

文章编号:1673-9981(2017)03-0197-05

新疆某金矿工艺矿物学研究*

张莉莉,梁冬云,李波,洪秋阳,李美荣,蒋英

广东省资源综合利用研究所,稀有金属分离与综合利用国家重点实验室,
广东省矿产资源开发和综合利用重点实验室,广东 广州 510650

摘要:采用化学分析、显微镜分析和 MLA 矿物自动定量检测技术,对新疆某金矿石进行工艺矿物学研究.结果表明,该矿石的主要有价元素为金、硫,可综合回收银.金主要以含银自然金和自然金形式存在,嵌布粒度极微细,均小于 0.04 mm.银主要以合金形式赋存于金粒中.黄铁矿的嵌布粒度较粗,多数大于 0.04 mm.可解离的自然金、包含于黄铁矿(含黄铜矿)中的金及包含于脉石矿物中的金分别约占 59%,39%,2%,金的理论回收率约 98%.

关键词:金矿;工艺矿物学;黄铁矿;MLA

中图分类号:TD912

文献标识码:A

我国金矿资源丰富,但大多品位低且成分复杂,难处理金矿成为黄金生产的主要矿石资源^[1-3]. MLA 系统^[4]是以扫描电子显微镜和能谱仪为硬件,并结合矿物自动定量检测技术软件,可快速自动获取矿物种类和含量、矿物粒度分布和解离度等工艺矿物学参数,是现代工艺矿物学测试手段的代表^[5-6],其检测结果是确定矿石选冶方案的重要依据^[7-10].本文对新疆某金矿石的化学成分、矿物组成,金及其他有价矿物的工艺矿物学性质进行了详细研究,目的是为该金矿的选冶提供方向性指导.

1 实验部分

1.1 样品制备

从矿样中拣取具代表性的块矿样制成矿石光片,其余样品经破碎、混匀、筛分(筛孔尺寸为 2 mm 筛子)后,再混匀缩分制得试验样品. MLA 系统测试用样品需分级后制成树脂光片;原矿多元素化学

分析样品需缩分研磨至 0.074 mm 以下.对单矿物的制取,是将 0.045 mm 以下矿样进行分离富集、提纯.

1.2 测试方法

原矿的多元素分析是采用化学分析法,其中原矿样品中的 Au 和分离富集的各类单矿物中的 Au 含量均采用火试金法测得.

用 MLA 650 系统测试矿石中的矿物含量. MLA 650 系统是由 FEI Quanta 650 扫描电镜、Bruker Quantax 200 双探头电制冷能谱仪和 MLA 软件 3.1 版本组成,工作条件为加速电压 20 kv、工作距离 10 mm、高真空模式,时间常数 6.4 (amp time),用扫描电镜观察主要有用矿物的嵌布形式,用能谱仪半定量测定主要有用矿物的化学含量.

用 Leica M125 立体显微镜观察淘洗富集的自然金粒的形态.用 Leica DMRXP 偏光显微镜测定矿石中金的嵌布粒度,并观察主要有用矿物的嵌布形式.

收稿日期:2017-02-08

* 基金项目:广东省科学院科研平台环境与能力建设专项资金项目(2016GDASPT-0307)

作者简介:张莉莉(1983-),女,湖北荆门人,高级工程师,硕士.

2 试验结果与讨论

2.1 原矿物质组成

该金矿石多元素化学分析结果列于表 1。由表 1 可见,该矿石有价元素主要为金、硫,可综合回收银,其他有价金属铜、铅、锌等含量极低,无综合回收价

值。未检出有害元素砷,这有利于金、银的氰化回收。MLA 系统对矿物查定和定量测定结果列于表 2。由表 2 可见,该矿石中金主要以含银自然金和自然金形式存在,银主要以合金形式赋存于金粒之中。金属硫化矿物主要为黄铁矿,及微量的黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、针硫铋铅矿和针镍矿。氧化铜矿物数量极少,仅有极少量的孔雀石。

表 1 原矿多元素化学分析结果

Table 1 Multi-element chemical analysis results of raw ore

元素	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Fe	Cu	Zn	Pb	As	S
含量 w/%	5.30	3.12	5.51	0.035	0.017	0.008	<0.005	4.90
元素	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	C	
含量 w/%	63.78	11.51	4.41	2.69	1.59	1.05	0.62	

注:1)单位为 g/t。

表 2 原矿矿物定量检测结果

Table 2 Quantitative test results of the raw ore

矿物	含量 w/%	矿物	含量 w/%	矿物	含量 w/%
金	微量	中长石	0.328	尖晶石	0.002
黄铁矿	9.196	绿帘石	0.098	刚玉	0.003
黄铜矿	0.046	楣石	0.049	孔雀石	0.007
针硫铋铅矿	0.007	锆石	0.035	独居石	0.046
方铅矿	0.006	高岭土	0.026	磷钇矿	0.006
辉钼矿	0.002	橄榄石	0.005	直氟碳钙铈矿	0.006
针镍矿	0.002	方解石	1.478	钍石	0.003
闪锌矿	0.001	白云石	0.833	磷灰石	0.135
石英	27.088	铁白云石	0.693	重晶石	0.020
钾长石	29.858	菱镁矿	0.003	黄钾铁矾	0.010
钠长石	15.721	菱铁矿	0.003	其他	0.273
绢云母	10.662	褐铁矿	0.591	合计	100.000
绿泥石	2.017	金红石	0.319		
钙铁榴石	0.363	三水铝石	0.059		

2.2 主要有用矿物的选矿工艺特性和嵌布状态

2.2.1 金的矿物学特性

图 1 为重砂淘洗富集的自然金粒在立体显微镜下的照片。图 1 显示,金粒多呈扁平的树枝状集合体、薄片状和粒状。矿石中金嵌布粒度的测定结果列于表 3。由表 3 可知,金的嵌布粒度极微细,均小于

0.04 mm,其中小于 0.005 mm 粒级达到 35.52%,说明细磨有利于提高金的回收率。金粒化学成分的能谱分析结果列于表 4。由表 4 可知,该矿石中金粒的成分较简单,除了含银之外不含其他杂质,含金量分数为 76%~100%,属于含银自然金和自然金。

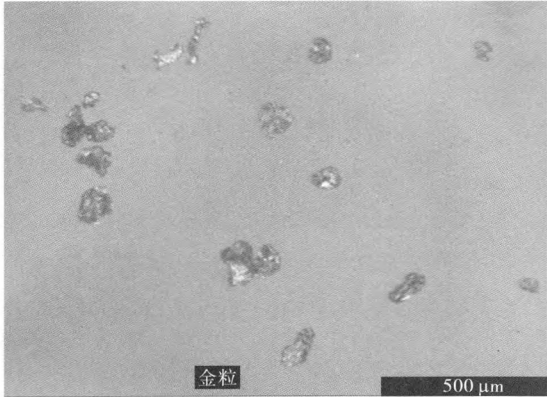


图 1 金粒照片
Fig.1 Photo of gold particles

表 3 金粒嵌布粒度(切片粒度)测定结果
Table 3 Grain (grained slice) size distribution of gold

粒度/mm	粒度分布/%
—0.04+0.02	14.98
—0.02+0.01	26.36
—0.01+0.005	23.14
—0.005	35.52
合计	100.00

通过偏光显微镜和扫描电镜分析,发现该矿中的金粒主要有三种嵌布形式。(1)裂缝金:大多数金粒充填于黄铁矿微裂缝中,这些金粒大小和形状受裂缝控制,多呈薄片状,有时可见切面上的几颗金粒是从同一根部延伸的,呈薄片状或树枝状,如图2(a)所示;(2)晶间金:有些金粒以微细粒状沿黄铁

表 4 金粒化学成分能谱测定结果
Table 4 Chemical compositions of gold by EDS

测点	化学成分含量 w/%	
	Ag	Au
1	23.55	76.45
2	23.11	76.89
3	20.53	79.47
4	17.69	82.31
5	15.47	84.53
6	13.03	86.97
7	12.58	87.42
8	12.42	87.58
9	12.01	87.99
10	11.37	88.63
11	9.71	90.29
12	9.67	90.33
13	8.80	91.20
14	7.06	92.94
15	5.07	94.93
16	0.00	100.00
平均	12.63	87.37

矿与石英、白云母、黄铜矿等矿物颗粒之间缝隙中充填,呈微细粒浸染分布,如图 2(b)所示;(3)包裹金:极少量金粒呈微细粒状包裹体包含于黄铁矿中,或见金粒包裹于充填黄铁矿裂缝中的白云石细脉中,如图 2(c)所示.

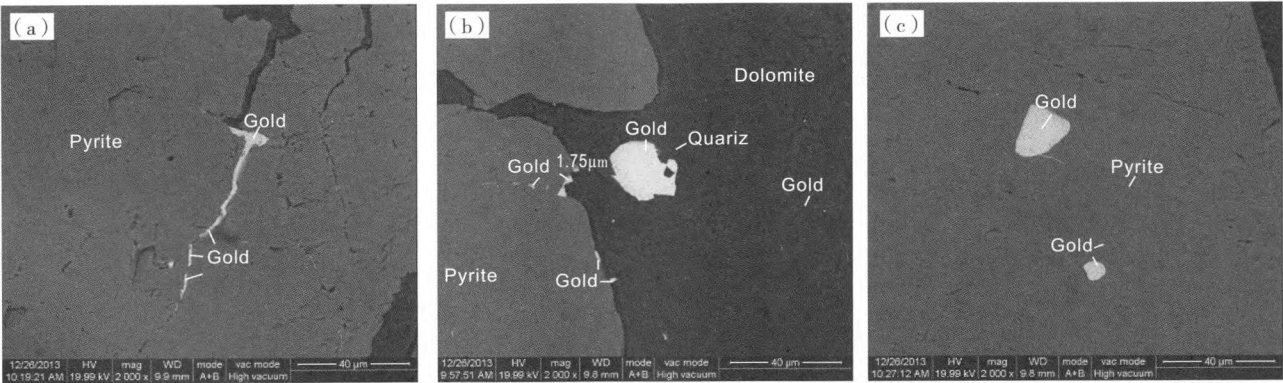


图 2 金粒嵌布照片
(a)裂缝金; (b) 晶间金; (c) 包裹金
Fig.2 Photo of dissemination state of gold
(a)crack gold; (b) intercrystalline gold; (c) enclave gold

2.2.2 黄铁矿的矿物学特性

化学成分能谱分析表明,该矿石中的黄铁矿除主元素铁、硫之外,还含有极少量的硅、铝杂质,平均质量分数为 46.39% Fe, 53.38% S, 0.04% Al, 0.19% Si. 通过偏光显微镜和扫描电镜分析发现,该黄铁矿主要有三种嵌布形式. (1)大多呈不规则粒状集合体沿花岗岩的破裂缝充填交代,呈自形、半自形晶粒状分布,常有绢云母伴生,如图 3(a)所示;

(2)沿石英脉分布,有时呈碎粒状集合体分布在岩石破碎裂缝中;(3)黄铁矿颗粒中常有黄铜矿沿裂缝充填交代,也有金粒沿裂缝充填,如图 3(b)所示. 用显微镜测定矿石中黄铁矿的嵌布粒度,测定结果列于表 5. 由表 5 可知,黄铁矿嵌布粒度较粗,近 90% 的黄铁矿粒度大于 0.04 mm. 黄铁矿解离度的试验表明,该矿石中的黄铁矿解离性很好,在磨矿细度为 0.075mm 占 47% 时,其解离度可达 98% 以上.

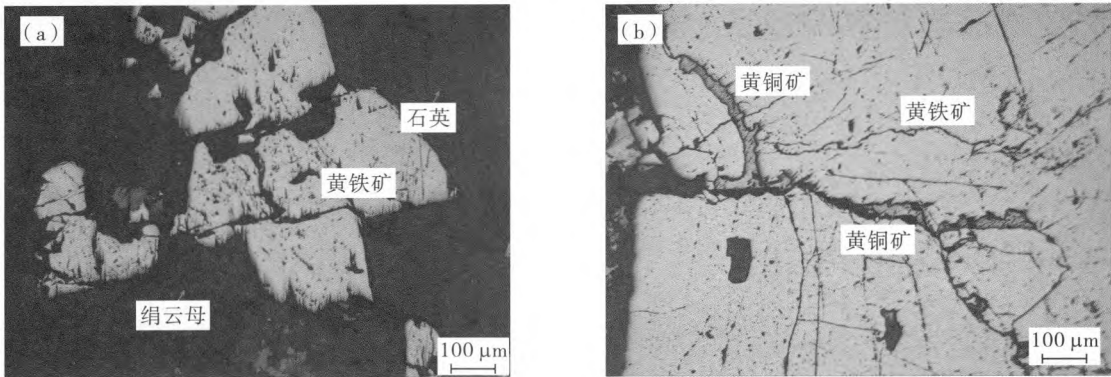


图 3 黄铁矿嵌布照片
(a)黄铁矿沿花岗岩裂缝充填;(b)黄铁矿颗粒中有黄铜矿沿裂缝充填
Fig.3 Photo of dissemination state of pyrite
(a)pyrite fill in the crack of granite ; (b)chalcopyrite fill in the cracks of pyrite particles

表 5 黄铁矿嵌布粒度的测定结果
Table 5 Grain size distribution of pyrite

粒度/mm	粒度分布/%	累计分布/%
+1.28	7.43	
-1.28+0.64	16.35	23.78
-0.64+0.32	18.21	41.99
-0.32+0.16	20.62	62.61
-0.16+0.08	17.56	80.17
-0.08+0.04	9.61	89.78
-0.04+0.02	5.89	95.67
-0.02+0.01	3.40	99.07
-0.01	0.93	100.00
合计	100.00	

2.2.3 脉石矿物

原矿矿物定量检测(表 2)表明,该矿的主要脉石矿物为钾长石、钠长石和石英,钾、钠长石的矿物量达到 45%,石英达 27%. 能谱检测分析表明,钾长石和钠长石的化学成分中 FeO 平均质量分数分别为 0.18%和 0.24%. 可见,该矿石的选金尾矿经脱铁、脱硫处理后可综合利用作为陶瓷原料.

2.3 金在矿石中的赋存状态

将矿石磨至 0.045 mm,再通过富集分离出自然金、黄铁矿(含黄铜矿)及脉石这三类矿物,然后分别测其金含量,并结合 MLA 矿物定量检测结果,计算出金在这些载体矿物中的分配,结果列于表 6. 由表 6 可知,当矿石磨至 0.045 mm 以下时,可解离的自然金占 59%左右,仍包含于黄铁矿和黄铜矿中的金占 39%左右,脉石矿物中包含的金约占 2%,金的理论回收率约 98%.

表 6 金在各载体矿物中的分配
Table 6 Distribution of gold in the minerals

矿 物	矿物含量 $w/\%$	矿物含 Au 量/ (gt^{-1})	金分配率/ $\%$
自然金	微量	—	58.50
黄铁矿(含黄铜矿)	9.260	22.5	39.31
脉石	89.477	0.13	2.19
其它	1.263	—	—
合计	100.000	5.30	100.00

3 结 论

该金矿石的主要有价元素为金、硫,可综合回收银。金主要以含银自然金和自然金形式存在,银主要以合金形式赋存于金粒中。金粒大多数嵌布于黄铁矿中,主要有裂隙金、晶间金和包裹金三种嵌布形式,其嵌布粒度极微细,均小于 0.04 mm。黄铁矿的嵌布粒度较粗,多数大于 0.04 mm。可解离的自然金、包含于黄铁矿(含黄铜矿)中的金及包含于脉石矿物中的金分别约占 59%、39%和 2%。通过选矿可回收自然金和黄铁矿,金的理论回收率约 98%。

参考文献:

[1] 郭彩莲,李小菲,王重阳. 陕西省略阳县干河坝金矿床矿石工艺矿物学研究[J]. 黄金,2015(6):20-23.
[2] 李志文,刘成东,陆建辉,等. 广西百色某仙龙金矿原生矿石工艺矿物学研究[J]. 能源研究与管理,2015(2):

62-68.
[3] 张孟,代淑娟,刘文刚,等. 安徽抛刀岭金矿工艺矿物学研究[J]. 矿山机械,2015(8):108-113.
[4] 杨波,童雄,谢贤. 甘肃某含铋金矿浮选尾矿工艺矿物学研究[J]. 矿物学报,2016(3):354-358.
[5] 李艳峰,付强. 利用 MLA 对某铜矿石中伴生微细粒金、银的工艺矿物学研究[J]. 有色金属(选矿部分),2016(4):1-4.
[6] 高歌,王艳. MLA 自动检测技术在工艺矿物学研究中的应用[J]. 黄金,2015(10):66-69.
[7] 雷志兰. 某金矿工艺矿物学研究[J]. 有色金属文摘,2015(4):52-54.
[8] 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.
[9] 邵伟. 黑龙江某金矿的工艺矿物学研究[J]. 矿冶,2015(6):87-89.
[10] 黄迎春. 云南某地金矿工艺矿物学分析研究[J]. 企业技术开发,2015(34):26-28.

The process mineralogy of a gold ore from Xinjiang province

ZHANG Lili,LIANG Dongyun,LI Bo,HONG Qiuyang,LI Meirong,JIANG Ying

Guangdong Institute of Resources Comprehensive Utilization, State Key Laboratory of Rare Metals Separation and Comprehensive Utilization, the Key Laboratory for Mineral Resources R&D and Comprehensive Utilization of Guangdong, Guangzhou 510650, China

Abstract: The process mineralogy of a gold ore from Xinjiang province is studied by chemical analysis, microscope, and MLA mineral automatic quantitative technology. The results indicate that the main valuable elements in the ore are gold and sulfur, silver could be comprehensively recovered. The Gold with very fine dissemination size(-0.04mm) mainly exists in the form of silver-bearing native gold and native gold, and the silver mainly exists in the gold grain with form of alloy. The dissemination size of pyrite is coarse, which is mostly above 0.04mm. Dissociable natural gold, gold still contained in pyrite (containing chalcopyrite) and gold contained in gangue account for 59%, 39% and 2%, respectively. The theoretical recovery rate of gold is 98% around from natural gold and pyrite dressing recovery.

Key words: gold ore; process mineralogy; pyrite; MLA