

西秦岭格尔托金矿工艺矿物学与选冶实验

王滔, 李林积, 梁硕鹏

(甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 通过详细的野外地质调查, 利用高精度矿相显微镜、图像分析仪、X 射线衍射分析仪、扫描电镜等检测方法, 对格尔托金矿工艺矿物学特征进行研究, 结果显示: 金属矿物主要为赤-褐铁矿, 非金属矿物主要为方解石和石英。金主要以自然金的形式存在, 含量 99% 以上, 粒度 3~20 μm , 属显微金。金与载体矿物之间的嵌布关系主要有裂隙金、粒间金和包裹金。根据矿石矿物特征, 选冶对比实验表明全泥氰化浸出方案是该类矿山较佳的选冶工艺。

关键词: 金赋存状态; 选冶实验; 格尔托; 西秦岭

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.04.017

中图分类号: TD982;P618.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 04-0094-06

金的赋存状态是指金在矿石中的存在形式, 其研究结果可以为金矿床的资源潜力评价、矿山开采提供数据支撑, 有效提升矿山勘查的经济效益、提高矿石的利用率; 同时有助于研究矿床成因、成矿流体迁移沉淀机制、元素地球化学性质等。

格尔托金矿位于甘肃南部, 1998 年发现至今, 仅有少数学者对其地质特征、控矿因素、矿体特征进行研究^[1-2], 严重影响矿床开发, 制约对该矿床的认识。本文通过大量的野外地质调查和详细的室内研究, 利用高精度矿相显微镜、图像分析仪、X 射线衍射分析仪、扫描电镜等方法, 查明矿石的物质组成、结构构造、金及载体矿物和脉石矿物的嵌布关系等, 并在此基础上, 进行选冶工艺对比, 确定较佳选冶方案^[3-6]。

1 矿床地质特征

研究区地处秦岭造山带的南亚带, 西倾山弧形构造的前弧附近, 北部紧邻白龙江背斜和洮河复向斜, 南部以玛曲—南坪—略阳大断裂为界与若尔盖地块北部边缘的松潘—甘孜褶皱带衔接, 是主要的金成矿带^[7-9], 目前已发现大水、贡北、格尔托、忠曲、辛曲等金矿床。

格尔托金矿位于西倾山隆起带西南缘, 玛曲—略阳断裂带和大水-忠曲断裂之间^[10]。矿区出露地层有石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和第四系。赋矿地层为中三叠统郭家山组和下侏罗统龙家沟组。矿区断裂构造发育, 其中近南北向、北东向断层为主要的控矿、容矿构造, 断层相叠加和改造形成的断层破碎带附近是矿化体比较富集区域。矿石类型主要有: 赤铁矿化硅化碳酸盐岩、交代似碧玉岩、赤铁矿化硅化花岗闪长岩、硅质岩、角砾岩、灰质砾岩等。矿石结构主要有: 自形-半自形粒状结构、它形粒状结构、细晶、隐晶质结构等, 矿石构造以浸染状、脉状、条带条纹状构造、疏松土状、角砾状构造为主。围岩蚀变主要为硅化(似碧玉岩化)、碳酸盐化、绢云母化和绿泥石化。蚀变岩多沿断裂带分布, 具有多期多阶段的特点。硅化是最重要的蚀变类型, 强度大、范围广, 与金矿化关系密切。

2 样品采集与测试

本次研究的样品主要采自格尔托金矿的 Au1-4、Au2-4、Au2-6、Au3-1 矿体, 所采样品均为赤

收稿日期: 2022-03-09

作者简介: 王滔 (1984-), 男, 硕士, 工程师, 从事固体矿产勘查工作。

铁矿化硅化灰岩，对研究矿石矿物成分具有一定的代表性。样品测试所用仪器设备有矿相显微镜、图像分析仪、X射线衍射分析仪、扫描电镜、电子探针、MLA自动矿物分析仪等。

3 分析结果

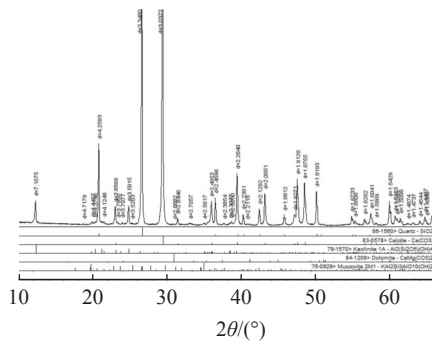
3.1 原矿化学组成

对格尔托金矿矿石进行多元素化学分析，包括主要回收元素金及共伴生的有价元素银、铜、铅等。结果表明(表1),该矿石主要成分为硅酸盐矿物和含钙矿物, Ag、Cu、Pb等其他元素含量低,未达金伴生组分的评价指标。因此,矿石可利用元素为金。

表1 原矿化学多项分析结果/%
Table 1 Multiple chemistry analysis results of raw ore

| | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------------------|-------|------|------------------|-------------------|-------|-------|------|------------------|
| Au* | Ag* | Cu* | Pb* | Zn* | As* | S | P | TFe | TiO ₂ |
| 3.65 | 1.48 | 10.1 | 8.75 | 2.59 | 156 | 0.03 | 0.038 | 1.46 | 0.13 |
| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | MnO | 总碳 | LOI | |
| 43.25 | 3.86 | 26.49 | 0.17 | 0.17 | 0.064 | 0.031 | 5.88 | 24.2 | |

*单位为g/t



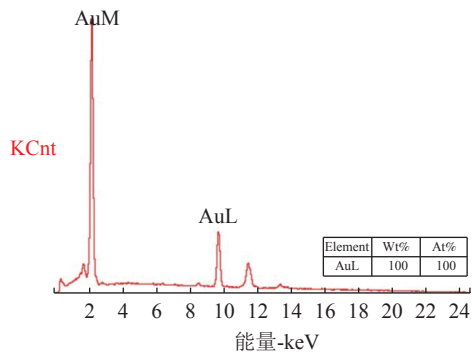
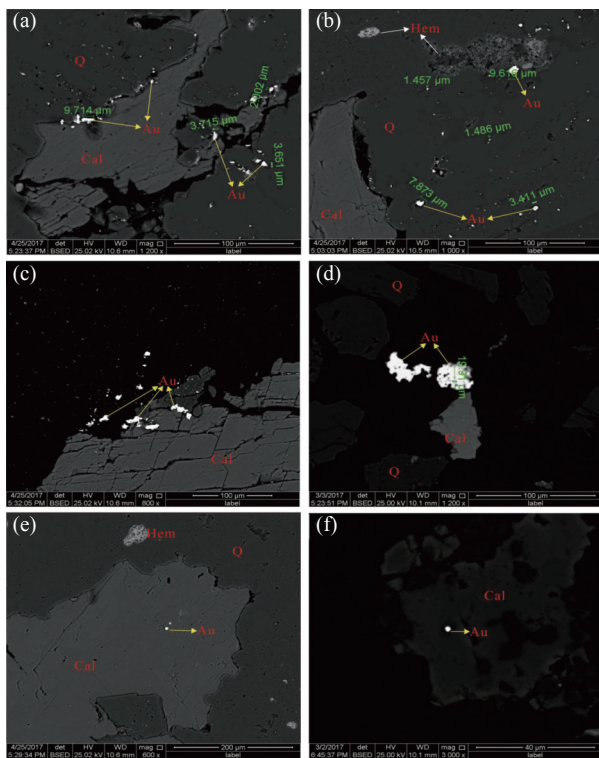


图2 金矿物能谱分析结果
Fig.2 Gold mineral energy spectrum analysis results



(a) 石英裂隙中嵌布的细粒金; (b) 微细粒自然金在石英孔洞或微裂隙中嵌布; (c) 数粒自然金呈单体状态嵌布; (d) 自然金呈较粗单体状态; (e) 方解石中见细粒包裹金; (f) 自然金被石英包裹; Cal-方解石; Q-石英; Hem-赤铁矿

图3 金颗粒的电子显微镜 BSE 照片

Fig.3 Electron microscope BSE photo of gold particles

石英微裂隙或孔洞中 (图 3b)，部分嵌布在石英与方解石接触界面处，金的最大粒径 9.61 μm，此类金占 87 颗，所占比例 61.27%，是格尔托金矿中金的主要存在形式之一。

(2) 粒间金：主要嵌布在石英、方解石与赤褐铁矿粒间 (图 3c、3d)，多呈单体状态，不规则粒状，金的最大粒径 19.91 μm，此类金占 29 颗，所占比例 20.42%。

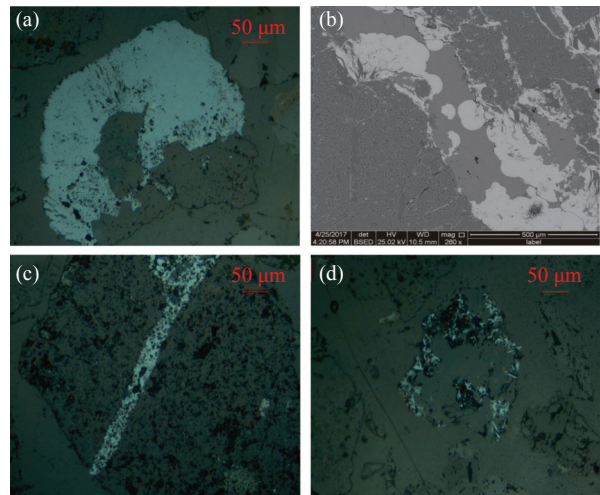
(3) 包裹金：以微细粒状态被方解石 (图 3e)、石英 (图 3f) 包裹，多呈不规则圆粒状，此类金矿物在镜下共发现 26 颗，所占比例 18.31%。且石英中的包裹金数量多于方解石。

综上，格尔托金矿金的产出以裂隙金为主、粒间金次之、包裹金最少。

5 矿石矿物特征

5.1 铁矿物

赤铁矿、褐铁矿是矿石中最主要的金属矿物，常伴生嵌布在一起，是最主要载铁矿物。赤褐铁矿主要呈隐晶质-胶状集合体形式产出，粒径在 0.01~0.1 mm。颗粒按含铁量高低，可分为两类，一类为光学显微镜下反射率较高的颗粒，另一类则为光学显微镜下反射率低，看不出铁的分布，但在电子显微镜下，可看到颗粒内明显的铁元素分布。赤褐铁矿嵌布形式大致有胶状、鲕环状、针状、条带状、草莓状、弥漫状嵌布在脉石矿物中 (图 4)，少量赤褐铁矿边缘有自然金嵌布。



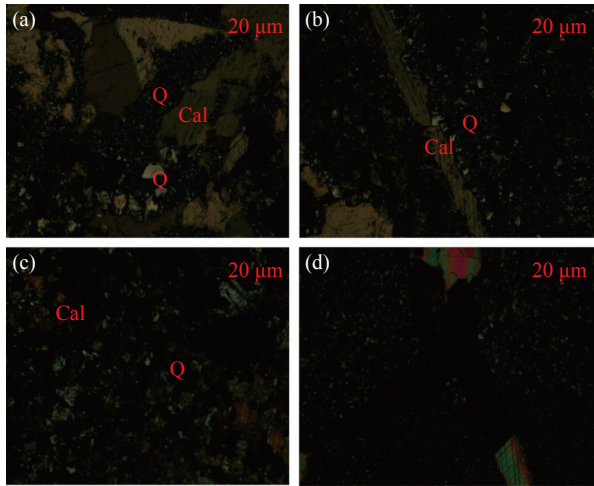
(a) 赤铁矿呈扇状嵌布在脉石中; (b) 赤褐铁矿呈胶状嵌布在方解石脉中; (c) 赤铁矿呈细条带状嵌布; (d) 铁矿物呈针簇状嵌布

图4 铁矿物的显微镜下照片

Fig.4 Microscope photo of iron minerals

5.2 方解石与石英

方解石是矿石中含量最高的脉石矿物，其在矿石中嵌布形式主要有三种：①与细晶石英不均匀混杂嵌布，粒径在 0.02~2 mm (图 5a)；②局部可见方解石呈粗粒集合体形式，粒径较粗，可达几厘米到几十厘米，颗粒表面干净，多为围岩



(a) 不同期次的方解石在脉石中嵌布粒径不同; (b) 方解石细脉穿插矿石; (c) 石英与方解石混杂嵌布; (d) 被方解石脉状(彩色、黑色)穿插的细晶石英集合体

图5 方解石与石英的显微镜下照片
Fig.5 Microscope photo of calcite and quartz

混入; ③方解石呈粗细不等的脉状或断续脉状穿插硅质与碳酸盐镶嵌的脉石(图5b)。

石英是矿石中主要非金属矿物之一。嵌布形式有隐晶-微晶质、玉髓状、不规则晶粒状三种, 主要呈它形微细粒状-隐晶状结构产出, 粒度

0.01~0.03 mm。隐晶-微晶质石英是早期产物, 交代灰岩中方解石; 玉髓状石英呈混浊状, 常与赤铁矿相伴生, 石英和铁矿物是形成赤铁-碧玉岩化的主要物质。在矿石中, 石英与后期形成的粗大的方解石较易分清边界(图5c、5d), 与同期形成的细粒方解石混杂时边界较为模糊, 但在电子显微镜下, 石英和方解石等脉石矿物边界清晰。经电子探针分析, 石英中的金在检测限以下, 理论上不含金。

6 选冶工艺对比

根据原矿化学多项分析、矿物组成特征、金的赋存状态等分析结果, 表明矿石中可回收利用的金以自然金为主, 粒度微细, 且含有少量碳质。以微细粒嵌布的自然金选冶难度大, 回收率低, 为获得较佳的选冶工艺, 提高金的浸出率, 查阅相关文献^[12-16], 采用全泥氰化浸出、焙烧除碳—氰化浸出、浮选除碳—碳质焙烧—氰化浸出三种工艺流程进行对比实验, 结果见表3。

表3的实验结果表明, 采用全泥氰化浸出实验, 金的浸出率为88.22%; 焙烧除碳-氰化浸出实

表3 选冶方式对比结果

Table 3 Comparison results of beneficiation methods

| 选冶方式 | 产品名称 | 产率/% | 品位/(g·t ⁻¹) | 浸出率/% | 备注 |
|-------------------|--------|-------|-------------------------|-------|---------|
| 全泥氰化浸出 | 含金贵液 | - | - | 88.22 | |
| | 浸渣 | | 0.43 | 11.78 | |
| | 原矿 | | 3.65 | 100 | |
| | 含金贵液 | | | 84.56 | |
| 中性油浮选除碳-氰化浸出 | 碳质 | 0.77 | 17.6 | 3.72 | 柴油 |
| | 浸渣 | 99.23 | 0.431 | 11.72 | |
| | 含金贵液 | | | 79.04 | |
| | 碳质 | 1.45 | 22.7 | 9 | 煤油 |
| 焙烧除碳-氰化浸出 | 浸渣 | 98.55 | 0.443 | 11.96 | |
| | 含金贵液 | | | 83.2 | |
| | 烧损 | 5.5 | / | / | 原矿细磨-焙烧 |
| | 浸渣 | 94.5 | 0.652 | 16.8 | |
| | 含金贵液 | | | 88.03 | |
| | 烧损 | 1.59 | / | / | 原矿焙烧-细磨 |
| 中性油浮选除碳-碳质焙烧-氰化浸出 | 浸渣 | 98.41 | 0.444 | 11.97 | |
| | 含金贵液 | | | 67.5 | |
| | 碳质含金贵液 | | | 19.72 | |
| | 烧损 | 0.18 | / | / | 煤油 |
| | 碳质浸渣 | 8.58 | 0.82 | 1.93 | |
| | 浸渣 | 91.24 | 0.434 | 10.85 | |

验金浸出率 88.03%，两种方法的浸出指标相近，但后者浸出过程中需用中性油进行预处理，不利于金的浸出；浮选除碳—碳质焙烧—氰化浸出实验，该工艺相较于前两种，不仅程序复杂，而且金的浸出率也低于前两种，仅为 87.20%。综上，全泥氰化浸出工艺是该矿石的较佳选冶工艺，与前人的研究结果一致^[4]。

7 结 论

(1) 格尔托金矿主要的金属矿物为赤褐铁矿，非金属矿物为方解石、石英，硫化物含量极低。金的赋存形式主要有裂隙金、粒间金和包裹金。

(2) 格尔托金矿的金是以自然金为主，自然金中 Au 含量在 99% 以上，粒径 3~20 μm，以细微粒金为主，颗粒形态多为不规则圆粒状、拉长粒状、板片状、凹凸状等。

(3) 选冶对比实验结果表明：该类以微细粒嵌布的自然金，在其他干扰浸出的元素含量极少的前提下，全泥氰化浸出方案是该类矿石较佳的选冶工艺。

参考文献：

- [1] 梁硕鹏, 陈耀宇, 李林积, 等. 甘肃玛曲格尔托金矿床矿区地质及主矿体特征[J]. 甘肃地质, 2021, 30(1):49-56.
LIANG S P, CHEN Y Y, LI L J, et al. Mining area geology and main orebody characteristics of the Geertuo gold deposit in Maqu County, Gansu Province[J]. Gansu Geology, 2021, 30(1):49-56.
- [2] 李林积, 王丹, 邱鹏玉. 西秦岭格尔托金矿金的赋存状态及可选性试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(4):83-86.
LI L J, WANG D, QIU P Y. Experimental study on occurrence and optionality of gold in Gelto gold deposit, Western Qinling[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(4):83-86.
- [3] 王越, 王婧, 李潇雨, 等. 川西某金矿工艺矿物学研究及对选矿工艺的影响[J]. 矿产综合利用, 2021(4):206-210.
WANG Y, WANG J, LI X Y, et al. Process mineralogy study of the gold deposit in Western Sichuan area and its influence on mineral processing technology[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(4):206-210.
- [4] 王梅君, 谢洪珍. Solomon 某金矿浸出工艺探索研究[J]. 矿产综合利用, 2020(2):71-74.
WANG M J, XIE H Z. Study on leaching technology of a gold ore in Solomon[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(2):71-74.
- [5] 魏旭, 李磊, 张青, 等. 安徽省蚌埠五河蓝天铜金矿床物质组分及赋存状态[J]. 矿产综合利用, 2021(4):188-192.
WEI X, LI L, ZHANG Q, et al. Study on material composition and occurrence status of the copper-gold deposit in Lantian, Wuhe, Bengbu City, Anhui Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(4):188-192.
- [6] 刘坤, 王婷霞, 李健民, 等. 天水某金矿工艺矿物学及选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(5):101-104.
LIU K, WANG T X, LI J M, et al. Process mineralogy and mineral processing of a gold mine in Tianshui[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(5):101-104.
- [7] 李向东, 王晓伟. 大水金矿成矿地质特征及控矿因素分析[J]. 甘肃科技, 2006, 22(8): 64-67.
LI X D, WANG X W. Ore-forming geological characteristics and ore-controlling factors analysis of Dashui gold ore deposit. Gansu Science and Technology, 2006, 22(8): 64-67.
- [8] 闫升好, 王安建, 高兰, 等. 大水式金矿床稳定同位素、稀土元素地球化学研究. 矿床地质, 2000, 19(1): 37-45.
YAN S H, WANG A J, GAO L, et al. Ree geochemistry and implications of stable isotopes in Dashui type gold deposits. Mineral deposits, 2000, 19(1): 37-45.
- [9] 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 2004, 11(3): 23-32.
ZHANG G W, GUO A L, YAO A P. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in China continental tectonics. Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing), 2004, 11(3): 23-32.
- [10] 卢纪英, 李作华, 张复新. 秦岭板块金矿床[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000: 306-313.
LU J Y, LI Z H, ZHANG F X. Gold deposit in Qinling plate[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2000: 306-313.
- [11] 姚敬劬. 关于胶体分散金[J]. 地质与勘探, 1982(8):30-33.
YAO J Q. About colloidal dispersion gold[J]. Geology and Prospecting, 1982(8):30-33.
- [12] 明平田, 李飞. 某微细粒蚀变岩型金矿高效浮选新工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2019(5):127-133.
MING P T, LI F. Study on a new high-efficiency flotation process for a microgranular altered rock gold mine[J].

[Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2019(5):127-133.

[13] 张虹, 张雨田, 孙景敏, 等. 缅甸某金矿的重-浸选矿试验研究[J]. [矿产综合利用](#), 2020(4):106-110.

ZHANG H, ZHANG Y T, SUN J M, et al. Experimental study on a gold ore with gravity separation-cyanidation for gravity tailings process[J]. [Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2020(4):106-110.

[14] 肖坤明. 云南某低硫化物金矿可选性试验研究[J]. [矿产综合利用](#), 2019(2):57-59.

XIAO K M. Experimental study on beneficiation of a low sulfide gold ore in Yunnan[J]. [Multipurpose Utilization of](#)

[Mineral Resources](#), 2019(2):57-59.

[15] 邓元良, 明平田, 王广伟, 等. 某金精矿焙烧氧化-氰化尾矿工艺矿物学研究[J]. [矿产综合利用](#), 2020(4):121-125.

DENG Y L, MING P T, WANG G W, et al. Research on process mineralogy of roasting oxidation - cyanide tailings of a gold concentrate[J]. [Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2020(4):121-125.

[16] 王明双. 高银合质金快速提取金的工艺研究[J]. [矿产综合利用](#), 2021(4):150-153.

WANG M S. Process study on the rapid extraction of gold from gold alloy with high silver content[J]. [Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2021(4):150-153.

Process Mineralogy and Beneficiation-Metallurgy Test of Geertuo Gold Deposit, West Qinling

Wang Tao, Li Linji, Liang Shuopeng

(Geological and Mineral Exploration Team No.3, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou, Gansu, China)

Abstract: Through detailed field geological survey, using high-precision mineral phase microscope, image analyzer, X-ray diffraction analyzer, scanning electron microscope and other testing methods, the research on the mineralogical characteristics of the Geertuo gold deposit, the results show that the metallic minerals are mainly hematite and limonite, and the non-metallic minerals are mainly calcite and quartz. Gold mainly exists in the form of natural gold, the content is more than 99%, and the particle size is between 3 μm and 20 μm , which belongs to microscopic gold. The intercalation relationship between gold and carrier minerals mainly includes fractured gold, intergranular gold and encapsulated gold. According to the characteristics of ore and minerals, the comparison test of beneficiation and smelting shows that the all-slime cyanide leaching scheme is a better beneficiation and smelting process for this type of mine.

Keywords: Occurrence state of gold; Beneficiation test; Geertuo; West Qinling