

## 青海某金矿工艺矿物学研究

王越, 王婧, 李潇雨, 周满赓

(中国地质科学院矿产综合利用研究所, 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心, 四川 成都 610041)

**摘要:** 本文以青海某金矿石的原生矿和氧化矿样为研究对象, 运用工艺矿物学的研究方法, 通过工艺矿物学手段, 查明了该矿石中金的赋存状态和分布规律: 原矿为花岗型含硫化物金矿床, 矿石中的金主要以次显微状 ( $< 0.02 \mu\text{m}$ ) 赋存于毒砂和黄铁矿中, 矿石中没有独立的金矿物。毒砂含金量显著高于黄铁矿。氧化矿石的含金量明显高于原生矿。

**关键词:** 金矿; 毒砂; 黄铁矿; 工艺矿物学

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.06.016

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 06-0081-04

通过化学分析、X 射线衍射、光学显微镜、电子探针、MLA 等分析手段, 查明了青海某金矿石的原生矿和氧化矿石的性质及工艺矿物学特性, 为该矿的综合利用提供了重要的矿物学依据。

### 1 矿石性质

#### 1.1 矿石的化学分析

试样主要分为氧化矿与原生矿两类, 分别对其进行化学分析发现其主要元素的含量相差较大, 金的含量相差近 1 倍 (表 1)。为了研究金的走向, 对生产精矿和中矿也进行了化学分析 (表 2)。

表 1 矿石的化学分析 / %  
Table 1 Chemical analysis of ores

名称	S	TFe	As	Au*	Ag*
原生矿	2.20	5.89	0.64	3.32	< 3
氧化矿	1.52	3.42	1.14	7.60	< 3

\* 单位为 g/t。

表 2 选矿厂流程样的化学分析 / %

Table 2 Chemical analysis of circuit sample in dressing Plant

名称	S	TFe	As	Au*
中矿	2.07	4.94	0.60	4.77
精矿	18.69	18.32	4.02	26.30

\* 单位为 g/t。

#### 1.2 矿石的矿物组成

该金矿的矿物组成及定量见表 3。该金矿的氧化矿石和原生矿石分别进行研究, 发现其中的主要金属矿物为黄铁矿与毒砂, 主要非金属矿物为石英和长石, 还含有少量的赤铁矿、褐铁矿及碳酸盐矿物等。对于主要的金属矿物而言, 黄铁矿在原生矿中含量较多, 而毒砂在氧化矿中含量较高。

表 3 金矿的矿物组成及含量 / %  
Table 3 The mineral constituents and contents of gold deposit

名称	黄铁矿	毒砂	赤铁矿	石英	长石	黑云母	褐铁矿 (包括铁染长石、石英)	碳酸盐矿物	合计
原生矿	3.64	1.39	1.35	27.23	50.40	14.61	0.54	0.84	100.00
氧化矿	1.94	2.47	2.33	42.63	30.53	10.13	4.63	5.34	100.00

收稿日期: 2018-06-07

基金项目: 地调项目与蒙山区地质矿产调查项目 (DY1702) 资助

作者简介: 王越 (1984-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事矿产综合利用及工艺矿物学研究。

### 1.3 矿石中主要矿物的嵌布特征

#### (1) 黄铁矿

黄铁矿在该区矿石中含量较大，呈自形、半自形、他形晶粒状结构，以浸染状、条带状、网脉状或集合体构造为主分布于脉石矿物中，粒度中等偏细，一般为0.043~0.02 mm，大多数粒径小于0.01 mm，是黄铁矿主要的产出特征。也有少数分布于脉石矿物间隙中或被包裹在脉石矿物中，粒度较粗，粒径一般在0.043 mm以上，最大者可达0.6 mm。黄铁矿与黄铜矿、毒砂等伴生（图1~4）。

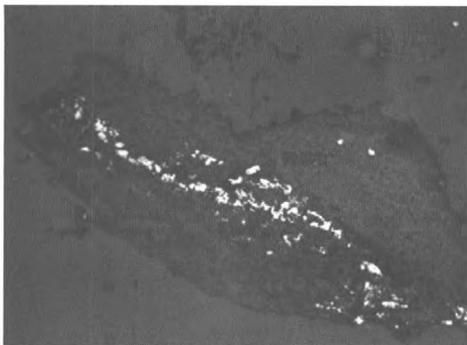


图1 黄铁矿被包裹在脉石矿物中（单偏光）

Fig. 1 Pyrite wrapped in gangue mineral (single polarization)

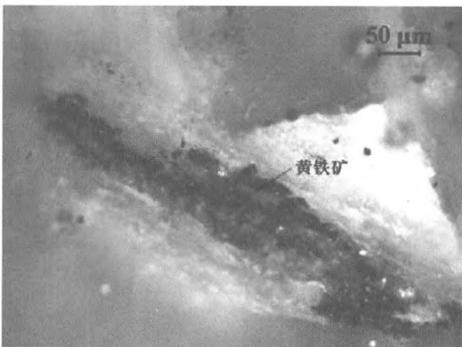


图2 黄铁矿被包裹在脉石矿物中（正交偏光）

Fig. 2 Pyrite wrapped in gangue mineral (orthogonal polarization)



图3 黄铁矿与黄铜矿伴生

Fig. 3 Intergrowth of pyrite and chalcopyrite

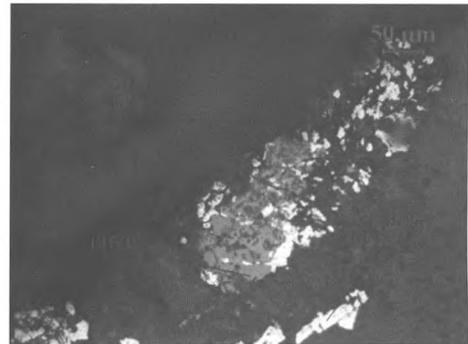


图4 黄铁矿与闪锌矿伴生

Fig. 4 Intergrowth of pyrite and sphalerite

#### (2) 毒砂

毒砂在该区金矿石的硫化物中含量仅次于黄铁矿，一般呈自形、半自形、他形晶粒状或放射状集合体结构分布于脉石矿物中，有的也分布在脉石矿物间隙中，粒度中等，粒径一般在0.043~0.02 mm之间，最大者不超过0.2 mm，而小于0.01的也相对于黄铁矿而言较少。多数以稀疏浸染状构造出现（图5~6）。



图5 自形、半自形粒状、矛状毒砂及放射状集合体

Fig. 5 self-, semi-self-granular, spear-like toxic sand and radial aggregates

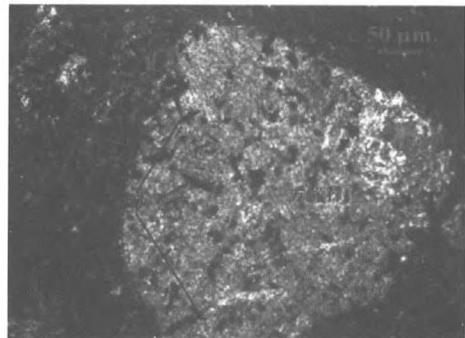


图6 毒砂分布在脉石矿物方解石中

Fig. 6 Toxic sand distributed in the calcite of the gangue mineral

(3) 黄铜矿、闪锌矿、黝铜矿等其他微量硫化物

黄铜矿常呈他形晶粒状、网脉状、蠕虫状分布于脉石矿物间隙或被包裹在脉石矿物中，边界不规则，粒度较大，一般在0.02~0.043 mm之间。本矿石中常见黄铜矿呈半自形、他形晶粒状交代黄铁矿。闪锌矿常呈他形粒状集合体分布于脉石矿物中，也分布在脉石矿物间隙内。常见蠕虫状、网脉状交代黄铁矿、黄铜矿等硫化物，一般粒度中等偏粗，在0.2~0.5 mm之间。黝铜矿呈他形晶粒状分布在脉石矿物中，与黄铁矿、黄铜矿等硫化物紧密共生，也可见与自然铜伴生的特殊情况。

#### (4) 脉石矿物

该金矿石中脉石矿物主要由石英、黑云母、方解石、斜长石为主，还有少量的黑云母、磷灰石、钾长石、重晶石、独居石等。由于矿石经过了强烈的变质变形作用，矿物的结晶程度较差，多半以他形晶为主，脉石矿物间隙常发育有其他金属矿物，如黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿等，在脉石矿物中也常见有交代成因的金属矿物。

### 1.4 矿石中主要矿物的工艺粒度

对该金矿中黄铁矿与毒砂的原生粒度统计见表4。

表4 金矿石中主要矿物的原生粒度统计

Table 4 The statistical Tables of essential mineral in gold ore

矿物名称	粒径范围/mm						-0.01
	+0.2	-0.2+ 0.1	-0.1+ 0.074	0.074+ 0.043	-0.043+ 0.02	-0.02+ 0.01	
黄铁矿	5.64	8.93	7.66	18.02	23.4	5.91	30.32
毒砂	0	2.44	2.65	19.35	51.12	13.44	11

通过对原生粒度的统计发现以下几个特点：

(1) 黄铁矿的原生粒度集中于< 0.01mm 与 0.043~0.02 mm 两个粒级中。其次集中于 0.074~0.043 mm 粒级中，其它粒级范围内较少。

(2) 毒砂的原生粒度主要集中于 0.043 ~ 0.02 mm 粒级中，其次集中于 0.074 ~ 0.043 mm、0.02 ~ 0.01 mm 与 < 0.01 mm 三个粒级中，其他粒级范围内很少。

(3) 黄铁矿在 < 0.074mm 粒级的量达到了 77.77%，毒砂在 < 0.074 mm 粒级的量更是达到了 92.47%，说明黄铁矿和毒砂主要富集在 200 目以下的粒级范围内。

(4) 黄铁矿和毒砂在 0.043 ~ 0.02 mm 和 0.074 ~ 0.043 mm 两个粒级中都比较集中。

## 2 矿石中金的赋存状态及走向

根据 R.W. 博伊尔等人的研究发现，金在矿床中有三种赋存形式：独立的金矿物、表面吸附金以及显微、次显微金等<sup>[1]</sup>。通过对矿石进行系统的显微镜鉴定，并未发现金矿物。之后运用重砂方法对原矿进行实验室分选富集，对其进行重点研究也没有发现金矿物；再经 MLA 检测同样没有发现金矿物。因此，得知本次研究的原生矿和氧化矿样品中没有独立金矿物。金可以呈胶粒子、或阴离子等被粘土矿物、褐铁矿等吸附于表面或裂隙面上，或被碳质、有机质等所吸附。但通过对本矿石原生矿和氧化矿分析发现，粘土矿物、有机质含量低，褐铁矿矿物量小，吸附金存在的可能性很小，同时由于矿石是蚀变的花岗岩类，因此，我们也排除了该矿为吸附型金矿的可能。

矿石（原生矿和氧化矿）中的硫化物主要由黄铁矿和毒砂组成，根据单矿物分析，当毒砂在硫化物中占 25% 时硫化物平均含金量为 64.56 g/t。以此数据计算原生矿时（毒砂在硫化物中占 25% 左右比例）硫化物平均含金量为 62.64 g/t。上述数据说明，矿石中金 90% 以上含在硫化物中，矿石属于硫化物型金矿床。

## 3 结论

(1) 矿石氧化矿为蚀变花岗型浅风化硫化物金矿床，样品中无独立金矿物，金主要以次显微状 (< 0.02 μm) 存在于毒砂和黄铁矿中，脉石矿物以石英、长石、黑云母为主，样品中硅化、碳酸盐化比原生矿强烈，与原生矿相比，有利于金的富集。

(2) 原生矿中硫化物平均含金量为 62.64 g/t。  
 (毒砂占硫化物总量 27.63%时) 毒砂含金量显著高于黄铁矿, 经测算, 毒砂含金 204 g/t, 黄铁矿含金 40.80 g/t。氧化矿中硫化物平均含金量 172.34 g/t, (毒砂占硫化物总量 56.0%, 经测算, 毒砂含金 277.2 g/t, 黄铁矿含金 68.22 g/t。

(3) 黄铁矿 < 0.074 mm 粒级的量达到了 77.77%, 毒砂 < 0.074 mm 粒级的量达到了 92.47%, 说明黄铁矿和毒砂主要富集在 200 目以下的粒级范围内, 含金量高的毒砂原生粒度更细。

(4) 金精矿中硫化物和脉石矿物的单体解离

度较高, 提高精矿品位的可能性较大, 中矿次之, 尾矿中硫化物的单体解离度低。

参考文献:

[1] 蔡长金. 金矿物鉴定手册 [M]. 北京: 原子能出版社, 1993.  
 [2] 周乐光. 工艺矿物学 [M]. 3 版. 北京: 冶金工业出版社, 2009.  
 [3] 谢菱芳. 电子探针在工艺矿物学中的应用 [J]. 云南冶金, 2011, 40 (1) : 62-65.  
 [4] 曾令熙. 某金矿工艺矿物学研究及其与选矿工艺的相关性分析 [J]. 中国矿业, 2008, 17 (4) : 73-75.

## The Gold Deposit Processing Mineralogy study in Qinghai Province

Wang Yue, Wang Jing, Li Xiaoyu, Zhou Mangeng

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resource, CAGS, Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China)

**Abstract:** The paper takes the primary ore and oxide ore of some Gold Deposit in Qinghai as the research object, using detailed processing mineralogy study, through chemical analysis, heavy-sand analysis, microscope appraisal as well as MLA automated analysis. The occurrence and distribution law of the gold deposit is revealed that the raw ore is granite type gold deposit containing sulfide, gold in the ore is mainly sub-microscopic shape (<0.02 μm) hosted in arsenopyrite and pyrite, and there are no independent gold minerals in the ores. Gold contents in arsenopyrite were significantly higher than that of pyrite. The gold content of the ore is higher than that in the native oxide ore.

**Keywords:** Gold deposit; Arsenopyrite; Pyrite; Processing mineralogy

////////////////////////////////////  
 (上接 75 页)

## Application of Diagnostic Leaching in Bioleaching of Waste Rock in a Copper Ore

Wang Meijun, Xie Hongzhen, Fan Taoyan, Sun Yanhui, Ding Wentao

(State Key Laboratory for Comprehensive Utilization of Low-grade Refractory Gold Resources, Xiamen Zijin Mining Technology Co., Ltd., Xiamen, Fujian, China)

**Abstract:** In order to determine the biological leaching performance of copper, it is usually judged by leaching tests of various organisms. In this paper, the leaching method of a low-cost and rapid copper ore is tested and compared with the process mineralization, biological stirring Leaching, and biological column leaching test. The results are in good agreement with the results of process mineralogy, bio-stirring leaching, and bio-column leaching test, which can be used to determine the biological bioavailability of bio-heap leaching in copper mine. This leachable leaching method allows for rapid and low-cost determination of bioavailability.

**Keywords:** Copper leaching rate; Determine; Method comparison; Low cost; Fast