

夏瑜, 彭光菊, 周卫宁, 等. 江西富家坞矿床铜钼矿石中铼元素的赋存状态及其回收影响因素分析[J]. 岩矿测试, 2017, 36(6): 659 - 665.

XIA Yu, PENG Guang-ju, ZHOU Wei-ning, et al. Study on the Occurrence State of Rhenium in Copper-Molybdenum Ore from the Fujiawu Deposit, Jiangxi Province and Factors Affecting Re Recovery [J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(6): 659 - 665.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201703270039】

## 江西富家坞矿床铜钼矿石中铼元素的赋存状态及其回收影响因素分析

夏瑜, 彭光菊, 周卫宁, 张新海, 马荣锴

(中国有色桂林矿产地质研究院有限公司, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 查明铼在矿石矿物中的赋存状态是对铼进行综合回收的前提。以往研究缺乏针对德兴富家坞矿床铜钼矿石中铼的赋存状态研究。对此, 本文通过化学分析、岩矿鉴定、电子探针分析、筛析试验和平衡配分等方法 and 手段, 对富家坞矿床中蚀变花岗闪长斑岩型和千枚岩型铜钼矿石进行了系统的工艺矿物学研究, 查明了矿石中铼的赋存状态及其回收利用的因素。研究未发现独立铼矿物, 铼分散分布于辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿和锆石等矿物中, 含量范围为 0.001% ~ 0.267%。辉钼矿为铼的富集和回收的目标矿物, 其铼含量高达  $684 \times 10^{-6}$ , 且铼在不同粒级中与钼的品位变化具趋同性。对两类铜钼矿石的铼进行综合回收时需考虑辉钼矿含量及脉石矿物种类的差异性, 分类利用矿石; 同时, 对矿石进行破碎细磨时, 应避免矿石过粉碎问题, 以提高 +0.023 mm 粒段中铼的综合回收率。

**关键词:** 铼赋存状态; 辉钼矿; 蚀变花岗闪长斑岩型铜钼矿石; 千枚岩型铜钼矿石; 富家坞铜钼矿床

**中图分类号:** P578.251; O614.713

**文献标识码:** A

铼属稀有分散元素, 由于具有难熔难蚀及良好的塑性等物化特性, 在国防、航空航天和石油化工等领域都均有不可替代的作用<sup>[1]</sup>。作为重要的战略资源, 铼在地壳中含量低且分布不均匀, 资源集中分布于智利、美国和俄罗斯等国<sup>[2]</sup>。工业上铼产品源主要取自矿产资源中的含铼矿物, 少部分由废旧高温合金、废催化剂和冶炼废液等二次资源中回收。自然界中铼资源主要以伴生状态产于有色及贵金属矿床中, 目前已查明铼富集与 Cu、Mo 关系密切, 伴生铼的铜(钼)矿床冶炼时产生的副产品、废液中是铼产品主要来源<sup>[3-4]</sup>。

自然界中铼的独立矿物很少, 主要为硫铜矿、铜铼矿和钼铜铼矿<sup>[5]</sup>。但含铼矿物种类繁多, 包括辉钼矿、黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿、白钨矿、铌铁矿、黄铁矿、赤铁矿、镜铁矿、铂和铀的矿物、硅铍乙矿等, 部分地区在煤层中也见铼富集<sup>[6-9]</sup>。由矿石中提取铼

的方法主要包括溶剂萃取法、离子交换法、沉淀法、氧化还原法、碱浸置换法、电渗析法等, 不同赋存矿物及赋存状态所采用的回收方法不同<sup>[9-10]</sup>; 因此, 在对矿石中铼进行综合回收之前, 必须先查明铼在矿石矿物中的赋存状态。

江西德兴铜矿中的铼资源保有总量为 1000 余吨, 占我国的 80%<sup>[11-12]</sup>。富家坞矿床为江西德兴铜矿的三大主矿床之一, 已查明其回收目标元素为 Cu、Mo, 铼是具工业价值的伴生元素之一。辉钼矿是德兴铜矿中铼回收的目标矿物<sup>[13]</sup>, 而富家坞矿床是德兴矿田中辉钼矿平均含量及含铼质量分数最高的矿床<sup>[14]</sup>。但前人对德兴铜矿铼赋存状态进行研究时, 主要是针对铜厂矿区, 而直接对富家坞矿床中铼赋存状态的研究资料相对较少。据此, 本文从工艺矿物学角度, 通过化学分析、岩矿鉴定、电子探针分析、筛析试验和平衡配分计算等方法 and 手段, 对富

收稿日期: 2017-03-27; 修回日期: 2017-05-20; 接受日期: 2017-08-10

作者简介: 夏瑜, 硕士, 工程师, 从事矿物学、岩石学、矿床学研究。E-mail: 2047508588@qq.com。

家坞矿床铜钼矿石中铼的赋存状态进行了系统研究,查明了富家坞矿床铜钼矿石中铼元素的赋存状态以及不同粒级中铼与钼的变化趋势,为其综合回收利用提供了可靠的依据。

## 1 实验部分

### 1.1 样品采集

矿石按蚀变花岗闪长斑岩型铜钼矿石和千枚岩型铜钼矿石两类进行采样,元素含量指标为  $\text{Cu} \geq 0.25\%$ 、 $\text{Mo} \geq 0.03\%$ ;采集范围为矿权范围内的矿山露天采场 8~17 号勘探线间,台阶标高 +380~+200 m,采集蚀变花岗闪长斑岩型铜钼矿石和千枚岩型铜钼矿石两类矿石分析样各 1 件,两类矿石共采集岩矿样 236 件。其中,矿石分析样用于化学成分、筛析试验等研究,岩矿样主要用于电子探针分析、光学显微鉴定研究。

### 1.2 样品测试方法

化学分析由有色金属桂林矿产地质测试中心完成,主量、微量元素根据含量,分别采用化学滴定法、重量法、原子吸收分光光度计(Z-2010)、紫外可见分光光度计(EV300)等方法、仪器进行测试。筛析试验、岩矿光学显微鉴定在中国有色桂林矿产地质研究院有限公司资源综合利用研究所完成。筛析试验分 200 目(过筛粒度为 -0.074 mm)、400 目(过筛粒度为 -0.038 mm)、600 目(过筛粒度为 -0.023 mm)等三级网筛进行试验;岩矿光学显微鉴定使用莱兹偏光显微镜(ORTHOLLX-II POL BK),光片利用反射光进行观察,薄片利用透射光进行观察;照相及图像处理系统为 ArtCam Measure 2.0,矿物粒度测试利用上述设备和图像处理系统完成,采取单颗粒最大截距作为参数。电子探针分析在桂林理工大学电子探针实验室完成,使用仪器为 JXA8230(日本电子、牛津仪器),测量元素范围为

${}^5\text{B} \sim {}^{92}\text{U}$ ,加速电压 0.2~30 kV,束流电流范围  $10^{-12} \sim 10^{-5}$  A,图像理想分辨率:二次电子像为 6 nm,背散射电子像  $\leq 20$  nm(15 keV),放大倍率:  $40 \times \sim 300000 \times$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 原矿性质

#### 2.1.1 原矿化学组成

原矿化学分析结果(表 1)表明,富家坞铜钼矿石中主要元素为 Cu,蚀变花岗闪长斑岩型、千枚岩型铜钼矿石中 Cu 对应含量分别为 0.5%、0.53%,达到硫化铜矿石最低工业指标(DZ/T 0214—2002);伴生组分 S、Mo、Ag、Se、Te、Re 含量均达到铜矿床综合评价指标,Au 仅在蚀变花岗闪长斑岩型铜钼矿石中达到回收指标(GBT 25283—2010)。其中,Re 含量高于铜伴生组分指标 300 余倍,是本文讨论的主要伴生组分。脉石矿物主要化学成分为  $\text{SiO}_2$ ,其次为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,两者合计在各类矿石中占比均  $>75\%$ ,成分较为简单,有利于分选作业。矿石中 Pb、Zn、Cr、As 含量低于土壤无机污染物的环境质量第二级标准值中居住及工业用地指标(GB 15618—2008)。

#### 2.1.2 矿石矿物组成及结构构造特征

矿石类型按围岩组成可分为蚀变花岗闪长斑岩型和千枚岩型矿石。结合岩矿鉴定结果和矿石化学全分析结果,根据矿石矿物化学分子式计算出矿石中主要矿物含量(表 2)。其中,蚀变花岗闪长斑岩主要由石英、钾长石、斜长石组成,少量黑云母;蚀变矿物包括绢云母、绿泥石、绿帘石、碳酸盐矿物等。千枚岩可细分为绢云千枚岩、石英-绢云千枚岩和绿泥石-绢云千枚岩,局部见沉凝灰质千枚岩,主要组成矿物为石英、绢云母、绿泥石、绿帘石,少量碳酸盐矿物。两类矿石矿物组成差异大,在采选冶过程

表 1 矿石的化学全分析结果

Table 1 Total chemical analysis of ores

样品名称	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	FeO	$\text{TiO}_2$	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	MnO	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{H}_2\text{O}^+$	S
斑岩型铜钼矿石	68.47	13.1	2.25	2.08	0.4	0.74	1.39	1.27	0.45	0.09	0.18	1.3	2.08
千枚岩型铜钼矿石	62.16	14.65	3.92	1.44	0.72	1.8	2.18	4.63	0.17	0.052	0.18	1.75	3
样品名称	Cu	Mo	Pb	Zn	W	Cr	Au	Ag	Se	Te	Re	As	
斑岩型铜钼矿石	0.5	0.069	73	140	0.99	44	0.1	2.55	1.78	0.31	0.36	4.21	
千枚岩型铜钼矿石	0.53	0.045	26	30	11	130	0.052	1.5	2.14	0.24	0.32	14.22	

注:  $\text{SiO}_2 \sim \text{Mo}$  等 15 项分析结果的计量单位为  $10^{-2}$ ; Pb ~ As 等 10 项分析结果的计量单位为  $10^{-6}$ 。

中宜按矿石类型分别处理。

矿石自然类型为原生硫化物型铜钼矿石。金属矿物以黄铜矿、黄铁矿、赤(镜)铁矿为主,少量辉钼矿、钛铁矿、锐钛矿,微量黝铜矿、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿,局部见磁铁矿、钼钙矿。

两种类型的矿石中有价元素 Cu、Mo 回收的目标矿物相同,嵌布特征一致。Cu 回收的目标矿物为黄铜矿,嵌布粒度为 0.05 ~ 2.5 mm,以 0.05 ~ 0.15 mm 为主;Mo 回收的目标矿物为辉钼矿,嵌布粒度为 0.01 ~ 0.5 mm,以 0.02 ~ 0.1 mm 为主;伴生有用组分 Re、Au、Ag、Se、Te 等未见独立矿物。

金属矿物以自形、半自形结晶结构为主;集合体具不规则粒状、束状、放射状、等轴粒状、揉皱状等形态;矿物之间接触关系以交代结构为主,还见连生结构、固溶分离结构、填隙结构等。矿石构造以浸染状、脉状、网脉状为主,局部富集呈块状、团斑状构造。

### 2.2 铼在矿石中的赋存状态

本研究在矿相鉴定中未见铼独立矿物,故进一步对矿石中不同矿物进行了铼含量的 X 射线能谱面扫描分析、电子探针分析。面扫描结果(图 1)显示,在黄铜矿、辉钼矿、钼钙矿、黄铁矿、方铅矿中均有铼分布,钼钙矿、石英、云母、斜长石、绿泥石、绿帘

石、锐钛矿等矿物中均未见铼。矿物电子探针分析结果(表 3)显示,辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、黄铁矿、闪锌矿等金属硫化物中均有铼,其分布状态不均匀,含量范围为 0.001% ~ 0.267%。辉钼矿是铼检测率和含量最高的矿物。

表 2 铜钼矿石的矿物相对含量

Table 2 Relative content of copper molybdenum ore

蚀变花岗闪长斑岩型铜钼矿石		千枚岩型铜钼矿石	
矿物名称	含量(%)	矿物名称	含量(%)
石英	40.71	石英	44.02
钾长石	13.28	绢云母	26.94
斜长石	8.03	绿泥石	10.61
黑云母	3.05	绿帘石	6.56
绢云母	14.49	碳酸盐矿物	3.52
绿泥石	5.65	黄铁矿	3.64
绿帘石	4.33	黄铜矿	1.48
碳酸盐矿物	3.05	赤铁矿	1.54
黄铁矿	2.53	辉钼矿	0.07
黄铜矿	1.43	其他矿物	1.62
赤(镜)铁矿	1.04	-	-
辉钼矿	0.12	-	-
其他矿物	2.29	-	-

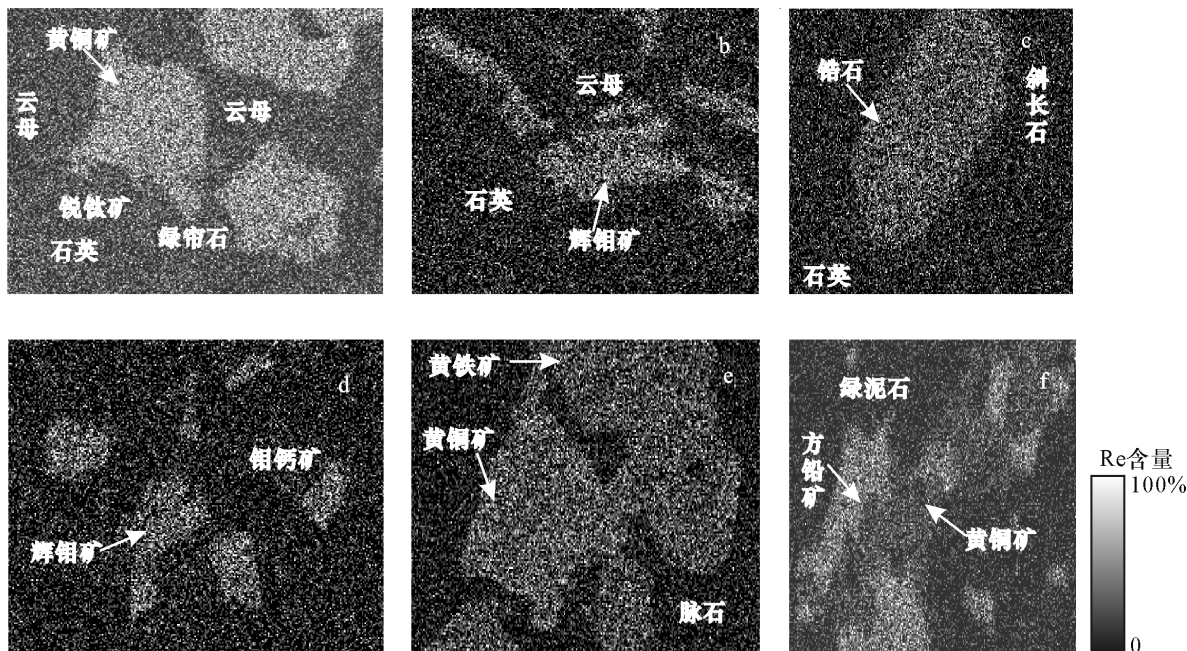


图 1 不同矿物中铼含量面分布扫描电镜图

Fig. 1 Scanning maps of Re content distributed in different minerals

2.2.1 铼在矿石中的平衡配分

研究矿石平衡配分信息,能够查明目标元素在矿石的各类矿物中的含量及其对应矿物在总量中对该元素的占有率,进而确定目标元素回收的目标矿物。故此,本次研究对矿石中 Cu、Mo、Re 进行了平衡配分计算。计算结果(表4)显示,矿石中的 Cu 主

要以黄铜矿形式存在,Mo 主要以辉钼矿形式存在;蚀变花岗闪长斑岩型、千枚岩型铜钼矿石中,黄铜矿对 Cu 的占有率分别为98.02%、97.66%,辉钼矿对 Mo 的占有率分别为 96.82%、87.93%,主要金属矿物黄铁矿及脉石矿物对 Cu、Mo 的占有率均低于 5%。

表3 矿石的金属硫化物中铼含量电子探针分析结果

Table 3 Analytical results of Re content in metal sulfide ores by electron probe

序号	辉钼矿(10 <sup>-2</sup> )		黄铜矿(10 <sup>-2</sup> )		方铅矿(10 <sup>-2</sup> )		黄铁矿(10 <sup>-2</sup> )		闪锌矿(10 <sup>-2</sup> )	
	斑岩型 矿石	千枚岩型 矿石	斑岩型 矿石	千枚岩型 矿石	斑岩型 矿石	千枚岩型 矿石	斑岩型 矿石	千枚岩型 矿石	斑岩型 矿石	千枚岩型 矿石
1	0.011	-	0.026	0.045	0.005	0.017	-	-	0.074	-
2	0.014	0.011	0.078	0.033	0.08	-	0.021	-	-	0.025
3	0.018	-	-	-	-	0.024	-	0.056	-	-
4	0.061	0.05	0.011	-	-	0.003	-	-	-	-
5	0.039	0.074	0.052	0.045	-	-	-	-	-	0.008
6	0.054	0.068	0.026	0.001	-	-	-	-	-	0.105
7	0.018	0.025	0.004	0.083	-	-	-	-	-	-
8	0.018	-	0.041	0.091	-	0.062	-	-	-	-
9	0.082	0.029	-	-	0.045	-	-	-	-	-
10	0.011	-	0.001	-	0.036	0.013	-	-	-	-
11	-	-	0.083	0.047	0.0166	0.012	-	-	-	-
12	0.14	-	0.091	0.046	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	0.074	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0.061	-	0.03	0.07	-	-	-	-	-	-
16	0.061	-	-	0.128	-	-	-	-	-	-
17	0.267	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0.014	-	-	0.056	-	-	-	-	-	-
19	0.025	-	-	0.084	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	0.042	-	-	-	-	-	-
检测率	80.0%	66.7%	73.3%	70.0%	45.5%	54.5%	50.0%	33.3%	33.3%	42.9%

注:“-”表明该点中铼含量低于电子探针检出下限或不含铼。

表4 不同矿石类型中铼的平衡配分

Table 4 Results of equilibrium partition analysis of Re in different ore types

矿石类型	矿物名称	A. 矿物相对含量(10 <sup>-2</sup> )	B. 元素含量			C. 配分量			P. 相对占有率		
			Cu (10 <sup>-2</sup> )	Mo (10 <sup>-2</sup> )	Re (10 <sup>-6</sup> )	Cu (10 <sup>-2</sup> )	Mo (10 <sup>-2</sup> )	Re (10 <sup>-6</sup> )	Cu (%)	Mo (%)	Re (%)
蚀变花岗 闪长斑岩 型铜钼 矿石	辉钼矿	0.12	0.0081	55.84	684	0.00097	0.067	0.8208	0	96.82	95.54
	黄铜矿	1.43	31.46	0.0051	0.17	0.4499	0.0001	0.0024	98.02	0.11	0.28
	黄铁矿	2.53	0.34	0.05	0.32	0.0086	0.0013	0.0081	1.87	1.83	0.94
	综合脉石	95.92	0.0005	0.0009	0.029	0.0005	0.0009	0.0278	0.1	1.25	3.24
	合计	100				0.459	0.0692	0.8591	100	100	100
千枚岩型 铜钼矿石	辉钼矿	0.07	0.0081	58	684	0.0006	0.0406	0.4788	0	87.93	92.82
	黄铜矿	1.48	33.42	0.024	0.076	0.4946	0.0004	0.0011	97.66	0.77	0.22
	黄铁矿	3.64	0.3	0.047	0.31	0.0109	0.0017	0.0113	2.16	3.71	2.19
	综合脉石	94.81	0.001	0.0037	0.026	0.0009	0.0035	0.0247	0.19	7.6	4.78
	合计	100				0.5065	0.0462	0.5159	100	100	100

注:计算方法为 C = A × B, P = C / ΣC。

与此同时,蚀变花岗闪长斑岩型、千枚岩型铜钼矿石中辉钼矿对铼占有率分别为 95.54%、92.82%,故辉钼矿是铼的主要载体矿物和富集矿物,亦为铼回收的目标矿物。需要注意的是,两种铜钼矿石的综合脉石中铼占有率均高于黄铜矿、黄铁矿之和,这可能与综合脉石中的闪锌矿、方铅矿、锆石等矿物含铼有关。

### 2.2.2 原矿不同粒级中铼含量及其变化

当  $-0.074\text{ mm}$  占有率为  $70\% \pm \sim 80\% \pm$  时,对矿石进行了  $+0.074\text{ mm}$ 、 $-0.074 \sim +0.038\text{ mm}$ 、 $-0.038 \sim +0.023\text{ mm}$ 、 $-0.023\text{ mm}$  四个粒段的筛析试验。试验结果(表5)表明:在  $-0.074 \sim +0.023\text{ mm}$  粒段中,蚀变花岗闪长斑岩型铜钼矿石 Cu、Mo、Re 对应的分配率分别为 67.22%、75.06%、72.56%;千枚岩型铜钼矿石 Cu、Mo、Re 对应的分配率分别为 73.34%、78.23%、75.43%。上述两类矿石中 Cu、Mo、Re 在  $-0.074 \sim +0.023\text{ mm}$  粒段富集明显,因此,磨矿细度控制在  $-0.074\text{ mm}$  占有率为  $70\% \pm \sim 80\% \pm$  时,有益于选矿回收作业。

在不同粒级中,铼分布与 Mo 具有相同的变化趋势,表明铼主要赋存于辉钼矿之中,受辉钼矿的分布控制,与电子探针分析结果一致,可进一步确定铼回收目标矿物为辉钼矿,应在回收 Mo 同时注意对铼的回收。

### 2.3 影响铼回收的工艺矿物学因素浅析

(1)矿石中未发现铼的独立矿物,岩矿鉴定、电子探针分析和筛析试验等多种试验研究结果表明,辉钼矿是铼的主寄矿物,铼主要以 Mo 类质同象形式存在于辉钼矿之中,且不同粒级中铼分布与 Mo 具相同的变化趋势,铼分布受辉钼矿的分布控制,难以单独分离回收,需在钼精矿回收过程中回收铼。

(2)两类铜钼矿石的辉钼矿嵌布粒度接近,均以  $0.02 \sim 0.1\text{ mm}$  为主,但蚀变花岗闪长斑岩型和千枚岩型铜钼矿石中辉钼矿含量和脉石矿物成分相差明显,且辉钼矿对 Mo 的占有率差异较大,故而在对 Mo、Re 进行综合回收利用时,需将两类矿石进行分类处理。

(3)辉钼矿在矿石中主要呈网脉状、浸染状构造产出,且常穿插交代黄铁矿、黄铜矿,需破碎、细磨,才能将完全解离。但是由于辉钼矿解理发育、性脆,在磨矿过程中易破碎进入微粒级。筛析试验结果显示,当  $-0.074\text{ mm}$  占有率为  $70\% \pm \sim 80\% \pm$  时,在  $-0.023\text{ mm}$  粒度段,Mo、Re 的品位仍高于铜矿伴生元素综合回收指标。因此,需选择合适的磨矿工艺,以控制矿石的过粉碎,降低  $-0.023\text{ mm}$  的产率,进而提高 Mo(Re)的综合回收率。

## 3 结论

富家坞矿床的蚀变花岗闪长斑岩型、千枚岩型铜钼矿石中具工业价值主要元素为 Cu,同时伴生 S、Mo、Ag、Se、Te、Re 等有价元素。本文研究表明以上两类矿石中均未见铼独立矿物的铼矿物,但发现了多种含铼矿物,包括含铼的辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和锆石等;铼在上述矿物中主要以分散状态形式存在,主要表现为铼不均匀分布于不同载体矿物或同种载体矿物的不同形态中。

平衡配分结果表明,辉钼矿是铜钼矿石中含铼最高的矿物,其含铼量高达  $684 \times 10^{-6}$ ,接近铜厂晚期  $2H_1 + 3R$  型辉钼矿中铼含量 ( $859 \times 10^{-6}$ )<sup>[14]</sup>,蚀变花岗闪长斑岩型、千枚岩型铜钼矿石中辉钼矿对铼占有率分别为 95.54%、92.82%。由此可知,辉钼矿是富家坞矿床两类铜钼矿石中铼的主寄矿物

表5 铼在不同粒级中的分布特征

Table 5 Distribution characteristics of Re in different particle sizes

矿石类型	粒级范围 (mm)	产率 (%)	含量测定结果			分配率(%)		
			Cu( $10^{-2}$ )	Mo( $10^{-2}$ )	Re( $10^{-6}$ )	Cu	Mo	Re
蚀变花岗闪长斑岩型 铜钼矿石	+0.074	31.9	0.26	0.045	0.23	17.22	17.54	20.8
	-0.074 ~ +0.038	29.35	0.44	0.098	0.41	26.94	35.37	34.64
	-0.038 ~ +0.023	28.64	0.67	0.11	0.46	40.28	39.69	37.92
	-0.023	10.11	0.73	0.059	0.23	15.56	7.4	6.65
	合计	100				100	100	100
千枚岩型 铜钼矿石	+0.074	20.29	0.26	0.03	0.13	11.02	13.02	17.85
	-0.074 ~ +0.038	31.24	0.45	0.052	0.18	29.12	34.08	38.65
	-0.038 ~ +0.023	34.09	0.63	0.061	0.16	44.22	44.15	36.78
	-0.023	14.37	0.53	0.029	0.068	15.64	8.75	6.72
	合计	100				100	100	100

和工业回收铼的目标矿物。结合前人研究可知,铼主要以 Mo 类质同象形式存在于辉钼矿之中,其回收利用需在钼精矿的工业利用中进行。富家坞两类铜钼矿的辉钼矿对 Mo 的占有率及脉石矿物成分差异较大,故而对 Mo、Re 进行综合回收利用时,需将两类矿石进行分类处理。此外,由于辉钼矿性脆且解理发育,在磨矿过程中易破碎进入微粒级,因此,需选择合适的磨矿工艺,防止矿石的过粉碎,以提高 Mo(Re)的综合回收率。

#### 4 参考文献

- [1] 黄翀,陈其慎,李颖,等. 2030 年全球及中国铼资源需求刍议[J]. 中国矿业,2014,23(9):9-11.  
Huang C, Chen Q S, Li Y, et al. Discussion of world and China rhenium resource demand in 2030 [J]. China Mining Magazine, 2014, 23(9):9-11.
- [2] 陈希,谭哲,吴玉锋,等. 高温合金废料中稀散金属铼的回收研究进展[J]. 现代化工,2017,37(1):60-63.  
Chen X, Tan Z, Wu Y F, et al. Recent progress of recovery of scattered metal rhenium from high-temperature alloy scrap[J]. Modern Chemical Industry, 2017, 37(1):60-63.
- [3] 李红梅,贺小塘,赵雨,等. 铼的资源、应用和提取[J]. 贵金属,2014,35(2):77-81.  
Li H M, He X T, Zhao Y, et al. Resources, application and extraction status of rhenium [J]. Precious Metals, 2014, 35(2):77-81.
- [4] 吴贤,李来平,张文钰,等. 铼的性质及铼资源分布[J]. 矿业快报,2008,11(11):67-69.  
Wu X, Li L P, Zhang W Z, et al. Properties of rhenium and distribution of rhenium resources [J]. Express Information of Mining Industry, 2008, 11(11):67-69.
- [5] Lavrov O B, Kuleshevich L V. The first finds of rhenium minerals in Karelia [J]. Geochemistry, 2010, 432(1):94-98.
- [6] 田立强,范士彦,王红梅,等. 济宁许厂煤矿伴生分散元素铼的富集成矿探析[J]. 山东国土资源,2016,32(2):35-38.  
Tian L Q, Fan S Y, Wang H M, et al. Study on enrichment of scattered rhenium in Xuchang coal mine in Jining City [J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(2):35-38.
- [7] 定立,赵元艺,刘妍,等. 江西永平铜矿外围护架山钻孔 ZK725 岩矿相学特征及意义[J]. 地质学报,2013,87(11):1715-1730.  
Ding L, Zhao Y Y, Liu Y, et al. Facieology and mineragraphy characteristics of drilling ZK725 in Hujiashan on Yongping copper deposit peripheral areas, Jiangxi and their significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(11):1715-1730.
- [8] Figueiredo M O, da Silva T P, Veiga J P, et al. Towards the recovery of by-product metals from mine wastes: An X-ray absorption spectroscopy study on the binding state of rhenium in debris from a centennial Iberian pyrite belt mine [J]. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2014(2):135-143.
- [9] 曹冲,赵元艺,水新芳,等. 斑岩型铜钼矿床重要共(伴)生元素赋存状态与分布规律[J]. 地质找矿论丛,2014,29(1):1-12.  
Cao C, Zhao Y Y, Shui X F, et al. Occurrence and distribution regularity of by-product elements in porphyry Cu-Mo deposits [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2014, 29(1):1-12.
- [10] 彭真,罗明标,花榕,等. 从矿石中回收铼的研究进展[J]. 湿法冶金,2012,31(2):76-80.  
Peng Z, Luo M B, Hua R, et al. Research situation on recovery of rhenium from uranium ore [J]. Hydrometallurgy of China, 2012, 31(2):76-80.
- [11] 龚益彬. 新技术公司钼精矿加工生产综述及发展对策[J]. 铜业工程,2008(4):18-20.  
Gong Y B. Description of Mo concentrate production and developing strategy of JCC Dexing new technology company [J]. Copper Engineering, 2008(4):18-20.
- [12] 王诚华. 德兴铜矿伴生有价元素回收的生产实践[J]. 金属矿山,2006,359(5):77-79.  
Wang C H. Production practice of recovering associated valuable elements in Dexing copper mine [J]. Metal Mine, 2006, 359(5):77-79.
- [13] 曹占芳,钟宏,姜涛,等. 辉钼矿中钼和铼分离过程研究[J]. 现代化工,2012,32(12):49-51.  
Cao Z F, Zhong H, Jiang T, et al. Study on separation of molybdenum and rhenium from molybdenite [J]. Modern Chemical Industry, 2012, 32(12):49-51.
- [14] 芮宗瑶,黄崇轲,齐国明,等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京:地质出版社,1984.  
Rui Z Y, Huang Z K, Qi G M, et al. Porphyry Copper (Molybdenum) Deposit of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984.

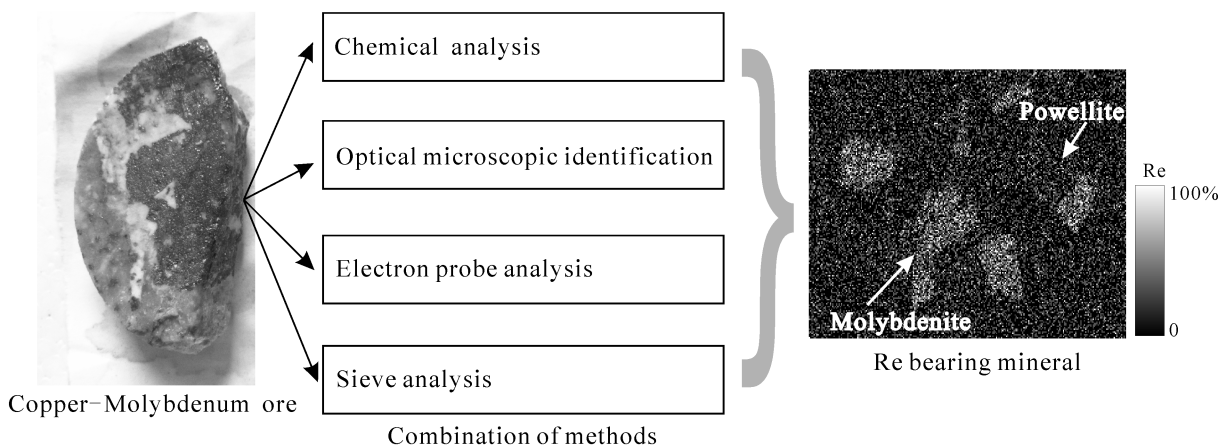
# Study on the Occurrence State of Rhenium in Copper-Molybdenum Ore from the Fujiawu Deposit, Jiangxi Province and Factors Affecting Re Recovery

XIA Yu, PENG Guang-ju, ZHOU Wei-ning, ZHANG Xin-hai, MA Rong-kai

(Guilin Geology and Mining Co., LTD., China Nonferrous Metal Group, Guilin 541004, China)

## Highlights

- The occurrence of Re in altered granodiorite porphyry type and phyllite type copper-molybdenum ore of Fujiawu deposit is identified by chemical analysis, Optical Microscope, Electron Probe, sieve analysis and balance classification.
- A variety of Re bearing minerals were found, including molybdenite, chalcopyrite, pyrite, galena and zircon.
- Molybdenite is determined to be the target mineral for recovery of Re from copper-molybdenum ore of Fujiawu deposit, and the technological mineralogy factors influenced Re recovery have been identified as well.



**Abstract:** Understanding the occurrence of Re in ore minerals is the prerequisite for comprehensive recovery of rhenium. The study on the occurrence of Re in copper-molybdenum ores of Fujiawu deposit is lacking. Chemical analysis, optical microscopic identification, electron probe analysis, sieve analysis and balance classification were used to systematically process a mineralogy study on the porphyry type copper-molybdenum ore and phyllite type copper-molybdenum ore from the Fujiawu copper molybdenum mine, in order to understand the present state of Re in ores and the factors affecting the recovery and utilization of Re in ores. No independent rhenium minerals have been found, and Re is dispersed in minerals such as molybdenite chalcopyrite, pyrite, galena, and zircon. The content of Re ranges from 0.001% to 0.267%. Molybdenite is the target mineral for enrichment and recovery of Re with Re content up to  $684 \times 10^{-6}$ . Moreover, the grade change of Re and Mo is similar in different particle sizes. For the comprehensive recovery of Re from two types of copper-molybdenum ores, the differences in molybdenite content and types of gangue minerals should be taken into consideration, and the ore to be used should be classified. Meanwhile, when the ore is crushed and ground, it should not be crushed excessively, in order to improve the comprehensive recovery of Re at +0.023 mm.

**Key words:** occurrence of rhenium; molybdenite; altered granodiorite porphyry type copper-molybdenum ore; phyllite type copper-molybdenum ore; Fujiawu copper-molybdenum deposit