新疆中泰某金矿矿石性质研究

武俊杰^{1,2},裴若会²,李青翠²

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院,昆明 650093;2. 陕西省地质矿产实验研究所有限公司,西安 710054)

摘 要:对新疆中泰某金矿矿石的成分、矿物组成、矿石粒度以及矿石结构等进行了详细研究。该 矿中自然金主要存在于石英脉中, 粒度大小以粗中粒为主,载金矿物黄铁矿中未见包裹金。该金矿 属于石英脉型, 矿物组成简单, 易解离, 属易选型矿石。根据工艺矿物学研究结果,该金矿宜采用 重-浮联合工艺流程进行选别。

关键词:有色金属冶金;金*矿*;赋存状态;工艺矿物学;选*矿* 中图分类号:TF831,TD953 文献标识码:A 文章编号:1004-0676(2018)04-0012-06

Study on the Ore Properties of a Gold Ore in Xinjiang Zhongtai

WU Junjie^{1,2}, PEI Ruohui², LI Qingcui²

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

2. Experimental Institute of Geology and Mineral Resources of Shaanxi, Xi'an 710054, China)

Abstract: The chemical composition, mineral composition, particle size and structure of the gold ore in Xingjiang Zhongtai area were studied in details by various means. The gold deposit is a quartz vein type, and its mineral composition is simple. Natural gold mainly exists in the quartz vein. Its particle size is mainly between 0.048 mm and 0.1 mm. No inclusion gold in gold bearing pyrite was observed. The gold ore is easy to dissociate. The results of the detailed mineralogical study suggest that the gold mine could be separated by gravity flotation combined process.

Key words: non-ferrous metallurgy, gold mine; occurrence state; process mineralogy; ore-dressing

在选矿试验中,矿石性质研究对选矿方案和选 矿工艺的确定具有重要的指导和参考意义。矿石的 各项工艺特性直接影响着选矿过程和选矿指标^[1]。

新疆中泰某金矿除大量的石英脉外,主要是二 长花岗岩及少量英云闪长岩。花岗岩和硫化物多呈 条带状分布在石英脉中,硅化中的二长花岗岩为金 的主要载体岩石。矿石中的金属矿物几乎全部形成 于硅化之后,硫化物大部分沿花岗岩和石英脉的裂 隙充填,长轴有定向的趋势。自然金分布在有硫化 物存在的二长花岗岩条带中^[2]。

本文通过对该矿矿石性质的研究,了解矿石中

矿物的种类、含量、金的赋存状态及矿物的嵌布特 征,为该金矿的分选方法和工艺流程提供参考。

1 矿石成分

1.1 矿石的化学成分

采用光谱半定量分析测定矿物较全面的化学成分,结果如表1所列。采用火试金分析测定矿物中的金、银含量,原子吸收光谱法、X射线荧光光谱法(XRF)及原子荧光光谱法等测定矿物中其他化学成分含量,结果如表2所列。

收稿日期: 2017-08-09

第一作者:武俊杰,男,博士研究生,高级工程师,研究方向:矿产综合利用、土壤污染防治。E-mail: starwij555@126.com

表1 原矿光谱半定量分析结果

Tab.1	Spectral	semi c	uantitative	analysis	results	of raw	ore $/10^{-6}$
	~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~						

元素	Ag	Al_2O_3	В	Ba	Be	CaO	Cd	Ce	Со	Cr	Cu	$T Fe_2 O_3$
含量	<1	8800	24	40	0.09	48500	2.73	5.7	2.84	145	52	21300
元素	Ga	Hf	K ₂ O	La	Li	MgO	Mn	Mo	Na ₂ O	Nb	Ni	Р
含量	8.5	0.5	2900	2.3	1.08	31500	118	19.3	2000	0.85	16.7	43.8
元素	Pb	Rb	Sc	Sr	Та	Th	Ti	V	W	Y	Zn	Zr
含量	76.4	17.3	0.69	21.3	0.33	3.93	138	30.5	3.83	2.85	287	1.45

/%

由表 1 和氰化浸出试验中的原矿化学分析结果 可看出^[3],金在矿石中是主要的回收对象,其品位 为 3.10 g/t。SiO₂含量为 81.64%,由此判断脉石矿 物主要为硅酸盐类。

1.2 矿石的矿物成分

采用X射线粉晶衍射仪对矿石进行矿物成分分 析,矿石中所含矿物及矿物含量见表2。

表2 矿石矿物成分及含量

Tab.2 The ore mineral composition and content

		0	
矿物	含量	矿石	含量
黄铁矿	4	石 英	70
褐铁矿	4	斜长石	12
闪锌矿	<1	钾长石	10
黄铜矿	<1	黑云母	1.5
磁黄铁矿	微量	白云母	1
金红石	微量	电气石	个别
自然金	27 粒	诰 石	个别

从表 2 数据可知, 矿石中的矿物成分简单, 以 黄铁矿为主, 少量黄铜矿、闪锌矿以及个别的磁黄 铁矿, 约占 5%左右。脉石矿物以石英为主, 次为 钾长石、斜长石以及黑云母、白云母。脉石矿物组 成较简单, 对金的选矿影响不大^[24]。

2 矿物赋存状态

2.1 金的赋存状态

2.1.1 金的赋存状态分析

采用化学物相分析确定金在矿石中的赋存状态,结果如表 3 所列。

表3 金在不同物相中的分布

Tab.3 Distribution of gold in different phases

物相	裸露半裸露	碳酸盐	硫化物	氧化铁	硅酸盐	合计
Au/(g/t)	2.75	0.16	0.08	0.03	0.08	3.10
占比/%	88.84	5.13	2.70	0.90	2.43	100

由表3可看出,金主要以裸露及半裸露形式赋 存于矿石中,少量金赋存于碳酸盐、硫化物矿物中, 有利于金的回收。

2.1.2 自然金的粒度、形态与分布

矿石中的自然金呈金黄色,反射率约65%,无 内反射和双反射,均质性,硬度低。采用大型偏光 显微镜对矿石中的自然金粒度、形态及嵌布关系进 行分析,发现自然金主要分布在石英脉和二长花岗 岩的接触带内,如图1所示。样品中共见自然金27 粒,粒度以中粗粒为主,大部分为粒状晶形,多分 布在硅化严重的二长花岗岩中,以石英、长石粒间 最多。其粒度、形态及嵌布关系如表4~6所列。

由表 5 可看出,自然金的粒度以中粒为主,达 69.3%,粗粒和极粗粒占26.7%,细粒以下仅占3.9%, 表明该矿中金粒度较粗,选矿时宜采用粗磨粗选。 由表 5、6 可知,自然金形态以粒状为主,而麦粒状 和片状相对较少,其存在主要与长石、石英和黄铁 矿有关系。金粒在长石粒间最多,占 62.4%,长石 包体金占 8.2%,与长石有关的金共占 70.6%;石英 包体、粒间和裂隙中金总共占 20.7%;与黄铁矿接 触的金仅占 8.6%。由此可见,自然金与石英、长石 关系最密切,这部分金适合用重选进行回收;黄铁 矿中的金适合用浮选进行回收^[5-6]。



(d). 石英中的自然金(Gl) (Natural gold in quartz);

(e). 长石粒间自然金(Gl) (Feldspar natural gold)

Fig.1 The occurrence of natural gold in minerals

表4 自然金粒度及含量统计

Tab.4 The natural gold inlay form statistics

	_ 1	可见金	显微金					
统计类型	极粗粒金	粗粒金	中粒金	细粒金	微细粒金	超微粒金	总计	
	>0.1 mm	0.1~0.074 mm	0.074~0.048 mm	0.048~0.02 mm	0.02~0.001 mm	< 0.001 mm		
颗粒数	1	3	12	1	10	/	27	
粒数比/%	3.7	11.1	44.4	3.7	37	/	99.9	
面积/mm ²	0.0035	0.007875	0.02955	0.001	0.000702	/	0.043627	
分布率/%	8.2	18.5	69.3	2.3	1.6	/	99.9	
累计含量/%	8.2	26.7	96	98.3	99.9	/	/	

表5 自然金的嵌布关系

Tab.5 Natural gold inlay

	嵌布形式		粒数比/%	面积/mm ²	含量/%
句体合	石英中金	1	3.7	0.00325	7.6
也伴並	长石中金	2	7.4	0.0035	8.2
	长石粒间金	9	33.3	0.026602	62.4
验问入	石英粒间金	3	11.1	0.0011	2.6
松미金	石英与黄铁矿间金	3	11.1	0.000858	2
	长石与黄铁矿间金	6	22.2	0.002817	6.6
裂隙金	石英裂隙金	3	11.1	0.0045	10.5
总计/%		27	99.9	0.042727	100

表 6 自然金形态统计

Tab.6 The statistics form of natural gold

金粒形态	粒状	片状	麦粒状	总计
颗粒数	21	2	4	27
分布率/%	77.7	7.4	14.8	99.9

2.2 其他矿物的赋存状态

2.2.1 黄铁矿的赋存状态分析

矿物在矿石中的金相显微图片如图 2 所示^[2]。 黄铁矿在矿石中的含量约占 4%左右,在有黄铁矿 的地方就有花岗岩矿物存在,二者均呈带状分布在 石英脉中。黄铁矿大多数呈不规则状的他形晶,少量呈自形-半自形晶。他形晶颗粒粗细不一,显示充填岩石裂隙受其空间限制,形成顺裂隙的拉长不规则晶体,长轴有定向的趋势。最长晶体在 3.00 mm以上,晶体多碎裂,褐铁矿沿裂隙呈网脉状交代(图 2(a))。还见个别晶体内显胶状、"炉条"状结构,似磁黄铁矿的蚀变产物,但无残留晶体,不能确定其真实性。自形和半自形黄铁矿量少,形状多呈五角面体或其聚晶,粒径在 0.30×0.30 mm 左右,多分布在浸染黄铁矿条带的边部。



(a). 碎裂黄铁矿(Py)被褐铁矿(Lm)充填交代;(Cataclastic pyrite is replaced by limonite);

(b). 闪锌矿(Sp)和黄铁矿(Py)共生;

(c)黄铜矿(Ccp)被斑铜矿(Bn)交代呈反应边结构 (Chalcopyrite metasomorphic reaction edge structure)

nite); (Sphalerite and pyrite symbiosis); (Chalcopyrite m 图 2 硫化矿的赋存状态 Fig.2 Occurrence state of sulfide ore

2.2.2 闪锌矿和黄铜矿的赋存状态分析

闪锌矿仅在部分矿石中出现(图 2(b)),含量小于 1%。镜下呈灰色微带淡棕色,反射率约 19%,内反射褐红色,均质性。矿物呈他形晶,粒径在 1.10×0.70 mm~0.15×0.07 mm 之间。部分颗粒边部 被水锌矿交代,或氧化成土状氢氧化铁。

部分矿石中出现的黄铜矿呈他形晶不规则状, 多与黄铁矿、闪锌矿共生或伴生。矿物粒径在 0.65×0.35 mm~0.05×0.02 mm之间,分布不均匀, 少者未见其矿物,多者可达 1%以上。大部分黄铜 矿颗粒边部被斑铜矿交代(图 2(c)),形成反应边结 构,个别氧化成褐铁矿或土状氢氧化铁。

由于闪锌矿和黄铜矿与金的关系不密切且含量 不高,因此选矿中不必回收闪锌矿和黄铜矿。 2.2.3 脉石矿物的赋存状态和嵌布特征分析

石英在矿石中为含量最多的矿物,以石英脉中 石英为主,次为花岗岩中石英。石英脉中石英多呈 柱粒状,大小不一,边界参差不齐,相互镶嵌,颗 粒内仅见个别金红石包体。花岗岩中石英无色透明, 以他形晶为主,少的半自形晶,最大粒径 1.00 mm 以上,小的在 0.50 mm 以下,与长石、云母矿物互 为镶嵌分布。

矿石中的长石有钾长石和斜长石。钾长石是微斜长石,格子状双晶显著,部分颗粒表面高岭土化,呈土褐色。斜长石以更长石为主,少的中长石,钠长双晶及聚片双晶发育;部分晶体绢云母化,个别绿帘石化,表面土灰色。长石的晶形呈半自形和他形,粒径在2.50×1.20 mm~0.20×0.20 mm之间,为中细粒型。

矿样中的云母为黑云母和白云母。黑云母呈褐 色,多色性和吸收性显著,部分片晶蚀变成白云母。 白云母呈无色的片状,干涉色鲜艳。二者含量在 2.5%左右。

2.3 矿石类型及结构

2.3.1 矿石结构

1) 他形晶粒状结构: 矿石中的金属矿物全为他

形晶结构。

2) 交代结构: 样中的黄铁矿被褐铁矿交代, 黄铜矿被斑铜矿交代, 闪锌矿被水锌矿交代, 均为此 结构。

3) 中细粒花岗结构: 矿石中的二长花岗岩、英 云闪长岩均具此结构。

4) 蠕虫结构:二长花岗岩中在微斜长石和斜长

石的接触处、斜长石中见石英呈蠕虫状结构。

2.3.2 矿石构造

金属矿物在石英脉中呈浸染条带状分布,形成 浸染条带状构造。其典型金相显微图片如图 3 所示, 石英脉(图 3(a))、二长花岗岩(图 3(b))、英云闪长岩 (图 3(c))均呈块状构造。



(a). 石英脉(quartz reef); (b). 二长花岗岩(monzonitic granite); (c). 英云闪长岩(tonalite)
 图 3 新疆中泰金矿矿石构造 Fig.3 Ore structure of Xinjiang Zhongtai gold deposit

2.3.3 矿石类型

矿石中出现的岩石主要是二长花岗岩,少量英 云闪长岩;二长花岗岩中的主要矿物是微斜长石、 斜长石和石英,少量的黑云母和白云母,内含个别 的电气石和锆石。黑云母和白云母沿长石和石英粒 间分布。呈花岗结构,块状构造。此岩石为主要载 金岩石;此岩石呈暗灰色,主要成分是石英和斜长 石,少量黑云母和个别的榍石。斜长石多为中长石, 可见个别的微斜长石。岩石呈中细粒花岗结构,块 状构造。该岩石在矿石中含量少,未见含金。

3 建议的选矿原则流程

依据上述详细的工艺矿物学研究可知,该矿中 金品位为3.10g/t。以裸露及半裸露存在于矿石中的 金占 88.84%,部分碳酸盐、硫化物等包体金占 7.83%。

由于该选矿样主要以自然金为主,而且粒度属 于粗中粒型金矿石,建议对该样品进行重选-浮选联 合工艺流程^[7-8]。先利用重选回收中粗粒自然金,而 难以通过重选回收的细粒自然金以及硫化物、碳酸 盐包体金,再用浮选工艺进行回收。建议的原则流 程见图 4。试验表明采用这一流程可获得重选金精 矿品位 129 g/t、回收率 46.23%, 浮选金精矿 55.41 g/t、回收率 39.96%的选矿指标,金总回收率可达到 86.19%^[2]。



图 4 新疆中泰某金矿建议原则流程



4 结论

 新疆中泰某金矿岩石硅化石英占 60%以上, 以二长花岗岩为主的载矿岩石及硫化物,呈条带状 分布在石英脉中。 2) 硫化物以黄铁矿为主,次为闪锌矿、黄铜矿。 脉石矿物以石英为主,次为微斜长石、斜长石以及 黑云母和白云母。

3) 金在矿石中以自然金形式存在,粒度以中粗 粒为主。多赋存于脉石矿物石英、长石之间和裂隙 中,个别靠近黄铁矿。自然金的形态以粒状为主, 其次为片状和麦粒状。

4) 该金矿易解离,属易选型矿石,建议采用重
 -浮联合工艺流程进行选别。

参考文献:

- 全丽娟, 张广伟. 工艺矿物学在选矿中的应用[J]. 现代 矿业, 2014(12): 68-71.
 TONG L J, ZHANG G W. Application of technological mineralogy in ore dressing[J]. Modern mining industry, 2014(12): 68-71.
- [2] 武俊杰,李素玮,马晓伟.新疆中泰地区某金矿重-浮 联合工艺流程选矿试验研究[J].有色矿治,2017,33(3): 23-25.

WU J J, LI S W, MA X W. Experimental study on gravity-flotation combined process of gold ore in Zhongtai of Xinjiang[J]. Non-ferrous mining and metallurgy, 2017, 33(3): 23-25.

[3] 武俊杰,苏超,孙阳,等. 新疆某金矿氰化浸出试验研 究[J]. 矿冶, 2017(5): 59-61.
WU J J, SU C, SUN Y, et al. Experimental study on cyanide leaching of a gold mine in Xinjiang[J]. Mining and metallurgy, 2017(5): 59-61.

 [4] 武俊杰,李青翠,刘杨.陕西某铜金矿矿石性质研究及 对选矿工艺的影响[J].有色金属(选矿部分),2017(5):
 1-5.

WU J J, LI Q C, LIU Y. Study on the properties of a copper gold ore and its influence on the process of mineral processing in Shaanxi[J]. Nonferrous metal (Mineral processing section), 2017(5): 1-5.

- [5] 谢海云,叶群杰,周平,等.云南思茅地区铜锌硫化矿 工艺矿物学分析[J]. 岩矿测试, 2014, 33(3): 345-352.
 XIE H Y, YE Q J, ZHOU P, et al. Process mineralogy analysis of copper-zinc sulfide ore from the Simao region, Yunnan province[J]. Rock and mineral analysis, 2014, 33(3): 345-352.
- [6] 马驰, 卞孝东, 王守敬, 等. 金矿石的工艺矿物学研究
 [J]. 黄金, 2011, 32(10): 47-51.
 MA C, BIAN X D, WANG S J, et al. Process mineralogy of gold ore[J]. Gold, 2011, 32(10): 47-51.
- [7] 黎鼎鑫,张永俐,袁弘鸣.贵金属材料学[M].长沙:中南工业大学出版社,1991.
 LI D X, ZHANG Y L, YUAN H M. Material science of precious metals[M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1991.
- [8] 许时. 矿石可选性研究[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 47-51.
 XU S. Study on ore dressing[M]. Beijing: Metallurgical

Industry Press, 1995: 47-51.