

# 贵州某地赤泥中钪的回收试验研究<sup>①</sup>

黄苑龄<sup>1,2,3,4</sup>, 邓强<sup>1,2,3,4</sup>

(1.贵州省战略矿产智慧勘查重点实验室, 贵州 贵阳 550003; 2.贵州省地质矿产中心实验室, 贵州 贵阳 550003; 3.贵州省贵金属矿产资源综合利用工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550003; 4.自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心, 贵州 贵阳 550003)

**摘要:**以贵州某地赤泥为原料,采用低温酸化焙烧-水浸法,考察了焙烧硫酸用量、焙烧温度、焙烧时间、浸出液固比(质量比)、浸出温度、浸出时间等因素对钪浸出率的影响。结果表明:在硫酸与原矿质量比1:1、焙烧温度200℃、焙烧时间4h、浸出液固比6:1、浸出温度80℃、浸出时间4h条件下,钪浸出率达到89.10%。

**关键词:**钪; 赤泥; 酸化焙烧; 回收利用; 水浸

中图分类号: TF111

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2025.04.023

文章编号: 0253-6099(2025)04-0126-04

## Experimental Study on Recovery of Scandium from Red Mud in Guizhou

HUANG Yuanling<sup>1,2,3,4</sup>, DENG Qiang<sup>1,2,3,4</sup>

(1. Guizhou Key Laboratory of Intelligent Exploration of Strategic Minerals, Guiyang 550003, Guizhou, China; 2. Guizhou General Laboratory of Geology and Mineral Resources, Guiyang 550003, Guizhou, China; 3. Guizhou Engineering Research Center for Comprehensive Utilization of Precious Metals and Mineral Resources, Guiyang 550003, Guizhou, China; 4. Engineering Technology Innovation Center of Mineral Resources Exploration in Bedrock Zones, Ministry of Natural Resources, Guiyang 550003, Guizhou, China)

**Abstract:** With the red mud from Guizhou as raw material, an experiment was carried out by adopting a process of low-temperature acidification roasting followed by water leaching to recover scandium, and effects of factors, including sulfuric acid dosage, temperature and time for roasting process, liquid-solid ratio of leaching solution, leaching temperature and time, on scandium leaching rate were investigated. It is shown that after 4 h-roasting at 200 °C with sulfuric acid and raw ore in a mass ratio of 1:1, and then 4 h-leaching at 80 °C with leaching solution and solid in a mass ratio of 6:1, the leaching rate of scandium can be finally up to 89.10%.

**Key words:** scandium; red mud; acidification roasting; recycle; water leaching

钪是一种地球上分布极为分散的稀土元素,钪化合物及金属钪具有优异的化学性能和机械性能,广泛应用于核能、陶瓷材料、电池、农业等领域<sup>[1-2]</sup>。钪钇石是主要的含钪矿物,地球上极稀少。铝土矿中常伴生钪,且在铝土矿生产氧化铝的过程中富集于赤泥中<sup>[3-4]</sup>。大部分赤泥通过堆存处理,不仅占用了土地资源,还污染土壤、水和空气,造成严重的环境污染。赤泥中含有大量有价金属,如果能对赤泥进行有效回收利用,不仅能缓解赤泥堆放带来的环境问题,而且可以

实现废弃资源充分开发利用,所以从赤泥中有效回收钪具有十分重要的意义<sup>[5]</sup>。

综合前人研究,火法工艺处理赤泥相对成熟。火法工艺通过添加还原剂、添加剂,对赤泥进行还原焙烧,焙烧温度1000~1400℃,能耗大<sup>[6]</sup>。湿法冶金工艺多以盐酸、硫酸、磷酸等常规酸直接浸出,但酸耗量较高,有价元素回收率不高,无法保证经济效益<sup>[7-10]</sup>。铝土矿为贵州省优势矿产,研发赤泥综合利用技术及减排技术,降低工艺能耗及经济成本,对落实贵州省

① 收稿日期: 2025-02-07

基金项目: 黔科合支撑[2023]一般174;黔科合基础MS[2025]014;黔科合人才CXTD[2025]016

作者简介: 黄苑龄(1988—),女,江西都昌人,硕士,高级工程师,主要研究方向为矿物资源利用。E-mail: 244539343@qq.com

“富矿精开”战略部署、实现特色资源优势转化为经济优势具有重要意义<sup>[11-12]</sup>。本文以贵州某地赤泥为原料,采用低温酸化焙烧-水浸的方法,开展回收钪的试验研究,在低能耗、低酸耗的同时保证钪浸出率,可为该地赤泥中钪的提取提供依据。

## 1 试验部分

### 1.1 试验原料

试验所用原料为贵州某氧化铝厂赤泥,其主要化学成分如表1所示。

表1 赤泥主要化学成分(质量分数)

Table 1 Chemical composition of red mud %

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
22.90	16.52	12.88	15.41	6.73	0.009 8	7.68

该地赤泥主要化学成分为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、CaO、TiO<sub>2</sub>,主要矿物为赤铁矿、铝硅酸盐矿物等,其中有价元素钪主要以类质同象形式存在。

### 1.2 试验原理

硫酸具有强酸性和强氧化性,不同种类硫酸盐分解温度不一样,相应的稳定性也不同。一般来说,温度越高,硫酸盐越不稳定,容易分解为氧化物。利用不同种类硫酸盐稳定性的差异,通过控制焙烧温度,使需要提取的有价金属转变成可溶性的硫酸盐后,采取水浸的方式,将金属硫酸盐直接溶解于溶液中,达到回收的目的。

### 1.3 试剂与仪器

试验中使用的硫酸为分析纯试剂。试验仪器包括电子天平、高温箱式电阻炉、智能磁力搅拌器、循环水式真空泵、电热鼓风干燥箱、三头研磨机等。

### 1.4 试验方法

将赤泥放入鼓风干燥箱中干燥;干燥后取出冷却,进行研磨。使用电子天平称取 50.0 g 研磨好的赤泥试样,放入聚四氟乙烯罐中,往罐中缓慢加入 98% 浓硫酸,同时进行搅拌,将浓硫酸与赤泥混合均匀后放入马弗炉内焙烧,焙烧结束后自然冷却,焙砂用自来水恒温浸出。浸出结束后,用真空过滤机过滤、洗涤。固体渣在鼓风干燥箱中干燥后,称重并检测钪含量,数据处理后计算钪浸出率。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 焙烧硫酸用量对钪浸出率的影响

利用硫酸的强酸性和强氧化性,破坏原矿中类质

同象的目的金属矿物晶格,使金属离子与硫酸根离子结合,形成可溶于水的硫酸盐。焙烧温度 180 ℃、焙烧时间 3 h、浸出温度 40 ℃、浸出时间 1 h、液固比(质量比,下同)10:1,硫酸用量对钪浸出率的影响见图1。由图1可知,钪浸出率随着硫酸用量增加明显升高。这是因为随着硫酸用量增加,赤泥中大部分氧化物都转化为硫酸盐,同时赤泥中某些元素会与硫酸优先反应,有些元素不受添加量的影响,随着硫酸用量增加,反应进一步充分、完全。综合考虑,适宜的硫酸用量为硫酸与原矿质量比 1:1。

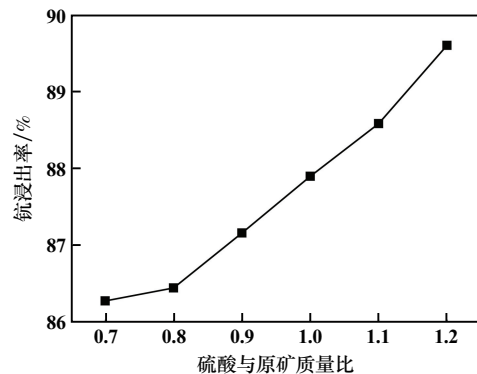


图1 硫酸用量对赤泥中钪浸出率的影响

Fig. 1 Effect of sulfuric acid dosage on leaching rate of scandium from red mud

### 2.2 焙烧温度对钪浸出率的影响

硫酸与原矿质量比 1:1,其他条件不变,考察了焙烧温度对钪浸出率的影响,结果见图2。由图2可知,钪浸出率在焙烧温度 200 ℃ 时达到峰值,随后略有回落。这是由于焙烧温度升高,分子热运动加快,反应速率增大。随着焙烧温度升高,140~200 ℃ 范围内钪浸出率明显升高,说明在此温度范围内大部分氧化物都已经转化为各自的硫酸盐,依据不同硫酸盐的溶解度差异进入溶液中。综合考虑,适宜的焙烧温度为 200 ℃。

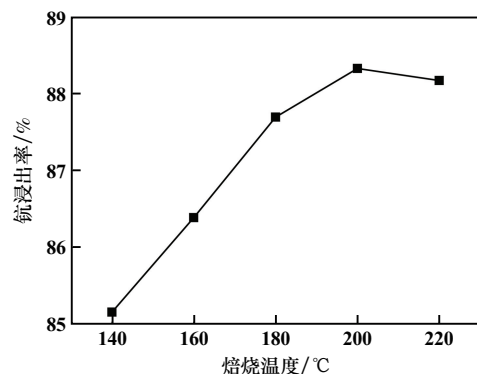


图2 焙烧温度对赤泥中钪浸出率的影响

Fig. 2 Effect of roasting temperature on leaching rate of scandium from red mud

### 2.3 焙烧时间对钪浸出率的影响

焙烧温度 200 ℃,其他条件不变,考察了焙烧时间对钪浸出率的影响,结果见图 3。由图 3 可知,焙烧时间从 2 h 增加到 4 h,浸出率明显升高;焙烧时间从 4 h 增加到 6 h,钪浸出率稍有下降;焙烧时间 8 h 时,钪浸出率明显下降。说明在焙烧 4 h 内,氧化物转化为硫酸盐的反应在逐步发生,浸出率升高;随着焙烧时间继续增加,生成的新物质包裹了部分钪离子,导致钪浸出率降低。综合考虑,焙烧时间 4 h 为宜。

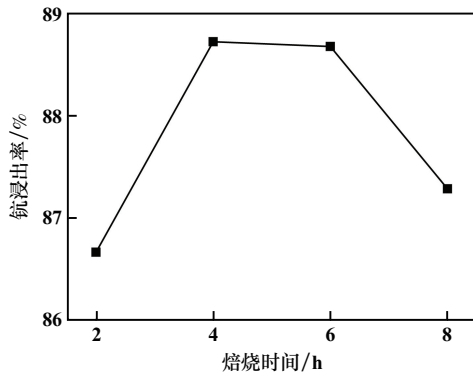


图 3 焙烧时间对赤泥中钪浸出率的影响

Fig.3 Effect of roasting time on leaching rate of scandium from red mud

### 2.4 浸出液固比对钪浸出率的影响

焙烧时间 4 h,其他条件不变,考察了浸出液固比对钪浸出率的影响,结果见图 4。由图 4 可知,随着浸出液固比增加,钪浸出率先快速增加后趋于稳定。这是由于赤泥中硅酸盐矿物较多,且粒度极细,在液固比较低时出现搅拌凝固的情况,反应中生成的硅酸物形成凝胶状,使得浸出渣呈果冻状,固液分离不佳,提高液固比可以降低矿浆浓度,促进离子进入溶液,使得反应更充分,浸出率增大。综合考虑,浸出液固比 6:1 为宜。

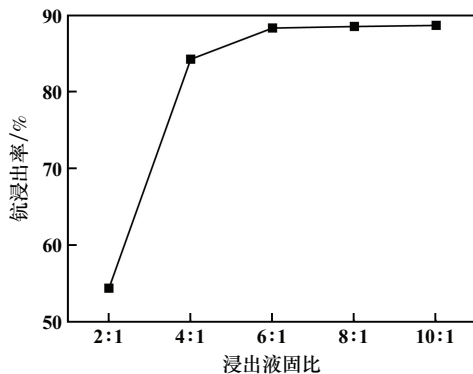


图 4 浸出液固比对赤泥中钪浸出率的影响

Fig.4 Effect of liquid-solid ratio on leaching rate of scandium from red Mud

### 2.5 浸出温度对钪浸出率的影响

浸出液固比 6:1,其他条件不变,考察了浸出温度对钪浸出率的影响,结果见图 5。由图 5 可知,随着浸出温度升高,钪浸出率先大幅增加后缓慢增加再趋于稳定。这是由于浸出温度升高,加速了表面化学反应和溶液内粒子的运动速率,同时温度升高会使反应流动阻力减小,钪浸出率增大。但试验操作中,浸出温度 100 ℃时溶液沸腾剧烈,导致试验操作困难且浸出率无法继续升高。综合考虑,浸出温度 80 ℃为宜。

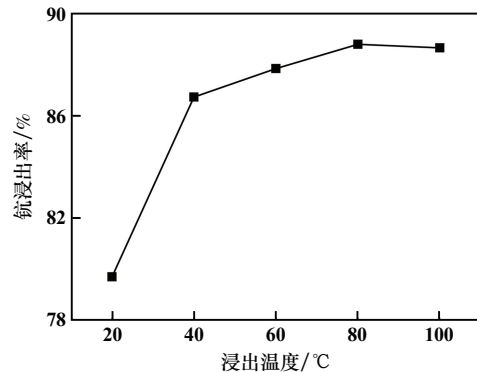


图 5 浸出温度对赤泥中钪浸出率的影响

Fig.5 Effect of leaching temperature on leaching rate of scandium from red mud

### 2.6 浸出时间对浸出率的影响

浸出温度 80 ℃,其他条件不变,考察了浸出时间对赤泥中钪浸出率的影响,结果见图 6。由图 6 可知,随着浸出时间增加,钪浸出率先明显增加后趋于稳定。浸出时间越长,钪浸出反应越充分,但原样品赤泥中硅酸盐矿物含量较高,浸出后进入液体,长时间浸出容易形成胶体,导致部分钪离子被胶体吸附,使得浸出率难以继续提升。综合考虑,浸出时间 4 h 为宜。

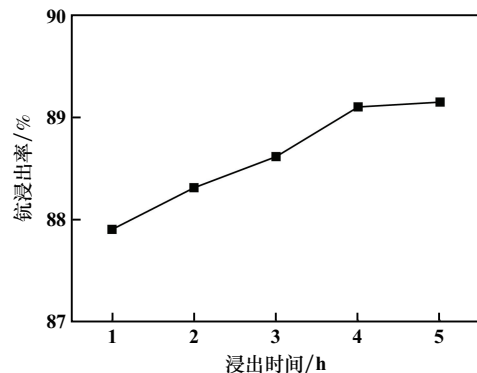


图 6 浸出时间对赤泥中钪浸出率的影响

Fig.6 Effect of leaching time on leaching rate of scandium from red mud

### 2.7 综合试验

单因素条件试验得到适宜的试验条件为:硫酸与

原矿质量比 1:1,焙烧温度 200 ℃,焙烧时间 4 h,浸出液固比 6:1,浸出温度 80 ℃,浸出时间 4 h。在该条件下,进行了 3 组平行试验,钪浸出率分别为 89.22%、89.07%、89.01%,平均浸出率为 89.10%,试验可重复性好。

### 3 结论

通过低温酸化焙烧-水浸法回收贵州某地赤泥中有价元素钪,详细考察了焙烧硫酸用量、焙烧温度、焙烧时间、浸出液固比、浸出温度、浸出时间等因素对钪浸出率的影响,确定适宜的试验条件为:硫酸与原矿质量比 1:1,焙烧温度 200 ℃,焙烧时间 4 h,浸出液固比 6:1,浸出温度 80 ℃,浸出时间 4 h。该条件下获得了钪浸出率 89.10%的良好指标。

### 参考文献(References):

- [1] 叶鑫,赵爱春,刘宸嘉,等. 赤泥中有价金属的回收工艺研究进展[J]. 湿法冶金, 2023,42(3):229-235.  
YE Xin, ZHAO Aichun, LIU Chenjia, et al. Research progress on recovery of valuable metals from red mud[J]. Hydrometallurgy of China, 2023,42(3):229-235.
- [2] 齐川. 赤泥中有价金属提取的进展[J]. 轻金属, 2019(6):6-10.  
QI Chuan. Progress in extraction of valuable metals from red mud[J]. Light Metals, 2019(6):6-10.
- [3] 雷清源,周康根,何德文,等. 赤泥中钪和钛的回收研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2019,39(3):15-20.  
LEI Qingyuan, ZHOU Kanggen, HE Dewen, et al. Research progress on the recovery of scandium and titanium from red mud[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019,39(3):15-20.
- [4] 刘祥民. 加快赤泥绿色利用的思考[J]. 中国有色金属, 2024(3):30-32.  
LIU Xiangmin. Thoughts on speeding up the green utilization of red mud[J]. China Nonferrous Metals, 2024(3):30-32.
- [5] 杨慧,房辉,程志远,等. 赤泥资源化综合利用研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2023,41(6):109-115.  
YANG Hui, FANG Hui, CHENG Zhiyuan, et al. Research progress on comprehensive resource utilization of red mud[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2023,41(6):109-115.
- [6] XIAO J H, ZOU K, ZHONG N L, et al. Selective separation of iron and scandium from Bayer Sc-bearing red mud[J]. Journal of Rare Earths, 2023,41(7):1099-1107.
- [7] 罗星,马荣锴,李勇,等. 从广西某赤泥中盐酸浸出钪实验研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(2):98-100.  
LUO Xing, MA Rongkai, LI Yong, et al. Experimental study on hydrochloric acid leaching of scandium from red mud in Guangxi[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2020,40(2):98-100.
- [8] 黄魁,丁艳,唐启桁,等. 拜耳法赤泥中钪、钇浸出行为及动力学研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(3):111-115.  
HUANG Kui, DING Yan, TANG Qiheng, et al. Leaching behavior and kinetics of scandium and yttrium from Bayer red mud[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024,44(3):111-115.
- [9] 刘蕊,陈金珠,刘子琪,等. 从拜耳法赤泥中提取钪[J]. 应用化工, 2021,50(6):1743-1745.  
LIU Rui, CHEN Jinzhu, LIU Ziqi, et al. Extraction of scandium from Bayer red mud[J]. Applied Chemical Industry, 2021,50(6):1743-1745.
- [10] BAŞTÜRKÇÜ H. Investigation of dissolution behavior of scandium and lithium from red mud[J]. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 2022,167:179-188.
- [11] 管云. 富矿精开阔步新“铝”途[J]. 当代贵州, 2023(42):50-51.  
GUAN Yun. Rich ore concentrate opens up a new “aluminum” road[J]. Guizhou Today, 2023(42):50-51.
- [12] 彭杨. “富矿精开”推动经济高质量发展[J]. 当代贵州, 2023(19):13.  
PENG Yang. “Rich ore and fine mining” to promote high-quality economic development[J]. Guizhou Today, 2023(19):13.

引用本文:黄苑龄,邓强. 贵州某地赤泥中钪的回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(4):126-129.

HUANG Yuanling, DENG Qiang. Experimental study on recovery of scandium from red mud in Guizhou[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(4):126-129.

(上接第 125 页)

- [8] 李杨刚,何静,廖方文,等. 甲基磺酸溶液萃取提钪过程中消除第三相及破乳的机理研究[J]. 矿冶工程, 2019,39(5):65-68.  
LI Yanggang, HE Jing, LIAO Fangwen, et al. Mechanism of third phase elimination and demulsification during indium extraction from methanesulfonic acid solution[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2019,39(5):65-68.

引用本文:张喜龙,沈裕军,彭俊,等. 炼锌挥发烟尘硫酸浸出液中钪铁的萃取分离研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(4):122-125.

ZHANG Xilong, SHEN Yujun, PENG Jun, et al. Extraction and separation of indium and iron from sulfuric acid leaching solution of volatile dust from zinc smelting process[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(4):122-125.