

# 锂云母矿硫酸盐焙烧-水浸提锂工艺及机理

康敏, 赵笑益, 曹欢, 梁效, 王勇, 郭彩莲

(西安西北有色地质研究院有限公司, 陕西省矿产资源综合利用工程技术研究中心, 陕西西安 710055)

**摘要:** 这是一篇冶金工程领域的文章。以江西某地锂云母矿为原料, 通过对焙烧-浸出、拌酸熟化、直接酸浸出、碱压煮法等工艺进行探索实验, 最终采用加硫酸盐焙烧-水浸法从锂云母矿中提锂。同时研究了焙烧温度、焙烧时间、添加剂种类、添加剂用量、浸出液固比、浸出温度等条件对锂浸出率影响, 结果显示, 焙烧温度对锂浸出率影响较大, 在适当的焙烧温度范围内, 锂的浸出效果较好。向锂云母矿中加入 40% 硫酸钾、20% 硫酸钠、20% 氧化钙, 在 900 °C 下焙烧 1 h, 焙砂按液固比 1:1 在常温下浸出 1 h, 锂浸出率可达 94.87%。这说明采用硫酸盐作添加剂来焙烧提锂效果较好, 通过研究焙烧机理可知, 加入硫酸盐经高温焙烧后, 矿物结构被重构, 矿中钠钾离子与锂云母中的锂离子置换, 使其从难溶性铝硅酸盐矿物中分离, 生成可溶性的硫酸锂, 从而经水浸后进入溶液中。

**关键词:** 冶金工程; 锂云母; 硫酸盐; 焙烧; 水浸; 机理

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.06.022

中图分类号: TD985; TF826.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 06-0146-08

锂矿资源分布在全球各地区, 可以开发利用的锂资源主要为: 盐湖卤水和硬岩型(锂辉石、锂云母)<sup>[1-2]</sup>。其中硬岩型锂矿主要分布在四川、新疆、江西等地, 但卤水提锂为主要提取方式, 但随着国家不断地加强对新能源电动车的推广, 市场对锂的需求日益扩大, 卤水因锂含量低且镁锂分离困难, 已无法满足市场需求<sup>[3]</sup>, 因此对于矿石提锂的研究较为重要<sup>[4-5]</sup>。锂云母矿石资源较为丰富, 逐渐受到关注, 但较难开发利用, 因此对于锂云母矿石提锂技术的提升迫在眉睫<sup>[6-7]</sup>。

目前锂云母矿中提锂工艺主要分为碳酸盐焙烧-水浸、硫酸盐焙烧-水浸、氯化焙烧-水浸、拌酸熟化、直接浸出、碱压煮法等工艺。其中石灰石焙烧-水浸属于淘汰工艺, 此工艺对原料要求比较高, 且会产生大量废渣, 应用也受到一定限制<sup>[6-7]</sup>; 氯化焙烧-水浸工艺流程相对短, 能耗低, 综合利用效果好<sup>[8]</sup>。硫酸盐焙烧消除了渣量的影响, 能够处理不同品位的锂云母矿石, 且焙烧时间短<sup>[9]</sup>; 拌酸熟化、直接酸浸处理锂云母矿, 锂浸

出率较低, 同时耗酸严重、对设备腐蚀性大、后续溶液较难处理<sup>[10]</sup>; 碱压煮法工艺流程简单, 提取率高, 但是对压煮的实验条件要求高, 前期需要高温焙烧脱氟, 能耗高<sup>[11]</sup>。

本文先对锂云母矿焙烧-浸出、拌酸熟化、直接酸浸出、碱压煮法等工艺进行探索实验, 考查了各工艺的可行性和技术指标, 最终确定采用硫酸盐焙烧-水浸工艺从锂云母矿中提锂, 并对硫酸盐焙烧-水浸工艺条件进行了优化, 最终取得了良好指标, 进而对焙烧机理展开相关研究。

## 1 实验

### 1.1 原料

#### 1.1.1 原矿多元素分析

试样取自江西某地锂云母矿, 将样品处理后进行分析检测, 试样的化学成分分析见表 1。

由表 1 可知, 原矿中 Rb、Cs、Li 分别为 1.04%、0.21%、2.69%, 均达到回收标准; 其中 SiO<sub>2</sub> 含量高达 50.05%, 另外, K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高, 分别为 8.45%、1.21%、22.4%。

收稿日期: 2022-07-12

作者简介: 康敏 (1995-), 女, 研究生, 工程师, 主要研究方向为湿法冶金、资源综合利用。

表1 锂云母矿的主要成分/%  
Table 1 Main components of lithium mica

Rb <sub>2</sub> O	Cs <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F
1.04	0.21	2.69	8.45	1.21	22.40	0.64	0.10	0.021	50.05	0.67	5.02

### 1.1.2 原矿 X-射线衍射分析

对原矿进行 X-射线衍射分析，锂云母矿主要成分见图 1。

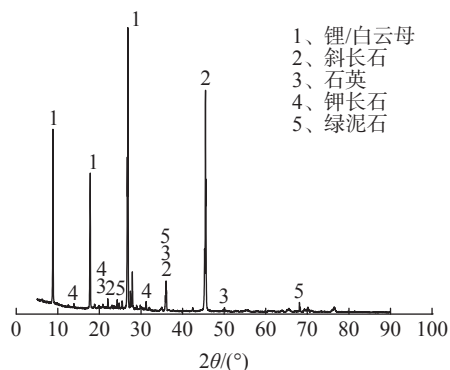


图1 锂云母矿的 XRD

Fig.1 XRD analysis results of lithium mica ore

由图 1 可知，锂云母矿的主要矿物成分为锂云母、白云母、斜长石、石英、钾长石，并含少量绿泥石，这与原矿多元素分析中 SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O 含量相吻合。

### 1.1.3 原矿物相分析

由表 2 可知，江西某地锂云母矿石中主要非金属矿物为锂云母和白云母，其次为斜长石、钾长石和石英，金属矿物含量很少。矿石中锂元素主要赋存于锂云母，少量赋存于白云母中，铈榴石中含微量锂，同时也可说明锂极大可能与矿物中的钠、钾离子发生置换，由于锂的赋存状态较为复杂，需要通过高温焙烧来破坏结构。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 焙烧实验

称取 100 g 原矿加入合适的添加剂制成球状，置于耐火瓷坩埚中，坩埚放入马弗炉内并升至所需温度。焙烧过程中为保证炉内的氧化性气氛，需使炉门微开。焙烧结束后取出焙烧样品，待其自然冷却后进行称重，采用九分法取少许样品用于检测，剩余的焙砂作为后续浸出实验的原料。

### 1.2.2 浸出实验

焙砂振磨后称取 100 g 样品，在 500 mL 烧杯内按一定液固比加水恒温浸出。浸出结束后将浆料真空过滤并洗涤三次，得到含锂浸出液和浸出

渣，浸出渣烘干、称重、制样，采用电感耦合等离子体原子发射光谱法检测锂在其中的含量<sup>[12]</sup>，计算锂浸出率，浸出液后续经中和除杂，可制备碳酸锂产品。具体实验流程见图 2。

表2 锂云母矿石矿物组成及含量  
Table 2 Mineral composition and content of lithium mica ore

矿物名称	矿物含量/%	矿物中Li含量/%	配分率/%
锂云母	48.00	3.03	98.60
白云母	25.50	0.08	1.39
铈榴石	0.04	1.07	0.01
石英	5.71	/	/
斜长石	10.45	/	/
钾长石	8.60	/	/
磷灰石	0.06	/	/
黑云母	0.07	/	/
高岭石	1.40	/	/
绿泥石	0.03	/	/
磁铁矿	0.03	/	/
黄铁矿	0.01	/	/
黄铜矿	0.01	/	/
南平石	0.03	/	/
三水铝石	0.01	/	/
托帕石	0.08	/	/
合计	100.00		100.00

### 1.2.3 锂浸出率计算

锂浸出率的计算公式 (按渣计) 为:

$$\varepsilon = (1 - m/M) \times 100 \quad (1)$$

式中:  $\varepsilon$  为锂浸出率, %;  $m$  为锂在浸出渣中的质量, g;  $M$  为锂在焙烧样品中的质量, g。

## 2 提锂工艺探讨

### 2.1 焙烧-浸出法提锂

#### 2.1.1 焙烧-浸出实验

锂云母矿分别加入添加剂总用量为 80% 的碳酸盐、硫酸盐、氯盐，在 900 °C 焙烧 1 h; 浸出液固比 1:1，常温水浸 1 h，考查三种不同添加剂对锂浸出率的影响，实验结果见表 3。

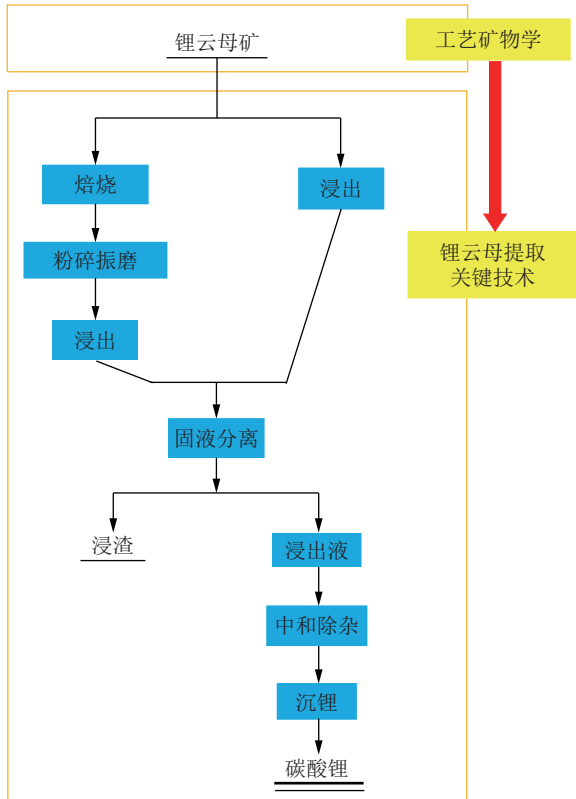


图 2 锂云母矿提锂实验流程

Fig.2 Flow chart of lithium extraction experiment of lithium mica ore

表 3 焙烧-浸出实验结果

Table 3 Results of roasting-leaching experiments

工艺	产品	质量/g	Li <sub>2</sub> O含量/(g/t)	Li <sub>2</sub> O浸出率/%
碳酸盐焙烧-水浸	焙砂	144.4	17 470	
	浸渣	139.35	17 390	3.94
硫酸盐焙烧-水浸	焙砂	173.29	18 152	
	浸渣	108.74	1 226	96.10
氯化焙烧-水浸	焙砂	161.48	13 024	
	浸渣	111.61	6 885	63.46
	原矿	100.00	26 900	

由表 3 可知，采用碳酸盐焙烧-水浸工艺从该锂云母矿提锂，锂浸出率极低，氯化焙烧-水浸提锂，锂浸出率 63.36%，硫酸盐焙烧-水浸提锂，锂浸出率高达 96.1%。综合考虑，选用硫酸盐焙烧-水浸提锂。

### 2.2 直接酸浸法提锂

锂云母矿分别加入 100% 的浓盐酸、浓硫酸、浓盐酸+5% NaF、浓硫酸+5% NaF；浸出液固比 1:1，浸出温度 95 °C，浸出时间 8 h，考查四种添加剂对锂浸出率的影响，实验结果见表 4。

表 4 直接酸浸法实验结果

Table 4 Test results of direct acid leaching method

工艺	产品	质量/g	Li <sub>2</sub> O含量/(g/t)	Li <sub>2</sub> O浸出率/%
盐酸直接酸浸	浸渣	93.25	26 300	8.83
	原矿	100.00	26 900	
硫酸酸浸		81.66	12 452	62.20
硫酸酸浸+NaF		86.47	14 371	53.80
硫酸酸浸+CaF <sub>2</sub>		84.19	13 500	57.75

由表 4 可知，采用直接酸浸法从该锂云母矿提锂，锂浸出率效果均不佳，在硫酸酸浸的基础上加入助浸剂，反倒降低锂的浸出率，加入助浸剂后生成难溶的氟硅酸锂是浸出率降低的主要原因。

### 2.3 拌酸熟化法提锂

锂云母矿分别加入不同用量的浓硫酸，在 140 °C 熟化 10 h，浸出液固比 1:1，在 80 °C 下水浸 5 h，拌酸熟化提锂的结果见表 5。

表 5 拌酸熟化-水浸结果

Table 5 Results of mixed acid ripening - water leaching

酸用量	产品	质量/g	Li <sub>2</sub> O含量/(g/t)	Li <sub>2</sub> O浸出率/%
	原矿	100.00	26 900	
2.0:1	浸渣	68.01	5 683	85.63
1.5:1	浸渣	73.63	5 994	83.59
1.2:1	浸渣	78.25	6 383	81.43
1.0:1	浸渣	83.10	6 655	79.44
0.8:1	浸渣	88.17	6 902	77.38

由表 5 可知，采用硫酸熟化-水浸工艺从该锂云母矿提锂，浸出率随着酸用量的增加而增加，当酸用量达 200% 时，锂浸出率可达到 85.63%，此时酸用量已到达较大量，对后续的净化除杂非常不利。

### 2.4 压煮法提锂

锂云母矿分别加入不同用量的添加剂，在 140 °C 反应 3 h，压强为 0 Mpa，浸出液固比 1:1，在 80 °C 下水浸 5 h，压煮法提锂的结果见表 6。

表 6 压煮法提锂结果

Table 6 Results of lithium extraction by pressure boiling method

添加剂	产品	质量/g	Li <sub>2</sub> O含量/(g/t)	Li <sub>2</sub> O浸出率/%
	原矿	100.00	26 900	
	焙砂	96.62	27 509	
90%Ca(OH) <sub>2</sub> +2%Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	浸渣	121.58	10 354	52.64
10%CaO+20%NaCl	浸渣	111.65	19 746	17.05
50%CaO+10%NaOH	浸渣	108.73	18 973	22.39

由表6可知,采用压煮法工艺从该锂云母矿提锂,锂浸出率均不高,当加入90%Ca(OH)<sub>2</sub>与2%Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>时浸出率也仅为52.64%,且成本高,耗能高,使用压煮法处理该矿石,无论从经济还是工艺上均不合理。

由上述四种工艺的探索实验可知,综合考虑成本、工艺可行性、环保等方面,最终选用硫酸盐焙烧-水浸工艺。基于此后续开展硫酸盐焙烧-水浸工艺的优化条件实验,以进一步提高锂浸出率。

### 3 硫酸盐焙烧-水浸实验结果

#### 3.1 焙烧条件实验对锂浸出率影响

##### 3.1.1 硫酸盐种类的影响

锂云母矿加入添加剂总用量为80%的硫酸盐,在900℃焙烧1h;浸出液固比1:1,常温水浸1h,考查硫酸盐种类对锂浸出率的影响,实验结果见图3。

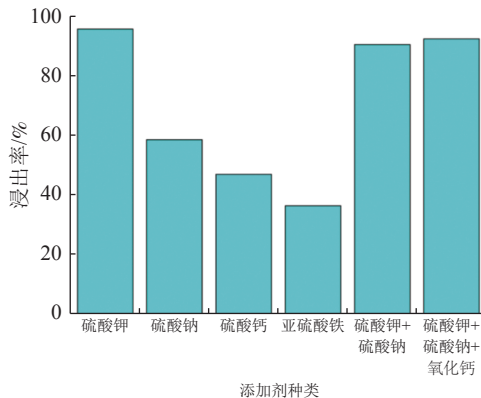


图3 硫酸盐种类对浸出率影响

Fig.3 Effect of sulfate types on leaching rate

由图3,锂云母矿中加入硫酸钾浸出效果较好,锂浸出率可达96%,加入硫酸钠,锂浸出率接近60%,加入硫酸钙,锂浸出率不到50%,加入硫酸亚铁锂浸出率较差,仅35%左右,而使用复合添加剂硫酸钾+硫酸钠+氧化钙,浸出率在90%以上,从成本角度考虑,最终选用复合添加剂硫酸钾+硫酸钠+氧化钙。

##### 3.1.2 焙烧添加剂用量的影响

锂云母矿加入添加剂总用量为80%的硫酸钾、硫酸钠、氧化钙混合盐,在900℃焙烧1h;浸出液固比1:1,常温水浸1h,考查硫酸钾、硫酸钠、氧化钙用量对锂浸出率的影响,实验结果见图4。

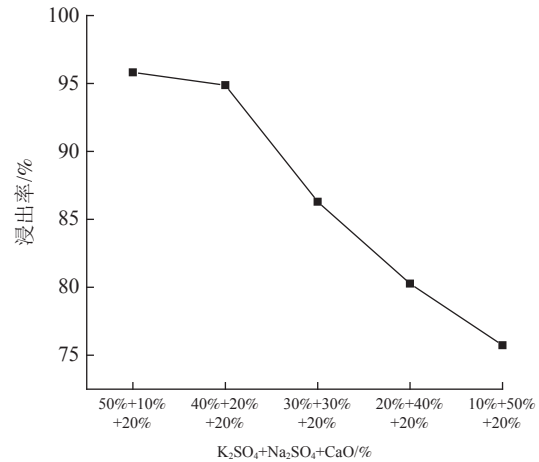


图4 焙烧添加剂用量对浸出率影响

Fig.4 Effect of roasting additive dosage on leaching rate

由图4,硫酸钾配合含量越高,锂浸出率越高,配合加入50%钾与40%钾,锂浸出率变化不明显,由于硫酸钾成本远高于硫酸钠成本,最终选用40%硫酸钾+20%硫酸钠+20%氧化钙混合盐作焙烧添加剂。

##### 3.1.3 焙烧温度的影响

锂云母矿加入40%硫酸钾、20%硫酸钠、20%氧化钙混合盐,焙烧1h;浸出液固比1:1,常温水浸1h,考查不同焙烧温度对锂浸出率的影响,实验结果见图5。

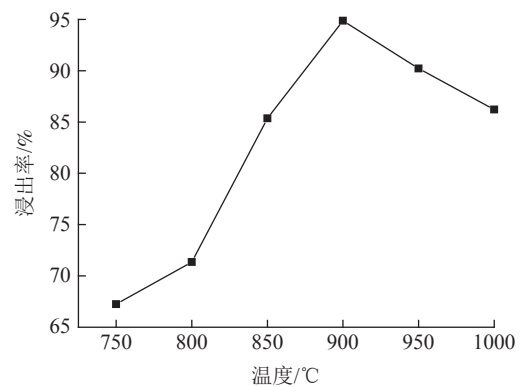


图5 焙烧温度对浸出率影响

Fig.5 Effect of roasting temperature on leaching rate

由图5,随着焙烧温度的升高,锂浸出率先上升再下降。锂浸出率在低于750℃时不足70%,在焙烧温度为750~850℃的过程中,锂浸出率明显上升,到900℃时达较大值(94.87%),相比750℃时提高约35%;继续升温至1000℃,锂浸出率下降到85%左右。由实验结果可知,焙烧温度对锂浸出率的影响明显,过低或过高的焙烧温度都阻碍锂的提取。综合考虑,最终选用900℃

为较佳焙烧温度。

### 3.1.4 焙烧时间的影响

锂云母矿加入 40% 硫酸钾、20% 硫酸钠、20% 氧化钙混合盐，在 900 °C 下焙烧；浸出液固比 1:1，常温水浸 1 h，考查不同焙烧时间对锂浸出率的影响，实验结果见图 6。

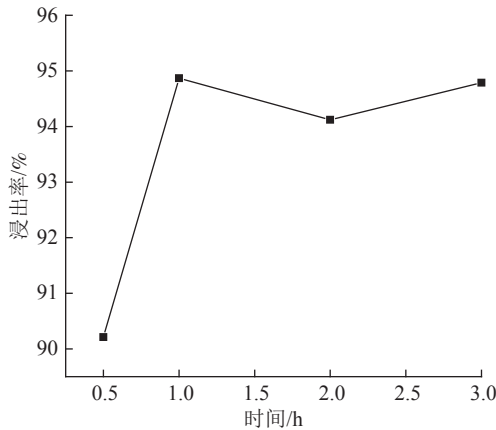


图 6 焙烧时间对浸出率影响

Fig.6 Effect of roasting time on leaching rate

由图 6，锂浸出率在焙烧 1 h 时为 90% 左右；焙烧时间大于等于 1 h 时，锂浸出率变化不大，均在 95% 左右。综合考虑，最终选用焙烧时间为 1 h。

## 3.2 浸出条件对钽浸出率的影响

### 3.2.1 浸出温度的影响

锂云母矿加入 40% 硫酸钾、20% 硫酸钠、20% 氧化钙混合盐，在 900 °C 下焙烧 1 h；浸出液固比 1:1，水浸 1 h，考查不同浸出温度对锂浸出率的影响，实验结果见图 7。

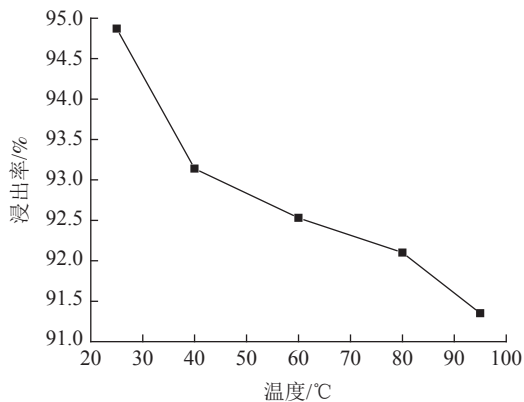


图 7 浸出温度对浸出率影响

Fig.7 Effect of leaching temperature on leaching rate

由图 7，随着温度的升高锂浸出率不断降低，是由于硫酸锂溶解度随浸出温度升高而降低。因此，实验确定浸出的较佳温度为 25 °C。

### 3.2.2 浸出时间的影响

锂云母矿加入 40% 硫酸钾、20% 硫酸钠、20% 氧化钙混合盐，在 900 °C 下焙烧 1 h；浸出液固比 1:1，常温水浸，考查不同浸出时间对锂浸出率的影响，实验结果见图 8。

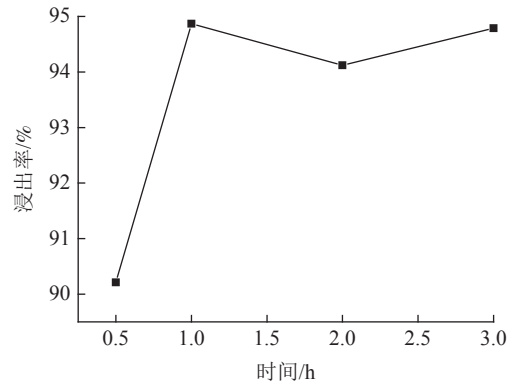


图 8 浸出时间对浸出率影响

Fig.8 Effect of leaching time on leaching rate

由图 8，浸出时间在 0.5~1 h 内，锂浸出率明显上升；浸出时间在 1 h 时，浸出率达到较大值 (94.87%)；浸出时间从 1 h 延长至 3 h 时，锂浸出率变化不大。综合考虑，实验确定浸出的较佳时间为 1 h。

### 3.2.3 浸出液固比的影响

锂云母矿加入 40% 硫酸钾、20% 硫酸钠、20% 氧化钙混合盐，在 900 °C 下焙烧 1 h；常温水浸 1 h，考查不同液固比对锂浸出率的影响，实验结果见图 9。

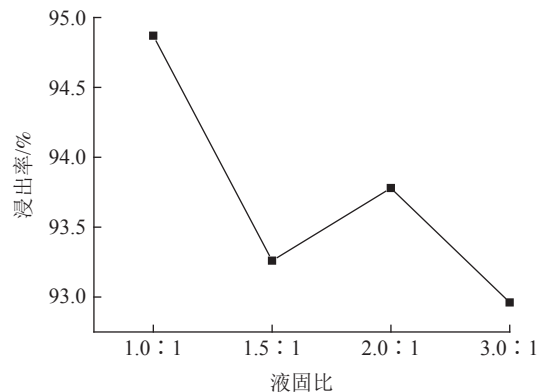


图 9 浸出液固比对浸出率影响

Fig.9 Effect of liquid-solid ratio on leaching rate

由图 9，当浸出液固比为 1:1 时，锂浸出率可达 94% 以上，随着液固比不断增大，发现锂浸出率变化不大。因此，实验确定较佳液固比为 1:1。

## 3.3 结果与讨论

1 kg 锂云母（锂含量 26900 g/t）矿加入 40%

硫酸钾、20%硫酸钠、20%氧化钙混合盐，在900℃下焙烧1h；浸出液固比1:1，常温水浸1h，进行最终的综合条件验证实验，实验结果见表7：

由表7可知，按照得到的较佳条件进行综合验证实验，经过三次验证，锂浸出率可达94.87%。

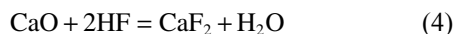
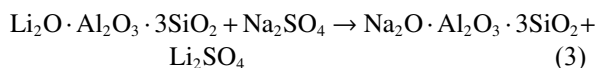
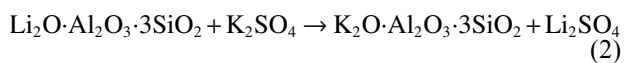
表7 综合条件验证实验结果

Table 7 Results were verified by comprehensive conditions				
实验	产品	质量/g	锂含量/(g/t)	锂浸出率/%
1	焙烧渣	1 732.9	17 752	94.85
	浸渣	1 087.4	1 456	
2	焙烧渣	1 708.6	17 965	94.83
	浸渣	1 063.4	1 491	
3	焙烧渣	1 756.2	17 198	94.93
	浸渣	1 104.3	1 391	
综合浸出率				94.87

## 4 焙烧机理

### (1) 硫酸盐作用机理

在锂云母中按比例加入 $K_2SO_4$ 、 $Na_2SO_4$ ，混合后再经高温焙烧获得可溶性 $Li_2SO_4$ ，焙砂经水浸，再通过后续除杂沉锂等步骤进一步获得锂盐产品。硫酸盐法提锂的原理实质是所添加的硫酸盐中的碱金属离子与锂云母中的锂离子发生离子交换，使其从难溶性铝硅酸盐矿物中分离，生成含锂的可溶性盐，再经浸出后进入溶液中，本文所选的 $K_2SO_4$ 、 $Na_2SO_4$ 、 $CaO$ 主要机理见式(2)、(3)、(4)。



$K_2SO_4$ 、 $Na_2SO_4$ 与锂(白)云母矿物中的 $Li^+$ 发生交换，从而生成可溶性的锂盐； $CaO$ 起到固氟作用，同时 $CaO$ 熔点较高，稳定性好，可避免高温条件下物料烧结。

### (2) 产物XRD分析

对焙砂、浸出渣分别进行XRD分析，结果见图10、11。

根据图10焙砂XRD分析，焙砂主要矿物有钠长石、钾长石、萤石、硫酸锂，这说明原矿与添加剂硫酸钾、硫酸钠、氧化钙发生了反应。

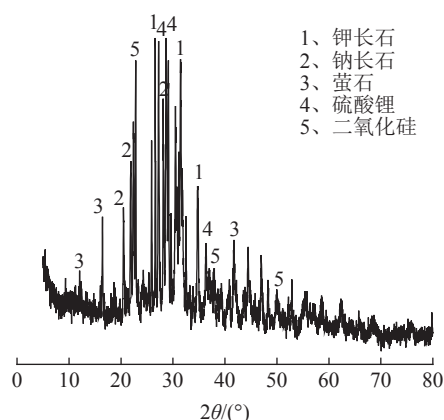


图10 焙砂XRD分析  
Fig.10 XRD analysis of calcine

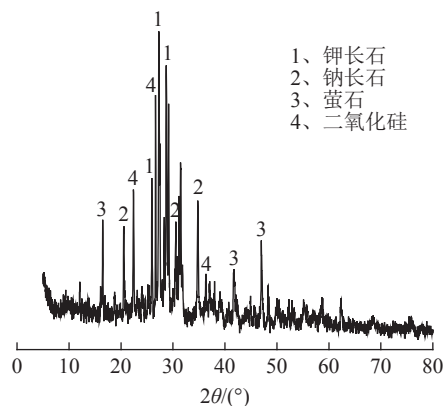


图11 浸出渣XRD分析  
Fig.11 XRD analysis of leaching residue

根据图11浸出渣XRD分析，浸出渣主要矿物有钠长石、钾长石、萤石，说明焙砂中可溶盐都被浸出。

## 5 结论

(1) 锂云母矿中Rb、Cs、Li含量分别为1.04%、0.21%、2.69%，均达到回收标准，主要矿物成分为锂云母、白云母、斜长石、石英、钾长石，并含少量绿泥石，矿石中锂元素主要赋存于锂云母，少量赋存于白云母中，铯榴石中含微量锂。

(2) 在多种提锂工艺中，硫酸盐焙烧最为有效，采用硫酸盐焙烧-水浸工艺从锂云母矿中提取锂可获得较优工艺指标。确定的较佳工艺条件为：硫酸钾用量40%，硫酸钠用量20%，氧化钙用量20%，焙烧温度900℃，焙烧时间1h，浸出液固比1:1，常温水浸1h，锂浸出率可达94.87%以上。

(3) 锂云母矿加入硫酸盐经高温焙烧后，矿

物结构被重构, 矿中钠钾离子与锂云母中的锂离子发生离子交换, 使其从难溶性铝硅酸盐矿物中分离, 生成可溶性的硫酸锂, 从而经水浸后进入溶液中。

### 参考文献:

- [1] 吴西顺, 王登红, 黄文斌, 等. 全球锂矿及伴生铍铌钽的采选冶技术发展趋势[J]. 矿产综合利用, 2019(1):1-6.  
WU X S, WANG D H, HUANG W B, et al. Global technical development trends of lithium minerals and associated beryllium-niobium-tantalum exploitation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(1):1-6.
- [2] 李成秀, 程仁举, 刘星. 我国锂辉石选矿技术研究现状及展望[J]. 矿产综合利用, 2021(5):1-8.  
LI C X, CHENG R J, LIU X. Research status and prospects of spodumene ore beneficiation technology in China[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):1-8.
- [3] Wei Xiang, Shengke Liang, Zhiyong Zhou, et al. Extraction of lithium from salt lake brine containing borate anion and high concentration of magnesium[J]. Hydrometallurgy, 2016, 166.
- [4] Xiang Zhong Kong, Hua Ye, Yu Qin. Factors of extracting lithium from lepidolite by sulfate roasting and dilute sulphuric acid leaching[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 3013(522-524).
- [5] 雷祖伟, 钟宏. 含铷、铯锂云母矿的复合盐焙烧-浸出性能及机理[J]. 矿产综合利用, 2019(3):152-158.  
LEI Z W, ZHONG H. Composite salt roasting-leaching performance and mechanism of lepidolite containing rubidium and cesium[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3):152-158.
- [6] 徐正震, 梁精龙, 李慧, 等. 含锂资源中锂的提取研究现状及展望[J]. 矿产综合利用, 2021(5):32-37.  
XU Z Z, LIANG J L, LI H, et al. Research status and prospects of lithium extraction from lithium containing resources[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):32-37.
- [7] 周贺鹏, 耿亮, 郭亮, 等. 江西宜春低品位锂云母矿综合回收工艺研究[J]. 非金属矿, 2020, 43(4):59-61+98.  
ZHOU H P, GENG L, GUO L, et al. Experimental study on comprehensive recovery of low-grade lepidolite in Yichun, Jiangxi Province[J]. Non-Metallic Mines, 2020, 43(4):59-61+98.
- [8] 孙友润. 提高锂云母-石灰石烧结法  $\text{Li}_2\text{O}$  回收率的途径[J]. 稀有金属与硬质合金, 2000, 143(4):23-27.  
SUN Y R. Approach to improve the recovery of  $\text{Li}_2\text{O}$  by Li mica-limestone sintering process[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, 2000, 143(4):23-27.
- [9] 柳林, 刘磊, 张亮, 等. 氯化焙烧—水浸从锂云母精矿中提锂实验[J]. 有色金属(冶炼部分), 2021(2):72-76.  
LIU L, LIU L, ZHANG L, et al. Research on recovery of lithium from lepidolite concentrate by chlorination roasting and water leaching[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2021(2):72-76.
- [10] 张秀峰, 伊跃军, 谭秀民, 等. 硫酸熟化锂云母提取铷铯的机理及动力学特征[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2021, 52(9): 3093-3102.  
ZHANG X F, YI Y J, TAN X M, et al. Mechanism and kinetics characteristics of sulfuric acid baking process for extracting lithium, rubidium and cesium from lepidolite[J]. Journal of Central South University(Science and Technology)2021, 52(9): 3093-3102.
- [11] 陈亚, 廖婷, 陈白珍, 等. 纯碱压煮法从锂辉石中提取锂的研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2011(9):21-23+32.  
CHEN Y, LIAO T, CHEN B Z, et al. Extraction of lithium from spodumene by sodium carbonate autoclave process[J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy), 2011(9):21-23+32.
- [12] 韩晓, 方迪. 电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)法测定岩矿中锂的含量[J]. 中国无机分析化学, 2021, 11(2):36-39.  
HAN X, FANG D. Determination of lithium in rock and ore by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES)[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(2):36-39.

## Process and Mechanism of Sulfate Roasting-Water Extraction of Lithium from Lithium Mica Ore

Kang Min, Zhao Xiaoyi, Cao Huan, Liang Xiao, Wang Yong, Guo Cailian

(Northwest Institute of Nonferrous Geology, Engineering Research Center for Comprehensive Utilization of Mineral Resources in Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi, China)

**Abstract:** This is an essay in the field of metallurgical engineering. Taking a lithium mica ore in Jiangxi as raw material, the roasting-leaching, mixed acid ripening, direct acid leaching and alkali pressure cooking

process were explored. Finally, the sulfate roasting-water leaching method was used to extract lithium from lithium mica ore. At the same time, the effects of roasting temperature, roasting time, additive type, additive amount, liquid-solid ratio and leaching temperature on lithium leaching rate were studied. The results show that roasting temperature has a great influence on lithium leaching rate, and the leaching effect of lithium is better in the appropriate roasting temperature range. 40% potassium sulfate, 20% sodium sulfate and 20% calcium oxide were added to the lithium mica ore, calcinated at 900 °C for 1 h, and the calcine was leached at room temperature for 1 h according to the liquid-solid ratio of 1:1. The lithium leaching rate reached 94.87%. This shows that the effect of using sulfate as an additive to roast and extract lithium is better. Through the study of the roasting mechanism, it can be seen that the mineral structure is reconstructed after the addition of sulfate after high temperature roasting. The sodium and potassium ions in the ore are replaced with lithium ions in the lithium mica, so that they are separated from the insoluble aluminum silicate minerals to generate soluble lithium sulfate, which is then immersed in water and then into the solution.

**Keywords:** Metallurgical engineering; Lithium mica; Sulfate; Calcination; Leach; Mechanism

////////////////////////////////////  
(上接第 145 页)

[8] Fenghai Li, Quanrun Liu, Meng Li, et al. Understanding fly-ash formation during fluidized-bed gasification of high-silicon-aluminum coal based on its characteristics[J]. *Energy*, 2018, 150:110-115.

[9] 王志, 韩敏芳, 张以河, 等. 拜耳法赤泥的湿法碳化脱碱工艺研究[J]. *硅酸盐通报*, 2013, 32(9):1851-1855.

WANG Z, HAN M F, ZHANG Y H, et al. Research on wet

carbonisation and dealkalisation process of Bayer red mud[J]. *Silicate Bulletin*, 2013, 32(9):1851-1855.

[10] 乌晓江, 张忠孝, 朴桂林, 等. 配煤对降低高灰熔融性煤的三元相图分析[J]. *洁净煤技术*, 2007(3):64-67.

WU X J, ZHANG Z X, PU G L, et al. Ternary phase diagram analysis of coal blending for reducing high ash fusibility coals[J]. *Clean Coal Technology*, 2007(3):64-67.

## Influence of Two Kinds of Red Mud on the Melting Temperature of Coal Ash in Ningxia

Wen Yan

(School of Energy and Chemical Engineering, Ningxia Vocational College of Industry and Commerce, Yinchuan, Ningxia, China)

**Abstract:** This is an essay in the field of metallurgical engineering. Bayer red mud and sintered red mud were added to Ningxia coal in a certain proportion to study the influence of the two different red mud on the ash melting temperature of Ningxia coal. Factsage software was used to study the ash melting temperature change mechanism. The experimental results show that Ningxia coal ash contains a large amount of mullite, which causes the ash melting point of coal ash to be higher, and adding red mud to it can effectively reduce the melting point of coal ash. With the increase in the amount of Bayer red mud added, the composition of mullite in coal ash gradually decreases, while anorthite and albite gradually increase, reducing the melting temperature of coal ash. With the increase of sintered red mud addition, the content of mullite in coal ash gradually decreases, and the content of feldspar gradually increases. The main reason that red mud reduces the melting temperature of coal ash in Ningxia is that the alkaline oxides in the red mud react with the acidic oxides in the coal ash to form low-melting minerals and the interaction between these minerals generates low temperature. Communion.

**Keywords:** Metallurgical engineering; Red mud; Ash melting temperature; Ningxia; Coal ash; Low-temperature eutectic