

## 硫钴精矿焙烧浸出试验研究<sup>①</sup>

黄鹏<sup>1,2</sup>, 白明<sup>3</sup>, 刘爽<sup>1,2</sup>, 康健<sup>1,2</sup>, 董立帅<sup>3</sup>, 李展强<sup>4</sup>

(1.湖北省地质实验测试中心, 湖北 武汉 430034; 2.自然资源部稀土稀有稀散矿产重点实验室, 湖北 武汉 430034; 3.河北省地矿局第九地质大队, 河北 邢台 054000; 4.广东省矿产应用研究所, 广东 韶关 512026)

**摘要:** 某硫钴精矿中钴主要以类质同象赋存于黄铁矿、磁铁矿中, 为了使该硫钴精矿中的钴得到回收, 开展了硫钴精矿焙烧-浸出提钴试验研究。结果表明, 硫钴精矿在矿石细度为-0.074 mm 粒级占80%、焙烧助剂亚硫酸钠用量为硫钴精矿质量的5.0%、焙烧温度620℃、焙烧时间3 h、硫酸用量为硫钴精矿质量的20%、浸出温度90℃、液固比2:1、浸出时间2 h条件下, 钴浸出率为85.85%。硫钴精矿氧化焙烧后转变为赤铁矿, 焙烧矿中钴主要以氧化钴和硫酸钴形式存在。

**关键词:** 焙烧; 浸出; 硫钴精矿; 钴; 焙烧助剂; 氧化钴; 硫酸钴

中图分类号: TF111

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2025.01.020

文章编号: 0253-6099(2025)01-0109-04

## Experimental Study on Roasting and Leaching of Sulfur-Cobalt Concentrate

HUANG Peng<sup>1,2</sup>, BAI Ming<sup>3</sup>, LIU Shuang<sup>1,2</sup>, KANG Jian<sup>1,2</sup>, DONG Lishuai<sup>3</sup>, LI Zhanqiang<sup>4</sup>

(1. Hubei Geological Research Laboratory, Wuhan 430034, Hubei, China; 2. Key Laboratory of Rare Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Wuhan 430034, Hubei, China; 3. Ninth Team of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources, Xingtai 054000, Hebei, China; 4. Guangdong Institute of Mineral Resource Applications, Shaoguan 512026, Guangdong, China)

**Abstract:** For recovering the cobalt in a sulfur-cobalt concentrate mainly occurring as isomorphism in pyrite and magnetite, an experimental study was carried out by adopting roasting and leaching process. The results show that the sulfur-cobalt concentrate, at the fineness of -0.074 mm 80%, was firstly roasted at 620 °C for 3 h by adding sodium sulfite as an aid at an amount of 5% of the mass weight of sulfur-cobalt concentrate, and then leached for 2 h at 90 °C with sulfuric acid at an amount of 20% of the mass weight of sulfur-cobalt concentrate, liquid-solid ratio of 2:1, leading to a cobalt leaching rate of 85.85%. It is found that sulfur-cobalt concentrate is transformed into hematite after oxidizing roasting, and cobalt in the roasted ore mainly exists in the form of cobalt oxide and cobalt sulfate.

**Key words:** roasting; leaching; sulfur-cobalt concentrate; cobalt; roasting additive; cobalt oxide; cobalt sulfate

钴作为一种重要战略金属元素, 具有独特物理、化学和机械性能, 在电池材料、高温合金、硬质合金、催化剂、磁性材料及玻璃制备等领域有着广泛应用<sup>[1-3]</sup>。世界钴资源主要分布在刚果(金)、古巴、赞比亚、澳大利亚等少数国家, 这些国家的钴储量总和占到了世界钴总储量的95%以上<sup>[4]</sup>。国内钴矿资源极为贫乏, 独立钴矿床极少, 钴通常以伴生元素形态存在于铜镍铁等矿床中, 平均品位低, 导致钴资源回收率低且生产成本低<sup>[5-8]</sup>。因此, 加强钴回收利用技术研究, 提高钴资源回收利用

率, 降低对国外钴资源依赖具有重要意义<sup>[9]</sup>。

冀中南某硫钴精矿主要成分为黄铁矿, 含少量磁铁矿、磁黄铁矿, 非金属矿物主要为石膏、石英及透辉石等, 未发现钴的独立矿物。钴元素主要以类质同象赋存于黄铁矿中, 质量分数44.21%~61.30%; 黄铜矿和磁黄铁矿中钴元素占比约19%和12%; 脉石矿物中普遍含有钴元素, 但十分微量, 占比2.89%。本文针对该硫钴精矿性质特点, 采用焙烧-浸出的方法提取其中钴元素, 为实现硫钴精矿综合利用提供技术依据。

① 收稿日期: 2024-08-25

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC2903005); 河北省重点研发计划(21374102D)

作者简介: 黄鹏(1986—), 男, 湖北咸宁人, 硕士, 高级工程师, 主要从事稀土、稀有矿产资源综合利用研究。E-mail: pengcw1986@163.com

## 1 试验样品、设备与试剂

### 1.1 试验样品

硫钴精矿取自冀中南某铁矿选矿厂,矿样呈浅黑色,带有金属光泽。硫钴精矿化学多元素分析结果见表1,X射线衍射分析图谱见图1。硫钴精矿中主要矿物为黄铁矿、石英、金云母,含有少量石膏、绿泥石。

表1 硫钴精矿化学多元素分析结果(质量分数)

Table 1 Chemical analysis results of multi-elements in

sulfur-cobalt concentrate										%
Co	TFe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cu	MgO	S	
0.179	42.00	3.73	0.56	2.14	0.08	0.06	0.12	0.80	40.30	

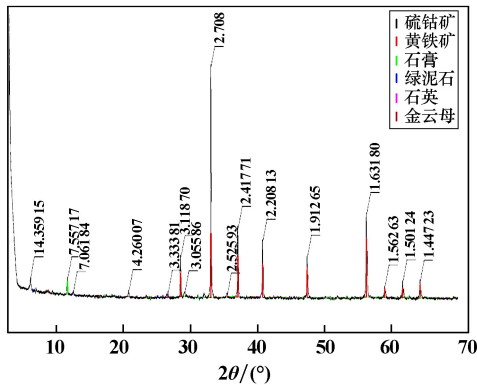


图1 硫钴精矿X射线衍射分析图谱

Fig.1 X-ray diffraction pattern of sulfur-cobalt concentrate

### 1.2 试验设备与试剂

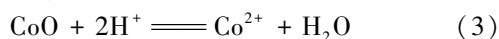
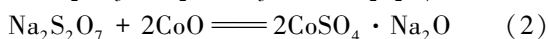
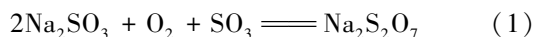
试验设备包括马弗炉、电子恒温水浴锅、电动搅拌器、电子天平、循环水式真空泵、红外光谱仪、X射线衍射分析仪、扫描电镜等。

试验试剂包括浓硫酸和亚硫酸钠,均为分析纯。

### 1.3 试验方法与原理

试验方法:将硫钴精矿和焙烧助剂亚硫酸钠混合均匀后置于焙烧碗中,然后将焙烧碗放入马弗炉进行焙烧。焙烧完成后,焙烧矿用硫酸溶液在恒温水浴锅中进行搅拌浸出,浸出结束后用循环水式真空泵进行固液分离,用清水洗涤浸出渣,滤液和滤渣分别进行化验分析,计算钴浸出率。

试验原理:硫钴精矿添加助剂氧化焙烧后,焙烧矿中钴主要以可溶性钴形式存在,当局部温度过高及存在大量氧化铁矿物时,氧化钴将生成亚铁酸钴。采用硫酸作为浸出剂时,钴矿物主要发生如下化学反应<sup>[10]</sup>:



## 2 试验结果与讨论

### 2.1 焙烧温度对钴浸出效果的影响

焙烧助剂亚硫酸钠用量为硫钴精矿质量的10%、硫钴精矿细度为-0.074 mm 粒级占70%、焙烧时间3 h、硫酸用量为硫钴精矿质量的20%、浸出液固比3:1、浸出温度90℃、浸出时间2 h时,焙烧温度对钴浸出率的影响见图2。从图2可以看出,钴浸出率随着焙烧温度升高先增加后快速下降,焙烧温度620℃时钴浸出率达到峰值85.41%。确定适宜的焙烧温度为620℃。

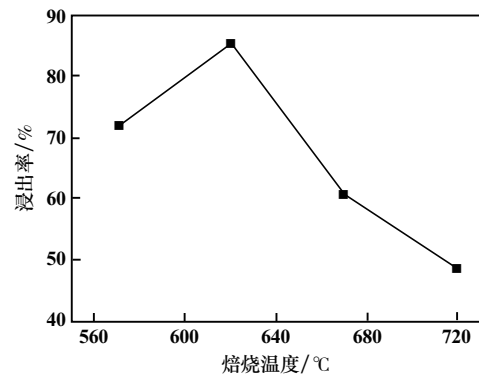


图2 焙烧温度对钴浸出率的影响

Fig.2 Effect of roasting temperature on leaching rate of cobalt

### 2.2 焙烧助剂用量对钴浸出效果的影响

焙烧温度620℃,其他条件不变,焙烧助剂亚硫酸钠用量对钴浸出率的影响见图3。从图3可以看出,随着亚硫酸钠用量增加,钴浸出率迅速提高,亚硫酸钠用量为硫钴精矿质量的5.0%时,钴浸出率为84.33%;再增加亚硫酸钠用量,钴浸出率增幅很小。确定适宜的亚硫酸钠用量为5.0%。

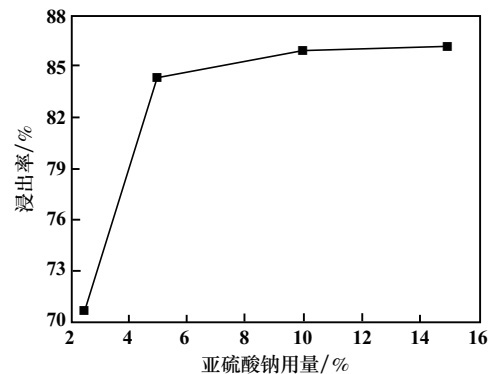


图3 亚硫酸钠用量对钴浸出率的影响

Fig.3 Effect of sodium sulfite dosage on leaching rate of cobalt

### 2.3 硫钴精矿细度对钴浸出效果的影响

亚硫酸钠用量为硫钴精矿质量的5.0%,其他条件不变,硫钴精矿细度对钴浸出率的影响见图4。从图4

可以看出,随着硫钴精矿细度增加,钴浸出率逐渐升高,-0.074 mm 粒级占 80%时,钴浸出率为 85.93%。再提高硫钴精矿细度,钴浸出率反而小幅下降。确定适宜的硫钴精矿细度为-0.074 mm 粒级占 80%。

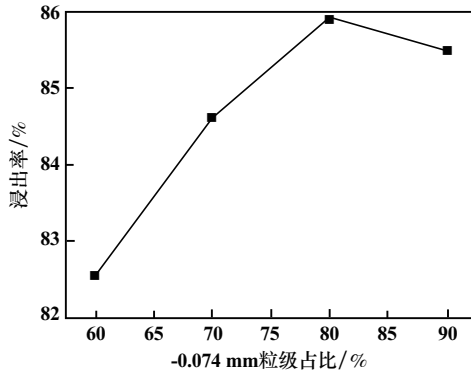


图4 硫钴精矿细度对钴浸出率的影响

Fig. 4 Effect of sulfur-cobalt concentrate fineness on leaching rate of cobalt

#### 2.4 焙烧时间对钴浸出效果的影响

硫钴精矿细度-0.074 mm 粒级占 80%,其他条件不变,焙烧时间对钴浸出率的影响见图 5。从图 5 可以看出,增加焙烧时间有利于提高钴浸出率。焙烧时间 3 h 时,钴浸出率为 85.87%;再增加焙烧时间,钴浸出率下降。确定适宜的焙烧时间为 3 h。

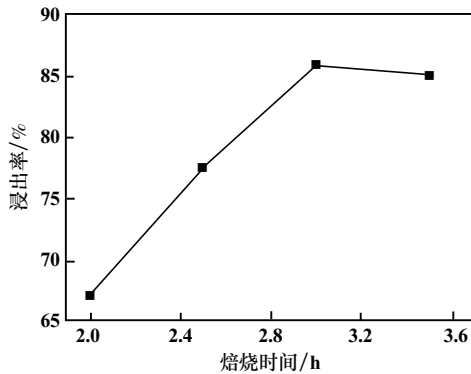


图5 焙烧时间对钴浸出率的影响

Fig. 5 Effect of roasting time on leaching rate of cobalt

#### 2.5 浸出硫酸用量对钴浸出效果的影响

焙烧时间 3 h,其他条件不变,浸出硫酸用量对钴浸出率的影响见图 6。从图 6 可以看出,随着硫酸用量增加,钴浸出率快速提高。硫酸用量为硫钴精矿质量的 20%时,钴浸出率为 85.35%;再增加硫酸用量,钴浸出率变化不大。确定适宜的硫酸用量为硫钴精矿质量的 20%。

#### 2.6 浸出液固比对钴浸出效果的影响

硫酸用量为硫钴精矿质量的 20%,其他条件不变,

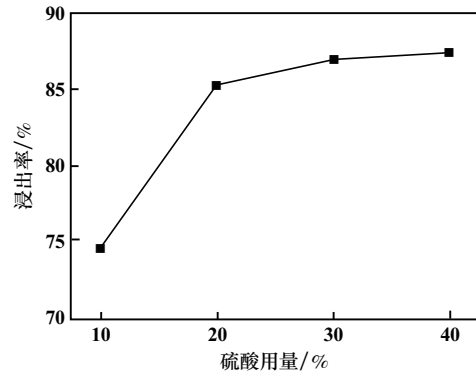


图6 硫酸用量对钴浸出率的影响

Fig. 6 Effect of sulfuric acid dosage on leaching rate of cobalt

浸出液固比对钴浸出率的影响见图 7。从图 7 可以看出,随着浸出液固比增加,钴浸出率逐渐提高。浸出液固比为 2:1 时,钴浸出率为 85.85%;再提高浸出液固比,钴浸出率增加很少。确定适宜的浸出液固比为 2:1。

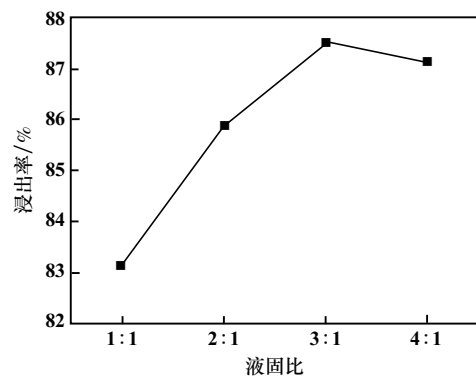


图7 浸出液固比对钴浸出率的影响

Fig. 7 Effect of liquid-solid ratio on leaching rate of cobalt

#### 2.7 分析讨论

根据单因素实验结果,在硫钴精矿细度为-0.074 mm 粒级占 80%、焙烧助剂亚硫酸钠用量为硫钴精矿质量的 5.0%、焙烧温度 620 °C、焙烧时间 3 h、硫酸用量为硫钴精矿的 20%、浸出温度 90 °C、浸出液固比 2:1、浸出时间 2 h 条件下进行了优化条件试验,钴浸出率为 85.85%。

硫钴精矿及焙烧矿红外光谱和形貌分析结果分别见图 8 和图 9。硫钴精矿红外光谱分析结果表明,矿石中主要成分为含硫铁矿,1 143、1 115、1 015  $\text{cm}^{-1}$  处为各类  $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{FeS}$ 、 $\text{FeS}_2$  的特征振动峰,说明矿石中含有这 3 种成分,其中 1 143  $\text{cm}^{-1}$  处更接近  $\text{FeS}$ 、1 114  $\text{cm}^{-1}$  处更接近  $\text{FeSO}_4$ 、1 015  $\text{cm}^{-1}$  处更接近  $\text{FeS}_2$ 。焙烧矿红外光谱分析结果表明,539、467  $\text{cm}^{-1}$  处为  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  中  $\text{Fe}-\text{O}$  特征峰,说明矿石中含有赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )。

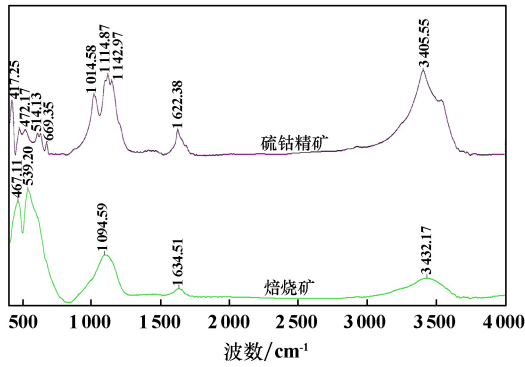
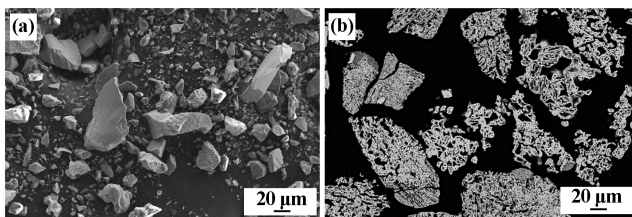


图8 硫钴精矿及焙烧矿红外光谱

Fig.8 Infrared spectra of sulfur-cobalt concentrate and calcined ore

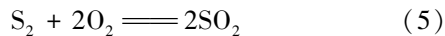
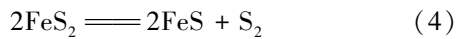


(a) 硫钴精矿; (b) 焙烧矿

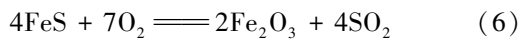
图9 硫钴精矿及焙烧矿形貌

Fig.9 Morphologies analysis of sulfur-cobalt concentrate and calcined ore

黄铁矿焙烧过程中,随着焙烧温度升高,黄铁矿发生如下氧化反应:



当温度升高到 610 ℃ 左右时,式(4)中硫化铁继续发生氧化反应<sup>[12]</sup>,生成  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :



### 3 结论

1) 硫钴精矿中钴元素主要以类质同象形式赋存于黄铁矿中,质量分数 44.21%~61.30%,黄铜矿和磁黄铁矿中钴元素占比分别为 19%和 12%。

2) 硫钴精矿在细度为-0.074 mm 粒级占 80%、焙烧助剂亚硫酸钠用量为硫钴精矿质量的 5.0%、焙烧温度 620 ℃、焙烧时间 3 h、硫酸用量为硫钴精矿质量的 20%、浸出温度 90 ℃、液固比 2:1、浸出时间 2 h 条件下,钴浸出率为 85.85%。

3) 硫钴精矿氧化焙烧后转变为赤铁矿,焙烧矿中钴主要以可溶性钴形式存在,当局部温度过高及存在大量氧化铁矿物时,氧化钴将生成亚铁酸钴。

### 参考文献(References):

[1] 张亚斌. 全球钴资源需求竞争格局研究[D]. 北京:中国地质大学

(北京), 2020.

ZHANG Yabin. Study on the competition pattern of global cobalt resource demand[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.

[2] 杨卉卉,王威. 全球钴矿资源现状及开发利用趋势[J]. 矿产保护与利用, 2019,39(5):41-49.

YANG Huipeng, WANG Wei. Current status and development trends of global cobalt resources [J]. Mineral Protection and Utilization, 2019,39(5):41-49.

[3] 滕浩. 高砷钴矿提钴新工艺研究[D]. 长沙:中南大学, 2010.

TENG Hao. Research on a new process for extracting cobalt from high arsenic cobalt ore[D]. Changsha: Central South University, 2010.

[4] 姚标. 从水钴矿中选择性提取铜和钴的新工艺研究[D]. 长沙:中南大学, 2012.

YAO Biao. Study on the novel process of selective extraction of copper and cobalt from heterogenite[D]. Changsha: Central South University, 2012.

[5] 张磊,黄胜,蒋应平,等. 复杂低硫铜钴矿加压浸出提钴工艺研究[J]. 矿冶, 2016,25(3):41-44.

ZHANG Lei, HUANG Sheng, JIANG Yingpin, et al. Research on the pressure leaching process for extracting cobalt from complex low sulfur copper cobalt ore[J]. Mining and Metallurgy, 2016,25(3):41-44.

[6] 谢洪珍. 非洲某含钴萃余液中和除杂试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(3):133-136.

XIE Hongzhen. Removal of impurities from cobalt-containing raffinate in Africa[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(3):133-136.

[7] 黄涛. 氨性体系加压浸出氧化铜钴矿的工艺研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2012.

HUANG Tao. Research on the process of pressure leaching of copper cobalt oxide ore in ammonia based system[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2012.

[8] 何文龙,兰玮锋,吴世发. 含钴黄铁矿硫酸化焙烧浸出研究[J]. 中国资源综合利用, 2020,38(6):10-12.

HE Wenlong, LAN Weifeng, WU Shifa. Study on sulfuric acid roasting and leaching of cobalt containing pyrite [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2020,38(6):10-12.

[9] 余洪,宋文强,张汉泉,等. 硫钴精矿中铜钴同步浸出试验研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(5):89-92.

YU Hong, SONG Wenqiang, ZHANG Hanquan, et al. Experimental study on synchronous leaching of copper and cobalt in sulfur concentrate[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2021,41(5):89-92.

[10] 曹耀华,王威,刘红召,等. 从某铜钴氧化矿石中浸出铜钴试验研究[J]. 湿法冶金, 2020,39(6):478-482.

CAO Yaohua, WANG Wei, LIU Hongzhao, et al. Experimental study on leaching copper and cobalt from a certain copper cobalt oxide ore[J]. Hydrometallurgy of China, 2020,39(6):478-482.

引用本文:黄鹏,白明,刘爽,等. 硫钴精矿焙烧浸出试验研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(1):109-112.

HUANG Peng, BAI Ming, LIU Shuang, et al. Experimental study on roasting and leaching of sulfur-cobalt concentrate[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(1):109-112.