



个旧铜锡矿工艺矿物学研究

崔传发¹, 文书明², 吴丹丹², 先永骏²

(1. 郑州信息科技职业学院, 河南 郑州 450098; 2. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;)

摘要: 通过对锡石多金属硫化矿工艺矿物学研究, 矿样中主要有价元素 Sn 和 Cu 的含量分别为 0.38% 和 0.67%。其中, 锡石是锡主要的载体矿物, 黄铜矿是铜最主要的载体矿物锡石的粒度较粗; 在细度 -75 μm 占 65% 条件下, 各目的矿物的解离水平整体较高各粒级的分布率随粒度的减小而减小, 黄铜矿的粗粒级分布不均匀, 各粒级的分布率基本随着粒度的减小而减小。

关键词: 工艺矿物学, 矿物组成, 粒度。

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.05.019

中图分类号: TD952; P8 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 05-0090-05

我国锡石-多金属硫化矿锡矿资源丰富, 长期以来一直是锡生产大国, 锡矿石储量和锡精矿产量均居世界前列。个旧矿集区是我国最重要的一个锡铜的矿产地之一。它形石英脉矿化和蚀变基性火山等和断裂有关的各种脉型矿化构成的多金属成矿系统。锡矿石的选矿方法是由其自身特性所决定的, 包括传统重力选矿工艺, 以及当前因入选粒度不断变细而出现的细粒锡石浮选工艺。通过对锡石多金属硫化矿工艺矿物学研究, 为了给该矿产资源的开发利用提供科学依据, 特对其进行选矿试验研究^[1-7]。

1 化学元素组成分析

采用 X-荧光光谱分析对矿样中元素的含量进行了检测, 结果见表 1。

表 1 X-荧光光谱分析结果 /%

Table 1 Fluorescence spectrometric analysis results

元素	含量	元素	含量
Na	0.4	Ti	0.2
Mg	3	Cr	-
Al	3	Mn	0.2
Si	14	Fe	13
P	0.03	Cu	0.7
S	4	Zn	0.09

Cl	0.05	As	0.7
K	1	Rb	0.03
Ca	13	Sr	0.04
Sn	0.3	Bi	0.04
F	2	W	0.03

分析结果表明, 矿样中的主要元素为 Ca、Fe、Al、Mg、Si、S、K、Cu、Sn 等, 其中主要有价元素 Sn 和 Cu 的含量分别为 0.38% 和 0.67%, 有害元素 As 的含量为 0.95%。

表 2 锡的赋存状态

Table 2 Occurrence of tin

矿物名称	矿物含量 /%	矿物中 Sn 的含量 /%	矿物中 Sn 的分配量 /%	矿物中 Sn 的分配率 /%
锡石	0.47	77.22	0.36	94.28
黄锡矿	0.08	27.61	0.02	5.72
其他	99.45	0.00	0.00	0.00
合计	100.00	-	0.38	100.00

分析结果表明, 矿样中的含锡矿物包括锡石和黄锡矿 2 种, 其中, 锡石是锡主要的载体矿物, 锡在其中的分配率达到 94.28%; 而锡在黄锡矿中的分配率仅为 5.72%。

收稿日期: 2016-06-11; 改回日期: 2018-06-26

作者简介: 崔传发 (1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事资源综合利用研究工作。

表 3 铜的赋存状态
Table 3 Occurrence of copper

矿物名称	矿物含量 /%	矿物中 Cu 的含量 /%	矿物中 Cu 的分配量 /%	矿物中 Cu 的分配率 /%
黄铜矿	1.81	34.60	0.63	93.49
黄锡矿	0.08	29.57	0.024	3.53
铜蓝	0.03	66.47	0.020	2.98
其他	98.08	0.00	0.00	0.00
合计	100.00	-	0.67	100.00

分析结果表明, 矿样中的含铜矿物包括黄铜矿、铜蓝和黄锡矿 3 种, 其中, 黄铜矿是铜最主要的载体矿物, 铜在其中的分配率达到 93.49%; 而铜在黄锡矿和铜蓝中的分配率分别仅为 3.53% 和 2.98%。

2 矿石的矿物组成及矿物的共生关系

2.1 矿石的矿物组成

通过 MLA 共对矿样中的 133217 个矿物颗粒进行了分析和统计, 以确定其矿物组成。分析结果表明, 矿样共由 31 种矿物组成, 其中, 金属硫化物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂和黄铜矿, 另有少量黄锡矿、闪锌矿、铜蓝和辉铋矿; 金属氧化物主要为赤(褐)铁矿, 其次为锡石, 偶见有少量磁铁矿; 脉石矿物以碳酸盐、石英和硅酸盐矿物为主, 包括石英、方解石、透辉石、云母、正长石、白云石、铁辉石、硅钙石、钙钠斜长石、钙长石、红帘石、透闪石、铁铝榴石、符山石、电气石、楣石等。

2.2 矿物的共生关系

采用 MLA 分析并统计矿样中各目的矿物的共生关系。分析结果表明, 各目的矿物的共生关系整体较为简单, 自由表面积比例均较高。

其中, 锡石主要与云母、铁铝榴石、黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、方解石、透辉石、萤石、红帘石等矿物共生, 且与各矿物的共生比例均较小, 自由表面积比例达到 75.01%; 黄锡矿主要与黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方解石、云母、透辉石等矿物共生, 且与各矿物的共生比例均较小, 自由表面积比例达到 80.95%;

黄铜矿主要与黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、

方解石、透辉石、云母、铁辉石、钙钠斜长石、红帘石、铁铝榴石等矿物共生, 且与各矿物的共生比例均较小, 自由表面积比例达到 72.22%; 铜蓝主要与黄铜矿、黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、方解石、云母、透辉石、钙钠斜长石、钙长石等矿物共生, 其中, 与黄铜矿的共生表面积比例达到 10.06%, 自由表面积比例较其他目的矿物稍小, 为 60.71%; 黄铁矿主要与黄铜矿、磁黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、方解石、透辉石、云母、铁辉石、钙钠斜长石、红帘石、铁铝榴石等矿物共生, 且与各矿物的共生比例均较小, 自由表面积比例达到 70.65%; 磁黄铁矿主要与黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、方解石、透辉石、云母、钙长石等矿物共生, 且与各矿物的共生比例均较小, 自由表面积比例达到 82.69%; 毒砂主要与黄铜矿、磁黄铁矿、石英、方解石、透辉石、云母、红帘石等矿物共生, 且与各矿物的共生比例均较小, 自由表面积比例达到 83.11%。

3 主要矿物的矿物学特征

通过矿样中主要矿物的扫描电镜图, MLA 分析, X 射线能谱分析主要矿物的矿物学特征。

3.1 锡石 (SnO₂)

锡石是矿样中最主要的含锡矿物, 含量达到 0.47%。锡石的能谱分析分析结果表明, 锡石中含锡 77.22%, 另有少量的铁杂质, 含量为 1.21%。

锡石多呈自形-半自形、它形粒状颗粒, 解离度较好, 部分锡石与云母、黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、铁铝榴石、方解石等矿物连生, 且有部分锡石颗粒与其他矿物存在相互包裹现象, 不易在磨矿过程中充分解离。

3.2 黄锡矿 (Cu₂FeSnS₄)

黄锡矿是矿样中的含锡矿物之一, 含量为 0.08%。能谱分析结果表明, 黄锡矿中含锡 27.61%、含铜 29.57%、含铁 12.99%、含硫 29.83%。MLA 分析图及显微照片显示, 黄锡矿多呈它形粒状、细脉状、星点状, 解离度较好, 大多以单体颗粒形式存在, 部分与黄铜矿、黄铁矿、

磁黄铁矿、方解石、云母等矿物连生,且有部分呈细脉状、星点状包裹于其他矿物颗粒中,较难在磨矿过程中充分解离。

3.3 黄铜矿 (CuFeS₂)

黄铜矿是矿样中最主要的含铜矿物,含量达到1.81%。能谱分析结果表明黄铜矿中含铜34.60%、含铁30.50%、含硫34.90%。MLA分析图及显微照片显示,黄铜矿多呈半自形-它形粒状或脉状,解离情况一般,大部分与黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、方解石、透辉石、云母、铁辉石、钙钠斜长石、红帘石、铁铝榴石等矿物存在连生,少数与其他矿物存在相互包裹现象。

3.4 铜蓝 (CuS)

铜蓝是矿样中的含铜矿物之一,含量为0.03%。铜蓝能谱分析结果表明,铜蓝中含铜66.47%,含硫33.53%。MLA分析图及显微照片显示,铜蓝多呈粒状和层状形态存在,其中,粒状铜蓝颗粒多呈单体颗粒形式存在,部分与正长石等矿物连生;层状铜蓝则主要与黄铜矿连生,呈层状沿黄铜矿表面生长。

3.5 黄铁矿 (FeS₂)

黄铁矿是矿样中的主要的硫化矿物之一,含量为5.08%。能谱分析结果表明,黄铁矿中含铁46.54%,含硫53.46%。MLA分析图及显微照片显示,黄铁矿多呈半自形-它形粒状,解离度较好,但单体颗粒较少,大多与黄铜矿、磁黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、方解石、透辉石、云母、铁辉石、钙钠斜长石、红帘石等矿物颗粒存在少量连生,且存在少量包裹或镶嵌现象。

3.6 磁黄铁矿 (Fe_{1-x}S)

磁黄铁矿是矿样中的主要的含硫矿物之一,含量为7.69%。能谱分析结果表明,磁黄铁矿中含铁60.50%,含硫39.50%。MLA分析图及显微照片显示,磁黄铁矿多呈半自形-它形粒状,解离度较好,部分颗粒与黄铁矿、赤(褐)铁矿、石英、方解石、透辉石、云母、钙长石等矿物颗粒存在少量连生,且存在少量包裹或镶嵌现象。

3.7 毒砂 (FeAsS)

毒砂是矿样中的主要的含硫矿物之一,含量为2.07%。能谱分析结果表明,毒砂中含砷46.01%,含铁34.30%,含硫19.69%。

MLA分析图及显微照片显示,毒砂多呈半自形-它形粒状,解离度较好,部分颗粒与黄铜矿、磁黄铁矿、石英、方解石、透辉石、云母、红帘石等矿物少连生,且存在少量包裹或镶嵌现象。

4 目的矿物的粒度分布特征

MLA分别对当前磨矿细度条件下各目的矿物的粒度分布特征进行了分析和统计(统计对象为某一颗粒中单一矿物相的粒度)。

分析结果表明,锡石的粒度较粗,各粒级的分布率随粒度的减小而减小,其中,-75 μm 粒级累计分布率达到72.35%,-38 μm 粒级累计分布率达到43.09%;黄锡矿的粒度也较粗,且各粒级分布不均匀,没有明显规律,其中,-75 μm 粒级累计分布率达到56.80%,-38 μm 粒级累计分布率达到52.53%。

黄铜矿的粗粒级分布不均匀,-75 μm 各粒级的分布率基本随着粒度的减小而减小,其中-75 μm 粒级累计分布率达到69.32%,-38 μm 粒级累计分布率达到43.03%;铜蓝的粒度较细,-38 μm 粒级累计分布率达到100%,-18 μm 粒级累计分布率达到82.11%。

黄铁矿的粒度较粗,各粒级的分布率基本随粒度的减小而减小,其中,+150 μm 粒级的分布率达到21.52%,-75 μm 粒级累计分布率为49.61%,-38 μm 粒级累计分布率为22.15%;磁黄铁矿的粒度较粗,-75 μm 粒级累计分布率为61.67%,-38 μm 粒级累计分布率为34.16%。

毒砂的粒度也较粗,-75 μm 粒级累计分布率为56.46%,-38 μm 粒级累计分布率为32.45%。

5 闭路试验

通过大量条件试验,确定了粗选磨矿细度、粗选捕收剂用量、铜粗精矿再磨磨矿细度和再磨精选石灰用量的最佳工艺条件,在此条件下进行闭路试验,试验流程见图1,试验结果见表4。

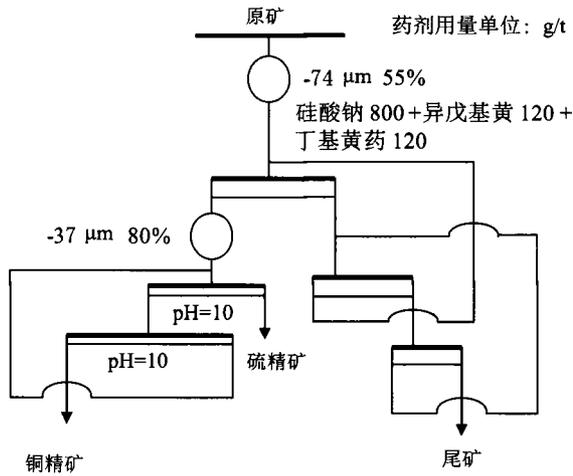


图1 闭路试验流程

Fig.1 Closed-circuit test process

表4 闭路浮选试验结果

Table 4 Results of closed-circuit flotation test

产品名称	产率 /%	铜品位 /%	铜回收率 /%	锡品位 /%	锡回收率 /%
铜精矿	2.66	14.02	80.91	-	-
硫精矿	18.07	0.18	7.06	-	-
尾矿	79.27	0.07	12.04	0.46	96.00
原矿	100.00	0.46	100.00	0.38	100.00

闭路试验结果表明，铜精矿中铜的品位可达14.02%，铜的回收率为80.91%，并且尾矿中铜的含量已经降低到较低的水平。尾矿中锡的品位得到了进一步的提升为下一步锡的选别打下了良好的基础。

6 结论

(1) 样品中的主要元素为Ca、Fe、Al、Mg、Si、S、K、Cu、Sn等，其中主要有价元素Sn和Cu的含量分别为0.38%和0.67%。

(2) 矿样共由31种矿物组成，其中，金属硫化物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂和黄铜矿；金属氧化物主要为赤（褐）铁矿，其次为锡石；脉石矿物以碳酸盐、石英和硅酸盐矿物为主。

(3) 在当前磨矿细度条件下，各目的矿物的

解离水平整体较高，但仍有一些矿物颗粒之间的相互镶嵌和包裹关系造成部分目的矿物的解离水平较低。

(4) 矿样中的含锡矿物包括锡石和黄锡矿2种，其中，锡石是锡主要的载体矿物，锡在其中的分配率达到94.28%；而锡在黄锡矿中的分配率仅为5.72%；含铜矿物包括黄铜矿、铜蓝和黄锡矿3种，其中，黄铜矿是铜最主要的载体矿物，铜在其中的分配率达到93.49%；而铜在黄锡矿和铜蓝中的分配率分别仅为3.53%和2.98%；

(5) 铜精矿中铜的品位可达14.02%，铜的回收率为80.91%。

参考文献：

- [1] 曹华文, 张寿庭, 林进展, 王光凯, Cao Hua-wen, Zhang Shou-ting, Lin Jin-zhan, Wang Guang-kai. Geologic characteristics and tectonic settings of tin deposits in West Yunnan, China[J]. 成都理工大学学报：自然科学版, 2013(4): 14.
- [2] 徐阳宝, 覃文庆, 刘慧等. 云南蒙自某锡多金属矿的工艺矿物学[J]. 中国有色金属学报：英文版, 2012, 22(3): 725-730. DOI:10.1016/S1003-6326(11)61237-5.
- [3] Zhang Shouting, Xia Qinglin, Zhao Pengda. Diversity of Mineralization and Spectrum of the Gejiu Superlarge Tin-Copper Polymetallic Deposit, Yunnan, China[J]. 中国地质大学学报：英文版, 2008, 19(4): 363-370.
- [4] 王少东, 乔吉波, Wang Shaodong, Qiao Jibo. 云南某氧化铅锌矿选矿工艺研究[J]. 有色金属：选矿部分, 2011.
- [5] 杨洪英, 李雪娇, 佟琳琳等. 高铅铜阳极泥的工艺矿物学[J]. 中国有色金属学报, 2014, (1): 269-278.
- [6] 武俊杰, 杨艳芳, 雷引玲等. 陕西华阳某多金属硫化矿工艺矿物学研究[J]. 有色金属工程, 2015, 5(2): 44-49.
- [7] 彭明生, 刘晓文, 刘羽等. 工艺矿物学近十年的主要进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(3): 210-217.

(下转 84 页)

Effect of Surfactants on Preparation of Ultrafine Silica by Olivine Acid Dissolution

Wang Ling¹, Cui Zhaochun¹, Han Wei¹, Li Cunguo², Nie Yimiao¹, Wang Ning¹, Liu Shuxian¹, Chen Wenyi¹, Fan Chenzi³
(1. Hebei Province Key Laboratory of Mining Exploitation and Security Technology, College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China; 2. Center for Innovation and Entrepreneurship, Tangshan College, Tangshan, Hebei, China; 3. National Geological Experiment and Testing Center, Beijing, China)

Abstract: The cost of production of ultrafine silica can be greatly decreased by acid dissolution of silicate minerals, due to the low price and availability of the silicates. The agglomerating of the ultrafine silica under the acidic condition has a significant influence on the properties of the ultrafine silica. The experiments of the types of the surfactant and its molecular weight and dosage were carried out to investigate the effect of the surfactant on the preventing the agglomeration of amorphous silica particles in the solution. The results showed that the nonionic surfactant has the obvious dispersion effect on the amorphous silica. The monodisperse spherical ultrafine silica with smooth edge was gained by adding 15% of PEG-6000 during the acid leaching of olivine. The average particle size is 11.31 μm and the particle size distribution range is narrow. The research results would provide the scientific basis for the low cost production of the ultrafine silica.

Keywords: Olivine; Ultrafine silica; Polyethylene glycol

////////////////////////////////////
(上接 93 页)

Process Mineralogy of Refractory Copper Tin Ore In Gejiu

Cui Chuanfa¹, Wen Shuming², Wu Dandan², Xian Yongjun²

(1. Zhengzhou Vocational University of Information and Technology, Zhengzhou, Henan, China; 2. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China)

Abstract: By mineralogy study on cassiterite polymetallic sulfide ore, the contents of the main valuable elements Sn and Cu were 0.38% and 0.67% respectively, among which cassiterite is the main carrier in the tin ore, chalcopyrite copper is the most important carrier of coarse-grained mineral cassiterite. On the condition of the fineness -75 μm accounting for 65%, there is the overall higher dissociation level of the object minerals. With the decrease of grain size, the distribution rate decreases. The coarse grain level distribution of chalcopyrite is not uniform, and the distribution rate of each grain level basically decreases with the decrease of grain size

Keywords: Process mineralogy; Mineral composition; Particle size