



天水某金矿工艺矿物学及选矿试验研究

刘坤，王婷霞，李健民，柏亚林，郭海宁

(西北矿冶研究院，甘肃 白银 730900)

摘要：天水某金矿属石英脉型金矿，金品位为 3.76 g/t，其储量较小，且有一定的蚀变现象。主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等，主要脉石矿物为石英、长石、高岭土、绢云母等，矿物组成较复杂。金主要为自然金，并伴生有少量银金矿、自然银。金矿物主要以包裹金的形式赋存在黄铁矿中，其次为裂隙金及粒间金。从嵌布粒径来看，金主要以微细金为主，约 70.2% 的金矿物粒径集中在 0.037~0.01 mm 之间。本浮选试验研究在工艺矿物学研究的基础上采用“两粗两精一扫”流程，应用新型捕收剂 D211，取得了精矿金品位 56.18 g/t、金回收率 92.94% 的良好指标。

关键词：石英脉型金矿；工艺矿物学；浮选；D211

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.05.014

中图分类号:TD912 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2020)05-0101-04

金除了作为各国的储备货币及珠宝装饰以外，又展现了其在工业领域的广阔应用前景^[1-3]。天水某金矿属于北秦岭成矿带，矿床金品位相对较高，但储量相对较小。本文利用化学多元素分析、电子探针、物相分析、光学显微镜等手段，对其进行了工艺矿物学研究^[4-6]，并在此基础上进行了一

系列浮选试验，制定了合理可行的工艺流程及药剂制度，为下一步的选厂建设提供了依据。

1 矿石化学成分及矿物组成分析

1.1 化学成分分析

矿样化学多元素分析及金物相分析，分析结果分别见表 1、2。

表 1 原矿化学多元素分析结果 /%

Table 1 Chemical results of multi-element analysis of the raw ore

Au *	Cu	Pb	Zn	Fe	S	As	Ag *	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Mn	Sb
3.76	0.11	0.16	0.08	5.09	3.23	<0.05	2.08	62.80	6.71	2.71	11.55	0.14	<0.01

* 单位为 g/t。

表 2 金物相分析结果

Table 2 Gold phase analysis

相别	单体 裸露金	连生 体	硫化 物中 包裹金	石英 中包 裹金	碳酸 盐中 包裹金	褐铁 矿中 包裹金	总金
品位 (g·t ⁻¹)	1.16	0.96	1.2	0.42	0.01	0.01	3.76
占有率 /%	31.87	16.95	41.56	8.94	0.39	0.29	100.00

从表 1 可以看出，该矿石有用元素为金，伴生有少量银，其余元素均没有回收价值，主要脉石矿物为石英及硅酸盐类矿物。

从表 2 可以看出，裸露金、连生体金、硫化物包裹金等占比较高，该部分经过磨矿后易生成可浮性较好的金矿物或载金矿物表面，因此利用浮选工艺较易回收；石英及褐铁矿包裹金占比较

收稿日期: 2019-08-12

作者简介: 刘坤 (1988-)，男，工程师，硕士，现主要从事选矿试验、咨询、设计工作。

小，该部分疏水性较差导致回收难度较大。

1.2 矿物组成分析

通过对该矿石矿物组成分析发现，其矿物组成较为复杂，主要金属矿物为黄铁矿，伴有少量黄铜矿，微量方铅矿、闪锌矿；主要脉石矿物是石英、长石；贵金属矿物有自然金、银金矿、自然银；可供回收的元素为金、银；铜、铅、锌等金属矿物含量较低，没有工业利用价值。主要矿物组成分析结果见表 3。

2 金赋存状态分析

表 3 矿石主要矿物组成含量

Table 3 Mineral composition and content in the ore			
矿物名称	含量 /%	矿物名称	含量 /%
黄铁矿、磁黄铁矿	5.5	自然金、银矿物	微
黄铜矿、黝铜矿	0.3	毒砂	微
闪锌矿	0.1	赤、褐铁矿、磁铁矿	0.5
方铅矿、白铅矿	0.1	石英、绢云母等脉石	93.5
自然铋、硫铋铅矿、辉铋矿	微	合计	100.00

金矿物主要产出于破碎蚀变强烈的石英 - 黄铁矿脉中，硅化、黄铁矿化强的金矿物较为富集，自然金形成与岩浆热液充填、交代有关。

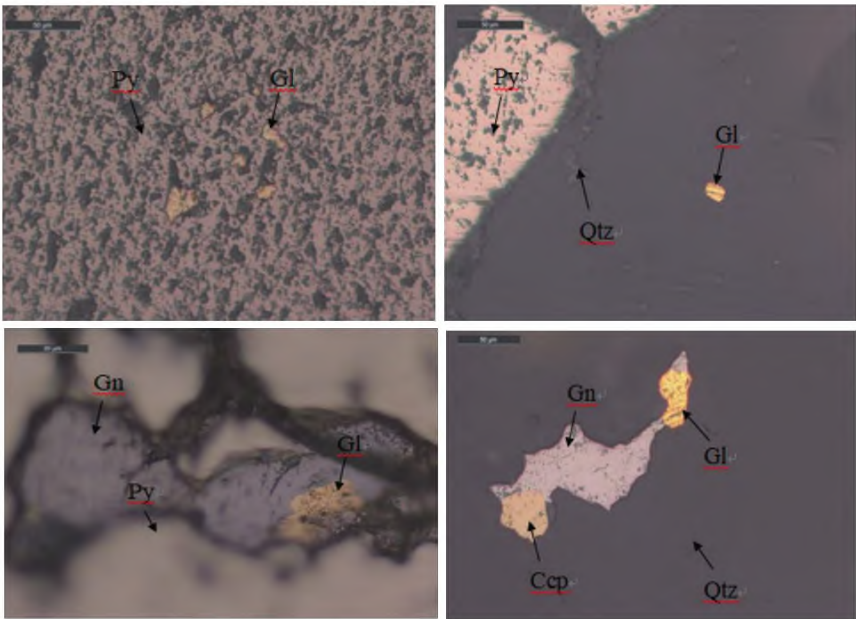
自然金多呈滚圆粒状被黄铁矿或者石英包裹，部分呈细脉状、板片状、枝杈状等充填在黄铁矿与其他矿物粒间或者裂隙中，偶见假六方状自形晶的自然金粒，自然金粒径普遍小于 0.05 mm，偶见粗粒金。

2.1 金的嵌布状态

金矿物主要为自然金，少量银金矿（电子探针定量分析结果：Au 73.11%，Ag 26.25%，总量 99.36%）、自然银，金嵌布状态见表 4，金与主要矿物嵌布关系见图 1。

表 4 自然金的嵌布特征统计

Table 4 Embedded characteristic statistics of natural gold		
赋存状态	嵌布关系	相对含量
包裹金	黄铁矿中包裹	27.2
	石英中包裹	21.1
	其他矿物包裹	3.7
	黄铁矿裂隙中	11.7
粒间金 / 裂隙金	石英裂隙中	4.2
	黄铁矿裂隙中与石英连生	7.6
	黄铁矿裂隙中与黄铜矿连生	15
	其他	9.5



(a) 黄铁矿中包裹自然金 (b) 石英中包裹金 (c) 方铅矿与自然金一起充填在黄铁矿裂隙中 (d) 石英中包裹自然金与方铅矿连生

图 1 自然金与主要矿物嵌布关系

Fig 1 Embedded relationship of natural gold and other minerals

2.2 金矿物粒度分析

金矿物粒度分析结果见表 5，从表中可以看出，金嵌布粒径属于微细金，70.2% 的金矿物粒径集中在 0.037~0.01 mm 之间，大于 0.074 mm 的粗粒金 4.7%，小于 0.01 mm 的微粒金占 16.4%，发现的 170 粒金矿物中最大金粒为 0.16 mm × 0.06 mm。

表 5 自然金矿物粒度统计

Table 5 Particle size statistics of natural gold					
粒级	巨粒	粗粒	中粒	细粒	微粒
粒级范围 /mm	>0.3	0.3 ~ 0.074	0.074 ~ 0.037	0.037 ~ 0.01	0.01 ~ 0.0005
分布率 /%	/	4.7	8.7	70.2	16.4

2.3 金矿物形态特征统计

自然金矿物的形态特征以麦粒状、板片状、星点状为主；包裹金以滚圆粒状、麦粒状及星点状为主；裂隙金形态复杂，有细脉状、断续细脉状、枝杈状等；粒间金板片状、不规则粒状居多，形态统计结果见表 6。

表 6 自然金矿物形态统计

Table 6 Morphology statistics of natural gold							
矿物颗粒形态	滚圆状	板片状	麦粒状	细脉状	枝杈状	星点状	不规则状
含量 /%	8.7	29.7	36.7	4.7	1.5	16.4	2.3

3 矿石构造及结构分析

3.1 矿石结构

该矿石的结构主要有自形 - 半自形晶粒状结

构、他形晶粒状结构、填隙结构、交代残余结构，其次有包含结构、不等粒压碎结构、压碎变晶结构等。

(1) 由于黄铁矿在不同成矿阶段形成，导致黄铁矿的自形程度有较大的差异，分别表现为自形、半自形和他形粒状结构。

(2) 矿石中的其他金属硫化物如黄铜矿、方铅矿等多呈半自形、他形结构。

(3) 晚期形成的方铅矿、黄铜矿和闪锌矿等金属硫化物及部分脉石充填在早期形成的裂隙中。

(4) 方铅矿、黄铜矿交代早期形成的黄铁矿，致使黄铁矿残余体嵌布于这些金属硫化物中，交代和被交代矿物的接触界面形成锯齿状和港湾状界面，形成溶蚀结构。

3.2 矿石构造

该矿石构造主要有稀疏 - 稠密浸染状构造、团块状构造、脉状 - 网脉状构造为主，其次有条带状构造、斑杂状构造、斑点构造、角砾状构造等。

(1) 部分黄铁矿呈星点状散布于脉石之中形成浸染状构造。

(2) 部分黄铁矿、黄铜矿和方铅矿，呈团块状集合体富集。

(3) 早期形成的一些较大的裂隙，被石英、黄铁矿等充填，从而使这部分石英和黄铁矿呈脉状嵌布。

4 浮选试验研究

试样的工艺矿物学研究发现，金矿物嵌布粒度微细，裸露金、连生体金、硫化物包裹金等易回收金矿物占比较高，砷、碳等有害元素含量很低，且金矿物或金矿物载体的疏水性强，具有较好可浮性，因此该矿石适宜采用浮选工艺进行金矿物的选别。首先对该矿石进行了一些列条件试验，确定了各种药剂较佳用量及工艺流程即原矿磨至 80% -0.074 mm 目后采用自主研发的新型捕收

剂 D211 进行两次粗选，产出金粗精矿，金粗精矿经两次精选产出金精矿，粗选尾矿经一次扫选产出最终尾矿。闭路试验采用的工艺流程及条件见图 2，试验结果见表 7。

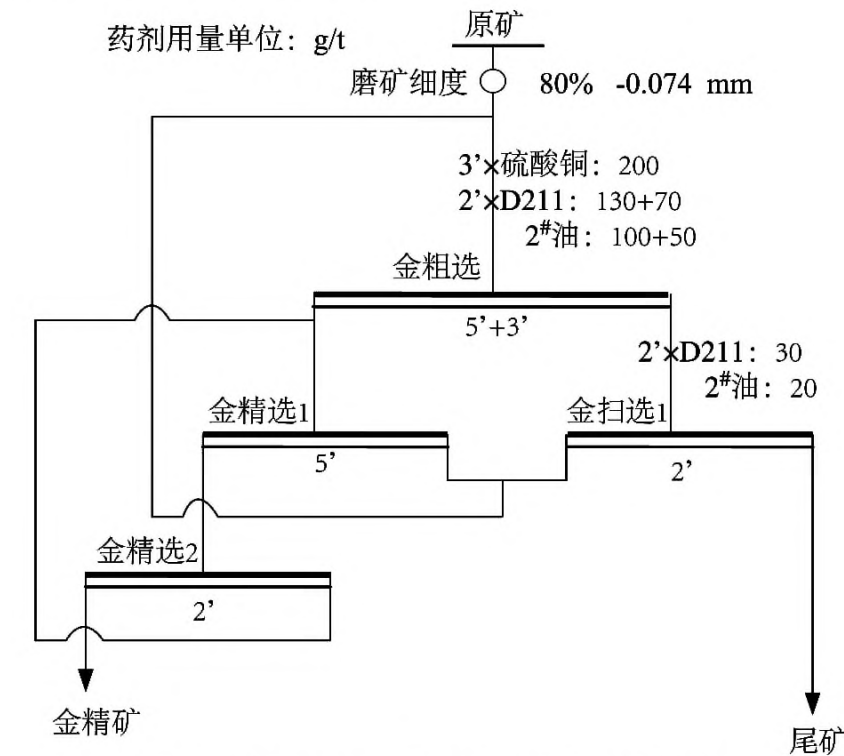


图 2 闭路试验工艺流程及药剂制度
Fig. 2 Flowsheet of the closed-circuit test

表 7 闭路试验结果

Table 7 Result of closed-circuit test			
产品名称	产率 /%	金品位 /(g·t ⁻¹)	金回收率 /%
金精矿	6.22	56.18	92.94
尾矿	93.78	0.28	7.06
原矿	100.00	3.76	100.00

5 结 论

(1) 天水某金矿属石英脉型金矿，矿石金品位为 3.76 g/t，并伴生一定的银，其余元素均没有回收价值，主要金属矿物为黄铁矿，伴有少量黄铜矿，微量方铅矿、闪锌矿；主要脉石矿物是石英、长石。

(2) 该矿石矿物组成较为复杂，但有害矿物含量较低，金矿物嵌布粒度微细，70.2% 的金矿物粒径集中在 0.037 ~ 0.01 mm 之间，且裸露金、连生体金、硫化物包裹金等易回收金占比较高，宜采用浮选方式回收金矿物。

(3) 采用新型捕收剂 D211，在一系列条件试验的基础上进行金浮选闭路试验，按照“两粗两精一扫”工艺可取得金品位 56.18 g/t，回收率

92.94% 的良好指标。

参考文献:

[1] 武俊杰, 孙阳, 李青翠, 等. 新疆托里金矿工艺矿物学研究 [J]. 有色金属: 选矿部分, 2015 (6):1-4.

Wu J J, Sun Y, Li Q C, et al. Study on process mineralogy of Toli Gold Deposit, Xinjiang [J]. Nonferrous Metals mineral processing, 2015 (6):1-4.

[2] 董再蒸, 高鹏, 张淑敏, 等. 甘肃早子沟金矿石工艺矿物学研究 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2017, 38 (5): 711-715.

Dong Z Z, Gao P, Zhang S M, et al. Study on the process mineralogy of zaozigou gold ore in gansu [J]. Journal of Northeastern University :natural science edition, 2017, 38 (5): 711-715.

[3] 陈慧杰, 周莉, 蒋升国, 等. 微细粒难选金矿石选矿工艺研究 [J]. 金属矿山, 2018 (7):131-134.

Chen H J, Zhou L, Jiang S G, et al. Study on the processing

technology of a fine refractory gold ore [J]. Metal Mine, 2018 (7):131-134.

[4] 陈智杰, 喻福涛, 高惠民, 等. 陕西某石墨矿工艺矿物学与选矿研究 [J]. 矿产综合利用, 2019 (1):7-11.

Chen Z J, Yu F T, Gao H M, et al. Mineralogy and mineral processing of a graphite ore in Shaanxi province [J]. Comprehensive Utilization of Minerals, 2019 (1):7-11.

[5] 周邦国, 张志. 西藏某大型矽卡岩型铜金矿选矿试验研究 [J]. 有色金属: 选矿部分, 2018 (4): 24-28.

Zhou B G, Zhang Z. Experimental study on a large skarn type copper and gold ore dressing in Xizang province [J]. Nonferrous Metals (ore dressing part), 2018 (4): 24-28.

[6] 王广伟, 杨德明, 任琪, 等. 青海某金矿浮选尾矿工艺矿物学研究 [J]. 矿冶, 2018, 27(2):101-104.

Wang G W, Yang D M, Ren Q, et al. Mineralogical study of flotation tailings process in a gold mine in Qinghai [J]. Mining & Metallurgy, 2016, 27(2):101-104.

Process Mineralogy and Mineral Processing of a Gold Mine in Tianshui

Liu Kun, Wang Tingxia, Li Jianmin, Bai Yalin, Guo Haining

(Northwest Research Institute of Mining & Metallurgy, Baiyin, Gansu, China)

Abstract: A gold deposit in Tianshui belongs to the quartz vein type gold deposit. The gold grade is 3.76g/t, its reserves are small, and there is a certain alteration phenomenon. The main metal minerals are pyrite, chalcopyrite, galena, etc. The main gangue minerals are quartz, feldspar, kaolin, sericite, etc. The mineral composition is more complicated. The gold is mainly natural gold with a small amount of electrum, natural silver. Gold minerals are mainly present in pyrite in the form of inclusive gold., followed by fissure gold and intergranular gold. From the perspective of the particle size of the inlay, gold is mainly composed of fine gold, and about 70.2% of gold minerals is concentrated between 0.037 mm and 0.01 mm. On the basis of the research of process mineralogy, the flotation test was carried out. The experiment adopted the “two roughing two cleaning one scavenging” process, combined with the new collector D211, the gold grade of concentrate is 56.18g/t, and the gold recovery rate is 92.94 %.

Keywords: Quartz vein type gold deposit; Process mineralogy; Flotation; D211