

文章编号: 0254- 5357(2004) 01- 0062- 05

综合分析技术在微细粒浸染型金矿 金赋存状态研究中的应用

熊 英, 林滨兰, 郑存江, 李谷林, 柏全金, 杨红霞, 胡建平
(陕西省矿业生物工程研究中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 采用化学组分分析、物相分析、粒度筛析、X 射线面扫描分析、矿物分离分析并结合数理统计分析等综合分析技术对微细粒浸染型金矿进行工艺矿物学研究, 较为快速、准确地查明该金精矿金的赋存状态。几种分析方法互为补充, 结果吻合。

关键词: 综合分析技术; 微细粒浸染型金矿; 金赋存状态

中图分类号: P618. 51; O655. 6 **文献标识码:** B

在我国乃至世界的黄金资源中, 微细粒浸染型金矿占有相当大的比例^[1], 微细粒浸染型金矿是指金以微细粒形态被浸染于或包裹于金属硫化矿和脉石矿物之中, 或存在于硫化矿物的晶格结构中, 这种被包裹的金用细磨方法也很难解离, 导致金不能与氰化物接触, 开发利用较为困难。对该类金矿的开发应用很大程度上决定于对这类金矿的工艺矿物学性质的研究程度, 而对其进行工艺矿物学性质研究, 其目的是为了了解造成金难以浸出的主要原因, 特别是要搞清楚金的赋存状态, 这是选冶提金的重要依据, 同时也是矿物学和矿床学研究的重点之一^[2]。对微细粒浸染型金矿金的赋存状态分析, 前人已做过大量的工作, 但多侧重于某一种研究方法, 如以岩矿鉴定为基础, 辅以化学物相分析、扫描电镜分析、俄歇电子能谱、离子探针分析等相关测试手段^[3~7]; 或使用化学物相分析方法、单矿物分析等方法研究金的赋存状态^[8~10]。但采用矿物表面分析技术的离子探针、质子探针、电子探针等手段进行研究结果重现性差, 难以满足实际需要^[11], 最为有效的方法是单矿物分析, 但单矿物分析首先要进行单矿物分离, 而通常采用的单矿物分离分析方法则存在着耗时长, 单矿物分离困难的缺陷, 特别是对于微细粒矿物, 要实现单矿物的分离

十分困难, 而要提供足够化学分析所需的单矿物则更困难^[12]。本文采用矿物分离(金属矿与脉石矿分离)分析、X 射线面扫描分析并结合相关元素的物相分析即可掌握金的赋存状态, 几种分析方法互为补充, 结果吻合。

1 实验部分

1.1 实验样品基本情况

金精矿化学组分分析、矿物组成分析见表 1 和表 2。

表 1 金精矿化学成分分析结果^①
Table 1 The chemical composition results
of gold concentrate

组分 comp.	$w_B/10^{-2}$	组分 comp.	$w_B/10^{-2}$
Au*	91.0	SiO ₂	30.70
Ag*	8.06	Al ₂ O ₃	7.89
T Fe	10.70	CaO	13.75
As	7.89	MgO	0.61
S	9.63	K ₂ O	0.80
Sb	4.45	Na ₂ O	0.068
Pb	0.12	C 有机碳	0.11
Zn	0.058		
Cu	0.026		

① 标有“*”的组分含量单位为 $w_B/10^{-6}$ 。

收稿日期: 2003-03-04; 修订日期: 2003-06-10; 作者简介: 熊英(1963-), 女, 重庆市石柱人, 高级工程师, 主要从事微生物湿法冶金工作。

表 2 金精矿主要矿物含量

Table 2 Main minerals in the gold concentrate

矿物名称 mineral name	$w_B/10^{-2}$	矿物名称 mineral name	$w_B/10^{-2}$	矿物名称 mineral name	$w_B/10^{-2}$
毒砂 arsenopyrite	15	石英 quartz	30	伊利石 illite	5
黄铁矿 pyrite	8	方解石 calcite	25	其他 other	3
辉锑矿 stibnite	6	白云石 dolomite	8		

由化学多项分析结果可知, 该金精矿属高砷含锑难浸金精矿, As、Sb 为主要影响氰化浸金的有害元素。

采用 X 衍射分析结果(表 2)表明, 金精矿中主要非金属矿物为石英、方解石、白云石, 非金属矿物总量 $\geq 60\%$ 。金属矿物约占总量的 30%, 主要为毒砂、黄铁矿、辉锑矿。这三种金属硫化物矿都可能是金的主要载体。

1.2 金精矿中相关元素的物相分析

1.2.1 金精矿中铁的物相分析结果

精粉中有近 50.86% 的铁为硫铁矿, 其次为赤(褐)铁矿、硅酸铁矿(表 3)。

表 3 精粉中铁的物相分析结果

Table 3 The ferrous phase analysis results of the gold concentrate

铁的物相 ferrous phase	$w(\text{Fe})/10^{-2}$	分布率/% distribution ratio
黄铁矿及毒砂 pyrite and arsenopyrite	5.59	50.86
菱铁矿 siderite	0.77	7.01
赤(褐)铁矿、硅酸铁矿 limonite and ferrous silicat	4.63	42.13
合计 total	10.99	100.00

1.2.2 金精矿中硫的化学物相分析结果

精矿中有 82.87% 的硫以金属硫化物形式存在(表 4), 结合铁物相分析结果, 金属硫化物以毒砂、黄铁矿为主。

表 4 金精矿中硫的化学物相分析

Table 4 The results of sulfur phase analysis of the gold concentrate

硫的物相 sulfur phase	$w(\text{S})/10^{-2}$	分布率/% distribution ratio
SO_4^{2-}	0.33	3.43
S^{2-}	7.98	82.87
S^0	1.32	13.70
总 S	9.63	100.00

1.3 金赋存状态分析

1.3.1 金精矿的粒度筛析

粒度筛析结果说明(表 5), 该试样金的嵌布粒度极细, 92.70% 的金粒度小于 0.030 8 mm。粒度大于 0.074 mm 的金只占 3.3%。

表 5 金精矿粒度筛析结果^①

Table 5 The granularity analysis result of the gold concentrates

粒级/mm granularity grade	产率/% percentage	$w(\text{Au})/10^{-6}$	$m_{\text{Au}}/\mu\text{g}$	分布率/% distribution ratio
+ 0.15	7.05	14.19	100	1.1
- 0.15~ + 0.074	11.30	17.16	194	2.2
- 0.074~ + 0.045	7.10			
- 0.045~ + 0.030 8	2.00	39.99	364	4.0
- 0.030 8	72.55	115.0	8 343	92.7
合计(total)	100	/	9 001	100.0

① 使用 500 g 试样进行粒度筛析试验。

1.3.2 金精矿矿物分离及金分布

取 100 g 试样对金精粉进行矿物分离, 并测定分离产物中金的质量分数(表 6), 了解金的分布及与金属矿、脉石矿物的赋存关系。

对试样分离产品分析统计结果: 金属矿含量为 30.03%, 与 X 衍射分析结果 29.0% 及化学计算结果 30.23% (根据砷、铁、硫、锑质量分数计算) 相符; 75.66% 的金属矿物粒度小于 0.074 mm, 根据粒度筛析结果 - 0.074~ + 0.030 8 mm 粒级间的产率很低, 也即 70% 以上的金属矿物粒度都小于 0.030 8 mm。对分离得到的不同粒级和类型的矿物进行金的分析测定, 统计结果表明, 90% 以上的金以微细状存在, 与粒度筛析结果一致。对分离得

到的脉石矿物进行分析,金品位: 4.94 g/t, 换算回原精矿中与脉石矿物有关的金不大于 3.46 g/t, 绝大部分金应赋存在金属硫化矿中。

1.3.3 金的物相分析

以 I₂-KI 为浸提剂^[13], 在不同处理条件下逐

级提取分析各相别的金, 结果(表 7)表明, 金精粉中有 96.81% 以上的金以包裹金形式存在, 其中以硫化物包裹金为主, 金属硫化物是金的主要载体得到了进一步证实。

表 6 金精矿矿物分离及金分布

Table 6 The mineral separation and gold distribution in the gold concentrate

粒度级 granularity grade /mm	项目 items	产率 percentage /%	目估金属矿物含量 eyeballing conten of metallic mineral /%	金属矿物量 metal mineral weight /g	金属矿物分布 distribution of metal mineral /%	$w(\text{Au})/10^{-6}$	$m_{\text{Au}}/\mu\text{g}$ gold weight	金的分布率 distribution of gold /%
+ 0.074	精矿 concentrate	4.3	97	4.17	13.89	32.26	138.72	1.52
	中矿 middle ore	3.0	30	0.90	3.00	26.22	78.66	0.86
	尾矿 tailings	11.2	20	2.24	7.46	12.76	142.90	1.57
- 0.074	精矿 concentrate	12.0	98	11.76	39.16	386.53	4 638.4	50.97
	中矿 middle ore	2.0	30	0.60	2.00	29.0	58.0	0.64
	尾矿 tailings	54.3	15	8.14	27.11	50.42	2 737.8	30.1
	泥级 mud	11.5	6	0.69	2.30	61.03	701.84	7.71
	损失 loss	1.7	90	1.53	5.09		603.5	6.63
	合计 total	81.5		22.72	75.66		8 739.54	96.04
	共计 total	100.0		30.03	100.0		9 099.8	100.0
	脉石矿 gangue	70.0	2			4.94	345.8	3.8

表 7 金精矿中金物相分析结果

Table 7 The gold phase analysis results
in the gold concentrate

金的相态 gold phase	$w(\text{Au})/10^{-6}$	分布率/% distribution ratio
单体金及裸露金 monomer gold and gold	2.90	3.19
碳酸盐包裹金 gold wrapped in carbonate	1.29	1.42
硫化物包裹金 gold wrapped in sulfide	85.16	93.7
硅酸盐包裹金 gold wrapped in silicate	1.52	1.67
合计 total	90.87	100.0

1.3.4 X 射线面扫描分析

应用 JSM-5800 扫描电镜和 Link 能谱仪对试样进行二次电子图像(SE)及 Au Ma As La Fe Ka S Ka Sb La 特征 X 射线面扫描图像分析。从分析结果(图 1)可见, 在 As Fe S 的分布区 Au 有明显的显示, 远较 Sb 分布(见 Sb La 面扫描图像底部显

示)密集区强, 由此推断, 该金精粉中 Au 与 As Fe S 的关系非常密切, 而 Au 与辉锑矿虽有一定程度的相关性, 但不十分密切。毒砂和黄铁矿是 Au 的主要载体。

1.3.5 不同粒级金属矿物分布与金的相关性

X 射线面扫描分析结果显示, 金与毒砂、黄铁矿的关系密切, 为进一步确定包裹金的主要硫化物, 对分离得到的 211 g 金属矿(目估金属矿物含量: 90%~95%)进行分级, 将分离得到的不同粒级的金属矿物分析测定其中的 As S Sb Au 等的质量分数, 根据理论化学关系式, 计算出各粒级中毒砂(FeAsS)、黄铁矿(FeS₂)、辉锑矿(Sb₂S₃)的质量分数, 统计出这些矿物的粒级分布。分析统计结果(表 8)表明: 毒砂主要以微细粒(粒径<0.05 mm)的形式出现, 这一粒级的毒砂占其总量的 89.32%。黄铁矿在次微粒(粒径为 0.1~0.05 mm)级中则占有相当的比例, 辉锑矿的分布较为均衡, 在粗粒级(粒径为 0.1~0.2 mm)中为偏高。

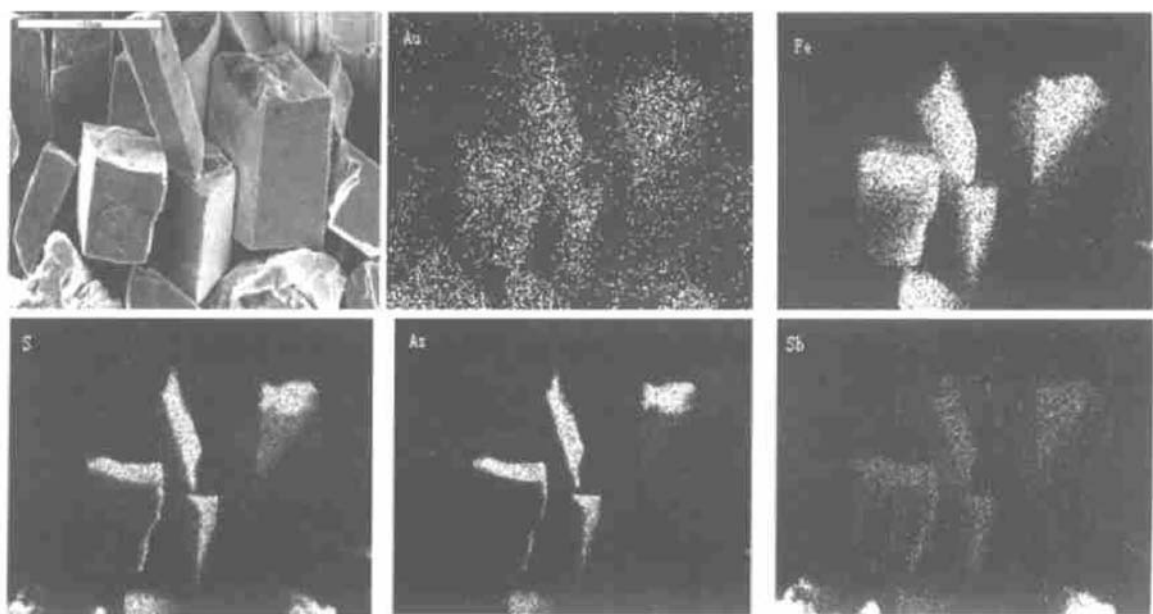


图 1 试验金精粉 X 射线面扫描图像

Fig. 1 The electron microscope images of the gold concentrate from the X-ray surface scanning

表 8 不同粒级金属矿中各金属矿物的分布

Table 8 Distribution of each metal mineral in different granularity metal minerals

粒级/mm granularity	m/g	产率/% percentage	$w(\text{As})/10^{-2}$	$w(\text{Sb})/10^{-2}$	$w(\text{S})/10^{-2}$	$w(\text{Fe})/10^{-2} \text{①}$	
0.2~ 0.1	20	9.5	2.57	48.79	28.78	25.28	
0.1~ 0.05	44	20.8	9.45	18.56	35.52	43.68	
< 0.05	147	69.7	26.51	5.41	27.82	49.07	
粒级/mm granularity	毒砂 arsenopyrite		辉锑矿 ^② stibnite		黄铁矿 ^③ pyrite		$w \text{ 金属矿}/10^{-2}$ metal mineral
	$w(\text{FeAsS})/10^{-2}$	$w(\text{S})/10^{-2}$	$w(\text{Sb}_2\text{S}_3)/10^{-2}$	$w(\text{S})/10^{-2}$	$w(\text{FeS}_2)/10^{-2}$	$w(\text{S})/10^{-2}$	
0.2~ 0.1	5.58	1.10	68.06	19.27	15.73	8.41	89.31
0.1~ 0.05	20.4	4.04	25.89	7.33	45.18	24.15	91.61
< 0.05	57.61	11.34	7.55	2.14	26.83	14.34	91.99
合计 total	44.95		17.11		29.59		91.65
粒级/mm granularity	产率/% percentage	分布率/% distribution ratio					
		毒砂 arsenopyrite		黄铁矿 ^③ pyrite		辉锑矿 ^② stibnite	
0.2~ 0.1	9.5	1.18		5.04		37.81	
0.1~ 0.05	20.8	9.50		31.76		31.76	
< 0.05	69.7	89.32		63.20		30.74	
合计 total	100.0	100.0		100.0		100.31	

① 铁的质量分数结果,在计算金属硫化物含量时仅作参考,因从铁的化学物相分析结果得知,有 50% 的铁为非硫化物形态存在,金属矿物的分离不十分彻底,分离产品金属矿中的铁应有不少是非硫化物形态存在的铁。

金的分布则主要集中在微细粒级(表 9),其在各粒级的分布与毒砂在各粒级的分布有很好的相关性。由此可以判断,毒砂应该是金的主要包裹体,黄铁矿次之,辉锑矿的相关性则最小。

综上所述,某浮选金精矿的工艺矿物学有如下特征:

- ① 该金精矿为高砷、高锑含硫难浸金精矿。
- ② 金精矿粒度细微,70% 以上的矿物粒径小

于 0.030 8 mm, 毒砂矿物则主要处在这一粒级。

③金主要为自然金, 嵌布粒度微细, 以不可见金为主。90% 以上的金存在于粒度小于 0.030 8 mm 的精矿之中, 属微细粒浸染金矿。

④金精矿中, 金以包裹金为主, 且 93.7% 的金分布在硫化物中, 毒砂黄铁矿是金的主要载体, 辉锑矿中也含有少量金, 但金与毒砂的关系尤为密切。

表 9 金在金属矿中的粒级分布

Table 9 Gold granularity distribution in metal minerals

粒级/mm granularity	$m_{\text{样}}/\text{g}$	$w(\text{Au})/10^{-6}$	$m_{\text{Au}}/\mu\text{g}$	Au 分布率 / %
0.2~0.1	20	18.2	364.0	0.58
0.1~0.05	44	133.9	5 891.6	9.33
< 0.05	147	386.8	56 859.6	90.09
合计 total	211	299.1	63 115.2	100.0

2 结语

对所研究的试样进行矿物分离(金属矿与脉石矿的分离)和分级, 并对分离得到的产物进行相关元素的分析, 结合 X 射线面扫描分析及相关元素的物相分析即可掌握金的赋存状态。几种分析方法结果互相吻合, 信息量大, 是研究微细粒浸染型金矿工艺矿物学性质较为简便有效的方法。

3 参考文献

- [1] 裴荣庆. 微生物提取金银的研究与应用[J]. 国外金属矿选矿. 1991, 28(4): 18—21.
- [2] 王奎仁, 周有勤, 李凡庆, 等. 广西金牙金矿金赋存状态的质子探针和扫描电镜研究[J]. 科学通报. 1992, 37(9): 832—835.
- [3] 中国选矿科技情报网. 金的矿物工艺学规范(草案)[A]. 全国金银学术会议论文集[C]. 1983.
- [4] 曹佳宏, 赵晓兆. 微爆处理法提高金精粉氰化浸出率的机理研究[J]. 矿冶工程. 1999, 19(4): 32—34.
- [5] 毛水和, 李广文. 不可见金的赋存状态研究[J]. 矿物学报. 1990, 10(1): 69—72.
- [6] 邹金生. 革档微细粒浸染型金矿金赋存状态研究的新进展[J]. 冶金地质动态. 1992, (6): 50—52.
- [7] 李得忍. 黄铁矿中金赋存状态的电子探针研究和超微粒金的发现[J]. 矿物学报. 1992, 12(3): 284—288.
- [8] 唐肖玫, 王凯. 选择溶解法分析矿石中金的赋存状态[J]. 冶金分析. 1984, 4(6): 53—55.
- [9] 苏欣栋. 我国微细浸染型金矿某些载体矿物中金的赋存状态[J]. 冶金地质动态. 1992, (10): 1—5.
- [10] 唐肖玫, 姚敬. 化学物相分析方法研究矿石中金的赋存状态[J]. 岩矿测试. 1992, 11(1—2): 162—167.
- [11] 杨丙雨, 冯玉怀, 石星明. 90 年代前五年中国金分析测定的成就[J]. 冶金分析. 1996, 16(6): 29—32.
- [12] 郑民奇. 某金矿五种单矿物中金的分析方法研究[J]. 地质实验室. 1999, 15(3): 171—173.
- [13] 张敏, 龚美菱. 地质样品中痕量金的物相分析[J]. 冶金分析. 1991, 11(3): 1—4.

Application of Comprehensive Analysis Technique in Study on Existing Forms of Gold in Micro-disseminated Gold Deposit

XIONG Ying, LIN Bin-lan, ZHENG Cun-jiang,

LI Gu-lin, BAI Quan-jin, YANG Hong-xia, HU Jian-ping

(Mining and Bioengineering Research Center of Shaanxi Province, Xi'an Shaanxi 710054, China)

Abstract: Application of comprehensive analysis technique, including chemical component analysis, phase analysis, granularity analysis, X-ray microscope scanning, mineral separation and statistic analysis, to study on existing forms of gold in micro-disseminated gold deposit was reported in this paper. This technique provides the advantages of rapid and reliable determination of existing forms of gold. The analytical results are in good agreement with those provided by other techniques.

Key words: systematic analysis technique; micro-disseminated gold deposit; existing forms of gold