

文章编号: 0254 - 5357(2013)03 - 0474 - 09

卡林型金矿石中金的赋存状态分析新方法

苏秀珠, 黄志华, 袁水平, 许涛, 廖占丕, 黄丽娟

(低品位难处理黄金资源综合利用国家重点实验室, 紫金矿业集团股份有限公司, 福建上杭 364200)

摘要: 卡林型金矿富含有机质, 金主要呈显微-超显微分散状态存在, 利用工艺矿物学参数自动检测分析仪 (MLA) 及传统化学方法只能大致判断矿石中金的赋存趋势, 无法对其赋存状态准确定量。本文利用 MLA 仪器系统分析贵州回龙卡林型金矿, 测得矿石中金主要以显微-超显微状态包裹于黄铁矿和毒砂中, 少量被脉石等其他矿石包裹; 黄铁矿约 66% 完全解离, 而毒砂仅 30% 完全解离, 载金矿物与其他矿物连生或者被包裹, 将不利于硫化物包裹金的浸出。结合回龙金矿石中金的赋存特征和富含有机质的特点, 对传统的物相分析流程进行改进, 调整了硫化物包裹金和碳酸盐包裹金的浸出顺序, 提出裸露金-碳酸盐包裹金-硫化物包裹金-硅酸盐包裹金的浸出流程, 在裸露金及碳酸盐包裹金浸出时加入活性炭, 利用竞争吸附抑制矿石中有机质对金的吸附, 降低有机质对分相的影响。对比试验结果表明, 采用改进的方法, 有机质含量在 1% 左右的金矿石分相时加入活性炭对各相测定值的影响不大; 先浸出碳酸盐包裹金, 再测定硫化物包裹金, 各相的测定数据更加准确。改进的方法 (加活性炭) 用于测定回龙金矿中裸露金和碳酸盐、硫化物、硅酸盐包裹金, 含量分别为 1.25%、84.17%、11.46% 和 3.13%, 与选矿试验结果相一致, 表明该法适合应用于卡林型金矿中金的赋存状态分析。

关键词: 卡林型金矿石; 碘-碘化钾; 物相分析; 活性炭

中图分类号: P578.11 **文献标识码:** A

金矿物的赋存状态分析方法有物理和化学两种方法。物理法主要是采用仪器进行测量的方法, 如光学显微镜鉴定、X 射线分析、电子探针分析及工艺矿物学参数自动检测分析仪 (MLA) 等; 化学法主要是用化学药剂选择性溶解的方法^[1-4], 大致有混汞法、氰化法、碘化法、硫脲法或 EDTA 法。大多数金矿类型中的金主要呈中粗粒显微金-明金产出, 即使有显微-超显微分散金存在, 所占比例很低, 使用仪器能够较准确地测定金在矿石中的赋存状态。化学药剂选择性溶解的方法, 应用于分析金呈中粗粒显微金-明金产出的金矿石, 数据比较准确可靠。

卡林型金矿是一种主要产于碳酸盐岩建造中的微细浸染型金矿床, 该类型金矿床富含有机质, 具有品位低、规模大、矿体与围岩界线不明显的特点, 金主要呈显微-次显微形式分散产出。我国探明的卡林型金矿中金的资源量占我国岩金总储量的 30% 以上, 有效开发和利用该类金矿已经受到广泛关注。由于卡林型金矿中的金主要呈显微-超显微分散状

态存在, 使用各种仪器较难做到完全统计, 无法准确测量^[5]; 且现有的化学药剂选择性溶解的方法应用于分析该类矿石, 由于矿中富含的有机质会吸附硫化物包裹金, 使得硫化物包裹金的测定值与实际值偏差较大, 无法指导选矿和冶金工业指标的判断和工艺选择^[6-11]。目前国内文献中提到的金物相分析方法适用于金矿石中金呈中粗粒显微金-明金, 且矿石中不含有机质, 尚未发现可应用于富含有机质的卡林型金矿中金赋存状态的化学物相分析方法^[12-21]。基于此, 本文拟利用工艺矿物学参数自动检测仪 (MLA) 查清矿石中的主要载金矿物及金在各类矿物中赋存特征、金粒度大小及在载金矿物中的分布特点, 同时根据卡林型金矿富含有机质及其金赋存特点, 在传统化学物相分析流程的基础上, 针对裸露金、碳酸盐包裹金、硫化物包裹金、硅酸盐包裹金四种物相浸出过程中存在的问题进行改进, 建立了一种能够准确和可靠地应用于此类型矿石中金赋存状态的分析方法。

收稿日期: 2012-09-03; 接受日期: 2012-10-19

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2012CB724202)

作者简介: 苏秀珠, 工程师, 主要从事矿石分离、岩矿鉴定等方面的工作。E-mail: sxz35@126.com。

1 实验部分

1.1 仪器与工作条件

PE 900 原子吸收光谱仪(美国 PerkinElmer 公司),工作条件为:光谱带宽 0.2 mm,灯波长 242.8 nm,灯电流 10 mA。

MLA-650 型工艺矿物学参数自动检测分析仪(澳大利亚 FEI 公司),仪器包括:扫描电镜、能谱、波普及矿物解离度分析软件。

1.2 标准溶液和主要试剂

金标准溶液(国家钢铁材料测试中心钢铁研究院提供)。

碘(分析纯,西陇化工股份有限公司),碘化钾(分析纯,广东光华科技股份有限公司)。

氯化亚锡(分析纯,天津市河东区红岩试剂厂),抗坏血酸(分析纯,西陇化工股份有限公司)。

硝酸、盐酸:均为分析纯(三明市三圆化学试剂有限公司)。

1.3 样品来源及其特点

实验样品来自贵州回龙金矿,该地区金矿石为卡林型金矿,金主要为显微或者超显微状态存在,因火山作用形成大量凝灰级木炭碎片及粉末等同时沉淀下来,较均匀地分布在矿石中,是比较典型的含炭的金矿石。

1.4 实验方法

将矿石样品烘干后磨细至 0.074 mm(湿筛 95% 通过),经充分混匀后备用^[22]。为了明确矿石中各元素组成,对该矿石进行 X 射线荧光光谱分析及多元素化学分析,数据见表 1 和表 2。结合表 1 和表 2 可知,矿石的组成以 Si、O、Ca、Al、Fe、S、Mg、C 等元素为主;Zn、Pb、Cu 等元素含量很低(Pb、Cu 的含量低于 0.005%,对实验影响甚小,故没有做单元素分析);As 含量约 1.12%;有机炭(包括难清除的超细石墨炭)含量高达 1%。

表 1 回龙金矿 X 射线荧光光谱分析数据

Table 1 Chemical composition of Huilong gold ore by XRF

组分	$w_B/\%$	组分	$w_B/\%$	组分	$w_B/\%$
SiO ₂	42.88	Na ₂ O	0.063	Zr	0.017
TiO ₂	1.11	K ₂ O	1.54	Cr	0.012
Al ₂ O ₃	11.53	P ₂ O ₅	0.34	Zn	0.011
Fe ₂ O ₃	10.08	SO ₂	4.15	Rb	0.0057
MnO	0.30	As	1.26	Y	0.0035
CaO	13.44	Sr	0.050		
MgO	4.28	Ba	0.044		

表 2 回龙金矿原矿多元素化学分析数据

Table 2 Analytical results of major and minor elements in Huilong gold ore

组分	$w_B/\%$	组分	$w_B/\%$
Au	0.48×10^{-3}	TCO ₂	24.13
As	1.12	Al ₂ O ₃	6.15
SiO ₂	40.84	TSO ₂	7.28
MgO	5.38	TFe	6.88
有机炭	0.86	CaO	11.92

2 仪器测量结果分析

2.1 回龙金矿石的主要矿物组成及金的赋存状态

为了解矿石中主要矿物组成、解离度以及金在矿石中的赋存状态等详细信息,用工艺矿物学参数自动检测分析仪对样品进行详细分析。通过测定样品的光片得到矿石的矿物组成及含量见表 3。由表 3 可知,贵州回龙金矿中主要金属矿物为黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿等,而黄铜矿、方铅矿含量极低,脉石矿物主要为硅酸盐和碳酸盐类矿物。

表 3 矿石的主要矿物组成及含量

Table 3 Analytical results of mineral constituents and mineral content in Huilong ore

矿物	$w_B/\%$	矿物	$w_B/\%$
金	<0.005	方铅矿	0.0182
黄铁矿	4.4906	脉石矿物(主要为石英、水云母、白云石、木炭碎屑)	94.1542
毒砂	1.0363		
磁黄铁矿	0.1669	合计	100
黄铜矿	0.0099		

为了证明回龙金矿中金是以何种形态赋存于矿石中,运用扫描电镜进行面扫描分析,通过多个光片的检测,未发现可见金。在电镜下确认黄铁矿和毒砂矿物的位置,进行详细的能谱面扫描(EDS)分析。从图 1 和图 2 的 As、Au 和 Fe 元素能谱面扫描结果表明,毒砂分布均匀,未发现可见金;黄铁矿中赋存有少量的毒砂,也未发现可见金。可以说明金是以超显微状态存在于黄铁矿和毒砂中。

贵州回龙金矿属于典型的卡林型金矿,金存在于黄铁矿和毒砂中,其中金在毒砂中的品位高于金在黄铁矿中的品位,这符合黔西南卡林型金矿中 Au 在毒砂与黄铁矿分布规律^[23]。为了进一步确认毒砂和黄铁矿中含金,随机选取光片中的黄铁矿和毒砂矿物进行电子探针分析,分析结果见图 3、图 4 及表 4、表 5。表 4 中数据对应于图 3 中的 001(毒砂)、002(毒砂)、003(黄铁矿)、004(黄铁矿)各点

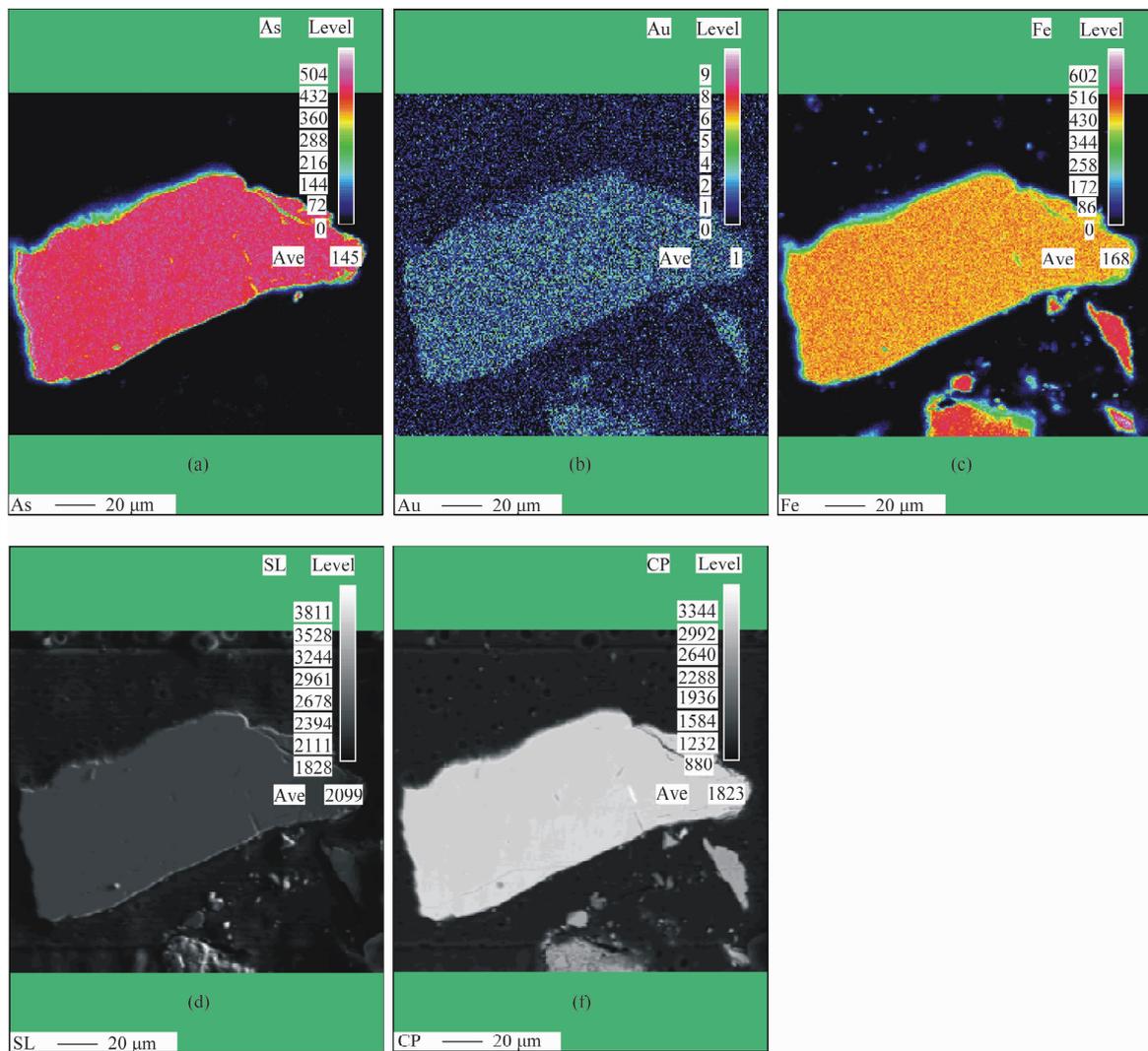


图1 原矿样品中毒砂的能谱面扫描结果

Fig.1 Analytical results of arsenopyrite in raw ore by EDS

(a)—毒砂中 As 元素的能谱面扫描结果; (b)—毒砂中 Au 元素的能谱面扫描结果; (c)—毒砂中 Fe 元素的能谱面扫描结果; (d)—毒砂中二次电子成像图; (e)—毒砂中背散射图。

表4 原矿样品中毒砂和黄铁矿的电子探针分析结果

Table 4 Analytical results of arsenopyrite and pyrite in raw ore by electron microprobe

样品编号	$w_B/\%$			
	As	S	Au	Fe
001(毒砂)	42.82	22.13	0.14	36.12
002(毒砂)	44.57	21.09	0.12	35.78
003(黄铁矿)	0	52.80	0.04	47.17
004(黄铁矿)	0	52.94	0.07	46.18

中 As、S、Au 及 Fe 的含量,数据表明毒砂和黄铁矿中都含有一定含量的金,毒砂中金含量明显高于黄铁矿中含量。表5中数据对应于图4黄铁矿边缘、中部、中心,根据黄铁矿不同位置的测定结果表明,

表5 原矿样品中黄铁矿的电子探针分析结果

Table 5 Analytical results of pyrite in raw ore by electron microprobe

测试位置	$w_B/\%$			
	As	S	Au	Fe
中心	1.956	51.539	0.021	46.427
中心	2.369	51.027	0.030	45.815
中部	4.119	49.158	0	45.648
中部	2.694	50.548	0.043	45.713
中部	3.183	50.203	0.053	45.500
边缘	2.069	51.021	0	46.122

金主要分布在黄铁矿的中心和中部位置,从金的分布情况来看,进一步表明黄铁矿中的金是以超显微颗粒形式存在。

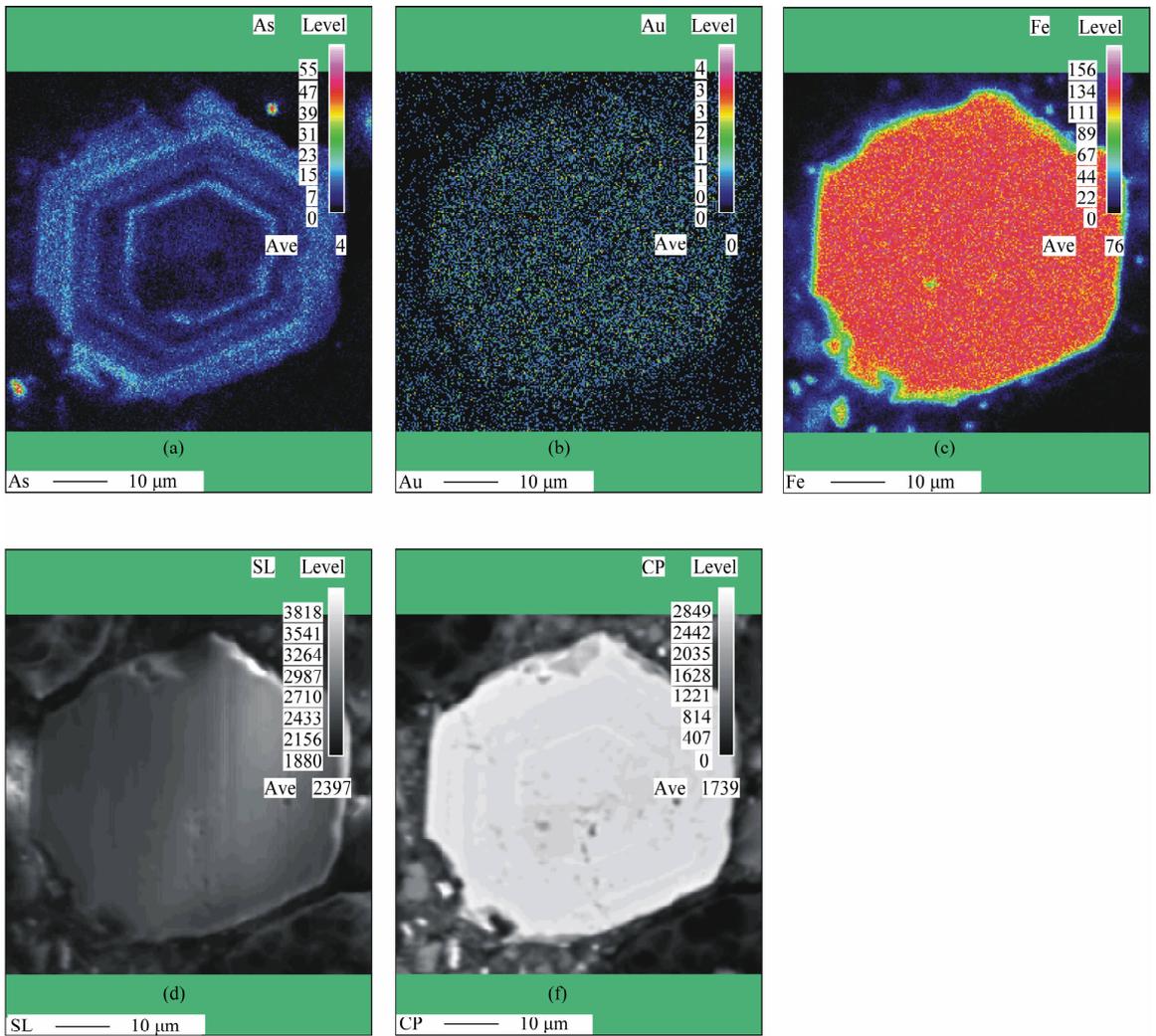


图2 原矿样品中黄铁矿的面扫描结果

Fig.2 Scanning images of pyrite in raw ore by EDS

- (a) — 黄铁矿中 As 元素的能谱面扫描结果;
- (b) — 黄铁矿中 Au 元素的能谱面扫描结果;
- (c) — 黄铁矿中 Fe 元素的能谱面扫描结果;
- (d) — 黄铁矿二次电子成像图;
- (f) — 黄铁矿背散射图。

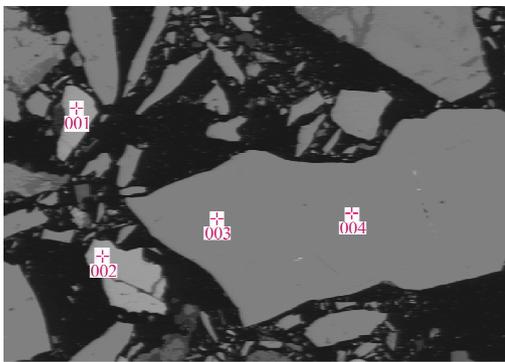


图3 原矿样品中毒砂和黄铁矿的二次电子影像

Fig.3 Secondary electron images of arsenopyrite and pyrite in raw ore

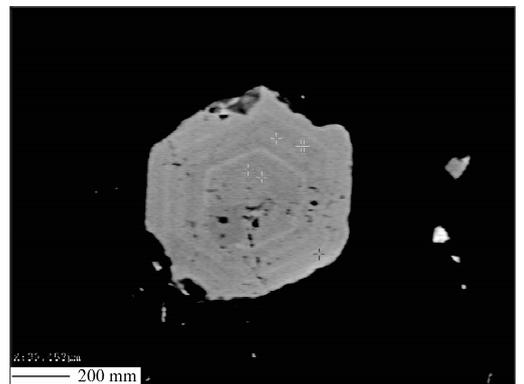


图4 原矿样品中黄铁矿的二次电子影像

Fig.4 Secondary electron images of pyrite in raw ore

2.2 回龙金矿石中载金黄铁矿和毒砂嵌布特征和解离情况

如前面的实验表明,金主要存在于黄铁矿和毒砂中,进一步弄清载金黄铁矿和毒砂的粒度大小、嵌布特征和解离情况十分重要。MLA 仪器分析获得黄铁矿的嵌布特征见图 5,黄铁矿的解离情况见图 6。图 5 和图 6 表明原矿中黄铁矿的最大粒度为几十微米,最小达几微米。大部分黄铁矿以不规则粒状分布。解离的黄铁矿约占 66%,其他部分的黄铁矿被稀疏包裹,与黄铁矿连生或包裹的矿物主要为碳酸盐、石英、毒砂等。

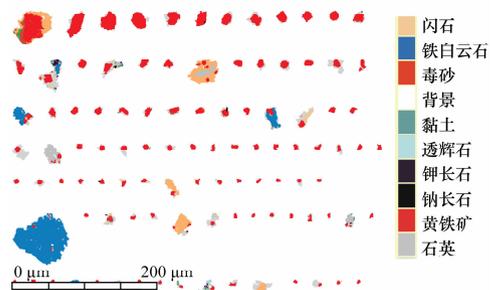


图 5 黄铁矿的嵌布特征

Fig. 5 Dissemination characteristics of pyrite in raw ore

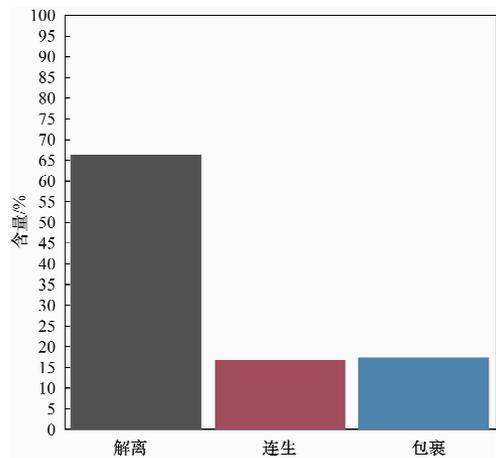


图 6 黄铁矿的解离情况

Fig. 6 Dissociation of pyrite in raw ore

MLA 仪器分析获得毒砂的嵌布特征见图 7,毒砂的解离情况见图 8。图 7 和图 8 表明原矿中毒砂的最大粒度为二十几微米,最小颗粒的粒度为几微米。毒砂主要以不规则粒状分布,解离的毒砂仅有 30%,大部分毒砂被稀疏包裹,与碳酸盐、石英、黏土等矿物连生或包裹。

原矿中的金除了和黄铁矿和毒砂中,还有少量

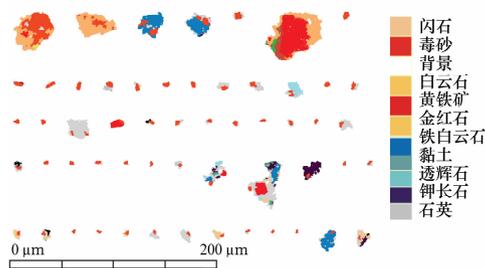


图 7 毒砂的嵌布特征

Fig. 7 Dissemination characteristics of arsenopyrite in raw ore

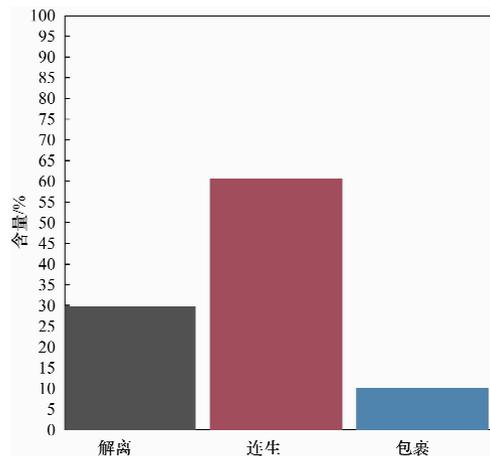


图 8 毒砂的解离情况

Fig. 8 Dissociation of arsenopyrite in raw ore

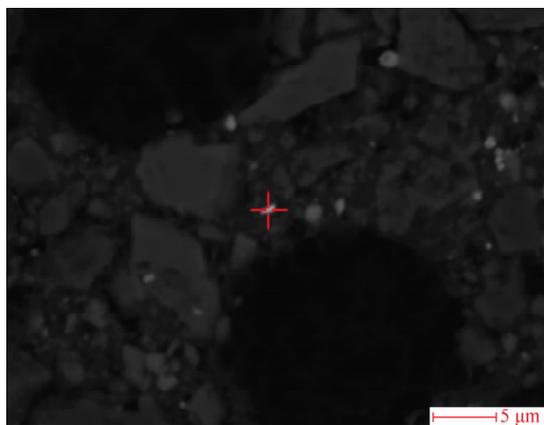
的金被脉石矿物包裹,粒度约为 1 μm,Au 中包裹一定量的 Ag。图 9 为金颗粒的能谱数据,其中 Au、Ag、Fe、Ca、Mg、Al、Si、O 元素含量分别为 56.22%、11.41%、1.87%、2.96%、1.10%、1.80%、5.21%、19.43%,这是因为金颗粒小于电子束直径,导致金颗粒周围的脉石矿物成分也被检出。

综合 MLA 分析仪中扫描电镜分析、能谱面扫描检测数据,可以得到以下结论。

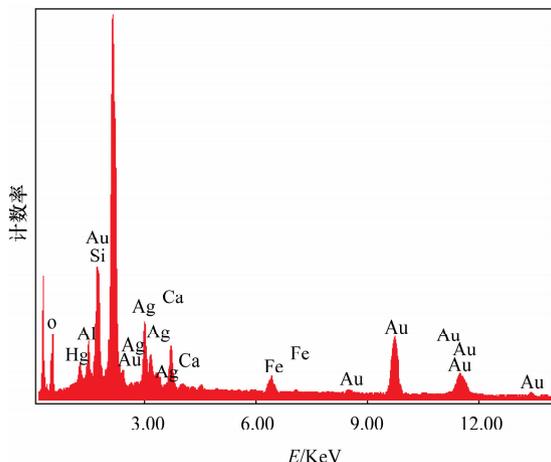
(1) 矿石中主要载金矿物为黄铁矿和毒砂,少量的金被脉石等其他矿石包裹。

(2) 主要载金矿物的嵌布特征及解离特征是:解离的黄铁矿占 66%,未解离的黄铁矿被稀疏包裹,主要与碳酸盐、石英、毒砂等矿物连生或包裹;解离的毒砂仅有 30%,与碳酸盐、石英、黏土等矿物连生或包裹。

通过 MLA 仪器查清了矿石中主要矿物的组成和金的赋存特点,有利于指导化学法金物相分析流程的设计和分相药剂的选择,以便能快速地制定可靠准确的分相方案。



(a) 光片中的金颗粒位置



(b) 光片中金矿物的 X 射线能谱数据

图9 原矿样品中金和脉石矿物的 EDS 分析

Fig. 9 EDS analysis of gold and gangue minerals in raw ore

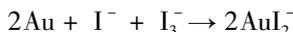
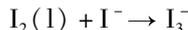
3 金矿石的物相分析

通常,选矿和冶金试验过程中只需考察金矿石中裸露金、碳酸盐包裹金、硫化物包裹金及硅酸盐包裹金的含量,以上四相准确的含量可作为试验设计和工艺优化的依据。故需着重研究如何准确测定以上四相金含量的分相方法。

金的浸出剂有很多,但不同溶剂溶解金所需的时间差别较大,如 $I_2 - KI$ 约 1 h, $I_2 - NH_4I$ 约 3 h, 硫脲约 3 ~ 4 h, 氰化钠约 24 h。且每种试剂都有各自局限性,如 $I_2 - KI$ 不适合用于含方铅矿、铁闪锌矿和闪锌矿矿石中裸露金的测定; $I_2 - NH_4I$ 溶液能溶解更多的硫化物;硫脲对次生硫化铜在含 Fe^{3+} 酸性条件下能大量溶解,其他硫化物也能定量溶解;氰化液浸出时次生硫化铜几乎全部溶解。卡林型金矿石中的方铅矿、铁闪锌矿和闪锌矿含量很低, $I_2 - KI$ 溶剂在分相过程不会产生严重串相问题,且具有溶剂

浸出时间最短、环境污染较小等特点。综合考虑矿石性质,本文采用 $I_2 - KI$ 溶剂来作为金的浸取剂是科学合理的^[24-25]。

$I_2 - KI$ 法利用的原理是在卤素元素中, AuI_2^- 络离子在水溶液中最稳定,碘能以较低的浓度从矿石中浸出金。其溶解的化学过程表达为:



3.1 传统的碘-碘化钾分相方法

矿石分析行业通常采用 $I_2 - KI$ 法进行金矿石中的金赋存状态分析,该法比较适用于金主要呈中粗粒显微金-明金产出且不含有有机炭的金矿石。传统的 $I_2 - KI$ 分析流程^[26] 见图 10。

卡林型金矿多数情况下都富含有机质,有机质会吸附硫化物包裹金,将传统方法应用于卡林型金矿石,无法避免有机炭吸附以及硫化物包裹金浸出不完全等问题。

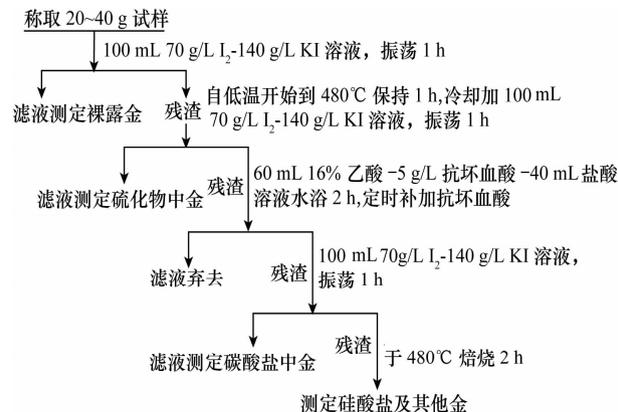


图 10 传统的碘-碘化钾物相分析流程

Fig. 10 Traditional phase analysis process with iodine-potassium iodide

3.2 改进的碘-碘化钾分相方法

为了克服有机炭在分相过程中对浸出金的吸附,保证各相的准确性,本文在传统的 $I_2 - KI$ 分相流程的基础上,提出以下两点改进工艺。

(1) 在裸露金及碳酸盐包裹金浸出过程中加入经过多次打磨的硬木制活性炭。

加入的活性炭吸附浸出液中的金,利用竞争吸附原理,抑制有机炭对金的吸附。改进的工艺增加了活性炭,大量的活性炭吸附,降低有机炭对分相的影响。

(2) 根据矿石中金的分布特点,调整硫化物包裹金和碳酸盐包裹金的浸出顺序。

碳酸盐包裹了部分的硫化物,为了将碳酸盐中包裹的硫化物充分释放出来,将易处理的碳酸盐提前浸出,使硫化物更加充分暴露,硫化物包裹金完全浸出。

改进的 I₂-KI 分析流程见图 11。

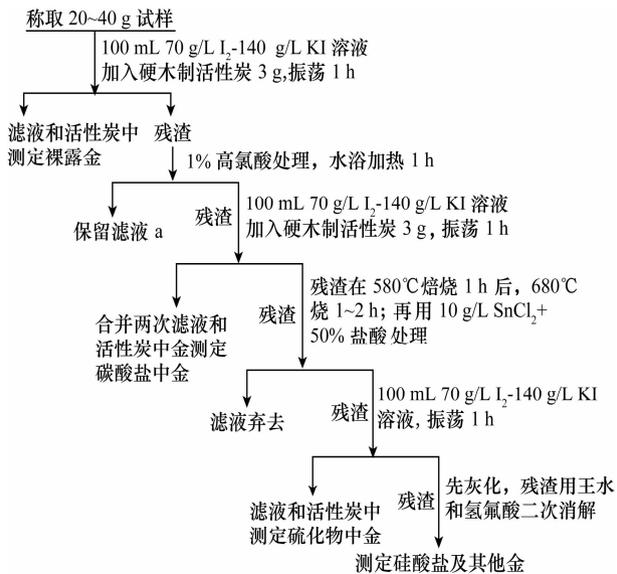


图 11 改进的碘-碘化钾物相分析流程

Fig. 11 Improved phase analysis process with iodine-potassium iodide

3.3 矿石中有机炭和石墨炭存在对物相分析的影响

活性炭具有像石墨晶粒却无规则地排列的微晶,微晶间会产生形状不同、大小不一的孔隙,微孔是决定活性炭吸附性能的重要因素,有些大分子大于微孔直径则无法被吸附。为了考察矿石中的有机炭和石墨炭对金物相裸露金及碳酸盐包裹金分相浸出液中的离子金是否有吸附,分别应用传统的和改进的物相分析方法进行试验,观察加入活性炭与未加入活性炭对各相包裹金含量影响情况,进而考察矿石中的有机炭和石墨炭对各相包裹金测定的影响。

3.3.1 有机炭对传统分析流程的影响

为了考察有机炭的吸附影响,按照传统方法分相流程,设计两组对比试验。称取 30 g 回龙金矿样于锥形瓶中,其中一瓶不加活性炭,另一瓶样品中加活性炭,按照工艺流程(图 10)开展试验,测定各相的数据见表 6。从表 6 的数据可以得出,相同条件下,加入活性炭的裸露金含量较未加活性炭的含量稍提高,硫化物包裹金含量略降低,原因在于活性炭吸附的少量金没有串相进入硫化物包裹金中,使得

硫化物包裹金更接近真实值。矿石中金主要存在于硫化物中,所得各相包裹金的含量从大到小为:硫化物包裹金 > 碳酸盐包裹金 > 硅酸盐包裹金 > 裸露金。是否加入活性炭对该流程影响程度不是很大,但加与不加活性炭所测得的硫化物包裹金含量测定结果与该矿选矿中试验一段浮选硫精矿中金含量达 86% 的结果相矛盾,表明传统方法测得的硫化物包裹金与其实际值偏差较大。

表 6 传统的碘-碘化钾物相分析流程测定的数据

Table 6 Analytical results of traditional process chart with iodine-potassium iodide

物相	金含量 $w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$		分配率/%	
	未加活性炭	加活性炭	未加活性炭	加活性炭
裸露金	<0.05	0.07	<1.05	1.46
碳酸盐包裹金	0.92	0.93	19.41	19.42
硫化物包裹金	3.38	3.36	71.31	70.15
硅酸盐包裹金	0.42	0.43	8.86	8.98
金各相含量	4.77	4.79	100.00	100.00
总金	4.81	4.81	-	-

注:由于仪器精度问题,数据前有“<”符合表示预估值,包括仪器波动的影响;总金含量是按照国家标准方法 GB/T 20899.1—2007 进行分析测定。

3.3.2 有机炭对改进分析流程的影响

称取 30 g 回龙金矿样品于锥形瓶中,其中一瓶不加活性炭,另一瓶加入活性炭,按照图 11 改进的工艺流程开展试验,所得数据见表 7。从表 7 的数据可以得出,相同条件下,加入活性炭的裸露金测定值较未加活性炭的测定值稍高,而硫化物包裹金的测定值低于未加活性炭的测定值。原因可能是对于未加活性炭的矿石,由于在裸露金和碳酸盐包裹金浸出时,矿石中含有的有机炭吸附的溶解金全部进入了硫化物包裹金,从而使硫化物包裹金含量略高于其实际值。对于有机炭含量在 1% 左右的卡林型金矿物相分析,是否加入活性炭对该流程中裸露金、碳酸盐包裹金和硫化物包裹金各相含量准确测定有一定的影响,但是影响很小,数据影响范围在行业标准允许范围内。

通过传统的和改进的物相分析实验表明,活性炭的加入对各相包裹金含量测定影响不大,由活性炭存在导致的各相包裹金含量变化范围在行业标准允许范围内,说明在对含有机炭(1%左右)金矿石进行物相分析时,活性炭的吸附影响可以忽略不计,且硫化物包裹金的测定值更加准确。

3.4 硫化物和碳酸盐包裹金的浸出顺序调整对物相分析的影响

将表6和表7的数据进行对比,应用传统方法测定的硫化物包裹金含量为71.3%,而应用改进方法测定的硫化物包裹金含量提高至84.17%。在改进的方法中,碳酸盐提前浸出,将碳酸盐中包裹的部分硫化物充分释放出来,提高了硫化物解离度,有利于在测定硫化物包裹金时,将硫化物焙烧充分;其后经酸处理更加彻底,进而使硫化物包裹金浸出更加完全。硅酸盐包裹金含量大大降低,仅为3.13%。各相金含量大小趋势仍然是:硫化物包裹金 > 碳酸盐包裹金 > 硅酸盐包裹金 > 裸露金。

表7 改进的碘-碘化钾物相分析流程测定的数据

Table 7 Analytical results of improved process chart with iodine-potassium iodide

物相	金含量 $w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$		分配率/%	
	未加活性炭	加活性炭	未加活性炭	加活性炭
裸露金	<0.04	<0.06	<0.84	<1.25
碳酸盐包裹金	0.49	0.55	10.23	11.46
硫化物包裹金	4.11	4.04	85.80	84.17
硅酸盐包裹金	0.15	0.15	3.13	3.13
金各相含量	4.79	4.80	100.00	100.00
总金	4.81	4.81		

改进方法测定的数据表明金主要赋存于硫化物中,与MLA分析仪测得的主要载金矿物为硫化物、少量包裹在硅酸盐中的结果相吻合。此外,改进方法测定的硫化物包裹金含量与该矿的选矿中试验一段浮选硫精矿中金含量达86%的试验结果一致。通过将硫化物和碳酸盐包裹金的浸出顺序调整,硫化物包裹金测定值更加接近选矿结果。

4 结语

应用传统物相分析方法分析卡林型金矿石中各相包裹金的含量时,硫化物包裹金的测定值与实际值相比相差很大,难以满足选冶试验要求。本文应用MLA仪器对卡林型金矿中金赋存状态进行初步分析,测得金呈显微或者超显微状态被包裹于黄铁矿、毒砂等主要载金矿物中,其中黄铁矿约66%完全解离,少量与碳酸盐、石英、毒砂等矿物连生或包裹;毒砂仅有30%解离,大部分与碳酸盐、石英、黏土等矿物连生或包裹。

结合矿石中金赋存特点,本文对传统物相分析流程进行改进。首先通过在传统方法浸出过程中加入活性炭竞争吸附试验,验证了含有机炭(1%左

右)金矿石进行物相分析时,活性炭的吸附影响可以忽略不计。其次将碳酸盐提前处理,将硫化物完全破坏,保证硫化物包裹金含量能够准确测定。

应用改进的物相分析方法能够准确测定卡林型金矿各相包裹金的含量。但是,难以应用于卡林型金矿石的冶金过程产品,因为在冶金过程中随着矿石浸出,有机炭不断地累积(炭的含量可达10%~30%)并吸附金。因此,在分析高含量有机炭的冶金中间产品时,如何消除高有机炭在物相分析中的影响,并准确测定有机炭中吸附金含量是一个难点,将来需要进一步开展冶金中间产品的物相分析方法研究,这对于冶金工艺优化和评价具有重要作用。

5 参考文献

- [1] 岩石矿物分析编委会. 岩石矿物分析(第四版 第三分册)[M]. 北京:地质出版社,2011: 651-655.
- [2] 丁秘枣,牛洪联. 金化学物相分析现状及浅析[J]. 内蒙古石油化工,2010(4): 19-20.
- [3] 王峰,郭茂生,王凯,周红,叶青,余侃萍. 金矿石化学物相分析标准物质的研制[J]. 岩矿测试,2006, 25(3): 263-269.
- [4] Coetzee L L, Theron S J, Martin G J, Merwe J D, Stanek T A. Modern gold departments and its application to industry [J]. *Minerals Engineering*, 2011, 24(6): 565-575.
- [5] 陈先兵. 卡林型金矿地质地球化学特征及成因综述[J]. 黄金地质,1996,2(2): 73-78.
- [6] Torres V M, Chaves A P, Meech J A. Process design for gold ores: A diagnostic approach [J]. *Minerals Engineering*,1999, 12(3): 245-254.
- [7] Gieré R, Sidenko N V, Lazareva V. The role of secondary minerals in controlling the migration of arsenic and metals from high-sulfide wastes (Berikul gold mine, Siberia) [J]. *Applied Geochemistry*,2003,18(9): 1347-1359.
- [8] Goodall W R, Scales P J, Ryan C G. Applications of PIXE and diagnostic leaching in the characterisation of complex gold ores [J]. *Minerals Engineering*, 2005,18(10): 1010-1019.
- [9] 杨磊,杜银珠. 某矿铜铅锌多金属硫化物矿石中伴生金的赋存状态研究[J]. 矿冶,2002,7(11): 195-196.
- [10] 郑大中,郑若峰. 矿石中金的化学物相分析新方法[J]. 黄金,1993,14(3): 55-60.
- [11] 徐长跃,邹海峰,田莉玉. 高砷高硫金矿石中金的相态分析方法[J]. 世界地质,2003,22(2): 205-207.
- [12] Steger H F. Chemical phase-analysis of ores and rocks: A review of methods[J]. *Talanta*,1976,23(2): 81-87.

- [13] Steger H F, Desjardins L E. Oxidation of sulphide minerals. III. Determination of sulphate and thiosulphate in oxidised sulphide minerals [J]. *Talanta*, 1977, 24(11): 675 - 679.
- [14] 卢宜源, 宾万达. 贵金属冶金学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2011: 15 - 155.
- [15] Saba M, Yousefi A M, Rashchi F, Moghaddam J. Diagnostic pre-treatment procedure for simultaneous cyanide leaching of gold and silver from a refractory gold/silver ore [J]. *Minerals Engineering*, 2011, 24(15): 1703 - 1709.
- [16] 郑大中, 郑若峰. 矿石中金的化学物相分析新方法[J]. 黄金, 1993, 14(3): 55 - 60.
- [17] 唐肖玫, 姚敬劬. 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.
- [18] Goodall W R, Scales P J, Butcher A R. The use of QEMSCAN and diagnostic leaching in the characterisation of visible gold in complex ores [J]. *Minerals Engineering*, 2005, 18(8): 877 - 886.
- [19] Teague A J, Swaminathan C, van Deventer J S J. The behavior of gold bearing minerals during froth flotation as determined by diagnostic leaching [J]. *Minerals Engineering*, 1998, 11(6): 523 - 533.
- [20] 徐长跃, 邹海峰, 田莉玉. 高砷高硫金矿石中金的相态分析方法[J]. 世界地质, 2003, 22(2): 205 - 207.
- [21] 赵德年. 金矿样品加工讨论[J]. 岩矿测试, 1993, 12(1): 68 - 70.
- [22] 韦鹏翔. 浅析桂西卡林型金矿的成矿规律及矿石特征[J]. 中国科技博览, 2011(31): 428.
- [23] Lorenzen L. Some guidelines to the design of a diagnostic leaching experiment [J]. *Minerals Engineering*, 1995, 8(3): 247 - 256.
- [24] Stegbr H F, Desjardins L E. Oxidation of sulfide minerals. V. Galena, sphalerite and chalcocite [J]. *Canadian Mineralogist*, 1980, 18: 365 - 372.
- [25] 有色金属工业分析丛书编辑委员会. 矿石和工业产品化学物相分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992: 55 - 60.

New Analysis Method for Gold Occurrence in Carlin-type Gold Ore

SU Xiu-zhu, HUANG Zhi-hua, ZHONG Shui-ping, XU Tao, LIAO Zhan-pi, HUANG Li-juan

(State Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Low Grade Refractory Gold Ores,

Zijin Mining Group Co., LTD, Shanghang 364200, China)

Abstract: Gold exists in the form of micro-super micro dispersed states in Carlin-type gold ores, which is in the form of rich organic matter. The gold occurrence state cannot be analyzed accurately or at best, can be roughly estimated by using the Mineral Liberation Analyzer (MLA) and the traditional chemistry method. In this study, carlin-type gold ore in Guizhou Huilong was analyzed systematically using MLA, and the results show that micro-super micro gold was mainly embedded in pyrite and arsenopyrite, and less was embedded in gangue minerals and other minerals. The separation degree of pyrite and arsenopyrite were 66% and 30% in minerals, respectively. As gold-bearing minerals are attached or embedded in other minerals, the separation of gold-bearing sulfides (GBS) is more difficult. The leaching orders regarding free gold (FG), gold-bearing carbonates (GBC), gold-bearing sulfides (GBS) and silicates (GBSi) were sequenced on the basis of the tradition method, gold occurrence state and high content of organic matter characteristics of Guizhou Huilong gold ore. Furthermore, according to the high content of organic matter in this deposit, the activated carbon was added in the process of leaching FG and GBC to restrain the adsorption to gold by organic carbon. The comparative studies between traditional methods (TM) and modified methods (MM) show that there is only a small effect on the detected value after adding activated carbon into the gold ores which contain about 1% of organic carbon. In MM, gold-bearing carbonates were leached prior to gold-bearing sulfides; results of every phase data were more accurate than those of TM. Along with the addition of activated carbon in MM, the contents of FG, GBS, GBC, GBSi in Guizhou Huilong gold ore were 1.25%, 84.17%, 11.46% and 3.13%, respectively, which was consistent with the results of processing experiments. This indicates that MM can be applied to analyze precisely the occurrence states of gold in carlin-type gold ores.

Key words: Carlin-type gold ore; iodine-potassium iodine; phase analysis; activated carbon