低品位黏土型锂矿的焙烧—浸出工艺优化研究

朱　山,朱艳霞,张谌虎

(六盘水师范学院 化学与材料工程学院,贵州 六盘水　553000)

摘要:黏土型锂矿因发现晚、分布广、储量大、成分复杂、品位低,导致其综合开发利用尚缺乏系统性研究。以贵州省六盘水市六枝特区黏土型锂矿为对象,系统研究优化了其焙烧—浸出工艺参数,考察了焙烧温度和时间等焙烧工艺条件,以及浸出剂盐酸浓度、浸出温度和时间、搅拌速度、液固体积质量比等浸出工艺条件对试验结果的影响。结果表明:焙烧能破坏黏土型锂矿中的高岭石、透磷钙石、地开石、锂绿泥石等矿物晶格,有利于后续浸出过程中含锂物相与浸出剂充分接触,从而提升其浸出效果;黏土型锂矿在 600 ℃下焙烧 90 min,再在浸出温度 80 ℃、盐酸浓度 4 mol/L、搅拌速度 400 r/ min、液固体积质量比 6∶1 的最佳条件下浸出 60 min,锂浸出率可达 93.48%,浸出效果较好。该法在焙烧过程中无需添加剂,可减少污染、降低成本,具有一定推广利用价值。

关键词:黏土型锂矿;低品位;浸出;锂;焙烧;工艺优化

中图分类号:TF803.21;TF826.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1009-2617(2026)01-0039-06

DOI:10.13355/j.cnki.sfyj.2026.01.006

锂作为新能源金属,是自然界中密度最小的金属,但具有最大的电离电势,因此将其应用于电池材料可获得较高电压和电容量[1]。目前,锂已经广泛应用于储能、化工、医药、冶金、电子工业等领域[2]。随着我国新能源产业的迅速发展,锂、镍、钴等有色金属的需求量急剧攀升[1],这对锂资源的供应提出了更高的要求[3]。我国是全球锂资源消费最多的国家,锂资源储量虽相对丰富,但多为低品位黏土型锂矿,难以充分满足需求,供需矛盾较为突出。因此,开发清洁、高效的技术从低品位锂矿资源中提锂逐渐成为了缓解国内锂资源供需矛盾的重要研究方向。

近年来,我国西南地区所发现的黏土型锂矿与碳酸盐岩风化沉积密切相关,属于碳酸盐黏土型锂矿,主要由地开石、石英和绿泥石等组成,其中锂元素主要以锂绿泥石形式赋存于黏土矿物中,占比为 21.10%[4-5]。该黏土型锂矿成分复杂、品位低,尚未得到大规模的开发利用。贵州六盘水市六枝特区黏土型锂矿资源较为富集,在该区域内已发现多处锂矿点[4]。

目前,对于黏土型锂矿的开发利用方法尚缺乏系统性研究。黏土型锂矿和锂云母均属于低品位固体锂矿资源,且锂元素的赋存状态与矿物结构具有相似性,通过焙烧能破坏含锂主要成分的晶格结构,从而提高锂溶出性能[5-7]。当前,从锂云母中提锂的方法主要有焙烧—常温浸出法(硫酸钙、氟化钙为添加剂)[6]、石灰石焙烧—浸出法[7]、硫酸焙烧法[8-9]等。这些方法在焙烧阶段均须使用添加剂,会额外增加成本。此外,每种方法也存在各自的缺点:焙烧—常温浸出法硫酸用量过大,添加剂种类繁多,流程复杂,焙烧温度过高,能耗较大;石灰石焙烧—浸出法存在锂浸出率低、加入过量 CaO 导致浸出过程中生成大量固废的问题;硫酸焙烧法存在环境污染大、生产成本高等问题[10-15]。

为降低生产成本,缩短工艺流程,提高生产效率,试验针对贵州六盘水市六枝特区黏土型锂矿,研究了在不添加任何试剂条件下焙烧,再采用盐酸浸出法从中提取锂。通过对比分析焙烧前、后

收稿日期:2025-09-19;**修订日期**:2025-10-07

基金项目:六盘水师范学院科研专项项目(Lpssyzxxm202302);六盘水师范学院培育项目(LPSSY2023KJZDPY05);六盘水市科技局项目(52020-2023-0-2-17);贵州省教育厅自然科学研究重点领域项目(黔教合 KY 字[2020]049);贵州省一流专业项目(GZSylzy202103);贵州省教育厅项目(黔教技[2023]087 号)。

第一作者简介:朱山(1989—),男,博士,教授,主要研究方向为有色金属湿法冶金。

黏土型锂矿的 XRD 图谱及不同焙烧温度、焙烧时间条件下黏土型锂矿中主要金属浸出率，确定了最佳焙烧工艺条件；考察了浸出时间、温度、搅拌速度、浸出剂浓度、液固体积质量比等因素对锂浸出率的影响，确定了最佳的浸出工艺条件。旨在为后续开发适用于低品位黏土型锂矿、环境友好的湿法冶金工艺奠定一定理论基础。

1 试验部分

1.1 试验原料

黏土型锂矿：取自贵州省六盘水市六枝特区。先用粉碎机机破碎，再用球磨机磨矿，过筛（200 目），将锂矿粉放入干燥箱中烘干，密封备用。分别采用 ICP-OESX 和 XRD 分析锂矿粉样品的主要元素和物相组成，结果如表 1、图 1 所示。

表 1 黏土型锂矿的主要元素组成

Table 1 Main elemental composition of clay type lithium ore %

Li	Al	Fe	S	K	Ca	Si	Na
0.18	4.05	3.26	3.25	1.02	0.76	0.62	0.22

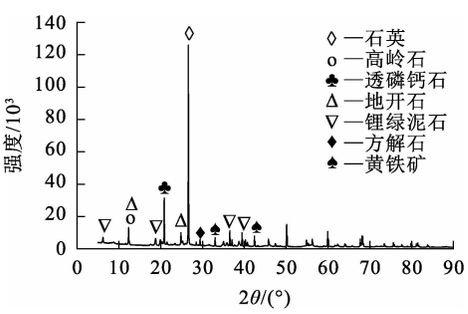


图 1 黏土型锂矿的 XRD 图谱

Fig. 1 XRD pattern of clay type lithium ore

由图 1 看出：该黏土型锂矿的主要物相为石英、锂绿泥石、透磷钙石、地开石、黄铁矿、方解石、高岭石等。

1.2 试验原理

用盐酸作为浸出剂处理锂矿粉时，铁、锂等有价金属以离子形态进入浸出液。浸出过程中的主要反应为：

$$Al_2O_3+6HCl=2AlCl_3+3H_2O,\quad \Delta G^{\Theta}=-52.8\ kJ/mol$$

$$Li_2O+H_2O=2LiOH,\quad \Delta G^{\Theta}=-206.9\ kJ/mol$$

$$Fe_2O_3+6HCl=2FeCl_3+3H_2O,\quad \Delta G^{\Theta}=-65.3\ kJ/mol$$

$$FeS_2+2HCl=H_2S\uparrow+FeCl_2+S\downarrow,\quad \Delta G^{\Theta}=-129.2\ kJ/mol$$

$$CaCO_3+2HCl=CaCl_2+H_2O+CO_2\uparrow,\quad \Delta G^{\Theta}=-11.6\ kJ/mol$$

1.3 试验方法

1.3.1 预试验研究

为了验证焙烧对黏土型锂矿中主要组分晶格的破坏作用，进行预试验研究。分别将未焙烧和焙烧（800 ℃，2 h）黏土型锂矿进行浸出。浸出条件为：盐酸浓度 2 mol/L、液固体积质量比 4∶1（浸出剂 100 mL、锂矿 25 g）、浸出温度 40 ℃、浸出时间 60 min、搅拌速度 200 r/ min。预试验结果表明，未焙烧黏土型锂矿的锂浸出率仅为 8.27%，而经焙烧的黏土型锂矿的锂浸出率为32.37%。

焙烧前、后的黏土型锂矿物相对比分析结果如图 2 所示。

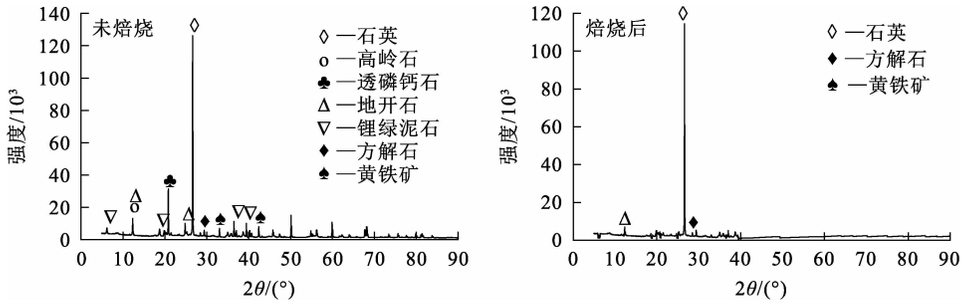


图 2 未焙烧和焙烧后黏土型锂矿的 XRD 图谱

Fig. 2 XRD patterns of clay type lithium ore before and after roasting

由图 2 看出：焙烧后原料中的高岭石、透磷钙石、地开石、锂绿泥石等 XRD 衍射峰均消失，说明焙烧破坏了矿物晶格，使得含锂物相中锂与浸出剂的接触更加充分，有利于锂浸出率提升。因此，后续试验以焙烧后黏土型锂矿为原料，研究烧温度和时间的影响，确定最佳焙烧工艺条件。

1.3.2　试验及分析方法

取一定量黏土型锂矿放在磁舟中，调节温度至设定温度，焙烧一定时间。之后称取一定质量焙烧产物，转移至三颈烧瓶中，按照一定液固体积质量比加入不同浓度的盐酸；再将三颈烧瓶置于设定温度的恒温水浴锅中，在一定搅拌速度下浸出一定时间；待浸出完成后过滤，取浸出液，用等离子体光谱仪法(ICP-OES)测定其中各金属离子浓度，计算各金属浸出率 x_B。计算公式如下[16]：

$$x_B = \frac{\rho_B V}{m w_B} \times 100\%$$

式中：x_B—金属浸出率，%；ρ_B—浸出液中金属质量浓度，g/mL；V—浸出液体积，mL；m—锂矿粉质量，g；w_B—锂矿粉中金属品位，%。

焙烧前、后的黏土锂矿物相采用 X 射线衍射仪(Rigaku Ultima Ⅳ，日本)测试。测试条件为 Cu 靶和 Kα 辐射的 X 射线管($U=40$ kV，$I=40$ mA，$\lambda=1.540\ 6$ A，衍射角范围为 5°～90°，步长为0.02°，扫描速度为 1°/min)。

2　试验结果与讨论

2.1　焙烧工艺条件的优化

2.1.1　焙烧温度对锂浸出率的影响

在不同温度下焙烧黏土型锂矿 30 min，之后在盐酸浓度 2 mol/L、液固体积质量比 4∶1(浸出剂 100 mL、锂矿 25 g，下同)、浸出时间 60 min、搅拌速度 300 r/min、浸出温度 50 ℃条件下，考察焙烧温度对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响，试验结果如图 3 所示。可以看出：随焙烧温度升高，锂、钙、铁、铝浸出率逐渐升高，而钾、钠浸出率则明显降低，这可能是升高焙烧温度使钠、钾及其化合物挥发所致；焙烧温度升至 600 ℃后，锂、钙浸出率增幅渐缓，说明锂、钙浸出反应基本达到平衡，而铝、铁等杂质浸出率却继续升高。为减少浸出液中杂质含量、降低焙烧能耗，选择最佳焙烧温度为 600 ℃。

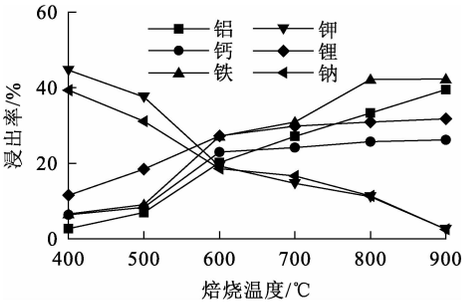


图 3　焙烧温度对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响

Fig. 3　Effect of roasting temperature on leaching rates of major metals in clay type lithium ores

2.1.2　焙烧时间对浸出率的影响

在 600 ℃下焙烧黏土型锂矿不同时间，之后在盐酸浓度 2 mol/L、液固体积质量比 4∶1、浸出时间 60 min、搅拌速度 300 r/min、浸出温度50 ℃条件下，考察焙烧时间对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响，试验结果如图 4 所示。

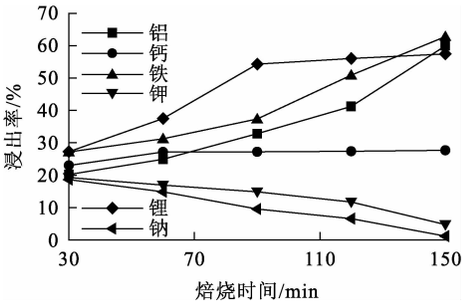


图 4　焙烧时间对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响

Fig. 4　Effect of roasting time on leaching rates of major metals in clay type lithium ores

由图 4 看出：焙烧时间在 0～90 min 范围内，随焙烧时间延长，锂、铝、铁浸出率逐渐升高，而钠、钾浸出率逐渐降低，钙浸出率仅有小幅增大，之后趋于平稳，这与文献[17]得出的规律一致；焙烧时间延长至 90 min 后，锂浸出率变化很小，但铝、铁浸出率却显著升高。综合考虑，选择最佳焙烧时间为 90 min。

2.2　浸出工艺条件的优化

2.2.1　盐酸浓度对锂浸出率的影响

称取 600 ℃下焙烧 90 min 的黏土型锂矿 25 g，置于三颈烧瓶中，在液固体积质量比 4∶1、浸出时间 60 min、搅拌速度 300 r/min、浸出温度

50 ℃条件下，考察盐酸浓度对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响，试验结果如图 5 所示。

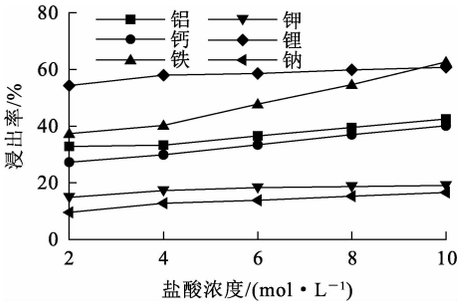


图 5 盐酸浓度对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响

Fig. 5 Effect of hydrochloric acid concentration on leaching rates of major metals in clay type lithium ores

由图 5 看出：盐酸浓度在 0～4 mol/L 范围内，随盐酸浓度增大，锂浸出率逐渐升高，并在盐酸浓度增至 4 mol/L 达 58.01%，铝、钙、钾、钠、铁浸出率也呈逐渐升高趋势；盐酸浓度继续增大至 10 mol/L 时，锂浸出率仅升至 60.77%，钾、钠浸出率变化也较小，但铁、铝、钙等杂质浸出率升高幅度较大。钾、钠浸出率变化可能是由于含钾、钠组分在焙烧过程中大部分挥发所致；钙、铝浸出率升高幅度较大可能是由于增大盐酸浓度更有利于反应正向进行所致；铁浸出率随盐酸浓度的增大几乎呈线性升高趋势，可能是由于 Fe^{3+} 能与 Cl^- 形成配合离子 $[FeCl_4]^-$，使浸出液中 Fe^{3+} 的活度降低，从而促进了铁的浸出所致[18]。考虑到盐酸浓度过高不仅会增加成本，还可能腐蚀设备，对环境造成污染，因此选择最佳盐酸浓度为 4 mol/L。

2.2.2 浸出温度对锂浸出率的影响

称取 600 ℃下焙烧 90 min 的黏土型锂矿 25 g，置于三颈烧瓶中，在盐酸浓度 4 mol/L、液固体积质量比 4∶1、浸出时间 60 min、搅拌速度 300 r/min条件下浸出锂，考察浸出温度对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响，试验结果如图 6 所示。可以看出：锂浸出率随温度升高逐渐升高，当浸出温度升至 80 ℃时达 73.60%，而温度升至 90 ℃，锂浸出率仅升至 74.20%，升高幅度较小；铝、铁、钾、钠浸出率随浸出温度升高呈升高趋势，但幅度不大，受浸出温度影响较小；钙浸出率随浸出温度升高明显降低，这可能是由于钙的浸出过程是放热反应，这与文献[19]结论基本一致。由于温度越高，盐酸挥发越快，因此从节约能源和保护环境角度考虑，选择最佳浸出温度为 80 ℃。

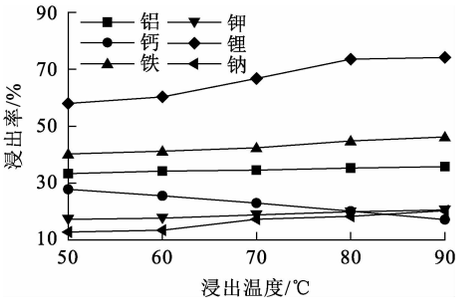


图 6 浸出温度对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响

Fig. 6 Effect of leaching temperature on leaching rates of major metals in clay type lithium ores

2.2.3 浸出时间对锂浸出率的影响

称取 600 ℃下焙烧 90 min 的黏土型锂矿 25 g，置于三颈烧瓶中，在盐酸浓度 4 mol/L、液固体积质量比 4∶1、搅拌速度 300 r/min、浸出温度 80 ℃条件下，考察浸出时间对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响，试验结果如图 7 所示。

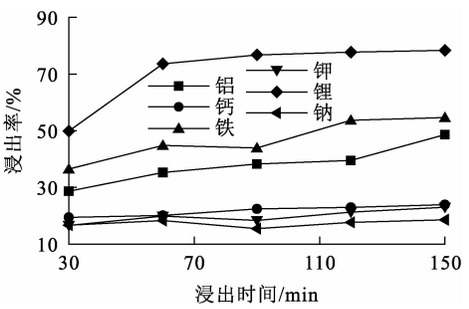


图 7 浸出时间对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响

Fig. 7 Effect of leaching time on leaching rates of major metals in clay type lithium ores

由图 7 看出：浸出 60 min 内，锂浸出率随浸出时间延长明显升高，并在浸出 60 min 时达73.60%，铝、铁浸出率呈升高趋势；继续延长浸出时间至 150 min，锂浸出率仅升至 78.37%，升高幅度较小，而铝、铁浸出率仍有较大幅度升高，这可能是由于铝、铁矿物晶格致密，浸出平衡所需时间较长所致；钙、钾、钠浸出率随浸出时间延长变化不大，说明浸出时间对其影响较小。综合考虑选择性浸出效率和时间成本，选择最佳浸出时间为 60 min。

2.2.4　搅拌速度对锂浸出率的影响

称取 600 ℃下焙烧 90 min 的黏土型锂矿 25 g，置于三颈烧瓶中，在盐酸浓度 4 mol/L、液固体积质量比 4∶1、浸出时间 60 min、浸出温度 80 ℃条件下，考察搅拌速度对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响，试验结果如图 8 所示。

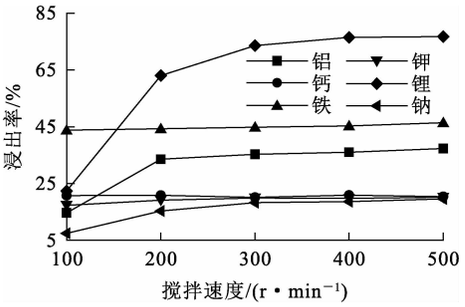


图 8　搅拌速度对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响

Fig. 8　Effect of stirring speed on leaching rates of major metals in clay type lithium ores

由图 8 看出：锂浸出率随搅拌速度增大而升高，当搅拌速度增至 400 r/min 时达 76.49%，继续增大搅拌速度至 500 r/min 仅升至 76.76%；铁、钙、钾浸出率随搅拌速度增大变化很小，这可能是铁、钙、钾矿物的浸出主要受化学反应控制所致；铝、钠浸出率随搅拌速度增大而升高，但当搅拌速度增至 200 r/min 后趋于平稳，这可能是由于搅拌速度小于 200 r/min 时，铝、钠浸出主要受扩散控制，而当搅拌速度大于 200 r/min时，铝、钠浸出主要受化学反应控制所致。综合考虑选择性浸出效率和能耗等因素，选择最佳搅拌速度为400 r/min。

2.2.5　液固体积质量比对锂浸出率的影响

称取 600 ℃下焙烧 90 min 的黏土型锂矿 25 g，置于三颈烧瓶中，在盐酸浓度 4 mol/L、浸出时间 60 min、搅拌速度 400 r/min、浸出温度 80 ℃条件下，考察液固体积质量比对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响，试验结果如图 9 所示。可以看出：锂、铁浸出率随液固体积质量比增大而升高，当液固体积质量比增至 6∶1 时锂浸出率达 93.48%，铁浸出率达 54.70%，继续增加液固体积质量比至 10∶1，锂浸出率仅升至95.16%，铁浸出率几乎没有变化；随液固体积质量比增大，铝、钾、钠浸出率几乎不变；钙浸出率随液固体积质量比增大呈线性升高趋势，这可能是由于钙的浸出产物氯化钙在浸出液中的溶解总量会随液固体积质量比增大而增大所致。综合考虑循环废水量、生产成本和选择性浸出效率等因素，选择最佳液固体积质量比为 6∶1。

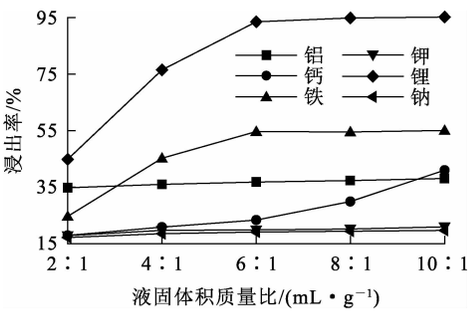


图 9　液固体积质量比对黏土型锂矿中主要金属浸出率的影响

Fig. 9　Effects of liquid volume to solid mass ratio on leaching rates of major metals in clay type lithium ores

3　结论

针对贵州省六盘水市六枝特区黏土型锂矿，在不使用添加剂条件下进行焙烧，可破坏矿石中的高岭石、透磷钙石、地开石、锂绿泥石等矿物晶格，之后再用盐酸浸出，含锂物相能与浸出剂充分接触，使锂得到有效提取。在焙烧温度 600 ℃、焙烧时间 90 min、浸出时间 60 min、浸出温度 80 ℃、浸出剂盐酸浓度 4 mol/L、搅拌速度 400 r/min、液固体积质量比 6∶1 的最佳焙烧—浸出工艺条件下，锂浸出率可达 93.48%。该法探索了无添加剂焙烧的可行性，为进一步有效开发黏土型锂矿提供了一定技术参考。

参考文献：

[1]　覃牧川，梁彦杰，李青竹，等. 新能源汽车关键有色金属提取与回收技术发展分析[J]. 现代交通与冶金材料，2024，4(1)：3-10.
QIN Muchuan，LIANG Yanjie，LI Qingzhu，et al. Analysis of the development of key nonferrous metal extraction and recycling technology for new energy vehicles[J]. Modern Transportation and Metallurgical Materials，2024，4(1)：3-10.

[2] 邢佳韵,彭浩,张艳飞,等.世界锂资源供需形势展望[J].资源科学,2015,37(5):988-997.
XING Jiayun,PENG Hao,ZHANG Yanfeng,et al. Global lithium demand and supply[J]. Resources Science,2015,37(5):988-997.

[3] 杨卉芃,柳林,丁国峰.全球锂矿资源现状及发展趋势[J].矿产保护与利用,2019,39(5):26-40.
YANG Huipeng,LIU Lin,DING Guofeng. Present situation and development trend of lithium resources in the world [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2019,39(5):26-40.

[4] 惠博,龚大兴,陈伟,等.贵州六枝地区沉积型锂矿中锂的赋存状态研究[J].有色金属(选矿部分),2021(2):1-4.
HUI Bo,GONG Daxing,CHEN Wei,et al. Study on the occurrence of lithium in sedimentary lithium deposits in Liuzhi Area Guizhou Province[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section),2021(2):1-4.

[5] 叶霖,向震中,吴涛,等.贵州六枝平桥锂资源热液成因锂绿泥石的发现及意义[J].矿物学报,2024,44(1):58.
YE Lin,XIANG Zhenzhong,WU Tao,et al. The discovery and its signification of hydrothermal cookeite in the Pingqiao lithium resource, Liuzhi, Guizhou Province [J]. Acta Mineralogica Sinica,2024,44(1):58.

[6] 李荣改,宋翔宇,高志,等.河南某地低品位含锂粘土矿提锂新工艺研究[J].矿冶工程,2014,34(6):81-84.
LI Ronggai,SONG Xiangyu,GAO Zhi,et al. New technology for extracting li from low-grade lithium-bearing clay[J]. Mining and Metallurgical Engineering,2014,34(6):81-84.

[7] KESLER S E,GRUBER P W,MEDINA P A,et al. Global lithium resources: relative importance of pegmatite, brine and other deposits [J]. Ore Geology Reviews, 2012, 48: 55-69.

[8] GU H N,GUO T F,WEN H J,et al. Leaching efficiency of sulfuric acid on selective lithium leachability from bauxitic claystone[J]. Minerals Engineering, 2020, 145. DOI: 10. 1016/j. mineng. 2019. 106076.

[9] 王亮,高尚,黄英枫,等.复合硫酸盐焙烧-水浸法提取中低品位锂瓷石中的锂[J].有色金属工程,2023,13(5):46-52.
WANG Liang, GAO Shang, HUANG Yingfeng, et al. Extraction of lithium from medium-low grade lithium porcelain stone by complex sulfate roasting-water leaching method[J]. Nonferrous Metals Engineering,2023,13(5):46-52.

[10] ZHANG Y Q, MA B Z, LYU Y W, et al. An effective method for directly extracting lithium from α-spodumene by activated roasting and sulfuric acid leaching[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2023, 122: 540-550.

[11] DESSEMOND C, SOUCY G, HARVEY J P, et al. Phase transitions in the α-γ-β spodumene thermodynamic system and impact of γ-spodumene on the efficiency of lithium extraction by acid leaching[J]. Minerals,2020,10(6):519-541.

[12] SALAKJANI N K,SINGH P,NIKOLOSKI A N. mineralogical transformations of spodumene concentrate from Greenbushes, Western Australia: Part 1 conventional heating[J]. Minerals Engineering,2016,98:71-79.

[13] ABDULLAH A A, OSKIERSKI H C, ALTARAWNEH M, et al. Phase transformation mechanism of spodumene during its calcination [J]. Minerals Engineering, 2019, 140. DOI:10. 1016/j. mineng. 2019. 105883.

[14] KOTSUPALO N P, MENZHERES L T, RYABTSEV A D, et al. Mechanical activation of α-spodumene for further processing into lithium compounds[J]. Theoretical Foundations of Chemical Engineering,2010,44(4):503-507.

[15] SALAKJANI N K, SINGH P, NIKOLOSKI A N. Acid roasting of spodumene: microwave vs. conventional heating[J]. Minerals Engineering,2019,138:161-167.

[16] 钟振宇,李正要,孔令安,等.黏土型锂矿氯化焙烧-酸浸提锂工艺试验研究[J].有色金属(选矿部分),2023(2):63-70.
ZHONG Zhenyu, LI Zhengyao, KONG Ling'an, et al. Experimental study on clay-type lithium ore chlorination roasting-acid leaching to extract lithium process[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023 (2): 63-70.

[17] 叶鑫.焙烧活化对粉煤灰酸浸性能的影响研究[D].太原:太原科技大学,2023.

[18] 徐静雪,郝志强,林进.铁、钴配合物催化烯烃硅氢化反应研究进展[J].河北师范大学学报(自然科学版),2024,48(1):46-52.
XU Jingxue,HAO Zhiqiang,LIN Jin. Research progress in olefin hydrosilylation catalyzed by iron-and cobalt-complexes[J]. Journal of Hebei Normal University: Natural Science,2024,48(1):46-52.

[19] 刘虎林,王静,伍媛婷,等.脱硫石膏常压盐溶液法制备硫酸钙晶须的研究进展[J].陶瓷学报,2025,46(1):60-74.
LIU Hulin,WANG Jing,WU Yuanting,et al. Progress in preparation of calcium sulfate whiskers from desulfurization gypsum with salt solution method at atmospheric pressure[J]. Journal of Ceramics,2025,46(1):60-74.

(下转第 51 页)

control of such waste residues, the process conditions for extracting valuable elements such as uranium and thorium from the waste residues were studied, and the effects of different leaching factors and parameters on the leaching efficiency of uranium and thorium were investigated. The results show that under the conditions of sulfuric acid concentration of 4 mol/L, leaching time of 4 h, liquid volume to solid mass ratio of 4 ∶ 1, and leaching temperature of 90 ℃, the leaching rates of uranium and thorium reach 99.9% and 88.6%, respectively. The result is better.

Key words: zirconium smelting waste residue; leaching; uranium; thorium

（上接第 44 页）

Optimization of Roasting-Leaching Process for Low-grade Clay-type Lithium Ore

ZHU Shan, ZHU Yanxia, ZHANG Chenhu

(*School of Chemistry and Materials Engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui* 553000, *China*)

Abstract: Due to its late discovery, wide distribution, large reserves, complex composition, and low grade, the comprehensive development and utilization of clay type lithium mines still lack systematic research. A systematic study was conducted on the optimization of enhanced leaching process parameters for clay type lithium ore in Liuzhi Special District, Liupanshui City, Guizhou Province. The effects of roasting process conditions such as roasting temperature and time, as well as the effects of leaching process conditions such as leaching agent hydrochloric acid concentration, leaching temperature and time, stirring speed, and liquid volume to solid mass ratio on the experimental results were investigated. The results show that roasting can destroy the crystal lattice of minerals such as kaolinite, superphosphate, diopside, and lithium chlorite in clay type lithium ores, which is beneficial for the sufficient contact between lithium containing phases and leaching agents during subsequent leaching processes, thereby improving their leaching efficiency; After high-temperature roasting at 600 ℃ for 90 min, the clay type lithium ore was subjected to optimal leaching conditions of 60 min, leaching temperature of 80 ℃, hydrochloric acid concentration of 4 mol/L, stirring speed of 400 r/min, and liquid volume to solid mass ratio of 6 ∶ 1. The lithium leaching rate can reach 93.48% and the leaching effect is good. The method does not require any additives during the calcination process, which can reduce pollution and lower costs. It has certain promotion and application value.

Key words: clay-type lithium ore; low-grade; leaching; lithium; roasting; process optimization