

安徽白岭金矿金的赋存状态研究

周文雅 许德明

(安徽省地质实验研究所)

主题词: 原生金; 独立金矿床; 赋存状态; 安徽白岭

提 要: 白岭金矿位于下扬子台坳、长江褶断隆起带中段。金矿体赋存于三叠系中统铜头尖组中, 矿体形态呈不规则脉状。矿石类型主要有以含金褐铁矿为主的氧化矿石和以含金黄铁矿为主的原生矿石两大类。载金矿物主要有黄铁矿、褐铁矿、石英、伊利石、黄铜矿等。

通过矿相鉴定, 单矿物含金分析、物相分析、多点分析、电子探针分析等, 查明了金的赋存状态。金矿物以自然金为主, 其次为银金矿。金的粒度较细, 主要为中细粒显微金。金的嵌布类型有包体金、晶隙金、裂隙金。金的成色较高, 平均为906.5。金主要呈矿物态存在。

一、地质概况

白岭金矿位于下扬子台坳、长江褶断隆起带中段, 即淮阳山字型构造前弧东翼、郢(城)一庐(江)深大断裂和沿江挤压破碎带之间。区内地层出露齐全, 褶皱发育, 断裂构造复杂, 主要有北东向、北北东向两组断裂, 控制着金矿床的展布, 为本区金矿化的主要导矿、容矿构造。区内岩浆岩分布广泛, 期次较多, 从印支期至燕山期均有岩浆活动, 基本上沿北东向构造带展布。

含金破碎带赋存在三叠系中统铜头尖组及东西向闪长玢岩脉中, 金矿体位于破碎带中间, 沿主断裂面展布。矿体形态呈不规则脉状, 沿走向具明显膨大或收缩现象。

二、矿石的物质组成

1. 矿石的化学成分

笔者利用氧化矿石和原生矿石的选矿组合样进行了化学多元素分析(表1)。

表1 矿石的化学成分
Table 1 Chemical composition of the ores

矿石 类型	元素 (%)	TFe	TS	As	Cu	Pb		Au (g/t)	Ag (g/t)	Sb	Bi	SiO ₂	Al ₂ O ₃
氧化矿石		10.55	0.13	0.30	0.072	0.0062	0.0085	7.8	7.5	0.0023	0.0089	59.61	13.22
原生矿石		16.65	15.95	0.16	0.113	0.0060	0.0030	7.98	5.0	0.0004	0.0004	42.58	7.10

2. 矿石的矿物成分

矿物成分比较单一, 金属矿物主要有黄铁矿、褐铁矿、黄铜矿等, 脉石矿物主要有石英、伊利石等, 详见表2。

表2 矿石的矿物成分

Table 2. Mineral composition of the ores

矿石类型	矿物分类	主要矿物	次要矿物	微量矿物
氧化矿石	自然元素	自然金	银金矿	自然银
	硫化物	黄铁矿	黄铜矿	铜蓝、蓝辉铜矿、毒砂
	氧化物	褐铁矿	赤铁矿	磁铁矿
	碳酸盐		孔雀石	
	硫酸盐			黄钾铁矾
	脉石矿物	石英、伊利石、绢云母	高岭石、玉髓、重晶石、绿帘石	磷灰石、阳起石、蛋白石、锆石、石榴石、磷硅石
原生矿石	自然元素	自然金	银金矿	
	硫化物	黄铁矿	黄铜矿、辉铜矿	铜蓝、蓝辉铜矿、毒砂、闪锌矿
	氧化物	褐铁矿	赤铁矿	磁铁矿
	脉石矿物	石英、方解石、伊利石	高岭石、玉髓、重晶石、绢云母、绿帘石、绿泥石	阳起石、磷灰石、锆石、萤石、白云石

3. 载金矿物特征

载金矿物主要有黄铁矿、褐铁矿、伊利石, 其次为石英、黄铜矿等, 现分述如下:

(1) 褐铁矿: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

土黄—棕黄色, 胶状结构, 土状—蜂窝状构造。多数褐铁矿保留黄铁矿晶形假象, 且在褐铁矿中见有黄铁矿残留, 故可看出本矿床中的褐铁矿是黄铁矿氧化而成。自然金呈角粒状嵌布在褐铁矿孔隙中或呈乳滴状, 片状嵌布在褐铁矿晶隙或被包裹在褐铁矿中。经单矿物含金分析, 褐铁矿中含金15.5g/t。

(2) 黄铁矿: FeS_2

分两个世代, 第一世代黄铁矿呈淡黄色, 微细粒状, 粒径一般为0.01—0.05mm, 大者达0.1—0.3mm, 多数呈半自形—他形晶结构, 双目镜下见少量立方体晶形, 晶胞参数(5个样品) $a_0 = 5.4173 \text{ \AA}$ ①, 呈稀疏浸染状分布于变质粉砂岩中, 含金性较差。第二世代黄铁矿呈黄白色, 晶粒一般为0.1—0.5mm, 大者可达1—3mm, 呈自形—半自形晶结构, 经双目镜观察, 主要为五角十二面体, 其次为立方体或呈立方体与五角十二面体聚形产出, 晶胞参数(3个样品) $a_0 = 5.4175 \text{ \AA}$ ①, 与石英细脉密切共生。含金性较好, 自然金呈浑圆粒状、角粒状、乳滴状被包裹在黄铁矿中或呈不规则粒状断续分布于黄铁矿与黄铁矿(或黄铜矿)晶隙中, 有时则呈细脉状、树枝状沿黄铁矿微裂隙分布。黄铁矿经单

① 日本理学D/MAX—III BX衍射仪, 由本所岩矿分析室罗健民同志测定。

矿物含金分析、第一世代黄铁矿(5个样品)含金平均为17.59 g/t; 第二世代黄铁矿(8个样品)含金平均为68.98 g/t。

(3) 石英: SiO_2

早期形成的石英晶体粗大, 自形程度较高, 纯净无色, 常形成宽2—15cm的大脉, 与金矿化关系不明显。晚期形成的石英呈他形晶微粒状, 烟灰色, 常构成宽1—2cm的细脉, 与黄铁矿、黄铜矿等共生, 与金矿化关系较密切。自然金、银金矿呈乳滴状、浑圆粒状被包裹在石英中或呈树枝状嵌存于石英的微裂隙中。

(4) 伊利石: $(\text{K} \cdot \text{H}_2\text{O}) \text{Al}_2[(\text{Al} \cdot \text{Si}) \text{Si}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$

为本矿床的主要粘土矿物, 其中含较多的微细粒金。呈白色、浅绿色, 镜下为显微鳞片状, 片径为0.002—0.01mm, 集合体为花瓣状及不规则状, 常被铁染。

(5) 黄铜矿: CuFeS_2

呈铜黄色, 不规则片状, 与黄铁矿、石英等共生, 有的呈不规则脉状交代黄铁矿或被辉铜矿交代呈残余结构, 有的黄铜矿晶体边缘常见有铜蓝、蓝辉铜矿交代。自然金呈乳滴状, 浑圆粒状被包裹在黄铜矿之中或嵌布在黄铜矿与黄铁矿晶隙中, 并见少量自然金与闪锌矿构成连晶被包裹在黄铜矿之中。经单矿物含金分析, 黄铜矿中含量为50.5g/t。

4. 矿石类型与结构构造

根据矿石的氧化程度, 将本矿床中矿石分为氧化矿石和原生矿石两大类。氧化矿石主要分布于矿区地表, 见于各探槽及坑道中, 原生矿石主要见于坑道和钻孔的较深处。

矿石结构主要有自形一半自形—他形晶结构、胶状结构、压碎结构、假象结构、交代残余结构、包含结构等。

矿石构造主要有土状—蜂窝状构造、块状构造、浸染状构造、脉状构造、角砾状构造、细网脉状构造等。

三、金的赋存状态

1. 金的嵌布类型

通过对氧化矿石(34个样品)和原生矿石(24个样品)的矿相鉴定, 共查出235颗金粒, 其中氧化矿石查出88颗, 原生矿石查出147颗, 根据嵌存关系分为包体金、裂隙金、晶隙金三种类型(表3)。

(1) 包体金: 氧化矿石中占38.63%, 主要被包裹在褐铁矿、石英中。原生矿石中占51.70%, 主要被包裹在第二世代粗晶黄铁矿中, 其次被包裹在褐铁矿、石英、黄铜矿中。包体金形成于黄铁矿、石英结晶之前或同时。

(2) 裂隙金: 氧化矿石中占61.37%, 主要嵌布于伊利石、褐铁矿、石英孔隙或裂隙中。原生矿石中占21.77%, 主要嵌布于黄铁矿、石英、伊利石孔隙或微裂隙中。裂隙金形成于黄铁矿、石英结晶之后。

(3) 晶隙金: 原生矿石中占26.53%, 主要嵌布于黄铁矿与黄铁矿(或黄铜矿)晶隙之中。晶隙金形成于黄铁矿结晶同时或稍后。

表 3 金的嵌布类型
Table 3. Mosaic types of Gold

矿石类型	类型		包体金	晶隙金	裂隙金	合 计
	载金矿物	颗粒百分比(%)				
氧化矿石	褐铁矿		21.59		10.23	31.82
	伊利石				45.46	45.46
	石英		11.36		5.68	17.04
	黄铁矿		5.68			5.68
	合 计		38.63		61.37	100.00
原生矿石	黄铁矿		35.38		10.21	45.59
	黄铜矿		6.12			6.12
	褐铁矿		6.12		2.04	8.16
	伊利石				4.08	4.08
	石英		4.08		5.44	9.52
	黄铁矿—黄铁矿			19.73		19.73
	黄铁矿—黄铜矿			4.76		4.76
	黄铜矿—辉铜矿			1.36		1.36
	闪锌矿—毒砂			0.68		0.68
	合 计		51.70	26.53	21.77	100.00

2. 金矿物的有关特征

(1) 金的粒度

笔者在镜下对在氧化矿石和原生矿石的光片中查出的金粒分别进行了粒径测定, 利用截距比换算出各粒级的分布率(表4)。表明本矿床中金粒的粒度主要为中细粒显微金。

表 4 金的粒级分布
Table 4. Distribution of Grain sizes of Gold

矿石类型	金的粒径 (mm)	金的颗粒数 (个)	颗粒百分比 (%)	截距 (mm)	分布率 (%)
氧化矿石	>0.295	0	0	0	0
	0.295—0.074	3	3.41	0.554	22.02
	0.074—0.037	11	12.50	0.611	24.29
	0.037—0.01	53	60.23	1.246	49.52
	<0.01	21	23.86	0.105	4.17

(续表)

矿石类型	金的粒径 (mm)	金的颗粒数 (个)	颗粒百分比 (%)	截距 (mm)	分布率 (%)
氧化矿石	合计	88	100.00	2.516	100.00
原生矿石	>0.295	0	0	0	0
	0.295—0.074	6	4.08	1.107	30.09
	0.074—0.037	4	2.72	0.222	6.03
	0.037—0.01	90	61.23	2.115	57.49
	<0.01	47	31.97	0.235	6.33
	合计	147	100.00	3.679	100.00

(2) 金的形态

根据光片中观察,金粒的切面形态多种多样,有浑圆粒状、不规则粒状、乳滴状、角粒状、麦粒状、片状、细脉状、树枝状等。为了便于统计,将上述金粒形态简化为以下五种:①浑圆粒状,占26.8%;②树枝状,占25.11%;③乳滴状,占22.55%;④角粒状,占22.13%;片状,占3.40%。

(3) 金的成色

经电子探针分析,氧化矿石中的自然金Au含量平均为87.079%,Ag平均为10.761%,金的成色平均为890.15。原生矿石中的自然金Au含量平均为90.342%,Ag平均为7.609%,金的成色平均为922.765(表5)。

表5 金的电子探针分析结果①

Table 5. Electron microProbe analyses of Gold

矿石类型	矿石名称	金粒形态	粒径 (mm)	载体矿物	探针分析 点数(个)	元素(%)		金的成色 $\frac{A_u}{A_u + A_g} \times 100$
						A _u	A _g	
氧化矿石	自然金	片状	0.06	褐铁矿	10	87.615	11.739	881.85
	自然金	角粒状	0.065×0.045	褐铁矿	4	86.542	9.783	898.44
	平均					87.079	10.761	890.15
原生矿石	自然金	角粒状	0.085×0.035	黄铁矿	1	93.278	5.392	945.35
	自然金	片状	0.1×0.075	黄铁矿	2	90.580	8.276	916.28
	自然金	浑圆粒状	0.065	黄铁矿	1	89.540	7.344	924.30
	自然金	浑圆粒状	0.04	黄铁矿	1	87.970	9.422	905.13
	平均					90.342	7.609	922.765

①由国家建材工业局合肥水泥研究设计院探针室林生杰、叶贡欣分析,法国MIERO40型电子探针

3. 金的物相分析

为了证实金在各类矿石、各种载金矿物中的赋存形式,笔者分别作了金的物相分析。

(1) 矿石中金的物相分析

首先,采用常规化学物相分析,即混汞法和 I_2-KI 溶液浸取出矿石中的单体游离金和裸露的连生体金,再根据矿石中各类矿物的化学性质,用20%醋酸、10%硝酸、3—4 N盐酸等不同试剂,分别逐个进行溶矿。以硫尿— $HCl-H_2O_2$ 和 I_2-KI 分别浸取碳酸盐、硫化物、褐铁矿中的金,最后在残渣中测定硅酸盐中的金(表6)。从表6可看出,当矿样磨至-200目(占98%)时,氧化矿石中的单体金占有率要比原生矿石中高。相反,原生矿石中的连生体金(主要与黄铁矿连生)占有率要比氧化矿石中高,硅酸盐和碳酸盐中金极少,这对金的选冶十分有利。

表6 矿石中金的物相分析

Table 6. Phase analyses of Gold in the ores

矿石类型	金的分布状态	单体金	连生体金	褐铁矿中的金	硫化物中的金	碳酸盐中的金	硅酸盐中的金	合计
氧化矿石	品位(g/t)	3.15	2.07	0.58	1.67		0.24	7.71
	占有率(%)	40.86	26.85	7.52	21.66		3.11	100.00
原生矿石	品位(g/t)	1.01	3.34	0.34	2.82	0.15	0.40	8.06
	占有率(%)	12.53	41.44	4.22	34.99	1.86	4.96	100.00

(2) 矿物中金的物相分析

笔者对合金较高的黄铁矿和伊利石作了金的物相分析(表7)。当黄铁矿单矿物磨至-200目、伊利石粒径小于0.03mm时,单体金加连生体金分别占原品位的58.20%和88.61%,显示出金呈独立矿物存在。

表7 矿物中金的物相分析

Table 7. Phase analyses of Gold in the minerals

矿石类型	矿物名称	金的分布状态	单体金+连生金	包体金	合计
氧化矿石	伊利石	品位(g/t)	6.38	0.82	7.20
		占有率(%)	88.61	11.39	100.00
原生矿石	黄铁矿	品位(g/t)	12.69	9.11	21.80
		占有率(%)	58.20	41.80	100.00

4. 金的多点分析

为了进一步查明金在主要载金矿物中的赋存形式,笔者还对黄铁矿作了金的多点分析,即称取黄铁矿10mg,经王水溶矿后,用原子吸收石墨法测定金的含量,详见表8和图1。

表 8 黄铁矿的多点分析

Table 8. Poly-spot analyses of pyrite

分析点 元素	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Au(g/t)	77	138	140	304	98	147	143	101	91	167
分析点 元素	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Au(g/t)	123	110	177	87	116	146	143	4508	139	

从图1可看出,金的含量曲线起伏变化很大,相差悬殊,表明金在黄铁矿中分布不均,且局部富集,显示出金呈独立矿物存在的特点。

5. 金的相关分析

笔者采用数理统计方法分别对 Au—S、Au—Cu、Au—Ag作了简单相关系数计算。Au—S、Au—Ag为正相关, Au—Cu为弱的正相关(表9)。

6. 金的配分

为了考查金在氧化矿石和原生矿石中的分布情况,以便分析判断选矿最大回收程度,笔者根据金的物相分析,单矿物含

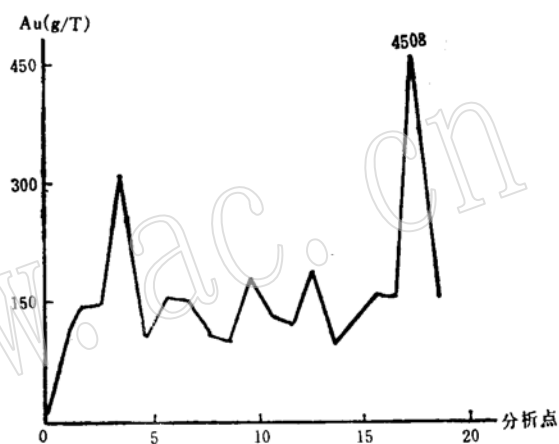


图1 黄铁矿多点分析曲线图

Fig.1. Poly-spot analytical curves of pyrite

表 9 金与硫、铜、银元素相关系数

Table 9. Correlation coefficients between gold and sulfur, copper and silver

元 素 对	相关系数 (r)	样 品 数 (n)	自 由 数 (f)	置 信 度 (α)	临 界 值
Au—S	0.717	215	213	0.05	0.138
Au—Cu	0.466	62	60	0.05	0.250
Au—Ag	0.727	23	21	0.05	0.396

金分析及矿物定量测定等,分别对氧化矿石和原生矿石的选矿样进行了金的配分计算,结果见表10、11。

由表10知,氧化矿石中金的配分率以自然金和伊利石为主,而褐铁矿、黄铁矿、石英中金的配分率较低,但在原生矿石中,金的配分率却相反(表11),以黄铁矿为主,自然金、褐铁矿、黄铜矿、伊利石等金的配分率均较低。这是由于矿石裸露在地表,主要载金矿物遭受强烈的氧化作用和长期风化淋滤作用,黄铁矿中的硫几乎全部流失,形成以褐铁矿为主的氧化矿石,原嵌存在黄铁矿的裂隙、晶隙中的金大部分流失而进入较松散的伊利石等粘

表 10 氧化矿石中金的配分计算

Table 10. Calculation of Gold Partition in oxidized ores

矿物名称	矿物量 (%)	金在各矿物中含量 (g/t)	金在各矿物中配分量 (g/t)	金的配分率 (%)
自然金	0.000357	88.24%	3.15	40.80
黄铁矿	0.24	73.80	0.1771	2.30
褐铁矿	16.63	5.56	0.9246	11.99
石英	38.84	0.70	0.2719	3.53
伊利石	41.29	7.20	3.1889	41.34
合计	100.00		7.7125	100.00
原矿品位(g/t)	7.8	平衡系数		98.88

表 11 原生矿石中金的配分计算

Table 11. Calculation of Gold Partition in Primary ores

矿物名称	矿物量 (%)	金在各矿物中含量 (g/t)	金在各矿物中配分量 (g/t)	金的配分率 (%)
自然金	0.000112	90.39%	1.01	12.35
黄铁矿	29.48	21.80	6.4266	78.60
褐铁矿	4.47	6.40	0.2861	3.50
黄铜矿	0.33	50.50	0.1667	2.04
石英	31.43	0.14	0.0440	0.54
方解石	1.48	0.16	0.0024	0.03
伊利石	32.81	0.73	0.2395	2.94
合计	100.00		8.1753	100.00
原矿品位(g/t)	7.98	平衡系数		102.45

土矿物中, 从而造成氧化矿石的伊利石中含金比较高, 金的配分率亦高。同时, 从矿物中金的物相分析证实, 在氧化矿石的伊利石中混入有较多的微细粒单体金和连生体金。经计算, 这二者的配分率占36.67%, 而包体金等仅占4.67%, 这与原生矿石的伊利石中金的配分率(2.94%)基本一致, 亦与矿相鉴定结果相吻合。

四、结 语

1. 矿物成分比较简单, 氧化矿石中载金矿物主要有褐铁矿、伊利石、石英, 原生矿石中载金矿物主要有黄铁矿、石英、黄铜矿、伊利石等。

2. 金矿物以自然金为主, 氧化矿石中含有部分银金矿。金的粒级属于中细粒显微金, 原生矿石中的金粒要比氧化矿石中的金粒稍粗。自然金的成色较高, 氧化矿石中金的成色

平均为890, 原生矿石平均为922。

3. 金的嵌布类型有包体金、裂隙金、晶隙金。氧化矿石中主要为裂隙金、包体金, 原生矿石中主要为包体金, 其次为晶隙金、裂隙金。

4. 从选矿组合样的矿石化学成分看, 除Au外, Ag、Cu (原生矿石中S) 可考虑综合回收。有害元素As、Sb、Bi含量较低, 对选冶影响不大。

5. 具压碎结构的黄铁矿是本区找金的微观标志。

本文的电子探针分析是由国家建材工业局合肥水泥研究设计院林生杰、叶贡欣测定; 化学分析由本所崔树花等完成; 晶胞参数由本室罗健民测定; 本室技术负责方磐高级工程师和合肥工业大学林文通教授给予指导与审稿, 在此一併致谢!

参 考 文 献

〔1〕 中国科学院数学研究所, 1979, 常用数理统计。科学出版社。

〔2〕 季汝清、周文雅、张仕兰, 1987, 安徽沙溪斑岩铜矿床中金的赋存状态。岩石矿物学杂志, 第6卷, 第1期。

A Study on Mode of Occurrence of Gold in the Bailing Gold Deposit, Anhui province

Zhou wenya, Xu Deming

(Anhui Geological Experiment Institute)

Key words: Primary gold; independent gold deposit; mode of occurrence; Bailing, Anhui

Abstract

The Bailing gold deposit is located in the middle part of the Changjiang fault-fold upwarping zone within the Lower Yangtze syncline. The gold orebodies, in the irregular veinlike form, occurs in Middle Triassic Tongtougian Formation. There are two major ore types, namely, oxidized ore dominated by gold-bearing limonite and primary ore dominated by gold-bearing pyrite. The average gold grade of the oxidized ore is 7.8 g/t, whereas that of the primary ore is 7.98 g/t. The gold-bearing minerals are mainly pyrite, limonite, quartz, illite, chalcopyrite etc.

(下转第96页)

(上接第77页)

By means of ore microscopy, gold analysis of individual minerals, phase analysis, poly-spot analysis and electron microprobe analysis, we have identified the mode of occurrence of gold. Gold minerals are mainly native gold and, less commonly, electrum. Gold is rather fine in granularity and comprises mainly medium-or fine-grained micro-gold. The mosaic types of gold include inclusion gold, gold in intercrystalline pore and fissure gold. Gold has quite high fineness (906.5 on the average) and exists chiefly as minerals.