

碳酸钠焙烧活化—硫酸浸出提取煤矸石中氧化铝的研究

武丹宇, 庄故章, 刘梅, 何海洋

昆明理工大学, 云南昆明 650032

中图分类号: TD849 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2023)06-0027-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2023.06.003

摘要 以云南曲靖地区高铁煤矸石为对象, 采用碳酸钠焙烧活化—硫酸浸出法进行氧化铝提取研究, 探究了不同参数对 H_2SO_4 浸出 Al_2O_3 的影响。研究表明, 在焙烧温度为 $800\text{ }^\circ\text{C}$ 、焙烧时间为 1 h、 Na_2CO_3 用量为 25%、 H_2SO_4 质量浓度为 98%、 H_2SO_4 用量为 25%、酸浸时间为 2 h 的条件下, Al_2O_3 的浸出率可以达到 87%。添加 Na_2CO_3 焙烧活化可以有效改变煤矸石中氧化铝的晶体形态, 显著提高 Al_2O_3 的浸出率。本研究可为煤矸石资源中的 Al_2O_3 开发利用提供一定的技术支持。

关键词 煤矸石; Na_2CO_3 焙烧活化; H_2SO_4 浸出; Al_2O_3 浸出率

1 引言

煤矸石是煤炭开采、洗选加工过程中产生的固体废弃物, 化学成分复杂, 富含铝、铁等有色金属, 主要的矿物成分为高岭石、伊利石、绿泥石、蒙脱石、长石、石英、勃姆石等^[1]。据报道, 煤矸石年产量约占煤炭开采量的 15%~20%^[2], 为中国数量最大的固体废物之一^[3]。目前, 中国煤矸石的堆存量已累计达 60~70 亿 t, 并以年均 3 亿 t 以上的速度递增^[4]。煤矸石堆存占用了土地资源, 同时对环境造成了污染^[5-7]。煤矸石中氧化铝含量一般为 15%~35%, 主要以高岭石和勃姆石的形式存在, 因此将含铝煤矸石作为铝土矿替代资源, 不仅能缓解铝土矿资源短缺的问题, 也可以实现煤矸石的高附加值利用^[8]。目前, 从煤矸石中提取 Al_2O_3 的研究主要集中在酸浸、碱熔^[9-11]和高压水化学法^[12]三种方式。酸浸法是利用无机酸将煤矸石中的铝、铁等金属溶解出来, 具有提取率高、工艺简单、操作方便等优点, 但是仍然存在设备腐蚀、废液处理难题和环境污染等问题。碱熔法是将煤矸石和一定量的碱熔剂混合熔融, 使其中的铝、铁等金属与碱熔剂反应生成相应的金属氧化物再溶解于水, 该工艺方法提取率高且纯度高, 但也有明显的缺点, 高浓度的碱会导致料浆黏度高进而大幅度提升输送的难度, 而且低的碱循环

利用率也限制了其工业发展, 同时还存在能耗高、成本高、废渣处理困难等问题。高压水化学法则是利用苛性碱在高压条件下处理煤矸石以提升氧化铝浸出率的方法, 该方法虽不需经过高温焙烧处理, 但由于苛性钠用量大, 溶液浓度高, 导致蒸发、分离和脱硅难度很大, 因此目前工业上无法得到应用。

酸浸法提铝过程中, 为了提高煤矸石的活性, 必须进行活化处理。这个过程可以通过机械活化或者焙烧活化来完成^[13-14]。焙烧温度一般在 $650\sim 1\ 050\text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 这可以脱除高岭石中的结合水, 并将其转化为活性高的偏高岭石^[15]。然而, 当温度高于 $1\ 000\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 偏高岭石会重结晶为莫来石并失去活性^[16]。焙烧过程中加入 Na_2CO_3 可以与煤矸石中的高岭石等矿物反应生成霞石, 从而增加 Al_2O_3 在酸中的溶解度^[17]。以往的研究多使用盐酸和硫酸作为浸出剂提取煤矸石中的 Al_2O_3 ^[18-20]。然而, 这种方法存在一些缺点, 比如挥发性大、污染严重、浸取剂不能充分反应以及浸取效率低下等。因此, 本研究采用碳酸钠活化焙烧后, 利用 H_2SO_4 酸浸法浸取煤矸石中的 Al_2O_3 , 这种方法能够提高有价值组分的浸取效率, 对 H_2SO_4 进行回用的同时能够更好地利用原料, 减少挥发等污染。研究还进行了酸浸提取工艺的优化, 旨在为煤矸石的资源化综合利用提供一种新的思路和奠定一定的理论基础。

收稿日期: 2023-11-06

作者简介: 武丹宇(1994—), 男, 云南曲靖市人, 硕士研究生, 主要研究方向为资源综合利用, E-mail: 122811582@qq.com。

通信作者: 庄故章(1967—), 男, 云南昭通人, 副教授, 主要研究方向为资源综合利用, E-mail: 2088324343@qq.com。

2 实验部分

2.1 材料与试剂

实验所用煤矸石原料取自云南曲靖煤矿,矿样烘干破碎、磨细后过 100 目筛备用;矿样采用 X 射线荧光光谱仪测定煤矸石的化学组分含量,煤矸石主要化学成分见表 1。其中 Al₂O₃ 的含量为 23.03%, Fe₂O₃ 的含量为 16.14%, 为典型的高岭低铝煤矸石。采用 Ultima IV 型 X 射线衍射仪、Hitachi Regulus8100 型扫描电子显微镜对煤矸石中矿物组成进行分析,其结果如图 1 和图 2 所示。煤矸石原料的 XRD 谱图与标准 PDF 卡片对比可知,其主要物相是高岭石、石英及黄铁矿。由煤矸石原料的 SEM 图像分析可知,煤矸石原样的表面粗糙松散、颗粒大小不等,呈现不规则的片层状形态,究其原因,可能是因为煤矸石中的主矿物

表 1 煤矸石主要成分分析结果 /%

Table 1 Analysis results of main components of coal gangue

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	LOI
煤矸石	28.72	23.03	16.14	5.02	0.90	0.78	19.32

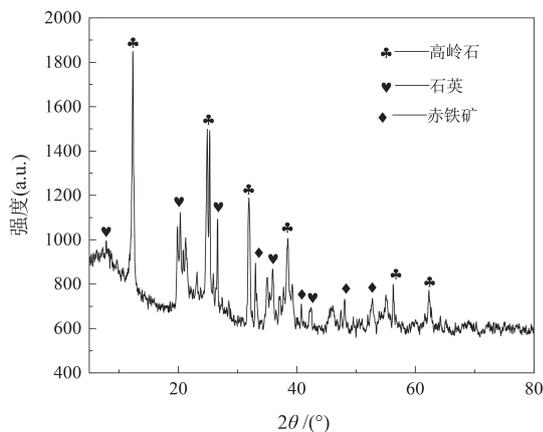


图 1 煤矸石原料 XRD 光谱分析

Fig. 1 XRD patterns of coal gangue

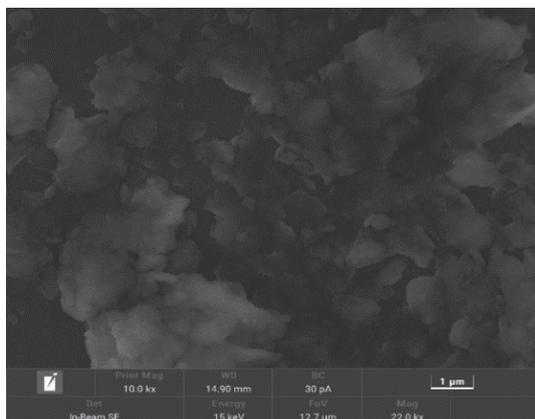


图 2 煤矸石原料 SEM 分析

Fig. 2 SEM spectra of coal gangue

是高岭石,高岭石为层状硅酸盐矿物,其中含有结构水。

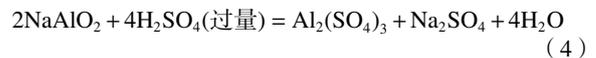
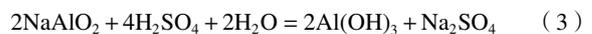
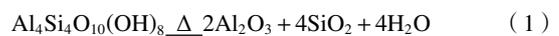
实验所用试剂 H₂SO₄ 和 Na₂CO₃ 均为分析纯;主要设备有 DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱、SX-10-10 型马弗炉、Ultima IV 型 X 射线衍射仪、Hitachi Regulus8100 型扫描电子显微镜。

2.2 实验方法及原理

称取 50 g 煤矸石样品与 Na₂CO₃(用量分别为 5%、10%、15%、20%、25%、30% 和 35%)混合于马弗炉中焙烧(温度分别为 650 °C、700 °C、750 °C、800 °C、850 °C、900 °C)不同时间(分别为 0.5 h、1.0 h、1.5 h、2.0 h、2.5 h、3.0 h)。对煤矸石焙烧后样品用 H₂SO₄ 浸出 Al₂O₃。浸出工艺为:将 H₂SO₄ 溶液(浓度分别为:50%、60%、70%、80%、90%、98%;用量分别为:5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%)与煤矸石以 5 : 1 液固比混合于烧杯中,在加热煮沸条件下浸出固定时间(0.5 h、1.0 h、1.5 h、2.0 h、2.5 h、3.0 h、3.5 h)。反应结束后,过滤洗涤将混合物分离成溶液和固体残渣,称重检测浸出渣中 Al₂O₃ 含量,Al₂O₃ 的提取效率是用公式 $\eta = (M_1A_1 - M_2A_2) / M_1A_1$ 计算的。其中 η 为 Al₂O₃ 提取效率(%), M₁ 为原料的质量(g), A₁ 为原料中的 Al₂O₃ 含量(%), M₂ 为浸出渣的质量(g), A₂ 为浸出渣的 Al₂O₃ 含量(%)。

该实验方案的基本原理是将煤矸石中的高岭石与碳酸钠混合焙烧后反应生成铝酸钠,铝酸钠再与硫酸反应生成氢氧化铝、硫酸铝和硫酸钠;同时二氧化硅与碳酸钠反应生成硅酸钠,硅酸钠再与硫酸反应生成硫酸钠和硅酸胶体沉淀。得到的酸浸液经除杂获得硫酸铝和氢氧化钠精制液,再经低温浓缩、结晶得到硫酸铝和氢氧化钠晶体,煅烧后最终制得合格氧化铝产品。

主要化学反应如下:



3 实验与讨论

3.1 煤矸石 Na₂CO₃ 焙烧活化

3.1.1 焙烧温度的影响

在 Na₂CO₃ 用量 15% 条件下焙烧 2 h,之后在 H₂SO₄ 质量浓度为 98%、H₂SO₄ 用量为 20% 的条件下

煮沸 1 h, 考察焙烧温度对煤矸石中 Al_2O_3 浸出率的影响, 实验结果如图 3 所示。

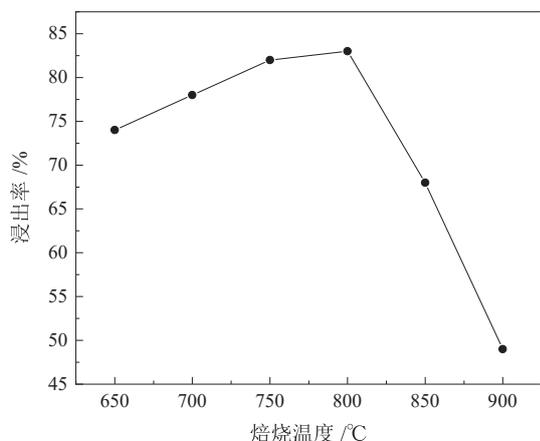


图 3 焙烧温度对 Al_2O_3 浸出的影响
Fig. 3 Effect of roasting temperature on Al_2O_3 leaching

根据图 3 可知, 焙烧温度为 650 °C 时, 浸出率为 74%, 并且随着焙烧温度的升高, Al_2O_3 的浸出率逐渐增加, 在 800 °C 时浸出率达到 83%, 为最大值, 超过 800 °C 以后浸出率急速下降。出现这种现象的原因是煤矸石中的高岭石等经过焙烧后失去了部分结晶水, 同时部分高岭石和三水铝石分解为可溶出的非晶态 Al_2O_3 , 生成的非晶态 Al_2O_3 逐步转变成活性较强且易与酸反应的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 相的偏高岭石^[21-22]。这种转变使得 Al_2O_3 具有了更高的酸溶活性, 导致了 Al_2O_3 浸出率的增加。然而, 当焙烧温度进一步升高至超过 800 °C 后, Al_2O_3 的浸出率却急剧减少, 这是因为此时 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 开始与无定形 SiO_2 结合, 逐渐过渡到活性较低的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (刚玉) 和莫来石, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 变成了稳定的晶体^[23-24], 不再具有酸溶活性。因此, 随着温度的继续升高, Al_2O_3 的可溶性降低, 从而导致了 Al_2O_3 浸出率的降低。综合分析可知, 最佳焙烧温度为 800 °C, 因为在该温度下, Al_2O_3 的浸出率达到最高值, 同时 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 仍然具有较高的酸溶活性, 而不会转变为 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 或莫来石。

3.1.2 焙烧时间的影响

在温度为 800 °C、 Na_2CO_3 用量 15% 的条件下焙烧不同时间, 之后在 H_2SO_4 质量浓度为 98%、 H_2SO_4 用量为 20% 的条件下煮沸 1 h, 考察焙烧时间对煤矸石中 Al_2O_3 浸出率的影响, 实验结果如图 4 所示。

根据图 4 可知, 随着焙烧时间的延长, Al_2O_3 的浸出率先增加后逐渐降低, 并在焙烧时间为 1 h 时达到最大值, 此时浸出率为 88%。由于继续增加焙烧时间会导致在焙烧过程中生成新化合物形成屏障, 阻止氧化铝溶解, 并提供了抵抗传质的阻力, 从而降低浸出率。因此, 可以确定煤矸石的最佳焙烧时间为 1 h。

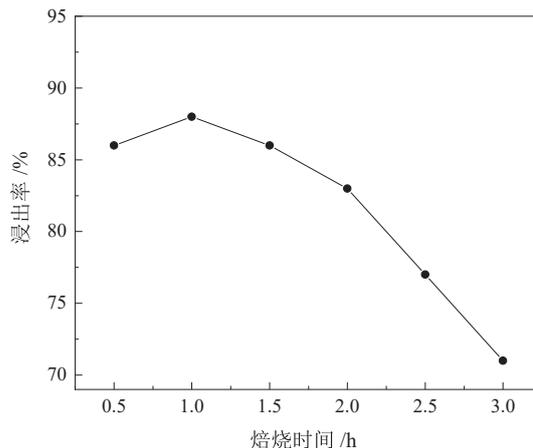


图 4 焙烧时间对 Al_2O_3 浸出的影响
Fig. 4 Effect of roasting time on Al_2O_3 leaching

3.1.3 Na_2CO_3 用量的影响

在温度 800 °C 的条件下焙烧 2 h, 之后在 H_2SO_4 质量浓度为 98%、 H_2SO_4 用量为 20% 的条件下煮沸 1 h, 考察焙烧过程中 Na_2CO_3 用量对煤矸石中 Al_2O_3 浸出率的影响, 实验结果如图 5 所示。

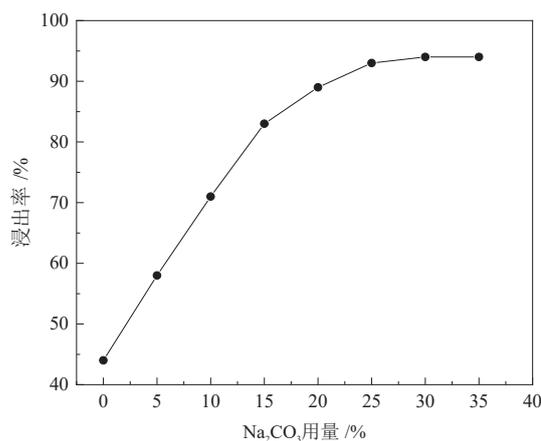


图 5 Na_2CO_3 用量对 Al_2O_3 浸出的影响
Fig. 5 Effect of Na_2CO_3 dosage on Al_2O_3 leaching

根据图 5 可知, 随着 Na_2CO_3 的用量的增加, Al_2O_3 的浸出率也随之快速增加, 直到 Na_2CO_3 的用量到达 25% 时浸出率变化趋于平缓, 当 Na_2CO_3 的用量为 30% 时, Al_2O_3 的浸出率高达 94%, 而 Na_2CO_3 用量继续增加, 浸出率也几乎不再增加。这表明 Na_2CO_3 能够显著提高 Al_2O_3 的溶解度, 从而促进酸溶性含铝物质的形成, 因此 Na_2CO_3 用量定为 30%。

3.2 H_2SO_4 浸出煤矸石中 Al_2O_3

3.2.1 H_2SO_4 浓度的影响

在温度为 800 °C、 Na_2CO_3 用量 15% 的条件下焙烧 2 h, 之后在 H_2SO_4 用量为 20% 的条件下煮沸 1 h, 考察 H_2SO_4 浓度对煤矸石中 Al_2O_3 浸出率的影响, 实验结果如图 6 所示。

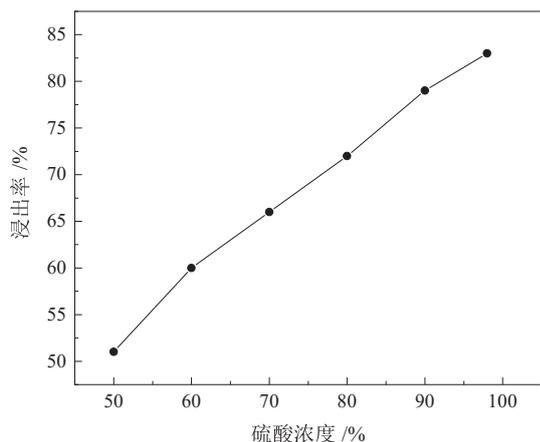


图6 硫酸浓度对 Al_2O_3 浸出的影响
Fig. 6 Effect of sulfuric acid concentration on Al_2O_3 leaching

根据图6可知,随着 H_2SO_4 浓度的增加,煤矸石的浸出率呈逐步增加的趋势。当 H_2SO_4 质量浓度为 98% 时,浸出率达到最大值 83%。这是因为溶液中的 H_2SO_4 浓度低于 98% 时,溶液中的 H_2SO_4 不足以溶解煤矸石中的氧化铝,因此 H_2SO_4 质量浓度定为 98%。

3.2.2 H_2SO_4 用量的影响

在焙烧温度为 800 °C、 Na_2CO_3 用量 15% 的条件下焙烧 2 h,之后在 H_2SO_4 质量浓度为 98% 的条件下煮沸 1 h,考察 H_2SO_4 用量对煤矸石中 Al_2O_3 浸出率的影响,实验结果如图7所示。

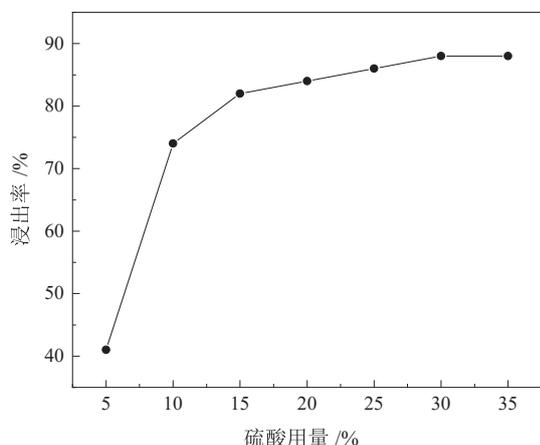


图7 硫酸用量对 Al_2O_3 浸出的影响
Fig. 7 Effect of sulfuric acid dosage on Al_2O_3 leaching

根据图7可知,随着 H_2SO_4 用量的增加, Al_2O_3 浸出率增加。 H_2SO_4 用量增加到 30%, H_2SO_4 与煤矸石颗粒的接触增多,反应充分, Al_2O_3 提取率到达 88%, 随后变化趋于平缓,然而在 H_2SO_4 用量过量时,煤矸石中的铁氧化物会与浓 H_2SO_4 发生反应,生成致密物质覆盖在其表面,继而抑制浓 H_2SO_4 与其中的铝继续反应^[11-14],这是因为硫酸用量的增加会导致液体流动性减弱,降低了反应速率,因此 H_2SO_4 用量定为 30%。

3.2.3 酸浸时间的影响

在温度为 800 °C、焙烧时间 2 h、 Na_2CO_3 用量 15% 的条件下焙烧,之后在 H_2SO_4 质量浓度为 98%、 H_2SO_4 用量为 20% 的条件下,考察酸浸时间对煤矸石中 Al_2O_3 浸出率的影响,实验结果如图8所示。

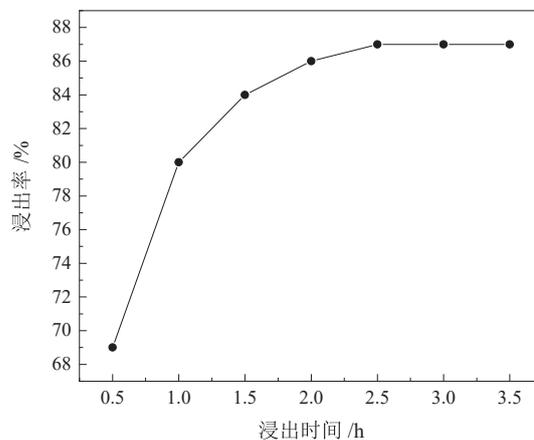


图8 酸浸时间对 Al_2O_3 浸出的影响
Fig. 8 Effect of acid leaching time on Al_2O_3 leaching

根据图8可知,浸出时间从 0.5 h 延长至 2.5 h 的过程中, Al_2O_3 的浸出率快速上升,而到达在 2.5 h 后,浸出率变化趋于平缓。这是因为对于液相-固相反应,硫酸需要一定的时间才能从液相扩散到固体颗粒内部,而实验结果表明煤矸石酸浸过程中硫酸在 2.5 h 内就可以做到基本完全扩散到固体颗粒内部,继续延长酸浸时间并不能显著提高浸出率^[25-27]。因此,最佳酸浸时间被确定为 2.5 h。

4 结论

(1) 煤矸石中的 Al_2O_3 主要以高岭石的形式存在。焙烧活化可以将煤矸石从晶态转变为具有一定反应活性的非晶态。经过焙烧-酸浸后,煤矸石中大部分活性的氧化铝可以被溶解出来。

(2) 煤矸石焙烧过程中加入 Na_2CO_3 可以大大提高氧化铝的浸出率。当焙烧温度达到 800 °C 时,煤矸石中主要含铝相高岭石转化为偏高岭石,且此时偏高岭石活性及氧化铝浸出率可达最高,随着焙烧温度的继续升高,偏高岭石重结晶为莫来石 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (刚玉),导致氧化铝浸出率下降。

(3) 对于高铁低铝煤矸石,浸出氧化铝的最佳条件为:焙烧温度 800 °C、 Na_2CO_3 用量 30%、焙烧时间 1 h、 H_2SO_4 体积浓度 98%、 H_2SO_4 用量 30%、浸出时间 2.5 h,可取得最佳的浸出效果, Al_2O_3 浸出率达 87%。

参考文献:

- [1] CHEN P, ZHANG L, WANG Y, et al. Environmentally friendly utilization of coal gangue as aggregates for shotcrete used in the

- construction of coal mine tunnel[J]. *Case Studies in Construction Materials*, 2021, 15: e00751.
- [2] LI S, ZHANG H, DONG L, et al. Three-dimensional graphitic carbon sphere foams as sorbents for cleaning oil spills[J]. *International Journal of Minerals Metallurgy and Materials*, 2022, 29(3): 513–520.
- [3] 郭彦霞, 张圆圆, 程芳琴. 煤矸石综合利用的产业化及其展望[J]. 化工学报, 2014, 65(7): 2443–2453.
- GUO Y X, ZHANG Y Y, CHEN F Q. Industrial development and prospect about comprehensive utilization of coal gangue[J]. *CIESC Journal*, 2014, 65(7): 2443–2453.
- [4] LI J, WANG J. Comprehensive utilization and environmental risks of coal gangue: A review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 239: 117946.
- [5] 黄顺进, 张丽, 颜井冲, 等. 高碱煤与煤矸石掺烧SO₂和NO减排及结渣抑制研究[J]. 化工学报, 2022, 73(12): 5581–5591.
- HUANG S J, ZHANG L, YAN J C, et al. Investigation on cofiring high-alkali coal with coal gangues: SO₂, NO reduction and ash slagging inhibition[J]. *CIESC Journal*, 2022, 73(12): 5581–5591.
- [6] 耿嘉悦, 于庆雪, 赵荣, 等. Cr₃₊、Ni₂₊改性NaY分子筛的吸附脱氮性能研究[J]. 江西化工, 2021, 37(1): 43–45.
- GEN J Y, YU Q X, ZHAO R et al. Study on adsorption denitrification of NaY molecular sieve modified by Cr³⁺, Ni²⁺[J]. *Jiangxi Chemical Industry*, 2021, 37(1): 43–45.
- [7] 邱继生, 朱梦宇, 周云仙, 等. 粉煤灰对煤矸石混凝土界面过渡区的改性效应[J]. 材料导报, 2023, 37(2): 75–81.
- QIU J S, ZHU M Y, ZHOU Y X, et al. Modification effect of fly ash on interfacial transition zone of coal gangue concrete[J]. *Materials Reports*, 2023, 37(2): 75–81.
- [8] 郭文超, 朱晓波, 张治国, 等. 煤矸石焙烧活化—酸浸提取氧化铝的实验研究[J/OL]. 煤炭转化, 2023: 1–19.
- GU W C, ZHU X B, ZHANG Z G, et al. Experimental study on extraction aluminum from coal gangue by roasting activation—acid leaching[J/OL]. *Coal Conversion*, 2023: 1–19.
- [9] 李瑜, 舒新前, 张蕾, 等. 酸浸法提取煤矸石中Al₂O₃的研究[J]. 环境污染与防治, 2013, 35(7): 70–73.
- LI Y, SHU X Q, ZHANG L, et al. Study on the acid leaching of Al₂O₃ from coal gangue[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2013, 35(7): 70–73.
- [10] 官长平, 严朝晖. 酸浸法提取煤矸石中Al₂O₃优化条件的研究[J]. 四川有色金属, 2011(4): 35–39.
- GUAN C P, YAN C H. Study on the dissolving ratio of alumina of coal gangue treated with acids[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, 2011(4): 35–39.
- [11] KIM J C, HONG S Y. Liquid concentration changes during slag cement hydration by alkali activation[J]. *Cement and Concrete Research*, 2001, 31(2): 283–285.
- [12] YANG Q, ZHANG F, DENG X, et al. Extraction of alumina from alumina rich coal gangue by a hydro-chemical process[J]. *Royal Society Open Science*, 2020, 7(4): 192132.
- [13] GUO Y, YAN K, CUI L, et al. Improved extraction of alumina from coal gangue by surface mechanically grinding modification[J]. *Powder Technology*, 2016, 302: 33–41.
- [14] ZHAO J, WANG D, LIAO S. Effect of mechanical grinding on physical and chemical characteristics of circulating fluidized bed fly ash from coal gangue power plant[J]. *Construction and Building Materials*, 2015, 101: 851–860.
- [15] LI X N, WANG H Y, ZHOU Q S, et al. Efficient separation of silica and alumina in simulated CFB slag by reduction Roasting-alkaline leaching process[J]. *Waste Management*, 2019, 87: 798–804.
- [16] CAO Z, CAO Y, DONG H, et al. Effect of calcination condition on the microstructure and pozzolanic activity of calcined coal gangue[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2016, 146: 23–28.
- [17] GUO Y, YAN K, CUI L, et al. Effect of Na₂CO₃ additive on the activation of coal gangue for alumina extraction[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2014, 131: 51–57.
- [18] 伊文涛, 闫春燕, 袁红梅. 煤矸石中铝的酸浸动力学[J]. 化学工程, 2011, 39(7): 5–8+17.
- YIN W T, YAN C Y, YUAN H M. Acid leaching kinetics of aluminum from coal gangue[J]. *Chemical Engineering*, 2011, 39(7): 5–8+17.
- [19] 程芳琴, 崔莉, 张红, 等. 煤矸石中氧化铝溶出的实验研究[J]. 环境工程学报, 2007(11): 99–103.
- CHEN F Q, CUI L, ZHANG H, et al. Study on aluminum oxide extracted from coal gangue[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2007(11): 99–103.
- [20] 燕可洲, 郭彦霞, 张俊才, 等. 潞安矿区煤矸石用于氧化铝提取的研究[J]. 煤炭转化, 2014, 37(4): 85–90.
- YAN K Z, GUO Y X, ZHANG J C, et al. Study on alumina extraction from coal gangue in lu'an mining area[J]. *Coal Conversion*, 2014, 37(4): 85–90.
- [21] 高孟华, 公明明, 王吉晶, 等. 煤矸石的活化及氧化铝提取[J]. 中国矿业, 2007(6): 88–90+102.
- GAO M H, GONG M M, WANG J J, et al. Activation of coal waste and extraction of Al₂O₃[J]. *China Mining Magazine*, 2007(6): 88–90+102.
- [22] 罗仲仁, 柯国军, 石马刚, 等. 基于山东某煤矸石的热活化机理研究[J]. 山西建筑, 2022, 48(22): 100–103.
- LUO Z R, KE G J, SHI M G, et al. Activation and evaluation of coal gangue[J]. *Shanxi Architecture*, 2022, 48(22): 100–103.
- [23] LIU S, LUO S, WU X, et al. Application of silica-alumina as hydrothermally stable supports for Pt catalysts for acid-assisted soot oxidation[J]. *Rare Metals*, 2023, 42(5): 1614–1623.
- [24] DONG L, LIANG X X, SONG Q, et al. Study on Al₂O₃ extraction from activated coal gangue under different calcination atmospheres[J]. *Journal of Thermal Science*, 2017, 26(6): 570–576.
- [25] 朱宝忠, 孙运兰, 谢承卫. 不同煅烧温度下贵州兴义煤矸石的光谱学研究[J]. 煤炭学报, 2008(9): 1049–1052.
- ZHU B Z, SUN Y L, XIE C W. Spectroscopy research on the Guizhou Xingyi gangue of different calcined temperatures[J]. *Journal of China Coal Society*, 2008(9): 1049–1052.
- [26] 李永峰, 王万绪, 杨效益. 煤矸石热活化及影响因素[J]. 煤炭转化, 2007(1): 52–56.
- LI Y F, WANG W X, YANG X Y. Thermal activation and influential factors of coal-gangue[J]. *Coal Conversion*, 2007(1): 52–56.
- [27] 刘海龙, 韩红光, 崔莉, 等. 粒度对煤矸石活化效率的影响[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(6): 45–48+52.
- LIU H L, HAN H G, CUI L, et al. Key affecting factors on coal gangue activation[J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 32(6): 45–48+52.

Study on Al_2O_3 Leaching by H_2SO_4 after Na_2CO_3 Roasting Activation of Coal Gangue

WU Danyu, ZHUANG Guzhang, LIU Mei, HE Haiyang

Kunming University of Science and Technology, Kunming 650032, China

Abstract: Taking the coal gangue with high iron content in Qujing area of Yunnan Province as the research object, the coal gangue was roasted and activated by Na_2CO_3 , and then Al_2O_3 was leached by H_2SO_4 . The coal gangue was characterized by XRD and SEM, and the effects of different parameters on the leaching of Al_2O_3 by H_2SO_4 were investigated. The results showed that the leaching rate of Al_2O_3 from coal gangue was improved obviously by adding Na_2CO_3 during roasting. The optimum leaching rate of Al_2O_3 reached 87% under the following conditions of roasting temperature 800 °C, roasting time 1 h, dosage of Na_2CO_3 25%, concentration of H_2SO_4 98%, dosage of H_2SO_4 25% and acid leaching time 2 h. This study provides theoretical guidance for leaching Al_2O_3 from coal gangue and technical support for the development and utilization of coal gangue resources.

Keywords: coal gangue; Na_2CO_3 activation; H_2SO_4 leaching; Al_2O_3 leaching rate

引用格式: 武丹宇, 庄故章, 刘梅, 何海洋. 碳酸钠焙烧活化—硫酸浸出提取煤矸石中氧化铝的研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(6): 27–32.
WU Danyu, ZHUANG Guzhang, LIU Mei, HE Haiyang. Study on Al_2O_3 leaching by H_2SO_4 after Na_2CO_3 roasting activation of coal gangue[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(6): 27–32.

投稿网址: <http://kcbhyly.xml-journal.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn