

西北某重晶石矿选矿工艺实验

任琳珠¹, 王李鹏²

(1. 西北矿冶研究院, 甘肃 白银 730900; 2. 厦门紫金矿冶技术有限公司,
福建 厦门 361000)

摘要: 这是一篇矿物加工工程领域的论文。针对西北某重晶石矿分布不均匀、嵌布粒度粗细不均、重晶石与石英嵌布关系极为密切等特点, 进行了详细的选矿工艺实验研究, 研究结果表明: 水玻璃作为抑制剂、氧化石蜡皂作为捕收剂可有效实现硫酸钡与脉石的分选, 采用快速+强化浮选工艺, 减轻了精选作业负荷、强化了硫酸钡的综合回收, 小型闭路浮选实验获得重晶石精矿中硫酸钡品位 89.16%、SiO₂ 品位 0.85%, 硫酸钡回收率 92.01% 的较好技术指标, 重晶石精矿产品品质达到钻井用重晶石粉质量标准。

关键词: 非金属选矿; 矿物加工工程; 重晶石(硫酸钡); 快速浮选工艺

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.03.024

中图分类号: TD97 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 03-0143-05

重晶石是我国的优势矿产资源, 主要分布在贵州、湖南、甘肃、广西等省份, 储量和产量均居世界第一^[1-2]。重晶石广泛用于工业生产的各个方面, 最大的工业应用领域为石油天然气开发钻井矿泥的加重剂, 此外, 还应用于各种钡化工原料、添加剂及建筑材料等工业领域^[3-4]。伴随重晶石矿产资源的不断开发, 嵌布关系简单、嵌布粒度粗、易选的重晶石资源日益减少, 甚至枯竭, 剩余大多重晶石矿具有贫、细、杂的特点, 开发难度大, 经济效益差, 为此研发新工艺新技术, 提高重晶石的开发利用, 具有重要的现实意义。

传统的重晶石选矿方法主要包括手选、重选、磁选、浮选、反浮选及联合的选矿方法^[5-7], 重选和浮选应用较为广泛, 重选工艺主要适用于嵌布关系简单、嵌布粒度较粗的重晶石矿, 浮选工艺对原料的适应性较强, 大多应用于硅酸盐类重晶石矿选矿中, 浮选工艺的主要影响因素有重晶石的天然可浮性、矿浆 pH 值、捕收剂的吸附性强弱、抑制剂的选择性抑制能力、磨矿细度等^[8]。

本文针对所研究重晶石矿石的性质, 选用适宜的浮选药剂, 采用快速+强化浮选工艺, 实现了该复杂重晶石矿的高效加工提纯。

1 矿石性质

该矿石属非金属矿, 有价矿物主要为重晶石, 少量菱铁矿、褐铁矿、毒重石, 脉石矿物主要为石英, 少量方解石, 微量绢云母、萤石等。重晶石富集呈块状, 也有部分呈脉状或者稀疏浸染状分散在脉石中, 重晶石在矿石中分布极不均匀, 嵌布粒度粗细不均, 较纯的重晶石呈白色块状, 部分混入菱铁矿呈浅红色, 两者形成条带状构造, 部分呈稀疏浸染状分散在矿石中, 部分呈脉状穿插在矿石裂隙中。重晶石与石英嵌布关系极为密切, 部分重晶石与石英呈粒状镶嵌在一起, 界限不规则, 不易单体解离; 部分重晶石呈单体与石英脉一起产出; 部分重晶石呈脉状产出在石英脉的裂隙中。该重晶石矿石化学多元素分析结果见表 1。

表 1 原矿多元素分析结果 /%

Table 1 Chemical analysis results of the samples

BaSO ₄	BaCO ₃	TFe	Pb	Zn	Cu	As	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	SrO ₂	Cd
61.51	4.46	4.26	0.006	0.07	0.06	<0.05	0.005	23.74	0.78	0.93	0.24	0.95	0.65	<0.01

收稿日期: 2021-04-07

作者简介: 任琳珠 (1988-), 女, 高级工程师, 主要从事矿物加工工程研究。

2 实验结果与讨论

2.1 重选实验结果与讨论

重晶石与石英的密度差异较大,重选工艺在重晶石选矿中较为常用,主要受重晶石的嵌布粒度影响较大。根据该重晶石矿石性质研究结果,重选实验分别对-2 mm 粒级进行分级摇床重选:其中-2+0.833 mm 采用粗砂摇床,冲程 14 mm,冲刺 280 次/min, -0.833+0.147 mm 采用细砂摇床,冲程 12 mm,冲刺 350 次/min, -0.147 mm 采用矿泥摇床,冲程 9 mm,冲刺 420 次/min,重选实验结果见表 2。

表 2 重选实验结果

Table 2 Result of gravity separation				
粒级/mm	产品名称	产率/%	BaSO ₄ 品位/%	BaSO ₄ 回收率/%
-2+0.833	精矿 ⁺	83.45	67.45	91.93
	尾矿 ⁺	16.55	29.87	8.07
	原矿 ⁺	100.00	61.23	100.00
-0.833+0.147	精矿 ⁺	67.21	68.34	80.26
	尾矿 ⁺	32.79	34.46	19.74
	原矿 ⁺	100.00	57.23	100.00
-0.147	精矿 ⁺	54.87	77.45	68.17
	尾矿 ⁺	45.13	43.97	31.83
	原矿 ⁺	100.00	62.34	100.00

由表 2 结果可见,采用重选法实验效果较差,无法获得合格的重晶石精矿,且硫酸钡回收率较低,所以摇床重选不适宜该重晶石矿的选矿。

2.2 浮选实验结果与讨论

2.2.1 磨矿细度的影响

磨矿细度是重晶石浮选的关键,磨矿细度过粗则重晶石矿物未充分单体解离,磨矿细度过细则重晶石浮选矿化环境变差,且药耗和能耗等成本增加。本节采用碳酸钠 500 g/t 作为调整剂,水玻璃 500 g/t 作为脉石矿物的抑制剂,氧化石蜡皂 300 g/t 作为重晶石矿物的捕收剂,在此条件下,考查了磨矿细度对浮选指标的影响,经一次粗选(浮选时间为 6 min),获得粗精矿和尾矿,实验结果见图 1。

由图 1 可见,随着磨矿细度的升高,粗精矿中硫酸钡品位逐渐下降,硫酸钡的回收率显著提升,当磨矿细度大于 85% -0.074 mm 粒级后,硫酸钡回收率趋于稳定,综合考虑硫酸钡回收率、品位及磨矿能耗等因素,确定该矿石的较优磨矿细度为 85% -0.074 mm 粒级。

2.2.2 调整剂种类的影响

重晶石选矿中常用的调整剂有碳酸钠、氢氧化钠,适宜的调整剂种类及用量有利于提升重晶

石矿物的浮选特性、优化浮选矿化环境。本节固定磨矿细度为 85% -0.074 mm 粒级,水玻璃 500 g/t 作为脉石矿物的抑制剂,氧化石蜡皂 300 g/t,考查了不添加调整剂(自然介质)和添加碳酸钠、氢氧化钠对粗选指标的影响,经一次粗选(浮选时间为 6 min),获得粗精矿和尾矿,实验结果见图 2。

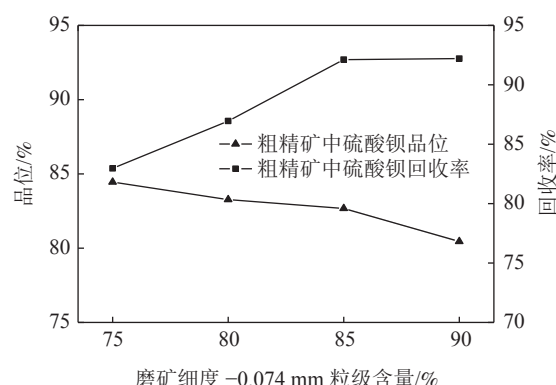


图 1 磨矿细度对浮选指标的影响

Fig.1 Effect of grinding fineness on barite flotation

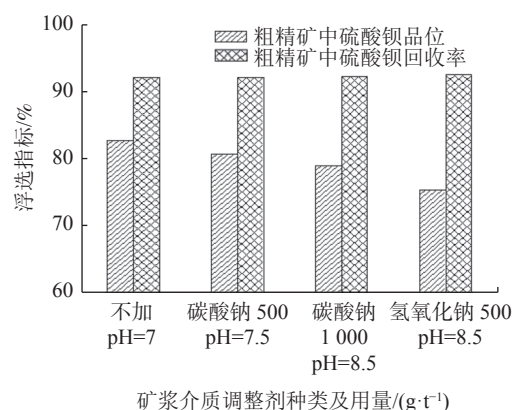


图 2 调整剂对浮选指标的影响

Fig.2 Effect of regulators on barite flotation

由图 2 实验结果可知,伴随碳酸钠用量的增大,矿浆 pH 值从 7.5 升高至 8.5,粗精矿中硫酸钡的回收率稳定在 92% 左右,但粗精矿中硫酸钡的品位却逐步下降,添加氢氧化钠至矿浆 pH=8.5 时,硫酸钡品位降低至 75.34%,综合考虑硫酸钡的品位、回收率及药剂成本,确定该矿石不添加介质调整剂。

2.2.3 水玻璃用量的影响

水玻璃是石英及硅酸盐脉石矿物的抑制剂,在重晶石矿物浮选中较为常见,其对降低精矿中二氧化硅等杂质的含量、提升精矿品质具有显著效果,同时,在细粒级或泥化矿浆浮选过程中,水玻璃具有分散矿浆、消除泥化脉石在重晶石矿物表面的静电吸附和罩盖,从而起到优化矿化浮选环境的作用。固定磨矿细度 85% -0.074 mm

粒级，氧化石蜡皂 300 g/t，考查了水玻璃用量对重晶石浮选的影响，经一次粗选（浮选时间为 6 min）获得粗精矿和尾矿，实验结果见图 3。

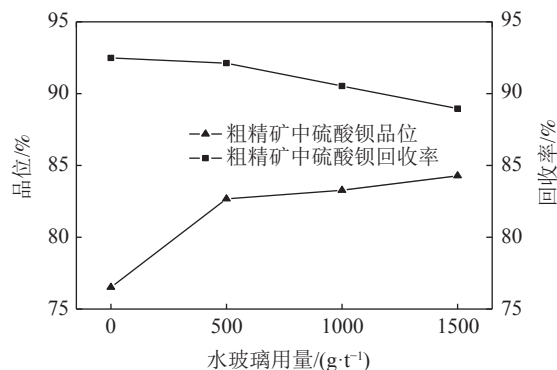


图3 水玻璃用量对浮选指标的影响
Fig.3 Effect of sodium silicate dosage on barite flotation

由图 3 可见，加入水玻璃与不加水玻璃相比，粗精矿中硫酸钡品位显著升高，伴随水玻璃用量的增加，粗精矿中硫酸钡品位逐步升高，但硫酸钡的回收率显著下降，综合考虑粗精矿中硫酸钡品位、回收率等因素，确定较优的水玻璃用量为 500 g/t。

2.2.4 捕收剂种类及用量的影响

重晶石常用的捕收剂有氧化石蜡皂、十二烷基磺酸钠、十二烷基硫酸钠、油酸等，捕收剂种类和用量是重晶石浮选中重要的影响因素，捕收剂过量则脉石矿物夹杂太多，精矿品质难以保证，捕收剂太少则重晶石回收率偏低。本节固定磨矿细度 85% -0.074 mm 粒级，水玻璃 500 g/t，对比了几种常用捕收剂对重晶石浮选指标的影响，实验结果见图 4，在此基础上，考查了氧化石蜡皂用量对重晶石浮选指标的影响，实验结果见图 5。

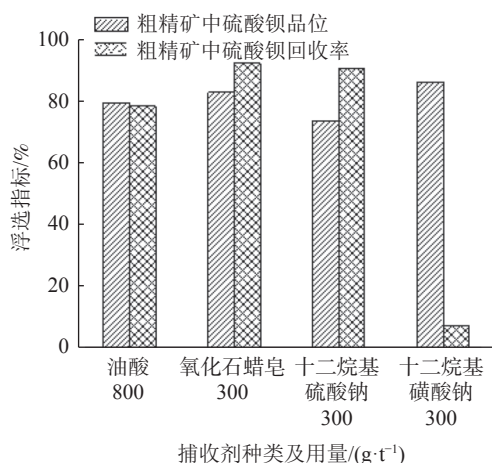


图4 捕收剂种类对浮选指标的影响
Fig.4 Effect of collector type on flotation index

由图 4~5 可见，确定氧化石蜡皂作为该矿石的捕收剂。伴随氧化石蜡皂用量的增加，粗精矿中硫酸钡的品位明显下降，硫酸钡回收率先升高后趋于稳定，当氧化石蜡皂用量超过 300 g/t 时，硫酸钡回收率变化不大，但粗精矿中硫酸钡品位下降明显，综合考虑粗精矿中硫酸钡品位、回收率及药剂成本等因素，确定较优的氧化石蜡皂用量为 300 g/t。

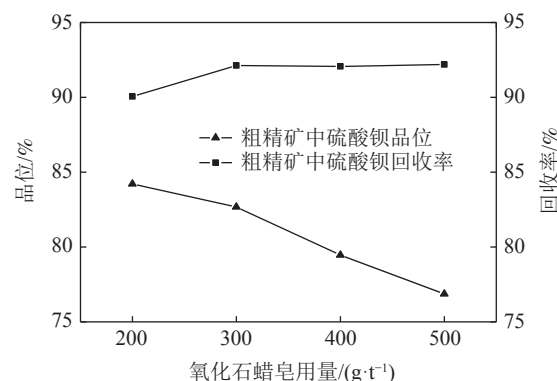


图5 氧化石蜡皂用量对浮选指标的影响
Fig.5 Effect of paraffin oxide soap dosage on barite flotation

3 浮选工艺流程实验

在浮选条件实验基础上，为实现该重晶石矿快速高效强化综合回收，考查了快速+强化浮选工艺和传统的浮选工艺流程对浮选指标的影响，实验工艺流程分别见图 6、7，实验结果见表 3，产品检测结果见表 4。

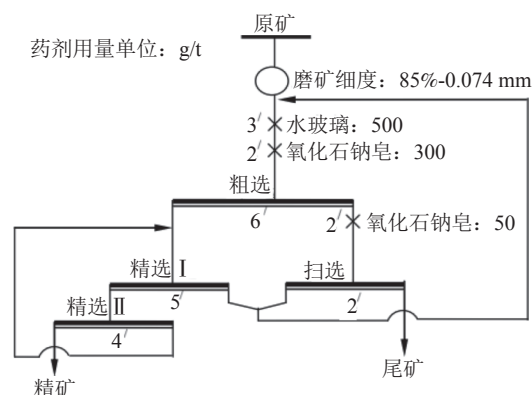


图6 传统浮选工艺流程及条件
Fig.6 Flotation process flow and conditions of conventional

由表 3 可知，与传统浮选工艺相比，采用快速+强化浮选工艺，虽然药剂用量略有增加，但快速浮选大幅减轻了精选的作业负荷，实现了能收早收，闭路浮选实验获得加权总精矿中硫酸钡品位 89.16%，回收率提升 92.01%，较传统浮选工艺

闭路实验结果的精矿品位和回收率分别提高 1.38%、1.5%。表 4 重晶石产品检测结果可知,快速+强化浮选工艺获得的重晶石精矿中主要参数均达到钻井液用重晶石粉质量标准 GB/T 5005-94 的规定中特级品要求。

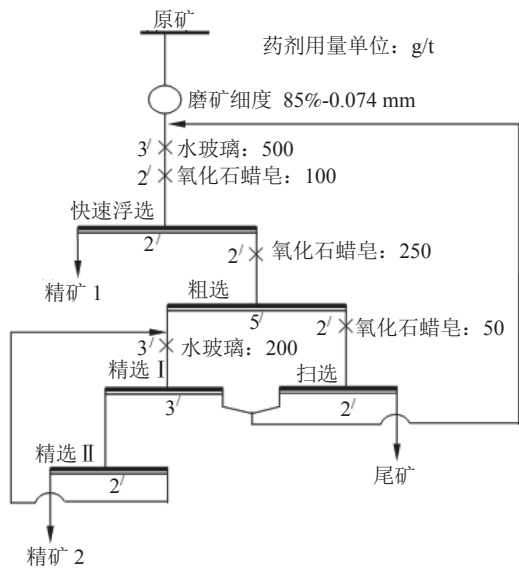


图 7 快速+强化浮选工艺流程及条件
Fig.7 Process flow and conditions of rapid and enhanced flotation

表 3 闭路浮选实验结果 Table 3 Results of the closed-circuit flotation test				
浮选工艺	产品名称	产率/ %	BaSO ₄ 品位/%	BaSO ₄ 回收率/%
传统浮选工艺	精矿	63.42	87.78	90.51
	尾矿	36.58	15.96	9.49
	原矿	100.00	61.51	100.00
	精矿 1	30.18	92.72	45.50
快速+强化浮选工艺	精矿 2	33.29	85.94	46.51
	加权总精矿	63.47	89.16	92.01
	尾矿	36.53	13.46	7.99
	原矿	100.00	61.51	100.00

4 结 论

(1) 该矿石属非金属矿,有价矿物主要为重晶石,少量菱铁矿、褐铁矿、毒重石,脉石矿物主要为石英,少量方解石,微量绢云母、萤石等。重晶石在矿石中嵌布粒度粗细不均,重晶石与石英嵌布关系极为密切。

(2) 对-2 mm 粒级重晶石原矿进行分级摇床分选,实验结果表明,重选对重晶石的回收效果较差,无法获得合格的重晶石精矿,且硫酸钡回收率较低,也无法抛尾。

表 4 快速+强化浮选工艺重晶石精矿产品检测结果 Table 4 Test results of barite concentrate products by rapid and enhanced flotation process									
名称	BaSO ₄	BaCO ₃	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	SrO ₂
含量/%	89.16	3.81	1.34	0.87	0.36	0.19	0.27	0.22	0.37
项目	密度/(g·cm ⁻³)	细度/%		0.043 孔径筛筛余量		粘度效应/mPa·s		加硫酸钙后	
测定结果	4.31	0.074 孔径筛筛余量		4.82		加硫酸钙前		45	
		2.57				47			

(3) 采用浮选法分别对磨矿细度、调整剂种类用量、水玻璃用量、捕收剂种类及用量对粗选指标影响进行了考查,结果表明,磨矿细度和水玻璃用量对硫酸钡的浮选回收率影响较大,调整剂种类和氧化石蜡皂对硫酸钡粗精矿品位影响较大,最终确定该矿石适宜的粗选工艺技术条件为:磨矿细度为 85% -0.074 mm、不添加矿浆介质调整剂、水玻璃用量为 500 g/t、氧化石蜡皂用量为 300 g/t。

(4) 在条件实验基础上,重点对比了传统浮选工艺与快速+强化浮选工艺对闭路浮选指标的影响,结果表明,虽然快速+强化浮选工艺的药剂用量略有增加,但其能大幅度减轻精选的作业负荷,实现了能收早收,闭路浮选实验获得加权总精矿中硫酸钡品位 89.16%,回收率提升 92.01% 的

较好技术指标,较传统浮选工艺闭路实验结果的精矿品位和回收率分别提高 1.38%、1.5%。快速+强化浮选工艺获得的重晶石精矿中主要参数均达到钻井液用重晶石粉质量标准 GB/T 5005-94 的规定中特级品要求。

参考文献:

[1] 李春阳,田升平,牛桂芝.中国重晶石矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J].化工矿产地质.2010,6(2):75-86
LI C Y, TIAN S P, NIU G Z. Discussion on china barite-concentrating area and the resource potential[J]. Geology of Chemical Minerals. , 2010, 6(2): 75-86.
[2] 李占远.我国重晶石资源分布与开发前景[J].中国非金属矿工业导刊.2004,20(5):86-88.
LI Z Y. Distribution and development prospect of barite resources in China [J]. China Non-metallic Minerals Industry. 2004, 20(5): 86-88.

[3] 童义隆, 罗惠华, 舒超, 等. 贵州重晶石与方解石常温浮选分离实验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(1): 54-58.

TONG Y L, LUO H H, SU C, et al. Research on flotation test of separation of barite and calcite from Guizhou at normal temperature[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(1): 54-58

[4] 王洋, 黄聪, 李珍. 重晶石资源现状及材料化应用[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(6): 26-32.

WANG Y, HUANG C, LI Z. Status quo and materialized application of barite resources [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources. 2020, 40(6): 26-32.

[5] 高扬, 刘全军, 宋建文. 贵州某低品位重晶石矿选矿试验研究[J]. 化工矿物与加工, 2017, 46(7):17-20.

GAO Y, LIU Q J, SONG J W. Flotation test on a low-grade barite ore in Guizhou[J]. Chemical Minerals and Processing,

2017, 46(7):17-20.

[6] 王洪君, 戴惠新, 杨伟林, 等. 国内某低品位重晶石矿的浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2015(4):42-45.

WANG H J, DAI H X, YANG W L, et al. Experimental research on flotation of a low-grade barite ore in China[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2015(4):42-45.

[7] 赵阳, 刘四清, 王丹, 等. 云南某低品位重晶石矿的浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2015(3):36-39+31.

ZHAO Y, LIU S Q, WANG D, et al. Experimental research on flotation of a low-grade barite ore in Yunnan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2015(3):36-39+31.

[8] 陈雄, 顾帼华. 重晶石浮选研究现状[J]. 矿产综合利用, 2014(4):5-8.

CHEN X, GU G H. Research status of barite flotation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2014(4):5-8.

Experimental Study on Flotation Process of a Barite Mine in Northwest China

Ren Linzhu¹, Wang Lipeng²

(1.Northwest Research Institute of Mining and Metallurgy, Baiyin, Gansu, China;

2.Xiamen Zijin Mining and Metallurgy Technology Co., Ltd, Xiamen, Fujian, China)

Abstract: This is a paper in the field of mineral processing engineering. According to the characteristics of a certain barite ore in Northwest China, such as uneven distribution of barite ore, uneven dissemination particle size of barite, and extremely close dissemination relationship between barite and quartz, a detailed beneficiation process test was carried out. The research results show that: Sodium silicate as depressant, oxygen fossil sodium soap as a collector, which can effectively realize the barium sulfate and gangue separation, using fast segmentation strengthened flotation technology, reduce the selected operation load and strengthening the comprehensive recovery of barium sulfate, small closed-circuit flotation tests with the grade of barium sulfate in the barite ore concentrate 89.16%, the SiO₂ grade is 0.85%, recovery rate of barium sulfate 92.01% better technical index, barite ore concentrate products meet brick wells with barite powder quality standards.

Keywords: Non-metallic mineral processing; Mineral processing engineering; Barite (barium sulfate); Rapid flotation process

(上接第 138 页)

minerals in phosphate ore, thus improving the dissolution and release of phosphorus in phosphate ore, so that it can be used as phosphate fertilizer. As an ultra-fine grinding equipment, the feasibility of using stirred mill to treat phosphate ore and the research on the influence of process parameters on grinding effect are not perfect. A phosphate ore in Hebei Province was wet ground by a vertical stirring mill in this paper. The particle size distribution of the ground product was detected by NKT6100-D laser particle size analyzer. The effect of grinding process parameters on the particle size composition of product and the content of newly formed particles was explored, and the product particle size was parametrically analyzed by R-R equation to determine the more appropriate operating process parameters. The results showed that under the conditions of agitator speed of 550 r/min, grinding concentration of 65%, filling rate of 60%, feed to ball ratio of 0.5 and grinding time of 30 min, the available phosphorus content and phosphorus solubility in citric acid of 8.75% and 74.03%, particle characteristic parameter b of 0.371 and uniformity coefficient n of 1.426 were obtained. It can be seen that it is feasible to use a vertical stirring mill for ultra-fine grinding of phosphate ore.

Keywords: Stirred mill; Mineral processing engineering; Ultra-fine grinding; Particle size characteristics; Available phosphorus; Phosphorus solubility in citric acid