

小秦岭地区某含钨碲金矿工艺矿物学及综合利用试验研究^{*}

孙景敏^{1,2}, 黄业豪^{1,2}, 王守敬³, 王誉树^{1,2}

(1. 河南省岩石矿物测试中心,河南 郑州 450012;2. 河南省矿物加工与生物选矿工程技术研究中心,河南 郑州 450012;3. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所,河南 郑州 450006)

摘要:以小秦岭地区某金矿伴生钨碲为研究对象,采用原子吸收光谱仪、MLA、能谱分析仪、扫描电镜等分析测试手段对其进行了工艺矿物学研究,并在此基础之上进行了金、钨、碲的综合利用试验研究。工艺矿物学研究结果表明:主要可回收的元素为 Au、W 和 Te,黄铁矿为主要载金、载碲矿物,金主要以自然金、碲金银矿的形式存在,碲主要以碲金银矿、碲银矿、碲铋矿的形式存在,钨多以白钨矿的形式存在。采用优先浮选金碲—尾矿选钨的工艺流程,可获得指标良好的金碲精矿和白钨精矿,金碲精矿中 Au、Te 品位分别为 44.26 g/t、148.90 g/t,回收率分别为 96.02%、91.71%;白钨精矿中 WO₃ 品位为 33.68%,回收率为 67.43%。该研究为小秦岭地区矿产综合利用提供了技术借鉴。

关键词:金矿;碲矿;白钨矿;工艺矿物学;综合利用

中图分类号:TD953+.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0076(2018)04-0074-05

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2018.01.034

Study on Process Mineralogy and Comprehensive Utilization of Gold-tungsten-tellurium Ore in Xiaoqinling

SUN Jingmin^{1,2}, HUANG Yehao^{1,2}, WANG Shoujing³, WANG Yushu^{1,2}

(1. Henan Province Rock & Minerals Testing Center, Zhengzhou 450012, China; 2. Mineral Processing and Bioengineering Technology Research Center of Henan Province, Zhengzhou 450012, China; 3. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: This study takes a gold-tungsten-tellurium ore in Xiaoqinling area as the research object. Spectral analysis, MLA, EDS, SEM, and other analytical methods were conducted to study process mineralogy, and then the comprehensive utilization test was carried out. The processing mineralogy research shows that the main recoverable elements are Au, W and Te. Pyrite is main carrier of gold and tellurium. The primary gold minerals are native gold and petzite. The main tellurium minerals are petzite, hessite and tellurbismuth. Tungsten is mainly in the form of scheelite. Using the process of preferential flotation of gold and tellurium - recovering tungsten from tailings, a gold tellurium concentrate and a scheelite concentrate with good qualities could be obtained. The Au and Te grade of gold-tellurium concentrate was 44.26 g/t and 148.90 g/t with a recovery of 96.02% and 91.71%, respectively. The WO₃ grade of scheelite concentrate was 33.68% with a recovery of 67.43%. The study provides a technical reference for the comprehensive utilization of mineral resources in Xiaoqinling area.

* 收稿日期:2017-10-30

基金项目:河南省国土资源厅 2015 年度“两权价款”地质科研项目(豫国土资函[2016]106 号—4)

作者简介:孙景敏(1972-),男,吉林省吉林市人,硕士,工程师,主要从事矿产综合利用研究工作。

通信作者:黄业豪(1990-),男,河南商丘人,硕士,助理工程师,主要从事矿产资源综合利用研究工作。

Key words: gold ore; tellurium ore; scheelite; process mineralogy; comprehensive utilization

引言

据统计,我国伴(共)生矿种类可达80余种,以有色矿产为主,共(伴)生类型复杂、伴生组分丰富,具有较大的开发利用价值^[1-4]。

小秦岭地区横跨豫陕两省,是著名的黄金矿区,含金石英矿脉可达1200余条,探明黄金储量达400余t^[5]。小秦岭地区金矿多伴生银、铜、铅、锌、硫、碲、钨等有价金属,但多数矿山只对其中的金进行回收,有少数矿山对伴生的银、铜、铅、锌等常见元素进行了综合回收,伴生钨、碲资源却一直未得到有效的综合利用^[6-7]。通过对小秦岭地区金矿伴生钨碲矿石进行详细的工艺矿物学研究,查明了主要矿物种类及嵌布关系,并用于指导综合利用试验,可为小秦岭地区矿产综合利用提供技术借鉴,有利于伴生资源的开发和利用。

1 研究方法

本矿样取自小秦岭地区某金矿,将原矿破碎、研磨至-0.074 μm占50%,混匀后备用。用SpectrAA220FS/Z型原子吸收光谱仪进行多元素定量分析;用MLA工艺矿物学参数自动分析系统对矿样中主要矿物组成及含量进行分析;用BRUKER XFlash 6/60型能谱仪进行主要矿物能谱分析,以确定主要矿物的元素组成、变化规律及化学性质稳定性;用ZEISS MERLIN Compact型扫描电镜进行镜下显微分析,确定目的矿物的嵌布特性;用FXD型单槽浮选机进行浮选试验,考察综合回收情况。

2 原矿性质

2.1 原矿多元素分析

原矿多元素分析结果见表1。

表1 原矿多元素分析结果 /%

Table 1 Multi-element analysis results of raw ore

成分	Au	Ag	WO ₃	Te	Cu	Pb
含量	4.20	16.76	0.063	14.21	0.11	0.10
成分	Zn	MnO ₂	TFe	TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂
含量	0.11	0.095	7.92	0.42	7.18	71.45
成分	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	S	P ₂ O ₅
含量	2.98	0.65	2.25	1.16	3.57	0.079

注:Au、Ag、Te单位为g/t。

原矿中有回收价值的元素为Au、Te和WO₃,三者品位分别为4.20 g/t、14.2 g/t、0.063%,Cu、Pb、Zn、Fe含量较少,暂不考虑综合回收。

2.2 原矿矿物组成

采用MLA分析矿石中主要矿物成分的含量,各种矿物含量见表2。

表2 原矿中主要矿物含量分析结果 /%

Table 2 Analysis results of main mineral contents in raw ore

种类	自然金	碲银矿	碲金银矿	锡石	钍石	白钨矿	闪锌矿
含量	微量	微量	微量	微量	微量	0.1	0.21
种类	方铅矿	碲铋矿	磁铁矿	黄铁矿	黄铜矿	石英	方解石
含量	0.32	微量	1.0	13.63	0.54	48.84	2.32
种类	钠长石	黑云母	石榴子石	钛铁矿	钾长石	绿泥石	重晶石
含量	4.07	4.78	1.64	0.1	17.22	0.75	0.14
种类	阳起石	高岭石	铁白云石	金红石	磷灰石	榍石	独居石
含量	0.14	0.12	1.1	0.1	0.19	0.09	0.07
种类	锆石	石膏	斜长石	白云石	磷钇矿	辉钼矿	
含量	0.04	0.01	0.27	0.06	0.01	微量	

分析表2可知:

(1)原矿中主要硫化矿物为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿,主要氧化矿为白钨矿,主要硫化矿物的分离回收,需根据实际情况确定其回收价值,白钨矿可考虑进行综合回收。

(2)原矿中含有自然金、碲银矿、碲金银矿、碲铋矿,金、碲需综合回收。

(3)主要脉石矿物为石英、钾长石、方解石、钠长石、黑云母等,对矿物进行综合回收时,需主要排除石英和钾长石对精矿品质的影响。

2.3 目的矿物能谱分析

为了研究可回收矿物的元素组成,本次研究对其进行能谱分析,分析结果见表3。由表3分析:原矿中大部分自然金单独存在,仅有少量自然金中含银;碲金银矿中金银含量变化幅度较大,Au元素含量在3.48%~22.97%之间变化,Ag元素含量在11.89%~57.39%之间变化,Te元素含量在34.42%~66.83%之间变化;碲银矿中碲银元素含量较为稳定;碲铋矿主要组成元素为碲和铋,元素含量变化不大;白钨矿以钨和钙为主,几乎不含钼等其它元素;黄铁矿中各元素组分含量较为稳定。

表 3 目的矿物能谱分析结果
Table 3 The spectrum analysis results of the target minerals

点号	矿物种类	元素/%								
		Au	Ag	Te	Bi	Fe	W	Ca	O	S
1		75.01	20.11			4.89				
2		91.20	8.80							
3	自然金	100.00								
4		100.00								
5		22.97	42.61	34.42						
6		15.00	48.36	36.63						
7	碲金银矿	3.48	57.39	39.12						
8		21.27	11.89	66.83						
9	碲银矿		62.28	37.72						
10			3.33	30.48	60.58	5.62				
11	碲铋矿			41.89	53.58	4.52				
12				55.85	44.15					
13	白钨矿					62.92	16.03	21.05		
14						63.28	15.98	20.73		
15	黄铁矿					47.36			52.64	

2.4 矿石结构

矿石结构主要有：

(1) 包含结构——黄铁矿等矿物包裹碲金银矿等矿物，构成包含结构；

(2) 自形半自形结构——方铅矿等矿物晶形较好，构成半自形粒状结构；

(3) 他形粒状结构——黄铁矿等矿物晶形较差，构成他形粒状结构。

3 重要矿物显微分析

根据矿物多元素分析，具有回收价值的元素为 Au、Te 和 W；根据原矿矿物组成分析，含 Au、Te、W 的主要有用矿物分别为自然金、碲金银矿、碲银矿、碲铋矿、白钨矿，下面将借助扫描电镜对碎磨至 -0.074 μm 占 50% 样品中的主要有用矿物及脉石矿物进行显微分析，以确定其嵌布关系，从而设计综合回收方案。

3.1 自然金

矿样的扫描电镜背散射图像中可见少量的自然金颗粒，并且粒度极细，一般仅有 5 μm 左右，不宜采用重选方法回收；自然金多呈团窝状分布（图 1a），一般与碲铋矿等矿物一同被黄铁矿包裹（图 1b），因此可以考虑采用浮选工艺浮选黄铁矿，同时将自然金和碲铋矿富集至黄铁矿精矿中。

3.2 碲金银矿

碲金银矿是矿石中主要的含金矿物，其多与碲

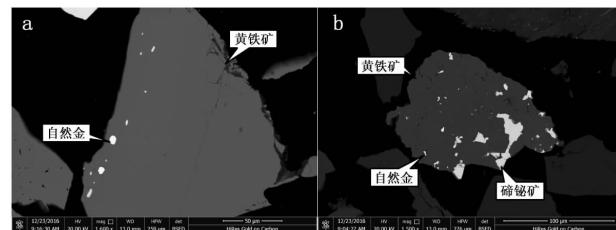


图 1 自然金显微图像(背散射)

Fig. 1 Microscopic photographs of native gold (back-scattering)

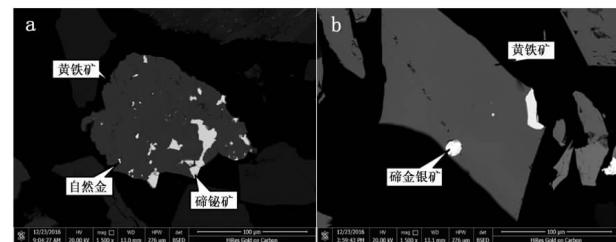


图 2 碲金银矿显微图像(背散射)

Fig. 2 Microscopic photographs of petzite (back-scattering)

银矿共生（图 2a），因此浮选作业很难实现碲、金、银三者之间的分离，需采用湿法浸出工艺进行分离利用。碲金银矿粒度变化较大，因此磨矿细度较难控制，选矿细度需试验进行确定。细粒的多被黄铁矿包裹（图 2b），此部分可考虑富集至黄铁矿精矿中。

3.3 碲银矿

碲银矿部分与碲金银矿共生，是矿样中主要的含碲、银矿物。其多呈不规则状（图 3a），粒度粗细不一，粗粒者多呈单体形式存在，细粒者多被黄铁矿等矿物包裹（图 3b），此部分也可考虑富集至黄铁矿精矿中。

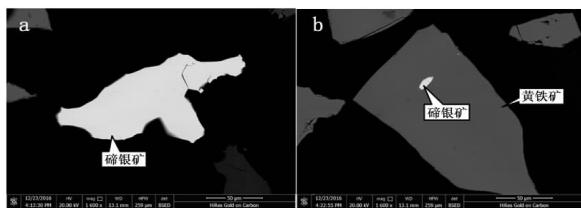


图3 碲银矿显微图像(背散射)

Fig. 3 Microscopic photographs of hessite (back - scattering)

3.4 碲铋矿

矿样中碲铋矿多呈他形粒状或自形片状。其粒度较细,以单体形式存在的碲铋矿含量较低,多被黄铁矿包裹(图4a),少量被脉石矿物包裹(图4b)。

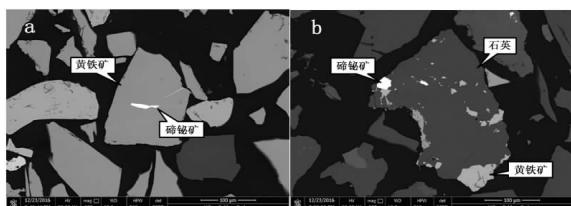


图4 碲铋矿显微图像(背散射)

Fig. 4 Microscopic photographs of tellurbismuth (back - scattering)

3.5 白钨矿

白钨矿是矿样中的主要含钨矿物,其多呈他形粒状(图5a),粒度变化较大(图5b、5c),白钨矿多以单体形式存在(图5c),未解离白钨矿多与石英等矿物连体(图5d),未发现白钨矿与硫化矿的连生体,因此,浮选硫化矿时,白钨矿不容易上浮,有利于其在浮选硫化矿的尾矿中富集。

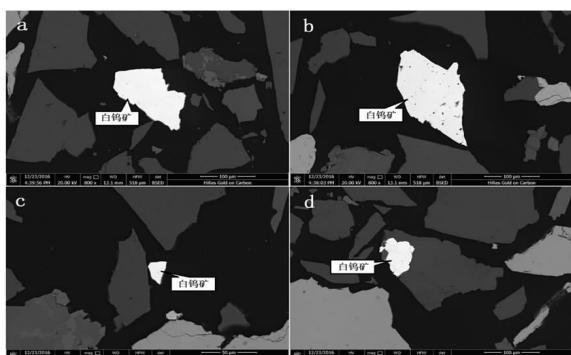


图5 白钨矿显微图像(背散射)

Fig. 5 Microscopic photographs of scheelite (back - scattering)

3.6 黄铁矿

由于金碲矿物多被黄铁矿包裹,因此需对黄铁矿进行显微分析,考察黄铁矿与金碲矿物的嵌布关系。矿样中黄铁矿多呈他形粒状(图6a)。粒度较粗(图6b),可见其包裹自然金、碲银矿、碲金银矿和

碲铋矿等矿物(图6c、6d),因此黄铁矿是选矿的目标矿物,富集黄铁矿的同时,自然金、碲银矿、碲金银矿和碲铋矿等矿物也能够得到富集。但黄铁矿含量较高,对金、碲精矿的品位会有一定的影响,对后续冶金也会有一定影响。

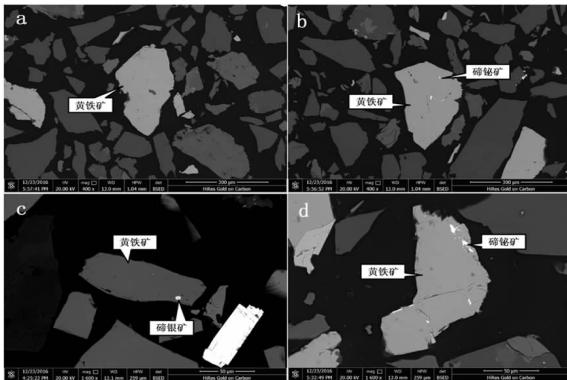


图6 黄铁矿显微图像(背散射)

Fig. 6 Microscopic photographs of pyrite (back - scattering)

3.7 脉石矿物

矿样中脉石矿物主要为石英、长石、黑云母和方解石等矿物。石英是矿样中主要的脉石矿物之一,其在矿样中含量为48.84%,矿样中石英多已经单体解离(图7a),部分包裹金属矿物(图7b);矿样中长石主要为条纹长石,可见钾长石中出溶钠长石;矿样中黑云母多呈自形片状,多已经单体解离;矿样中方解石多呈他形粒状,多已经单体解离。

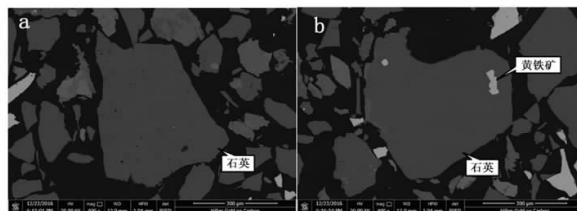


图7 脉石矿物镜下图像(背散射)

Fig. 7 Microscopic photographs of gangue minerals (back - scattering)

4 矿物综合利用试验研究

矿样中可考虑进行回收的有价金属为金、碲、钨。金矿物多以碲化物为主,且金银矿物粒度变化较大,其中细粒者多被黄铁矿包裹;矿样中含有部分自然金,粒度极细,不利于重选富集,并多呈团窝状分布,一般与碲铋矿等矿物一同被黄铁矿包裹;碲、金不容易实现分离,可考虑将二者富集至黄铁矿中,再进行湿法分离,以达到得到金碲分离的目的。矿

样中的钨多以白钨矿的形式存在,单体粒度较粗,并且粒度变化较大,多与石英等矿物连体,有利于其选矿富集。根据矿石的工艺性质,设计采用优先浮选金碲—浮金碲尾矿选钨的工艺流程,即通过浮选黄铁矿得到金碲精矿,含钨尾矿再进行钨的回收,但在黄铁矿的浮选过程中,黄铜矿、闪锌矿、方铅矿会一并进入到金碲精矿中,对金、碲精矿的品位及后续冶金会有一定影响,后续可考虑对混合精矿进行分离研究。

通过大量的探索试验,确定最终工艺流程,如图 8 所示。按照中矿顺序返回原则得到最终闭路试验结果,见表 4。

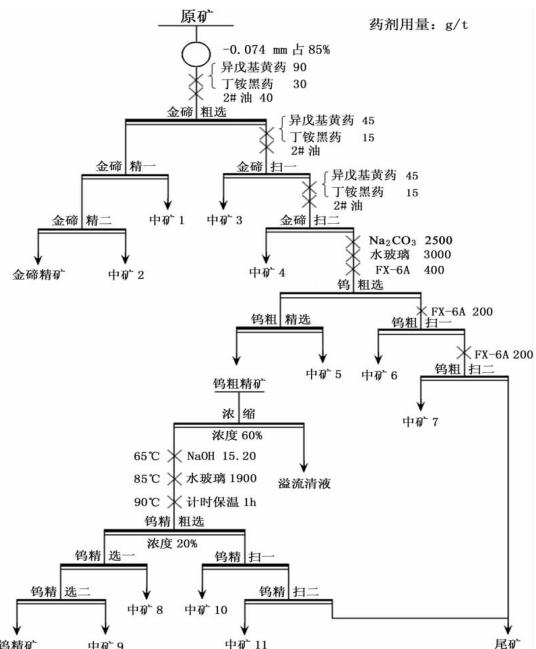


图 8 金钨碲综合回收流程图

Fig. 8 Flowsheet of comprehensive recovering Au, W and Te

表 4 金钨碲综合回收闭路试验结果 /%

Table 4 Results of closed circuit test for comprehensive recovering Au, W and Te

矿样 名称	产率	品位			回收率		
		Au	Te	WO ₃	Au	Te	WO ₃
金碲精矿	8.82	44.26	148.90	0.086	96.02	91.71	11.68
钨精矿	0.130	5.28	16.52	33.68	0.17	0.15	67.43
尾矿	91.05	0.17	1.28	0.0149	3.81	8.14	20.89
合计	100.00	4.07	14.32	0.065	100.00	100.00	100.00

注:Au、Te 单位为 g/t。

引用格式:孙景敏,黄业豪,王守敬,等.小秦岭地区某含钨碲金矿工艺矿物学及综合利用试验研究[J].矿产保护与利用,2018(4):74~78.

SUN Jingmin, HUANG Yehao, WANG Shoujing, et al. Study on process mineralogy and comprehensive utilization of gold-tungsten-tellurium ore in Xiaoqinling[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(4):74~78.

由表 4 可知:金碲精矿中 Au、Te 品位分别为 44.26 g/t、148.90 g/t, 回收率分别为 96.02%、91.71%;白钨精矿中 WO₃ 品位为 33.68%, 回收率为 67.43%。

5 结论

(1) 原矿中主要可回收的元素为 Au、Te 和 W, 黄铁矿是主要载金矿物, 金矿物以碲化物为主, 并含有部分自然金, 碲化物粒度变化较大, 自然金呈极细粒级团簇状分布; 碲矿物多被黄铁矿包裹, 主要以碲金银矿、碲银矿、碲铋矿的形式存在; 原矿中的钨多以白钨矿的形式存在, 粒度较粗, 并粒度变化较大, 多与石英等矿物嵌布在一起。

(2) 采用优先浮选金碲—浮金碲尾矿选钨的工艺流程, 可获得指标良好的金碲精矿和白钨精矿。闭路试验结果表明: 金碲精矿中, Au、Te 品位分别为 44.26 g/t、148.90 g/t, 回收率分别为 96.02%、91.71%; 白钨精矿中, WO₃ 品位为 33.68%, 回收率为 67.43%。

(3) 本研究为小秦岭地区金碲钨的综合回收提供了技术借鉴, 但本研究依旧存在不足之处, 如金碲精矿中的金碲分离还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 刘进.广西大厂锡石多金属硫化矿尾矿的综合利用研究[D].昆明:昆明理工大学,2003.
- [2] 刘厚明.川滇地区含锡多金属矿石综合利用研究[D].沈阳:东北大学,2011.
- [3] 叶雪均.柿竹园多金属矿资源综合利用选矿流程研究[J].矿产综合利用,2000(1):1~5.
- [4] 严海军,向宇,宋永胜.复杂铜铜铁多金属矿的综合利用研究[J].稀有金属,2011(1):89~95.
- [5] 薛良伟,柴世刚,朱嘉伟,等.小秦岭金矿伴生碲资源研究[J].矿产保护与利用,2004(2):42~45.
- [6] 李文军,岳铁兵,吕良,等.豫西某金钨矿综合利用试验研究[J].矿产保护与利用,2017(3):47~51.
- [7] 李茂林,王旭,崔瑞,等.新型浮选剂 FX-6 提高某白钨矿回收率试验研究[J].矿业研究与开发,2015(8):49~51.