



牦牛坪稀土矿磨矿细度对浮选影响的实验研究

徐建新, 吴铸

(中稀(凉山)稀土有限公司 四川 西昌 61500)

摘要: 四川牦牛坪稀土矿是我国第二大稀土矿山, 稀土资源丰富, 且伴生有大量的萤石和重晶石资源。由于矿石中稀土、重晶石矿和萤石矿这三种矿物的嵌布粒度及磨矿难易程度不同, 为将有用矿物最大限度综合利用起来, 对该矿石进行了磨矿细度的浮选实验研究。结果表明, 将磨矿细度控制在-0.074 mm 53.47% 的条件下, 各有用矿物的综合回收率较高, 实现共伴生资源的综合利用。

关键词: 稀土; 重晶石; 萤石; 磨矿细度; 浮选; 综合利用

doi:10.12476/kczhly.202411040293

中图分类号: TD97 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2025)03-0128-06

引用格式: 徐建新, 吴铸. 牦牛坪稀土矿磨矿细度对浮选影响的实验研究[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(3): 128-133.

XU Jianxin, WU Zhu. Study on the effect of grinding fineness on flotation in maoniuping rare earth mine[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(3): 128-133.

我国是世界稀土资源最为丰富的国家, 矿种和稀土元素齐全^[1-2], 其中重稀土主要分布在江西赣南、福建龙岩等地^[3-4], 轻稀土主要分布在内蒙古白云鄂博、四川凉山、山东微山等地^[5]; 四川牦牛坪稀土矿是我国第二大稀土矿山, 稀土资源丰富^[6-7], 且伴生有大量的萤石和重晶石资源^[8]。

牦牛坪稀土矿目前采用优先浮选重晶石矿, 再对重晶石尾矿进行混合浮选, 得到稀土和萤石的混合精矿, 最后用强磁机分选混合精矿, 分离出稀土精矿和萤石精矿的工艺流程。浮选工艺流程见图1。在此工艺流程下, 对牦牛坪大型稀土矿进行了浮选研究, 在工艺矿物学研究及细度条件实验基础上, 确定了较佳的磨矿细度, 使各有用矿物的回收率达到较高。

1 矿石性质

该矿石成分复杂, 元素种类较多, 可供选矿回收的主要元素是稀土元素, 总稀土氧化物

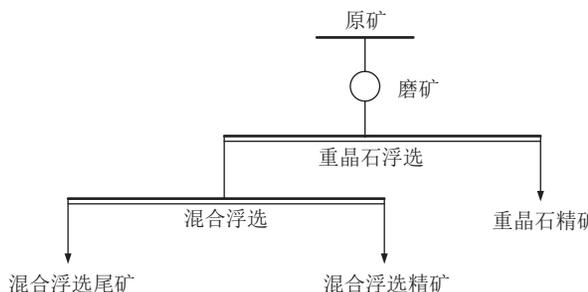


图1 牦牛坪稀土矿浮选工艺流程

Fig.1 Maoniuping rare earth ore flotation process

(TREO) 的品位为 2.94%。其中 $BaSO_4$ 的含量为 18.92%, CaF_2 的含量为 12.65%。该矿中主要矿物是氟碳铈镧矿、独居石, 其次重晶石、萤石及微量的磷钇矿和磷铝铈矿。其他矿物以长石、石英为主, 其次是云母、角闪石及褐铁矿、赤铁矿, 并含少量绿泥石、磷铝石, 在显微镜下观察, 发现矿石为半自形-它形粒状结构, 包含有胶状结构, 以细粒为主。矿石进行多元素分析结果见表1。

收稿日期: 2024-11-04

作者简介: 徐建新(1972-), 男, 大专, 主要研究方向为铜矿以及轻稀土矿的应用实践。

通信作者: 吴铸(1986-), 男, 本科, 主要研究方向为轻稀土矿的综合利用。

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

BaSO ₄	CaF ₂	Fe	Pb	Mo	REO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	S	P
18.92	12.65	2.38	0.64	0.008	2.94	30.81	8.95	3.42	1.09	0.44	0.21	2.89	0.16

2 实验设备及药剂

原矿经颚式破碎机和辊式破碎机进行破碎，碎至合适的粒度。采用四分法和缩分法获取实验所需矿样。

实验设备：XMQ 250 mm×100 mm 锥形球磨机，XFD 型挂槽式浮选机，SQΦ150 mm 盘式真空抽滤机，DZF-255 型鼓风式干燥箱。

浮选药剂：BC-1 捕收剂；水玻璃，模数 2.5；XP-2 消泡剂；FCF 捕收剂。

3 结果与讨论

3.1 重晶石的细度条件实验

3.1.1 磨矿细度条件实验

浮选指标的好坏取决于磨矿的细度，要想使重晶石矿与脉石矿物达到充分的单体解离，必须将原矿磨至合适的细度。所以对矿石做了磨矿细度的条件实验。实验的条件：水玻璃用量为 1 000 g/t，BC-1 用量为 800 g/t，消泡剂 XP-2 用量为 50 g/t，粗选实验流程见图 2，磨矿细度实验结果见图 3。

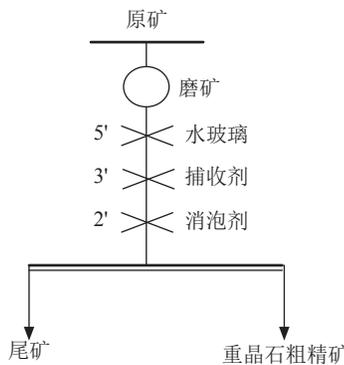


图2 粗选实验流程
Fig.2 Roughing test flow

由图 3 可知，粗选精矿中 BaSO₄ 的品位先随磨矿细度的增加而逐渐增加，品位达到 88.96% 之后开始降低，回收率则呈一直升高的趋势，说明在磨矿细度 -0.074 mm 53.47% 时，大部分重晶石矿与脉石矿物已充分解离，此时粗精矿中 BaSO₄ 的品位达到 88.96%，回收率达到 96.34%，继续增加磨矿细度时，矿浆中的矿泥含量过多，精矿指

标反而出现下降。所以最终将磨矿细度定为 -0.074 mm 53.47% 较为合适。

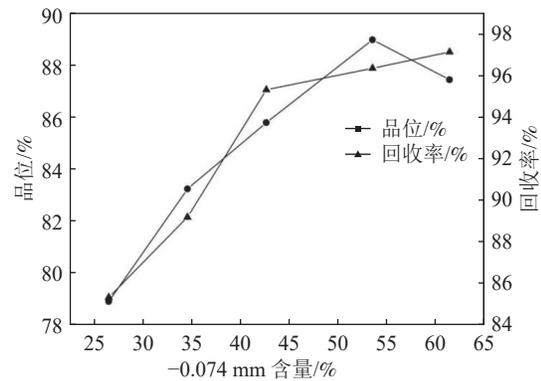


图3 重晶石细度条件实验结果
Fig.3 Test results of barite fineness conditions

3.1.2 重晶石的开路、闭路浮选流程实验

为优化出较佳的重晶石浮选流程，进行了重晶石浮选的开路和闭路实验。重晶石开路浮选实验流程见图 4，开路实验结果见表 2，重晶石浮选的闭路实验流程见图 5，闭路实验结果见表 3。

表 3 可以看出，经过闭路重晶石浮选后，精矿 BaSO₄ 的品位达到 97.62%、精矿的回收率达到 93.96%。因重晶石矿硬度较低，磨矿使矿浆中的矿泥含量过高，三次精选后精矿的品位已经达到 97%，后续也无法使精矿中的杂质继续减少，最终确定采用一次粗选三次精选二次扫选中矿依次返回的闭路流程，可获得指标良好的精矿，使该大型矿山中伴生的重晶石资源得到了有效利用。

3.2 混合浮选的细度条件实验

3.2.1 混合浮选中稀土浮选磨矿细度条件实验

稀土矿物的硬度较小，属易磨矿物；萤石矿物的硬度较大，属难磨矿物，要想使这两种矿物与脉石矿物达到充分的单体解离，必须找到一个合适的磨矿细度，同时尽可能多地回收稀土矿物，进行了稀土磨矿细度的条件实验。实验的条件：混浮捕收剂用量为 1 000 g/t，混合浮选粗选实验流程见图 6，磨矿细度实验结果见图 7。

由图 7 可知，粗选精矿中 REO 的回收率先随磨矿细度的增加而逐渐增加，回收率达到 96.81% 之后开始降低，品位则呈一直降低的趋

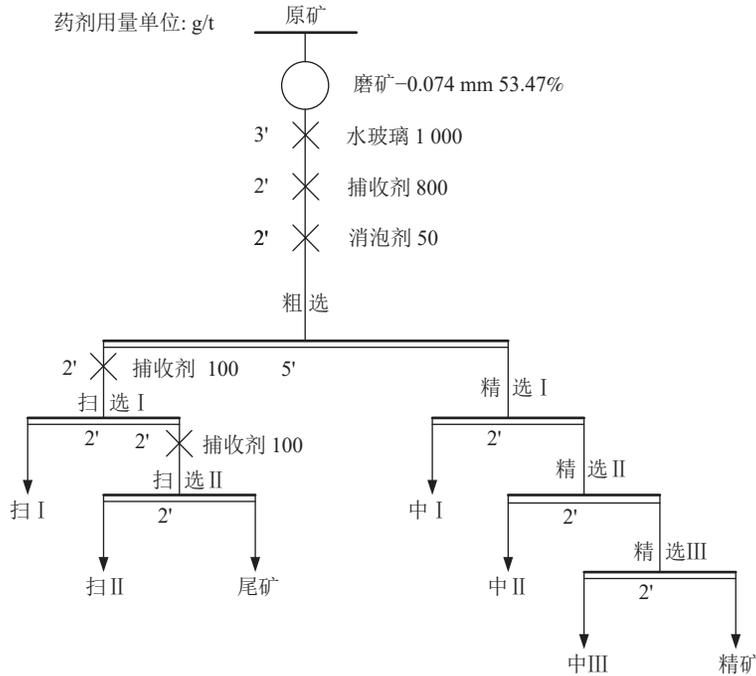


图 4 开路重晶石浮选流程
Fig.4 Open-circuit barite flotation process

表 2 开路重晶石浮选结果
Table 2 Open-circuit barite flotation results

产物名称	产率/%	BaSO ₄ 品位/%	BaSO ₄ 回收率/%
精矿	17.59	97.89	89.58
中III	0.95	65.31	3.23
中II	1.07	23.28	1.30
中I	1.71	12.35	1.10
扫II	0.75	4.91	0.19
扫I	1.67	6.46	0.56
尾矿	76.26	1.02	4.05
给矿	100.00	19.22	100.00

势，说明在磨矿细度-0.074 mm 61.72%时，大部分稀土矿与脉石矿物已充分解离，此时粗精矿中 REO 的品位达到 9.87%，回收率达到 96.81%，继续增加磨矿细度时，矿浆中的矿泥含量过多，精矿回收率反而出现下降。所以最终将磨矿细度定为-0.074 mm 61.72% 较为合适。

3.2.2 稀土的开路、闭路浮选流程实验

为优化出较佳的稀土浮选流程，进行了稀土浮选的开路和闭路实验。开路实验结果见表 4，稀土浮选的闭路实验流程见图 8，闭路实验结果见表 5。

表 5 可以看出，经过闭路稀土浮选后，精矿 REO 的品位达到 17.12%、精矿的回收率达到 91.09%。因稀土矿硬度较低，磨矿使矿浆中的矿

泥含量过高，三次精选后精矿的品位无法继续增加，最终确定采用一次粗选三次精选一次扫选中矿依次返回的闭路流程，可获得指标良好的精矿。

3.2.3 混合浮选中萤石浮选磨矿细度条件实验

萤石和稀土是混合浮选出来，进行了萤石磨矿细度对浮选指标影响的实验研究，流程见图 6，萤石磨矿细度实验结果图 9。

由图 9 可知，粗选精矿中 CaF₂ 的回收率先随磨矿细度的增加而逐渐增加，回收率达到 98.72% 之后开始降低，品位则呈一直下降的趋势，说明在磨矿细度-0.074 mm 71.43% 时，大部分萤石矿与脉石矿物已充分解离，此时粗精矿中 CaF₂ 的品位达到 39.47%，回收率达到 98.72%，继续增加磨矿细度时，矿浆中的矿泥含量过多，精矿回收率反而出现下降。所以最终将磨矿细度定为-0.074 mm 71.43% 较为合适。

3.2.4 萤石的开路、闭路浮选流程实验

为优化出较佳的萤石浮选流程，进行了萤石浮选的开路和闭路实验。萤石浮选的开路实验结果见表 6，萤石浮选的闭路实验流程见图 10，闭路实验结果见表 7。

表 7 可以看出，经过闭路萤石浮选后，精矿 CaF₂ 的品位达到 70.34%、精矿的回收率达到 90.50%。最终确定采用一次粗选三次精选一次扫

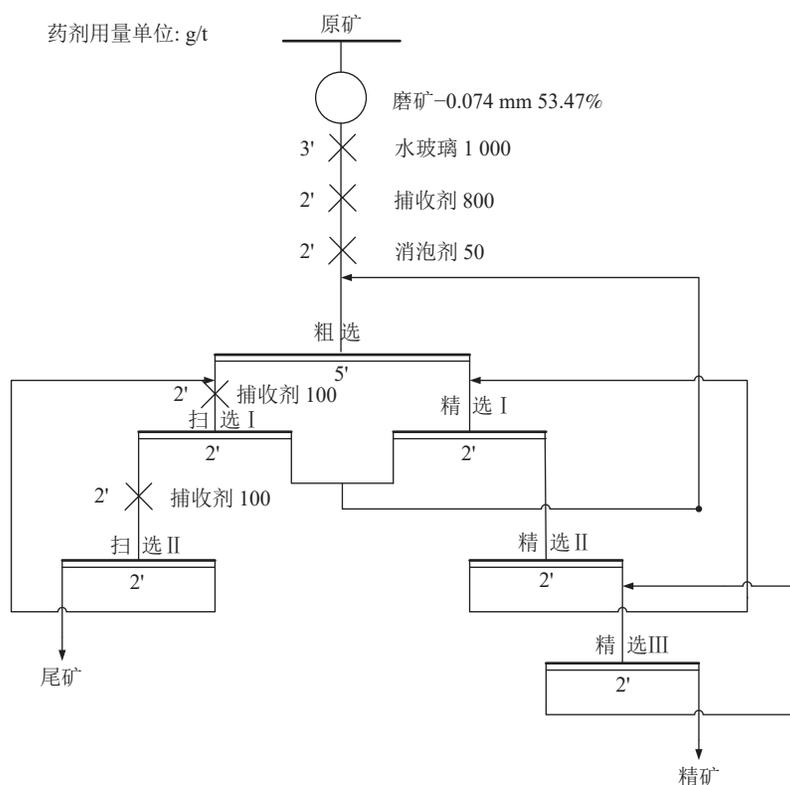


图5 闭路重晶石浮选流程
Fig.5 Closed-circuit barite flotation process

表3 闭路重晶石浮选结果
Table 3 Closed-circuit barite flotation results

产物名称	产率/%	BaSO ₄ 品位/%	BaSO ₄ 回收率/%
精矿	18.21	97.62	93.96
尾矿	81.79	1.40	6.04
给矿	100.00	18.92	100.00

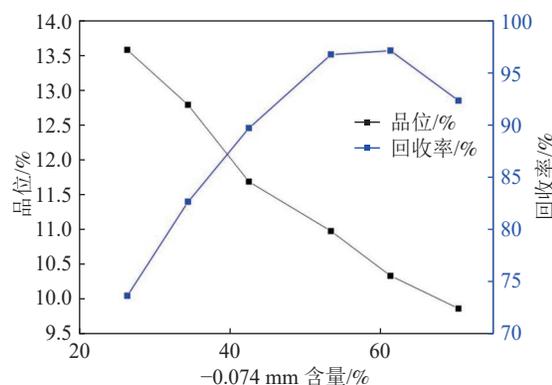


图7 稀土细度条件实验结果
Fig.7 Test results of rare earth fineness conditions

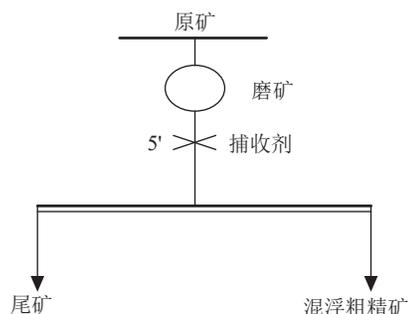


图6 混浮粗选实验流程
Fig.6 Mixed flotation roughing test flow

选中矿依次返回的闭路流程，可获得指标良好的精矿。

4 结论

(1) 牦牛坪大型稀土矿山中重晶石浮选的较

表4 开路稀土浮选结果
Table 4 Open-circuit rare earth flotation results

产物名称	产率/%	REO品位/%	REO回收率/%
精矿	11.32	17.56	70.38
中III	2.13	8.95	6.74
中II	2.62	6.27	5.82
中I	10.51	3.32	12.36
扫I	4.03	0.54	0.77
尾矿	69.40	0.16	3.93
给矿	100.00	2.82	100.00

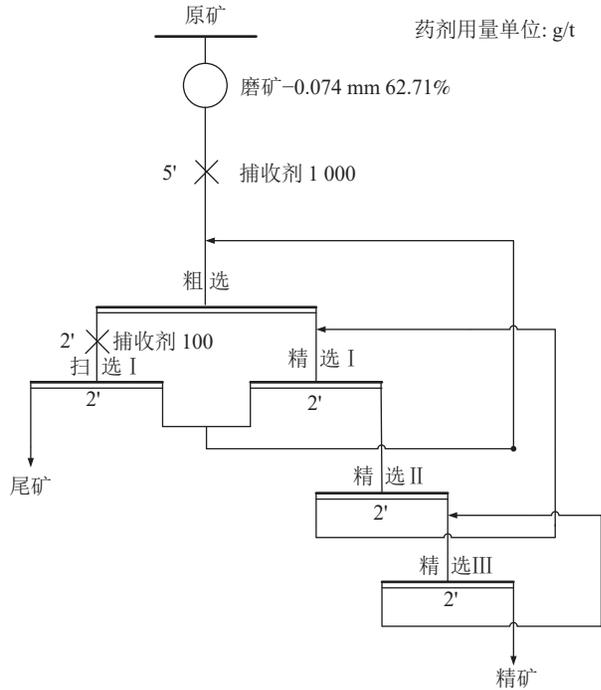


图 8 闭路稀土浮选流程

Fig.8 Closed-circuit rare earth flotation process

表 5 闭路稀土浮选结果

Table 5 Closed-circuit rare earth flotation results

产物名称	产率/%	REO品位/%	REO回收率/%
精矿	15.59	17.12	91.09
尾矿	84.41	0.31	8.91
给矿	100.00	2.93	100.00

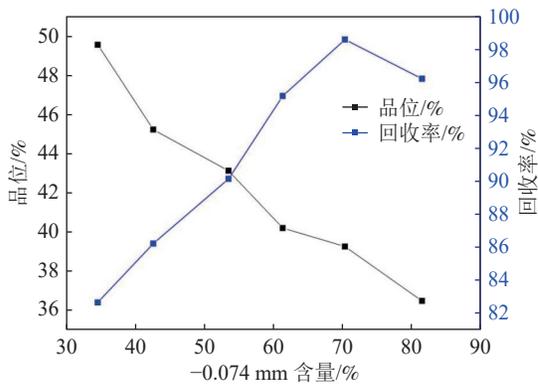


图 9 萤石细度条件实验结果

Fig.9 Fluorite fineness condition test results

佳磨矿细度为-0.074 mm 53.47%；稀土浮选的较佳磨矿细度为-0.074 mm 61.72%；萤石浮选的较佳磨矿细度为-0.074 mm 71.43%。

(2) 这三种有用矿物的较佳磨矿细度都各不相同；重晶石的较佳磨矿细度最低，萤石的较佳磨矿细度最高，稀土则居于两者之间；但这三种有用矿物中稀土的价值远远大于另外两种有用矿

表 6 开路萤石浮选结果

Table 6 Open-circuit fluorite flotation results

产物名称	产率/%	CaF ₂ 品位/%	CaF ₂ 回收率/%
精矿	12.62	72.98	77.67
中III	1.89	35.42	5.63
中II	2.47	21.45	4.46
中I	8.91	9.43	7.09
扫I	4.03	1.59	0.54
尾矿	70.08	0.78	4.61
给矿	100.00	11.86	100.00

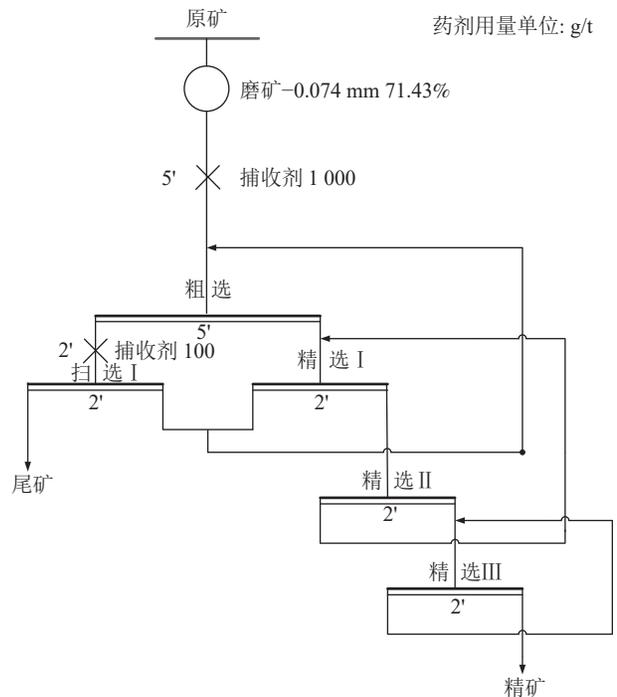


图 10 闭路萤石浮选流程

Fig.10 Closed-circuit fluorite flotation process

表 7 闭路萤石浮选结果

Table 7 Closed-circuit fluorite flotation results

产物名称	产率/%	CaF ₂ 品位/%	CaF ₂ 回收率/%
精矿	16.52	70.34	90.50
尾矿	83.48	1.46	9.50
给矿	100.00	12.84	100.00

物，因此将稀土的较佳磨矿细度定为这三种矿物浮选的较佳磨矿细度，较佳为-0.074 mm 60%左右。

参考文献：

[1] 张惠, 康博文, 田春秋. 全球稀土二次资源回收利用进展[J]. 矿产综合利用, 2022(3):86-94.

ZHANG H , KANG B W, TIAN C Q. Analysis on recovery

and utilization of global rare earth secondary resources[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2022(3):86-94.

[2] 岑对对, 高惠民, 陶世杰, 等. 重庆某萤石矿尾矿回收重晶石实验研究[J]. *非金属矿*, 2014(3):46-49.

CEN D D, GAO H M, TAO S J, et al. Experimental study on recovery of barite from tailings of a fluorite mine in Chongqing[J]. *Non-metallic Mines*, 2014(3):46-49.

[3] 李超, 舒荣波, 程蓉, 等. 不同深度离子型稀土矿连续浸出实验[J]. *矿产综合利用*, 2023(4):78-82.

LI C, SHU R B, CHENG R, et al. Continuous leaching test of ion-type rare earth ore at different depths[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2023(4):78-82.

[4] 王彩凤. 我国稀土工业发展与展望[J]. *稀土信息*, 2009(9):4-8.

WANG C F. Development and prospect of China's rare earth industry[J]. *Rare Earth Information*, 2009(9):4-8.

[5] 陈福林, 杨晓军, 何婷, 等. 四川冕宁牦牛坪稀土矿尾矿工艺矿物学分析[J]. *现代矿业*, 2018, 34(8):110-112.

CHEN F L, YANG X J, HE T, et al. Process mineralogy

analysis of rare earth tailings from Mianning Yannuping Mine in Sichuan Province[J]. *Modern Mining*, 2018, 34(8):110-112.

[6] 王盼盼, 陈林, 杨晓军, 等. 四川典型轻稀土赋存状态[J]. *矿产综合利用*, 2019(6):60-64.

WANG P P, CHEN L, YANG X J, et al. Typical occurrence of light rare earth in Sichuan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(6):60-64.

[7] 车丽萍, 余永富. 我国稀土矿选矿生产现状及选矿技术进展[J]. *稀土*, 2006, 27(1):95-102.

CHE L P, YU Y F. Mineral processing status and technology progress of rare earth ore in China[J]. *Rare Soil*, 2006, 27(1):95-102.

[8] 严伟平, 曾小波, 杨耀辉. 四川某稀土尾矿综合回收利用的选矿试验研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2019(4):9-15.

YAN W P, ZENG X B, YANG Y H. Beneficiation test study on comprehensive recovery and utilization of a rare earth tailings in Sichuan[J]. *Non-ferrous Metals (Beneficiation Section)*, 2019(4):9-15.

Study on the Effect of Grinding Fineness on Flotation in Maoniuping Rare Earth Mine

XU Jianxin, WU Zhu

(Zhongxi (Liangshan) Rare Earth Co., Ltd., Xichang, Sichuan 61500, China)

Abstract: Maoniuping rare earth mine in Sichuan Province is the second largest rare earth one in China. It is rich in rare earth resources, and there are a lot of fluorite and barite resources associated with it. Due to the different distribution size and grinding difficulty of the three minerals of rare earth, barite and fluorite in the ore, the flotation test of grinding fineness of the ore was carried out in order to maximize the comprehensive utilization of useful minerals. The results show when the grinding fineness is controlled at -0.074 mm 53.47%, the comprehensive recovery rate of all useful minerals is relatively high, and the comprehensive utilization of co-associated resources is realized.

Keywords: rare earth; barite; fluorite; fineness of grinding; flotation; comprehensive utilization