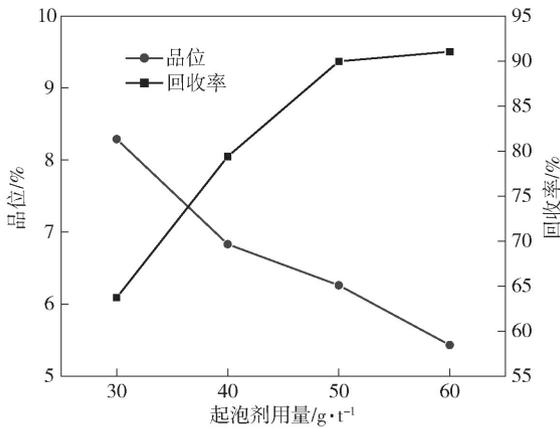


图5 起泡剂用量试验结果

### 6) 闭路试验

以粗选条件试验结果为基础,进行了一次粗选、四次精选、两次扫选的开路试验,在开路试验的基础上进行了闭路试验,闭路试验流程和闭路试验结果分别如图6和表3所示。

由表3结果可知,采用图6所示的闭路试验流程处理试样,可以获得浮选精矿稀土品位为13.82%,作业回收率为84.19%的稀土精矿。

### 3.2 磁选试验及结果

混合浮选精矿中萤石和重晶石为稀土精矿的主要杂质。稀土为弱磁性矿物,萤石和重晶石为非磁性矿物,混合浮选精矿通过强磁选,抛除萤石和重晶

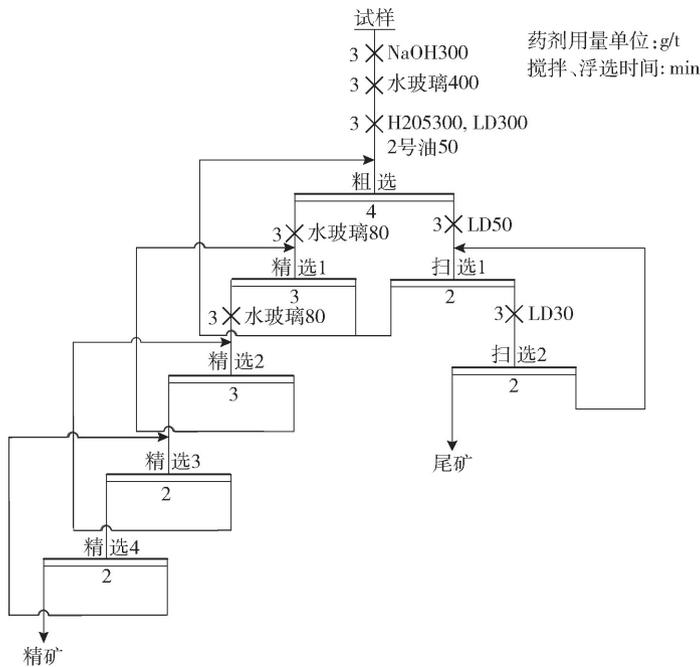


图6 闭路试验流程

表3 闭路试验结果

产品名称	产率/%	REO 品位/%	回收率/%
精矿	11.94	13.82	84.19
尾矿	88.06	0.35	15.81
原矿	100.00	1.96	100.00

表4 混合浮选精矿粒度组成分析结果

筛孔尺寸/ mm	产率/ %	筛下 累积/%	REO 品位/%	REO 分布 率/%
+0.074	5.97	100	5.71	2.46
-0.074 ~ +0.045	21.63	94.03	15.32	23.94
-0.045 ~ +0.037	15.68	72.40	16.43	18.61
-0.037	56.70	56.70	13.42	54.98
给矿	100.00	46.67	13.84	100.00

石,获得稀土精矿,磁选尾矿可用于重晶石和萤石浮选分离。

为确定混合浮选精矿粒度组成,对其进行湿式筛分分析,结果见表4。从表4中数据可以看出,该混合浮选精矿产品粒级主要集中在-0.037 mm,其产率达到56.70%。该部分的氟碳铈矿粒度较细,但REO的分布率较高,为54.98%。由于该含氟碳

铈矿稀土矿物颗粒较细,在磁选过程中容易出现磁团聚,影响磁选分离氟碳铈矿与其他矿物的选别指标。其次为-0.074 ~ +0.045 mm,其产率达为21.63%,REO的分布率为23.94%。粒度大于

0.074 mm 的氟碳铈矿颗粒,其产率和分布分别仅为 5.97% 和 2.46%。

磁场强度变化对稀土的品位和回收率的影响程度和方式不同,为了更好的明确稀土矿物在磁场强度变化时的走向,以浮选所获得的混合精矿,作为稀土磁选工艺的原料,利用 RK/CSQ-50×70 湿式强磁选机进行强磁选,磁场强度分别为 0.9 T、1.2 T、1.8 T 和 2.0 T,研究磁场强度对稀土与重晶石和萤石分选指标的影响,试验结果如图 6 所示。

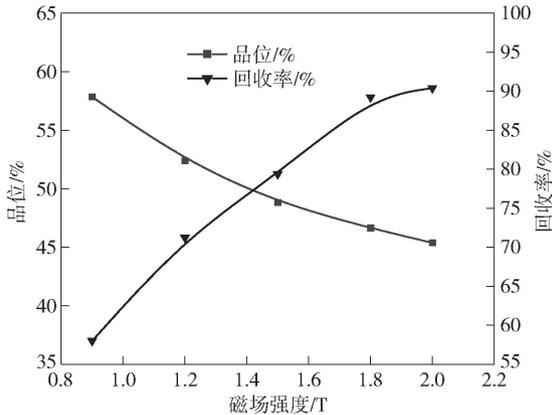


图 6 磁场强度对稀土品位和回收率影响

由图 6 结果可知,随着磁场强度的增加,稀土的回收率逐渐增加。磁场强度在 1.8 T 时,稀土精矿的品位为 46.63%,作业回收率为 89.22%,对原矿的回收率为 75.11%。

## 4 结论

(1) 试样中主要矿石为稀土,浮选采用一次粗选、四次精选、两次扫选,中矿顺序返回流程处理,获得浮选混合精矿中稀土品位为 13.82%,作业回收率为 84.19% 的稀土精矿。

(2) 混合浮选精矿中萤石和重晶石为稀土精矿的主要杂质,经过磁选工艺,可获得稀土精矿的品位为 46.63%,作业回收率为 89.22%,对原矿的回收率为 75.11%,磁选尾矿可用于重晶石和萤石浮选分离。

### [参考文献]

[1] Zhang X, Du H, Wang X, et al. Surface chemistry aspects of bastnaesite flotation with octyl hydroxamate [J]. International Journal of Mineral Processing, 2014 (133):29-38.

[2] 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): 73-77.

- [3] 王介良,曹钊,王建英,等. 辛基羟肟酸在氟碳铈矿表面的吸附机理[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2019, 50(4): 762-770.
- [4] 邱显扬,李美荣,梁冬云,等. 甘肃某复杂铈稀土矿石矿物学及选矿工艺特性研究[J]. 中国稀土学报, 2019, 37(5): 625-634.
- [5] 朱智慧,杨占峰,王其伟,等. 白云鄂博稀土精矿工艺矿物学研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(6): 1-4.
- [6] Abaka-Wood G B, Zanin M, Addai - Mensah J, et al. Recovery of rare earth elements minerals from iron oxide-silicate rich tailings-Part 2: Froth flotation separation [J]. Minerals Engineering, 2019, 142: 105888 - 105900.
- [7] Abaka-Wood G B, Fosu S, Addai - Mensah J, et al. Flotation recovery of rare earth oxides from hematite-quartz mixture using sodium oleate as a collector [J]. Minerals Engineering, 2019,141:105847 - 105858.
- [8] Zhang Y, Lin H, Dong Y, et al. Coupling relationship between multicomponent recovery of rare earth tailings [J]. Rare Metals, 2017,36(3):220-228.
- [9] 张悦,林海,董颖博,等. 白云鄂博地区尾矿中铁、铈、稀土、萤石综合回收研究[J]. 稀有金属, 2017, 41(7): 799-809.
- [10] 王鑫,康金星,于传兵,等. 四川某稀土矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2020,(06): 59-63.
- [10] 王介良,曹钊,王建英,等. 氟碳铈矿浮选中 EDTA 对萤石的选择性抑制作用机理[J]. 稀有金属, 2019, 50(4): 1-11.
- [11] 王鑫,林海,董颖博,等. 不同磁浮工艺对综合回收某稀土尾矿中稀土、铁、铈和萤石的影响[J]. 稀有金属, 2014, 38(5): 846-854.
- [12] 张发明,林日孝,管则皋,等. 大陆槽稀土矿石磁浮联合选矿工艺研究[J]. 金属矿山, 2014(10): 98-102.
- [13] Chi R, Li Z, Peng C, et al. Preparation of enriched cerium oxide from bastnaesite with hydrochloric acid by two-step leaching [J]. Metallurgical & Materials Transactions B, 2006,37(2):155-160.
- [14] 黄涛,求瑞娟,兰宗宝,等. 稀土尾矿库渗漏水污染对花背蟾蜍胚后发育的毒性作用[J]. 南方农业学报, 2019, 50(2): 412-417.
- [15] 魏光普,于晓燕,闫伟,等. 轻稀土尾矿库周边土壤中 La 和 Ce 分布特征[J]. 稀土,2019, 40(6): 35-41.