

## 山阳某含钒石煤提钒工艺

王毅梦, 李娜, 何雪儿, 雷慧芸

(商洛学院化学工程与现代材料学院, 陕西省尾矿资源综合利用重点实验室, 陕西 商洛 726000)

**摘要:** 本论文采用熔融-焙烧-水浸法工艺从山阳某含钒石煤中提取提钒。着重对焙烧和浸出条件进行了优化, 包括过氧化钠用量、焙烧时间、焙烧温度、浸出方式及是否灰化处理等。结果表明: 在试样与过氧化钠用量比为1:3、焙烧温度为700℃、焙烧时间为7 min时钒的浸出效果较佳, 其浸出液钒的浓度为1.38 mg/L。

**关键词:** 冶金工程; 含钒石煤; 浸出率; ICP-OES

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2025.01.017

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2025)01-0139-04

**引用格式:** 王毅梦, 李娜, 何雪儿, 等. 山阳某含钒石煤提钒工艺[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(1): 139-142.

WANG Yimeng, LI Na, HE Xueer, et al. Vanadium extraction from a vanadium-bearing stone coal in shanyang[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(1): 139-142.

含钒石煤是我国独特的一种低品位多金属共生矿, 除钒和碳外, 已经发现的伴生元素多达60多种, 具有很高的利用价值<sup>[1-2]</sup>。对含钒石煤的研究利用主要以提钒为中心展开, 提钒过程主要由三个环节组成: 矿石分解、钒分离富集和精制制备, 但不同地区石煤中钒的赋存状态和矿物组成不同, 大大提高了提钒工艺的难度<sup>[3-5]</sup>。一般来讲, 将钒矿中的钒从固相提取到溶液中主要有三种方法: 钠化焙烧法(钙化焙烧)、直接(酸/碱)浸出法及加压酸浸法。其中直接(酸/碱)浸出法浸出效率低, 加压酸浸法对设备要求较高, 传统钠化焙烧工艺浸出效果较好, 但会对环境造成一定污染<sup>[6-7]</sup>。因此, 进一步提高钒的综合回收率和实现选矿废水闭路循环是陕西省石煤提钒行业面临的挑战。山阳县境内的钒矿区是陕西主要的钒矿资源富集地之一, 绝大部分以黑色岩系石煤为主要存在形式, 钒的主要存在价态有三价钒V(III)和四价钒V(IV)<sup>[8-9]</sup>, 仅该地区正在生产或在建的钒生产企业就多达十余家。针对主要以“焙

烧+酸浸”为主要生产工艺的企业, 基于企业生产成本和环境保护等因素考虑, 最经济有效的方法就是在传统工艺基础上进行改进, 从而提高钒浸出率。

本论文以陕西省山阳某含钒石煤为研究对象, 采用熔融-焙烧-水浸工艺进行提钒处理, 避免了酸浸工艺产生的大量废酸对环境的污染, 并对具体实验条件进行了优化, 通过等离子体电感耦合原子发射光谱法<sup>[10]</sup>测定浸出液中钒含量, 得到较佳提钒工艺。

## 1 实验

### 1.1 试剂及仪器

实验所用试剂有过氧化钠(分析纯)、钒元素标准溶液(1 000 μg/mL)和其他试剂均为分析纯, 实验用水为去离子水。

实验所用仪器有电感耦合等离子光谱发生仪(Agilent 715 ICP-OES)、T-214 电子天平、DF-1015 集热式恒温磁力搅拌器、GZX-DH 电热恒温

收稿日期: 2022-03-04

基金项目: 陕西省教育厅重点科学研究计划项目(23JS017); 国家级大学生创新训练项目(重点支持领域项目, S202111396023)

作者简介: 王毅梦(1988-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事矿物检测及相关研究工作。

干燥箱、马弗炉 (SGM.M45/16)。

选取山阳某石煤矿原矿石为原料, 主要化学成分见表 1 (灰化前), 经过粉碎后过筛 (0.4 mm), 将试样在烘箱中烘干 (60 °C)。称取 0.5 g 经过处理的粉末试样, 放入马弗炉中进行灰化 (650 °C), 直至无黑色碳粒, 备用。

表 1 山阳某含钒石煤矿主要化学组成/%  
Table 1 Main chemical composition of vanadium-bearing stone coals

V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO+CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
0.96	0.25	0.07	2.23	80.10	1.90	1.35	0.97

### 1.2 实验方法

分别称取 0.5 g 石煤矿粉末于坩埚中, 称取一定量 Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 搅拌均匀后, 再加入 1.5 g Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 覆盖表面; 按照程序升温对试样进行加热, 设置不同焙烧温度, 不同焙烧时间进行实验, 随后取出坩埚, 放入沸水中煮沸 10 min, 并洗涤坩埚及坩埚盖, 待试液完全冷却后, 转移至容量瓶中, 定容, 摇匀, 静置过夜后, 取上清液进行检测。

### 1.3 钒测定方法

采用 Agilent 715 ICP-OES 型电感耦合等离子光谱发生仪测定溶液中的钒浓度, 其工作条件为: 光室温度 38.2 °C, CID 温度 -40 °C, 氩气分压 0.55 MPa, 等离子气体 15 L/min, 雾化器 0.80 L/min, 射频功率 1 100 W, 泵 1.5 mL/min。

## 2 结果与讨论

### 2.1 过氧化钠用量的影响

过氧化钠在高温熔融状态下会释放出活性氧, 使钒从低价态转化为高价态, 转移至浸出液中, 因此其添加量对浸出率影响较大。固定焙烧温度为 700 °C、焙烧时间为 20 min、表面覆盖 1.5 g 过氧化钠, 使用过氧化钠用量分别为 1.5、2.0、2.5、3.0 g 做平行实验 (使用刚玉坩埚和瓷坩埚), 研究过氧化钠用量对钒元素浸出效果的影响, 实验结果见表 2。结果表明, 当过氧化钠用量为 1.5 g 时, 浸出效果较好, 继续增加过氧化钠用量, 钒的浸出率开始降低。因实验过程存在一定误差, 且坩埚多次焙烧后会出现不同程度裂缝, 对实际结果造成一定影响, 综合考虑, 每 0.5 g 试样添加 1.5 g 过氧化钠比较合适, 即试样与过氧化钠用量为 1:3。

表 2 不同过氧化钠用量和不同浸出方式下钒的浸出率  
Table 2 Determination of vanadium with different amounts of Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and leaching methods

过氧化钠用量/g	钒的浸出率/%			
	刚玉直接浸出	刚玉室温浸出	瓷坩埚直接浸出	瓷坩埚室温浸出
1.5	85.6	87.5	87.6	90.0
2.0	80.0	81.9	75.7	85.0
2.5	65.1	70.0	73.2	75.0
3.0	66.9	67.5	63.3	66.8

### 2.2 浸出方式的影响

浸出过程是提钒工艺中的重要环节, 常见方法有水浸、不经过焙烧直接强酸浸出、稀酸浸出和碱浸等工艺, 直接关系到钒的浸出率和成本的高低及对环境的影响。本实验中固定焙烧温度为 700 °C、焙烧时间为 20 min、表面覆盖 1.5 g 过氧化钠、过氧化钠用量为 1.5 g。采用将焙砂逐渐冷却到室温后浸出和直接浸出两种方法, 进行实验, 研究浸出方式对钒元素浸出效果的影响。结果表明 (图 1), 焙砂冷却到室温后浸出的浸液的钒含量稍高于直接浸出的钒含量, 所以在其他实验条件不变的情况下选择焙砂冷却到室温后再进行浸出。

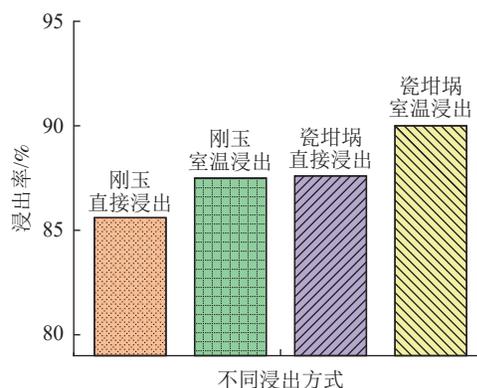


图 1 浸出方式对钒浸出效果的影响

Fig.1 Effect of leaching method on vanadium leaching efficiency

### 2.3 焙烧时间的影响

固定焙烧温度为 700 °C、过氧化钠用量为 1.5 g、表面覆盖 1.5 g 过氧化钠、焙砂冷却到室温后浸出, 研究焙烧时间对钒浸出效果的影响。实验结果见图 2, 结果表明, 当焙烧时间为 7 min 时, 钒的浸出效果较好, 继续延长焙烧时间, 浸出液钒含量降低, 因此在其他实验条件不变的情况下焙烧时间选择 7 min 为宜。

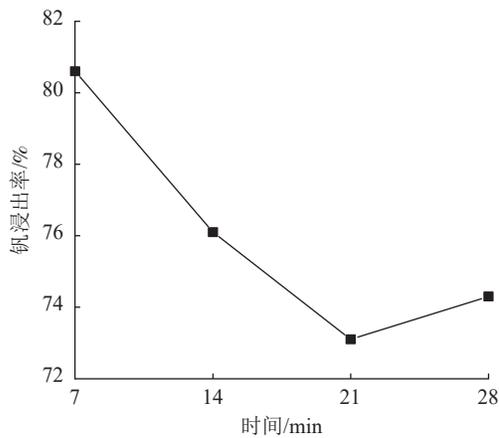


图2 焙烧时间对钒浸出效果的影响

Fig.2 Effect of roasting time on vanadium leaching efficiency

### 2.4 焙烧温度的影响

固定焙烧时间为7 min、过氧化钠用量为1.5 g，表面覆盖1.5 g过氧化钠、研究焙烧温度对钒浸出效果的影响，实验结果见图3。结果表明，随着温度升高，钒浸出量逐渐升高，在700℃时较好，随后浸出效果逐渐降低。所以在其他条件不变的情况下，焙烧温度选择700℃效果较好。

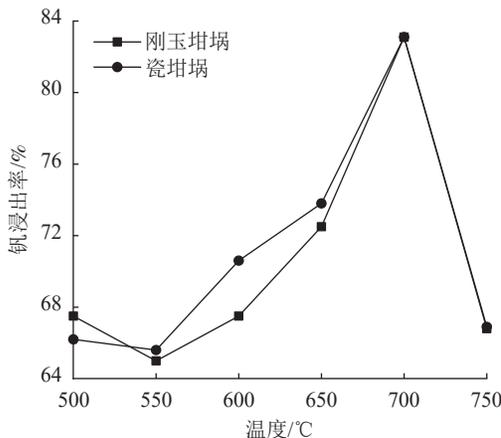


图3 焙烧温度对钒浸出效果的影响

Fig.3 Effect of roasting temperature on vanadium leaching efficiency

### 2.5 灰化对比实验

固定焙烧温度为700℃、焙烧时间为7 min、过氧化钠用量为1.5 g，分别取瓷坩埚和刚玉坩埚进行灰化对比实验，研究灰化处理对钒元素浸出效果的影响。实验结果见图4。结果表明，在最佳条件下，未经过灰化处理的试样钒浓度明显高于灰化处理后，所以在其他条件不变的情况下，不灰化处理对钒浸出效果较好。

### 2.6 综合条件实验

分别称取5份0.5 g石煤矿粉末于坩埚中，在

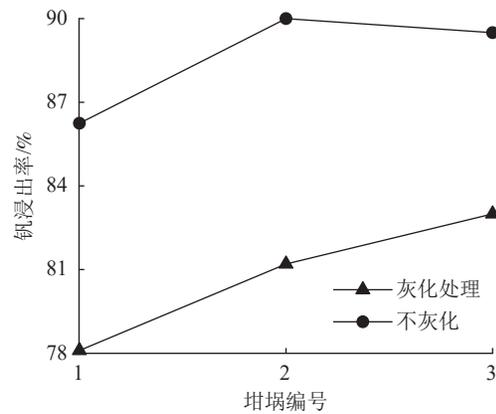


图4 灰化对钒浸出效果的影响

Fig.4 Effect of ashing process on vanadium leaching efficiency

实验所得最佳实验条件下进行浸出实验，随后得到溶液中钒的浸出率，以 $V_2O_5$ 计钒的浸出率分别为84.5%、86.7%、87.8%、86.9%、85.6%。结果表明，采用最佳工艺条件下，为在84.5%~87.8%范围内，平均浸出率为86.3%，相对标准偏差小于2%，说明提钒工艺稳定，可用于实际矿样的提取。

## 3 结论

本论文采用熔融-焙烧-水浸法对山阳某含钒石煤提钒工艺进行了优化，着重对过氧化钠用量、焙烧时间、焙烧温度、浸出方式及灰化处理等条件进行了优化。结果表明，试样与过氧化钠用量为1:3、焙烧温度700℃、焙烧时间7 min、室温浸出、不经过灰化处理时钒的浸出效果较好，以 $V_2O_5$ 计得到钒的平均浸出率为86.3%，所得结论可为本区域钒矿资源的开发利用提供技术支持。

## 参考文献：

- [1] 胡艺博, 叶国华, 左琪, 等. 石煤钒矿酸浸液中萃取提钒的研究进展与前景[J]. 矿产综合利用, 2020(1):10-15.
- HU Y B, YE G H, ZUO Q, et al. Research progress and prospect of extractants for vanadium from acid leaching solution of stone coal vanadium ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(1):10-15.
- [2] 程倩, 王明, 宁新霞, 等. 从某低品位炭质钒矿石中酸浸-萃取-氨沉淀提钒实验研究[J]. 矿产综合利用, 2021(3):17-21.
- CHENG Q, WANG M, NING X X, et al. Process of vanadium extraction from a low-grade carbonaceous vanadium by acid

- leaching-extraction-ammonia precipitation[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(3):17-21.
- [3] 李昌林, 周云峰, 费海霞, 等. 石煤提钒工艺研究及应用现状[J]. *稀有金属与硬质合金*, 2012(6):13-18.
- LI C L, ZHOU Y F, FEI H X, et al. Research and application status of vanadium extraction from stone coal[J]. *Rare Metals and Cemented Carbides*, 2012(6):13-18.
- [4] 阎晔轶, 孙亚峰, 贾宝亮, 等. 石煤型低品位钒矿提钒试验[J]. *矿产综合利用*, 2015(6):34-37.
- YAN Y Y, SUN Y F, JIA B L, et al. Experimental study on leaching vanadium for the low-grade vanadium ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2015(6):34-37.
- [5] 杨大锦, 廖元双, 刘瑜. 石煤钒矿提钒新工艺研究[J]. *云南冶金*, 2014, 43(1):41-44.
- YANG D J, LIAO Y S, LIU Y. Research on new technology of extracting vanadium from stone coal vanadium ore[J]. *Yunnan Metallurgy*, 2014, 43(1):41-44.
- [6] 王明, 程倩, 齐建云, 等. 石煤钒矿硫酸低温熟化-柱浸提钒工艺[J]. *矿冶*, 2020, 9(3):62-67.
- WANG M, CHENG Q, JI J Y, et al. Process of vanadium extraction from stone coal vanadium ore by sulfuric acid low temperature curing and column leaching[J]. *Mining and Metallurgy*, 2020, 9(3):62-67.
- [7] 周永兴, 周校书, 田宗平, 等. 影响石煤中五价钒含量因素[J]. *矿产综合利用*, 2015(6): 49-52.
- ZHOU Y X, ZHOU X S, TIAN Z P, et al. Study on factors influencing the content of pentavalent vanadium in stone coal[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2015(6): 34-37.
- [8] DENG Z G, WEI C, FAN G, et al. Extracting vanadium from stone-coal by oxygen pressure acid leaching and solvent extraction[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2010, S1:118-122.
- [9] 张成强, 孙传尧, 印万忠, 等. 以氟化钙为助浸剂的某伊利石型含钒石煤酸浸提钒工艺[J]. *矿产综合利用*, 2019(5):42-47.
- ZHANG C Q, SUN C Y, YIN W Z, et al. Acid leaching of vanadium from an illite-type vanadium-containing stone using calcium fluoride as aid-leaching reagent[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(5):42-47.
- [10] 王少娜, 靳星, 刘彪, 等. ICP-OES 法测定钒的光谱干扰研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2020, 4(7):2283-2288.
- WANG S N, JIN X, LIU B, et al. Study on spectral interference in the determination of vanadium by ICP-OES[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2020, 4(7):2283-2288.

## Vanadium Extraction from a Vanadium-bearing Stone Coal in Shanyang

WANG Yimeng, LI Na, HE Xueer, LEI Huiyun

(College of Chemical Engineering and Modern Materials, Shaanxi Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Tailings Resources, Shangluo University, Shangluo 726000, Shaanxi, China)

**Abstract:** In this article, vanadium is extracted from a vanadium-bearing stone coal in Shanyang by the process of melt-roasting-water leaching. The experimental roasting and leaching conditions were optimized, including sodium peroxide dosage, roasting time, roasting temperature, leaching method and ash treatment. The results showed that the leaching rate of vanadium was maximum when the dosage of sample and sodium peroxide was 1:3, roasting temperature was 700 °C and roasting time was 7 min. The concentrations of vanadium in the leaching solution were found to be 1.38 mg/L in the leaching samples at the optimum working conditions.

**Keywords:** Metallurgical engineering; Vanadium stone coal; Leaching rate; ICP-OES