

doi: 10.3969/j.issn.1007-3701.2014.04.010

云南者桑金矿矿石特征和金赋存状态研究

张建强

ZHANG Jian-Qiang

(紫金矿业集团股份有限公司, 厦门 361000, 福建)

(Zijin Mining Group Company Limited, Xiamen 361000, Fujian)

摘要:云南者桑金矿区位于我国“滇黔桂”金三角卡林型金矿分布区,属微细浸染型金矿。通过对矿石特征和金赋存状态研究,金主要以显微、超显微自然金形式赋存于黄铁矿、毒砂等金属硫化物或其氧化物中,其次是分布在硅酸盐、碳酸盐等脉石矿物中。硫化矿石中硫化物含金量应占金总量的50%以上,部分金赋存在绢云母、脉石英及碳酸盐等脉石矿物中,含量占20%±,硅酸盐矿物中包裹金含量占20%±,极少部分金以游离金形式存在,含量占总金的10%以内;若为氧化矿则金主要为游离态金,应占总金50%以上,赋存于炭质和粘土矿物中。

关键词:微细浸染型;矿石特征;矿物;赋存状态;者桑金矿

中图分类号:P618.51

文献标识码:A

文章编号:1007-3701(2014)04-383-06

Zhang J Q. Ore characteristics and modes of occurrence of gold in the Zhesang gold deposit, Yunnan. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2014, 30(4):383–388.

Abstract: Zhesang micro disseminated type gold deposit of Yunnan Province is located in Yunnan–Guizhou–Guangxi “golden triangle” area which hosts a series of Carlin–type gold deposits. Research on the ore characteristics and gold occurrence states shows that gold exists in the form of microscopic or submicroscopic natural gold mainly in metal sulfides or metallic oxides, such as pyrite and arsenopyrite, and secondly in gangue minerals, such as silicate and carbonate. Half of the total gold is included in sulfide ore, with around 20% in some gangue minerals such as sericite, vein quartz and carbonate, around 20% inclusive gold in silicates, and the rest, less than 10%, existing in the form of free gold. In case that the ore is of metallic oxide type, gold exists in the form of free gold in carbon or clay minerals, making up over half of the total gold.

Key words: micro disseminated type; ore characteristic; mineral; modes of occurrence; Zhesang gold deposit

1 前言

云南富宁者桑金矿位于滇黔桂“金三角”地带,是云南重要的微细浸染型金矿床产地之一。前人已经对该矿区做过矿床特征、成矿规律、流体包裹体、

地球化学特征等多方面的研究^[1-7],该矿床属于低品位微细浸染型矿床,氧化矿品位一般 $1 \times 10^{-6} \pm$,硫化矿品位一般 $2 \times 10^{-6} \pm$ 。者桑已经生产近20年,浅部氧化矿已经基本采完,利用深部硫化矿已经成为迫切要求。在滇黔桂“金三角”地区有较多该类型矿床,硫化矿品位低,金多包裹于硫化物颗粒中

收稿日期:2014-07-14;修回日期:2014-09-11.

作者简介:张建强(1982—),男,工程师,长期从事矿山地质工作,Email:zjianqiang@126.com.

^[8-11],如云南富宁那能金矿、广南老寨湾金矿、底圩金矿、广西高龙金矿,广西田东、巴马等地发现多处该类型金矿山,具有较大的规模,由于品位低,硫化矿因选矿难度大而没有进一步开发利用价值。通过研究矿石矿物特征及金的赋存状态对者桑金矿硫化矿开发利用及相同类型矿山硫化矿开发利用具有一定的重要意义。

2 矿区地质特征

者桑矿区出露地层主要为二叠系玄武岩组、吴家坪组,及三叠系下统罗楼组和中统百逢组(图1)。玄武岩组($P_2\beta$)岩性组合为玄武岩与凝灰岩或凝灰质粉砂岩互层,主要位于矿区的西部和北部,是矿区重要的含金层位。吴家坪组(P_{2w})下部主要为碎屑岩与灰岩互层,碎屑岩主要为凝灰质粉砂岩夹凝灰岩,上部主要为硅质泥岩、凝灰质粉砂岩夹凝灰岩,局部夹灰岩透镜体,含锰线,为矿区主要的含矿层位。与上覆罗楼组呈平行不整合接触。罗楼组(T_1l)上部黄

灰色中-厚层状细砂岩夹灰绿、灰色薄-中层状钙质粉砂岩夹薄层灰岩。下部灰黄色中-厚层状细砂岩夹薄层泥岩,局部夹基性凝灰岩,砂岩中含锰。底部为紫红、土红色薄层状泥岩夹薄层状白色石英细砂岩,是矿区主要的含金层位。百逢组(T_2b)为紫红、黄、灰绿色薄层状泥岩,夹中-厚层状细砂岩、凝灰岩,为矿区重要的含金地层。

矿区位于者桑背斜南翼,次级构造发育,受构造应力的影响,次级褶皱、断裂极为发育,造成地层产状变化剧烈。者桑背斜两翼为罗楼组地层,核部出露二叠系吴家坪组地层。背斜北翼地层倾向 $320^\circ \sim 345^\circ$,倾角 $30^\circ \sim 65^\circ$,南翼地层倾向 $140^\circ \sim 160^\circ$,倾角 $40^\circ \sim 70^\circ$,其次级褶皱十分发育,岩石揉皱变形厉害,倒转褶皱现象极其发育。区内控矿断裂主要为北东向,沿该断裂带硅化、黄铁矿化、毒砂、褐铁矿化较发育,断裂带内揉皱破碎十分强烈,各种平卧褶皱,倒转褶皱十分发育。

侵入岩在矿区内分布有印支期钛辉辉绿岩、钛辉辉长辉绿岩,呈岩墙岩脉产出,新鲜岩石呈灰绿

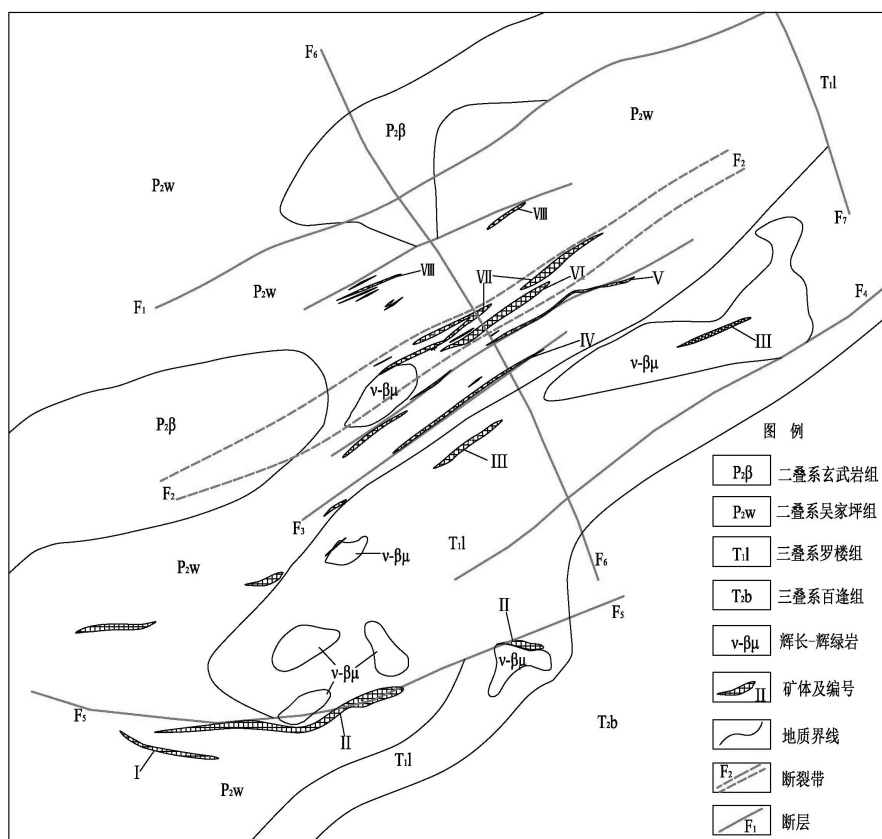


图1 云南者桑金矿区地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of the Zhesang Au deposit, Yunnan

色、块状构造,辉长结构,由半自形粒状普通辉石及它形斜长石组成,暗色矿物约占25%。蚀变辉长岩呈各种褐、黄褐色,具黄铁矿化、绢云母化、泥化等蚀变,是本矿区重要的含金岩石,Ⅲ号矿体沿侵入岩体与砂岩接触带产出砂岩或岩体中。喷出岩在矿区主要表现为玄武岩和凝灰质玄武岩,岩石风化强烈,颜色呈黄色、土黄色,蚀变强烈,矿区玄武岩含金背景值比较高,高出地球克拉克值的6倍以上,局部构造发育的地段形成矿体,玄武岩是本矿区重要的含金层位之一。

矿区蚀变及金矿化,主要沿东西NE向背斜核部的断裂带两侧发育,矿区矿化特征主要有黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化和硅化。矿化带中热液蚀变现象比较普遍,黄铁矿呈细小晶粒星点状、浸染状产出,粒度最大达4 mm±,晶形主要有五角十二面体、立方体和不规则形,在钻孔中可见大小不等的各种晶形的黄铁矿共生,氧化后主要表现为褐铁矿化。矿区毒砂化较普遍,近地表已大部分风化成褐铁矿,已施工的钻孔中均可见到,呈针状、短柱状、星点状、放射状分布,颜色为钢灰色,毒砂化发育地段一般金矿化较好。断裂带附近出现大量硅化石英脉,石英脉宽10~50 cm,石英脉附近一般金矿化较好。

3 矿体特征

该矿区出露主要矿体有8个,分别为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ号矿体,矿体呈NE向近平行排列,受一系列NE向、NEE向断裂构造的控制,矿体多产于次级背斜和向斜的核部,其中以Ⅵ、Ⅶ号矿体规模最大。

Ⅵ号矿体位于F₂断裂褶皱带内,矿体赋存于吴家坪组粉砂岩、凝灰质粉砂岩中,矿体呈似层状产于层间滑脱带内和次级褶皱的核部,受断裂褶皱的控制。矿体硅化、褐铁矿化、黄铁矿化和毒砂化发育强烈,矿体总体走向北东60°,倾向南东150°,倾角40°~75°,长约1000 m,地表出露宽度为8~40 m,硫化矿平均品位约 1.64×10^{-6} 。该矿体向深部延伸不深,在向斜轴部倾角变缓并呈“V”字型折状产出。

Ⅶ号矿体与Ⅵ号矿体近平行排列,位于F₂断裂褶皱带内,矿体赋存于吴家坪组粉砂岩、凝灰质粉砂岩中,矿体呈似层状产于层间滑脱带内,向次

级褶皱的核部收缩,受断裂褶皱的控制。矿体硅化、褐铁矿化、黄铁矿化和毒砂化发育强烈,矿体总体走向北东60°,倾向南东150°,倾角45°~75°,长约650 m,地表出露宽度8~30 m,硫化矿体平均品位约 2.1×10^{-6} 。矿体在走向上相对稳定,偶遇夹石。由于岩脉的侵入和NW向构造的复合作用矿体局部膨大,向西延伸分叉为3~5个分支,但在同一矿化体内,在与岩脉接触带附近的矿石品位比较高,可达 $3 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-6}$,受岩脉和构造的控制比较明显。

4 矿石特征

4.1 矿石类型

者桑金矿矿石类型按氧化程度分为氧化矿石和硫化矿石,本次重点研究硫化矿石类型。

硫化矿石主要赋存于深部粉砂岩和辉长岩岩体中,矿石呈灰白色、深灰色,位于粉砂岩中的矿石松散破碎,位于岩脉中的矿石质地坚硬,主要矿物组分由石英、高岭土、黄铁矿和毒砂组成。石英脉受力发生破碎,形成角砾,被后期石英脉充填,黄铁矿和毒砂呈自形粒状、浸染状分布于矿石中,可进一步划分为浸染状矿石。

从硫化矿石矿化脉的穿插情况看,黄铁矿有几个世代,但以他形颗粒状、五角十二面体,偶见立方体晶形。毒砂颗粒很多很细小,多数呈针柱状,局部见放射集合体,不规则分布于矿石中,呈锡白色。浸染状矿石风化后呈黄褐色、紫褐色、褐红色、黄色土状,中多紫、红、黄色等杂色斑点、团斑似草莓状结构。

4.2 矿石矿物成分

通过原矿混合砂样的X-射线衍射分析,原矿中主要矿物为石英、白云母、高岭石、长石和黄铁矿、菱铁矿等。

通过对原矿光片的显微镜下观察,矿石富含炭质,脉石矿物以绢(水)云母为主,在矿石中还见相当多的自形褐铁矿化褐铁矾化的菱铁矿假象,金属矿物则以黄铁矿为主,其次是毒砂、褐铁矿(含褐铁矾、黄钾铁矾等),其中矿化产物为以五角十二体黄铁矿自形晶为主,其次为毒砂。

根据矿石混合砂样测定矿物种类及其体积相对百分含量,非金属矿物含量约80%±,金属矿物含量约20%±,具体情况见表1。

通过对矿石矿物学研究,矿石矿物组成总的特

表1 综合砂样矿物种类及相对含量一览表

Table 1 Mineral species and relative contents list of the comprehensive sand samples

矿物相对含量	非金属矿物 (80%)	金属矿物 (20%)
主要矿物	绢(水)云母等黏土矿物:44%±; 碳酸盐:16%±; 石英:1±	黄铁矿:12%±; 毒砂 1%± 磁铁矿:6%±
次要矿物	白云母:3%±; 碳质:2%± 褐铁钒化菱铁矿假象:1%±	褐铁矿+褐铁钒+黄钾铁钒:2%±; 黄铜矿:0.3%±
微量矿物	黑云母,白钛石,金红石,锆石等<1%	辰砂<1%±; 磁黄铁矿:偶见

点是硫化矿石金属矿物主要为黄铁矿、毒砂及少量黄铜矿。

4.3 矿石化学组分

通过对混合原矿做了光谱分析,分析结果见表2,发现其它微量元素含量比较低,不具备综合利用价值,但值得注意的是 As 含量相对比较高,属于有害元素。

通过原矿混合砂样多元素分析进一步了解元素含量特征,分析结果见表3,从表中可以看出银含量比较低,其它元素无综合利用价值,而 As 元素含量偏高,可能对今后生产有一定的影响。

为了进一步研究矿体元素组合特征,采集不同钻孔组合分析样品对比分析(表4),通过组合分析发现,该矿石目前主要可开发利用的元素是金,其

它元素尚无利用价值,特别应注意到,该矿石中金、银含量较低,而碳、硫的含量却较高,影响金提取利用的杂质元素砷也有较大的含量,这为该矿石的开发利用带来了一定的难度。根据组合分析结果对 Au 与 As、Fe、T、S 进行相关性分析,发现 Au 与 As、T 相关系数分别为 0.74 和 0.77, Au 与 Fe 相关系数为 0.14, Au 与 S 相关系数为 -0.5,说明金与毒砂和炭质泥岩关系较其它硫化物相比更为密切,毒砂是金的主要载金矿物之一。黄铁矿可能具有多期次性,而毒砂形成阶段是金矿化最有利阶段,该阶段伴随生成的黄铁矿可能成为主要的载金矿物。

4.4 矿石结构构造

矿石结构主要有自形-半自形晶结构、莓状结构、不规则他形粒状晶结构、土状、胶状结构和交代

表2 矿石光谱分析结果

Table 2 Spectral analysis results of raw ore

元 素	Co	Be	Si	As	Fe	Al	Mn
含量 (%)	0.01	—	>10	0.1	3~10	0.1	0.3
元 素	Mg	Ti	Ca	V	Cu	Na	Ni
含量 (%)	0.3	1.00	0.3	0.01	0.03	0.3	0.002
元 素	Mo	Hg	Ge				
含量 (%)	—	—	—				

注:样品由昆明理工大学测试。

表3 矿石多元素分析结果

Table 3 The analysis results of multi elements of raw ore

元 素	C	S	SiO ₂	As	Fe	Al	Cu
含量 (%)	1.75	8.81	46.36	0.77	10.29	0.21	0.001
元 素	Au($\times 10^{-9}$)	Ag($\times 10^{-9}$)	Ca	Hg	Mg		
含量 (%)	2.05	<5	0.23	<0.0005	0.30		

注:样品由昆明理工大学测试。

假象结构。主要金属矿物黄铁矿大部分呈立方体自形-半自形晶结构形态,矿石中次要金属矿物磁铁矿也以半自形晶结构为主,这种结构形式是矿石的主要结构形态。部分黄铁矿呈莓球粒结构,为沉积期形成,通过镜下鉴定和取样分析,这种黄铁矿为不含金黄铁矿。矿石中黄铜矿主要呈不规则他形粒状晶形态,充填在脉石矿物粒间或少见分布在磁铁矿或黄铁矿粒间,这是矿石的次要结构形式。矿石中含有一定量的褐铁矿,是由部分金属硫化物氧化而来,呈土状、胶状结构,主要沿岩石微裂隙充填。这是次要结构形式。少量自形晶黄铁矿、菱铁矿、毒砂等被褐铁矿、褐铁矾、黄钾铁矾等交代成假象,形成交代假象结构。

矿石构造主要有稠密不等浸染状构造、细脉状构造。金属矿物呈稠密不等浸染状分布,构成矿石的主要构造形式,少量金属矿物以细脉状分布于矿石中,构成矿石的次要构造形式。

4.5 主要金属矿物嵌布特征

通过手标本和镜下鉴定分析,矿石中的主要金属矿物为黄铁矿、毒砂、褐铁矿和少量黄铜矿,黄铁矿和毒砂呈自形粒状、浸染状分布于矿石中。

黄铁矿自形晶颗粒多呈立方体和五角十二面体,以单晶体或集合体形式存在,颗粒大小约 0.02 ~ 2 mm,主要在变质泥岩部位稀疏分布,少量分布在硅化石英及团块状碳酸盐矿物分布区,部分黄铁矿周围存在石英压力影现象,黄铁矿稀疏浸染状均匀分布,少量黄铁矿与毒砂形成连晶,其它独立存在。

毒砂主要为棱柱状自形~半自形晶结构,主要粒度(0.2 mm×0.1 mm)~(0.1 mm×0.1 mm),常见多

粒聚集在一起,部分毒砂独立存在,部分与黄铁矿连晶生长,靠近岩体附近的矿石和岩体中的矿石中毒砂颗粒比较大,可达 2 ~ 10 mm,毒砂发育地段矿石含金可高达 $6 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ 。

黄铜矿以不规则他形粒状结构为主,粒度主要在 0.1 ~ 0.02 mm 之间。主要见于混合砂样中,原矿块状样品中未见,大部分未解离,未解离的黄铜矿主要分布于脉石矿物粒间,依脉石矿物粒间形态生长,少见分布于黄铁矿、磁铁矿粒间。

褐铁矿主要为褐铁矾及黄钾铁矾等几种矿物的集合体或混合物,由黄铁矿、菱铁矿等为主的金属硫化物氧化而来,它们多呈集合体或混合物形式密切共生,呈土状、胶状或原矿物假象存在。

5 金物相分析和赋存状态探讨

通过金的显微和电子探针镜下查找均未发现金颗粒,金应属于微细粒金,以显微、超显微形式存在^[7]。通过金物相分析,发现金主要赋存在以黄铁矿、毒砂为主的金属硫化物中,其次是硅酸盐、碳酸盐等脉石矿物中,如表 5。

根据各相分析合计总金含量为 2.32×10^{-6} , 通过常用基本化学分析金品位为 1.84×10^{-6} , 因为总金中硅酸盐包裹金含量为 0.48×10^{-6} , 占总金的 20.69%, 难以通过一般化学分析检测,在实际生产中可能影响总金利用率。矿石中游离态金的含量达到总金的 20.69%, 含量较高。结合矿山的实际,按基本分析结果统计,在实际生产过程中硫化矿经过浮选,选矿回收率可达到 80% 左右,依该指标判断,

表4 钻孔岩石组合分析结果(%)
Table 4 Composite analysis results of the rock which come from drilling(%)

项目	Au(10^{-6})	TFe	Cu	Pb	Zn	As	TC	TS	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃
ZK002	1.42	8.43	0.014	0.006	0.014	0.53	2.36	5.78	47.28	5.14	11.65
ZK101	3.2	9.92	0.016	0.012	0.014	0.74	3.66	6.64	29.91	9.15	15.56
ZK102	1.49	10	0.013	0.008	0.015	0.58	2.78	6.48	42.37	5.02	13.31
ZK301	4.02	9.3	0.012	0.01	0.013	1.14	3.84	4.16	29.62	10.68	14.65
ZK302	2.84	7.52	0.013	0.006	0.013	1.38	3.37	4.44	39.18	8.86	12.07
ZK701	2.64	8.46	0.011	0.009	0.013	0.91	4.4	2.69	30.35	11.24	12.86
ZK801	1.88	7.3	0.015	0.006	0.012	0.58	2.44	5.24	50.65	5.88	11.32
ZK1002	1.74	9.11	0.011	0.008	0.012	0.33	2.7	7.3	43.07	5.68	12.19

注:样品由福建紫金矿冶测试技术有限公司测试。

表5 矿石金物相分析结果

Table 5 The gold phase analysis results of raw ore

物相名称	游离金	硫化物金	碳酸盐包裹金	硅酸盐包裹金	各相总金
金含量 ($\times 10^{-6}$)	0.48	0.89	0.47	0.48	2.32
分布率 (%)	20.69	38.36	20.26	20.69	100

注:样品由福建紫金矿冶测试技术有限公司分析。

可能由于所选择的物相分析样品为近地表硫化矿石,已有一部分硫化物被氧化,金解离成为游离态金,从而导致游离态金含量较高,实际上原生的游离态金占总金应 $<10\%$,硫化物金占总金应 $>50\%$ 。

6 结论

从该矿区中矿石矿物组分、化学组分及黄铁矿和毒砂等硫化物的结晶形态及其含金特性来看,莓状黄铁矿为不含金黄铁矿,五角十二面体黄铁矿为主要的含金黄铁矿,毒砂通常是较好的金的载体矿物。

者桑金矿区为我国“滇黔桂”金三角卡林型金矿分布区,属卡林型金矿,金主要以显微、超显微自然金形式赋存于黄铁矿、毒砂等金属硫化物或其氧化物中,其次是分布在硅酸盐、碳酸盐等脉石矿物中。从金的赋存规律分析,者桑金矿硫化矿石中金主要赋存在黄铁矿、毒砂等硫化物中,不排除黄铜矿中也会含有少量金,黄铁矿和毒砂这两种矿物合计含金量应占金总量的 50% 以上,部分金赋存在绢(水)云母、脉石英及碳酸盐等脉石矿物中,一般为 $20\% \pm$,硅酸盐矿物中包裹金含量占 $20\% \pm$,游离金在镜下鉴定没发现,有部分金以游离金形式存在,游离态金含量占总金的 10% 以内。若为氧化矿则金主要为游离态金,应占总金 50% 以上,金赋存于炭质和粘土矿物中。

者桑金矿已通过浮选生产工艺对该类型低品位硫化矿进行处理,富集矿物主要为含金硫化物,浮选选矿回收率可达 $80\% \pm$,已在实际生产中表明该类型矿床开发利用的可能性。通过对金赋存状态的研究,优化选矿工艺和技术指标,将可能为今后滇黔桂“金三角”地区低品位微细浸染型金矿硫化矿体的开发利用提供重要科学依据。该类型矿床具有有益元素单一,有害元素砷含量相对偏高的特点,在选冶生产过程中要注意有害元素的综合治理和回收,防止污染环境。

参考文献:

- [1] 刘学飞,王庆飞,杨立强,龚庆杰,张静,高帮飞.秦岭与滇黔桂地区卡林型金矿地质与地球化学特征[J].地质科技情报,2008,27(3): 51-60.
- [2] 方维萱,胡瑞忠,苏文超,王国芝.滇黔桂湘地区中生代复合大陆动力成矿系统特征[J].大地构造与成矿学,2006,30(4): 470-480.
- [3] 肖荣阁,陈卉泉,范军.滇黔桂地区微细浸染型金矿控矿地质条件分析[J].矿物学报,1998,18(3): 344-349.
- [4] 陈懋弘,毛景文,陈振宇,章伟.滇黔桂“金三角”卡林型金矿含砷黄铁矿和毒砂的矿物学研究[J].矿床地质,2009,28(5): 539-557.
- [5] 彭秀红,李桦,张柳毅,张建强,杨海,柳成实,徐波,邓远文.云南富宁者桑金矿床地质特征及流体包裹体研究[J].矿物学报,2009,29(z1): 233.
- [6] 吴赵全,王维刚,何艳丽.富宁微细浸染型金矿及远景[J].云南地质,2007,26(1):49-55.
- [7] 国家辉,陈树旺,催显德.金坝金矿床地质特征[J].地质与资源,2001,10(2): 71-79.
- [8] 张复新,马建泰,陈衍景.秦岭卡林型金矿床金、砷地球化学探讨[J].地球化学,1999,28(5): 453-463.
- [9] Bowell R J, Baumann M, Gingrich M, Trethbar D, Perkins W F and Fisher P C. The occurrence of gold at the Getchell mine, Nevada [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 67: 127-143.
- [10] Simon G, Kesler S and Chryssoulis S. Geochemistry and textures of gold-bearing arsenian pyrite, Twin Creeks, Nevada: Implications for deposition of gold in Carlin-type deposit [J]. Economic Geology, 1999, 94: 405-422.
- [11] Reich M, Kesler S, Utsunomiya S, Palenik C S, Chryssoulis S L and Ewing R C. Solubility of gold in arsenian pyrite [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2005, 69 (11): 2781-2796.