

湘黔地区“卡林型”金矿中金的赋存形式

朱 恺 军

(冶金部天津地质研究院, 天津 300061)

张 景 荣

(南京大学地球科学系, 南京 210008)

主题词 金矿石 化学物相分析 包裹金 “卡林型”金矿

提 要 对矿石的化学物相分析结果表明, 湖南—贵州一带“卡林型”金矿原生矿石中的金主要呈微粒状单质金被包裹于硫化物及以绢云母为主的粘土矿物中, 反映了金的矿化作用与黄铁矿化和绢云母化等是同时发生的。不同的“卡林型”金矿床之间, 由于形成的物理化学条件的差异, 其主要载金矿物的种类也不相同。表生氧化带中, 载金矿物硫化物和绢云母发生了氧化和分解作用, 使矿石中的大部分金转化为游离态形式存在, 提高了矿石的可选性。

1 前言

自从70年代末在贵州南部发现了我国第一例“卡林型”金矿床后, 在过去十多年时间里, 沿扬子地块周边地区相继发现了多处“卡林型”金矿床, 如贵州的丫他、戈塘、烂泥沟、紫木垭, 广西的高龙、金牙, 湖南的高家坳、石峡, 四川的东北寨、丘洛, 陕西的李家沟、二台子等, 其中不乏大中型金矿床。“卡林型”金矿床都有一个共同特征: 矿石中的金主要呈不可见金的形式存在, 凭肉眼或普通显微镜很难在矿石中找到自然金颗粒。国外在70年代初采用电子探针技术对这类金矿的原生矿石中金的存在形式作了研究^[1,2], 但由于当时该技术分辨率低, 不能直接对矿石中的金颗粒进行分析, 只能通过间接的方法来推测矿石中金的分布特征。80年代末期, 高分辨率的透射分析电镜被应用到地质领域, 在镜下可以直接观察到粒径小于200 Å的矿物颗粒, 对“卡林型”金矿原生矿石研究表明: 矿石中金主要呈50—1000 Å大小的细粒单矿物金被包裹于黄铁矿中或与绢云母集合体共生, 黄铁矿表面没有富金层存在^[3]。我国对“卡林型”金矿的研究工作始于80年代, 对这类矿床中金的赋存状态研究主要采用化学物相分析方法, 同时, 辅以电子探针技术^[4,5]。实验结果反映了我国某些“卡林型”金矿原生矿石中的金也主要呈微粒状单质金被包裹于黄铁矿和粘土矿物中。化学物相分析虽不能提供人们直接观察矿物中的包裹金, 但这一方法可以对矿石中不同类型矿物及其包裹金进行选择性的溶解, 从而具有一定的统计意义。本文通过化学物相分析方法, 对湖南、贵州一带一些“卡林型”金矿中金的赋存状态进行了研究, 并分析了赋存特征与矿床形成过

本文于1992年9月7日收到, 1993年10月9日改回。

程中物理化学条件的内在联系。

2 地质概况

在湖南和贵州一带有两种产状明显不同的“卡林型”金矿床：一种是呈透镜状、似层状产于不同时代的古岩溶面上（图 1），如贵州的戈塘金矿、板其金矿和湖南的石峡金矿；另一种金矿床则主要受短轴背斜或穹窿上的断裂控制，矿体呈板状、透镜状分布于断裂带中（图 2），如贵州的紫木函金矿、丫他金矿、烂泥沟金矿和湖南的高家坳金矿等。前一种金矿床，笔者称之为戈塘式金矿，后一种则称之为紫木函式金矿。

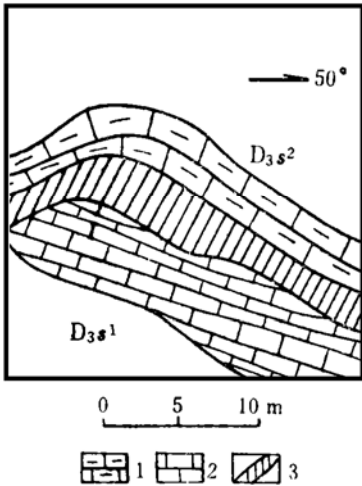


图 1 石峡金矿地质剖面图
(据湖南地矿局)

1—泥灰岩；2—灰岩；3—金矿体； D_{3s1} —余田桥组第一段； D_{3s2} —余田桥组第二段

Fig. 1 Geological section of the Shixia gold deposit

1—Marl; 2—Limestone; 3—Gold orebody;
 D_{3s1} —First Member of Shetianguqiao Formation; D_{3s2} —Second Member of Shetianguqiao Formation

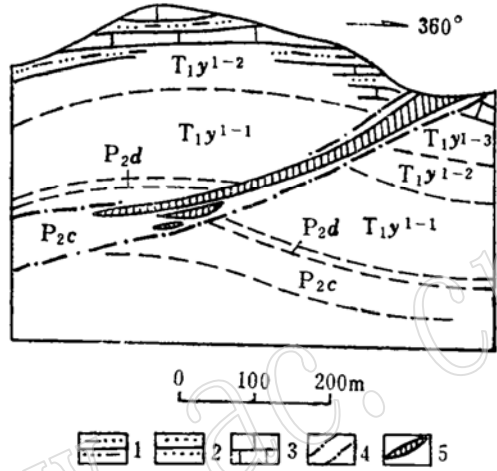


图 2 紫木函金矿地质剖面图
(据贵州 105 队资料)

1—粉砂质粘土岩；2—粉砂岩；3—灰岩；4—蚀变带
界线；5—金矿体； T_{1y1} —夜郎组第一段； P_{2d} —大隆组；
 P_{2c} —长兴组

Fig. 2 Geological section of the Zimudan gold deposit

1—Silty mudstone; 2—Siltstone; 3—Limestone;
4—Boundary of the alteration zone; 5—Orebody;
 T_{1y1} —First Member of Yelang Formation; P_{2d} —
Dalong Formation; P_{2c} —Changxing Formation

笔者选择了贵州紫木函金矿、湖南高家坳金矿和贵州戈塘金矿三个矿区作为上述两种不同产状类型金矿的典型代表。这三个金矿区的赋矿围岩岩性各不相同，紫木函金矿的赋矿围岩为下三叠统夜郎组 (T_{1y}) 泥灰岩和钙质泥岩；高家坳金矿赋矿围岩主要为中泥盆统半山组 (D_2b) 泥质粉砂岩；戈塘金矿床的赋矿围岩为上二叠统龙潭组 (P_2l) 底部含碳硅质砾岩。在这三个金矿区中与金矿化有关的蚀变作用皆为一些典型的中低温热液蚀变作用，主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化和毒砂化等。碳酸盐化虽在各金矿区普遍存在，但一般属矿化期后蚀变产物，与金矿化关系不大。热液蚀变矿物石英、绢云母、硫化物等呈细脉浸染状分

布于金矿石中。原生金矿石主要呈各种致密块状、角砾状产出。

在湖南、贵州一带的“卡林型”金矿中都发育有表生氧化带，与原生矿石相比，氧化矿石在矿物成分和化学成分上发生了较大的变化，黄铁矿等硫化物氧化成针铁矿、褐铁矿等铁氧化物（表1）；矿石中易溶组分Ca、Mg发生淋失，而难溶组分Si、Al则发生明显富集（表2）。由于矿物成分和化学成分的改变，氧化矿石的结构构造也发生了很大的变化，在

表1 不同金矿床中矿石的矿物组成

Table 1 Mineral composition of ores from different gold deposits

	戈塘金矿		紫木函金矿		高家坳金矿	
	原生矿石	氧化矿石	原生矿石	氧化矿石	原生矿石	氧化矿石
铁氧化物		褐铁矿 针铁矿		褐铁矿 针铁矿		褐铁矿 针铁矿
碳酸盐	方解石、菱铁矿		方解石、白云石	方解石 白云石		
硫化物	黄铁矿、磁黄铁矿、 辉锑矿、黄铜矿、毒 砂等		黄铁矿、白铁矿、 雄黄、雌黄、毒砂、 黄铜矿等		黄铁矿、黄铜矿、 毒砂、辉锑矿、方 铅矿、闪锌矿	
石英及硅 酸盐矿物	石英、绢云母、高 岭石	石英、绢云 母、高岭石	绢云母、高岭石、 石英	绢云母、高 岭石、石英	石英、绢云母、 绿帘石、电气石	石英 绢云母
其它	重晶石、萤石、磷 灰石	重晶石、 黄钾铁矾	重晶石	黄钾铁矾	重晶石	重晶石
自然元素	自然金、石墨	自然金	自然金	自然金	自然金	自然金

表2 不同金矿床中矿石的岩石化学组成

Table 2 Chemical composition of ores from different gold deposits

矿区	矿石	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Loss
戈塘	原生矿石	Y63	66.07	1.19	10.49	7.55	0.02	0.29	3.45	0.50	1.32	0.09	6.55
		Y66	79.74	0.45	3.88	8.94	0.07	0.14	1.02	0.14	0.32	0.03	2.58
		Y71	69.82	0.67	5.84	5.34	0.03	0.15	6.24	0.25	0.46	0.04	6.43
	氧化矿石	Y96	86.59	0.50	7.34	2.53	0.02	0.09	0.15	0.20	0.53	0.04	2.18
		Y117	79.40	0.05	2.45	10.39	0.02	0.06	0.10	0.02	0.01	0.01	1.81
高家坳	原生矿石	A9	76.27	0.60	8.61	5.80	0.01	0.26	0.14	0.06	1.87	0.02	4.13
		E4	70.84	0.86	9.45	7.45	0.01	0.27	0.12	0.10	2.10	0.03	6.49
	氧化矿石	E5	78.65	0.95	11.11	3.37	0.01	0.29	0.16	0.13	3.06	0.02	1.58
紫木函	原生矿石	X70-A	21.35	1.10	5.00	3.60	0.76	1.22	34.90	0.14	1.44	0.41	29.35
		X91	30.04	1.52	9.03	4.73	0.11	2.09	26.97	0.08	1.57	0.28	19.92
	氧化矿石	X67	49.48	3.76	20.93	15.18	0.04	0.91	0.18	0.03	4.70	0.23	5.00

测试者：南京大学现代分析中心

紫木垭矿区，由于碳酸盐矿物的淋失，氧化矿石呈松散的泥土产出；在戈塘矿区，由于黄铁矿的氧化和钙质、泥质成分的淋失，氧化矿石呈褐黄色多孔状含金石英岩产出。笔者分别采集了上述三个矿区的原生矿石和氧化矿石进行了金的化学物相研究工作。其中Y 63、Y 66、Y 71 是采自戈塘金矿一钻孔中的三个原生矿石样，Y 96、Y 117 则是采自戈塘矿区一露天采场的氧化矿石样；A 9、E 4是采自高家坳矿区4号矿体风化残留的原生矿石样，E 5是采自高家坳矿区4号矿体的表生氧化矿石样；X 70-A、X 91 是紫木垭金矿地质人员给笔者的原生矿石样，X 67是采自紫木垭矿区2号矿体露天采场的表生氧化矿石样。

3 矿石中金的化学物相分析

金的化学物相分析是通过选用不同的化学溶剂，有选择地溶解矿石中的载金矿物，并对不同矿物中释放出来的金分别进行测试，从而确定矿石中金的赋存形式。

根据矿物溶解性质的不同，可将表1中的矿物分成四大类：（1）可溶于稀盐酸中的碳酸盐类和铁的次生氧化物；（2）可溶于稀硝酸中的硫化物；（3）可溶于氢氟酸的石英、绢

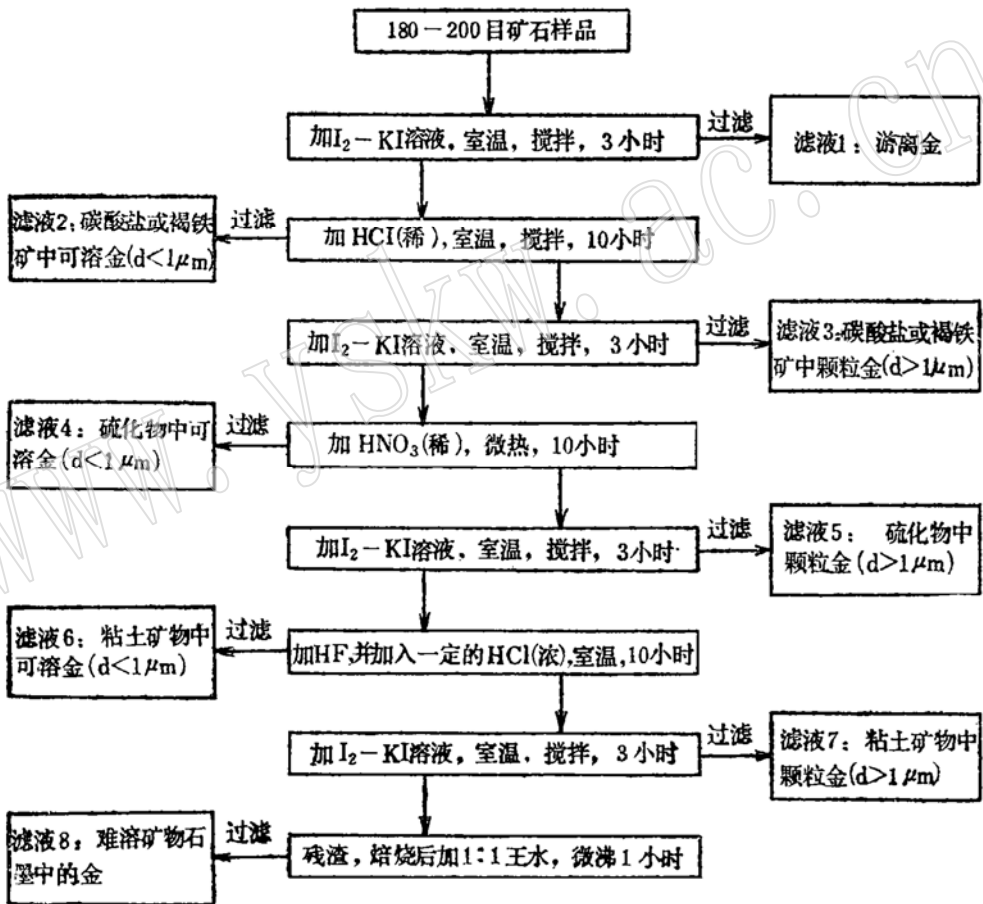


图3 矿石中金的化学物相分析流程图

Fig. 3 Flow chart of chemical phase analysis of gold in ore

云母等硅酸盐矿物；(4) 难溶矿物，如：石墨、重晶石、萤石等。当各种载金矿物发生分解时，其中的包裹金也随之释放出来，而存在于矿物裂隙中的游离态金可溶于 $I_2 + KI$ 溶液 (7% $I_2 + 15\% KI + 78\% H_2O$) 中。

实验过程中含金溶液的过滤用的是定量滤纸，一般滤纸的孔径为 $1\mu m$ ，因此，矿物中包裹金根据其粒径大小可分成两类：一类粒径 $d < 1\mu m$ ，可随酸液透过滤纸，称可溶金；另一类粒径 $d > 1\mu m$ ，不能随酸液透过滤纸，必须用 $I_2 + KI$ 溶液再次溶解，称之为颗粒金。实验流程见图 3。滤液 2 和 3 在原生矿石和表生氧化矿石中代表的意义不同，在原生矿石中一般不存在铁的氧化物，因而它们代表了碳酸盐中的包裹金；而在氧化矿石中则代表了碳酸盐和铁的氧化物中的包裹金，但由于碳酸盐中含金量极低，因而在氧化矿石中，滤液 2 和 3 基本代表了铁的氧化物中的包裹金。滤液 6 和 7 应为包裹在石英和各种硅酸盐矿物中的包裹金，但由于矿石中石英含金甚微^[4,5]，因而，可将滤液 6 和 7 近似作为绢云母等粘土矿物中的包裹金。现将各金矿区中原生矿石和氧化矿石的金赋存特征分别列于表 3 和表 4 中。

表 3 原生矿石中金的化学物相分析结果

Table 3 Results of chemical phase analysis of gold in primary ore

矿 区	样 号	游离金 (μg)	包 裹 金 (μg)						残 渣
			碳酸盐中		硫化物中		粘土矿物中		
			可溶金 ($<1\mu m$)	颗粒金 ($>1\mu m$)	可溶金 ($<1\mu m$)	颗粒金 ($>1\mu m$)	可溶金 ($<1\mu m$)	颗粒金 ($>1\mu m$)	
戈 塘	Y 63	0.03	0.00	0.00	0.00	2.00	0.02	1.60	0.50
	Y 66	0.15	0.00	0.01	0.01	1.50	0.02	1.50	0.12
	Y 71	0.12	0.00	0.01	0.29	0.74	0.06	0.48	0.72
紫 木 岗	X 70-A	0.48	0.00	0.03	30.00	2.50	0.19	0.58	0.13
	X 91	0.06	0.00	0.04	25.00	2.50	0.38	2.30	1.35
高 家 坳	A 9	0.11	0.00	0.09	3.00	2.00	0.11	0.01	0.11
	F 4	0.62	0.00	0.18	30.00	2.50	0.22	0.07	0.17
百 分 比	戈 塘	3.04	0.20		3.04	42.91	1.01	36.23	13.56
	紫木岗	0.82	0.11		83.92	7.63	0.87	4.39	2.26
	高家坳	1.86	0.69		84.21	11.48	0.84	0.20	0.71

测试者：笔者、华东有色勘察局化学分析室

4 讨论和结论

(1) 金的化学物相实验结果表明：湖南、贵州一带的“卡林型”金矿原生矿石中呈游离态形式存在的金（滤液 1）含量很低，在矿石的总金量中所占比例都小于 5%（表 3），金主要呈微粒状包裹于硫化物和粘土矿物中。金与硫化物和粘土矿物的这种密切伴生关系，反映了金的沉淀是与硫化物的沉淀及粘土矿物的重结晶同时发生的^[3]。这种共沉淀现象在现代热泉系统中可以直接观察到，新西兰的布罗德兰兹热泉中金与胶体砷锑硫化物及 SiO_2 等发

表 4 表生氧化矿石中金的化学物相分析结果

Table 4 Results of chemical phase analysis of gold in oxidized ore

矿 区	样 号	游离金(μg)	包 裹 金 (μg)				难溶物质
			褐 铁 矿		粘 土 矿 物		
			可溶金 ($<1\mu\text{m}$)	颗粒金 ($>1\mu\text{m}$)	可溶金 ($<1\mu\text{m}$)	颗粒金 ($>1\mu\text{m}$)	
戈 塘	Y 96	10.62	0.40	0.14	0.21	0.01	0.05
	Y 117	45.00	2.50	0.40	2.31	0.12	0.01
紫木垭	X 67	20.00	1.75	0.17	0.10	0.05	0.11
高家坳	E 5	2.50	0.29	0.14	0.12	0.00	0.06
百分比	戈 塘	91.15	4.23	1.00	3.21	0.17	0.23
	紫木垭	90.17	7.89	0.77	0.45	0.22	0.49
	高家坳	80.38	9.32	4.50	3.86		1.93

测试者: 笔者、华东有色勘察局化学分析室

生共沉淀, 而且这种沉淀作用的富集系数很高, 根据 Sward 的研究^[6], 新西兰布罗德兰兹地热系统中含金仅为 $0.04 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (0.04ppb), 而非晶质含硅、锑硫化物沉淀物含金高达 $85 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (85ppm), 金的富集系数高达 7 个数量级。因此, 即使在成矿溶液中金的浓度很低的情况下, 共沉淀作用也可使金发生富集而形成矿床。

(2) 不同产状的“卡林型”金矿床在金的赋存形式上也存在差异。首先, 从载金矿物的种类来看, 产于断裂带中的紫木垭金矿、高家坳金矿原生矿石中的金基本都包裹于硫化物中, 其占矿石总含金量的 90% 以上; 而产于古岩溶面上的戈塘金矿床原生矿石中的金主要分布于粘土矿物及石墨等难溶矿物中, 而硫化物中的包裹金仅占次要的地位。前人的研究工作也证实了上述的区别^[5,7-8], 与戈塘金矿具有相似产状的板其金矿和石峡金矿, 矿石中粘土矿物包裹金分别占矿石中总含金量的 89%—93% 和 91.4%。与紫木垭金矿产状相似的丫他金矿、金牙金矿、烂泥沟金矿原生矿石中的金主要包裹于硫化物中, 它们分别占矿石总含金量的 62.1%, 90.9% 和 80%。

其次, 从包裹金的粒度大小来看, 产于断裂带中的紫木垭金矿、高家坳金矿的原生矿石中包裹于硫化物和粘土矿物中的金粒度相对较细, 这两个矿床中 87% 和 77% 的包裹金小于 $1 \mu\text{m}$; 而产于古岩溶面上的戈塘金矿的金颗粒则相对较粗, 原生矿石中约 94% 的金粒度大于 $1 \mu\text{m}$ 。毛水和产于古岩溶面上的板其金矿中黄铁矿溶金分析表明^[4], 黄铁矿中仅 9.7% 的金可溶于 HNO_3 , 而 90.3% 的金残留于残渣中, 必须用 $\text{I}_2 + \text{KI}$ 溶液溶解。

产生上述差异的原因可能与矿床形成过程的物理化学条件有关。根据笔者对不同“卡林型”金矿区矿物中流体包裹体研究结果, 紫木垭、高家坳及戈塘金矿的成矿压力分别为 $(2-28) \times 10^6 \text{ Pa}$, $(10-12) \times 10^6 \text{ Pa}$ 和 $5 \times 10^6 \text{ Pa}$; 氧逸度 f_{O_2} 分别为 -54.9 , -53.7 和 -50.6 。因此, 紫木垭金矿和高家坳金矿形成于压力较大和氧逸度较低条件下, 与矿化有关的蚀变作用可能主要为硫化物化, 因而, 矿石中的金主要与硫化物共生。而戈塘金矿成矿过程中压力相对较低, 氧逸度却较高, 与矿化有关的蚀变除了硫化物化外, 还会出现粘土化, 因而,

矿石中的金既可与硫化物密切共生又可与粘土矿物密切共生。此外,紫木凶金矿和高家坳金矿成矿压力高于戈塘金矿,说明前者形成的深度较后者大,因而反映在矿石中包裹金的粒度上,前者比后者小^[5]。由此可见,原生矿石中金的赋存状态在某种程度上反映了矿床形成的物理化学条件。

(3) 一些研究者认为绢云母等粘土矿物中的包裹金可能主要位于绢云母的结构层中,与层间结构水起着相同的作用,笔者认为这种可能性是很小的,原因是:一方面绢云母结构层间距仅10 Å,其间不含层间水,只存在有K⁺,这种K⁺的活动性较差,置换能力弱^[10];另一方面,粘土矿物中包裹金粒度一般较粗(表3),多数大于1 μm,远远超过绢云母的结构层间距,因而很难进入绢云母的结构层间空隙中。宋丹波等对绢云母等粘土矿物灼烧试验结果如表5^[5]。一般情况下,在300℃左右,粘土矿物中层间水已大量地析出,但表5中实验数据并没有显示,在300℃时,粘土矿物中金的浸出率没有太大的改变;只有到500℃时,绢云母等粘土矿物结构被破坏,金才开始大量被释放出来;800℃时,结构水基本全部析出,矿物原结构被破坏,同时矿物新结构开始形成,此时金的析出率又开始下降。这说明绢云母中包裹金与层间水、结构水的存在与否无关,它主要呈微粒状分布于绢云母等粘土矿物集体中,只有当矿物颗粒磨得足够细(约<1 μm)时,才能浸出其中大部分金,而在现有的条件下只能通过破坏载金矿物的结构来提取金。

表5 板其矿区原矿焙烧试验

Table 5 Results of baking test for crude ore samples from Banqi ore district

焙烧温度(℃)	100	200	300	400	500	600	700	800	900
保温时间(h)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
样品重量(g)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
I ₂ +KI浸液测金(μg)	0.40	0.40	1.00	3.00	13.60	14.60	13.60	13.90	11.90
渣相测金(μg)	18.10	17.50	17.90	15.90	6.90	4.20	2.40	7.30	8.80
I ₂ +KI浸液浸取率(%)	2.16	2.23	5.29	15.89	66.34	77.66	85.00	65.57	58.91

注:资料引自参考文献[5]

(4) 对比各金矿区原生矿石和氧化矿石特征发现,氧化矿石易溶组分的淋失,不但可以提高矿石的品位,同时也改变了金的赋存状态,表6中列出了这两类矿石的游离金和包裹金含量特征。各金矿区原生矿石中呈游离态存在于矿物裂隙中的金小于5%,而呈微粒状包裹于硫化物及粘土矿物的金占95%,因此,这类原生金矿石不能直接用堆浸法提取金,必须进行一些必要的预处理。各金矿区氧化矿石中,金主要呈游离态存在,在戈塘、紫木凶、高家坳三个金矿中,氧化矿石中游离态金分别占矿石总含金量的91%、90%和80%,这与各矿区堆浸法试验结果非常相近^[5]。目前,国内各“卡林型”金矿中可开采利用的矿石都是氧化带中的矿石。

在表生氧化带中,原生矿石中的硫化物和粘土矿物这两种主要载金矿物发生氧化和分解,其中的包裹金被释放出来,一部分金在随水流迁移过程中发生次生加大,然后沉淀于某

表6 氧化矿石和原生矿石中不同形式金的含量

Table 6 Contents of gold of different forms in oxidized ore and primary ore

矿 区	氧 化 矿 石		原 生 矿 石	
	游离金百分比	包裹金百分比	游离金百分比	包裹金百分比
戈 塘	91.15	8.84	3.04	96.95
紫 木 岗	90.17	9.82	0.82	99.18
高 家 坳	80.38	19.16	1.86	98.13

一矿物表面。因此,在氧化矿石中常可见到大量的自然金颗粒^[11],它们的成色较高,可达到985—999。还有一部分金可能被带有正电荷的褐铁矿及锰氧化物胶体所吸附,从而使这些矿物中金有明显的富集,戈塘金矿区褐铁矿中含金达49.4g/t^[5],紫木岗金矿区的褐铁矿中金含量为16.5g/t^[11]。由此可见,表生氧化作用使矿石中金的赋存状态发生根本的改变,提高了矿石的可选性。

参 考 文 献

- 1 Wells J D et al. Gold-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis, Cortez and Carlin gold mines, Nevada. *Econ. Geol.*, 1973, 68: 187—201.
- 2 拉德克 A S. 卡林金矿地质学. 季文明等译. 贵阳, 1987. 72—99.
- 3 Bakken B M et al. High resolution microscope of gold in nuioxidized ore from the Carlin mine, Nevada. *Econ. Geol.* 1989, 84: 171—179.
- 4 毛水和. 不可见金的赋存状态研究. *矿物学报*, 1990, 10(1): 66—74.
- 5 宋丹波等. 黔西南微细粒金赋存状态、工艺加工特性与选冶工艺试验的研究. 见: 沈阳地质矿产研究所编. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集(第六集). 北京: 地质出版社, 1989. 175—203.
- 6 Seward T M. 金在热液系统中的搬运和沉淀. 胡小蝶译. *国外前寒武纪地质*, 1985, (2): 59—72.
- 7 谭延松. 石峡微细粒浸染型金矿金的赋存状态及其回收预测. *地质与勘探*, 1980, 16(9).
- 8 吴秀群. 烂泥沟金矿金赋存状态及工艺特征研究. *黄金*, 1992, 13(6).
- 9 陈浩琼等. 吉林省矿物研究专辑. 北京: 地质出版社, 1984. 55—74.
- 10 南京大学地质系岩矿室. *结晶学与矿物学*. 北京: 地质出版社, 1978. 469—480.
- 11 高德黎. 贵州兴仁紫木岗金矿岩石矿物特征及金的赋存状态初步研究. *贵州地质*, 1989, 6(1).

Modes of Occurrence of Gold in the Carlin-Type Gold Deposits of Hunan-Guizhou Area

Zhu Kaijun

(Tianjin Geological Academy, Tianjin, 300061)

Zhang Jingrong

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

Key words: auriferous ore; chemical phase analysis; encapsulated gold particle; Carlin-type gold deposit

Abstract

In recent years, several Carlin-type gold deposits have been found in Hunan-Guizhou area. Some of these deposits are stratiform ones on tops of the paleokarst denudation planes, and others are tabular ones extending along faults.

Chemical phase analysis was carried out to study the mode of occurrence of gold in the gold deposits, and the results show that, in primary ore, the content of free gold is very low, with above 95% of gold encapsulated in pyrite and sericite. In the ore deposits on tops of the paleokarst denudation planes, sericite is the most important carrier of gold, whereas in the ore deposits within the faults, pyrite is the most important carrier of gold. The close spatial association of gold with pyrite and sericite suggests that the deposition of gold was synchronous with the growth of pyrite and the recrystallization of sericite. The gold microparticles encapsulated in minerals can not be leached by cyanidation.

In the supergene process, pyrite and sericite in primary ore are oxidized and decomposed. The gold microparticles encapsulated in those minerals are released and then accrete into larger particles. In oxidized ore, 80% of gold is free gold, and thus the economic value of the ore improves greatly.